

00521  
29



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

ESTUDIO DE RIESGO, MODALIDAD ANALISIS DE RIESGO  
PARA ALMACENAMIENTO DE GAS L P E HIDROGENO  
PARA LA EMPRESA INDUSTRIAS UNIDAS, S.A. DE C.V.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TESIS MANCOMUNADA**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
**INGENIERO QUIMICO**  
P R E S E N T A N  
**ARTURO JAVIER CASTREJON CARREÑO**  
J. **GUADALUPE OSORIO MENDOZA**



MÉXICO, D. F.

EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA

2003



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# PAGINACION

# DISCONTINUA

Journal of the American Statistical Association 1999, Vol. 94, No. 441, pp. 1103-1114

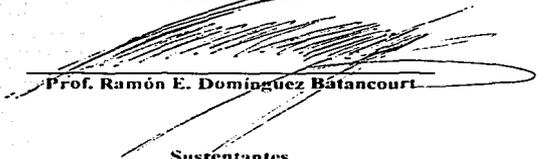
**Jurado Asignado**

<b>Presidente</b>	<b>Prof. Aguilar Martínez Claudio</b>
<b>Vocal</b>	<b>Profra. Durán Domínguez Ma. Del Carmen</b>
<b>Secretario</b>	<b>Prof. Domínguez Betancourt Ramón E.</b>
<b>1er. Suplente</b>	<b>Prof. Butrón Silva Arturo</b>
<b>2do. Suplente</b>	<b>Prof. Luna Pabello Víctor M.</b>

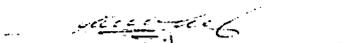
**Sitio donde se desarrolló el tema**

**Instituto Nacional de Control Total de Pérdidas  
Río Lerma No. 277 Col. Cuauhtémoc  
México D.F.**

**Asesor del Tema**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Ramón E. Domínguez Batancourt**

**Sustentantes**

  
\_\_\_\_\_  
**Arturo Javier Castrejón Carreño**

  
\_\_\_\_\_  
**J. Guadalupe Osorio Mendoza**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

## **Dedicatoria**

*Este trabajo se lo dedico a mis padres por darme la vida, aún cuando ya no existen, sus pensamientos y sus consejos están presentes en mí*

*Al Ing. Ramón Domínguez por enseñarme el camino y el gusto por la seguridad industrial.*

*A mis hermanas, Epifania, Lorena, Roselia, Cleotilde, Griselda, María Elena y a mis cuñados.*

*A mi esposa Daisy, a mis suegro Juan, a mi suegra Josefina y a mis cuñadas Argelia y Liliana.*

*A mi hijo Khalid Gibran*

*A todos mis amigos, pero... para que digo nombres, si tú eres uno de ellos.*

## **El Guerrero**

*La confianza de un guerrero no es la confianza del hombre común.*

*El hombre común busca la certeza en los ojos del espectador y llama a eso confianza en sí mismo.*

*El guerrero busca la impecabilidad en sus propios ojos y llama a eso humildad.*

*El hombre común está enganchado a sus prójimos, mientras que el guerrero solo depende de sí mismo.*

*El hombre común se conforma con lo que tiene, el guerrero siempre va más allá de sus límites.*

*El hombre común anda en pos de lo imposible. Busca la confianza cuando debería buscar la humildad del guerrero. Hay una gran diferencia entre las dos. La confianza implica saber algo con certeza; la humildad implica ser impecable en los actos y sentimientos.*

*La humildad del guerrero no es la humildad del pordiosero. El guerrero no agacha la cabeza ante nadie, pero, al mismo tiempo, tampoco permite que nadie agache la cabeza ante él. En cambio el pordiosero a la menor provocación pide piedad de rodillas y se echa al suelo a que lo pise cualquiera a quién considera mejor; sin embargo, al mismo tiempo, exige que alguien más bajo que él, le haga lo mismo.*

Juan Matus

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Resumen		1
Glosario de términos		2
Notación		6
Listado de tablas		10
Listado de figuras		11
<b>Capítulo I. Introducción</b>		<b>12</b>
1.1	Problemática	12
1.2	Objetivos	13
1.3	Hipótesis	13
1.4	Metodología	14
<b>Capítulo II. Información y metodología</b>		<b>15</b>
2.1.	Datos generales	15
2.1.1	Nombre de la empresa	15
2.1.2.	Objeto de la empresa	15
2.1.3.	Departamento proponente	15
2.1.4.	Domicilio para oír y recibir notificaciones	15
2.1.5.	Nombre completo de la persona responsable	15
2.2.	Descripción general del proyecto	16
2.2.1	Nombre del proyecto	16
2.2.2.	Naturaleza del proyecto	16
2.2.3.	Ubicación del proyecto	16
2.2.4.	Coordenadas de predio	16
2.2.5.	Colindancias del predio y los usos del suelo en un radio de 200 metros en su entorno	16
2.2.6.	Superficie	16
2.2.7.	Origen legal del predio	16
2.2.8.	Descripción de acceso	17
2.2.9.	Actividades conexas	17
2.3.	Aspectos del medio natural y socioeconómico	17
2.3.1.	Cualidades estéticas únicas o excepcionales	17
2.3.2.	Hacinamiento	20
2.3.3.	Recursos acuáticos	20
2.3.4.	Atracción turística	20
2.3.5.	Zona de recreo (parques, escuelas, hospitales)	20
2.3.6.	Hábitat de fauna silvestre	20
2.3.7.	Especies acuáticas	20
2.3.8.	Ecosistemas excepcionales	20
2.3.9.	Centros culturales, religiosos o históricos de país	21
2.3.10	Características arqueológicas	21

2.3.11	Pesquerías comerciales	21
2.3.12.	Sitios alternativos para establecer el proyecto	21
2.3.13.	Actividades que se desarrollan en un radio aproximado de 10 km del área del proyecto	21
2.3.14	Susceptibilidad a eventos naturales	23
2.3.15.	Informes sobre contaminación del aire, de las aguas o por residuos sólidos, debido a otras actividades en la zona del proyecto	25
2.3.16.	Niveles de ruido que pudieran afectar a las poblaciones cercanas al proyecto	25
2.3.17.	Historial epidémico de enfermedades cíclicas en el área del proyecto	25
2.3.18.	Animales, vegetales (terrestres o acuáticos) en peligro de extinción dentro del área del proyecto	25
2.3.19.	Afectación al hábitat	26
2.3.20.	Economía del área	26
2.3.21.	Ingreso medio anual per cápita de los habitantes del área del proyecto en un área de 10 km	26
2.3.22.	Aspectos demográficos y socioeconómicos del área de interés	26
2.3.23.	Demanda excesiva de servicios	27
2.3.24	Aislamiento de sectores de núcleos urbanos, (vecindarios o distritos) o zonas étnicas o barreras que obstaculicen la cohesión y continuidad cultural de vecindarios	27
2.3.25	Medidas preventivas o programas de contingencias para evitar el deterioro del medio ambiente	27
2.4.	Etapas de construcción y operación del proyecto	27
2.4.1.	Etapas de construcción	28
2.4.1.1.	Materiales requeridos por etapa del proyecto	28
2.4.1.2.	Requerimiento de mano de obra	28
2.4.1.3.	Equipo requerido por etapa del proyecto	28
2.4.1.4.	Requerimientos de agua	29
2.4.1.5.	Agua potable	29
2.4.1.6.	Electricidad	29
2.4.1.7.	Combustibles	29
2.4.2.	Etapas de operación	30
2.4.2.1.	Descripción del proceso	30
2.4.2.1.1.	Taladrado	30
2.4.2.1.2.	Decapado	32
2.4.2.1.2.	Punteado	32
2.4.2.1.3.	Lubricación	32
2.4.2.1.4.	Estirado	32
2.4.2.1.5.	Atmósfera especial de gas en el horno de recocido	33
2.4.2.2.	Materias primas y productos manejados en el proceso	34
2.4.2.3.	Tipo de recipientes y/o envases de almacenamiento	34
2.4.3.	Sustancias involucradas en el proceso	35
2.4.4.	Componentes riesgosos (C R)	35

2.4.5	Porcentaje y nombre de componentes riesgosos	40
2.4.6.	Número de registro del Chemical Abstract Service de la Sociedad Química Americana del C R	40
2.4.7.	Número de identificación de la Organización Naciones Unidas para componentes riesgosos	40
2.4.8.	Nombre del fabricantes o importador de C R	40
2.4.9.	Teléfono para emergencias	40
2.4.10.	Precauciones que deben ser tomadas en cuenta para el manejo y Almacenamiento	41
2.4.11.	Especificar cumplimiento de acuerdo con la regulación de transporte	41
2.4.12.	Otras precauciones	42
2.4.13.	Propiedades físicas y químicas de los C R	42
2.4.14.	Riesgos a la salud	43
2.4.15.	Riesgos de fuego o explosión	43
2.4.15.1	Medios de extinción	43
2.4.15.2.	Equipo especial de protección	44
2.4.15.3.	Procedimiento especial de combate de incendio	45
2.4.15.4.	Productos de combustión	46
2.4.15.5.	Inflamabilidad	46
2.4.16.	Datos de reactividad	46
2.4.16.1.	Descomposición en componentes peligrosos	46
2.4.16.2.	Polimerización peligrosa	46
2.4.16.3.	Corrosividad y radiactividad	47
2.4.16.4	Residuos principales	47
2.4.17.	Sistema de control y tratamientos para residuos	47
2.4.18.	Factibilidad de reciclar	48
2.4.19.	Aguas residuales	48
2.4.20.	Emissiones atmosféricas	48
2.5.	Identificación de riesgos	49
2.5.1.	Conceptos preliminares	49
2.5.1.1.	Riesgo	49
2.5.1.2.	Estudio de riesgo	49
2.5.1.3.	Actividades altamente riesgosas	49
2.5.1.4.	Cantidad de reporte	50
2.5.1.5.	Accidentes mayores	50
2.5.2.	Fundamento legal de un estudio de riesgo	50
2.5.2.1	Justificación de la realización de un estudio de riesgo para la "Fábrica de Tubo de Cobre II"	53
2.5.3.	Metodología para la evaluación de riesgos	53
2.5.3.1.	Índice de Mond	53
2.5.3.2.	Descripción del método	54
2.5.4.	Criterios de aceptabilidad del índice de Mond	64
2.6.	Simulación de eventos (fuga, incendio y explosión)	65
2.6.1.	Descripción de eventos no deseados	65
2.6.1.1.	Fuga	66
2.6.1.2.	Incendio	66
2.6.1.3.	Explosión	66

2.6.2.	Vulnerabilidad de personas y bienes	68
2.6.3.	Factores que determinan la formación de nubes explosivas	70
2.6.4.	Metodología de cálculo	70
2.6.4.1	Cálculo del peso del material en el sistema	70
2.6.4.2	Cálculo de la cantidad vaporizada	71
2.6.4.3	Cálculo de la magnitud de la nube	71
2.6.4.4	Cálculo de la energía desprendida	72
2.6.5.	Programa utilizado para la simulación de los riesgos	73
<b>CAPÍTULO III. Resultados y discusión</b>		<b>77</b>
3.1.	Resultados y discusión del índice de Mond	77
3.1.1.	Aplicación y resultados del índice de Mond	77
3.1.2.	Discusión de resultados del índice de Mond	79
3.1.3.	Jerarquización de riesgos	79
3.2	Resultados y discusión de la simulación	80
<b>Capítulo IV. Conclusiones y recomendaciones</b>		<b>89</b>
4.1	Conclusiones	88
4.2	Recomendaciones	90
4.2.1.	Normas generales para extintores	90
4.2.2.	Para el área de almacenamiento de hidrógeno	91
4.2.3.	Para el almacenamiento de Gas L P	91
4.2.4.	Para el área de recocido	91
	Bibliografía	92
	<b>Anexo 1</b>	<b>94</b>
A.1.1	Hojas de cálculo del índice de Mond para las diferentes secciones de la planta	94
A.1.2	Almacenamiento de Gas L P	94
A.1.3	Almacenamiento de hidrógeno	98
A.1.4	Fundición	101
A.1.5	Recocido	104
A.1.6	Formado	107
	<b>Anexo 2</b>	
A.2.1	Resultados obtenidos del simulador ARCHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation) Recurso automatizado para la evaluación de incidentes químicos peligrosos	110

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es dar a conocer, a partir del análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo de un proyecto denominado "Fábrica de Tubo de Cobre II", los riesgos que representa para el ambiente el almacenamiento de Gas L P y de hidrógeno, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas, tendientes a evitar, minimizar o controlar los efectos adversos al ambiente en caso de un posible accidente donde se vean involucrados los gases mencionados, durante la ejecución u operación normal del proyecto. Los elementos que dan origen a los riesgos presentes en la industria son, en términos generales, los siguientes: Materias primas, proceso y tecnología utilizada, productos terminados, recursos humanos, comunidad, vecindad y el ambiente. Los propósitos de realizar el presente estudio de riesgo son: Recopilar información acerca del entorno natural y social del sitio donde se desarrolló el proyecto además de las operaciones y procesos unitarios; identificar el nivel de riesgo, utilizando el índice de Mond de las áreas de la "Fábrica de Tubo de Cobre II"; definir las bases para la realización del programa de prevención de accidentes y el plan de emergencias; evaluar los daños potenciales por fuego y explosión que presenta el proyecto; incrementar el conocimiento del proceso, que sirva para proponer recomendaciones en la operación. El análisis de riesgo puede realizarse a través del sentido común, pero la complejidad de la tecnología moderna ha hecho que el proceso de análisis sea también complejo. Por ello, ha sido necesario el desarrollar y establecer metodologías sistemáticas y confiables, para realizar los diagnósticos de seguridad de los procesos industriales. El método utilizado en este trabajo fue el índice de Mond. Es importante señalar que el formato de la información presentada durante el desarrollo del estudio, fue tomado de los términos de referencia emitidos por la SEMARNAT y consta de los datos generales, aspectos del medio natural y socioeconómico, descripción del proceso, identificación, evaluación y simulación de los riesgos y la formulación de resultados. Los resultados de esta investigación indican que el área de mayor riesgo se presenta en la sección de almacenamiento de Gas L P. Las recomendaciones podrían implementarse en los programas de prevención de accidentes y en el plan de emergencias con los que cuenta la empresa.

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Accidente.** Es todo acontecimiento imprevisto, fuera de control y no deseado. Se produce por condiciones inseguras relacionadas con el orden físico, máquinas herramientas, etc. y por actos inseguros, inherentes a factores humanos (Ramírez, 1986).

**Accidentes mayores.** Son aquellos cuyos efectos, por su alcance, rebasan los límites de la instalación industrial o comercial y dañan la flora, la fauna, seres humanos o bienes materiales; alterando también las características del aire, agua y/o suelo.

**Actividades altamente riesgosas.** Conjunto de acciones, ya sean de origen natural o antropogénico, asociadas con el manejo de sustancias con propiedades inflamables, explosivas, tóxicas, reactivas, radiactivas, corrosivas o biológicas, en cantidades tales que, en caso de producirse una liberación, sea por fuga o derrame o bien una explosión, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

**Ambiente.** El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

**Andosol mólico.** Connotativo de suelos formados a partir de materiales ricos en cenizas volcánicas y que comúnmente tienen un color oscuro.

**Antropogénico.** Carácter de aquellas actividades que son realizadas por el hombre.

**ARCHIE.** Programa de computación para la evaluación de riesgos que involucren sustancias químicas riesgosas, por sus siglas en inglés (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation).

**Bifenilos policlorados, BPC.** Son compuestos clorados que se empezaron a utilizar en los años treinta del siglo xx en barnices, pinturas, etc. y de forma cerrada como refrigerantes y aislantes de transformadores. Dado el gran peligro que representan para el ambiente y los seres vivos fue prohibida su producción en la Unión Europea en 1985.

**"Bulldózer".** Máquina automóvil de orugas movida por un motor potente y provista de una pala frontal con la cuál se efectúan labores de desmonte y nivelación de terrenos.

**Bleve o EVELE.** Explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición, por sus siglas en inglés (boiling liquid expanding vapor explosion).

**CAS.** Número de registro de la Sociedad Química Americana (American Chemical Society), conocido como número de CAS por Chemical Abstract Service. Permite el uso y la comparación de datos sobre una determinada materia, independientemente del sinónimo bajo el cual fue publicado.

**CDR.** Cantidad de reporte. Cantidad mínima de sustancia peligrosa en producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transporte dados, que al ser liberada, por

causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

**Cl. Condición insegura.** Es la condición del agente causante de un accidente que pudo y debió protegerse o resguardarse.

**Contaminación.** Cambio indeseable en las características físicas, químicas o biológicas del aire, agua o tierra que será o puede ser perjudicial para el hombre y otras formas de vida.

**Coordenadas.** Cada uno de los elementos que sirven para determinar la posición de un punto sobre la superficie del globo terrestre.

**Corrosión.** Ataque progresivo sobre un objeto de metal por agentes químicos, hasta lograr descomponerlo.

**CR. Componente riesgoso**

**Decapado.** Operación que consiste en la inmersión de un objeto metálico en ácido, con la finalidad de limpiar su superficie de óxido formado.

**Dureza Brinell.** Escala utilizada en metalurgia para medir la dureza de los metales.

**Ecosistema.** La unidad funcional básica de interacción de los organismos vivos entre sí y de éstos con el ambiente, en un espacio y tiempo determinados.

**EPA. Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental) de los EEUA.** El equivalente en México sería la SEMARNAT y, en especial, la Procuraduría Federal de Protección al ambiente, Profepa.

**Explosión.** Desfogue repentino de energía generado por un incremento de presión en el ambiente.

**DOT. Department of Transportation (Departamento de Transportación) de los EEUA.** El equivalente en México sería la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT.

**Desequilibrio ecológico.** Es la alteración de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente, que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos.

**Estudio de riesgo.** Documento mediante el cual se da a conocer, a partir de las acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad, los riesgos que dichas obras o actividades representan para el equilibrio ecológico o el ambiente, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas, tendientes a minimizar los efectos adversos al equilibrio ecológico en caso de un posible accidente.

**FEMA.** Federal Emergency Management Administration (Administración Federal de Manejo de Emergencias) de los EEUU. El equivalente en México sería la Coordinación General de Protección Civil.

**Feozem lúvico.** Connotativo de suelos ricos en materia orgánica, que tienen color oscuro.

**Fuente de ignición.** Energía necesaria para iniciar un incendio o explosión originada por: Chispas, flamas, puntos calientes, electricidad estática, corto circuito, etc.

**Hábitat.** Localidad donde vive un organismo.

**Horno "Ebner".** Horno de atmósfera controlada, provisto de un sistema de control que le permite mantener una atmósfera reductora para evitar la oxidación del metal calentado.

**Horno "Pillar".** Horno de tipo continuo con movimiento en su interior, para desplazar el material a calentar. Se le conoce también como horno de empuje.

**Horno "Shaft".** Horno con calefacción por la parte superior, donde la transferencia de calor es por convección.

**Horizonte.** Capa de suelo caracterizada por una composición diferente de la de las capas situadas encima o debajo de ella.

**IDLH.** (Immediately dangerous to life and health) Inmediatamente peligroso a la vida y a la salud, por sus siglas en inglés.

**Índice de Dow.** Es un método de evaluación de riesgos de incendio y explosión, no incluye riesgos por toxicidad como el índice de Mond. Fue desarrollado por la compañía química Dow. (Dow Chemical Company).

**Índice de Mond.** El índice de Mond es un método de evaluación de riesgos que permite obtener resultados numéricos que se comparan con otros ya establecidos, para cada sección de la planta en función de las características de las sustancias manejadas, de su cantidad, del tipo de proceso que se trate y sus condiciones específicas de operación. Desarrollado a partir del índice de Dow, por la empresa ICI.

**Impacto ambiental.** Posible modificación del ambiente ocasionado por la acción del hombre o de la naturaleza.

**L P Gas.** Denomina a los productos que están compuestos principalmente por cualquiera de los siguientes hidrocarburos o mezcla de ellos: Propano, butano (normal e isobutano) y butileno (SIC, 1974).

**NFPA-15.** Es una norma del código establecido por la National Fire Protection Agency (Agencia Nacional de Protección contra incendios de los EEUU).

**MAPFRE.** Nombre con el que se le conoce al Instituto Tecnológico de Seguridad en Madrid, España.

**Motoconformadora.** Máquina automóvil de orugas movida por un motor potente provista de un eje transversal donde se colocan cuchillas y rejas en diferente posición para cortar la tierra, nivelada a su vez por un bastidor.

**Número de Registro de la ONU para componentes riesgosos.** Es un número con el que se identifica a un componente riesgoso y debe ser conocido por todos los países que integran a la Organización de las Naciones Unidas (ONU).

**"Payloader".** Máquina automóvil con llantas tipo tractor, provista de un bote frontal que sirve para cargar diferentes materiales, tierra, escombros, grava, etc.

**Planosol mólico.** Connotativo de suelos generalmente desarrollados en relieve plano o en depresiones que ocasionalmente se inundan.

**Punteado.** Operación que consisten reducir considerablemente el diámetro de un tubo por uno de sus extremos.

**Promovente.** Persona que promueve o solicita la autorización de un proyecto ante la autoridad correspondiente.

**Residuo doméstico.** Residuos de naturaleza no peligrosa como, cartón, papel, plástico etc.

**Riesgo.** Posibilidad de daño, enfermedad o muerte como consecuencia de la exposición a agentes o condiciones ambientales potencialmente peligrosas.

**SEMARNAT.** Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Poder Ejecutivo Federal. México.

**Sustancia peligrosa.** Aquella que por sus altos índices de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, radioactividad, corrosividad o acción biológica puede ocasionar una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

**"Taladrado".** Operación que consiste en la perforación central de un lingote para la formación de un tubo con diámetro determinado.

**Tianguis.** Sinónimo de plaza o mercado.

**TLV o VMP. (Threshold Limit Value) Valor Máximo Permissible,** expresado en partes por millón que representa una concentración a la que se ven expuestos los trabajadores durante una jornada de trabajo de ocho horas por día y trabajo de cuarenta horas por semana, sin efecto adverso apreciable con el conocimiento actual.

**Vulnerabilidad.** Carácter de lo que puede ser dañado.

## NOTACIÓN

- A** Índice de explosión aérea. Indica el riesgo de explosión en la parte superior de la sección en función de su altura.
- A** Dado o boquilla de estirado o matriz
- AS** Es el producto de factores que involucra la actitud hacia la seguridad. Su valor es igual a  $K_3$ .
- Af** Índice final de explosión aérea. Es el índice final corregido por factores de seguridad y utilizado para el análisis de riesgos.
- B** Factor de material. Es una medida del fuego, explosión o energía potencial liberada por el Material clave identificada al listar los materiales, reacciones y operaciones incluidas en la sección.
- B** Mandril de estirado
- C** Índice de máximo incidente tóxico. Toma en cuenta la toxicidad y la cantidad del material clave.
- C** Tubo de estirado
- CI** Es el producto de factores que involucra el combate de incendios. Su valor es igual a  $K_6$ .
- CP** Es el producto de factores que involucra acciones y dispositivos para el control del proceso. Su valor es igual a  $K_2$ .
- CR** Componente riesgoso. Componente utilizado en alguna sección que por sus propiedades inflamables o explosivas representan un riesgo.
- D, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>** Varilla porta-mandril, diámetro original y final del tubo.
- D** Diámetro de la nube. Se refiere a la magnitud del diámetro de la nube explosiva después de una fuga o descarga.
- D** Diámetro de la bola de fuego. Se refiere a la magnitud del diámetro de la bola de fuego que se forma después de que reacciona la nube explosiva.
- E** Índice de explosión interna. Indica el riesgo de explosión a nivel de la altura del proceso.
- Ef** Índice final de explosión interna. Es el índice final corregido por factores de seguridad y utilizado para el análisis de riesgos.
- E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>** Espesor de pared original y final del tubo.

- F** Índice por carga de fuego. Es un estimado de la dimensión y duración de un incendio en función del tipo y cantidad del material que se queme.
- Ff** Índice final por carga de fuego. Es el índice final corregido por factores de seguridad y utilizado para el análisis de riesgos.
- H** Altura de la unidad. Se define como la altura arriba del piso terminado de la unidad de procesos o de la tubería de transferencia de materiales más alta.
- h** Altura de la nube. Se refiere a la magnitud de la altura de la nube explosiva después de una fuga o descarga.
- K** Cantidad de material. Cantidad total de material clave en la sección.
- K<sub>1</sub>** Factor por prevención de riesgos
- K<sub>2</sub>** Factor por control de proceso
- K<sub>3</sub>** Factor por actitud de seguridad
- K<sub>4</sub>** Factor por protección contra fuego
- K<sub>5</sub>** Factor por aislamiento o corte de material
- K<sub>6</sub>** Factor por combate de incendios
- L** Factor de riesgos por distribución. Toma en cuenta altura, área, estructura, etc. de la sección.
- L** Radio de la bola de fuego. Se refiere a la magnitud del radio de la bola de fuego que se forma después de que reacciona la nube explosiva.
- L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>** Longitud original y final del tubo.
- LIE** Límite inferior de explosividad en % en volumen. Concentración mínima a la que puede explotar un gas.
- LSE** Límite superior de explosividad en % en volumen. Concentración máxima a la que puede explotar un gas.
- M** Factor de riesgos especiales por materiales. Toma en cuenta las propiedades específicas del material clave o cuando se mezcle con otros materiales.
- M** Peso molecular. Es la suma de las masas atómicas de todos los átomos presentes en la fórmula de un compuesto.

- M<sub>TNT</sub>** Masa equivalente de trinitrotolueno. Es la masa de un material explosivo referida a su equivalente en masa de trinitrotolueno.
- m** Factor de material por dispersión. Se refiere a si el material clave es un gas denso, ligero, inflamable, etc.
- m** Masa inicial del líquido inflamable. Masa de un líquido volátil descargado a la atmósfera antes de cambiar de estado físico.
- m<sub>nube</sub>** Masa de la nube. Masa de una nube de gas inflamable.
- N** Área normal de trabajo de la sección.
- N,G,T** Ancho, diámetro de la junta y factor que involucra la relación entre el diámetro externo e interno de la junta del tapón del cilindro de almacenamiento de hidrógeno
- N,P,T** N y T ya descritos P= Presión interna de diseño del cilindro de almacenamiento de hidrógeno
- Op** Sobrepresión determinada. Presión generada por una explosión.
- P** Factor por riesgos generales de proceso. Toma en cuenta el manejo y cambios físicos del material clave.
- p** Factor por alta presión. Para fines del método se considera alta presión a valores mayores de 0.7182 kiloPascales.
- PCI** Es el producto de factores que involucra dispositivos para la protección contra incendios. Su valor es igual a K<sub>4</sub>.
- Q** Factor de riesgos por cantidad. Factor relacionado con el uso de grandes cantidades de combustibles, inflamables explosivos o materiales que puedan descomponerse.
- R** Índice total de Mond. Índice que involucra a todos los demás índices parciales que indica el riesgo por incendio o explosión de una sección.
- R** Fracción radiante. Constante con valor igual a 0.3
- REM** Es la suma de factores por riesgos especiales del material, igual al valor de M.
- REP** Es la suma de factores por riesgos de proceso, igual al valor de S.
- Rf** Índice final total de Mond. Es el índice final corregido por factores de seguridad. Es el de mayor interés por que su valor al ser calculado indica el riesgo potencial por incendio ó explosión.

- RGP** Es la suma de factores por riesgos generales de proceso, igual al valor de P.
- RLA** Es la suma de factores por condiciones de la nave, igual al valor de L.
- RT** Es la suma de factores por riesgos de toxicidad, igual al valor de T.
- S** Factor de riesgos especiales de proceso. Factor relacionado con las características de operación del proceso, almacenamiento, transporte, etc.
- T** Factor de riesgos por toxicidad. Representa los riesgos a la salud del material clave.
- T** Temperatura de proceso. Temperatura normal de operación del proceso.
- U** Índice de toxicidad. Representa la influencia de la toxicidad y consideraciones afines sobre el control y supervisión de la sección de la planta.
- V** Fracción de la nube. Se refiere a la fracción de la nube en condiciones de explotar.
- VG** Volumen de gas, corregido a condiciones normales de presión y temperatura (0°C y 1 atmósfera de presión)
- W** Cantidad vaporizada. Cantidad de gas vaporizada después de la fuga o descarga.
- WG** Peso del gas descargado. Peso del gas descargado por una fuga.
- WL** Masa del líquido
- X** Distancia o alcance para una presión determinada
- Yf** Índice de explosividad. Índice inherente a materiales explosivos.

### **Símbolos griegos**

$\Delta H_c$  Calor de combustión

## LISTADO DE TABLAS

2.1	Características de los tanques de almacenamiento	35
2.2	Residuos generados en la fabricación de tubo de cobre	47
2.3	Clasificación del índice general de riesgo	58
2.4 y 2.5	Categoría por carga de fuego	58 y 59
2.6	Categoría de los índices de toxicidad	60
2.7	Categoría del índice de máximo incidente tóxico	60
2.8	Categoría del índice para explosión interna de la sección	60
2.9	Categoría del índice para explosión aérea	61
2.10	Categoría del índice total de riesgo	64
2.11	Niveles máximos de aceptabilidad	65
2.12	Efectos de la sobrepresión causada por una explosión en las personas	68
2.13	Efectos de la sobrepresión causada por una explosión en las estructuras	69
2.14	Efectos de la radiación térmica sobre la piel no protegida	69
2.15	Selección de la clase de estabilidad atmosférica	76
3.1	Resultados del cálculo de los índices de Mond	77
3.2	Jerarquización de riesgos	80
3.3	Resultados de la simulación de eventos en el área de almacenamiento de Gas L P	81
3.4	Resultados de la simulación de eventos en el área de almacenamiento de Gas L P	84
3.5	Resultados de la simulación de eventos en el área de almacenamiento de Gas L P	86
3.6	Resultados de la simulación de eventos en el área de almacenamiento de hidrógeno	88

## **LISTADO DE FIGURAS**

2.1	Ubicación del proyecto	18
2.2	Descripción del acceso	18
2.3	Plano de distribución de la unidad norte	19
2.4	División del complejo industrial en tres zonas	22
2.5	Diagrama de flujo de proceso de fabricación de tubo de cobre	31
2.6	Esquema de la operación de estirado	33
2.7	Diagrama isométrico de suministro de hidrógeno a hornos de recocido	36
2.8	Especificaciones del tanque de almacenamiento de hidrógeno	37
2.9	Diagrama isométrico de suministro de Gas L P a hornos de fundición y recocido	38
2.10	Especificaciones del tanque de almacenamiento de Gas L P	39
2.11	Secuencia sugerida para el uso del modelo (simulador archie)	74
2.12	Secuencia utilizada para el uso del modelo	75
3.1	División de la planta en secciones	78
3.2	Plano de evaluación del peligro de incendio de una nube de Gas L P	82
3.3	Plano de afectación por sobrepresión de una explosión de una nube de Gas L P no confinada	85
3.4	Plano de afectación por radiación de una explosión de un tanque de almacenamiento de Gas L P	87

# CAPÍTULO I

## Introducción

### 1.1 Problemática

Para la realización de un proyecto industrial, se consideran una serie de factores que determinan en su conjunto la factibilidad de llevarlo a cabo. De esta forma, fundamentalmente, se toman en cuenta aspectos del entorno natural, social y económico.

Una empresa requiere para su funcionamiento de mano de obra, rutas de acceso para proveerse de materia prima y comercializar el producto terminado, agua, electricidad y otros recursos y servicios. Una vez instalada y dependiendo del tamaño de la empresa, se notarán algunos **cambios** en el entorno social por la generación de empleo, que se traduce en movimiento de la economía del lugar; por mencionar algunos.

Por lo que respecta al entorno natural se toman en cuenta los **cambios** o afectaciones que tendrá el ambiente como resultado de la construcción y operación del proyecto considerado, por la generación de residuos, emisiones a la atmósfera y ruido. Aunado a lo anterior, si la actividad industrial por su naturaleza, implica la operación de procesos riesgosos o manejo de sustancias peligrosas que, por su cantidad, representan un peligro potencial para provocar un accidente mayor, se deben realizar estudios de riesgo. Se entiende como accidente mayor aquél cuyos efectos y alcances rebasan los límites de la instalación industrial dañando seres humanos, la flora, la fauna o bienes materiales y alterando las características del aire, agua y suelo.

