

19

56  
Lej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA

DISERO DEL SISTEMA DE PROTECCION CONTRA INCENDIO PARA LA  
PLANTA DE DESINTEGRACION CATALITICA EN LECHO FLUIDIZADO  
(FCC) No. 2 DE LA REFINERIA "FRANCISCO I. MADERO"  
EN CD. MADERO TAMPS.

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A :  
MARCO ANTONIO MEDRANO GONZALEZ



MEXICO, D. F.

1999

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



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.

**Jurado Asignado:**

**Presidente:** Prof. Eduardo Marambio Dennett : \_\_\_\_\_

**Vocal:** Prof. José Agustín Texta Mena : \_\_\_\_\_

**Secretario:** Prof. Humberto Rangel Dávalos : \_\_\_\_\_

**1er. Suplente :** Prof. Mariano Perez Camacho : \_\_\_\_\_

**2do. Suplente :** Prof. Alejandro Villalobos Hiriart : \_\_\_\_\_

**Sitio donde se desarrolló el tema:** Instituto Mexicano del Petróleo.

**Asesor del tema:** Ing. José Agustín Texta Mena : \_\_\_\_\_

**Supervisor técnico:** Ing. Victor Hugo García Morales : \_\_\_\_\_

**Sustentante:** Marco Antonio Medrano González : \_\_\_\_\_

A large, complex handwritten signature or scribble in black ink is written over the signature lines for the Asesor del tema, Supervisor técnico, and Sustentante. The scribble consists of several overlapping loops and lines, partially obscuring the printed text and the horizontal lines.

# AGRADECIMIENTOS



In memoriam a mis señores abuelos Don Jero y Doña Domi por su ejemplo de sencillez y ecuanimidad.

A mis padres Luis y Esther por su apoyo en todo momento y a su valiosa generosidad.

A mi hermano Luis y a su esposa Rosalba por su invaluable ayuda y acertados consejos.

A mi hermano Héctor y a su esposa Evelissa por su grandiosa amistad.

A mi hermana Ana Alicia y a su esposo Roque por su desinteresada ayuda y por su ejemplo de fortaleza.

A todos mis tíos y primos por su gran entusiasmo y entrañable amistad.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a la Facultad de Química y a sus profesores por brindarme los medios necesarios para la terminación de mis estudios.

Al Ingeniero José Agustín Texta Mena por su valiosa asesoría en la realización de este trabajo.

Al Ingeniero Humberto Rangel Dávalos por la oportunidad dada para el desarrollo de este trabajo.

Al Ingeniero Víctor Hugo García Morales por sus acertados comentarios e invaluable asesoría en la realización de esta tesis.

Al Ingeniero José Luis Soriano López por su notable ayuda en el desarrollo de este trabajo.

Y en general, a todo el personal de la División de Análisis Operacional y Seguridad de Plantas del Instituto Mexicano del Petróleo por las facilidades otorgadas en la realización de este trabajo.



Y en especial al Ingeniero Mayo Gines Martínez Kahn de quien no únicamente aprendí lo más elemental de la Ingeniería Química, sino también un estilo y forma de vida.



# ÍNDICE

	páginas:
1.- INTRODUCCIÓN. :	( 1 )
2.- ANTECEDENTES. :	( 3 )
3.- MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL SOBRE LA TEORÍA DEL FUEGO. :	( 9 )
3.0) Aspectos Generales. :	( 9 )
3.1) Triángulo del fuego. :	( 10 )
3.2) Tetraedro del fuego. :	( 10 )
3.3) Descripción del proceso de combustión. :	( 12 )
3.4) Descripción de los principales mecanismos de extinción del fuego. :	( 18 )
3.4.1) Técnicas de extinción con el uso de agua. :	( 20 )
3.5) Clasificación de fuegos. :	( 22 )
3.6) Clasificación de los incendios. :	( 24 )
3.7) Dinámica del Fuego. :	( 26 )
3.7.1) Etapas de desarrollo de incendios en espacios abiertos y cerrados. :	( 26 )
3.7.2) Mecanismos de propagación del fuego. :	( 29 )
3.7.3) Predicción del comportamiento de las flamas. :	( 32 )
3.7.4) Efecto del viento en el comportamiento de las plumas de fuego. :	( 38 )
4.- SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO. :	( 42 )
4.1) Contexto en el que se desenvuelven los sistemas de protección contra incendio en el desarrollo de la ingeniería de proyectos. :	( 43 )
4.2) Descripción de los sistemas de protección contra incendio. :	( 48 )
4.2.1) Elementos de la red contra incendio. :	( 50 )
4.2.2) Extinguidores. :	( 56 )
4.2.3) Espumas mecánicas. :	( 63 )
4.2.4) Sistemas de inundación con CO <sub>2</sub> (inertización). :	( 72 )
5.- NORMATIVIDAD Y CRITERIOS DE DISEÑO. :	( 74 )
5.1) Normatividad Nacional. :	( 76 )
5.1.1) Normatividad de Petróleos Mexicanos (DG-OPASI-SI). :	( 76 )
5.1.2) Normatividad de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (NOM-STPS). :	( 77 )
5.2) Normatividad Internacional. :	( 79 )
5.2.1) Código NFPA (National Fire Protection Association). :	( 79 )
5.2.2) Código API (American Petroleum Institute). :	( 86 )
5.3) Criterios de Diseño. :	( 86 )
6.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO. :	( 114 )
6.1) Generalidades del Proceso de Desintegración Catalítica. :	( 114 )
6.2) Descripción del Proceso. :	( 115 )
7.- IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS DEL PROCESO. :	( 143 )
7.1) Índice Dow para Fuego y Explosión (F&EI). :	( 143 )
7.2) Aplicación del Índice Dow para Fuego y Explosión (F&EI) a la Planta de Desintegración Catalítica No. 2 de la Refinería Francisco I. Madero. :	( 146 )
7.3) Breve Análisis de los Resultados Obtenidos de la Aplicación del Índice Dow a las Distintas Secciones del Proceso. :	( 162 )
8.- DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO PARA LA PLANTA DE DESINTEGRACIÓN CATALÍTICA EN LECHO FLUIDIZADO (FCC) No. 2. :	( 164 )
8.1) Información meteorológica del sitio considerada para fines de diseño. :	( 165 )
8.2) Procedimiento de cálculo para la protección contra incendio a equipos de proceso que presenten riesgo de fuego o de sobrepresión por la presencia aledaña de éste. :	( 165 )

8.2.1.- Sistemas de Aspersión : .....	( 165 )
8.2.2.- Formación, Distribución y Dimensionamiento de la Red de Agua Contra Incendio. : .....	( 173 )
8.2.3.- Distribución de Hidrantes, Monitores y Tomas para Vehículo Contra Incendio. : .....	( 186 )
8.2.4.- Selección, Distribución y Localización de Equipos Extinguidores. : .....	( 186 )
9 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES. : .....	( 192 )
10.- REFERENCIAS : .....	( 193 )

ANEXOS:

Anexo I. : .....	( 196 )
Anexo II. : .....	( 197 )
Anexo III. : .....	( 198 )
Anexo IV. : .....	( 199 )

## 1.- INTRODUCCIÓN.

Muy probablemente el interés del ser humano por la seguridad contra el fuego comenzó desde las fechas tempranas de su descubrimiento y primeras aplicaciones. Un viejo adagio dice: "el fuego es un buen servidor pero un mal amo", los beneficios obvios de las numerosas aplicaciones del fuego en beneficio del hombre, a menudo quedan ensombrecidas por la tremenda potencia destructiva de los incendios y/o explosiones. Así, podemos deducir que siempre ha existido un gran interés por comprender las causas que dan origen a estos sucesos y de las consecuencias resultantes de éstos de manera tal, que a lo largo de la historia humana siempre se han desarrollado mecanismos para eliminar y minimizar los daños provocados por estos fenómenos.

El fuego provee de grandes beneficios al hombre, como fuente de energía que permite satisfacer una gran cantidad de necesidades industriales y/o domésticas, pero también es causa de daños y sufrimiento cuando éste se sale de control. Los materiales típicos procesados en plantas de refinación (como combustibles por ejemplo), si son liberados accidentalmente pueden provocar incidentes graves con fuego en las instalaciones. Así pues, el propósito básico que persigue el desarrollo de esta tesis, es tratar de formar un enfoque nuevo en el diseño de procesos conceptualizando y sintetizando procesos que sean más seguros a partir del conocimiento y entendimiento de las causas que originan al fuego y del comportamiento dinámico que éste presenta bajo las circunstancias en las que se llegue a desenvolverse. Este conocimiento implica el poder contar con una herramienta que prevea la minimización de pérdidas materiales y económicas que se originen si se llegase a desarrollar un incidente grave con el fuego, además de evaluar y mejorar las tácticas para el control y ataque de estos incidentes.

Al respecto, podemos decir que las técnicas y tácticas de combate al fuego, han progresado extraordinariamente a un nivel tal, de que en esta lucha contra incendios se dispone de una tecnificación semejante a como lo puede ser el diseño de equipos de proceso por ejemplo. Muchos de los avances en el combate al fuego, han sido en la mayoría de las veces, una continuación de la aplicación de las técnicas y tácticas tradicionales que han evolucionado al grado de presentar innovaciones de tipo tecnológico.

De esta forma, los sistemas de protección contra incendio no deben de visualizarse como una instalación adicional y con un costo extra en los proyectos de inversión para nuevas plantas, sino como algo inherente al diseño de los equipos y/o del proceso en sí. La compleja naturaleza interdisciplinaria propias de las medidas de protección contra incendio, han dificultado el desarrollo de sistemas de protección lógicos y coherentes, pero no han mermado su desenvolvimiento hacia la obtención de esquemas de previsión, control y combate de los incendios con un alto grado de seguridad, confiabilidad y efectividad. En suma, todos los elementos de la protección contra incendio deben verse como un sistema integral y compuesto por elementos de naturaleza distinta pero interdependientes entre sí, esto es, generar subsistemas que en su conjunto formen al sistema de protección contra incendio en su totalidad.

Esta propuesta de tesis para el diseño del sistema de protección contra incendio de una planta de refinación, maneja esta protección con un enfoque sistémico. No es un trabajo que trate en ningún momento, de sustituir al sentido común y a las buenas costumbres o prácticas de diseño o

de operación que se presenten en cualquier planta de esta naturaleza. Simplemente, se trata de resumir y aplicar los conocimientos más necesarios para reducir el riesgo de incendio o de mitigar los efectos si un incidente con fuego se llegase a presentar en estas instalaciones. Así, en cualquier planta de naturaleza química, el riesgo de incendio es generalmente inherente a ella misma debido a los materiales y sustancias que maneja; de allí la necesidad de aplicar nuevos mecanismos o alternativas de diseño para prevenir tal riesgo y nulificar sus efectos. Es decir, el concepto de la seguridad contra incendio va estrechamente relacionado al diseño de procesos desde el momento mismo en que éstos se conceptualizan.

Los temas tratados en esta tesis, son variados y tratan de cubrir los aspectos principales del diseño e implementación del sistema contra incendio en plantas de refinación, aplicando estos conocimientos en el desarrollo de tales sistemas para la Planta de Desintegración Catalítica No. 2 de la Refinería "Francisco I. Madero" de Pemex-Refinación, localizada en Cd. Madero, Tamps. De este modo, en el capítulo 2 de este trabajo, se proporciona un resumen histórico de los accidentes industriales más representativos, que hayan conducido a situaciones de incendio o explosión y las pérdidas económicas provocadas por algunos de éstos.

En el capítulo 3 se presenta una breve revisión de los conceptos básicos de la teoría del fuego, es decir, desarrollar algunos de los aspectos más importantes sobre la física, química y el comportamiento dinámico del fuego. En el capítulo 4 se describen las características básicas de los sistemas de protección contra incendio más utilizados y los principios en los que se basan éstos para la extinción del fuego, así como el contexto en el que estos sistemas se implementan dentro del desarrollo de la Ingeniería de Proyectos.

En el capítulo 5 se proporciona un panorama global sobre la normatividad nacional e internacional en el que se basa el diseño de estos sistemas de protección para la industria de refinación y se da un resumen de los criterios de diseño más importantes que se aplicaron para el desarrollo de este trabajo. En el capítulo 6 se hace la descripción del proceso o la forma en la que los equipos de proceso se interrelacionan entre sí y que constituyen a la Planta de Desintegración Catalítica.

En el capítulo 7, a partir tanto de las descripciones de los sistemas de protección contra incendio y del proceso (capítulos 4 y 6 respectivamente), se realiza la identificación de riesgos del mismo, es decir de la detección de los puntos o secciones del proceso que más riesgo de incendio presente mediante la aplicación de técnicas propias para realizar esta identificación de riesgos, como el Índice Dow.

En el capítulo 8 se realizan los cálculos del dimensionamiento de la red de agua contra incendio de la Planta de Desintegración Catalítica (FCC) No. 2 de la Refinería "Francisco I. Madero". También se determina, el tipo, cantidad y localización de los extintores requeridos para los mismos fines de la protección contra incendio. Los sistemas de inundación de bióxido de carbono, sólo se indican pero no se calculan de manera rigurosa. Finalmente, en el capítulo 9 se proporcionan las conclusiones principales obtenidas en la elaboración de esta tesis, analizando aquellos puntos que requieran de mayor atención para obtener diseños de los sistemas de protección contra incendio, más seguros, confiables y eficaces.

## 2.- ANTECEDENTES.

En cualquier tipo de actividad laboral-industrial, el riesgo de fuego está presente en todo momento, pero en las industrias de proceso, a diferencia de las industrias metal mecánica por ejemplo, este riesgo es una constante latente. Cada año, en todas las plantas de proceso se reportan cientos de incidentes relacionados con el fuego, muchos de éstos quedan registrados como incidentes menores cuando son controlados, atacados y extinguidos rápida y efizcamente. Otros incidentes en cambio, cuando llegan a niveles graves se convierten en accidentes. La diferencia aquí, radica en que en un incidente menor, las pérdidas materiales y económicas son mínimas, sin que se tengan daños o muertes humanas, no así en los accidentes.

Para evitar que un incidente con fuego llegue a niveles alarmantes y tenga graves consecuencias, se requiere prevenirlo en dos aspectos fundamentales:

- a) Contar con un sistema contra incendio confiable en su diseño, operación y mantenimiento que incluya todos los elementos necesarios para detectar y atacar al fuego.
- b) Contar con recursos humanos (organizados en equipos o brigadas) preparados, entrenados y equipados para el uso correcto y eficaz de estos sistemas contra incendio.

Así, el proceso de la protección contra incendio en una planta de refinación, petroquímica o química, puede comenzar basándose en un análisis real de casos históricos que han ocurrido a lo largo de la historia del desarrollo de la industria química como tal, desde principios de este siglo. El entendimiento técnico y físico de la Dinámica del Fuego, basado en el análisis de las experiencias y/o sucesos acumulados a lo largo de esta historia enriquecen y por ende, mejoran las técnicas y tácticas para la prevención, control y extinción de éste, reduciendo de esta forma, todo tipo de pérdidas que se produzcan por no saber atacar, controlar o extinguir a tiempo este tipo de sucesos oportunamente.

La tabla 2.1 resume desde una perspectiva histórica, algunos de los accidentes más importantes por su impacto al ambiente y/o a la población afectada con consecuencias graves y que han ocurrido a lo largo del desarrollo de la industria química como tal, durante poco menos de 100 años. Los incidentes aquí reportados, en su mayoría van relacionados con incendios y explosiones aunque también se consideran algunos accidentes ocurridos por fuga y disipación de nubes tóxicas y/o inflamables:

Tabla 2.1 : Resumen histórico de los accidentes industriales más importantes.

AÑO	PAIS	Ciudad	Material	Cantidad (Ton.)	Descesos y/o Fatalidades ✓	Hospitalizados y heridos ☒	Impacto al ambiente	Costo del incidente*
1917	Reino Unido	Manchester	TNT	♦	46	450	♦	♦
1921 ▼	Alemania	Ludwigshafen	Nitrato de Amonio	♦	560	2	♦	200,000,000
1943 ▼	E.U.A.	Los Angeles CA.	Butano	20	5	no hubo	♦	♦
1944 ▼	E.U.A.	Cleveland OH.	LNG	200	130	530	♦	♦
1944 ▼	E.U.A.	Dennison TX.	Butano	10	10	no hubo	♦	♦
1950 ○	México	Poza Rica	H <sub>2</sub> S	♦	20	320	Fuga tóxica	♦
1951 ▼	E.U.A.	Port Newark, NJ.	Propano	5600	♦	♦	♦	♦
1964 ▼	E.U.A.	Texas TX.	Etileno	0.20	2	♦	♦	♦
1966 ▼, □	Francia	Feyzin	Propano	450	20	80	♦	18,100,000
1969 ▼	E.U.A.	Laurel MS	LPG	♦	2	980	♦	♦
1969 ▼	Reino Unido	Teeside	Ciclohexano	4	2	20	♦	♦
1969 ▼	E.U.A.	Glendora MS.	Cloruro de Vinilo	♦	♦	30,000	Evacuación de la población cercana a la planta.	♦
1970 ▼	E.U.A.	Crescent City IL.	LPG	55	no hubo	66	♦	♦
1971 ▼	E.U.A.	Houston TX.	Cloruro de Vinilo	50	1	60	♦	♦

1972 ✓, □	Brasil	Río de Janeiro	LPG	1,5	37	53	◆	4,800,000
1972 ✓	E.U.A	Turnpike NJ.	Propileno	15	0	30	◆	◆
1972 ✓	E.U.A	West Virginia	Gasolina	◆	21	20	◆	◆
1972 ✓	E.U.A	Lynchburg VA.	Propano	9	2	5	◆	◆
1973 ✓	Escocia	Failkirk	Hidrocarburos	◆	0	◆	◆	◆
1973 ✓	E.U.A	Kingman AZ.	LPG	100	13	150	◆	◆
1973 ✓, □	Japon	Tokuyama	Etileno	2	1	4	◆	14,800,000
1974 ✓	E.U.A	St. Paul MN.	LPG	10	◆	◆	◆	◆
1974 ✓	Escocia	Aberdeen	Butano	2	◆	◆	◆	◆
1974 ✓, □	Reino Unido	Flixborough	Ciclohexano	30	30	90	Alrededor de unas 200 viviendas y 200 tiendas y fábricas de menor tamaño sufrieron daños y pérdidas por la explosión.	se estiman las pérdidas cercanas a los 180,000,000 dolares
1974 ✓	E.U.A	Oneonta N.Y.	LPG	72	2	52	◆	◆
1975 ✓	E.U.A	Eagle Pass TX.	LPG	25	◆	◆	◆	◆
1.976	E.U.A	Houston TX:	NH <sub>3</sub>	◆	6	150	◆	200,000,000
1976 ✓	E.U.A	Gasden AL.	Gasolina	4	5	◆	◆	◆
1.976	E.U.A	Belt MT	LPG	80	◆	◆	◆	◆

1976 ▶	Italia	Seveso	Dioxano (nube tóxica)	◆	◆	430 personas evacuadas de las poblacio- nes aledañas.	14 km <sup>2</sup> de suelo y aire contamina- dos durante siete días. Muerte de unos 700 animales de gran tamaño.	200,000, 000
1977 ▶, □	Qatar	Umm Said	LPG	35,000	10	◆	El fuego se salió de control durante dos días y se extinguió después de ocho días.	76,350, 000
1977 ○	México	Cd de México	NH <sub>3</sub>	◆	2	100	Disipación tóxica.	◆
1978 ▶, □	E.U.A	Texas City TX.	LPG	320	7	10	◆	◆
1978 ▶	E.U.A	Waverly TN.	LPG	60	20	45	◆	◆
1978 ▶	España	San Carlos	Propileno	25	210	120	◆	◆
1978 ○	México	Cd. de México	Propileno	◆	12	◆	fuego en carro- tanque	◆
1979 ▶, □	E.U.A	Good Hope LA.	Butano	105	15	25	Contami- nación de la riera del Río Missisipi por fuga de hidrocar- buros.	10,500, 000
1983 ▶	E.U.A	Pontchar- train LA.	Cloro butadieno	1	5	20	◆	◆



1983 ✓	Canada	Mississauga	H <sub>2</sub>	◆	no hubo	4	◆	◆
1984 ✓	México	Ciudad de México	LPG	6.500	500	7.200	◆	◆
1984 ▶	India	Bhopal	Metil-isocianato (nube tóxica)	◆	3,320	200,000	Fuga de metil isocianato	3 Billones de dolares
1986 ▶	Suiza	Basel	Pesticidas	◆	◆	50,000 personas evacuadas durante 30 horas	250 km de rivera de río junto con 0.01 km <sup>2</sup> de suelo contaminado.	100,000,000
1990 ✓	E.U.A	Channel-view TX.	Hidrocarburos	◆	20	10	◆	◆
1991 ✓	E.U.A	Seadrift TX.	Oxido de Etileno	32	1	20	◆	◆
1992 ✓	Turquia	Yarimca	Butadieno	45	0	0	◆	◆

✓, ✗ : Datos aproximados.

\* : Costos en dólares del año del accidente.

◆ : No se tienen datos al respecto.

□ : Referencia 5

○ : Referencia 9

▶ : Referencia 14

➤ : Referencia 20.

Los incidentes resumidos en la tabla anterior, son los más ampliamente discutidos en la literatura técnica o de los que más conocimiento se tiene de las causas que los provocaron y que son ejemplos típicos de los estudios de prevención de pérdidas. Los números presentados en la tabla anterior de gente afectada (evacuada, herida, etc.) y decesos es sólo aproximado, ya que hay discrepancias entre las cantidades de gentes afectadas; pues hay quienes fueron dañados directamente por el suceso, en tanto que otros fueron afectados de manera indirecta. Es conveniente aclarar que cualquier daño o pérdida de vidas humanas, justifica la investigación de estos accidentes para evitar que se vuelvan a presentar, independientemente de las pérdidas materiales y económicas.

Sin embargo, de acuerdo con la tabla anterior, desde un punto de vista económico, la mejor forma de evaluar el daño provocado por la tremenda devastación de los incendios y/o explosiones en la industria de procesos, es a través de poder cuantificar las pérdidas económicas generadas por tales accidentes. Las pérdidas provocadas por el desarrollo de los incendios o explosiones, se clasifican en dos tipos: a) pérdidas directas y b) pérdidas indirectas.

Las pérdidas directas van relacionadas con los costos que tiene que erogar la empresa afectada por los primeros auxilios (atención prehospitalaria de los lesionados), transporte de heridos, quirófanos, indemnizaciones, etc. En tanto que las pérdidas indirectas son las que no intervienen directamente con el trabajador o lesionados, sino más bien con las pérdidas provocadas en el paro de la producción y ventas principalmente de la empresa afectada. Estas pérdidas o costos indirectos se subdividen a su vez en dos tipos: a) Costos Técnicos y b) Costos Administrativos.

Dentro de los Costos Técnicos podemos mencionar:

- Daños a maquinaria y equipo de proceso.
- Daños a materia prima y producto terminado.
- Daños a instalaciones (inmuebles e infraestructura).

Dentro de los Costos Administrativos se pueden considerar los siguientes:

- Pérdidas de utilidades.
- Pérdidas de soporte a clientes.
- Pérdidas de imagen ante clientes y comunidad (pérdida mercadotécnica).
- Pérdidas de presencia en el mercado.
- Gastos de reconstrucción y de capacitación a nuevo personal, entre otros.

### 3.- MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL SOBRE LA TEORÍA DEL FUEGO

#### 3.0) Aspectos Generales:

Debemos de diferenciar entre dos conceptos ligados entre sí y utilizados sin distinción alguna entre lo que es fuego y lo que es incendio. Llamamos fuego a una rápida reacción química de oxidación entre un material combustible (agente reductor) con un agente oxidante (normalmente el oxígeno del aire) y a tal proceso se le denomina combustión, que se mantiene bajo condiciones controladas y puede o no ir acompañada por la presencia de llamas con una alta disipación de calor. Un incendio en cambio, es la consecuencia inmediata de un fuego fuera de control con la liberación y producción desordenada de grandes cantidades de energía calorífica, luz, humo, llamas y cenizas y que por lo tanto, se ha salido de su contexto de control propagándose con mucha facilidad hacia otros sitios.

Los incendios, al ser eventos de carácter probabilístico, nunca podrán evitarse, así pues, todo incendio empieza pequeño, por lo que desde el punto de vista de la protección contra incendio el paso de fuego a incendio dependerá de la disponibilidad de los recursos materiales, técnicos y humanos que se tengan y de la rapidez y efectividad con la que éstos actúen ante una situación de contingencia. De ahí, que el desarrollo de todos los sistemas de protección contra incendio se aboquen principalmente más hacia la detección temprana de lo que pueda ser un conato de incendio.

Ningún fuego se comporta igual aún en circunstancias semejantes, pero los fundamentos que describen este fenómeno son los mismos. La protección contra incendio requiere de entender correctamente la naturaleza y comportamiento de éste, así tenemos en nuestros días, el desarrollo de la "Teoría del Fuego" para determinar su naturaleza y origen y de una "Dinámica del Fuego (Fire Dynamics)" para entender el comportamiento y propagación de éste una vez desarrollado. La Teoría del Fuego, se apoya en dos modelos para reconocer las formas de extinción del mismo: a) El Modelo del Triángulo del Fuego y b) El Modelo del Tetraedro del Fuego. Ambas teorías pueden desarrollarse en forma de reacciones químicas del siguiente tipo:



Donde :  $\Delta$  denota un suministro inicial de energía.

El modo en el que el material combustible se quema dependerá básicamente de tres variables: a) del estado de agregación que presente el combustible (sólido, líquido o gas), b) de la composición química del combustible y c) de las condiciones ambientales prevalecientes en el lugar, donde se esté consumiendo el combustible.

### 3.1) Triángulo del fuego:

De acuerdo con este primer modelo, para tener fuego se requiere de la combinación de tres elementos básicos, 1) ha de existir un material combustible o inflamable (agente reductor), 2) debe de existir un agente oxidante (comúnmente el oxígeno del aire) y 3) tiene que existir una fuente de energía que haga interaccionar tanto al reductor como al oxidante. Esto implica que la reacción de combustión se mantiene únicamente con estos tres elementos. La figura 3.1 ilustra este modelo.

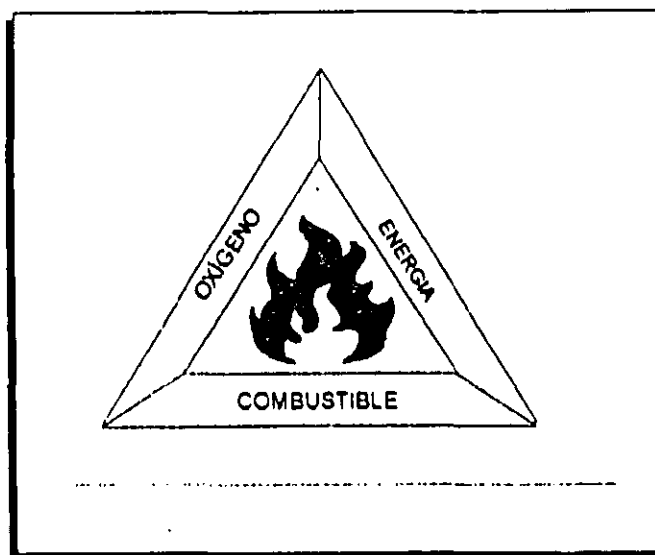


Figura 3.1 : Modelo del Triángulo del Fuego.

### 3.2) Tetraedro del fuego:

Un modelo más actual es el del Tetraedro del Fuego (11), en este modelo se considera un cuarto elemento adicional para mantener un fuego y se le ha denominado como: "reacción química en cadena". Este cuarto elemento está relacionado con un criterio de oportunidad, es decir, que si se presenta la reacción química en cadena, las probabilidades de mantener un fuego bien desarrollado, son muy altas. De este modo, la presencia y desarrollo de un fuego dependen en gran medida del mecanismo de generación de los volátiles para combustibles sólidos y/o líquidos (ya que el fuego radica en la fase vapor o gas) y de su combinación con el oxígeno del aire circundante en la interfase de la superficie sólida o líquida del combustible. Así, si se alcanza el Nivel Mínimo de Explosividad (LEL) a una concentración dada en volumen de los vapores en el aire y si se presenta alguna fuente de ignición (natural o artificial) que proporcione la energía requerida, se tendrá fuego. Si este fuego provoca una combustión que se sostiene mediante la reacción química en cadena, entonces este fuego podrá mantenerse por sí sólo como tal y se desarrollará o propagará a otros lados con extrema facilidad.

Esta reacción química en cadena, es un modelo cinético que describe el mecanismo básico de consumo de un combustible dado en un proceso de combustión, considerando que tal consumo se realiza a partir de la formación e interacción de varias especies de radicales libres involucradas en este proceso. La figura 3.2 ilustra brevemente el desarrollo del modelo del tetraedro del fuego.

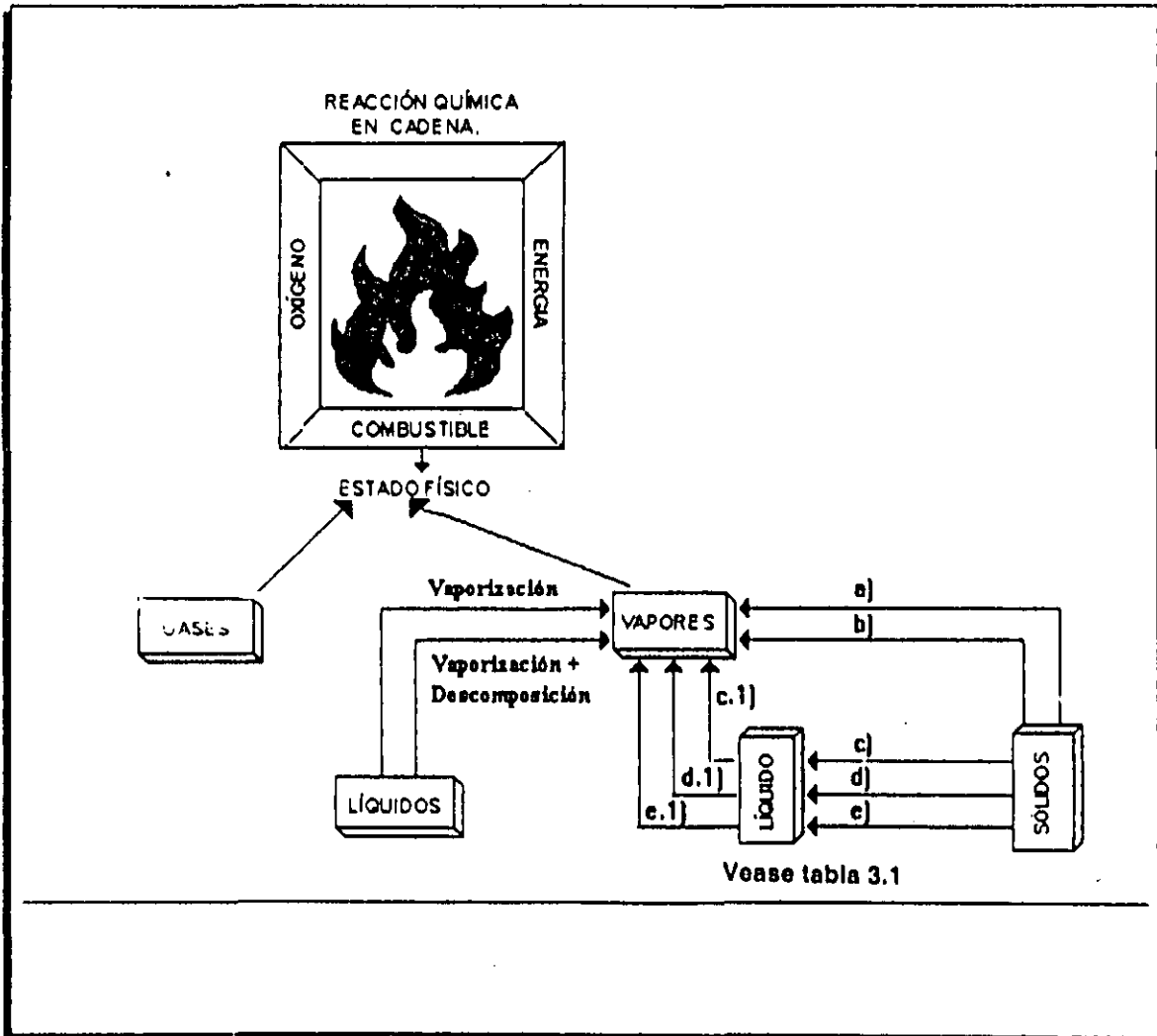


Figura 3.2 : Modelo del Tetraedro del Fuego, considerando los mecanismos principales por los que los materiales sólidos y líquidos generan los vapores.

La tabla 3.1 complementa a la figura anterior, describiendo los mecanismos propuestos por los que se lleva a cabo la generación de vapores en el consumo o quema de combustibles sólidos.

Tabla 3.1 : Mecanismos de formación de volátiles para la combustión de materiales sólidos\*.

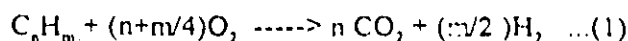
MECANISMO	EJEMPLO DE SUSTANCIA
a) Sublimación	Metilnamina
b) Descomposición + Vaporización	Celulosa y Resinas Termoestables.
c) Fusión c.1) Evaporación	Parafinas de peso molecular relativamente bajo y algunas ceras.
d) Fusión d.1) Descomposición + Evaporación	Polímeros termoplásticos y ceras con pesos moleculares grandes.
e) Descomposición + Fusión e.1) Descomposición + Evaporación	Poliuretanos

\* : referencia 2.

### 3.3) Descripción del proceso de combustión:

Las reacciones involucradas en una combustión son globalmente exotérmicas, generando y disipando grandes cantidades de luz y calor principalmente y los mecanismos que describen a estas reacciones son los de la generación de radicales libres (reacción química en cadena). Esta generación y disipación de energía depende en buena parte del contenido de carbono e hidrógeno que presente el combustible. Los hidrocarburos parafínicos (metano, etano, etc., por ejemplo), consisten enteramente de carbono e hidrógeno, por lo que los podemos visualizar como "*combustibles prototipos*". En realidad, una combustión nunca se efectúa en proporciones estequiométricas y por lo tanto, ésta es normalmente incompleta. La mayoría de los materiales que están a nuestro alrededor son combustibles (sean sólidos, líquidos o gaseosos) y como tales, contienen proporciones significativas de carbono e hidrógeno, aunque pueden también estar constituidos de otros elementos químicos como cloro, azufre, nitrógeno, oxígeno, entre otros. Así, el término combustible es usado indistintamente, para referirse a cualquier material que pueda consumirse en una combustión, por lo que la probabilidad de tener fuego o incendio depende en gran parte, del estado de agregación del combustible.

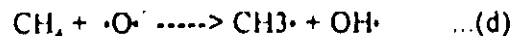
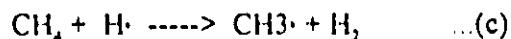
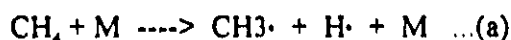
En el caso de los incendios, éstos siempre presentan combustiones incompletas que dan como resultado, la formación de gases de combustión tóxicos (monóxido de carbono principalmente), además de humo, cenizas, luz y calor. Una combustión se desarrolla de forma genérica a partir de considerar que la estequiometría de la reacción es completa, aunque en realidad, ésta se efectúa de forma más compleja. Si consideramos la combustión de un hidrocarburo parafínico por ejemplo, éste se quema o arde en presencia del oxígeno del aire para producir dióxido de carbono y vapor de agua, de forma estequiométrica, para una mol de este combustible, tenemos la siguiente ecuación:



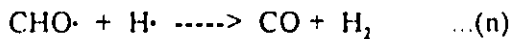
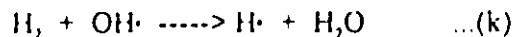
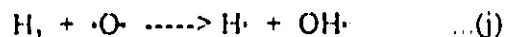
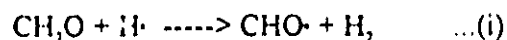
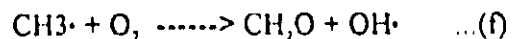
donde:

- n: El número de carbonos presentes en el hidrocarburo parafínico.
- m: El número de hidrógenos presentes en el hidrocarburo parafínico.

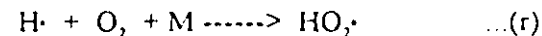
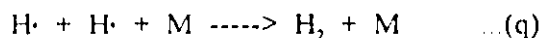
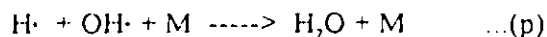
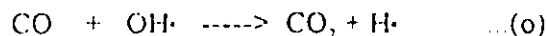
El mecanismo cinético de la reacción química en cadena, que toma lugar para que se realice una combustión envuelve una serie de pasos elementales, en los que primeramente se forman especies moleculares reactivas provenientes del material combustible, que a su vez generan nuevas especies de átomos y radicales libres aún mucho más reactivas como: H·, OH·, y CH<sub>3</sub>·. Aunque la existencia de tales especies químicas puede ser efímera y transitoria en la flama, éstas son las responsables del consumo rápido o lento de un combustible. Uno de estos mecanismos fue propuesto por Bowman en 1975 (2) para la combustión del metano y se presenta a continuación:



Cadena de inicio.



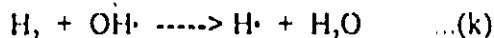
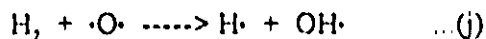
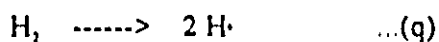
Reacciones intermedias.  
o zona de ramificación.



Reacciones finales.

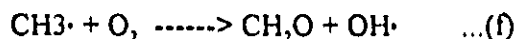
Donde M se refiere a un tercer componente que se gasta y se regenera en las reacciones de combinación de las distintas especies químicas de la cadena de reacción.

Cuando se quema cualquier tipo de combustible, el calor generado es lo suficientemente intenso como para que se efectúe la descomposición térmica de la sustancia llegando a formar una gran variedad de especies o fragmentos de radicales libres, inclusive partículas de carbono puro (C). Esta fragmentación tiene lugar entre la superficie sólida o líquida del combustible y las llamas que se generan por encima de esta superficie. El color característico naranja-rojizo de las llamas, se debe en gran medida a la incandescencia de las partículas de carbono que se forman durante esta pirólisis a elevadas temperaturas (17). En el tiempo en el que esta descomposición térmica se realiza, los enlaces carbono-hidrógeno, son rotos y sustituidos por enlaces de elementos afines a juntarse con los radicales libres de hidrógeno  $H\cdot$  que se forman. En este sentido, podemos afirmar que la formación de estos radicales libres son de las partes críticas para poder decir si se tiene o no a la reacción en cadena de acuerdo con el modelo del tetraedro del fuego. Si se tienen especies moleculares altamente afines a estos radicales, como el oxígeno del aire, entonces las reacciones intermedias o de ramificación se incrementan, aumentando la concentración de radicales libres presentes en la flama. Lo anterior se puede resumir y generalizar para cualquier tipo de combustible en la siguiente secuencia de reacciones entre los radicales del hidrógeno formados ( $H\cdot$ ) y el oxígeno del aire:

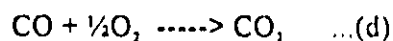
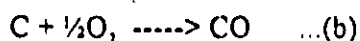
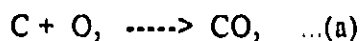


La primer reacción, está relacionada estrechamente con la fase de ignición de toda combustión, seguida inmediatamente de la segunda reacción. Ambas reacciones son endotérmicas, (de acuerdo a los modelos del triángulo y tetraedro del fuego, para tener éste, se requiere de una fuente de calor o ignición, que se justificaría en estas dos reacciones). La tercer y cuarta reacción disipan una cantidad infinita de calor, al grado de que el efecto global de estas cuatro reacciones, es en extremo exotérmico. En suma, para tener una combustión en una primer etapa, el combustible debe de recibir o absorber una cierta cantidad de energía y que posteriormente, éste disipará cantidades aún mayores de energía (en forma de calor principalmente), que a su vez autocalentarán al mismo combustible manteniendo así, la combustión. El oxígeno tiene una alta afinidad por los radicales libres del hidrógeno, combinándose con estos y formando a la especie  $OH\cdot$ , a este paso de la reacción en cadena (reacción e) se le llama hidroxilación y es de las reacciones más importantes en una combustión, ya que la velocidad de generación de la flama y de que ésta se mantenga como tal, depende directamente de la concentración de estos radicales en la misma flama. En el caso específico de la combustión del metano, las siguientes reacciones describen el consumo directo de éste.



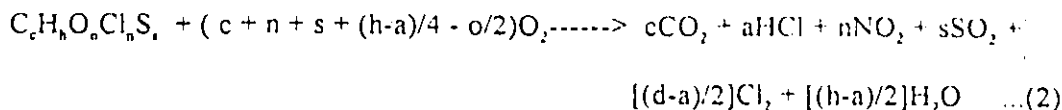


Conforme se consumen los radicales libres  $\text{OH}\cdot$  junto con el metano en la reacción (b), al mismo tiempo éstos se regeneran en la reacción (f). Por lo tanto, podemos deducir que su concentración en la flama se mantiene más o menos constante, hasta que la disponibilidad de  $\text{O}_2$  o de combustible así lo permita. Entre los productos que se generan de la combustión, están las partículas de carbón (C), en este caso, no existen reacciones en cadena como tal (pues no existen radicales libres), sino más bien una serie de reacciones de combustión que ocurren sobre la superficie del sólido o líquido combustible. La velocidad de quemado o consumo de tales partículas una vez formadas, es mucho más baja y su tiempo de residencia dentro de la flama es sumamente pequeño, pasando a formar parte del contenido de humo. El carbón puro se quema en una serie de cuatro reacciones del tipo:



La primera y tercer reacción, son endotérmicas, pudiendo incluso llegar a absorber hasta un 60% de la energía generada por la segunda y cuarta reacción con carácter exotérmico (17). Este fenómeno bien puede explicar el porque en las últimas fases de los fuegos en sólidos ordinarios, se generen brazas con una alta presencia de humo y disminuyéndose la disipación y generación de calor. Así pues, la complejidad de estas reacciones químicas en cadena se ve incrementada cuando el "*combustible prototipo*" por ejemplo, incrementa su tamaño o cantidad de átomos de carbono haciéndose más compleja la estructura del mismo (se ramifica o isomeriza). Por lo tanto, si existe un aumento en la complejidad de la estructura del combustible, aumentarán en consecuencia, el número de especies parcialmente oxidadas o descompuestas, generándose otros tipos de radicales libres y compuestos, como aldehídos, cetonas, ésteres, etc.

La determinación de la cantidad de oxígeno estequiométrico requerido para sostener a la combustión en materiales que presenten mayor complejidad de su estructura química puede determinarse a partir de ecuaciones de consumo estequiométrico generalizadas (22). Esto sirve para determinar que especies probables de gases de combustión serán producidas por la ignición de combustibles complejos en su estructura química. La siguiente ecuación, determina aproximadamente, estas probables especies formadas por la combustión de una sustancia que contenga carbono, hidrógeno, oxígeno, cloro, nitrógeno y azufre:



Donde:

- c: moléculas de carbono presentes en una mol de combustible.
- h: moléculas de hidrógeno presentes en una mol de combustible.
- o: moléculas de oxígeno presentes en una mol de combustible.
- n: moléculas de cloro presentes en una mol de combustible.
- s: moléculas de azufre presentes en una mol de combustible.

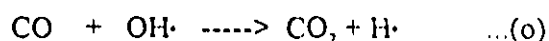
Restricciones:

- a = h : Si el número de átomos de cloro del combustible, excede al número de átomos de hidrógeno, esto es,  $h < d$ . No se forma  $H_2O$
- a = d : Si el número de átomos de hidrógeno en el combustible es igual o mayor al número de átomos de cloro, esto es,  $h \geq d$ . No se forma  $Cl_2$ .
- h = d : Sólo si se considera que se formará HCl y no se forma  $Cl_2$  y  $H_2O$ .

La expresión anterior de consumo estequiométrico generalizada, se basa en las siguientes suposiciones:

- a) Todo el nitrógeno y azufre asociado al combustible, reacciona completamente para formar  $NO_x$  y  $SO_x$  respectivamente.
- b) El cloro contenido en el combustible, reacciona con el hidrógeno disponible en la combustión para producir HCl, el exceso de cloro que no reaccionó con el hidrógeno reacciona consigo mismo para producir  $Cl_2$ .
- c) El hidrógeno restante, reacciona con el oxígeno para producir vapor de agua.

En cualquier tipo de fuego o incendio, donde el mezclado de los volátiles del combustible con el aire, es parte integral de este proceso de consumo o quemado, pueden presentarse condiciones climáticas o artificiales (como la ventilación por ejemplo) que produzcan otros gases con carácter tóxico o letal (como monóxido de carbono) y que en un incendio, normalmente pueden hallarse en niveles mortales para un ser humano. Lo anterior puede verse en el siguiente conjunto de reacciones:



El efecto entre una ventilación pobre y otra rica en oxígeno en incendios de recintos cerrados por ejemplo, puede deducirse de estas dos reacciones, entre menos oxígeno se tenga, menor formación de radicales  $OH\cdot$  hay y la conversión del monóxido a bióxido de carbono se reduce. De allí que en estos incendios, lo más conveniente a hacer antes de entrar al recinto, sea ventilarlo (por la parte superior del recinto) para proporcionar oxígeno y disminuir la concentración del monóxido (con sus respectivas precauciones, ya que en ocasiones, esta ventilación en vez de

ayudar puede ser perjudicial). Se observa pues, que la participación del oxígeno es la de transformar u oxidar al combustible en su totalidad; así, si la cantidad de oxígeno aumenta el fuego se "aviva" teniendo una combustión más completa y si esta cantidad de oxígeno disminuye hasta un límite determinado (se excluye), el fuego se extingue (por sofocación).

El oxígeno del aire funciona como oxidante en una combustión, pero el aire está constituido también por un 79% de nitrógeno. Debido a las altas temperaturas desarrolladas en los fuegos, este N<sub>2</sub> también se oxida y genera especies como los NO<sub>x</sub>, que son comunes en tenerlos en cualquier combustión. No todos los productos de la combustión son gases o sólidos particulados, sino que se pueden llegar a producir destilados líquidos vaporizados por el calor generado en el fuego y que escapan de las flamas para luego condensar a temperaturas más bajas (como las del aire que rodea al punto de inicio de un fuego cuando éste apenas comienza) formándose gotas de tamaño diminuto. Estas gotas, junto con la expulsión de material particulado (cenizas u hollín) y de la formación propia de los gases de combustión, son los elementos principales que conforman al humo. El humo se puede definir por lo tanto, como un conjunto de partículas de tamaño diminuto, sólidas y/o de gotas minúsculas de líquido condensado, que no alcanzaron a entrar en combustión por la turbulencia generada por las llamas. El humo como tal, es un medio para la selección y especificación de los sistemas de detección de fuego, aunque la detección sea parte del sistema de protección contra incendio, su estudio es tan extenso que se requiere desarrollarlo aparte bajo el mismo enfoque sistémico aquí propuesto.

Las flamas de un fuego, son la porción visible y luminosa de un determinado volumen de combustible gas y/o vapor en el que la combustión está ocurriendo. La luminosidad de las flamas disminuye conforme aumenta la cantidad de oxígeno aportado, esto es, cuanto más eficiente sea la reacción de combustión, menor será la luminosidad de la flama. Así pues, encontramos "*combustibles limpios*" como el metanol por ejemplo, en el que la combustión es muy eficiente y arde sin que halla necesariamente, presencia de flamas.

La combustión en líquidos, involucra en la mayoría de los casos, una vaporización ebullente, pero también puede ocurrir que en líquidos con altos puntos de ebullición, antes de evaporarse sufran previamente de una descomposición térmica por efecto del calor. Al respecto, se han desarrollado expresiones que calculan la velocidad de consumo de líquidos almacenados en función de la disminución de la profundidad del líquido en el tanque por unidad de tiempo (17), la expresión más usada es:

$$u = A H_c / H_v \dots(3) \quad \text{Donde: } u = \text{Velocidad de Consumo, cm/s.}$$

A = Cte. experimental con valores entre 0.003 a 0.10.  
H<sub>c</sub> = Entalpia de Combustión, BTU/lb.  
H<sub>v</sub> = Entalpia de Vaporización. BTU/lb.

Se puede determinar también, la cantidad de calor disipado por el consumo del combustible, de acuerdo con la expresión:

$$q = A (SG) H_c^2 / H_v \dots(4) \quad \text{Donde: } q = \text{Calor Disipado, BTU/s.}$$

A = Cte. experimental con valores entre 0.01456 a 0.20  
SG = Gravedad Especifica del Combustible Líquido, lb/ft<sup>3</sup>

Los valores de las constantes "A" para ambas expresiones están en función del peso molecular del combustible básicamente y son determinadas experimentalmente. En la figura 3.2 se ilustran los dos mecanismos básicos de formación de los volátiles en la combustión en líquidos.

Para la combustión en sólidos, en la mayoría de las veces, se produce primero, una pirólisis para producir especies con pesos moleculares bajos para que se volatilicen, aunque también se pueden formar fragmentos de pesos moleculares grandes. En otros casos los sólidos que subliman directamente por el incremento de temperatura, pueden o no ir acompañados de una descomposición térmica en la formación de volátiles, en la figura 3.2 se ilustra las distintas rutas por las que se puede efectuar la combustión en sólidos. Tanto para materiales gaseosos, líquidos y sólidos, los productos volátiles de estas descomposiciones térmicas, se consumen en el interior de la flama misma.

Por lo anterior, podemos decir que el consumo de cualquier combustible sin importar su estado de agregación, se puede poner en función de las propiedades fisicoquímicas de los volátiles producidos principalmente. Bajo este contexto, podemos suponer que las reacciones de descomposición producidas durante el proceso de combustión, pueden modelarse bajo un esquema cinético del siguiente tipo (2):

$$\dot{m} = dm/dt = k' m \dots(5)$$

Donde m es la concentración del combustible y/o de los vapores producidos durante la combustión. La constante k' de velocidad de reacción se puede desarrollar de acuerdo al modelo de Arrhenius y se tiene:

$$k' = A \exp ( E_A / R_u T ) \dots(6)$$

Donde :

- A : Factor Pre-Exponencial de Arrhenius, s<sup>-1</sup>.
- E<sub>A</sub> : Energía de Activación de Oxidación del Combustible, J/mol.
- R<sub>u</sub> : Constante Universal de los Gases, 8.314 J/mol°K.
- T : Temperatura Absoluta, °K.

De acuerdo con este desarrollo cinético, la reactividad de los volátiles puede influir notoriamente en la facilidad con la que la flama se desarrolle, estabilice e incluso se propague.

### **3.4) Descripción de los principales mecanismos de extinción del fuego:**

De acuerdo con la teoría del triángulo del fuego, se requieren 3 elementos para tener fuego y por lo tanto, tres probables medios de extinción. Con el desarrollo del tetraedro del fuego y con la descripción del proceso de combustión realizada en la sección anterior, se adiciona un cuarto elemento para tener fuego y por lo tanto se tiene un cuarto medio probable de extinción de éste. Así, los mecanismos probables de extinción del fuego, pueden ser entonces:

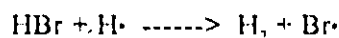
- a) Reduciendo la temperatura del material combustible consumido por debajo de su punto de ignición; o dicho de otra forma, remover el calor producido en el fuego, a una velocidad mayor con la que se genera.
- b) Retirando el material combustible que se encuentre cercano al área afectada por un fuego.
- c) Mediante desplazamiento (dilución) del aire cercano al combustible.
- e) Mediante la inhibición de la reacción química en cadena.

El inciso "a" (absorción de calor) se refiere a un medio de control del fuego por enfriamiento, es decir, usar una sustancia que absorba calor para removerlo hasta tal punto, en el que la temperatura del combustible quemado, se abata por abajo de su punto de ignición y éste deje de emitir más vapores. El agente enfriante universalmente utilizado es el agua, ya que presenta un poder de absorción de calor muy alto, una libra de agua por ejemplo, para vaporizarse absorberá cerca de 1000 BTU. Sin embargo, el uso del agua como agente de extinción presenta ciertas limitantes y puede no ser aplicada totalmente, por ejemplo; cuando el material que se esté consumiendo pueda reaccionar químicamente y de forma violenta con el agua (como en los fuegos de materiales metálicos. O bien, cuando la disponibilidad o suministro del agua en el lugar del incidente no sea lo suficiente como para satisfacer de manera continua las demandas de enfriamiento.

La separación del combustible del fuego, más que un mecanismo de extinción, es una medida de control del fuego, evitando que éste se propague a otros lados. En la realidad, el retiro de material combustible cercano a una área siniestrada, no siempre es posible realizarlo, pero existen medios que indirectamente contemplan tal separación. En refinerías por ejemplo, el uso de Válvulas de Bloqueo de Emergencia (VBE) de acción remota, se utilizan para separar (cortar) el flujo de un hidrocarburo derramado de una tubería dada de proceso.

La extinción por desplazamiento de oxígeno consiste en diluir la concentración de oxígeno del aire presente en el fuego. Esto ocurre, cuando el agua al absorber calor y se convierte en vapor, éste desplaza al aire circundante al fuego, sofocándolo por desplazamiento y/o dilución del aire.

La extinción de un fuego inhibiendo la reacción química en cadena, consiste en reducir la concentración de los radicales libres generados en la combustión. Las especies de radicales responsables de la existencia de llamas en un fuego son principalmente  $H\cdot$  y  $OH\cdot$ , encargadas del consumo directo del combustible. Se ha encontrado experimentalmente, que hay ciertas moléculas que presentan una alta afinidad para reaccionar con los radicales  $H\cdot$ , obteniendo productos menos reactivos y que no sostienen la reacción en cadena (2 y 17). Los halones son el ejemplo típico de este tipo de moléculas que inhiben la reacción en cadena y las reacciones de inhibición en términos generales son del tipo siguiente:



Los radicales  $\text{Br}\cdot$  reemplazan la generación de más radicales  $\text{H}\cdot$  y  $\text{OH}\cdot$  reduciendo drásticamente la velocidad global de la reacción en cadena. El mecanismo aceptado de esta inhibición es el presentado en la figura 3.3.

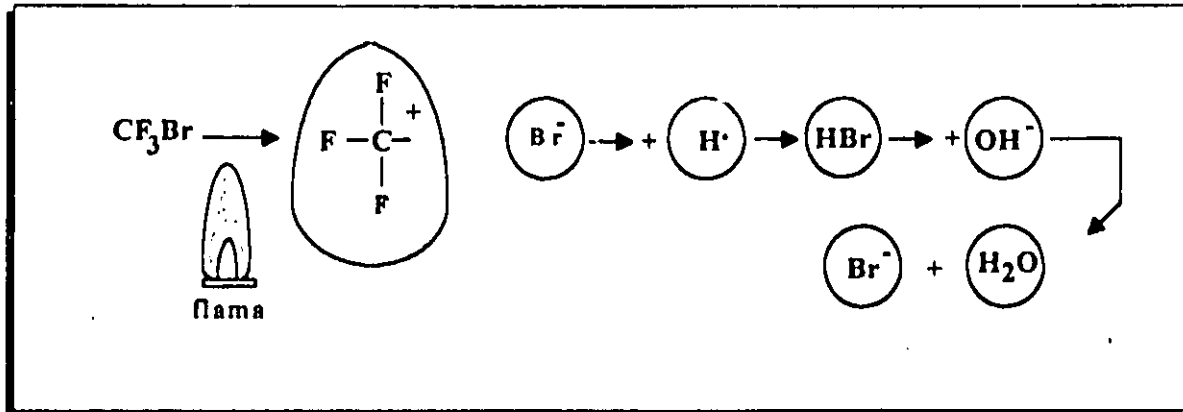


Figura 3.3 : Mecanismo de inhibición de la reacción en cadena con el uso de halones (17).

Así pues, podemos definir de forma general a un agente extintor como aquel que tiene la característica particular de eliminar alguno o varios de los cuatro componentes que se requieren para tener fuego. De esta manera, el agua se considera como el agente extintor universal por naturaleza, por su abundancia en cualquier tipo de climas, las variedades que se presentan en su suministro (ríos, lagos, mares, pozos, etc.) y a su fácil manejo, transporte y almacenamiento. En la siguiente sección se describen los mecanismos principales de extinción con el uso del agua.

### 3.4.1) Técnicas de extinción con el uso del agua:

Se pueden mencionar seis medios básicos de extinción del fuego con el uso del agua y son:

- |                  |                          |
|------------------|--------------------------|
| a) Enfriamiento. | d) Emulsificación        |
| b) Sofocación.   | e) Transporte o Barrido. |
| c) Dilución.     | f) Humectación.          |

#### 1.- *Extinción por enfriamiento.*

Más que un mecanismo de extinción como tal, es el medio más comúnmente utilizado de control de incendios en plantas de refinación aquí, se pretende que el agua absorba la mayor cantidad de calor convirtiéndose en vapor abatiendo la temperatura del fuego por abajo del punto de inflamación del combustible quemado. En los incendios en espacios abiertos, el agua debe de aplicarse a una velocidad suficientemente alta, para poder vencer varias fuerzas como la resistencia del aire o del viento, la gravedad, la turbulencia generada por las mismas llamas y al humo (10).

*II.- Extinción por sofocamiento:*

Cuando el agua ha absorbido suficiente calor, ésta termina evaporándose y este vapor desplaza (y/o diluye) al aire circundante a las llamas, sofocando al incendio por la exclusión de aire. Si el agua es aplicada en forma de gotas minúsculas (niebla) se obtiene un efecto enfriante y sofocante simultáneo, ya que al caer tales gotas al ambiente térmico tan extremo de las llamas, instantáneamente se vaporizan (absorbiendo calor), con un efecto enfriante y formando al mismo tiempo un ambiente sofocante, desplazando al aire y extinguiendo así al fuego (10).

*III.- Extinción por dilución:*

El agua puede apagar incendios de líquidos inflamables polares o hidrosolubles (solventes) por dilución y es un mecanismo utilizado para el ataque a fuegos en derrames de líquidos de este tipo en plantas de refinación. Se trata de aplicar el agua a un grado tal, en que ésta se mezcle fácilmente con el solvente hasta que éste último sea diluido. Este medio de extinción no es común aplicarlo cuando el inventario del líquido derramado es sumamente grande (12).

*IV.- Extinción por emulsificación.*

Al aplicar agua a determinados líquidos combustibles de altas viscosidades, la extinción de un incendio en éstos, puede lograrse por emulsificación. La emulsificación se consigue agitando al menos a dos líquidos inmiscibles entre sí, donde uno de ellos se dispersa en el interior del más denso en forma de gotas minúsculas (agua pulverizada). El efecto de esta agua es enfriar la superficie del líquido por abajo de su temperatura de inflamación, suprimiendo así la formación de vapores (10).

*V.- Extinción por Transporte o Barrido:*

En los derrames de grandes cantidades de líquidos inflamables o combustibles y cuando ninguna de las técnicas anteriores pueda ser factible de utilizar, es necesario transportar o llevar al material fugado a otro sitio. Esto se logra con el empleo de chorros de agua que barran o corten al líquido transportándolo a un lugar más seguro, teniendo cuidado de contar con los medios adecuados para moverlo y que no se aumente el riesgo de incendio al realizar esta actividad.

*VI.- Extinción por Humectación:*

Es el medio de extinción recomendado para fuegos clase A de sólidos ordinarios. La característica principal de estos fuegos, es que el sólido se quema de afuera hacia adentro y por lo tanto, se requiere de un extintor que penetre por los intersticios del material. Esta penetración se consigue adicionando agentes tensoactivos (estables a altas temperaturas) al agua que abatan la tensión superficial de ésta humectando la superficie del sólido. Ejemplos de aditivos con propiedades humectantes son: el CMC (carboximetilcelulosa sódico), boratos y bentonitas.

### 3.5) Clasificación de Fuegos:

El estudio del comportamiento del fuego requiere primeramente de realizar una clasificación de las distintas clases de fuego que se tienen de acuerdo al material que se pueda incendiar y son:

#### 1.- Fuegos clase A (sólidos):

Estos se subdividen en dos tipos:

1.1.- *Sólidos ordinarios* : Aquellos que producen brasas, cenizas y sus superficies se agrietan por las altas temperaturas que se generan y el consumo del sólido se produce de la parte exterior hacia el interior del mismo.

1.2.- *Sólidos extraordinarios* : Sólidos sintéticos que primero se funden al haber un incremento de la temperatura, una vez que destilan los volátiles como líquidos estos arden.

#### 2.- Fuegos clase B (gases y líquidos combustibles e inflamables):

Los líquidos se clasifican como líquidos combustibles e inflamables. A su vez, estos dos líquidos presentan otras subdivisiones, así pues, para líquidos combustibles tenemos:

2.1.- *Líquidos Combustibles*. Son aquellos líquidos cuya temperatura de inflamación (flash point) está por arriba de los 37.9°C (a condiciones de temperatura y presión normales o ambientales no se evaporizan fácilmente) y por sus características de viscosidad se dividen en ligeros y pesados.

Clase II : Líquidos con flash point en o por arriba de los 100°F (37.8°C) pero menor a 140°F (60°C).

Clase IIIA : Líquidos con flash point en o por arriba de los 100°F (37.8°C) pero menor a 200°F (93.4°C).

Clase IIIB : Líquidos con flash point en o por arriba de los 200°F (93.4°C).

2.2.- *Líquidos Inflamables*: Aquellos líquidos cuyo flash point está por abajo de los 37.9°C (líquidos fácilmente vaporizables a condiciones normales de presión y temperatura). Otras subdivisiones de estos líquidos son:

2.2.1.- Polares y/o hidrosolubles, (alcoholes por ejemplo).

2.2.2.- No polares o no hidrosolubles, (aceites por ejemplo).



Las clasificaciones de líquidos inflamables que se tienen son:

Clase 1A : Líquidos con flash point por debajo de los 73°F (22.8°C) y su punto de ebullición está por abajo de los 100°F (37.8°C).

Clase 1B : Líquidos con flash point menor de 73°F (22.8°C) y su punto de ebullición está por arriba de los 100°F (37.8°C).

Clase 1C : Líquidos con flash point igual o mayor a 73°F (22.8°C) y su punto de ebullición está por abajo de los 100°F (37.8°C).

La figura 3.4 muestra de manera gráfica, la clasificación de los líquidos inflamables y combustibles antes descrita:

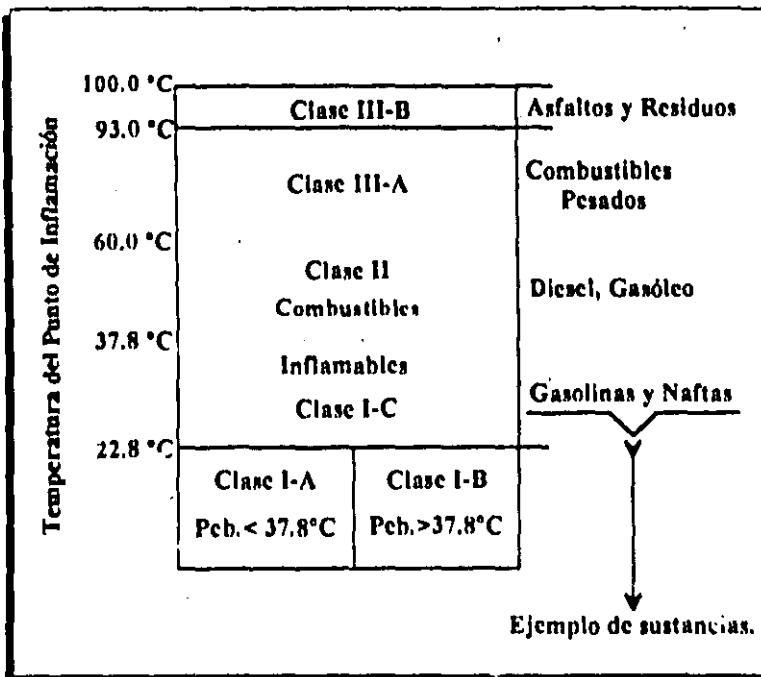


Figura 3.4 : Clasificación de líquidos inflamables y combustibles.

Adicionalmente se considera un tercer tipo de líquidos (clase C) que son líquidos altamente reactivos o inestables. Sustancias que en su estado puro o que como productos terminados, durante su transporte o almacenaje pueden provocar reacciones de polimerización, descomposición, condensación, etc., reacciones que sean altamente exotérmicas y vigorosas.

3.- Fuegos clase C (equipo eléctrico y/o electrónico):

Se subdividen en dos tipos, de acuerdo a la naturaleza del equipo a proteger:

3.1.- *Eléctricos*: En equipos cuya fuente de alimentación eléctrica es la corriente alterna.

3.2.- *Electrónicos*: En equipos que se energizan con corriente directa.

4.- Fuego clase D (de metales):

Fuegos en metales combustibles que estén como líquidos o sólidos pulverizados o finamente divididos que sean capaces de entrar en ignición en contacto con una fuente ignitiva y en presencia o ausencia de oxígeno. En la figura 3.5 se presenta un resumen de las cuatro clases de fuego anteriores.

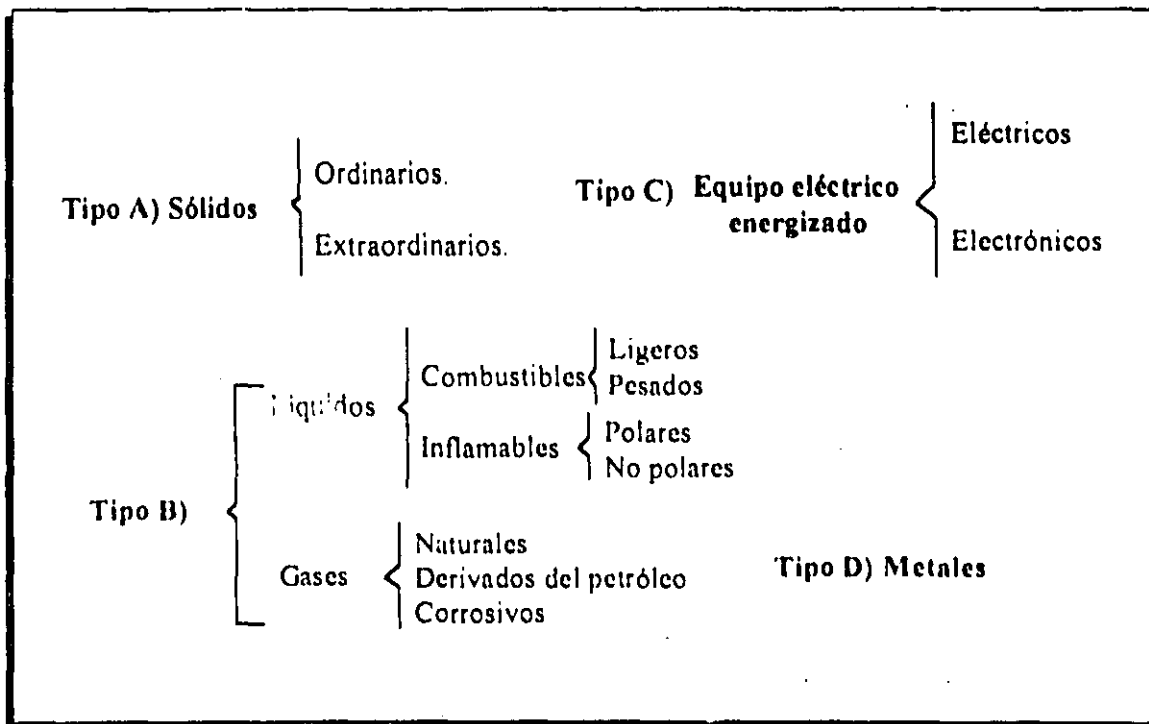


Figura 3.5 : Clasificación de Fuegos

3.6) Clasificación de los Incendios:

Un incendio, presenta determinados patrones de comportamiento dependiendo de las circunstancias en el que se desenvuelva. El desarrollo de un incendio depende en mucho de la naturaleza del espacio en el que éste se presente. Así pues, podemos clasificar a los incendios en dos divisiones: incendios en espacios abiertos e incendios en espacios cerrados (12), esta división implica que las acciones a tomar para el control y posterior extinción del incidente, son distintas y específicas para cada caso. Considerando la facilidad de propagación del fuego y la velocidad de afluencia de aire a éste, se pueden hacer subdivisiones adicionales. Así, los incendios los podemos clasificar de varias maneras de acuerdo con la tabla 3.2:

Tabla 3.2 : Clasificación de Incendios en función de la naturaleza del espacio en el que se desenvuelven.

<b>Incendios en Espacios Abiertos.</b>	<b>Incendios en Espacios Cerrados.</b>
a) Incendios Localizados.	a) Incendios en Recintos "Abiertos"
b) Incendios en Expansión.	b) Incendios en Recintos "Cerrados"
c) Incendios Masivos.	

### I.- Incendios en Espacios Abiertos:

Se describen a continuación las características principales de los distintos tipos de Incendio en este tipo de espacios:

#### 1.1.- Incendios Localizados:

Son incendios confinados a una zona restringida, sin tener medios fáciles de propagación. Un incendio antes de localizarse, tiene que esparcirse una determinada área marcada por la disponibilidad de combustible que haya a los alrededores del punto donde se originó el fuego. Es por esto, que estos incendios se ponen como una etapa previa a un Incendio en Expansión. Si las condiciones ambientales así lo permiten, el calor transferido por el fuego puede provocar que un Incendio Localizado se convierta en un Incendio en Expansión e inclusive Masivo.

#### 1.2.- Incendios en Expansión:

Una vez declarado un fuego sobre una determinada área de combustible, éste podrá expandirse y crecer hasta que se consuma todo el material o se extinga. Sin embargo, no se puede predecir la facilidad y dirección de expansión del incendio, ya que esto está determinado por la disponibilidad y distribución del material combustible en el lugar.

#### 1.3.- Incendios Masivos:

Estos incendios, son la fase más desarrollada de un Incendio en Expansión, pues cubren áreas extensas en donde las áreas de Incendios Localizados y en Expansión se juntan formando un Incendio Masivo. Ejemplos de tales incendios pueden ser los incendios forestales. Estos incendios son difíciles de controlar y de extinguir, dado la abrumadora cantidad de material combustible (árboles, arbustos, pastizales, etc) que los alimenta y los mantiene en tal fase.

Para el caso de plantas de refinación, al estar en espacios abiertos, se pueden presentar en éstas, cualquiera de los tres tipos de incendios descritos antes, dependiendo del nivel de desarrollo que pueda alcanzar algún incidente con fuego en tales instalaciones.

### II.- Incendios en Espacios Cerrados:

En los Incendios en Espacios Cerrados, dependiendo del elemento que sea el más abundante, si el aire o el combustible, se derivan sus dos subdivisiones. Si existe una gran cantidad de aire alrededor del combustible, entonces la velocidad de propagación del incendio estará controlada

por la cantidad de combustible (Incendios en Recintos "Abiertos"). Pero si la cantidad de combustible es grande, y la presencia de aire es escasa, el incendio quedará controlado por la afluencia de aire (o por la ventilación) para tener Incendios en Recintos "Cerrados".

### II.1.- Incendios en Recintos "Abiertos":

Estos se presentan en grandes espacios confinados con techos altos y grandes aperturas (en bodegas o almacenes por ejemplo) con alta disponibilidad de aire, que los hace parecidos (no iguales) a los Incendios en Espacios Abiertos. Se caracterizan por tener una elevada velocidad de consumo del combustible, aunque su potencial destructivo no es grande, las llamas generadas emergen de las aberturas o fisuras que presenten las paredes del recinto esparciendo al fuego, hacia el exterior del recinto.

### II.2.- Incendios en Recintos "Cerrados":

Estos se presentan en edificios y/o casas habitación, aunque también se pueden tener en industrias, oficinas, cafeterías, laboratorios, etc. Se presentan en espacios reducidos donde la poca o nula presencia de corrientes de aire (ventilación), determina el control del incidente. Suelen ser muy destructivos por las altas temperaturas que se llegan a generar en estos y su duración es variable. Este tipo de incendios, pueden presentarse en casas de bombeo o compresión para instalaciones de refinación o de explotación (plataformas marinas).

### 3.7) Dinámica del Fuego:

El comportamiento de un fuego que ha alcanzado el nivel de incendio, no es enteramente predecible y la supresión de éste, involucrará siempre algún tipo de riesgo. Es por esto, que la aplicación correcta y eficaz de las técnicas y tácticas de ataque al fuego podrán disminuir errores y accidentes en este combate pero nunca podrán eliminarlos.

Así podemos deducir, que si todo incendio empieza pequeño (fuego puntual), el comportamiento de éste será diferente para espacios abiertos y para espacios cerrados. De este modo, los incendios en espacios abiertos, comparativamente, presentan menores pérdidas humanas que los incendios en espacios cerrados. Los incendios en espacios cerrados (o también llamados estructurales), suelen presentar mayor facilidad de propagación que los incendios en espacios abiertos, por la distribución de espacios que se presenta en el sitio; en estos incendios, la disponibilidad de aire es menor y se producen gases más tóxicos debido a una combustión incompleta.

#### 3.7.1) Etapas de desarrollo de incendios en espacios abiertos y cerrados:

El paso de un fuego incipiente a incendio recorre una serie de etapas dependiendo del espacio en el que éste se desenvuelva (abierto o cerrado). Tanto los incendios en espacios abiertos como cerrados, presentan una primer etapa de desarrollo en común (etapa de fuego sin flama) Aquí, el fuego permanece casi oculto y tarda demasiado tiempo en propagarse hacia otros lados. Se dice que el fuego permanece casi oculto porque se pueden presentar pocas o no muy grandes

cantidades de humo sin tener forzosamente, presencia de flamas (12). Las etapas subsecuentes a esta fase, son distintas para los dos tipos de incendios aquí estudiados, sin embargo, para los incendios en espacios abiertos estas etapas pueden coincidir con las clases de incendios discutidas previamente en la tabla 3.2. Se describen a continuación estas etapas de desarrollo para ambos tipos de incendios.

*A) Desarrollo de incendios en espacios abiertos:*

A.1.- Incendio en Expansión:

La etapa siguiente que sigue en estos incendios es la de propagación, el fuego incipiente comienza a difundirse por todo el material combustible disponible en el lugar (en algunos estudios, se considera que esta etapa termina hasta que el 80% de todo el combustible presente en lugar se ha consumido).

A.2.- Incendio en Plenitud o Masivo :

La velocidad de consumo del combustible que se quema y la cantidad de calor generada alcanzan su punto máximo y se mantienen constantes en un intervalo de tiempo grande. Los vientos que se presenten en el lugar junto con la turbulencia generada por las mismas llamas, provocan fuertes corrientes convectivas que pueden esparcir fragmentos incandescentes (ascuas volantes) a otros sitios del lugar, convirtiéndose en un medio adicional de propagación del fuego.

A.3.- Incendio en Decadencia:

La velocidad de quemado del combustible consumido, disminuye deteniéndose el fuego en esta área afectada hasta que ya no se puede quemar más combustible. Los incendios que llegan hasta esta fase, suelen ser incendios no controlados o extinguidos correctamente y desde el punto de vista económico, las pérdidas arrojadas por éstos son exageradamente altas.

*B) Desarrollo de incendios en espacios cerrados:*

B.1.- Incendio Libre o Incendio en Expansión:

Incendios de este tipo en plantas o procesos de refinación, pueden presentarse en casas de bombeo, de compresión cuartos de control y subestaciones eléctricas por ejemplo. El fuego arde libremente por todo el recinto, el fuego se alimenta con aire rico en oxígeno proveniente de las corrientes de convección que surgen de la elevación de los gases calientes hacia las partes superiores del recinto, confinando a éstos (si no tienen alguna salida o venteo superior). Los gases calientes forman un hongo y caen por las paredes laterales del lugar empujando a la masa de aire hacia la base del fuego, avivándolo y poniendo en ignición al material combustible que se tenga en las partes altas del recinto debido a las altas temperaturas que presentan los gases de combustión, superiores a los 700°C.

**B.2.- Etapa de arder sin llama:**

A medida que el incendio avanza, la cantidad de oxígeno del aire se ira gradualmente consumiendo. Es la última parte en la que existe combustión como tal, en la que se reduce la formación de llamas. La temperatura del lugar se reduce, debido a que la disminución del oxígeno del aire en el lugar provoca una combustión incompleta, produciendose grandes cantidades de gases tóxicos y humo.

**B.3.- Etapa de decaimiento:**

Esta etapa se presenta cuando el combustible ya consumido queda reducido a rescoldos y/o brazas con o sin incandescencia. Suele seguir habiendo producción de humo, pero la temperatura en el recinto se ha reducido notablemente. En esta fase, es necesario cuidar que no se presente la reignición del combustible consumido, por lo que será necesario remover o apagar los residuos (incandescentes o no) que hayan quedado.

La representación gráfica del desarrollo de estas dos clases de incendios se presenta en la figura 3.6, teniendo en el eje de las "y's" un parámetro del incendio que puede ser la temperatura, el calor producido o el consumo de combustible y en el ejes de las "x's" se pone el tiempo de duración del incidente..

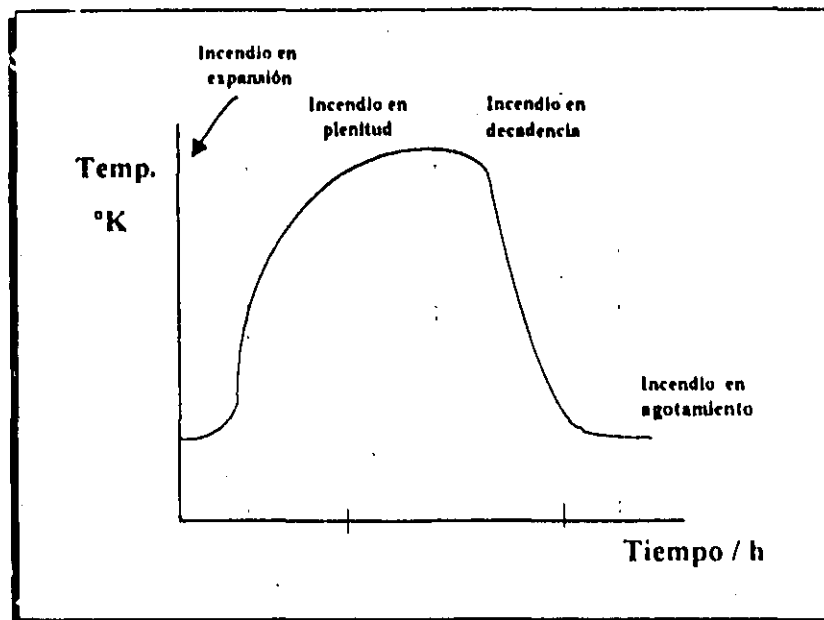


Figura 3.6 : Curva típica del desarrollo de incendios en espacios abiertos y cerrados (12).

### 3.7.2) Mecanismos de propagación del fuego:

Los fuegos, tanto en áreas abiertas como cerradas, pueden propagarse bajo cinco mecanismos básicos (11 y 12). En la realidad, la propagación de un fuego generalmente involucra la combinación de varios de estos mecanismos y son:

- 1 ) Radiación.
- 2 ) Conducción.
- 3 ) Convección.
- 4 ) Transportación.
- 5 ) Contacto Directo.

Los tres primeros mecanismos, son los comúnmente más aceptados para los fenómenos de Transferencia de Calor. Los dos últimos mecanismos en cambio, están más relacionados a un aspecto físico de la propagación del fuego, es decir, con la presencia de llamas fundamentalmente.

#### I.- *Radiación :*

La transferencia de calor en un incendio es mayoritariamente, por radiación. La radiación viaja a través del espacio en línea recta con un comportamiento ondulatorio hasta que tal radiación sea absorbida por otro cuerpo. Esta absorción de calor puede ser igual o mayor al punto de ignición del cuerpo que la absorbió, por lo que éste puede empezar a quemarse, aumentando el tamaño del área afectada.

#### II.- *Conducción :*

El calor se transmite de un cuerpo a otro por contacto directo entre ambos o por medio de otro cuerpo intermedio entre ellos. La cantidad de calor transmitida y la velocidad de transmisión de éste, dependen principalmente de la conductividad térmica que presente el medio de transmisión. Los metales son excelentes conductores del calor; así, las estructuras metálicas de soporte por ejemplo, son excelentes medios de transmisión del calor por conducción y por ende, de la propagación del fuego.

#### III.- *Convección :*

Es el medio más común de transferencia de calor en los fluidos (gases o líquidos) y la propagación del fuego por este mecanismo, está relacionado con la naturaleza del espacio en el que éste se presente (abierto o cerrado). En los incendios en recintos cerrados, la propagación del fuego por convección es considerable. Las temperaturas generadas en estos incendios, pueden llegar a los 700°C, por lo tanto, las masas de aire caliente en movimiento (ascendente y/o transversal) pueden encender al material combustible presente en el lugar, con temperatura de ignición menor a la de estas corrientes; propagándose así el incendio. Puede ocurrir que los gases de combustión generados por el incendio no tengan salida, por lo que esta masa de gases calientes desplazan a las masas de aire frío hacia abajo del recinto, avivando más el fuego. En los incendios en zonas abiertas, se puede tener la formación de corrientes de aire sumamente turbulentas formadas por la succión del aire de los alrededores hacia la parte baja de las llamas levantadas por el fuego (2).

