

**DIVISION DE ESTUDIOS DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERIA**

**DETERMINACION DE POLIGONOS DE RIESGO
EN INSTALACIONES PETROLERAS**

T E S I N A

**PRESENTADA A LA DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA
DE LA
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

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

PRESENTA

ING. RAMON ELIAS GOMEZ MINA

DIRECTOR

DRA. RINA AGUIRRE SALDIVAR

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 1996.

Handwritten signature and date:
D.F.
Marzo 1996



DEPFI

T. UNAM

1 9 9 6

GOM

Con cariño, admiración y respeto,

a mis padres:

José Dionisio y Cilia Emma

Por que gracias a su apoyo y consejos
he llegado a realizar una de las más grandes
de mis metas, la cual constituye la herencia más
valiosa que pudiera recibir. Lo reconozco y lo
agradeceré eternamente.

Con mucho orgullo,

a mis hermanos:

Dionis Marino, Sra e hija

Jahir

William

Sonia María

a todos mis familiares.

y con sincera fraternidad

a mis verdaderos amigos.

G(2)

503005

A los Estados Unidos Mexicanos,
y en particular a la Universidad Nacional Autónoma de México,
por la oportunidad de realizar estos estudios.

A la Dra. Rina Aguirre Saldivar
Por su dirección y apoyo del presente trabajo.

A la M. en I. Francis Irene Soler Anguiano

A la M. en I. Ann Wellens Purnal

Al Ing. José Luis Ayala Ortíz

Al Ing. Ramón E. Domínguez Betancourt

Al Ing. Raúl Sánchez Meza

Al Ing. Marco Antonio Delgado Avilés

Por su constante soporte y colaboración
durante mi trayectoria en la Universidad.

Mi gratitud para:

Dr. Gustavo De Greiff Restrepo (Embajador de Colombia en México)

Dr. Fernando Alzate Donos (Ministro Consejero en México)

Dra. Claudia Sheinbaum Pardo (Instituto de Ingeniería-U.N.A.M)

M. en C. Carlos Alberto Libreros Minotta

Dr. Alvaro Salazar Correa y Sra

Lic. María Elena Varela Contreras

Ing. Pedro Campuzano Bulfeda

y especialmente con todo cariño a la

Dra. Lizeth Ramírez Ramírez,

Por su apoyo en todo sentido.

**A todas aquellas personas que
en una u otra forma colaboraron
en la elaboración del presente trabajo**

CONTENIDO

	<i>Página</i>
LISTA DE TABLAS	vii
LISTA DE FIGURAS	vii
NOMENCLATURA	viii
INTRODUCCION	1
OBJETIVO	1
CAPITULO 1. Generalidades	2
1.1 Industria Petrolera	3
1.1.1 Exploración	3
1.1.2 Explotación	3
1.1.3 Transformación	4
1.2 Contaminación ambiental en la industria petrolera	5
1.2.1 Auditoría ambiental	5
1.2.2 Análisis de riesgo	5
CAPITULO 2. Polígonos de riesgo	12
2.1 Tipos de riesgo industrial	13
2.1.1 Explosiones	13
2.1.2 Incendios	16
2.1.3 Escape de gases tóxicos	17
2.1.4 Elementos preventivos	18
2.2 Descripción del paquete SCRI	18
CAPITULO 3. Ejemplo	22
3.1 Planteamiento	25

3.2	Resultados y análisis	26
3.3	Medidas preventivas y mantenimiento.....	36
CAPITULO 4.	Conclusiones y recomendaciones	40
BIBLIOGRAFIA	41

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Impactos ambientales de la industria petrolera	6
Tabla 1.2	Clasificación de riesgo (Indice Dow)	10
Tabla 1.3	Clasificación de riesgo (Indice Mond)	11
Tabla 2.1	Efectos por ondas de sobrepresión	14
Tabla 2.2	Criterios de aproximación de daños personales por ondas de sobrepresión.....	14
Tabla 3.1	Datos alimentados al programa para el caso del propano	26
Tabla 3.2	Resultados para el caso del propano	27
Tabla 3.3	Datos alimentados al programa para el caso del butano	27
Tabla 3.4	Resultados para el caso del butano	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localización de la planta y zonas circundantes	23
Figura 2	Escenario Daño Máximo Probable para el propano	29
Figura 3	Escenario Daño Máximo Catastrófico para el propano	30
Figura 4	Polígono de Riesgo de Daño Máximo Catastrófico para el propano	31
Figura 5	Escenario Daño Máximo Probable para el butano	33
Figura 6	Escenario Daño Máximo Catastrófico para el butano	34
Figura 7	Polígono de Riesgo de Daño Máximo Catastrófico para el butano	35

NOMENCLATURA

ASME =	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers)
ARCHIE =	Recurso automatizado para la evaluación de incidentes por riesgos químicos (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation)
Btu =	Unidad térmica británica (British thermal unit)
$^{\circ}$ C =	Grados centígrados
CMA =	Asociación de Químicos Industriales (Chemical Manufacturers Association)
CFCs =	Clorofluorocarbonos
D =	Diámetro de la nube formada (ft)
Doe =	Diámetro de la onda expansiva (ft)
DEPC =	Modelo de dispersión de una emisión puntual continua de gas
DFD =	Modelo de dispersión de un gas o vapor proveniente de una fuga o derrame de un líquido que se evapora
DFMI =	Modelo de dispersión de un gas liberado en forma masiva e instantánea
E =	Factor de explosividad
Ed =	Energía generada expresada en peso de TNT, que produce una fuerza equivalente a la explosividad de la nube (Ton de TNT)
EDNE =	Evaluación de daños provocados por nubes explosivas
F =	Fracción de la nube representada por gas o vapor
GPM =	Galones por minuto
h =	Altura (ft)
Hp =	Caballos de fuerza (horse power)
INE =	Instituto Nacional de Ecología
LIE =	Límite inferior de explosividad (% en volumen)
LSE =	Límite superior de explosividad (% en volumen)
M =	Peso molecular del material

PEMEX =	Petróleos Mexicanos
ppm =	Partes por millón
Ro =	Densidad del líquido en el proceso (g/ml) a temperatura del proceso
SCRI =	Modelos de simulación de contaminación y riesgos en industrias
SECOFI =	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
SEDESOL =	Secretaría de Desarrollo Social
TNT =	Trinitrotolueno
VI =	Volumen del líquido en el proceso (gal)
W =	Peso del gas en la nube (lb)
Z =	Distancia escalada para la sobrepresión considerada (ft/ton^{1/3}) (m/kg^{1/3})
ΔHc =	Calor de combustión del material (Btu/lb)
8.34 =	Factor de conversión (lb/g) x (ml/g)
4.03x10⁶ =	Calor de combustión del TNT (Btu/ton)

INTRODUCCION

En la actualidad la Industria Petrolera en Colombia ha evolucionado en tal forma que constituye uno de los recursos básicos con que el país cuenta para lograr su desenvolvimiento económico. Existe plena conciencia de que los planes de expansión de esta industria sólo podrán llevarse a cabo en la medida en que se disponga de personal altamente capacitado con un adecuado conocimiento y dominio de la tecnología disponible y de los principios de Seguridad e Higiene Industrial y de Protección Ambiental.

La prevención de accidentes laborales y ambientales son para los sectores público y privado una acción coordinada prioritaria, en donde el Gobierno Nacional a través de los Ministerios de Trabajo, Salud y Medio Ambiente debe procurar salvaguardar a los ciudadanos y el ambiente; y el Sector Industrial, asegurar una producción limpia, segura y sostenible.

Una herramienta eficaz para lograr ambos propósitos es la realización de Auditorias Ambientales que permitan conocer la relación que guardan las instalaciones petroleras (en los procesos de exploración, explotación, transformación, distribución y almacenamiento del petróleo y sus productos), para establecer las medidas de protección o mitigación pertinentes. Además la realización de Auditorias Ambientales proporciona las bases e información para la construcción de los llamados *polígonos de riesgo*.

OBJETIVO

El objetivo del presente trabajo es la revisión de diferentes métodos existentes en materia de seguridad industrial y protección ambiental para instalaciones petroleras, y la aplicación del paquete SCRI (modelo EDNE), para construir los polígonos de riesgo y evaluar las condiciones en esta materia para una instalación de almacenamiento y procesamiento de propelente hidrocarburo (propano y butano).

1. GENERALIDADES

La industria del petróleo ocupa un lugar importante en el desarrollo económico y social de cualquier país, ya que es el energético de mayor demanda mundial.

En la Biblia aparece con el nombre de betún, mineral combustible. Los babilonios y los asirios lo emplearon en alumbrado. Los árabes y hebreos en medicina. Los chinos utilizaron el gas natural para alumbrado, sirviéndose de tubos de bambú y también como elemento de guerra. Los indios norteamericanos vendían petróleo, con el nombre de aceite seneca, para diversos propósitos como la cura del reumatismo.

En 1958, un norteamericano, el Coronel Edwin L. Drake, tratando de perforar un pozo de agua, hizo brotar petróleo bruto del subsuelo, un aceite oscuro y viscoso que revolucionaría la economía mundial.

El petróleo contiene compuestos en los tres estados físicos de la materia: sólido, líquido y gaseoso, según la temperatura y presión a que se encuentra. El color del líquido varía entre el ámbar y negro, su densidad es menor que la del agua. En estado gaseoso es inodoro, incoloro e insípido (Blumenkrom, 1990).

El petróleo que producen los pozos, es enviado hasta un centro de recolección, llamado batería de separación, en donde el aceite se separa físicamente del gas y del agua, se mide y envía a centros de almacenamiento y posteriormente a centros de tratamiento y refinación.

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos, es decir, compuestos de carbono e hidrógeno y comprende desde el asfalto hasta el gas natural. El porcentaje de carbono e hidrógeno que forma cada compuesto tienen importancia decisiva en el comportamiento de cada hidrocarburo variando

sus propiedades con el número de carbonos. Su separación en columnas de destilación se logra aprovechando la diferencia en volatilidad de sus compuestos. La destilación consiste en la evaporación y condensación a diferentes temperaturas obteniendo productos comerciales como: gas natural, gas licuado de petróleo, gasolina, queroseno, diesel, aceite, lubricantes, etc.

1.1 Industria petrolera

Las actividades básicas de esta industria son la exploración, explotación, y transformación (refinación y petroquímica).

1.1.1 Exploración

Es el conjunto de tareas de campo y oficina que tienen como objetivo el descubrir nuevos depósitos de hidrocarburos o mayores extensiones de las ya existentes.

Las primeras exploraciones en busca de petróleo carecían de bases científicas y se concretaban por lo general a encontrar manifestaciones superficiales llamadas "chapopoterías". Posteriormente, la técnica exploratoria consistió en la perforación de pozos de cateo, siguiendo las tendencias marcadas por los pozos productores, con el resultado de que muchos pozos eran localizados al azar.

En 1920 hicieron su aparición los métodos geofísicos de exploración, que pueden determinar las condiciones de las capas profundas del subsuelo mediante la medición en superficie de las propiedades físicas de las rocas. Estos métodos han demostrado ser sumamente valiosos para la búsqueda de petróleo y la adecuada interpretación de sus resultados han dado lugar al descubrimiento de casi 80% de las reservas actuales del mundo.

1.1.2 Explotación

Con base en los descubrimientos logrados por los trabajos de exploración, empiezan los

trabajos de explotación que desarrollan los campos petroleros, tomando en cuenta los siguiente factores:

- Dimensión de la estructura en la cual se encuentra el petróleo
- Espesor del estrato productor
- Posibilidades de producción
- Número de localizaciones a perforarse
- Análisis económico de la cantidad de equipos de perforación necesarios
- Construcción de caminos de acceso
- Condiciones de habitabilidad
- Aprovechamiento de agua y combustibles

1.1.3 Transformación

La refinación es el conjunto de una serie de procesos físicos y químicos a los que se somete el petróleo crudo (la materia prima), para obtener de él por destilación, desintegración y purificación los diversos hidrocarburos o las familias de hidrocarburos comercializables con propiedades físicas y químicas bien definidas.

Se define a la petroquímica como la actividad industrial que elabora productos para la industria de la transformación a partir de materias producidas del petróleo. Los procesos petroquímicos se dividen en procesos de conversión del gas natural o del petróleo en productos intermedios y en procesos que, utilizando un producto intermedio como materia prima, los transforman en productos finales (Gary y Handwerk, 1980).

El gas natural, el gas licuado y la nafta son insumos para productos petroquímicos básicos como etileno, propileno, benceno, butadieno, tolueno, xileno, amoniaco y metanol, de los cuales se derivan muchos otros petroquímicos como el polietileno, el óxido de etileno, el cloruro de vinilo y de etilo.

1.2 Contaminación ambiental en la industria petrolera

La industria petrolera es una actividad que en todas sus etapas producen en mayor o menor grado alteraciones del estado original de las áreas en que se establece, y dichas alteraciones pocas veces tienen un efecto positivo en los ecosistemas existentes (PEMEX, 1985).

La exploración, extracción, almacenamiento, procesamiento, transporte y uso de los hidrocarburos conllevan condiciones de riesgo asociados a su operación; así como a una serie de efectos ambientales, tales como el vertimiento de aguas residuales a cuerpos de agua, la emisión de gases de combustión a la atmósfera, la acumulación en el suelo de materiales de desecho no biodegradables y la modificación de la topografía original de los sitios que impactan el hábitat natural de la flora y la fauna local, contaminándolo y degradando su calidad.

En la tabla 1.1 se presentan los impactos ambientales producidos por este sector energético, que comprende los efectos de todas y cada una de las fases de su ciclo de producción (SEDESOL-INE, 1993-94).

1.2.1 Auditoría ambiental

El objetivo de la auditoría ambiental es el de evaluar las condiciones en materia de seguridad e higiene industrial y protección al ambiente de las instalaciones industriales, mediante un análisis físico y documental, para proponer alternativas de solución, que propicien la eliminación de riesgos y consecuentemente la confiabilidad en las operaciones e instalaciones.

1.2.2 Análisis de riesgos

La complejidad de la tecnología moderna ha hecho que el análisis de riesgos no pueda realizarse a través del "sentido común", por ello ha sido necesario el desarrollar y establecer metodologías sistematizadas de alta confiabilidad para realizar los diagnósticos de seguridad de los procesos industriales.