Derivado del accidente ocurrido el 19 de noviembre de 1985, en San Juan Ixhuatepec, municipio de Tlalnepantla, Estado de México; por la ruptura de una válvula de paso de una esfera de almacenamiento de Gas L P, en donde ocurren una serie de explosiones, en la que pierden la vida cientos de personas, se toma conciencia de la necesidad de legislar las actividades altamente riesgosas como lo es el manejo, transporte y distribución de materiales altamente peligrosos, con el objetivo de proteger a la población a sus bienes y al ambiente,

La prevención del deterioro del ambiente es indispensable para preservar los recursos naturales de la Nación y asegurar el bienestar de la población. El 10. de marzo de 1988 entró en vigor la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 28 de enero de 1988, cuya finalidad es definir los principios de la política ecológica general y regular las actividades que por su naturaleza afecten al ambiente.

Uno de los instrumentos con que cuenta el Estado para la aplicación de la política general de ecología es la evaluación del **impacto ambiental** de las obras o actividades de carácter público o privado, que puedan causar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites y condiciones señaladas en los reglamentos y las normas oficiales mexicanas ecológicas emitidas por la Federación.

El artículo 147 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, establece que toda persona o empresa que maneje o produzca, materiales clasificados como peligrosos debe contar con un estudio de riesgo, el cual deberá ser presentado ante la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) para su revisión y dictaminación.

En una empresa, denominada Industrias Unidas, ante la necesidad de abastecer la creciente demanda de tubo de cobre del mercado nacional e internacional, surge la idea de la realización de un proyecto denominado "Fábrica de Tubo de Cobre II" que es complemento del departamento de "Fábrica de Tubo de Cobre I" y tiene como finalidad la fabricación de tubo de cobre rígido y flexible en diferentes dimensiones.

Para la operación de los hornos que forman parte del proceso de fabricación de tubo de cobre, se requiere de Gas L P y de hidrógeno, gases clasificados como inflamables y explosivos bajo ciertas condiciones.

El sentido común hace pensar que existe un riesgo de accidente por las cantidades almacenadas y naturaleza de estos gases. De esta forma, surgen preguntas tales como ¿De qué naturaleza y magnitud puede ser el accidente? ¿Cuál es la probabilidad de que ocurra un accidente? ¿Qué daños puede causar? ¿Qué áreas serían las más vulnerables? ¿Se puede disminuir el riesgo? Para responder a estas preguntas se llevó a cabo este estudio. Sus objetivos fueron los siguientes.

## **1.2 Objetivos**

Los objetivos del presente trabajo son:

- Realizar un estudio de riesgo como instrumento del impacto ambiental, que permita identificar, analizar y evaluar de una forma sistemática la probabilidad de ocurrencia de un accidente en el almacenamiento de Gas L P y de hidrógeno.
- Minimizar los riesgos identificados mediante el presente estudio, para proteger a la población, sus bienes y el ambiente en caso de un accidente.
- Establecer las bases para la realización de programa de prevención de accidentes
- Cumplir con la legislación ambiental vigente.

## **1.3 Hipótesis**

La hipótesis en la que se basa establece que el área de mayor riesgo en la planta de tubo de cobre es el almacenamiento del hidrógeno, debido a que se le considera como un material explosivo.

En caso de presentarse un explosión del tanque de almacenamiento de hidrógeno se afectará el área de almacenamiento de Gas L P generando un efecto dominó, con graves consecuencias.

El mayor riesgo para los seres humanos durante una explosión de un tanque de almacenamiento de Gas L P, son las ondas de sobrepresión, las cuales deberán ser minimizadas.

#### **1.4 Metodología**

La metodología que se seguirá en esta investigación es la siguiente:

- ◆ **Recopilar la información relacionada con la ubicación de la planta, aspectos del medio natural y socioeconómico, con el objetivo de identificar los sitios de reunión como son: escuelas, iglesias, parques, sitios con vegetación especial, arroyos o cuerpos de agua y especies animales; entre otros, que pudieran ser afectados en caso de accidente por fuga, incendio y/o explosión de Gas L P y de hidrógeno.**
- ◆ **Describir el proceso de fabricación del tubo de cobre, identificando las variables involucradas en el proceso, equipos, materias primas y servicios auxiliares entre otros.**
- ◆ **Recopilar la información relacionada con los riesgos involucrados por el manejo de las sustancias consideradas como peligrosas manejadas en el proceso de producción de tubo de cobre.**
- ◆ **Determinar las áreas vulnerables utilizando una metodología de evaluación de riesgos (índice de Mond) en las diferentes secciones del proceso en donde se involucre el manejo de Gas L P y de hidrógeno.**
- ◆ **Modelar los eventos máximos de riesgo como lo son fugas, incendios y/o explosiones a través de modelos computacionales.**
- ◆ **Describir los riesgos que tengan afectación potencial sobre la población, las plantas existentes y a construir y su entorno.**
- ◆ **Representar a través de planos de afectación las zonas vulnerables.**
- ◆ **Describir las medidas de seguridad y operación para minimizar el riesgo**

Es importante mencionar que la información se presentará de acuerdo al formato indicado en los términos de referencia propuestos por la SEMARNAT, con el objeto de familiarizar a los lectores con este formato.

A continuación se presentan, en el capítulo II la información necesaria para la evaluación del estudio de riesgo, así como la metodología utilizada.

## **CAPÍTULO II**

### **Información y metodología**

#### **2.1. Datos generales**

Para alcanzar los propósitos de esta investigación que son: Recopilar información acerca del entorno natural y social del sitio donde se desarrolló el proyecto, además de las operaciones y procesos unitarios; identificar el nivel de riesgo, utilizando el índice de Mond de las áreas de la "Fábrica de Tubo de Cobre II"; definir las bases para la realización del programa de prevención de accidentes y el plan de emergencias; evaluar los daños potenciales por fuego y explosión que presenta el proyecto; incrementar el conocimiento del proceso, que sirva para proponer recomendaciones en la operación; se presentan a continuación los datos generales de la empresa que contiene información sobre la localización, domicilio, y responsable del proyecto. Se seguirá para esta presentación, como ya se mencionó, el formato de los términos de referencia propuesto por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

##### **2.1.1. Nombre de la empresa**

Industrias Unidas, S.A. DE C.V.

##### **2.1.2. Objeto de la empresa**

Industrias Unidas S.A. de C.V., es un grupo industrial que se dedica a la fabricación de artículos eléctricos domésticos e industriales; automotriz; de aparatos de precisión; textil; química; fundición, laminación y estirado de toda clase de metales ferrosos y no ferrosos así como su transformación a productos básicos para usos industriales.

##### **2.1.3. Departamento proponente**

"Departamento de Ecología y Seguridad de la propia empresa"

##### **2.1.4. Domicilio para oír y recibir notificaciones**

Domicilio:	Carretera México-Querétaro Unidad Industrial Pastejé km 109
Municipio:	Jocotitlán
Estado:	México
Código postal:	50700
Teléfono:	01 71 28 30 35 55
Fax:	01 71 25 01 99 53

##### **2.1.5. Nombre completo de la persona responsable**

Fernando Ortiz Castro. Director de Operaciones de Industrias Unidas S.A. de C.V.

## **2.2. Descripción general del proyecto**

El proyecto de "Fábrica de Tubo de Cobre II", viene a ser complemento del Departamento de "Tubo de Cobre I" y tiene como finalidad la fabricación de tubo de cobre rígido y flexible en diferentes dimensiones.

### **2.2.1. Nombre del proyecto**

"Fábrica de Tubo de Cobre II".

### **2.2.2. Naturaleza del proyecto**

"Fábrica de Tubo de Cobre II" tiene la finalidad de incrementar la producción de tubos de cobre, en un volumen proyectado de 3,000 toneladas por mes, para destinarse 2,500 toneladas para el mercado de Estados Unidos de América y el resto al mercado nacional.

### **2.2.3. Ubicación del proyecto**

Estado: México      Municipio: Jocotitlán      Localidad: Pastejé.

En la Figura 2.1 se presenta la ubicación.

### **2.2.4. Coordenadas de predio**

El proyecto de ampliación de "Fábrica de Tubo de Cobre II", está localizado en la zona norte del complejo industrial; tiene una ubicación de acuerdo a las siguientes coordenadas: 99° 46' al oeste del meridiano de Greenwich y 19° 36' latitud norte.

### **2.2.5. Colindancias del predio y los usos del suelo en un radio de 200 metros en su entorno**

La Unidad Industrial Pastejé, está situada en una zona industrial, y el área circundante es básicamente agrícola, colinda al norte con la Hacienda Pastejé, al sureste y oeste con cultivos de temporal (maíz) y al este con la Carretera Panamericana México-Querétaro, también se localizan en los alrededores cultivos de temporal como maíz y avena.

### **2.2.6. Superficie**

<b>Total</b>	20,000 m <sup>2</sup>
<b>Requerida</b>	12,600m <sup>2</sup>

### **2.2.7. Origen legal del predio**

De acuerdo con la escritura, en el año de 1961, el predio de la Unidad Industrial Pastejé se reconoció como propiedad privada, al adquirirse de "Ganadería Pastejé" doscientas hectáreas para destinarlas a usos industriales.

### **2.2.8. Descripción de acceso**

El acceso al predio donde se desarrolla el proyecto es el km 109 de la carretera Toluca-Atlaacmulco, con accesos hacia Guadalajara, México, vía San Juan del Río y con carretera de cuota que cruza al estado de Michoacán. La estación de ferrocarril más cercana se ubica en el municipio de Atlaacmulco, a 22 km de distancia y corresponde al tramo Toluca-El Oro-Hidalgo (Figura 2.2).

### **2.2.9. Actividades conexas**

Las actividades que se desarrollan alrededor del proyecto son industriales básicamente, siendo las siguientes:

En la zona norte están ubicadas las naves industriales A, B, C, D, E, F y G. Esta última es donde se instalará el proyecto (Figura 2.3).

- Nave A (ITESA): Fabricación de cuchillas de alta tensión, cuchillas unipolares, accionamientos de motor y columnas de vidrio.
- Nave A (EMPAQUES DE MADERA): Fabricación de empaques y embalajes, tales como rejas, cajas, tarimas, tapas y carretes.
- Nave B (BYMISA): Fabricación de bandas moldeadas, bandas prensa, manguera recta y moldeada, granulado de cloruro de polivinilo (PVC, por sus siglas en inglés), tapetes y resortes.
- Nave C (ROSPATCH MEXICANA): Fabricación de etiquetas estampadas y elaboradas en diferentes materiales.
- Nave D (FUNDICIÓN DE HIERRO GRIS Y NODULAR): Fabricación de partes de hierro gris, las cuales sirven como materia prima de otros departamentos de producción.
- Nave E (CONDUCTORES ELÉCTRICOS): Fabricación de alambres conductores a base de cobre en diferentes calibres, también se fabrica alambre magneto.
- Nave F (FÁBRICA DE TUBO I): Fabricación de tubos de cobre en diferentes calibres; esta nave es complemento del proyecto de "Fábrica de Tubo de Cobre II".

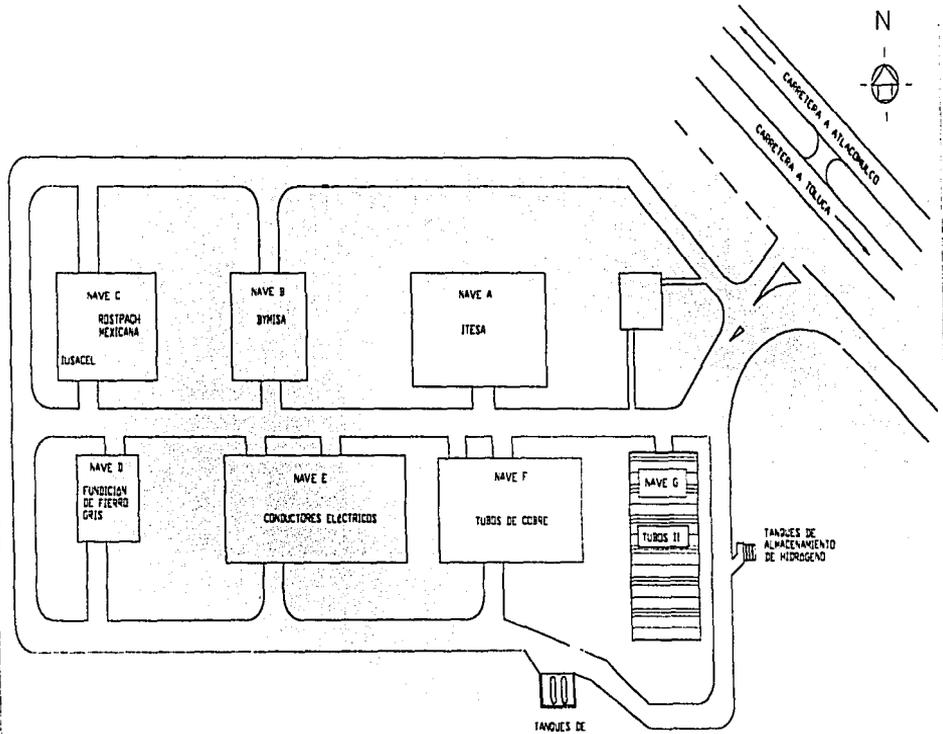
### **2.3. Aspectos del medio natural y socioeconómico**

La información recopilada en este punto describe, el entorno natural del proyecto, con la idea de identificar las posibles afectaciones a la fauna y flora del lugar como consecuencia de las obras realizadas durante la construcción y operación del proyecto. Por otra parte, describe el entorno socioeconómico, observándose el impacto en la sociedad. También como en los dos incisos anteriores, sigue la forma de presentación del formato propuesto por la SEMARNAT.

#### **2.3.1. Cualidades estéticas únicas o excepcionales**

El sitio del proyecto como se mencionó anteriormente es una zona industrial con los usos de suelo autorizados por la Dirección General de Desarrollo Urbano, por lo que el sitio no cuenta con características excepcionales.





**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Figura 23	
DIB 14/11/60/2223	ACOT. P
REV.	ESC
APR	FECHA 28 JUL 1960
INDUSTRIAS UNIDAS S.A.	

### **2.3.2. Hacinamiento**

Debido a que el sitio donde se encuentra el proyecto es un parque industrial, no existen características de aglomeración de asentamientos humanos en las inmediaciones.

### **2.3.3. Recursos acuáticos**

En el sitio del proyecto no existen recursos acuáticos. El más cercano se localiza a 6 km en línea recta y dirección sur del río Lerma y no se verá afectado la por construcción y operación del proyecto.

### **2.3.4. Atracción turística**

Los sitios más cercanos son la zonas arqueológicas de El Mogote, Los Reyes, Jcotitlán, San Francisco Chejé, Santa María Enderé y San Juan Cuajomulco, las cuales se encuentran a más de 6 km de distancia de donde se ubica el proyecto.

### **2.3.5. Zona de recreo (parques, escuelas, hospitales)**

Los sitios de reunión más próximos se encuentran a más de 6 km en los poblados de Jcotitlán, Ixtlahuaca, El Mogote, Los Reyes, San Francisco Chejé, Santa María Enderé y San Juan Cuajomulco.

### **2.3.6. Hábitat de fauna silvestre**

No se encuentra en una zona que debiera reservarse para hábitat de fauna silvestre, ya que en la actualidad la zona está considerada como industrial.

### **2.3.7. Especies acuáticas**

No se encuentra cercano a una zona con presencia de especies acuáticas. Las que hay se desarrollaron en algunos afluentes del río Lerma, tales como el río Santa Cruz y los arroyos de La Barranca y del Pescado. En general, se trata de arroyos intermitentes, presas, bordos e incluso canales artificiales de riego que, en su conjunto, forman una cuenca importante cuyo principal colector o cuerpo receptor es el Río Lerma, cuya dirección se desarrolla del sureste al noroeste, iniciándose en la Laguna de Almoloja del Río, hasta la desembocadura de Santiago en el Océano Pacífico.

En las presas y bordos se encuentran diversas especies como carpa corriente, carpa de Israel, charal, ajolote y acocil las cuales no se verán afectadas por el desarrollo de este proyecto.

### **2.3.8. Ecosistemas excepcionales**

No aplica.

### **2.3.9. Centros culturales, religiosos o históricos de país**

Como se mencionó anteriormente los centros culturales, religiosos o históricos del país, se encuentran aproximadamente a 6 km de distancia, lo suficientemente lejano en caso de que ocurriera un siniestro.

### **2.3.10. Características arqueológicas**

No aplica.

### **2.3.11. Pesquerías comerciales**

No aplica.

### **2.3.12. Sitios alternativos para establecer el proyecto**

No existen sitios alternativos, dada la naturaleza del proyecto, además de que se pretende continuar con el plan de desarrollo de la Unidad Industrial Pastejé. La ubicación de este proyecto está favorecida por los conceptos de disponibilidad de mano de obra, transporte, disponibilidad de materia prima y procesos productivos afines, entre otros.

### **2.3.13. Actividades que se desarrollan en un radio aproximado de 10 km del área del proyecto**

(Si) Tierras cultivables

Alrededor de la zona, se desarrollan cultivos de temporal y cría de ganado bovino, muchos de ellos son propiedad de la empresa.

(No) Bosques

(Si) Actividades industriales

El Complejo Industrial cuenta con tres zonas: Norte, centro y sur (Figura 2.4). En la Zona Centro se desarrollan actividades tales como la elaboración de transformadores móviles, unidades de control y telefónicas, medidores domiciliarios monofásicos, medidores de electricidad industriales, artículos eléctricos, fabricación de piezas plásticas por moldeo, elaboración de bolígrafos, marcadores y repuestos, manufactura de prendas de mezclilla, fabricación de piezas de aluminio (medidores de gas, válvulas, etc.), producción de filamentos de poliéster, "nylon" y polipropileno así como la fabricación de pararrayos. Esta zona se encuentra localizada aproximadamente a 1,200 m del proyecto.

En la Zona Sur se desarrollan actividades para fabricar aisladores de vidrio, ensamble de cinturones de seguridad para automóviles, fabricación de lingotes de cobre y latón. Esta zona está ubicada aproximadamente a 4,500 m del proyecto.



ESCUELA DE  
CAPACITACIÓN

RETORNO

A LOS REYES

UNIDAD SUR

A LA HACIENDA

UNIDAD CENTRO

A ATLACAMACO

ALMODO DE MICROSENG  
ALMACENAMIENTO  
DE GAS O P

UNIDAD NORTE

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 2.4

División del complejo  
industrial en 3 zonas o  
unidades

DIB.	ACDT.
CHAVE EN COLORES	*
REV.	ESC.
APR.	FECHA
	19 04 1982

INDUSTRIAS UNIDAS S.A.

Entre la Zona Sur y al Centro se ubica un proyecto de telecomunicaciones denominado Corcom, proyecto en vías de construcción. Ubicado aproximadamente a 3,500 m del proyecto.

(No) Actividades comerciales o de negocios

Las actividades comerciales o de negocios más cercanos son las que se desarrollan en los poblados de San Pedro de los Baños (5 km norte), Los Reyes (5 km noroeste), Ixtlahuaca (9 km sur), Jocotitlán (12 km norte).

(No) Centros urbanos

(No) Núcleos residenciales

(Si) Centros rurales

Los centros rurales corresponden a las localidades de San Pedro de los Baños, Los Reyes, Santo Domingo de Guzmán, San José Huereje, Ixtlahuaca, Jocotitlán.

(No) Zonas de uso restringido (por motivos culturales, históricos, arqueológicos o reservas ecológicas)

En el Estado de México las áreas protegidas se ubican hacia el centro y sur del estado y son: El Parque Nacional de Bosencheve, El Desierto del Carmen, El Parque Insurgente Miguel Hidalgo y Costilla, El Nevado de Toluca y Los Remedios. Las zonas arqueológicas se sitúan en Calixtlahuaca, Teotenango, Malinalco, etc., localizadas en poblaciones alejadas del área de estudio.

(No) Cuerpos de agua

### **2.3.14. Susceptibilidad a eventos naturales**

(Si) Terremotos (sismicidad)

La zona se encuentra ligada a la sismicidad del Eje Neovolcánico Transmexicano, los posibles epicentros de terremotos de gran magnitud son las costas de Guerrero, Michoacán y Oaxaca. A poca distancia del área de estudio se tiene un sistema de fallas de carácter regional, el cual es denominado como fractura Jocotitlán-Malinche. Este cruza la fracción central del Estado de México.

(No) Corrimientos de tierra

El área de estudio se localiza en un valle, por lo que los riesgos de sufrir deslizamientos o corrimientos de tierra, son mínimos.

(No) Derrumbamientos o hundimientos

Por la misma justificación del punto anterior, las probabilidades de derrumbamientos o hundimientos son mínimos.

(Si) Efectos meteorológicos adversos (inversión térmica, niebla, etc.)

La Estación Atlacomulco se encuentra al norte del área del proyecto. Según datos del período 1951 - 1990 los intemperismos severos que se detectaron en la estación, son los siguientes (IIIGC, 2000):

**GRANIZO:** Se tiene un total de 2.26 días con granizo distribuidos en el período 1951 - 1990.

**HELADA:** Se tiene un total de 106.83 días con heladas distribuidas en el período 1951 - 1990.

**NEVADA:** Se tiene un total de 0.11 días de nevada para un período de 25 años.

**NIEBLA:** Se tiene un total de 23.72 días con neblina distribuidos en el período 1951- 1990.

En el municipio de Jocotitlán, el mes de la primera helada es octubre, el que presenta la última helada es mayo, el número de días con nevadas son 8.

La temperatura promedio alta en el año es de 13.3°C y la temperatura promedio mínima es de 1.8°C .

(No) Inundaciones (historial de 10 años, promedio anual de precipitación pluvial)

En el período de 1970 a 1990 (datos más actualizados), se pudo ver que en San Bartolo del Llano se tuvo una precipitación media anual de 846.8 mm, con una lluvia máxima de 275.6 mm en el mes de julio y una mínima de 1.5 mm en el mes de abril.

En el municipio de Jocotitlán se tiene una lluvia total de 1006 mm, con lluvia máxima en 34 horas de 42.2 mm.

(Si) Pérdidas de suelo debido a erosión

El tipo de suelo predominante en el área de estudio es planosol mólico (Wm) de clase textural fina, el cual ocupa una extensa región. Por otra parte se tienen dos más: Andosol mólico (Tm) y Feozem lúvico (Hl) los cuales predominan en sistemas montañosos.

El origen volcánico de los suelos le dan un carácter ácido, con capacidad de fijar los fosfatos y ser fácilmente erosionable.

La erosión es provocada por escurrimientos naturales de agua, al haberse perdido la cubierta forestal a principios del siglo XX, así como por las corrientes de aire. Se pueden ver por los alrededores de esta zona tierras con diferentes niveles de erosión.

(Si) Contaminación de las aguas superficiales debido a escurrimientos y erosión

Más que contaminación de las aguas superficiales por escurrimiento, se puede decir que es únicamente la incorporación de los diferentes constituyentes del suelo a los cuerpos de agua, pero no reflejan un deterioro ecológico para poder referirse a contaminación.

(No) Riesgos radiológicos

No aplica.

### **2.3.15. Informes sobre contaminación del aire, de las aguas o por residuos sólidos, debido a otras actividades en la zona del proyecto**

Los informes sobre contaminación en el área se refieren al efecto que ha tenido el desarrollo industrial y de las comunidades cercanas y se refiere básicamente a la generación de residuos sólidos y peligrosos; así mismo, también se tiene que la calidad del agua de algunos cuerpos receptores tal como el arroyo Sila que es el afluente del Río Lerma presentan niveles de contaminación importantes. Sin embargo, toda esta contaminación proviene de los parques industriales de Toluca, Lerma, Ocoyoacac, Tianguistenco, además de participar también las descargas de aguas residuales de todas las comunidades. Debido a ello, la cuenca hidrológica a la que pertenece dicho río, tiene prioridad nacional para el desarrollo de acciones de prevención y control de la contaminación.

### **2.3.16. Niveles de ruido que pudieran afectar a las poblaciones cercanas al proyecto**

Durante las etapas de construcción y operación del proyecto no existieron niveles de ruido que pudieran afectar a las poblaciones cercanas, debido a que este proyecto se localiza a aproximadamente a 150 metros de la carretera panamericana México-Querétaro; los ruidos de mayor impacto, fueron los generados de forma temporal por la maquinaria de construcción descrita. Para la etapa de operación, los niveles de ruido estarán dentro de los límites permitidos por la Norma Oficial Mexicana 080-ECOL-1994, "que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido proveniente del escape de los vehículos automotores" y la Norma Oficial Mexicana 081-ECOL-1994, "que establece los niveles máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición".

### **2.3.17. Historial epidémico de enfermedades cíclicas en el área del proyecto**

No existen registros de enfermedades en el área del proyecto.

### **2.3.18. Animales, vegetales (terrestres o acuáticos) en peligro de extinción, dentro del área del proyecto**

No aplica por ser un parque industrial.

### **2.3.19 Afectación al hábitat**

El área de ubicación del proyecto es una zona totalmente industrial. En este sentido cabe señalar que desde el punto de vista ecológico, presenta características totalmente modificadas respecto a sus condiciones originales. Se tienen áreas agrícolas de temporal en algunas superficies alrededor del sitio. Dentro de la planta se encuentran especies arbóreas, en un número muy pequeño, de pinos eucaliptos y sauces. La fauna de la zona es de tipo doméstico, algunos roedores y pequeños reptiles.

### **2.3.20. Economía del área**

La economía del área se basa principalmente en el comercio en los "tianguis" de Toluca y Atlacomulco y siembra en terrenos de temporal.

#### **2.3.21. Ingreso medio anual per cápita de los habitantes del área del proyecto en un radio de 10 km**

De acuerdo a los datos del INEGI en el último censo realizado en el año 2000, el ingreso promedio anual de los habitantes es de menos de 15,000 pesos anuales.

#### **2.3.22. Aspectos demográficos y socioeconómicos del área de interés**

Respecto a los rasgos demográficos y socioeconómicos del área y, de acuerdo con los datos del Censo Nacional de Población 2000, la población total en el Estado de México para dicho año era de 9'815,795 habitantes, correspondiendo a la ciudad de Toluca, aproximadamente el 5% de la misma (487,612), lo que indica una baja densidad poblacional.

La población total del municipio de Jocotitlán, de acuerdo con el anuario estadístico del Estado de México 1992, era de 25,898, la población activa corresponde al 37% y el 0.88% no está especificado.

De las 10,815 personas que pertenecían a la población económicamente activa, el 13.6% no recibían ingresos por estar dedicados a otras actividades como agricultura, ganadería y pesca; el 28.8% recibía entre 0.5 a 1 salario mínimo, el 32.5 obtenía entre 1 y 2 salarios mínimos, el 19% percibía entre 2 y 10 salarios mínimos y 1.4% de 10 o más salarios mínimos.

Las actividades principales en la que la mayoría de la población económicamente activa trabaja son: La industria manufacturera (34%), agricultura, ganadería, caza y pesca (27%) y en la construcción (13%).

De las 13,216 personas que se encontraban estudiando en el municipio de Jocotitlán, el 89% correspondía a primaria, el 25.6% a secundaria y el resto a preescolar y bachillerato.

El personal docente para esta población estudiantil equivalía a 550 maestros, el 56% correspondía a primaria, el 25.6% a secundaria y el resto a preescolar y bachillerato.

Las escuelas para esta población estudiantil llegaban a 107 y el 43% correspondía a primaria, el 35% a preescolar y el resto a secundaria y bachillerato.

Del total de viviendas en el municipio de Jocotitlán (7,402), 6,552 disponían de energía eléctrica y 850 no. De estas mismas, el 75.5% disponían de agua, el 24% no tenían este servicio y el 0.6% no está especificado (INEGI,2000).

En relación con el servicio de drenaje, el 66% no disponen de este servicio, el 27% está conectado, los demás poseen fosa séptica o descargan a un cuerpo receptor. El drenaje existente descarga a la red del sistema municipal donde se cuenta con una planta de tratamiento de agua, la cual a su vez descarga en un arroyo conocido como Mataburros, que finalmente desemboca en el río Lerma.

### **2.3.23. Demanda excesiva de servicios**

- (Si) Fuerza de trabajo de la localidad
- (No) Servicios para la comunidad (vivienda y servicios en general)
- (Si) Sistema de servicios públicos y de comunicaciones
- (No) Instalaciones o servicios de eliminación de residuos

### **2.3.24. Aislamiento de sectores de núcleos urbanos (vecindarios o distritos) o zonas étnicas o barreras que obstaculicen la cohesión y cantidad cultural de vecindarios**

El proyecto no aísla sectores de núcleos urbanos, vecindarios o zonas étnicas, se ubica en una área netamente con uso de suelo industrial; se localiza en la nave G de la Zona Norte de la Unidad Industrial Pastejé.

### **2.3.25. Medidas preventivas o programas de contingencias para evitar el deterioro del ambiente**

Además de los equipos de control de la contaminación, sí se tienen contempladas otras medidas preventivas o programas de contingencia para evitar el deterioro del ambiente, las cuales se encuentran indicadas en el contexto de este estudio.

## **2.4. Etapas de construcción y operación del proyecto**

A continuación se presentan los listados de los recursos materiales, de mano de obra y de servicios que se utilizaron durante la etapa de construcción del proyecto.

Para la etapa de operación se describen, el proceso, las materias primas, productos manejados, residuos, emisiones a la atmósfera y aguas residuales generados durante la fabricación del producto de esta industria, el tubo de cobre. Además, se define el concepto de componente riesgoso, identificando los utilizados en el proceso y se

proporcionan sus propiedades físicas y químicas, los riesgos de explosión y a la salud asociados. Se proponen recomendaciones para su manejo.

#### 2.4.1. Etapa de construcción

De una forma general se presentan los materiales de construcción y maquinaria pesada utilizados durante la etapa de construcción del proyecto.

##### 2.4.1.1. Materiales requeridos por etapa del proyecto

Material	Unidad	Cantidad
Arena	Metros cúbicos	7,000
Grava	Metros cúbicos	7,000
Cemento	Toneladas	4,000
Acero AR – 42	Toneladas	350
Tabique	Piezas	36,000
Acero estructural A- 36	Toneladas	400
Lámina zintro	Piezas	13,500
Agua	Metros cúbicos	500
Energía eléctrica	Kva	10,000

##### 2.4.1.2. Requerimientos de mano de obra

Personal	Número	Porcentaje
Cuerpo técnico	21	14
Maestros de obra	9	6
Obreros y ayudantes	120	80

##### 2.4.1.3. Equipo requerido por etapa del proyecto

Etapa	Equipo	Cantidad
	Pipa para riego	1
	Tractor "Caterpillar"	2
	"Buldozer"	1
Preparación del sitio	Camiones para apoyo	2
	Motocofismadora	2
	"Payloader"	1
	Rodillo	1
	Camiones de volteo (7m <sup>3</sup> )	5
	Cargadores frontales	2
	Camionetas de apoyo técnico	5
	Grúas	3
Construcción	Camiones	5
	Planta de energía para soldadura	10
	Camiones revoladores de concreto	2
	Taladros	3
	Vibradores para hacer fluir el concreto	2

#### **2.4.1.4. Requerimientos de agua**

La demanda de agua para llevar a cabo el proyecto, fue cubierta directamente por la red de distribución hidráulica de agua cruda de la zona, la cual se abastece de un pozo que se ubica a 300 m noroeste, en línea recta al proyecto. Se calculó una demanda de 17.6m<sup>3</sup> por día por concepto de obra y del orden de 30 litros de agua por persona al día (sanitarios). El agua se almacenó en un tanque de 16 m<sup>3</sup>.

#### **2.4.1.5. Agua potable**

El agua potable para consumo fue proporcionada individualmente en bolsas de polietileno repartida diariamente a todos los trabajadores de la Unidad Industrial Pastejé. Este servicio lo lleva a cabo la empresa por contar con una planta potabilizadora de agua proveniente del pozo.

#### **2.4.1.6. Electricidad**

La alimentación de energía eléctrica es a través de la subestación principal o general que abastece a todo el complejo industrial. Esta subestación tiene un banco de transformadores con capacidades de 16 - 20 MVA, siendo el voltaje que se recibe por parte de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), de 85-115 kV y sale, posteriormente, de 23 kV, de esta última línea se abastece a todo el complejo, para finalmente regular el voltaje de acuerdo a sus necesidades con ayuda de otros transformadores.