*IV.- Transportación:*

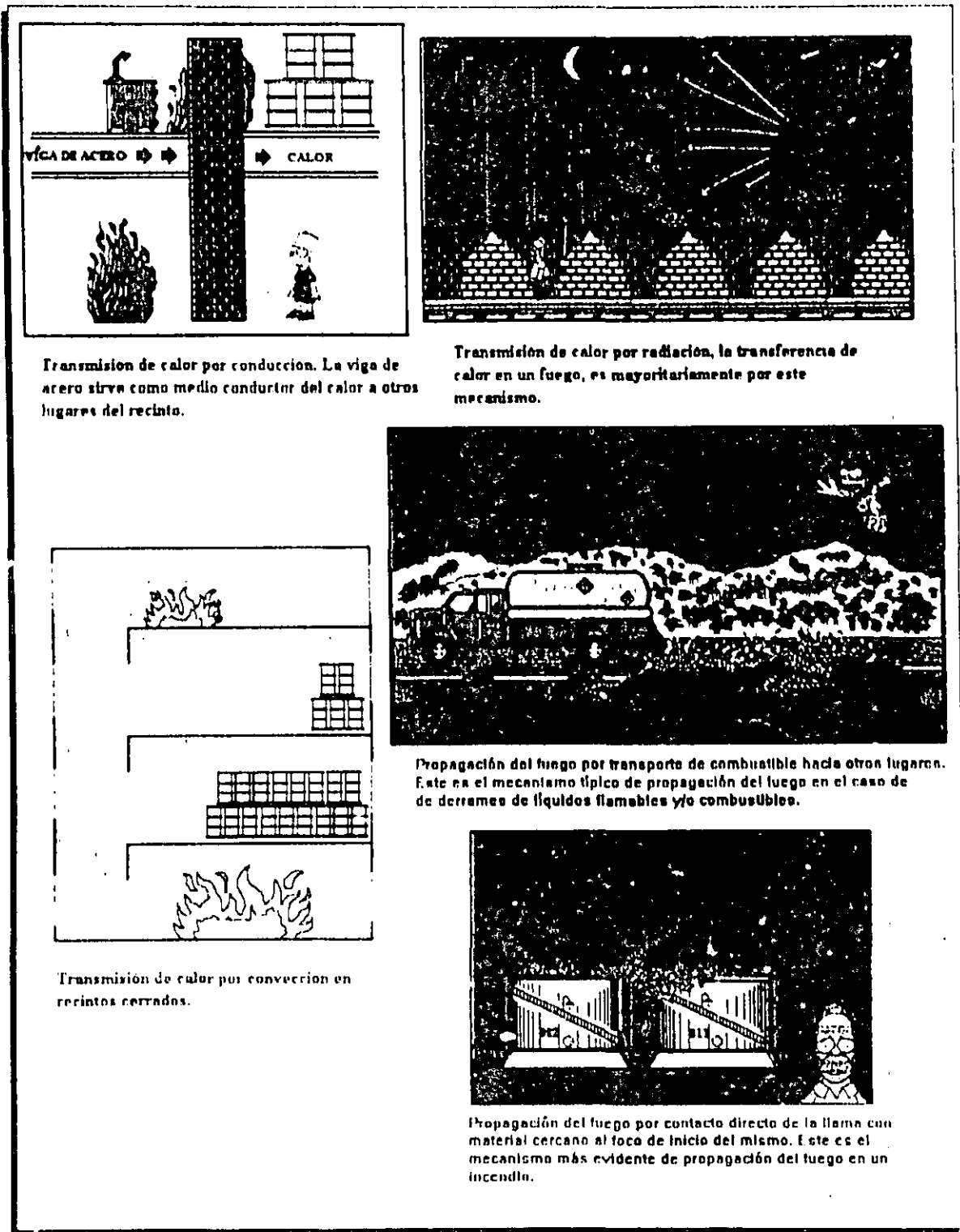
Este es el mecanismo de propagación del fuego, más típico en los derrames de líquidos combustibles y/o inflamables. El fuego se desplaza junto con el líquido hacia otros lados, debido a la presencia de pendientes o medios externos (como la caída de presión, por ejemplo) que forzan al líquido a moverse hacia otros lados (escurrimiento). Este es de los mecanismos más comunes de propagación del fuego cuando se tienen fugas de material combustible en espacios abiertos.

*V.- Contacto Directo:*

Junto con la radiación, es el medio más evidente de propagación del fuego. En un incendio, la generación desordenada y aleatoria de las llamas, se convertirá prácticamente, en el medio más común de propagación de éste y en la forma más conocida de desarrollo de un incendio en cualquier tipo de espacios.

En la figura 3.7 se ilustran estos cinco mecanismos de propagación del fuego.





Transmisión de calor por conducción. La viga de acero sirve como medio conductor del calor a otros lugares del recinto.

Transmisión de calor por radiación, la transferencia de calor en un fuego, es mayoritariamente por este mecanismo.

Transmisión de calor por convección en recintos cerrados.

Propagación del fuego por transporte de combustible hacia otros lugares. Este es el mecanismo típico de propagación del fuego en el caso de derrames de líquidos inflamables y/o combustibles.

Propagación del fuego por contacto directo de la llama con material cercano al foco de inicio del mismo. Este es el mecanismo más evidente de propagación del fuego en un incendio.

Figura 3.7 Representación gráfica de los cinco mecanismos de propagación del fuego aquí considerados (11 y 12)

### 3.7.3) Predicción del comportamiento de las flamas:

La expresión más común y típica de un fuego desarrollado como incendio, es la presencia de flamas, prácticamente, en cualquier tipo de fuego, se tienen éstas, por lo que el estudio del comportamiento de estas flamas (su modelado matemático), puede ser utilizado para un desarrollo más apropiado del diseño de los sistemas de protección contra incendio (2).

El movimiento ascendente de las llamas en fuegos de origen natural, se debe a la acción de una fuerza bouyante. Si un gas presenta un comportamiento bouyante positivo, es un gas más ligero que el aire y por lo tanto tiende a elevarse. Pero si el gas presenta un comportamiento bouyante negativo, es un gas más pesado que el aire y por lo tanto no se elevará sino que permanecerá en las partes bajas. Así, el efecto de esta fuerza bouyante se puede determinar aproximadamente calculando la densidad relativa de un gas de combustión o una mezcla de éstos por ejemplo y que presenten comportamiento ideal; esto se puede desarrollar a partir de la expresión siguiente:

$$\rho_r = \rho_{gc} / \rho_{aire}^0 = [P(PM)_{gc} / RT_{gc}] / [P(PM)_{aire} / RT_{aire}] = [(PM)_{gc} T_{aire}] / [29 \cdot T_{gc}] \dots (7)$$

Donde :

- $\rho_r$  : Densidad Relativa.
- $\rho_{gc}$  : Densidad del Gas de Combustión o de la Mezcla de éstos.
- $\rho_{aire}^0$  : Densidad de Referencia del Aire.
- P : Presión.
- $(PM)_{gc}$  : Peso Molecular de los Gases de Combustión.
- $(PM)_{aire}$  : Peso Molecular del Aire (29).
- R : Constante Universal de los Gases.
- $T_{gc}$  : Temperatura de Salida de los Gases de Combustión
- $T_{aire}$  : Temperatura de Referencia del Aire (60°F)

Si  $\rho_r > 1$  entonces se presenta comportamiento bouyante negativo.

Si  $\rho_r < 1$  entonces se presenta comportamiento bouyante positivo.

La predicción del efecto de la dirección y velocidad del viento en el comportamiento bouyante de una pluma de fuego, para aspectos específicos de la protección contra incendio en refincrias, sirve como un criterio cualitativo para determinar la trayectoria que pudiera seguir el crecimiento o dispersión de un fuego (hasta convertirse en incendio) alrededor del punto donde se haya originado el conato. Esto es, que para un comportamiento bouyante negativo, el fuego puede no propagarse tan fácilmente a otros lados y quedarse relativamente estancado en el punto donde se originó. En cambio, las plumas de fuego con comportamiento bouyante positivo, presentarán una alta facilidad de dispersión a otros lados por efecto de la velocidad y dirección del viento

De este modo, la apariencia y comportamiento de las flamas, dependerá primordialmente de como se realice la combustión y mezcla de los vapores del combustible y el aire. Varios estudios sobre la estructura de las llamas, han sido realizados, Corlett (1968, 1970), Cox (1979), McCaffrey (1979) y Zukoski (1981), han enfocado sus estudios hacia el entendimiento de estas estructuras en combustibles sólidos y líquidos, por lo que se ha podido clasificar a la estructura de

las flamas y se puede hablar de una relación funcional, entre la estructura de la flama y el tamaño de la superficie del combustible quemado (2). Así, se tienen dos tipos de flamas de acuerdo con el dibujo presentado en la figura 3.8:

- a) Flamas sin estructura (a, d y e)
- b) Flamas estructuradas (b y c).

McCaffrey (1979) mostró también, que una pluma de fuego desarrollada en una superficie de combustible consumido o quemado mayor a los 30 cm<sup>2</sup>, puede presentar tres regímenes o zonas de combustión. Éstas se clasifican como:

a) Flama persistente: El campo inmediato cercano arriba de la superficie del combustible, donde se origina la flama y hasta donde haya un flujo acelerado de vapores quemándose o ardiendo y de gases de combustión.

b) Flama intermitente: Es una región en donde la flama es intermitente o bien, donde la velocidad del flujo de los gases de combustión producidos, es poco menor a la de la región de flama persistente.

c) Pluma bouyante: Una zona de la pluma de fuego con comportamiento bouyante que se caracteriza por un decremento de la velocidad de expulsión de los gases y de la temperatura respecto a la altura y donde se puede notar la presencia de humo.

d) Zona superior a la pluma de fuego: Los productos de la combustión que no se consumieron del todo, tienden a condensar o a caer expulsados de la misma turbulencia generada por la flama, formando parte del humo.

El estudio de la estructura de las plumas de fuego es importante conocerlo para predecir por ejemplo, el movimiento del humo o la distribución del perfil de temperaturas en el sitio afectado o las interacciones de esta pluma con los alrededores, para la selección y localización más adecuada de los equipos o sistemas de detección de fuego ya sea por humo o por incremento de la temperatura.

La relación funcional que existe entre la estructura de una flama y el tamaño de la superficie del combustible quemado ( $\phi$ ), desde un punto de vista logístico, puede servir como guía para la instalación y distribución de tanques de almacenamiento de material hidrocarburo. Ya que conociendo el tamaño o el diámetro del tanque y la dirección de los vientos, se puede predecir aproximadamente, la estructura de las flamas generadas (si un tanque de estos presenta problemas con fuego) y el efecto de estas flamas, sobre los recipientes o equipos de proceso aledaños, por lo que esta situación, puede servir como criterio de diseño para la relocalización de estos equipos en una área de almacenamiento dada, contemplando así, la minimización de pérdidas si un incidente con fuego se llegase a presentar.

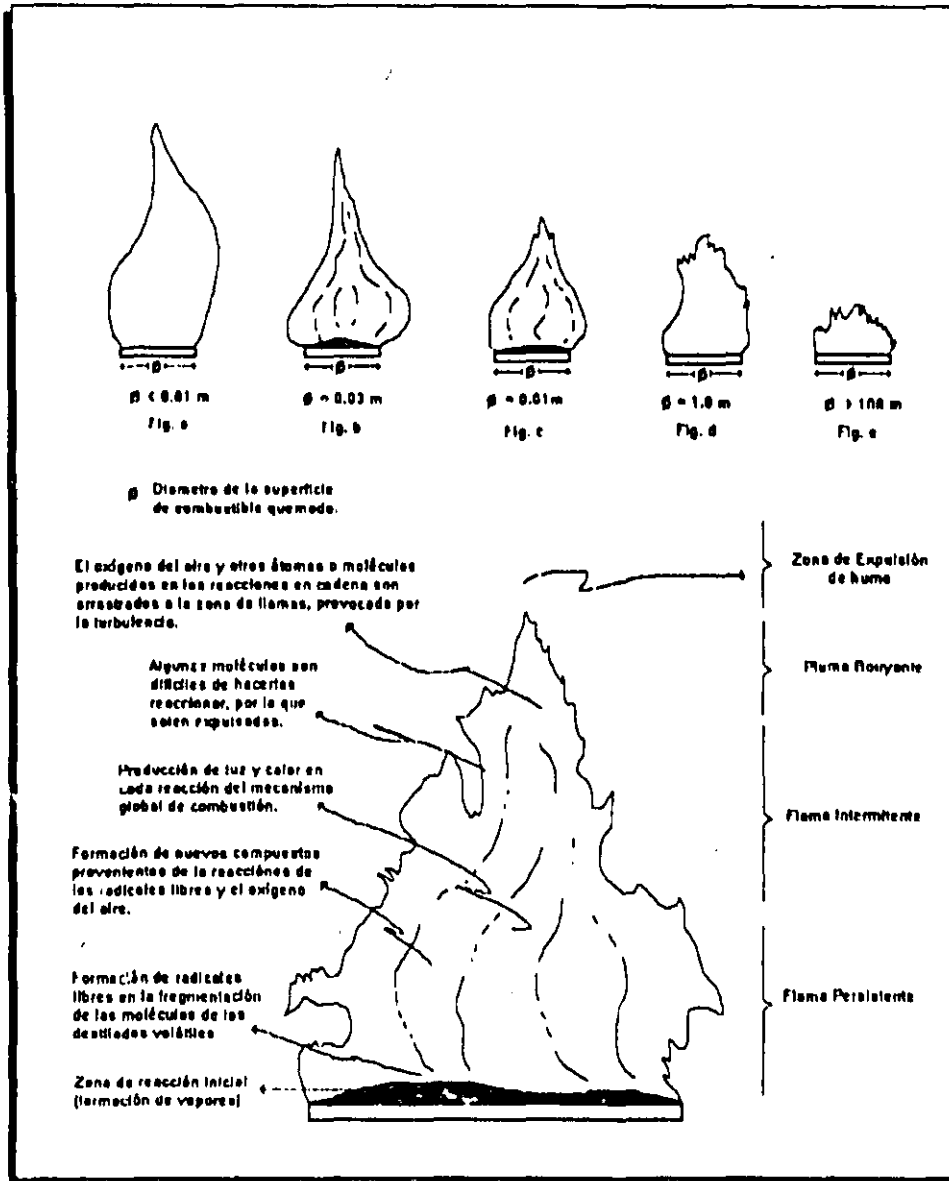


Figura 3.8 : Estructura básica de las llamas de un fuego (2 y 11).

Los parámetros básicos para predecir la altura que puede alcanzar una pluma de fuego, fueron determinados por Thomas (1961), aplicando métodos de resolución por análisis dimensional (2). Así pues, las flamas presentan un comportamiento aleatorio, nunca se hallan en un mismo lugar y la presencia de éstas en un punto definido en el espacio, cerca del lecho del combustible es efímero. El criterio sugerido por Thomas para determinar la altura de las llamas, es que la altura total de la llama se definirá como aquella en la que pueda entrar la cantidad suficiente de aire para que éste interactúe con los volátiles del combustible, sin considerar una probable interacción de la flama con medios externos como techos o paredes cuando éstas se desarrollan en espacios cerrados. La expresión propuesta por Thomas es la presentada a continuación:

$$\frac{l}{D} = f \left( \frac{\dot{m}^2}{\rho^2 g D^3 \beta \Delta T} \right) \dots [8]$$

Donde :

$l = Zf$  : Altura de la flama, por arriba de la superficie del combustible.

$D$  : Diámetro del área del lecho del combustible consumido.

$\dot{m}$  : Flujo másico de los vapores generados y consumidos durante la combustión.

$\rho$  : Densidad de los vapores del combustible.

$\beta$  : Coeficiente de expansión volumétrico del aire.

$g$  : Gravedad.

$\Delta T$  : Diferencia de temperaturas entre la temperatura de la flama y del ambiente.

$\Delta T$  : Tflama - Tambiente.

El grupo de variables:  $\rho \beta \Delta T$

es indicativo del efecto de la fuerza bouyante.

El efecto de esta fuerza está en función del Número de Grashoff.

$$\text{No. Grashoff} = \frac{[\text{Fuerza Bouyante}][\text{Fuerza de Gravedad}]}{(\text{Fuerza Viscosa})^2} = \frac{\rho^2 g l^3 \beta \Delta T}{\mu^2}$$

Para facilitar el manejo matemático de la expresión 8, el flujo másico de los vapores es escalado con el término  $D^{3/2}$ . De este modo Zukoski (1981) comparó datos experimentales provenientes de distintas referencias y relacionó  $\log(l/D)$  vs  $\log(Q_c/D^{3/2})$  donde  $Q_c$  es el calor disipado por convección en (kJ) y demostró que para valores de  $l/D > 6$ , la pendiente de esta línea, era de  $2/5$  indicando que la altura de la flama puede ser virtualmente independiente del diámetro del lecho del combustible, es decir, se tiene una proporcionalidad de la forma:

$$l/D \propto (Q_c / D^{3/2})^{2/5} \propto (Q_c^{2/5} / D) \dots(9)$$

La figura 3.9 presenta la gráfica de  $\log(l/D)$  vs  $\log(Q_c/D^{3/2})$  :

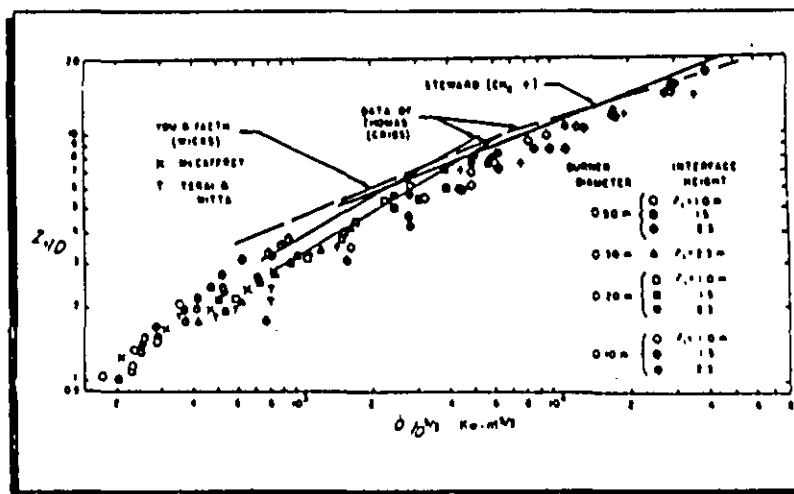


Figura 3.9: Dependencia de la altura de la flama con parámetros térmicos de la disipación del calor (2).

De acuerdo a los datos de Zukosky, para flamas visibles, se puede tener una expresión del siguiente tipo:

$$l/D = 0.23 (Q_c)^{2/5} \dots(10)$$

Cuando la relación  $l/D$  (o  $Z_f/D$ )  $> 6$  la llama producida presenta una estructura con vórtices simétricos como se ilustra en la figura 3.10. La formación de tales vórtices, es indicativo de la generación de una turbulencia grande del aire de los alrededores provocada por el mismo fuego.

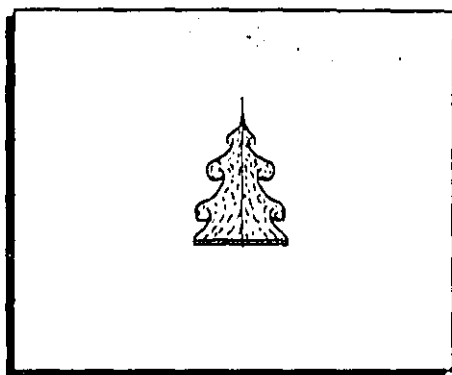


Figura 3.10: Estructura de flamas con vórtice simétrico (2).

Thomas et. al. (1961) determinaron que para relaciones  $l/D \leq 2$  la expresión (9) presenta un comportamiento lineal en coordenadas logarítmicas, esto es:

$$l/D \propto Q_c / D^{3/2} \dots (11)$$

Steward (1970) aplicando modelos conservativos de masa y energía para el modelado de la estructura de flamas, mostró que conforme se incrementa la altura de la flama, a ésta entra una cantidad mayor de aire (hasta un 400% en exceso) haciendo más turbulentas las corrientes de aire circundantes a la flama. Zukoski (1981) mostró también que para valores de  $l/D < 1$  la flama se separa o rompe en pequeñas "flamaletas", independientes entre sí, esto es, que no forman parte del cuerpo común de la flama. Comportamientos semejantes se han reportado en fuegos con lecho de combustible muy grande, con  $D > 100m$ , como lo pueden ser los de líquidos en tanques de almacenamiento (2).

Las expresiones anteriores (9, 10 y 11), para aspectos propios de la protección contra incendio a una refinera, pueden servir como guías para poder cuantificar niveles de disipación de calor y por lo tanto, del daño térmico probable a las instalaciones cuando se desarrolle un fuego en las mismas, conociendo principalmente, el diámetro del lecho del combustible que se pudiese quemar.

Cuando se tienen flamas en recintos cerrados, la altura de la flama se determina a partir de otras expresiones, ya que en estos casos, se considera el efecto de la interacción de las flamas con el recinto (paredes, techos, ventanas, etc.). La expresión principal es:

$$l \propto Q_c^{3/5} \dots (12)$$

Se observa aquí, que la dependencia de la altura de la flama con el término  $Q_c$  depende de un factor de  $3/5$  y no de  $2/5$  para flamas sin interacción alguna. Este hecho implica, que la interacción de la pluma de fuego con los alrededores provoca que la disipación de calor por convección  $Q_c$ , sea distinta para fuegos en espacios abiertos que en espacios cerrados. Al respecto, la figura 3.11 presenta la estructura normal de una pluma de fuego en espacios abiertos y la estructura de una pluma de fuego con interacciones en espacios cerrados, como puede ser el techo.

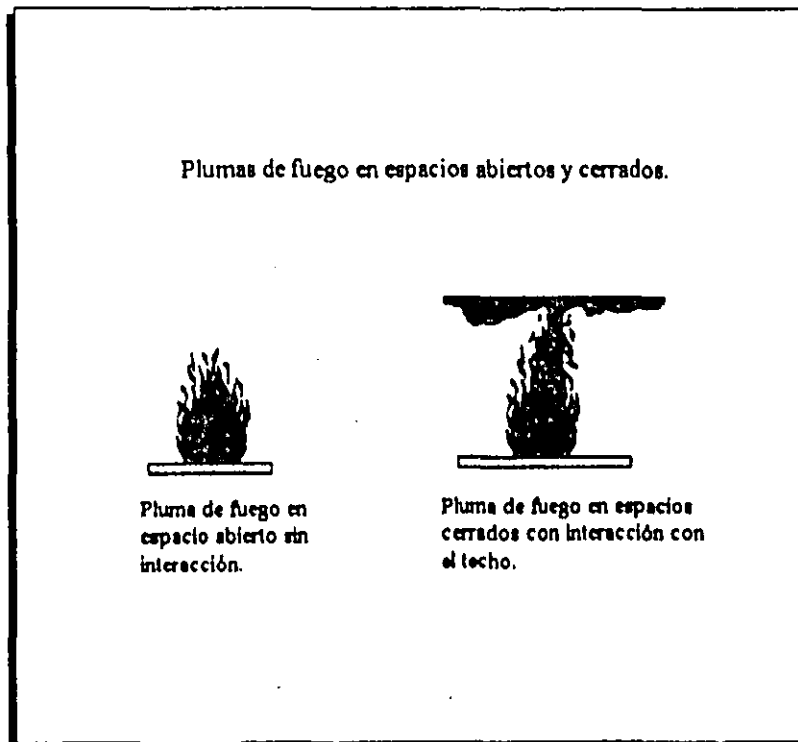


Figura 3.11: Estructura típicas de flamas en espacios abiertos y cerrados.

### 3.7.4) Efecto del viento en el comportamiento de las plumas de fuego:

#### A) *Fuegos en espacios abiertos:*

En espacios abiertos, una pluma de fuego, se deflexiona por efecto de las corrientes de aire o del viento y el grado de deflexión de la pluma de fuego dependerá básicamente de la velocidad del viento (2). Raj, et. al. (1979) realizaron estudios sobre el efecto del viento, en plumas de fuego de Gas Natural (LNG) y predicen el comportamiento de esta deflexión de acuerdo con la figura 3.12

En los fuegos desarrollados en áreas abiertas, típicos en plantas de refinación y/o químicas de gran tamaño, la deflexión de una pluma de fuego por acción del viento, puede crear situaciones de alto riesgo, ya que esta deflexión acentuará más la propagación del fuego a otros sitios de las instalaciones, tanto por radiación como por contacto directo de la llama. Es importante considerar también, la deflexión de una pluma de fuego en aquellas zonas de la planta que puedan presentar mayor riesgo de incendio, ya que los sistemas de protección contra incendio deberán diseñarse para que su acción no quede bloqueada por efecto de estas deflexiones.



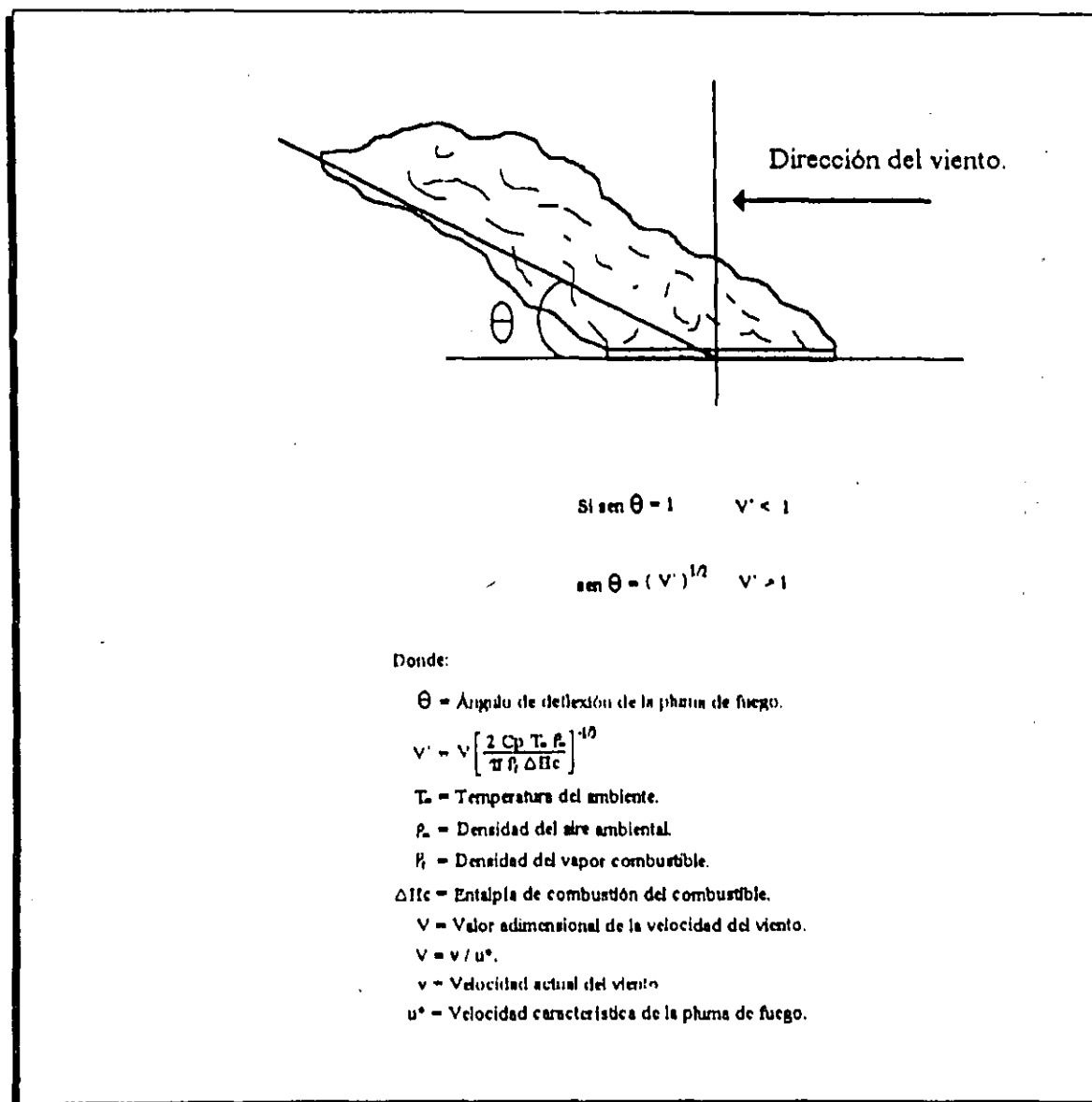


Figura 3.12: Deflexión de una pluma de fuego por acción del viento (2).

Una regla heurística que puede ser de utilidad para calcular el efecto de esta deflexión de una pluma de fuego, es que a una velocidad del viento de 2m/s, la pluma puede llegar a inclinarse hasta 45° y para fuegos, donde el lecho de combustible, se encuentre cerca o al ras de tierra, la flama puede cubrir (abrazar) la porción de tierra que se encuentra viento abajo, propagando al fuego hacia esta dirección por contacto directo de la llama (2). Otra regla heurística utilizada, Robertson (1976) y Lees (1980), es que el área cubierta por la deflexión de la pluma de fuego bajo estas mismas condiciones, puede tener una longitud "L" cercana o igual a la mitad del diámetro de la base del fuego (2). Esto puede verse en la figura 3.13.

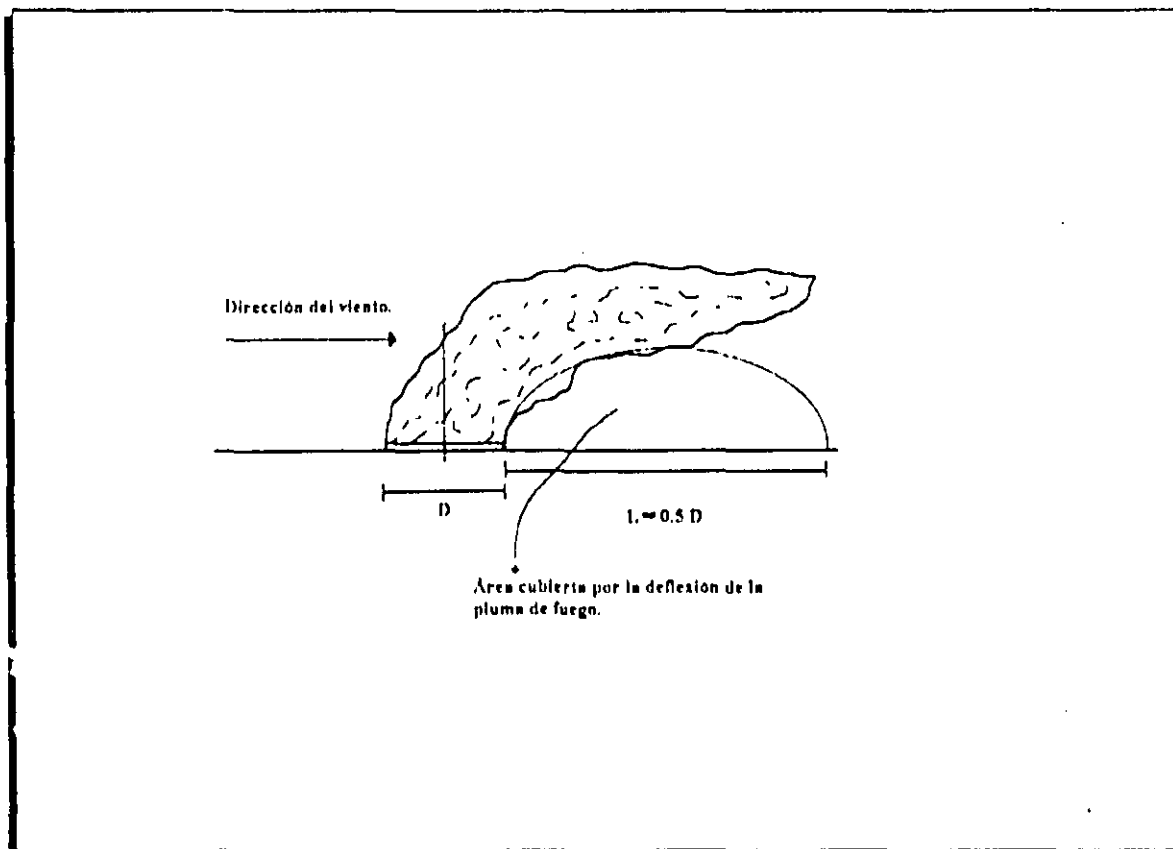


Figura 3.13: Área cubierta por la deflexión de una pluma de fuego por acción del viento (2).

El efecto neto de este hecho, es que se incrementa significativamente la exposición al fuego de todo aquel material que se encuentre viento abajo cerca o en contacto con la llama y que el área afectada, junto con los niveles de radiación térmica, se vean incrementados notoriamente. De este modo, en el desarrollo de la Ingeniería Básica de un proyecto, en la fase de elaboración de los Planos de Localización General de Equipo (PLG's), las situaciones en las que el fuego pueda propagarse hacia otros lados por efecto de esta deflexión, deben de preverse para reducir la facilidad de dispersión de lo que puede ser un conato de incendio. Esto es, que si una unidad de proceso dada se llegase a "incendiar", el fuego debe de quedarse preferentemente estancado en ese punto y no debe de tener facilidades de propagarse a otras direcciones (control del incidente). O bien, evitar que los equipos o sistemas de la protección contra incendio, queden nulificados (monitores, válvulas manuales, hidrantes, etc.) por el efecto de esta deflexión. Conociendo la dirección y velocidad de los vientos reinantes y/o dominantes del lugar, se determinará la forma que tendrá la deflexión de una pluma de fuego.

#### B) Fuegos en espacios cerrados:

El desarrollo de fuegos en áreas cerradas depende en sus fases iniciales (cuando comienzan a levantarse las llamas), de la disposición y entrada de aire al lugar, lo que indicará si tal conato

podrá o no convertirse en incendio, esto es, que el desarrollo de un fuego incipiente a incendio queda determinado por la afluencia del aire al lugar (o por la ventilación). Este hecho tiene efectos muy significativos en la velocidad de crecimiento de los fuegos desarrollados en estos espacios:

El comportamiento de la flama en recintos cerrados dependerá de las características del punto en el que se desenvuelva la llama. Si la pluma de fuego se encuentra en una esquina (o en la intersección de dos muros) se tiene como resultado una restricción de la entrada de aire a la llama, por lo que el resultado de este efecto es que las llamas se "pegarán" hacia las paredes. La extensión de la flama hacia un muro que no sea fácilmente "quemable" (de cemento o concreto), se debe a que la flama requiere incrementar su tamaño o área para que pueda entrar el aire más fácilmente al cuerpo de la llama y se mantenga la combustión (18). Las llamas desarrolladas en estos sitios no requieren ser necesariamente simétricas, pueden deflectarse por la interacción de ésta con los alrededores o por la acción de corrientes convectivas que se presenten en el lugar originadas por el movimiento ascendente y descendente de las masas de aire caliente y frías provenientes de la combustión. La figura 3.14 presenta como una pluma de fuego se pega a una pared cuando la entrada de aire a la misma se restringe y la estructura que toma un pluma de fuego cuando ésta interacciona con esquinas y techos en un recinto.

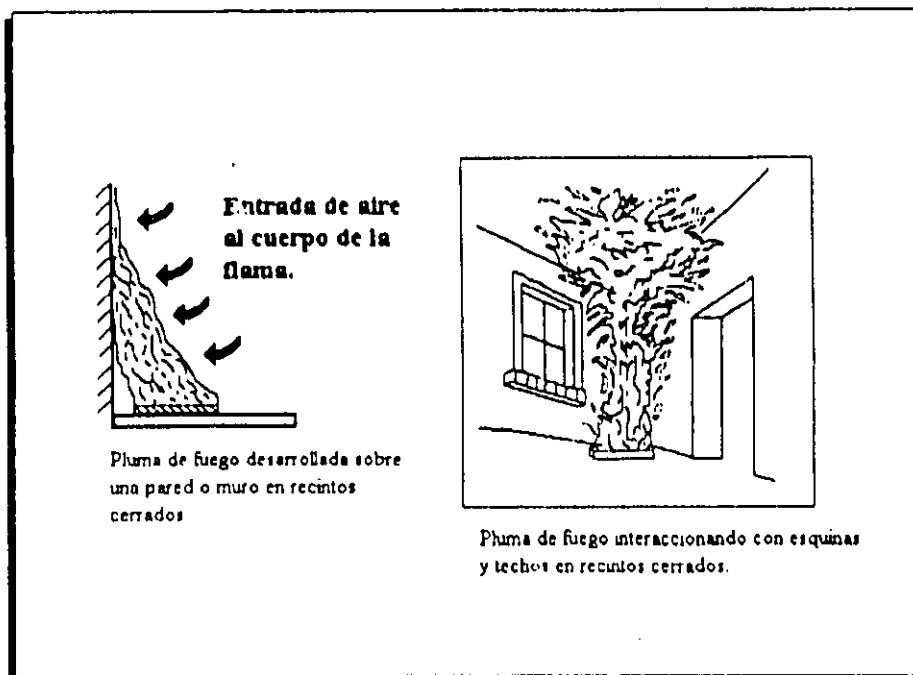


Figura 3.14: Estructura típicas de plumas de fuego interaccionando con los alrededores en espacios cerrados.

Si la altura de la pluma de fuego llega a interaccionar con el techo del recinto y en éste se hallan instalados detectores o sprinklers es muy probable que tales equipos queden bloqueados o dañados antes de que puedan accionarse. Este hecho debe de considerarse al diseñar o especificar tales sistemas para este tipo de instalaciones como pueden ser procesos industriales estructurados verticalmente, almacenes, bodegas, plataformas marinas, casas de bombeo y compresión, etc

#### 4.- SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO.

El objetivo básico que persiguen los sistemas de protección contra incendio, es evitar y minimizar la probabilidad de ocurrencia de un incendio, mitigando y nulificando las consecuencias destructivas del mismo, mediante la identificación de las causas y caracterizando los efectos de los peligros reales y potenciales de éste y por ende, abatiendo de forma directa los daños al personal de la planta, a la propiedad, interrupción de la producción e indirectamente, pérdidas de presencia en el mercado y/o el desprestigio por mala publicidad.

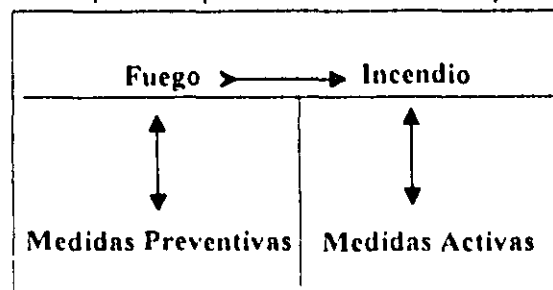
El diseño de tales sistemas, generalmente parte de poder localizar y detectar el peligro de incendio cuando éste se encuentre en su fase inicial, es decir, cuando es sólo fuego. De esta forma, el diseño de los sistemas de protección contra incendio comienza con el entendimiento de los conceptos del triángulo y tetraedro del fuego; es decir, de un análisis de la identificación y localización de los distintos peligros (o elementos) que puedan propiciar un fuego.

Una vez identificadas las causas que puedan propiciar un fuego y de caracterizar los efectos de los peligros reales y potenciales de éste, la etapa siguiente, es la búsqueda de los medios para mitigar, nulificar o minimizar estas causas y efectos. Las medidas a tomar están en función del análisis y cuantificación del riesgo existente de incendio, de las condiciones generales de las instalaciones a proteger y de la distribución de equipos y espacios en las mismas. Así, estas medidas las podemos dividir en dos tipos, acordes con sus propósitos básicos de protección:

- a) Medidas preventivas: Medidas que se toman antes de que un fuego se salga de control, se desarrolle y se propague, convirtiéndose en incendio.
- b) Medidas activas: Medidas que se ejecutan cuando se ha ya alcanzado el nivel de incendio, concernientes al control, combate y extinción de éste.

La tabla 4.1 presenta de forma resumida el contexto en el que estas medidas son aplicadas.

Tabla 4.1: Esquema de aplicación de las medidas de protección.



Las medidas preventivas están enfocadas a evitar que cualquier incidente con fuego, se salga de su contexto de control extinguiéndolo inmediatamente. Las contramedidas activas en cambio, implican el tener que realizar un ataque más directo con el siniestro en donde las acciones a tomar deben seguirse de forma ordenada y serán primordialmente tres:

- 1).- Controlar el incendio evitando que éste crezca o se propague.
- 2).- El combate directo con el incendio para propiciar las condiciones adecuadas para su posterior extinción.
- 3).- La extinción final del incendio.

De estos tres incisos, el control es considerado como el punto clave para un combate y extinción exitosa del suceso. El control de incendios se refiere a toda actividad encaminada a evitar la propagación de éste hacia otros lugares, o en su defecto, llevar el desarrollo del incendio en forma ordenada y controlada hasta que se consuma todo el material combustible afectado (a lo que se le denomina incendio estabilizado), en otras palabras, confinar al incendio a una cierta área que ya afecto y de la cual no pueda salirse o crecer.

Así, la extinción de un incendio, dependerá en mucho, de las acciones tomadas previamente, en las fases de control y combate. La extinción se aplicará cuando se tenga la certeza de que el incidente ha sido controlado efectivamente. Por lo tanto, podemos resumir que el desarrollo de esta logística de ataque (control, combate y extinción) involucra necesariamente el uso de alguno o una combinación de los distintos tipos de los sistemas de protección contra incendios que se describen brevemente en este capítulo.

El fundamento básico de la aplicación de tales sistemas de protección contra incendio, es el de poder excluir al menos uno de los tres o cuatro elementos que propicien al fuego, según con las teorías del triángulo o del tetraedro del fuego como se trató en el capítulo anterior. Así pues, contamos con distintos tipos de sistemas de protección contra incendio donde la naturaleza de los mismos, radica en la manera en la que éstos puedan nulificar la interacción simultánea de estos tres o cuatro elementos. Así, una vez detectadas las causas que originan un fuego y/o incendio, surge la pregunta. ¿Cuál de estos tres o cuatro elementos es al que hay que separar o nulificar para que no pueda haber interacción de todos al mismo tiempo?. La respuesta es: "aquel que sea más fácil de retirar, nulificar o mitigar dependiendo de la naturaleza y magnitud del riesgo que se presente". En la siguiente sección, se propone como deben de considerarse y visualizarse el diseño y especificación de estos sistemas en el desarrollo de la Ingeniería de Proyectos.

#### **4.1) Contexto en el que se desenvuelven los sistemas de protección contra incendio en el desarrollo de la Ingeniería de Proyectos:**

La complejidad propia para el correcto uso y selección de los sistemas de protección contra incendio, ha llevado a autores como West y Brown (24) desde la década de los setentas, ha desarrollar esquemas para el análisis de tales sistemas, aplicados a la Ingeniería de Proyectos. Este análisis trata de desarrollar guías para el diseño de sistemas confiables y seguros, en los que la probabilidad de que sucedan eventos potencialmente peligrosos sea mantenida en niveles aceptables de riesgo. El resultado inmediato de tener tales sistemas de protección contra incendio en plantas de refinación, es el de poder diseñar y especificar equipos o sistemas que mitiguen, supriman o nulifiquen el efecto de un peligro potencial de fuego. En otras palabras, la finalidad de estos sistemas es el minimizar los daños de cualquier tipo, que se pudieran tener si se presentase una situación de peligro con fuego.

La clave para un diseño eficaz y confiable de tales sistemas, radica en poder identificar los riesgos de incendio y caracterizar la magnitud del potencial destructivo de éstos. La manera en la que tal identificación y caracterización se pueden formalizar e integrar a la Ingeniería de Proyectos, es visualizándolos como medios de elaboración de nuevos esquemas de las bases de diseño. Estas bases se refieren al establecimiento (por escrito) justamente, de una base completa de diseño; es decir, antes de proceder a realizar cualquier tipo de cálculos de diseño, se desarrolla una base que sirve como guía o sustento de tales cálculos. Los elementos incluidos en este documento son principalmente cuatro:

- 1) Cantidades y especificaciones de los productos deseados.
- 2) Características de las materias primas a usar.
- 3) Tipos de servicios requeridos.
- 4) Condiciones de presión y temperatura en las que deben de llegar las materias primas y en las que deben salir los productos, entre otros.

Adicionalmente, estas bases también contemplan la selección de los factores de seguridad a utilizar en los diseños. La selección de los factores de seguridad, suele a veces, despreciarse, porque en los algoritmos de diseño de equipos y/o del proceso en general, se introducen de forma ya explícita algunos de estos factores de seguridad (por ejemplo, el sobredimensionamiento de equipos). Pero en otras ocasiones, puede ser que el diseño no considere estos factores, por lo que se tiene que tomar en tales situaciones, una actitud menos conservadora y más realista sobre el peligro de fuego.

En resumen, podemos afirmar que las bases de diseño, son los lineamientos bajo los cuales se diseñará la planta o proceso y pueden o no incluir factores de seguridad ya explícitos por el mismo algoritmo de diseño. Para nuestro caso, se deben de desarrollar esquemas que contemplen dentro de tales factores, el riesgo de incendio en los equipos o en el proceso en general. Así, a través de la evaluación de las bases de diseño para la protección contra incendio, éstas podrán ser correctamente especificadas una vez que se hallan identificado y caracterizado todos los eventos potenciales y reales de riesgo de incendio.

El estudio de estas bases, se puede dividir en tres secciones para los propósitos de la protección contra incendio y estructurarlas e integrarlas al documento requerido por la Ingeniería de Proyectos; estas tres secciones son:

- a) Identificación de riesgos o definición de los accidentes.
- b) Desarrollo y evaluación de nuevas bases de diseño para la protección contra incendio.
- c) Definición y diseño de los sistemas de protección contra incendio.

El análisis aquí presentado, es una aproximación ingenieril integrada a la prevención y protección contra incendio que trata de incorporar un método para el diseño de estos sistemas, que sea común al desarrollo de la Ingeniería Básica y de Detalle requeridas por un proyecto dado y en general que sea aplicable y compatible con los códigos y/o regulaciones legislativas vigentes. Se describen a continuación las características de estas tres partes:

**a) Identificación de riesgos o definición de los accidentes:**

En esta parte, se recurre al uso de diversas técnicas de análisis de riesgos que existen en la actualidad para poder identificar y cuantificar todos los posibles riesgos de incendio que se pudieran tener durante la operación de la planta. Algunas de estas técnicas pueden ser por ejemplo, la aplicación del Índice Dow, Índice Mond, Estudios HAZOP (Hazardous and Operability Studies), Análisis Lógico de Fallas, entre otros.

**a.1) Evaluación de las condiciones de incendio:**

Una vez identificados los peligros o riesgos de incendio y el impacto del potencial destructivo de éstos a las instalaciones o al ambiente, los efectos de tales sucesos se pueden modelar y/o simular a través de paquetes de software propios para tales fines. O en su defecto, se puede recurrir al uso y resolución de las ecuaciones matemáticas que predigan (simulen) tales efectos. Estas ecuaciones pueden ser desde modelos semi-empíricos de Flujo de Fluidos y/o de Transferencia de Calor hasta modelos mucho más elaborados que consideren el efecto de diversas variables ambientales u operativas. Esta misma evaluación se puede hacer también recurriendo a modelos estadísticos, basados en los datos proporcionados por la investigación de accidentes de incendios y/o explosiones que han ocurrido tiempo atrás (evaluación histórica). Esta evaluación histórica sirve como medio de apoyo para desarrollar nuevas bases de diseño, más confiables y seguras, respecto a la protección contra incendio; estos conceptos pueden ser resumidos en la figura 4.1:

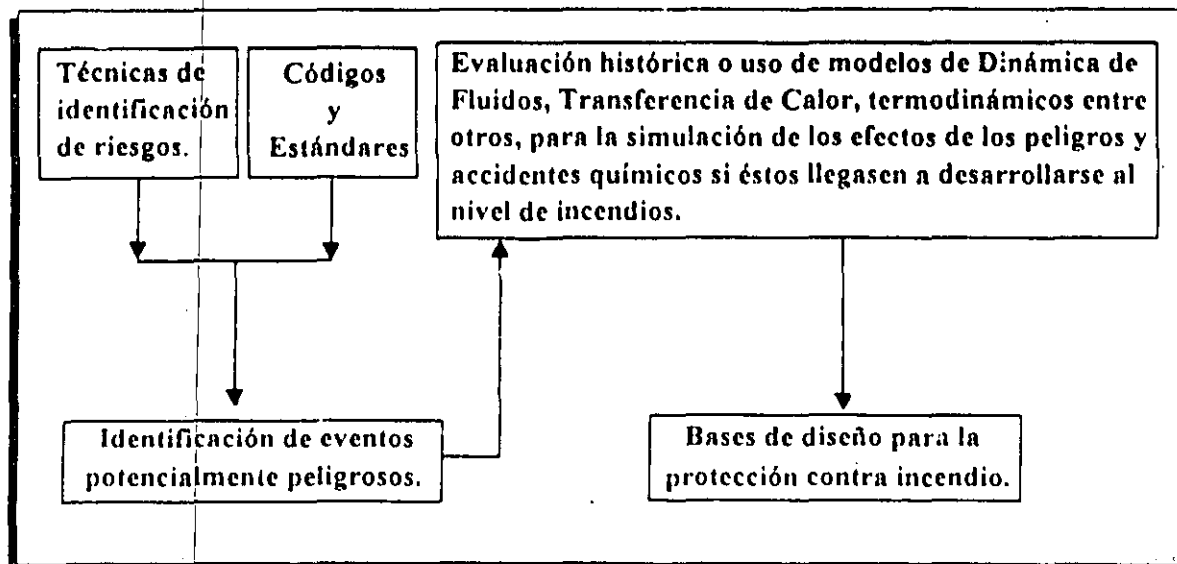


Figura 4.1 : Ejemplo de un esquema en el que se puede fundamentar el desarrollo de nuevas bases de diseño (24).

**b) Desarrollo y evaluación de nuevas bases de diseño de la protección contra incendio:**

De acuerdo a los resultados obtenidos por los modelos de la Dinámica de Fluidos, de la Transferencia de Calor y de la Termodinámica principalmente, se puede predecir aproximadamente el comportamiento disipativo del material inflamable o combustible si se llegase a fugar de un equipo y por lo tanto, el como sería la dinámica del fuego si este material fugado llegase a tener contacto con alguna fuente de ignición produciendo fuego. El término dinámica del fuego debe de verse más precisamente, como un concepto que ayuda a determinar el comportamiento que puede presentar un fuego para llegar al nivel de incendio. Esta información, debe de suministrar los criterios necesarios para poder desarrollar nuevas y mejores bases de diseño requeridas para los fines de la protección contra incendio de plantas de tipo químico.

**c) Definición y diseño de los sistemas de protección contra incendio:**

La potencia destructiva de un incendio, suele cuantificarse de diversas maneras, una puede ser acorde con un recuento de sucesos históricos, en los que se puede evaluar esta potencia destructiva (14) y la otra es a partir de la contabilización de pérdidas económicas, de material y equipo afectado o dañado durante la contingencia. Así, desde un punto de vista físico, los incendios generalmente se pueden caracterizar por la alta cantidad de energía térmica producida y disipada en los mismos, lo anterior se puede traducir como una estimación del potencial de daño térmico que puede producir un incendio a los equipos y/o estructuras, cercanos o alejados al punto de origen del mismo.

Una forma aproximada de poder modelar las causas y efectos de un incendio, con la interrelación de distintas disciplinas ingenieriles, se presenta en la figura 4.2. Se propone aquí, un esquema aproximado para la simulación de las causas, efectos y daños potenciales provocados por la presencia de incendios, acordes con los tres incisos tratados antes.



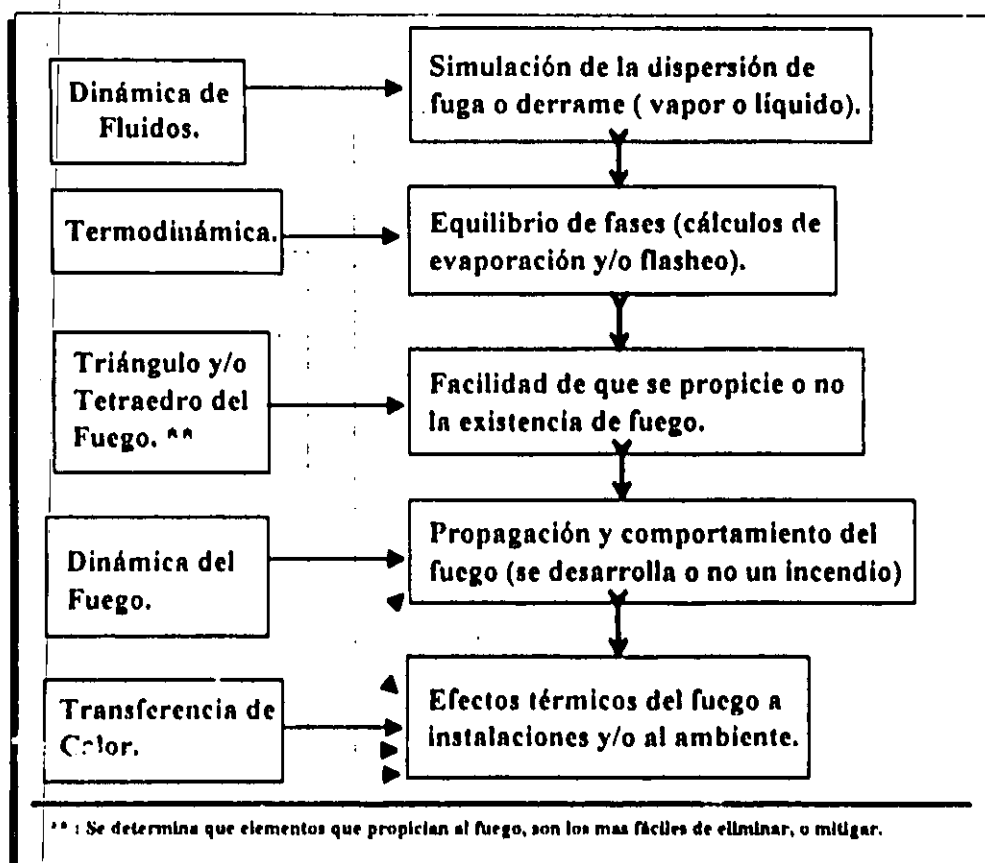


Figura 4.2 : Esquema propuesto de simulación (aproximado) para la determinación de las causas, efectos y daños potenciales provocados por el desarrollo de los incendios

Dentro de la definición de los sistemas de protección contra incendio, una vez que se hallan identificados todos los posibles eventos peligrosos que pudiesen ocurrir durante la operación de la planta, el siguiente paso es el aplicar mecanismos que puedan mitigar o minimizar la presencia de posibles fuentes que propicien un incendio. En términos operativos, hablamos de proveer a los distintos equipos de proceso (en su construcción, instalación y arranque) de medios para reducir la dispersión y propagación de la fuga o del derrame de líquido o gas, a través de diques, sistemas de aspersión, extinguidores, agua, drenajes, espumas contra incendio, etc. (13).

El desarrollo de las bases de diseño, debe contemplar la aplicación tanto de medidas preventivas como activas, ya que ambas harán uso del sistema contra incendio según se requiera, pero se necesita saber como definir al sistema contra incendio. Esta definición comienza con la elaboración de las bases de diseño en las que se sustentará el diseño de este sistema para posteriormente poderlo construir, operar y mantener, para finalmente, capacitar y entrenar a los recursos humanos de la planta en el uso correcto de este sistema. Este esquema de definición de los sistemas contra incendio se sintetiza en la figura 4.3:

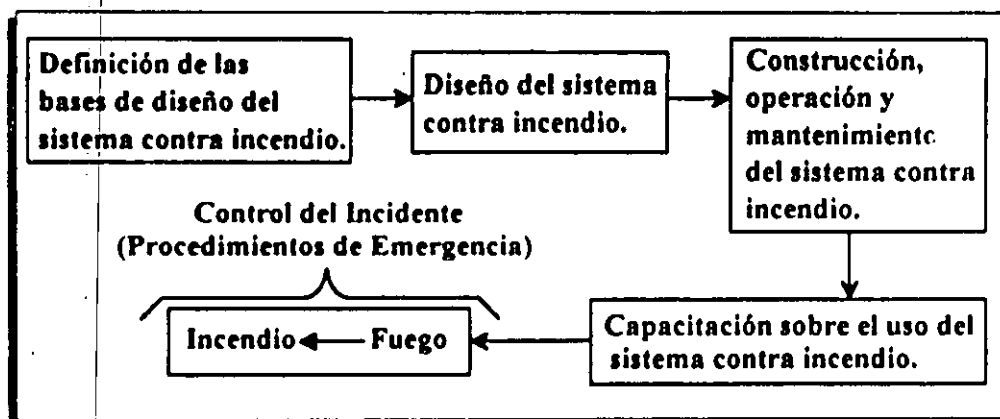


Figura 4.3 : Definición del sistema de protección contra incendio.

La integración de las tres secciones en las que se divide el análisis de los sistemas de protección contra incendio (identificación de accidentes, nuevas bases de diseño y definición del sistema contra incendio), se esquematizan en la figura 4.4.

#### 4.2) Descripción de los sistemas de protección contra incendio:

Los sistemas de protección contra incendio en la práctica ingenieril se pueden clasificar en dos tipos (10):

- a) Sistemas de protección fijos
- b) Sistemas de protección semifijos.

Los sistemas fijos, se refieren a todos aquellos sistemas de protección en los que su instalación es completa, es decir, que no requieren de fuentes externas para su funcionamiento. Algunos ejemplos de estos sistemas pueden ser:

- a) Red de agua contra incendio : Compuesta por fuentes primarias (lagunas, ríos, presas, mares, etc.) o fuentes secundarias (tanques de almacenamiento, cisternas, agua de servicios municipales, etc.), sistemas de bombeo, anillos de tubería, hidrantes, monitores, aspersores, válvulas de seccionamiento, etc.
- b) Sistemas dosificadores de espuma : Compuesto de válvulas, tuberías, conexiones, bombas, dosificadores de solución de espuma y agua, cámaras de inyección subsuperficial, hidrantes, monitores, aspersores, etc.
- c) Sistemas de inyección de CO<sub>2</sub> : Compuesto de cilindros de almacenamiento de gas a presión, tubería de distribución, detectores de flama, tablero de distribución, inyectores, etc.

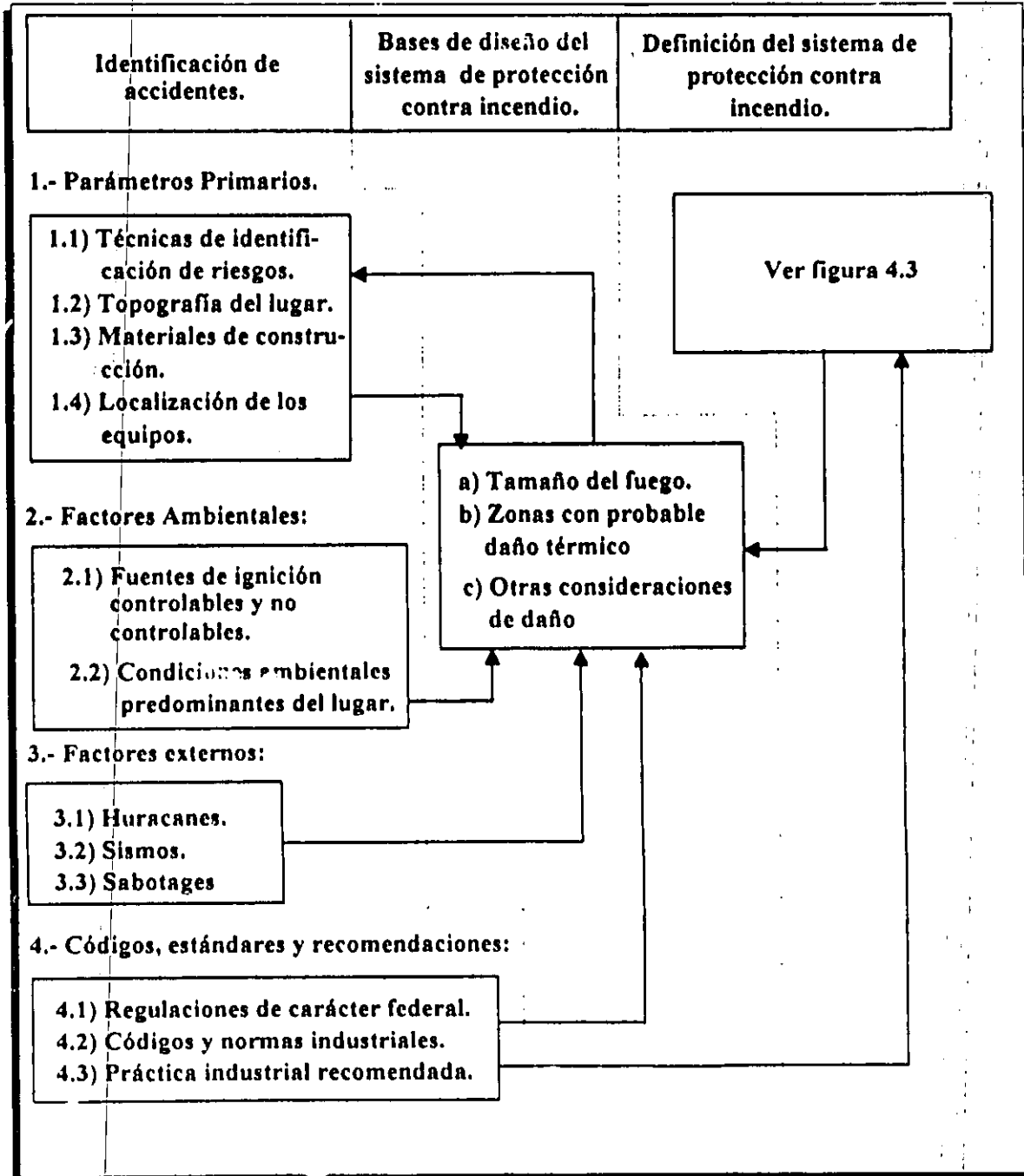


Figura 4.4 : Esquema en el que se desenvuelven los sistemas de protección contra incendio dentro de las bases de diseño (24).

Los sistemas semifijos se refieren a todos aquellos sistemas de la protección contra incendio que necesitan para su funcionamiento, de alguna fuente externa o complementaria para operar adecuadamente (o que su funcionamiento requiere de presencia humana). Algunos ejemplos típicos de estos sistemas pueden ser:

a) Sistemas de espuma : Generalmente empleados en las áreas de almacenamiento de las refinerías, ya que por el tamaño y la cantidad de los tanques de almacenamiento (no muy grandes), la instalación de un sistema fijo puede ser muy costosa. Se refiere a la protección individual de cada tanque y su contenido. Consta generalmente de hidrantes, boquillas aspersoras de gran capacidad, tomas para vehículo contra incendio, etc.

b) Sistemas de extinguidores : Compuestos por extinguidores portátiles de tamaño, peso y capacidades variadas, distribuidos a lo largo de toda la instalación de manera tal, que sean fácilmente localizables y maniobrables por el personal que labora en el lugar. Puede o no considerarse el uso de extinguidores de apoyo (de mayor capacidad y montados generalmente sobre ruedas) para fines de protección.

El uso simultáneo de ambos sistemas en las operaciones de ataque al fuego, es complementario y ninguno excluye al otro. Podemos decir al respecto, que si bien es cierto que los sistemas fijos no pueden fallar por errores de tipo humano (pues son automáticos), no ofrecen la flexibilidad operativa de los sistemas semifijos. Sin embargo, los sistemas fijos son el medio por el que muchos sistemas semifijos operan. Por ejemplo, la red contra incendio como sistema fijo, proporciona el agua requerida para el funcionamiento de algunos de los sistemas semifijos, como monitores, hidrantes o tomas para vehículo contra incendio. O en otras palabras, para que un sistema fijo cumpla cabalmente con sus objetivos de protección, requiere que a éste se le instalen los medios para que puedan funcionar los sistemas semifijos de manera simultánea.

#### 4.2.1) Elementos de la red contra incendio:

La red contra incendio, en una planta de refinación, por la naturaleza propia de ésta, es un elemento básico y clave para la adecuada protección de las instalaciones. El dimensionamiento de esta red, como sistema fijo, debe de poder suministrar a tiempo, los gastos de agua requeridos para la protección contra incendio de los diversos elementos que la conforman (sistemas semifijos). El dimensionamiento de las líneas de tubería de la red, se dan en el capítulo 8 de este trabajo. Aquí, hablaremos de las principales características de los elementos que conforman a este sistema. Los elementos aquí descritos, son: a) Mangueras contra incendio e Hidrantes, b) Monitores, c) Sistemas de Aspersión y de forma adicional, d) Vehículos contra incendio. Todos los elementos anteriores, los podemos visualizar, como medios de aplicación del agua para fines prácticos de la protección contra incendio.

##### a) Mangueras Contra Incendio e Hidrantes:

Las mangueras contra incendio son de los medios más eficaces para el combate a incendios en las distintas fases por la que éstos se desenvuelven. Las longitudes de estas mangueras son variables, pero las más comunes en plantas de proceso, son de 15 metros y 30 metros y con diámetros de las boquillas de 1½ in y 2½ in, de acuerdo con los Códigos NFPA 14 (Código para Sistemas de Conexiones y Mangueras Contra Incendio) y NFPA 1963 (Código para las Conexiones y Juntas Roscadas para Mangueras Contra Incendio).

En el extremo de las mangueras, se maneja la boquilla o "chiflón", cuya función es la de aumentar la velocidad del agua y disminuir el tamaño de las gotas del agua. Estas boquillas tienen

la capacidad de convertir los chorros de agua en distintos patrones de aplicación dependiendo de las necesidades requeridas para enfriamiento o protección de los equipos. La figura 4.5 muestra los principales tipos de patrones de flujo aplicados por las mangueras.

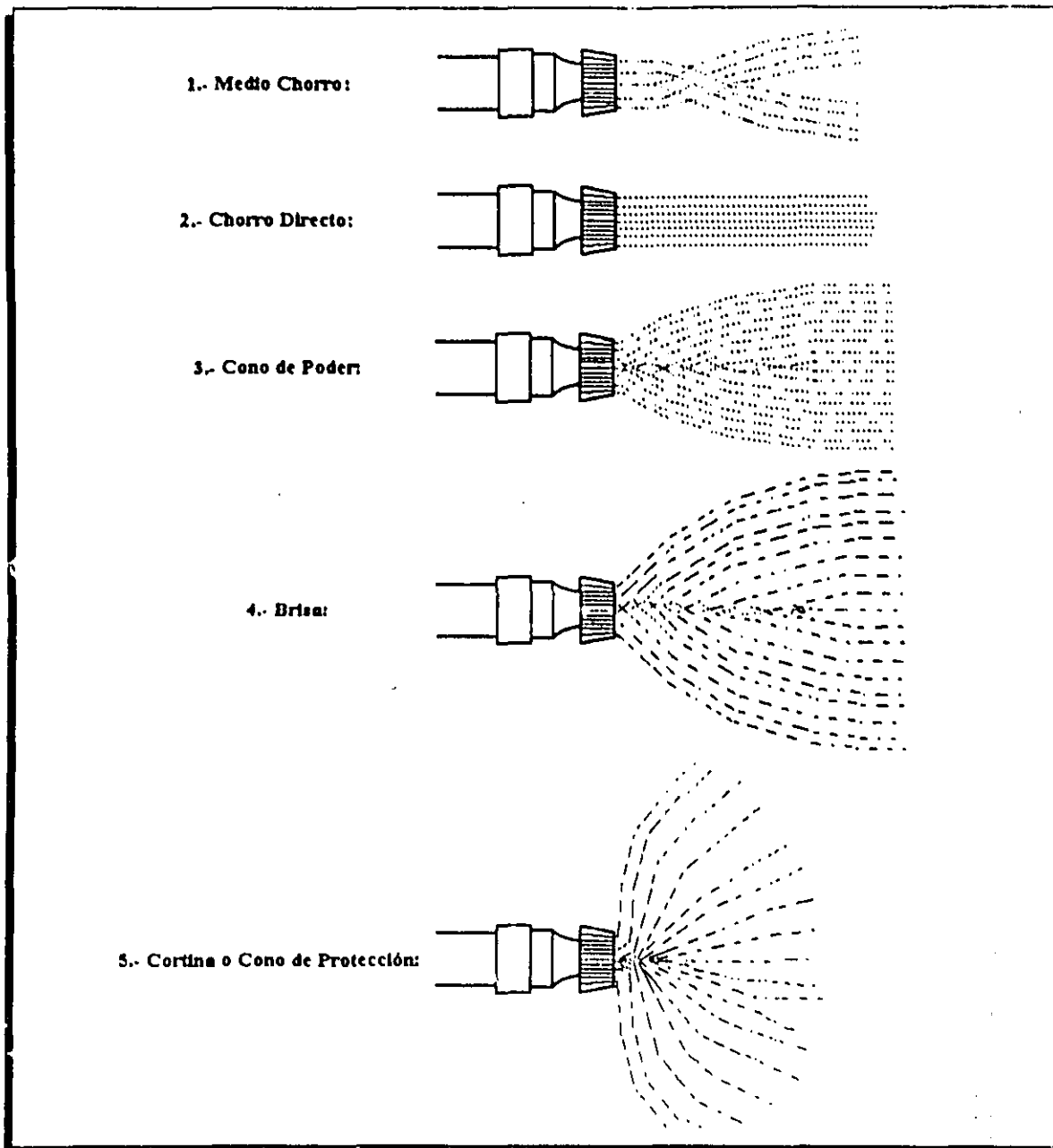


Figura 4.5 : Distintos patrones de flujo proporcionados por las boquillas de las mangueras contra incendio.

El empleo de los distintos patrones de flujo o chorros de las mangueras se emplean dependiendo de las necesidades que se tengan durante el ataque al incendio. Algunas de las características principales de estos patrones de flujo son:

Medio Chorro : Se usa generalmente para combatir pequeños fuegos localizados en interiores que todavía no se han desarrollado o propagado al nivel de incendio.

Chorro Directo : Es un chorro con gran alcance, por lo que es la primer forma de acercamiento a un incendio. Cuando se tiene un incendio bien desarrollado, se emplea este chorro como medio de avance o penetración al lugar afectado. Igualmente se puede emplear como medio de corte o barrido de material líquido o sólido combustible para separarlo de las llamas del incendio adyacente. Es también adecuado para el enfriamiento de un equipo afectado por las llamas, pero todavía sin una gran capacidad de enfriado.

Cono de Poder : Se emplea para combatir incendios originados por líquidos inflamables o combustibles, ya sea para barrido o corte del mismo, para enfriamiento del equipo afectado, ya que puede absorber grandes cantidades de calor y como medio de avance hacia la fuente de origen del incendio.

Brisa : Este es el patrón de flujo más recomendado para absorber el calor liberado durante un incendio y por lo tanto para enfriar al o los equipos afectados y para extraer al calor (ventilación forzada) en incendios de recintos cerrados. El agua presenta una mayor capacidad de enfriamiento cuando ésta se aplica con tamaños de gotas relativamente pequeños (10 micras en promedio). Las gotas de agua son más fácilmente evaporables que un chorro directo de agua, de ahí esta mayor capacidad de enfriamiento de tal patrón de flujo. También, este patrón cubre una mayor área a enfriar que un chorro directo.

Cortina : Este es el patrón específico y recomendado para proteger al factor humano durante un avance cuando se requiera acercarse demasiado a la fuente o centro del incendio. Este es el mejor patrón de protección del elemento humano para contrarrestar el efecto de la disipación de calor por radiación en un incendio.

El hidrante es el dispositivo (acoplado a la red) en el que se conectan las mangueras para el suministro del agua contra incendio. Los hidrantes pueden tener una o dos tomas de 1 1/2 in o 2 1/2 in. de diámetro. Los hidrantes deben de suministrar un flujo a las mangueras de al menos 100 gpm para tomas de 1 1/2 in y de 250 gpm para tomas de 2 1/2 in y deben de operar a una presión de descarga no menor a 7 Kg/cm<sup>2</sup> (man.). Las características básicas de funcionamiento e instalación de éstos dispositivos, se pueden ver en el Diagrama de Detalles (PS-002) del capítulo 8 de este trabajo.

b) Monitores:

El monitor es un dispositivo (acoplado a la red) que presenta al igual que las mangueras contra incendio, una boquilla regulable, que puede suministrar al menos tres de los cinco patrones de flujo tratados antes (chorro directo, cono de poder y brisa o niebla). El monitor dirige la boquilla haciéndola girar a 360° en el plano horizontal y 120° en el plano vertical. Los monitores deben de suministrar los gastos de agua requeridos en función del nivel de riesgo de incendio que la planta de proceso presente. Algunos de los gastos típicos de estos dispositivos para algunas plantas vienen reportados en la literatura técnica (10) y son por ejemplo:

- a) Plantas de Refinación : 500 gpm.
- b) Plantas Petroquímicas : 1000 gpm.
- c) Áreas de Almacenamiento : 500 gpm

La distribución de los monitores en el área de proceso a proteger, se debe de hacer en función del alcance que éstos tengan si suministran el agua como chorro directo o como brisa o niebla. Se debe de considerar, también, el nivel de riesgo que presente el área a proteger y la dirección de los vientos reinantes y dominantes en el lugar. Las características de operación e instalación de estos dispositivos se presentan también en el Diagrama de Detalles (PS-002) del capítulo 8.

c) Sistemas de Aspersión (Subsistemas de Protección de la Red de Agua Contra Incendio):

Se denomina bajo este término, a la protección (en forma de anillo) en recipientes de proceso (horizontales generalmente), que manejen, procesen y/o almacenen líquidos inflamables o combustibles. La finalidad básica que buscan estos sistemas, es proteger (por enfriamiento) a tales equipos, de la radiación que pueda provenir de un incendio adyacente. Tal radiación, puede incrementar la temperatura del recipiente y por lo tanto aumentar la vaporización del líquido contenido en éste (aumento de la presión) con el peligro inmediato, de hacer estallar al recipiente. Se puede decir, que estos sistemas son la característica fundamental con la que se puede identificar a una red de agua contra incendio, ya que el uso de estos sistemas, puede adicionalmente controlar, extinguir y prevenir un incendio en las instalaciones a proteger. Las características principales en el funcionamiento e instalación de tales sistemas, se pueden consultar también, en el Diagrama de Detalles (PS-002) del capítulo 8 de este trabajo.

d) Vehículos Contra Incendio:

Se describe brevemente, algunas de las características más importantes de estos vehículos, pero no se desarrolla la especificación completa y detallada de los mismos, ya que esto, sale del alcance de este trabajo. El uso de tales vehículos sirve como un medio complementario a la protección contra incendio que otorgan los sistemas fijos.

De acuerdo con varios manuales técnicos (3 y 10), los vehículos contra incendio son utilizados, especialmente en la industria de refinación del petróleo, con la finalidad de poder transportar al sitio de la refinería donde ocurra el incendio, los medios apropiados para la extinción oportuna de éste, de manera, tal, que complemente el ataque al fuego de los sistemas fijos o semifijos que se hayan considerado durante el diseño de la planta. Los vehículos contra incendio se pueden clasificar de acuerdo a sus características operativas, en alguno de los cinco tipos presentados a continuación:

- a) Camión bomba para agua: (VCI-BA).
- b) Camión Cisterna : (VCI-A).
- c) Camión con Tanque de Agua y Sistema Dosificador para Líquido Generador de Espuma Mecánica. (VCI-EM).

d) Camión con Sistema de uso de Polvo Químico Seco: (VCI-PQS).

e) Camión con sistemas mixtos, compuesto por alguna de las combinaciones entre los incisos "a", "b" y "c": (VCI-MX).

La figura 4.6 muestra tres de los principales vehículos contra incendio más utilizados en las refinерías para fines de la protección contra incendio:

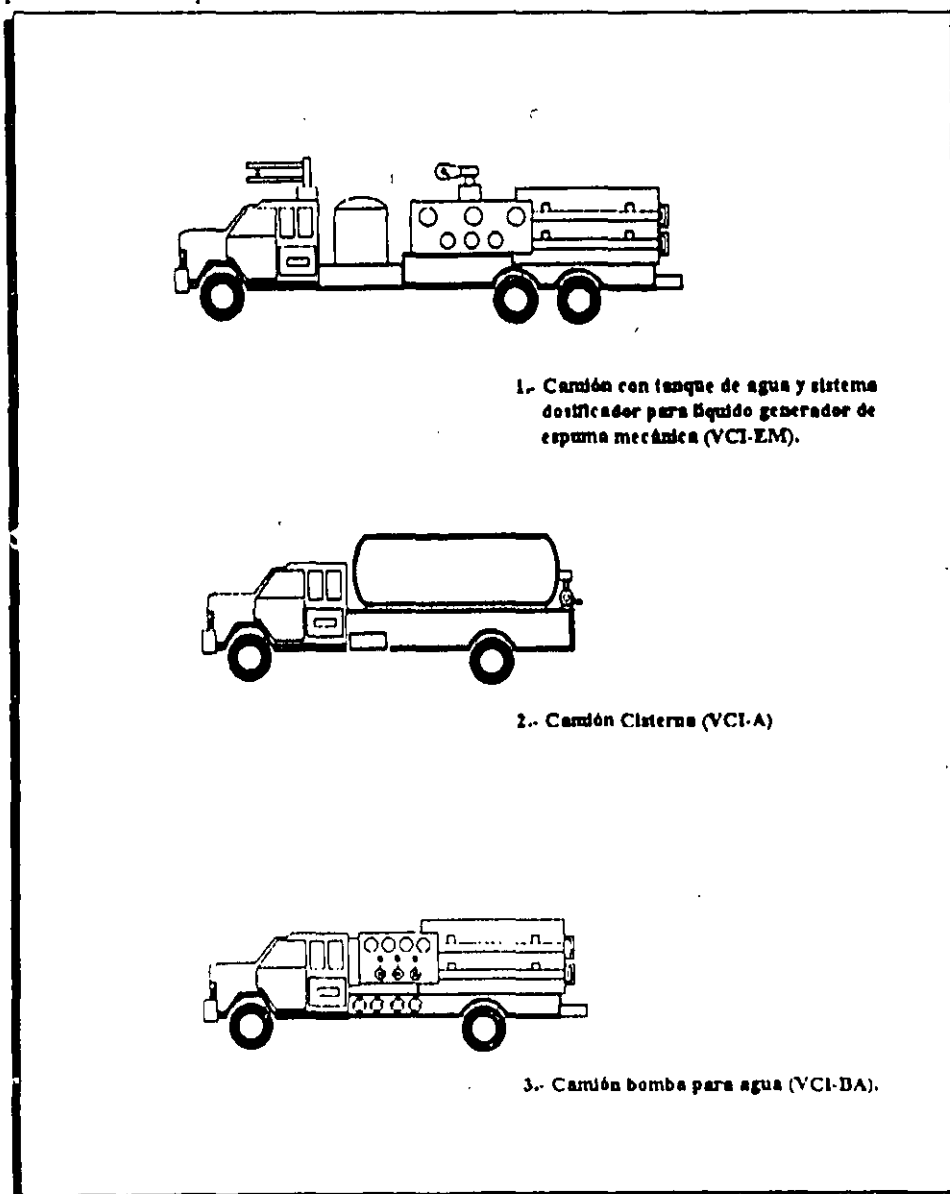


Figura 4.6 : Tipos de Vehículos Contra Incendio más usados en plantas de refinación.



Los vehículos contra incendio, desde un punto de vista operativo, son utilizados para proporcionar los siguientes requerimientos durante las operaciones de control, combate y extinción del fuego:

- a) Generación de espuma mecánica en el sitio donde se pueda presentar el incendio (ya sea que genere la espuma con el propio tanque de agua del vehículo o que éste pueda conectarse a alguna toma de la misma red).
- b) Aplicación de agua en forma de chorro, niebla (brisa) y/o cortina para las operaciones de enfriamiento de equipos siniestrados y de corte y/o de dilución de material inflamable o combustible derramado.
- c) Aplicación de polvo químico seco para el control y extinción de incendios.

Los camiones contra incendio con sistemas mixtos (VCI-MX) se usan en refinerías por un aspecto logístico en el combate a incendios, ya que éstos permiten desarrollar un ataque diversificado al fuego, dependiendo de las necesidades que se presenten en este combate. Si los requerimientos son el enfriar los equipos y suprimir la formación de vapores o del fuego ya existente por ejemplo, se puede efectuar el enfriamiento mediante la aplicación directa del agua (en brisa o niebla) y la supresión de los vapores o del fuego mediante la aplicación simultánea de espuma mecánica

Actualmente, de acuerdo con el Código NFPA 1901 (Código para Equipos y/o Aparatos de Bombeo Contra Incendio), contempla de manera opcional, la utilización de vehículos contra incendio a los que se les integre una pluma articulada de tres secciones para suministrar espuma y/o agua a gastos relativamente altos (2000 a 4000 gpm) y con diferentes posiciones de la pluma. Esto da una mayor capacidad de extinción de incendios en especial, los que se tienen en tanques de almacenamiento de hidrocarburos inflamables o combustibles con dimensiones muy grandes. La pluma integrada al camión presenta un alcance máximo aproximado (en altura) de 70 ft, lo que facilita las maniobras de control, combate y extinción de incendios. En la figura 4.7 se presenta un esquema de este tipo de vehículos.

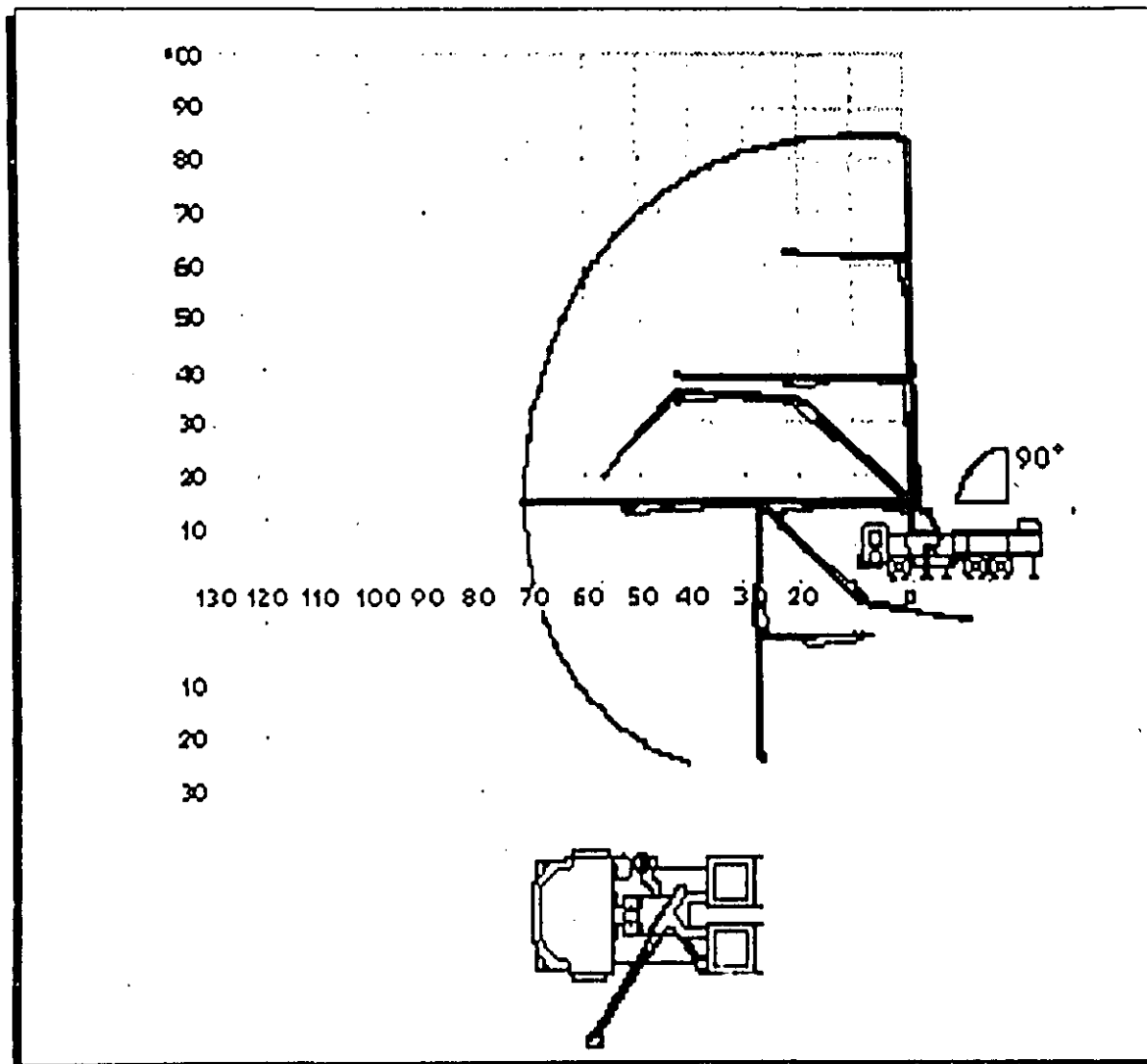


Figura 4.7 : Esquema para vehículos contra incendio, acoplados con pluma de tres brazos, para suministrar agua y/o espuma a gastos altos (2000 a 4000 gpm).