TABLA 1.1

Impactos ambientales de la industria petrolera*						
Etapas	Fase	Tipo de impacto	Afectación de recursos naturales ¹			
			Agua	Aire	Suelo	Biota
Exploración terrestre	Prospección	Desmontes por construcción de rutas de acceso; remoción de cubierta vegetal o edáfica para instalar campamentos e instalaciones; actitudes depredatorias sobre recursos bióticos y abióticos por parte de quienes realizan las exploraciones.	XX		XX	XX
	Sismológica					
	Perforación	Desmontes por construcción de instalaciones; perturbación de ecosistemas; desplazamientos de especies animales.				
Exploración marina	Operación de pozos exploratorio	Desmontes por construcción de instalaciones; perturbación de ecosistemas; desplazamientos de especies animales; riesgos de contaminación por accidentes y explosiones.	XX		XX	XX
	Perforación de pozos exploratorio	Perturbación de ecosistemas y desplazamientos de especies animales; además existen mayores riesgos de alteración de los ecosistemas marinos por que en dicho medio hay mayores posibilidades de dispersión de contaminantes que en el medio terrestre; desechos industriales y humanos.	XX			XX
	Operación de pozo exploratorio	Perturbación de ecosistemas y desplazamientos de especies animales; riesgos de contaminación por accidentes y explosiones; además hay más riesgos de alteración de los ecosistemas marinos por que hay mayores posibilidades de dispersión de contaminantes que en el medio terrestre; desechos industriales y humanos.	XX			XX
Extracción terrestre	Construcción de infraestructura, inst. y perf. de pozos ¹	Cambios de uso del suelo; construcción de vías de acceso que implica desmontes y modificación de la cubierta vegetal o edáfica; asimismo de manera indirecta las vías de acceso se convierten en vectores de colonización espontánea y de asentamientos irregulares; perturbación de ecosistemas y desplazamiento de especies.	X		XX	X
	Operación y mantenimiento ¹	Creación de nuevos asentamientos humanos; acumulación de residuos industriales y humanos; riesgos de fugas, derrames y explosiones de hidrocarburos; contaminación por lodos aceitosos y residuos de perforación; quemadores de gases; perturbación de ecosistemas y desplazamiento de especies.	XX	X	XX	XX
Extracción marina	Construcción de infraestructura, inst. y perf. de pozos ¹	Perturbación de ecosistemas y desplazamiento de especies; desechos industriales y humanos; contaminación ocasionada por el uso de maquinaria de perforación; residuos industriales y humanos.	XX			XX
	Operación y mantenimiento ¹	Contaminación del mar por emisiones líquidas (aguas negras, lodos de perforación, aceites y lubricantes gastados, hidrocarburos); sólidas (basuras domésticas, industriales, chatarras); y gaseosas (gas natural, gases condensados, dióxido de azufre, compuestos de nitrógeno); perturbación de ecosistemas y desplazamiento de especies.	XXX	XX		XX
Refinación	Construcción de infraestructura e instalaciones	Utilización de grandes espacios para la construcción de tanques de almacenamiento, así como de plantas industriales de transformación, sistemas para la generación y distribución de fluidos, vapores y de enfriamiento de agua; cambios en el uso de suelo y surgimiento de asentamientos humanos; remoción de suelos; modificación del drenaje natural.	X		XX	XX
	Proceso productivo	Consumo indiscriminado de agua; contaminación por residuos industriales de alta toxicidad y no biodegradables; descargas de aguas contaminadas; emanaciones atmosféricas; contaminación térmica; riesgos de fugas, derrames y explosiones.	XX	XX	XX	XX
Petroquímica	Operación y mantenimiento	Consumo indiscriminado de agua; riesgos de fugas, derrames y explosiones; incremento de la actividad económica regional o local; cambios de uso de suelo; polo de desarrollo que modifica la estructura productiva y poblacional regional.	XX	XX	XX	XX
	Construcción de infraestructura e instalaciones	Cambios de uso de suelo; modificación de grandes espacios para la construcción de plantas industriales, tanques de almacenamiento, etc.; perturbación de ecosistemas; desplazamiento de especies animales; surgimiento de polos de atracción poblacional; modificación del relieve y el drenaje natural.	X		XX	XX
	Proceso productivo	Consumo indiscriminado de agua; contaminación por residuos peligrosos; incorporación de desechos y residuos químicos al agua de descarga; evaporación del agua con residuos asociados; disposición de aguas servidas o negras; descargas de aguas residuales; emisiones del proceso de combustión y emisiones de humos, polvos y gases o escapes del proceso de transformación petroquímica, evapotranspiración de sitios de almacenamiento; contaminación por energía calorífica.	XXX	XXX	XXX	XXX
Transporte	Operación y mantenimiento	Cambio de uso de suelo; aumento de la actividad económica; consumo indiscriminado de agua; riesgos de fugas, derrames y explosiones; polo de desarrollo que modifica la estructura productiva y poblacional regional.	XXX	XXX	XXX	XXX
	Construcción de Infraestructura	Eliminación de cubierta vegetal; perturbación de ecosistemas; remoción de suelos; alteración del relieve y drenaje natural por la construcción de túneles, terracerías, obras de drenaje, pavimentación, puentes, pasos a desnivel, entronques y obras complementarias (ver capítulo de industria del transporte).	X		XX	XX
Distribución y almacenamiento	Operación	Riesgos por derrames de residuos peligrosos; perturbación de ecosistemas; ruido; contaminación de las aguas marinas.	XX ²		X ²	X ²
	Construcción de la infraestructura y las redes de ductos	La construcción de ductos implica excavaciones, zanjeados, terracedo, relleno; cambios de uso del suelo con la construcción de agencias de almacenamiento; desmontes o limpia de terrenos; perturbación de ecosistemas; remoción de suelos, pavimentación y vías de acceso.	X		XX	XX
	Operación	Las redes de ductos de distribución están siempre sujetos a riesgos de accidentes de diversa índole que de producirse significan derrames, explosiones, incendios; desprendimientos de gases de los tanques de almacenamiento (evapotranspiración); vertimientos de residuos de hidrocarburos.	X	XX	XX	XX
Comercialización y ventas	Construcción de infraestructura	Aunque dichos establecimientos manejan volúmenes "reducidos" de hidrocarburos y derivados el conjunto de todos estos establecimientos los convierten en importantes focos contaminantes.			XX	
	Operación	Aunque los establecimientos de comercialización y ventas al menudeo manejan volúmenes "reducidos" de hidrocarburos y derivados (gas de uso doméstico, petróleo diésel, diesel, gasolinas, grasas, aceites, solventes, resinas), la generalidad de estos lugares no cuentan con dispositivos adecuados de control de emisiones, derrames o vertimientos al suelo, así como a los sistemas municipales de aguas negras; implican riesgos de fugas, derrames y explosiones; además de desprendimientos de gases por evapotranspiración.	XX	XX	XX	
Consumo	Combustión industrial y vehicular	Contaminación atmosférica por monóxido de carbono; dióxido de azufre; óxidos de nitrógeno; plomo y ruido.		XXX	XX	XX

x = impacto bajo; xx = impacto medio; xxx = impacto grave.

* Incluye sólo los impactos más importantes.

¹ En el caso de derrames el impacto ambiental sobre agua, suelo y biota es grave.

² Impacto grave en el caso de derrames de residuos y materiales peligrosos.

Modificado de: Perfil Ambiental de Petróleos Mexicanos 1982-1988, Cultura Ecológica A.C., 1988; con datos de: Estudios de Impacto Ambiental del Entorno de la Agencia de Ventas en Ávalos, Chihuahua, Pemex, 1991; Estudios de Impacto Ambiental de la Infraestructura Portuaria de Salinas Cruz, Oaxaca, Pemex, 1993; Impacto Ambiental en el Entorno del Complejo Petroquímico Nuevo Pemex, Pemex, 1987.

El diagnóstico de seguridad de una planta de proceso involucra responder una serie de preguntas: ¿Existen riesgos reales o potenciales? Si es así, ¿Cómo se pueden eliminar o reducir? La respuesta a estas preguntas puede obtenerse a través del análisis de riesgo. Este proceso requiere cubrir las siguientes etapas generales: primera etapa: conocer en detalle las características de los procesos, los materiales utilizados y su entorno para la identificación primaria de la existencia de posibles riesgos reales y potenciales. Segunda etapa: identificar los riesgos específicos existentes. Tercera etapa: evaluar la probabilidad de ocurrencia, la magnitud del evento y si fuese necesario cuantificar sus consecuencias. Cuarta etapa: establecer las medidas preventivas necesarias para eliminar o minimizar el riesgo hasta el grado de aceptación del mismo.

En mayo de 1985, la Asociación de Químicos Industriales (CMA), integró un grupo especial de trabajo para dar a conocer a sus asociados las metodologías existentes en el mercado para el análisis de riesgo (cualitativo y cuantitativo). Las metodologías más frecuentemente utilizadas en la industria petrolera y química en los Estados Unidos son:

Análisis cualitativos:

a) Hazop (estudios de riesgos de operabilidad), su objetivo es identificar riesgos y problemas que impiden un operación eficiente. Para desarrollar un estudio Hazop se requiere una descripción completa del proceso y se cuestiona cada una de las partes del mismo y a cada componente para descubrir qué desviaciones del propósito original, para lo cual fueron diseñados, pueden ocurrir y determinar cuales de esas desviaciones pueden poner en riesgo al proceso o al personal.

-Los componentes se analizan mediante el empleo de palabras claves o guías, las cuales estan concebidas para asegurar que las preguntas exploren todas las posibilidades de que su funcionamiento se desvíe de su intención y propósito de diseño. Las desviaciones son estudiadas, se determinan sus causas y consecuencias, indicando cuales son las condiciones en que se presentarían.

-Descripción de sus conceptos básicos: *Propósito*: describe la forma en que se espera funcione el elemento analizado. El propósito puede tomar varias formas (recipiente, línea, bomba, etc.). *Desviaciones*: Son los cambios que se presentan al propósito y puestas al descubrimiento por la aplicación sistemática de las palabras clave o guías. *Causas*: Estos son los motivos para los que se pueden presentar las desviaciones. Cuando se demuestra que una desviación tiene una causa real, se considera como una desviación significativa. *Consecuencias*: Son los resultados que se obtendrían en caso de que se presentaran algunas desviaciones. *Riesgo*: Son las consecuencias que pueden causar daños, lastimaduras o pérdidas. *Palabras clave o guías*: Son palabras sencillas que se usan para calificar el propósito; guían y estimulan el proceso de pensamiento creativo para descubrir las posibles desviaciones. Las palabras clave se aplican a la intención de diseño que indica lo que el equipo y/o sistema deben realizar.

b) What if? (¿Que pasa sí?) Se aplica ésta pregunta en cada paso del proceso, determinando el efecto de las fallas de equipos o errores de operación. Esta metodología puede ser utilizada para revisar un proceso completo o parte de él, dependiendo de su complejidad y es realizado a través de grupos multidisciplinarios, quienes con base en su experiencia y conocimientos enfatizan en la revisión de factores no detectables a través de las revisiones visuales con el fin de identificar los riesgos potenciales y establecer las medidas de control mas apropiadas.

c) Check list (listas de verificación). Son utilizadas en inspecciones planeadas, y a través de ellas se pretende identificar desviaciones de las medidas de control a implementar para eliminar o reducir riesgos.

Análisis cuantitativos:

a) Hazan (análisis de riesgos). Es la aplicación de métodos cuantitativos a problemas de seguridad (eventos indeseables que conducen a la materialización de un riesgo), estima la extensión, magnitud y probabilidades de cualquier efecto nocivo.

b) Índice de fuego y explosión (Dow). La técnica de análisis del riesgo y explosión, es una evaluación objetiva paso a paso del potencial de riesgo de fuego explosivo y reactividad del equipo de proceso y sus contenidos. Las mediciones cuantitativas empleadas en el análisis están basadas en datos históricos de pérdidas, la energía potencial del material bajo estudio, y la extensión de prácticas de prevención de pérdidas que son aplicadas corrientemente.

Los propósitos del índice de fuego y explosión son: *Cuantificar*: El daño esperado de accidentes potenciales de fuego y explosión en términos realistas. *Identificar*: Equipo que puede contribuir al origen o al escalamiento de un incidente. *Comunicar*: El riesgo potencial de fuego y explosión a la administración. Independientemente de todos los resultados numéricos, gráficas y figuras, el propósito más importante del índice de fuego y explosión es el de enterar a los propietarios sobre las pérdidas potenciales en las áreas de procesos, y ayudarlos a la identificar los caminos para reducir la severidad y pérdidas resultantes de accidentes potenciales de una manera efectiva.

El índice Dow de fuego y explosión pretende determinar la máxima pérdida que puede ocurrir en una planta de proceso o instalación. Una pérdida en realidad, deberá ser determinada bajo las condiciones de operación más adversas y a partir de datos cuantificables como: velocidades de derrames finitos, temperaturas de proceso comparadas con los puntos de inflamación y ebullición de los materiales, y la composición química del material del probable incidente.

Aunque el índice de fuego y explosión (Dow) está diseñado principalmente para operaciones en las cuales un material inflamable, combustible o reactivo es almacenado, manejado o procesado, éste puede ser usado en el análisis de instalaciones de tratamiento de aguas de desecho, sistemas de distribución, ductos, transformadores, calentadores y otros elementos de plantas de energía. Este índice puede también ser usado para evaluaciones de análisis de riesgo de

pequeños procesos con reducidos inventarios de material potencialmente peligroso (su aplicación en plantas piloto es enormemente recomendado).

Para la aplicación del índice Dow, las instalaciones se dividen en secciones, cada una de estas secciones tiene un índice individual, no debiéndose sumar cada uno de éstos para dar un índice "global". Los valores de los índices que se obtienen IFE (índice de fuego y explosión), deben ser comparados con la tabla 1.2 para determinar la clasificación de riesgo de la sección analizada (Dow Chemical Co,1980).

Tabla 1.2 Clasificación de riesgo (Índice Dow)

CLASIFICACION DE RIESGO	
IFE	TIPO DE RIESGO
1 - 60	Ligero
61 - 96	Moderado
97 - 127	Intermedio
128 - 158	Grave
Más de 158	Severo

c) Índice de fuego, explosión y toxicidad (Mond). Se aplica a las instalaciones de proceso o partes de la misma con el fin de determinar y evaluar los riesgos potenciales de incendio, explosión toxicidad de los materiales manejados en un proceso. El propósito de este estudio es: *Cuantificar* el daño potencial de accidentes de fuego, explosión y nubes tóxicas; *Identificar* equipos o secciones del proceso con alto potencial de riesgo. Para la aplicación del índice Mond, las instalaciones se dividen en secciones, cada una de estas secciones tiene un índice individual, no debiéndose sumar estos. Los valores de los índices que se obtienen (Factor global de riesgo R) deben ser comparados con la tabla 1.3 para determinar la clasificación de riesgo de la sección analizada (Lewis, 1979).