A principios de 1990, la gerencia de seguridad e higiene, inició un programa de revisión que involucraba a todas las plantas que integran el complejo industrial Pastejé, con el fin de detectar aquellos equipos que por su naturaleza utilizaran bifenilos policlorados (BPC), como es el caso de condensadores, intercambiadores de calor, interruptores de alta tensión, transformadores, etc.

Se encontró que, como resultado de la sustitución gradual de equipos en mal estado, se tenían 10 transformadores de diferente capacidad y 30 condensadores de 30 A, fuera de uso, que contenían BPC. En 1985, fue prohibida la producción de estos compuestos. También su comercialización fue prohibida por la Unión Europea por representar un gran peligro para el ambiente y los seres vivos. Por esta razón fue necesario contratar una empresa especializada para su manejo y disposición final.

Es importante señalar que actualmente los transformadores que se encuentran en operación, están libres de BPC y se utiliza aceite mineral como aislante y refrigerante.

#### **2.4.1.7. Combustibles**

Los combustibles que se utilizaron para llevar a cabo este proyecto fueron gasolina y diesel, utilizados en equipos y transporte. Para abastecer estos combustibles se utilizó, el sistema de recarga de las gasolineras. El diesel se transportó en tambores de 200 litros para abastecer el equipo pesado; se estimó que se consumió diariamente un

promedio de 300 litros. Los tambores se manejan de la mejor forma posible identificándolos con nombre, riesgos que representan y capacidad.

## **2.4.2. Etapa de operación**

### **2.4.2.1. Descripción del proceso**

El proceso de fabricación de tubo de cobre flexible, inicia con la alimentación del cobre en forma de lingotes cilíndricos a un horno de fusión. Este horno utiliza Gas L P como combustible. El horno opera a una temperatura de 925°C. El cobre fundido es vaciado en los moldes para lingotes y estos a su vez son alimentados a una prensa (marca Mannesman) que extrude el cobre para formar un tubo; posteriormente, el tubo pasa por varios procesos, ajustando el diámetro y, finalmente, los tubos pasan a un horno de recocido para darle las características y temple requeridos; finalmente, se empacan y se depositan en el almacén de producto terminado (Figura 2.5).

#### **2.4.2.1.1. "Taladrado"**

Es el proceso inicial en la fabricación del tubo de cobre sin costura, que también es conocido como proceso Mannesman, del Departamento de Fundición se envía la materia prima en forma de lingotes cilíndricos. Las dimensiones y pesos de los lingotes varía dependiendo del producto final que se pretende lograr. La unidad de taladrado consta de un horno para calentar lingotes, un transportador para lingotes calientes, consola de mando y tablero de control, mesa de rolado y sistemas de transmisión, de cubas de decapado y de lavado. El taladrado es el único proceso de fabricación del tubo de cobre sin costura que se hace en caliente y requiere una temperatura de aproximadamente 925°C. Para elevar la temperatura hasta este punto en el lingote, se emplea un horno de gas del tipo túnel de trabajo continuo, dentro del cual se van desplazando y calentando los lingotes, movidos por un sistema de transportadores helicoidales (tomillos o gusanos), que giran a una velocidad sincronizada, obligando también a girar entre cresta y cresta de los gusanos a los lingotes, que viajan así desde la zona de carga del horno al interior de éste, después de alcanzar su temperatura plástica, hacia el exterior del horno.

Una vez caliente el lingote, desde la consola de mando, el operador acciona la compuerta del horno y acciona también los gusanos para sacar un lingote que se desliza hasta un transportador de rodillos que lo lleva a colocar hasta el molino de "taladrado", donde es movido por dos rodillos giratorios que tienen cierta inclinación entre sí y con respecto a la horizontal, que se encuentra girando en una sola dirección, obligando a girar también al lingote pero en sentido contrario a ellos. Por en medio de los rodillos de trabajo o rodillos giratorio, se encuentra un rodillo guía que sirve de sostén al lingote y gira junto con él.

La combinación del movimiento y la presión hacen penetrar el mandril de rolado por la parte central del lingote que es la más débil y por la misma presión que ejercen los rodillos de trabajo, el lingote se fractura por el centro, a medida que avanza hacia el mandril, éste agranda la perforación central inicial hasta dar el diámetro interior adecuado al tubo que está formándose y que dependerá del diámetro exterior del mandril, obteniéndose así un tubo primario. Terminada la operación, se extrae el mandril de

# FÁBRICA DE TUBO DE COBRE II

INICIA  
TERMINA  
PRODUCTO

FUNDICIÓN  
ALMACÉN DE PRODUCTO TERMINADO  
TUBOS DE COBRE

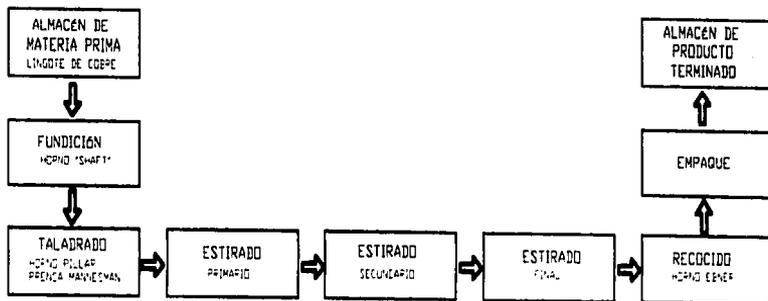


Figura 2.5 Diagrama de flujo del proceso de fabricación de tubo de cobre

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

rolado y el tubo primario ayudado por un dispositivo neumático y luego por gravedad se desliza hasta una fosa de agua de enfriamiento en donde permanece hasta enfriarse completamente.

#### **2.4.2.1.2. "Decapado"**

En el "taladrado" del tubo primario, cuando el material se somete a la acción de la temperatura en un horno de atmósfera oxidante, en la superficie del material se observa la formación de óxidos que deben eliminarse antes de pasar al proceso de estirado. De lo contrario, tales óxidos superficiales dañarán la herramienta de estirado, además de provocar que el material se reviente o raye por la incrustación de los óxidos en el metal.

Para eliminarlos, el material se somete a la acción de un ácido en un proceso llamado "decapado" y consiste en la inmersión del metal en una solución ácida.

El cobre y sus aleaciones, cuando se oxidan forman una capa superficial que consiste principalmente de óxido cúprico, óxido cuproso y óxido de zinc. Se decapa generalmente en ácido sulfúrico diluido (al 10% en volumen). La fuerza y la temperatura de la solución, así como la duración de la inmersión, varía dependiendo de la aleación por decapar y de la cantidad de óxidos que contengan. Una vez decapado, el material se enjuaga cuidadosamente.

#### **2.4.2.1.2. "Punteado"**

Es una de las operaciones de preparación del tubo primario, previa al estirado y consiste en reducir considerablemente el diámetro del tubo por uno de sus extremos para que pueda colocarse fácilmente dentro del dado de estirado sobresaliendo de éste en una longitud suficiente para ser prensado por las mordazas del carro del banco de estirado que consiste en reducir el diámetro exterior del tubo y el espesor de la pared.

#### **2.4.2.1.3. Lubricación**

La lubricación durante el proceso de estirado de la tubería de cobre es de gran importancia, puesto que reduce la fuerza de fricción entre el tubo y la herramienta y así poder lograr el flujo plástico del metal. Además, permite obtener un ahorro considerable en el consumo de energía durante la operación.

Una función secundaria que cumple el lubricante, es la de que actúa como refrigerante, disipando parte del calor generado por la fricción.

#### **2.4.2.1.4. Estirado**

El principio de estirado se basa en hacer pasar un tubo primario con  $D_1$ , espesor de pared  $E_1$  y una longitud  $L_1$  a través de una matriz de estirado, dando origen a otro tubo cuyas características dimensionales serán: diámetro  $D_2$ , espesor de pared  $E_2$  y longitud  $L_2$  (Figura 2.6).

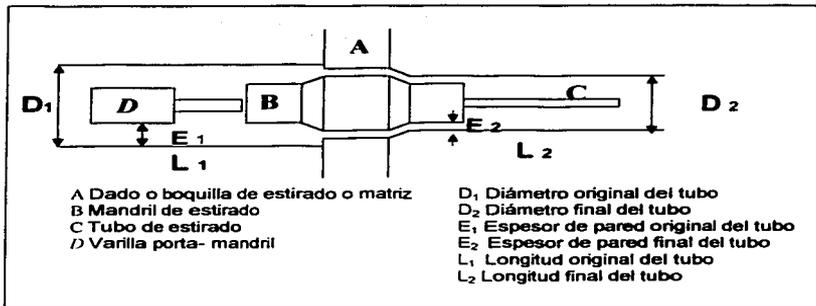


Figura 2.6 Esquema de la operación de estirado

El tubo pasa por varios procesos de estirado ajustando el diámetro de acuerdo a lo requerido. En una siguiente etapa se trata el tubo en un horno de recocido y, finalmente, se empaca y se deposita en el almacén de producto terminado.

#### 2.4.2.1.5. Atmósfera especial de gas en el horno de recocido

Si los tubos metálicos se ponen en contacto con oxígeno a altas temperaturas, el metal se oxida y se afecta su apariencia (brillo y color) cuando se encuentre a temperatura ambiente. Por lo tanto, es importante mantenerlos en una atmósfera reductora (empleando una mezcla gaseosa de hidrógeno y nitrógeno).

Los componentes de la atmósfera especial de gas provienen de los tanques que abastecen el hidrógeno y el nitrógeno. Las líneas que salen de cada tanque van hacia el panel de mezcla donde se controla el flujo de los gases que entran en la base del horno.

El sistema incluye un tanque de agua de alivio utilizado como dispositivo de presión que evalúa la presión positiva en la cámara de trabajo, una línea de muestreo que sale de la atmósfera de gas agotado, que es enviada a un analizador de gases para evaluar el nivel de hidrógeno presente en la cámara. Una vez que el nivel del hidrógeno cae por abajo del 1%, el proceso termina y la campana puede ser removida (Figura 2.7).

El proceso de los dos gases se realiza en tres etapas. La primera es la fase de purga, utilizando 100% nitrógeno gaseoso para eliminar el oxígeno en la cámara. Cuando el nivel del oxígeno llega a menos del 1% el proceso es seguro para iniciar la segunda etapa. La mezcla de nitrógeno/hidrógeno se introduce por la base del horno y circula para crear la atmósfera mediante un ventilador. En la mezcla gaseosa puede ser aumentado el porcentaje de hidrógeno para recocer diferentes tipos de metales. La fase

final es una purga de la mezcla gaseosa hasta llevar al hidrógeno a un nivel abajo del 1%. Es entonces cuando se puede quitar la campana.

### **Accesorios de seguridad**

Los accesorios de seguridad presentes incluyen purgas con interruptores, sensores de rotación del ventilador e interruptores de evaluación de flujo. Cada panel de control está equipado con una alarma audible y visual en la campana que alerta al operador de un flujo anormal de gas. El interruptor de presión en la línea de gas agotado evalúa la presión positiva dentro de la cámara y da señales de alarma si la presión se incrementa ó disminuye más allá de los límites establecidos.

#### **2.4.2.2. Materias primas y productos manejados en el proceso**

La materia prima para este proceso es básicamente cobre, el cual puede tener a los lingotes cilíndricos como materia prima original o bien todo el cobre residual producido en los procesos de extrusión, corte, estirado así como todo tubo rechazado que no cumple con los parámetros de calidad. El cobre tipo residual es un subproducto que se reciclará al 100% en este proyecto.

Se tienen otro tipo de materias primas que son importantes para el proceso de fabricación, las cuales sirven para ajustar la calidad del cobre según especificaciones en el proceso de fundición. Éstas constan básicamente de fosforo de cobre y carbón vegetal.

Entre los materiales indirectos que son importantes de mencionar, están los gases; en este proyecto, se usa Gas L P como combustible de abastecimiento de los hornos de fundición y recocido, hidrógeno que se utiliza para darle características especiales al cobre en el horno de recocido, y nitrógeno, que se usa para crear una atmósfera inerte en el proceso de recocido del tubo.

Se usan también aceites y grasas para lubricar la maquinaria y equipo del proyecto, así como aceite soluble para los procesos de corte, estirado y enfriamiento.

El producto final, como ya se mencionó, consiste de tubo de cobre en diferentes calibres o catálogos y abastece el mercado nacional y de los Estados Unidos de América.

#### **2.4.2.3. Tipo de recipientes y/o envases de almacenamiento**

El tipo de recipiente o contenedor de los materiales que se emplean para este proyecto se presentan en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Características de los tanques de almacenamiento**

Material	Tanque	Capacidad (m <sup>3</sup> )	Diámetro (m)	Longitud (m)	Observaciones
Gas L P	Horizontal	110	2.65	20.93	Dos Tanques
Hidrógeno	Vertical	1.8	0.60	7.31	Seis Tanques

En la Figura 2.8 se observan las especificaciones a detalle del tanque de almacenamiento de hidrógeno.

En la Figura 2.9 se observa el diagrama isométrico de suministro de Gas L P a los hornos de fundición y recocido.

En la Figura 2.10 se encuentran las especificaciones del tanque de almacenamiento de Gas L P.

#### **2.4.3. Sustancias involucradas en el proceso**

En este proyecto se utilizarán las siguientes sustancias:

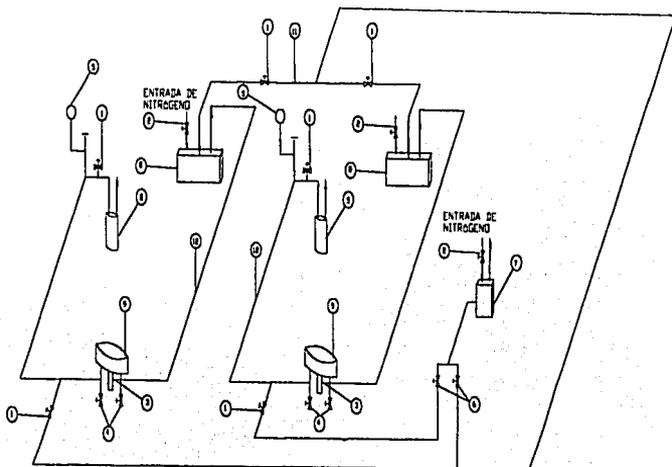
Materia prima	Materiales indirectos
Cobre Pedacería de cobre	Gas L P Hidrógeno Nitrógeno Ácido sulfúrico diluido Aceites lubricantes y de enfriamiento

#### **2.4.4. Componentes riesgosos (C R)**

Con base en el segundo listado de actividades altamente riesgosas en las que se manejen sustancias inflamables y explosivas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 4 de mayo de 1992; se tiene al Gas L P como material altamente riesgoso, debido a que la cantidad total de almacenamiento es de 220 m<sup>3</sup> que representan 110,000 kg, rebasando considerablemente la cantidad de reporte fijada en 50,000 kg.

Se cuenta también con 6 tanques de hidrógeno de 1.8 m<sup>3</sup> c/u donde se tienen 29 kg, dando un total de 174 kg. La cantidad de reporte fijada en el listado arriba citado es de 500 kg.

Como se observa, la cantidad almacenada de hidrógeno se encuentra por debajo de la cantidad de reporte. De cualquier forma, por sus características explosivas se considerará como un componente que representa riesgo ambiental y se analizará con el índice de Mond, con el fin de saber el riesgo real que representa.



No.	SIMBOLO	ACCESORIO DE LA INSTALACION
1		VALVULA DE CERRADO
2		VALVULA DE CERRADO
3		LÍNEA DE PURGA DEL VENTILADOR
4		VALVULA DE DRENADO
5		INTERRUPTOR DE PRESION DIFERENCIAL
6		VALVULA DE CERRADO
7		ANALIZADOR DE GASES
8		PANEL DE CONTROL DE FLUJO
9		HERNO TIPO CAMPANA
10		TUBERIA DE Fe CED. 80
11		TUBERIA DE Fe CED. 80
12		TUBERIA DE Fe CED. 80

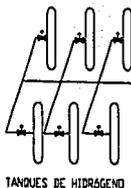
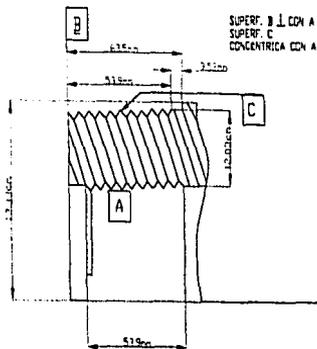


Figura 2.7

Diagrama isométrica de suministro de hidrógeno a hornos de recocado

DIB	ACOT.
6/1/54	-
REV.	ESC.
APR	FECHA
	27.02.1954

INDUSTRIAS UNIDAS S.A.



- 1- DISEÑO
- 2- TEMPERATURA DE DISEÑO
- 3- SERVICIO
- 4- MATERIAL DEL RECIPIENTE
- 5- TRATAMIENTO TERMICO

- 6- FABRICACION
- 7- INSPECCION
- 8- EXTERIOR
- 9- INTERIOR
- 10- PRUEBA DE ULTRASONIDO

- 11- VOLUMEN
- 12- PRESION DE DISEÑO
- 13- PRESION DE PRUEBA
- 14- PESO DEL RECIPIENTE

CODIGO ASME SECC. VIII DIV I 1992

-45°C A 93°C

GAS SECO NO CORROSIVO

ASME 3A 372 TIPO IV

ENFRIADO EN LIQUIDO PARA OBTENER LAS SIGUIENTES PROPS.

RESISTENCIA A LA TENSION 7382 kgf/cm<sup>2</sup> MIN, 8788 kgf/cm<sup>2</sup> MAX.

DEFORMACION 4570 kgf/cm<sup>2</sup> MIN, 15 MILS. MIN

EXPANSION LATERAL A -45°C MDMT

RECIPIENTE SIN COSTURA

INSPECCION EXTERIOR MAGNETICA REVISAR DUREZA "BRINELL"

RESISTENCIA APLICAR VALSPAR 13-F-12 TAPAPORO INORG. RICO EN Zn

LIMPIEZA AL ALTO VACIO Y PURGA CON NITRÓGENO SECO

LA PRUEBA DE ULTRASONIDO SE REALIZA PARA DETECTAR UNA

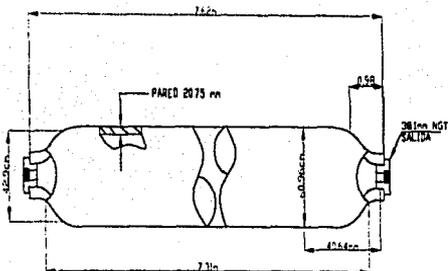
DIFERENCIA DEL 5% DEL ESPESOR DE PARED (DISEÑO).

1781 LITROS

172 kgf/cm<sup>2</sup>

258 kgf/cm<sup>2</sup>

2610 kg



VISTA LATERAL

VISTA EN PLANTA

DIA 60.96cm



ESPECIFICACIONES	
1	1 RECIPIENTE
2	2 EMPAQUE TIPO 2MP2990
3	2 EMPAQUE 2MP2134
4	1 TAPÓN SALIDA 1" NGT 2MP4407-3
5	1 TAPÓN SALIDA 1½" NGT 2MP4407-5
6	1 TAPÓN PLÁSTICO 1"APT NIAGARA TP-11

Las letras que se observan en la tabla de especificaciones: N G P y I son las variables que se utilizan para el diseño de los tapones del cilindro.

donde:

G= Diámetro de la junta

N= Ancho de la Junta

P= Presión interna del diseño del recipiente

T= Factor que involucra a K

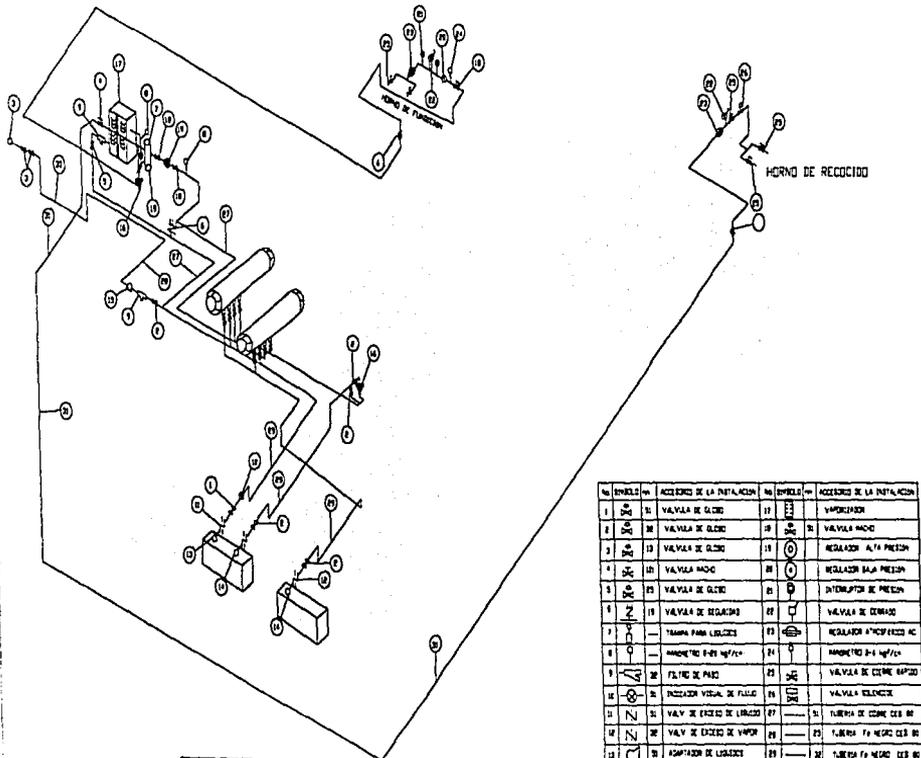
K= Relación entre el diámetro externo de la junta y el diámetro interno

Figura 2.8

Especificaciones del tanque de almacenamiento de hidrógeno

DIB	ACOT.
REV.	ESC.
APP.	FECHA

INDUSTRIAS UNIDAS S.A.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

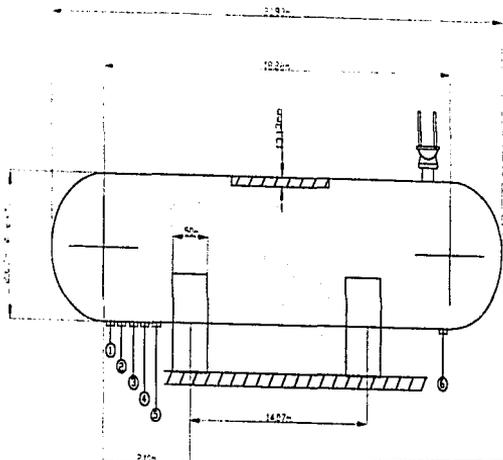
No. ENFERME	ACCESORIO DE LA INSTALACION	No. ENFERME	ACCESORIO DE LA INSTALACION
1	VALVULA DE GAS	17	VALVULON
2	VALVULA DE GAS	18	VALVULA MODO
3	VALVULA DE GAS	19	REGULADOR ALTA PRESION
4	VALVULA MODO	20	REGULADOR BAJA PRESION
5	VALVULA DE GAS	21	INTERRUPTOR DE PRESION
6	VALVULA DE RECICLADO	22	VALVULA DE CERRADO
7	TAMPA PARA LUBRICACION	23	REGULADOR APROXIMADO AC
8	MANOMETRO 0-25 kgf/cm <sup>2</sup>	24	MANOMETRO 0-1 kgf/cm <sup>2</sup>
9	FILTRO DE PAIS	25	VALVULA DE CERRADO RAPIDO
10	PROTECCION VISUAL DE FALLO	26	VALVULA + ELEMENTO
11	VALV. DE EXCESO DE LUBRICO	27	TUBERIA DE COBRE CEE 80
12	VALV. DE EXCESO DE VAPOR	28	TUBERIA Fe NEGRO CEE 80
13	AMPLIFICADOR DE LUBRICO	29	TUBERIA Fe NEGRO CEE 80
14	AMPLIFICADOR DE VAPOR	30	TUBERIA Fe NEGRO CEE 80
15	BOMBA PARA GAS LUBRICO	31	TUBERIA Fe NEGRO CEE 80
16	COMPRESOR PARA GAS VAPOR CON MOTOR DE 3 hp	32	TUBERIA DE COBRE CEE 80

Figura 29

Diagrama isométrico de suministro de gas L.P. a hornos de fundición y reciclado

INDUSTRIAS UNIDAS S.A.

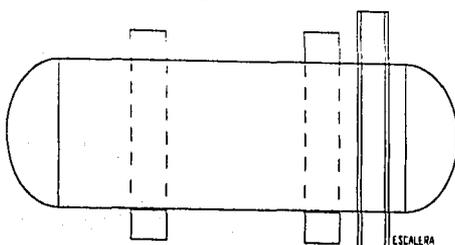
# ESPECIFICACIONES



VISTA LATERAL

- 1- VALVULA EXCESO DE GASTO (LÍQUIDO) #3'
- 2- VALVULA EXCESO DE GASTO (LÍQUIDO) #2'
- 3- VALVULA EXCESO DE GASTO (VAPOR) #2'
- 4- VALVULA EXCESO DE GASTO (VAPOR) #2'
- 5- VALVULA EXCESO DE GASTO (VAPOR) #2'
- 6- VALVULA PARA DRENAJE # 2"

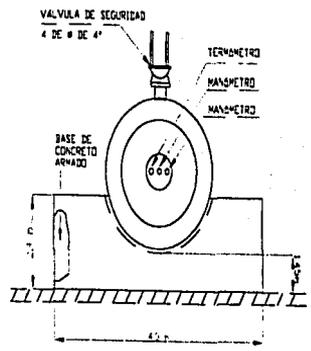
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



VISTA EN PLANTA

ESCALERA

- 1- PRESION MAXIMA DE TRABAJO 14 kg/cm<sup>2</sup>
- 2- DIAMETRO # EXT. 2604, # INT. 2650
- 3- TEMPERATURA DE DISEÑO 1310°m
- 4- ESPESOR DE PLACA DE CUERPO 8.62mm
- 5- ESPESOR DE PLACA DE CABEZAL 8.62mm
- 6- CAPACIDAD NOMINAL DE AGUA 110,000L
- 7- CABEZALES SEMIESFÉRICOS SEMIESFÉRICOS
- 8- LONGITUD TOTAL 2073m
- 9- MATERIAL DEL CUERPO ACERO AL CARBÓN ASTM A516/SA516
- 10- MATERIAL DE CABEZAS ACERO AL CARBÓN ASTM A516/SA516
- 11- NORMA DE FABRICACIÓN NOM-21
- 12- CAPACIDAD AL BOX 35,410 kg
- 13- RAYOS A CUERPO 100X CUERPO 100X
- 14- RAYOS A CABEZAS 80X CABEZAS 80X
- 15- PRESION MAXIMA DE VAPOR 12.3 kg/cm<sup>2</sup>
- 16- PRESION DE DISEÑO 14 kg/cm<sup>2</sup>
- 17- PRESION DE PRUEBA 21 kg/cm<sup>2</sup>
- 18- TARA 18,500 kg
- 19- CONTENIDO GAS L P
- 20- COEFICIENTE DE RUPTURA DEL MATERIAL 5274 kg/cm<sup>2</sup>



VISTA FRONTAL

Figura 2.10

Especificaciones del tanque de almacenamiento de Gas L P	DIB. 1974E, 20, 23, 24	ACGT
	REV.	ESC.
	APR	FECHA 19 11 1974
<b>INDUSTRIAS UNIDAS S.A.</b>		

En general, se tienen otros componentes químicos que, ya sea por su cantidad o por su naturaleza, no representan un riesgo potencial de accidente mayor. De esta forma, el presente estudio está enfocado en el análisis del Gas L P y del hidrógeno.

#### 2.4.5. Porcentaje y nombre de los C R

Hidrógeno : 100%  
 Gas L P : Propano (60%), Butano (40%)

#### 2.4.6. Número de registro del Chemical Abstract Service o CAS de la Sociedad Química Americana para cada componente riesgoso

Hidrógeno: 1333 - 74 - 0  
 Gas L P : 68476 - 85 - 7

#### 2.4.7. Número de registro de la Organización de las Naciones Unidas para cada componente riesgoso

Hidrógeno : 1972  
 Gas L P : 1075

#### 2.4.8. Nombre del fabricante o importador de los C R

Hidrógeno : Cryoinfra, S. A. de C. V.  
 Gas L P : PEMEX

#### 2.4.9. En caso de emergencia comunicarse al teléfono o fax número

En caso de emergencia para cualquier situación se tienen los siguientes:

Listas de teléfonos de las autoridades locales y servicio apoyo.

Institución	Dirección	Teléfonos
H. C. Bomberos	Toluca	01 722 2178323
Cruz roja	Atlacomulco	01 712 1227474
Policía Federal de Caminos	Toluca	01 722 2703010
Seguridad Pública y Tránsito	Atlacomulco	01 712 1230327
Protección Civil	Toluca	01 722 2132867

#### **2.4.10. Precauciones que deben ser tomadas en cuenta para el manejo y almacenamiento**

##### **Recomendaciones especiales de manejo**

###### **Hidrógeno**

- Evitar dejar líquidos atrapados en sistemas cerrados.
- Usar sólo en áreas bien ventiladas.
- Los cilindros de gas comprimido contienen hidrógeno a presión extremadamente alta y deben manejarse con cuidado.
- Usar una válvula de no retorno en los cilindros.
- Evitar golpear, rodar o arrastrar los cilindros aún en distancias cortas. Usar un carro de mano para transportarlos.

###### **Gas L P**

- Previo al trabajo con Gas L P se debe tener el adiestramiento sobre el manejo y almacenamiento adecuados.
- Las fuentes de ignición, tales como fumar y flamas abiertas, están prohibidas en lugares donde se almacena.
- La instalación eléctrica debe ser a prueba de explosión.

##### **Recomendaciones especiales de almacenamiento**

###### **Hidrógeno**

- Almacenar los recipientes en áreas bien ventiladas.
- Mantener los recipientes alejados de las fuentes de calor.
- No almacenar los recipientes en áreas de mucho tráfico para evitar golpes accidentales o que sean dañados por el paso o la caída de objetos.
- Evitar exponerlos en áreas donde hay sal y otros químicos corrosivos.
- Almacenar los recipientes separados de oxidantes como: Oxígeno, flúor, etc.

###### **Gas L P**

- Almacenar en contenedores en una área fresca y bien ventilada, lejos de oxidantes fuertes (tales como cloro, bromo y flúor).
- Aterrizar y asegurar los tanques de almacenamiento
- Equipar los tanques de almacenamiento con válvulas de seguridad, presión, tapones de vacío y arrestadores de flama.

#### **2.4.11. Especificar cumplimiento de acuerdo con la regulación de transporte**

El transporte de Gas L P e hidrógeno debe cumplir con lo establecido en el Reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos así como a las Normas Oficiales Mexicanas, NOM-009-SCT/1994, que contempla las disposiciones de compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos y NOM-010-SCT2/1994, que señala las condiciones para el transporte de las sustancias, materiales y residuos peligrosos en cantidades limitadas.

## 2.4.12. Otras precauciones

### Hidrógeno

- Usar solo materiales compatibles con temperaturas extremadamente bajas.
- Evitar el uso de acero al carbón y otros materiales que se vuelven quebradizos a bajas temperaturas.
- Cargar los cilindros de gas comprimido sólo con proveedores calificados.
- Analizar las áreas en las cuales, el hidrógeno pueda estar presente, con un analizador gases inflamables.

### Gas L P

- Verificar que exista oxígeno suficiente (18%) y que no exista una concentración explosiva antes de entrar a un espacio confinado donde esté presente el gas.
- Verificar que los trabajadores cuya ropa ha sido contaminada por el contacto con Gas L P, la cambien por ropa limpia inmediatamente.

## 2.4.13. Propiedades físicas y químicas de los Componentes riesgosos

A continuación se encuentran listadas las propiedades físicas y químicas de los componentes riesgosos (Perry y Maloney, 1993).