4.2.2) Extinguidores:

Antes de describir las características principales de estos sistemas, debemos de hacer algunas aclaraciones en cuanto al vocabulario manejado:

Extinguidor: Se refiere al material o polvo contenido en el equipo.

Extintor: Se refiere al equipo en si, cilindro, manguera, válvula, etc..

Extinguir Se refiere a la acción de apagar un fuego.

En esta tesis utilizaremos libremente los dos primeros términos para referirnos indistintamente tanto al equipo como al polvo. Los extinguidores (como un sistema integral de protección) por su

capacidad y por su fácil manejo, se utilizan para controlar y atacar conatos de incendio, nunca para incendios declarados. En nuestros días, se cuenta con una gran cantidad de materiales con capacidades de extinción. La aplicación de tales materiales en tareas de supresión del fuego, no sólo se hace con equipos portátiles (sistemas semifijos), sino que también se ha generalizado su uso en sistemas fijos. En esta sección, se excluye el hablar de extinguidores a base de halon, por considerar que éstos están cayendo actualmente en desuso, debido a que contribuyen al adelgazamiento de la capa de ozono. Los tipos de extinguidores más frecuentemente usados en plantas de proceso, son los que se describen en la siguiente sección.

### 1.- Tipos de extinguidores:

Los extinguidores se clasifican de acuerdo al tipo de fuego a suprimir o del que se pueda presentar en el área a proteger, ya sea clase A, B, C o D. Los extinguidores más comunes utilizados actualmente (excluyendo a los halones) son:

#### 1.a) Extinguidores de agua:

Se emplean principalmente para conatos de incendio tipo A, es decir, de fuegos en sólidos ordinarios.

#### 1.b) Extinguidores a base de bióxido de carbono:

Es el tipo de extinguidores más utilizados para extinguir fuegos tipo C principalmente, por no ser conductor de la electricidad, pero puede utilizarse también para fuegos tipo B, a partir de la exclusión (sofocamiento) del oxígeno del aire de la superficie del material que se este quemando.

#### 1.c) Extinguidores de polvo químico seco (PQS):

Se manejan tres tipos de polvos:

- 1.- A base de bicarbonato de sodio para fuegos tipo BC.
- 2 - A base de bicarbonato de potasio para fuegos tipo BC.
- 3.- A base de fosfato monoamónico para fuegos tipo ABC (universal).

La capacidad extinguidora de los polvos químicos secos (PQS), radica en poder inhibir la reacción en cadena que se presenta en los fenómenos de combustión. El polvo químico interactúa con los radicales  $H\cdot$  y  $OH\cdot$  que son las especies principales responsables de propagación de la reacción química en cadena, produciendo especies más estables o menos reactivas; inhibiendo así, a la reacción en cadena eliminando uno de los elementos que propician al fuego. La figura 4.8 presenta los mecanismos básicos por el que ocurre esta inhibición de la reacción en cadena con el uso de los polvos químicos secos a base de potasio y de fosfato monoamónico. El mecanismo propuesto de inhibición de la reacción en cadena con el uso de polvos a base de potasio, puede generalizarse también para los polvos a base de sodio

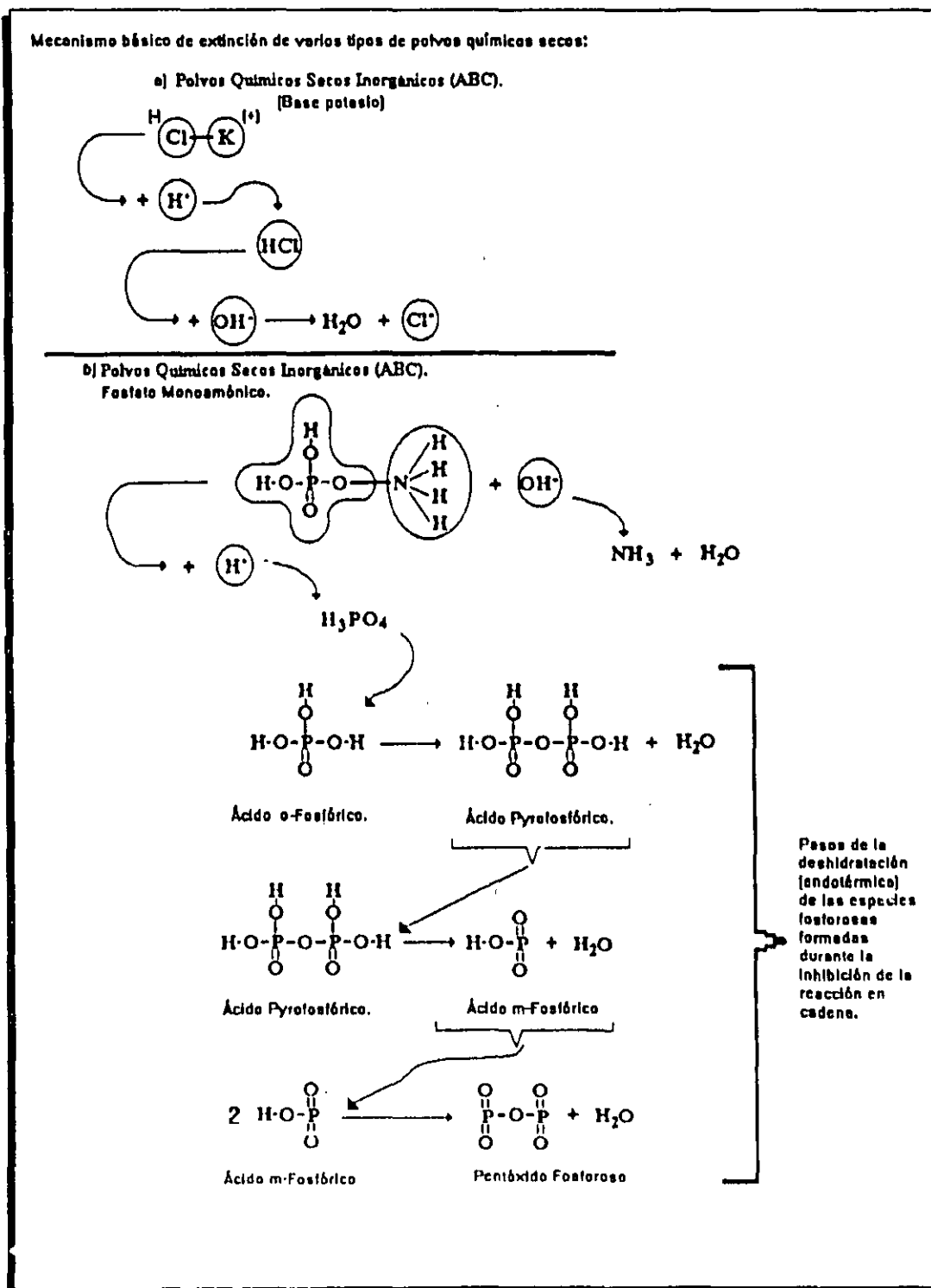


Figura 4.8 : Mecanismos básicos de la inhibición de la reacción en cadena por la aplicación de polvos químicos secos (PQS). a) a base de potasio y b) a base de fosfato monoamónico (17,

#### 1.d) Extinguidores de espuma química:

Se emplean para fuegos tipo A y B, sus componentes son a base de una solución espumante al 3% en volumen. Su composición consiste de una solución acuosa de bicarbonato de potasio con estabilizantes de espuma y al mezclarse con una solución de sulfato de aluminio forman bióxido de carbono, de acuerdo a la siguiente reacción (10):



La espuma formada, es efectiva para la extinción de fuegos en material líquido inflamable o combustible (no polar), pero su uso no es efectivo para fuegos con comportamiento polar (alcoholes, ésteres, cetonas y otros).

#### 1.e) Extinguidores de espuma formadora de película acuosa (AFFF): (Extinguidores de espuma mecánica)

Son adecuados para fuegos tipo A y B. El mecanismo de extinción de estos extinguidores se deja para el desarrollo posterior del inciso de agentes espumantes en este mismo capítulo.

La elección del número y tipo de extinguidores a utilizar para proteger una área dada, se presenta en la sección siguiente. Consideramos conveniente poner en esta parte, este método de cálculo, ya que es relativamente sencillo su uso a diferencia de los cálculos a realizar para el dimensionamiento de la red de agua contra incendio, que son un poco más elaborados y que se dejan para el capítulo 8 de esta tesis.

#### 4.2.3) Cálculo del número de extinguidores a usar para proteger un área determinada:

De acuerdo con la normatividad nacional vigente de Pemex-Refinación (10), los extinguidores se deberán de colocar en áreas de proceso (refinación), plataformas marinas, unidades de servicio, almacenes, talleres y oficinas principalmente, en cantidades suficientes para combatir conatos de incendio de materiales sólidos (que generen braza), de gases y líquidos inflamables y/o combustibles y los generados por equipos eléctrico o electrónico energizados. Los extinguidores son la primer línea de defensa ante incendios que se encuentren en su fase inicial.

El método para determinar la cantidad a utilizar de éstos, consiste en calcular las unidades de riesgo para cada tipo de fuego que se tenga y a partir de este valor, se calculan las unidades de capacidad del o los extinguidores seleccionados, y la división entre estos dos términos proporciona el número de extinguidores a utilizar. El cálculo de las unidades de riesgo del área considerada, se determina multiplicando el área total de la superficie a proteger por el factor correspondiente, de acuerdo al tipo de fuego y riesgo que se presente en la zona. Se selecciona por último, a las unidades de capacidad del extinguidor o extinguidores que cubran adecuadamente con las unidades de riesgo determinadas, cuidando que se cumpla en todo momento con la relación:

$$\text{Unidades de Capacidad del Extinguidor(es)} > \text{Unidades de riesgo} \dots (1)$$

O de otra manera, podemos desarrollar la expresión:

$$\text{Número de extintores} = (\text{Unidades de Riesgo}) / (\text{Unidades de Capacidad}) \dots(2)$$

$$\text{Número de extintores} = [(\text{Superficie a Proteger}) (\text{Sup. Eq.})^{-1}] / [\text{Unidades de Capacidad}] \dots(3)$$

I) Determinación de unidades de riesgo en extinguidores para fuegos clase A:

Para fuegos de materiales combustibles sólidos, el riesgo se clasifica como moderado, para sólidos ordinarios o grave para sólidos extraordinarios. Las unidades de riesgo se consideran como el valor obtenido del área de la zona a proteger (en m<sup>2</sup>) multiplicado por un factor, de acuerdo con la tabla 4.2:

Tabla 4.2 : Unidades de Riesgo para fuegos clase A (10).

TIPO DE RIESGO	TIPO DE LUGARES A PROTEGER	SUPERFICIE EQUIVALENTE A UNA UNIDAD DE RIESGO (Sup. eq.)	FACTOR 1/(Sup. Eq.)
Moderado	Oficinas, Bodegas, Almacenes.	125 m <sup>2</sup>	0.008
Grave	Talleres	75 m <sup>2</sup>	0.013

II) Determinación de unidades de riesgo en extinguidores para fuegos clase B:

Para incendios clase B, el riesgo se clasifica en leve, moderado y grave, dependiendo de la naturaleza de las sustancias manejadas, procesadas o almacenadas en la instalación a proteger. Las unidades de riesgo para este tipo de fuego, se presentan en la tabla 4.3:

Tabla 4.3: Unidades de Riesgo para fuegos clase B (10).

TIPO DE RIESGO	TIPO DE LUGARES A PROTEGER	SUPERFICIE EQUIVALENTE A UNA UNIDAD DE RIESGO (Sup. Eq.)	FACTOR 1/(Sup. Eq.)
Incipiente	Patios de tanques de almacenamiento, Áreas de estacionamiento de autotanques,	50m <sup>2</sup>	0.02
Leve	Torres de enfriamiento, Calderas, Servicios Auxiliares, Laboratorios, Bodegas, Talleres	10m <sup>2</sup>	0.10
Moderado	Patios de autotanques, Tratamiento de efluentes aceitosos.	5m <sup>2</sup>	0.20
Grave	Áreas de purga y muestreo de corrientes, Áreas de Proceso, Casa de bombas o de compresión.	3.3 m <sup>2</sup>	0.3

### III) Fuegos clase C:

En este caso, a los extinguidores para fuegos eléctricos, no se les asigna un valor numérico de unidades de capacidad, debido a que los equipos eléctricos están constituidos en su mayoría de materiales que pueden generar fuegos tipo A y B (aislantes, circuitos, conductores, etc.). La selección de los extinguidores para este tipo de fuegos, debe de ir de acuerdo al tipo de materiales que constituyan al equipo eléctrico o electrónico a proteger. La selección de estos extintores debe de considerar los siguientes aspectos:

- El tamaño del equipo.
- Configuración y construcción del equipo.
- Grado de contaminación que puede tolerar el equipo por el uso del extinguidor.
- Rango de alcance del extinguidor.

El concepto de unidades de riesgo va relacionado a cuestiones de tipo experimental, en función de la clase de fuego que se presente y de las unidades de capacidad que tenga un cierto tipo de extinguidor dado.

La tabla 4.4, presenta los tipos de extinguidores más ampliamente utilizados para fines de protección contra incendio en plantas de refinación y el valor de las unidades de capacidad de éstos para los distintos tipos de fuegos que se tengan (A,B,C):

Tabla 4.4: Determinación de Unidades de Capacidad para distintos tipos de extintores (10).

TIPO DE EXTINGUIDOR	CAPACIDAD (Libras)	UNIDADES DE CAPACIDAD (A)	UNIDADES DE CAPACIDAD (B:C)	
PQS : Bicarbonato de sodio.	5	No aplica	8	
	10		12	
	20		20	
	30		20	
	110		80	
	150		80	
PQS : Bicarbonato de potasio.	5	No aplica	16	
	10		20	
	20		40	
	30		60	
	110		160	
	150		160	
PQS : fosfato monoamónico	10	2	20	
	20	4	30	
	30	6	40	
	Polvo ABC o universal.	110	30	120
		150	30	120
		350	30	120
Bióxido de Carbono	5	No aplica	4	
	10		8	
	15		12	
	20		12	
	50*		---	
	75 *		---	
100 *	---			
Agua	2 gal.	Uso limitado	No aplica	
	2 1/2 gal.			
Espuma química	2 1/2 gal.	2	4	
	40 gal.	20	30	
Espuma mecánica	2 1/2 gal.	2	4	
	40 gal.	20	30	

\* Se aplican en sistemas de inyección (inertización).



### 4.2.3) Espumas Mecánicas:

#### I.- Generalidades:

Las espumas se definen como un agregado de burbujas que contienen aire o un gas inerte (como el  $N_2$ ) formadas en una solución acuosa formulada con agentes líquidos espumantes a partir de proteínas de origen animal y/o de tensoactivos fluoroprotéicos. Las espumas así formadas, flotan sobre la superficie del líquido combustible a cubrir, provocando un efecto simultáneo de enfriamiento, exclusión de aire y sellamiento de la superficie del líquido, suprimiendo la formación de vapores y la posible reignición de éstos (3 y 16).

Algunas de las espumas generadas pueden ser pesadas y viscosas, pero resistentes al calor y con una gran capacidad de sellamiento de la superficie del líquido. Otras en cambio, son delgadas y ligeras, pero con una gran capacidad de expansión sobre la superficie del líquido. Se dispone también, de espumas mecánicas que contienen tensoactivos (fluorados básicamente), lo que les confiere de una mayor capacidad de esparcimiento sobre la superficie del líquido. Esta capacidad de esparcimiento, se puede observar de acuerdo al modelo presentado en la figura 4.8:

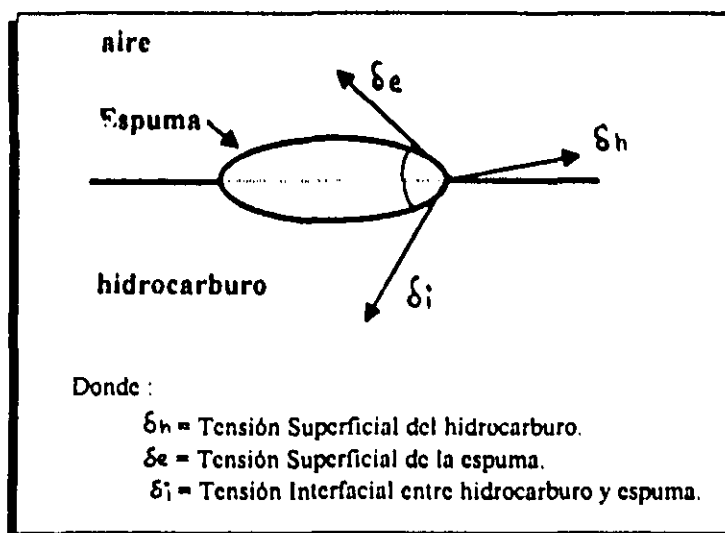


Figura 4.8 : Modelo de dispersión de la espuma sobre la superficie de un líquido hidrocarburo.

Considerando que la tensión superficial, se ejerce como una fuerza entre las diversas superficies o interfases en contacto, si se realiza un balance de fuerzas, podemos definir una variable que la podemos denominar como el coeficiente de dispersión "S":

$$S = \delta_h - (\delta_e + \delta_i) \dots(4)$$

Si el valor de este coeficiente "S" es positivo, entonces la película de la solución espumante, se esparce fácilmente sobre la superficie del líquido hidrocarburo. Si el valor de este coeficiente resulta negativo, entonces la solución espumante, drena hacia abajo y por lo tanto, no se dispersa.

Las espumas pueden también clasificarse de acuerdo a su capacidad de expansión, ésta se refiere a una relación de volúmenes, entre el volumen final de la solución espumante y el volumen original de la misma solución antes de añadir el aire. De acuerdo con esta clasificación tenemos tres tipos:

- a) Espumas de baja expansión, con una relación de expansión no mayor de 20:1.
- b) Espumas de mediana expansión, con una relación de expansión de 20 a 200:1.
- c) Espumas de alta expansión, con una relación de expansión de 200 a 1000:1.

Las espumas de baja expansión, son las más ampliamente utilizadas en la protección a plantas de proceso que manejen hidrocarburos líquidos inflamables o combustibles, también son aplicadas en fuegos de derrames o fugas de estos líquidos. Las espumas de media y alta expansión son las utilizadas básicamente para incendios en áreas confinadas, que por la complejidad de la distribución del espacio y por los materiales combustibles presentes en éste, se requiere de un rápido avance de la espuma. Se utilizan principalmente para fuegos tipo A de sólidos ordinarios y en algunos casos de fuegos clase B.

## II.- Usos y limitaciones (Generales):

Las espumas de baja expansión son usadas principalmente para extinguir derrames de líquidos combustibles o inflamables (incendios superficiales) y en fuegos en tanques de almacenamiento. La aplicación de estas espumas permite combatir a los incendios de estos dos tipos de manera progresiva y continua. La aplicación de estas espumas en incendios de tanques de almacenamiento pueden cubrir y proteger la superficie del líquido previniendo la formación de vapores y posible reignición, por un tiempo relativamente grande. Este tiempo de estabilidad depende en mucho del espesor y homogeneidad en el tamaño de las burbujas de la espuma formada (3).

Las espumas pueden usarse para nulificar la generación de vapores inflamables provenientes de los líquidos o sólidos que todavía no se están consumiendo (quemándose) pero que por el calor producido por el fuego lateral, se están destilando o generando más volátiles. Estas espumas son de gran importancia en operaciones de combate al fuego en accidentes de aviones, los grandes derrames de combustibles resultantes de tales accidentes requieren de una aplicación rápida y de un avance continuo de la espuma (3). Las espumas de media y alta expansión son las más ampliamente usadas para incendios en recintos cerrados, donde la distribución de los espacios (o la arquitectura del recinto) suele ser compleja y donde el fuego generado se puede localizar en lugares de difícil acceso.

Las espumas pueden descomponerse, rompiendo la matriz o malla de burbujas generadas si el agua de la solución se vaporiza cuando es aplicada sobre la superficie del combustible cuando tal superficie se encuentre muy caliente o si la espuma entra en contacto directo con las llamas. Debido a estos dos factores, la única forma de asegurar la extinción de un fuego, es aplicando la espuma a su gasto de aplicación recomendado, a la suficiente velocidad y tiempo de aplicación para compensar tales pérdidas por vaporización del agua (16). Cuando las espumas son inestables o formadas con tamaños de burbujas distintos, la estructura de la red interfacial resulta frágil a la acción y presencia de fuerzas mecánicas o físicas, tal y como pueden ser los chorros de agua provenientes de mangueras o cuando la superficie del líquido esté muy agitada o bien, cuando haya turbulencias en el aire causadas por el escape violento de los gases de combustión calientes.

humos y flamas, descomponiendo a tal malla de burbujas. En otras ocasiones, las espumas son descompuestas porque las burbujas son destruidas químicamente por el líquido o por los vapores generados en el incendio; incluso por la presencia de agentes extintores (polvos químicos) cuando éstos son usados de manera conjunta. La figura 4.10 presenta el caso en el que el tamaño de las burbujas no es homogéneo y por lo tanto, la espuma formada es inestable. La figura 4.11 presenta el caso en el que estas burbujas presentan un tamaño homogéneo y por lo tanto la espuma formada es más estable.

Las espumas al estar formadas de agua, son buenas conductoras de la electricidad, por lo que no se deben de aplicar en incendios que envuelvan fuegos clase C y en incendios de líquidos que presentan comportamiento polar. Para fines de la aplicación de espumas en líquidos polares, éstos se manejan por grupos y los principales son:

- |            |              |                                |
|------------|--------------|--------------------------------|
| a) Cetonas | c) Alcoholes | e) Metil-Terbutil Éter (MTBE). |
| b) Ésteres | d) Aminas    | (Gasolinas Reformuladas)       |

La selección de cualquier espuma, para fines propios de la protección contra incendio, debe de considerar la evaluación de las propiedades de desempeño de éstas en el control, combate y extinción de incendios (6). Son básicamente cinco propiedades a considerar y son:

- 1 - Abatimiento de la flama : Está en función del control del fuego y se refiere al avance de la espuma sobre la superficie del hidrocarburo, desplazando al oxígeno y nulificando de esta manera, a las llamas.
- 2.- Resistencia al calor : Se refiere a la estabilidad propia de la espuma para poder resistir los efectos del calor generado por el incendio.
- 3.- Tolerancia al combustible : Se refiere también a la estabilidad de la espuma en función de su comportamiento cuando interactúe con el hidrocarburo.
- 4.- Supresión de vapores : Se refiere a la cohesividad de la capa de espuma formada y a la capacidad de ésta para evitar la vaporización de más líquido hidrocarburo.
- 5.- Tolerancia al alcohol : Se refiere a la estabilidad de la espuma, en presencia de líquidos o solventes polares.

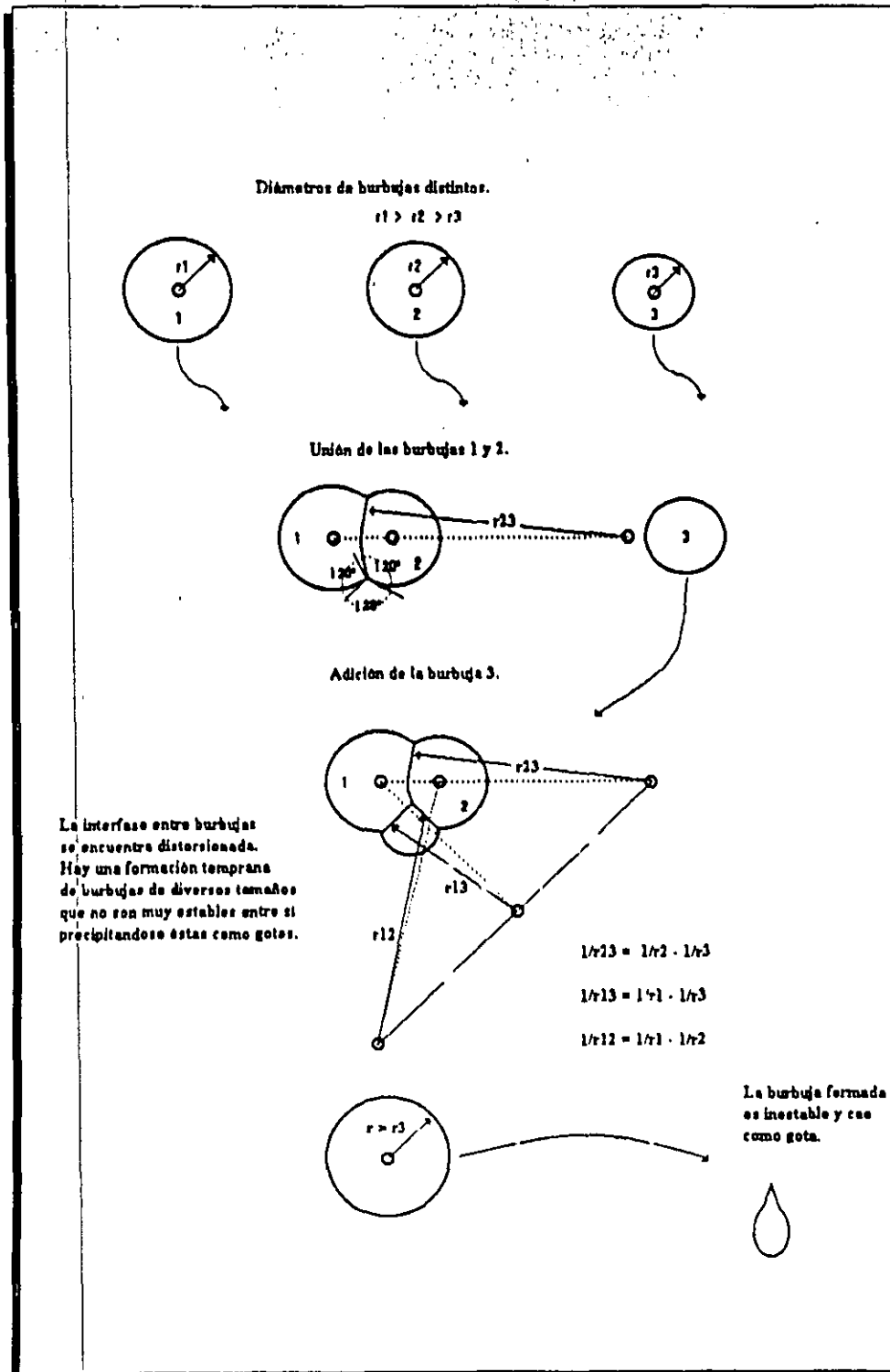


Figura 4.10: Formación de espumas con tamaños distintos de burbujas, el resultado es un espuma inestable (17).

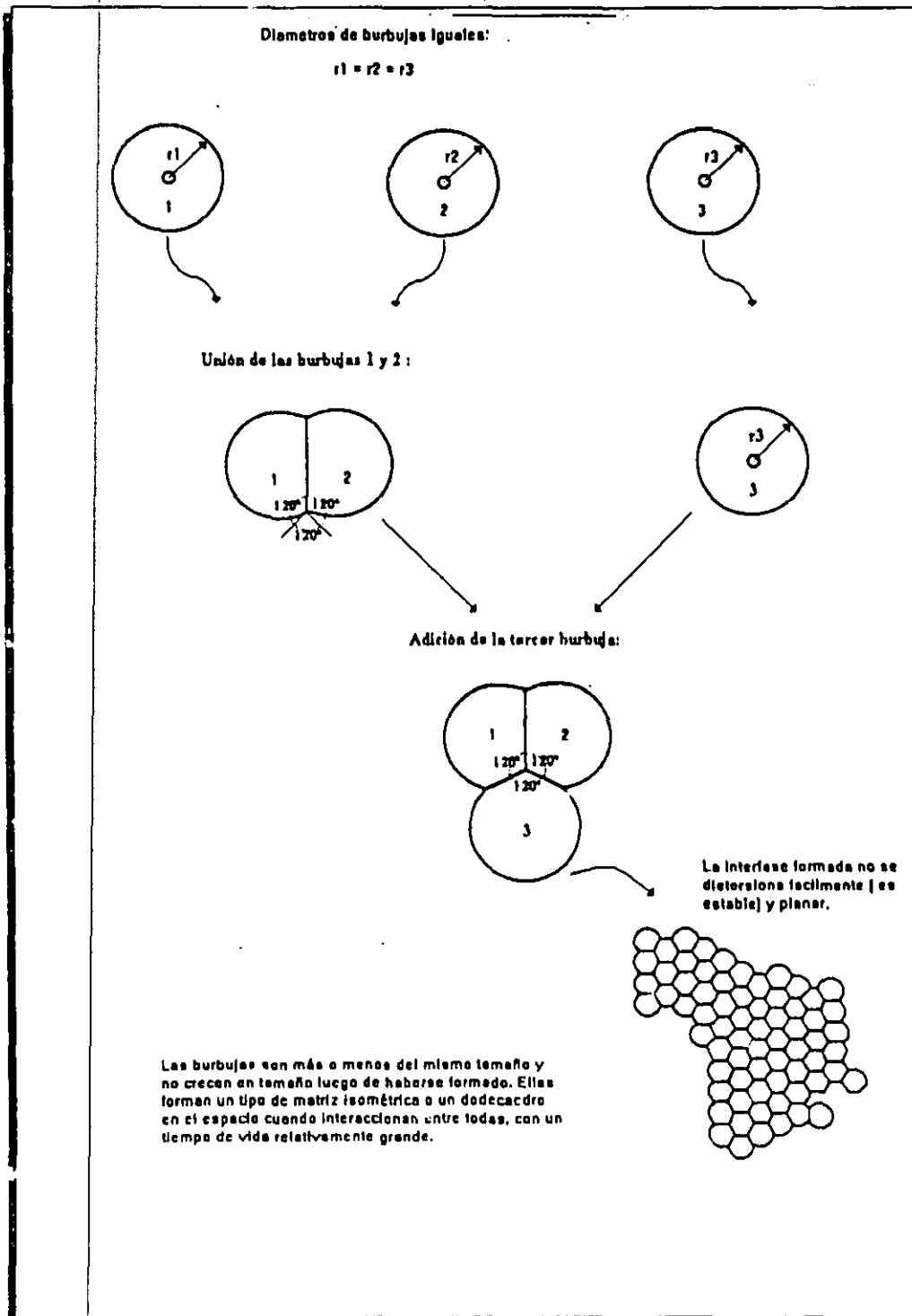


Figura 4.11 : Formación de espumas con tamaños de burbujas homogéneos, el resultado es una espuma estable y con un tiempo de vida relativamente grande (17).

### III.- Tipos de agentes espumantes:

Desde un punto de vista comercial (3) hay diversos tipos de concentrados espumógenos que se mezclan con el agua en concentraciones recomendadas del 3 al 6% en volumen para la formación de la espuma. Se presenta a continuación, los principales tipos de agentes espumantes usados y sus propiedades más importantes.

#### III.1.- Protein Foaming Agents (P):

Agentes espumantes protéicos. Estos concentrados se preparan a partir de proteínas de origen animal como pesuñas, cuernos, huesos, uñas, espinas de pescado, picos o inclusive de soya, etc. Estas proteínas (de alto peso molecular) son tratadas en un "digestor" para hidrolizar o romper los enlaces pépticos y generar los aminoácidos encargados de la formación de las espumas.

La espuma formada, presenta características mecánicas (de elasticidad y dureza) adecuadas para considerarse estable y segura, además de una gran capacidad de retención del agua. Cuando la espuma es formada, los concentrados pueden contener sales metálicas polivalentes disueltas ( $Fe^{+++}$  o  $Ni^{++}$  por ejemplo), que ayudan a las proteínas a proporcionar dureza a las burbujas así formadas cuando éstas se exponen a altas temperaturas o a las llamas directamente.

Estos concentrados producen, espumas densas y altamente viscosas de alta estabilidad y de alta resistencia térmica, (pero menos resistentes que las espumas del tipo FP y AFFF tratadas más adelante). Las temperaturas de aplicación deben de estar entre 20°F (-7°C) a 120°F (49°C).

#### III 2.- Fluoroprotein Foaming Agents (FP):

Agentes espumantes fluoroprotéicos. Los concentrados de este tipo son similares en composición, a los concentrados protéicos, pero a las cadenas protéicas se les adiciona un agente tensoactivo fluorado que le confiere a este concentrado, de una baja tensión superficial y por lo tanto, de una gran capacidad de mojado o escurrimiento sobre la superficie del líquido combustible. Esto las hace particularmente efectivas para atacar fuegos donde se necesita que la espuma cubra en su totalidad a la superficie del líquido. Son espumas altamente efectivas para incendios en tanques de almacenamiento de crudos de petróleo principalmente.

Estas espumas presentan una mejor compatibilidad (no se descomponen) cuando se usan en conjunto con polvos químicos secos. El rango de temperaturas recomendables de aplicación está entre 20°F (-7°C) y 120°F (49°C).

#### III.3.- Film-Forming Fluoroprotein Agents (FFFP):

Agentes espumógenos fluoroprotéicos formadores de película. Son agentes espumógenos compuestos de tensoactivos, capaces de formar películas sobre la superficie de muchos hidrocarburos líquidos inflamables que le confiere la propiedad de una rápida dispersión sobre la interfase del combustible y el aire. Las burbujas generadas de esta solución de FFFP, presentan muy buenas características de flotación (leveling), actuando como barrera entre la interfase líquido-gas excluyendo al aire cercano a ésta y suprimiendo la formación de vapores por

enfriamiento. Son compatibles con el uso simultáneo de polvos químicos secos. Sin embargo, este tipo de agentes espumantes a diferencia de otros agentes, al estar hechos de polímeros (23), presentan normalmente comportamiento de fluido no newtoniano, por lo que las líneas de suministro de tal espuma debe dimensionarse bajo otros criterios de flujo.

#### III.4.- Low Temperature Foaming Agents (LTFA):

Este tipo de concentrados espumógenos son usados para proteger tanques de almacenamiento en condiciones ambientales extremadamente frías. A estos concentrados, se les incluyen agentes depresores que abatan el punto de congelamiento del agua. Se pueden usar tales agentes en climas con temperaturas menores a  $-20^{\circ}\text{F}$  ( $-7^{\circ}\text{C}$ ) y también se encuentran disponibles para proporcionar concentraciones finales del 3 al 6% y pueden ser del tipo AFFF.

#### III.5.- Alcohol-Type Foaming Agents (ATFA):

Agentes espumantes de tipo alcohol. Son espumas efectivas para combatir fuegos que envuelvan líquidos hidrocarburos solubles y/o miscibles con el agua o de combustibles y/o solventes polares como alcoholes, lacas, cetonas, aldehídos, acetatos, acrilonitrilos, aminas y anhídridos.

Son concentrados de tipo polimérico resistentes al ataque de alcoholes. Estos concentrados si bien presentan un comportamiento similar a los agentes AFFF cuando se aplican en líquidos hidrocarburos puros (o combustibles prototipos). Su intervalo de temperaturas de operación está entre  $35^{\circ}\text{F}$  ( $1.7^{\circ}\text{C}$ ) a  $120^{\circ}\text{F}$  ( $49^{\circ}\text{C}$ ).

#### III.6.- Aqueous Film-Forming Foam Agents (AFFF):

Agentes espumógenos formadores de película acuosa. Son espumas compuestas de materiales sintéticos, que forman burbujas de aire similares a las producidas por espumas de origen proteico (FP o P). Estos agentes son capaces de formar una película acuosa sobre la superficie del líquido hidrocarburo, de aquí el término (AFFF).

Las burbujas de aire generadas en soluciones AFFF presentan una baja viscosidad y por lo tanto, tienen una rápida dispersión y efectiva propiedad de flotación sobre la superficie del combustible. Actúan como barreras superficiales para excluir al aire que se encuentre en la interfase entre el líquido y el vapor generado del combustible, además de suprimir o detener la vaporización del combustible. Estas espumas también desarrollan una capa acuosa continua bajo la espuma en si formada manteniendo a flote la película formada sobre la superficie del líquido hidrocarburo, suprimiendo la formación de vapores por enfriamiento del líquido combustible.

La efectividad de la película puede verse afectada si la superficie del combustible está sumamente caliente y si los líquidos a proteger suelen ser de tipo aromático. Debido a su baja viscosidad y por lo tanto, a su extraordinaria capacidad para fluir, además de la dureza de la película formada, son del tipo de espumas que las hacen particularmente recomendables para usar en el combate al fuego en derrames de keroseno, como en el caso de accidentes aéreos.

Debido a sus propiedades de rápida dispersión y de alta capacidad para formar burbujas estables, pueden proveer de cierta seguridad en la etapa posterior de extinción de un incendio, la matriz o malla de burbujas formadas es altamente estable. Las espumas del tipo AFFF, pueden también usarse en conjunto con polvos químicos secos, aunque los concentrados de AFFF no deben de ser mezclados con otros tipos de agentes espumógenos, ya que la espuma formada puede ser inestable (no hay un tamaño homogéneo y adecuado de burbujas). Su rango normal efectivo de operación, oscila entre una temperatura de 35°F (1.7°C) a 120°F (49°C).

### III.7.- Medium and High Expansion Foaming Agents (SYNDET):

Las espumas de media y alta expansión, son usadas para controlar y extinguir fuegos de tipo A básicamente y algunos de tipo B y son particularmente utilizadas como agentes inundantes cuando se usan en espacios y/o recintos cerrados. Las espumas de este tipo, son producidas a partir de un ventilador que forza al aire (o a un gas inerte) a entrar a través de una malla o red (screen) humedecida por una solución acuosa de agente espumante para poder producir relaciones de expansión desde 20:1 hasta 1000:1 y generar al agregado de burbujas que forman a la espuma.

Las espumas de alta y media expansión son un medio efectivo para meter espuma en lugares que tengan fuego y que sean inaccesibles para poder controlarlo o extinguirlo. La extinción del fuego en tales espacios inaccesibles se puede lograr por desplazamiento de vapor de agua (sofocamiento). Bajo ciertas circunstancias, se ha comprobado que el uso de tales espumas en conjunto con el agua proveniente de aspersores, proveen de un control más positivo y extinción efectiva que si sólo se utilice un agente extintor cualquiera. Los efectos de estas espumas al fuego son variados y los principales son:

a) Cuando se producen en volúmenes suficientes, pueden prevenir la reignición en fuegos que se consideren extinguidos excluyendo al aire remanente que se encuentre entre la interfase del líquido combustible y suprimiendo la formación de vapores por enfriamiento.

b) A diferencia de las espumas de baja expansión, cuando se suministran o se ponen en contacto directo con el calor del fuego generado o de las llamas, el agua de estas espumas se convierte en vapor desplazando al aire (diluyéndolo), siempre y cuando se agregen a una velocidad de aplicación mayor a la del gasto de aplicación mínimo recomendado (0.10 l/min m<sup>2</sup>).

c) La conversión de agua a vapor, requiere de absorber parte del calor generado en la combustión, lo que se traduce en un efecto enfriante del combustible, nulificando o reduciendo la formación de vapores.

d) Por su relativa baja tensión superficial y si el gasto de aplicación es mayor al mínimo recomendado, la parte acuosa de la espuma que no se convirtió en vapor, tiende a penetrar fácilmente en los resquicios o poros de un material sólido que se este consumiendo.

e) Cuando estas espumas se acumulan pueden proveer de una estupenda barrera protectora de materiales y estructuras que todavía no están envueltas en un fuego, por lo tanto, estas espumas proveen de una excelente medida para prevenir la propagación del fuego hacia otros lugares.



#### IV.- Proporcionamiento de espuma:

El mezclado del agua con el agente espumante para formar a la solución espumante, se denomina proporcionamiento. Para uso en refinerías, las espumas utilizadas generalmente son de baja expansión y la concentración más ampliamente utilizada es al 3% en volumen. Si se llegase a tener concentraciones menores a las recomendadas del 3 al 6%, se obtienen espumas inestables. En cambio, si se utilizan en concentraciones mayores a las recomendadas, se desperdicia bastante concentrado, aunque el tiempo de extinción del incendio puede reducirse (16). El esquema básico de generación de espuma se puede observar en la figura 4.12.

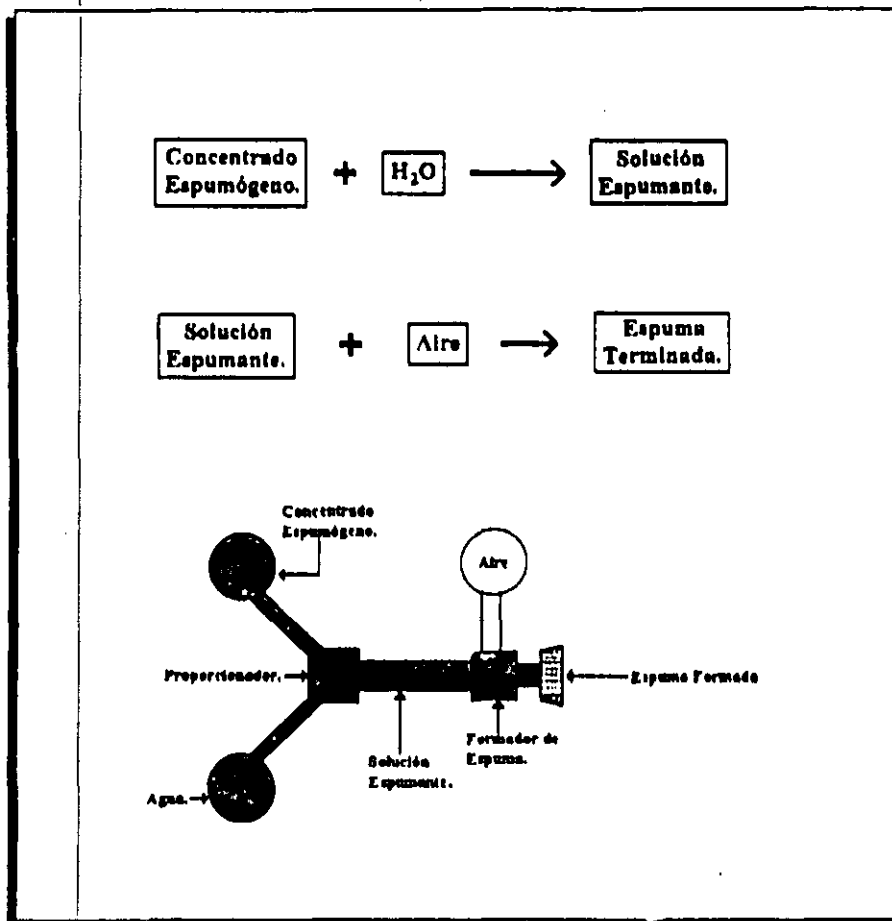


Figura 4.12 : Esquema básico de los sistemas proporcionalizadores de espuma (16).

4.2.4) Sistemas de inundación con CO<sub>2</sub> (inertización):

Los sistemas de inyección de bióxido de carbono, han sido utilizados para la extinción de fuegos de líquidos y gases inflamables, de equipos eléctricos y electrónicos energizados y en menor uso, en fuegos tipo A de sólidos ordinarios (3). Los sistemas de inundación de CO<sub>2</sub> presentan algunas limitantes, en su aplicación en fuegos metálicos (metales activos e hidruros metálicos) y en materiales que contengan oxígeno (como la celulosa), ya que ambos pueden funcionar como catalizadores descomponiendo al CO<sub>2</sub>, nulificando su efecto de extinción.

1.- Propiedades fisicoquímicas del CO<sub>2</sub>:

El CO<sub>2</sub> presenta varias propiedades que lo hacen una sustancia apropiada como agente extintor. Al ser un producto de la combustión, es un gas relativamente estable, (inerte, que no puede reaccionar fácilmente con otras sustancias). Como gas, puede penetrar y dispersarse por todos los rincones y áreas del sitio a proteger. Es un agente extintor no conductor de la electricidad y cuando es aplicado en equipos eléctricos y electrónicos, no les provoca grandes daños.

Presenta una densidad relativa (respecto a la del aire seco) de 1.529 a temperatura ambiente, esto significa que es más pesado que el aire, pudiendo desplazar al aire cercano a la superficie (interfase líquido-gas) donde se generan y queman los vapores inflamables o combustibles. El diagrama presión vs temperatura (figura 4.13) muestra los distintos estados de agregación del CO<sub>2</sub>.

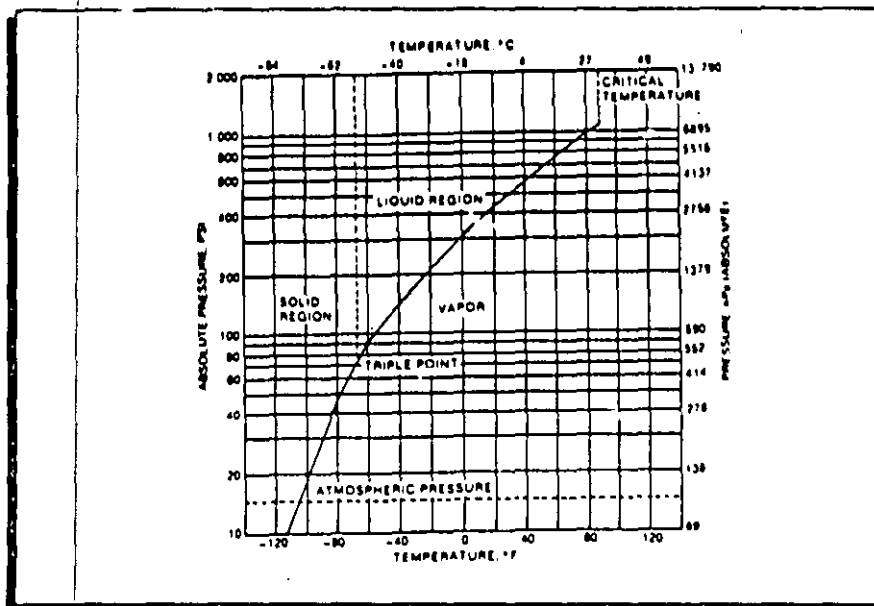


Figura 4.13 : Efecto de la presión y temperatura sobre los estados físicos del CO<sub>2</sub> (3).

**II.- Métodos de aplicación:**

Estos sistemas deben usarse con cuidado en sitios de trabajo que presenten una alta densidad de personal. En tales lugares, los planes de emergencia, deben de contemplar la evacuación rápida del personal antes de la descarga. Se deben de instalar alarmas (audibles y/o visuales) que se activen antes de realizar cualquier descarga para la protección del personal. Se consideran dos métodos básicos de aplicación, estos son:

- a) Descarga total del gas en el recinto, de inundación, para crear una atmósfera sofocante (de extinción) que diluya al aire en todo el espacio cerrado.
- b) Descarga del gas directamente sobre la zona que presente fuego (aplicación local)

En el primer método, el  $\text{CO}_2$  es aplicado a través de inyectores distribuidos uniformemente en la zona a proteger, para obtener una concentración constante del gas en todo el recinto. Para el caso de la aplicación local, el gas se descarga directamente sobre la superficie que presente problemas con el fuego y no en todo el lugar. Las cantidades del gas requeridas para fines de extinción, deben de considerar la clase de fuego que se presente en el lugar, la ventilación (natural o artificial) del sitio y las condiciones en las que se puede desenvolver tal fuego si se llegase a presentar (distribución de espacios y/o dimensiones de los equipos eléctricos o electrónicos a proteger). De manera similar a la red de agua contra incendio, los sistemas de inundación de bióxido de carbono cuentan con los mismos elementos básicos que pueden ser: fuentes de suministro del  $\text{CO}_2$  (tanques), inyectores del gas (nozzles), sistema de tubería para la distribución del gas y válvulas automáticas o manuales de seccionamiento para el suministro o corte del gas en distintas áreas del sitio protegido.

### 5.- NORMATIVIDAD Y CRITERIOS DE DISEÑO.

Hemos tratado al tema de la protección contra incendio como un sistema que está formado a su vez por subsistemas que deben de ser lógicos y coherentes entre sí y que abarcan una interrelación entre varias disciplinas ingenieriles. Tuhtar (12) propone un esquema de interacción entre el desarrollo de un cuadro normativo para la protección contra incendio y la aplicación de medidas técnicas para los mismos fines, este esquema se presenta en la figura 5.1. Aquí se determina cual es la amenaza principal a atacar (incendio o explosión); los efectos de éstos sobre la propiedad, la vida humana y el impacto al ambiente lo que sirve como mecanismo de recopilación de experiencias o información para el desarrollo de nueva legislación y normatividad contra incendio o para la actualización de éstas. A su vez, las medidas técnicas están enfocadas hacia el desarrollo tecnológico de nuevos sistemas contra incendio a partir de considerar nuevos avances para la detección temprana y oportuna de incidentes con fuego. La evaluación tanto de las medidas legislativas como las de carácter técnico son complementarias entre sí y el desarrollo de ambas debe ser simultáneo.

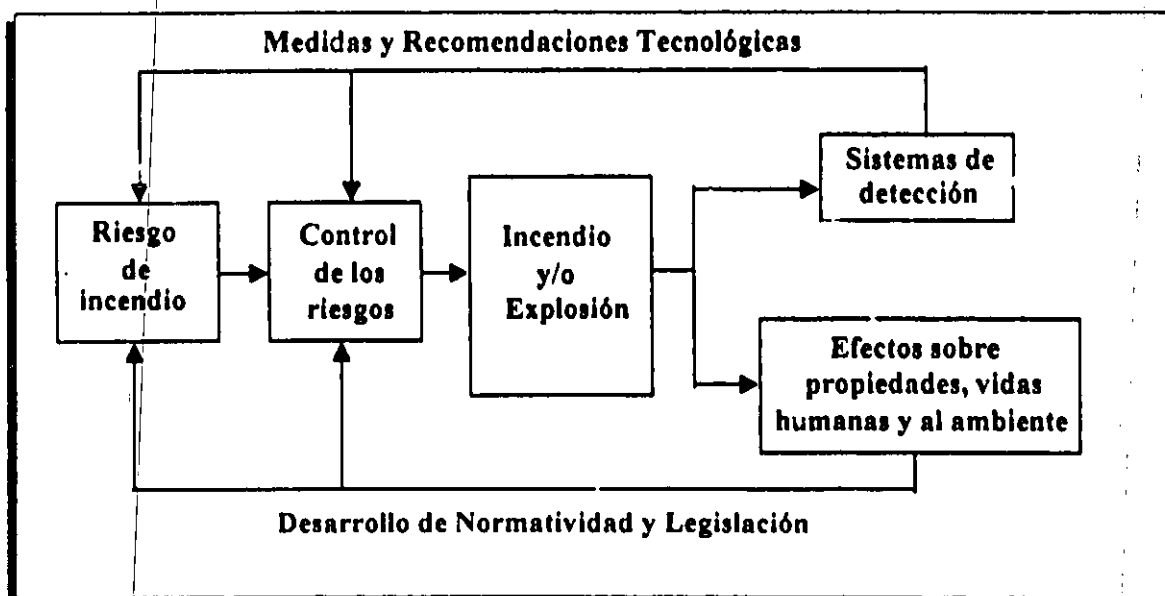


Figura 5.1 : Esquema de interacción entre los desarrollos de un cuadro normativo y medidas tecnológicas propuesto por Thutar (12).

Considerando un enfoque más específico, encaminado hacia lo que sería el trabajo de diseño en la ingeniería de procesos y/o proyectos, se puede fundamentar el origen básico de un cuadro normativo al respecto a partir del modelo propuesto en la figura 5.2 :

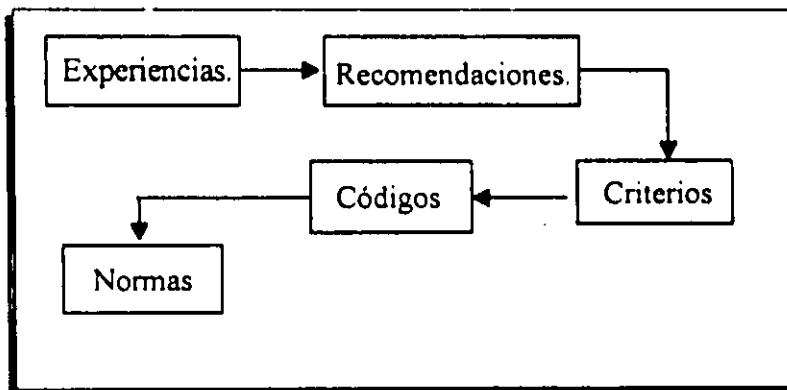


Figura 5.2 : Desarrollo básico de un cuadro normativo para la tarea de diseño.

Del cuadro anterior, podemos observar que los códigos, son de los principales medios en los que los problemas de diseño y de operación de una planta química, pueden ser tratados con cierto grado de objetividad para darles soluciones que se fundamenten principalmente, en la experiencia, mejorando y promoviendo el que se utilicen buenos criterios de diseño y adecuadas prácticas operativas para una operación segura y confiable de la planta.

La creación de este tipo de códigos, puede hacerse por un grupo de prácticos con experiencia comprobada y/o certificada, que pueden catalogarse como peritos o expertos en una o varias áreas de tipo industrial. El código representa el consenso de las experiencias y opiniones de estos prácticos, constituyendo un documento que contiene y avala a las mejores, más efectivas y seguras prácticas industriales operativas (9). Así pues, encontramos desde el punto de vista del diseño, una gran cantidad de códigos distintos entre sí en los que se puede apoyar el diseñador, con un contenido que depende en gran medida, del carácter de la instancia u organismo que lo promulgue.

Un código, indudablemente puede quedar sin uso, si este mismo no es actualizado, debido a la evolución tan rápida y continua de varios aspectos tecnológicos, generándose cada vez más, problemas nuevos y distintos de operación. Es por esto, que estos códigos necesitan ser revisados constantemente para tenerlos actualizados y que su uso sea válido y generalizado para todos los involucrados en el diseño de plantas de proceso. Así pues, el trabajo de diseño no siempre debe basarse (en su mayoría) en el uso de tales códigos, ya que aunque éstos se apoyen, en prácticas industriales sanas y cuyos buenos resultados son avalados por el tiempo, el desarrollo tecnológico actual es tan rápido que tales códigos pueden convertirse en obsoletos, si su revisión y actualización no se realiza a tiempo y de forma constante.

Los códigos deben de cumplir con al menos dos características para que sean utilizados de la manera más correcta (9):

a) Los códigos deben de contener recomendaciones basadas en la experiencia y en el buen juicio de los prácticos, pero también deben de poder reconocer de alguna discreción especial, bajo circunstancias extraordinarias en las que el uso de tal experiencia, pueda no ser el mejor medio o criterio de diseño para el desarrollo de la Ingeniería Básica de un proyecto.

b) Si el código se basa fuertemente en recomendaciones propias de la experiencia, se requiere que las autoridades legislativas competentes reconozcan tales experiencias como los mecanismos más adecuados para poder desarrollar los procedimientos de diseño, propios de la Ingeniería Básica de una planta de proceso determinada.

Los códigos no son obligatorios por sí mismos, las normas en cambio, son siempre de carácter obligatorio. Cualquier tipo de ingeniería que se realice, puede solicitar que se cumpla o se diseñe bajo un código o estándar específico, por lo que en estos casos, ambos pueden llegar a tener el carácter de obligatorios.

Para el caso de la protección contra incendio en actividades de índole industrial, se cuenta con códigos y estándares nacionales e internacionales adecuados para los propósitos de diseño. A nivel nacional se cuenta con la normatividad de Petróleos Mexicanos principalmente y las normas de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (NOM-STPS) que son aplicables, aunque en menor grado, a nuestros propósitos de diseño. A nivel internacional, la aplicación de la normatividad actual relacionada específicamente a la protección contra incendio para nuestro país, proviene en su mayoría del National Fire Code editado por la NFPA (National Fire Protection Association), aunque también son aplicables otros y varios criterios de los códigos API, ASME y ASTM.

Una buena parte de la normatividad nacional actual, ha sido evaluada apoyándose en estándares y códigos internacionales, como los de la NFPA principalmente, sin embargo, en la normatividad nacional, también se han adaptado otras cuestiones no contempladas en tales estándares y códigos internacionales. Así, proponemos a continuación un resumen-guía sobre el contenido más básico e importante de las principales normas y códigos nacionales e internacionales que son de interés para el diseño de los sistemas de seguridad y protección contra incendio, aplicados específicamente a plantas de refinación y bajo los que se apoya la propuesta de diseño presentada en el capítulo 8.

### **5.1) Normatividad Nacional:**

#### **5.1.1) Normatividad de Petróleos Mexicanos (Pemex):**

##### **1.- Norma DG-GPASI-SI-2330:**

Norma sobre Distancias Mínimas y Distribución de Instalaciones Industriales.

Objetivo : Establecer las distancias mínimas de seguridad que deben tener entre sí y hacia otras unidades los equipos o instalaciones industriales específicos, donde existen riesgos de explosión, incendio o fuga de productos tóxicos, con el propósito de disminuir o prevenir las pérdidas por accidentes.

**2.- Norma DG-GPASI-SI-3600:**

Norma de Seguridad y Contraincendio para Tanques de Almacenamiento de Productos Inflamables y Combustibles de Pemex-Refinación.

Objetivo : Definir los criterios generales de seguridad aplicables a las áreas de almacenamiento y a los tanques que contienen productos inflamables y combustibles, así como las características, especificaciones y requisitos mínimos de seguridad que deben de cumplir en su diseño y construcción, las protecciones contra incendio de los tanques de almacenamiento atmosférico y a presión en los centros de trabajo de Pemex-Refinación.

**3.- Norma DG-GPASI-SI-3610:**

Norma para el Diseño y Construcción de Redes de Agua Contraincendio en Centros de Trabajo de Pemex-Refinación.

Objetivo : Definir los criterios de seguridad y las especificaciones de materiales y equipos que deben ser considerados en el diseño, construcción y equipamiento de redes de agua contraincendio, destinadas a la protección de centros de trabajo de Pemex-Refinación.

**5.1.2) Normatividad de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social (NOM-STPS):**

**1.- NOM-002-STPS-1993:**

Relativa a las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendio en los centros de trabajo.

Objetivo : Establecer las condiciones de seguridad para la prevención contra incendio en los centros de trabajo y protección de los trabajadores.

Campo de aplicación : Esta norma es aplicable en los centros de trabajo en donde las mercancías, materias primas, productos o subproductos que se manejen y/o elaboren en los procesos de producción impliquen un riesgo de incendio.

**2.- NOM-005-STPS-1993:**

Relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles.

Objetivo : Establecer las condiciones de seguridad para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles para prevenir y proteger a los trabajadores contra riesgos de trabajo e incendio.

Campo de aplicación : Esta norma es aplicable en los centros de trabajo donde se almacenen, transporten; o manejen sustancias inflamables y/o combustibles.

**3.- NOM-100-STPS-1994:**

Seguridad-Extintores contra incendio a base de polvo químico seco con presión contenida, especificaciones.

Objetivo : Establecer las especificaciones de seguridad que deben cumplir los extintores contra fuegos clase A, B y C con presión contenida de nitrógeno o gases inertes secos y que usan como agente extinguidor el polvo químico seco (PQS).

Campo de aplicación : Esta norma es aplicable en todos los centros de trabajo para combatir conatos de incendio.

**4.- NOM-101-STPS-1994:**

Seguridad-Extintores a base de espuma química.

Objetivo : Establecer las especificaciones y métodos de prueba para el funcionamiento de los extintores a base de espuma química.

Campo de aplicación : Los extinguidores utilizados servirán para combatir conatos de incendio clase B en los centros de trabajo.

**5.- NOM-102-STPS-1994:**

Seguridad-Extintores contra incendio a base de bióxido de carbono Parte I Recipientes.

Objetivo : Establecer las especificaciones y métodos de prueba que deben cumplir los recipientes destinados para extintores a base de bióxido de carbono.

Campo de aplicación : Esta norma aplica para conatos de incendio en los centros de trabajo.

**6.-NOM-103-STPS-1994:**

Seguridad-Extintores contra incendio a base de agua con presión contenida.

Objetivo y campo de aplicación :

Establecer las especificaciones mínimas de seguridad que deben cumplir los extintores contra incendio a base de agua con presión contenida, incluido el uso de aditivos espumantes y otros utilizados para aumentar su efectividad, para fuegos clase A y B que serán utilizados para combatir conatos de incendio en los centros de trabajo.



**7.- NOM-104-STPS-1994:**

Seguridad-Extintores contra incendio a base de polvo químico seco tipo ABC, a base de fosfato monoamónico.

**8.- NOM-105-STPS-1994:**

Seguridad-Tecnología del fuego-Terminología.

Objetivo y campo de aplicación:

Establecer los términos y definiciones generales utilizados en la terminología del fuego para complementar las normas y reglamentos correspondientes.

**9.- NOM-106-STPS-1994:**

Productos de seguridad-Agentes Extinguidores-polvo químico seco tipo BC, a base de bicarbonato de sodio.

**5.2) Normatividad Internacional :**

La normatividad aceptada como internacional y que aplica para los propósitos de diseño de este trabajo, principalmente proviene de dos códigos: el código NFPA (National Fire Protection Association) y el código API (American Petroleum Institute). Este último es específico para aspectos propios de la industria petrolera.

**5.2.1) Código NFPA:**

Se presenta a continuación una guía y/o resumen sobre los códigos NFPA, que actualmente se utilizan en el trabajo de diseño de los sistemas de protección contra incendio para plantas de refinación en nuestro país. El uso de este código, en ningún momento excluye el uso de otros códigos o estándares internacionales propios para realizar el trabajo de diseño de tales sistemas.

**1.- NFPA 10 : Código para Extinguidores Portátiles de Fuego:**

Este código aplica a la selección, instalación, inspección, mantenimiento y pruebas de los equipos de extinción portátil. Los requerimientos dados en esta norma, son los mínimos necesarios. Los extinguidores portátiles, son la primer línea de defensa para combatir a fuegos de tamaños limitados. Se requiere también, que en las instalaciones a proteger (dependiendo de la naturaleza del riesgo y de la intensidad de éste) se cuente también, con sistemas fijos de protección.

ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Propósito: Este código sirve como guía técnica para la recarga, selección, compra, instalación, diseño y mantenimiento de los equipos de extinción portátil. Los requerimientos propuestos en esta norma, son generales y no pretenden cubrir a otros requerimientos de otras normas aplicables.

## **2.- NFPA 11 : Código para Espumas de Baja Expansión sobre Sistemas de Extinción Combinados:**

Este código determina las características de los materiales a usar para la producción de espumas utilizadas en la protección contra incendio y reúne los requerimientos mínimos para el diseño, instalación, operación, pruebas y mantenimiento de los sistemas y equipos que sean utilizados en combinación con otros agentes de extinción.

Este código no incluye a los requerimientos para el diseño, instalación, pruebas, inspección, operación y mantenimiento de los sistemas fijos, semifijos o portátiles de extinción al fuego para espumas de alta y media expansión.

Propósito: Este código proporciona recomendaciones para el diseño, instalación, pruebas, inspección, operación y mantenimiento de los sistemas fijos semifijos y/o portátiles de espuma de baja expansión para incidentes con fuego en interiores y exteriores.

## **3.- NFPA 11A : Código para Sistemas de Espuma de Media y Alta Expansión:**

Este código incluye los requerimientos mínimos para la instalación, diseño, operación, pruebas y mantenimiento de los sistemas que utilizan espumas de media y alta expansión.

Propósito: Este código ha sido editado para proporcionar recomendaciones para el uso, instalación, pruebas, inspección y mantenimiento de los sistemas de espumas de media y alta expansión.

## **4.- NFPA 11C : Código para Equipos Móviles de Espuma:**

Este código aplica a los equipos móviles que utilizan y/o generan espuma mecánica para el control, combate y extinción de fuegos de líquidos inflamables y combustibles en tanques de almacenamiento y en sitios, donde el riesgo de incendio y/o derrame o fuga de líquidos inflamables este presente en todo momento. Esta norma contempla a los sistemas especiales y equipos necesarios para la producción de espuma mecánica y los requerimientos mínimos que deben de cumplir tales equipos para que puedan ir adicionados a los vehículos contra incendio.

Este código, sirve de complemento a los códigos NFPA11, NFPA 11A y NFPA 1901 (Código sobre los Aditamentos que deben de llevar los Vehículos Contra Incendio). También sirve de complemento al código NFPA 414 (Código para el Rescate y Combate al Fuego con Vehículos Contra Incendio en Accidentes Aéreos).

Propósito : Este código proporciona recomendaciones para el diseño, compra, prueba, inspecciones, equipamiento, operación y mantenimiento de los equipos generadores y/o proporcionadores de espuma mecánica.

**5.- NFPA 12 : Código para Sistemas de Extinción con Bióxido de Carbono:**

Este código contiene los elementos mínimos necesarios para los sistemas de extinción con bióxido de carbono. Para equipos portátiles de extinción con CO<sub>2</sub>, éstos se contemplan en la norma NFPA 10 (Código para Extinguidores Portátiles). Esta norma sirve de complemento a la norma NFPA 69 (Código para el Sistema de Prevención de Explosiones) que contempla el uso del CO<sub>2</sub> como agente de inertización de atmósferas explosivas.

Propósito: Esta norma proporciona recomendaciones para la recarga, compra, diseño, instalación, operación y mantenimiento de los sistemas de extinción con bióxido de carbono.

**6.- NFPA 13 : Código para la Instalación de Sistemas de Rociado con Sprinklers:**

Este código proporciona los requerimientos mínimos para el diseño e instalación de los sistemas automáticos de rociado con sprinklers, incluyendo las características que debe de tener el agua y las fuentes de suministro de la misma para el adecuado funcionamiento de este sistema. Igualmente, se determina la selección más adecuada de los sprinklers, tubería, válvulas, materiales y demás accesorios requeridos para este sistema.

Propósito : Este código trata de proporcionar un grado de protección razonablemente seguro a equipos, propiedades y vidas humanas en el riesgo al fuego mencionando los requerimientos mínimos para el diseño, instalación y pruebas de tales sistemas.

**7.- NFPA 14 : Código para Sistemas de Conexiones y Mangueras Contra Incendio:**

Este código proporciona los requerimientos mínimos para la instalación de conexiones y mangueras contra incendio para edificios, construcciones y/o estructuras verticales.

Propósito : Este código provee de un grado de protección razonablemente seguro para la protección a instalaciones y equipos en edificios o estructuras verticales.

**8.- NFPA 15: Código para Sistemas Fijos de Aspersión de Agua para la Protección Contra Incendio:**

Este código cubre con los requerimientos para el diseño, instalación, mantenimiento y pruebas para el sistema fijo de aspersión de agua contra incendio.

Propósito . Este código provee los requerimientos mínimos para el adecuado funcionamiento de los sistemas fijos de aspersión de agua contra incendio.

**9.- NFPA 16 : Código para Sistemas de Inundación de Agua-Espuma con Sprinklers y Aspersores:**

Este código determina los requerimientos mínimos para el funcionamiento de los sistemas de inundación de Agua-Espuma con el uso de Sprinklers y/o Boquillas de Aspersión (aspersores). Estos dos sistemas pueden descargar agua y/o espuma según las necesidades requeridas para la protección contra incendio. Este código no es aplicable en sistemas que utilicen de forma separada al agua y a la espuma.

Propósito: Este código proporciona recomendaciones para una adecuada protección contra incendio, de la propiedad y de vidas humanas a través del uso de sistemas de inundación de Agua-Espuma por medio del rociado con sprinklers y/o boquillas de aspersión.

**10.- NFPA 17 : Código para Sistemas de Extinción con Polvo Químico Seco:**

Este código suministra los requerimientos mínimos que deben de cubrir los sistemas de polvo químico seco (PQS) para la extinción del fuego y que descargan al polvo extinguidor con boquillas fijas o líneas de manguera flexible por medio de un gas "expulsor" inerte. Contiene sugerencias para el uso de estos sistemas de extinción. El uso de equipos portátiles de extinción de polvo químico seco, está contemplado en el código NFPA 10

Propósito: Este código es una guía para la compra, diseño, instalación, pruebas, inspección, operación y mantenimiento de los sistemas fijos de extinción del fuego con Polvo Químico Seco.

**11.- NFPA 20 : Código para la Instalación de Bombas Centrífugas Contra Incendio:**

Este código, delimita la selección e instalación de las bombas que suministrarán el agua a los sistemas de protección contra incendio fijos y semifijos. En este código, se incluyen a las fuentes de suministro del agua (primarias y secundarias), las características de operación de la bomba en la succión y en la descarga, equipo auxiliar requerido por éstas para su funcionamiento, fuentes de suministro de energía eléctrica para motores eléctricos, características de motores de combustión interna y para bombas accionadas con turbinas de vapor. También se determinan las características de control que deben de tener estos motores, las pruebas, operación y mantenimiento de las bombas.

Propósito: Este código especifica el uso de bombas (de una o múltiples etapas) verticales u horizontales para la protección contra incendio y establece las recomendaciones para el diseño, instalación y mantenimiento de las bombas, motores y demás equipos asociados

**12.- NFPA 22 : Código para Tanques de Almacenamiento de Agua Contra Incendio:**

Este código establece los requerimientos mínimos necesarios para el diseño, construcción, instalación, y mantenimiento de los tanques de almacenamiento del agua contra incendio y accesorios de éstos, para la protección de instalaciones que presenten riesgo de incendio. Se

consideran en esta norma, tanques de almacenamiento de agua por gravedad, succión de pozo y/o a presión, diseño de los cimientos del tanque, conexiones de tubería y accesorios requeridos así como la protección del tanque contra el congelamiento del agua contenida en el recipiente.

**Propósito:** Este código provee las bases para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de los tanques de almacenamiento de agua contra incendio. Esta norma cubre los tres tipos de tanques antes citados.

### **13.- NFPA 25 : Código para la Inspección, Pruebas y Mantenimiento de los Sistemas de Protección Contra Incendio a Base de Agua:**

Se establecen los requerimientos mínimos necesarios para la inspección periódica, pruebas y mantenimiento de este sistema. Los tipos de sistemas que cubre esta norma incluye, pero no limita otras recomendaciones en los sistemas de rociado con sprinklers, conexiones, mangueras, sistemas de aspersión (red contra incendio) con el uso de agua y/o espuma. Se incluye también, lo relacionado a las fuentes de suministro de agua, bombas centrífugas, tanques de almacenamiento de agua, válvulas y demás accesorios.

**Propósito:** Esta norma provee los requerimientos mínimos para asegurar un grado razonable de protección a la vida y propiedad por riesgo de incendio a través de métodos de inspección, prueba y mantenimiento de los sistemas de extinción del fuego basados en el uso del agua.

### **14.- NFPA 30 : Código de Líquidos Inflamables y Combustibles:**

Este código es aplicable a todo los líquidos combustibles e inflamables, incluyendo efluentes líquidos de desperdicio, excepto residuos sólidos a 100°F (37.8°C) o arriba de esta temperatura y para gases o líquidos licuados en condiciones de almacenamiento criogénico. La determinación del flash point de estos líquidos, es el criterio de clasificación de estos líquidos. Se incluyen en este código, consideraciones sobre ventilación, niveles de exposición, fuentes de ignición, contención de derrames y determinación de riesgos eléctricos para estos líquidos.

### **15.- NFPA 75 : Código para la Protección de Equipo Electrónico y de Computo:**

Este código determina los requerimientos mínimos necesarios para la protección contra incendio para la instalación de equipos electrónicos y de cómputo. Esta norma no cubre la instalación de equipo electrónico o de computo que requiera de accesorios especiales y/o adicionales a los comerciales, para su funcionamiento.

**Propósito:** Este código proporciona los requerimientos mínimos necesarios para la protección de equipo electrónico y/o de cómputo por daño debido a fuego y efectos asociados (humo, corrosión, calor, agua, etc.)

**16.- NFPA 321 : Código para Establecer una Clasificación Básica para los Líquidos Combustibles e Inflamables:**

Este código no aplica a líquidos que tengan un flash point muy alto y que pueden quemarse bajo otras condiciones. El propósito de esta norma es el de proveer un sistema uniforme para la clasificación de líquidos inflamables y combustibles. Esta norma sirve de apoyo al código NFPA 30.

**17.- NFPA 600 : Código para las Brigadas Contra Incendio Industriales:**

Este código establece los requerimientos mínimos para organizar, operar, adiestrar y equipar a las brigadas contra incendio en la industria. Se establecen los requerimientos sobre higiene y seguridad ocupacional para los miembros de las brigadas para poder mejorar las tareas de combate al fuego.

Este código es aplicable a cualquier tipo de organismos u organizaciones privadas o gubernamentales dedicadas al control y combate de siniestros con fuego, estos organismos pueden ser brigadas de emergencia, equipos de respuesta a emergencias (ERT), brigadas industriales contra incendio, etc. Esta norma no es aplicable a los departamentos de bomberos industriales.

**18.- NFPA 1901 : Código para Equipos y/o Aparatos de Bombeo Contra Incendio**

Este código es aplicable a todo nuevo vehículo automotriz diseñado para operaciones de bombeo de agua contra incendio durante el desarrollo de las operaciones de combate al fuego. En esta norma, se determinan las características con las que deben de cumplir estos vehículos para que sean equipados con bombas de agua, tanques de almacenamiento, mangueras contra incendio y accesorios adicionales. En esta norma se menciona también, el equipar a tales vehículos de manera opcional, con una pluma o torre suministradora de agua contra incendio que provea de una mayor capacidad de extinción durante las tareas y/o operaciones de supresión al fuego.

Este código sirve como guía técnica completa para la especificación y compra de este tipo de vehículos. El comprador (cliente) debe de considerar y evaluar sus necesidades propias de control, combate y extinción del fuego para que éste, adquiera el vehículo que más se adapte a estas necesidades.

**19.- NFPA 1902 : Código para Equipos y/o Aparatos de Ataque Inicial al Fuego:**

Este código es aplicable a los nuevos vehículos contra incendio diseñados para la supresión del fuego en sus etapas iniciales, en incendios en estructuras, vehículos o en zonas de alta vegetación y que sirven como medios de complemento o de apoyo en las operaciones de combate al fuego. Se especifica el tipo de bomba a usar, el tanque de almacenamiento de agua, mangueras contra incendio y demás accesorios adicionales a estos equipos.

Este código sirve como guía técnica para la especificación completa y compra de estos vehículos, el comprador (cliente) debe de evaluar sus necesidades propias de combate al fuego y contemplar el uso del o los vehículos requeridos que cubran con sus necesidades de protección

**20.- NFPA 1903 : Código para Equipos y/o Aparatos Móviles que Suministren Agua Contra Incendio:**

Este código aplica a los nuevos vehículos contra incendio diseñados para el transporte del agua al sitio del incidente. Esta norma sirve como guía técnica para una especificación completa para la compra de equipos móviles que suministren agua contra incendio. El comprador (cliente) debe de evaluar sus necesidades propias de la protección contra incendio y usando lo estipulado en este código, contemplar la especificación completa del vehículo o vehículos que cubran con sus necesidades de la forma más adecuada.

**21.- NFPA 1962 : Código para el Mantenimiento, Uso, Servicio y Pruebas a las Mangueras Contra Incendio, Incluyendo Conexiones y Boquillas:**

Este código determina el mantenimiento y cuidados a considerar en el manejo de las mangueras contra incendio incluyendo, las conexiones y boquillas antes y después de su uso, en el guardado, inspección y servicios de pruebas a éstas. El propósito de esta norma es el de proporcionar niveles razonables de seguridad para el uso de las mangueras contra incendio.

**22.- NFPA 1963 : Código para las Conexiones y Juntas Roscadas para Mangueras Contra Incendio:**

Este código proporciona las dimensiones de conexiones y juntas roscadas para las mangueras contra incendio. Los tamaños nominales de las mangueras determinadas en este código, van desde los 3/4 in hasta las 6 in. El propósito de este código es el proveer las características de uniformidad e intercambiabilidad en todas las conexiones roscadas de las mangueras contra incendio y otros aditamentos para la conexión de éstas a otros dispositivos de suministro de agua contra incendio, como hidrantes, tomas para vehículo contra incendio, bombas entre otras.

**23.- NFPA 1964 : Código para el Uso de Boquillas de Aspersión :**

Este código es aplicable a boquillas de aspersión portátiles con patrones de flujo ajustables, se considera el uso de estas boquillas junto con mangueras contra incendio. Los requerimientos de esta norma, aplican a los siguientes casos:

- a) Aspersores básicos de flujo constante y boquillas de aspersión con presión constante.
- b) Tamaños intercambiables de boquillas de 3/4 in (19 mm), 1 in (25 mm), 1 1/2 in (38 mm) y de 2 1/2 in (63 mm).
- c) Boquillas de aspersión utilizadas para el combate a fuegos tipo A y B.
- d) Boquillas de aspersión usadas en conjunto con líneas de mangueras contra incendio.

### 5.2.2) Código API :

Los estándares API que aplican para el desarrollo de la Ingeniería Básica de los sistemas contra incendio en plantas de refinación, son básicamente tres, estos son:

#### 1.- **Código API 2001 : Protección al Fuego en Refinerías.**

El propósito de este código es el de proporcionar un mejor entendimiento de los problemas involucrados en el desarrollo de la protección contra incendio, promoviendo prácticas seguras para el almacenamiento y procesamiento de los distintos materiales manejados en refinerías.

#### 2.- **Código API 2004 : Inspección para la Protección contra el Fuego en Refinerías.**

Este código trata lo relacionado a la inspección a áreas de proceso y almacenamiento en refinerías para determinar causas probables y potenciales que originen problemas con fuego. Los objetivos que cubre este código son dos principalmente:

- a) Detectar causas potenciales de fuego y eliminarlas, o en su defecto, recomendar métodos para controlarlas o mitigarlas.
- b) Proveer a las refinerías de los medios adecuados para la protección contra incendio a través del diseño y de las políticas de operación.

#### 3.- **Código API 2030 : Aplicación de sistemas de aspersión en la protección contra incendio en la industria petrolera.**

Este código proporciona guías para determinar los tipos y características de los sistemas de aspersión a usarse en la industria petrolera para la protección contra incendio a equipos y estructuras que pueden resultar afectados o dañados por la presencia de fuego.

### 5.3) Criterios de Diseño:

A continuación se proporciona una lista resumida de los criterios de diseño más importantes contemplados en las normas y códigos. Se trata de conocer que criterios de diseño para la protección contra incendio a plantas de refinación, fueron utilizados para la realización de este trabajo. Igualmente, se citan otras consideraciones adicionales no contenidas en tales códigos y/o normas y que sirven como medio para complementar el desarrollo de este trabajo.

#### 1.- Selección de la localización de la planta:

Debido al crecimiento de las actividades y capacidades de producción de las refinerías y complejos petroquímicos o de las industrias que manejen y/o procesen hidrocarburos, las responsabilidades en el área de la protección contra incendio, han también aumentado, básicamente por tres razones:



- a) Aumento en las capacidades de almacenamiento de hidrocarburos.
- b) Condiciones de operación de equipos más drásticas en presión y temperatura.
- c) Desarrollo y manejo de nuevos y "exóticos" productos (como las gasolinas reformuladas por ejemplo).

De acuerdo con los tres incisos anteriores se proporcionan una serie de recomendaciones propias a elegir respecto a la seguridad contra incendio durante los estudios de la localización de la planta contemplados dentro de los documentos propios de la Ingeniería Básica de un proyecto.

#### **I.1 :**

Durante el desarrollo de la Ingeniería de Proyectos, se requiere de una planeación muy cuidadosa de la elección del lugar donde se va a construir la refinería y/o planta de proceso, de forma tal, que uno de los criterios a elegir para tal fin, será el de buscar aquel lugar, que no sólo ofrezca oportunidades o ventajas competitivas, sino que también ofrezca medios y recursos para poder minimizar el peligro de incendio. Una aproximación, a este caso, requiere de una planeación a largo plazo, para poder elegir la comunidad y/o topografía más afin o conveniente para tal propósito, considerando la disponibilidad de fuentes de agua tanto primarias como secundarias, relación de la planta con otras plantas o unidades de proceso, entre otros aspectos de tipo ambiental, social e inclusive político (8).

#### **I.2 :**

La selección geográfica del lugar donde se instalará la planta es una decisión normalmente influenciada por los estudios de mercado, cuyos resultados implican el contemplar para la localización de la planta, variables como:

- a) Las facilidades de transportación del o los productos.
- b) La facilidad de acceso de las vías de comunicación al sitio.
- c) La disponibilidad de la materia prima o de almacenamiento de ésta en el lugar, entre otros factores de carácter económico, social y técnico principalmente..

Es frecuente, el relegar a los factores de seguridad, a un segundo plano en esta elección, puede ocurrir que desde el punto de vista económico y técnico (de procesos), un determinado sitio sea adecuado para la instalación de la planta, pero desde el punto de vista de la seguridad, puede no ser tan factible tal elección, por las repercusiones ambientales, sociales o políticas que pudiera generar el establecimiento y operación de la planta en ese lugar. Una metodología que contemple la cuantificación del efecto de variables mercadotécnicas, económicas, ambientales, sociales, técnicas y de seguridad, puede ser desarrollada a partir de la aplicación de la Investigación de Operaciones (con técnicas de programación lineal) para el desarrollo de un proceso de toma de decisiones para determinar la localización más óptima de las instalaciones.

**1.3 :**

Un factor importante a considerar en la localización de un planta, desde los puntos de vista de la seguridad del proceso, del impacto al ambiente y de la protección civil a las comunidades aledañas a la futura construcción de la planta, es el de tener un adecuado conocimiento de la legislación tanto federal como estatal (o local) de que se disponga en materia de instalación de actividades económicas o industriales que sean de carácter peligroso, esto con la finalidad de evitar sanciones o penalizaciones por parte de las autoridades competentes (8).

**1.4 :**

Un criterio básico y común en esta fase de prácticamente de todos los proyectos, es el de la disponibilidad de agua en el lugar elegido. La clave del éxito aquí, es el de poder asegurar que en el lugar donde se instale la planta se garantice la disponibilidad de agua para futuras expansiones (aumento de la producción) de la planta, al menos durante los siguientes 20 años de operación, después del arranque de ésta (8).

**1.5 :**

La disponibilidad de agua del sitio elegido, no sólo está en función de las necesidades propias de operación del proceso, sino también de las facilidades para poder prevenir, combatir y extinguir incendios, si éstos se llegan a presentar en las instalaciones. En este sentido, se recomienda que las líneas de alimentación de agua (para el caso específico de la protección contra incendio) sean independientes entre sí (separadas). Esto se debe al hecho de que si se llegase a presentar una situación de emergencia en la que se generen dos o más focos de conato de incendio, se tengan líneas adicionales o alternas para mitigar el problema y no depender completamente de una sola fuente de suministro (8).