Tabla 1.3 Clasificación de riesgo (Indice Mond)

CLASIFICACION DEL RIESGO	
RANGO DEL INDICE	GRADO DE RIESGO
0 - 2	Suave
20 - 40	Ligero
40 - 60	Moderado
60 - 75	Moderadamente Alto
75 - 90	Alto
90 - 115	Extremo
115 - 150	Muy Alto
150 - 300	Potencialmente Catastrófico
Más de 300	Muy Catastrófico

De la variedad de metodologías que existen en el mercado para el análisis de riesgos, las que han resultado prácticas para la evaluación de riesgos son el Índice Dow y el Índice Mond, con la limitante de ser orientado a riesgos muy particulares (fuego y explosión).

En la aplicación de cualquier metodología de análisis de riesgos es recomendable tener en cuenta:

- Administración competente de las unidades operativas.
- Operación y mantenimiento de las industrias de acuerdo con el diseño y tecnología utilizada.
- Sistemas de protección de alta confiabilidad, los cuales deben ser probados regularmente, y en caso necesario, reparados y puestos en operación.

Para el análisis de riesgo en las industrias del petróleo, química y afines, la experiencia demuestra que las técnicas que más se emplean son:

- Método Hazop: para detectar riesgos en áreas específicas de las instalaciones.
- Índice Dow (para fuego y explosión) y Mond (para fuego, explosión y toxicidad), con el fin de evaluar-cuantificar los riesgos presentes.

- Modelo SCRI (simulación de contaminación y riesgos, versión 2), para la determinación de la afectación al entorno de las instalaciones, los escenarios de los riesgos específicos encontrados y de mayor riesgo, con el fin de modelar dichos escenarios.

En el siguiente capítulo se definen los polígonos de riesgo y se presentan en detalle los principales tipos de riesgo industrial.

2. POLIGONOS DE RIESGO

El manejo, transporte y almacenamiento de sustancias peligrosas son de gran importancia debido a los efectos que se pueden presentar en caso de un accidente. De particular interés es el manejo de las sustancias que pueden provocar explosión (gases o líquidos que pueden formar una nube explosiva). En este caso es importante el poder estimar el radio de afectación y la magnitud de los daños potenciales por la ocurrencia de un evento explosivo, considerando al personal expuesto y las características de las instalaciones y procesos que se puedan afectar.

Los polígonos de riesgo son figuras geométricas que delimitan el área de influencia relacionada con un siniestro (incendio, explosión, derrumbe, etc), y son utilizados para determinar distancias mínimas de seguridad entre las instalaciones y las diferentes áreas colindantes, identificando riesgos probables, mediante la evaluación de daños provocados por nubes explosivas (EDNE), con el modelo de simulación de contaminación y riesgos en industrias (SCRI, 1993).

Este modelo para daños por explosiones estima un equivalente en masa de TNT (trinitrotolueno) de la sustancia considerada y simula la generación de ondas expansivas debidas a la explosión de una nube formada por la sustancia en cuestión.

2.1 Tipos de riesgo industrial

Los riesgos industriales graves suelen estar relacionados con la posibilidad de incendio, explosión o dispersión de sustancias químicas tóxicas, y por lo general entrañan el escape de un material de un recipiente seguido, en el caso de sustancias volátiles, de su evaporación y dispersión. Entre los principales accidentes están los siguientes:

- Escape de material inflamable, mezcla del material con el aire, formación de una nube de vapor y arrastre de la nube hasta una fuente de ignición, lo que provocará un incendio o una explosión que afectará al lugar y posiblemente zonas pobladas.

En este caso, el mayor peligro proviene del repentino escape masivo de líquidos volátiles o gases, que producen una gran nube de vapor posiblemente explosivo (OIT, 1990). Si la nube se enciende, los efectos de la combustión dependerán de múltiples factores, entre ellos la velocidad del viento y la medida en que la nube estaba diluida con aire; esos riesgos pueden causar un gran número de víctimas y daños.

- Escape de material tóxico, formación de una nube de vapor y arrastre de la nube, lo que afectará directamente al lugar y posiblemente a zonas pobladas.

La fuga repentina de grandes cantidades de materiales tóxicos pueden causar muertes y lesiones graves a una gran distancia. En teoría, una fuga podría, en ciertas circunstancias climáticas, producir concentraciones letales a varios kilómetros del punto de fuga, pero el número efectivo de víctimas dependerá de la densidad demográfica en el camino que sigue la nube y de la eficacia de las medidas de emergencia que se tomen, que podrían incluir la evacuación.

2.1.1 Explosiones

Las explosiones se caracterizan por una onda de choque que puede producir un estallido

y causar daños a los edificios, romper ventanas y arrojar materiales a varios cientos de metros de distancia. Las lesiones y daños son ocasionados primeramente por la onda de choque de la explosión. Los efectos de la onda de choque varían según las características del material, su cantidad y el grado de restricción de la nube de vapor. La explosión de un tanque con 50 toneladas de propano producen una presión de 0.02 psi a 250 metros y de 0.0072 psi a 500 metros. En la tabla 2.1 se presenta una lista de los valores de la sobrepresión observadas durante una explosión y el efecto esperado (Lees, 1985).

Tabla 2.1 Efectos por ondas de sobrepresión

SOBREPRESION	EFECTO
30.0 psi	Derrumbe de edificios mayores de concreto y acero
20.0 psi	Fracturas de líneas suspendidas
10.0 psi	Deformación de cortinas de acero
7.0 psi	Derrumbes de estructuras, deformación de tanques de almacenamiento
5.0 psi	Aflojamiento de anclajes
3.0 psi	Derrumbe de muros
2.0 psi	Derrumbe de techos
1.0 psi	Deformación de estructuras
0.5 psi	Rotura de ventanas

En la tabla 2.2 se presenta una lista de los valores de sobrepresión observados durante una explosión y su efecto en personas (Gugan, 1978).

Tabla 2.2 Criterios de aproximación de daños personales por ondas de sobrepresión.

SOBREPRESION	EFECTO
1.0 psi	Caída de su propia altura
5.0 psi	Ruptura de membrana timpánica
10 - 30 psi	Daño pulmonar
40 - 100 psi	Muerte

Deflagración y detonación

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 propagación de la flama es relativamente lenta, del orden de 1 m/seg. En una detonación, la velocidad de la flama es extremadamente elevada, el frente se desplaza como una onda de choque, con una velocidad de 2000 a 3000 m/s. Una detonación genera mayores presiones y es mucho más destructiva que una deflagración. La presión máxima causada por una deflagración fluctúa entre 0.10-0.11 psi, mientras que una detonación puede alcanzar una presión de 0.3 psi. El hecho de que se produzca una detonación o una deflagración dependerá del material de que se trate, así como de las condiciones en que ocurre la explosión.

Explosión de gases y polvos

Se producen explosiones de gases cuando se liberan y dispersan en el aire cantidades considerables de material que forma una nube explosiva de vapor antes de que tenga lugar la ignición, las explosiones de polvos se producen cuando materiales sólidos inflamables se mezclan con aire.

Explosiones de nubes de vapor confinado o no confinado

Las explosiones de vapores confinados se producen dentro de algún tipo de contenedor, recipiente o tubería. Las explosiones que se producen al aire libre se designan como no confinados y originan presiones máximas de sólo unas libras por pulgada. Las presiones máximas de las explosiones en lugares cerrados o limitados suelen ser superiores y pueden llegar a cientos de libras por pulgada cuadrada (Lees, 1985).

De las actividades básicas de la Industria Petrolera, en la transformación (refinación y petroquímica) se emplean sustancias que se consideran como factibles de formar nubes explosivas, entre las que se tienen: gases contenidos a una presión de 500 psi o más (refinerías que almacenan gas n-butano a 0 °C y 1 atm), gases mantenidos en estado líquido por efecto de baja temperatura (cilindros de almacenamiento de butadieno líquido), líquidos combustibles o inflamables mantenidos a una temperatura superior a la de su punto de ebullición y que se encuentran en

estado líquido por efecto de presión (procesos químicos con reactores que manejan ciclohexano con capacidades superiores a los 10,000.00 galones).

2.1.2 Incendios

Los incendios pueden adoptar varias formas diferentes: incendios de chorro, de depósitos, los producidos por relámpagos y explosiones provocadas por la ebullición de líquidos que emiten vapor.

Un incendio de surtidor o chorro surge cuando una flama angosta procedente, por ejemplo de una tubería de gas flamable, tiene un escape. Un incendio de depósito se produce si una fuga de crudo de un depósito situado dentro de un muro se inflama.

Los principales efectos de los incendios son quemaduras de piel por exposición a las radiaciones térmicas. 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 10 kW/m^2 durante aproximadamente 5 segundos y de 30 kW/m^2 durante sólo 0.4 minutos antes de que se produzca dolor.

Otro efecto letal que debe tomarse en consideración al producirse un incendio es la disminución del oxígeno en la atmósfera debido a su consumo durante el proceso de combustión. En general, este efecto se limita al entorno inmediato del lugar del incendio.

Así mismo, son importantes los efectos sobre la salud originados por la exposición a los humos tóxicos generados por el incendio.

Los incendios se producen en la industria con más frecuencia que las explosiones o la emanación de sustancias tóxicas, aunque las consecuencias medidas en pérdida de vidas humanas

suelen ser menos graves.

Explosión de un líquido en ebullición con desprendimiento de vapores en expansión

Designada algunas veces como “bola de fuego”, una explosión de este tipo es la combinación de incendio y explosión con una intensa emisión de calor radiante en un intervalo relativamente breve de tiempo. Este fenómeno puede producirse dentro de un recipiente o depósito en el que se mantenga un gas licuado por encima de su punto de ebullición. Si un recipiente a presión se rompe como resultado de un debilitamiento de su estructura, el contenido se escapa al instante como una mezcla turbulenta de líquido y gas que se expande rápidamente y se dispersa en el aire como una nube. Cuando esta nube se enciende, se produce una bola de fuego, que origina una radiación térmica de enorme intensidad en unos pocos segundos, capaz de causar muertes y graves quemaduras en la piel a varios cientos de metros del recipiente. Una explosión provocada por propano líquido de una cisterna de 50 toneladas, puede ocasionar quemaduras de tercer grado a distancias de aproximadamente 200 metros y ampollas a distancias de unos 400 metros (OIT, 1990).

2.1.3 Escape de gases tóxicos

El efecto de las sustancias tóxicas es diferente cuando se examinan los riesgos de accidentes mayores (exposición aguda durante e inmediatamente después de un accidente importante), que cuando se trata de la exposición crónica de larga duración. La toxicidad de las sustancias químicas se puede determinar mediante el empleo de cuatro métodos principales: el estudio de los incidentes, estudios epidemiológicos, experimentos sobre animales y ensayos con microorganismos. En los efectos tóxicos de las sustancias influyen asimismo otros factores como: edad, sexo, antecedentes genéticos, grupo étnico, nutrición, fatiga, enfermedades, exposición a otras sustancias con efectos sinérgicos y la duración y modalidad de trabajo.

Por ejemplo, se sabe que el cloro resulta peligroso para la salud humana en concentraciones de 10 a 20 partes por millón (ppm) con una exposición de 30 minutos. Este gas resulta letal en concentraciones de 100 a 150 ppm con exposiciones de 5 a 10 minutos de duración. La exposición al cloro por períodos más cortos puede ser letal en concentraciones de 1000 ppm. En lo que se refiere a las consecuencias de un escape de cloro, se sabe que una fuga instantánea de 10 toneladas de esta sustancia química puede producir una concentración máxima de 140 ppm a una distancia de 2 km viento abajo (Lees, 1985).

2.1.4 Elementos preventivos

Estas contingencias se pueden reducir al mínimo reduciendo o eliminando los factores de riesgo mediante los siguientes elementos preventivos:

- Manual de seguridad, que indique las prácticas y normas de seguridad del trabajador, para mantener su salud e integridad en el trabajo.
- Programas de mantenimiento, cuyo objetivo sea el de mantener en condiciones óptimas y seguras el equipo de las instalaciones en la planta.
- Programas de capacitación, cuya finalidad sea la de preparar, capacitar y entrenar al personal en sus actividades propias.
- Procedimientos operativos, que señalen las secuencias para el arranque, operación y paro de un procedimiento o equipo de trabajo.
- Reglamento interno de trabajo, que señale las políticas de seguridad, de trabajo y de conducta, establecidas para el bienestar de los trabajadores y de la empresa.

2.2 Descripción del paquete SCRI

El paquete SCRI (Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias), está integrado por cuatro modelos (SCRI, 1990):

- Modelo de dispersión de una emisión puntual continua de gas (DEPC).

- Modelo de dispersión de un gas o vapor proveniente de una fuga o derrame de un líquido que se evapora (DFD).
- Modelo de dispersión de un gas liberado en forma masiva e instantánea (DFMI).
- Modelo de evaluación de daños provocados por nubes explosivas (EDNE).

Los tres modelos de dispersión son del tipo gaussiano y permiten obtener estimaciones de concentraciones en el aire, considerando condiciones de emisión y estabilidad atmosférica particulares.

El modelo utilizado en el presente trabajo es el modelo de evaluación de daños provocados por nubes explosivas, el cual estima un equivalente en masa de TNT (trinitrotolueno), de la sustancia considerada y simula la generación de ondas expansivas (o de sobrepresión), debidas a la explosión de una nube formada con la sustancia en cuestión.

El objetivo del modelo es determinar la magnitud de los diámetros asociados a las ondas de sobrepresión y a partir de estos datos se puede estimar los daños producidos en instalaciones y áreas colindantes.

Existe una serie de suposiciones inherentes al modelo que le permiten efectuar las estimaciones y predicciones de daños provocados por la explosión de la nube, destacando las siguientes:

- La fuga del material es instantánea, excluyéndose escapes paulatinos de gas, a menos que se trate de fugas en tuberías de gran capacidad.
- El material fugado se evapora instantáneamente y la formación de la nube se efectúa de acuerdo con las propiedades termodinámicas del gas antes de producirse la fuga.
- Se asume una nube de forma esférica cuya altura corresponde a su diámetro. Además se supone que la nube no es distorsionada por el viento ni por estructuras o edificios cercanos.

- La composición de la nube es uniforme y su concentración corresponde a la media aritmética de los límites superior e inferior de explosividad del material.
- El calor de combustión del material se transforma a un equivalente en peso de trinitrotolueno (TNT). El calor de combustión del TNT es de 1830 Btu/lb.
- La temperatura del aire ambiente se considera constante e igual a 21.1 °C.