Nombre comercial	Hidrógeno	Gas LP	
		Propano	Butano
Fórmula química	H <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (60%)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (40%)
Peso molecular (g/gmol)	2	44	58
Punto de ebullición a 1 atm (°C)	-252.8	-42	-0.4
Calor de vaporización (J/g)	442.70x10 <sup>3</sup>	190.37x10 <sup>2</sup>	224.38x10 <sup>2</sup>
Calor de combustión gas (J/g)	141.78x10 <sup>3</sup>	503.46 x10 <sup>2</sup>	495.26x10 <sup>2</sup>
Volumen condiciones normales	119,436 L/kg	271 L/L de Líq.	235 L/L de Líquido
Presión de vapor (mmHg)	No aplica	6710.8	772.6
Densidad de vapor(aire=1)g/mL	0.0699	1.5	2.01
Reactividad en agua a T amb.	Vaporización de H <sub>2</sub>	No reacciona	No reacciona
Temperatura de autoignición (°C)	530-590	493	482
Temperatura de fusión (°C)	-259.34	-187.7	-138.3
Densidad (g/L)	0.0899	0.504 a 15.5°C	0.582 a 15.5°C
Solubilidad en agua	1.82% por vol.	Insoluble	Insoluble
Temperatura crítica (°C)	-239.9	-73.3	-58.5

#### **2.4.14. Riesgos a la salud**

##### Gas L P

- Los efectos a la salud pueden ser agudos (corto - plazo) los cuales pueden ocurrir inmediatamente después a la exposición de Gas L P o crónicos (largo plazo), los cuales pueden ocurrir después de algún tiempo de la exposición de Gas L P y pueden durar por meses o años.
- La exposición a altos niveles puede causar vértigo y aturdimiento. Niveles muy altos causan sofocación y muerte por falta de oxígeno.

##### Hidrógeno

- El hidrógeno no es tóxico pero está clasificado como asfixiante simple. La falta de respiración (anoxia) ocurre sólo cuando las concentraciones del gas están dentro del intervalo de inflamación y la mezcla no ha encendido.

#### **Contacto con la piel**

##### Hidrógeno

- El contacto de la piel con el hidrógeno (gas) puede causar quemaduras criogénicas (temperaturas extremadamente bajas) y congelamiento de los tejidos.

##### Gas L P

- El contacto de la piel con Gas L P puede causar lesión cutánea por congelación. (Reyes y Almeida, 1992)

#### **2.4.15. Riesgo de fuego o explosión**

##### Hidrógeno

El hidrógeno arde con una flama prácticamente invisible a la luz del día. Sin saberlo, las personas pueden caminar donde hay flamas de hidrógeno. Se enciende fácilmente; la mínima energía de encendido es baja (0.2 mJ) y el intervalo de inflamación es amplio. Las flamas se propagan muy rápido. Existe el riesgo potencial de una explosión cuando no se cierra la fuente de hidrógeno. El hidrógeno gaseoso es muy ligero y puede acumularse en la parte alta de los espacios cerrados.

##### Gas L P

El Gas L P es un gas más pesado que el aire, después de una fuga existe riesgo de incendio y explosión, por lo que es necesario disipar los gases aplicando chorros de agua para evitar que el gas alcance la concentración explosiva.

#### **2.4.15.1. Medios de extinción**

El medio más efectivo para extinguir un incendio de Gas L P es con agua; sin embargo, cuando ocurre un incendio en los tanques de almacenamiento de Gas L P, nunca se

debe apagar o extinguir el incendio ya que esto puede provocar una explosión, lo que se debe hacer es enfriar los tanques con suficiente agua para evitar una explosión.

#### **2.4.15.2. Equipo especial de protección**

##### **Protección respiratoria**

- Hidrógeno. Usar un equipo de respiración autónoma (Nunca usar oxígeno).
- Gas L P. Donde exista un potencial de exposición de 1,000 ppm, usar un respirador con una pieza que cubra completamente la cara. Para exposiciones de 19,000 ppm, usar un aparato respirador autosuficiente de flujo continuo.

##### **Ventilación**

- Hidrógeno. Natural o mecánica cuando hay gas o vapor.
- Gas L P. Natural o mecánica cuando hay gas o vapor.

##### **Venteo local**

- Hidrógeno. Sólo si es necesario.
- Gas L P. Sólo si es necesario.

##### **Ventilación especial**

- Hidrógeno. La ventilación mecánica debe ser a prueba de explosión.
- Gas L P. La ventilación mecánica debe ser a prueba de explosión.

##### **Gautes Protectores**

- Hidrógeno (Líquido). Gautes holgados de materiales impermeables, como camaza. Se recomienda usar gautes de camaza cuando se manejan cilindros de gas comprimido.
- Gas L P. Evitar el contacto con la piel, usar gautes holgados de materiales impermeables, como camaza. Se recomienda usarlos cuando se manejan cilindros de gas comprimido.

##### **Protección visual**

- Hidrógeno. Se recomienda usar lentes de seguridad.
- Gas L P. Se recomienda usar lentes a prueba de gases y protección completa de la cara cuando se trabaje con líquidos.

### 2.4.15.3. Procedimiento especial de combate de incendio

#### Hidrógeno

En caso de fuga:

- Restringir el paso a las personas que no cuenten con el equipo de protección adecuado, hasta la limpieza completa del área.
- Ventilar el área de la fuga o dispersión del gas.
- Cortar la fuente de hidrógeno. De ser posible permitir que el fuego continúe hasta su extinción. Rocíe con agua el equipo para mantenerlo frío.

#### Gas L P

Al controlar una fuga y/o incendio de Gas L P debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Si existe una pérdida sin presencia de fuego, debe disminuirse o parar la fuga, esta acción resulta apropiada cuando puede controlarse el flujo mediante válvulas o dispositivos de control.
- Disipar los vapores mediante la aplicación de chorros de agua, para evitar que los vapores alcancen la concentración del intervalo inflamable.
- Aplicar agua a los recipientes y equipos expuestos al calor, para enfriarlos y evitar que ocurra una explosión. El principal factor a considerar para este método es la disponibilidad de agua para la aplicación constante y durante un lapso prolongado en tanto llegan los bomberos.
- La fuente de abastecimiento de agua deberá tener la suficiente capacidad para dotar un gasto mínimo de 6.3 L/s.
- Considerar un gasto/ área (con respecto al volumen) de agua de  $6.79 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2$ , según norma de la (NFPA-15) para áreas de riesgo moderado, y tomar en cuenta que el agua absorbe  $2229.6 \text{ MJ/m}^3$
- Entre mayor dimensión tiene el tanque de almacenamiento mayor es el riesgo de que ocurra una explosión.
- Los recipientes pueden estar en serios riesgos de que se presente una explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición (conocido como BLEVE por sus siglas en inglés), después de que estos se expongan 10 minutos al fuego intenso sin agua de enfriamiento.
- Se debe tomar en cuenta el tiempo de 10 minutos como máximo para evacuar el sitio.
- Nunca se debe apagar un incendio de gas, ya que esto genera mayor riesgo de explosión, únicamente hay que enfriar los tanques con chorros de agua.

### 2.4.15.4. Productos de combustión

Hidrógeno: Agua

Gas L P : CO<sub>2</sub> y agua

#### **2.4.15.5. Inflamabilidad**

##### **Límite superior de inflamabilidad LSE (%):**

Hidrógeno: 75%

Gas L P : Propano: 9.6%; Butano: 8.60%

##### **Límite inferior de inflamabilidad LIE (%):**

Hidrógeno. 4.0%

Gas L P (Propano: 2.15%; Butano: 1.55%)

#### **2.4.16. Datos de reactividad**

A temperatura ambiente, el agua causa vaporización vigorosa del hidrógeno. El hidrógeno con el oxígeno del aire forma una mezcla cuyo manejo es peligroso, no hay reacción entre ellos sin previa ignición, pero si ésta se provoca, reaccionan violentamente (mezcla detonante) a 550°C. Con el oxígeno puro forma una reacción exotérmica muy violenta aún sin presencia de flama. En condiciones normales de presión y temperatura manifiesta poca energía química, reaccionando únicamente con gran viveza con el flúor incluso a temperaturas muy bajas (del orden de los -240°C).

##### **Condiciones a evitar**

Para el manejo del hidrógeno así como del Gas L P se deben evitar las fuentes de ignición, chispas, flamas y objetos calientes.

##### **Incompatibilidad (sustancias a evitar)**

Hidrógeno. Materiales oxidantes. Algunos aceros son susceptibles al ataque de hidrógeno y pueden tornarse quebradizos a altas temperaturas y presión.

Gas L P Almacenar lejos de oxidantes fuertes tales como cloro, bromo y flúor.

##### **2.4.16.1 Descomposición en componentes peligrosos**

Hidrógeno: Ninguno.

Gas L P: Ninguno.

##### **2.4.16.2. Polimerización peligrosa**

Hidrógeno: No ocurrirá.

Gas L P: No ocurrirá.

### 2.4.16.3. Corrosividad y radiactividad

El Gas L P y el hidrógeno no presentan características de corrosividad ó radiactividad.

### 2.4.16.4. Residuos principales

Los residuos que se generan en la etapa de operación del proyecto, se clasifican de acuerdo con las normas ambientales en peligrosos y no peligrosos. La Tabla 2.2 presenta todos los tipos que se generan.

Los residuos peligrosos son fundamentalmente grasas y aceites residuales, así como trapo y guantes impregnados con los lubricantes mencionados. Estos residuos se encuentran clasificados en la Norma Oficial Mexicana, NOM-052-ECOL-1993, "que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente".

Los residuos no peligrosos como la pedacería de cobre proveniente de los procesos de extrusión, estirado y corte; además de la escoria de cobre proveniente de la fundición, son subproductos los cuales se incorporan íntegramente al proceso. Se estima que se generan mensualmente alrededor de 45 toneladas de escorias y 600 toneladas de pedacería de cobre.

Otros residuos no peligrosos como papel, cartón, plásticos, chatarra y madera pueden enviarse a empresas dedicadas al reciclaje.

*Tabla 2.2. Residuos generados en la fabricación de tubo de cobre*

<b>Industriales</b>	<b>Domésticos</b>
Pedacería de cobre	Papel de oficina
Escorias de cobre	Papel carbón
Cartón	Basura orgánica de sanitarios
Fleje metálico	Basura orgánica de comida
Plástico	Bolsas de plástico
Trapos y guantes con grasa y aceite	
Madera	

### 2.4.17. Sistema de control y tratamientos para residuos

La empresa actualmente tiene establecidos procedimientos para el manejo de residuos peligrosos y no peligrosos, promoviendo su manejo, transporte y disposición final con apego a las normas ambientales ya sean de carácter federal o estatal. El objetivo de estos procedimientos es reducir los residuos generados. Todos los residuos que se generan son primeramente clasificados y posteriormente canalizados a su lugar correspondiente.

Los residuos identificados como peligrosos como se mencionó anteriormente son aceite residual y materiales impregnados de grasa y aceite (trapo, estopa y guantes). Este tipo de residuos se envía a la empresa Quimigal, S.A. de C.V., que se encarga del manejo, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos y extiende el manifiesto respectivo. Esta empresa cuenta con la autorización número 15-101-PS-V-15-95, expedida por la SEMARNAT.

Los residuos inorgánicos que no se puedan aprovechar nuevamente, se envían a un relleno sanitario para su disposición final. El encargado del manejo de estos residuos es el servicio de limpia del municipio de Jocotitlán .

#### **2.4.18. Factibilidad de reciclaje**

Actualmente se clasifican todos los residuos que se generan; los residuos como cartón, cloruro de polivinilo, papel, plástico, aluminio y vidrio son comercializados a particulares que se encargan de llevarlos a centros de acopio para su comercialización al mayoreo y, posteriormente, a empresas recicladoras.

Los residuos de cobre que se generen en el proyecto de "Tubo de Cobre II", se incorporan íntegramente a los hornos de fundición para su reciclamiento.

#### **2.4.19. Aguas residuales**

El proyecto "Fábrica de Tubo de Cobre II", sólo utiliza agua como enjuague para el material que pasa por el proceso de decapado. El agua producto de este proceso (agua residual), se contamina con residuos de óxido de cobre y ácido sulfúrico, fundamentalmente.

El agua residual se almacena mediante un sistema de captación y se envía a una planta de tratamiento de agua (que cuenta con los módulos de neutralización, tratamiento químico, coagulación, floculación y sedimentación), donde también llegan las aguas residuales de las demás áreas productivas de la unidad norte.

Una vez tratada el agua se almacena en una cisterna, para su uso posterior en los sistemas de riego de áreas verdes y sanitarios. La cisterna cuenta con una descarga hacia el drenaje municipal, que entra en funcionamiento cuando el nivel del agua tratada llega a una altura tal, que si no se tiene un consumo determinado, se descarga hacia el drenaje.

Los análisis del agua residual en la descarga cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-02-ECOL-1996, que establece los "límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal".

#### **2.4.20. Emisiones atmosféricas**

El proyecto, por contar con hornos de fundición, genera emisiones de partículas y gases de combustión, que se evalúan mediante un estudio y se comparan con los niveles

máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-085-ECOL-1994, "que establece los niveles, máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxido de azufre y óxidos de nitrógeno, y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión". Al encontrarse estos niveles fuera de los límites permisibles establecidos, se instaló un lavador de gases para cumplir con los niveles de emisión requeridos.

Con respecto a las emisiones de partículas al realizar una evaluación mediante un estudio isocinético, se encontró que su concentración estaban fuera de los límites permisibles. Por esta razón, se instaló un sistema de control de bolsas, en la cual quedan atrapadas las partículas que se generan durante la operación de los hornos y se cumple con los niveles establecidos en la norma arriba citada. Estas partículas se almacenan en tambores de 200 litros y se envían a la empresa Quimigal para su disposición final.

## **2.5. Identificación de riesgos**

La etapa de identificación de riesgos consiste en obtener las propiedades físico-químicas, riesgos a la salud y explosión, de los materiales objeto de estudio: Gas L P e hidrógeno, así mismo, se presenta una descripción del método utilizado para la identificación y evaluación de riesgos, su aplicación en las diferentes áreas del proceso y define aquellas que tienen la mayor vulnerabilidad; utilizando criterios dados por el método.

Al inicio se definen algunos conceptos importantes que fundamentan el estudio de riesgo.

### **2.5.1. Conceptos preliminares**

#### **2.5.1.1. Riesgo**

Possibilidad de daño, enfermedad o muerte como consecuencia de la exposición a agentes o condiciones ambientales potencialmente peligrosas.

#### **2.5.1.2. Estudio de riesgo**

Documento mediante el cual se da a conocer, a partir de las acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad, los riesgos que dichas obras o actividades representan para el equilibrio ecológico o el ambiente, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas, tendientes a minimizar los efectos adversos al equilibrio ecológico en caso de un posible accidente.

#### **2.5.1.3. Actividades altamente riesgosas**

Conjunto de acciones, ya sean de origen natural o antropogénico, asociadas con el manejo de sustancias con propiedades inflamables, explosivas, tóxicas, reactivas, radiactivas, corrosivas o biológicas, en cantidades tales que, en caso de producirse una

liberación, sea por fuga o derrame o bien una explosión, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

#### **2.5.1.4. Cantidad de reporte**

Cantidad mínima de sustancia peligrosa en producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transporte dados, que al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

#### **2.5.1.5. Accidentes mayores**

Son aquellos cuyos efectos, por su alcance, rebasan los límites de la instalación industrial o comercial y dañan la flora, la fauna, seres humanos o bienes materiales; alterando también las características del aire, agua y/o suelo.

Los siguientes criterios pueden considerarse como accidentes mayores: (OIT, 1990)

- 1.- Cualquier liberación de una sustancia peligrosa donde la cantidad total liberada, sea mayor a la que se haya fijado como segura (cantidad de reporte).
- 2.- Cualquier incendio mayor que dé lugar a la elevación de radiación térmica que exceda de 5 kW/m<sup>2</sup> por varios segundos.
- 3.- Cualquier explosión de vapor o gas que pueda ocasionar una sobrepresión igual o mayor a 3kPa.
- 4.- Cualquier explosión de una sustancia reactiva o explosiva que pueda causar daño a establecimientos fuera de las instalaciones donde se llevó a cabo el accidente mayor, al grado tal de volverlos inoperantes.
- 5.- Cualquier liberación de sustancias tóxicas, en la que la cantidad liberada puede ser suficiente para alcanzar una concentración que sea inmediatamente peligroso para la vida y la salud de las personas (IDLH).

#### **2.5.2. Fundamento legal de un estudio de riesgo**

A continuación se presenta el marco jurídico, para la realización de un estudio de riesgo.

**La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos** en el artículo 27 "... preservar y restaurar el equilibrio ecológico..." , "...evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad".

## **La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en los artículos:**

**5º.-** Son facultades de la Federación:

**Fracción VI.** La regulación y el control de las actividades consideradas como altamente riesgosas, y de la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente o los ecosistemas, así como para la preservación de los recursos naturales, de conformidad con esta Ley, otros ordenamientos aplicables y sus disposiciones reglamentarias.

**Fracción X.** La evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades a que se refiere el artículo 28 de esta Ley y, en su caso, la expedición de las autorizaciones correspondientes.

**Artículo 23.** Para contribuir al logro de los objetivos de la política ambiental, la planeación del desarrollo urbano y la vivienda, además de cumplir con lo dispuesto en el artículo 27 constitucional en materia de asentamientos humanos.

**Fracción III.** En la determinación de las áreas para el crecimiento de los centros de población, se fomentará la mezcla de los usos habitacionales con los productivos que no representen riesgos o daños a la salud de la población y se evitará que se afecten áreas con alto valor ambiental.

**Fracción VIII.** En la determinación de áreas para actividades altamente riesgosas, se establecerán las zonas intermedias de salvaguarda en las que no se permitirán los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población.

**Artículo 28.** La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente.

**Artículo 30.** Para obtener la autorización a que se refiere el artículo 28 de esta Ley, los interesados deberán presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental, la cual deberá contener, por lo menos, una descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o actividad de que se trate, considerando el conjunto de los elementos que conforman dichos ecosistemas, así como las medidas preventivas, de mitigación y las demás necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.

Cuando se trate de actividades consideradas altamente riesgosas en los términos de la presente Ley, la manifestación deberá incluir el estudio de riesgo correspondiente.

**Artículo 45.** La Secretaría promoverá que en la determinación de los usos del suelo se especifiquen las zonas en las que se permita el establecimiento de industrias, comercios

o servicios considerados riesgosos por la gravedad de los efectos que puedan generar en los ecosistemas o en el ambiente.

**Artículo 146.** La Secretaría, previa opinión de las Secretarías de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, de Gobernación y del Trabajo y Previsión Social, conforme al Reglamento que para tal efecto se expida, establecerá la clasificación de las actividades que deban considerarse altamente riesgosas en virtud de las características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas para el equilibrio ecológico o el ambiente, de los materiales que se generen o manejen en los establecimientos industriales, comerciales o de servicios, considerando, además, los volúmenes de manejo y la ubicación del establecimiento.

**Artículo 147.** La realización de actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosas, se llevarán a cabo con apego a lo dispuesto por esta Ley, las disposiciones reglamentarias que de ella emanen y las normas oficiales mexicanas a que se refiere el artículo anterior.

Quienes realicen actividades altamente riesgosas, en los términos del Reglamento correspondiente, deberán formular y presentar a la Secretaría un estudio de riesgo ambiental, así como someter a la aprobación de dicha dependencia y de las Secretarías de Gobernación, de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud, y del Trabajo y Previsión Social, los programas para la prevención de accidentes en la realización de tales actividades, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos.

**Artículo 148.** Cuando para garantizar la seguridad de los vecinos de una industria que lleve a cabo actividades altamente riesgosas, sea necesario establecer una zona intermedia de salvaguarda, el Gobierno Federal podrá, mediante declaratoria, establecer restricciones a los usos urbanos que pudieran ocasionar riesgos para la población. La Secretaría promoverá, ante las autoridades locales competentes, que los planes o programas de desarrollo urbano establezcan que en dichas zonas no se permitirán los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población.

**Artículo 149.** Los Estados y el Distrito Federal regularán la realización de actividades que no sean consideradas altamente riesgosas, cuando éstas afecten el equilibrio de los ecosistemas o el ambiente dentro de la circunscripción territorial correspondiente, de conformidad con las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables.

### **El Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental.**

**Artículo 17.** El promovente deberá presentar a la Secretaría la solicitud de autorización en materia de impacto ambiental.

Cuando se trate de actividades altamente riesgosas en los términos de la Ley, deberá incluirse un estudio de riesgo.

La SEMARNAT, publicará en el diario oficial de la federación y en la gaceta ecológica, las guías que faciliten la presentación y entrega del estudio de riesgo.

**Primer listado de actividades altamente riesgosas, publicado en el Diario Oficial de la Federación el 28 de marzo de 1990.**

**Segundo listado de actividades altamente riesgosas publicado en el Diario Oficial de la Federación el 4 de mayo de 1992.**

### **2.5.2.1. Justificación de la realización de un estudio de riesgo para la "Fábrica de Tubo de Cobre II"**

Con base en el segundo listado de actividades altamente riesgosas, se considera como actividad altamente riesgosa, el manejo de sustancias peligrosas en un volumen igual o superior a la cantidad de reporte. El proyecto "Fábrica de Tubo de Cobre II" utiliza como combustible en los hornos de fundición y recocido, Gas L P, por lo que almacenan 110,000 kg Gas L P, sustancia considerada como altamente riesgosa, esta cantidad supera la cantidad de reporte establecida en el segundo listado de 50,000 kg.

Se cuenta también con 6 tanques de hidrógeno de 1.8 m<sup>3</sup> c/u que representan en masa 29 kg. Dando un total de 174 kg. La cantidad de reporte fijada en el listado arriba citado es de 500 kg.

Como se observa la cantidad almacenada de hidrógeno se encuentra por abajo de la cantidad de reporte. De cualquier forma, por sus características explosivas se considerará como un componente que representa riesgo ambiental y se analizará con el índice de Mond, con el fin de saber el riesgo real que representa.

Para determinar el riesgo que representa la instalación de tubo de Cobre II, fue importante diferenciar dos aspectos:

A) El riesgo inherente del proceso industrial, el cual depende de la naturaleza de los materiales involucrados, al tipo de energías y combustibles empleados, condiciones de operación a la vulnerabilidad de los equipos que integran el proceso, así como su distribución en la nave productiva y, finalmente, el manejo del mismo por el personal.

B) El riesgo de la instalación, dándole importancia a la ubicación de la empresa y a los factores ambientales, los cuales incrementarían el nivel de riesgo en un momento determinado y que podrían afectar a la población vecina a la instalación.

Considerando los dos aspectos, es importante su análisis para adoptar medidas preventivas que nos permitan reducir el nivel de riesgo a un valor aceptable.

### **2.5.3. Metodología para la evaluación de riesgos**

#### **2.5.3.1. Índice de Mond**

El método de evaluación de riesgo que se utilizó es el índice de Mond, fue desarrollado a partir del índice de Dow, por la empresa ICI (Imperial Chemistry Industries) en 1979. La versión utilizada en este estudio incorpora la experiencia obtenida en su aplicación a diferentes procesos de la industria química.

El índice de Mond es un método de evaluación de riesgos que permite obtener resultados numéricos para cada sección de la planta en función de las características de las sustancias manejadas, de su cantidad, del tipo de proceso que se trate y sus condiciones específicas de operación (MAPFRE, 1995).

Estos resultados numéricos son asociados a diferentes niveles de riesgo potencial. El índice está principalmente dirigido a evaluar posibles problemas de incendio, explosión y efectos de toxicidad.

El cálculo del índice se realiza asignando una serie de bonificaciones o penalizaciones a los que se les llama factores. En función de las características de cada unidad, el método permite calcular un índice general para cada unidad, así como una serie de índices parciales para caracterizar los riesgos de incendio, explosión y toxicidad.

Dentro de los usos importantes del índice de Mond, se encuentran los que se refieren a la construcción de nuevas plantas o procesos de alto riesgo, su empleo en etapas iniciales de un proyecto puede ayudar a identificar los elementos que requieran de un estudio más detallado empleando técnicas cuantitativas determinísticas de análisis de riesgos, tales como análisis de nubes explosivas, efectos de radiación térmica, etc.

El empleo del índice de Mond, puede conducir a ahorros considerables al promover diseños mas sencillos a la inversión racional a equipos y sistemas de seguridad (Butrón-Silva, 1981).

#### **2.5.3.2. Descripción del método**

##### **A) División de la planta en unidades o secciones**

Se define como unidad o sección, a una parte de la planta que se puede caracterizar rápidamente como un parte física separada. Además, la unidad puede diferir en la naturaleza de la operación que desempeña, los materiales que maneja o las condiciones de operación.

Con el análisis de cada una de las unidades, es posible obtener una visión completa de las características de riesgo de la planta. La división de la planta en varias unidades permite la evaluación de los riesgos de cada una, por separado y presentar recomendaciones particulares.

##### **B) Selección del material clave**

El material clave es aquél que por sus características físicas, químicas y por su cantidad, representa el potencial más grande en la emisión de energía, ya sea por explosión, combustión o reacción exotérmica de cualquier tipo, dentro de la unidad de estudio.

### C) Desarrollo del método

El índice de Mond se desarrolla en tres fases; la primera fase considera a la unidad en su forma básica, con el mínimo de instrumentación necesarios para su operación normal. Se evalúan las propiedades del material clave y los efectos por el tipo de proceso, efectos por las condiciones del proceso, cantidad manejada, características relevantes de la distribución y toxicidad del material clave.

Una vez que se han asignados las penalizaciones o bonificaciones se procede a calcular los índices de acuerdo a las ecuaciones correspondientes y anotar las categorías empleando las Tablas de la 2.3 a la 2.9. Es importante considerar que esta evaluación representa el peor de los escenarios posibles.

La segunda fase, consiste en la revisión de los factores que contribuyen a los valores de los índices calculados, esto proporciona la oportunidad para reconsiderar los factores de calificación asignados en el paso anterior, buscar información más precisa de los materiales del proceso, materiales de construcción o condiciones de la planta.

La tercera fase, consiste en la evaluación de los factores de seguridad. Estos factores están relacionados con los sistemas de seguridad con que cuenta la planta reducen el potencial de riesgo, hasta niveles aceptables.

### D) Secuencia de cálculo del índice de Mond

Cálculo de índices sin considerar factores de seguridad

#### 1.- Cálculo del factor para el material clave señalado en (B)

El material clave (más riesgoso y/o el de mayor cantidad), se define como una medida del fuego, explosión o energía potencial liberada, a una temperatura de 25°C a presión atmosférica (gas, líquido o sólido). En el formato de trabajo el factor material se designa con la letra B y se calcula de la siguiente forma:

a) Material inflamable  $B=f(\text{Calor de combustión})$

$$B = \frac{\Delta H}{1,000} (\text{Btu/lb}) = \frac{\Delta H}{429.92} (\text{kJ/kg}) \quad (2.1)$$

donde  $\Delta H = \text{Calor de combustión del material clave}$

#### 2.- Determinación de riesgos especiales del material clave como M = suma de factores

Para determinar este factor es necesario tomar en cuenta las propiedades específicas del material clave cuando se mezcle con otros materiales.

- a) Material oxidante
- b) Reacción con agua que produzca gases o vapores combustibles
- c) Características de mezclado y dispersión = m
- d) Sujeto a calentamiento espontáneo
- e) Sujeto a rápida polimerización espontánea
- f) Sensibilidad a la ignición
- g) Sujeto a descomposición explosiva
- h) Sujeto a detonación en fase gas
- i) Propiedades de la fase condensada
- j) Otros riesgos

### 3.- Determinación de riesgos generales del proceso, P = suma de factores

Para la determinación del factor P se toman en cuenta las características de la reacción del material clave.

- a) Manejo y cambio físico solamente
- b) Reacción única
- c) Reacción única por etapas
- d) Múltiples reacciones en un mismo equipo
- e) Transferencia de material
- f) Contenedores transportables

### 4.- Determinación de riesgos especiales del proceso, S = suma de factores

Para la determinación del factor S, se toman en cuenta las características de operación del proceso, almacenamiento, transporte, etc.

- a) Baja presión (< 0.7182 kPa = 15 Psi)
- b) Alta presión = p
- c) Baja temperatura (Acero al carbón + 10°C a - 10°C)
- d) Alta temperatura- Inflamabilidad. Materiales de construcción
- e) Corrosión y erosión
- f) Fugas en juntas y empaques
- g) Vibración, ciclos de carga, etc.
- h) Procesamiento o reacciones difíciles de controlar
- i) Operación cerca o dentro de los límites de inflamabilidad
- j) Proceso con riesgo de explosión mayor que el promedio de riesgo
- k) Polvos o mezclas riesgosas
- l) Oxidantes altamente fuertes
- m) Sensibilidad del proceso a la ignición
- n) Riesgos electrostáticos
- o) Temperatura del proceso T

### 5.- Riesgos por cantidad de material total Q, cantidad en toneladas ( K )

Se refiere a la cantidad de material utilizado en las diferentes secciones de la planta o en toda la unidad a estudiar; incluye tuberías, tanques y recipientes de proceso.

## 6.- Riesgos por condiciones de la nave, L = suma de factores

Altura en m = H

Área normal de trabajo en m<sup>2</sup> = N

- a) Diseño de estructuras
- b) Efecto dominó
- c) Bajo tierra
- d) Drenaje superficial
- e) Otros

## 7.- Riesgos por toxicidad. T = suma de factores

- a) TLV o VMP, valor máximo permisible (Threshold Limit Value)
- b) Forma de material
- c) Riesgo de explosión corta
- d) Absorción por la piel
- e) Factores físicos

## 8.- Cálculo de índices

Los índices que deben calcularse son:

### a) ÍNDICE GENERAL DE RIESGOS

$$D = B \left( 1 + \frac{M}{100} \right) \left( 1 + \frac{S+Q+L}{100} + \frac{T}{400} \right) \left( 1 + \frac{P}{100} \right) \quad (2.2)$$

donde:

B = Factor Material

M = Factor de Riesgos Especiales de Material

P = Factor por Riesgos Generales de Proceso

S = Factor por Riesgos Especiales de Proceso

Q = Factor por Riesgos por Cantidad

L = Factor por Riesgos por Distribución

T = Factor por Riesgos de Toxicidad

D = Índice general de riesgo

En la Tabla 2.3 se presentan la clasificación del índice general de riesgo.

Tabla 2.3. Clasificación del índice general de riesgo (MAPFRE., 1995)

Índice General de Riesgo	Categoría
0-20	Suave
20-40	Ligero
40-60	Moderado
60-75	Moderadamente alto
75-90	Alto
90-115	Extremo
115-150	Muy extremo
150-200	Potencialmente catastrófico
Más de 200	Muy catastrófico

b) CARGA DE FUEGO (F)

El cálculo de la carga de fuego se basa en la radiación del material por área plana, lo que permite efectuar una comparación con valores para otros tipos de edificios:

$$F = \left( \frac{B \times K}{N} \right) \left( \frac{20,500 \text{ Btu}}{\text{ft}^2} \right) = \frac{\text{Factor Material (B) x ton. de material}}{\text{Área de trabajo}} \quad (2.3)$$

donde K es la cantidad total de material clave en la sección  
N es el área normal de trabajo de la sección.

En la Tabla 2.4 se presentan las categorías asignadas a los valores del índice por carga de fuego.