**1.6 :**

Durante la elección del sitio del lugar, debe de considerarse el tamaño del terreno, para poder absorber las futuras ampliaciones que tenga la planta en su vida útil de operación (aumento de la capacidad de producción). Este criterio, aunque está aunado a un aspecto propiamente económico, como lo puede ser el aumento de la plusvalía del terreno, es un buen criterio tope para limitar el crecimiento de otras plantas vecinas o de áreas residenciales si los dos anteriores, llegasen a crecer más allá de un radio de afectación estimado que pudiera tener el o los equipos que presenten las operaciones más riesgosas, si tales equipos llegasen a tener fallas importantes en su servicio y que terminen en una conflagración (8).

**1.7 :**

El tipo de terreno donde se instale la planta, debe de considerarse también como un factor importante, ya que las características de éste, pueden determinar la facilidad de drenaje o escurrimiento de los fluidos manejados, procesados y/o almacenados si se llegase a presentar algún derrame de líquido inflamable o combustible y por lo tanto, la facilidad de poder realizar las tareas de mitigación del problema más correctas o apropiadas para evitar que el riesgo de incendio

crezca y se salga de control. Igualmente, este criterio determina la facilidad de poder drenar el agua adecuadamente, si ésta fue utilizada para combatir algún incidente de fuego o bien, si la demasia de ésta proviene de fuentes naturales como lluvias, tormentas, huracanes, etc. (8).

### 1.8 :

En el caso en el que la localización de la planta, sea en zonas que presenten alta densidad poblacional se debe de considerar la distancia más adecuada (segura) entre las instalaciones industriales y el área poblada. La distancia tiende a reducir los daños o efectos nocivos, si se llegase a presentar alguna conflagración, derrame o fuga de alguna sustancia tóxica o inflamable. El efecto neto de la distancia ante tales situaciones, es el de diluir o reducir la concentración de un gas tóxico o inflamable por ejemplo, aminorando los efectos adversos y nocivos de éstos hacia las áreas residenciales aledañas. Por supuesto, que entre mayor distancia se tenga, se permite más tiempo de evacuación de las áreas pobladas para situaciones más drásticas de emergencia, como puede ser una fuga masiva. En el caso de que el peligro que se presentase en una planta, fuese el de la explosión, la distancia puede reducir notoriamente el efecto devastador de las ondas de choque generadas por ésta, la esparción de fragmentos y/o el efecto de la radiación sobre la población cercana (8).

Al respecto, accidentes como los de Bhopal, India, en 1984, tuvieron un efecto muy dramático, no tanto por la cantidad de gas tóxico fúgado y disipado, sino por la acción de éste, sobre el área inmediatamente adyacente a la planta, que presentaba una alta densidad poblacional.

En el caso de la explosión de Gas LP en San Juanico México en 1984, ésta provocó una cantidad muy elevada de víctimas humanas (más de 3000 muertos) justamente, por la alta densidad poblacional cercana a la terminal de almacenamiento. Debido a este incidente tan lamentable para nuestro país y para la industria química en general, las políticas y procedimientos de diseño y operación de la empresa responsable de tales instalaciones (Pemex) han tenido que variar de manera casi drástica. Entre uno de los criterios implantados a raíz de este suceso, ha sido el establecimiento de franjas de reserva ecológica a partir del límite de propiedad de las instalaciones industriales hacia el exterior, con una distancia mínima de separación determinada en función de un radio de afectación para predecir hasta donde puede llegar el efecto de una explosión debido a la radiación, ondas de choque o fragmentos esparcidos; o también, para mitigar el efecto de la dispersión de productos tóxicos al ambiente en caso de una fuga. Dado a que es muy común en nuestro país, que alrededor de varias de las instalaciones con actividad industrial que presenten un alto riesgo de incendio o explosión, haya presencia de asentamientos humanos irregulares, es necesario que se aplique correctamente la legislación disponible sobre uso de suelo, haciendo respetar los límites de las áreas de protección, alrededor de tales instalaciones dentro de las cuales, por razones de seguridad, no debe de haber presencia de ningún tipo de asentamientos humanos (10).

De esta forma y de acuerdo con los criterios anteriores, cualquier planta de proceso con riesgo potencial de disipación de gases tóxicos o peligros graves de incendio o explosión, debe ser diseñada, con altos estándares de seguridad y con una adecuada prevención de pérdidas. Por lo tanto, los aspectos de localización y distanciamiento de la planta hacia las comunidades civiles no

pueden ser pasados por alto para poder prevenir desastres aún mayores a los tipificados en los dos sucesos históricos anteriores.

## **II.- Distribución de los equipos:**

Una vez que el sitio donde se localizará la planta ha sido elegido, la siguiente fase es la de la distribución de los equipos de proceso en el lugar determinado. Algunos de los criterios para una distribución adecuada de los equipos pueden ser los que a continuación se presentan:

### **II.1 :**

La distribución y espaciamiento entre equipos, va de acuerdo a la naturaleza propia de los productos que éstos manejen y de las condiciones de temperatura y presión con las que operen (8).

### **II.2 :**

Los sistemas de drenaje, deben de diseñarse de forma tal, de que puedan evacuar rápidamente a las sustancias provenientes de algún derrame o fuga accidental (que no haya formación de charcos o remansos del líquido derramado) (8).

### **II.3 :**

Las propiedades termofísicas de las sustancias o productos a almacenar, deben de considerarse para una adecuada protección. Preferentemente, los tanques de almacenamiento se pueden construir en lugares altos y con pendientes más o menos grandes, que permitan en el caso de que un líquido inflamable o combustible haya fugado, pueda fluir o drenar libremente sin obstrucciones lejos del punto de fuga. Es también importante, considerar tales propiedades termofísicas de las sustancias almacenadas, ya que muchas de éstas, presentan puntos de inflamación (flash point) muy altos, por lo que el riesgo de incendio, puede ser muy pequeño y en tales casos, se permite que la distancia entre tanques, sea más cerrada o corta. En otro caso, si las sustancias almacenadas presentan características muy altas de inflamabilidad (mayor riesgo de incendio), el espaciamiento entre tanques debe de ser más grande, para dar facilidades de maniobrabilidad a las operaciones de control, combate y extinción del fuego y reducir el tamaño del área afectada por el incendio.

### **II.4 :**

Las unidades o equipos de proceso, que manejen fluidos con propiedades o naturaleza fisicoquímica semejante, o que las condiciones de operación (presión y temperatura) sean muy parecidas, deben de colocarse preferentemente, juntos.

**II.5 :**

La zona de almacenamiento de productos, normalmente está aislada de las áreas más riesgosas de proceso, esto, con la finalidad de reducir pérdidas en caso de que se presente una contingencia y que no se afecte al producto terminado (aminorar pérdidas económicas).

**II.6 :**

Las unidades o equipos de proceso y estructuras metálicas que soporten a éstos, deben de presentar una adecuada resistencia al fuego durante un tiempo relativamente grande de exposición a éste, dependiendo de la severidad del riesgo involucrado; esto, con la finalidad de evitar que las estructuras se desplomen fácilmente y aumente el área afectada, (incrementando la complejidad de las acciones a tomar para controlar el incendio). Este aspecto de la resistencia al fuego por parte de las estructuras metálicas debe de considerar que tales estructuras que soporten a las unidades de proceso, no deben ser medios de una fácil propagación de un incendio, para que no lleven al fuego a la o las estructuras adyacentes más próximas por conducción.

**II.7 : Criterios de diseño contemplados en la norma DG-GPASI-SI-2330 :**

**II.7.1:** El establecimiento de las distancias de separación entre equipos e instalaciones obedece a varias consideraciones entre las que se encuentran principalmente:

- 1) Se debe de contar con espacios abiertos que favorezcan una fácil disipación (dilución) de los vapores fugados o generados a partir de líquidos hidrocarburos derramados.
- 2) Minimizar pérdidas económicas y reducir los daños a equipos provocados por explosiones o exposición al fuego.
- 3) Dar facilidades de acceso a las instalaciones para facilitar el desempeño de las tareas de ataque al fuego en caso de que éste se presente.

**II.7.2:** El distanciamiento mínimo entre tangentes de tanques horizontales presurizados, será igual al promedio de la suma de los diámetros de los tanques, o sea :

$$L = (D1+D2)/2$$

Donde: L = Distancia de espaciamiento entre los tanques.

D1 = Diámetro del primer recipiente.

D2 = Diámetro del segundo recipiente.

**II.7.3:** La distancia mínima entre grupos de recipientes horizontales presurizados será de 13 m. y cada grupo se limitará a tener un máximo de nueve tanques, los cuales no deberán de localizarse uno encima del otro y deben estar alineados de tal forma, que sus extremos (tapas) apunten hacia las áreas de menor riesgo.

- II:7.4:** Las unidades de proceso que presenten mayor riesgo de incendio o explosión deben de colindar a la distancia, con las unidades que presenten menor riesgo para evitar la fácil propagación de un fuego.
- II:7.5:** Los cuartos de control no deben de exponerse a incendios o explosiones, de no poder cumplir con este aspecto, éstos deben de estar diseñados para resistir la sobrepresión y/o ondas de choque generadas por una explosión potencial. En estos casos, también se debe de contar con cuartos de control de emergencia ubicados en lugares seguros y alejados de las instalaciones.
- II:7.6:** La accesibilidad para las operaciones de mantenimiento debe de contemplarse en esta distribución o espaciamiento del equipo. En otras ocasiones, los distanciamientos entre equipos dependen más del riesgo de incendio que de las facilidades del mantenimiento.
- II:7.7:** Las bombas y compresores que manejan productos inflamables no deben agruparse en una sola área, ni deben de localizarse debajo del rack de tubería, cambiadores de calor del tipo "soloaire" o de recipientes de proceso con función de acumuladores.
- II:7.8:** Como un medio de separación entre equipos de alto riesgo (susceptibles a explosiones como los reactores por ejemplo), deben utilizarse muros resistentes a los efectos de la explosión, en aquellos casos en los que no se pueda incrementar el espaciamiento.

### **III.- Red de agua contra incendio:**

Se presentan en este apartado, los criterios principales de diseño utilizados para el dimensionamiento de la Red de Agua Contra Incendio de la Planta FCC No. 2 de la Refinería "Francisco I. Madero" localizada en Cd. Madero Tamps. y que son un resumen de las recomendaciones más importantes para fines de diseño, contempladas en la normatividad nacional actual (de Pemex). Se incluyen también otras recomendaciones no tratadas en la normatividad nacional e internacional al respecto y que surgieron durante el desarrollo de este trabajo.

#### ***Criterios de diseño contemplados en la norma DG-GPASI-SI-3610 :***

##### **III.1 :**

El diseño y dimensionamiento de la capacidad de cualquier red de agua contra incendio debe de fundamentarse en los análisis de riesgos que se lleven a cabo para poder determinar el riesgo mayor que pudiera originarse en un centro de trabajo. Se debe de entender como riesgo mayor, aquel escenario que demande la mayor cantidad de recursos humanos y materiales en caso de que se presente una situación de emergencia o siniestro relacionado(a) con el fuego.

**III.2 :**

Todas las redes de agua contra incendio deben de contar con los siguientes elementos.

- a) Una fuente de abastecimiento de agua que satisfaga las necesidades de la mayor demanda en casos de emergencia.
- b) Un sistema de bombeo confiable que proporcione el agua en las cantidades y presión requeridas para el combate del riesgo mayor estimado en el centro de trabajo.
- c) Una red de distribución de agua con capacidad suficiente, que mediante la formación de circuitos cerrados (anillos) de tubería, proteja adecuadamente todas las áreas y zonas que así lo requieran del centro de trabajo.

**III.3 : *Almacenamiento del agua contra incendio :***

- III.3.1)* El almacenamiento del agua contra incendio debe de determinarse en función de los requerimientos totales de agua que demanda la protección de la instalación que represente el riesgo mayor en el centro de trabajo, así como del tiempo de aplicación de ésta. La capacidad de almacenamiento debe de ser la suficiente, para combatir ininterrumpidamente el incendio del riesgo mayor, durante un mínimo de 4 horas.
- III.3.2)* Cuando los depósitos de agua municipales u otros abastecimientos semejantes, sean susceptibles de aprovecharse, se considerará la instalación de interconexiones para su utilización. Las fosas de las torres de enfriamiento y los sistemas de tratamiento de efluentes que sean aceptables de suministrar agua contra incendio deberán considerarse, pero el volumen de tales fuentes, no deberá contabilizarse como parte del almacenamiento de agua para fines de la protección contra incendio.

**III.4 : *Bombas contra incendio:***

En el caso particular de la Planta de Desintegración Catalítica (FCC) No. 2, ésta se encuentra integrada como parte de la refinería de Cd. Madero, por lo que los suministros de agua para la red contra incendio de la planta, son tomados de la red general contra incendio de la refinería. Las fuentes de suministro de agua contra incendio a la planta, provienen de dos tomas distintas de la red global de la refinería. En este caso, las bombas contra incendio están acopladas a la red general contra incendio de la refinería, por lo que se pueden omitir muchos aspectos de éstas, sin embargo se presenta un resumen sobre algunas de las características generales que deben de cumplir estas bombas.

- III.4.1)* Las bombas contra incendio, deberán instalarse en casetas o cobertizos localizados en lugares estratégicos que no sean susceptibles de sufrir daños durante el desarrollo de incendios o situaciones de emergencia.

III.4.2) Las distancias mínimas que deben de existir entre la caseta o cobertizo de las bombas contra incendio y las instalaciones industriales se determinan en la tabla 5.1:

Tabla 5.1: Distancias mínimas entre bombas contra incendio y unidades de proceso tipo.

TIPO DE INSTALACIÓN	Distancia
1.- Tanques de cúpula fija que contengan crudo o material inflamable	76 metros
2.- Tanques de cúpula flotante que contengan crudo o material inflamable.	76 metros
3.- Tanques de cúpula fija que contengan productos combustibles.	53 metros
4.- Tanques de almacenamiento presurizados.	105 metros
5.- Tanques de almacenamiento refrigerados.	105 metros
6.- Plantas de proceso de riesgo moderado.	60 metros
7.- Plantas de proceso de riesgo intermedio.	76 metros
8.- Plantas de proceso de riesgo alto.	90 metros
9.- Llenaderas y descargaderas de autotanques.	30 metros
10.- Área de compresores.	60 metros
11.- Racks de tuberías de productos inflamables.	30 metros
12.- Cuartos de Instrumentación y Control.	15 metros
13.- Subestaciones eléctricas.	15 metros
14.- Áreas de talleres y servicios similares.	15 metros
15.- Áreas de almacenes y bodegas	15 metros
16.- Áreas de oficinas administrativas.	15 metros

III.4.3) El suministro de energía eléctrica a los motores de las bombas, deberán tomarse de un circuito eléctrico independiente de los demás servicios del centro de trabajo.

III.4.4) La curva característica de comportamiento de las bombas de agua contra incendio debe de ser de tal manera, que a gasto nulo (válvula de descarga cerrada) la presión de descarga no deba de exceder el 140 % de la presión de descarga nominal, así como para un gasto del 150 % del requerido, la presión de descarga no sea menor del 65 % de su presión de descarga nominal. La curva típica para estas bombas se puede ver en la figura 5.3.



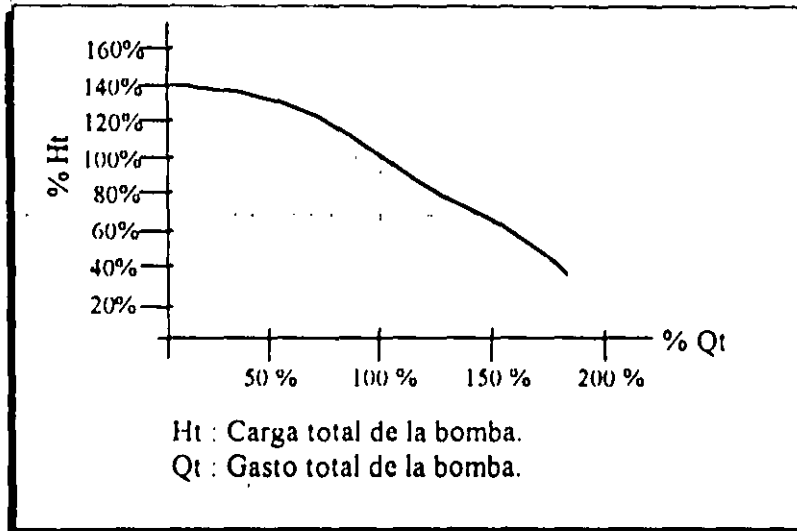


Figura 5.3 : Curva típica para bombas contra incendio.

- III.4.5)** El tamaño de cada una de las bombas deberá ser tal, que se facilite la operación y el mantenimiento de dichos equipos, por esta razón, no deberán adquirirse bombas mayores a una capacidad de 2,500 gpm; en su lugar, conviene instalar un grupo de bombas cuya operación simultánea proporcione el gasto requerido.
- III.4.6)** Las bombas contra incendio principales, pueden ser accionadas por motores eléctricos, de combustión interna a diesel o por turbinas de vapor, de forma tal, que en caso de falla eléctrica, las bombas principales accionadas con motor de combustión interna entren en operación (conjuntamente con las bombas de relevo) para poder proporcionar el gasto requerido.
- III.4.7)** Por cada bomba principal accionada con motor eléctrico, debe de existir una de las mismas características accionada con motor de combustión interna (relevo). La tabla 5.2, presenta algunas alternativas para la determinación de las bombas de relevo en función del número de bombas principales.

Tabla 5.2: Combinaciones posibles entre bombas principales y de relevo.

NUMERO TOTAL DE BOMBAS PRINCIPALES REQUERIDAS	ACCIONAMIENTO DE BOMBAS PRINCIPALES	NUMERO TOTAL DE BOMBAS DE RELEVO REQUERIDAS
1	1 Eléctrica	1 Combustión Interna
1	1 Combustión Interna	1 Combustión Interna
2	1 Eléctrica 1 Combustión Interna	1 Combustión Interna
2	2 Combustión Interna	1 Combustión Interna
2	2 Eléctricas	2 Combustión Interna
3	2 Eléctrica 1 Combustión Interna	2 Combustión Interna
3	1 Eléctrica 2 Combustión Interna	1 Combustión Interna
3	3 Combustión Interna	1 Combustión Interna
4	1 Eléctrica 3 Combustión Interna	1 Combustión Interna
4	2 Eléctricas 2 Combustión Interna	2 Combustión Interna
4	3 Eléctricas 1 Combustión Interna	3 Combustión Interna
4	4 Combustión Interna	1 Combustión Interna

### III.4.8) Diámetro de succión de las bombas contra incendio:

- 1) El diámetro del cabezal de succión de una o varias bombas instaladas para operar simultáneamente, debe de estar diseñado para conducir el 150 % de la suma del gasto nominal de todas esas bombas en conjunto, a una velocidad de flujo que no exceda los 3.05 m/s (10 ft/s).
- 2) El tubo de succión de cada bomba en particular, debe de permitir el manejo del 150 % del gasto total de la capacidad nominal de dicha bomba a una velocidad que no exceda también los 3.05 m/s (10 ft/s).
- 3) El tubo de succión de estas bombas, preferentemente debe de ser tan corto y recto como sea posible entre la fuente de suministro de agua y la bomba, evitando en lo posible, el uso de codos y demás accesorios (no está permitido el uso de válvulas de mariposa en las tuberías de succión).

- 4) El diámetro de la tubería de succión, no debe de ser menor al indicado en la tabla 5.3.

Tabla 5.3 : Diámetros de succión mínimos recomendados.

Capacidad nominal de la bomba (gpm)	250	500	750	1000	1500	2000	2500
Diámetro de tubería en la succión (in).	4 "	6 "	8 "	8 "	10 "	12 "	12 "

#### III.4.9) Diámetro de la descarga de las bombas contra incendio:

- 1) El diámetro de la descarga de las bombas contra incendio, debe de estar calculado para conducir el gasto nominal de la bomba a una velocidad máxima de flujo de 15 ft/s.
- 2) El diámetro de la tubería de descarga no debe de ser menor al indicado en la tabla 5.4.

Tabla 5.4 : Diámetros mínimos recomendados en la descarga.

Capacidad nominal de la bomba (gpm)	250	500	750	1000	1500	2000	2500
Diámetro de tubería en la descarga (in).	3 "	4 "	6 "	6 "	8 "	8 "	8 "

- 3) En la tubería de descarga de cada bomba y en el sentido del flujo, debe de instalarse una válvula check, seguida de una válvula de compuerta de vástago ascendente o de una válvula de mariposa.

#### III.4.10) Bombas de mantenimiento de presión (Jockey):

- 1) Con el objeto de mantener una presión constante y adecuada en la red de agua contra incendio, manteniendo una presión mínima de 7 Kg/cm<sup>2</sup> (man.) en cualquier punto de la misma, se instalará una bomba "jockey" de mantenimiento de la presión accionada con motor eléctrico y conectada a un circuito independiente del sistema eléctrico general del centro de trabajo.
- 2) Para refineries y centros de trabajo similares, la bomba "jockey" deberá tener una capacidad mínima nominal de 250 gpm y máxima de 500 gpm.

- 3) Las bombas "jockey" deben tener una presión de descarga similar a la de las bombas contra incendio principales, instrumentadas con un paro automático que actúe cuando en la red, se registre una presión de un 30 % por arriba de la presión nominal de descarga de las bombas principales, así como un arrancador automático que se accione cuando en la red se registre una presión del 20 % por abajo de la presión de descarga nominal de las mismas bombas.

### **III.5 : Red de tuberías:**

- III.5.1)* La red contra incendio deberá distribuirse de tal manera, que tenga que formar anillos cerrados en las áreas y zonas a proteger de la planta o centro de trabajo, preferentemente, en aquellos sitios que presenten mayor riesgo potencial de incendio.
- III.5.2)* Para fines de mantenimiento o ampliación, las redes de agua contra incendio deberán contar con válvulas de seccionamiento suficientes y localizadas en puntos estratégicos para aislar tramos de tubería sin dejar de proteger ninguna de las áreas o equipos que así lo requieran. Estas válvulas deberán ser de compuerta de vástago ascendente o de tipo mariposa.

La figura 5.4 representa de manera gráfica, el desarrollo de los puntos anteriores tratados: formación de los anillos y el seccionamiento de los mismos.

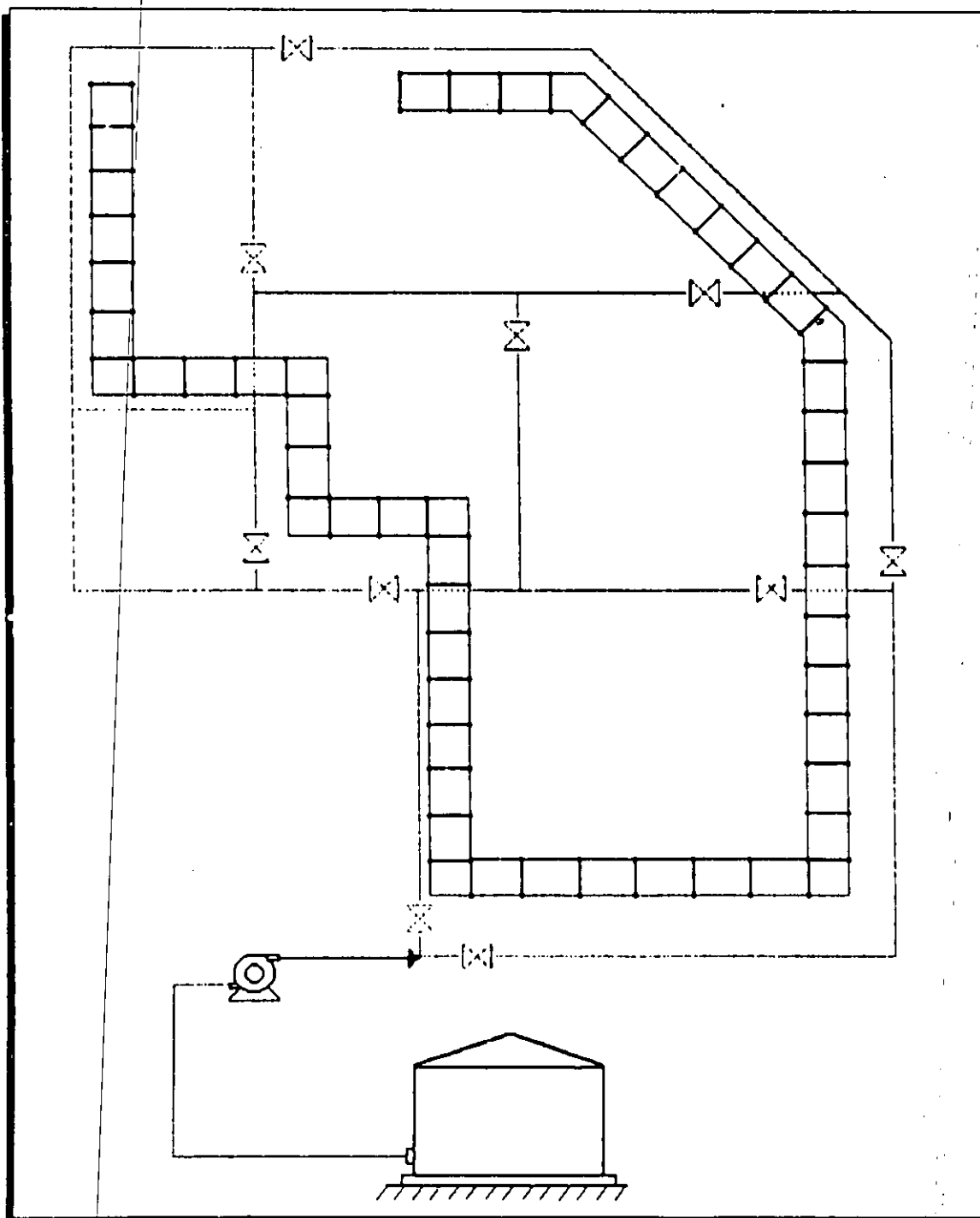


Figura 5.4 : Formación de anillos y seccionamiento de éstos, en función de la distribución de los equipos de proceso, tomando como referencia, el rack de tubería.

III.5.3) El número máximo de hidrantes y monitores instalados en cada anillo de la red de agua contra incendio, será de 12 como máximo. La figura 5.5 ilustra este criterio:

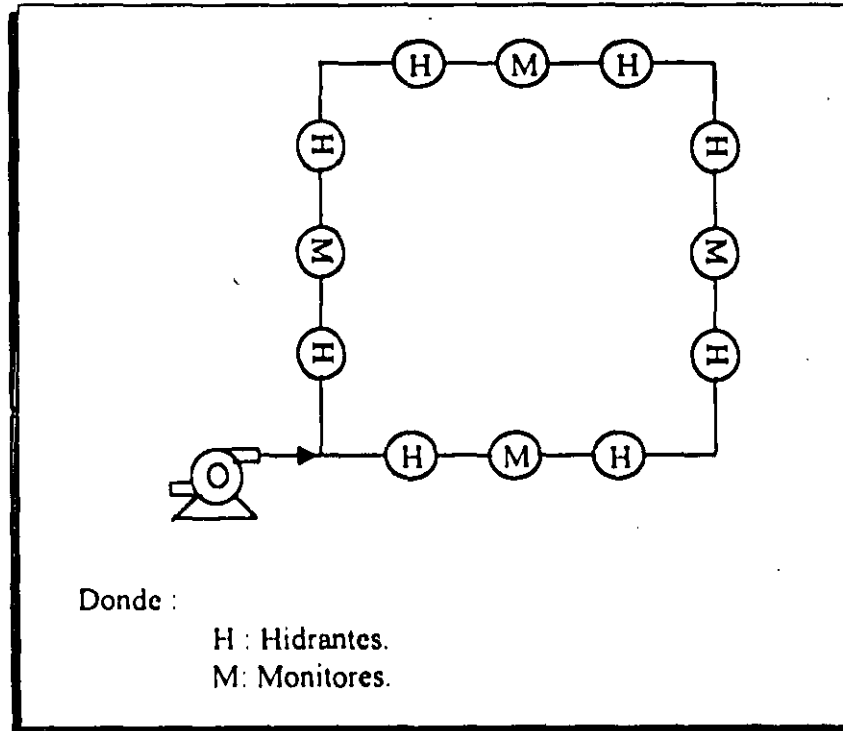


Figura 5.5: Hidrantes y monitores distribuidos en cada anillo de la red contra incendio.

III.5.4) Queda terminantemente prohibido el uso del agua contra incendio para otro servicio que no sea específicamente el de protección contra incendio. No está permitida la instalación de "tomas parásitas" conectadas a la red de agua contra incendio, con el propósito de alimentar sistemas de enfriamiento de proceso, sistemas de riego, de lavado, de limpieza, etc.

### III.6 : Diámetros de tuberías:

III.6.1) En ningún caso, el diámetro de la tubería principal de las redes de agua contra incendio, podrá ser menor a 6 pulgadas.

III.6.2) Las velocidades recomendadas de flujo son: para agua dulce, de 6 a 15 ft/s y para agua salada, de 6 a 12 ft/s.

III.6.3) La selección y especificación de la tubería a utilizar para la red de agua contra incendio y/o de solución espumante, deben de cumplir con los requerimientos mínimos enlistados en la tabla 5.5.

Tabla 5.5: Especificación mínima de tubería para redes de agua contra incendio.

DIAMETRO NOMINAL (in)	CEDULA DE TUBERÍA	MATERIAL
1/2	80	Acero al carbón ASTM-53, Gr. B; sin costura. extremos roscados.
3/4	80	
1	80	
1 1/2	80	(Idem) Extremos planos.
2	40	Acero al carbón ASTM A-53, Gr. B; sin costura. Extremos biselados
2 1/2	80	
3	40	
4	40	
6	40	
8	20	
10	20	
12	20	
14	10	Acero al carbón ASTM A-53, Gr. B con costura Extremos biselados
16	10	
18	20	
20	20	Acero al carbón ASTM A-134, fabricada con placa ASTM A-285, Gr. C; Extremos biselados
24	20	
30	20	

**III.7 : Dispositivos de aplicación (hidrantes y monitores) :**

Los siguientes puntos son aplicables al caso de hidrantes.

- III.7.1) Los hidrantes deben de estar diseñados de manera tal, de que por cada una de las tomas de 2 1/2 in de diámetro, se pueda suministrar un gasto mínimo de 250 gpm.
- III.7.2) En áreas de plantas de proceso, el distanciamiento entre hidrantes no debe de ser mayor a 30 m, en tanto que para áreas de almacenamiento, el distanciamiento entre éstos, no debe de exceder de 50 m.
- III.7.3) Al operar con flujo máximo, las pérdidas por fricción a través de cualquier hidrante no deben de exceder los 0.14 Kg/cm<sup>2</sup> (man.) (2 lb /in<sup>2</sup>).
- III.7.4) Para la alimentación a vehículos contra incendio, deben de instalarse hidrantes específicos para estos casos (o tomas para camión contra incendio) con diámetros de 4 1/2 in o 6 in. La presión disponible en todos estos dispositivos, deberá ser de cuando menos 100 lb /in<sup>2</sup>.
- III.7.5) La cantidad de hidrantes para alimentación a vehículos contra incendio, será de uno por cada 1500 gpm de gasto requerido.

Los siguientes puntos son aplicables para monitores.

- III.7.6) Los monitores deben conectarse a la red de agua contra incendio mediante una tubería de cuando menos 6 in de diámetro. Cuando se instalen hidrantes, la tubería de alimentación debe ser como mínima de 8 in.
- III.7.7) El alcance mínimo con patrón de flujo de chorro de agua del monitor deberá ser de cuando menos 30 m. a una presión de 100 lb /in<sup>2</sup>.
- III.7.8) Cuando un riesgo en particular requiera la utilización de más de un monitor, el distanciamiento entre estos dispositivos no deberá de exceder los 30 m.
- III.7.9) En caso de que se considere el ampliar el área protegida, los monitores podrán instalarse sobre plataformas elevadas (torretas). Es importante considerar para este fin, la dirección de los vientos para la ubicación de estas torretas.

**III.8 : Sistemas de Aspersión (Subsistemas) :**

Estos sistemas son empleados principalmente, para el enfriamiento de recipientes que almacenen o manejen gases o líquidos inflamables, bombas de proceso, llenaderas y descargaderas de autotanques para protegerlos de la radiación de un incendio adyacente que pudiera incrementar la presión y temperatura de los gases o líquidos manejados. Estos sistemas son efectivos para la prevención, control, combate y extinción de incendios en espacios cerrados (mediante el uso de sprinklers) y en espacios abiertos (mediante el uso de boquillas de aspersión).



**IV.- Protección a equipos de proceso:**

Los siguientes criterios, son aplicables a los equipos de proceso que presenten riesgo de incendio o que la presencia de éste, en los alrededores de los mismos, ponga en peligro la integridad de las instalaciones. Los siguientes criterios de diseño están en función de la normatividad de Perrex.

***Criterios de diseño contemplados en la norma DG-GPASI-3600 :***

- IV.1) El agua se considera como el principal recurso de la protección contra incendio, especialmente cuando se utiliza como medio de enfriamiento.
- IV.2) El agua se aplicará en densidades de aplicación no menores a  $0.25 \text{ gpm/ft}^2$  ( $0.10 \text{ l/min m}^2$ ). La superficie de aplicación que se considera, es la más expuesta del recipiente (la del exterior o del cascarón).
- IV.3) Las boquillas de aspersión deberán estar distanciadas entre sí, de manera tal, que los dos extremos horizontales de los conos de aspersión, se deben de traslapar, un mínimo del 15% de la longitud total de la cobertura.
- IV.4) Se deberán de utilizar boquillas aspersoras de cono lleno con un diámetro de la boquilla no menor a  $3/8$  (in).
- IV.5) La distribución del agua contra incendio se llevará a cabo por medio de cabezales colocados por encima del cuerpo del tanque, de manera que el cono de protección del agua, cubra la mitad superior del tanque si este es horizontal; en tanto que la parte inferior, se cubra por escurrimiento del agua proveniente de la parte superior del tanque. Lo anterior se ilustra en la figura 5.6.

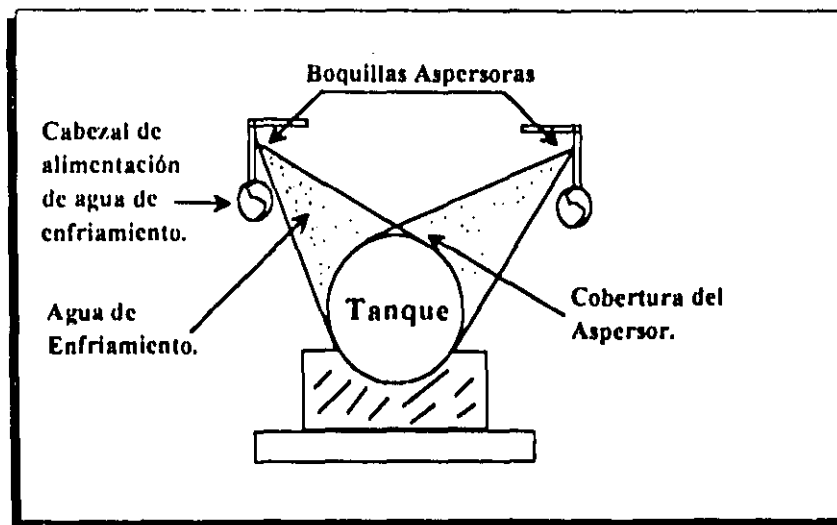


Figura 5.6 : Representación tipo de la protección contra incendio a recipientes horizontales de proceso.

- IV.6) Para cada tanque, la suma de los gastos de las boquillas deben ser equivalentes al menos, al volumen de agua necesario para cubrir la superficie total del recipiente con una densidad de aplicación mínima de  $0.10 \text{ l/min m}^2$  ( $0.25 \text{ gpm/ft}^2$ ).
- IV.7) La distancia mínima de separación entre la superficie externa del recipiente a proteger y la boquilla aspersora, será de  $0.76 \text{ cm}$ .
- IV.8) Para el dimensionamiento de las tuberías y selección de las boquillas aspersoras, deben de tomarse como base, una presión mínima de diseño de  $5 \text{ Kg/cm}^2$  ( $80 \text{ lb/in}^2$ ) y una velocidad de diseño que se encuentre entre una velocidad mínima de  $1.83 \text{ m/s}$  ( $6 \text{ ft/s}$ ) y una velocidad máxima de  $4.57 \text{ m/s}$  ( $15 \text{ ft/s}$ ).
- IV.9) Debe de instalarse una purga en la parte más baja del anillo de aspersores, que permita el drenado total de todo el sistema cuando éste se haya utilizado y no esté ya en operación.
- IV.10) Cada una de las tuberías de las alimentaciones de agua al anillo de aspersores de cada tanque, debe de poseer un filtro tipo "y" que no permita el paso de partículas sólidas mayores a la mitad del diámetro del orificio de las boquillas aspersoras.
- IV.11) Debe de evitarse, la instalación de tuberías menores de  $50.8 \text{ mm}$  ( $2 \text{ in}$ ) de diámetro en los arreglos de los aspersores, excepto para la alimentación individual de cada boquilla.
- IV.12) La estimación del gasto para el dimensionamiento de las redes de agua contra incendio que circundan áreas de tanques horizontales presurizados de almacenamiento debe de considerar adicionalmente la suma de los gastos que demandan la cobertura de los siguientes conceptos:

1) El volumen requerido para la protección simultánea de todo el conjunto de recipientes que conforman al grupo de tanques horizontales y, adicionalmente, un gasto de 1000 gpm, requerido para las siguientes necesidades:

1.a) La operación de dos monitores de 500 gpm cada uno.

1.b) O bien, la operación de un monitor de 500 gpm y cuatro mangueras de 1½ in de diámetro y que manejen un gasto de 125 gpm cada una.

1.c) O bien, la operación de ocho mangueras de 1½ in de diámetro y que cada una maneje un gasto de 125 gpm.

Estos 1000 gpm de más, son para proveer de una protección adicional al personal encargado del combate al fuego en las áreas de proceso y de un enfriamiento al equipo y tuberías de proceso, ya sea para un combate directo con el fuego dentro del área siniestrada o para el control de éste, enfriando a los equipos aledaños.

#### **V.- Criterios adicionales:**

Adicionales a los criterios anteriores, se añaden otros criterios o aspectos a considerar para el diseño del sistema de protección contra incendio no contemplados en las normas o códigos vigentes para nuestro propósito. Estos criterios adicionales son específicamente, para el caso del uso de los monitores, hidrantes, tomas para vehículo contra incendio y para el dimensionamiento de las líneas de la red de agua contra incendio.

##### ***V.1 : Colocación de monitores, hidrantes y tomas para vehículo contra incendio:***

- 1) Las colocaciones de monitores, hidrantes y tomas para vehículo contra incendio se harán como medios de apoyo a la distribución total de la red contra incendio de la planta. Estos aditamentos se colocarán en lugares estratégicos, donde proporcionen flexibilidad y medios de acceso sencillo para facilitar a los bomberos su trabajo durante las operaciones de control y combate al fuego en algún determinado sitio de la planta.
- 2) Los monitores no deben de ser colocados en lugares que afecten maniobras de mantenimiento de los distintos equipos de proceso.

##### ***V.2 : Distribución de monitores, hidrantes y tomas para vehículo contra incendio:***

- 1) Su distribución se debe de hacer considerando que pueden cubrir una área más o menos circular de 20 a 30 metros de radio (40 a 60 metros de diámetro). El alcance máximo que pueden tener los monitores, puede ser de 20 o 25 metros considerando que el patrón de agua que utilice sea de niebla y no de chorro directo, ya que el agua tiene más poder enfriante como niebla (gotas de tamaño minúsculo) que en chorro directo, (aunque tenga menor alcance) porque las gotas de agua son más fácilmente evaporables y con un calor de vaporización muy grande, por lo que la distribución de los monitores deberá hacerse pensando en este hecho.

- 2) Las tomas para vehículos contra incendio se instalarán cerca de calles o lugares de fácil acceso para estos vehículos y se instalarán como medios de apoyo para facilitar las tareas de control y combate al fuego en un área determinada de la planta.
  - 3) El objetivo de la instalación de tomas siamesas, es el introducir agua contra incendio cuando la red no tenga suficiente agua (a la presión requerida) en el caso de que se presente un incidente con fuego que sobrepase los requerimientos de agua contemplados para el riesgo mayor estimado o que las bombas contra incendio no operen adecuadamente durante 4 horas continuas e ininterrumpidas de ataque. Para su localización se considerarán longitudes de mangueras entre 15 a 30 metros y se distribuirán en aquellas áreas de la planta, donde el acceso de los vehículos contra incendio sea restringido o como complemento a los demás aditamentos del sistema contra incendio.
- V.3) Debe de considerarse el efecto de pantalla que presentan estructuras de dimensiones grandes sobre un área a proteger, esto es, que el área a proteger por cada uno de estos elementos, (monitores o hidrante) puede verse afectada por la presencia de equipos de gran altura; es decir, que hay un área que el monitor o hidrante no pueden cubrir por la presencia de estas estructuras (torres, reactores, racks de tubería, plataformas, etc.). Lo anterior se ejemplifica en el la figura 5.7.
- V.4) El área circular o semicircular (en el caso de que estos dispositivos se coloquen sobre el límite de batería de la propiedad) deben de proteger a las zonas que presenten mayor riesgo de incendio en el proceso, como medios complementarios o de apoyo respecto a la red de agua contra incendio de la planta. Igualmente, se debe de considerar que las áreas de protección de los monitores, hidrantes y tomas para camión contra incendio, pueden traslaparse entre sí para tener un combate más versátil desde varios puntos para un área determinada de proceso que presente un alto grado de riesgo de incendio. Este aspecto se puede ilustrar gráficamente en la figura 5.8.

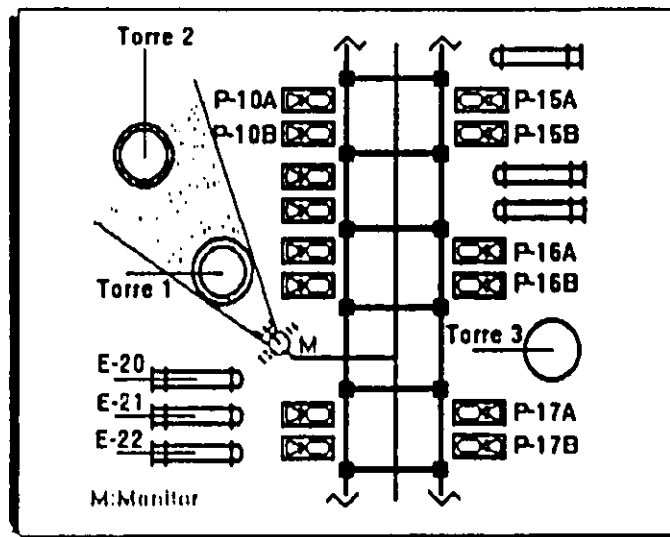


Figura 5.7 : Efecto de apantallamiento de la torre 1 sobre la torre 2, el monitor (M) no puede cubrir el área inmediata trasera a la torre 1, por lo tanto, la torre 2 puede quedar desprotegida.

- V.5) Cada subsistema de distribución de agua contra incendio, que conforma a la red, no manejará gastos mayores a 3,000 gpm.
- V.6) El diámetro mínimo de la tubería a usar para un sistema de aspersión, no será menor a 1 in.
- V.7) El drenaje debe de tener la capacidad suficiente para eliminar rápidamente los líquidos vertidos durante las operaciones de combate al fuego.

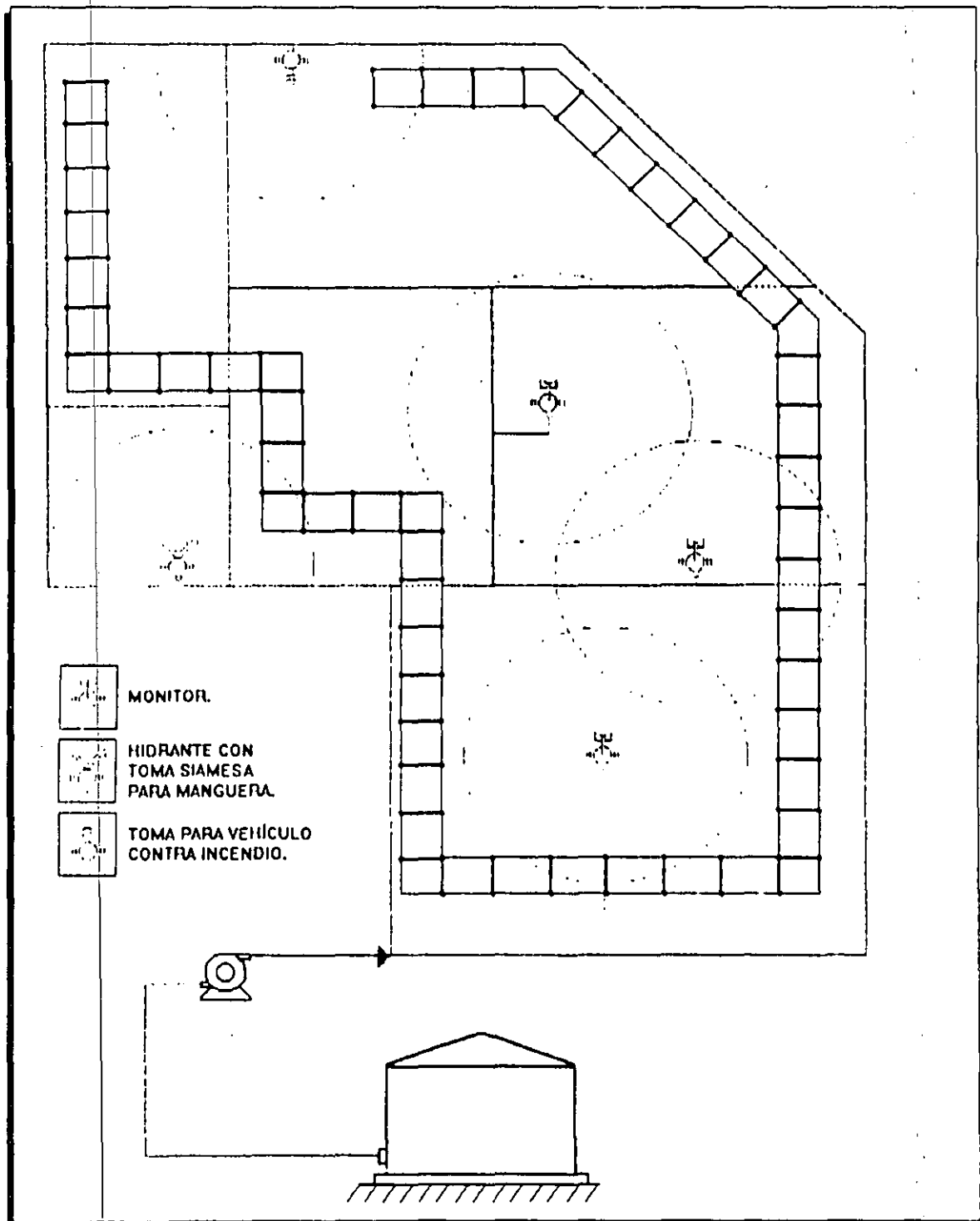


Figura 5.8 : Ejemplo de una distribución de monitores, hidrantes, y tomas para vehículo contra incendio, considerando traslapes entre las áreas protegidas por cada uno de estos tres elementos.

**VI.- Extinguidores:**

Para el caso de los extinguidores, más que hablar de criterios de diseño, hablamos propiamente de criterios de selección y especificación. Para los extintores, se dispone de la normatividad nacional, de Pemex y de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social principalmente. A nivel internacional, la normatividad que más aplica en este caso, es la de la NFPA.

Como se ha mencionado anteriormente, todos los incendios empiezan pequeños y pueden ser extinguidos con extrema facilidad cuando éstos están en sus etapas iniciales o de conato y si se cuenta con los medios adecuados de supresión. Los extinguidores portátiles son diseñados y especificados para este propósito, son una primer línea de defensa contra incendio y sólo se usan en las etapas iniciales de un conato, nunca para un incendio desarrollado y es la primer medida de control a utilizar. El éxito en el uso de un extinguidor dependerá principalmente, de considerar los siguientes cuatro puntos:

- 1) El extinguidor debe de ser colocado en un lugar de fácil acceso, preferentemente siguiendo una línea recta sin obstrucciones .
- 2) El extinguidor seleccionado debe de ser el adecuado para el tipo de fuego que se llegase a presentar más comunmente en el área a proteger.
- 3) El lugar a proteger debe de diseñarse considerando que en caso de que se presente un fuego, éste sea detectado en un tiempo lo suficientemente corto para evitar que el conato se propague hacia otros lados y se convierta en incendio.
- 4) El personal que realice operaciones en el área a cubrir, debe de estar familiarizado con el uso del extinguidor.

De acuerdo con estos cuatro puntos, podemos desarrollar algunas reglas o recomendaciones para la selección y especificación de los extinguidores. Las siguientes guías o recomendaciones, son en su mayoría, tomadas del código NFPA (3), pero se mencionan algunas recomendaciones y adaptaciones para las condiciones de nuestro país (10).

VI.1) Antes de elegir algún tipo de extinguidor, es necesario conocer la naturaleza propia del fuego que se puede desarrollar en el lugar, así como el ambiente físico en el que el extinguidor pueda estar colocado y la presencia de otros agentes químicos en el área que pudieran reaccionar de forma adversa con el agente extintor.

**VI.2 : Extinguidores en fuegos tipo A:**

- 1) Los extinguidores más frecuentemente usados, son a base de agua, de espuma mecánica, de fosfato monoamónico (ABC) y de tipo halogenado. Estos últimos en desuso por su efecto adverso a la capa de ozono

- 2) Se debe de considerar la distribución del espacio en el lugar a proteger, si el lugar a cubrir, presenta una distribución de espacios o una arquitectura compleja (que los accesos no sean libres o rectos), se deberá de colocar extinguidores adicionales a los calculados.

### VI.3: *Extinguidores en fuegos tipo B:*

- 1) Para este tipo de fuegos, los agentes de extinción más comúnmente usados pueden ser de espuma (AFFF), de bióxido de carbono o de polvo químico seco (PQS) a base de bicarbonato de sodio, de bicarbonato de potasio (purple K) o de fosfato monoamónico (ABC).
- 2) Se pueden considerar tres tipos de fuego B para cuestiones de selección de estos extinguidores:
  - a) Fuegos de líquidos hidrocarburos en tanques de almacenamiento.
  - b) Fuegos en superficie (por ejemplo, de derrames y/o fugas de líquidos inflamables o combustibles.
  - c) Fuegos de líquidos inflamables presurizados o fuegos de gases combustibles o inflamables (por ejemplo, en el almacenamiento de Gas L.P. o Gas Butano).

Estos tres fuegos aunque son de la misma clase, tienen patrones de desarrollo diferentes por efecto de las condiciones ambientales predominantes en el lugar.

- 3) Cuando existan instalados extinguidores suficientes para atacar incendios tipo B y si en el área protegida se tiene la presencia de fuegos tipo A moderados, la cantidad de extinguidores para cubrir fuegos tipo A se puede reducir hasta un 50% (debe de considerarse la clase del extinguidor seleccionado, para tal caso, se debe de seleccionar extinguidores universales ABC preferentemente).
- 4) La distancia entre los extinguidores distribuidos en el área a proteger, no deberá ser mayor a 30 m y en los límites del área protegida, no mayor de 15m.

### VI.4 : *Extinguidores en fuegos tipo C :*

- 1) Para este tipo de fuegos, los extinguidores más apropiados, pueden ser a base de CO<sub>2</sub> y/o de polvo químico seco (PQS). Nunca se debe de usar extinguidores a base de agua o de cualquier otro agente conductor de la electricidad.
- 2) Los fuegos tipo C están constituidos en su mayoría por componentes de fuegos tipo A y en ocasiones por componentes de fuego tipo B. Por lo que estos fuegos se pueden tratar como tipo A o B (para un transformador por ejemplo) siempre y cuando, el equipo o sistema se encuentra desenergizado.



- VI.5) Se debe de considerar el tamaño y/o peso de los extinguidores, ya que si éstos son muy pesados, su maniobrabilidad se ve mermada y la calidad de su uso se deteriora. Se recomienda utilizar extinguidores cuyo peso no sea mayor a 20 libras.
- VI.6) Se debe de contemplar la instalación de extinguidores de apoyo para dar una mayor protección a las instalaciones y de una mayor efectividad en las operaciones de control y combate al fuego.
- VI.7) Para plantas de refinación, el tipo de fuego que normalmente se puede presentar, es clase B y puede o no ir combinado con fuego tipo A o C. En este caso, se recomienda el uso de extinguidores de polvo químico seco (PQS) base sodio.

**VI.8 : Distribución y colocación de extinguidores:**

- VI.8.1) La distribución de los extinguidores en el área de proceso debe preferentemente ser uniforme, que se permita un fácil acceso a éstos (sin obstruirlos) y que se hallen cerca de las vías de acceso más transitadas por el personal y en lugares donde el ambiente físico del lugar no los afecte.
- VI.8.2) Los extinguidores con un peso no mayor a 40 lbs, pueden ser colocados a una altura no mayor a 5ft (1.5 m) por arriba del piso.
- VI.8.3) Los extinguidores con un peso mayor a 40 lbs (excepto los que están montados sobre ruedas) deben ser instalados a una altura no mayor de 3.5 ft (1.0 m) por arriba del piso.
- VI.8.4) Es importante colocar los extinguidores a una distancia segura de la zona que presente un alto riesgo de incendio. Esto es con el fin de que en caso de que se desarrolle una situación de emergencia en el lugar, el o los extinguidores no puedan quedar inutilizados por la presencia de fuego adyacente.
- VI.8.5) Distribución de extinguidores para fuego tipo A:
- 1) La distancia entre extinguidores no deberá ser mayor a 20 m para riesgo grave y de 30m para riesgo moderado.
  - 2) Se puede considerar, que el área protegida por un extinguidor (unidades de capacidad), es de forma circular.
- VI.8.6) Distribución de extinguidores para fuego tipo B:
- 1) En áreas donde los líquidos puedan fugar (incendios en superficie), los extinguidores pueden ser colocados a una distancia de separación de 30 ft a 50 ft (9 m a 15 m) Los fuegos así desarrollados, pueden alcanzar su máximo nivel de propagación en un espacio muy corto y los extinguidores en tales situaciones, deben estar lo más cerca posible uno del otro.

- 2) Cuando se prevé que el riesgo de fuego es en áreas de almacenamiento, se puede tener una distancia de separación entre extinguidores de 30 a 50 ft (9 m a 15 m), pero en este caso se incrementará el número de éstos.
- 3) En caso de proteger áreas de almacenamiento de líquidos inflamables, mayores a 10ft<sup>2</sup> (1m<sup>2</sup>), puede no ser ya tan efectivo el uso de extinguidores portátiles. Los fuegos de estos líquidos en estas áreas, relativamente grandes, pueden crecer a niveles muy altos de intensidad, haciéndose imposible el acercarse a ellos. En tales casos, es preferible optar por sistemas fijos de protección.
- 4) Los extinguidores de apoyo (montados sobre ruedas), con capacidades mayores a 40 lbs deben ser colocados y/o distribuidos a distancias no mayores de 50 ft (15 m), aunque pueden colocarse a distancias aún mayores (para protegerlos) dependiendo del riesgo o intensidad del incendio si éste se presentase.

#### VI.8.7) Distribución de extinguidores para fuegos tipo C:

- 1) Estos extinguidores, deben preferentemente estar localizados en áreas que tengan o manejen equipo eléctrico, electrónico y/o de computo.
- 2) Los extinguidores para estos fuegos, deben ser seleccionados en función del o los tamaños de los equipos eléctricos, electrónicos y/o de computo y de la configuración de los mismos.
- 3) En instalaciones eléctricas donde la continuidad del fluido eléctrico es crítica (por razones propias de seguridad), o sea, en aquellos equipos en los que no se permite el corte de la corriente para convertir el fuego del equipo en tipo A o B, se recomienda el uso de sistemas fijos de protección.
- 4) Aún cuando se dispongan de sistemas fijos de protección, se recomienda, tener extinguidores distribuidos alrededor del equipo, para atacar fuegos incipientes o puntuales.

#### VII.- Agentes espumantes:

Los siguientes criterios o recomendaciones para el uso de agentes espumantes, son tomados de las referencias 3, 16 y 23. Los métodos requeridos y recomendados para la aplicación y uso de espumas se fundamentan principalmente en las siguientes normas NFPA:

NFPA 11 :	Low Expansion Foam and Combined Agent Systems.
NFPA 11C :	Mobile Foam Apparatus.
NFPA 16 :	Deluge Foam-Water Sprinkler and Foam-Water Sprays Systems.
NFPA 403 :	Aircraft Rescue and Fire Fighting Services in Airports.

Los criterios a considerar más importantes para el uso de los agentes espumantes son los presentados a continuación y son los que deben de seguirse para el uso efectivo de las espumas en accidentes de cualquier tipo que envuelvan líquidos combustibles o inflamables.

**VII.1)** En el almacenamiento de líquidos inflamables y combustibles, éstos deben de almacenarse a temperaturas y presiones por debajo de sus puntos de ebullición preferentemente.

**VII.2)** La aplicación de espumas debe de hacerse con mucho más cuidado en líquidos que estén almacenados a una temperatura mayor a 212°F (100°C), ya que a estas temperaturas, la espuma que se aplica por arriba de la superficie del líquido puede formar una emulsión de vapor de agua, combustible y aire, que aumenta su volumen cuando se aplica al tanque, "espumando" y literalmente, escupiendo hacia el exterior al líquido que se está quemando.

**VII.3)** Si el líquido almacenado es excesivamente destructivo de la espuma usada, no debe de utilizarse ésta, o en los casos donde la espuma sea altamente solubilizada por el líquido a proteger.

**VII.4)** El líquido almacenado no debe de ser reactivo con el agua.

**VII.5)** Se debe de asegurar que el fuego que se presente debe de ser bidimensional. Si éste se llegase a presentar en tres dimensiones (fuego espacial) no puede ser extinguido tan fácilmente por la espuma, porque ésta no alcanza a cubrir superficies verticales (por escurrecimiento de la espuma y por la distorsión de la red o malla de burbujas de la interfase cuando se tiene una tercer dimensión). Este criterio tiene una excepción y es cuando el material que se esté consumiendo tenga un flash point relativamente alto en el que la aplicación de la espuma pueda enfriar por abajo de este flash point, mas que suprimir la formación de vapores.

**VII.6)** Las espumas de alta y media expansión, son especialmente utilizadas para fuegos en interiores o espacios confinados, su uso en exteriores o espacios abiertos queda limitado por los efectos del clima y la distribución de espacios que se presente en el lugar.

## **6.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO Y DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO.**

Para fines propios de la protección contra incendio a instalaciones de refinación, es necesario contar con una descripción del proceso, ya que con ésta, es posible identificar de forma preliminar las operaciones y/o equipos del proceso que puedan contribuir de manera notoria a desarrollar incidentes leves, moderados o graves de fuego. Esta descripción sirve igualmente, como documento de apoyo para la aplicación de los estudios de identificación de riesgos, mismos que se desarrollarán en el capítulo 7.

### **6.1) Generalidades del Proceso de Desintegración Catalítica:**

El proceso de craqueo catalítico, es de los más comunes en refinerías para la conversión de los gasóleos provenientes de los destilados primarios del crudo en torres atmosféricas, al vacío y de las hidrodesulfuradoras, para convertirlos en productos de mayor valor y uso como gasolinas, aceites cíclicos y componentes ligeros principalmente. Los procesos de desintegración, utilizan reactores de dos tipos:

- a) De Lecho Móvil.      b) De Lecho Fluidizado.

Ambos reactores, presentan diferencias en su diseño, pero su filosofía de operación, es muy similar. El proceso Thermofor (Thermal Catalytic Cracking o TCC) es el representativo de las unidades de Lecho Móvil y el proceso de craqueo catalítico fluidizado (FCC), es el representativo de las unidades de Lecho Fluidizado. En los procesos de desintegración catalítica, ocurre primero una reacción endotérmica (con absorción de calor) para que se lleven a cabo las reacciones de cracking. Éstas provocan una incrustación de carbón (coque) sobre la superficie del catalizador, disminuyendo la actividad de éste. Para mantener la actividad del catalizador a niveles apropiados, el catalizador se regenera en una 2da. reacción de combustión controlada con aire (exotérmica). En esta reacción, el carbón depositado se quema para quitarlo del catalizador y regenerarlo, como resultado se tiene un traslado continuo del catalizador de las zonas de reacción a las de regeneración. En la mayoría de los reactores comerciales, se aprovecha el calor obtenido de la sección de regeneración para suministrarlo a la zona de craqueo y para precalentar a la alimentación hasta la temperatura de reacción. Las temperaturas promedio de operación para el reactor están entre los 480°C a 540°C y en el regenerador, entre los 570°C a 590°C. Se tiene pues, un movimiento cíclico del catalizador gastado en el reactor hacia el regenerador y del catalizador regenerado al reactor. Este movimiento del catalizador, es el principal medio de transporte del calor siendo el transporte del catalizador neumático. A nivel comercial, las diferencias entre los reactores de cada licenciador, radican en el ensamble de las unidades de reacción y regeneración. En el caso específico nuestro, la unidad utilizada es del tipo "lado por lado", donde el reactor y el regenerador son recipientes adyacentes uno al otro.

**6.2) Descripción del Proceso:**

La planta FCC No. 2 de la Refinería de Cd. Madero cuenta con las instalaciones necesarias para realizar la conversión catalítica de la mezcla de gasóleos para producir gas seco dulce, propileno, propano, gasolinas, mezcla de butanos-butilenos, aceite ciclico ligero (ACL), aceite ciclico intermedio (ACI), aceite ciclico pesado (ACP) y nafta pesada (NP). La mezcla de gasóleos a procesar está constituida por:

- a) Gasólico Atmosférico (GOPA).
- b) Gasóleo Ligero de Vacío (GOLV)
- c) Gasóleo de Coquizadora Hidrodesulfurado (GOCH).
- d) Gasóleo Pesado de Vacío (GOPV).

La planta la constituyen las siguientes secciones:

- a) Desintegración de Gasóleos. (DFP 1/16).
- b) Sección de Precaentamiento de Carga. (DFP 3/16)
- c) Sección de Fraccionamiento Primario. (DFP 2/16)
- d) Sección de Recuperación de Vapores. (DFP 4/16 y DFP 5/16)
- e) Sección de Fraccionamiento de Productos Ligeros. (DFP 6/16, DFP 7/16, DFP 8/16, DFP 10/16 y DFP 11/16).
- f) Sección de Tratamiento con Aminas del LPG y del Gas Seco. (DFP 9/16, DFP 12/16 y DFP 13/16).
- g) Sección de Tratamiento de Agua Amarga. (DFP 14/16).
- h) Unidad de Tratamiento Cáustico Oximer de Gasolina. (DFP 15/16)
- i) Unidad de Tratamiento Cáustico Oximer de LPG. (DFP 16/16)

**a) Desintegración de Gasóleos:**

La alimentación de gasóleos a la planta, se recibe en el Tanque de Igualación D-101, el recipiente se ventea directamente al Fraccionador Principal T-201, para mantener constante, la presión en el recipiente. La Bomba de Alimentación de Gasóleos P-101A/R suministra la mezcla de gasóleos al Regenerador R-101. Antes de que la alimentación llegue al Riser del Reactor R-102, pasa a una zona de Precaentamiento de Carga (DFP 3/16). La mezcla de gasóleos es inyectada al Riser del Sistema de Reacción, en el "J-Bend". La inyección se hace junto con vapor de media presión para atomizar la alimentación. El aire para fluir al catalizador, se manda con el Ventilador de Aire C-101 impulsado con una turbina de vapor. Este aire se precalienta en el Calentador de Aire H-101 para luego distribuirse al Regenerador R-101 (para suspender al catalizador) y a los Silos del Catalizador D-104, D-105 y D-106 (para las diversas operaciones que ahí se realicen). Los productos obtenidos en el Regenerador, son una corriente de Flue Gas mandada a un Ciclón Separador de 3er. Etapa CY-106, para quitar las partículas de catalizador arrastrados (otros dos ciclones se encuentran dentro del mismo regenerador, CY-102 y CY-103). El Flue Gas (libre de catalizador), se manda al Paquete SE-101 (Waste Heat Boiler), para enfriarlo y producir vapor de alta presión. Aquí, se hace un bypass del Flue

Gas en caso de que se necesite aislar al Paquete SE-101 para fines de mantenimiento u operativos. Un sistema de ciclones en serie dentro del Reactor R-102, CY-104 y CY-105, separan al catalizador arrastrado de los vapores producidos en la descomposición catalítica de los gasóleos. El catalizador gastado del Reactor R-102 (acumulado en la parte inferior del reactor), se manda al Regenerador R-101. Los vapores producto del Reactor R-102 se mandan a la Torre Fraccionadora T-201 para la separación y/o putificación de los productos obtenidos.

#### **b y c) Secciones de Fraccionamiento Primario y Pre calentamiento de Carga:**

En esta sección, se fracciona al effluente vapor del Reactor R-102, y se obtienen grandes cantidades de calor aprovechables para el suministro de los servicios de calentamiento requeridos por las distintas secciones del proceso. Los vapores del reactor entran por el fondo del Fraccionador Principal T-201 a 545°C en la 1er. zona empacada, de lavado/condensación. El liquido de retorno del "pumparound" del ACP, fluye hacia abajo y desobrecalienta los vapores para condensar el producto neto de ACP y mandar una parte a limites de batería. El "pumparound" de ACP, calienta al gasóleo de carga al reactor en el Intercambiador de Recirculación de ACP / Carga Fresca E-202 y genera vapor de media presión en el Intercambiador de Recirculación de ACP / Generador de Vapor E-210. Parte del ACP frío se recircula a la parte superior del 1er. empaque y otra a la parte inferior para enfriar y controlar la temperatura de los fondos. El ACP frío no recirculado, vuelve a enfriarse en el Intercambiador de ACP Producto / Agua para Caldera E-214, se vuelve a enfriar con aire en el Enfriador de ACP Producto EA-203 y se manda a 82°C y 5 Kg/cm<sup>2</sup> (man.) a limites de batería.

Los vapores (no condensados en el 1er. empaque) ascienden a la 2da. zona empacada o de lavado/enfriamiento. El liquido del fondo de este empaque, ACI caliente, se extrae y una parte fluye por gravedad al Agotador de ACI T-210, donde se agota con vapor de agua en un lecho empacado para recuperar hidrocarburos ligeros. El ACI producto se manda a enfriamiento con la Bomba de ACI Producto P-221A/R al Intercambiador ACI Producto / Agua para Caldera E-230 y en el Enfriador de ACI Producto EA-211 para mandarse a limites de batería a 82°C y 5 Kg/cm<sup>2</sup> (man.). El liquido del "pumparound" del ACI, se toma con la Bomba de Recirculación P-207A/R y se enfría cediendo calor al Rehervidor de la Desbutanizadora E-208 y en el Intercambiador de Recirculación de ACI / Generador de Vapor E-211. El ACI frío, retorna al Fraccionador por la parte superior del empaque.

Los vapores lavados ascienden a la zona de platos del Fraccionador, 30 en total. En el plato chinenea 22, se extrae ACL, una parte de éste se agota con vapor de media presión en el Agotador T-202. El vapor que sale de este Agotador regresa al Fraccionador, en el plato 19. El ACL producto se manda a enfriamiento con la Bomba de ACL Producto P-204A/R, calentando al gasóleo de carga en el Intercambiador ACL Producto / Carga Fresca E-212 y agua para caldera en el Intercambiador ACL Producto / Agua para Caldera E-213 y se vuelve a enfriar con aire en el Enfriador de ACL Producto EA-208/R para mandarse a l. B. El ACL para el "pumparound" se toma de la bomba P-202A/R y se divide en dos líneas, una proporciona calor al Rehervidor del Fraccionador C3/C4 E-226 y la otra lo cede

al 1er. Rehervidor del Agotador Primario E-205, luego al Rehervidor Lateral del Agotador Primario E-236 y por último, precalienta la carga de este Agotador en el 2do. Precalentador de Carga del Agotador Primario E-215, aquí, se separa al aceite pobre del ACL. El aceite pobre se manda a enriquecerse en el Absorbedor Secundario T-205. Este aceite enriquecido y el ACL de retorno del Fraccionador C3/C4 regresan al Fraccionador Principal al Plato 19, previo enfriamiento en el Enfriador de Recirculación de ACL EA-209 que sirve como enfriador de ajuste.

En la zona del último "pumparound" o de Nafta Pesada (NP), del plato 10, se extrae líquido que se divide en dos corrientes:

a) La primera, se agota con vapor en el Agotador de Nafta Pesada T-211. La NP Producto, se manda a enfriamiento con la Bomba de Nafta Pesada Producto P-222A/R al Enfriador de NP Producto EA-212A/R y en el 2do. Enfriador de NP Producto E-235 para mandarla a límites de batería a 38°C y 5 Kg/cm<sup>2</sup> (man.).

b) La segunda se recircula con la Bomba de Recirculación de NP P-201A/R para dividirla en dos líneas. Una línea se manda como Nafta de Apagado al Reactor R-102. La otra línea, se puede enfriar en el Intercambiador de Recirculación de NP / Agua para Caldera E-217 o en el Intercambiador de Recirculación de NP / Carga Fresca E-231. El enfriamiento de esta recirculación, se acompleta con el Enfriador de Recirculación de NP EA-202 (enfriador de ajuste).

#### **d y e) Sección de Recuperación de Vapores y Fraccionamiento de Ligeros:**

Los vapores que salen del domo del Fraccionador, llegan al 1er. Condensador del Fraccionador Principal EA-201 y luego al 2do. Condensador del Fraccionador Principal E-201. El condensado, hidrocarburos y agua amarga, se separan en el Acumulador de Reflujo del Fraccionador Principal D-201. Una parte de los hidrocarburos líquidos se retorna al Fraccionador como reflujo con la Bomba de Reflujo P-214A/R y el resto se manda al Absorbedor Primario T-203 con la Bomba de Nafta Ligera Inestabilizada P-206A/R. El vapor que sale del Acumulador D-201 fluye al Separador de Arrastre de la Succión del Compresor D-206, donde separa al líquido arrastrado por el vapor, antes de que este último, entre al Compresor de Gas Húmedo C-201. El agua amarga separada del Acumulador D-201, se manda a la Sección de Tratamiento de Aguas Amargas a través de la Bomba de Agua Amarga P-205A/R.

El vapor separado es comprimido en dos etapas por medio de los Compresores de Gas Húmedo C-201 accionados con turbinas de vapor. En la descarga de la 1er. etapa, se inyecta agua de lavado proveniente del Acumulador de Agua de Lavado D-209, mandada con la Bomba de Agua de Lavado P-215A/R antes del 1er. Enfriador Interetapa del Compresor EA-204, para remover sales solubles. Esta línea vuelve a enfriarse en el 2o. Enfriador Interetapa del Compresor E-203, separándose el vapor y los condensados en el Acumulador Interetapa del Compresor D-202. El agua amarga separada, se manda a

tratamiento o se vuelva a mezclar con los vapores del domo del Fraccionador. Los hidrocarburos condensados se envían con la Bomba de Condensados Interetapa del Compresor P-209A/R al Separador de Alta Presión (DFP 5/16).

El vapor que sale del tanque D-202 se recomprime en una 2da. etapa y la descarga se mezcla con Aceite Rico (fondos) del Absorbedor Primario T-203, con los vapores del Agotador T-204 y con agua de lavado del Tanque D-209. Esta mezcla fluye al 1er. Condensador del Separador de Alta Presión EA-205 y se mezcla luego con la línea de hidrocarburos condensados del Acumulador D-202 pasando al 2do. Condensador del Separador de Alta Presión E-204, siendo alimentada por último al Separador de Alta Presión D-203. El hidrocarburo aquí separado, es mandado al Agotador T-204 por medio de la Bomba de Carga al Agotador P-213A/R, en tanto que los vapores separados son mandados al Absorbedor Primario.

El Absorbedor Primario T-203 recupera la mayor parte de los propanos-propilenos y butanos-butilenos contenidos en la corriente de domos del Fraccionador Principal. Esta torre cuenta con 30 platos y dos interenfriadores. El 1er. Interenfriador del Absorbedor Primario E-222 y el 2do. Interenfriador del Absorbedor Primario E-223, que retiran calor en el líquido descendente y mejoran su capacidad de absorción. El gas que sale de este absorbedor (Gas Seco) se manda al Absorbedor Secundario T-205 en una segunda etapa de recuperación de licuables. El líquido se manda al Separador de Alta Presión con la Bomba de Fondos del Absorbedor Primario P-212A/R.

El Agotador Primario T-204, consta de 29 platos y tres rehervidores (uno lateral y dos en el fondo). El producto de fondos, representa a los líquidos totales recuperados, más la gasolina sin desbutanizar, esta corriente se manda a la Desbutanizadora T-206. El 2do. Rehervidor del Fondo del Agotador E-219 suministra el resto del calor requerido por la torre, con vapor de baja presión, el otro suministro de calor proviene del "pumaround" del ACL.

El gas seco del Absorbedor Primario, se alimenta por el fondo del Absorbedor Secundario T-205 que consta de 25 platos. El aceite de absorción en este caso, el ACL sin agotar (sin tener contacto con vapor de agua), se enfría primero en el Intercambiador Aceite Pobre/Aceite Rico E-206 y luego en el Enfriador de Aceite Pobre E-218 para mejorar su capacidad de absorción. El ACL Rico sale del fondo de la columna y se manda de regreso al Fraccionador Principal. El gas seco (amargo) que sale del domo de este absorbedor, se manda a tratamiento de endulzamiento con amina (DFP 12/16).

Los fondos del agotador T-204 entran al plato 21 de la Desbutanizadora T-206. Los vapores de domos de la torre, se condensan en el Condensador de la Desbutanizadora EA-207 y se colectan en el Acumulador de Reflujo de la Desbutanizadora D-204. Con la Bomba de Reflujo P-210A/R, parte del líquido condensado se retorna a la torre (reflujo) mientras que la otra parte, mezcla propanos-propilenos y butanos-butilenos, se envían a



tratamiento con amina (DFP 9/16), previo enfriamiento en el Enfriador de LPG Producto E-209. Los fondos de la torre, gasolina desbutanizada, se divide en dos líneas: una que es gasolina de absorción y la otra que es gasolina producto.

La gasolina de absorción (reciclo), se enfría, cediendo calor, a los líquidos del Separador de Alta Presión por medio del 1er. Precalentador de Carga al Agotador E-207, vuelve a enfriarse en el Enfriador de Gasolina de Absorción E-216 y se manda a mezcla con la corriente de Nafta Ligera Inestabilizada del Acumulador D-201 a través de la Bomba de Gasolina de Absorción P-211A/R. La gasolina producto precalienta la carga a la Desbutanizadora en el Intercambiador de Carga / Fondos de la Desbutanizadora E-221, vuelve a ser enfriada, cediendo calor en el 2do. Rehervidor del Fraccionador C3=/C3 E-232 (DFP 11/16). Por último, se vuelve a enfriar con aire en el 1er. Enfriador de Gasolina Producto EA-210 y con agua en el 2do. Enfriador de Gasolina Producto E-220 para mandarla a tratamiento cáustico (Unidad Oximer).

Las operaciones siguientes de separación de esta Sección de Fraccionamiento de Ligeros: C3/C4 y C3=/C3, se describen más adelante (DFP 10/16 y DFP 11/16), en el inciso "j".

#### f) Sección de Tratamiento con Aminas del LPG y del Gas Seco:

El destilado de la Desbutanizadora entra por el fondo del Contactador LPG-DEA T-301. Los vapores ascienden a través de un lecho empacado poniéndose en contacto, con una solución líquida de DEA pobre en contra corriente. El LPG dulce (libre de  $H_2S$ ), sale por el domo del contactador al Separador de LPG-DEA D-301, que recupera la amina arrastrada. La amina rica que sale por fondos de la columna, se envía, junto con la amina recuperada del Separador D-301 hacia la zona de regeneración. El LPG vapor separado de la amina en el tanque D-301, se manda a tratamiento cáustico (Unidad Oximer).

El gas seco proveniente del Absorbedor Secundario T-205 entra al Separador de Arrastre de Gas Seco Amargo D-205, eliminando (con una malla coalescedora interna) al aceite arrastrado que pueda causar problemas de espumación de la solución de DEA. El aceite separado, se retorna y mezcla con los fondos del Absorbedor Secundario T-205 y el gas separado, se alimenta al fondo del Lavador de Gas Combustible T-207. La DEA pobre proveniente de la zona de regeneración, entra al plato 1 de la torre y se pone en contacto con el gas a contra corriente absorbiendo los gases ácidos. El gas limpiado (sin  $H_2S$  y  $CO_2$ ) sale de la columna y pasa al Separador de Arrastre de Gas Seco Dulce D-208 para separar el arrastre de DEA y enviar el gas, al sistema de Gas Combustible de la Refinería.

La DEA rica (con los gases ácidos absorbidos) que viene del Lavador de Gas Combustible T-207 y del Contactador T-301, se regenera en un sistema donde los gases ácidos son desorbidos (stripper) y la amina pobre (libre de estos gases) se recircula a los equipos de absorción que así lo requieran. Las soluciones de DEA Rica provenientes de ambos equipos, se mezclan y despresurizan para luego entrar al Tanque de Desorción de Hidrocarburos D-502. El líquido de este tanque, pasa al filtro de DEA Rica PF-501/R. La DEA Rica se calienta en el Intercambiador de DEA Rica / DEA Pobre E-502, antes de

alimentarse al plato 4 del Regenerador de DEA T-501, en esta torre, a la DEA Rica se le elimina el gas ácido. El medio de calentamiento del Rehervidor del Regenerador de DEA E-503 es vapor de baja presión, el cual tiene una temperatura lo suficientemente baja para evitar que la temperatura del metal de los tubos del rehervidor llegue a temperaturas en las que se pueda degradar la DEA. Los vapores del domo de la columna entran al 1er. Condensador del Regenerador de DEA EA-501 y luego, al 2do. Condensador del Regenerador de DEA E-504 y el condensado pasa al Acumulador de Reflujo del Regenerador de DEA D-501. El condensado, esencialmente agua, regresa una parte a la torre como reflujo por medio de la Bomba de Reflujo del DEA P-502A/R, la otra parte del destilado se manda al Tanque de Almacenamiento de DEA TK-501. El vapor separado de este tanque D-501 es básicamente gas ácido producto, saturado con vapor de agua que se manda a límites de batería (a la Planta de Azufre).

La solución de DEA pobre sale por el fondo de la columna T-501, se manda a un sistema de filtros con la Bomba de Recirculación de DEA P-501A/R, previo enfriamiento en el Enfriador de DEA Pobre E-501. Un 30% de esta solución pasa a una serie de filtros: en el 1er. filtro de DEA Pobre PF-503 se remueven sólidos arrastrados, en el 2do. filtro de DEA Pobre PF-504, de carbon activado, se eliminan productos de degradación de la DEA y en el 3er. Filtro de DEA Pobre PF-505 se eliminan sólidos finos que hayan podido cruzar al primer y segundo filtros anteriores. La solución de DEA Pobre fría se divide en dos líneas: una se regresa directamente al Contactor de LPG-DEA T-301 y la otra se mezcla con una corriente derivada de la descarga de la Bomba de Recirculación de DEA Pobre P-501A para que se mande al Lavador de Gas Combustible T-207.

El Tanque de Almacenamiento de DEA TK-501, contiene todo el inventario de DEA del sistema. Este tanque, cuenta con un sello de keroseno que flota sobre la superficie líquida de DEA para evitar que penetre el aire y descomponga a la solución. Se utiliza una Fosa de Preparación de Solución de DEA TK-502, para coleccionar los derrames de la solución y para preparar la solución fresca de reposición.

#### **g) Sección de Tratamiento de Aguas Amargas:**

Esta sección trata el agua amarga, producida en la sección de Recuperación de Vapores. Aquí se remueve al Ácido Sulhídrico ( $H_2S$ ) y al amoniaco ( $NH_3$ ) del agua con el uso de vapor, produciendo una corriente de gas ácido amoniacal ( $H_2S$  y  $NH_3$ ) que se envía a la planta de azufre y una corriente de agua desflemada (agotada) para reutilizarse en el desalado del crudo alimentado a la refinería o se manda al sistema de tratamiento de efluentes de la misma.

La corriente de agua que viene de esta sección, se recibe en el Tanque de Balance del Agotador de Agua Amarga D-401. Aquí se separan los hidrocarburos arrastrados por el agua, por asentamiento de fases. Los hidrocarburos (fase ligera) rebosan sobre una manpara y se envían de regreso al Acumulador D-201, con la Bomba de Hidrocarburos Recuperados P-401A/R. La fase acuosa, rica en  $H_2S$  y  $NH_3$  se envía del primer al tercer

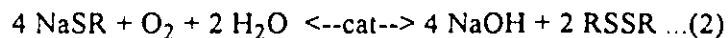
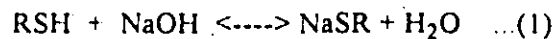
compartimento de este tanque mediante una línea interna de vasos comunicantes. En este tercer compartimento, el agua amarga, libre de aceite, se manda como carga al Agotador de Agua Amarga T-401 por medio de la Bomba de Carga al Agotador de Agua Amarga P-402A/R.

La sección inferior del agotador, desorbe (stripper) los gases ácidos del agua amarga. El calor requerido para la desorción, se suministra a través del Rehervidor del Agotador de Agua Amarga E-401 que opera con vapor de baja presión alimentado a control de flujo (FC) del rehervidor y corregido por señal en cascada con el control de flujo (FC) de la línea de alimentación de agua amarga a la torre T-401. Esto con el fin, de mantener una relación más o menos constante de kg de vapor / kg de agua amarga. En la parte superior de la columna, se regula el contenido de humedad de los gases desorbidos, por enfriamiento de los vapores que ascienden. La condensación se efectúa circulando agua que se alimenta relativamente fría (60°C) al plato 1, desciende hasta el plato 8 y se extrae caliente a 105°C con la Bomba de Recirculación del Agotador de Agua Amarga P-404A/R y la envía a enfriamiento en el Enfriador EA-401 a control de flujo en cascada con el control de temperatura (TC) del domo del agotador. Los domos del agotador se mandan junto con la corriente vapor del Tanque de Balance del Agotador D-401 hacia el Separador de Arrastre de Gas Ácido D-402. Los gases separados del líquido, se envían a L. B., a la Planta de Azufre.

Los fondos del agotador T-401, (agua desflemada) se enfría, precalentando a la carga de la torre en el Intercambiador de Carga / Fondos del Agotador de Agua Amarga E-402 por medio de la bomba P-403A/R. Esta corriente vuelve a enfriarse en el Enfriador de Agua Amarga Agotada E-403 y se manda a L. B., el agua desflemada no debe de tener un contenido mayor a 25 ppm de NH<sub>3</sub> y 5 ppm de H<sub>2</sub>S. En el fondo del agotador se cuenta con una línea auxiliar de inyección de vapor vivo, ya que en caso de falla o mantenimiento del Rehervidor E-401, se pueda suministrar vapor semejante al de agotamiento.