Para determinar la magnitud de la fuga de material explosivo, se consideran dos criterios o tipos de daños probables: a) Daño máximo probable (DMP), en el cual el tamaño de la fuga está determinado por el contenido del recipiente mayor y se aísla el resto de los recipientes por la acción de válvulas automáticas o a control remoto; b) Daño máximo catastrófico (DMC), en el cual se considera que no funcionan las válvulas ocasionando así una reacción en cadena. Una vez que se produce la explosión, se generan una serie de ondas expansivas circulares de tal forma que las ondas de mayor presión están situadas formando una circunferencia cercana al centro de la nube y las de menor presión se sitúan en circunferencias de diámetro mayores.

La metodología de funcionamiento del modelo involucra varios pasos entre los que se destacan: cálculo del peso de material en la nube, cálculo del diámetro de la nube formada, cálculo de la energía desprendida por la explosión y determinación del diámetro de ondas expansivas.

- a) Cálculo del peso de material en la nube (W): El material en el proceso se encuentra en estado líquido, el peso del material se calcula con su volumen y densidad,

$$W = 8.34 R_o V_l$$

- b) Cálculo del diámetro de la nube formada (D): La metodología empleada se aplica únicamente para nubes de gases o vapores más pesados que el aire:

$$D = 22.181 (W/h.M.F)$$

En esta ecuación se considera que la mezcla aire-gas (vapor), se encuentra a 21.1⁰ C y 1 atmósfera de presión.

El parámetro F corresponde a la concentración del gas explosivo dentro de la nube, esto es:

$$F = (LIE + LSE) / (2 \times 100)$$

c) Cálculo de la energía desprendida por la explosión (Ed): Se asume que la energía desprendida por la explosión de la nube se expresa por su equivalente en toneladas de TNT:

$$Ed = W HcE / 4.03 \times 10^6$$

El factor E es adimensional y determina la fracción del calor de combustión que sirve para producir las ondas de sobrepresión. Para muchos materiales el valor de E se encuentra dentro del rango 0.01 a 0.1 (Lees, 1985). Para las nubes explosivas consideradas en el ejemplo se emplean los valores:

$$E = 0.02 \text{ bajo el escenario DMP}$$

$$E = 0.10 \text{ bajo el escenario DMC}$$

e) Determinación del diámetro de las ondas expansivas (Doe): Las ondas expansivas (o de sobrepresión), se expresan en unidades de presión y van desde 0.5 psi hasta 30 psi. La determinación de los diámetros de los círculos de sobrepresión se efectúa a través de la ley de escala de raíz cúbica (Gugan, 1978),

$$Doe = Z(Ed)^{1/3}$$

A continuación se muestra una aplicación del modelo anteriormente expuesto.

3. EJEMPLO

Se tiene una empresa localizada en la Avenida Zumpango-Teoloyucán, municipio de Teoloyucan, Edo. de México ($19^{\circ}45'02''$ latitud norte y $99^{\circ}08'21''$ longitud oeste), situada en una zona rural; de carácter agroindustrial en donde no existen casas habitación en un radio de por lo menos 1 kilómetro a la redonda. Dentro de este radio sólo se ubica una fábrica de tablón y cuatro industrias pecuarias. Sus colindancias son: al norte 160 metros con el ejido Melchor Ocampo (uso de suelo agrícola), al sur 160 metros con la Av. Zumpango-Teoloyucan; que es utilizada como vía de comunicación entre Zumpango y Teoloyucan, al oriente y al poniente, 125 metros respectivamente, con lotes utilizados para cultivo (ver fig. 1).

La actividad principal es la elaboración de propelentes hidrocarburos (sustitutos de los CFCs) y solventes para aerosoles. La planta está diseñada para efectuar el secado y deodorización de una corriente de propano y otra de butano, mediante la adsorción selectiva de agua y compuestos de azufre, sobre lechos fijos de mallas moleculares. La capacidad de almacenamiento es de 474 m^3 instalados y la capacidad de producción es de $1500 \text{ m}^3/\text{mes}$. Las instalaciones se clasifican en tres categorías:

a) Construcción arquitectónica: es de una planta, cuenta con 1 laboratorio químico de control de calidad (muros metálicos con fibra de vidrio y plafón), 1 aula de capacitación (muros metálicos con fibra de vidrio y plafón), 1 área con 5 oficinas (muros de tabique y loza de concreto armado), 3 bodegas y un taller (muros de tabique y lámina estructural).

b) Instalaciones de proceso y almacenamiento: la planta de proceso está a la intemperie, los tanques cuentan con bases individuales de concreto armado y están cubiertos con material inerte, para anular la probabilidad de una explosión.

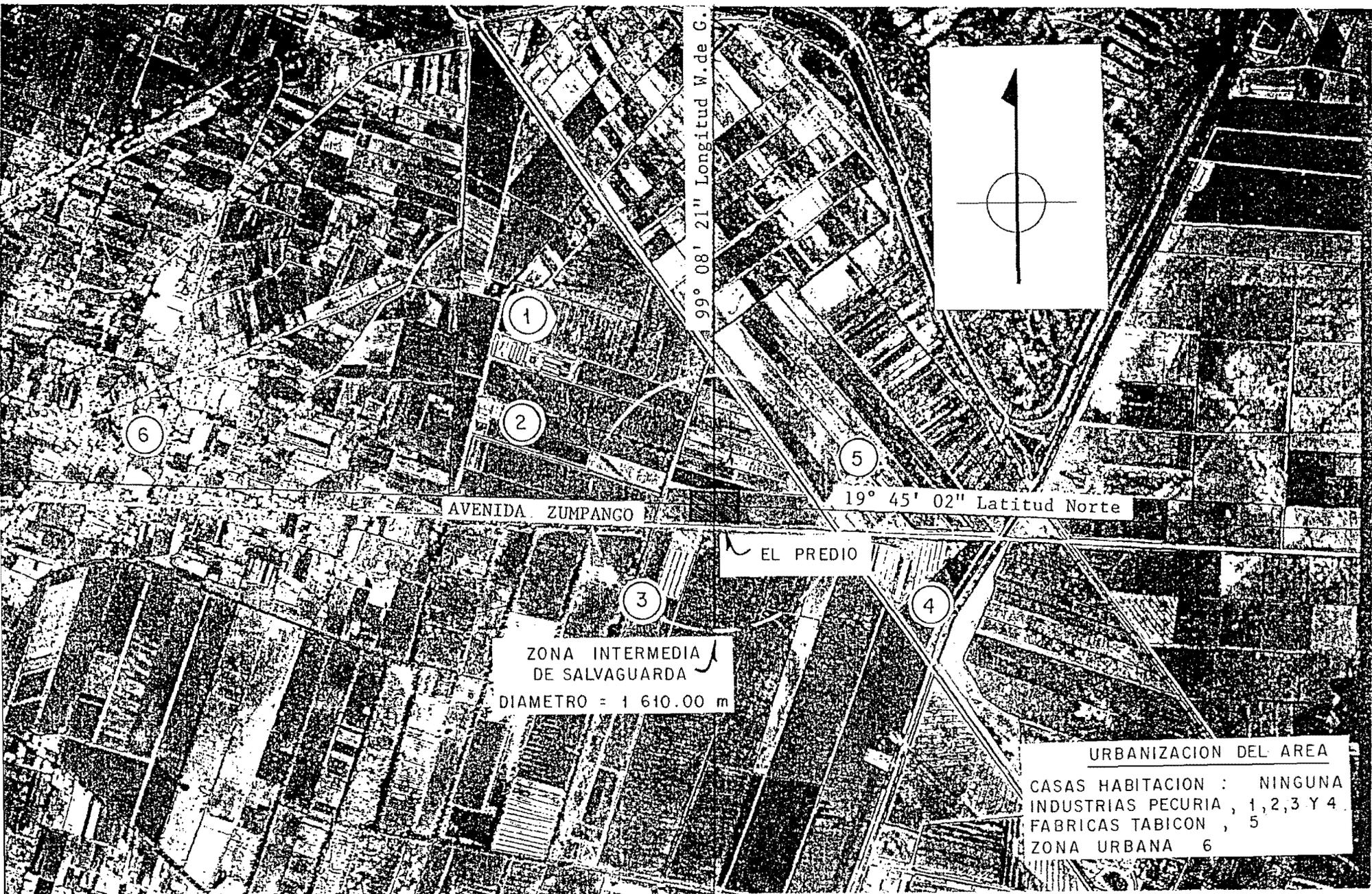


Fig. 1 Localización de la planta y zonas circundantes

Descripción del equipo	Capacidad
2 tanques de almacenamiento de propano	63,500 l
2 tanques de almacenamiento de butano	63,500 l
1 tanque de almacenamiento de propano	110,000 l
1 tanque de almacenamiento de butano	110,000 l
1 tanque de almacenamiento de propano	15,000 l
1 tanque de almacenamiento de butano	15,000 l
3 torres de adsorción	5,000 l
2 compresores eléctricos	10 Hp
1 compresor eléctrico	15 Hp
3 bombas de proceso	5 Hp
1 baño de sales térmicas	1.5 MM Btu/h
2 acumuladores	500 l
2 cambiadores de calor	1.5 MM Btu/h

c) Sistemas de seguridad:

-Sistema contra incendio con operación automática, provista de rociadores, hidrantes y monitores de 500 GPM. Cuenta con tres bombas (1 eléctrica de 60 Hp, 1 de diesel y 1 piloto de 5 Hp), todas con control de arranque automático.

-Red eléctrica a prueba de explosión. Todo el sistema de alumbrado de la planta es a prueba de explosión.

-Red de tierras físicas. Se cuenta con una red general de tierras para descarga de corriente estática con registros de inspección y conectado a tanques, motores y tuberías.

-Señalamientos de seguridad, preventivos y de emergencia con iluminación permanente.

-Centro de control de emergencias dotado con 10 equipos de bomberos, mantas contra fuego, equipo de respiración autónoma, equipo de primeros auxilios, radios de comunicación, etc.

-Extintores para incendio (tipos ABC de polvo químico seco, dióxido de carbono y agua).

- d) Personal: La empresa tiene una plantilla de 32 personas y tres turnos para laborar (dos operativos y uno de vigilancia). Las actividades básicas del personal de operación y mantenimiento son: descarga y almacenamiento de las materias primas, purificación y almacenamiento del hidrocarburo limpio, formulación y distribución del propelente de hidrocarburo y regeneración de los lechos moleculares de adsorción.

3.1 Planteamiento

La empresa decidió realizar una evaluación de la afectación al entorno y a sus instalaciones en caso de una emergencia por explosión. Se desea determinar los radios de afectación por ondas de sobrepresión, derivadas de la explosión de los tanques de 110.000 l de propano y otro de butano. Se utilizó el paquete SCRI (modelo EDNE), el cual considera la formación de nubes explosivas provenientes de los tanques de almacenamiento de propano y butano.

Para el propano se tiene:

Capacidad del tanque: 110,000.00 l

Llenado: 85% de su capacidad total

Cantidad de propano presente: 93,500.00 l (24.700 gal)

Temperatura de proceso: -15 °C

Para el butano se tiene:

Capacidad del tanque: 110,000.00 l

Llenado: 90% de su capacidad total

Cantidad de butano presente: 99,000.00 l (26,153.00 gal)

Temperatura de proceso: -15 °C

3.2 Resultados y análisis

Se debe recordar que los resultados proporcionados por SCRI, consideran que al producirse el evento todo el líquido se evapora instantáneamente y que la nube explosiva se forma de una mezcla del líquido evaporado con aire, en el rango de los límites de explosividad para el propano y el butano.

Las ondas expansivas consideradas en éste método, producto de la explosión, se expresan en unidades de presión y varían de 0.5 psi a 30 psi. Se determina los diámetros para los valores de energía desprendida tanto para DMP como DMC.

La tabla 3.1 presenta los datos alimentados a SCRI para el caso del propano, y la tabla 3.2 los resultados obtenidos; mientras que, las tablas 3.3 y 3.4 corresponden al butano

Tabla 3.1 Datos alimentados al programa para el caso del propano

Nombre de la sustancia	Propano
Peso molecular (lb/lb mol)	44.09
Calor de combustión (Btu/lb)	21,490.00
Límite inferior de explosividad (%)	2.10
Límite superior de explosividad (%)	9.50
Altura de la nube (ft)	10.00
Factor de Explosividad DMP (%)	2.00
Factor de explosividad DMC (%)	10.00
Tipo de sustancia	Gas licuado por alta presión
Densidad a temperatura de proceso (g/ml)	0.59
Temperatura de ebullición (°C)	-42.20
Temperatura de proceso (°C)	-15.00
Volumen de proceso (gal)	24,700.00

Tabla 3.2 Resultados para el caso del propano

Peso del material evaporado	121,538.82 lb	
Fracción de material en la nube	0.058 %	
Diámetro de la nube	466.09 m	
Energía desprendida (DMP)	12,96213 Ton. TNT	
Energía desprendida (DMC)	64.81065 Ton. TNT	
Sobrepresión (psi)	Diametros de ondas expansivas (m)	
	DMP	DMC
0.5	924.34	1,580.60
1.0	572.79	979.46
2.0	347.26	593.80
3.0	286.40	489.73
5.0	209.07	357.50
7.0	171.84	293.84
10.0	143.20	244.87
20.0	115.27	197.12
30.0	85.92	146.92

Tabla 3.3 Datos alimentados al programa para el caso del butano

Nombre de la sustancia	Butano
Peso molecular (lb/lb mol)	58.10
Calor de combustión (Btu/lb)	21,134.00
Límite inferior de explosividad (%)	1.80
Límite superior de explosividad (%)	2.40
Altura de la nube (ft)	10.00
Factor de Explosividad DMP (%)	2.00
Factor de explosividad DMC (%)	10.00
Tipo de sustancia	Gas licuado por alta presión
Densidad a temperatura de proceso (g/ml)	0.60
Temperatura de ebullición (°C)	-0.48
Temperatura de proceso (°C)	-15.00
Volumen de proceso (gal)	26,153.00