Tabla 2.4. Categoría por carga de fuego (MAPFRE., 1995)

Cantidad de fuego en Btu/ft <sup>2</sup> de área normal de trabajo	Categoría	Intervalo de duración del fuego en horas
0 – 50,000	Ligero	0.25 a 0.50
50,000 – 100,000	Bajo	0.50 a 1.0
100,000 – 200,000	Moderado	1.0 a 2.0
200,000 – 400,000	Alto	2.0 a 4.0
400,000– 1,000,000	Muy alto	4.0 a 10.0
1,000,000– 2,000,000	Intenso	10.0 a 20.0
2,000,000– 5,500,000	Extenso	20.0 a 50.0
5,500,000– 10,000,000	Muy extenso	50.0 a 100.0

La ecuación 2.4 y la tabla 2.5 se transforman al Sistema Internacional y quedan como sigue:

$$F = \left( \frac{B \times K}{N} \right) 64.65 \left( \frac{\text{kW}}{\text{m}^2} \right) = \frac{\text{Factor Material (B) x ton. de material}}{\text{Área de trabajo}} \quad (2.4)$$

Tabla 2.5. Categoría por carga de fuego en el SI

Cantidad de fuego en kW/m <sup>2</sup> de área normal de trabajo	Categoría	Intervalo de duración del fuego en horas
0 – 157.7	Ligero	0.25 a 0.50
157.7 – 315.4	Bajo	0.50 a 1.0
315.4 – 630.8	Moderado	1.0 a 2.0
630.8 – 1261.6	Alto	2.0 a 4.0
1261.6 – 3154	Muy alto	4.0 a 10.0
3154 – 6308	Intenso	10.0 a 20.0
6308 – 15770	Extenso	20.0 a 50.0
15770 – 31540	Muy extenso	50.0 a 100.0

### c) ÍNDICE DE TOXICIDAD (U)

Un índice unitario de toxicidad U se calcula de manera que represente la influencia de la toxicidad y consideraciones afines sobre el control y supervisión de la planta.

$$U = \frac{T}{100} \left( 1 + \frac{M+P+S}{100} \right) \quad (2.5)$$

donde U = Índice de toxicidad  
 T = Factor de riesgos por toxicidad  
 M = Factor de riesgos especiales del material  
 P = Factor de riesgos generales del proceso  
 S = Factor de riesgos especiales del proceso

En la Tabla 2.6 se presentan las categorías asignadas a los valores del índice unitario de toxicidad U.

Tabla 2.6. Categoría de los índices de toxicidad (MAPFRE, 1995)

Índice U	Categoría
0 a 1	Ligero
1 a 3	Bajo
3 a 6	Moderado
6 a 10	Alto
Arriba de 10	Muy alto

d) **ÍNDICE DE MÁXIMO INCIDENTE TÓXICO (C)**

Usando el índice unitario de toxicidad U y el factor de cantidad Q se calcula el índice del máximo incidente tóxico C:

$$C = Q U \quad (2.6)$$

La Tabla 2.7 presenta las categorías asignadas a valores del índice del máximo incidente tóxico C.

Tabla 2.7. Categoría del Índice de máximo incidente tóxico (MAPFRE, 1995)

Índice C	Categoría
0 a 20	Ligero
20 a 50	Bajo
50 a 200	Moderado
200 a 500	Alto
Arriba de 500	Muy alto

e) **ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA (E)**

El cálculo del índice E es una medida del riesgo de explosión interna en la planta.

$$E = 1 + \frac{m+p+S}{100} \quad (2.7)$$

En la Tabla 2.8 se presentan las categorías asignadas a los valores del índice E.

Tabla 2.8. Categoría del Índice para explosión interna de la sección (MAPFRE, 1995)

Índice E	Categoría
0 a 1.0	Ligero
1.0 a 1.25	Bajo
1.25 a 4.0	Moderado
4.0 a 6.0	Alto
arriba de 6	Muy alto

### f) ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA (A)

Otro riesgo potencial por explosión de la sección, es el que representa el índice de explosión aérea A.

$$A = B \left( 1 + \frac{m}{100} \right) \left( Q H E \frac{T}{300} \right) \left( \frac{1+p}{1000} \right) \quad (2.8)$$

donde

- m = Factor de mezclado por dispersión
- H = Altura de la unidad
- T = Temperatura del proceso
- p = Factor por alta presión

Las variables B, Q, y E ya fueron definidas antes.

En la Tabla 2.9 se presentan las categorías asignadas a los valores del índice A.

Tabla 2.9 Categoría del índice para explosión aérea (A) (MAPFRE, 1995)

Índice A	Categoría
0 a 10	Ligero
10 a 30	Bajo
30 a 100	Moderado
100 a 500	Alto
Arriba de 500	Muy alto

### g) ÍNDICE TOTAL DE MOND

El índice total de Mond se calcula con la ecuación (2.8). Utiliza los índices parciales calculados previamente, con las ecuaciones 2.3, 2.4, 2.6 y 2.7:

$$R = \left( 1 + \frac{\sqrt{FUEA}}{1000} \right) \quad (2.9)$$

donde

- R = Índice total de Mond
- F = Índice por carga de fuego
- U = Índice de toxicidad
- E = Índice de explosión interna
- A = Índice de explosión externa

## **h) FACTORES DE SEGURIDAD PARA CORRECCIÓN DE ÍNDICES CALCULADOS**

El cálculo de los factores de seguridad esta relacionado con las medidas de seguridad con que las que cuenta la planta y su objetivo es reducir el potencial de riesgo como se mencionó en el desarrollo del método. A continuación se presentan las características que influyen directamente en el cálculo de los factores de  $K_1$  a  $K_6$ .

### **1.- Prevención de riesgos en almacenamiento $K_1$ = producto de factores**

Este rubro se refiere a la reducción de riesgos como consecuencia de cualquier mejora en el diseño de los recipientes a presión y sistemas de tuberías. Además considera su protección contra daño accidental, procedimientos de mantenimiento y modificaciones. Las características a considerar son las siguientes:

- a) Recipientes a presión.
- b) Tanques verticales de almacenamiento no presurizados.
- c) Líneas de transferencia, tensión de diseño, juntas y empaques.
- d) Contenedores adicionales.
- e) Detección y respuesta a fugas y derrames.
- f) Desecho de material derramado.

### **2.- Control de proceso $K_2$ = producto de factores**

El control de procesos, considera los sistemas de paro de seguridad y alarmas activadas por condiciones anormales especificas de proceso tales como:

- a) Sistema de alarma
- b) Suministro de energía de emergencia
- c) Sistema de enfriamiento de proceso
- d) Sistema de gas inerte
- e) Actividades de estudio de riesgo
- f) Sistema de paro de seguridad
- g) Control por computadora
- h) Protección contra explosión ó reacción incorrecta
- i) Instrucciones de operación
- j) Supervisión de planta

### **3.- Actitud de seguridad $K_3$ = producto de factores**

La actitud de la gerencia hacia las normas de seguridad contribuye significativamente a la reducción de la frecuencia de accidentes. Incluye:

- a) Involucramiento de la gerencia
- b) Entrenamiento de seguridad
- c) Procedimiento de seguridad y mantenimiento

#### 4.- Protección contra fuego $K_4 =$ producto de factores

En este rubro se consideran las medidas para asegurarse que las estructuras y recipientes de la sección estén provistos de protección efectiva contra el fuego. Entre ellos destacan:

- a) Recubrimiento a estructuras
- b) Barreras resistentes a fuego
- c) Equipo de protección contra incendios

#### 5.- Aislamiento de corte de material $K_5 =$ producto de factores

En el aislamiento de corte de material se toman en cuenta todos aquellos dispositivos y sistemas que ayudan a cortar o interrumpir el flujo de material hacia la sección, como válvulas de cierre rápido, válvulas de exceso de flujo, etc:

- a) Sistema de válvulas
- b) Ventilación

#### 6.- Combate de incendios $K_6 =$ producto de factores

Uno de los rubros más importantes en considerar, es que si se presenta un incendio se cuenten con el personal y equipo adecuado para combatirlo. Entre el equipo destacan:

- a) Alarma de emergencia
- b) Extintores
- c) Red contra incendios
- d) Espuma
- e) Respuesta de la brigada
- f) Cooperación con otras plantas
- g) Extractores de humo

#### i) CÁLCULO DE ÍNDICES FINALES ATRAVÉS DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD

Por último los índices finales  $F_f$ ,  $E_f$ ,  $A_f$  y  $R_f$  se calculan con las ecuaciones 2.10, 2.11, 2.12 y 2.13 que a continuación se presentan y son utilizados para conocer el potencial del riesgo que representa la sección.

$$a) \text{ CARGA DE FUEGO} \quad F_f = F \ K_1 \ K_4 \ K_5 \quad (2.10)$$

Corregido por prevención en almacenamiento, protección contra incendios, aislamiento de material.

$$b) \text{ ÍNDICE DE EXPLOSIÓN} \quad E_f = E_1 \ K_2 \ K_3 \quad (2.11)$$

Corregido por control de proceso y actitud en seguridad.

c) **ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA**  $Af = A_2 K_1 K_5 K_6$  (2.12)

Corregido por prevención en almacenamiento, aislamiento de material combate de incendios.

d) **ÍNDICE TOTAL DE MOND**  $Rf = R K_1 K_2 K_3 K_4 K_5 K_6$  (2.13)

Corregido por todos y cada uno de los factores de seguridad.

En la Tabla 2.10 se presentan las categorías asignadas a los valores del índice Rf. Este valor es importante para determinar si el nivel de riesgo de la sección es aceptable o no.

*Tabla 2.10. Categoría del índice total de riesgo (R) (MAPFRE, 195)*

<b>Índice Rf</b>	<b>Categoría</b>
0 a 20	Ligero
20 a 100	Bajo
100 a 500	Moderado
500 a 1,100	Alto (grupo 1)
1,100 a 2,500	Alto (grupo 2)
2,500 a 12,500	Muy alto
12,500 a 65,000	Extremo
Arriba de 65,000	Muy extremo

#### **2.5.4. Criterios de aceptabilidad del índice de MOND**

La experiencia en la aplicación del método del Índice de Mond indica que no es normal que una unidad después de haber sido evaluada completamente, presente un nivel de riesgo global superior al nivel alto (grupo 2) y se supone que cualquier unidad evaluada por debajo de este nivel puede ser operada en forma satisfactoria, siempre que se consideren adecuadamente los peligros indicados por la evaluación.

En cuanto a los índices parciales, el método recomienda no aceptar en principio, niveles superiores al de moderado, en lo que se refiere a los aspectos de explosión interna y externa.

Para dar por terminada la evaluación del método del índice de Mond, los índices finales obtenidos se comparan con los criterios de aceptabilidad mostrados en la Tabla 2.11 y se procede a su análisis.

**Tabla 2.11. Niveles máximos de aceptabilidad (MAPFRE, 1995)**

<b>Riesgo</b>	<b>Nivel de riesgo máximo Aceptable</b>	<b>Nivel de riesgo no aceptable</b>
<b>Carga de fuego, Incendio (F)</b>	Moderado (menos de 20,000)	Alto (más de 400,000)
<b>Explosión Interna (E)</b>	Moderado ( menos 4.0)	Alto (más de 6.0)
<b>Explosión externa (A)</b>	Moderado (menos de 100)	Alto (más de 500)
<b>Toxicidad Unitario (U)</b>	Moderado (menos de 6.0)	Alto (más de 100)
<b>Máximo Incidente tóxico (C)</b>	Moderado (menos de 200)	Alto (más de 500)
<b>Riesgo Total (R)</b>	Alto grupo 1 (max 1,100)	Alto, grupo 2 (máx. 2,500)

## **2.6. Simulación de eventos (fuga, incendio y explosión)**

Simular es plantear condiciones hipotéticas teniendo como base alguna metodología de análisis de riesgos.

Una vez identificadas las secciones de alto riesgo en donde se puede presentar un evento no deseado, el siguiente paso es la evaluación de la magnitud de los accidentes, la metodología para la evaluación de la magnitud consiste en el análisis mediante modelos matemáticos de los eventos no deseados (fuga, incendio y explosión) que se pueden dar durante la operación de la planta.

Para evaluar la magnitud del riesgo se deben tomar en cuenta los factores siguientes: condiciones de operación del proyecto, ubicación, dirección y velocidad del viento (reinantes y dominantes), sistemas de contención, datos relacionados del entorno de la planta, puntos vulnerables como escuelas, iglesias, hospitales, centros de población, condiciones atmosféricas, datos reportados en las secciones anteriores de este trabajo, con el objetivo de obtener resultados válidos.

### **2.6.1 Descripción de eventos no deseados**

Cuando un contenedor (tanque de almacenamiento, reactor, tubería, etc.), pierde su integridad estructural se produce una fuga de la sustancia contenida en él. El comportamiento de esta sustancia depende de la fase en que se encuentre, así como la temperatura del contenido, propiedades físico-químicas, temperatura del terreno de vertido, nivel de insolación y condiciones atmosféricas reinantes en el momento del accidente.

A continuación se presentan una descripción de los eventos a simular.

### 2.6.1.1. Fuga

Una fuga es una salida incontrolada de una sustancia, que puede estar en estado líquido, sólido o gaseoso.

### 2.6.1.2. Incendio

Es una reacción de oxidación de material combustible acompañada de una liberación de energía en forma de luz y/o calor. Se tiene la siguiente clasificación de incendios:

#### Incendios

- a) Incendio de fluidos en grandes extensiones
- b) Bola de fuego
- c) Incendio en forma de dardo o "chorro"

los cuales se describen a continuación.

**a) Incendio de fluidos de grandes extensiones (Se le conoce con el nombre de "Pool fire" en inglés).** Puede producirse como consecuencia de derrames en contenedores de proceso con gran cantidad de inventario de líquidos inflamables, así como en tanques de almacenamiento de líquidos inflamables o gases licuados refrigerados. Su efecto se manifiesta por radiación térmica.

**b) Incendio en forma de bola de fuego (Se le conoce con el nombre de " Fireball" en inglés).** Puede ocurrir como consecuencia de una fuga masiva de un gas inflamable, o de gas licuado a presión en circunstancias en las que se produce la ignición instantánea de la masa de gas.

**c) Incendio en forma de dardo o "chorro" (Se le conoce con el nombre de "jet" en inglés).** En un tanque o tubería a presión una fuga puede resultar como un chorro de líquido o vapor que al incendiarse forma una especie de dardo con un alcance determinado.

### 2.6.1.3. Explosión

Las explosiones pueden producirse en forma de una deflagración o de una detonación, en función de la velocidad de combustión durante la explosión. Se produce una deflagración cuando la velocidad de combustión o velocidad de la llama es relativamente lenta, del orden de un metro por segundo. En una detonación la velocidad de la llama es extremadamente elevada. El frente de la llama se desplaza como una onda de choque con una velocidad de 2000 a 3000 metros por segundo. Una detonación genera mayores presiones y es mucho más destructiva que una deflagración. La presión máxima causada por una deflagración en un recipiente atmosférico cerrado es del orden de los 70 a 80 kPa, mientras que en una detonación puede alcanzar fácilmente una presión de 200 kPa.

El hecho de que ocurra una deflagración o una detonación dependerá del material de que se trate, así como de las condiciones en que ocurre la explosión.

Los efectos de la onda de choque varían según las características del material, su cantidad y el grado de dispersión de la nube de vapor o gas, por consiguiente, las presiones máximas en una explosión varían de una ligera sobrepresión a unos cuantos cientos de kPa, las lesiones directas se producen a presiones de 5-10 kPa (una sobrepresión mayor origina por lo general la pérdida de la vida), mientras que los edificios se derrumban y las ventanas y las puertas se rompen a presiones tan bajas como de 3 -10 kPa. La presión de la onda de choque disminuye rápidamente con el aumento de la distancia desde la fuente de la explosión.

#### **a) Explosión de una nube no confinada**

En una fuga de gas inflamable, sus moléculas son transportadas y se mezclan con el aire, de esta forma la concentración disminuye en función de la distancia a la fuente. El gas al diluirse con el aire determina una zona en condiciones de combustión, acotada por el límite inferior y límite superior de inflamabilidad. Si en dicha zona la nube encuentra una fuente de ignición, puede desprenderse la cantidad de calor necesario para acelerar la velocidad de combustión, de forma que se produzca una explosión en espacio abierto.

#### **b) Explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición, EVELE**

Se conoce como BLEVE, por sus siglas en inglés, "boiling liquid expanding vapor explosion" con el fin de abreviar; en el presente trabajo se le llama EVELE, por sus siglas en español. Este tipo de explosión ocurre cuando un líquido o gases licuados inflamables, dentro de un recipiente, alcanza una temperatura por encima de su punto de ebullición, provocando que el recipiente que lo contiene falle y se rompa en dos o más partes, una EVELE puede ocurrir cuando el fuego choca contra el casco del tanque de Gas L.P en uno o más puntos por encima del nivel de la fase líquida de su contenido, el contacto con el fuego, provoca que el metal se debilite y falle a causa de la presión interna. Cuando ocurre, los restos pueden viajar cientos de metros y el combustible que escapa se enciende generando una bola de fuego en expansión (Kletz, 1977).

La dimensión de la explosión depende de la cantidad de líquido que se vaporiza en el momento en que falla el recipiente, en cuanto a la propulsión de las partes del recipiente, resulta en muchos aspectos comparable al desempeño de un cohete. La relación entre la energía de vaporización-expansión del líquido y el peso de las partes del recipiente es tal, que las partes resultan propulsadas hasta distancias aproximadas de 800 metros, las bolas de fuego resultan frecuentes y han ocurrido muertes provocadas por quemaduras a personas que se encontraban a 80 metros de recipientes de gran tamaño, el tiempo transcurrido del contacto con las llamas y la EVELE varía ya que depende de diferentes factores tales como la naturaleza del fuego y la ubicación del fuego en el tanque. Para este evento la intensa radiación térmica es el mayor peligro.

## 2.6.2. Vulnerabilidad de personas y bienes

Una vez determinados los eventos susceptibles a producirse, se debe realizar un estudio de las consecuencias que estos fenómenos peligrosos pueden causar sobre los elementos vulnerables del entorno al escenario del accidente. Los diferentes tipos de accidentes a considerar pueden producir los siguientes fenómenos peligrosos para personas, bienes y ambiente:

- 1.- De tipo mecánico: Ondas de presión y proyectiles.
- 2.- De tipo térmico: Radiación.
- 3.- De tipo químico: Fuga o vertido incontrolado de sustancias tóxicas.

### 1.- Fenómenos mecánicos peligrosos

Una onda de presión consiste en expansiones y compresiones alternativas del aire que tiene efectos sobre personas y bienes (Tablas 2.12 y 2.13).

Las ondas de presión son creadas por explosiones.

Una explosión confinada puede generar proyectiles con alcances muy variados.

Los efectos de una onda de presión se clasifican en :

- a) Efectos primarios: tienen su origen en las compresiones y expansiones del aire que producen fenómenos de deformación y vibratorios que afectan a las estructuras de edificios, instalaciones y a los organismos vivos.
- b) Efectos secundarios: cuando las tensiones dinámicas y deformaciones producidas superan los límites de resistencia de las estructuras y fallan, generan fragmentos que actúan como proyectiles cuyo impacto causa daños adicionales.
- c) Efectos terciarios: Daños causados por el desplazamiento del cuerpo de seres vivos e impacto contra obstáculos

Tabla 2.12. Efectos de la sobrepresión causada por una explosión en las personas (IMASA, 19%)

Sobrepresión		Efectos
kPa	lb/in <sup>2</sup>	
16.55	2.4	Límite mínimo para ocasionar rotura del tímpano
19.31	2.8	10% de probabilidad de rotura del tímpano
43.44	6.3	50% de probabilidad de rotura del tímpano
99.98	14.5	Límite mínimo para mortalidad
120.66	17.5	10% de probabilidad de mortalidad
141.35	20.5	50% de probabilidad de mortalidad
200.00	29.0	99% de probabilidad de mortalidad

**Tabla 2.13. Efectos de la sobrepresión causada por una explosión en las estructuras (IMASA, 1996)**

Sobrepresión		Efectos
kPa	lb/in <sup>2</sup>	
0.21	0.03	Rompimiento ocasional de paneles de vidrio de gran área superficial
1.03	0.15	Rompimiento de vidrios de cualquier tamaño
2.76	0.40	Daños estructurales limitados en edificios de construcción ordinaria. Rompimiento total de vidrios
6.89	1.00	Daños estructurales severos en viviendas
13.79	2.00	Paneles de madera o aluminio (vivienda estándar) removidos de sus soportes. Colapso parcial de paredes y techos, construcción ordinaria
20- 27	3 - 4	Estructuras metálicas de edificios distorsionadas y/o arrancadas de sus cimientos. Ruptura de tanque metálicos de almacenamiento
34.47	5.0	Postes de madera de líneas telefónicas o de electricidad, derribados
8.26	7.0	Destrucción de viviendas ordinarias

## 2.- Fenómenos térmicos peligrosos

Estos fenómenos se originan por la inflamación de sustancias combustibles, produciendo llamas, generando radiación térmica en el entorno. Los efectos de los incendios sobre las personas son quemaduras de piel por exposición de las radiaciones térmicas (Ver Tabla 2.14). La gravedad de las quemaduras depende de la intensidad del calor y del tiempo de exposición. La radiación térmica es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente. En general, la piel resiste una energía térmica de 10kW/m<sup>2</sup>, durante aproximadamente 5 segundos y de 30 kW/m<sup>2</sup> durante sólo 0.4 segundos antes de que sienta dolor.

**Tabla 2.14. Efectos de las radiaciones térmicas sobre la piel no protegida (IMASA, 1996)**

Nivel de radiación	Periodo de duración segundos antes	
	se siente dolor	empiezan a salir ampollas
22	2	3
18	2.5	4.3
11	5	8.5
8	8	13.5
5	16	25
2.5	40	25
Menos de 2.5	Puede ser tolerada una exposición prolongada	Puede ser tolerada una exposición prolongada

**Nota:** Una intensidad de radiación térmica de  $1.4 \text{ kW/m}^2$ , constituye un nivel totalmente seguro para las personas sin que experimenten sensación dolorosa, durante largos períodos de exposición. Debe tenerse en cuenta que este valor corresponde al total de la intensidad de radiación térmica recibida, incluyendo la radiación solar, la cual en ambientes tropicales puede alcanzar valores de hasta  $0.94 \text{ kW/m}^2$  (OIT, 1990).

### 3.- Fenómenos químicos peligrosos

Se refiere a los efectos relacionados con la liberación accidental de sustancias químicas tóxicas, que al ser dispersadas por el viento, tendrían la posibilidad potencial de matar o lesionar a personas cercanas a la fuente de emisión.

#### 2.6.3. Factores que determinan la formación de nubes explosivas

Para propósitos de este procedimiento se consideran sólo los siguientes materiales como formadores de nubes explosivas:

- 1.- Gases en estado líquido por enfriamiento.
- 2.- Gases en estado líquido por efecto de alta presión.
- 3.- Gases sujetos a presiones de 23.94 kPa o mayores.
- 4.- Líquidos inflamables o combustibles a una temperatura mayor a su punto de ebullición y mantenidos en estado líquido por efecto de presión.

#### 2.6.4. Metodología de cálculo

**Nota:** Las siguientes ecuaciones utilizadas en la metodología de cálculo, fueron desarrolladas en el sistema inglés, al igual que los factores. Por esta razón se utilizan en su forma original y los resultados obtenidos fueron transformados al sistema internacional.

##### 2.6.4.1. Cálculo del peso del material en el sistema (Nelson, 1977)

Para el caso de un gas a 23.94 kPa o más de presión, el peso del gas se calcula por la siguiente fórmula:

$$WG = 0.002785 \text{ MVG} \quad (2.14)$$

donde  $WG$  = Peso del gas descargado, lb  
 $M$  = Peso molecular del gas, lb/mol  
 $VG$  = Volumen del gas corregido a condiciones normales  $0^\circ\text{C}$  y 1 atm

$$\text{y } WG = 0.001261 \text{ MVG en el sistema internacional} \quad (2.15)$$

#### 2.6.4.2. Cálculo de la cantidad vaporizada

Para líquidos o gases licuados con un punto de ebullición menor a 21.1° C, se supone que el 100% del líquido se vaporiza, por lo que el peso equivale a la cantidad de gas liberado.

$$W = WG \text{ y } W = WL \quad (2.16)$$

donde  $W$  = Cantidad vaporizada, kg  
 $WG$  = Peso del gas, kg  
 $WL$  = Peso de líquido, kg

#### 2.6.4.3. Cálculo de la magnitud de la nube

Para efectos de este método se consideran únicamente gases o vapores que sean más pesados que el aire, los cuales constituyen la gran mayoría de los potenciales formadores de nubes explosivas. La experiencia ha demostrado que una nube explosiva alcanza una altura hasta de 3.5 metros, por lo que se considera ésta como la altura general de una nube.

Debe tenerse mucho cuidado de considerar una altura mayor para gases ligeros ya que podría resultar un error en el diámetro de la nube, que representaría una subestimación de su potencial.

El diámetro de la nube se calcula de la siguiente forma:

$$D = 22.19 (W / hMV)^{1/2} \quad (2.17)$$

donde:  $D$  = Diámetro de la nube (ft)  
 $h$  = Altura de la nube, (ft)  
 $M$  = Peso molecular del gas g/mol  
 $V$  = Fracción de la nube representada por vapor o gas si la nube entera se encuentra en la concentración explosiva media, calculada por:

$$V = \frac{LIE(\%)LSE(\%)}{2 \times 100 (\%)} \quad (2.18)$$

$LIE$  = Límite inferior de explosividad del material en por ciento  
 $LSE$  = Límite superior de explosividad del material en por ciento

y en el sistema internacional:

$$D = 5.73 (W/hMV)^{1/2} \quad (2.19)$$

#### 2.6.4.4. Cálculo de la energía desprendida

El modelo más utilizado para estimar los efectos de una explosión, es el modelo equivalente de TNT (Trinitrotolueno). El modelo supone las siguientes premisas:

1. El derrame de gas es paulatino y no se considera el caso de un escape masivo.
2. El material fugado se vaporiza instantáneamente y la nube se forma inmediatamente después de la fuga, de acuerdo a las condiciones termodinámicas del gas.
3. La nube adquiere una forma cilíndrica cuya altura es su eje vertical. No se consideran distorsiones ocasionadas por viento o por estructuras y edificios presentes.
4. La nube tiene una composición uniforme y su concentración en el aire está en el punto medio de entre los límites inferior y superior de explosividad del material.
5. La temperatura del gas es constante: 70°F (21.1°C)

El primer paso en este método es ajustar la masa de la nube a su equivalente en TNT, utilizando la siguiente ecuación.

$$M_{TNT} = \left( m_{nube} \frac{\Delta H_c}{1155} Y_f \right) \quad (2.20)$$

donde:

$M_{TNT}$  = masa equivalente de TNT, kg

$m_{nube}$  = masa en la nube, kg

$\Delta H_c$  = calor de combustión, kcal/ kg

$Y_f$  = factor de explosividad

Posteriormente se calcula el alcance de las ondas expansivas para una presión dada utilizando el valor de masa equivalente  $M_{TNT}$  obtenido y la siguiente ecuación:

$$X = (M_{TNT})^{1/3} \exp \{ 3.503 - 0.724 \ln(Op) + 0.398 (\ln Op)^2 \}. \quad (2.21)$$

donde:

$M_{TNT}$  = masa equivalente de TNT, lb

X = distancia o alcance para una sobrepresión dada, ft

$Op$  = sobrepresión dada, psi

y en el sistema internacional:

$$X = (M_{TNT})^{1/3} \exp \{ 0.1677 - 0.0346 \ln(Op) + 0.0019 (\ln Op)^2 \} \quad (2.22)$$

Para el cálculo de una bola de fuego de cuenta con las siguientes ecuaciones

$$\text{Duración de la bola de fuego } t = 0.852 \text{ m}^{0.26} \quad (2.23)$$

$$\text{Diámetro de la bola de fuego } D = 6.48 \text{ m}^{0.325} \quad (2.24)$$

$$\text{Radiación térmica de la bola de fuego, } \text{kW/m}^2 = (0.176R \Delta Hc \text{ m}^{2/3}) / L^2 \quad (2.25)$$

donde

R = fracción radiante = 0.3

$\Delta Hc$  = calor de combustión, J/kg

L = distancia del centro de la bola de fuego m

m = masa inicial del líquido inflamable, kg

Los resultados de la evaluación de la magnitud del riesgo se deberán confrontar con la ubicación de la planta, condiciones topográficas, población aledaña, sitios de reunión para determinar los efectos a la población y a las construcciones por efectos de sobrepresión, dispersión de gas tóxico, radiación térmica y emitir los resultados para conocimiento de la población.

#### 2.6.5. Programa utilizado para la simulación de los riesgos

Para la evaluación de los diferentes escenarios se utilizó un programa de cómputo desarrollado por la Administración Federal de Manejo de Emergencias, el Departamento de Transportación y la Agencia de Protección Ambiental, de los EEUUA, conocidas por sus siglas en inglés como FEMA, DOT y EPA, respectivamente; denominado Archie (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation). En la Figura 2.11 se presenta la secuencia sugerida para el uso del modelo y en la Figura 2.12 se observa la secuencia utilizada.

Una de las limitaciones que presenta el programa es considerar que durante la descarga de un gas determinado, el flujo hacia la atmósfera se mantiene constante, hecho que debe de ser considerado al momento de interpretar los resultados obtenidos de la simulación.

La utilidad práctica del programa, consiste en tener una respuesta rápida para saber si la fuga de un gas tóxico y/o inflamable representa una preocupación real.

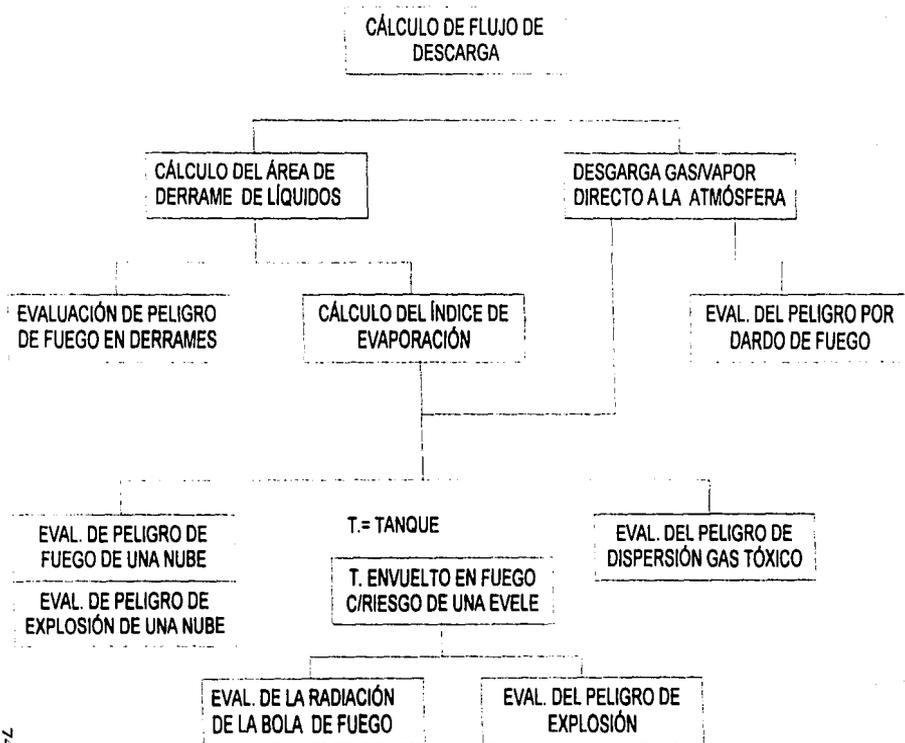
El primer paso para analizar una dispersión de un gas, es la caracterización de la fuente potencial.

La fuga puede derivarse como resultado catastrófico de una ruptura, por alto índice de corrosión o fatiga depende de casos específicos.

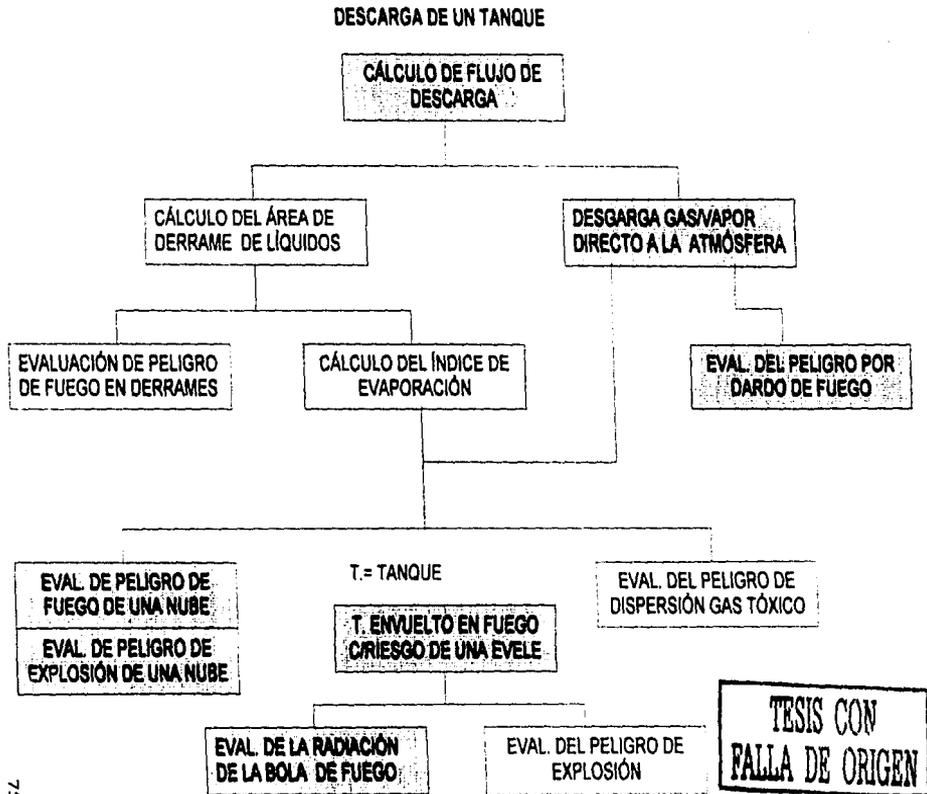
La formación de gases de nubes tóxicas o vapores explosivos son el resultado de fugas o derrames masivos y dependientes de las condiciones del ambiente. El programa, utiliza la clase de estabilidad definida por Pasquill, que es una estimación de la estabilidad de la atmósfera basada en la velocidad del viento y de la radiación solar.