#### h) Unidad de Tratamiento Cáustico Oximer de Gasolina.

Esta unidad endulza a la gasolina de la Desbutanizadora T-206, eliminando mercaptanos y otros ácidos orgánicos arrastrados durante el proceso, a través de un tratamiento cáustico. El proceso consta de dos etapas, en la 1er. etapa (de prelavado), se remueve al Ácido Sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) arrastrado por medio de su conversión a Sulfuro de Sodio (Na<sub>2</sub>S). En la 2da. etapa, de Endulzamiento-Regeneración, se remueven los mercaptanos con la regeneración simultánea de sosa mediante las reacciones:



Donde R se refiere al número de carbonos contenidos en la cadena parafínica..

### h.1) Prelavado:

Los fondos de la Desbutanizadora T-206, con el fin de eliminar compuestos corrosivos, pasan al Filtro de Gasolina PF-310. La gasolina filtrada se mezcla con una corriente de recirculación de solución de sosa al 6% en peso y se introduce al Mezclador de Prelavado AG-310 A,B/R, donde el  $H_2S$  reacciona para formar  $Na_2S$ , el cual es soluble en la solución de sosa. A la salida de este mezclador, se tiene al Separador de Prelavado D-310, donde la gasolina se extrae como fase ligera por la parte superior del recipiente y se envía a la Etapa de Endulzamiento-Regeneración. La solución de sosa (fase pesada) se extrae por la parte inferior del separador y se retorna a la línea de gasolina de carga con la Bomba de Recirculación de Sosa P-310A/R. Este equipo, cuenta con una purga al nivel de la interfase acuosa-orgánica para remover compuestos formados en reacciones parásitas que presentan comportamiento tensoactivo y que inhiben la reacción de la sosa con los mercaptanos, disminuyendo la eficiencia de la remoción. Las impurezas son enviadas al Tanque de Sosas Gastadas D-327. La sosa de esta etapa, no se regenera, por lo que la sosa gastada, se purga y se repone para mantener su concentración del 6% en peso. La sosa de reposición viene del Tanque de Almacenamiento de Sosa del 4% al 6% en peso TK-320 de la Unidad de Tratamiento Cáustico de Gas L.P. (DFP 16/16).

### h.2) Endulzamiento-Regeneración:

La gasolina del Separador D-310 se mezcla con sosa de recirculación al 19% en peso, que contiene catalizador de oxidación (Ftalocianina de Cobalto Sulfonada) en concentraciones de 150 a 200 ppm. Se inyecta a esta corriente aire proveniente del Paquete de Compresión de Aire SE-330. La mezcla de gasolina-sosa-aire se alimenta al Mezclador de Endulzamiento AG-311A,B/R, aquí se efectúa la reacción de conversión de los mercaptanos a mercapturos (reacción 1), los que se separan de la fase orgánica (gasolina) y se disuelven en la fase acuosa. También se realiza la reacción de oxidación catalítica de los mercapturos disueltos en la fase acuosa a disulfuros, en presencia del catalizador de oxidación (reacción 2). La corriente de salida del mezclador, se alimenta al Separador de Endulzamiento D-311, la solución de sosa se extrae por el fondo del recipiente y se envía a mezcla con la corriente de gasolina de carga al mezclador AG-311 con la Bomba de Recirculación de Sosa P-311A/R. Este tanque también tiene una purga a nivel de la interfase hidrocarburo-sosa, para la remoción de los tensoactivos formados en reacciones parásitas. El aire en exceso sale por domos del separador y se envía al Tanque Lavador de Aire D-313, donde la corriente de aire, se burbujea en agua, con el fin de liberarlo de los disulfuros y trazas de hidrocarburos arrastrados, para su venteo final a la atmósfera. El agua saturada con las impurezas, se envía al drenaje químico para su posterior tratamiento.

Aunque la solución cáustica, se regenera continuamente, existe un consumo, ya que la sosa reacciona irreversiblemente con compuestos ácidos presentes. La corriente de sosa se purga periódicamente a fin de restituir la alcalinidad de la solución, enviándose la sosa gastada al tanque D-327. La sosa de reposición que se recibe en esta sección proviene de la bomba P-324A,B,C/R que succiona la sosa del Tanque de Almacenamiento de Sosa al 19%

TK-321 El catalizador se maneja como un sólido disperso en la solución de sosa y su reposición se efectúa a través del Tanque de Alimentación del Catalizador D-312, para mantener la concentración adecuada del catalizador.

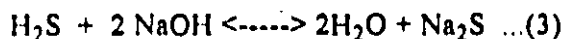
La gasolina producto, se extrae como fase ligera del separador D-311 y con la Bomba de Gasolina Tratada P-312A/R se manda a que se le adicione un agente inhibidor del Tanque de Alimentación de Inhibidor de Formación de Gomas TK-310, mediante la Bomba Dosificadora P-313A/R. La gasolina producto se envía finalmente a L.B. Una pequeña fracción de esta gasolina (10 gpm), se manda a la Unidad Oximer de Gas L.P. para su posterior empleo en la etapa de regeneración de sosa.

**i) Unidad de Tratamiento Cáustico Oximer de Gas L.P.**

En esta unidad se elimina el H<sub>2</sub>S remanente, mercaptanos y sulfuro de carbonilo (COS) del Gas L.P. proveniente del Contactor LPG-DEA T-301 (DFP 9//16).

**i.1) Prelavado:**

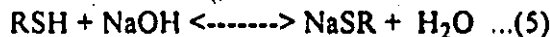
Aquí se extrae al H<sub>2</sub>S de la corriente de Gas L.P. y otros compuestos formados en el proceso, tales como bases nitrogenadas, ácidos fenólicos y nafténicos entre otros de acuerdo con las reacciones:



La alimentación pasa por el Filtro de Gas L.P. de Carga PF-320, en el que se eliminan las impurezas presentes para evitar interferencias en la extracción del H<sub>2</sub>S. El Gas L.P. filtrado, se mezcla con sosa recirculada al 4% en peso para alimentarse al Mezclador de Prelavado AG-320A,B/R. En este prelavado se elimina la mayoría del H<sub>2</sub>S mediante su reacción con la sosa, una fracción pequeña de los mercaptanos se remueve en esta parte. La corriente de salida de este mezclador, se envía al Tanque Separador de Prelavado D-320, en el que la solución de sosa, se extrae por el fondo del recipiente con la Bomba de Recirculación de Sosa de Prelavado P-320A/R para retornarse a la línea de carga de Gas L.P. El Gas L.P., libre de H<sub>2</sub>S, sale por el domo del tanque y se envía a la Zona de Extracción. Este tanque también cuenta con una purga localizada al nivel de interfase hidrocarburo-sosa para remover los tensoactivos formados en reacciones secundarias. Los tanques separadores D-321, D-322, D-323 y D-324, operan de la misma forma que el tanque D-320.

i.2) Extracción:

En esta zona, se lleva a cabo la conversión y extracción de mercaptanos en forma de mercapturos de acuerdo con la reacción:



El Gas L.P. se mezcla con sosa de recirculación al 19% en peso para entrar al Mezclador de la 1er. Etapa de Extracción AG-321 A,B/R, separándose la sosa como fase pesada del recipiente D-321 y enviándose a regeneración, 3 partes de 8, son regeneradas. Las 5 partes restantes, se unen con 3 partes de sosa recirculada de la 2da. etapa de extracción, para mandarse a la Bomba de Sosa de la 1er. Etapa de Extracción P-326A/R, uniéndose la descarga de la bomba con el efluente de la sección de prelavado. El Gas L.P. sale por el domo del recipiente D-321 para mezclarse posteriormente con sosa de recirculación de la 2da. etapa de extracción y la regenerada para entrar al Mezclador de la 2da. Etapa de Extracción AG-322A,B/R. Los mercaptanos remanentes que llegaron hasta aquí, se convierten a mercapturos. El efluente del mezclador pasa al Separador de la 2da. Etapa de Extracción D-322, donde se separa la solución de sosa por el fondo, para luego ser recirculada con la Bomba de Recirculación de Sosa de la 2da. Etapa de Extracción P-321A/R. El Gas L.P. libre de mercaptanos sale por el domo de este tanque enviándose a la zona de eliminación de COS.

i.3) Eliminación de COS:

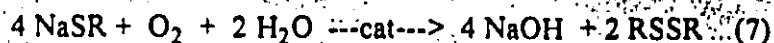
El COS reacciona con la sosa y MEA, formando sulfuro y carbonato de sodio, de acuerdo con la reacción:



El Gas L.P. se mezcla con sosa de recirculación y MEA, al 10% y 3% en peso respectivamente provenientes de la Bomba de Recirculación de Sosa y MEA P-322 A/R, pasando al Mezclador de Eliminación de COS AG-323 A,B, donde se realiza la reacción 6, formándose sulfuro y carbonato de sodio. El efluente del mezclador pasa al Tanque de Eliminación de COS D-323, donde se extrae la sosa como fase pesada que se recircula al mezclador AG-323 A,B. El Gas L.P. separado pasa al Filtro de Gas L.P. Tratado PF-321, para eliminar residuos de MEA y sosa acuosa. Esta corriente filtrada se envía a fraccionar al Fraccionador C3/C4 (DFP 10/16). La sosa de esta zona, no se regenera y una vez que se agota del 10% al 3% en peso, se envía al Tanque de Sosas Gastadas D-327 y se sustituye por sosa fresca del Tanque de Almacenamiento TK-321.

i.4) Regeneración de Sosa:

Aquí, se convierten los mercapturos a disulfuros orgánicos, extrayéndose éstos con nafta de acuerdo con la reacción:



La sosa pasa al calentador de Sosa E-320, que usa vapor a control de flujo en cascada con el control de temperatura de salida de sosa. Para eliminar los disulfuros que no son solubles en la sosa, se inyecta de 3 a 6 lpm de Nafta proveniente de la Unidad Oximer de Gasolina. La mezcla de Sosa y Nafta se unen con aire del paquete SE-330 que se suministra en forma automática por medio de un relacionador de flujo de solución de sosa / aire por el fondo de la Torre de Oxidación T-320. Por el domo de la torre, se tiene una mezcla de aire, sosa, nafta y disulfuros orgánicos, que entran al Separador de Disulfuros / Sosa D-324. Este separador cuenta con una sección empacada que sirve para separar el exceso de aire y enviarlo al Tanque Lavador de Aire D-326; obteniéndose los disulfuros orgánicos y la nafta como fase ligera, para enviarlos a L. B. con la Bomba de Gasolina con Disulfuros P-329A/R (Reciprocante). La solución de sosa regenerada se extrae por el fondo del tanque y con la Bomba de Sosa Regenerada P-323A/R (Reciprocante) pasa al Filtro de Sosa Regenerada PF-322, para eliminar impurezas. Finalmente, se manda esta sosa al Enfriador de Sosa E-321 A,B. y ya fría, esta sosa se manda a la 2da. etapa de extracción. El catalizador de oxidación, se repone pasando la solución de sosa regenerada por el Tanque de Alimentación de Catalizador D-325.

#### i.5) Reposición de sosa y MEA:

La sosa de reposición al 4% y 6% en peso, se prepara en el Tanque de Almacenamiento de Sosa al 4% y 6% TK-320 a partir de la solución de sosa al 48% en peso que viene del tanque TK-323. La sosa al 10% y 19% en peso se prepara en el tanque TK-321. La reposición de la sosa requerida en los diferentes circuitos, se hace con las Bombas de Reposición de Sosa P-324 A,B,C/R y operan de acuerdo a los siguientes criterios:

- a) Una sola bomba suministra la sosa al 4%, 10% y 19% en peso requerida en la Unidad Oximer de Gas L.P.
- b) Una sola bomba proporciona sosa al 6% requerida en la Unidad Oximer de Gasolina.
- c) Tres bombas operan en paralelo, para reponer la sosa al 19% de la Unidad Oximer de Gasolina.

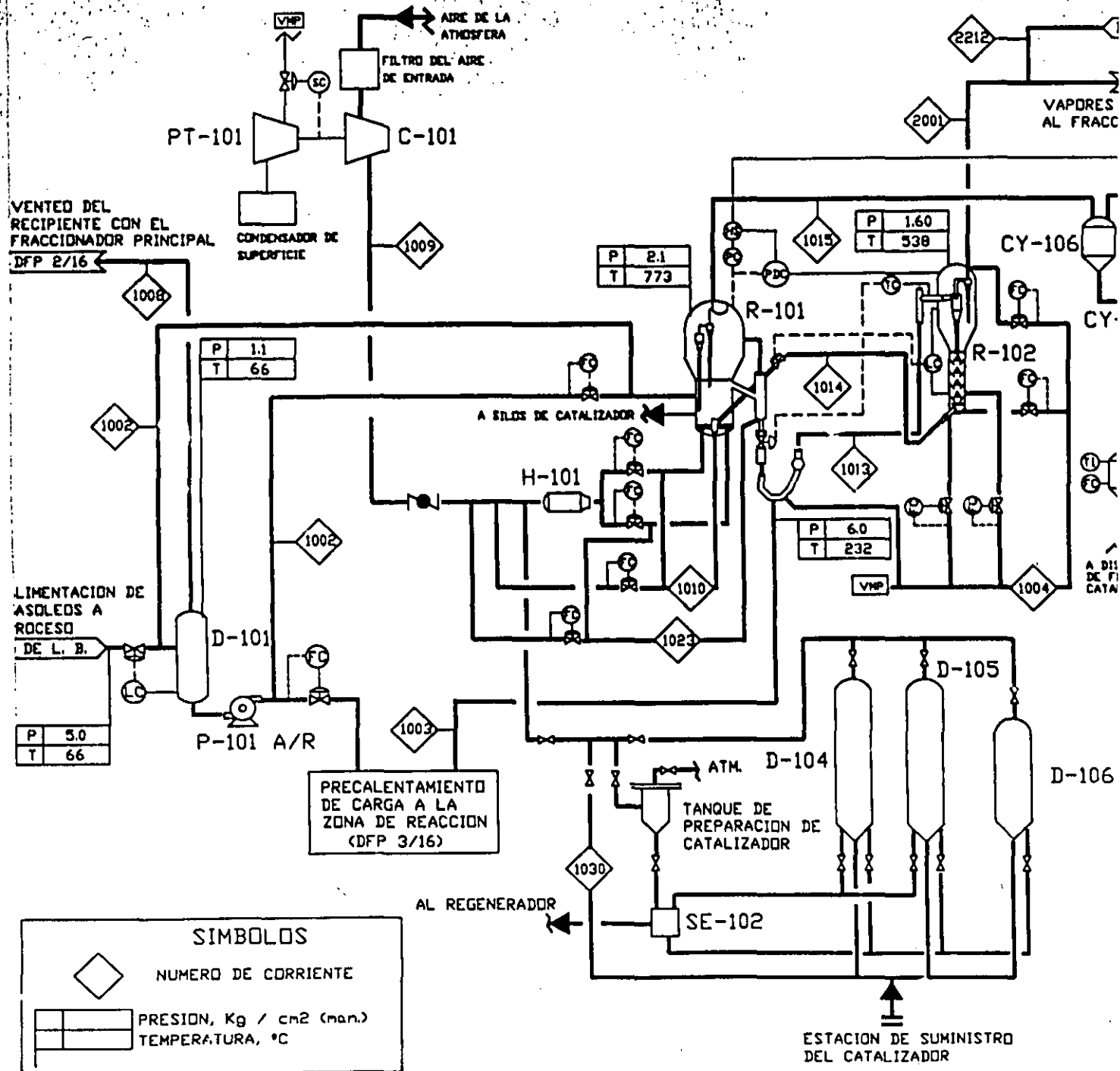
La solución base de sosa al 48% en peso, viene de L.B. pasa por el filtro PF-323 y se envía al Tanque de Almacenamiento de Sosa al 48% Peso TK-323 para su dilución posterior en los tanques TK-320 y TK-321. La solución de MEA al 3% se repone alimentando MEA al 50% al Tanque de Almacenamiento de MEA TK-322, diluyendola con agua hasta el 3% peso y se manda con la Bomba de Reposición de MEA P-325A/R, a la zona de eliminación de COS.

**j) Fraccionamiento de Ligeros (Continuación):**

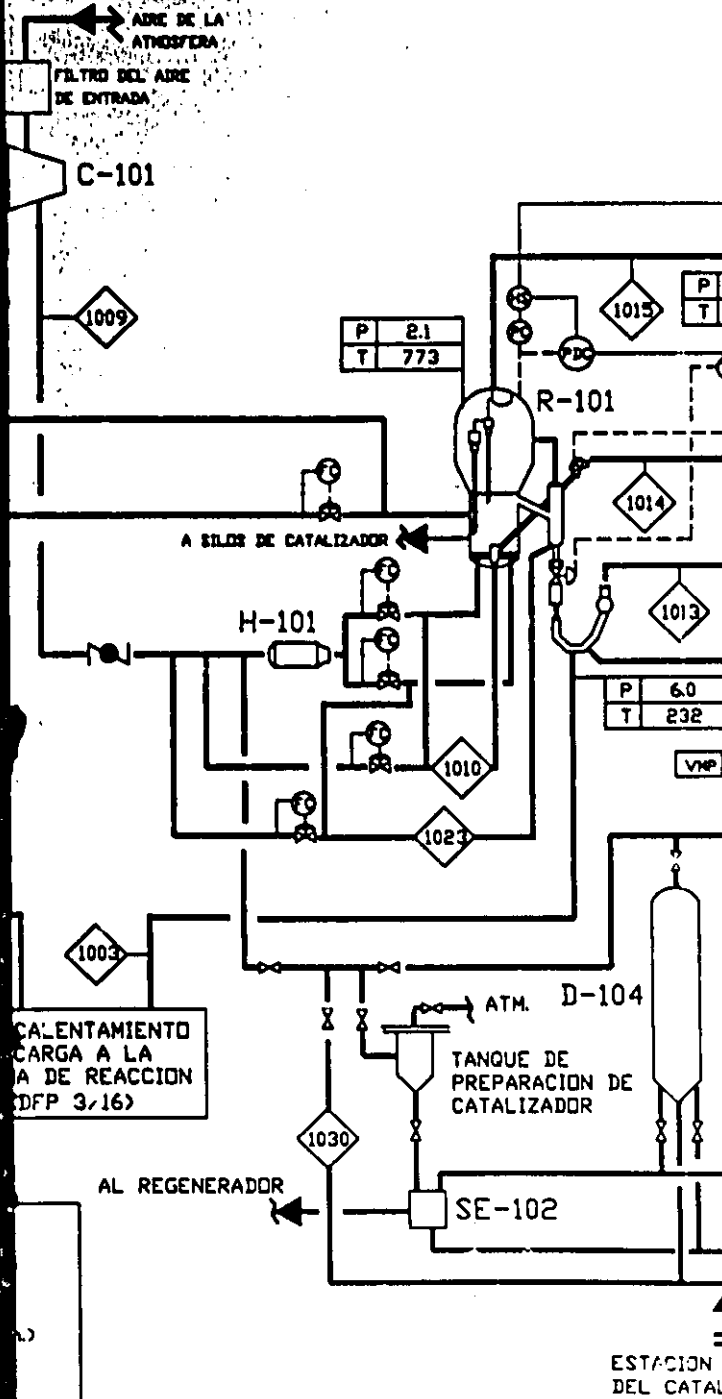
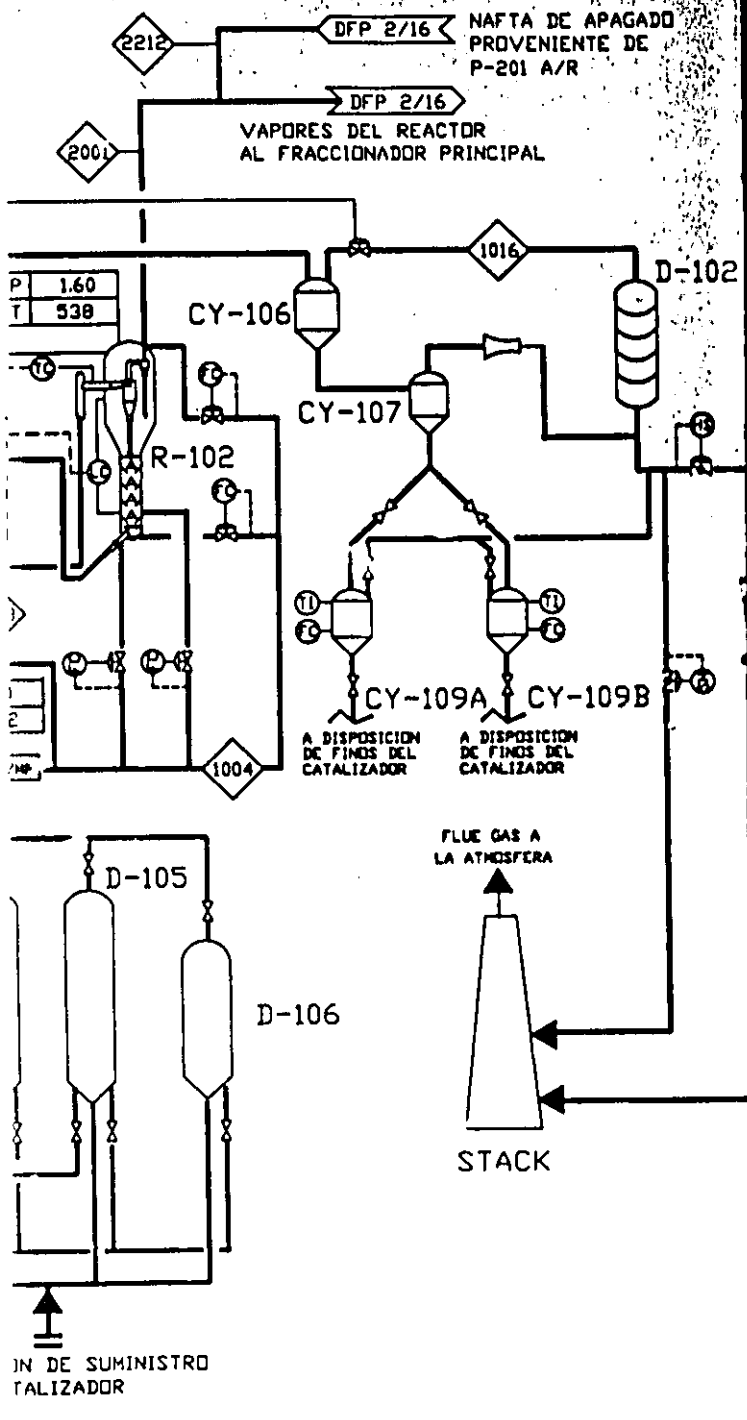
El LPG producto de la Unidad Oximer, entra al Tanque de Balance del Fraccionador de C3/C4 D-212 y con la Bomba de Alimentación al Fraccionador C3/C4 P-223A/R entra al Fraccionador C3/C4 T-208 en el plato 24 de 48 que tiene la columna, separándose la mezcla de propanos-propilenos por domos y la de butanos-butilenos por fondos. Los vapores de domos se condensan en el Condensador del Fraccionador C3/C4 E-225 y se colectan en el Acumulador de Reflujo del Fraccionador C3/C4 D-210. La Bomba de Reflujo P-218A/R regresa parte del condensado a la torre y envía el destilado de propano-propileno al Fraccionador C3=/C3 T-209. Los fondos de la columna, mezcla de butanos-butilenos, precalienta la carga a la torre en el Intercambiador E-224 y se enfría en el Enfriador de Butanos-Butilenos Producto E-227 mandándose a L. B.

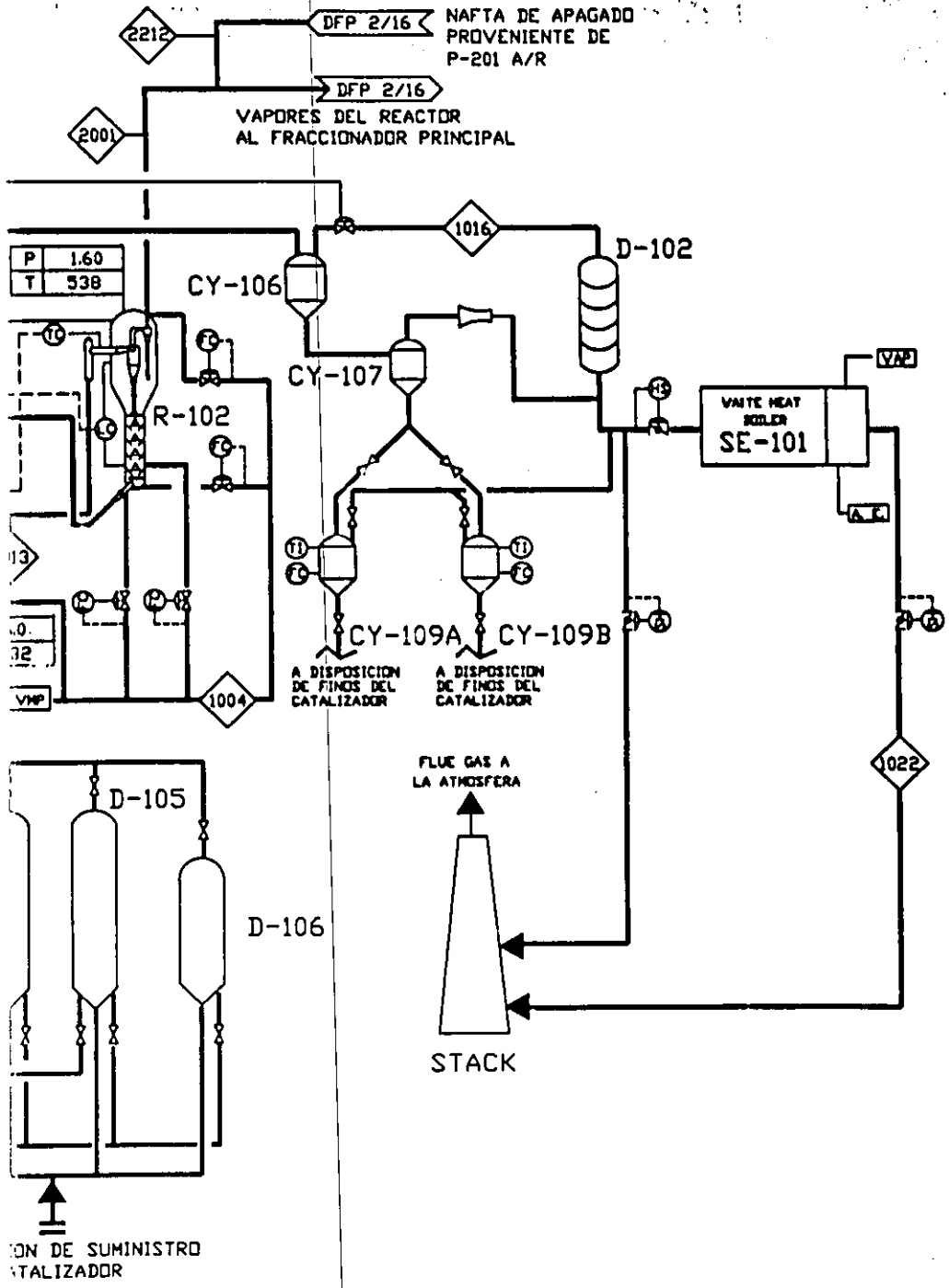
La mezcla de propanos-propilenos puede alimentarse en los platos 87 al 91 o del 91 al 95 del Fraccionador C3=/C3 T-209. La columna tiene 136 platos para realizar la separación propano / propileno. La línea de domos se enfría en el Condensador del Fraccionador C3=/C3 E-229 y el condensado pasa al Acumulador de Reflujo del Fraccionador C3=/C3 D-211. La Bomba de Reflujo P-219A/R retorna todo el condensado a la columna. El propileno producto se extrae en el plato 8 del Fraccionador y con la Bomba de Propileno Producto P-224A/R se manda a L. B. previo enfriamiento en el Enfriador de Propileno Producto E-234. En el fondo de la columna, la Bomba de Propano Producto P-220A/R manda al propano a enfriamiento en el Enfriador de Propano Producto E-233 para enviar el producto final a L. B. a 38°C y 23 Kg/cm<sup>2</sup> (man.).






SIMBOLOS	
	NUMERO DE CORRIENTE
	PRESION, Kg / cm2 (man.)
	TEMPERATURA, °C






LISTA DE EQUIPOS

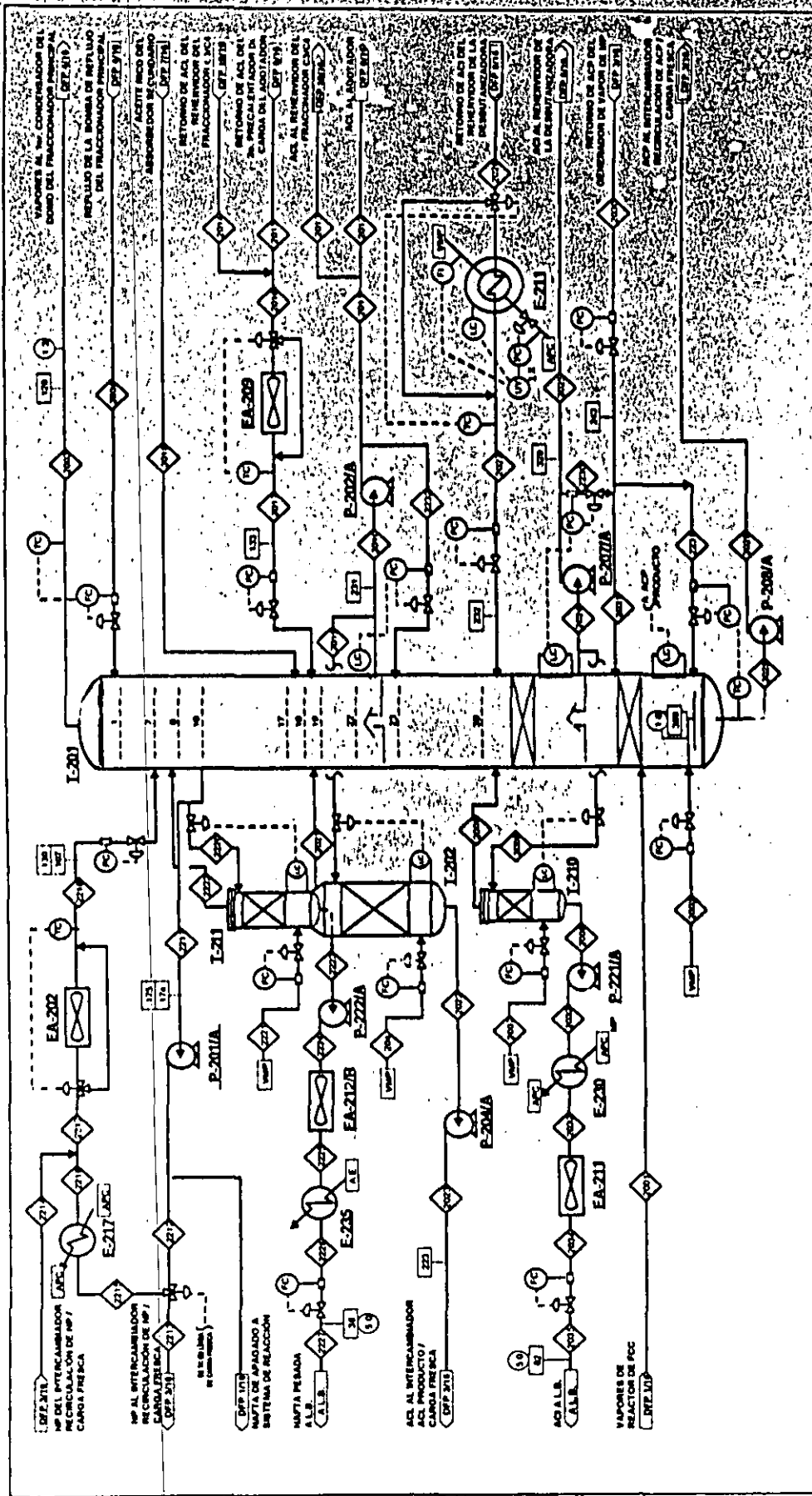
CLAVE	SER
C-01	VENTILADOR DE A A ZONA DE REACC
CY-102	CICLON PRIMARIO
CY-103	CICLON SECUNDARIO
CY-104	CICLON PRIMARIO
CY-105	CICLON SECUNDARIO
CY-106	CICLON SEPARADO
CY-107	CICLON SEPARADO
CY-109A,B	SILO DE ALMACEN
D-101	TANQUE DE IGUAL ALIMENTACION DE
D-102	ORIFICE CHAMBER
D-104	SILO DE CATALIZ
D-105	SILO DE CATALIZ
D-106	SILO DE EQUILIB
H-101	CALENTADOR DE
P-101A,B	BOMBA DE ALIMEN
PT-101	TURBINA DE VAPOR
R-101	REGENERADOR
R-102	REACTOR DE DESD CATALITICA
SE-101	WASTE HEAT BOIL
SE-102	AUTOMATIC CATAL


**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**  
 DIAGRAMA DE FLUJO

REFINERIA FRANCISCO I. MADERA  
 ZONA DE REACCION DE DESD  
 CATALITICA


**UNAM** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

PLANTA FCC      TRABAJO DE TERCER SEMESTRE



FACULTAD DE QUIMICA	
MAGISTER EN TUBO DE POCOS	
REINERIA TRANSCENDI I MAESTRO EN MAESTRO JAMES	
FRACCIONADOR PRINCIPAL	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	
PLANTA PCC	
PABLO DE ROSA	
OP. 2/79	
P-204/A	BOMBA DE ACN PRODUCTO
P-207/A	BOMBA DE RECULACION DE ACN
P-208/A	BOMBA DE FOMOS DEL FRACCIONADOR PRINCIPAL
P-221/A	BOMBA DE ACN PRODUCTO
P-222/A	BOMBA DE NAFTA PESADA PRODUCTO
T-201	FRACCIONADOR PRINCIPAL
T-202	ADIANTADOR DE ACN
T-210	ADIANTADOR DE ACN
T-211	ADIANTADOR DE NP
P-201/A	BOMBA DE RECULACION DE NAFTA PESADA
P-202/A	BOMBA DE RECULACION DE ACN
E-211	INTERCAMBIADOR DE RECULACION DE ACN / VAPOR DE NAFTA PESADA
E-202	EXTRINADOR DE RECULACION DE NAFTA PESADA
E-209	EXTRINADOR DE RECULACION DE ACN
E-211	EXTRINADOR DE ACN PRODUCTO
E-212	EXTRINADOR DE NAFTA PESADA PRODUCTO
E-211	INTERCAMBIADOR DE RECULACION DE ACN / VAPOR DE NAFTA PESADA
E-217	INTERCAMBIADOR DE RECULACION DE NP / AGUA PARA CALDERA
E-230	INTERCAMBIADOR DE ACN PRODUCTO / AGUA PARA CALDERA
E-235	EXTRINADOR DE NAFTA PESADA PRODUCTO

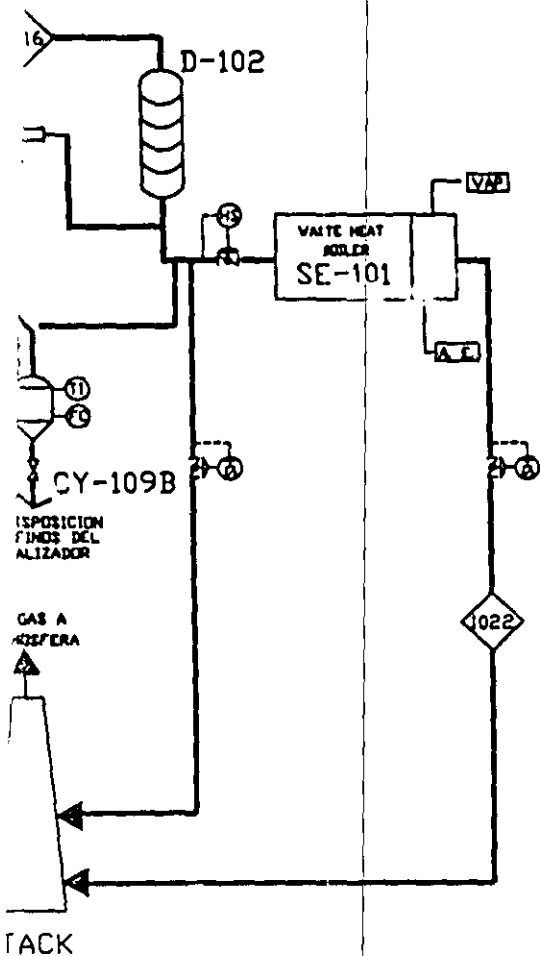
LISTA DE EQUIPO:

0

SABORES	
◇	NUMERO DE CORRIENTE
○	PRESION
□	TEMPERATURA °C

TA DE APAGADO  
VENIENTE DE  
01 A/R

IPAL



## LISTA DE EQUIPO

<u>CLAVE</u>	<u>SERVICIO</u>
C-101	VENTILADOR DE AIRE DE SUMINISTRO A ZONA DE REACCION
CY-102	CICLON PRIMARIO DEL REGENERADOR
CY-103	CICLON SECUNDARIO DEL REGENERADOR
CY-104	CICLON PRIMARIO DEL REACTOR
CY-105	CICLON SECUNDARIO DEL REACTOR
CY-106	CICLON SEPARADOR DE 3er. ETAPA
CY-107	CICLON SEPARADOR DE 4a. ETAPA
CY-109A,B	SILO DE ALMACENAMIENTO DE FINOS
D-101	TANQUE DE IGUALACION DE LA ALIMENTACION DE GASOLEOS
D-102	ORIFICE CHAMBER
D-104	SILO DE CATALIZADOR FRESCO
D-105	SILO DE CATALIZADOR MULTIPROPOSITO
D-106	SILO DE EQUILIBRIO DE CATALIZADOR
H-101	CALENTADOR DE AIRE
P-101A,B	BOMBA DE ALIMENTACION DE GASOLEOS
PT-101	TURBINA DE VAPOR
R-101	REGENERADOR
R-102	REACTOR DE DESINTEGRACION CATALITICA
SE-101	WASTE HEAT BOILER
SE-102	AUTOMATIC CATALYST POWDER



FACULTAD DE QUIMICA  
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

REFINERIA 'FRANSISCO I. MADERO' CD. MADERO TAMPS.  
ZONA DE REACCION DE DESINTEGRACION CATALITICA

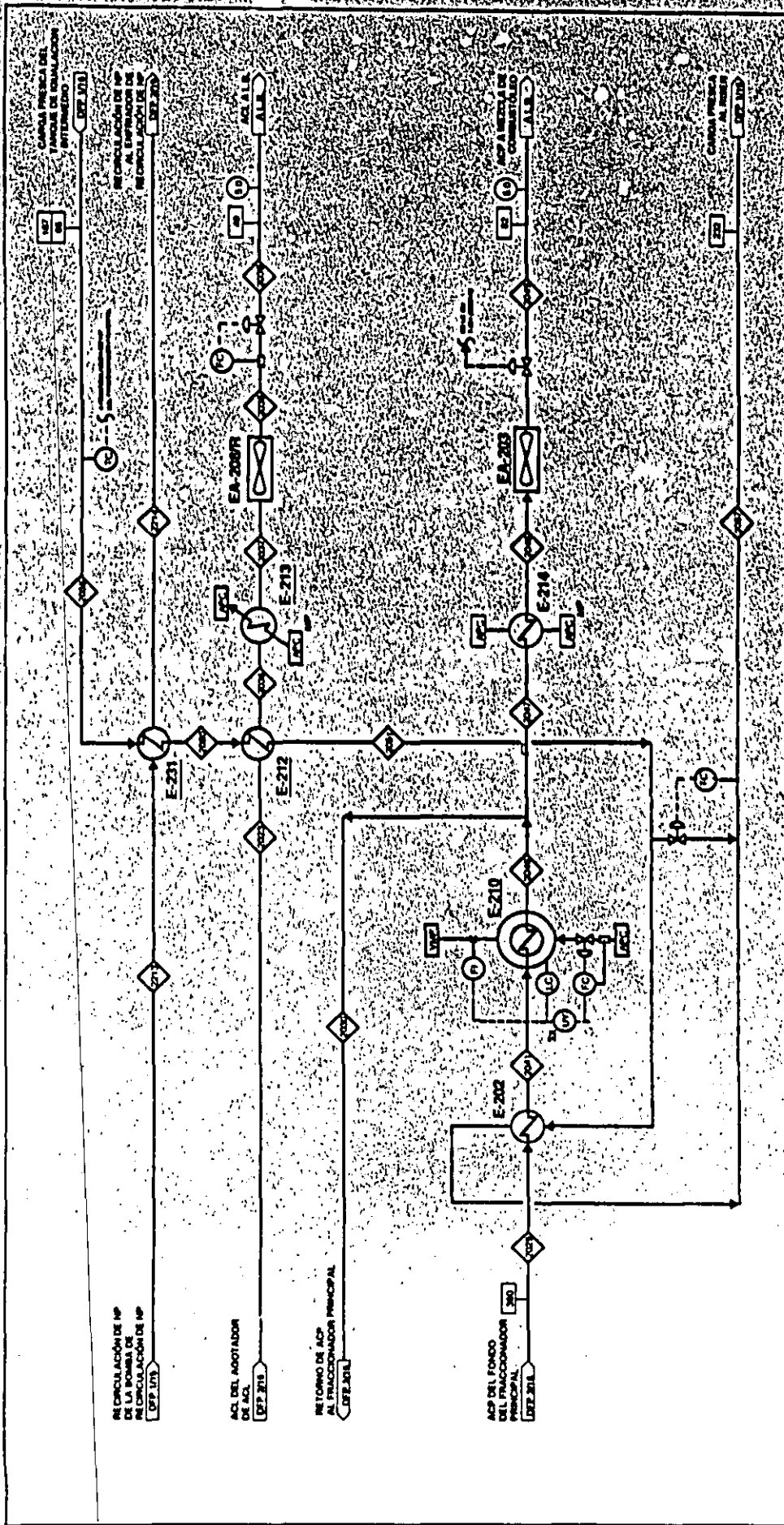


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

PLANTA FCC

TRABAJO DE TESIS

DFP 1/16



**SÍMBOLOS**

- ◊ NÚMERO DE CORRIENTE
- PRESIÓN  $\frac{kg}{cm^2}$
- TEMPERATURA °C

- LISTA DE EQUIPO**
- E-200 INTERCAMBIADOR DE RE-CIRCULACIÓN DE ACP / CARGA FRESCA.
  - E-210 INTERCAMBIADOR DE RE-CIRCULACIÓN DE ACP / VAPOR DE MEDIA PRESIÓN.
  - E-211 INTERCAMBIADOR DE RE-CIRCULACIÓN DE ACP / CARGA FRESCA.
  - E-212 INTERCAMBIADOR DE ACP PRODUCTO / CARGA FRESCA.
  - E-214 INTERCAMBIADOR DE ACP / AGUA PARA CALDERA.
  - EA-200 EMPUJADOR DE ACP PRODUCTO.
  - EA-201 EMPUJADOR DE ACP PRODUCTO / CARGA FRESCA.
  - EA-202 EMPUJADOR DE ACP PRODUCTO / CARGA FRESCA.

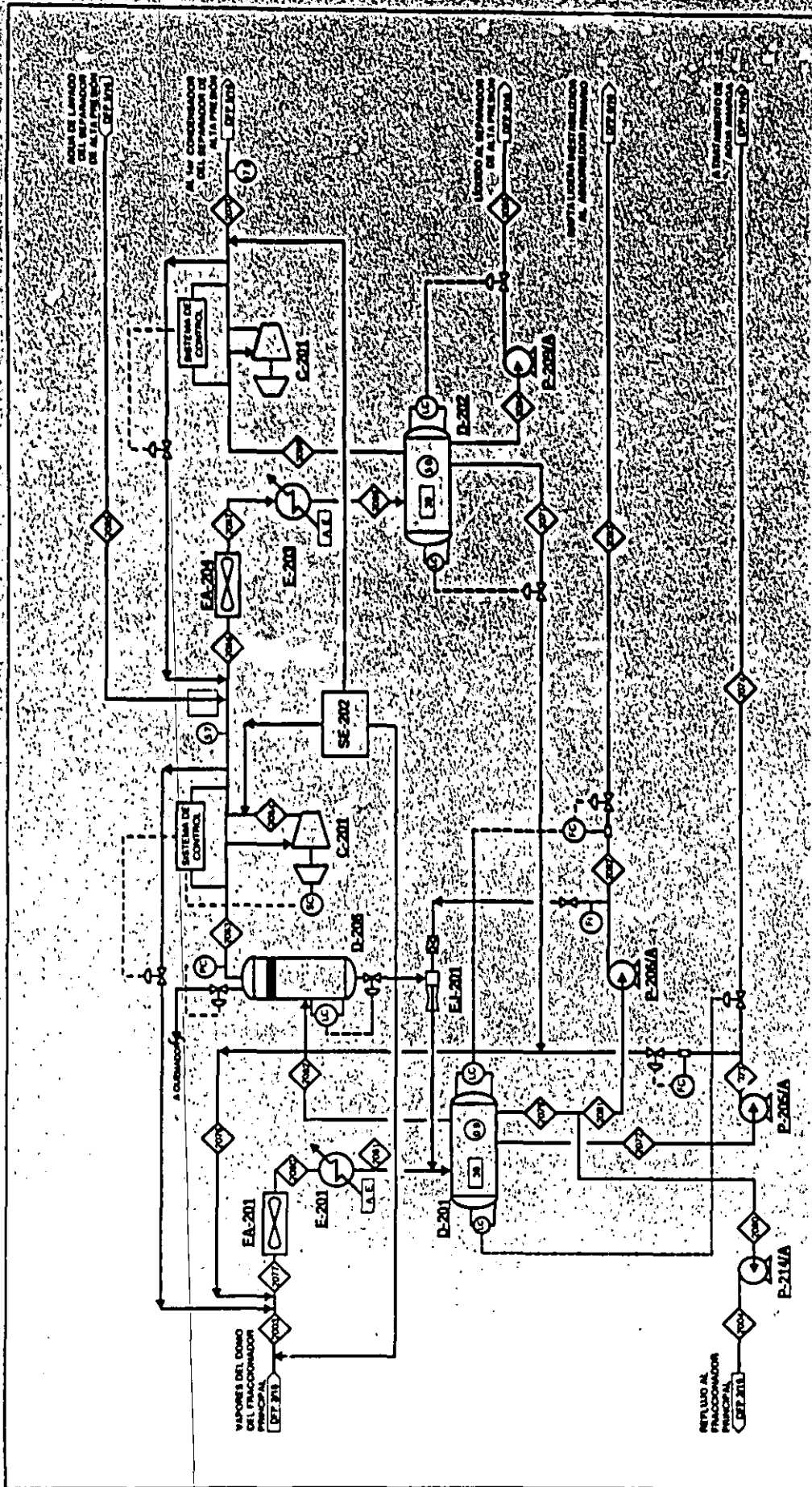
**FACULTAD DE QUÍMICA**  
 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

REFINERÍA TRANSISID I. HANZOS C.S. HANZOS S.A.P.S.  
 PRECALENTAMIENTO DE CARGA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Plumas PCC      México de 1968      EP 374





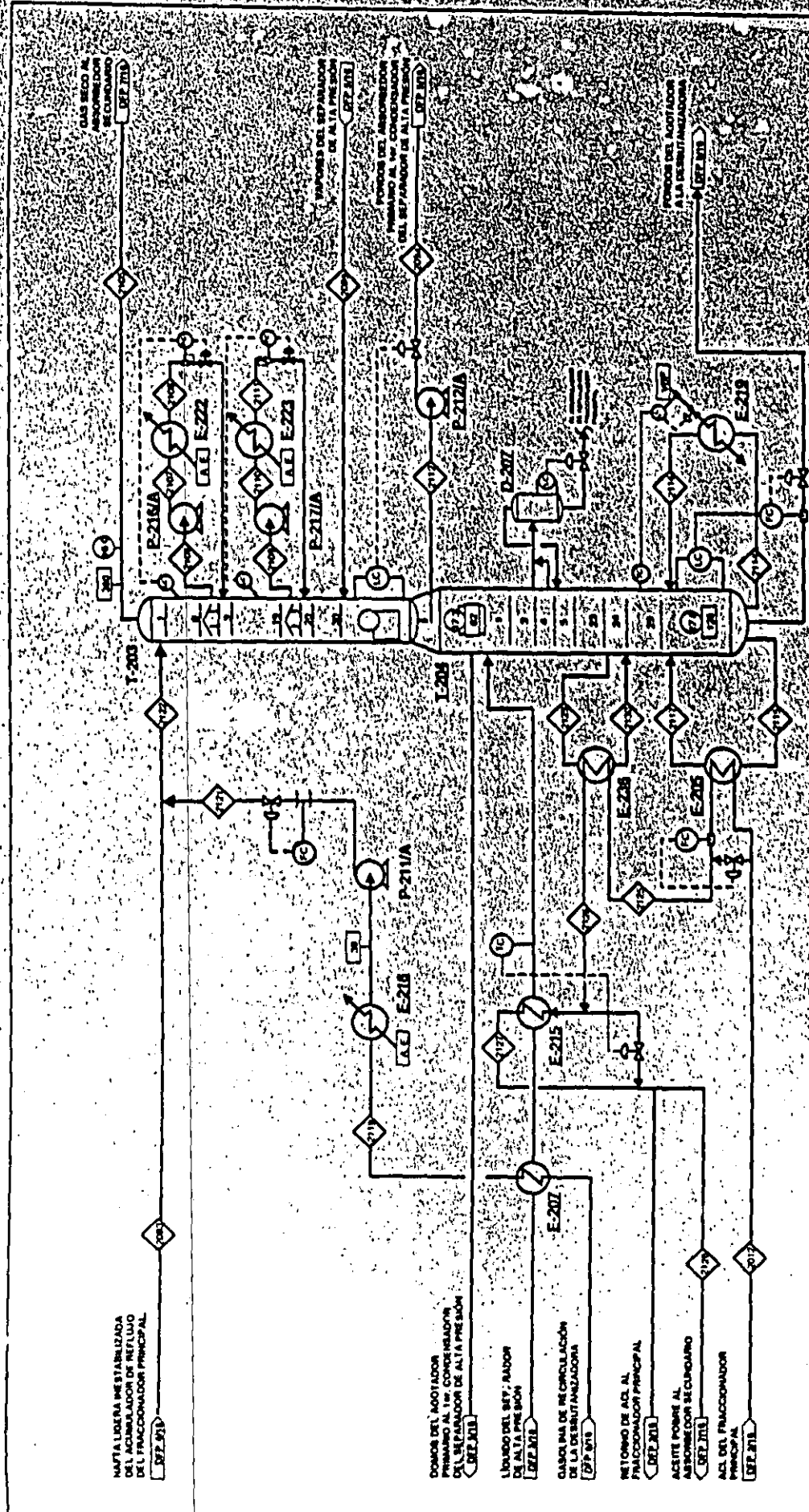
- LISTA DE EQUIPO:**
- D-201 ACUMULADOR DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR PRINCIPAL
  - D-202 ACUMULADOR INTERTAPA DEL COMPRESOR
  - D-206 SEPARADOR DE ABRASTRE DE LA SUCCION DEL COMPRESOR
  - E-201 2da. CONDENSADOR DEL FRACCIONADOR PRINCIPAL
  - E-202 2da. ENFRANADOR INTERTAPA DEL COMPRESOR
  - E-203 1er. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-204 1er. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-201 1er. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-202 1er. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-203 2da. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-204 2da. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-201 1er. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-202 1er. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-203 2da. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-204 2da. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-201 1er. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-202 1er. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-203 2da. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-204 2da. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION

- LISTA DE EQUIPO:**
- EA-201 1er. CONDENSADOR DEL FRACCIONADOR PRINCIPAL
  - EA-204 1er. ENFRANADOR INTERTAPA DEL COMPRESOR
  - E-201 1er. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-202 1er. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-203 2da. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-204 2da. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-201 1er. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-202 1er. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-203 2da. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-204 2da. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-201 1er. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-202 1er. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-203 2da. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-204 2da. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-201 1er. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-202 1er. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-203 2da. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION
  - E-204 2da. ENFRANADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION

SÍMBOLOS  
 DIAMANTE: NÚMERO DE COMPONENTE  
 CÍRCULO: ETIQUETA  
 RECTÁNGULO: TEMPERATURA, °C







MANTA LIGERA ESTABILIZADA DEL ACUMULADOR DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR PRINCIPAL  
207.207

DOMOS DEL AGOTADOR DE AGUA CALIENTE DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION  
207.207

LIQUIDO DEL SEY, BAÑOR DE ALTA PRESION  
207.207

GASOLINA DE CIRCULACION DE LA DESMUTUALIZADORA  
207.207

RETORNO DE AGU. AL FRACCIONADOR PRINCIPAL  
207.207

ACEITE POME AL ABSORBEDOR SECUNDARIO  
207.207

AGU. DEL FRACCIONADOR PRINCIPAL  
207.207

SMBOLOS	NUMERO DE CORRIENTE	PRESION kg/cm <sup>2</sup>	TEMPERATURA °C
◇			
○			
□			

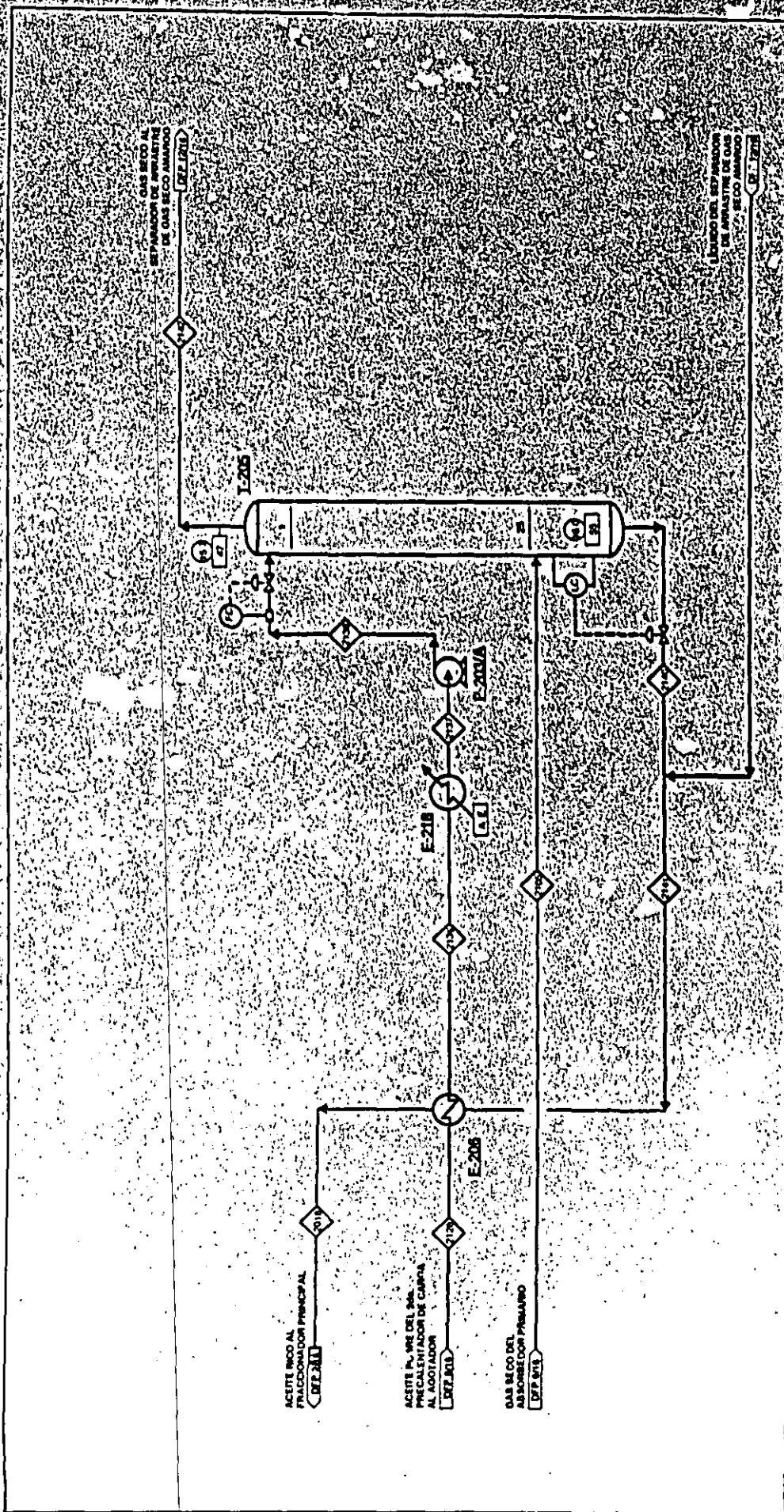
**LISTA DE EQUIPO:**

E-216	EXTRACTOR DE GASOLINA DE ABSORCION.	D-207	SEPARADOR DE AGUA DEL AGOTADOR.
E-219	2da. RESERVOIR DE FORTO DEL AGOTADOR.	E-205	1er. RESERVOIR DE FORTO DEL AGOTADOR.
E-222	1er. INTERREFRIADOR DEL ABSORBEDOR PRIMARIO.	E-207	1er. PRECALENTADOR DE CARPA AL AGOTADOR.
E-223	2da. INTERREFRIADOR DEL ABSORBEDOR PRIMARIO.	E-215	2da. PRECALENTADOR DE CARPA AL AGOTADOR.
E-218	EXTRACTOR DE GASOLINA DE ABSORCION.	E-220	INTERREFRIADOR LATERAL DEL AGOTADOR.
E-222	1er. INTERREFRIADOR DEL ABSORBEDOR PRIMARIO.	T-203	ABSORBEDOR PRIMARIO.
E-223	2da. INTERREFRIADOR DEL ABSORBEDOR PRIMARIO.	T-204	TORRE ABOYI 2da.
P-211A	BOMBA DE GASOLINA DE ABSORCION.		
P-212A	BOMBA DE FORTO DEL ABSORBEDOR PRIMARIO.		
P-218A	BOMBA DEL 1er. INTERREFRIADOR DEL ABSORBEDOR PRIMARIO.		
P-217A	BOMBA DEL 2da. INTERREFRIADOR DEL ABSORBEDOR PRIMARIO.		

**FACULTAD DE QUIMICA**  
 INGENIERIA QUIMICA I. MAESTRO EN QUIMICA  
 ABOR BE DOR PRIMARIO Y AGOTADOR

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
 INSTITUTO DE QUIMICA

Fecha: 1968  
 Hoja: 2 de 2



**FACULTAD DE QUIMICA**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO**

REFINERIA FRANCISCO I. MADERO, S.A. INDIERO, TAMPS.  
 ABSORBEDOR SECUNDARIO III

**UNAM** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

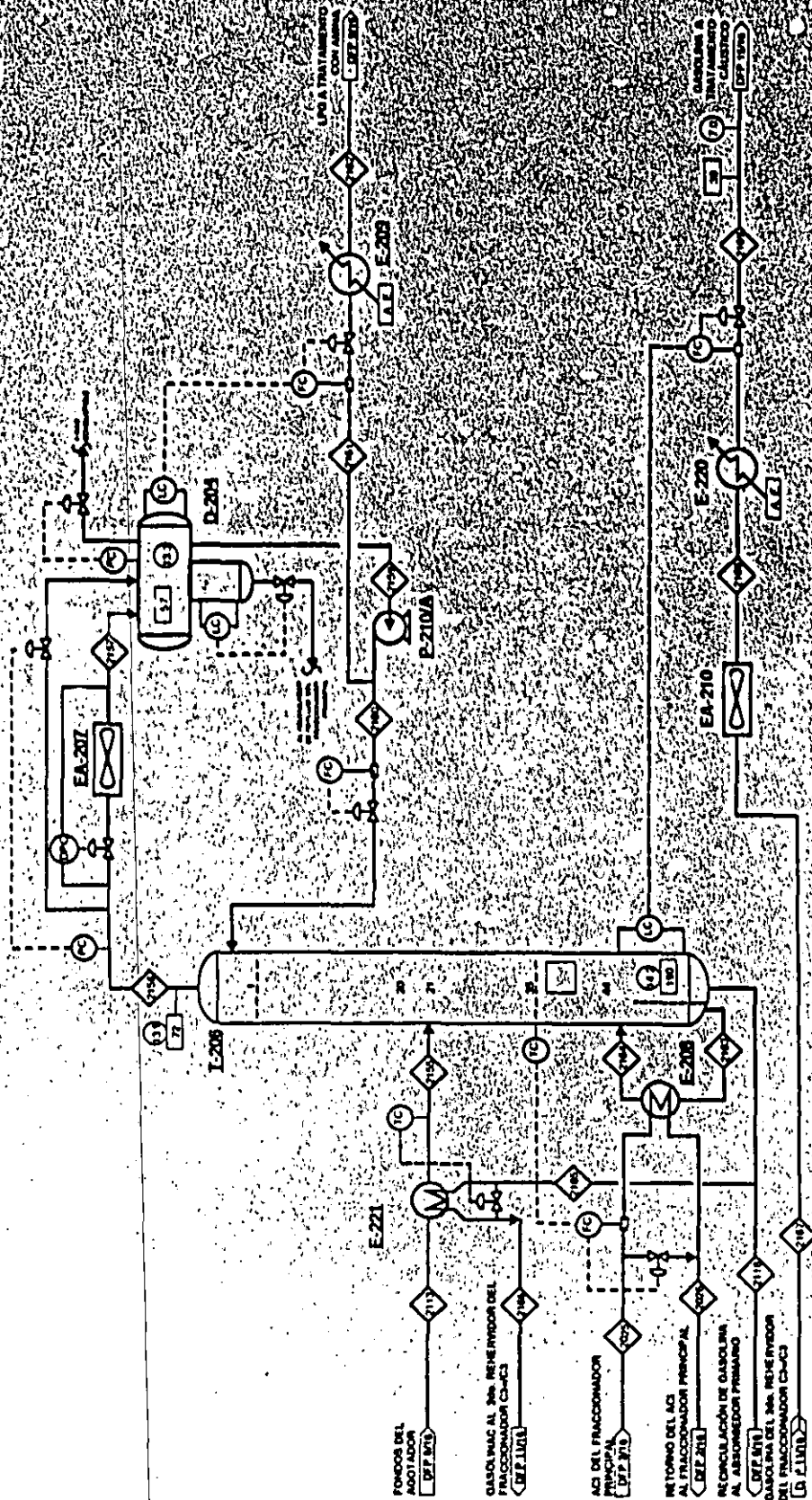
PLANTA FCC TRABAJO DE GRUPO SEP 7/78

**LISTA DE EQUIPO**

E-206	INTERCAMBIADOR ACEITE POME / ACEITE INCO	T-205	FRACCIONADOR SECUNDARIO III
E-218	REFRIGERACION DE ACEITE POME	P-203/A	POMPA DE ACEITE POME

**Simbolos:**

- ◇ NOMBRE DE CORRIENTE
- PRESION (kg/cm<sup>2</sup>)
- TEMPERATURA (°C)



**Simbolos**

◆ MANEJO DE CORRIENTE

○ PRESION

□ TEMPERATURA °C

**LISTA DE EQUIPO:**

D-204 COLUNA DE DESTILACION

E-204 EXCHANGERO DE CALOR

E-205 EXCHANGERO DE CALOR

E-206 EXCHANGERO DE CALOR

E-207 EXCHANGERO DE CALOR

E-208 EXCHANGERO DE CALOR

E-209 EXCHANGERO DE CALOR

E-210 EXCHANGERO DE CALOR

E-211 EXCHANGERO DE CALOR

E-212 EXCHANGERO DE CALOR

E-213 EXCHANGERO DE CALOR

P-210/A BOMBA

T-208 TORRE DE TRATAMIENTO

**Simbolos**

◆ MANEJO DE CORRIENTE

○ PRESION

□ TEMPERATURA °C

**LISTA DE EQUIPO:**

E-220 EXCHANGERO DE CALOR

E-221 EXCHANGERO DE CALOR

E-222 EXCHANGERO DE CALOR

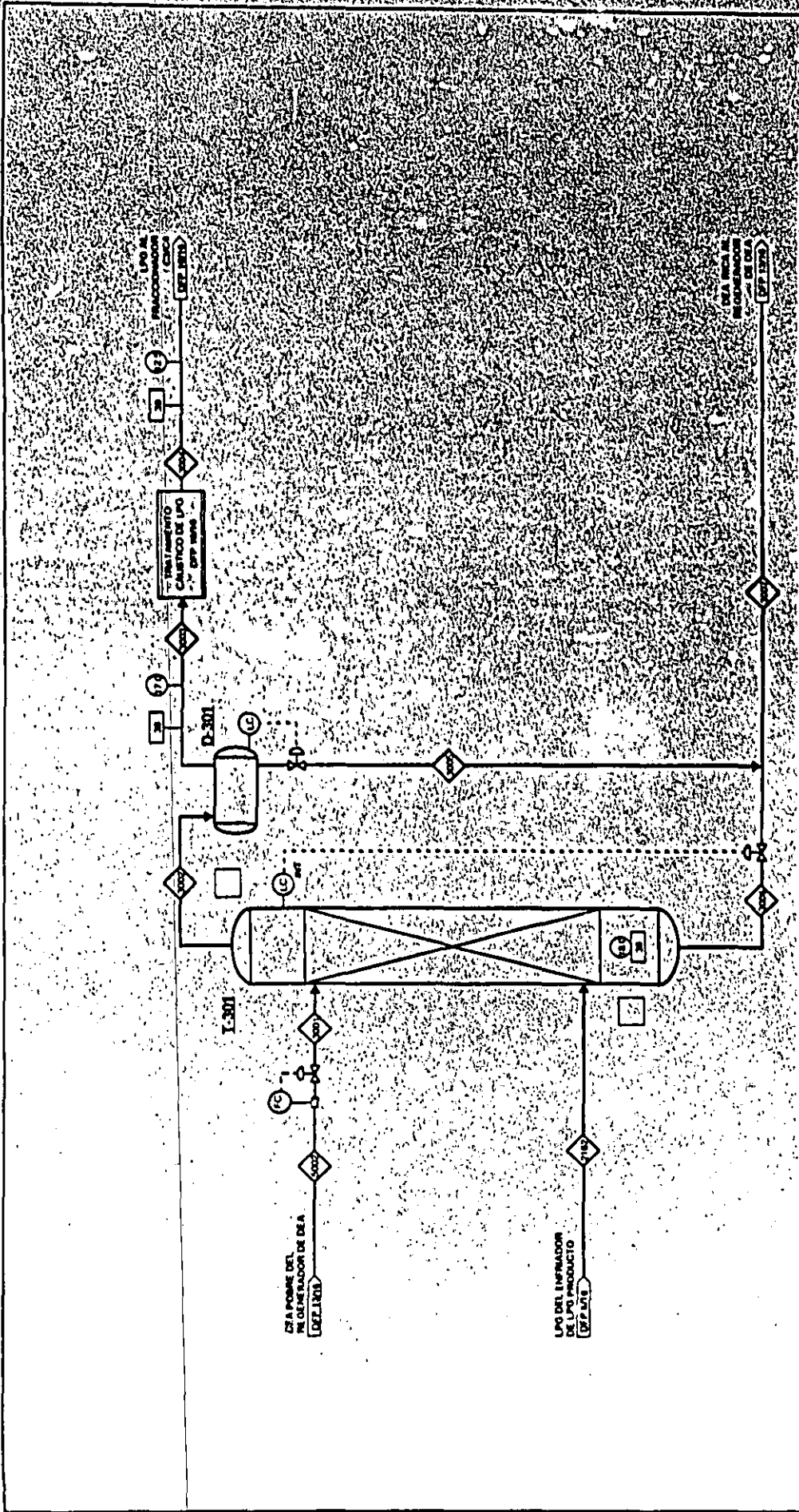
EA-207 EXCHANGERO DE CALOR

**FACULTAD DE QUIMICA**  
 INSTITUTO DE ALTO MEXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

CIQUIMEX





**FACULTAD DE QUIMICA**  
**DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO**

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

CONTRATOR LPO-DEA

Plano No. 101

**LISTA DE EQUIPO:**

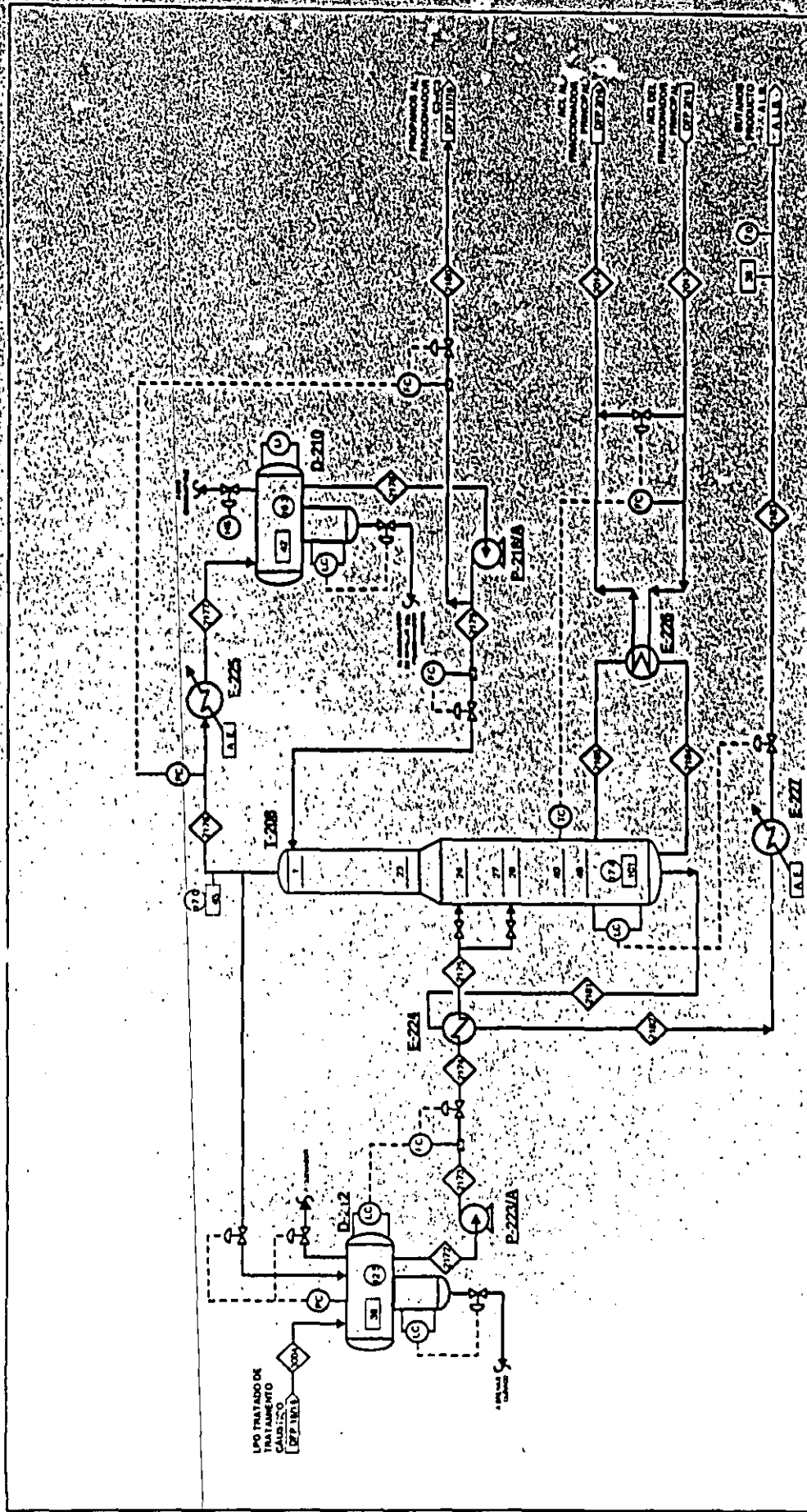
D-301 REGENERADOR LPO-DEA      T-301 CONDENSADOR LPO-DEA

**Símbolos**

◊      NÚMERO DE CORRIENTE

○      PRESIÓN (atm)

□      TEMPERATURA (°C)



LPO TRATADO DE TRATAMIENTO CAUDALICO [DPP INCL]

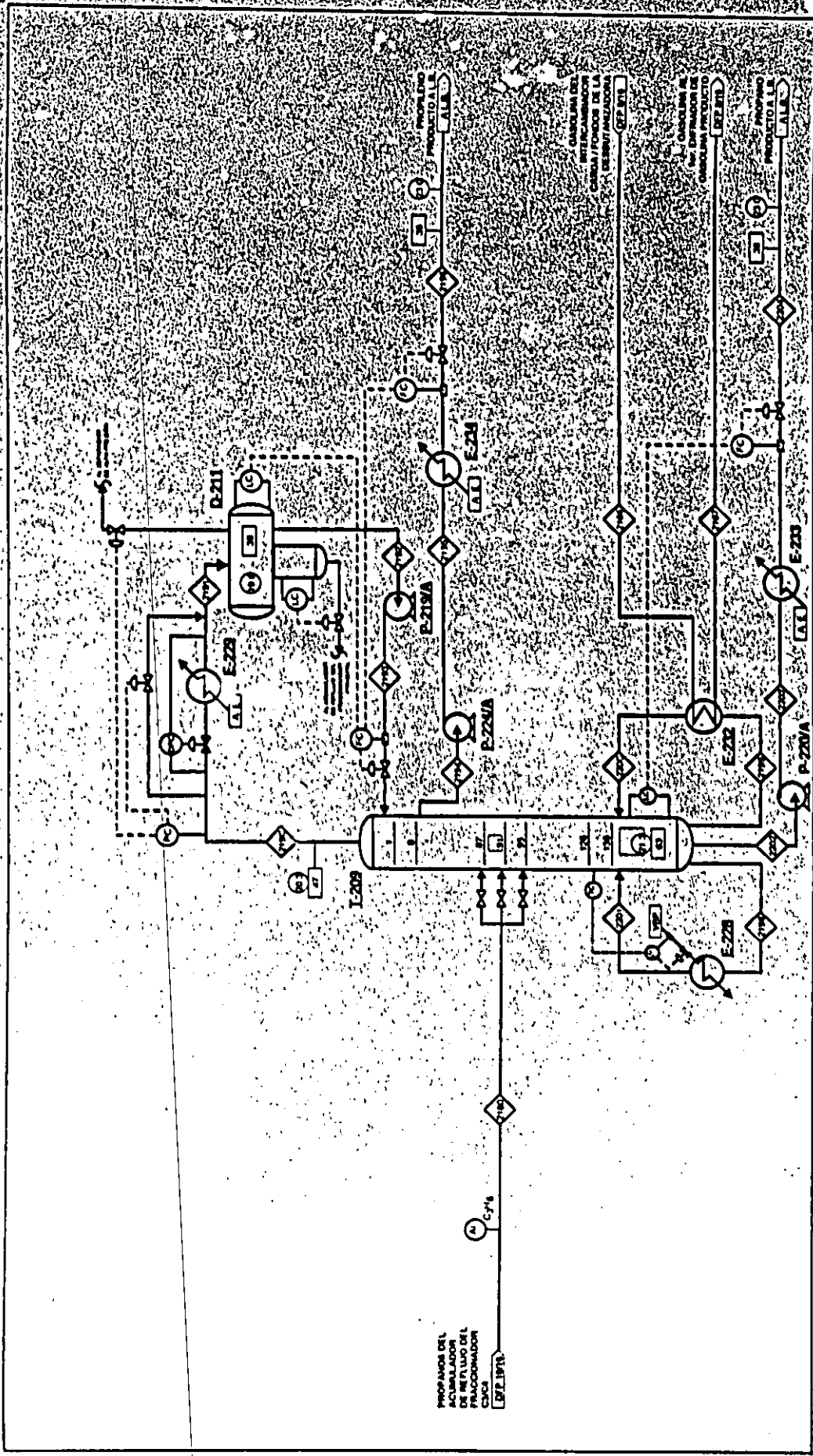
SÍMBOLOS  
 DIAMANTE: NÚMERO DE CORRIENTE  
 CÍRCULO: PRESIÓN (kg/cm<sup>2</sup>)  
 CUADRO: TEMPERATURA (°C)

D-210 ACUMULADOR DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR C/CA  
 D-212 TANQUE DE BALANCE DEL FRACCIONADOR C/CA  
 E-224 INTERCAMBIADOR CALOR / FONDOS DEL FRACCIONADOR C/CA

E-225 CONDENSADOR DEL FRACCIONADOR C/CA  
 E-226 TRIASIFICADOR DEL FRACCIONADOR C/CA  
 E-227 ENFRÍADOR DE INYECTADO PRODUCTO

T-208 FRACCIONADOR C/CA  
 P-218/A BOMBA DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR C/CA  
 P-221/A BOMBA DE ALIMENTACIÓN AL FRACCIONADOR C/CA

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
 Facultad de Química  
 Instituto de Ingeniería y Tecnología  
 Laboratorio de Procesos Químicos



**SÍMBOLOS**

◇ NÚMERO DE CORRIENTE

○ PRESIÓN, kg/cm<sup>2</sup>

□ TEMPERATURA, °C

**LISTA DE EQUIPO:**

D-211 ACUMULADOR DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR CHILE

E-228 REBOILER DEL FRACCIONADOR CHILE

E-229 CONDENSADOR DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR CHILE

E-228 REBOILER DEL FRACCIONADOR CHILE

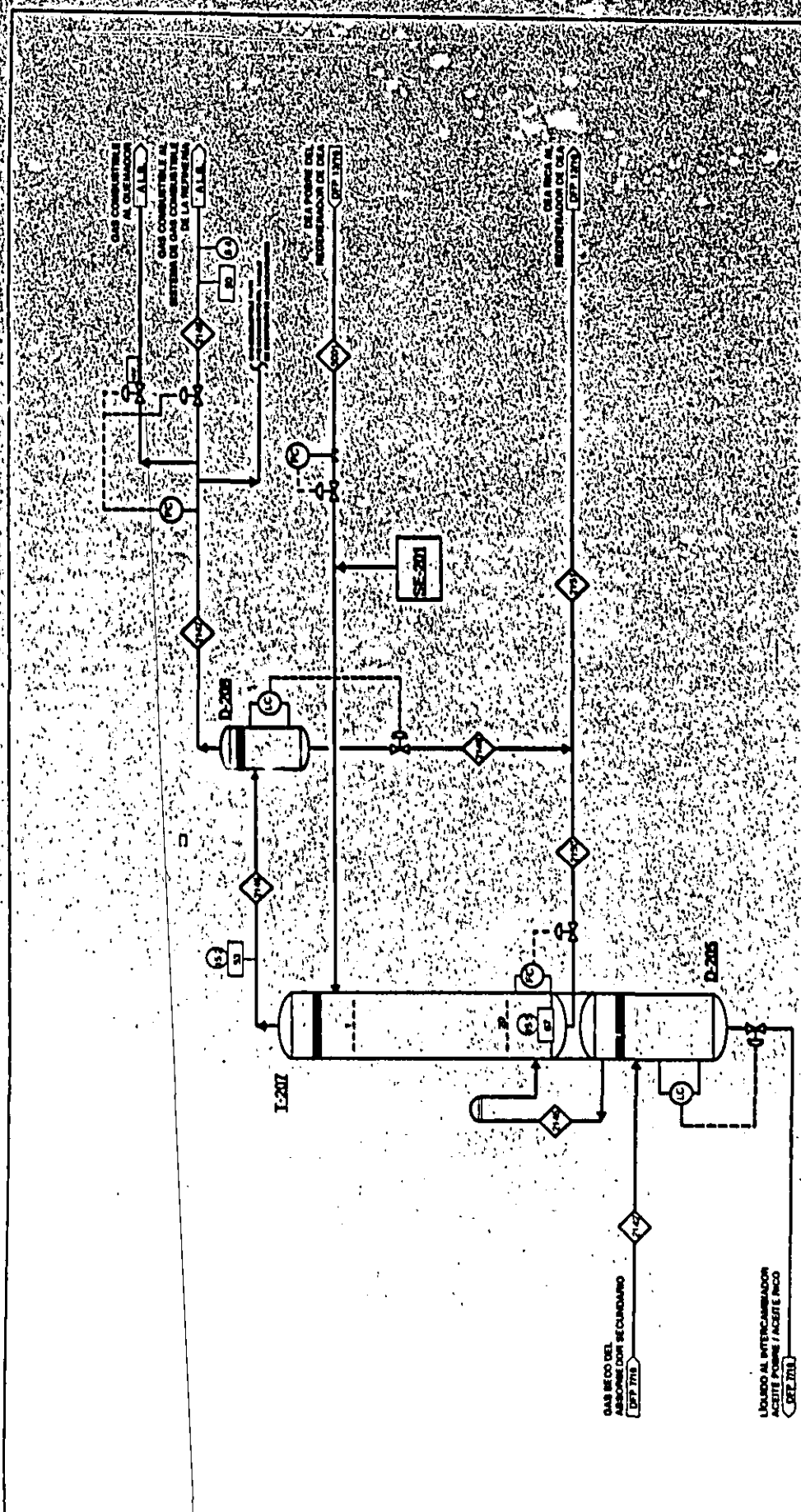
T-209 CONDENSADOR DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR CHILE

E-211 ACUMULADOR DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR CHILE

P-219A BOMBA DE REFLUJO DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR CHILE

P-220A BOMBA DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR CHILE

P-221A BOMBA DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR CHILE



FACULTAD DE QUIMICA  
 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO  
 REFINERIA FRANCISCO J. MURPHY DE NAZARET, S.A. DE C.V.  
 UN UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 T. PLANTA POC T. TITULO DE TESIS  
 EPT. 1979