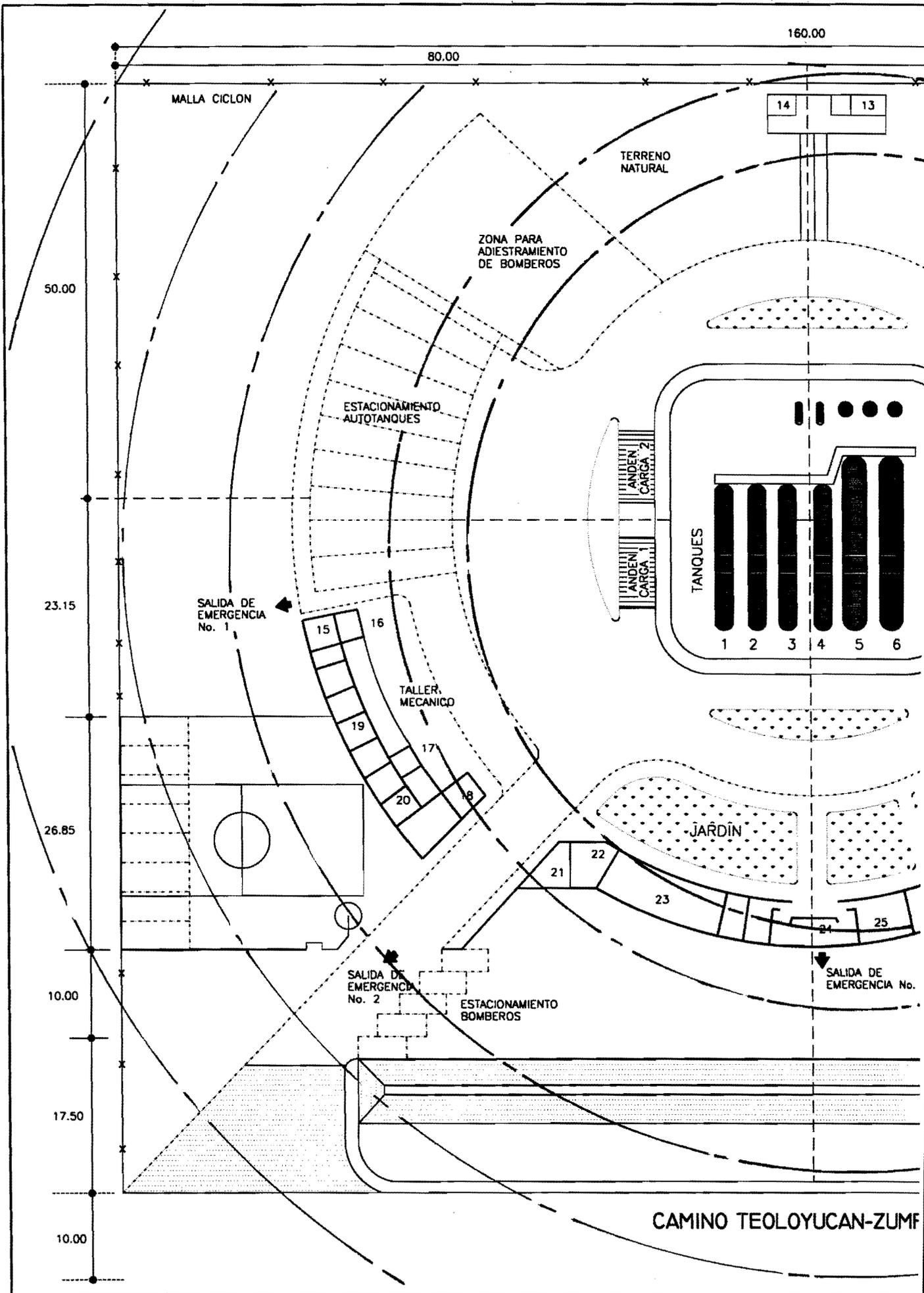
Tabla 3.4 Resultados para el caso del butano

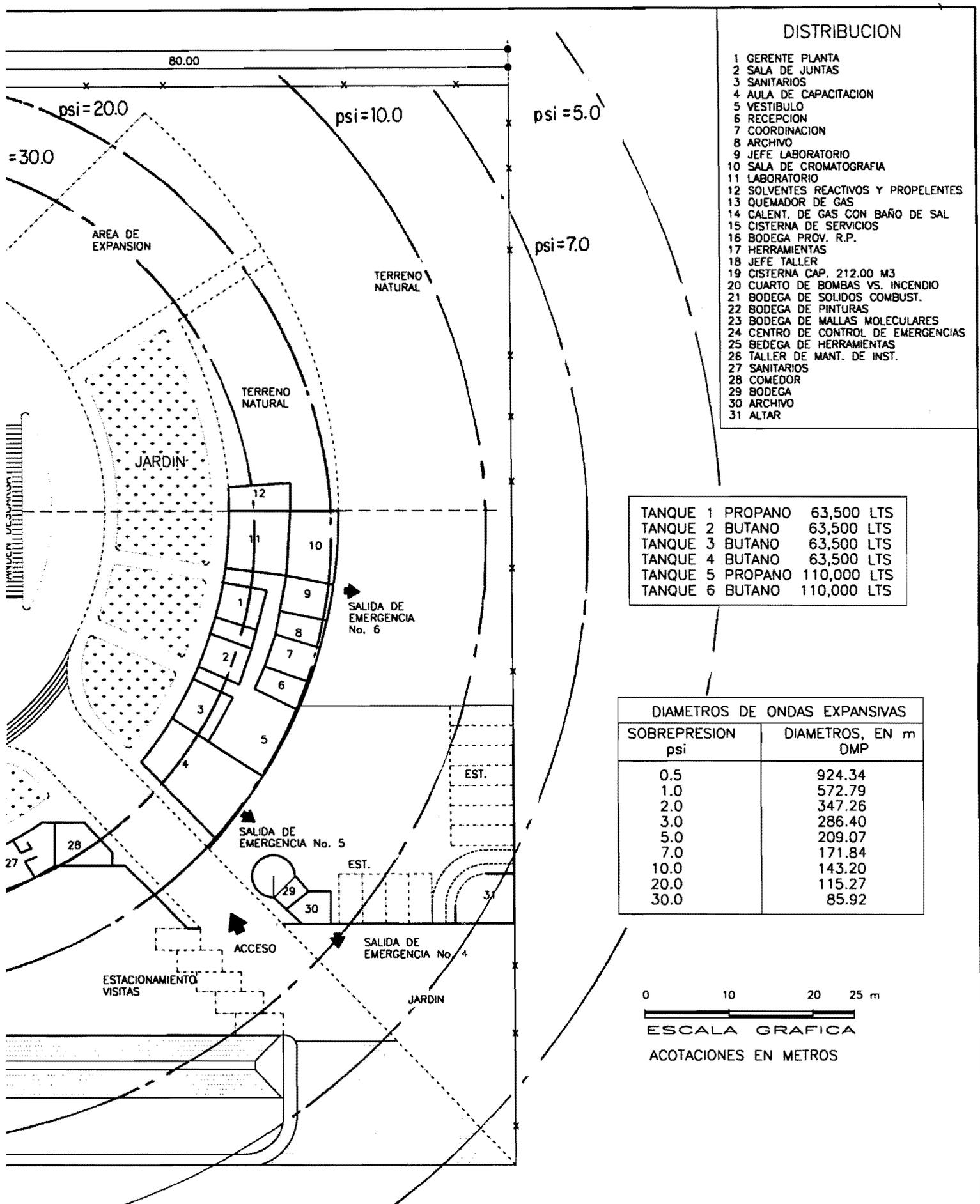
Peso del material evaporado	130,869.61 lb	
Fracción de material en la nube	0.0021 %	
Diámetro de la nube	1,420.58 m	
Energía desprendida (DMP)	13.72605 Ton. TNT	
Energía desprendida (DMC)	68.63023 Ton. TNT	
Sobrepresión (psi)	Diámetros de ondas expansivas (m)	
	DMP	DMC
0.5	942.16	1,611.06
1.0	583.95	998.34
2.0	353.95	605.24
3.0	291.92	499.17
5.0	213.10	364.39
7.0	175.15	299.50
10.0	145.96	249.58
20.0	117.50	200.92
30.0	87.57	149.72

Resulta interesante observar que el butano desprende mayor cantidad de energía, a pesar de tener un menor calor de combustión, lo cual se relaciona directamente con el hecho de tener un mayor volumen almacenado de butano, esta situación se verá reflejada en los efectos de la explosión bajo ambos escenarios (DMP y DMC).

En las figuras 2, 3 y 4, se muestran los diámetros de sobrepresión para el propano bajo los escenarios DMP y DMC.

Al analizar las ondas de sobrepresión de 30.0 y 20.0 psi bajo el escenario DMP (fig. 2), se observa que abarcan una distancia tal que la afectación al entorno de la planta es mínima, debido a que los alcances esperados son 85.92 y 115.27 m respectivamente, y la zona de asentamientos humanos está ubicada a más de 1700 m del perímetro de la planta. Sin embargo, el efecto





DISTRIBUCION

- 1 GERENTE PLANTA
- 2 SALA DE JUNTAS
- 3 SANITARIOS
- 4 AULA DE CAPACITACION
- 5 VESTIBULO
- 6 RECEPCION
- 7 COORDINACION
- 8 ARCHIVO
- 9 JEFE LABORATORIO
- 10 SALA DE CROMATOGRAFIA
- 11 LABORATORIO
- 12 SOLVENTES REACTIVOS Y PROPELENTES
- 13 QUEMADOR DE GAS
- 14 CALENT. DE GAS CON BAÑO DE SAL
- 15 CISTERNA DE SERVICIOS
- 16 BODEGA PROV. R.P.
- 17 HERRAMIENTAS
- 18 JEFE TALLER
- 19 CISTERNA CAP. 212.00 M3
- 20 CUARTO DE BOMBAS VS. INCENDIO
- 21 BODEGA DE SOLIDOS COMBUST.
- 22 BODEGA DE PINTURAS
- 23 BODEGA DE MALLAS MOLECULARES
- 24 CENTRO DE CONTROL DE EMERGENCIAS
- 25 BODEGA DE HERRAMIENTAS
- 26 TALLER DE MANT. DE INST.
- 27 SANITARIOS
- 28 COMEDOR
- 29 BODEGA
- 30 ARCHIVO
- 31 ALTAR

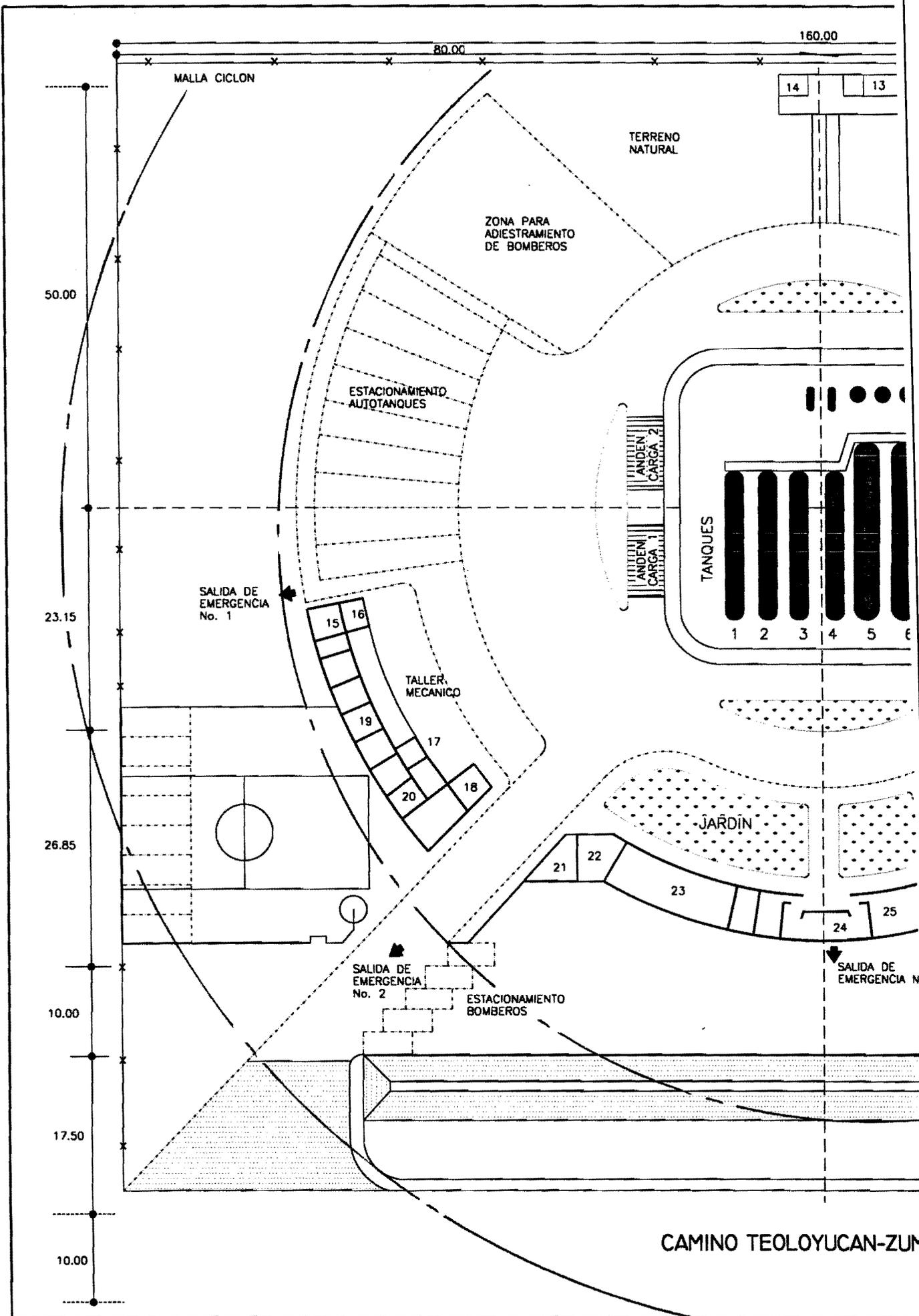
TANQUE 1	PROPANO	63,500 LTS
TANQUE 2	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 3	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 4	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 5	PROPANO	110,000 LTS
TANQUE 6	BUTANO	110,000 LTS

DIAMETROS DE ONDAS EXPANSIVAS	
SOBREPRESION psi	DIAMETROS, EN m DMP
0.5	924.34
1.0	572.79
2.0	347.26
3.0	286.40
5.0	209.07
7.0	171.84
10.0	143.20
20.0	115.27
30.0	85.92