**FIGURA 2.11 SECUENCIA SUGERIDA PARA EL USO DEL MODELO  
SIMULADOR ARCHIE**

**DESCARGA DE UN TANQUE**



**FIGURA 2.12 SECUENCIA UTILIZADA PARA EL USO DEL MODELO SIMULADOR ARCHIE**



En la Tabla 2.15 se observa la clase de estabilidad atmosférica que puede ser utilizada de acuerdo a la ubicación de un sitio determinado.

Tabla 2.15. Selección de la clase de estabilidad atmosférica (IMASA, 1996)

Condiciones				Condiciones	
A -- Extremadamente inestable				D -- Neutral *	
B -- Moderadamente inestable				E -- Ligeramente estable	
C -- Ligeramente inestable				F -- Moderadamente estable	

Velocidad del viento, km/h	Condiciones de día			Condiciones de noche	
	Fuerza de la luz del sol			Parcialmente Nublado	
	Alta	Moderada	Ligera	> o = 4/8 de nubosidad **	< o = 3/8 de nubosidad
< 7.24	A	A-B	B	--	--
7.24-10.78	A-B	B	C	E	F
10.78-18.02	B	B-C	C	D	E
18.02-21.56	C	C-D	D	D	D
> 21.56	C	D	D	D	D

\* Aplicable en días o noches nublados

\*\* Grado de nubosidad = Fracción del cielo arriba del horizonte cubierta de nubes

## CAPÍTULO III

### Resultados y discusión

En el presente capítulo, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del índice de Mond y los resultados de la simulación de una fuga, incendio/explosión de Gas L P, mediante el programa de evaluación de riesgos denominado Archie.

#### 3.1 Resultados y discusión del Índice de Mond

##### 3.1.1. Aplicación y resultados del índice de Mond

1.- Para la aplicación del método, la planta se dividió en las siguientes secciones (Ver Figura 3.1):

**Fábrica de Tubo de Cobre II**

Almacenamiento de Gas L P

Almacenamiento de hidrógeno

Sección de Formado integrada por: Extrusión, punteado y estirado

Sección de Fundición

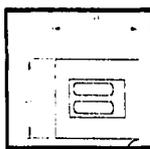
Sección de Recocido

2.- De acuerdo a la metodología del índice de Mond descrita en el punto 2.5.3.2. inciso D, se asignaron las penalizaciones y bonificaciones por las características de cada sección en las formas de trabajo y, posteriormente, se utilizaron las ecuaciones ahí descritas para el cálculo de los índices parciales y globales (Ver Anexo 1).

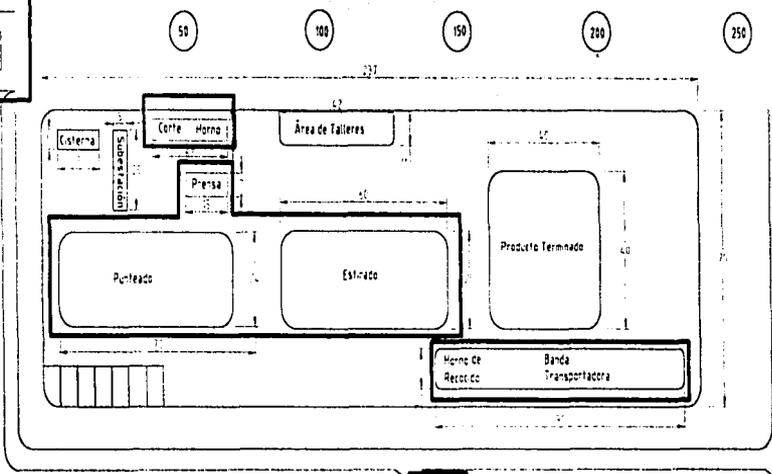
3.- Por último, los resultados de los índices obtenidos se compararon con los datos de las Tablas 2.3 a 2.10 que indican la categoría de riesgo correspondiente (Ver Tabla 3.1).

Tabla 3.1. Resultados del cálculo de los índices de Mond.

SECCIÓN	R I E S G O S						ÍNDICE TOTAL	
	CARGA DE FUEGO		EXPLOSIÓN INTERNA		EXPLOSIÓN AÉREA		DE RIESGO	
	Índice	Categoría	Índice	Categoría	Índice	Categoría	Índice	Categoría
ALMTO. GAS L P	385,709	ALTO	1.02	LIGERO	70.17	MODERADO	172.30	MODERADO
ALMTO. HIDRÓGENO	20,370	LIGERO	0.89	LIGERO	4.71	LIGERO	39.31	BAJO
RECOCIDO	1753	LIGERO	1.00	LIGERO	20.15	BAJO	12.46	LIGERO
FUNDICIÓN	1524	LIGERO	1.00	LIGERO	20.15	BAJO	12.46	LIGERO
FORMADC	83.49	LIGERO	0.729	LIGERO	0.001	LIGERO	0.006	LIGERO



Almacenamiento de Gas L.P.



Almacenamiento de Hidrógeno

-  Sección almacenamiento de Gas L.P.
-  Sección almacenamiento de Hidrógeno
-  Sección fundición
-  Sección recorrido
-  Sección de formado

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Figura 3.1

Plano, división de la Planta en secciones		DB	ALCT
		REV	ESK
INDUSTRIAS UNIDAS S A		ARO	FECHA

### **3.1.2. Discusión de resultados del índice de Mond**

Analizando los resultados de la Tabla 3 se determinó el riesgo potencial para cada una de las 5 secciones de la planta en la que fue dividida para su análisis. El mayor riesgo donde de puede presentar un accidente mayor es en el área de almacenamiento de Gas L P con un índice total de riesgo de 172.30, que representa una categoría moderada y una carga de fuego de 385,709 unidades con categoría alta. Esto significa que existe mayor probabilidad de que se presente una fuga, incendio, y/o explosión en esta sección.

En segundo lugar, se tiene la sección de almacenamiento de hidrógeno con un valor de índice total de riesgo de 39.31 unidades y una carga de fuego de 20,370 unidades. Aquí es importante señalar que a pesar de las características explosivas del hidrógeno, los resultados de los índices globales obtenidos representan una categoría baja por carga de fuego, explosión interna y externa. Esto se debe principalmente a que los tanques de almacenamiento se encuentran a cielo abierto, lo que provocaría que al momento de una fuga, el hidrógeno por ser muy ligero se volatilice rápidamente, evitando la formación de nubes explosivas, aún cuando el intervalo de inflamabilidad es muy amplio (4-75% en vol.).

Las secciones de fundición y de recocido, al tener condiciones similares como: Cantidad de Gas L P en proceso, superficie de áreas de trabajo, condiciones de operación, entre otras, presentan resultados parecidos para carga de fuego e índice global de riesgo, categoría ligero para ambos.

Finalmente, la sección de formado (integrada a su vez por las operaciones unitarias de extrusión, punteado y estirado), tiene la categoría más baja para los diferentes índices.

Los riesgos determinados en la Tabla 3.1 fueron calculados con base en las operaciones que se realizan en las diversas secciones de la planta. En la sección de almacenamiento de Gas L P se realizan operaciones de llenado, transferencia de gas, por lo que un evento no deseado se puede presentar en la tubería de trasvase que, al romperse, generaría una fuga de gas y, como consecuencia, la formación de una nube explosiva o generación de un incendio; asimismo, puede ocurrir que la fuga se presente en alguna de las válvulas localizadas en la parte baja del tanque de almacenamiento, generando los mismos riesgos.

### **3.1.3. Jerarquización de riesgos**

Después de discutir los resultados obtenidos, se definieron los riesgos que representan las diferentes áreas, encontrándose lo siguiente: El área de almacenamiento de Gas L P es la de mayor riesgo, seguida del área de almacenamiento de hidrógeno, las demás áreas presentan un índice global categoría suave. Por esta razón, no se toman en cuenta para fines de modelación de eventos no deseados. La Tabla 3.2 presenta los resultados de la jerarquización de riesgos.

Se puede decir que los resultados obtenidos se alejan de acuerdo a lo esperado; sin embargo, lo importante es complementar el análisis, evaluando las consecuencias en caso de que se presenten los eventos no deseados.

*Tabla 3.2. Resultados de la jerarquización de riesgos*

SECCIÓN	Índice global de riesgo		EVENTO A MODELAR
	Índice	Categoría	
Almacenamiento de Gas L P	172.36	Moderado	Fuga, incendio y explosión
Almacenamiento de hidrógeno	39.31	Bajo	Fuga, incendio
Sección de fundición	11.02	Ligero	Se descarta
Sección de recocido	11.44	Ligero	Se descarta
Formado	0.006	Ligero	Se descarta

### 3.2 Resultados y discusión de la simulación

Los resultados obtenidos del simulador ARCHIE que a continuación se presentan y discuten, se pueden observar en el Anexo II.

En la Tabla 3.3 se tiene que, para una fuga de Gas L P, de un tanque de almacenamiento que contiene 50,000kg de gas se tardaría 24 minutos en vaciarse el tanque a un flujo de 34 kilogramos por segundo, con una válvula de 5cm.

Sin embargo, dos minutos después de iniciada la fuga de gas, ya existen las condiciones mínimas necesarias para la formación de una nube explosiva, ya que el gas es dispersado por el viento debido a las condiciones meteorológicas de la zona (clase C, ligeramente inestable), hasta una distancia de 246 metros, la nube de gas se encuentra entre los límites de inflamabilidad lo que se considera de mayor peligro (Figura 3.2).

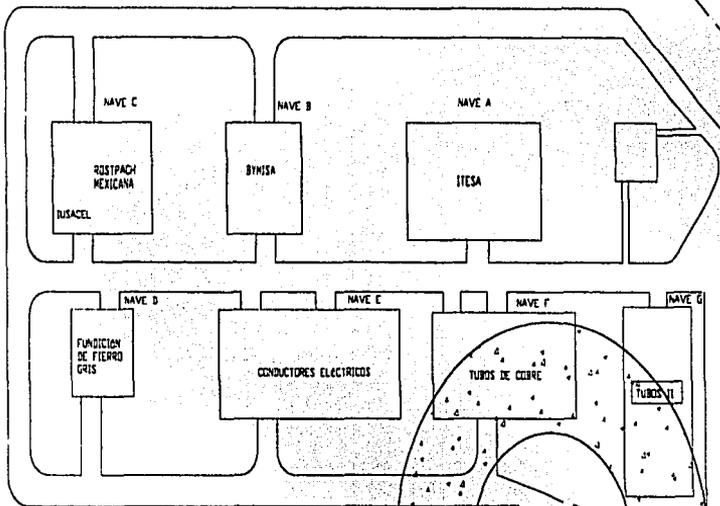
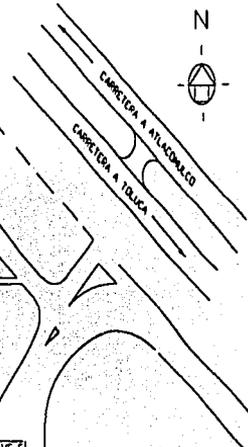
Estas condiciones dificultan la dispersión del Gas L P. en la parte baja del tanque de almacenamiento, generando con ello un riesgo de incendio o deflagración; éste se puede dar por cualquier fuente de ignición que se encuentre en las cercanías del tanque ya que la nube de gas se encuentra dentro de los límites de inflamabilidad.

Si la nube de gas se inflama se pueden presentar dos escenarios:

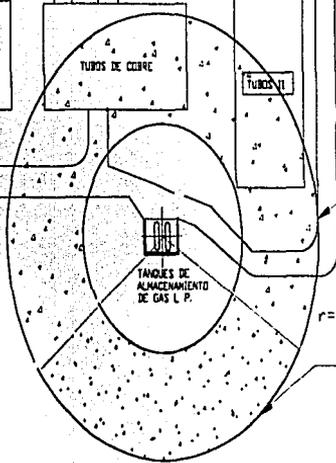
a) La nube de gas encuentra una fuente de ignición y se inflama provocando una deflagración, el fuego retrocede hasta el tanque de almacenamiento provocando un chorro de fuego (jet fire), cuyo origen es la válvula de paso del Gas L P. Hacia los hornos de fundición originando una flama con una longitud de 44 metros. Si esto sucede, la distancia mínima segura será de 88 metros en dirección del viento para el personal de emergencias.

Tabla 3.3. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE EVENTOS EN EL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS LP

EVENTO SIMULADO	ESCENARIO	RESULTADOS
<b>FUGA</b>	Se presenta una fuga en tanque TP-01 en la válvula de paso de 5cm (2") de diámetro	Flujo de descarga = 34kg/s Duración de la descarga = 24 min Cantidad de material descargado = 50,000kg Estado del material Mezcla gas/aerosol
<b>DARDO DE FUEGO</b> (Conocido por su nombre en inglés como "jet fire")	El gas producto de la fuga se dispersa debido a las condiciones climáticas hasta encontrar una fuente de ignición, incendiándose la mezcla aire/Gas L P, que retrocede hasta el punto de fuga (tanque de almacenamiento de Gas L P)	Longitud de la flama = 44m Distancia de seguridad = 88m
<b>RIESGO DE INCENDIO DE UNA NUBE DE GAS INFLAMABLE</b>	El gas se dispersa después de la fuga y forma una nube de gas inflamable hasta alcanzar el límite inferior de inflamabilidad	Distancia del peligro de incendio en dirección del viento = 246m Amplitud del mayor peligro de incendio en dirección del viento = 123m Masa del gas contenida en la nube = 4276kg



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Representa el área de mayor riesgo, donde la nube al encontrar una fuente de ignición se incendia

Representa el área más probable hacia donde se extenderá la nube por la dirección del viento

Figura 32

Plano de evaluación del peligro de incendio de una nube de Gas L. P.	DIB. AUT. 20/02	ACOT.
	REV.	ESC.
	APR.	FECHA 17. 02. 2004
	INDUSTRIAS UNIDAS S.A.	

b) La nube de gas se inflama y genera una explosión, (Tabla 3.4) explosión de una nube de gas no confinada) si esto sucede, los daños generados por la explosión serán hasta 481 metros del tanque, se afectará las naves A, E y F, de la unidad norte, habrá daños totales a los tanques de almacenamiento de hidrógeno, así como riesgo de afectación a los automovilistas y vehículos que circulen en la carretera Panamericana en los carriles que se dirigen a Toluca, ruptura de timpano de los empleados que en esos momentos laboran en la "Fabrica Tubo de Cobre II", daño mínimo en las inmediaciones ya que los predios aledaños son terrenos de cultivo principalmente (Figura 3.3).

En la Tabla 3.5 se representan los resultados de una explosión de los vapores en expansión de un líquido en ebullición, riesgo que se presenta en un incendio en cualquiera de los tanque de almacenamiento de Gas L P, y de no controlar el fuego en un tiempo menor de 10 minutos. Este tipo de explosión ocurre cuando un líquido o gases licuados inflamables dentro de un recipiente, alcanzan una temperatura por encima de su punto de ebullición, provocando que el recipiente que lo contiene falle y se rompa en dos o más partes. El mayor peligro para las personas son las quemaduras de piel o la muerte por la radiación térmica. La gravedad de las quemaduras depende de la intensidad del calor y del tiempo de exposición. En general, se considera que la piel resiste una energía térmica de  $10 \text{ kW/m}^2$ , durante aproximadamente 5 segundos y de  $30 \text{ kW/m}^2$  durante sólo 0.4 segundos antes de que sienta dolor.

Los resultados obtenidos por el simulador calcula una bola de fuego de 232 metros de diámetro y duración de 15.5 segundos. De acuerdo con estos resultados, la zona de fatalidad es de 300 metros, lo que indica que cualquier persona que se encuentre dentro de esta zona en el momento de la explosión tendrá consecuencias fatales (Figura 3.4).

El tiempo de descarga obtenido de la simulación de una fuga de hidrógeno fue de 9 segundos (Ver Tabla 3.6), resultado que lleva a tomar las siguientes consideraciones:

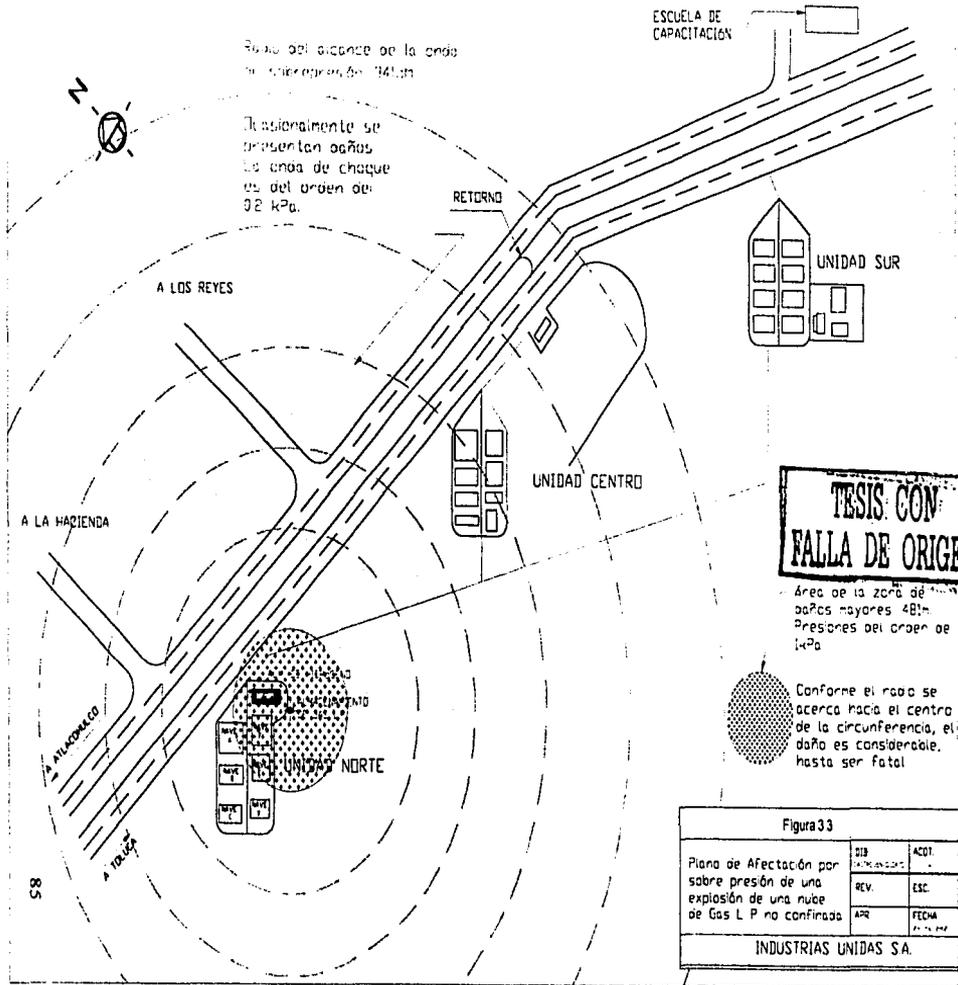
- 1.- El tiempo total de descarga es muy corto.
- 2.- El hidrógeno es un gas muy volátil que se dispersa rápidamente a cielo abierto y no permite fácilmente la formación de nubes inflamables o explosivas. Su formación dependerá de la cantidad de material fugado.
- 3.- La cantidad almacenada de hidrógeno por cilindro es de 22 kg. Si se toma en cuenta que se tienen seis en el área la cantidad total de gas es de 132kg, cantidad con una probabilidad baja de explosión.

Por lo anterior y tomando en cuenta los resultados del índice de Mond, se descartó la simulación de una explosión. Queda limitado el evento a la realización no deseada de un incendio, donde el riesgo mayor lo representa el hecho de que el hidrógeno arde con una flama invisible a la luz del día.

Estos resultados son representados en un plano de afectación de la "Fábrica de Tubo de Cobre II", con el objetivo de determinar las zonas vulnerables dentro y fuera del complejo industrial y elaborar el plan de prevención de accidentes y plan de emergencias.

Tabla 3.4. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE EVENTOS EN EL AREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS LP

EVENTO SIMULADO	ESCENARIO	RESULTADOS	
<p><b>EXPLOSIÓN DE UNA NUBE DE GAS NO CONFINADA</b></p>	<p>Después de la fuga se forma una nube de gas L P que, al dispersarse en el aire, se encuentra entre los límites superior e inferior de inflamabilidad, condición necesaria para que ocurra una explosión. La nube contiene 4276 kilogramos de Gas L P</p>	<p>Distancia desde el centro de la explosión (m)</p>	<p>Daños esperados como resultado de la explosión</p>
		3415	Ruptura ocasional de ventanas grandes bajo presión
		481	Algunos daños en techos de casas; ruptura en 10% de Ventanas
		179 - 312	Ventanas prácticamente destruidas; algunos daños en estructuras
		179	Demolición parcial de casas (prácticamente destruidas)
		46 - 179	Daño ligero por objetos y vidrios que salen disparados
		108	Colapso parcial de paredes y techos
		83 - 108	Concreto no reforzado y bloque de paredes destruidas
		36 - 95	Ruptura de tímpanos al 90-1% de la población expuesta
		92	Destrucción al 50% en casas de ladrillo
		69 - 83	Edificios de estructura de acero en ruinas
		60	Postes de madera destruidos
		49 - 60	Destrucción de casas
41	Probable destrucción total de las construcciones		
34	99% de muertes de la población debido a los efectos directos de la explosión		



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Área de la zona de ondas mayores 481- Presiones del orden de 1-kPa



Conforme el radio se acerca hacia el centro de la circunferencia, el daño es considerable, hasta ser fatal

Figura 33

Plano de Afectación por sobre presión de una explosión de una nube de Gas L.P no confinado	DIB.	ACOT.
	REV.	ESC.
	APP.	FECHA

INDUSTRIAS UNIDAS S.A.

Tabla 3.5. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE EVENTOS EN EL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS LP

EVENTO SIMULADO	ESCENARIO	RESULTADOS
<p><b>EXPLOSIÓN DE LOS VAPORES EN EXPANSIÓN DE UN LÍQUIDO EN EBULLICIÓN, EVELE (CONOCIDO COMO BLEVE POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)</b></p>	<p>Cualquiera de los tanques de almacenamiento se incendia, lo que provoca que el calor debilite la estructura del tanque y falle, liberando su contenido</p>	<p>Diámetro de la bola de fuego = 232m                      Altura de la bola de fuego = 382m                      Duración de la bola de fuego = 15.5s                      Radio de la zona de fatalidad = 300m                      Radio de la zona de daños = 576m</p>

ESCUELA DE  
CAPACITACIÓN



RETORNO

A LOS REYES



UNIDAD SUR

UNIDAD CENTRO

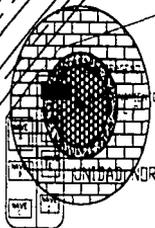


A LA HACIENDA

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

A PLACAMALCO

A TOLUCA



UNIDAD NORTE

Diámetro de la cola  
de fuego 232"

Área de la zona de  
letalidad hasta un  
radio de 305"

Área de la zona de  
daños hasta un radio  
de 576"

Figura 3.4

SIB		ACD:
14/11/82 22:42		
REV.	ESC	
APD	FECHA	27/11/82

INDUSTRIAS UNIDAS S.A.

Tabla 3.6. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN DE EVENTOS EN EL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE HIDRÓGENO

EVENTO SIMULADO	ESCENARIO	RESULTADOS
<p><b>FUGA</b></p>	<p>Se presenta una fuga en la válvula de alimentación de un cilindro de almacenamiento de hidrógeno. El diámetro de descarga es de 2.5 cm (1")</p>	<p>Flujo de descarga = 2.35 kg/s                      Duración de la descarga = 9 segundos                      Cantidad de material descargado = 22 kg</p>

## CAPÍTULO IV

### Conclusiones y recomendaciones

#### 4.1. Conclusiones

Los resultados obtenidos proporcionan las bases fundamentales para la realización del programa de prevención de accidentes (PPA) y de un plan de emergencias. El alcance de estos programas dependerá en gran parte de que la alta dirección evalúe el costo-beneficio de invertir en el concepto de seguridad industrial para garantizar la integridad física, primero de los seres humanos y, después, la de los bienes materiales.

Se concluye que existe riesgo de incendio y/o explosión en el área de almacenamiento de Gas L P, por lo que se deberá poner mayor atención en evitar una explosión de los vapores en expansión de un líquido en ebullición.

El mayor riesgo para la población en caso de una explosión es el nivel de radiación que tendría consecuencias fatales a los seres humanos que se encuentran laborando en la planta y no las ondas de sobrepresión como se planteó en la hipótesis.

El riesgo de incendio y/o explosión en las áreas de fundición y recocido es relativamente bajo, aún cuando se tienen fuentes de ignición en las cercanías. Esto se debe principalmente a la cantidad de gas que se tendría en caso de una fuga ya que se tienen válvulas de cierre rápido y personal capacitado en caso de emergencias, así como equipo de extinción.

El riesgo que existe en el área de almacenamiento de hidrógeno es mínimo ya que estos tanques de almacenamiento se encuentran localizados en un espacio abierto, en donde cualquier fuga que se presente, el gas será disipado por la acción del viento y como es muy ligero se eleva rápidamente evitando la formación de una nube de gas con características explosivas. De esta forma se concluye que las hipótesis planteada al inicio y relacionadas con el hidrógeno, no concuerdan con los resultados obtenidos para la simulación con condiciones particulares de almacenamiento en la planta de tubo de cobre.

Con relación al método de índice de Mond que se utilizó para la evaluación de riesgos en el manejo de Gas L P, y el hidrógeno, se concluye que esta metodología puede emplearse en cualquier etapa del desarrollo de un proyecto ya que es relativamente sencilla y que permite identificar de una forma rápida las zonas de vulnerabilidad. Sin embargo, no predice las consecuencias de accidentes específicos, por lo que se utilizó como complemento al estudio, la simulación de los riesgos específicos a través de un programa de computación.

Por lo que respecta al uso del programa de computación, se observó que su uso no es complicado; sin embargo, se debe tener bien definido el escenario que se quiere modelar para obtener resultados confiables.

## **4.2 Recomendaciones**

Con base en los resultados obtenidos en la simulación de los riesgos identificados (fuga, incendio y/o explosión), se deberá elaborar un programa de prevención de accidentes y un plan de emergencias, cuyo objetivo principal es localizar la emergencia y, de ser posible, eliminarla, reduciendo al mínimo los efectos de un accidente sobre las personas y sus bienes.

Se deben implementar programas para una revisión programada periódica de los sistemas de seguridad como son las válvulas de alivio colocadas en los tanques de almacenamiento, medidores de presión, medidores de temperatura, sistemas de cierre de emergencia, sistemas de alarma entre otros, manteniendo en bitácoras esta información para que los cambios de estafeta no afecten la seguridad.

Una gran parte de los accidentes reportados en la bibliografía tienen sus causas en errores humanos, antecedente que lleva a dar una importancia primordial a la capacitación constante del personal operativo y convencerlos para que asuman la responsabilidad que les corresponde.

Por otro lado, habría que poner atención en no permitir la autorización de cambios de usos de suelo en las colindancias inmediatas al parque industrial, como sucedió en San Juan Ixhuatepec, donde la población se fue estableciendo gradualmente; hasta rodear completamente el parque y, al efectuarse el accidente, gran parte de esta población se vio considerablemente afectada. Esto corresponde a la autoridad pero debe tener la guía de los estudios hechos por las industrias.

Es evidente que el riesgo existe y que no se puede eliminar completamente; entonces, el objetivo será reducirlo a un nivel tal, que sea aceptable, teniendo bien definidos e implementados los planes de emergencia.

Finalmente, se presentan algunas recomendaciones necesarias para complementar las medidas de seguridad, en las áreas de almacenamiento de Gas L P e hidrógeno, así como en el área de recocido donde se utiliza el hidrógeno para crear una atmósfera especial de gas que, si bien no representa un riesgo potencial de accidente mayor, sí representa riesgo de accidente de tipo ocupacional, donde se verían afectados seriamente los trabajadores del área.

A continuación, se dan algunas recomendaciones generales que podrían tomarse en cuenta para la implementación de los programas de prevención de accidentes y del plan de emergencias.

### **4.2.1 Normas generales para extintores**

Seleccionar el extintor de acuerdo al tipo de incendio que se desea combatir

Colocarlos en las zonas con mayor riesgo de incendio

Ubicarlos en lugares de fácil acceso

El extintor que pese mas de 17 kilogramos debe colocarse a una altura máxima de 51 centímetros del piso, los extintores de menos de 17 kilogramos se deben colocar a 1.50 metros del piso.

Pintar un círculo rojo en el lugar donde se encuentre un extintor

Dar mantenimiento constante a los extintores y sustituir las partes que se encuentren deterioradas.

Realizar una prueba hidrostática cuando menos una vez cada cinco años.

#### **4.2.2. Para el área de almacenamiento de hidrógeno**

Verificar que la instalación de los sistemas de aterrizaje se encuentren en buen estado.

Instalar más señales que indique los peligros del área de almacenamiento, así como letreros de medidas de precaución.

Evitar el crecimiento de maleza, en las cercanías del área de almacenamiento.

#### **4.2.3. Para el área de almacenamiento de Gas L P**

Proteger los tanques y el vaporizador contra posibles daños que se puedan ocasionar por el tránsito vehicular.

Vigilar de forma estricta que se realicen las siguiente medidas de seguridad durante la carga de los tanques de almacenamiento, a través de los auto-tanques.

Para reducir el riesgo de movimiento accidental, impedir el movimiento del vehículo colocando calzas en las ruedas.

Colocar barreras físicas para impedir el paso de otros vehículos y peatones.

Verificar que los auto-tanques cuenten con un dispositivo de emergencia de cierre del motor que impulsa la bomba de llenado y que pueda ser desconectado desde fuera de la cabina.

Vigilar que la cisterna del camión sea aterrizada a tierra, antes de iniciar el llenado.

#### **4.2.4. Para el área de recocido**

##### **i) Verificación diaria**

- a) Revisar los pilotos para una ignición adecuada del quemador principal.
- b) Revisar que la relación gas/aire sea la propia a la entrada.
- c) Revisar la temperatura de operación en la cámara.

- d) Revisar la temperatura del agua de enfriamiento en el transporte y en el hogar del ventilador  
Revisar el flujo de agua en el tanque de alivio.
- e) Revisar la operación propia de los ventiladores.
- f) Revisar que la presión positiva sea constante durante el flujo de la atmósfera especial de gas dentro de la cámara.
- g) Revisar que las válvulas y las conexiones flexibles de la tubería de Gas L P estén bien apretadas.
- h) Revisar ruidos inusuales en el transporte y la vibración en flechas de: Ventiladores bombas y motores.
- i) Mantener en su nivel el depósito de lubricante.
- j) Revisar manchas que se puedan presentar alrededor de la base del quemador.
- k) Mantener la base del horno libre de tierra y materiales extraños.