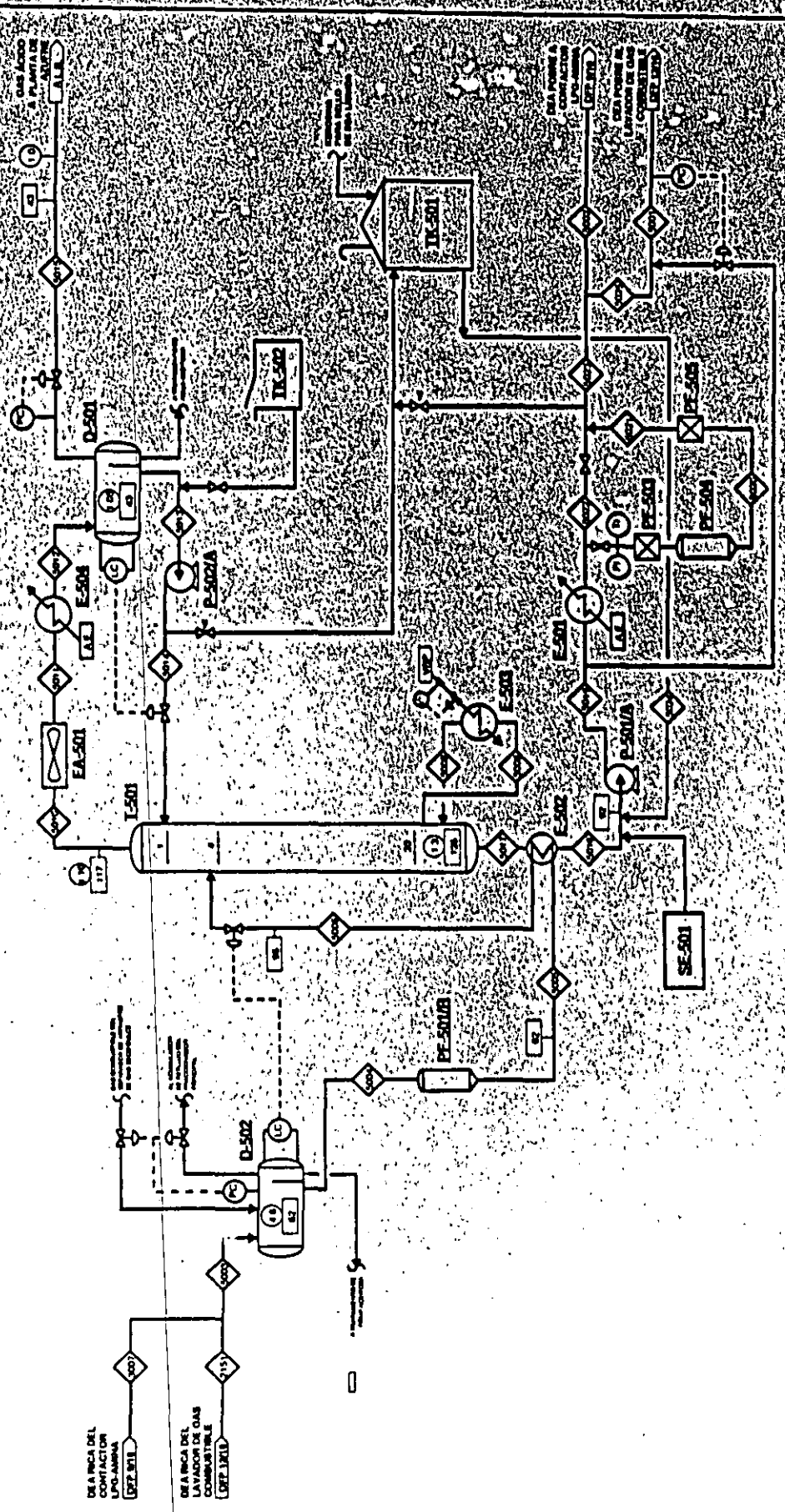
**LISTA DE EQUIPO:**

D-205 SEPARADOR DE ABRASANTE DE GAS SECO ALMAGRO  
 I-207 LAVADOR DE GAS COMBUSTIBLE  
 D-208 SEPARADOR DE ABRASANTE DE GAS SECO DULCE  
 SE-201 PACOTE DE ABRASANTE DE ABRASANTE

**SIMBOLOS:**

◊ NUMERO DE CORRIENTE  
 ○ PRESION  
 □ TEMPERATURA °C





DE LA REFINA DEL  
GASIFICACION  
LPG-AZÚCAR

DE LA REFINA DEL  
GASIFICACION  
COMBUSTIBLE

<p><b>FACULTAD DE QUIMICA</b> DIRECCION DE TRUJAO DE PRODUCCION</p> <p>REV. PACTA, TERCERA EDICION, 1970</p> <p>UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO</p>	
<p><b>LISTA DE EQUIPO:</b></p>	
D-501	ACUMULADOR DE REFLUJO DEL REGENERADOR DE DEA
D-502	TANQUE DE DESORCION DE HIDROCARBUROS
E-501	EXTRACTOR DE DEA PORSE
E-502	INTERCAMBIADOR DE CALOR DE DEA PORSE
E-503	RENDICION DEL REGENERADOR DE DEA
E-504	SEA CONDENSADOR DEL REGENERADOR DE DEA
EA-501	EXTRACTOR DE REGENERADOR DE DEA
PF-501/R	FILTRO DE LA RECA
PF-502	SEA FILTRO DE LA PORSE
PF-503	SEA FILTRO DE LA PORSE
PF-504	SEA FILTRO DE LA PORSE
SE-501	SEA DE INYECCION DE ABRONADO DE COMBUSTION
T-501	RECONDENSADOR DE DEA
TK-501	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE SOLUCION DE DEA
TK-502	POSA DE PREPARACION DE SOLUCION DE DEA
P-501/A	BOMBA DE RECARGA DE SOLUCION DE DEA
P-502/A	BOMBA DE REFLUJO DEL REGENERADOR DE DEA

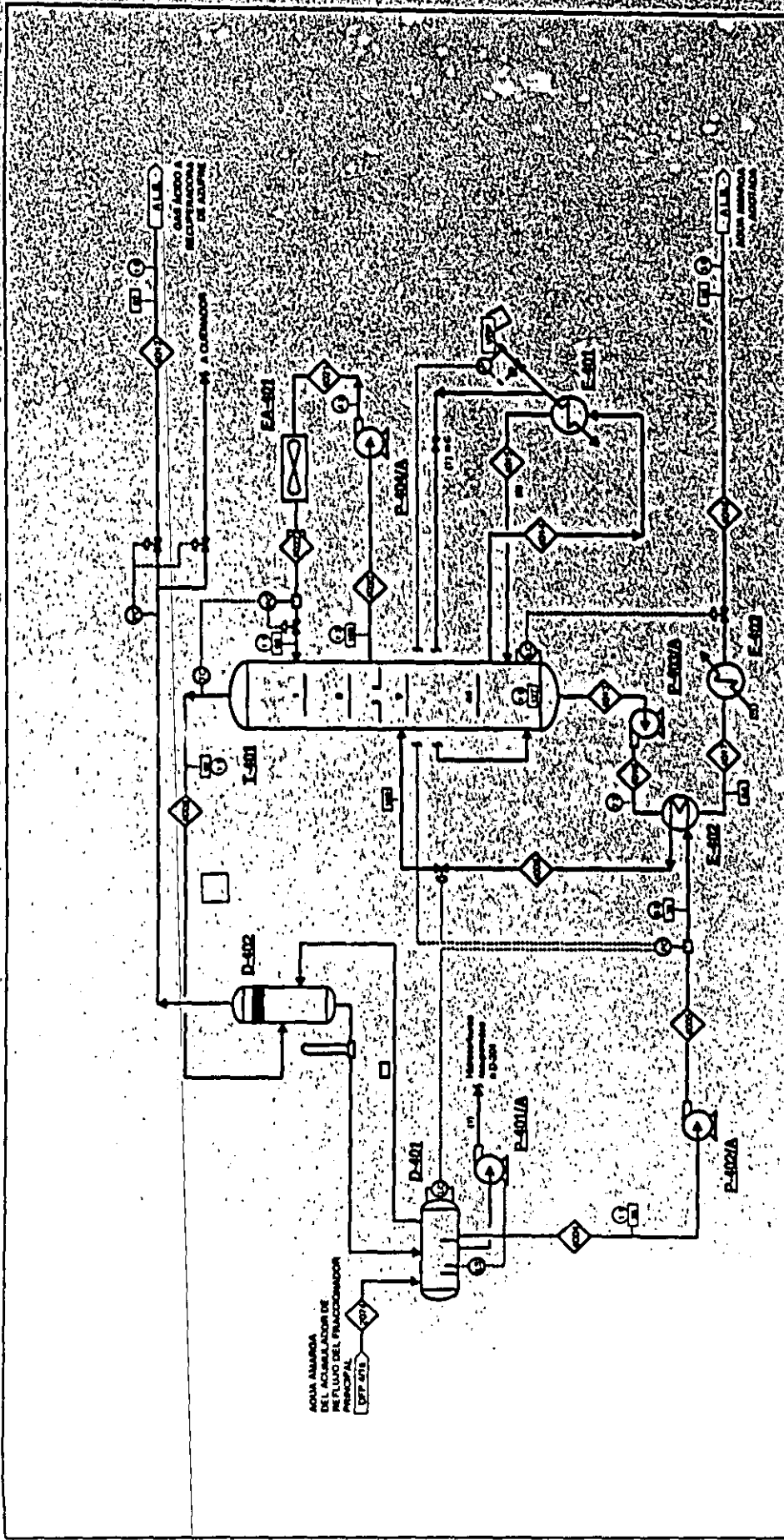
**SAMBOLOS:**

◊ NUMERO DE CORRIENTE

○ PRESION

□ TEMPERATURA °C





**FACULTAD DE QUIMICA**  
 PROGRAMA DE TULIO F. PROYECTOR  
 DOUTOR EN QUIMICA  
 DOUTOR EN INGENIERIA QUIMICA  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
 INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUIMICAS  
 PUNTO 102  
 TRABAJO DE TESIS  
 1977 / 78

**LISTA DE EQUIPO:**

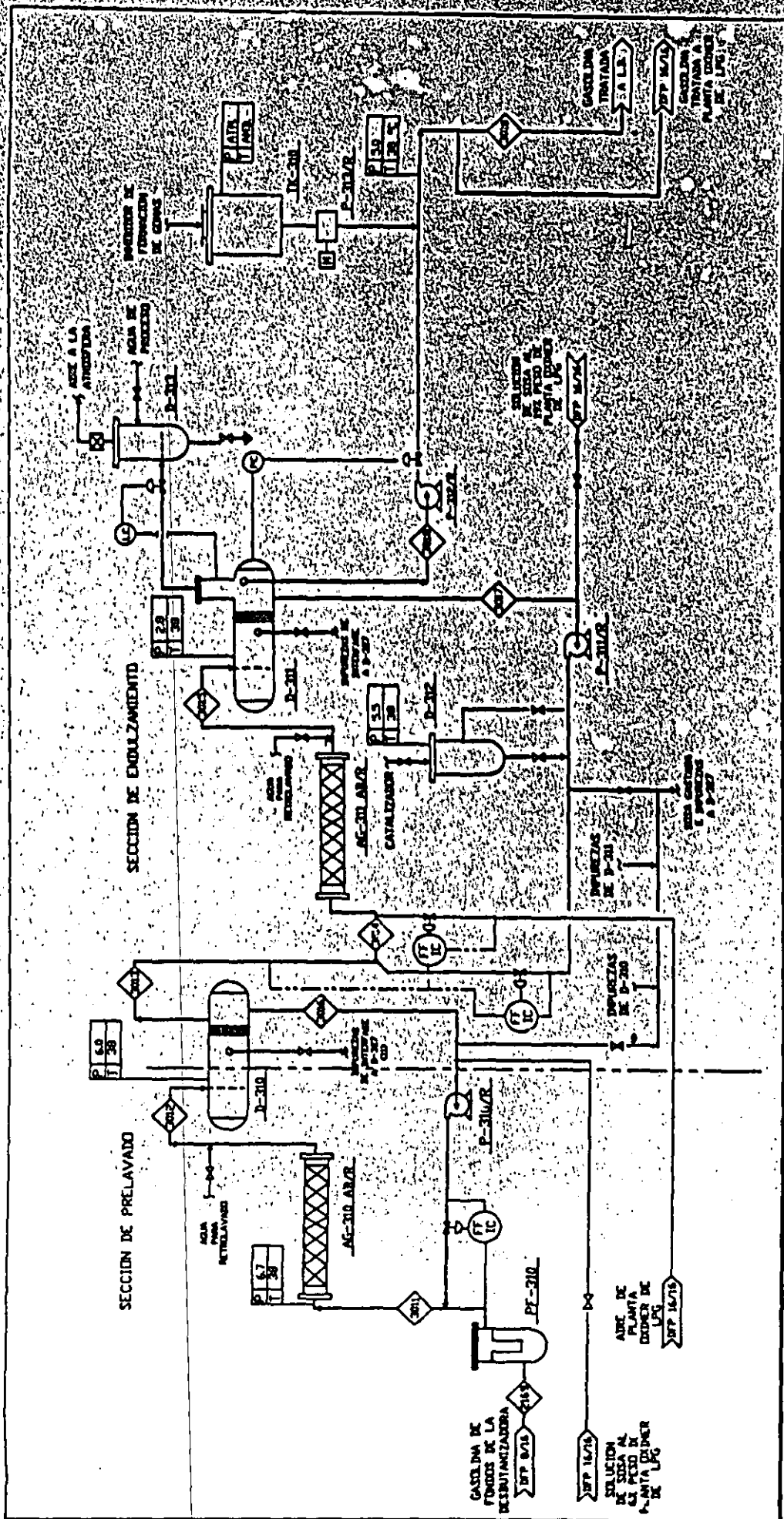
D-401	TANQUE DE BALANCE DEL ADOZADOR DE AGUA AMARGA	P-402/A	BOMBA DE CARGA DE ADOZADOR DE AGUA AMARGA
D-402	SEPARADOR DE ANESTRE DE GAS ACIDO	P-403/A	BOMBA DE AGUA AMARGA ADOZADA
E-401	RENTORIO DEL ADOZADOR DE AGUA AMARGA	P-404/A	BOMBA DE RECULACION DEL ADOZADOR DE AGUA AMARGA
E-402	INTERCAMBIADOR CALORIFEROS DEL ADOZADOR DE AGUA AMARGA		
E-403	REFRIGERADOR DE AGUA AMARGA ADOZADA		
EA-401	REFRIGERADOR DE RECULACION DEL ADOZADOR DE AGUA AMARGA		
T-401	ADOSADOR DE AGUA AMARGA		
P-401/A	BOMBA DE RECULACION DEL ADOZADOR DE AGUA AMARGA		

**SIEMBOLOS:**

◇	NUMERO DE CORRIENTE
○	PRESSION
□	TEMPERATURA °C

**NOTAS:**

1. Nomenclatura en flujo
2. 15.4 % de vaporización móvil



**FACULTAD DE QUIMICA**  
 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

REFERENCIA: TRANSICION I. MADERO, CD. MARCO TAMPE  
 UNIDAD DE TRATAMIENTO CAUSTICO  
 DORDER DE GASOLINA

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**  
**I. Q. I. M. I.**

PLANTA QUIMICA DE PROCESO DE SISA  
 MARCO TAMPE

**LISTA DE EQUIPO**

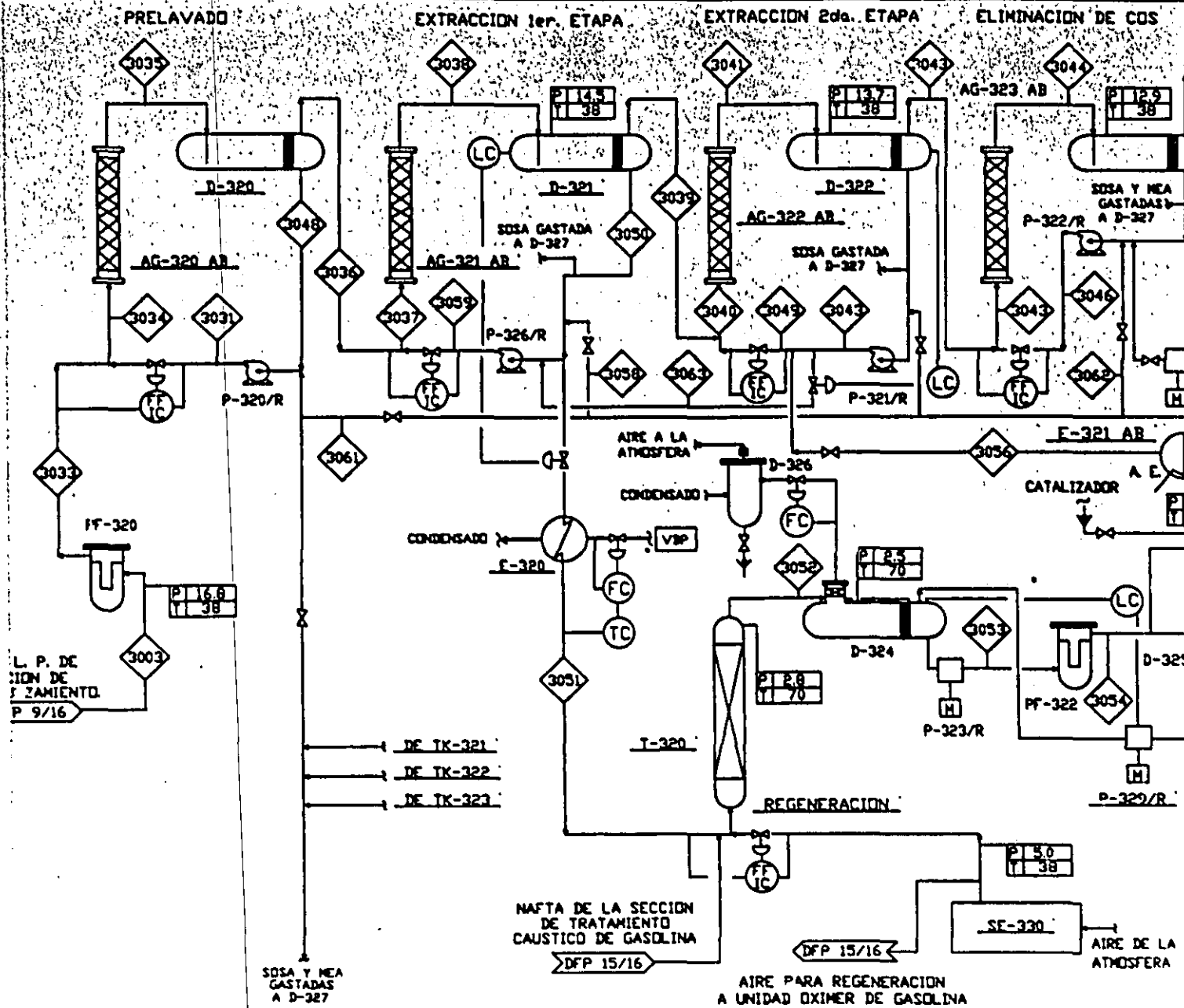
AG-310 AB/R	MEZCLADOR DE PRELAVADO	P-310/R	BOMBA DE RECIRCULACION DE SISA
AG-311 AB/R	MEZCLADOR DE ENDOZAMIENTO	P-311/R	SECCION DE PRELAVADO
D-310	SEPARADOR DE PRELAVADO	P-312/R	SECCION DE ENDOZAMIENTO
D-311	SEPARADOR DE ENDOZAMIENTO	P-313/R	BOMBA DE GASOLINA TRATADA
D-312	TANQUE DE ALIMENTACION DE CATALIZADOR	TK-310	BOMBA DOSIFICADORA DE INHIBIDOR DE FORMACION DE GOMAS
D-313	TANQUE LAVADOR DE AIRE		TANQUE DE ALIMENTACION DE INHIBIDOR DE FORMACION DE GOMAS
PF-310	FILTRO DE GASOLINA DE CARGA		

**SYMBOLIC:**

NUMERO DE CORRIENTE

PRESSION, Kg / cm 2 (man)

TEMPERATURA, °C



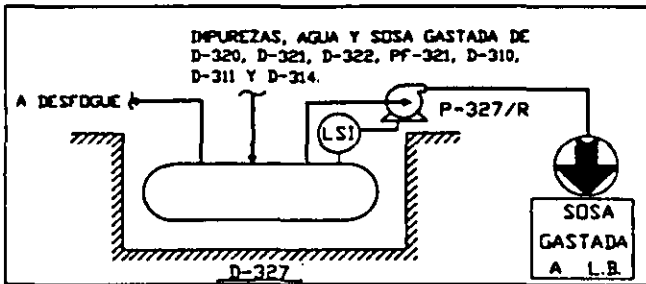
**SIMBOLOS**



NUMERO DE CORRIENTE



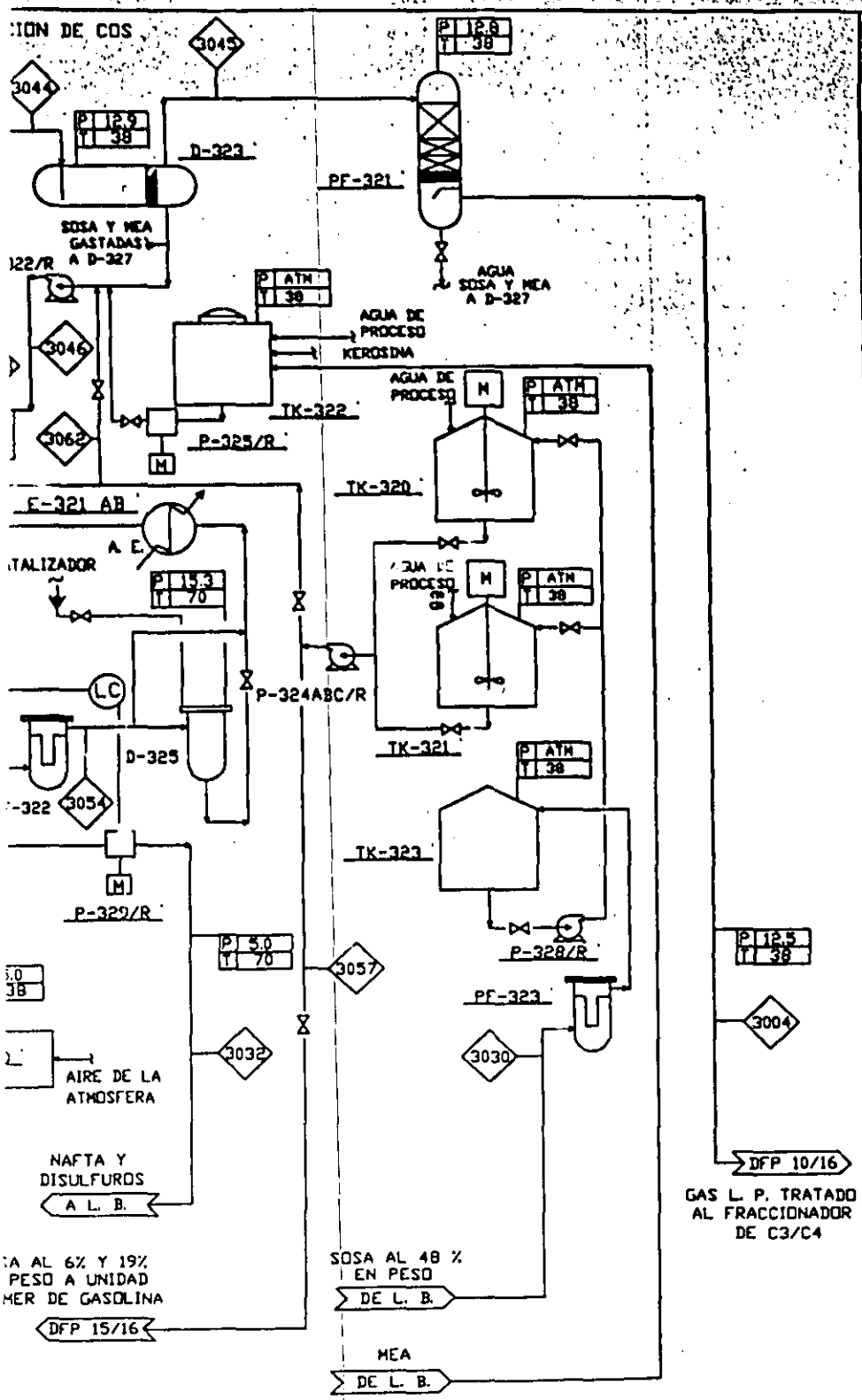
PRESION, Kg / cm<sup>2</sup> (man)  
TEMPERATURA, °C



NAFTA Y DISULFUROS  
A L.B.


SOSA AL 6X Y 19% EN PESO A UNIDAD OXIMER DE GASOLINA  
DFP 15/16






**LISTA DE EQUIPO**

CLAVE	SERVICIO
AG-320 AB	MEZCLADOR DE PRELAVADO
AG-321 AB	MEZCLADOR PRIMERA ETAPA
AG-322 AB	MEZCLADOR SEGUNDA ETAPA
AG-323 AB	MEZCLADOR DE ELIMINACION
D-320	SEPARADOR DE PRELAVADO
D-321	SEPARADOR PRIMERA ETAPA
D-322	SEPARADOR SEGUNDA ETAPA
D-323	TANQUE DE ELIMINACION
D-324	SEPARADOR DE DISULFURO
D-325	TANQUE DE ALDENTACION
D-326	TANQUE LAVADOR DE AIRE
D-327	TANQUE DE SOSAS GASTADAS
E-320	CALENTADOR DE SOSA
E-321 AB	ENFRIADOR DE SOSA
PF-320	FILTRO DE GAS L.P. DE
PF-321	FILTRO DE GAS L.P. TRAZADO
PF-322	FILTRO DE SOSA REGENERADA
PF-323	FILTRO DE SOSA AL 48%
P-320/R	BOMBA DE RECIRCULACION
P-321/R	BOMBA DE SOSA SEGUNDA ETAPA
P-322/R	BOMBA DE RECIRCULACION
P-323/R	BOMBA DE SOSA REGENERADA
P-324 ABC/R	BOMBA DE REPOSICION DE
P-325/R	BOMBA DE REPOSICION DE
P-326/R	BOMBA DE SOSA PRIMERA ETAPA
P-327/R	BOMBA DE SOSAS GASTADAS
P-328/R	BOMBA DE SOSA AL 48%
P-329/R	BOMBA DE GASOLINA COM
SE-330	PAQUETE DE COMPRESION
T-320	TORRE DE OXIDACION
TK-320	TANQUE DE ALMTO. DE S
TK-321	TANQUE DE ALMTO. DE S
TK-322	TANQUE DE ALMACENAMIE
TK-323	TANQUE DE SOSA AL 48%



**FACULTAD DE INGENIERIA**  
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

REFINERIA "FRANCISCO I. MADERO"  
UNIDAD DE TRATAMIENTO DE GASOLINA  
OXIMER DE GASOLINA



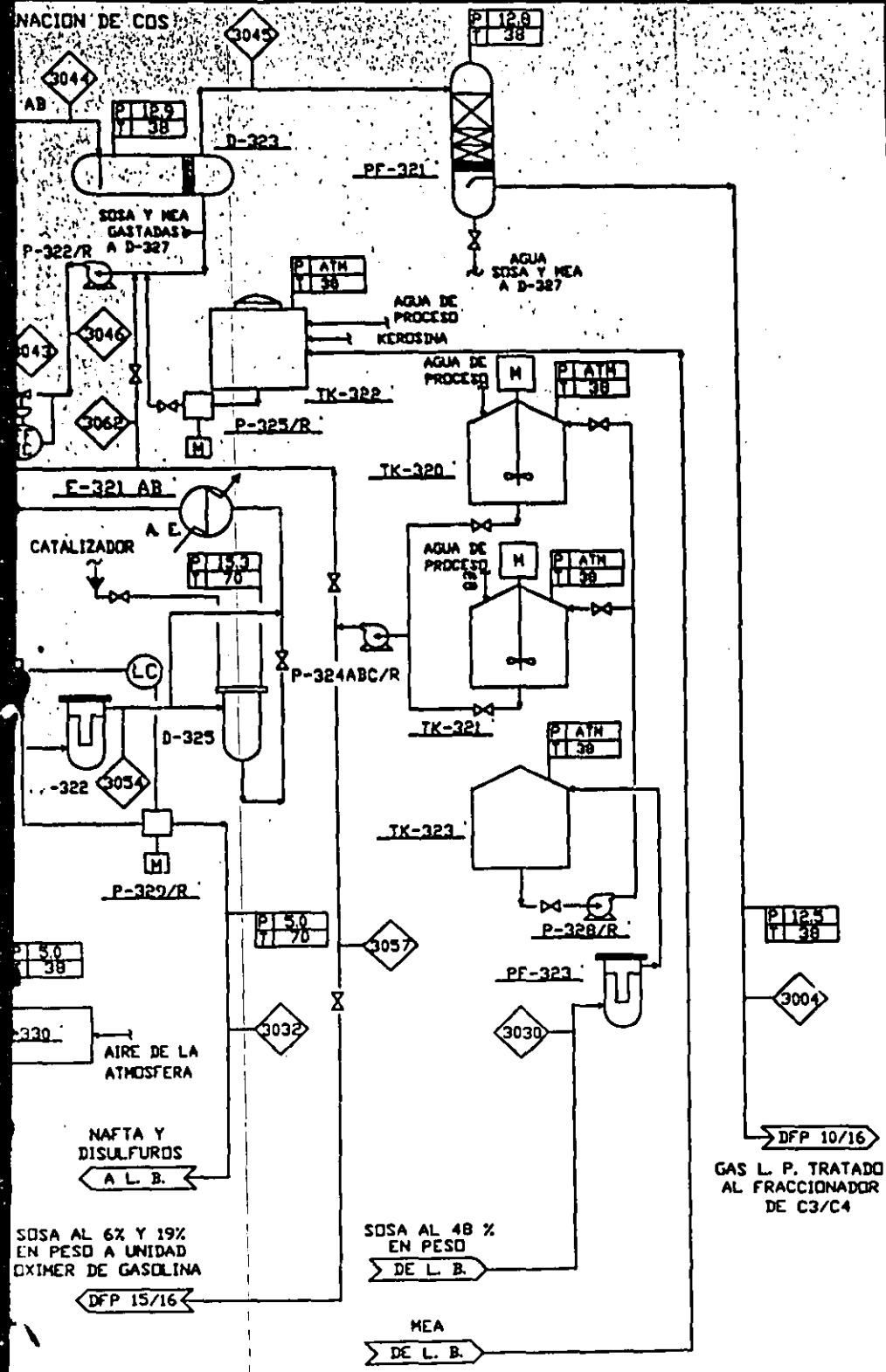
UNAM


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

PLANTA FCC
TRABAJO DE TESIS


**LISTA DE EQUIPO**

CLAVE	SERVICIO
AG-320 AB	MEZCLADOR DE PR
AG-321 AB	MEZCLADOR PRIME
AG-322 AB	MEZCLADOR SEGU
AG-323 AB	MEZCLADOR DE EL
D-320	SEPARADOR DE PR
D-321	SEPARADOR PRIME
D-322	SEPARADOR SEGU
D-323	TANQUE DE ELIMI
D-324	SEPARADOR DE DI
D-325	TANQUE DE ALIME
D-326	TANQUE LAVADOR
D-327	TANQUE DE SOSA
E-320	CALENTADOR DE
E-321 AB	ENFRIADOR DE SO
PF-320	FILTRO DE GAS L
PF-321	FILTRO DE GAS L
PF-322	FILTRO DE SOSA
PF-323	FILTRO DE SOSA
P-320/R	BOMBA DE RECIR
P-321/R	BOMBA DE SOSA
P-322/R	DE EXTRACCION
P-323/R	BOMBA DE RECIR
P-324 ABC/R	BOMBA DE SOSA
P-325/R	BOMBA DE REPOS
P-326/R	BOMBA DE REPOS
P-327/R	BOMBA DE SOSA
P-328/R	BOMBA DE SOSA
P-329/R	BOMBA DE GASOL
SE-330	PAQUETE DE CO
T-320	TORRE DE OXIDA
TK-320	TANQUE DE ALMI
TK-321	TANQUE DE ALMI
TK-322	TANQUE DE ALMA
TK-323	TANQUE DE SOSA




**FACULTAD**  
 DIAGRAMA DE FL

REFINERIA 'FRANCISCO I. MARI  
 UNIDAD DE TRATAM  
 OXIMER DE


**UNIVERSIDAD N**  
 DE M

PLANTA FCC	TRABAJO DE
------------	------------



## LISTA DE EQUIPO

<u>CLAVE</u>	<u>SERVICIO</u>
AG-320 AB	MEZCLADOR DE PRELAVADO
AG-321 AB	MEZCLADOR PRIMERA ETAPA DE EXTRACCION
AG-322 AB	MEZCLADOR SEGUNDA ETAPA DE EXTRACCION
AG-323 AB	MEZCLADOR DE ELIMINACION DE COS.
D-320	SEPARADOR DE PRELAVADO
D-321	SEPARADOR PRIMERA ETAPA DE EXTRACCION
D-322	SEPARADOR SEGUNDA ETAPA DE EXTRACCION
D-323	TANQUE DE ELIMINACION DE COS.
D-324	SEPARADOR DE DISULFUROS / SOSA
D-325	TANQUE DE ALIMENTACION DE CATALIZADOR
D-326	TANQUE LAVADOR DE AIRE
D-327	TANQUE DE SOSAS GASTADAS
E-320	CALENTADOR DE SOSA
E-321 AB	ENFRIADOR DE SOSA
PF-320	FILTRO DE GAS L.P. DE CARGA
PF-321	FILTRO DE GAS L.P. TRATADO
PF-322	FILTRO DE SOSA REGENERADA
PF-323	FILTRO DE SOSA AL 48X PESO
P-320/R	BOMBA DE RECIRCULACION DE SOSA
P-321/R	BOMBA DE SOSA SEGUNDA ETAPA DE EXTRACCION
P-322/R	BOMBA DE RECIRCULACION DE SOSA Y MEA
P-323/R	BOMBA DE SOSA REGENERADA
P-324 ABC/R	BOMBA DE REPOSICION DE SOSA
P-325/R	BOMBA DE REPOSICION DE MEA
P-326/R	BOMBA DE SOSA PRIMERA ETAPA DE EXTRACCION
P-327/R	BOMBA DE SOSAS GASTADAS
P-328/R	BOMBA DE SOSA AL 48X PESO
P-329/R	BOMBA DE GASOLINA CON DISULFUROS
SE-330	PAQUETE DE COMPRESION DE AIRE
T-320	TORRE DE OXIDACION
TK-320	TANQUE DE ALMTO. DE SOSA AL 4X Y 6X PESO
TK-321	TANQUE DE ALMTO. DE SOSA AL 10X Y 19X PESO
TK-322	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE MEA
TK-323	TANQUE DE SOSA AL 48X PESO



**FACULTAD DE QUIMICA**  
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

REFINERIA "FRANCISCO I. MADERO" CD. MADERO TAMPS.  
UNIDAD DE TRATAMIENTO CAUSTICO  
OXIMER DE GAS L. P.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

PLANTA FCC

TRABAJO DE TESIS

DFP 16/16

9/16

ATADO  
VADOR  
C4

## **7.- IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS DEL PROCESO.**

Como se describió ya antes, el objetivo que persiguen los sistemas contra incendio, es mitigar y/o nulificar los efectos provocados por los incendios. Para cumplir con tal propósito, se requiere previamente, haber identificado y caracterizado las causas que los pudieran llegar a generar. En este capítulo y de acuerdo a la descripción hecha de los sistemas de protección contra incendio en el capítulo 4 y en función de la Descripción del Proceso realizada en el capítulo anterior, se identificarán los riesgos más importantes para la Planta FCC No. 2 de la Refinería de Cd. Madero Tamps., con el objeto de fundamentar el dimensionamiento y distribución del sistema de suministro de agua contra incendio mismo que se desarrollará en el capítulo 8. En este capítulo se utilizará como técnica de identificación de riesgos, el Índice Dow para Fuego y Explosión (F&EI)

### **7.1) Índice Dow para Fuego y Explosión (F&EI) :**

Esta técnica de identificación de riesgos, apareció por primera vez en 1964 y fue desarrollada en función de una evaluación histórica de los accidentes más relevantes (con presencia de fuego) que han ocurrido dentro de la industria química de procesos en general. Para facilitar el desarrollo del análisis de riesgos, este índice separa a un sistema (una planta de proceso), en secciones o unidades que sean fácilmente manejables para los propósitos de esta identificación (1).

Este índice es una herramienta que permite identificar a las áreas de proceso con potencial grande para desarrollar problemas de fuego y/o explosión, estableciendo, un daño físico a las instalaciones y económico al negocio si un incidente de esta naturaleza llegase a presentarse. Son tres los propósitos que se persiguen con la aplicación de esta técnica:

- a) Cuantificar el daño provocado por incendio o explosión.
- b) Identificar equipos u operaciones que contribuyan a la creación de incidentes con fuego y/o explosión.
- c) Comunicar el potencial de riesgo de fuego o explosión a la cúpula gerencial de la compañía (en términos económicos y/o monetarios).

Este índice se aplica a aquel equipo o sección del proceso, que se consideren que presentan mayor riesgo de incendio o explosión. La magnitud de estos peligros potenciales, se cuantifica con el uso de "factores de penalización", cada uno de estos factores tiene un valor para los diferentes tipos de riesgos que se pudieran presentar. Algunos de estos factores, pueden no ser aplicables a ciertas circunstancias porque no están contemplados dentro de las operaciones normales de la planta. Si este índice se aplica a una sección del proceso, se escogerán a los equipos más representativos de tal sección o que mayor potencial de fuego o explosión pudieran tener

Esta técnica presenta ciertas limitantes, si se aplica a equipos que manejen menos de 5,000 libras o 600 galones de material reactivo, combustible o inflamable (como en una planta piloto), el nivel de riesgo puede quedar sobre-especificado (mayor que el riesgo real). Este índice debe de aplicarse con especial cuidado, en equipos en serie, es decir, en equipos que no estén



completamente aislados de otros equipos, por ejemplo, trenes de reacción, de calentamiento, de separación de productos, etc. De este modo, la información mínima necesaria a utilizar para la aplicación de este índice será:

- a) Plano de Localización y Distribución General del Equipo (PLG).
- b) Diagramas de Flujo de Proceso (DFP)
- c) Descripción del Proceso.
- d) Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI).
- e) Hojas de Datos de los Equipos de Proceso.
- f) Datos de Costos de Equipos de Proceso.
- g) Manual y Formatos de Aplicación del Índice Dow.

La figura 7.1, presenta el algoritmo a desarrollar para la aplicación de este índice (21):

La aplicación del Índice Dow a la Planta de Desintegración Catalítica (FCC), no considera el cálculo de las pérdidas económicas provocadas por algún incidente con fuego o explosión (Daño Máximo Probable a la Propiedad o DMPP). La utilización de este índice está más enfocada hacia la identificación de los riesgos potenciales de fuego y explosión y por lo tanto, determinar que secciones del proceso son las que presentan mayor riesgo de incendio y poner especial atención al diseño del sistema de protección contra incendio para tales secciones.

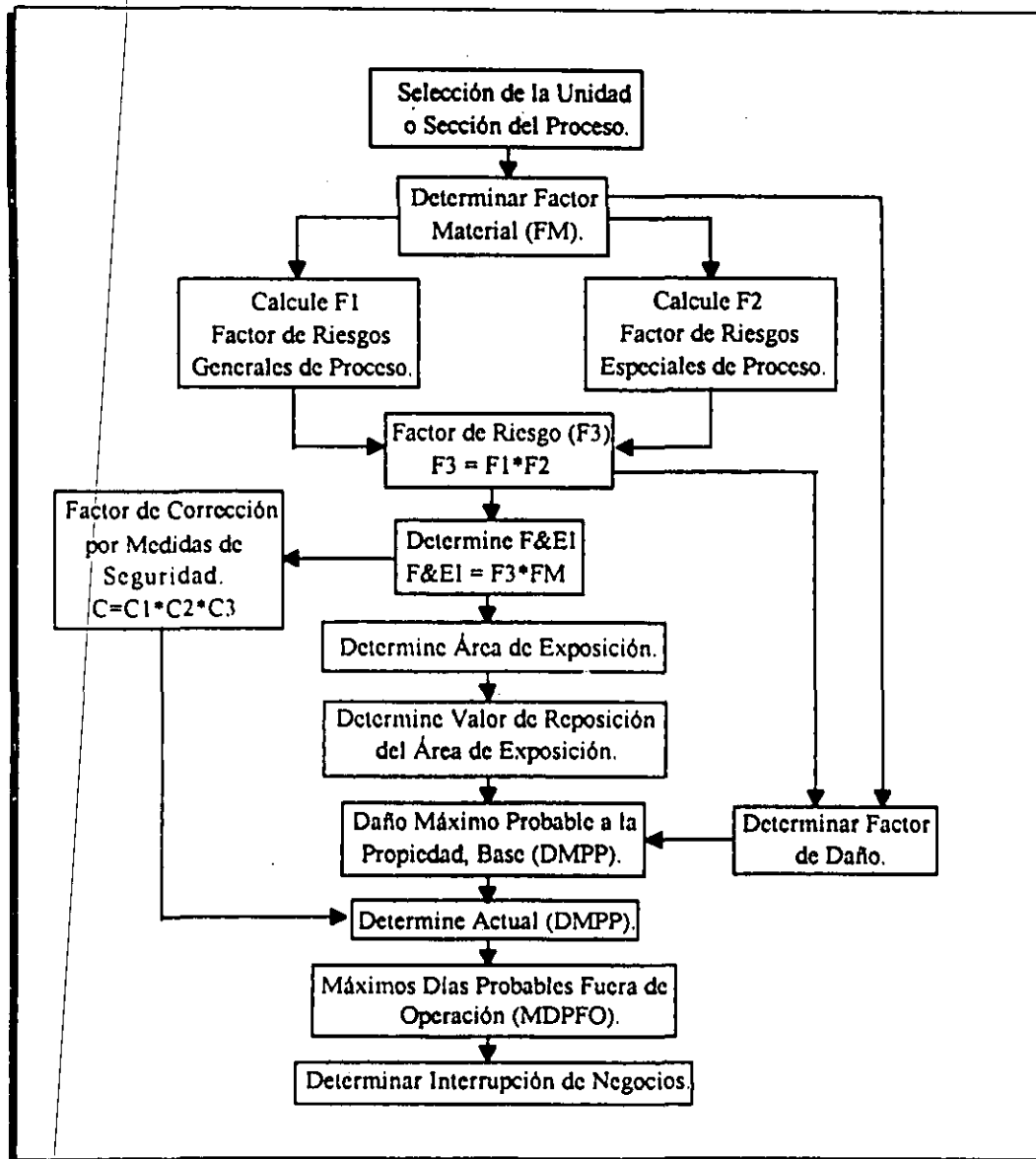


Figura 7.1 : Algoritmo a desarrollar para la aplicación del Índice Dow para Fuego y Explosión (F&E1) (21).

## **7.2) Aplicación del Índice Dow para Fuego y Explosión (F&EI) a la Planta de Desintegración Catalítica No. 2 de la Refinería Francisco I. Madero:**

Se presenta a continuación, la aplicación del Índice Dow a todas las secciones del proceso de la planta FCC. Las secciones del proceso analizadas son:

- 1) Desintegración de Gasóleos.
- 2) Sección de Precalentamiento de Carga.
- 3) Sección de Fraccionamiento Primario.
- 4) Sección de Recuperación de Vapores.
- 5) Sección de Fraccionamiento de Productos Ligeros.
- 6) Sección de Tratamiento de Aminas del LPG y Gas Seco.
- 7) Sección de Tratamiento de Agua Amarga.
- 8) Unidad de Tratamiento Cáustico Oximer de Gasolina.
- 9) Unidad de Tratamiento Cáustico Oximer de LPG.

El Índice Dow lo constituyen principalmente: un Factor Material (FM), dos Factores de Riesgo de Proceso (F1 y F2) y tres Factores de Corrección por Medidas de Seguridad y Control de Riesgos (C1, C2 y C3). Se presenta a continuación, un resumen del desarrollo en la aplicación de estos parámetros a cada una de las secciones de la Planta de Desintegración Catalítica (FCC).

### **I) Factor Material (FM):**

En este factor se cuantifican las propiedades de reactividad e inflamabilidad de los materiales claves producidos, manejados o almacenados en la(s) unidad(es) del proceso seleccionada(s) (1).

### **II) Factores de Riesgo de Proceso:**

#### ***F1: Factor de Riesgos Generales de Proceso:***

##### **a y b) Reacciones Exotérmicas y Endotérmicas del Proceso:**

Las secciones del proceso en las que se tienen reacciones son:

- 1) Desintegración de Gasóleos.
- 2) Unidades Oximer de Gasolina y Gas L. P.
- 3) Endulzamiento de Gas L. P. y Gas Seco con Amina.

Para la sección de Desintegración de Gasóleos, se considera a la reacción de regeneración del catalizador (reacción de combustión) como la más representativa y con un riesgo potencial grande de incendio de esta sección. En las Unidades Oximer de Gasolina y Gas L.P. se consideran reacciones del tipo ácido-base para la remoción de los compuestos azufrados con sosa. En el Endulzamiento del Gas L.P. y Gas Seco con Amina, se considera la reacción del H<sub>2</sub>S y la DEA de tipo débil por lo que no se aplica en este inciso, para esta sección, ninguna penalización.

**c) Manejo y Transferencia de Materiales:**

En ninguna sección del Proceso se consideran operaciones de manejo y transferencia de materiales inflamables, en donde se tenga una introducción peligrosa de aire a los equipos por la realización de tales operaciones.

**d) Unidades de Proceso Cerradas o en Interiores:**

No se tienen equipos o unidades de proceso que se encuentren en espacios cerrados o muy confinados en cualquier sección del proceso.

**e) Acceso al Área de Proceso con Equipo de Emergencia:**

En la planta se cuenta con entradas adecuadas, accesibles y operables (por más de un lado) para el funcionamiento de equipos portátiles y móviles de atención a emergencias.

**f) Drenajes y Control de Derrames:**

Se considera que en todas las instalaciones de la planta, se cuentan con pendientes de al menos un 2% de inclinación y dirigidas hacia contenedores alejados de estas instalaciones.

**F2 : Factor de Riesgos Especiales de Proceso:**

Los factores de penalización por riesgos especiales de proceso, son presentados y resumidos para cada una de las secciones del proceso, en la tabla 7 1.

Tabla 7.1 : Riesgos Especiales de Proceso (F2).

	SECCIONES DE LA PLANTA		
	Desintegración de Gasóleos	Fraccionamiento Primario	Pre calentamiento de Carga
a) Materiales Tóxicos.	Se considera que todos los materiales manejados y/o procesados en estas secciones del proceso presentan riesgo ligero a la salud y las lesiones que pudieran provocar son menores.		
b) Presión Subatmosférica.	No se presentan condiciones de presión subatmosférica en estas secciones del proceso.		
c) Operación cerca o en Rango Inflamable.	El Regenerador (R-101) y el Reactor (R-102) siempre operan en este intervalo.	Se considera caer en este intervalo por fallas en la instrumentación o equipos.	Siempre se opera dentro de este intervalo inflamable.
d) Explosión de Polvos.	En la Desintegración de Gasóleos se pudieran presentar problemas de explosión de polvos, debido al catalizador. Sin embargo, se considera presencia de gases inertes en el interior de los equipos de esta sección. Las demás secciones no manejan polvos.		
e) Alivio de Presión.	Se considera que el alivio de la presión será a una sobrepresión del 10% del equipo que opere a la mayor presión de una sección. La presión de calibración del alivio se determina de la expresión: Presión de alivio = 1.10 (Presión de Operación).		
f) Baja Temperatura.	En ninguna sección del proceso se presentan condiciones de baja temperatura.		
g) Cantidad de Material.	Se considera el volumen de gasóleos que contenga el reactor en un instante dado dentro del tiempo de operación normal.	Se considera la cantidad de líquido contenido (estancado) dentro de la torre T-201 en un instante dado de la operación.	No se consideran cantidades apreciables de material presentes en un instante dentro del tiempo de operación normal.
h) Corrosión y Erosión.	Para todos los equipos de todas las secciones, se consideran velocidades de corrosión menores a 0.50 mm / año con riesgo de picaduras o erosión local.		
i) Fugas en Juntas y Empaques.	Se prevé tener fugas menores de material líquido (gasóleos).	Se prevé problemas de fugas regulares en bombas, bridas y compresores.	Se prevé tener fugas menores de material líquido en intercambiadores.
j) Equipo calentado a fuego directo.	En ninguna de estas secciones se tienen equipos calentados a fuego directo.		
k) Intercambio de calor con aceite.	Intercambio de calor con aceite no se considera dentro de esta sección.	Intercambio de calor con aceite no se considera dentro de esta sección.	Intercambio de calor con aceite no se considera dentro de esta sección.
l) Equipo rotatorio.	No se consideran equipos rotatorios de potencias grandes.	No se dispone de equipos rotatorios importantes en esta sección.	No se dispone de equipos rotatorios importantes en esta sección.

Tabla 7.1 : Riesgos Especiales de Proceso (F2) Continuación.

	SECCIONES DE LA PLANTA		
	Recuperación de Vapores	Fraccionamiento de Ligeros	Endulzamiento de Gas Seco y Gas L.P.
a) Materiales Tóxicos	Se considera que todos los materiales manejados y/o procesados en estas secciones del proceso presentan riesgo ligero a la salud y las lesiones que pudieran provocar son menores.		
b) Presión Subatmosférica	En la sección de Recuperación de Vapores, se tiene un ejetor (EJ-201), sin embargo, la presión de operación de este ejetor no es muy drástica (0.9 Kg/cm <sup>2</sup> man.). Las demás secciones del proceso, no presentan operación a presión subatmosférica.		
c) Operación cerca o en Rango Inflamable.	Se considera caer en este intervalo por fallas en la instrumentación o equipos.	Se considera caer en este intervalo por fallas en la instrumentación o equipos.	No se considera caer en este intervalo por fallas en la instrumentación o equipos.
d) Explosión de Polvos	En estas secciones no se considera el manejo de ningún tipo de polvo con carácter explosivo.		
e) Alivio de Presión.	Se considera que el alivio de la presión será a una sobrepresión del 10% del equipo que opere a la mayor presión de una sección. La presión de calibración del alivio se determina de la expresión: Presión de alivio = 1.10 (Presión de Operación).		
f) Baja Temperatura.	En ninguna sección del proceso se presentan condiciones de baja temperatura.		
g) Cantidad de Material.	Se considera la cantidad de líquido contenido (estancado) en las torres T-203 y T-204 en un instante dado de la operación.	Se considera la cantidad de líquido presente en el tanque D-203, en un instante dado de la operación normal.	Se considera la cantidad de líquido contenido (estancado) en el lavador T-207 en un instante dado de la operación normal.
h) Corrosión y Erosión.	Para todos los equipos de todas las secciones, se consideran velocidades de corrosión menores a 0.50 mm / año con riesgo de picaduras o erosión local.		
i) Fugas en Juntas y Empaques.	Se prevé problemas de fugas regulares en bombas, bridas y compresores.	Se prevé problemas de fugas regulares en bombas, bridas y compresores.	Se prevé problemas de fugas regulares en bombas, bridas y compresores.
j) Equipo calentado a fuego directo.	En ninguna de estas secciones se tienen equipos calentados a fuego directo.		
k) Intercambio de calor con aceite.	No se tienen equipos de intercambio de calor con aceite en esta sección.	Los "pumparound" se consideran como intercambiadores de calor con aceite.	No se tienen equipos de intercambio de calor con aceite en esta sección.
l) Equipo rotatorio.	El compresor C-201, puede operar a una potencia mayor de 600 HP.	No se dispone de equipos rotatorios importantes en esta sección.	No se dispone de equipos rotatorios importantes en esta sección.

Tabla 7.1 : Riesgos Especiales de Proceso (F2) Continuación.

	SECCIONES DE LA PLANTA		
	Tratamiento de Agua Amarga	Unidad Oximer de Gasolina.	Unidad Oximer de Gas L.P.
a) Materiales Tóxicos.	Se considera que todos los materiales manejados y/o procesados en estas secciones del proceso presentan riesgo ligero a la salud y las lesiones que pudieran provocar son menores.		
b) Presión Subatmosférica.	No se presentan condiciones de presión subatmosférica en estas secciones del proceso.		
c) Operación cerca o en Rango Inflamable.	No se contempla caer en este intervalo por fallas de instrumentación o equipo.	Se opera siempre a condiciones inferiores al punto de inflamabilidad.	Se considera caer en este intervalo por fallas en la instrumentación o equipos.
d) Explosión de Polvos.	En estas secciones no se considera el manejo de ningún tipo de polvo con carácter explosivo.		
e) Alivio de Presión.	Se considera que el alivio de la presión será a una sobrepresión del 10% del equipo que opere a la mayor presión de una sección. La presión de calibración del alivio se determina de la expresión: Presión de alivio = 1.10 (Presión de Operación).		
f) Baja Temperatura.	En ninguna sección del proceso se presentan condiciones de baja temperatura.		
g) Cantidad de Material.	No se considera presencia apreciable de material inflamable dentro del tiempo de operación normal de esta sección.	Se tiene un líquido combustible y se opera siempre a condiciones inferiores al punto de inflamabilidad de la gasolina.	Se considera la cantidad de Gas L.P contenido como líquido en el tanque D-323 en un instante de la operación.
h) Corrosión y Erosión.	Para todos los equipos de todas las secciones, se consideran velocidades de corrosión menores a 0.50 mm / año con riesgo de picaduras o erosión local.		
i) Fugas en Juntas y Empaques.	Se prevé tener fugas menores de material líquido en intercambiadores.	Se prevé problemas de fugas regulares en bombas, bridas y compresores.	Se prevé problemas de fugas regulares en bombas, bridas y compresores.
j) Equipo calentado a fuego directo.	En ninguna de estas secciones se tienen equipos calentados a fuego directo.		
k) Intercambio de calor con aceite.	No se tienen equipos de intercambio de calor con aceite en esta sección.	No se tienen equipos de intercambio de calor con aceite en esta sección.	No se tienen equipos de intercambio de calor con aceite en esta sección.
l) Equipo rotatorio.	No se dispone de equipos rotatorios importantes en esta sección.	No se dispone de equipos rotatorios importantes en esta sección.	No se dispone de equipos rotatorios importantes en esta sección.

**III) Factores de Corrección por Medidas de Seguridad y Control de Riesgos:****C1 : Control del Proceso:**

- 1.- Energía de Emergencia : Se considera que se dispondrá del suministro de energía de emergencia para los servicios esenciales del proceso en todas las secciones de éste.
- 2.- Sistemas de Enfriamiento: En aquellas secciones del proceso que contemplen el uso de agua de enfriamiento, se considera que ésta podrá suministrar el servicio normal de enfriamiento durante 10 minutos en condiciones anormales de operación.
- 3.- Control de Explosiones: Se considera la instalación de equipos de supresión de explosiones en las unidades de proceso que manejen polvos y/o vapores, de carácter explosivo como en la sección de Desintegración de Gasóleos (catalizador). Las demás secciones del proceso contarán con dispositivos normales de alivio de la presión.
- 4.- Paro de Emergencia : Para todas las secciones del proceso, se considera que los paros de emergencia iniciaran en el momento adecuado y oportuno. Se dispondrá de instrumentación redundante para tales situaciones.
- 5.- Control por Computadora : Se dispondrá de equipos de cómputo que operen a falla lógica segura y control directo, con el uso de sistemas de control redundantes.
- 6.- Gas Inerte : Se considera que en las operaciones de arranque todos los equipos se inertizan (con nitrógeno o vapor de agua) pero en su operación normal no se contempla el uso de tales gases en los equipos que no lo requieran..
- 7.- Instrucciones de Operación : Se dispondrá de manuales de operación con instrucciones claras, precisas y completas.
- 8.- Análisis de Reactivos Químicos : Para la sección de Desintegración de Gasóleos, se considera un programa continuo de análisis de reactivos químicos como parte de la operación normal de la planta. En las demás secciones del proceso, puede no aplicarse este inciso.

**C2 Aislamiento del Material:**

- 1 - Válvulas de Control Remoto (VBE) : Estas válvulas se revisarán y se les dará mantenimiento al menos una vez por año.



- 2.- Descarga a Vertederos : Los vapores se descargarán a un flare o quemador en tanto que los líquidos vertidos se mandarán a un vertedero exterior.
- 3.- Drenaje : Se dispondrá de diques con una inclinación del 2% y podrán contener al 75% del líquido contenido en la unidad de proceso más cercana al mismo.
- 4.- Interlock : Todas las secciones del proceso, dispondrán de sistemas interlock para prevenir flujo de material incorrecto o de reacciones no deseadas.

**C3 : Protección Contra Incendio:**

- 1.- Detección de Fugas: Se instalarán detectores de vapor que identifiquen la zona de fuga y den la alarma, antes de llegar al límite inferior de explosividad.
- 2.- Acero Estructural : Se considera que los sistemas de aspersión instalados en la planta, pueden también proteger a las estructuras de acero que soporten a los equipos de proceso. No se aplica ningún factor en el inciso "6".
- 3.- Tanques Recubiertos : No se consideran recipientes de proceso recubiertos con doble envolvente.
- 4.- Suministro de Agua : El suministro de agua, cubrirá con la demanda máxima de agua contra incendio durante 4 horas de servicio ininterrumpido.
- 5.- Sistemas Especiales : Se dispondrá de extintores (PQS) base sodio y de detectores de fuego en toda la planta.
- 6.- Sistemas Rociadores : No aplica factor de acuerdo al inciso "2".
- 7.- Cortinas de Agua: No se contempla el uso de tales cortinas en la planta.
- 8.- Espuma : Se dispondrá de estaciones exteriores de generación y aplicación de espuma (tomas para vehículo contra incendio) que operan manualmente.
- 9.- Extintores portátiles : Se tendrán extinguidores en cantidad suficiente, localizados y distribuidos adecuadamente en toda la planta.
- 10.- Protección a Cables : El cableado se considera subterráneo y atrincherado.

En las siguientes hojas se presentan los formatos de aplicación del Índice Dow para las distintas secciones del proceso de la planta y los valores de los factores de penalización usados para cada uno de los incisos anteriores.



# INDICE DOW

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

COMPLEJO Y/O PLANTA		UNIDAD Y SECCION	
Planta de Desintegración Catalítica Fluidizada (FCC) No. 2, Refinería Francisco I. Madero, Ciudad Madero Tamps.		Desintegración de Gasóleos	
<b>MATERIALES Y PROCESO</b>			
MATERIAL CLAVE Mezcla de Gasóleos	FACTOR MATERIAL FM = 16	ESTADO DE OPERACIÓN	
		ARRANQUE ○	PARO ○ OPER. NORMAL ○
<b>ANÁLISIS DE RIESGOS</b>			
	FACTOR		FACTOR
<b>RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)</b>		d) Explosión de polvos 0.25 a 2.0	
Factor Base		1.00	
a) Reacciones Exotérmicas 0.3 a 1.25	1.00	e) Alivio de Presión (Anexo 1)	
b) Reacciones Endotérmicas 0.2 a 0.4	...	Pres Op 2.1 psig Alivio 2.3 psig	0.20..
c) Manejo y Transferencia 0.25 a 1.05	...	f) Baja temperatura 0.2 a 0.3	...
d) Unidades de Proceso Cerradas 0.25 a 0.9	...	g) Cantidad de material Anexo. 2	
e) Accesos al área de Procesos 0.2 a 0.35	...	Cantidad: 325,121.4 lb ΔHc: 21,300 BTU/lb	2.30
f) Drenajes/Control de Derrame 0.25 a 0.5	...	h) Corrosión y Erosión 0.1 a 0.75	0.10
<b>Suma de Factores RGP F1 =</b>	<b>2.00</b>	i) Fugas en Juntas/Empaques 0.1 a 1.5	0.10
<b>RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (F2)</b>		j) Equipo calentado a fuego directo 0.1 a 1.0	...
Factor Base		k) Intercambio de calor con aceite 0.15 a 1.15	...
a) Materiales Tóxicos 0.2 a 0.8	0.20	l) Equipo Rotativo 0.5	...
b) Presión Subatmosférica 0.5	...	<b>Suma de Factores REP F2 =</b>	<b>4.70</b>
c) Operación cerca o en Rango Flamable 0.3 a 0.8	0.80	<b>FACTOR DE RIESGO DE UNIDAD (F1*F2=F3)</b>	<b>9.40</b>
		<b>INDICE DE FUEGO Y EXP. FM*F3=IFE</b>	<b>150.4</b>
<b>FACTORES POR MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CONTROL DE RIESGOS</b>			
<b>C1 - CONTROL DE PROCESO</b>		<b>C3 - PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO</b>	
1. Energía de Emergencia 0.98	0.98	1. Detección de Fugas 0.94 a 0.98	0.94
2. Enfriamiento 0.97 a 0.99	...	2. Acero Estructural 0.95 a 0.98	0.98
3. Control de Explosión 0.84 a 0.98	0.84	3. Tanques Recubiertos 0.84 a 0.91	...
4. Paro de Emergencia 0.96 a 0.99	0.96	4. Suministro de Agua 0.97 a 0.99	0.97
5. Control de Computadora 0.93 a 0.99	0.93	5. Sistemas Especiales 0.91	0.91
6. Gas Inerte 0.94 a 0.96	...	6. Sistemas Rocladores 0.74 a 0.97	...
7. Procedimientos de Operación 0.91 a 0.99	0.91	7. Cortinas de Agua 0.97 a 0.98	...
8. Análisis de Reactivos 0.91 a 0.98	0.91	8. Espuma 0.92 a 0.97	0.97
<b>Producto de Factores C1 =</b>	<b>0.609</b>	9. Extintores/Monitores 0.95 a 0.98	0.98
<b>C2 - AISLAMIENTO DE MATERIAL</b>		10. Protección a Cables 0.94 a 0.98	0.94
1. Válvulas de Control Remoto (VBE) 0.96 a 0.98	0.96	<b>Producto de Factores C3 =</b>	<b>0.727</b>
2. Vaciado de Emergencia 0.96 a 0.98	0.96	<b>FACTOR POR MEDIDAS DE SEGURIDAD FINAL C1*C2*C3=C</b>	<b>0.646</b>
3. Drenaje 0.91 a 0.97	0.91		
4. Interlock 0.98	0.98		
<b>Producto de Factores C2 =</b>	<b>0.821</b>		
<b>SUMARIO DE ANÁLISIS DE RIESGOS</b>			
A) Factor de Riesgo Unidad (F3) 9.4	FM=16	F) DMPP Base	MM US Dlls.
B) IFE 150.40	CLASIF. RIESGO: Grave.	G) FACTOR / MEDIDAS DE SEGURIDAD (C)	
C) FACTOR DE DAÑO (Anexo 3) 0.70		H) DMPP ACTUAL (DMPPb*C)	MM US Dlls.
D) RADIO DE EXPOSICION (Anexo 4) 128 pies		I) MDPFO	
E) VALOR DEL AREA DE EXPOSICION MM US Dlls.		J) INTERRUPCION DEL NEGOCIO	MM US Dlls.



# INDICE DOW

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

COMPLEJO Y/O PLANTA		UNIDAD Y SECCION	
Planta de Desintegración Catalítica Fluidizada (FCC) No. 2. Refinería Francisco I. Madero, Ciudad Madero Tamps.		Fraccionamiento Primario	
MATERIALES Y PROCESO			
MATERIAL CLAVE ACL, ACI, ACP, Nafta.	FACTOR MATERIAL FM= 10	ESTADO DE OPERACIÓN	
		ARRANQUE <input type="radio"/>	PARO <input type="radio"/> OPER. NORMAL <input type="radio"/>
ANÁLISIS DE RIESGOS			
	FACTOR		FACTOR
RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)		d) Explosión de polvos 0.25 a 2.0	
Factor Base		1.00	
a) Reacciones Exotérmicas 0.3 a 1.25	...	e) Alivio de Presion (Anexo 1)	
b) Reacciones Endotérmicas 0.2 a 0.4	...	Pres Op 5.0 psig   Alivio 5.5 psig	0.25
c) Manejo y Transferencia 0.25 a 1.05	...	f) Baja temperatura 0.2 a 0.3	...
d) Unidades de Proceso Cerradas 0.25 a 0.9	...	g) Cantidad de material	Anexo. 2
e) Accesos al área de Procesos 0.2 a 0.35	...	Cantidad: 1,042,450 lb	ΔHc: 18,500 BTU/lb
f) Drenajes/Control de Derrame 0.25 a 0.5	...	h) Corrosión y Erosión 0.1 a 0.75	0.10
Suma de Factores RGP F1=		i) Fugas en Juntas/Empaques 0.1 a 1.5	0.30
1.00		j) Equipo calentado a fuego directo 0.1 a 1.0	...
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (F2)		k) Intercambio de calor con aceite 0.15 a 1.15	...
Factor Base		l) Equipo Rotativo 0.5	...
a) Materiales Tóxicos 0.2 a 0.8	0.20	Suma de Factores REP F2= 4.75	
b) Presión Subatmosférica 0.5	...	FACTOR DE RIESGO DE UNIDAD (F1*F2= F3)	
c) Operación cerca o en Rango Flamable 0.3 a 0.8	0.30	INDICE DE FUEGO Y EXP. FM*F3=IFE	
		47.5	
FACTORES POR MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CONTROL DE RIESGOS			
C1- CONTROL DE PROCESO		C3 - PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	
1. Energía de Emergencia 0.98	0.98	1. Detección de Fugas 0.94 a 0.98	0.94
2. Enfriamiento 0.97 a 0.99	0.99	2. Acero Estructural 0.95 a 0.98	0.98
3. Control de Explosión 0.84 a 0.98	...	3. Tanques Recubiertos 0.84 a 0.91	...
4. Paro de Emergencia 0.96 a 0.99	0.96	4. Suministro de Agua 0.97 a 0.99	0.97
5. Control de Computadora 0.93 a 0.99	0.93	5. Sistemas Especiales 0.91	0.91
6. Gas Inerte 0.94 a 0.96	...	6. Sistemas Rociadores 0.74 a 0.97	...
7. Procedimientos de Operación 0.91 a 0.99	0.91	7. Cortinas de Agua 0.97 a 0.98	...
8. Análisis de Reactivos 0.91 a 0.98	...	8. Espuma 0.92 a 0.97	0.97
Producto de Factores C1=		9. Extintores/Monitores 0.95 a 0.98	0.98
0.788		10. Protección a Cables 0.94 a 0.98	0.94
C2 - AISLAMIENTO DE MATERIAL		Producto de Factores C3=	
1. Válvulas de Control Remoto (VBE) 0.96 a 0.98	0.96	0.727	
2. Vaciado de Emergencia 0.96 a 0.98	0.96	FACTOR POR MEDIDAS DE SEGURIDAD FINAL	
3. Drenaje 0.91 a 0.97	0.91	C1*C2*C3=C	
4. Interlock 0.98	0.98	0.470	
Producto de Factores C2=			
0.821			
SUMARIO DE ANÁLISIS DE RIESGOS			
A) Factor de Riesgo Unidad (F3) 4.75	FM=10	F) DMPP Base	MM US Dils.
B) IFE 47.5	CLASIF. RIESGO: Ligero.	G) FACTOR / MEDIDAS DE SEGURIDAD (C)	
C) FACTOR DE DAÑO (Anexo 3) 0.20		H) DMPP ACTUAL (DMPPb*C)	MM US Dils.
D) RADIO DE EXPOSICION (Anexo 4) 40 pies		I) MDPFO	
E) VALOR DEL AREA DE EXPOSICION MM US Dils.		J) INTERRUPCION DEL NEGOCIO	MM US Dils.



# INDICE DOW

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

COMPLEJO Y/O PLANTA		UNIDAD Y SECCION	
Planta de Desintegración Catalítica Fluidizada (FCC) No. 2. Refinería Francisco I. Madero, Ciudad Madero Tamps.		Precalentamiento de Carga.	
MATERIALES Y PROCESO			
MATERIAL CLAVE	FACTOR MATERIAL	ESTADO DE OPERACIÓN	
Gasóleo, Nafta, ACL, ACI	FM= 12	ARRANQUE <input type="radio"/>	PARO <input type="radio"/> OPER. NORMAL <input type="radio"/>
ANÁLISIS DE RIESGOS			
		FACTOR	FACTOR
RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)		d) Explosión de polvos 0.25 a 2.0	...
Factor Base		1.00	e) Alivio de Presión (Anexo 1)
a) Reacciones Exotérmicas 0.3 a 1.25	...	Pres Op 5.0 psig	Alivio 5.5 psig 0.25
b) Reacciones Endotérmicas 0.2 a 0.4	...	f) Baja temperatura 0.2 a 0.3	...
c) Manejo y Transferencia 0.25 a 1.05	...	g) Cantidad de material	Anexo. 2
d) Unidades de Proceso Cerradas 0.25 a 0.9	...	Cantidad: lb	ΔHc: BTU/lb
e) Accesos al Área de Procesos 0.2 a 0.35	...	h) Corrosión y Erosión 0.1 a 0.75	0.10
f) Drenajes/Control de Derrame 0.25 a 0.5	...	i) Fugas en Juntas/Empaques 0.1 a 1.5	0.10
<b>Suma de Factores RGP F1=</b>	1.00	j) Equipo calentado a fuego directo 0.1 a 1.0	...
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (F2)		k) Intercambio de calor con aceite 0.15 a 1.15	0.75
Factor Base	1.00	l) Equipo Rotativo 0.5	...
a) Materiales Tóxicos 0.2 a 0.8	0.20	<b>Suma de Factores REP F2=</b>	3.20
b) Presión Subatmosférica 0.5	...	<b>FACTOR DE RIESGO DE UNIDAD (F1*F2= F3)</b>	3.20
c) Operación cerca o en Rango Flamable 0.3 a 0.8	0.80	<b>INDICE DE FUEGO Y EXP. FM*F3=IFE</b>	38.40
FACTORES POR MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CONTROL DE RIESGOS			
C1 - CONTROL DE PROCESO		FACTOR	C3 - PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO
1. Energía de Emergencia 0.98	0.98	1. Detección de Fugas 0.94 a 0.98	0.94
2. Enfriamiento 0.97 a 0.99	0.99	2. Acero Estructural 0.95 a 0.98	0.98
3. Control de Explosión 0.84 a 0.98	...	3. Tanques Recubiertos 0.84 a 0.91	...
4. Paro de Emergencia 0.96 a 0.99	0.98	4. Suministro de Agua 0.97 a 0.99	0.97
5. Control de Computadora 0.93 a 0.99	0.93	5. Sistemas Especiales 0.91	0.91
6. Gas Inerte 0.94 a 0.98	...	6. Sistemas Rociadores 0.74 a 0.97	...
7. Procedimientos de Operación 0.91 a 0.99	0.91	7. Cortinas de Agua 0.97 a 0.98	...
8. Análisis de Reactivos 0.91 a 0.98	...	8. Espuma 0.92 a 0.97	0.97
<b>Producto de Factores C1=</b>	0.788	9. Extintores/Monitores 0.95 a 0.98	0.98
C2 - AISLAMIENTO DE MATERIAL		10. Protección a Cables 0.94 a 0.98	0.94
1. Válvulas de Control Remoto (VBE) 0.96 a 0.98	0.96	<b>Producto de Factores C3=</b>	0.727
2. Vaciado de Emergencia 0.96 a 0.98	0.96	<b>FACTOR POR MEDIDAS DE SEGURIDAD FINAL C1*C2*C3=C</b>	0.470
3. Drenaje 0.91 a 0.97	0.91		
4. Interlock 0.98	0.98		
<b>Producto de Factores C2=</b>	0.821		
SUMARIO DE ANÁLISIS DE RIESGOS			
A) Factor de Riesgo Unidad (F3) 3.20	FM=12	F) DMPP Base	MM US Dils
B) IFE 38.40	CLASIF. RIESGO: Ligero.	G) FACTOR / MEDIDAS DE SEGURIDAD (C)	
C) FACTOR DE DAÑO (Anexo 3) 0.24		H) DMPP ACTUAL (DMPPb'C)	MM US Dils.
D) RADIO DE EXPOSICIÓN (Anexo 4) 32 pies		I) MDPFO	
E) VALOR DEL ÁREA DE EXPOSICIÓN MM US Dils.		J) INTERRUPCION DEL NEGOCIO	MM US Dils.



# ÍNDICE DOW

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

COMPLEJO Y/O PLANTA		UNIDAD Y SECCION	
Planta de Desintegración Catalítica Fluidizada (FCC) No. 2. Refinería Francisco J. Madero, Ciudad Madero Tamps.		Recuperación de Vapores	
MATERIALES Y PROCESO			
MATERIAL CLAVE C3=, C3, C4=, C4	FACTOR MATERIAL FM= 21	ESTADO DE OPERACIÓN	
		ARRANQUE <input type="radio"/>	PARO <input type="radio"/> OPER. NORMAL <input type="radio"/>
ANÁLISIS DE RIESGOS			
	FACTOR		FACTOR
RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)		d) Explosión de polvos 0.25 a 2.0	
Factor Base	1.00	e) Alivio de Presión (Anexo 1)	
a) Reacciones Exotérmicas 0.3 a 1.25	...	Pres Op 17.8 psig	Allvio 19.8 psig 0.51--
b) Reacciones Endotérmicas 0.2 a 0.4	...	f) Baja temperatura 0.2 a 0.3	
c) Manejo y Transferencia 0.25 a 1.05	...	g) Cantidad de material Anexo. 2	
d) Unidades de Proceso Cerradas 0.25 a 0.9	...	Cantidad: 108,410.2 lb	ΔHc: 19,700 BTU/lb 1.85
e) Accesos al área de Procesos 0.2 a 0.35	...	h) Corrosión y Erosión 0.1 a 0.75 0.10	
f) Drenajes/Control de Derrame 0.25 a 0.5	...	i) Fugas en Juntas/Empaques 0.1 a 1.5 0.30	
Suma de Factores RGP F1=	1.0	j) Equipo calentado a fuego directo 0.1 a 1.0	
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (F2)		k) Intercambio de calor con aceite 0.15 a 1.15	
Factor Base	1.00	l) Equipo Rotativo 0.5 0.50	
a) Materiales Tóxicos 0.2 a 0.8	0.20	Suma de Factores REP F2= 4.76	
b) Presión Subatmosférica 0.5	...	FACTOR DE RIESGO DE UNIDAD (F1*F2=F3) 4.76	
c) Operación cerca o en Rango Flamable 0.3 a 0.8	0.30	INDICE DE FUEGO Y EXP. FM*F3=IFE 99.96	
FACTORES POR MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CONTROL DE RIESGOS			
C1- CONTROL DE PROCESO		C3 - PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	
	FACTOR		FACTOR
1. Energía de Emergencia 0.98	0.98	1. Detección de Fugas 0.94 a 0.98	0.94
2. Enfriamiento 0.97 a 0.99	0.99	2. Acero Estructural 0.95 a 0.98	0.98
3. Control de Explosión 0.84 a 0.98	...	3. Tanques Recubiertos 0.84 a 0.91	...
4. Paro de Emergencia 0.96 a 0.99	0.96	4. Suministro de Agua 0.97 a 0.99	0.97
5. Control de Computadora 0.93 a 0.99	0.93	5. Sistemas Especiales 0.91	0.91
6. Gas Inerte 0.94 a 0.98	...	6. Sistemas Rociadores 0.74 a 0.97	...
7. Procedimientos de Operación 0.91 a 0.99	0.91	7. Cortinas de Agua 0.97 a 0.98	...
8. Análisis de Reactivos 0.91 a 0.98	...	8. Espuma 0.92 a 0.97	0.97
Producto de Factores C1=	0.788	9. Extintores/Monitores 0.95 a 0.98	0.98
C2 -/ISLAMIENTO DE MATERIAL		10. Protección a Cables 0.94 a 0.98	
1. Válvulas de Control Remoto (VBE) 0.96 a 0.98	0.96	Producto de Factores C3= 0.727	
2. Vaciado de Emergencia 0.98 a 0.98	0.96	FACTOR POR MEDIDAS DE SEGURIDAD FINAL C1*C2*C3=C 0.471	
3. Drenaje 0.91 a u.97	0.91		
4. Interlock 0.98	0.98		
Producto de Factores C2=	0.821		
SUMARIO DE ANÁLISIS DE RIESGOS			
A) Factor de Riesgo Unidad (F3) 4.76 FM=21		F) DMPP Base MM US Dils.	
B) IFE 99.96 CLASIF. RIESGO: Intermedio.		G) FACTOR / MEDIDAS DE SEGURIDAD (C)	
C) FACTOR DE DAÑO (Anexo 3) 0.72		H) DMPP ACTUAL (DMPPb*C) MM US Dils.	
D) RADIO DE EXPOSICION (Anexo 4) 87 pies		I) MDPFO	
E) VALOR DEL AREA DE EXPOSICION MM US Dils.		J) INTERRUPCION DEL NEGOCIO MM US Dils	

DOWTMOE7



# ÍNDICE DOW

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

COMPLEJO Y/O PLANTA		UNIDAD Y SECCION	
Planta de Desintegración Catalítica Fluidizada (FCC) No. 2, Refinería Francisco I. Madero, Ciudad Madero Tamps.		Fraccionamiento de Ligeros.	
MATERIALES Y PROCESO			
MATERIAL CLAVE Naftas, C1, C2, C3/C3=, C4/C4=	FACTOR MATERIAL FM= 20.3	ESTADO DE OPERACIÓN	
		ARRANQUE <input type="radio"/>	PARO <input type="radio"/>
		OPER. NORMAL <input type="radio"/>	
ANÁLISIS DE RIESGOS			
	FACTOR		FACTOR
RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)		d) Explosión de polvos 0.25 a 2.0	
Factor Base		1.00	
a) Reacciones Exotérmicas 0.3 a 1.25	...	e) Alivio de Presión (Anexo 1)	...
b) Reacciones Endotérmicas 0.2 a 0.4	...	Pres Op 21.3 psig Alivio 23.4 psig	0.55
c) Manejo y Transferencia 0.25 a 1.05	...	f) Baja temperatura 0.2 a 0.3	...
d) Unidades de Proceso Cerradas 0.25 a 0.9	...	g) Cantidad de material Anexo. 2	...
e) Accesos al área de Procesos 0.2 a 0.35	...	Cantidad: 47,256 lb ΔHc: 21,300 BTU/lb	2.15
f) Drenajes/Control de Derrame 0.25 a 0.5	...	h) Corrosión y Erosión 0.1 a 0.75	0.10
Suma de Factores RGP F1=	1.00	i) Fugas en Juntas/Empaques 0.1 a 1.5	0.30
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (F2)		j) Equipo calentado a fuego directo 0.1 a 1.0	
Factor Base		1.00	
a) Materiales Tóxicos 0.2 a 0.8	0.20	k) Intercambio de calor con aceite 0.15 a 1.15	0.75
b) Presión Subatmosférica 0.5	...	l) Equipo Rotativo 0.5	...
c) Operación cerca o en Rango Flamable 0.3 a 0.8	0.30	Suma de Factores REP F2=	5.35
		FACTOR DE RIESGO DE UNIDAD (F1*F2=F3)	5.35
		INDICE DE FUEGO Y EXP. FM*F3=IFE	108.61
FACTORES POR MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CONTROL DE RIESGOS			
C1 - CONTROL DE PROCESO		C3 - PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	
1. Energía de Emergencia 0.98	0.98	1. Detección de Fugas 0.94 a 0.98	0.94
2. Enfriamiento 0.97 a 0.99	0.99	2. Acero Estructural 0.95 a 0.98	0.98
3. Control de Explosión 0.84 a 0.98	...	3. Tanques Recubiertos 0.84 a 0.91	...
4. Paro de Emergencia 0.96 a 0.99	0.96	4. Suministro de Agua 0.97 a 0.99	0.97
5. Control de Computadora 0.93 a 0.99	0.93	5. Sistemas Especiales 0.91	0.91
6. Gas Inerte 0.94 a 0.96	...	6. Sistemas Rociadores 0.74 a 0.97	...
7. Procedimientos de Operación 0.91 a 0.99	0.91	7. Cortinas de Agua 0.97 a 0.98	...
8. Análisis de Reactivos 0.91 a 0.98	...	8. Espuma 0.92 a 0.97	0.97
Producto de Factores C1=	0.788	9. Extintores/Monitores 0.95 a 0.98	0.98
C2 - AISLAMIENTO DE MATERIAL		10. Protección a Cables 0.94 a 0.98	
1. Válvulas de Control Remoto (VBE) 0.96 a 0.98	0.96	Producto de Factores C3=	0.727
2. Vaciado de Emergencia 0.96 a 0.98	0.96	FACTOR POR MEDIDAS DE SEGURIDAD FINAL C1*C2*C3=C	0.470
3. Drenaje 0.91 a 0.97	0.91		
4. Interlock 0.98	0.98		
Producto de Factores C2=	0.821		
SUMARIO DE ANÁLISIS DE RIESGOS			
A) Factor de Riesgo Unidad (F3) 5.35	FM= 20.3	F) DMPP Base	MM US Dils.
B) IFE 108.61	CLASIF. RIESGO: Intermedio.	G) FACTOR / MEDIDAS DE SEGURIDAD (C)	
C) FACTOR DE DAÑO (Anexo 3) 0.68		H) DMPP ACTUAL (DMPPd*C)	MM US Dils.
D) RADIO DE EXPOSICIÓN (Anexo 4) 92 pies		I) MDPFO	
E) VALOR DEL ÁREA DE EXPOSICIÓN MM US Dils		J) INTERRUPCIÓN DEL NEGOCIO	MM US Dils



# INDICE DOW

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

COMPLEJO Y/O PLANTA		UNIDAD Y SECCION		
Planta de Desintegración Catalítica Fluidizada (FCC) No. 2, Refinería Francisco I. Madero, Ciudad Madero Tamps.		Endulzamiento de Gas Seco y Gas L. P. Con Amina.		
MATERIALES Y PROCESO				
MATERIAL CLAVE	FACTOR MATERIAL	ESTADO DE OPERACIÓN		
Gas Seco y Gas L.P.	FM= 21	ARRANQUE ○	PARO ○ OPER. NORMAL ○	
ANÁLISIS DE RIESGOS				
	FACTOR		FACTOR	
<b>RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)</b>		d) Explosión de polvos 0.25 a 2.0	...	
Factor Base 1.00		e) Alivio de Presion (Anexo 1)		
a) Reacciones Exotérmicas 0.3 a 1.25	...	Pres Op 17.0 psig   Alivio 18.7 psig	0.48..	
b) Reacciones Endotérmicas 0.2 a 0.4	...	f) Baja temperatura 0.2 a 0.3	...	
c) Manejo y Transferencia 0.25 a 1.05	...	g) Cantidad de material Anexo. 2		
d) Unidades de Proceso Cerradas 0.25 a 0.9	...	Cantidad: 467.3.4 lb ΔHc: 20,100 BTU/lb	...	
e) Accesos al área de Procesos 0.2 a 0.35	...	h) Corrosión y Erosión 0.1 a 0.75	0.10	
i) Drenajes/Control de Derrame 0.25 a 0.5	...	j) Fugas en Juntas/Empaques 0.1 a 1.5	0.30	
Suma de Factores RGP F1=	1.00	j) Equipo calentado a fuego directo 0.1 a 1.0	...	
<b>RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (F2)</b>		k) Intercambio de calor con aceite 0.15 a 1.15	...	
Factor Base 1.00		l) Equipo Rotativo 0.5	...	
a) Materiales Tóxicos 0.2 a 0.8	0.20	Suma de Factores REP F2=	2.08	
b) Presión Subatmosférica 0.5	...	FACTOR DE RIESGO DE UNIDAD (F1*F2=F3)	2.08	
c) Operación cerca o en Rango Flammable 0.3 a 0.8	...	INDICE DE FUEGO Y EXP. FM*F3=IFE	43.68	
FACTORES POR MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CONTROL DE RIESGOS				
C1 - CONTROL DE PROCESO		FACTOR	C3 - PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO	FACTOR
1. Energía de Emergencia 0.98	0.98	0.98	1. Detección de Fugas 0.94 a 0.98	0.94
2. Enfriamiento 0.97 a 0.99	...	...	2. Acero Estructural 0.95 a 0.98	0.98
3. Control de Explosión 0.84 a 0.98	...	...	3. Tanques Recubiertos 0.84 a 0.91	...
4. Paro de Emergencia 0.98 a 0.99	0.96	0.96	4. Suministro de Agua 0.97 a 0.99	0.97
5. Control de Computadora 0.93 a 0.99	0.93	0.93	5. Sistemas Especiales 0.91	0.91
6. Gas Inerte 0.94 a 0.98	...	...	6. Sistemas Rociadores 0.74 a 0.97	...
7. Procedimientos de Operación 0.91 a 0.99	0.91	0.91	7. Cortinas de Agua 0.97 a 0.98	...
8. Análisis de Reactivos 0.91 a 0.98	...	...	8. Espuma 0.92 a 0.97	0.97
Producto de Factores C1=	0.796	0.796	9. Extintores/Monitores 0.95 a 0.98	0.98
<b>C2 - AISLAMIENTO DE MATERIAL</b>			10. Protección a Cables 0.94 a 0.98	0.94
1. Válvulas de Control Remoto (VBE) 0.96 a 0.98	0.96	0.96	Producto de Factores C3=	0.727
2. Vaciado de Emergencia 0.96 a 0.98	0.96	0.96	FACTOR POR MEDIDAS DE SEGURIDAD FINAL C1*C2*C3=C	0.475
3. Drenaje 0.91 a 0.97	0.91	0.91		
4. Interlock 0.98	0.98	0.98		
Producto de Factores C2=	0.821	0.821		
SUMARIO DE ANÁLISIS DE RIESGOS				
A) Factor de Riesgo Unidad (F3) 2.08	FM=21	F) DMPP Base	MM US Dils.	
B) IFE 43.66	CLASIF. RIESGO: Ligero	G) FACTOR / MEDIDAS DE SEGURIDAD (C)		
C) FACTOR DE DAÑO (Anexo 3) 0.57		H) DMPP ACTUAL (DMPPb*C)	MM US Dils.	
D) RADIO DE EXPOSICIÓN (Anexo 4) 36 pies		I) MDPFO		
E) VALOR DEL AREA DE EXPOSICION MM US Dils.		J) INTERRUPCION DEL NEGOCIO	MM US Dils.	