0 10 20 25 m

ESCALA GRAFICA
ACOTACIONES EN METROS

FIG 2. ESCENARIO DAÑO MAXIMO PROBABLE (DMP) PARA EL PROPANO

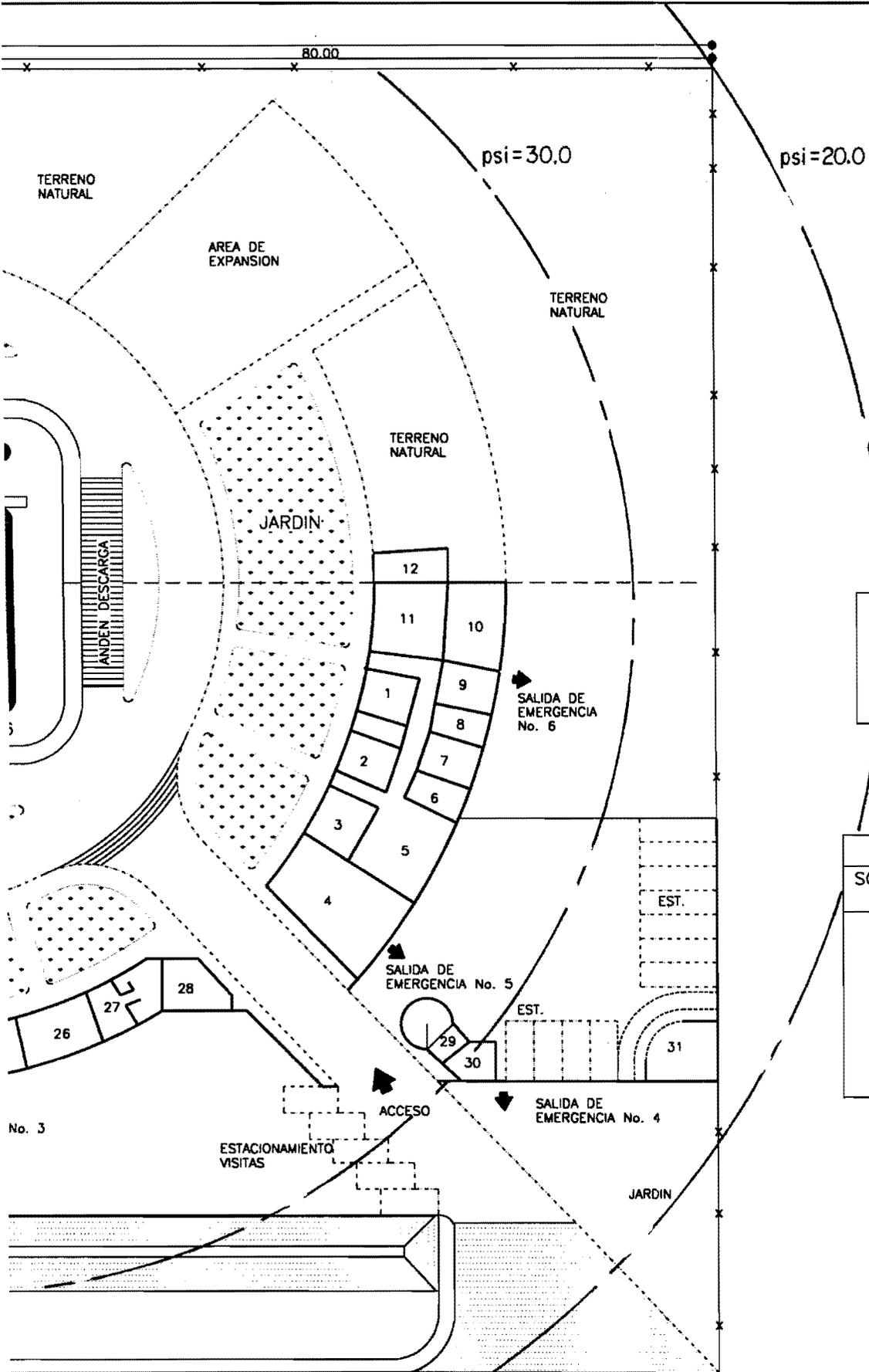


DISTRIBUCION

- 1 GERENTE PLANTA
- 2 SALA DE JUNTAS
- 3 SANITARIOS
- 4 AULA DE CAPACITACION
- 5 VESTIBULO
- 6 RECEPCION
- 7 COORDINACION
- 8 ARCHIVO
- 9 JEFE LABORATORIO
- 10 SALA DE CROMATOGRAFIA
- 11 LABORATORIO
- 12 SOLVENTES REACTIVOS Y PROPE
- 13 QUEMADOR DE GAS
- 14 CALENT. DE GAS CON BAÑO DE
- 15 CISTERNA DE SERVICIOS
- 16 BODEGA PROV. R.P.
- 17 HERRAMIENTAS
- 18 JEFE TALLER
- 19 CISTERNA CAP. 212.00 M3
- 20 CUARTO DE BOMBAS VS. INCENI
- 21 BODEGA DE SOLIDOS COMBUST.
- 22 BODEGA DE PINTURAS
- 23 BODEGA DE MALLAS MOLECULAR
- 24 CENTRO DE CONTROL DE EMER
- 25 BEDEGA DE HERRAMIENTAS
- 26 TALLER DE MANT. DE INST.
- 27 SANITARIOS
- 28 COMEDOR
- 29 BODEGA
- 30 ARCHIVO
- 31 ALTAR

TANQUE 1	PROPANO	63,500 LTS
TANQUE 2	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 3	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 4	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 5	PROPANO	110,500 LTS
TANQUE 6	BUTANO	110,500 LTS

DIAMETROS DE ONDAS EXPANSIVAS	
SOBREPRESION psi	DIAMETROS, EN m DMC
0.5	1580.60
1.0	979.46
2.0	593.80
3.0	489.73
5.0	357.50
7.0	293.84
10.0	244.87
20.0	197.12
30.0	146.92



0 10 20 25 m
ESCALA GRAFICA
 ACOTACIONES EN METROS

MPANGO

FIG 3. ESCENARIO DAÑO MAXIMO CATASTROFICO (DMC) PARA EL PROPANO

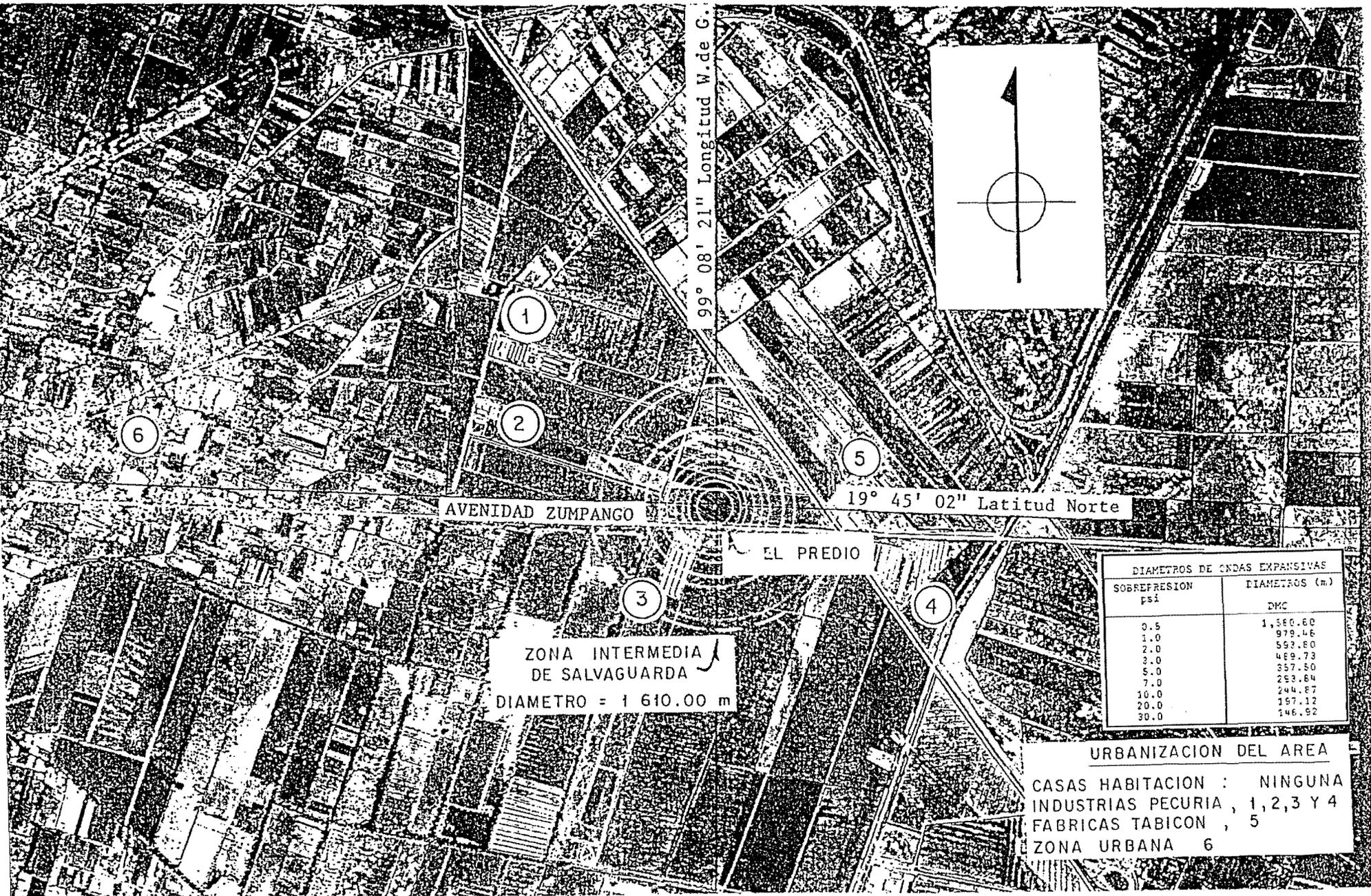


Fig 4 Polígono de riesgo (DMC) para el propano

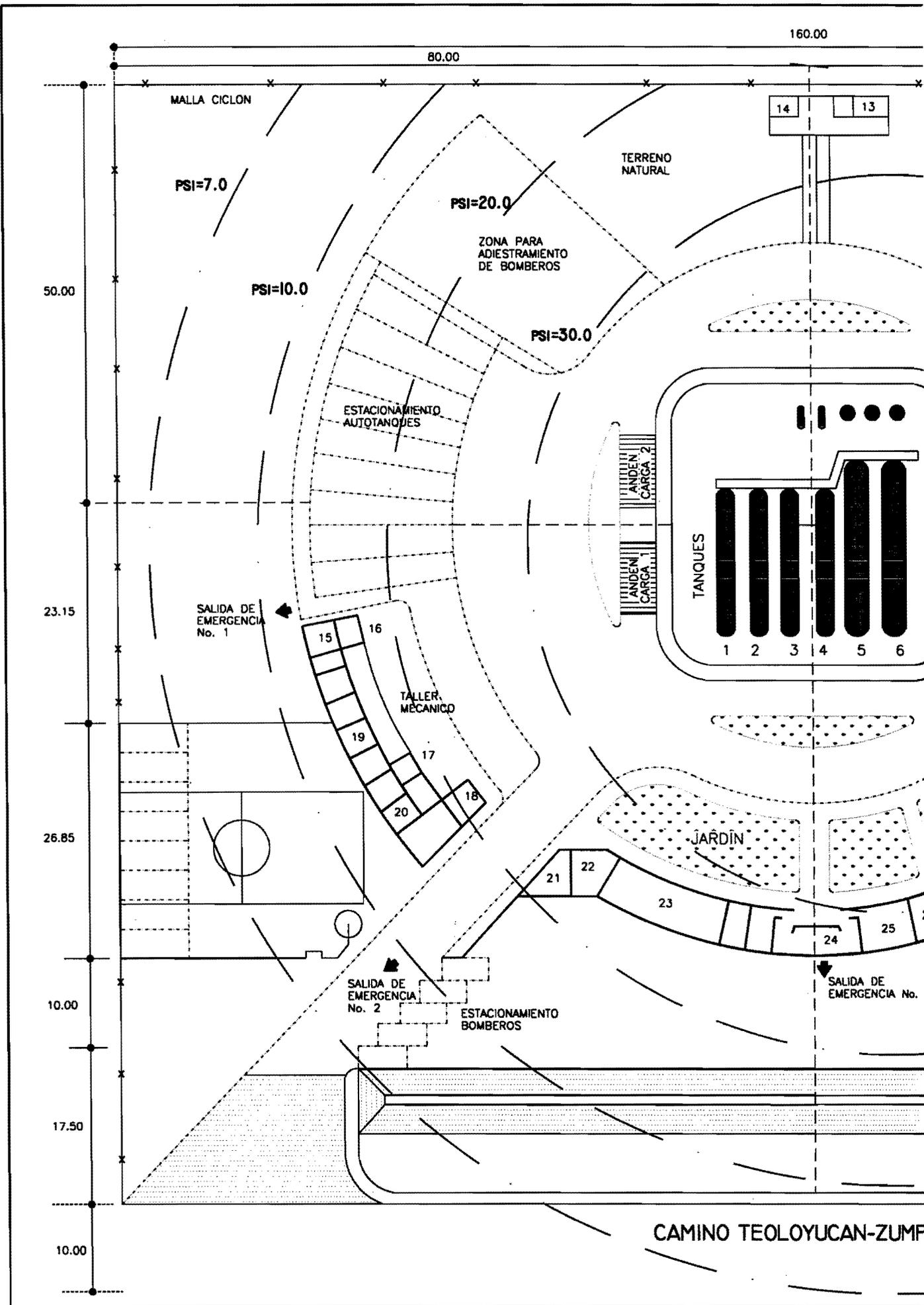
producido por estas ondas en las instalaciones es importante: dentro de la zona de sobrepresión de 30.0 psi , relacionada con derrumbe total (ver tabla 2.1), están todos los tanques de almacenamiento de la planta, los andenes de carga, los talleres y bodegas y parte del área de oficinas; la onda de 20.0 psi (fractura de líneas), incluye las oficinas, laboratorio, comedor y otras construcciones administrativas; y el resto de la planta queda incluida dentro de la onda de sobrepresión de 7.0 psi, la cual está asociada con la deformación de tanques de almacenamiento y el derrumbe de pequeñas estructuras.