#### **ii) Verificación semanal**

- a) Inspeccionar el quemador y mantenerlo limpio.
- b) Probar las señales audibles y visuales de los sistemas de alarma.
- c) Revisar la chispa de ignición y calibrar espacio entre electrodos.
- d) Revisar que los interruptores de presión estén calibrados a la presión establecida.
- e) Limpiar las válvulas de purga de cada base del horno de agua, tierra, aceite, etc.

#### **iii) Verificación mensual**

- a) Probar la secuencia del circuito de todo el equipo de seguridad. Manualmente hacer fallar cada circuito.
- b) Revisar que las válvulas de seguridad estén bien cerradas y apretadas.
- c) Revisar que los interruptores de presión se encuentren calibrados. Mover el interruptor y observar que se accione a la presión de trabajo.
- d) Revisar los interruptores y contactos eléctricos; limpiar si es necesario.
- e) Revisar las condiciones del refractario en la base del aislamiento del horno y reparar si es necesario.

## BIBLIOGRAFÍA

Butrón-Silva, J.A. 1981. Tesis de Maestría. Administración y Control de Proyectos en Plantas de Proceso.UNAM. México D.F., México.

IIIGC. 2000. Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral, Dirección Regional Centro Sur. Anuario Estadístico del Estado de México. INEGI. Toluca, Estado de México. México.

IMASA. 1996. Ingeniería del Medio Ambiente S.A. de C.V. y Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Curso "Simulación de Accidentes en Industrias de Alto Riesgo". Guadalajara, Jalisco, México.

INEGI. 2000. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, 2000. Censo General de Población y Vivienda 2000. INEGI. Toluca, Estado de México, México.

LGEEPA. 1994. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Editorial Porrúa. México D.F. México.

MAPFRE. 1995. Curso sobre Análisis de Riesgos. Instituto Tecnológico de Seguridad MAPFRE. México D.F. México.

Kletz, T. 1977. Protect Pressure Vessels From Fire. Hydrocarbon Processing. Agosto. Pp. 116-120.

Nelson, R.W. 1977. Know Your Insurer's Expectations. Hydrocarbon Processing. Agosto. Pp. 103-108.

OIT. 1990. Manual Práctico Para el Control de Riesgos de Accidentes Mayores, Oficina Internacional del Trabajo Ginebra, Suiza.

Perry, R.H.; Green, D.W. y Maloney, J.O. 1993. Manual del Ingeniero Químico, Mc Graw Hill. México, D.F., México.

Reyes, F.G. y Almeida, W.F. 1992. Toxicología, Perspectivas y Seguridad Química, Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas. Ed. Limusa. México D.F., México.

Ramírez-Cavassa, C. 1986. Seguridad Industrial, Limusa. México, D.F., México.

SIC. 1974. Secretaría de Industria y Comercio, Dirección General del Gas. Instructivo del diseño de instalaciones de gas, tipo doméstico y comercial. México, D.F., México.

## **Anexo I**

### **Hojas de cálculo del índice de Mond para las diferentes secciones de la planta**

## ÍNDICE MOND PARA INCENDIO, FUEGO Y/O EXPLOSIÓN

PLANTA IUSA	DEPARTAMENTO SEGURIDAD Y ECOLOGÍA	SECCIÓN ALMTO DE GAS L P	FECHA May9, 2002
----------------	--------------------------------------	-----------------------------	---------------------

### MATERIALES Y PROCESO

PRODUCTOS NINGUNO REACCIONES NINGUNO	SOLVENTES NINGUNO MATERIAL CLAVE GAS L P
---	---

1.- FACTOR MATERIAL "B" = 21

2.- RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (M)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) OXIDANTES	0 A 20	0
B) REACCIÓN PELIGROSA CON AGUA	0 A 30	0
C) MEZCLADO Y DISPERSION	(-50 A +100)	30
D) COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA	30 A 250	0
E) POLIMERIZACIÓN ESPONTÁNEA	0 A 75	0
F) SENSIBILIDAD A LA IGNIÓN	(-75 A 150)	0
G) DESCOMPOSICIÓN EXPLOSIVA	0 A 125	0
H) EXPLOSIÓN EN FASE GASEOSA	0 A 150	0
I) EXPLOSIÓN EN FASE CONDENSADA	200 A 1000	200
J) OTROS RIESGOS	0 A 150	20
<b>SUMA DE FACTORES R.E.M.</b>	<b>M</b>	<b>250</b>

3.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (P)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) MANEJO Y CAMBIOS FÍSICOS ÚNICAMENTE	0 A 50	10
B) REACCIÓN ÚNICA	0 A 50	0
C) REACCIÓN POR LOTES	10 A 60	0
D) REACCIONES MÚLTIPLES	25 A 75	0
E) TRANSFERENCIA DE MATERIAL	0 A 50	0
F) CONTENEDORES PORTÁTILES	25 A 100	0
<b>SUMA DE FACTORES R.G.P.</b>	<b>P</b>	<b>10</b>

4.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (S)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) BAJA PRESIÓN < 0 7182kPa <sub>a</sub> (<15 PSI)	0 A 100	0
B) ALTA PRESIÓN > 0 7182kPa <sub>a</sub> (>15 PSI)	0 A 180	40
C) BAJA TEMPERATURA (-10 A +10°C)	0 A 15	0
BAJA TEMPERATURA ABAJO -10°C		
1) AC. AL CARBÓN	100	0
2) AC. AL CARBÓN		
3) OTROS MATERIALES		
D) ALTA TEMPERATURA	0 A 30	0
ALTA TEMPERATURA CONSTRUCCIÓN	0 A 40	25
1) INFLAMABILIDAD	0 A 25	25
2) MATERIALES		
E) CORROSIÓN Y EROSIÓN	0 A 150	10
F) FUGAS EN JUNTAS Y EMPAQUES	0 A 60	10
G) VIBRACIÓN	0 A 50	0
H) CONTROL DIFÍCIL DE PROCESO O REACCIÓN	20 A 300	0
I) OPERACIÓN CERCA O DENTRO DEL INTERVALO INFLAMABLE	0 A 150	40
J) RIESGO DE EXPLOSIÓN MAYOR AL PROMEDIO DE RIESGO	40 A 100	40
K) POLVOS O NIEBLAS RIESGOSAS	30 A 70	0
L) OXIDANTES MUY FUERTES	0 A 300	0
M) SENSIBILIDAD A LA IGNIÓN	0 A 75	40
N) RIESGOS ELECTROSTÁTICOS	25 A 75	0
TEMPERATURA DE PROCESO K		
T*	0	298
<b>SUMA DE FACTORES R.E.P.</b>	<b>S</b>	<b>230</b>

5.- RIESGOS POR CANTIDAD

FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
RIESGOS DE CANTIDAD	110

### 6.- RIESGOS POR CONDICIONES DE LA NAVAE

ALTURA DE LA UNIDAD (m) <sup>2</sup>	H=	1
AREA DE TRABAJO (m <sup>2</sup> )	N=	100
A) DISEÑO ESTRUCTURAL	0 A 200	30
B) EFECTO DOMINIO	0 A 150	50
C) ÁREAS SUBTERRÁNEAS	0 A 150	0
D) DREN. "E" SUPERFICIAL	0 A 100	0
E) OTROS	0 A 250	30
<b>SUMA DE FACTORES R.L.A.</b>	<b>L=</b>	<b>110</b>

7.- RIESGOS DE TOXICIDAD (T)

A) T L V o VMP	
B) FORMA DEL MATERIAL	
C) EXPOSICIÓN CORTA	
D) ABSORCIÓN POR PIEL	
E) FACTORES FÍSICOS	
SUMA DE FACTORES R. T.	
6.- RESUMEN DE VALORES DE FACTORES	
FACTOR MATERIAL B=	21
RIESGOS ESPECIALES DE MATERIAL M=	250
MEZCLADO m=	0
RIESGOS GENERALES DE PROCESO P=	10
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO S=	230
PRESIÓN p=	40
TEMPERATURA T=	298

FACTOR SUGERIDO

0 A 300
25 A 200
(-100 A 150)
0 A 300
0 A 300
7=

FACTOR USADO

10
0
0
0
10
10
20

CANTIDAD K=	110
RIESGOS POR CANTIDAD Q=	83
ALTURA H=	1
AREA N=	100
RIESGOS POR COND. NAVE L=	110
RIESGOS POR TOXICIDAD T=	20

17 504

RESULTADOS PARCIALES, PARA FINES DE CÁLCULO

D	473550	C	97.94	XX	21.82
F	1 18	E	1.49	W	0.99
U	476 150	K	2597.07	Z	0.041
X		R	399.4568	A	105.77

9.- CÁLCULO DE ÍNDICES

VALOR

CATEGORÍA

D.- ÍNDICE GENERAL DE RIESGO $D = B(1+(M/100))(1+(P/100))(1+(S+Q+L/100))+T/400$	17.504025	SUAVE
F.- CARGA DE FUEGO POR COMBUSTIBLES $F = B \cdot K/N (20500 \text{ BTU/FT}^2)$	473550	MUY ALTO
U.- ÍNDICE DE TOXICIDAD $U = T/100(1+(M+P+S/100))$	1.18	BAJO
C.- ÍNDICE DE TOXICIDAD MAYOR $C = Q \cdot U$	97.94	MODERADO
E.- ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA $E = 1+(M+P+S/100)$	1.49	BAJO
A.- ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA $A = B(1+m/100)Q^2H^2E^2(U/300)^2(1+p/1000)$	105.7700042	MODERADO
R.- ÍNDICE TOTAL DE MOND $R = D(1+SQR(F+U+E+A/1000))$	399.4568273	MODERADO

## 10.- FACTORES DE CORRECCIÓN POR MEDIDAS DE SEGURIDAD

<b>K1.- CONTROL DE RIESGOS EN CONTENEDORES</b>	<b>VALOR</b>	
A) RECIPIENTES A PRESIÓN	1	
B) TANQUES VERTICALES ATMOSFÉRICOS	1	
C) TUBERÍA	1	
1 - DISEÑO POR TENSIÓN	1	
2 - JUNTAS Y EMPAQUES	1	
D) CONTENEDORES ADICIONALES	1	
E) DETECCIÓN Y RESPUESTA A FUGAS Y DERRAMES	0.95	
F) DESECHO DE MATERIAL FUGADO	1	
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.R.C.</b>	<b>K<sub>1</sub> =</b>	<b>0.95</b>
<b>K2.- CONTROL DE PROCESO</b>		
A) SISTEMA DE ALARMAS	1	
B) ENERGÍA DE EMERGENCIA	0.95	
C) SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	1	
D) SISTEMA DE GAS INERTE	1	
E) ACTIVIDADES DE ANÁLISIS DE RIESGOS	0.95	
F) SISTEMAS DE PARO DE SEGURIDAD	0.95	
G) CONTROL POR COMPUTADORA	1	
H) PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIÓN O REACCIÓN PELIGROSA	1	
I) INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN	0.98	
J) SUPERVISIÓN DE PLANTA	0.95	
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.P.</b>	<b>K<sub>2</sub> =</b>	<b>0.7962</b>
<b>K3.- ACTITUD HACIA LA SEGURIDAD</b>		
A) INVOLUCRAMIENTO DE LA GERENCIA	0.95	
B) ENTRENAMIENTO EN SEGURIDAD	0.95	
C) PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO	0.95	
<b>PRODUCTO DE FACTORES A.S.</b>	<b>K<sub>3</sub> =</b>	<b>0.8574</b>
<b>K4.- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO</b>		
A) PROTECCIÓN A ESTRUCTURAS	1	
B) BARRERAS RESISTENTES AL FUEGO	1	
C) EQUIPO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	0.95	
<b>PRODUCTO DE FACTORES P.C.I.</b>	<b>K<sub>4</sub> =</b>	<b>0.95</b>
<b>K5.- AISLAMIENTO DE MATERIALES</b>		
A) SISTEMAS DE VÁLVULAS	0.95	
B) VENTILACIÓN	0.95	
<b>PRODUCTO DE FACTORES A.M.</b>	<b>K<sub>5</sub> =</b>	<b>0.9025</b>
<b>K6.- COMBATE DE INCENDIOS</b>		
A) ALARMA DE EMERGENCIA	0.95	
B) EXTINGUIDORES PORTÁTILES	0.95	
C) SUMINISTRO DE AGUA CONTRA INCENDIO	0.95	
D) SISTEMAS DE ROCIADORES	1	
E) SISTEMA DE ESPUMA Y GAS INERTE	1	
F) BRIGADA	0.95	
G) APOYO EXTERNO Y/O INTERNO	0.95	
H) EXTRACTORES DE HUMO	1	
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.I.</b>	<b>K<sub>6</sub> =</b>	<b>0.7738</b>

### 11.- RESUMEN FACTORES DE SEGURIDAD

CONTROL DE RIESGOS EN		PROTECCIÓN CONTRA	
CONTENEDORES	K1= 0.95	INCENDIO	K4= 0.95
CONTROL DE PROCESO	K2= 0.7982	AISLAMIENTO DE MATERIAL	K5= 0.9025
ACTITUD HACIA LA SEGURIDAD	K3 0.8574	COMBATE DE INCENDIOS	K6= 0.7738

### 12.- CÁLCULO DE ÍNDICES FINALES

	VALOR	CATEGORÍA
FI CARGA DE FUEGO, $FI = F^* K_1^* K_4^* K_6$	<b>385709.4</b>	<b>ALTO</b>
EI ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA, $EI = E^* K_2^* K_3$	<b>1.02</b>	<b>BAJO</b>
AI ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA, $AI = A^* K_1^* K_5^* K_6$	<b>70.17</b>	<b>MODERADO</b>
RI ÍNDICE TOTAL MOND, $RI = R^* K_1^* K_2^* K_3^* K_4^* K_5^* K_6$	<b>172.30</b>	<b>MODERADO</b>

**INDICE MOND PARA INCENDIO, FUEGO Y/O EXPLOSIÓN**

PLANTA USA	DEPARTAMENTO SEGURIDAD Y ECOLOGÍA	SECCIÓN ALMTO. DE HIDROGENO	FECHA Mayo, 2002
---------------	--------------------------------------	--------------------------------	---------------------

**MATERIALES Y PROCESO**

PRODUCTOS NINGUNO	SOLVENTES NINGUNO
REACCIONES NINGUNO	MATERIAL CLAVE HIDROGENO

**1.- FACTOR MATERIAL "B" =** **81**

2.- RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (M)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) OXIDANTES	0 A 20	0
B) REACCIÓN PELIGROSA CON AGUA	0 A 30	0
C) MEZCLADO Y DISPERSIÓN	(-60 A +100)	-60
D) COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA	30 A 250	0
E) POLIMERIZACIÓN ESPONTÁNEA	0 A 75	0
F) SENSIBILIDAD A LA IGNICIÓN	(-75 A 150)	50
G) DESCOMPOSICIÓN EXPLOSIVA	0 A 125	0
H) EXPLOSIÓN EN FASE GASEOSA	0 A 150	0
I) EXPLOSIÓN EN FASE CONDENSADA	200 A 1000	0
J) OTROS RIESGOS	0 A 150	20
<b>SUMA DE FACTORES R.E.M.</b>	<b>M</b>	<b>10</b>

3.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (P)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) MANEJO Y CAMBIOS FÍSICOS ÚNICAMENTE	0 A 50	10
B) REACCIÓN ÚNICA	0 A 50	0
C) REACCIÓN POR LOTES	10 A 60	0
D) REACCIONES MÚLTIPLES	25 A 75	0
E) TRANSFERENCIA DE MATERIAL	0 A 50	0
F) CONTENEDORES PORTÁTILES	25 A 100	0
<b>SUMA DE FACTORES R.G.P.</b>	<b>P</b>	<b>10</b>

4.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (S)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) BAJA PRESIÓN <0 7162kPa (<15 PSI)	0 A 100	0
B) ALTA PRESIÓN > 0 7162kPa (>15 PSI)	0 A 160	90
C) BAJA TEMPERATURA	0 A 15	15
1) AC. AL CARBÓN		
BAJA TEMPERATURA		
2) AC. AL CARBÓN		
BAJO -10°C	100	0
BAJA TEMPERATURA		
3) OTROS MATERIALES		
D) ALTA TEMPERATURA	0 A 30	0
1) INFLAMABILIDAD	0 A 40	0
ALTA TEMPERATURA	0 A 25	0
2) MATERIALES		
CONSTRUCCIÓN		
E) CORROSIÓN Y EROSIÓN	0 A 150	20
F) FUGAS EN JUNTAS Y EMPAQUES	0 A 60	20
G) VIBRACIÓN	0 A 50	0
H) CONTROL DIFÍCIL DE PROCESO O REACCIÓN	20 A 300	0
I) OPERACIÓN CERCA O DENTRO DEL INTERVALO INFLAMABLE	0 A 150	100
J) RIESGO DE EXPLOSIÓN MAYOR AL PROMEDIO DE RIESGO	40 A 100	0
K) POLVOS O NIEBLAS RIESGOSAS	30 A 70	0
L) OXIDANTES MUY FUERTES	0 A 300	0
M) SENSIBILIDAD A LA IGNICIÓN	0 A 75	20
N) RIESGOS ELECTROSTÁTICOS	25 A 75	25
TEMPERATURA DE PROCESO K	0	323
<b>SUMA DE FACTORES R.E.P.</b>	<b>S</b>	<b>290</b>
<b>5.- RIESGOS POR CANTIDAD</b>	<b>FACTOR SUGERIDO</b>	<b>FACTOR USADO</b>
RIESGOS DE CANTIDAD	Q	1

6.- RIESGOS POR CONDICIONES DE LA NAVE	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
ALTURA DE LA UNIDAD (m)=	H=	1
ÁREA DE TRABAJO (m <sup>2</sup> )	N=	50
A) DISEÑO ESTRUCTURAL	0 A 200	0
B) EFECTO DOMINO	0 A 150	30
C) ÁREAS SUB-ERRÁNEAS	0 A 150	0
D) DRENAJE SUPERFICIAL	0 A 100	0
E) OTROS	0 A 250	20
<b>SUMA DE FACTORES R.L.A.</b>	<b>L=</b>	<b>80</b>

**98**

## 7.- RIESGOS DE TOXICIDAD (T)

	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) T L V	0 A 300	10
B) FORMA DEL MATERIAL	25 A 200	0
C) EXPOSICIÓN CORTA	(-100 A 150)	0
D) ABSORCIÓN POR PIEL	0 A 300	0
E) FACTORES FÍSICOS	0 A 300	10
<b>SUMA DE FACTORES R.T.</b>	<b>T=</b>	<b>20</b>

## 8.- RESUMEN DE VALORES DE FACTORES

FACTOR MATERIAL B=	61	CANTIDAD K=	1
RIESGOS ESPECIALES DE MATERIAL M=	10	RIESGOS POR CANTIDAD Q=	1
MEZCLADO m=	0	ALTURA H=	1
RIESGOS GENERALES DE PROCESO P=	10	ÁREA N=	50
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO S=	290	RIESGOS POR COND. NAVE L=	50
FACTOR PRESIÓN p=	90	RIESGOS POR TOXICIDAD T=	20
TEMPERATURA 1=	293		

## RESULTADOS PARCIALES, PARA FINES DE CÁLCULO

D=	15 168	C	0.82 XX	5 01
F=	25010	E	1.31 W	0.98
U=	0.82	K	79.91 Z	0.091
X=	25 092	R	91.147 A	7.10

## 9.- CÁLCULO DE ÍNDICES

## VALOR CATEGORÍA

<b>D.- ÍNDICE GENERAL DE RIESGO</b> $D = B(1+(M/100))(1+(P/100))(1+(S+Q+L/100))+T/400$	15.168	SUAVE
<b>F.- CARGA DE FUEGO POR COMBUSTIBLES</b> $F = B \cdot K/N$ (20500 BTU/FT <sup>2</sup> )	25010	LIGERO
<b>U.- ÍNDICE DE TOXICIDAD</b> $U = T/100(1+(M+P+S/100))$	0.82	LIGERO
<b>C.- ÍNDICE DE TOXICIDAD MAYOR</b> $C = Q \cdot U$	0.82	LIGERO
<b>E.- ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA</b> $E = 1+(M+P+S/100)$	1.31	BAJO
<b>A.- ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA</b> $A = B \cdot (1+m/100) \cdot Q \cdot H \cdot E \cdot (U/300) \cdot (1+p/1000)$	7.102	LIGERO
<b>R.- ÍNDICE TOTAL DE MOND</b> $R = D(1+\sqrt{R(F+U+E+A/1000)})$	91.15	BAJO

## 10.- FACTORES DE CORRECCIÓN POR MEDIDAS DE SEGURIDAD

	VALOR
<b>K1.- CONTROL DE RIESGOS EN CONTENEDORES</b>	
A) RECIPIENTES A PRESIÓN	1
B) TANQUES VERTICALES ATMOSFÉRICOS	1
C) TUBERÍA 1 - DISEÑO POR TENSIÓN	1
2 - JUNTAS Y EMPAQUES	1
D) CONTENEDORES ADICIONALES	1
E) DETECCIÓN Y RESPUESTA A FUGAS Y DERRAMES	0.95
F) DESECHO DE MATERIAL FUGADO	1
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.R.C.</b>	
<b>K2.- CONTROL DE PROCESO</b>	<b>K<sub>1</sub> = 0.95</b>
A) SISTEMA DE ALARMAS	1
B) ENERGÍA DE EMERGENCIA	0.95
C) SISTEMA DE ENFRÍAMIENTO	1
D) SISTEMA DE GAS INERTE	1
E) ACTIVIDADES DE ANÁLISIS DE RIESGOS	0.95
F) SISTEMAS DE PARO DE SEGURIDAD	0.95
G) CONTROL POR COMPUTADORA	1
H) PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIÓN O REACCIÓN PELIGROSA	1
I) INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN	0.98
J) SUPERVISIÓN DE PLANTA	0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.P.</b>	<b>K<sub>2</sub> = 0.7982</b>
<b>K3.- ACTITUD HACIA LA SEGURIDAD</b>	
A) INVOLUCRAMIENTO DE LA GERENCIA	0.95
B) ENTRENAMIENTO EN SEGURIDAD	0.95
C) PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO	0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES A.S.</b>	<b>K<sub>3</sub> = 0.8574</b>
<b>K4.- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO</b>	
A) PROTECCIÓN A ESTRUCTURAS	1
B) BARRERAS RESISTENTES AL FUEGO	1
C) EQUIPO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES P.C.I.</b>	<b>K<sub>4</sub> = 0.95</b>
<b>K5.- AISLAMIENTO DE MATERIALES</b>	
A) SISTEMAS DE VÁLVULAS	0.95
B) VENTILACIÓN	0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES A.M.</b>	<b>K<sub>5</sub> = 0.9025</b>
<b>K6.- COMBATE DE INCENDIOS</b>	
A) ALARMA DE EMERGENCIA	0.95
B) EXTINGUIDORES PORTÁTILES	0.95
C) SUMINISTRO DE AGUA CONTRA INCENDIO	0.95
D) SISTEMAS DE ROCIADORES	1
E) SISTEMA DE ESPUMA Y GAS INERTE	1
F) BRIGADA	0.95
G) APOYO EXTERNO Y/O INTERNO	0.95
H) EXTRACTORES DE HUMO	1
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.I.</b>	<b>K<sub>6</sub> = 0.7738</b>

## 11.- RESUMEN FACTORES DE SEGURIDAD

CONTROL DE RIESGOS EN CONTENEDORES K1=	0.95	PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO K4=	0.95
CONTROL DE PROCESO K2=	0.7982	AISLAMIENTO DE MATERIAL K5=	0.9025
ACTITUD HACIA LA SEGURIDAD K3	0.8574	COMBATE DE INCENDIOS K6=	0.7738

## 12.- CÁLCULO DE ÍNDICES FINALES

	VALOR	CATEGORÍA
FI CARGA DE FUEGO. $FI = F \cdot K_1 \cdot K_4 \cdot K_6$	<b>20370.801</b>	<b>LIGERO</b>
EI ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA. $EI = E \cdot K_2 \cdot K_3$	<b>0.8965254</b>	<b>LIGERO</b>
AI ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AEREA. $AI = A \cdot K_1 \cdot K_5 \cdot K_6$	<b>4.7117011</b>	<b>LIGERO</b>
RI ÍNDICE TOTAL MOND. $RI = R \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$	<b>39.313991</b>	<b>BAJO</b>

## ÍNDICE MOND PARA INCENDIO, FUEGO Y/O EXPLOSIÓN

PLANTA IUSA	DEPARTAMENTO SEGURIDAD Y ECOLOGÍA	SECCIÓN FUNDICIÓN	FECHA Mayo 2002
----------------	--------------------------------------	----------------------	--------------------

### MATERIALES Y PROCESO

<b>PRODUCTOS</b> TUBOS DE COBRE REACCIONES NINGUNA	<b>SOLVENTES</b> NINGUNO MATERIAL CLAVE GAS L.P.
---	---

1.- FACTOR MATERIAL "B" =	21
---------------------------	----

2.- RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (M)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) OXIDANTES	0 A 20	0
B) REACCIÓN PELIGROSA CON AGUA	0 A 30	0
C) MEZCLADO Y DISPERSION	(-60 A -100)	30
D) COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA	30 A 250	0
E) POLIMERIZACIÓN ESPONTÁNEA	0 A 75	0
F) SENSIBILIDAD A LA IGNICIÓN	(-75 A 150)	0
G) DESCOMPOSICIÓN EXPLOSIVA	0 A 125	0
H) EXPLOSIÓN EN FASE GASEOSA	0 A 150	0
I) EXPLOSIÓN EN FASE CONDENSADA	200 A 1000	0
J) OTROS RIESGOS	0 A 150	20
<b>SUMA DE FACTORES R.E.M.</b>	<b>M</b>	<b>50</b>

3.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (P)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) MANEJO Y CAMBIOS FÍSICOS ÚNICAMENTE	0 A 50	20
B) REACCIÓN ÚNICA	0 A 50	0
C) REACCIÓN POR LOTES	0 A 80	0
D) REACCIONES MÚLTIPLES	25 A 75	0
E) TRANSFERENCIA DE MATERIAL	0 A 50	25
F) CONTENEDORES PORTÁTILES TRANSPOR	25 A 100	0
<b>SUMA DE FACTORES R.G.P.</b>	<b>P</b>	<b>45</b>

4.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (S)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) BAJA PRESIÓN <0 7182kPa (<15 PSI)	0 A 100	20
B) ALTA PRESIÓN > 0 7182kPa (>15 PSI)	0 A 160	40
C) BAJA TEMPERATURA 1) AC. AL CARBÓN (-10 A +10°C)	0 A 15	0
BAJA TEMPERATURA 2) AC. AL CARBÓN ABAJO -10°C	100	0
BAJA TEMPERATURA 3) OTROS MATERIALES		0
D) ALTA TEMPERATURA 1) INFLAMABILIDAD	0 A 30	20
ALTA TEMPERATURA 2) MATERIALES CONSTRUCCIÓN	0 A 40	25
E) CORROSIÓN Y EROSIÓN	0 A 25	0
F) FUGAS EN JUNTAS Y EMPAQUES	0 A 150	20
G) VIBRACIÓN	0 A 50	0
H) CONTROL DIFÍCIL DE PROCESO O REACCIÓN	20 A 300	0
I) OPERACIÓN CERCA O DENTRO DEL INTERVALO INFLAMABLE	0 A 150	100
J) RIESGO DE EXPLOSIÓN MAYOR AL PROMEDIO DE RIESGO	0 A 150	80
K) POLVOS O NIEBLAS RIESGOSAS	40 A 100	0
L) OXIDANTES MUY FUERTES	30 A 70	0
M) SENSIBILIDAD A LA IGNICIÓN	0 A 300	0
N) RIESGOS ELECTROSTÁTICOS	0 A 75	50
TEMPERATURA DE PROCESO K	0	1200
<b>SUMA DE FACTORES R.E.P.</b>	<b>S</b>	<b>375</b>

5.- RIESGOS POR CANTIDAD	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
RIESGOS DE CANTIDAD	C	1

6.- RIESGOS POR CONDICIONES DE LA UNIDAD	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
ALTURA DE LA UNIDAD (m) <sup>2</sup>	H=	8
ÁREA DE TRABAJO (m <sup>2</sup> )	A=	230
A) DISEÑO ESTRUCTURAL	0 A 200	0
B) EFECTO DOMINO	0 A 150	50
C) ÁREAS SUBTERRÁNEAS	0 A 150	0
D) DRENADAJE SUPERFICIAL	0 A 100	0
E) OTROS	0 A 250	30
<b>SUMA DE FACTORES R.L.A.</b>	<b>L=</b>	<b>80</b>

ESGOS DE TOXICIDAD (T)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
V	0 A 300	10
ARMAS DEL MATERIAL	25 A 200	0
POSICIÓN CORTA	(-100 A 100)	0
ISORCIÓN POR PIEL	0 A 300	0
EFFECTOS FÍSICOS	0 A 300	10
<b>Σ DE FACTORES R.T.</b>	<b>T*</b>	<b>20</b>

**RESUMEN DE VALORES DE FACTORES**

OR MATERIAL B=	21	CANTIDAD K=	1
OS ESPECIALES DE MATERIAL M=	50	RIESGOS POR CANTIDAD Q=	1
CLADO m=	0	ALTURA H=	8
OS GENERALES DE		ÁREA N=	230
ESO P=	45	RIESGOS POR COND NAVE L	50
OS ESPECIALES DE PROCESO S=	375	RIESGOS POR TOXICIDAD T=	20
OR PRESIÓN P=	40		
ERATURA T=	900		

**RESULTADOS PARCIALES, PARA FINES DE CÁLCULO**

D= 11 327	C	1.14 XX	1.48
F= 1871 7391	E	147 W	3.00
U= 1.14	K	248.96 Z	0.041
X= 2 121	R	27.825 A	30.36

**CÁLCULO DE ÍNDICES**

**VALOR**

**CATEGORÍA**

<b>ÍNDICE GENERAL DE RIESGO</b> $B(1+(M/100))(1+(P/100))(1+(S+Q+L/100)+T/400)$	11.327	SUAVE
<b>CARGA DE FUEGO POR COMBUSTIBLES</b> $B^2/K/N (20500 BTU/FT^2)$	1871.73913	LIGERO
<b>ÍNDICE DE TOXICIDAD</b> $T/100(1+(M+P+S/100))$	1.14	BAJO
<b>ÍNDICE DE TOXICIDAD MAYOR</b> $Q^*U$	1.14	LIGERO
<b>ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA</b> $1+(M+P+S/100)$	1.47	BAJO
<b>ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA</b> $B^2(1+M/100)Q^*H^*E^*(U/300)^2(1+p/1000)$	30.376	LIGERO
<b>ÍNDICE TOTAL DE MOND</b> $D(1+SQR(F+U+E+A/1000))$	27.83	BAJO

## 10.- FACTORES DE CORRECCIÓN POR MEDIDAS DE SEGURIDAD

<b>K1.- CONTROL DE RIESGOS EN CONTENEDORES</b>		<b>VALOR</b>	
A) RECIENTES A PRESIÓN			1
B) TANQUES VERTICALES ATMOSFÉRICOS			1
C) TUBERÍA	1 - DISEÑO POR TENSIÓN		1
	2 - JUNTAS Y EMPAQUES		1
D) CONTENEDORES ADICIONALES			1
E) DETECCIÓN Y RESPUESTA A FUGAS Y DERRAMES			0.95
F) DESECHO DE MATERIAL FUGADO			1
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.R.C.</b>		<b>K<sub>1</sub> =</b>	<b>0.95</b>
<b>K2.- CONTROL DE PROCESO</b>			
A) SISTEMA DE ALARMAS			1
B) ENERGÍA DE EMERGENCIA			0.95
C) SISTEMA DE ENFRÍAMIENTO			1
D) SISTEMA DE GAS INERTE			1
E) ACTIVIDADES DE ANÁLISIS DE RIESGOS			0.95
F) SISTEMAS DE PARO DE SEGURIDAD			0.95
G) CONTROL POR COMPUTADORA			1
H) PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIÓN O REACCIÓN PELIGROSA			1
I) INSPECCIONES DE OPERACIÓN			0.98
J) SUPERVISIÓN DE PLANTA			0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.P.</b>		<b>K<sub>2</sub> =</b>	<b>0.7982</b>
<b>K3.- ACTITUD HACIA LA SEGURIDAD</b>			
A) INVOLUCRAMIENTO DE LA GERENCIA			0.95
B) ENTRENAMIENTO EN SEGURIDAD			0.95
C) PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO			0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES A.S.</b>		<b>K<sub>3</sub> =</b>	<b>0.8574</b>
<b>K4.- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO</b>			
A) PROTECCIÓN A ESTRUCTURAS			1
B) BARRERAS RESISTENTES AL FUEGO			1
C) EQUIPO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO			0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES P.C.I.</b>		<b>K<sub>4</sub> =</b>	<b>0.98</b>
<b>K5.- AISLAMIENTO DE MATERIALES</b>			
A) SISTEMAS DE VÁLVULAS			0.95
B) VENTILACIÓN			0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES A.M.</b>		<b>K<sub>5</sub> =</b>	<b>0.9025</b>
<b>K6.- COMBATE DE INCENDIOS</b>			
A) ALARMA DE EMERGENCIA			0.95
B) EXTINGUIDORES PORTÁTILES			0.95
C) SUMINISTRO DE AGUA CONTRA INCENDIO			0.95
D) SISTEMAS DE ROCIADORES			1
E) SISTEMA DE ESPUMA Y GAS INERTE			1
F) BRIGADA			0.95
G) APOYO EXTERNO Y/O INTERNO			0.95
H) EXTRACTORES DE HUMO			1
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.I.</b>		<b>K<sub>6</sub> =</b>	<b>0.7738</b>