DOWTEX



# INDICE DOW

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

COMPLEJO Y/O PLANTA		UNIDAD Y SECCION	
Planta de Desintegración Catalítica Fluidizada (FCC) No. 2, Refinería Francisco I. Madero, Ciudad Madero Tamps.		Tratamiento de Agua Amarga.	
MATERIALES Y PROCESO			
MATERIAL CLAVE	FACTOR MATERIAL	ESTADO DE OPERACIÓN	
H <sub>2</sub> S y NH <sub>3</sub>	FM= 12.5	ARRANQUE <input type="radio"/>	PARO <input type="radio"/> OPER. NORMAL <input type="radio"/>
ANÁLISIS DE RIESGOS			
		FACTOR	FACTOR
RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)		d) Explosión de polvos 0.25 a 2.0	---
Factor Base		1.00	e) Alivio de Presión (Anexo 1)
a) Reacciones Exotérmicas 0.3 a 1.25	---	Pres Op 1.1 psig	Alivio 1.2 psig
b) Reacciones Endotérmicas 0.2 a 0.4	---	f) Baja temperatura 0.2 a 0.3	
c) Manejo y Transferecia 0.25 a 1.05	---	g) Cantidad de material Anexo. 2	
d) Unidades de Proceso Cerradas 0.25 a 0.9	---	Cantidad: lb	ΔHc: BTU/lb
e) Accesos al área de Procesos 0.2 a 0.35	---	h) Corrosión y Erosión 0.1 a 0.75	
f) Drenajes/Control de Derrame 0.25 a 0.5	---	i) Fugas en Juntas/Empaques 0.1 a 1.5	
Suma de Factores RGP	F1=	1.0	j) Equipo calentado a luego directo 0.1 a 1.0
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (F2)		k) Intercambio de calor con aceite 0.15 a 1.15	---
Factor Base		1.00	l) Equipo Rotativo 0.5
a) Materiales Tóxicos 0.2 a 0.8	0.20	Suma de Factores REP F2= 1.60	
b) Presión Subatmosférica 0.5	---	FACTOR DE RIESGO DE UNIDAD (F1*F2=F3)	
c) Operación cerca o en Rango Flamable 0.3 a 0.8	---	INDICE DE FUEGO Y EXP. FM*F3=IFE	
		20	
FACTORES POR MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CONTROL DE RIESGOS			
C1 - CONTROL DE PROCESO		FACTOR	C3 - PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO
1. Energía de Emergencia 0.98		0.98	1. Detección de Fugas 0.94 a 0.98
2. Enfriamiento 0.97 a 0.99		0.99	2. Acero Estructural 0.05 a 0.98
3. Control de Explosión 0.84 a 0.98		---	3. Tanques Recubiertos 0.84 a 0.91
4. Paro de Emergencia 0.96 a 0.99		0.96	4. Suministro de Agua 0.97 a 0.99
5. Control de Computadora 0.93 a 0.99		0.93	5. Sistemas Especiales 0.91
6. Gas Inerte 0.94 a 0.98		---	6. Sistemas Rocladores 0.74 a 0.97
7. Procedimientos de Operación 0.91 a 0.99		0.91	7. Cortinas de Agua 0.97 a 0.98
8. Análisis de Reactivos 0.91 a 0.98		---	8. Espuma 0.92 a 0.97
Producto de Factores C1=		0.788	9. Extintores/Monitores 0.95 a 0.98
C2 - AISLAMIENTO DE MATERIAL			10. Protección a Cables 0.94 a 0.98
1. Válvulas de Control Remoto (VBE) 0.96 a 0.98		0.96	Producto de Factores C3=
2. Vaciado de Emergencia 0.96 a 0.98		0.96	0.727
3. Drenaje 0.91 a 0.97		0.91	FACTOR POR MEDIDAS DE SEGURIDAD FINAL
4. Interlock 0.98		0.98	C1*C2*C3=C
Producto de Factores C2=		0.821	0.470
SUMARIO DE ANÁLISIS DE RIESGOS			
A) Factor de Riesgo Unidad (F3)	1.60.4	FM= 12.5	F) DMPP Base MM US Dils.
B) IFE 20	CLASIF. RIESGO: Ligero.		G) FACTOR / MEDIDAS DE SEGURIDAD (C)
C) FACTOR DE DAÑO (Anexo 3)	0.18	H) DMPP ACTUAL (DMPPb*C) MM US Dils.	
D) RADIO DE EXPOSICION (Anexo 4)	16 pies	I) MDPFO	
E) VALOR DEL ÁREA DE EXPOSICION	MM US Dils.	J) INTERRUPCION DEL NEGOCIO MM US Dils.	





# ÍNDICE DOW

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

COMPLEJO Y/O PLANTA		UNIDAD Y SECCION	
Planta de Desintegración Catalítica Fluidizada (FCC) No. 2. Refinería Francisco I. Madero, Ciudad Madero Tamps.		Unidad Oximer de Tratamiento Cástico de Gasolina.	
MATERIALES Y PROCESO			
MATERIAL CLAVE	FACTOR MATERIAL	ESTADO DE OPERACIÓN	
Gasolina	FM= 16	ARRANQUE <input type="radio"/>	PARO <input type="radio"/> OPER. NORMAL <input type="radio"/>
ANÁLISIS DE RIESGOS			
		FACTOR	FACTOR
RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)		d) Explosión de polvos 0.25 a 2.0	...
Factor Base		1.00	e) Alivio de Presión (Anexo 1)
a) Reacciones Exotérmicas 0.3 a 1.25	0.30	Pres Op 6.0 psig	Alivio 6.6 psig 0.28..
b) Reacciones Endotérmicas 0.2 a 0.4	...	l) Baja temperatura 0.2 a 0.3	
c) Manejo y Transferencia 0.25 a 1.05	...	g) Cantidad de material Anexo. 2	
d) Unidades de Proceso Cerradas 0.25 a 0.9	...	Cantidad: lb	ΔHc: BTU/lb
e) Accesos al Área de Procesos 0.2 a 0.35	...	h) Corrosión y Erosión 0.1 a 0.75 0.10	
f) Drenajes/Control de Derrame 0.25 a 0.5	...	i) Fugas en Juntas/Empaques 0.1 a 1.5 0.30	
Suma de Factores: RG	F1= 1.30	j) Equipo calentado a fuego directo 0.1 a 1.0	
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (F2)		k) Intercambio de calor con aceite 0.15 a 1.15	...
Factor Base		1.00	l) Equipo Rotativo 0.5
a) Materiales Tóxicos 0.2 a 0.8	0.20	Suma de Factores REP F2= 1.88	
b) Presión Subatmosférica 0.5	...	FACTOR DE RIESGO DE UNIDAD (F1*F2=F3) 2.44	
c) Operación cerca o en Rango Flamable 0.3 a 0.8	...	INDICE DE FUEGO Y EXP. FM*F3=IFE 39.04	
FACTORES POR MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CONTROL DE RIESGOS			
C1- CONTROL DE PROCESO		FACTOR	C3 - PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO
1. Energía de Emergencia 0.98		0.98	1. Detección de Fugas 0.94 a 0.98 0.94
2. Enfriamiento 0.97 a 0.99		...	2. Acero Estructural 0.95 a 0.98 0.98
3. Control de Explosión 0.84 a 0.98		...	3. Tanques Recubiertos 0.84 a 0.91
4. Paro de Emergencia 0.98 a 0.99		0.98	4. Suministro de Agua 0.97 a 0.99 0.97
5. Control de Computadora 0.93 a 0.99		0.93	5. Sistemas Especiales 0.91 0.91
6. Gas Inerte 0.94 a 0.96		...	6. Sistemas Rocedores 0.74 a 0.97
7. Procedimientos de Operación 0.91 a 0.99		0.91	7. Cortinas de Agua 0.97 a 0.98
8. Análisis de Reactivos 0.91 a 0.98		0.91	8. Espuma 0.92 a 0.97 0.97
Producto de Factores C1=		0.724	9. Extintores/Monitores 0.95 a 0.98 0.98
C2 - AISLAMIENTO DE MATERIAL			10. Protección a Cables 0.94 a 0.98 0.94
1. Válvulas de Control Remoto (VBE) 0.96 a 0.98		0.96	Producto de Factores C3= 0.727
2. Vaciado de Emergencia 0.96 a 0.98		0.96	
3. Drenaje 0.91 a 0.97		0.91	FACTOR POR MEDIDAS DE SEGURIDAD FINAL C1*C2*C3=C 0.432
4. Interlock 0.98		0.98	
Producto de Factores C2=		0.821	
SUMARIO DE ANÁLISIS DE RIESGOS			
A) Factor de Riesgo Unidad (F3) 2.44	FM=16	F) DMPP Base	MM US Dils.
B) IFE 39.04	CLASIF. RIESGO: Ligero.	G) FACTOR / MEDIDAS DE SEGURIDAD (C)	
C) FACTOR DE DAÑO (Anexo 3) 0.36		H) DMPP ACTUAL (DMPPb*C)	MM US Dils.
D) RADIO DE EXPOSICION (Anexo 4) 32 pies		I) MDPFO	
E) VALOR DEL AREA DE EXPOSICION	MM US Dils.	J) INTERRUPCION DEL NEGOCIO	MM US Dils.



# ÍNDICE DOW

UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
AUTÓNOMA  
DE MÉXICO

COMPLEJO Y/O PLANTA		UNIDAD Y SECCION	
Planta de Desintegración Catalítica Fluidizada (FCC) No. 2, Refinería Francisco I. Madero, Ciudad Madero Tamps.		Unidad Oximer de Tratamiento Cáustico de Gas L. P.	
MATERIALES Y PROCESO			
MATERIAL CLAVE Gas L. P.	FACTOR MATERIAL FM= 21	ESTADO DE OPERACIÓN	
		ARRANQUE <input type="radio"/>	PARO <input type="radio"/> OPER. NORMAL <input type="radio"/>
ANÁLISIS DE RIESGOS			
	FACTOR		FACTOR
RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)		d) Explosión de polvos 0.25 a 2.0	
Factor Base	1.00	e) Alivio de Presión (Anexo 1)	
a) Reacciones Exotérmicas 0.3 a 1.25	0.30	Pres Op 15.3 psig	Alivio 16.8 psig
b) Reacciones Endotérmicas 0.2 a 0.4	...	f) Baja temperatura 0.2 a 0.3	
c) Manejo y Transferencia 0.25 a 1.05	...	g) Cantidad de material Anexo. 2	
d) Unidades de Proceso Cerradas 0.25 a 0.9	...	Cantidad: 11,576.4 lb	ΔHc: 19,860 BTU/lb
e) Accesos al Área de Procesos 0.2 a 0.35	...	h) Corrosión y Erosión 0.1 a 0.75	
f) Drenajes/Control de Corrosión 0.25 a 0.5	...	i) Fugas en Juntas/Empaques 0.1 a 1.5	
Suma de Factores HGP F1=	1.30	j) Equipo calentado a fuego directo 0.1 a 1.0	
RIESGOS ESPECIALES DE PROCESO (F2)		k) Intercambio de calor con aceite 0.15 a 1.15	
Factor Base	1.00	l) Equipo Rotativo 0.5	
a) Materiales Tóxicos 0.2 a 0.8	0.20	Suma de Factores REP F2=	
b) Presión Subatmosférica 0.5	...	FACTOR DE RIESGO DE UNIDAD (F1*F2=F3)	
c) Operación cerca o en Rango Flammable 0.3 a 0.8	0.30	INDICE DE FUEGO Y EXP. FM*F3=IFE	
		91.46	
FACTORES POR MEDIDAS DE SEGURIDAD Y CONTROL DE RIESGOS			
C1 - CONTROL DE PROCESO		FACTOR	C3 - PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO
1. Energía de Emergencia 0.98		0.98	1. Detección de Fugas 0.94 a 0.98
2. Enfriamiento 0.97 a 0.99		...	2. Acero Estructural 0.95 a 0.98
3. Control de Explosión 0.84 a 0.98		...	3. Tanques Recubiertos 0.84 a 0.91
4. Paro de Emergencia 0.98 a 0.99		0.96	4. Suministro de Agua 0.97 a 0.99
5. Control de Computadora 0.93 a 0.99		0.93	5. Sistemas Especiales 0.91
6. Gas Inerte 0.94 a 0.96		...	6. Sistemas Rocedores 0.74 a 0.97
7. Procedimientos de Operación 0.91 a 0.99		0.91	7. Cortinas de Agua 0.97 a 0.98
8. Análisis de Reactivos 0.91 a 0.98		0.91	8. Espuma 0.92 a 0.97
Producto de Factores C1=		0.725	9. Extintores/Monitores 0.95 a 0.98
C2 - AISLAMIENTO DE MATERIAL			10. Protección a Cables 0.94 a 0.98
1. Valvulas de Control Remoto (VBE) 0.96 a 0.98		0.96	Producto de Factores C3=
2. Vaciado de Emergencia 0.96 a 0.98		0.96	0.727
3. Drenaje 0.91 a 0.97		0.91	FACTOR POR MEDIDAS DE SEGURIDAD FINAL
4. Interlock 0.98		0.98	C1*C2*C3=C
Producto de Factores C2=		0.821	0.433
SUMARIO DE ANÁLISIS DE RIESGOS			
A) Factor de Riesgo Unidad (F3)	3.62	FM=21	F) DMPP Base MM US Dils.
B) IFE	91.46	CLASIF. RIESGO: Moderado..	G) FACTOR / MEDIDAS DE SEGURIDAD (C)
C) FACTOR DE DAÑO (Anexo 3)	0.63		H) DMPP ACTUAL (DMPPb*C)
D) RADIO DE EXPOSICIÓN (Anexo 4)	78 pies		I) MDPPFO
E) VALOR DEL AREA DE EXPOSICIÓN	MM US Dils.		J) INTERRUPCIÓN DEL NEGOCIO
			MM US Dils.

### 7.3) Breve Análisis de los Resultados Obtenidos de la Aplicación del Índice Dow a las Distintas Secciones del Proceso.

En función del valor del Índice de Fuego y Explosión (IFE o F&EI) se determina el tipo de riesgo que se tenga. Las secciones del proceso que presenten riesgo ligero, pueden no necesariamente protegerse en su totalidad con equipos contra incendio. Sin embargo, las zonas del proceso que presenten riesgo intermedio deben de considerar el diseño y/o instalación del sistema y equipos de protección contra incendio más adecuado a éstas. Pero si el tipo de riesgo que se pudiese presentar es grave, entonces se requerirá de poner atención especial a estas secciones para tener al sistema de protección contra incendio más confiable y de poder generar o formular los planes de emergencia más apropiados para el combate de cualquier incidente con fuego que se llegase a presentar en estas zonas.

De este modo, en función del valor del índice obtenido (F&EI) se determina la intensidad del riesgo que se pudiera presentar, así tenemos cinco tipos de riesgos de acuerdo con la tabla 7.2

Tabla 7.2 : Tipos de Riesgos.

CLASIFICACIÓN DE RIESGOS	
F&EI : 1 - 60	Riesgo : Ligero
F&EI : 61 - 96	Riesgo : Moderado
F&EI : 97 - 127	Riesgo : Intermedio
F&EI : 128 - 158	Riesgo : Grave
F&EI : Mayor a 158	Riesgo : Severo

De acuerdo con los resultados arrojados por este estudio, se tienen cinco secciones de la planta con riesgo ligero:

- 1) Fraccionamiento Primario.
- 2) Precalentamiento de Carga.
- 3) Endulzamiento de Gas Seco y Gas L. P.
- 4) Tratamiento de Agua Amarga.
- 5) Unidad Oximer de Tratamiento Cáustico de Gasolina.

Estas secciones, pueden no necesariamente, protegerse en su totalidad con sistemas o equipos de protección contra incendio, sólo deberán protegerse aquellos equipos o unidades de proceso que manejen cantidades apreciablemente grandes de cualquier hidrocarburo o en los puntos donde se puedan presentar problemas comunes de fuga de material inflamable o combustible.

La Unidad Oximer de Tratamiento Cáustico de Gas L. P. presenta una clasificación del riesgo Moderado. Aquí, se protegerán principalmente los equipos D-323, Tanque de Eliminación de COS y el Filtro de Gas L.P Tratado PF-321, El Recipiente D-323 presenta dimensiones grandes y por lo tanto una capacidad también grande de almacenamiento del gas ( $75.61 \text{ m}^3$ ). El Filtro PF-321 aunque procesa un inventario de gas menor ( $35.57 \text{ m}^3$ ) aún así, sigue siendo éste grande por lo que también este equipo se protege con sistemas de aspersión.

Las secciones del proceso que presentan riesgo intermedio son:

- 1) Recuperación de Vapores.
- 2) Fraccionamiento de Ligeros.

Estas secciones presentan este tipo de riesgo porque procesan (separan) mezclas de componentes hidrocarbonados ligeros principalmente y el inventario de los mismos es también muy grande.

La sección de Desintegración de Gasóleos (zona de reacción) es la sección del proceso que presenta riesgo grave de incendio, es decir, es la zona con mayor probabilidad potencial de incendio. Esto es, porque se presenta una reacción de combustión (regeneración del catalizador) en donde se maneja alta temperatura. Sin embargo, si se considera que la operación del regenerador R-101 y del reactor R-102 es adecuada y que se cumplen con las recomendaciones más generales y elementales de mantenimiento, no tienen porque presentarse problemas o incidentes serios con fuego en esta sección. Esta sección se protegerá con los elementos más apropiados o convenientes del sistema de protección contra incendio para contrarrestar los efectos de algún incidente que se presente con fuego.

## **8- DISEÑO DEL SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA INCENDIO PARA LA PLANTA DE DESINTEGRACIÓN CATALÍTICA EN LECHO FLUIDIZADO (FCC) No. 2.**

En este capítulo se realiza el dimensionamiento de la red de agua contra incendio de la Planta de Desintegración Catalítica No. 2 de la Refinería "Francisco I. Madero", en Cd. Madero Tamps. Este desarrollo se realiza considerando que un incendio en la planta se pueda generar a partir de que se presente una fuga considerable de material hidrocarburo y que se encuentre cerca del material derramado, una fuente de ignición natural o artificial (por ejemplo, la chispa eléctrica de un motor eléctrico como el que acciona a las bombas de proceso).

El dimensionamiento de esta red, está en función principalmente de los resultados arrojados por el estudio de la identificación de riesgos (Índice Dow) desarrollado en el capítulo anterior y de la Descripción de Proceso hecha en el capítulo 6. Los equipos de proceso a proteger para cada una de las secciones de la planta, serán aquellos que por sus características operativas, de diseño y mantenimiento presentan un alto nivel de riesgo de incendio o que tengan probabilidades altas de desarrollar problemas comunes de fugas y son tres principalmente:

- a) Recipientes de proceso (horizontales y algunos verticales como se tratará más adelante) que manejen líquidos inflamables o combustibles a presiones relativamente grandes (mayores a 1.1 Kg/cm<sup>2</sup> (man.)).
- b) Bombas de proceso que procesen igualmente hidrocarburos inflamables y/o combustibles.
- c) Equipos de enfriamiento de vapores y/o condensados que utilizan aire como medio de enfriamiento (aeroenfriadores).

En el caso de torres y columnas de proceso, debido a sus dimensiones tan grandes, especialmente la altura, estas se protegen en función del riesgo de incendio que presenten colocando monitores y/o hidrantes en sus cercanías. También se considera para el diseño de esta red, la integración de monitores, hidrantes y tomas para vehículo contra incendio, como medios de apoyo adicional a la tarea de la protección contra incendio de la planta.

El sistema contra incendio considera el control, combate y extinción directa del siniestro. Si la generación de un incendio en la planta se debe principalmente a una fuga, también se deben de considerar los mecanismos para controlarla (combate del siniestro), aislando, separando o cortando el flujo del material hidrocarburo para evitar que éste se siga escapando y alimente más al fuego. Este aislamiento puede lograrse por ejemplo, instalando Válvulas de Bloqueo de Emergencia (VBE) o bien, desarrollando una logística de ataque para cerrar manualmente, alguna válvula de suministro de hidrocarburo al proceso en el área afectada.

### **8.1) Información meteorológica del sitio considerada para fines de diseño:**

Para aspectos propios de la localización de los aditamentos principales del sistema contra incendio (monitores, hidrantes tomas para vehículo contra incendio, válvulas de seccionamiento, etc.) es necesario conocer la dirección de los vientos y su velocidad para poder distribuir éstos de la forma más adecuada en las instalaciones a proteger. Estos equipos deben de suministrar de preferencia, el flujo de agua siempre a favor de la dirección del viento, nunca en contra. Así pues, presentamos la información meteorológica más relevante de Cd. Madero donde se encuentra ubicada la planta:

#### Dirección de los vientos:

*Vientos Reinantes* : Sureste (SE) a Noroeste (NO) durante 7 meses.

*Vientos Dominantes*: Noreste (NE) a Suroeste (SO) durante 3 meses.

Los dos meses restantes del año, los vientos soplan sin ninguna dirección.

*Máxima velocidad del viento*: 240 km/h

*Ambiente*: Marino Tropical Corrosivo.

### **8.2) Procedimiento de cálculo para la protección contra incendio a equipos de proceso que presenten riesgo de fuego o de sobrepresión por la presencia aladaña de éste:**

El siguiente algoritmo propuesto está en función de las dimensiones propias de los equipos de proceso a proteger, de cubrir con las demandas o gastos de agua requeridos para los fines de enfriamiento principalmente y en términos de varios de los criterios de diseño tratados en el capítulo 5 de este trabajo.

#### 8.2.1) Sistemas de Aspersión:

Aunque el siguiente algoritmo es desarrollado para la protección a tanques, se puede generalizar a los otros dos equipos de proceso considerados que presentan mayor riesgo de incendio (bombas y aeroenfriadores).

##### 1.- Protección a Recipientes de Proceso:

Los tanques utilizados en la planta son cilíndricos con tapas semielípticas (según el Código ASME):

##### 1.1.- Cálculo del área superficial del recipiente:

Se considera para fines de protección a estos recipientes, que el área más expuesta al fuego, es la de la envolvente exterior que está en contacto directo con el desarrollo y dispersión de una fuga de material hidrocarburo. Esto se puede visualizar en la figura 8.1:

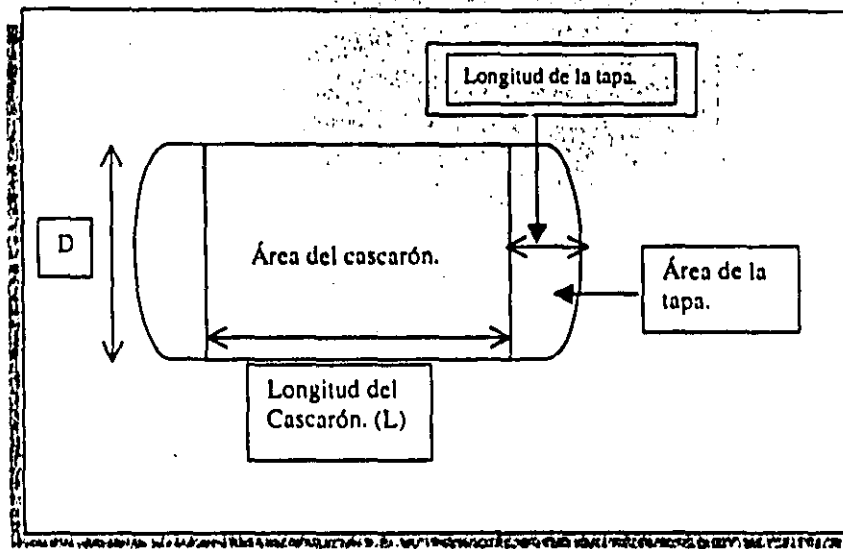


Figura 8.1: Recipientes tipo de proceso a proteger.

Para estos recipientes, el área de la envolvente o total se determina a partir de la siguiente expresión:

$$A_{\text{total}} = A_{\text{cascarón}} + 2(A_{\text{tapa}}) \quad \dots(1)$$

Sustituyendo las dimensiones del tanque en la expresión anterior tenemos:

$$A_{\text{total}} = \pi D L + 2 (1.09) D^2 \quad \dots(2)$$

El valor de 1.09 proviene de ecuaciones tipo, para recipientes con estampado ASME que consideran el área de las tapas.

### 1.2.- Gasto Mínimo Requerido:

Si se recomienda un gasto mínimo de aplicación de  $0.10 \text{ l/min m}^2$  ( $0.25 \text{ gpm/ft}^2$ ) (referencias: 3, 10 y 25), el gasto mínimo requerido se obtiene a partir de la expresión:

$$Q_{\text{mínimo requerido}} = (Q_{\text{aplicación}})(A_{\text{total}}) \quad \dots(3)$$

Sustituyendo términos en la expresión 3 tenemos:

$$Q_{\text{mínimo requerido}} = (0.10 \text{ l/min m}^2) (\pi D L + 2 (1.09) D^2) \quad \dots(4)$$

Con el gasto mínimo requerido, se puede determinar (provisionalmente) la longitud de protección que cubre una boquilla de aspersión, esto puede observarse en la figura 8.2:

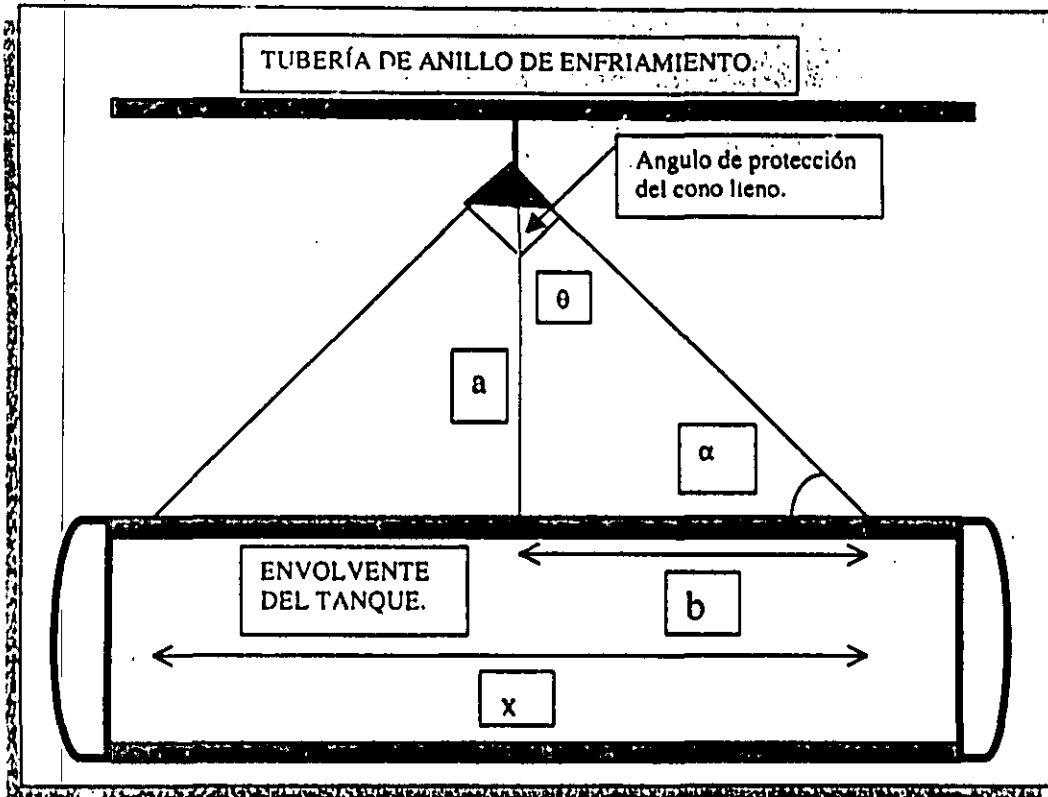


Figura 8.2 : Esquema de protección de una boquilla aspersora.

Las variables presentadas en la figura anterior se pueden definir de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$\theta = [\text{Ángulo de protección del cono lleno}] / 2 \dots(5)$$

$$x = 2 b \dots(6)$$

$$\alpha = 90^\circ - \theta \dots(7)$$

$$\text{Tang}(\alpha) = a/b \dots(8)$$

Despejando " b " de la ecuación (8) tenemos :

$$b = a / \text{Tang}(\alpha) \dots(9)$$

En este caso, "a" se refiere a una distancia de separación, entre la boquilla aspersora y la superficie exterior del recipiente o equipo de proceso a proteger. De acuerdo con el criterio IV.7 del capítulo 5, se considera una distancia mínima de separación entre la boquilla aspersora y la superficie del equipo protegido de 0.76 cm. Esta separación se debe a varias razones de carácter técnico y algunas de las principales son:



- Esta distancia es la mínima permisible de tal forma, que el anillo de protección alrededor del tanque no obstruya o complique las labores de mantenimiento del mismo.
- Para que la boquilla aspersora proporcione una longitud de cobertura adecuada.
- Para proporcionar los requerimientos necesarios de enfriamiento a las densidades de aplicación recomendadas ( $0.10 \text{ l/min m}^2$ ).
- Para que el agua de enfriamiento no choque con la envolvente del equipo y salpique al agua, mermando de esta forma, la capacidad de enfriamiento de la misma y dañando la coraza del equipo por efecto de un choque térmico.

Para fines de nuestro diseño, se tendrá una distancia de separación entre el aspersor y el equipo de 91,44 cm (0.9144m), esto con el fin de reducir el número de aspersores utilizados y que éstos tengan una mayor longitud (x) de cobertura. Esto implica que el valor de "a" sea igual a 0.9144 m.

De acuerdo el criterio IV.3 del capítulo 5, se recomienda que haya un traslape de al menos del 15 % entre las longitudes que protege una boquilla de aspersión respecto a la otra. Lo anterior se puede visualizar en la figura 8.3:

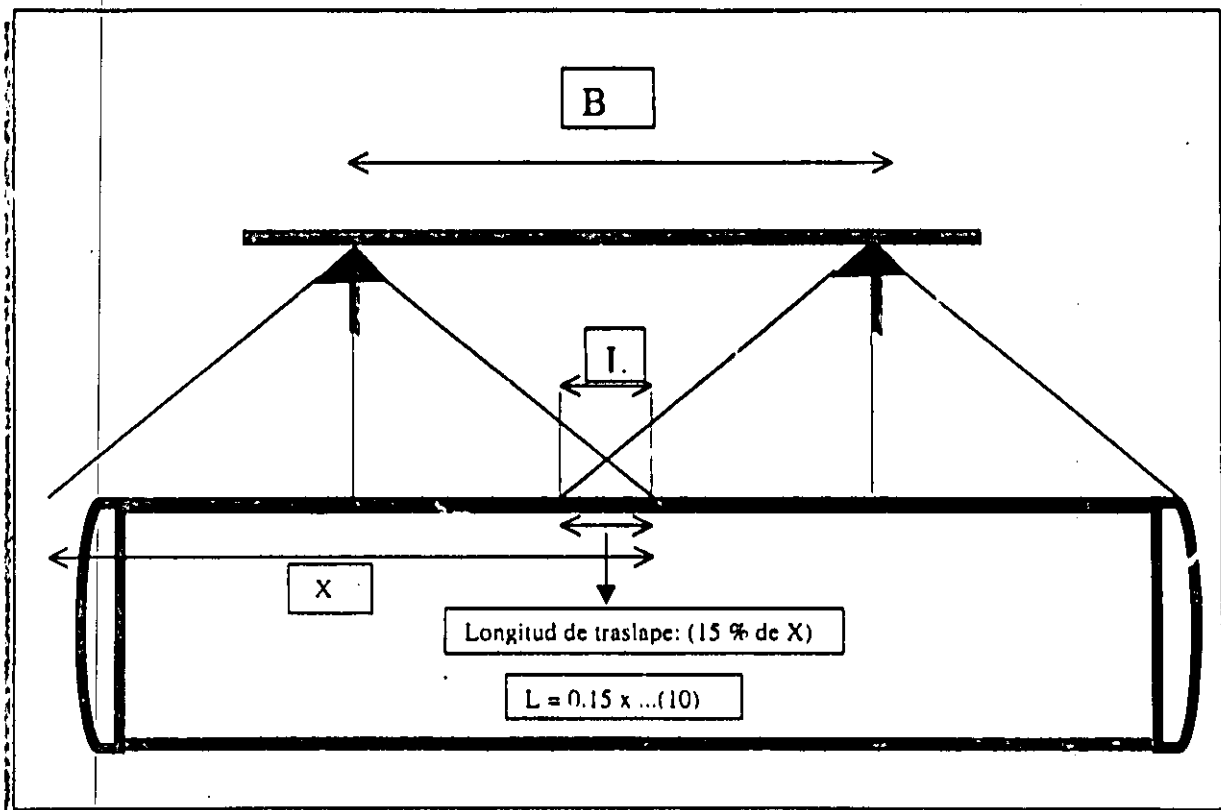


Figura 8.3: Traslape del 15 % entre las longitudes de cobertura de los aspersores en un anillo

De acuerdo con la figura anterior, la distancia de separación entre aspersores "B", se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$B = 2b - 0.15 b \dots(11)$$

O en términos de la longitud efectiva de protección de cada aspersor (x) tenemos:

$$B = x - 0.15 b \dots(12)$$

1.3.- Determinación del número de aspersores a utilizar:

Una vez que se cumpla con el criterio de poder cubrir con el gasto requerido para la protección de los equipos (ecuación 4), el siguiente paso es determinar la cantidad y tipo de aspersores a utilizar. Esto está en función predominantemente de la longitud propia de los equipos.

Para el caso de los recipientes de proceso, la longitud total de éstos está en función de dos términos: a) la longitud del cascarón y b) la longitud de las tapas. La longitud de las tapas se puede determinar a partir de dos expresiones propias para tanques con estampado ASME. La primera de estas expresiones es:

$$L_{\text{tapa}} = D/4 + A \dots(13)$$

Donde: A = Cte. Que depende de las unidades utilizadas en el diámetro " D ".  
 A = 2 in.  
 A = 5 cm  
 A = 0.05 m

La otra expresión (15) está en función de la forma de la tapa de acuerdo con la figura 8.4:

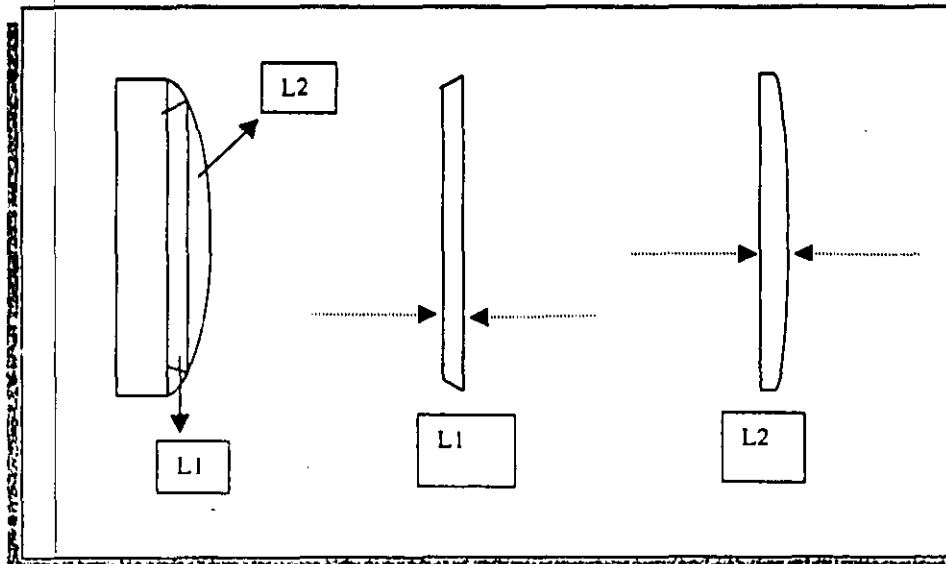


Figura 8.4 : Longitud de las tapas en recipientes de proceso con estampado ASME (15).

La longitud de estas tapas, se determina a partir de la expresión:

$$L_{\text{tapa}} = L1 + L2 \dots(14)$$

Donde :

$$L1 = 0.06330 (D) \dots(14.a)$$

$$L2 = 0.05302 (D) \dots(14.b)$$

Con D en pulgadas.

Así, para los recipientes de proceso (horizontales), la longitud total se determina a partir de la ecuación siguiente:

$$L_{\text{total}} = L_{\text{cascarón}} + 2 (L_{\text{tapa}}) \dots(15)$$

Por último, se determina el número de boquillas por línea a utilizar en función de la longitud total del equipo y de la longitud efectiva de protección del aspersor ( $L_{\text{efectiva}}$ ), esto es:

$$\text{No. Boquillas por línea} = L_{\text{total}} / L_{\text{efectiva}} \dots(16)$$

Poniendo  $L_{\text{efectiva}}$  en términos de "X" tenemos:

$$\text{No. Boquillas por línea} = L_{\text{total}} / (X - 0.15X) = L_{\text{total}} / (0.75X) \dots(17)$$

Determinamos el número de boquillas en línea porque estas van colocadas sobre los dos extremos del anillo de protección, más aparte las boquillas de protección que se encuentran localizadas enfrente de las tapas del tanque. Así, determinamos el número total de boquillas a utilizar, esto se puede representar en la figura 8.5, por ejemplo, considerando que el número de boquillas por línea haya sido tres, el número de aspersores finales aumenta, considerando otros tres en el otro lado del anillo, más dos aspersores protegiendo las tapas del recipiente, lo que da un total de ocho aspersores.

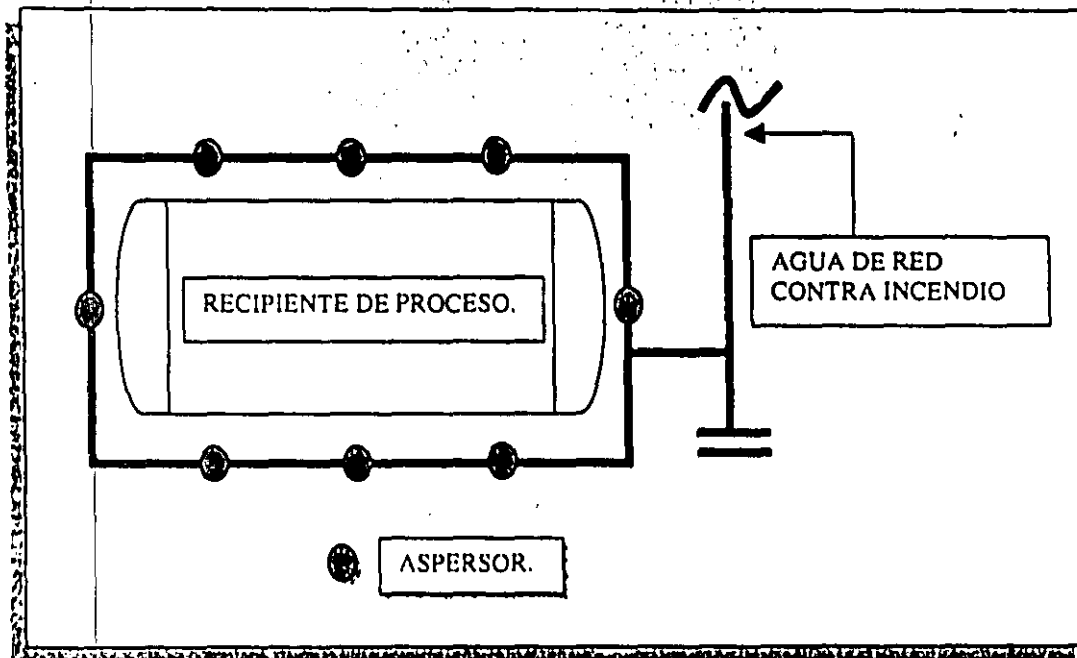


Figura 8.5: Vista por arriba de un recipiente de proceso protegido con aspersores.

De manera general, se pueden proteger los demás equipos de proceso que así lo requieran, como los aerocentrífugos y las bombas por ejemplo. Para más detalles al respecto, se puede consultar el Diagrama de Detalles (PS-002) que se presenta más adelante en este mismo capítulo.

Un criterio adicional a considerar en esta protección, es asegurar que la selección del tipo y número de aspersores cumpla con el requerimiento de tener una densidad de aplicación mayor a  $0.10 \text{ l/min m}^2$  ( $0.25 \text{ gpm/ft}^2$ ). Una forma de cumplir con este criterio, es determinar el gasto total manejado por todas las boquillas aspersoras que protegen a un equipo dado y dividir este gasto entre la superficie exterior del recipiente que esté más expuesta a las llamas y/o radiación de un incendio lateral que se pudiese desarrollar en el lugar. Es decir, se debe de cumplir en todo momento con la siguiente relación:

$$Q_{n(\text{boquillas})}/A_{\text{total}} \geq 0.10 \text{ l/min m}^2 \text{ (} 0.25 \text{ gpm/ft}^2 \text{) ... (17.a)}$$

Donde :

$Q_{n(\text{boquillas})}$  = Gasto total manejado por todas las boquillas aspersoras del anillo; l/min (gpm).  
 $A_{\text{total}}$  = Área total externa del recipiente o equipo a proteger más expuesta al efecto de las llamas y/o radiación de un incendio lateral ;  $\text{m}^2$  ( $\text{ft}^2$ )

#### 1.4.- Selección de boquillas aspersoras:

Una vez conocidas las dimensiones principales de los equipos de proceso a proteger, la elección de las boquillas dependerá del gasto que éstas manejen así como del ángulo de

protección del cono lleno que éstas tengan. El tipo de boquillas más utilizada para aspectos de la protección contra incendio, son las presentadas en la tabla 8.1:

Tabla 8.1 : Tipo de boquillas aspersoras más utilizadas (10).

Tipo de boquilla	Consumo (gpm)	Presión (lb/in2)	Angulo (°)
1 H7	22	80	62
1 H10	31	80	71
1 H11W	32	80	117

Para nuestros propósitos de diseño, se elegirán boquillas aspersoras tipo 1 H11W con un consumo de 32 gpm y un ángulo de cobertura de cono lleno de 117°

Si se considera una distancia de separación entre el aspersor y la superficie exterior del equipo a proteger de 0.9144 m y el ángulo de protección es de 117° tenemos de acuerdo a la expresión (5):

$$\theta = 117^\circ / 2 = 58.5^\circ \dots(18)$$

Por lo tanto el ángulo  $\alpha$  se determina a partir de la ecuación 7 y tenemos:

$$\alpha = 90^\circ - 58.5^\circ = 31.5^\circ \dots(19)$$

De la expresión 9 se determina la mitad de la longitud de cobertura de un aspersor "b" y obtenemos:

$$b = 0.9144 \text{ m} / [\text{tng}(31.5^\circ)] = 1.492 \text{ m} \dots(20)$$

Por lo que la longitud total protegida por un aspersor es:

$$x = 2b = 2 (1.492) = 2.984 \text{ m} \dots(21)$$

Si se considera al traslape que debe de haber de un 15% de la longitud protegida entre aspersores tenemos que la longitud efectiva de protección de aspersor es:

$$L_{\text{efectiva}} = (x - 0.15x) = 0.75x = 0.75(2.984\text{m}) = 2.536 \text{ m} \dots(22)$$

Por lo tanto, la expresión 17 queda como:

$$\text{No. Boquillas por línea} = L_{\text{total}} / 2.536 \text{ m} \dots(23)$$

### 1.5.- Dimensiones y características principales de los equipos de proceso a proteger:

Las tablas presentadas en las siguientes hojas, muestran los principales equipos de proceso a proteger usados en la Planta de Desintegración Catalítica, con sus dimensiones básicas y condiciones de operación. Los datos que presentan estas tablas, están en función de los resultados arrojados por el Estudio de Identificación de Riesgos y de la Descripción del Proceso. La tabla 8.1 presenta los tanques de proceso susceptibles o no de protegerse con anillos de aspersión. La tabla 8.2 resume a las bombas de proceso que deban o no de protegerse con boquillas de aspersión. La tabla 8.3 resume a los equipos de enfriamiento (aeroenfriadores) que deban protegerse. Por último, la tabla 8.4 muestra a los equipos de separación o purificación, como las torres fraccionadoras, absorbedores, agotadores y otros que puedan o no presentar riesgo de incendio y cuáles de estos equipos deben de protegerse con la instalación de monitores o hidrantes cercanos.

Una regla heurística utilizada en el diseño de procesos, es que los recipientes verticales normalmente se usan para contener más volumen de gases y/o vapores no condensables que de líquidos, en tanto que los tanques horizontales contienen predominantemente más volumen de líquido. De este modo, la protección con anillos de aspersión a tanques verticales se hizo acorde con el Código API 2030. En este código, se menciona que los tanques verticales y torres pueden requerir ser protegidos con sistemas de aspersión, cuando la altura de éstos sea mayor a 40 ft (12.2 m) o cuando el nivel de líquido contenido en el equipo (pool liquid) sea mayor a 12 ft (3.6 m). Así, en la planta FCC se cuentan con dos recipientes verticales que por sus dimensiones o características de operación se considera que deben ser protegidos, estos son: a) El Tanque de Igualación de la Alimentación de Gasóleos (D-101) y b) El Filtro de Gas L. P. Tratado (PF-321). El tanque D-101 presenta una altura de 17.6 m y el nivel de líquido normal de líquido es mayor a 3.6 m. El filtro PF-321 tiene una altura de 7.62m y el nivel de líquido contenido es menor a 3.6 m; sin embargo, se protegerá con anillos aspersores ya que maneja un volumen considerable de Gas L. P. como líquido (35.57 m<sup>3</sup> de capacidad) a condiciones de alta presión 12.94 Kg/cm<sup>2</sup>). Para más detalles al respecto, consúltese la tabla 8.1.

Para aquellos recipientes de proceso verticales, que por sus dimensiones (no muy grandes), que por sus características de operación no tan drásticas o por la función que realicen en el proceso sin riesgo importante de incendio y que no manejen o procesen grandes cantidades de hidrocarburos líquidos, no se considerará su protección con anillos de aspersión.

Los cambiadores de calor no se consideran como equipos que presenten un riesgo grave de incendio, debido a que su inventario de material hidrocarburo, no suele ser muy grande, pero pueden quedar protegidos con la instalación aleadaña de monitores y/o hidrantes.

#### 8.2.2) Formación, Distribución y Dimensionamiento de la Red de Agua Contra Incendio:

##### 1.- Formación de los anillos en la red:

El primer paso a desarrollar para la distribución de la red de agua contra incendio, es tener como documento de trabajo, el Plano de Localización General de Equipo (PLG).

Sobre éste, se determinan cuales son las fronteras físicas de la propiedad (límites de batería de la planta). Alrededor de éstos límites, se traza el anillo principal que distribuirá el agua contra incendio tanto a los sistemas de aspersión como a los monitores, hidrantes y tomas para vehículo contra incendio requeridos en la planta.

El siguiente paso a desarrollar es seccionar este anillo principal en tantas secciones como se requiera, de acuerdo con los resultados arrojados por el estudio de identificación de riesgos y de la distribución de los equipos de proceso en la planta. Para nuestro propósito y partiendo del PLG de la planta, tomaremos como referencia el rack de tubería, para hacer este seccionamiento. Esto significa, que la tubería de seccionamiento del anillo principal de la red de agua contra incendio, pasará enterrada por debajo de los racks de tubería. Esto se hace con el fin de proteger a estas líneas, de fuegos que se puedan desarrollar a nivel de piso de la planta y que no estorben a las líneas de proceso normales. Lo anterior se puede observar en la figura 8.6.

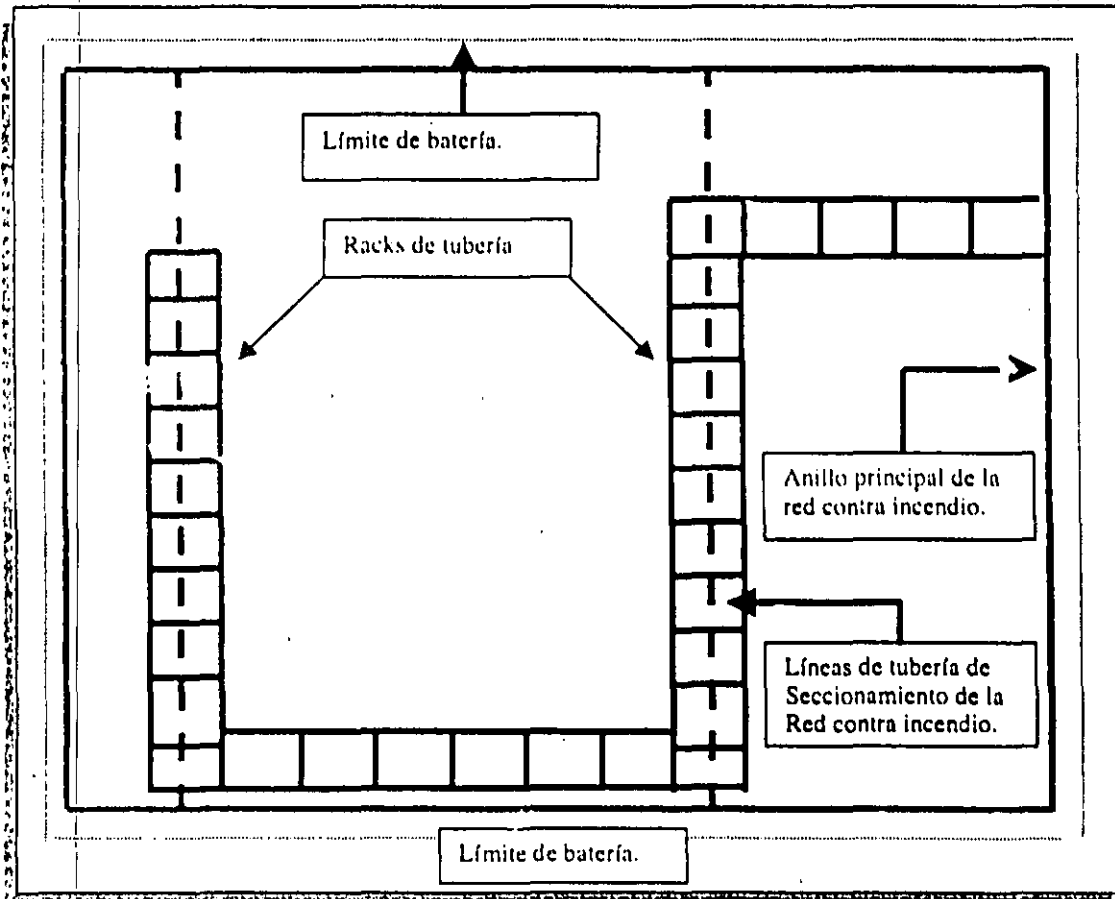


Figura.8.6. Seccionamiento del anillo principal de la red de agua contra incendio para la Planta FCC No. 2 de la Refinería de Cd. Madero Tamps.

Tabla 8.1: Recipientes de Proceso Susceptibles o no de protegerse con anillos de aspersión

CLAVE DEL EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	LONGITUD TOTAL	DIAMETRO	TEMPERATURAS		PRESIONES (mm.)		TIPO DE FLUIDO		CAPACIDAD en m <sup>3</sup>	POSICION
				Operación	Diseño	Operación	Diseño	Líquido	Vapor		
D-101	Tanque de Homogenización de la Alimentación.	13 040 m	3.800 m	66 a 166 °C	340°C	1.1 Kg/cm <sup>2</sup>	4.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Alimentación de gasóleos.	-----	147	Vertical
D-201	Acumulador de Reflujo del Fraccionador Principal.	7.740 m	3.658 m	38°C	185°C	0.9 kg/cm <sup>2</sup>	3.7 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 200/34.8 m <sup>3</sup> /h	Hidrocarburo 5.4 m <sup>3</sup> /s	76.9	Horizontal
D-202	Acumulador Interetapa del Compresor.	5.770 m	2.438 m	38°C	150°C	5.0 Kg/cm <sup>2</sup>	8.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 18.3/20.2 m <sup>3</sup> /h	Hidrocarburo 1.7 m <sup>3</sup> /s	25.6	Horizontal
D-203	Separador de Alta Presión	10.789 m	3.658 m	38°C	150°C	16.7 Kg/cm <sup>2</sup>	20.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 293.4 / 19.3 m <sup>3</sup> /h	Hidrocarburo 0.40 m <sup>3</sup> /s	108.9	Horizontal
D-204	Acumulador de Reflujo de la Debutanizadora.	7.634 m	2.743 m	57°C	150°C	13.3 Kg/cm <sup>2</sup>	17 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 278.5 / --- m <sup>3</sup> /h	-----	43.2	Horizontal
D-205	Separador de Arrastre de Gas Combustible Amargo.	2.134 m	1.067 m	47°C	150°C	15.7 Kg/cm <sup>2</sup>	20.5 Kg/cm <sup>2</sup>	-----	Hidrocarburo 0.20 m <sup>3</sup> /s	1.9	Vertical
D-206	Separador de Arrastre de la Succión del Compresor.	5.486 m	2.438 m	38°C	185°C	0.9 Kg/cm <sup>2</sup>	3.7 Kg/cm <sup>2</sup>	-----	Hidrocarburo 5.4 m <sup>3</sup> /s	25.6	Vertical
D-207	Separador de Agua del Agotador.	1.829 m	0.610 m	80°C	150°C	17.6 Kg/cm <sup>2</sup>	21.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua	Hidrocarburo/Agua	0.5	Vertical
D-208	Separador de Arrastre de Gas seco Dulce.	2.134 m	1.067 m	53 °C	150°C	15.2 Kg/cm <sup>2</sup>	20.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo	Hidrocarburo 0.20 m <sup>3</sup> /s	1.9	Vertical
D-209	Acumulador de Agua de Lavado.	1.829 m	0.914 m	Ambiente °C	Ambiente °C	1.0 Kg/cm <sup>2</sup>	5.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Agua 19.3 m <sup>3</sup> /h	-----	1.2	Vertical
D-210	Acumulador de Reflujo del Fraccionador C3/C4.	5.700 m	1.829 m	42 °C	150°C	16.3 Kg/cm <sup>2</sup>	21.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 95.3 / --- m <sup>3</sup> /h	-----	14.4	Horizontal
D-211	Acumulador de Reflujo del Fraccionador C3=C3.	8.870 m	2.896 m	38°C	150°C	19.8 Kg/cm <sup>2</sup>	25.3 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 307.4 / --- m <sup>3</sup> /h	-----	56.2	Horizontal
D-212	Tanque de Balance del Fraccionador C3/C4.	4.480 m	1.829 m	38°C	150°C	12.5 Kg/cm <sup>2</sup>	15.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 68.3 / --- m <sup>3</sup> /h	-----	11.2	Horizontal
D-301	Separador LPG-DEA.	2.580 m	1.219 m	38°C	150°C	17.0 Kg/cm <sup>2</sup>	19.0 kg/cm <sup>2</sup>	DEALPG ---/168.9 m <sup>3</sup> /h	-----	2.0	Horizontal
D-310	Separador de Prelavado.	9.463 m	2.743 m	38°C	55°C	6.0 Kg/cm <sup>2</sup>	9.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Gasolina / Sosa 6% 117.15 / 23.43 m <sup>3</sup> /h	-----	54.034	Horizontal
D-311	Separador de Endulzamiento.	13.801 m	3.353 m	38°C	55°C	2.0 Kg/cm <sup>2</sup>	5.8 Kg/cm <sup>2</sup>	Gasolina / Sosa 6% 117.15 / 58.58 m <sup>3</sup> /h	Aire 0.0038 m <sup>3</sup> /s	118.406	Horizontal
D-312	Tanque de Alimentación de Catalizador.	0.762 m	0.457 m	38°C	55°C	5.5 Kg/cm <sup>2</sup>	8.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Sosa 19% / CaL 58.58 m <sup>3</sup> /h	-----	0.13	Vertical
D-313	Tanque Lavador de Aire.	1.219 m	0.305 m	38 °C	55 °C	Atmósfera	3.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Agua 0.66 m <sup>3</sup> /h	Aire 13.6 m <sup>3</sup> /h	0.09	Vertical
PF-310	Filtro de Gasolina de Carga.	1.372 m	0.762 m	38°C	55°C	7.0 Kg/cm <sup>2</sup>	10.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Gasolina 117.16 m <sup>3</sup> /h	-----	10	Vertical



Tabla 8.1 : Continuación.

CLAVE DEL EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	LONGITUD TOTAL	DIAMETRO	TEMPERATURAS		PRESIONES (man.)		TIPO DE FLUIDO		CAPACIDAD en m <sup>3</sup>	POSICIÓN
				Operación	Diseño	Operación	Diseño	Líquido	Vapor		
TK-310	Tanque de Alimentación de Inhibidor de Gomas.	1.829 m	1.372 m	38°C	55°C	Atmosférica	Atmosférica	Inhibidor / Gasolina 0.162 lpm	-----	2.7	Vertical
D-320	Separador de Prelavado.	6.920 m	1.829 m	38°C	57°C	15.3 Kg/cm <sup>2</sup>	18.3 Kg/cm <sup>2</sup>	Gas L.P. / Sosa 4% 68.60 / 13.7 m <sup>3</sup> / h	-----	17.614	Horizontal
D-321	Separador 1era. Etapa de Extracción.	6.99 m	2.438 m	38°C	57°C	14.5 Kg/cm <sup>2</sup>	17.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Gas L.P./Sosa 19% 68.60 / 8.58 m <sup>3</sup> / h	-----	31.314	Horizontal
D-322	Separador 2da. Etapa de Extracción.	6.99 m	2.438 m	38°C	57°C	13.7 Kg/cm <sup>2</sup>	16.7 Kg/cm <sup>2</sup>	Gas L.P./Sosa 19% 68.60 / 8.58 m <sup>3</sup> / h	-----	31.314	Horizontal
D-323	Tanque de Eliminación de COS.	10.718 m	3.048 m	38°C	55°C	12.9 Kg/cm <sup>2</sup>	15.9 Kg/cm <sup>2</sup>	MEA-NaOH/Gas L.P. 68.60 / 68.6 m <sup>3</sup> / h	-----	75.61	Horizontal
D-324	Separador de Disulfuros / Sosa.	3.800 m	1.219 m	38°C	85°C	2.5 Kg/cm <sup>2</sup>	5.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Sosa/Disulfuro-Nafta 3.22 / 6.0 m <sup>3</sup> / h	Aire 0.006 m <sup>3</sup> / s	4.27	Horizontal
PF-321	Filtro de Gas L.P. Tratado.	7.620 m	2.438 m	38°C	55°C	12.9 Kg/cm <sup>2</sup>	15.9 Kg/cm <sup>2</sup>	Gas L.P. 68.6 m <sup>3</sup> / h	-----	35.572	Vertical
TK-322	Tanque de Almacenamiento de MEA.	1.829 m	1.372 m	38°C	67°C	Atmosférica	Por Código	MEA 100% / Agua	-----	2.7	Vertical
D-401	Tanque de Balance del Agotador de Agua A-marga	No se tienen dimensiones, condiciones de operación y diseño para temperaturas y presiones y de capacidad del tanque, porque éste no presenta riesgo importante de incendio.									Horizontal
D-402	Separador de Arrastre de Gas Ácido.	No se tienen dimensiones, condiciones de operación y diseño para temperaturas y presiones y de capacidad del tanque, porque éste no presenta riesgo importante de incendio.									Vertical
D-501	Acumulador de Reflujo del Regenerador de DEA.	4.461 m	1.676 m	43°C	150°C	1.1 Kg / cm <sup>2</sup>	3.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Sol. Amina/Hidrocarburo : 6.7 m <sup>3</sup> / h	Hidrocarburo 0.20 m <sup>3</sup> / s	9.4	Horizontal
D-502	Tanque de Desorción de Hidrocarburos.	5.804 m	2.743 m	62°C	150°C	4.6 Kg/cm <sup>2</sup>	7.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Sol. Amina/Hidrocarburo : 79 m <sup>3</sup> / h	-----	32.4	Horizontal
TK-501	Tanque de Almacenamiento de Solución de DEA.	5.486 m	6.096 m	Ambiente °C	80°C	Atmosférica	Atmosférica	Solución de DEA	-----	160.1	Horizontal
TK-502	Fosa de Preparación de Solución de DEA.	2.438 m	1.981 m	Ambiente °C	80°C	Atmosférica	Atmosférica	Solución de DEA	-----	5.8	Horizontal
TANQUES ADICIONALES											
Tanque de Destoque Acido.		7.500 m	2.500 m	Las dimensiones de este tanque son aproximadas, y no se cuenta con datos de temperatura y presión de operación y diseño del tanque. Las dimensiones fueron determinadas a partir de un escalamiento del equipo.							Horizontal
Tanque de Destoque de Alta.		7.500 m	2.500 m	Las dimensiones de este tanque son aproximadas, y no se cuenta con datos de temperatura y presión de operación y diseño del tanque. Las dimensiones fueron determinadas a partir de un escalamiento del equipo.							Horizontal
Tanque de Destoque de Baja.		7.500 m	2.500 m	Las dimensiones de este tanque son aproximadas, y no se cuenta con datos de temperatura y presión de operación y diseño del tanque. Las dimensiones fueron determinadas a partir de un escalamiento del equipo.							Horizontal
Tanque de Aceite Recuperado.		4.348 m	1.39 m	Las dimensiones de este tanque son aproximadas, y no se cuenta con datos de temperatura y presión de operación y diseño del tanque. Las dimensiones fueron determinadas a partir de un escalamiento del equipo.							Horizontal
Tanque de Drenaje Químico		Dimensiones no requeridas									Horizontal
No se considera que presente riesgo de incendio, por lo que no se protege con anillos de aspersión.											

NOTA:

Los silos de almacenamiento del catalizador (D-104, D-105 y D-106), no se consideran para protegerlos con sistemas de aspersión, pero se deben proteger con la instalación cercana de monitores, hidrantes o bombas para vehículo contra incendio.

Tabla 8.1: Recipientes de Proceso Susceptibles o no de protegerse con anillos de aspersión

CLAVE DEL EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	LONGITUD TOTAL	DIAMETRO	TEMPERATURAS		PRESIONES (man.)		TIPO DE FLUIDO		CAPACIDAD en m <sup>3</sup>	POSICIÓN
				Operación	Diseño	Operación	Diseño	Líquido	Vapor		
D-101	Tanque de Homogenización de la Alimentación.	13.040 m	3.800 m	66 a 166 °C	340°C	1.1 Kg/cm <sup>2</sup>	4.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Alimentación de gasóleos.	-----	147	Vertical
D-201	Acumulador de Reflujo del Fraccionador Principal.	7.740 m	3.658 m	38°C	185°C	0.9 kg/cm <sup>2</sup>	3.7 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 200/34.8 m <sup>3</sup> /h	Hidrocarburo 5.4 m <sup>3</sup> /s	76.9	Horizontal
D-202	Acumulador Interetapa del Compresor.	5.770 m	2.438 m	38°C	150°C	5.0 kg/cm <sup>2</sup>	8.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 18.3/20.2 m <sup>3</sup> /h	Hidrocarburo 1.7 m <sup>3</sup> /s	25.6	Horizontal
D-203	Separador de Alta Presión	10.789 m	3.658 m	38°C	150°C	16.7 kg/cm <sup>2</sup>	20.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 293.4 / 19.3 m <sup>3</sup> /h	Hidrocarburo 0.40 m <sup>3</sup> /s	108.9	Horizontal
D-204	Acumulador de Reflujo a la Debutanizadora.	7.634 m	2.743 m	57°C	150°C	13.3 Kg/cm <sup>2</sup>	17 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 276.5 / ---- m <sup>3</sup> /h	-----	43.2	Horizontal
D-205	Separador de Arrastre de Gas Combustible Amargo.	2.134 m	1.067 m	47°C	150°C	15.7 Kg/cm <sup>2</sup>	20.5 Kg/cm <sup>2</sup>	-----	Hidrocarburo 0.20 m <sup>3</sup> /s	1.9	Vertical
D-206	Separador de Arrastre de la Succión del Compresor.	5.486 m	2.438 m	52°C	185°C	0.9 Kg/cm <sup>2</sup>	3.7 Kg/cm <sup>2</sup>	-----	Hidrocarburo 5.4 m <sup>3</sup> /s	25.6	Vertical
D-207	Separador de Agua del Agotador.	1.829 m	0.610 m	80°C	150°C	17.6 Kg/cm <sup>2</sup>	21.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua	Hidrocarburo/Agua	0.5	Vertical
D-208	Separador de Arrastre de Gas seco Dulce.	2.134 m	1.067 m	53 °C	150°C	15.2 Kg/cm <sup>2</sup>	20.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo	Hidrocarburo 0.20 m <sup>3</sup> /s	1.9	Vertical
D-209	Acumulador de Agua de Lavado.	1.829 m	0.914 m	Ambiente °C	Ambiente °C	1.0 Kg/cm <sup>2</sup>	5.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Agua 19.3 m <sup>3</sup> /h	-----	1.2	Vertical
D-210	Acumulador de Reflujo del Fraccionador C3/C4.	5.700 m	1.829 m	42 °C	150°C	16.3 Kg/cm <sup>2</sup>	21.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 95.3 / ---- m <sup>3</sup> /h	-----	14.4	Horizontal
D-211	Acumulador de Reflujo del Fraccionador C3=C3.	8.870 m	2.896 m	38°C	150°C	19.8 Kg/cm <sup>2</sup>	25.3 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 307.4 / ---- m <sup>3</sup> /h	-----	56.2	Horizontal
D-212	Tanque de Balance del Fraccionador C3/C4.	4.480 m	1.829 m	38°C	150°C	12.5 Kg/cm <sup>2</sup>	15.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Hidrocarburo/Agua 68.3 / ---- m <sup>3</sup> /h	-----	11.2	Horizontal
D-301	Separador LPG-DEA.	2.580 m	1.219 m	38°C	150°C	17.0 Kg/cm <sup>2</sup>	19.0 kg/cm <sup>2</sup>	DEA/LPG ----/168.9 m <sup>3</sup> /h	-----	2.9	Horizontal
D-310	Separador de Prelavado.	9.463 m	2.743 m	38°C	55°C	6.0 Kg/cm <sup>2</sup>	9.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Gasolina / Sosa 6% 117.15 / 23.43 m <sup>3</sup> /h	-----	54.034	Horizontal
D-311	Separador de Endulzamiento.	13.801 m	3.353 m	33°C	55°C	2.8 Kg/cm <sup>2</sup>	5.8 Kg/cm <sup>2</sup>	Gasolina / Sosa 6% 117.15 / 58.58 m <sup>3</sup> /h	Aire 0.0038 m <sup>3</sup> /s	118.406	Horizontal
D-312	Tanque de Alimentación de Catalizador.	0.762 m	0.457 m	38°C	55°C	5.5 Kg/cm <sup>2</sup>	8.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Sosa 19 % / Cat 58.58 m <sup>3</sup> /h	-----	0.13	Vertical
D-313	Tanque Lavador de Aire.	1.219 m	0.305 m	38 °C	55 °C	Atmosférica	3.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Agua 0.66 m <sup>3</sup> /h	Aire 13.6 m <sup>3</sup> /h	0.09	Vertical
PF-310	Filtro de Gasolina de Carga.	1.372 m	0.762 m	38°C	55°C	7.0 Kg/cm <sup>2</sup>	10.0 Kg/cm <sup>2</sup>	Gasolina 117.16 m <sup>3</sup> /h	-----	10	Vertical

Tabla 8.1 - Continuación

CLAVE DEL EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	LONGITUD TOTAL	DIAMETRO	TEMPERATURAS		PRESIONES (max.)		TIPO DE FLUIDO		CAPACIDAD en m <sup>3</sup>	POSICIÓN	
				Operación	Diseño	Operación	Diseño	Líquido	Vapor			
TK-310	Tanque de Almacenamiento de Inhibidor de Gomas	1.829 m	1.372 m	38°C	55°C	Atmosférica	Atmosférica	Inhibidor / Gasolina	0.162 l/m	2.7	Vertical	
D-370	Separador de Prelavado	6.920 m	1.829 m	38°C	57°C	15.3 Kg/cm <sup>2</sup>	18.3 Kg/cm <sup>2</sup>	Gas L.P. / Sosa 4%	68.60 / 13.7 m <sup>3</sup> /h	17.614	Horizontal	
D-321	Separador 1era. Etapa de Extracción	6.99 m	2.438 m	38°C	57°C	14.5 Kg/cm <sup>2</sup>	17.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Gas L.P./Sosa 19%	68.60 / 8.58 m <sup>3</sup> /h	31.314	Horizontal	
D-322	Separador 2da. Etapa de Extracción	6.99 m	2.438 m	38°C	57°C	13.7 Kg/cm <sup>2</sup>	16.7 Kg/cm <sup>2</sup>	Gas L.P./Sosa 19%	68.60 / 8.58 m <sup>3</sup> /h	31.314	Horizontal	
D-323	Tanque de Eliminación de COS.	10.718 m	3.048 m	38°C	55°C	12.9 Kg/cm <sup>2</sup>	15.9 Kg/cm <sup>2</sup>	MEA-NaOH/Gas L.P.	68.60 / 68.6 m <sup>3</sup> /h	75.61	Horizontal	
D-324	Separador de Desulfuros / Sosa	3.800 m	1.219 m	38°C	85°C	2.5 Kg/cm <sup>2</sup>	5.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Sosa/Desulfuro-Nafta	3.22 / 6.0 m <sup>3</sup> /h	4.27	Horizontal	
PF-321	Filtro de Gas L.P. Tratado	7.620 m	2.438 m	38°C	55°C	12.9 Kg/cm <sup>2</sup>	15.9 Kg/cm <sup>2</sup>	Gas L.P.	68.6 m <sup>3</sup> /h	35.572	Vertical	
TK-322	Tanque de Almacenamiento de MEA	1.829 m	1.372 m	38°C	67°C	Atmosférica	Por Código	MEA 100% / Agua	---	2.7	Vertical	
D-401	Tanque de Balance del Agotador de Agua Amarga	No se tienen dimensiones, condiciones de operación y diseño para temperaturas y presiones y de capacidad del tanque, porque éste no presenta riesgo importante de incendio.										
D-402	Separador de Antraste de Gas Ácido	No se tienen dimensiones, condiciones de operación y diseño para temperaturas y presiones y de capacidad del tanque, porque éste no presenta riesgo importante de incendio.										
D-501	Acumulador de Reflujo del Regenerador de DEA.	4.461 m	1.676 m	43°C	150°C	1.1 Kg/cm <sup>2</sup>	3.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Sol. Amoníaco/Hidrocarburo	---	9.4	Horizontal	
D-502	Tanque de Destricción de Hidrocarburos	5.804 m	2.743 m	62°C	150°C	4.6 Kg/cm <sup>2</sup>	7.5 Kg/cm <sup>2</sup>	Sol. Amoníaco/Hidrocarburo	Buro : 6.7 --- m <sup>3</sup> /h	32.4	Horizontal	
TK-501	Tanque de Almacenamiento de Solución de DEA.	5.486 m	6.096 m	Ambiente °C	80°C	Atmosférica	Atmosférica	Solución de DEA	Buro : 79 --- m <sup>3</sup> /h	160.1	Horizontal	
TK-502	Fosa de Preparación de Solución de DEA.	2.438 m	1.981 m	Ambiente °C	80°C	Atmosférica	Atmosférica	Solución de DEA	---	6.6	Horizontal	
<b>TANQUES ADICIONALES</b>												
TK-503	Tanque de Destaque Acido	7.500 m	2.500 m	Las dimensiones de este tanque son aproximadas, y no se cuenta con datos de temperatura y presión de operación y diseño del tanque. Las dimensiones fueron determinadas a partir de un escalamiento del equipo.								Horizontal
TK-504	Tanque de Destaque de Alca.	7.500 m	2.500 m	Las dimensiones de este tanque son aproximadas, y no se cuenta con datos de temperatura y presión de operación y diseño del tanque. Las dimensiones fueron determinadas a partir de un escalamiento del equipo.								Horizontal
TK-505	Tanque de Destaque de Baja	7.500 m	2.500 m	Las dimensiones de este tanque son aproximadas, y no se cuenta con datos de temperatura y presión de operación y diseño del tanque. Las dimensiones fueron determinadas a partir de un escalamiento del equipo.								Horizontal
TK-506	Tanque de Aceite Recuperado	4.348 m	1.39 m	Las dimensiones de este tanque son aproximadas, y no se cuenta con datos de temperatura y presión de operación y diseño del tanque. Las dimensiones fueron determinadas a partir de un escalamiento del equipo.								Horizontal
TK-507	Tanque de Drenaje Químico	Dimensiones no requeridas										Horizontal

NOTA: No se considera que presente riesgo de incendio, por lo que no se protege con arboles de aspersión

Los silos de almacenamiento del catalizador D-104, D-105 y D-106, no se consideran para protegidos con sistemas de aspersión, pero se pueden proteger con la instalación cercana de monitores, hidrantes o tomas para vehículo contra incendio

Tabla 8.2: Continuación.

CLAVE DE BOMBAS	SERVICIO	FLUIDO MANEJADO	OBSERVACIONES
P-312 A/B	Bomba de Gasolina Tratada.	Hidrocarburo Gasolina	Se protege con boquillas aspersoras.
P-313 A/B	Bomba de Dosificadora de Inhibidor de Formación de Gomas	Solución de Inhibidor	No se protege con boquillas aspersoras.
P-320 A/B	Bomba de Recirculación de Sosa de Prelavado.	Solución de Sosa	No se protege con boquillas aspersoras.
P-321 A/B	Bomba de Sosa de la 2da. Etapa de Extracción.	Solución de Sosa	No se protege con boquillas aspersoras.
P-322 A/B	Bomba de Recirculación de Sosa y MEA.	Solución de Sosa y MEA	No se protege con boquillas aspersoras.
P-323 A/B	Bomba de Sosa Regenerada.	Solución de Sosa	No se protege con boquillas aspersoras.
P-324 A/B C/D	Bomba de Reposición de Sosa.	Solución de Sosa	No se protege con boquillas aspersoras.
P-325 A/B	Bomba de Reposición de MEA.	Solución de MEA	No se protege con boquillas aspersoras.
P-326 A/B	Bomba de Sosa de 1er. Etapa de Extracción.	Solución de Sosa	No se protege con boquillas aspersoras.
P-327 A/B	Bomba de Sosas Gastada.	Solución de Sosa ligeramente cáustica	No se protege con boquillas aspersoras.
P-328 A/B	Bomba de Sosa al 48%	Solución de Sosa	No se protege con boquillas aspersoras.
P-329 A/B	Bomba de Gasolina con Disulfuros.	Hidrocarburo Gasolina y Disulfuros	Se protege con boquillas aspersoras.
P-401 A/B	Bomba de Hidrocarburos Recuperados.	Hidrocarburo Mezcla de varios	Se protege con boquillas aspersoras.
P-402 A/B	Bomba de Carga al Agotador de Agua Amarga.	Agua Amarga	No se protege con boquillas aspersoras.
P-403 A/B	Bomba de Agua Amarga Agotada.	Agua Amarga Agotada	No se protege con boquillas aspersoras.
P-404 A/B	Bomba de Recirculación del Agotador de Agua Amarga.	Agua Amarga	No se protege con boquillas aspersoras.
P-501 A/B	Bomba de Recirculación del DEA.	Solución de DEA.	No se protege con boquillas aspersoras.
P-502 A/B	Bomba de Reflujo del Regenerador de DEA.	Solución de DEA.	No se protege con boquillas aspersoras.
<b>BOMBAS ADICIONALES</b>			
FEED PUMPS 1-2	Bombas de Alimentación de Gasóleos a Proceso.	Mezcla de Gasóleos.	Se protege con boquillas aspersoras.
BOMB SERV. 1	Bombas de Desfogue Ácido.	Ácido sulfhídrico con otros hidrocarburos.	Se protege con boquillas aspersoras.
BOMB SERV. 2	Bombas de Desfogue de Alta.	Mezcla de hidrocarburos.	Se protege con boquillas aspersoras.
BOMB SERV. 3	Bombas de Desfogue de Baja.	Mezcla de hidrocarburos.	Se protege con boquillas aspersoras.

Tabla 8.3 : Lista de Aeroenfriadores.

CLAVE DEL EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	DIMENSIONES (Por el lado largo)	NÚMERO DE RELEVOS	OBSERVACIONES
EA-201	1er. Condensador del Fraccionador Principal	Ancho X Largo 5.042 m X 9.144 m	6	Se protege con anillos de aspersion.
EA-202	Enfriador de Recirculación de Nafta Pesada.	Ancho X Largo 1.676 m X 3.658 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-203	Enfriador de ACP Producto.	Ancho X Largo 1.562 m X 3.658 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-204	1er. Enfriador de Interetapa del Compresor.	Ancho X Largo 4.096 m X 8.534 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-205	1er. Condensador del Separador de Alta Presión.	Ancho X Largo 4.597 m X 8.534 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-206	Condensador de la Desbutanizadora.	Ancho X Largo 4.921 m X 9.144 m	6	Se protege con anillos de aspersion.
EA-207	Enfriador de ACL Producto.	Ancho X Largo 3.607 m X 9.144 m	Una sección y el relevo.	Se comparten los ventiladores con equipo EA-212. Se protege con anillos de aspersion.
EA-208	Enfriador de Recirculación de ACL.	Ancho X Largo 2.642 m X 6.096 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-209	1er. Enfriador de Gasolina Producto.	Ancho X Largo 4.077 m X 9.144 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-210	Enfriador de ACI Producto.	Ancho X Largo 1.314 m X 3.048 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-212	1er. Enfriador de Nafta Pesada Producto.	Ancho X Largo 0.771 m X 9.144 m	Una sección y el relevo.	Se comparten los ventiladores con equipo EA-208. Se protege con anillos de aspersion.
EA-213	Enfriador de Recirculación del Agotador de Agua Amarga.	Ancho X Largo 4.077 m X 9.144 m	1	No se protege con anillos de aspersion. No maneja material inflamable.
EA-214	1er. Condensador del Regenerador de DEA.	Ancho X Largo 4.178 m X 8.535 m	1	No se protege con anillos de aspersion. La DEA se maneja en solución acuosa.

Tabla 8.3 : Lista de Aeroenfriadores.

CLAVE DEL EQUIPO	NOMBRE DEL EQUIPO	DIMENSIONES (Por enfriador)	Nº DE SECCIONES	OBSERVACIONES
EA-201	1er. Condensador del Fraccionador Principal	Ancho X Largo 5.042 m X 9.144 m	6	Se protege con anillos de aspersion.
EA-202	Enfriador de Recirculación de Nafta Pesada.	Ancho X Largo 1.676 m X 3.658 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-203	Enfriador de ACP Producto.	Ancho X Largo 1.562 m X 3.658 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-204	1er. Enfriador de Interetapa del Compresor.	Ancho X Largo 4.096 m X 8.534 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-205	1er. Condensador del Separador de Alta Presión.	Ancho X Largo 4.597 m X 8.534 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-207	Condensador de la Desbutanizadora.	Ancho X Largo 4.921 m X 9.144 m	6	Se protege con anillos de aspersion.
EA-208	Enfriador de ACL Producto.	Ancho X Largo 3.607 m X 9.144 m	Una sección y el relevo.	Se comparten los ventiladores con equipo EA-212. Se protege con anillos de aspersion.
EA-209	Enfriador de Recirculación de ACL.	Ancho X Largo 2.642 m X 6.096 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-210	1er. Enfriador de Gasolina Producto.	Ancho X Largo 4.077 m X 9.144 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-211	Enfriador de ACI Producto.	Ancho X Largo 1.314 m X 3.048 m	1	Se protege con anillos de aspersion.
EA-212	1er. Enfriador de Nafta Pesada Producto.	Ancho X Largo 0.771 m X 9.144 m	Una sección y el relevo.	Se comparten los ventiladores con equipo EA-208. Se protege con anillos de aspersion.
EA-401	Enfriador de Recirculación del Agotador de Agua Amarga.	Ancho X Largo 4.077 m X 9.144 m	1	No se protege con anillos de aspersion. No maneja material inflamable.
EA-501	1er. Condensador del Regenerador de DEA.	Ancho X Largo 4.178 m X 8.535 m	1	No se protege con anillos de aspersion. La DEA se maneja en solución acuosa.

Tabla 8.4 : Resumen de Torres que requieran o no de protección con la instalación cercana de monitores o hidrantes.