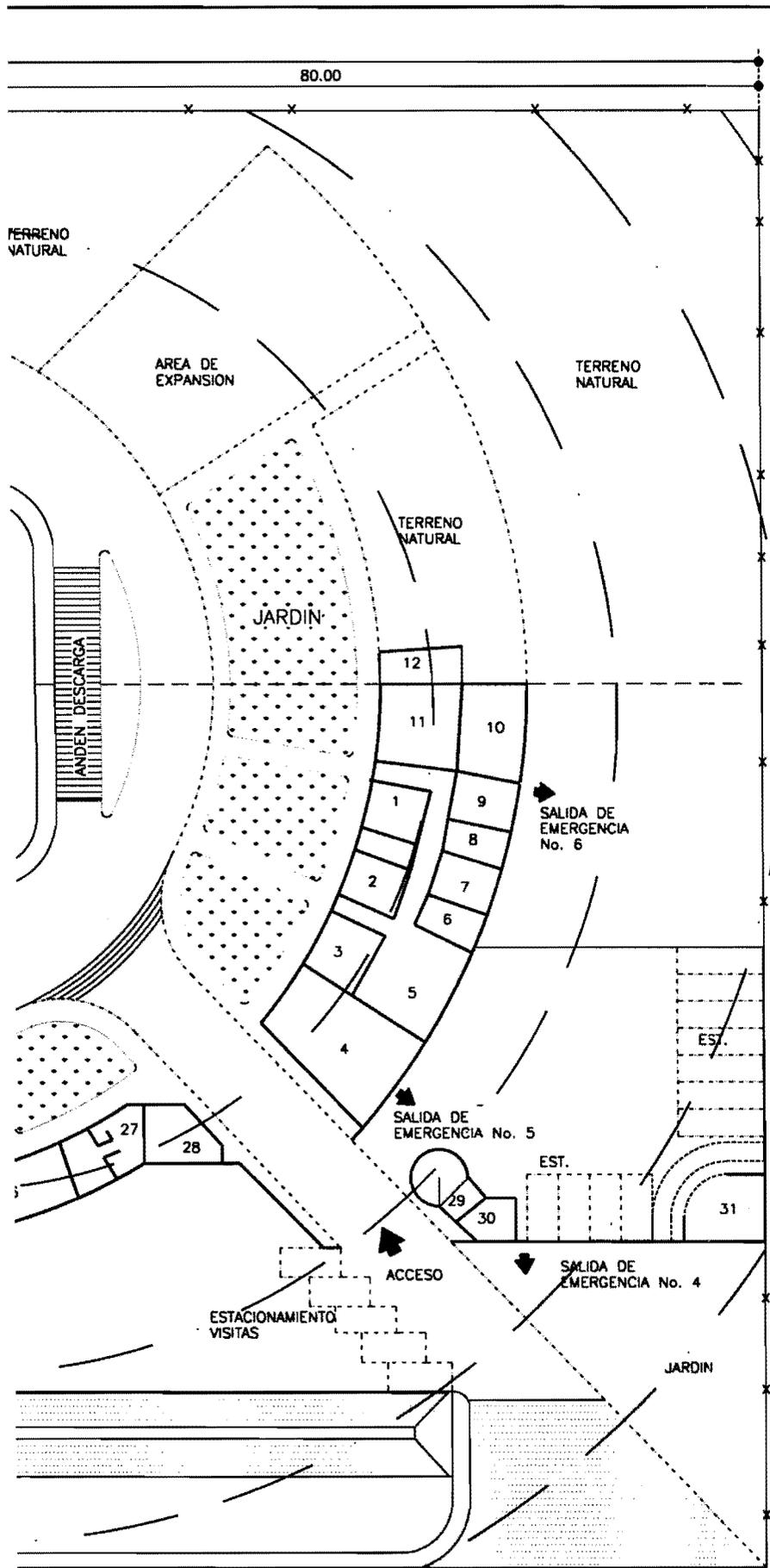
De igual manera, bajo el escenario DMC (fig. 3), al analizar las ondas de sobrepresión de 30.0 y 20.0 psi, los alcances esperados son de 146.92 y 197.12 m, que tampoco inciden sobre la zona urbana, pero afectan las instalaciones de la planta, incluyéndose dentro de la onda de 30.0 psi toda el área de oficinas, talleres y bodegas. Bajo este escenario catastrófico todas las instalaciones de la planta reciben una onda de sobrepresión mayor a 20.0 psi.

La anterior situación se ve reflejada en la fig. 4, correspondiente al polígono de riesgo del propano bajo el escenario DMC, en el cual se visualiza que no existe afectación en las áreas colindantes por efecto de las ondas de sobrepresión mayores a 1.0 psi, solamente el punto 3 de la figura, donde se ubica una industria pecuaria, es alcanzado por la onda de sobrepresión de 0.5 psi (rotura de ventanas) a 1580 m del perímetro de la planta.

En las figuras 5, 6 y 7 se muestran los diámetros de sobrepresión para el caso de explosión del butano bajo ambos escenarios.

Al analizar las ondas de sobrepresión de 30.0 y 20.0 psi, bajo el escenario DMP (fig. 5), se observa al igual que en el caso anterior, que abarcan una distancia tal que la afectación al entorno de la planta no es significativa, debido a que los diámetros calculados son 87.57 y 117.50 m. Sin embargo, los efectos sobre las instalaciones de la empresa son importantes: la onda de 30.0 psi





DISTRIBUCION

- 1 GERENTE PLANTA
- 2 SALA DE JUNTAS
- 3 SANITARIOS
- 4 AULA DE CAPACITACION
- 5 VESTIBULO
- 6 RECEPCION
- 7 COORDINACION
- 8 ARCHIVO
- 9 JEFE LABORATORIO
- 10 SALA DE CROMATOGRAFIA
- 11 LABORATORIO
- 12 SOLVENTES REACTIVOS Y PROPELENTE
- 13 QUEMADOR DE GAS
- 14 CALENT. DE GAS CON BAÑO DE SAL
- 15 CISTERNA DE SERVICIOS
- 16 BODEGA PROV. R.P.
- 17 HERRAMIENTAS
- 18 JEFE TALLER
- 19 CISTERNA CAP. 212.00 M3
- 20 CUARTO DE BOMBAS VS. INCENDIO
- 21 BODEGA DE SOLIDOS COMBUST.
- 22 BODEGA DE PINTURAS
- 23 BODEGA DE MALLAS MOLECULARES
- 24 CENTRO DE CONTROL DE EMERGENCIA
- 25 BODEGA DE HERRAMIENTAS
- 26 TALLER DE MANT. DE INST.
- 27 SANITARIOS
- 28 COMEDOR
- 29 BODEGA
- 30 ARCHIVO
- 31 ALTAR

TANQUE 1	PROPANO	63,500 LTS
TANQUE 2	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 3	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 4	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 5	PROPANO	110,000 LTS
TANQUE 6	BUTANO	110,000 LTS

DIAMETROS DE ONDAS EXPANSIVAS	
SOBREPRESION psi	DIAMETROS, EN m DMP
0.5	942.16
1.0	583.95
2.0	353.95
3.0	291.92
5.0	213.10
7.0	175.15
10.0	145.96
20.0	117.50
30.0	87.57

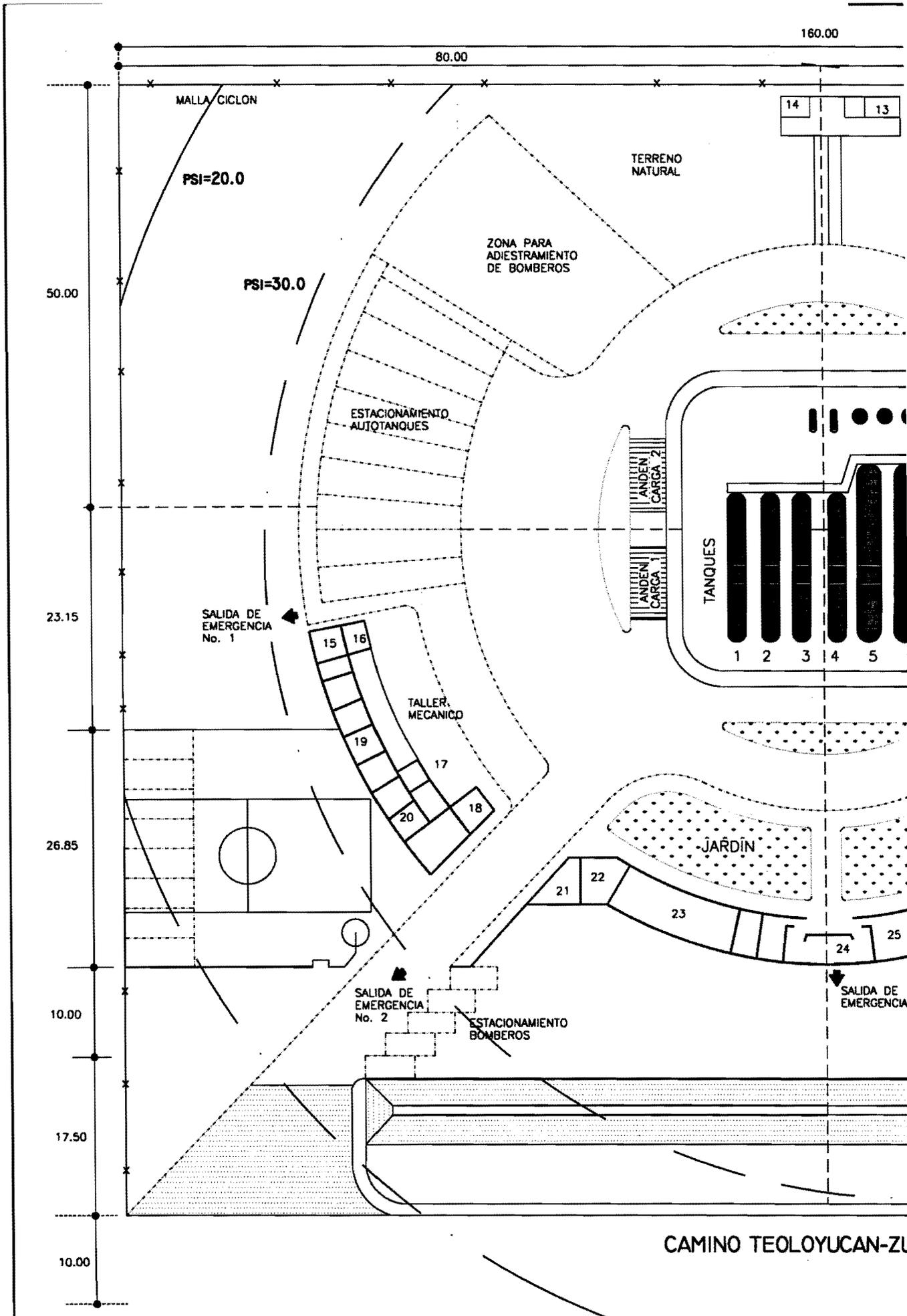
0 10 20 25 m

ESCALA GRAFICA

ACOTACIONES EN METROS

INGO

FIG 5. ESCENARIO DAÑO MAXIMO PROBABLE (DMP) PARA EL BUTANO



MALLA CICLON

PSI=20.0

PSI=30.0

TERRENO NATURAL

ZONA PARA ADIESTRAMIENTO DE BOMBEROS

ESTACIONAMIENTO AUTOTANQUES

SALIDA DE EMERGENCIA No. 1

TALLER MECANICO

15

16

19

17

20

18

TANQUES

1

2

3

4

5

JARDIN

21

22

23

24

25

SALIDA DE EMERGENCIA No. 2

ESTACIONAMIENTO BOMBEROS

SALIDA DE EMERGENCIA No. 3

50.00

23.15

26.85

10.00

17.50

10.00

80.00

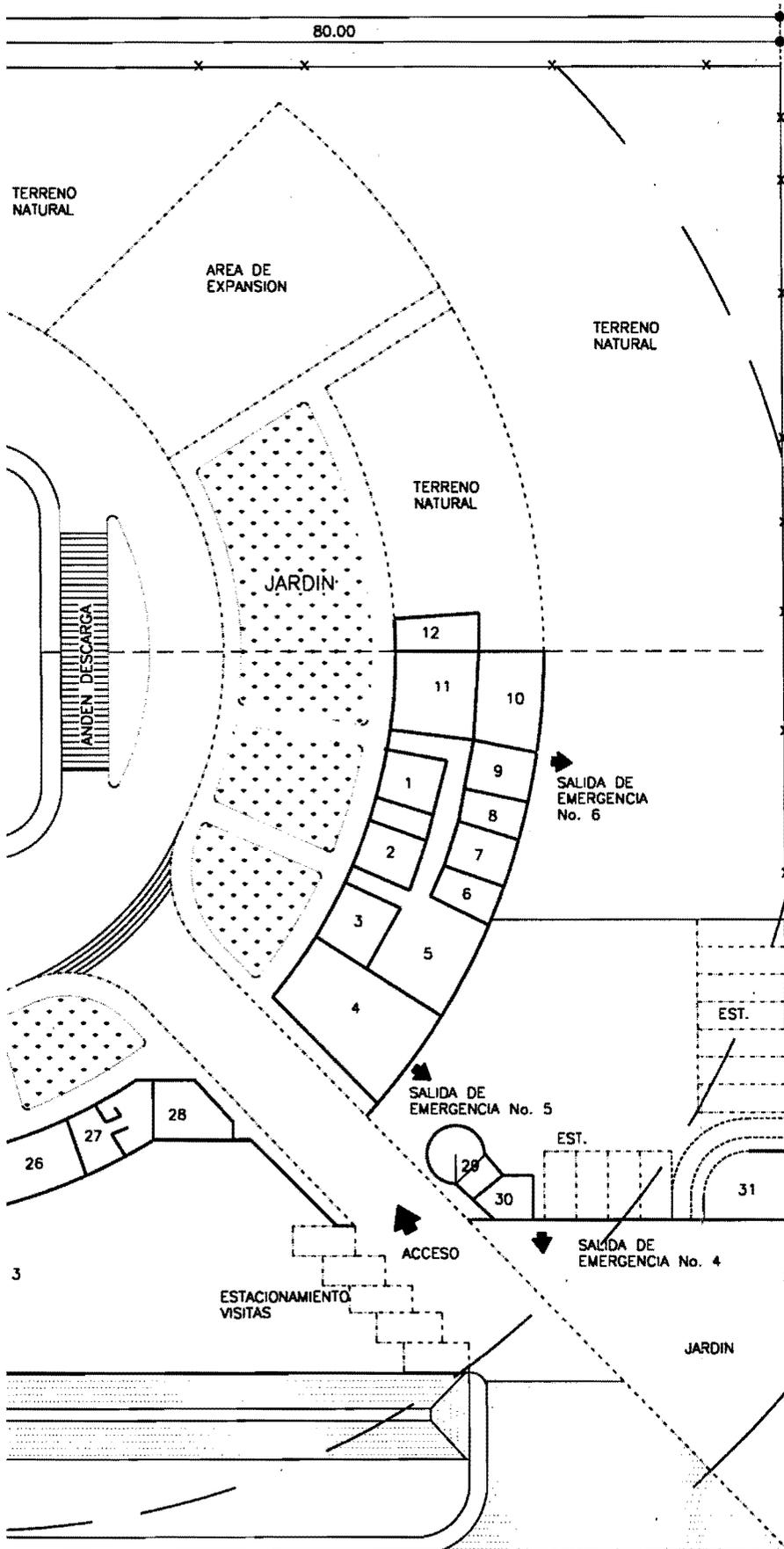
CAMINO TELOYUCAN-ZU...