## 11.- RESUMEN FACTORES DE SEGURIDAD

CONTROL DE RIESGOS EN CONTENEDORES	K <sub>1</sub>	0.95	PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	K <sub>4</sub>	0.95
CONTROL DE PROCESO	K <sub>2</sub>	0.7982	AISLAMIENTO DE MATERIAL	K <sub>5</sub>	0.9025
ACTITUD HACIA LA SEGURIDAD	K <sub>3</sub>	0.8574	COMBATE DE INCENDIOS	K <sub>6</sub>	0.7738

## 12.- CÁLCULO DE ÍNDICES FINALES

	VALOR	CATEGORÍA
FÍ CARGA DE FUEGO. $F_I = F \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$	<b>1524.54</b>	<b>LIGERO</b>
EÍ ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA. $E_I = E \cdot K_2 \cdot K_3$	<b>1.008</b>	<b>LIGERO</b>
AÍ ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AEREA. $A_I = A \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$	<b>20.152</b>	<b>LIGERO</b>
RÍ ÍNDICE TOTAL MOND. $R_I = R \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6$	<b>12.002</b>	<b>SUAVE</b>

## ÍNDICE MOND PARA INCENDIO, FUEGO Y/O EXPLOSIÓN

PLANTA IUSA	DEPARTAMENTO SEGURIDAD Y ECOLOGIA	SECCIÓN RECOCCIDO	FECHA Mayo, 2002
----------------	--------------------------------------	----------------------	---------------------

### MATERIALES Y PROCESO

PRODUCTOS TUBOS DE COBRE REACCIONES COMBUSTION	SOLVENTES HIDROGENO MATERIAL CLAVE GAS L P
---	---

#### 1.- FACTOR MATERIAL "B" = 21

2.- RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (M)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) OXIDANTES	0 A 20	0
B) REACCION PELIGROSA CON AGUA	0 A 30	0
C) MEZCLADO Y DISPERSION	(-60 + 100)	30
D) COMBUSTION ESPONTANEA	30 A 250	0
E) POLIMERIZACION ESPONTANEA	0 A 75	0
F) SENSIBILIDAD A LA IGNICION	(-75 A 150)	0
G) DESCOMPOSICION EXPLOSIVA	0 A 125	0
H) EXPLOSION EN FASE GASEOSA	0 A 150	0
I) EXPLOSION EN FASE CONDENSADA	200 A 1000	0
J) OTROS RIESGOS	0 A 150	20
<b>SUMA DE FACTORES R.E.M.</b>	<b>M</b>	<b>50</b>

3.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (P)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) MANEJO Y CARGOS FISICOS ÚNICAMENTE	0 A 50	20
B ) REACCION UNICA	0 A 50	0
C) REACCION POR LOTES	10 A 60	0
D) REACCIONES MULTIPLES	25 A 75	0
E) TRANSFERENCIA DE MATERIAL	0 A 50	25
F) CONTENEDORES PORTATILES	25 A 100	0
<b>SUMA DE FACTORES R.G.P.</b>	<b>P</b>	<b>45</b>

4.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (S)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) BAJA PRESION <0 7182kPa (<15 PSI)	0 A 100	20
B) ALTA PRESION > 0 7182kPa (>15 PSI)	pa 0 A 160	40
C) BAJA TEMPERATURA (1) AC. AL CARBON (0 A -10°C)	0 A 15	0
BAJA TEMPERATURA (2) AC. AL CARBON ABAJO -10°C	100	0
BAJA TEMPERATURA (3) OTROS MATERIALES	0 A 30	0
D) ALTA TEMPERATURA (1) INFLAMABILIDAD ALTA TEMPERATURA (2) MATERIALES CONSTRUCCION	0 A 40 0 A 25	20 25
E) CORROSION Y EROSION	0 A 150	20
F) FUGAS EN JUNTAS Y EMPAQUES	0 A 60	20
G) VIBRACION	0 A 50	0
H) CONTROL DIFICIL DE PROCESO O REACCION	20 A 300	0
I) OPERACION CERCA O DENTRO DEL INTERVALO INFLAMABLE	0 A 150	100
J) RIESGO DE EXPLOSION MAYOR AL PROMEDIO DE RIESGO	40 A 100	80
K) POLVOS O NIEBLAS RIESGOSAS	30 A 70	0
L) OXIDANTES MUY FUERTES	0 A 300	0
M) SENSIBILIDAD A LA IGNICION	0 A 75	0
N) RIESGOS ELECTROSTATICOS	25 A 75	50
TEMPERATURA DE PROCESO K 1=	0	800
<b>SUMA DE FACTORES R.E.P.</b>	<b>S</b>	<b>375</b>

5.- RIESGOS POR CANTIDAD	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
<b>RIESGOS DE CANTIDAD</b>	<b>C</b>	<b>1</b>

6.- RIESGOS POR CONDICIONES DE LA NAVE	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
ALTURA DE LA UNIDAD (m)*	H*	8
AREA DE TRABAJO (m <sup>2</sup> )	N*	200
A) DISEÑO ESTRUCTURAL	0 A 200	0
B) EFECTO DOMINO	0 A 150	0
C) AREAS SUBTERRANEAS	0 A 150	0
D) DRENAJE SUPERFICIAL	0 A 100	0
E) OTROS	0 A 250	30
<b>SUMA DE FACTORES R.I. A.</b>	<b>L*</b>	<b>30</b>

7.- RIESGOS DE TOXICIDAD (T)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) T L V o MVP	0 A 300	10
B) FORMA DEL MATERIAL	25 A 200	0
C) EXPOSICIÓN CORTA	(-100 A 150)	0
D) ABSORCIÓN POR PIEL	0 A 300	0
E) FACTORES FÍSICOS	0 A 300	10
<b>SUMA DE FACTORES R. T.</b>	<b>T=</b>	<b>20</b>

### 5.- RESUMEN DE VALORES DE FACTORES

FACTOR MATERIAL B=	21	CANTIDAD K=	1
RIESGOS ESPECIALES DE MATERIAL	50	RIESGOS POR CANTIDAD Q=	1
MEZCLADO M=	0	ALTURA H=	8
RIESGOS GENERALES DE PROCESO P=	45	ÁREA N=	200
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO	375	RIESGOS POR COND. NAVE L=	30
FACTOR PRESIÓN P=	40	RIESGOS POR TOXICIDAD T=	20
TEMPERATURA T=	900		

### RESULTADOS PARCIALES, PARA FINES DE CÁLCULO

D=	11 327	C	1 14 XX	1.55
F=	2152 5	E	1 47 W	3 00
U=	1 14	K	246 96 Z	0 041
X=	2 402	R	28 883 A	30 38

### 9.- CÁLCULO DE ÍNDICES

### VALOR

### CATEGORÍA

D.- ÍNDICE GENERAL DE RIESGO $D = B(1+(M/100))X(1+(P/100))X(1+(S+Q+L/100))+T/400$	11.327	SUAVE
F.- CARGA DE FUEGO POR COMBUSTIBLES $F = B \cdot K/N (20500 \text{ BTU}/\text{FT}^2)$	2152.5	LIGERO
U.- ÍNDICE DE TOXICIDAD $U = T/100(1+(M+P+S/100))$	1.14	BAJO
C.- ÍNDICE DE TOXICIDAD MAYOR $C = Q \cdot U$	1.14	BAJO
E.- ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA $E = 1+(M+P+S/100)$	1.47	BAJO
A.- ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA $A = B^*(1+m/100)^*Q^*H^*E^*(U/300)^*(1+p/1000)$	30.376	BAJO
R.- ÍNDICE TOTAL DE MOND $R = D(1+\text{SQR}(F+U+E+A/1000))$	28.88	BAJO

## 10.- FACTORES DE CORRECCIÓN POR MEDIDAS DE SEGURIDAD

<b>K1.- CONTROL DE RIESGOS EN CONTENEDORES</b>	<b>VALOR</b>	
A) RECIPIENTES A PRESIÓN		1
B) TANQUES VERTICALES ATMOSFÉRICOS		1
C) TUBERÍA	1 - DISEÑO POR TENSION	1
	2 - JUNTAS Y EMPAQUES	1
D) CONTENEDORES ADICIONALES		1
E) DETECCIÓN Y RESPUESTA A FUGAS Y DERRAMES		0.95
F) DESECHO DE MATERIAL FUGADO		1
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.R.C.</b>	<b>K<sub>1</sub> =</b>	<b>0.85</b>
<b>K2.- CONTROL DE PROCESO</b>		
A) SISTEMA DE ALARMAS		1
B) ENERGÍA DE EMERGENCIA		0.95
C) SISTEMA DE ENFRÍAMIENTO		1
D) SISTEMA DE GAS INERTE		1
E) ACTIVIDADES DE ANÁLISIS DE RIESGOS		0.95
F) SISTEMAS DE PARO DE SEGURIDAD		0.95
G) CONTROL POR COMPUTADOR		1
H) PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIÓN O REACCIÓN PELIGROSA		1
I) INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN		0.98
J) SUPERVISIÓN DE PLANTA		0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES A.S.</b>	<b>K<sub>2</sub> =</b>	<b>0.7982</b>
<b>K3.- ACTITUD HACIA LA SEGURIDAD</b>		
A) INVOLUCRAMIENTO DE LA GERENCIA		0.95
B) ENTRENAMIENTO EN SEGURIDAD		0.95
C) PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO		0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES P.C.J.</b>	<b>K<sub>3</sub> =</b>	<b>0.8574</b>
<b>K4.- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO</b>		
A) PROTECCIÓN A ESTRUCTURAS		1
B) BARRERAS RESISTENTES AL FUEGO		1
C) EQUIPO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO		0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES P.L.C.</b>	<b>K<sub>4</sub> =</b>	<b>0.85</b>
<b>K5.- AISLAMIENTO DE MATERIALES</b>		
A) SISTEMAS DE VÁLVULAS		0.95
B) VENTILACIÓN		0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES A.M.</b>	<b>K<sub>5</sub> =</b>	<b>0.9025</b>
<b>K6.- COMBATE DE INCENDIOS</b>		
A) ALARMA DE EMERGENCIA		0.95
B) EXTINGUIDORES PORTÁTILES		0.95
C) SUMINISTRO DE AGUA CONTRA INCENDIO		0.95
D) SISTEMAS DE ROCIADORES		1
E) SISTEMA DE ESPUMA Y GAS INERTE		1
F) BRIGADA		0.95
G) APOYO EXTERNO Y/O INTERNO		0.95
H) EXTRACTORES DE HUMO		1
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.J.</b>	<b>K<sub>6</sub> =</b>	<b>0.7738</b>

### 11.- RESUMEN FACTORES DE SEGURIDAD

CONTROL DE RIESGOS EN		PROTECCIÓN CONTRA	
CONTENEDORES	K1= 0.95	INCENDIO	K4= 0.85
CONTROL DE PROCESO	K2= 0.7982	AISLAMIENTO DE MATERIAL	K5= 0.9025
ACTITUD HACIA LA SEGURIDAD	K3 0.8574	COMBATE DE INCENDIOS	K6= 0.7738

12.- CÁLCULO DE ÍNDICES FINALES	VALOR	CATEGORÍA
FI CARGA DE FUEGO, $FI = F^* K_1^* K_2^* K_3$	<b>1753.22</b>	<b>LIGERO</b>
EI ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA, $EI = E^* K_4^* K_5$	<b>1.006</b>	<b>LIGERO</b>
AI ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AEREA, $AI = A^* K_1^* K_4^* K_6$	<b>20.15</b>	<b>BAJO</b>
RI ÍNDICE TOTAL MOND, $RI = R^* K_1^* K_2^* K_3^* K_4^* K_5^* K_6$	<b>12.46</b>	<b>SUAVE</b>

**ÍNDICE MOND PARA INCENDIO, FUEGO Y/O EXPLOSIÓN**

PLANTA IUSA	DEPARTAMENTO SEGURIDAD Y ECOLOGÍA	SECCIÓN FORMADO	FECHA Mays, 2002
----------------	--------------------------------------	--------------------	---------------------

**MATERIALES Y PROCESO**

PRODUCTOS TUBOS DE COBRE	SOLVENTES NINGUNO
REACCIONES SI	MATERIAL CLAVE ACIDO SULFÚRICO DILUIDO AL 10% VOL.

**1.- FACTOR MATERIAL "B" = 0 1**

2.- RIESGOS ESPECIALES DEL MATERIAL (M)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) OXIDANTES	0 A 20	10
B) REACCIÓN PELIGROSA CON AGUA	0 A 30	15
C) MEZCLADO Y DISPERSIÓN	(-80 A +100)	0
D) COMBUSTIÓN ESPONTÁNEA	30 A 250	0
E) POLIMERIZACIÓN ESPONTÁNEA	0 A 75	0
F) SENSIBILIDAD A LA IGNICIÓN	(-75 A 150)	0
G) DESCOMPOSICIÓN EXPLOSIVA	0 A 125	0
H) EXPLOSIÓN EN FASE GASEOSA	0 A 150	0
I) EXPLOSIÓN EN FASE CONDENSADA	200 A 1000	0
J) OTROS RIESGOS	0 A 150	20
<b>SUMA DE FACTORES R.E.M.</b>	<b>M</b>	<b>45</b>

3.- RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (P)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) MANEJO Y CAMBIOS FÍSICOS ÚNICAMENTE	0 A 50	20
B ) REACCIÓN ÚNICA	0 A 50	0
C) REACCIÓN POR LOTES	10 A 60	0
D) REACCIONES MÚLTIPLES	25 A 75	0
E) TRANSFERENCIA DE MATERIAL	0 A 50	0
F) CONTENEDORES PORTÁTILES	25 A 100	0
<b>SUMA DE FACTORES R.G.P.</b>	<b>P</b>	<b>20</b>

4.- RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (S)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) BAJA PRESIÓN <0 7182kPa (<15 PSI)	0 A 100	0
B) ALTA PRESIÓN > 0 7182kPa (>15 PSI)	0 A 160	0
C) BAJA TEMPERATURA 1) AC. AL CARBÓN (-10 A +10°C)	0 A 15	0
BAJA TEMPERATURA 2) AC. AL CARBÓN		0
ABAJO -10°C	100	0
BAJA TEMPERATURA 3) OTROS MATERIALES		0
D) ALTA TEMPERATURA 1) INFLAMABILIDAD	0 A 30	0
ALTA TEMPERATURA 2) MATERIALES CONSTRUCCIÓN	0 A 40	0
	0 A 25	0
E) CORROSIÓN Y EROSIÓN	0 A 150	0
F) FUGAS EN JUNTAS Y EMPAQUES	0 A 60	0
G) VIBRACIÓN	0 A 50	0
H) CONTROL DIFÍCIL DE PROCESO O REACCIÓN	20 A 300	0
I) OPERACIÓN CERCA O DENTRO DEL INTERVALO INFLAMABLE	0 A 150	0
J) RIESGO DE EXPLOSIÓN MAYOR AL PROMEDIO DE RIESGO	40 A 100	0
K) POLVOS O NIEBLAS RIESGOSAS	30 A 70	0
L) OXIDANTES MUY FUERTES	0 A 300	0
M) SENSIBILIDAD A LA IGNICIÓN	0 A 75	0
N) RIESGOS ELECTROSTÁTICOS	25 A 75	0
TEMPERATURA DE PROCESO K		293
<b>SUMA DE FACTORES R.E.P.</b>	<b>S</b>	<b>0</b>

5.- RIESGOS POR CANTIDAD (R)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
RIESGOS DE CANTIDAD	Q	1

6.- RIESGOS POR CONDICIONES DE LA NAVE	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
ALTIMETRA DE LA UNIDAD (m) <sup>2</sup>	H=	8
ÁREA DE TRABAJO (m <sup>2</sup> )	N=	200
A) DISEÑO ESTRUCTURAL	0 A 200	0
B) EFECTO DOMING	0 A 15°C	0
C) ÁREAS SUBTERRÁNEAS	0 A 15°C	0
D) DRENADAJE SUPERFICIAL	0 A 10C	0
E) OTROS	0 A 250	30
<b>SUMA DE FACTORES R.L.A.</b>	<b>L=</b>	<b>30</b>

7.- RIESGOS DE TOXICIDAD (T)	FACTOR SUGERIDO	FACTOR USADO
A) T L V	0 A 300	10
B) FORMA DEL MATERIAL	25 A 200	0
C) EXPOSICIÓN CORTA	(-100 A 150)	0
D) ABSORCIÓN POR PIEL	0 A 300	0
E) FACTORES FÍSICOS	0 A 300	10
<b>SUMA DE FACTORES R. T.</b>	<b>T=</b>	<b>20</b>

#### 8.- RESUMEN DE VALORES DE FACTORES

FACTOR MATERIAL B=	0 1	CANTIDAD K=	1
RIESGOS ESPECIALES DE MATERIAL MEZCLADO m=	45	RIESGOS POR CANTIDAD Q=	1
RIESGOS GENERALES DE PROCESO P=	20	ALTURA H=	8
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO	0	ÁREA N=	20
FACTOR PRESIÓN p=	0	RIESGOS POR COND. NAVE L=	0
TEMPERATURA T=	283	RIESGOS POR TOXICIDAD T=	20

#### RESULTADOS PARCIALES, PARA FINES DE CÁLCULO

D=	0 011	C	0.33 XX	0.32
F=	102.5	E	1.065 W	0.98
U=	0.33	K	0.852 Z	0.001
X=	0 105	R	0.014 A	0.00

#### 9.- CÁLCULO DE ÍNDICES

	VALOR	CATEGORÍA
D.- ÍNDICE GENERAL DE RIESGO $D = E(1+(M/100))(1+(P/100))(1+(S+Q+L/100)+T/400)$	0.011	SUAVE
F.- CARGA DE FUEGO POR COMBUSTIBLES $F = B^*K/N(20500 BTU/FT^2)$	102.5	LIGERO
U.- ÍNDICE DE TOXICIDAD $U = T/100(1+(M+p+S/100))$	0.33	LIGERO
C.- ÍNDICE DE TOXICIDAD MAYOR $C = Q*U$	0.33	LIGERO
E.- ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA $E = 1+(M+P+S/100)$	1.065	BAJO
A.- ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA $A = B^*(1+m/100)*Q^*H^*E^*(U/300)^*(1+p/1000)$	0.001	LIGERO
R.- ÍNDICE TOTAL DE MOND $R = D(1+SQR(F+U+E+A/1000))$	0.01	SUAVE

## 10.- FACTORES DE CORRECCIÓN POR MEDIDAS DE SEGURIDAD

<b>K1.- CONTROL DE RIESGOS EN CONTENEDORES</b>	<b>VALOR</b>	
A) RECipientES A PRESIÓN		1
B) TANQUES VERTICALES ATMOSFÉRICOS		1
C) TUBERÍA	1 - DISEÑO POR TENSIÓN	1
	2 - JUNTAS Y EMPAQUES	1
D) CONTENEDORES ADICIONALES		1
E) DETECCIÓN Y RESPUESTA A FUGAS Y DERRAMES		0.95
F) DESECHO DE MATERIAL FUGADO		1
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.R.C.</b>	<b>K<sub>1</sub> =</b>	<b>0.95</b>
<b>K2.- CONTROL DE PROCESO</b>		
A) SISTEMA DE ALARMAS		1
B) ENERGÍA DE EMERGENCIA		0.95
C) SISTEMA DE ENFRIAMIENTO		1
D) SISTEMA DE GAS INERTE		1
E) ACTIVIDADES DE ANÁLISIS DE RIESGOS		0.95
F) SISTEMAS DE PARO DE SEGURIDAD		0.95
G) CONTROL POR COMPUTADORA		1
H) PROTECCIÓN CONTRA EXPLOSIÓN O REACCIÓN PELIGROSA		1
I) INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN		0.98
J) SUPERVISIÓN DE PLANTA		0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.P.</b>	<b>K<sub>2</sub> =</b>	<b>0.7982</b>
<b>K3.- ACTITUD HACIA LA SEGURIDAD</b>		
A) INVOLUCRAMIENTO DE LA GERENCIA		0.95
B) ENTRENAMIENTO EN SEGURIDAD		0.95
C) PROCEDIMIENTOS DE SEGURIDAD Y MANTENIMIENTO		0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES A.S.</b>	<b>K<sub>3</sub> =</b>	<b>0.8574</b>
<b>K4.- PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO</b>		
A) PROTECCIÓN A ESTRUCTURAS		1
B) BARRERAS RESISTENTES AL FUEGO		1
C) EQUIPO DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO		0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES P.C.I.</b>	<b>K<sub>4</sub> =</b>	<b>0.95</b>
<b>K5.- AISLAMIENTO DE MATERIALES</b>		
A) SISTEMAS DE VÁLVULAS		0.95
B) VENTILACIÓN		0.95
<b>PRODUCTO DE FACTORES A.I.M.</b>	<b>K<sub>5</sub> =</b>	<b>0.8025</b>
<b>K6.- COMBATE DE INCENDIOS</b>		
A) ALARMA DE EMERGENCIA		0.95
B) EXTINGUIDORES PORTÁTILES		0.95
C) SUMINISTRO DE AGUA CONTRA INCENDIO		0.95
D) SISTEMAS DE ROCIADORES		1
E) SISTEMA DE ESPUMA Y GAS INERTE		1
F) BRIGADA		0.95
G) APOYO EXTERNO Y/O INTERNO		0.95
H) EXTRACTORES DE HUMO		1
<b>PRODUCTO DE FACTORES C.J.</b>	<b>K<sub>6</sub> =</b>	<b>0.7738</b>

## 11.- RESUMEN FACTORES DE SEGURIDAD

CONTROL DE RIESGOS EN CONTENEDORES	K1=	0.95	PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	K4=	0.95
CONTROL DE PROCESO	K2=	0.7982	AISLAMIENTO DE MATERIAL	K5=	0.9025
ACTITUD HACIA LA SEGURIDAD	K3	0.8574	COMBATE DE INCENDIOS	K6=	0.7738

## 12.- CÁLCULO DE ÍNDICES FINALES

	VALOR	CATEGORÍA
FI CARGA DE FUEGO, $FI = F^* K_1^* K_2^* K_3$	<b>83.49</b>	<b>LIGERO</b>
EI ÍNDICE DE EXPLOSIÓN INTERNA, $EI = E^* K_4^* K_5$	<b>0.729</b>	<b>LIGERO</b>
AI ÍNDICE DE EXPLOSIÓN AÉREA, $AI = A^* K_4^* K_6^* K_5$	<b>0.001</b>	<b>LIGERO</b>
RI ÍNDICE TOTAL MOND, $RI = R^* K_1^* K_2^* K_3^* K_4^* K_5^* K_6$	<b>0.006</b>	<b>SUAVE</b>

## **Anexo II**

### **Resultados obtenidos del simulador ARCHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation) Recurso automatizado para la evaluación de incidentes químicos peligrosos**

## SUMMARY OF HEADING DATA FOR ACCIDENT SCENARIO FILE

---

1 HAZARDOUS MATERIAL = Gas LP  
2 ADDRESS / LOCATION = Pasteje Mpo. Atlacomulco  
3 LATITUDE = 19°36' Norte  
4 LONGITUDE = 99° Oeste MG  
5 DATE OF ASSESSMENT = 29 de Julio  
6 SCENARIO DESCRIPTION =

Sección para la modelación de los diferentes eventos:

Almacenamiento de Gas LP

Equipos: Tanques TP-01 y TP-02

a Estimate discharge rate of liquid or gas. \_\_\_\_\_

---

### CONTAINER CHARACTERIZATION PROCEDURE

---

#### CONTAINER DIMENSIONS AND CHARACTERISTICS:

o Container type = Horizontal cylinder  
o Tank diameter = 8.75 ft  
o Tank length = 68.66 ft

#### ESTIMATED CHARACTERISTICS OF CONTENTS:

o Total volume = 4128 ft<sup>3</sup>  
o Total weight = 109670 lbs  
o Gas/vapor volume = 703.6 ft<sup>3</sup>  
o Gas/vapor weight = 670.9 lbs  
o Liquid volume = 3425 ft<sup>3</sup>  
= 25623.1 gal  
o Weight of liquid = 109000 lbs  
o Height of liquid = 6.8 ft

#### CURRENT PARAMETER VALUES FOR DISCHARGE RATE ESTIMATION METHODS

---

4 DISCHARGE HOLE DIAMETER = 2 inch(es)  
5 DISCHARGE COEFFICIENT = .62  
6 LIQUID HEIGHT IN CONTAINER = 6.8 feet  
7 WEIGHT OF CONTAINER CONTENTS = 109670 lbs  
8 TEMPERATURE OF TANK CONTENTS = 69 deg F  
9 AMBIENT TEMPERATURE = 69 deg F  
10 CHEM VAP PRES IN CONTAINER = 123 psia  
12 NORMAL BOILING POINT = -42 deg F  
13 LIQUID SPECIFIC GRAVITY = .51

**MODEL RESULTS:**

**Peak discharge rate** = 4605.6 lbs/min  
**Duration of discharge** = 23.9 minutes  
**Amount discharged** = 109670 lbs  
**State of material** = Mix of gas and aerosols

**f Evaluate fireball radiation hazards.\_\_\_\_\_**

**CURRENT PARAMETER VALUES FOR FIREBALL  
RADIATION ESTIMATION METHOD**

---

**TANK CONTENTS DURING FIREBALL = 109670 lbs**

**Want to change the weight (Y/N or <cr>)? n**

**MODEL RESULTS:**

<b>Maximum fireball diameter</b>	<b>= 763 feet</b>
<b>Maximum fireball height</b>	<b>= 1255 feet</b>
<b>Fireball duration</b>	<b>= 15.5 seconds</b>
<b>Fatality zone radius</b>	<b>= 984 feet</b>
<b>Injury zone radius</b>	<b>= 1893 feet</b>

**g Evaluate flame jet hazards.**

**CURRENT PARAMETER VALUES FOR FLAME JET  
HAZARD EVALUATION**

---

1	MOLECULAR WEIGHT OF CHEMICAL	= 44	
2	LOWER FLAMMABLE LIMIT (LFL)	= 2.1	vol%
3	DISCHARGE HOLE DIAMETER	= 2	inch(es)
4	GAS PRESSURE IN TANK	= 123	psia
5	Cp/Cv RATIO OF GAS AT 1 ATM	= 1.3	
6	NORMAL BOILING POINT	= -42	degrees F
7	AMBIENT TEMPERATURE	= 69	degrees F
8	LIQ TEMP IN CONTAINER	= 69	deg F

**MODEL RESULTS:**

Flame jet length	= 145	feet
Safe separation distance	= 289	feet

**h Evaluate vapor cloud/plume fire hazards.**\_\_\_\_\_

**CURRENT PARAMETER VALUES FOR VAPOR CLOUD  
FIRE HAZARD EVALUATION**

-----

1	MOLECULAR WEIGHT	= 44	
2	NORMAL BOILING POINT	= -42	degrees F
4	LOWER FLAMMABLE LIMIT	= 2.1	vol %
5	AMBIENT TEMPERATURE	= 69	degrees F
6	LIQ TEMP IN TANK	= 69	degrees F
7	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	= C	
8	WIND VELOCITY	= 4.5	mph
9	VAPOR/GAS EMISSION RATE	= 4605.6	lbs/min
10	EMISSION DURATION	= 23.9	minutes

MODEL RESULTS: For concentrations of \_\_\_\_\_ 1/2 LFL LFL

Downwind hazard distance in feet	= 1177	809
Max downwind hazard width in feet	= 589	405
Weight airborne gas in lbs	= 13680	9409
Initial relative vapor/air density	= 1.93	1.93

**i Evaluate vapor cloud explosion hazards.**

**CURRENT PARAMETER VALUES FOR UNCONFINED  
VAPOR CLOUD EXPLOSION HAZARD EVALUATION**

**UNCONFINED VAPOR CLOUD EXPLOSION EFFECTS**

<b>DISTANCE FROM EXPLOSION (feet)</b>	<b>EXPECTED DAMAGE</b>
11205	Occasional breakage of large windows under stress.
1579	Some damage to home ceilings; 10% window breakage.
590 - 1023	Windows usually shattered; some frame damage.
590	Partial demolition of homes; made uninhabitable.
152 - 590	Range serious/slight injuries from flying glass/objects.
356	Partial collapse of home walls/roofs.
272 - 356	Non-reinforced concrete/cinder block walls shattered.
121 - 314	Range 90-1% cardrum rupture among exposed population.
306	50% destruction of home brickwork.
227 - 272	Frameless steel panel buildings ruined.
198	Wooden utility poles snapped.
163 - 198	Nearly complete destruction of houses.
135	Probable total building destruction.
81 - 111	Range for 99-1% fatalities among exposed populations due to direct blast effects.

## SUMMARY OF HEADING DATA FOR ACCIDENT SCENARIO FILE

---

- 1 HAZARDOUS MATERIAL = Hidrógeno
- 2 ADDRESS / LOCATION = Pasteje
- 3 LATITUDE = 19°36
- 4 LONGITUDE = 99° Oeste M G
- 5 DATE OF ASSESSMENT = 29 de Julio de 2002
- 6 SCENARIO DESCRIPTION =

Area para la modelación de la fuga  
Almacenamiento de hidrógeno  
cilindro TH-01

### a Estimate discharge rate of liquid or gas. \_\_\_

#### CONTAINER CHARACTERIZATION PROCEDURE

---

##### CONTAINER DIMENSIONS AND CHARACTERISTICS:

- o Container type = Horizontal cylinder
- o Tank diameter = 2 ft
- o Tank length = 24 ft

##### ESTIMATED CHARACTERISTICS OF CONTENTS:

- o Total volume = 75.4 ft<sup>3</sup>
- o Total weight = 46.7 lbs
- o Gas/vapor volume = 75.4 ft<sup>3</sup>
- o Gas/vapor weight = 46.7 lbs
- o Liquid volume = 0 ft<sup>3</sup>
- o = 0 gal
- o Weight of liquid = 0 lbs
- o Height of liquid = 0 ft

#### CURRENT PARAMETER VALUES FOR DISCHARGE RATE ESTIMATION METHODS

---

- |                                 |        |          |
|---------------------------------|--------|----------|
| 4 DISCHARGE HOLE DIAMETER       | = 1    | inch(es) |
| 5 DISCHARGE COEFFICIENT         | = .62  |          |
| 7 WEIGHT OF CONTAINER CONTENTS  | = 46.7 | lbs      |
| 8 TEMPERATURE OF TANK CONTENTS  | = 69   | deg F    |
| 9 AMBIENT TEMPERATURE           | = 69   | deg F    |
| 10 CHEM VAP PRES IN CONTAINER   | = 1757 | psia     |
| 11 MOLECULAR WEIGHT OF CHEMICAL | = 2    |          |
| 12 NORMAL BOILING POINT         | = -423 | deg F    |
| 14 Cp/Cv RATIO OF GAS AT 1 ATM  | = 1.4  |          |

**MODEL RESULTS:**

Peak discharge rate	=	311.4	lbs/min
Duration of discharge	=	.15	minutes
Amount discharged	=	46.7	lbs
State of material	=	Gas	