DISTRIBUCION

- 1 GERENTE PLANTA
- 2 SALA DE JUNTAS
- 3 SANITARIOS
- 4 AULA DE CAPACITACION
- 5 VESTIBULO
- 6 RECEPCION
- 7 COORDINACION
- 8 ARCHIVO
- 9 JEFE LABORATORIO
- 10 SALA DE CROMATOGRAFIA
- 11 LABORATORIO
- 12 SOLVENTES REACTIVOS Y PROPELEN
- 13 QUEMADOR DE GAS
- 14 CALENT. DE GAS CON BAÑO DE SAL
- 15 CISTERNA DE SERVICIOS
- 16 BODEGA PROV. R.P.
- 17 HERRAMIENTAS
- 18 JEFE TALLER
- 19 CISTERNA CAP. 212.00 M3
- 20 CUARTO DE BOMBAS VS. INCENDIO
- 21 BODEGA DE SOLIDOS COMBUST.
- 22 BODEGA DE PINTURAS
- 23 BODEGA DE MALLAS MOLECULARES
- 24 CENTRO DE CONTROL DE EMERGEN
- 25 BEDEGA DE HERRAMIENTAS
- 26 TALLER DE MANT. DE INST.
- 27 SANITARIOS
- 28 COMEDOR
- 29 BODEGA
- 30 ARCHIVO
- 31 ALTAR

TANQUE 1	PROPANO	63,500 LTS
TANQUE 2	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 3	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 4	BUTANO	63,500 LTS
TANQUE 5	PROPANO	110,000 LTS
TANQUE 6	BUTANO	110,000 LTS

DIAMETROS DE ONDAS EXPANSIVAS	
SOBREPRESION psi	DIAMETROS, EN m DMC
0.5	1611.06
1.0	998.34
2.0	605.24
3.0	499.17
5.0	364.39
7.0	299.50
10.0	249.58
20.0	200.92
30.0	149.75



PANGO

FIG 6. ESCENARIO DAÑO MAXIMO CATASTROFICO (DMC) PARA EL BUTANO

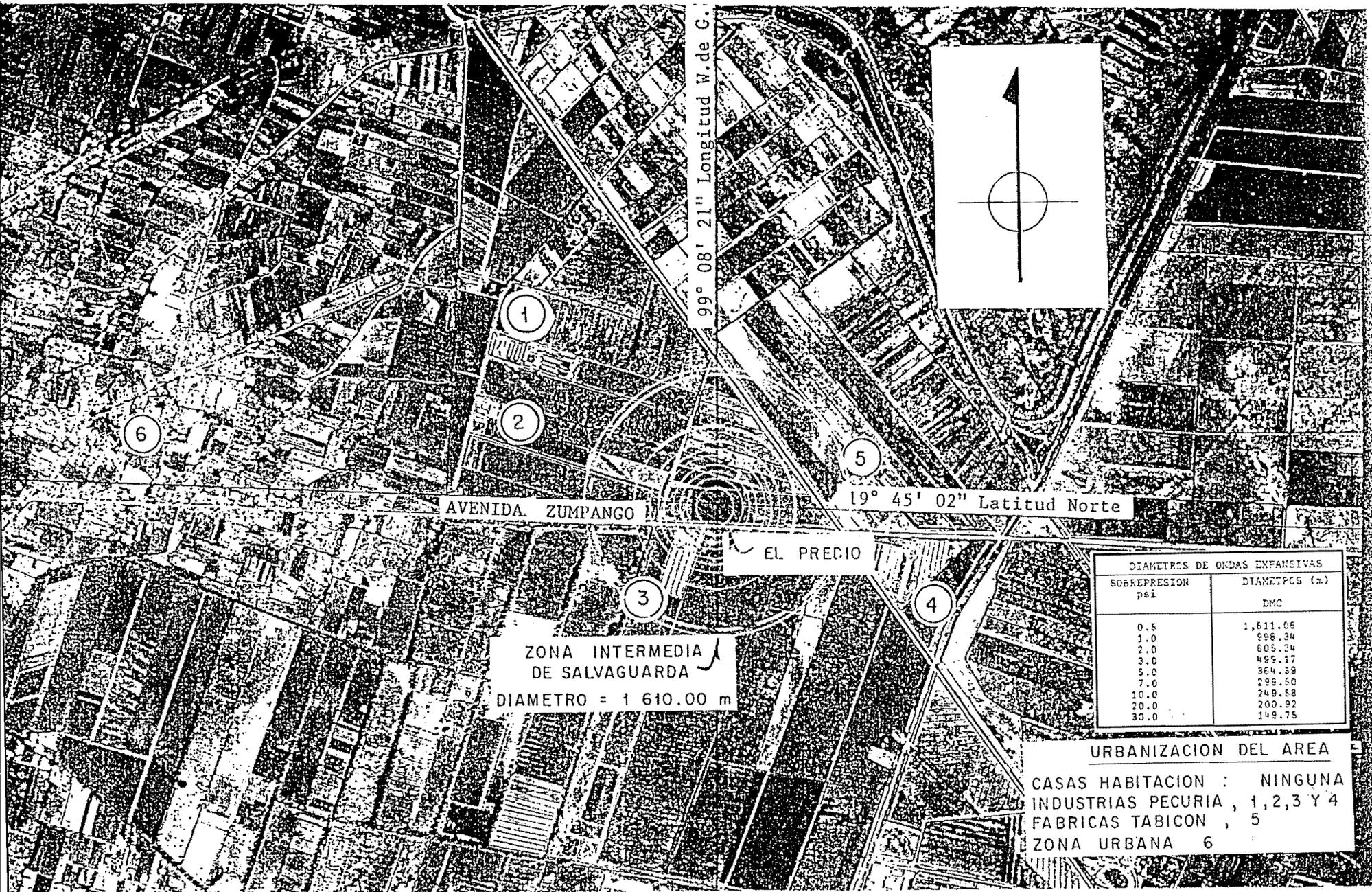


Fig 7 Polígono de riesgo (DMC) para el butano

abarca las áreas de tanques de almacenamiento, oficinas, laboratorio, bodegas y un taller de mantenimiento, mientras que la onda de 20.0 psi incluye el taller mecánico, el estacionamiento de autotanques y la zona para capacitación de bomberos.

Al analizar la fig. 6, se observa que bajo el escenario DMC para el butano, todas las construcciones de la planta quedan incluidas dentro de la onda de sobrepresión de 30.0 psi, y la onda de 20.0 psi cubre la totalidad de la planta. La fig. 7, que muestra el polígono de riesgo para el escenario DMC indica que la afectación al entorno no alcanza la zona urbana (punto 6 de la figura), y que los puntos 3 y 5, que corresponden a una industria pecuaria y a una fábrica de tabicón, son afectadas por la onda de sobrepresión de 0.5 psi.

La distancia de afectación del butano es mayor que para el propano; la diferencia va de 2 m para sobrepresiones de 30.0 psi, hasta casi 30 m para las ondas de 0.5 psi. Por que como se explicó anteriormente a pesar de que el butano tiene menor calor de combustión, existe mayor cantidad almacenada de este gas (9,330.79 lbs de diferencia).

3.3 Medidas preventivas y mantenimiento

En plantas almacenadoras de propano y butano se han establecido las siguientes acciones para casos de emergencia (Blumenkron, 1990):

-Precauciones básicas:

En todos los casos de emergencia el factor más importante es salvar la vida humana. Toda persona debe desalojarse inmediatamente del área donde existan nubes de vapor, al mismo tiempo que deben ser eliminados los puntos de ignición.

La aproximación hacia puntos de fuego o fuga de gas siempre debe realizarse en la dirección del viento, nunca contra él.

Solamente las personas autorizadas que pueden ser útiles, deben estar en el área para eliminar la fuga de gas, las demás deben estar cuando menos 500 metros fuera en todas direcciones.

-Lo expuesto al fuego:

Todo recipiente que almacene gas o cualquier equipo expuesto al fuego o calor excesivo debe ser rociado con agua para prevenir aumento de presiones en los tanques, prevenir fugas de gas, apertura de válvulas de seguridad u otros daños secundarios.

-Fugas de gas sin fuego:

Cuando se ocurre una fuga sin fuego, deben cerrarse de inmediato todas las válvulas cercanas a la fuga. Debe dispersarse el material fugado siempre en dirección del viento, evitando que el personal entre en la nube de vapor y debiendo mantenerse tan bajo como sea posible detrás de la brisa para protegerse de una inesperada ignición del gas.

-Fugas de gas con fuego:

Exceptuando ciertas condiciones, antes de extinguirse el fuego se debe controlar la fuga. Cuando el punto de escape esté prendido se deben aplicar grandes cantidades de agua a la superficie expuesta. La aproximación debe realizarse por los lados, nunca por las cabezas de los recipientes. El agua debe enviarse en forma de brisa, para enfriar la lámina y evitar pérdida su resistencia.

Detener la fuga de gas debe ser la principal maniobra y para esto, el personal debe conocer perfectamente bien el equipo de control y seguridad de los recipientes. Sí la válvula o válvulas que corten el gas están envueltas en fuego, debe protegerse a la persona que trate de cerrarla con ropa especial y cubrirla con brisa de agua. En un combate de incendio es aceptable, bajo condiciones de control absoluto y no pudiendo cerrar la válvula de salida, dejar escapar el gas encendido hasta

que el contenido se agote pero siempre manteniendo las superficies del recipiente y las tuberías frías.

Sí un tanque no se enfría suficientemente con agua, su presión interna aumenta, esto se nota por el incremento del fuego o por el aumento del sonido propio del mismo. Sí esto sucede, y las válvulas de seguridad del recipiente se abren con más frecuencia, es aconsejable retirarse del área del fuego.

Cuando no hay suficiente agua para mantener la superficie del metal de un recipiente fría y éste está expuesto a calor extremo, es posible que el tanque falle y se rompa, ya que el calor hace que se suavice el metal y no pueda resistir las presiones interiores del recipiente.

Además de las medidas preventivas mencionadas anteriormente, es indispensable contar con un programa de mantenimiento adecuado.

Los equipos instalados que requieren supervisión, conservación y mantenimiento relacionado con los riesgos aquí mencionados, se clasifican en tres tipos:

- tanques de almacenamiento y torres de adsorción

- líneas de servicio

- transporte de reparto (autotanques).

A continuación se indica el tipo y programación de mantenimiento de cada uno de éstos:

-Tanques de almacenamiento y torres de adsorción: son recipientes a presión, diseñados bajo norma nacional y código ASME secc. VIII.

Descripción	Método	Frecuencia
revisar espesor de placas	ASME (ultrasonido)	cada 5 años
presión hidrostática	ASME (agua a presión)	cada 10 años
válvulas de seguridad	cambio de válvulas	cada 5 años
limpieza interna de tanques	apertura de tanques	cada 2 años
accesorios e instrumentos	reemplazo total	cada 5 años
paro para mantenimiento general	inspección y operabilidad	anual

-Líneas de servicio: tuberías y accesorios cédula 80, válvulas con protección anticorrosiva y mecánica.

Descripción	Método	Frecuencia
inspección de fugas	explosímetro calibrado	diaria
lubricación de válvulas	manual	mensual
cambio de válvulas	reemplazo	cada 5 años
mantenimiento preventivo	inspección y operabilidad	anual
mangueras flexibles	reemplazo	cada 2 años



-Transporte de reparto (autotanques), recipientes ASME anclados a unidades móviles especialmente aprobadas por SECOFI para este fin.

Descripción	Método	Frecuencia
verificación oficial	norma de SECOFI	anual
cambio de válvulas y accesorios	reemplazo en planta	cada 5 años
espesor de placa	ASME (ultrasonido)	cada 5 años
prueba hidrostática	ASME (agua a presión)	cada 10 años

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La literatura revisada en el presente trabajo sobre la industria petrolera, muestra que de todas sus etapas, los procesos de refinación y petroquímica son generalmente los que más impactan al entorno, debido a la magnitud y variedad de sustancias que manejan en sus procesos, pudiendo provocar pérdidas humanas y materiales o daño al ambiente, que en ocasiones es irreversible. De aquí que las medidas de seguridad e higiene industrial y de protección ambiental deberán considerarse como prioritarias, anteponiéndolas a las necesidades de producción.

Las auditorías ambientales y la determinación de polígonos de riesgo, deben ser efectuadas por un equipo interdisciplinario formado por personal especializado en áreas como: instalaciones petroleras, seguridad e higiene industrial, análisis de riesgo, contaminación ambiental y gestión ambiental.

El modelo de evaluación de daños provocados por nubes explosivas (SCRI-EDNE), se considera apropiado para utilizarlo en la industria del petróleo, química y afines; debido a que permite realizar simulaciones de las cuales los resultados apoyan la selección de medidas preventivas.

Los criterios enunciados en el caso de aplicación presentado con el modelo (SCRI-EDNE), no son generales, son representativos para orientar el análisis de riesgos.

Se recomienda revisar otros modelos que existen en el mercado para situaciones similares, tales como el Recurso Automatizado para la Evaluación de Incidentes por Riesgos Químicos (ARCHIE).

BIBLIOGRAFIA

Blumenkrom, F. "Manejo y uso del Gas LP y Natural", México, 1990.

CONIQQ. "Curso de Análisis de Riesgos". Colegio Nacional de Ingenieros Químicos y Químicos, México D.F., 1993.

Dow Chemical Co. "Dow's Process Safety Guide". 2nd Edition, USA, 1980.

Gary, J.H. and Handwerk, G.E. "Refino de Petróleo", Tecnología y economía, Editorial Reverté, S.A., España, 1980.

Gugan, K. "Unconfined Vapor Cloud Explosions". Gulf publishing Company, Houston, Tex., 1978.

Lees, F. "Loss Prevention in the Process Industries", Vols. 1-2 Butterworths, London, 1985.

Lewis, D.J. "The Mond Fire and Explotation Index Applies to Plant Layout and Spacing". Thirteenth Loss Prevention Symposium, New York, AIChE, 1979.

TP690.5
244

QD 516
247 1961

OIT. "Control de Riesgos de Accidentes Mayores", Organización Internacional del Trabajo, Manual práctico, Ginebra, 1990.

PEMEX. "El Petróleo", Petróleos Mexicanos (50 Aniversario), México, 1985.

SCRI. "Modelos Atmosféricos para Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias", México, 1993.

SEDESOL-INE. "Informe de la Situación General en Materia de Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente" Secretaría de Desarrollo Social-Instituto Nacional de Ecología, México, 1993-94.