CLAVE DEL EQUIPO	NOMBRE	DIMENSIONES PRINCIPALES		OBSERVACIONES
		ALTURA	DIAMETRO	
T-201	Fraccionador Principal.	42.460 m	5.029 m	Se instalará un monitor cerca de la torre para protegerla por riesgo de incendio.
T-202 y T-211	Agotador de ACL y Agotador de Nafta Pesada	13.007 m long. Total.	0.914 m 0.762 m	Se instalará toma para mangueras y vehiculo contra incendio del lado de la calle, cerca de estas dos torres para protegerlas.
T-203 y T-204	Absorbedor Primario y Agotador.	57.542 m long. Total.	1.981 m 2.896 m	Se instalará un monitor cerca de las torres para protegerlas por riesgo de incendio.
T-205	Absorbedor Secundario	19.684 m	1.524 m	Se instalará un monitor cerca de la torre para protegerla por riesgo de incendio.
T-206	Torre Desbutanizadora	35.877 m.	3.048 m	Se instalará un monitor cerca de la torre para protegerla por riesgo de incendio.
T-207	Lavador de Gas Combustible.	20.364 m	2.286 m	Se instalará un monitor cerca de la torre para protegerla por riesgo de incendio.
T-208	Fraccionador C3/C4.	38.964 m	1.676 m (parte superior) 2.134 m (parte inferior)	Se instalará un monitor cerca de la torre para protegerla por riesgo de incendio.
T-209	Fraccionador C3=C3	69.893 m	3.505 m	Se instalará un monitor cerca de la torre para protegerla por riesgo de incendio.
T-210	Agotador de Aceite Ciclico Ligero (ACI)	5.043 m	0.457 m	Se protegerá esta torre en función de la protección a las torres T-201, T-202 y T-211.
T-301	Contactador LPG-DEA.	17.374 m	2.438 m	Se instalará un monitor cerca de la torre para protegerla por riesgo de incendio.
T-320	Torre de Oxidación.	6.704 m	0.762 m	No se considera riesgo apreciable de incendio en esta torre.
T-401	Agotador de Agua Amarga.	El riesgo de incendio en este equipo puede ser muy bajo, pero puede presentar problemas de derrames y/o fugas con NH3 y H2S.		
T-501	Regenerador de DEA.	15.960 m	2.134 m	No se considera riesgo apreciable de incendio en esta torre.

## II.- Formación de los sistemas de aspersión (subsistemas):

El esquema desarrollado en este trabajo para la selección de los subsistemas de protección de la red, se basa primordialmente en la distribución de los equipos en la planta, pero esta selección involucra también el considerar dos factores adicionales:

- a) El primero está en función de la descripción de proceso, es decir, que bajo un mismo subsistema, se protegen aquellos equipos y/o corrientes de proceso que pertenezcan preferentemente a una misma sección del proceso.
- b) Por la cercanía de uno o varios equipos a uno de los subsistemas considerados en el inciso a), estas unidades se protegen aunque no tengan relación estrecha o directa con el subsistema o la sección del proceso.

La identificación de riesgos, está en función de las secciones del proceso, por lo que esta identificación determina que secciones del proceso requieren de especial atención o cuidado para la selección y/o formación de estos subsistemas (sistemas de aspersión) en función del nivel de riesgo obtenido. El esquema típico de la formación de estos subsistemas considera dos puntos o fuentes de suministro de agua independientes entre sí (o la toma de agua proveniente de dos anillos diferentes de la red). Un punto de suministro está regulado por medio de la instalación de una válvula automática (VA) y el otro punto está regulado a través de una válvula manual (VM). La conexión de estos subsistemas a dos puntos distintos de suministro de agua, implica el tener que manejar sistemas redundantes. Es decir, que si el suministro de agua contra incendio por parte de la válvula automática falla (no abre esta válvula por ejemplo), se cuenta con la válvula manual para suministrar el agua contra incendio por otro lado. El esquema tipo para la formación de estos subsistemas se presenta en la figura 8.7, se considera aquí, la protección simultánea a recipientes de proceso, bombas de proceso y aerofriadores.



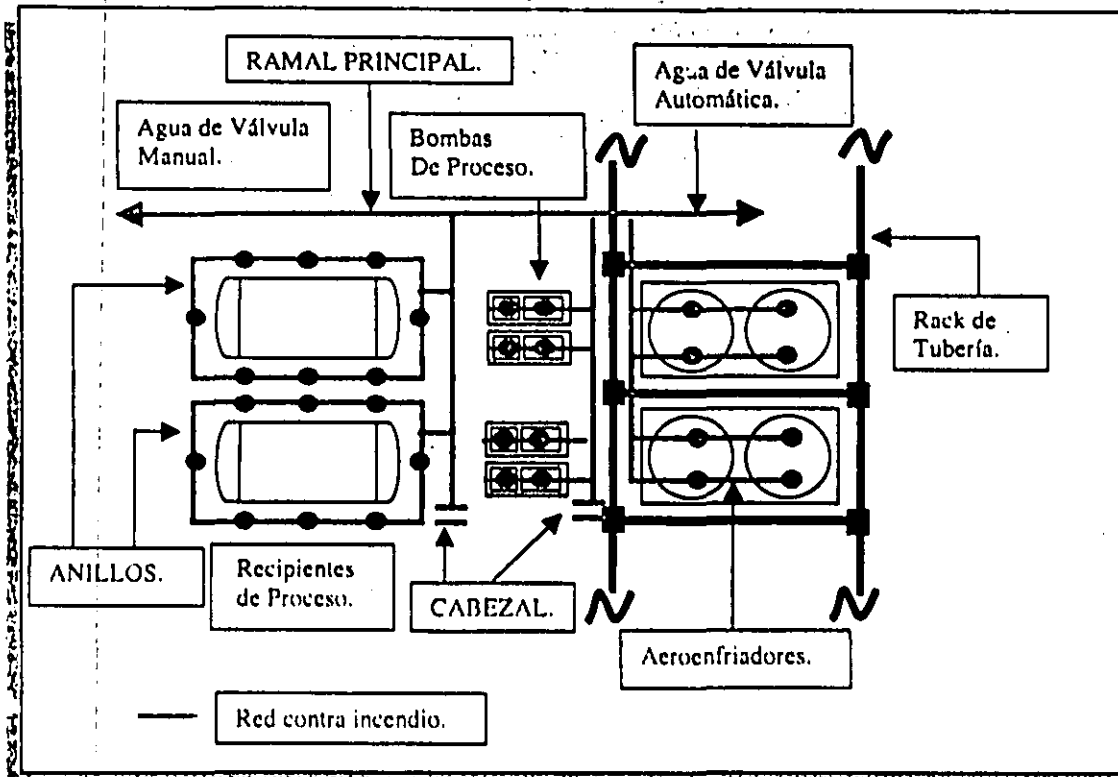


Figura 8.7 : Vista superior de la formación tipo de un subsistema de protección contra incendio.

Las válvulas automáticas deben de instalarse lo más cerca posible del subsistema a proteger o de la toma de agua del anillo correspondiente. Se acepta que este distanciamiento no sea mayor a 10 metros preferentemente.

De acuerdo con el inciso 3.7.4 (Efecto del viento en el comportamiento de las plumas de fuego) del capítulo 3 y conociendo la dirección de los vientos, las válvulas manuales deben de colocarse viento arriba o alejadas de 15 a 20 metros del área a cubrir con la finalidad de que en caso de que se presente un incidente con fuego en el subsistema y las válvulas automáticas no hayan abierto, se pueda tener acceso fácil y seguro a estas válvulas y que no queden bloqueadas por la deflexión de una pluma de fuego (por contacto directo de las llamas) y por lo tanto, de los efectos de la radiación proveniente del fuego.

### III.- Dimensionamiento de los anillos y líneas de distribución del agua de la red contra incendio:

Al manejar al agua de la red con propósitos de esta protección contra incendio, como medio de enfriamiento (o control principalmente), el dimensionamiento de las líneas se puede hacer aplicando ecuaciones propias para el flujo de agua en tubería.

Una vez determinado el número de boquillas a usar para la protección de los distintos equipos que así lo requieran y el gasto total manejado por éstas en su conjunto, se determina el diámetro del anillo y de los cabezales de distribución del agua. De acuerdo con uno de los criterios de diseño utilizados en este trabajo, expuestos en el capítulo 5, la velocidad de flujo recomendada para el agua en la línea debe encontrarse dentro del intervalo de 6 a 15 ft/s. Para cuestiones propias de diseño, consideramos como primer aproximación una velocidad promedio a estos valores, es decir:

$$V_{(\text{diseño})} = (6+15)/2 = 10.5 \text{ ft/s}$$

### Algoritmo:

1) De acuerdo con la expresión 24 (para flujo de agua en tubería) calculamos el diámetro requerido para la línea a una velocidad de 10.5 ft/s.

$$d = [0.408 (Q) / V_{(\text{diseño})}]^{1/2} = [0.408 (Q) / 10.5]^{1/2} \dots (24)$$

donde :  $d = [\text{in}]$        $V_{\text{diseño}} = [\text{ft/s}]$

$Q = [\text{gpm}]$ , gasto total manejado por el anillo o la línea.

2) Se selecciona el diámetro comercial más cercano (inmediato superior o inmediato inferior según se prefiera) al diámetro encontrado en la ecuación 24.

3) Se corrige, el valor de la velocidad con el diámetro comercial seleccionado, despejando a la velocidad "v" de la ecuación 24 para obtener:

$$V_{(\text{corregida})} = 0.408 (Q) / d^2 \dots (25)$$

4) Se revisa que el valor obtenido de esta velocidad corregida se encuentre dentro del intervalo recomendado de 6 a 15 ft/s.

5) Por último, se revisa que se cumpla con el criterio de que la caída de presión en 100 ft de tubería para el diámetro seleccionado, sea menor a 1.5 psi, con el objeto de no tener una alta caída de presión en el sistema que provoque vibraciones fuertes en las líneas o que haya disminución del flujo de agua y que no se cumplan con los requerimientos mínimos de la protección contra incendio.

La tabla 8.5 resume los valores obtenidos de los diámetros de los cabezales de distribución del agua y de los anillos para los subsistemas considerados. Las líneas de seccionamiento del anillo principal, son también las líneas de alimentación general para los distintos ramales de suministro del agua contra incendio. De acuerdo con el Plano del Sistema Contra Incendio (PS-001), la numeración de cada una de las válvulas de seccionamiento automáticas (VA) y manuales (VM) corresponden al número de los subsistemas manejados en la misma tabla.

Tabla 8.5 : Diámetros principales encontrados para los subsistemas de protección elegidos.

SISTEMA ASPERSION	EQUIPO		SERVICIO NOMBRE DEL EQUIPO	DIAMETRO ALIMENTACION GENERAL	DIAMETRO RAMAL PRINCIPAL	CABEZAL (C)	ANILLO (A)	No. TOTAL DE BOQUILLAS ASPERSORAS
	CLAVE	POSICION				DIAMETRO	DIAMETRO	
SIST. I	D-201	HORIZ.	ACUMULADOR DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR PRINCIPAL.	12"	8"	6"	3"	8
	D-202	HORIZ.	ACUMULADOR INTERETAPA DEL COMPRESOR.	12"	8"	6"	3"	6
	D-203	HORIZ.	SEPARADOR DE ALTA PRESION.	12"	8"	6"	4"	10
	P-205 A,B		BOMBA DE AGUAS AMARGAS.	12"	8"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-214 A,B		BOMBA DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR PRINCIPAL.	12"	8"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-206 A,B		BOMBA DE NAFTA LIGERA INESTABILIZADA.	12"	8"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-209 A,B		BOMBA DE CONDENSADOS DE INTERETAPA DEL COMPRESOR.	12"	8"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-213 A,B		BOMBA DE CARGA AL AGOTADOR.	12"	8"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
SIST. II	D-210	HORIZ.	ACUMULADOR DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR C3/C4.	12"	8"	6"	3"	6
	D-212	HORIZ.	TANQUE DE BALANCE DEL FRACCIONADOR C3/C4.	12"	8"	6"	3"	6
	D-211	HORIZ.	ACUMULADOR DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR C3=C3.	12"	8"	6"	3"	8
	P-218 A,B		BOMBA DE REFLUJO DEL FRACCIONADOR C3/C4.	12"	8"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-223 A,B		BOMBA DE ALIMENTACION AL FRACCIONADOR C3/C4.	12"	8"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-219 A,B		BOMBA DE REFLUJO DE PROPILENO.	12"	8"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-224 A,B		BOMBA DE PROPILENO PRODUCTO.	12"	8"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-220 A,B		BOMBA DE PROPANO PRODUCTO.	12"	8"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
SIST. III	CA-201 A,B,C D,E,F		ser. CONDENSADOR DEL FRACCIONADOR PRINCIPAL.	12"	8"	8"	3"	8 por equipo
SIST. IV	EA-209		ENFRIADOR DE RECIRCULACION DE ACL.	12"	8"	8"	3"	8
	EA-204		ser. ENFRIADOR DE INTERETAPA DEL COMPRESOR.	12"	8"	8"	3"	8
	EA-202		ENFRIADOR DE RECIRCULACION DE NAFTA PESADA.	12"	8"	8"	2 1/2"	4
	EA-205		ser. CONDENSADOR DEL SEPARADOR DE ALTA PRESION.	12"	8"	8"	3"	8
SIST. V	P-208 A,B		BOMBA DE FONDOS DEL FRACCIONADOR PRINCIPAL.	12"	8"	8"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-207 A,B		BOMBA DE RECIRCULACION DE ACL.	12"	8"	8"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-101 A,B		BOMBA DE RECIRCULACION DE ACL.	12"	8"	8"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-221 A,B		BOMBA DE ALIMENTACION BOMBA DE GASOLEOS.	12"	8"	8"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	D-101	VERT.	TANQUE DE HOMOGENIZACION DE LA ALIMENTACION.	12"	8"	8"	3"	3 por anillo 9 en total
SIST. VI	REC. SERV.	HORIZ.	TANQUE DE ACEITE RECUPERADO.	12"	6"	6"	2"	2
	P-211 A,B		BOMBA DE GASOLINA DE ABSORCION.	12"	6"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-217 A,B		BOMBA DEL 2do. INTERENFRIADOR DEL ABSORBEDOR PRIMARIO.	12"	6"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-216 A,B		BOMBA DEL 1er. INTERENFRIADOR DEL ABSORBEDOR PRIMARIO.	12"	6"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-212 A,B		BOMBA DE FONDOS DEL ABSORBEDOR PRIMARIO.	12"	6"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
	P-203 A,B		BOMBA DE ACEITE POBRE.	12"	6"	6"	1 1/2"	4 Por cada bomba 2 por bomba
SIST. VII	EA-203		ENFRIADOR DE ACP PRODUCTO.	12"	10"	10"	2 1/2"	4
	EA-207 A,B,C D,E,F		CONDENSADOR DE LA DESBUTANIZADORA.	12"	10"	10"	3"	8 por enfriador
	EA-210		ser. ENFRIADOR DE GASOLINA PRODUCTO.	12"	10"	10"	3"	8

\* \* RECIPIENTE DE SERVICIO.

Tabla B.5 - Continuación

**DISTRIBUCION DE BOQUILLAS ASPERSORAS  
SISTEMA DE ASPERSION DIRECTA**

SISTEMA ASPERSION	EQUIPO		SERVICIO NOMBRE DEL EQUIPO	DIAMETRO ALIMENTACION GENERAL	DIAMETRO RAMAL PRINCIPAL	CABEZAL (C)		No. TOTAL DE BOQUILLAS ASPERSORAS
	CLAVE	POSICION				DIAMETRO	ANILLO (A) DIAMETRO	
SIST. VIII	CA-208, A/R		ENFRIADOR DE ACL PRODUCTO.	12"	8"	0"	3"	8
	CA-212, A/R		1er. ENFRIADOR DE NAFTA PESADA	12"	8"	0"	3"	8
	CA-211		ENFRIADOR DE ACI PRODUCTO.	12"	8"	0"	2 1/2"	4
	P-210 A,B		BOMBA DE REFLUJO DE LA DESBUTANIZADORA.	12"	8"	2 1/2"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
	D-204	HORIZ.	ACUMULADOR DE REFLUJO DE LA DESBUTANIZADORA.	12"	8"	0"	3"	8
SIST. IX	D-310	HORIZ.	SEPARADOR DE PRELAVADO.	10"	8"	0"	4"	10
	D-311	HORIZ.	SEPARADOR DE ENDULZAMIENTO.	10"	8"	0"	4"	14
	P-312 A,B		BOMBA DE GASOLINA TRATADA.	10"	8"	0"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
SIST. X	D-320	HORIZ.	SEPARADOR DE PRELAVADO.	10"	8"	0"	3"	8
	D-321	HORIZ.	SEPARADOR 1er. ETAPA DE EXTRACCION.	10"	8"	0"	3"	8
	D-322	HORIZ.	SEPARADOR 2da. ETAPA DE EXTRACCION.	10"	8"	0"	3"	8
SIST. XI	D-323	HORIZ.	TANQUE DE ELIMINACION DE COS.	10"	6"	6"	4"	12
	PF-321	VERT.	FILTRO DE GAS L. P. TRATADO.	10"	6"	6"	2 1/2"	4
SIST. XII	P-204 A,B		BOMBA DE ACL PRODUCTO.	12"	6"	6"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
	P-202 A,B		BOMBA DE RECIRCULACION DE ACL.	12"	6"	6"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
	P-222 A,B		BOMBA DE NAFTA PESADA PRODUCTO.	12"	6"	6"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
	P-201 A,B		BOMBA DE RECIRCULACION DE NAFTA PESADA.	12"	6"	6"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
SIST. XIII	P-329 A,B		BOMBA DE GASOLINA CON DISULFUROS.	10"	4"	4"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
	D-324	HORIZ.	SEPARADOR DE DISULFUROS / SOSA.	10"	4"	4"	2"	3
SIST. XIV	FEED PUMPS 1,2		BOMBA DE ALIMENTACION DE GASOLEOS A PROCESO.	12"	3"	3"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
SIST. XV	P-401 A,B		BOMBA DE HIDROCARBUROS RECUPERADOS.	10"	8"	4"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
	REC. SERV# 1	HORIZ.	TANQUE DE DESFOGUE ACIDO.	10"	8"	6"	3"	8
	REC. SERV# 2	HORIZ.	TANQUE DE DESFOGUE DE ALTA.	10"	8"	6"	3"	8
	REC. SERV# 3	HORIZ.	TANQUE DE DESFOGUE DE MEDIA.	10"	8"	6"	3"	8
	BOMB. SERV# 1 - A,B		BOMBA DE DESFOGUE DE ACIDO.	10"	8"	4"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
	BOMB. SERV# 2 - A,B		BOMBA DE DESFOGUE DE ALTA.	10"	8"	4"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
	BOMB. SERV# 3 - A,B		BOMBA DE DESFOGUE DE MEDIA.	10"	8"	4"	1 1/2" Por cada bomba	4 2 por bomba
SIST. XVI	C-201		COMPRESOR DE GAS HUMEDO.	12"	6"	6"	2 1/2"	10
SIST. XVII	D-301	HORIZ.	SEPARADOR LPG-DEA.	10"	2"	2"	1 1/2"	2

# RECIPIENTES DE SERVICIO.

\* BOMBAS DE SERVICIO.

NOTA: EL DIAMETRO DE LA ALIMENTACION GENERAL SE CONSIDERA QUE ES EL DE LA TOMA DE LA VALVULA AUTOMATICA.

### **8.2.3) Distribución de Hidrantes, Monitores y Tomas para Vehículo Contra Incendio:**

De acuerdo con el PLG de la Planta de Desintegración Catalítica, tenemos dentro del anillo principal, dos líneas de seccionamiento o líneas de alimentación general que pasan (enterradas) por debajo de los rack's de tuberías. Así pues, de acuerdo con la figura 8.6, tenemos tres anillos dentro del anillo principal. Siguiendo los criterios de diseño al respecto (inciso III:5.3 del capítulo 5), se pide que en cada uno de estos anillos se tenga un máximo de 12 hidrantes y/o monitores. También se contempla que el distanciamiento entre éstos dispositivos no debe ser mayor a 30 metros (inciso III.7.8 del capítulo 5).

Así pues, la distribución de los monitores se hace considerando en primer término, el apoyo de los demás equipos que no tengan sistemas de aspersión como torres o columnas y que presenten riesgo importante de incendio. Estos mismos monitores también sirven de apoyo para otras secciones del proceso y se permite que haya traslape entre las áreas protegidas por cada uno de estos monitores, dependiendo de la magnitud del riesgo de incendio. También se considera la instalación de hidrantes en aquellas áreas o zonas de la planta donde el acceso a vehículos contra incendio o donde el área de protección de los monitores no llegue a ser efectiva. También se considera para la instalación tanto de los monitores como de los hidrantes, el "efecto de apantallamiento" que pueden presentar las torres o estructuras con alturas muy grandes.

La instalación de tomas para vehículo contra incendio, se hace considerando las zonas o puntos de los alrededores de la planta que presenten caminos pavimentados o zonas de fácil acceso para los vehículos contra incendio y que éstos puedan complementar a los sistemas fijos de protección contra incendio en el lugar del incidente.

El desarrollo de los puntos anteriores, se puede visualizar en el Plano del Sistema Contra Incendio para la Planta de Desintegración Catalítica (PS-001). En éste también se presenta la localización y distribución de los extintores portátiles. En el Diagrama de Detalles (PS-002) se presentan las características principales y la forma en la que van colocados los anillos, aspersores, monitores, hidrantes y tomas para vehículos contra incendio en los distintos equipos y/o zonas del proceso a proteger.

### **8.2.4) Selección, Distribución y Localización de Equipos Extinguidores:**

Debido a que se tiene una alta presencia de hidrocarburos en toda la planta, el fuego más propicio a presentarse es tipo B, aunque puede también presentarse mezclado con fuego clase C (por ejemplo, el de los motores de accionamiento de las bombas de proceso). Así, los extinguidores más adecuados a usar serán de Polvo Químico Seco (PQS) base sodio. De acuerdo con el inciso V.1.5 del capítulo 5, se prefieren extinguidores que no tengan un peso mayor a 20 libras, estos extinguidores presentan un valor de sus unidades de capacidad (UC) igual a 20. Es importante mencionar, que para fines de cálculo de éstos equipos, no se considera toda el área de la planta, ya que si esto se hace, el número de extinguidores sería muy alto. En cambio, se calculan las áreas de las zonas de la planta que presenten una mayor cantidad o densidad superficial de equipos con riesgo de incendio.

El número de extinguidores a usar se determina a partir de la expresión 2 del capítulo 4:

$$\text{No. Extinguidores} = \text{UR} / \text{UC} \dots(26)$$

(teóricos)

Donde :

UC = Unidades de capacidad, para extinguidores (PQS) base sodio, UC=20.

UR = Unidades de riesgo.

Para riesgo grave en fuegos tipo B (tabla 4.3 del capítulo 4), el valor de las unidades de riesgo se determina a partir de la expresión:

$$\text{UR} = (\text{Área Superficial a Proteger}) 0.303 \dots(27)$$

Sin embargo, de acuerdo con el criterio V.1.6 del capítulo 5, que contempla el uso de extinguidores de apoyo, el número de extinguidores calculados de esta manera, se modifica. Se considera el uso de extinguidores de apoyo de PQS base sodio de 350 libras, con un valor en sus unidades de capacidad (UC) de 80, por lo que la determinación real del número de extinguidores de 20 libras se determina a partir de la expresión 28:

$$\text{No. extinguidores} = [\text{UR} - \text{N}(80)] / \text{UC} \dots(28)$$

Donde:

N = Número de extinguidores de apoyo de 350 libras seleccionado..

El valor de "N" depende propiamente del tamaño de la superficie considerada, de la severidad del riesgo que se presente (Incipiente, Leve, Moderado o Grave) y de la distribución y localización que se quiera realizar de los equipos de extinción portátiles alrededor de la planta (10).

La tabla 8.6, presenta la división de las áreas a proteger y el número de equipos de extinción portátiles a usar en cada una de éstas. Las áreas a proteger se consideran en forma cuadrada o rectangular. La localización (o límites) de estas áreas es aproximada, y se hace en función de las coordenadas manejadas en el Plano del Sistema Contra Incendio de la Planta (PS-001):

Tabla 8.6 : Determinación del número de extinguidores a utilizar.

Area	Localización (Coordenadas aproximadas)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Unidades de Riesgo (UR)	Extinguido- res de Apoyo	Extinguido- res de 20 lbs.
Area 1	E-85, E-100 N-45, N-63	260	78	No se consideran	4*
Area 2	E-55, E-70 N-63, N-108	670	201	1	6*
Area 3	E-87, E-107 N-05, N-117	2365	709.5	3	24*
Area 4	E-42, E-55 N-42, N-108	940	282	2	6
Area 5	E-55, E-60 N-05, N-42	355	106.5	1 (adicional)*	6
Area 6	E-32, E-42 N-78, N-108	385	115.5	1	4
Area 7	E-32, E-42 N-05, N-45	455	136.5	1	4
Area 8	E-53, E-68 N-118, N-140	No se considera riesgo importante de fuego, pero se colocarán 4 extinguidores de 20 lbs adicionales.			
Area 9	E-00, E-40 N-148, N-180	1050	315	2	8
Area 10	E-17, E-52 N-00, N-118	2190	657	3	22*
Area 11	E-118, E-178 N-90, N-106	840	252	1	10*
Area 12	E-107, E-178 N-118, N-143	1706	511.8	2	18*
Area 13	E-60, E-80 N-147, N-167	466	139.8	No se consideran	6*
Area 14	E-17, E-28 N-120, N-155	755	226.5	1	8*
<b>TOTAL:</b>				<b>18</b>	<b>130</b>

\*: Estos extintores se puede colocar sobre varias de las plataformas de los equipos o en cada descanso de las torres.

La localización y distribución de los extintor de 20 libras. Se hará sobre los pilotes de los racks preferentemente y de manera escalonada o alternada, de acuerdo a como se representa en la figura 8.8.

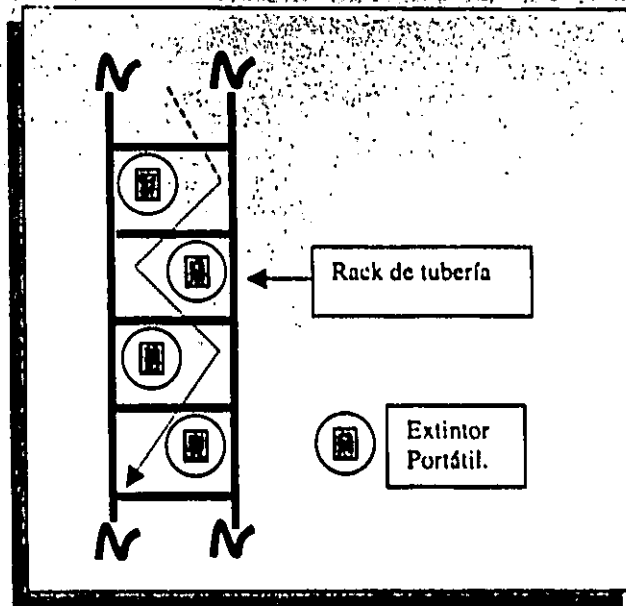


Figura 8.8 : Distribución escalonada de extintores portátiles sobre el rack de tubería.

El número de extintores a usar se recomienda que sea con número par, para poder dar simetría a la localización y distribución de éstos, y que se cumpla en todo momento, con la relación siguiente (ecuación 1 del capítulo 4):

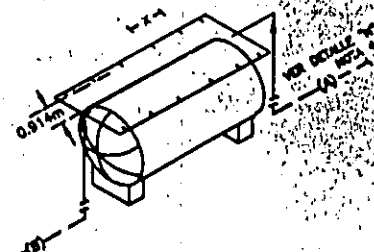
$$\text{Unidades de Capacidad del Extinguidor(es)} > \text{Unidades de riesgo.}$$

Los extintores de apoyo pueden ir también colocados debajo del rack de tubería (si se tiene espacio), pero de acuerdo con el criterio VI.8.6 inciso 4 del capítulo 5, deben ser colocados preferentemente en otras áreas de proceso más seguras de forma tal, de que en caso de que se presente algún incidente, no queden bloqueados y se puedan utilizar para atacar al conato de incendio. Varios de los extinguidores de 20 libras son colocados sobre los descansos o plataformas de las torres. En éstas debe de colocarse al menos un extintor. Así pues, el número de extintores puede variar de los calculados, considerando la adición de más extintores para otras torres o equipos de proceso que presenten alturas grandes.

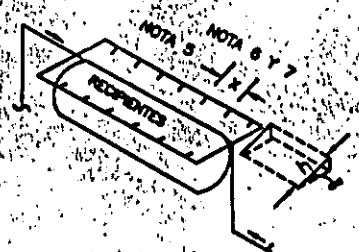
Para el caso de la subestación eléctrica, preferentemente se deben de instalar extintores portátiles de bióxido de carbono adicionales al sistema fijo de inyección de este gas. Lo mismo ocurre para el cuarto de instrumentación, además del sistema fijo, se deben de adicionar uno o dos extintores de bióxido de carbono para atacar conatos de incendio en puntos localizados dentro del cuarto.

Finalmente, para las oficinas de las instalaciones, se pueden seleccionar e instalar 1 o 2 extintores de 10 o 20 libras del tipo universal ABC.

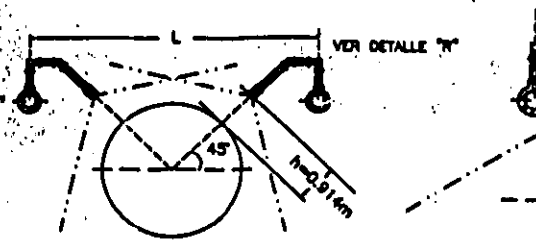




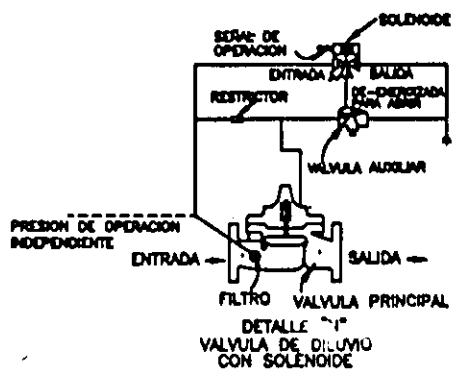
**DETALLE "A"**  
ARREGLO DE BOQUILLAS ASPERSORAS  
(PARA OTRAS APLICACIONES  
VER NOTAS 5 Y 6)



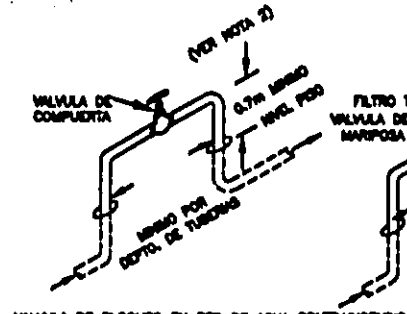
**DETALLE "B"**  
ARREGLO GENERAL  
LOCALIZACION DE BOQUILLAS  
EN RECIPIENTES HORIZONTALES



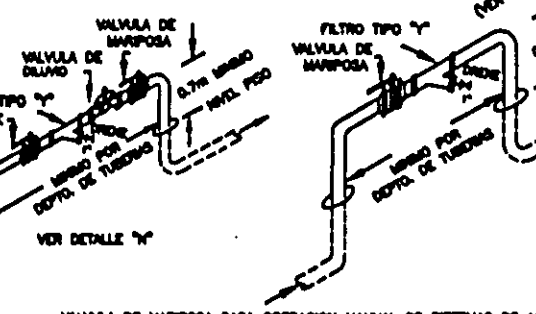
**DETALLE "C"**  
VISTA FRONTAL



**DETALLE "D"**  
VALVULA DE DILUYO  
CON SOLENOIDE

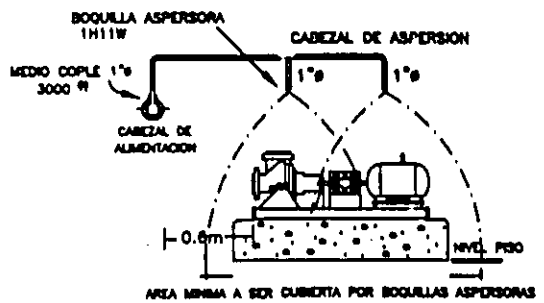


VALVULA DE BLOQUEO EN RED DE AGUA CONTRAFUEGO

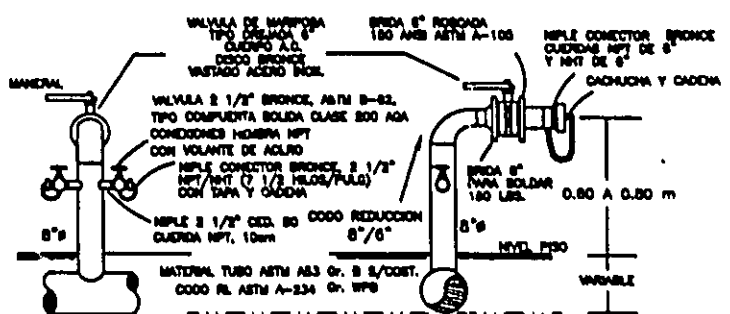


VALVULA DE MARIPOSA PARA OPERACION MANUAL DE SISTEMAS DE ASPIRACION

VALVULA AUTOMATICA DE DILUYO PARA OPERACION REMOTA DE SISTEMAS DE ASPIRACION  
**DETALLE "G"**  
INSTALACION DE VALVULAS BLOQUEO/DILUYO/L. RIPOSA

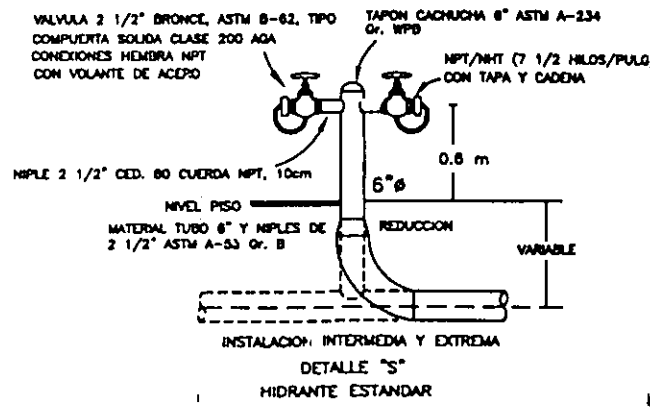


**DETALLE "H"**  
ARREGLO DE BOQUILLAS ASPERSORAS  
PARA PROTEGER BOMBAS

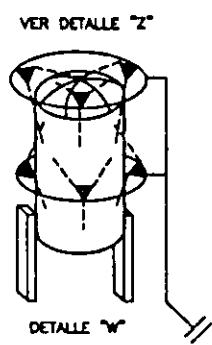


**DETALLE "I"**  
HIDRANTE PARA DAMON

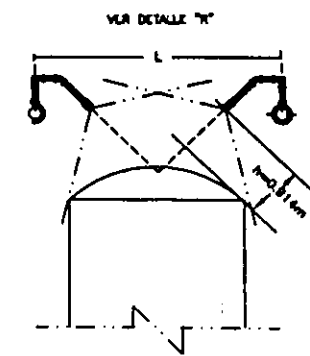
BOQUILLA REGULABLE  
CJ-B DE 31.5 LPS ELIOW



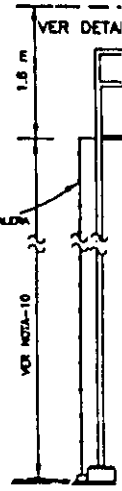
**DETALLE "J"**  
HIDRANTE ESTANDAR



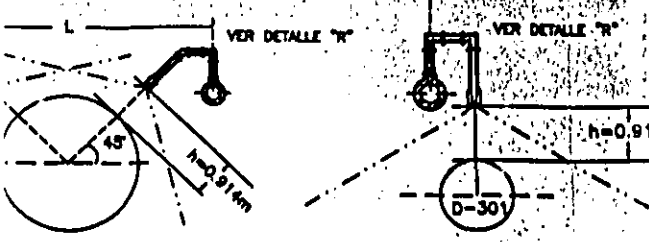
**DETALLE "K"**  
LOCALIZACION DE BOQUILLAS  
EN RECIPIENTES VERTICALES



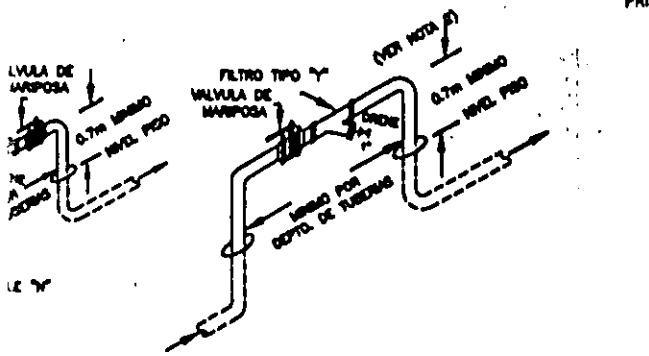
**DETALLE "L"**  
LOCALIZACION DE BOQUILLAS  
EN RECIPIENTES VERTICALES



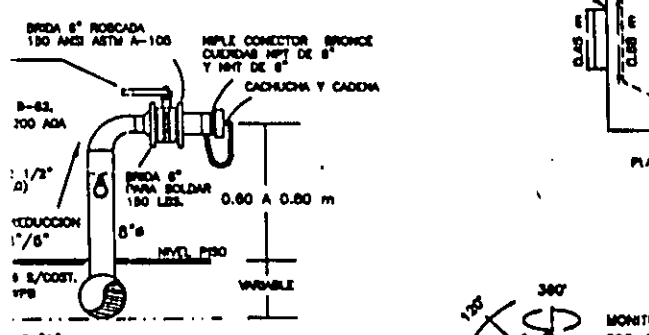
**DETALLE "M"**  
VER DETALLE "H"



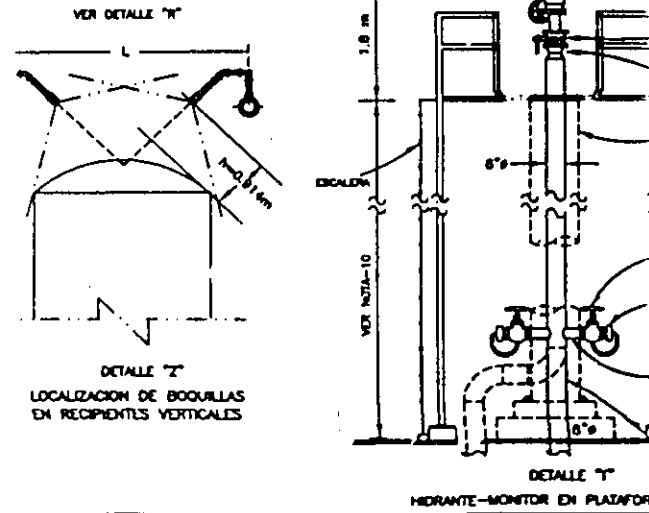
DETALLE "c" VISTA FRONTAL  
DETALLE "d" VISTA FRONTAL



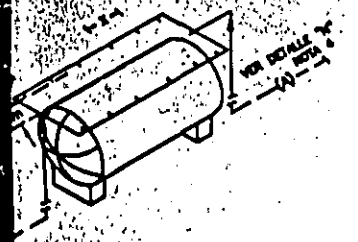
VALVULA DE MARIPOSA PARA OPERACION MANUAL DE SISTEMAS DE ASPIRACION DE SISTEMAS DE ASPIRACION  
SISTEMA DE DILUYO/MARIPOSA



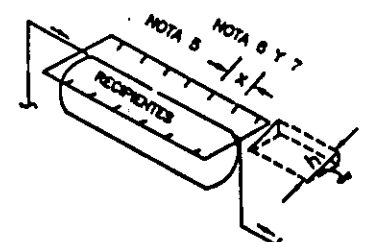
VALVULA DE MARIPOSA PARA OPERACION MANUAL DE SISTEMAS DE ASPIRACION DE SISTEMAS DE ASPIRACION  
SISTEMA DE DILUYO/MARIPOSA



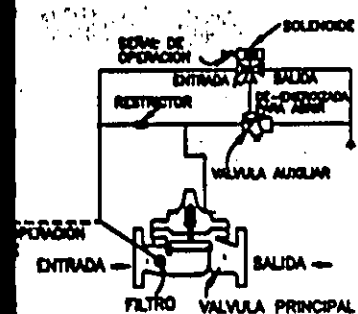
VALVULA DE MARIPOSA PARA OPERACION MANUAL DE SISTEMAS DE ASPIRACION DE SISTEMAS DE ASPIRACION  
SISTEMA DE DILUYO/MARIPOSA



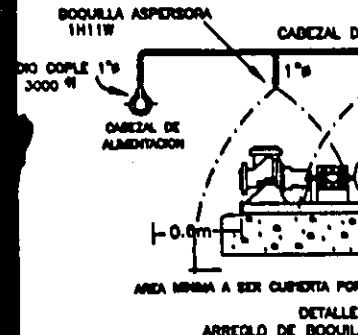
DETALLE "A"  
CONJUNTO DE BOQUILLAS ASPERSORAS PARA OTRAS APLICACIONES (VER NOTAS 5 Y 6)



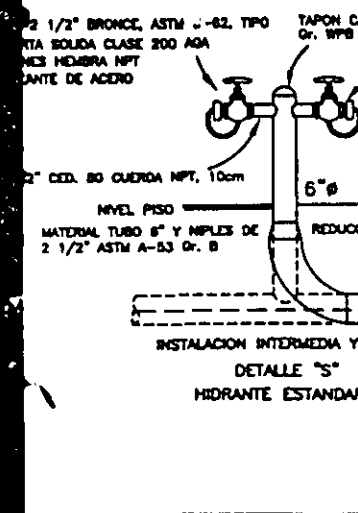
DETALLE "B"  
ARREGLO GENERAL LOCALIZACION DE BOQUILLAS EN RECIPIENTES HORIZONTALES



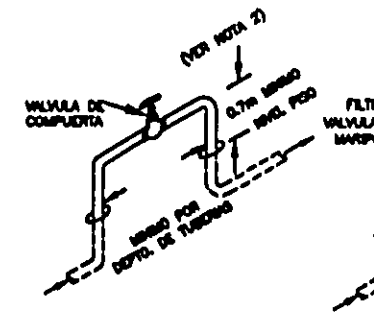
VALVULA DE MARIPOSA PARA OPERACION MANUAL DE SISTEMAS DE ASPIRACION DE SISTEMAS DE ASPIRACION  
SISTEMA DE DILUYO/MARIPOSA



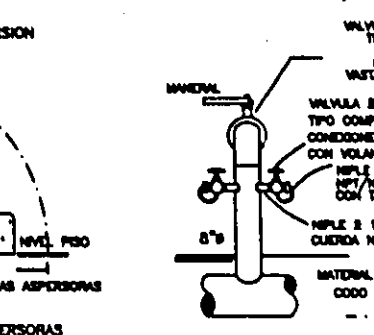
VALVULA DE MARIPOSA PARA OPERACION MANUAL DE SISTEMAS DE ASPIRACION DE SISTEMAS DE ASPIRACION  
SISTEMA DE DILUYO/MARIPOSA



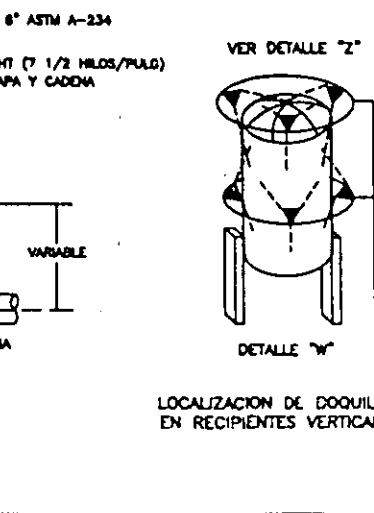
VALVULA DE MARIPOSA PARA OPERACION MANUAL DE SISTEMAS DE ASPIRACION DE SISTEMAS DE ASPIRACION  
SISTEMA DE DILUYO/MARIPOSA



VALVULA DE MARIPOSA PARA OPERACION MANUAL DE SISTEMAS DE ASPIRACION DE SISTEMAS DE ASPIRACION  
SISTEMA DE DILUYO/MARIPOSA



VALVULA DE MARIPOSA PARA OPERACION MANUAL DE SISTEMAS DE ASPIRACION DE SISTEMAS DE ASPIRACION  
SISTEMA DE DILUYO/MARIPOSA



VALVULA DE MARIPOSA PARA OPERACION MANUAL DE SISTEMAS DE ASPIRACION DE SISTEMAS DE ASPIRACION  
SISTEMA DE DILUYO/MARIPOSA





## 9.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A lo largo del desarrollo de este trabajo, se ha tratado de definir y proponer un enfoque nuevo para el diseño de los sistemas de protección contra incendio a través de la aplicación de los conceptos más básicos y principales de la Teoría y Dinámica del Fuego. De este modo, el entendimiento más elemental del comportamiento dinámico del paso de fuego incipiente a incendio debe de servir como guía para desarrollar nuevos esquemas de simulación proponiendo nuevas metodologías de identificación de riesgos y de mitigación y/o nulificación de los mismos y por lo tanto, diseñar a los sistemas de protección contra incendio de una planta de refinación bajo este nuevo enfoque. El resultado de la aplicación de este enfoque en el trabajo real de ingeniería, debe de complementar la aplicación de los criterios de diseño más comunmente aceptados o utilizados para fines propios de diseño.

Aunque en este trabajo de tesis no se diseñó al sistema de protección contra incendio de una planta de refinación aplicando en su totalidad este enfoque de la Teoría y Dinámica del Fuego, sí se hace notar el alcance que puede presentar un desarrollo y aplicación más riguroso de los términos y conceptos de estas disciplinas; ya que se permite realizar esquemas de simulación más poderosos que muchas de las técnicas actuales de análisis de riesgos en general, dado a que estas disciplinas contemplan un modelado más de carácter físico sobre la naturaleza y comportamiento dinámico o propagatorio del fuego.

Siguiendo con este mismo enfoque, esta tesis debe de servir de guía tanto al ingeniero especialista en sistemas contra incendio, como al que no está tan familiarizado con ellos, para el diseño de la red de agua contra incendio de una planta de refinación, así como de la selección y distribución de los extinguidores portátiles de la misma principalmente. La aplicación de este enfoque en el trabajo de diseño de los sistemas de protección contra incendio, puede también generalizarse a otros tipos de plantas de naturaleza química.

Por último y resumiendo las ideas principales tratadas en este trabajo, el tratamiento del problema de la protección contra incendio a una planta de refinación desde el punto de vista de sistemas, involucra el tener que recurrir al uso y aplicación de distintas y nuevas disciplinas ingenieriles; esto es, que la protección contra incendio se convierte en un problema multidisciplinario. Por ende, el tratamiento de este tema desde la perspectiva de sistemas, se hace compleja y extensa y un tanto difícil de sintetizar apropiadamente, sin embargo, este enfoque sistémico no deja de ser válido, confiable y operacionalmente fácil de entender para el estudio del problema de la protección contra incendio al caso específico de plantas de refinación.

**10.- REFERENCIAS.****1.- Referencias Bibliográficas:**

- 1.- Dow's Fire & Explosion Index Hazard Classification Guide, Sixth Ed., American Institute of Chemical Engineers, 1987.
- 2.- Drysdale, Dougal, An Introduction to Fire Dynamics, John Wiley & Sons, 1985.
- 3.- Fire Protection Handbook, Seventeenth Edition., NFPA, 1991.
- 4.- Fire Protection Manual for Hydrocarbon Processing Plants, Third Edition., Gulf Publishing, 1985. Vol. 1.
- 5.- Fire Protection Manual for Hydrocarbon Processing Plants, Third Edition., Gulf Publishing, 1985. Vol. 2.
- 6.- Gutierrez Huesca, A., Principios Básicos de la Selección de Concentrados Espumógenos en Incendios Clase B, UNAM, Fac. Química, Septiembre 1997. pp. 64-75.
- 8.- Lees, Frank P. Loss Prevention in the Process Industries, Butterworths, 1980, Vol. 1, pp. 887-920.
- 9.- Lees, Frank P. Loss Prevention in the Process Industries, Butterworths, 1980, Vol. 2, pp. 38-50.
- 10.- Manual de Procedimientos de Ingeniería de Diseño, Sección S, Seguridad Industrial, Pemex, México, 1990, pp. 27-69, 147-165.
- 11.- San Vicente Callejo, E., Prevención, protección y lucha contra el fuego. Ed. Paraninfo, Madrid, 1996, pp. 1-11.
- 12.- Tuhtar, Dinko. Protección contra el fuego y explosiones (desarrollo de sistemas), Ed. Paraninfo, Madrid, 1990. pp. 11-20, 65-93, 153-155.

**2.- Referencias Hemerográficas:**

- 13.- Chandnani, M. K., Design HPI plants for safety, Hydrocarbon Processing, November, 1981, pp. 324-352.
- 14.- Christen, P.; Bohneblust, H.; Seitz, S., A Methodology for Assessing Catastrophic Damage to the Population and Environment: A Quantitative Multi-Attribute Approach for Risk Analysis Based on Fuzzy Set Theory, Process Safety Progress, (Vol. 13 No.4), October, 1994, pp. 234-238.

- 15.- Currieo, Royce A., Determining Volumes of ASME Design Tanks, Chemical Engineering, April, 1993, pp. 171-172.
- 16.- Gillepsie, P. J.; DiMaio, L. R., How foam can protect HPI plants, Hydrocarbon Processing, August, 1977, pp. 111-115.
- 17.- Haessler, W., Fire Extinguishing Chemicals, Chemical Engineering, February, 1973, pp. 95-100.
- 18.- Lawson, J. R.; Quintiere, J. G., Slide Rule Estimates of Fire Growth, Fire Technology, November, 1985, pp. 267-292.
- 19.- Mallet, R., Rate your risk management plans, Hydrocarbon Processing, August, 1992, pp. 111-115.
- 20.- Smith, Richard W., Quantitative Evaluation of Fireball Hazards, Process Safety Progress, (Vol. 13 No. 2), April, 1994, pp. 83-91.
- 21.- Scheffler, Norman E., Improved Fire and Explosion Index Hazard Classification, Process Safety Progress, (Vol. 13 No. 4), October, 1994, pp. 214-218.
- 22.- Subramaniam, T.K.; Cangelosi, J. V., Predict Safe Oxygen in Combustible Gases, Chemical Engineering, December, 1989, pp. 108-113.
- 23.- Szonyi, S.; Cambon, A., A New Multipurpose AFFF/MP Extinguishing Foam with a Rheological Newtonian Behavior, Fire Technology, May 1992, pp. 123-133.
- 24.- West, Harry; Brown, L.E., Analyze fire protection systems, Hydrocarbon Processing, August, 1977, pp. 89-92.
- 25.- Woodard, A. M., How to design a plant firewater system, Hydrocarbon Processing, October, 1973, pp. 103-106.



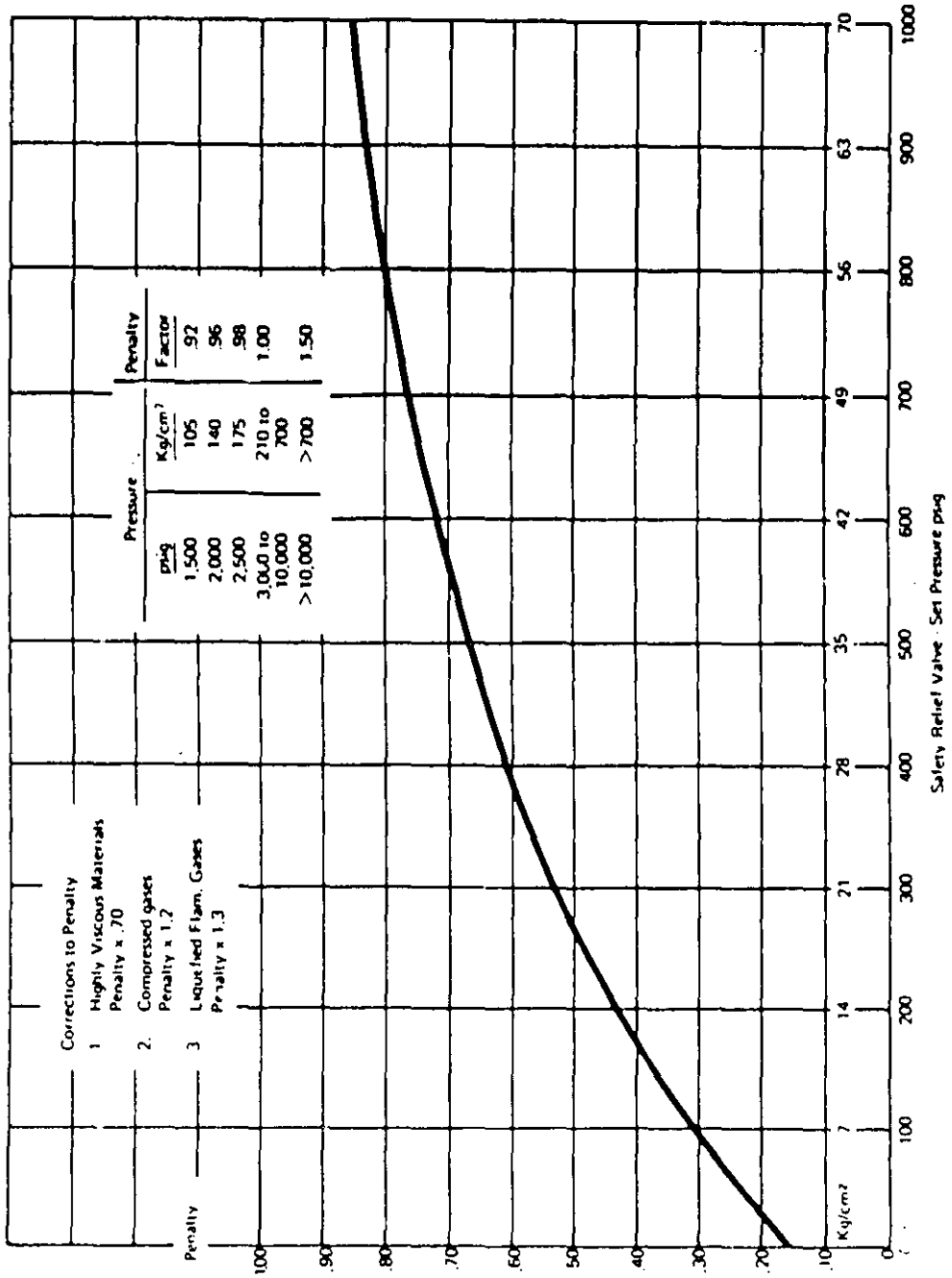
Facultad de Química.

# ANEXOS

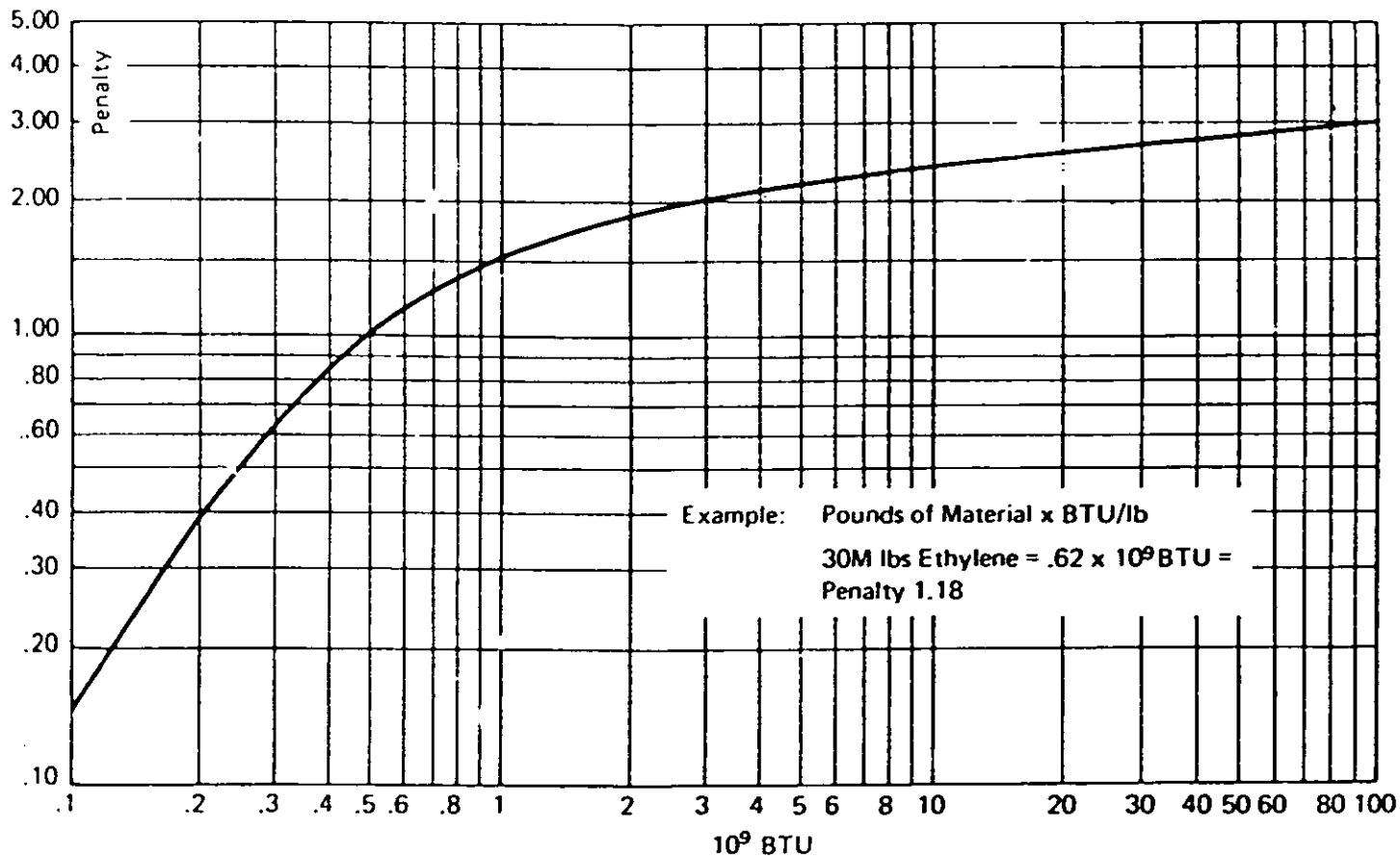


# ANEXO 1

Pressure — Relief Valve Setting for Flammable and Combustible Liquids

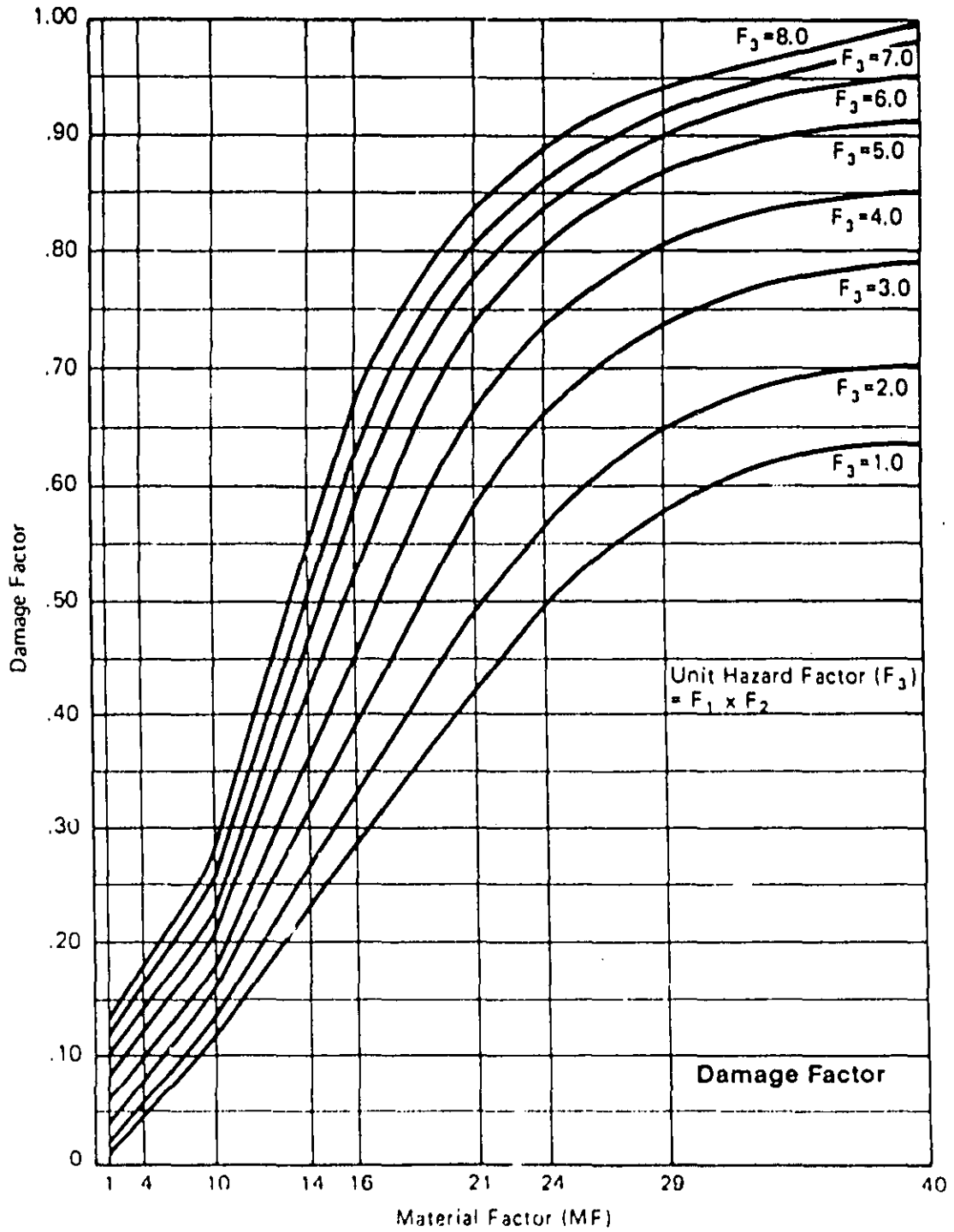


### Liquids or Gases in Process

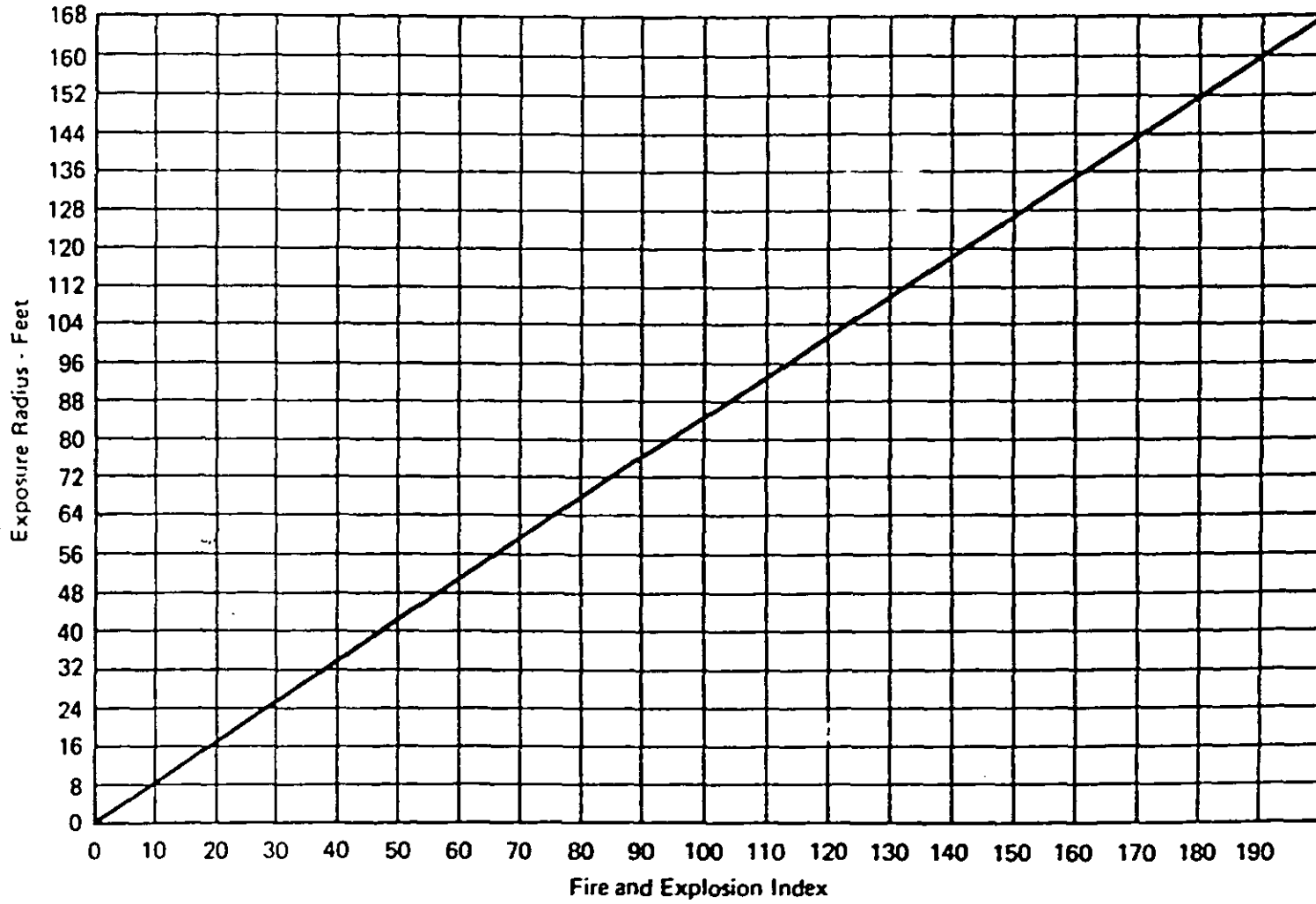


**ANEXO 2**

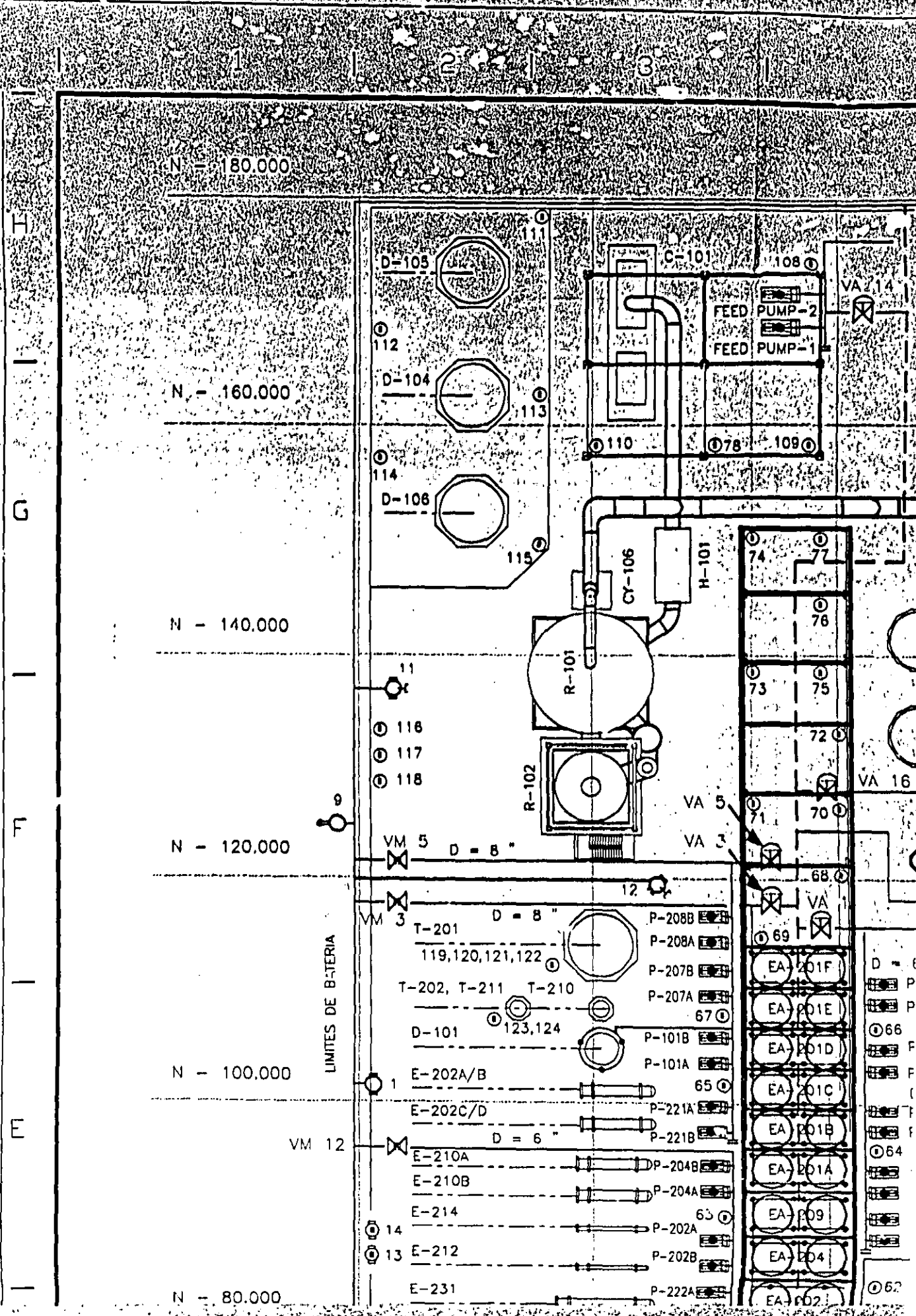
### ANEXO 3



### Area of Exposure



**ANEXO 4**



N - 180.000

N - 160.000

N - 140.000

N - 120.000

N - 100.000

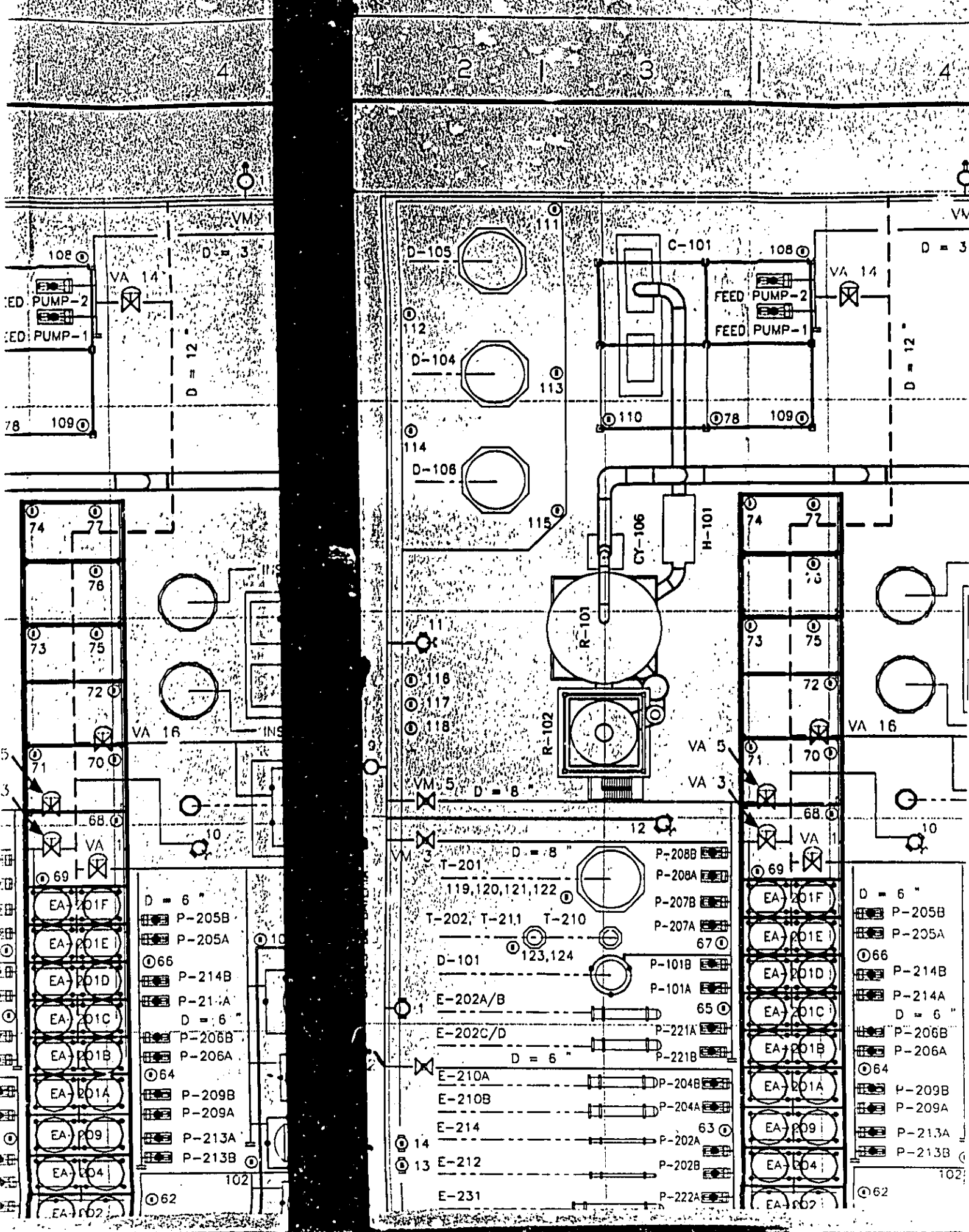
N - 80.000

LIMITES DE BATERIA

H  
I  
G  
F  
E

1 2 3

- D - (
- P
- P
- F
- F
- (
- f
- 64
- 62



- D = 6"
- P-205B
  - P-205A
  - P-214B
  - P-214A
  - P-206B
  - P-206A
  - P-209B
  - P-209A
  - P-213A
  - P-213B
- ①66
- ①64
- ①62

- D = 6"
- P-205B
  - P-205A
  - P-214B
  - P-214A
  - P-206B
  - P-206A
  - P-209B
  - P-209A
  - P-213A
  - P-213B
- ①66
- ①64
- ①62

- P-208B
- P-208A
- P-207B
- P-207A
- P-101B
- P-101A
- P-221A
- P-221B
- P-204B
- P-204A
- P-202A
- P-202B
- P-222A

- T-201
- T-202, T-211, T-210
- D-101
- E-202A/B
- E-202C/D
- E-210A
- E-210B
- E-214
- E-212
- E-231

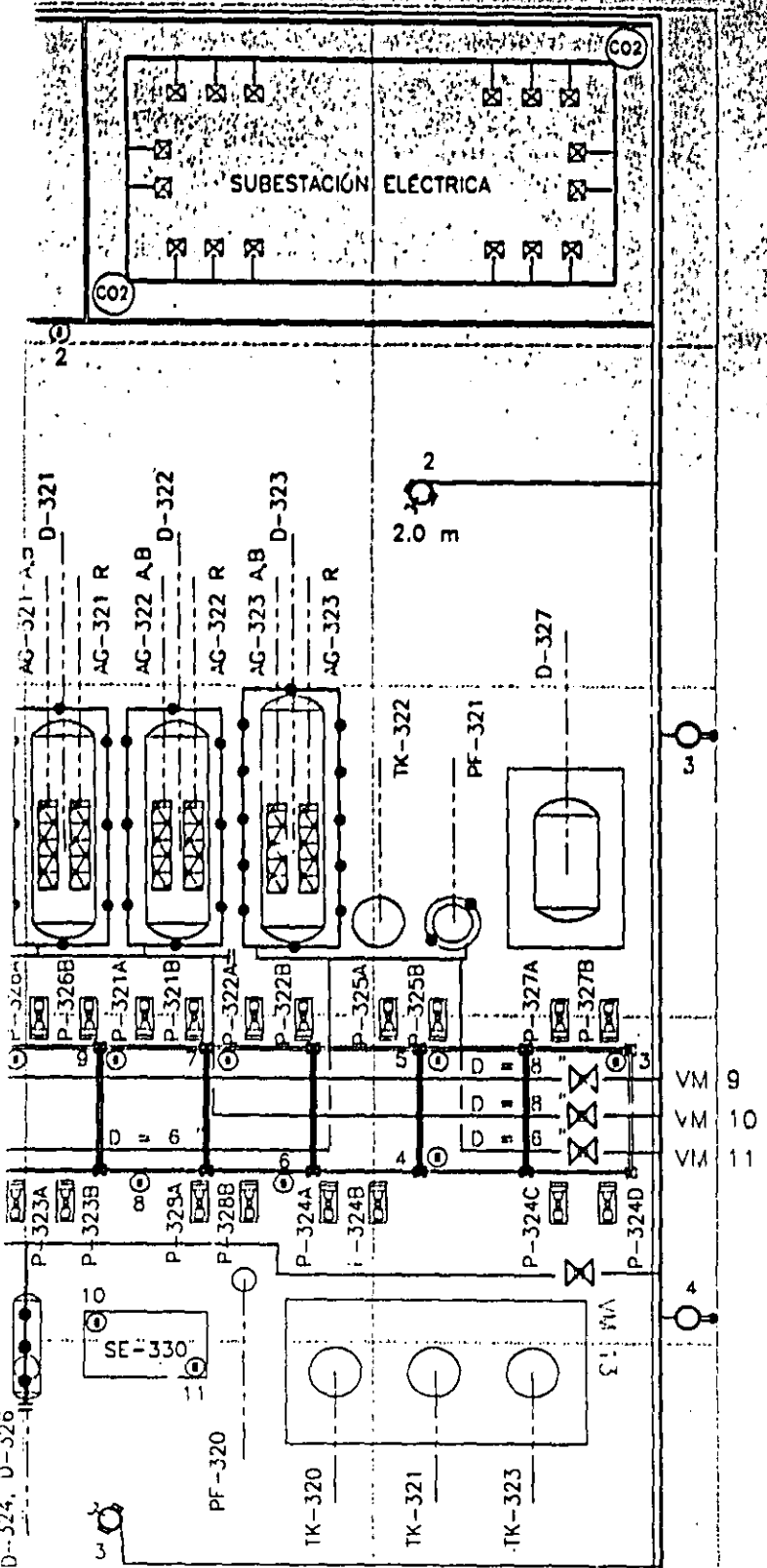








D = 12



LIMITES DE BATERIA

DIRE  
POS  
REIN

DIRE  
LOS  
DOMO

- 1.- LA LOCALIZACIÓN Y DEFINIR EL TAMAÑO DE LAS PLANTAS DE DESARROLLO DE INGENIERIA
- 2.- EL TAMAÑO Y LAS DIMENSIONES DE LAS PLANTAS DE DESARROLLO
- 3.- LA ALTURA Y PLATAFORMA DE DESARROLLO
- 4.- LOS ENFERMEDADES Y MISMO
- 5.- LOS SISTEMAS ESPECIFICOS DE INGENIERIA
- 6.- LAS VALVULAS DE INSTALACION A PROTECCION



DIRE  
LOS  
REIN

DIRE  
LOS  
DOM

OCVA

NIRS  
NIER

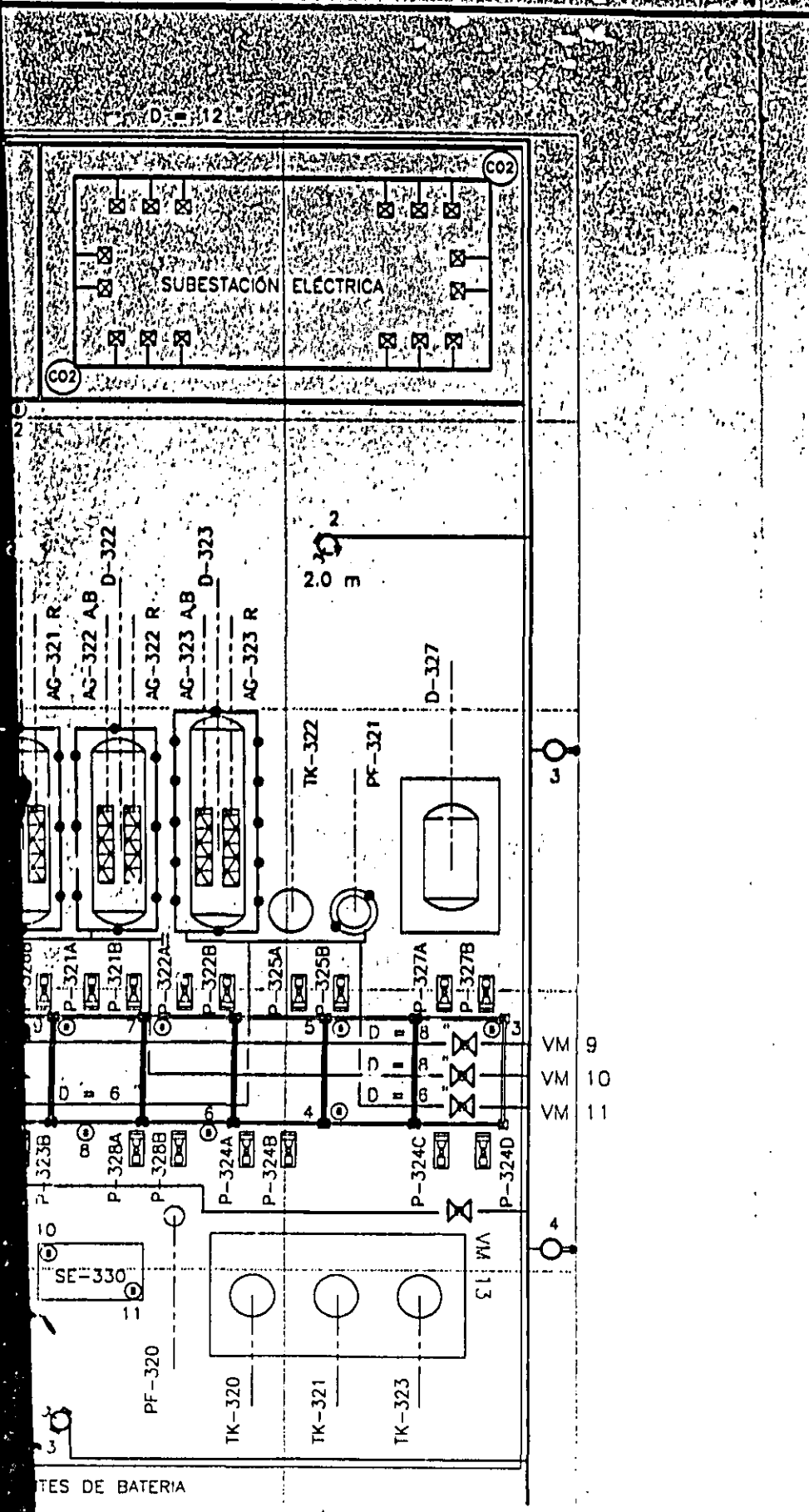
TAMA  
DIME  
ARRIU

ALTU  
LATA  
ARRID

ENF  
MOS

SIS  
ECIF  
ENIER

S VAL  
ITALM  
PROTE

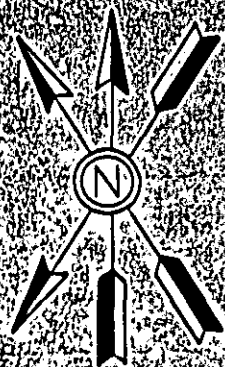


TES DE BATERIA

- 1.- LA LI  
DEFIN  
INGEN
- 2.- EL TA  
LAS I  
DESAR
- 3.- LA AI  
Y PLA  
DESAR
- 4.- LOS E  
MISMO
- 5.- LOS S  
ESPEC  
INGEN
- 6 - LAS  
INSTA  
A PRI

1 9 10

DIRECCION DE  
LOS VIENTOS  
REINANTES



DIRECCION DE  
LOS VIENTOS  
DOMINANTES

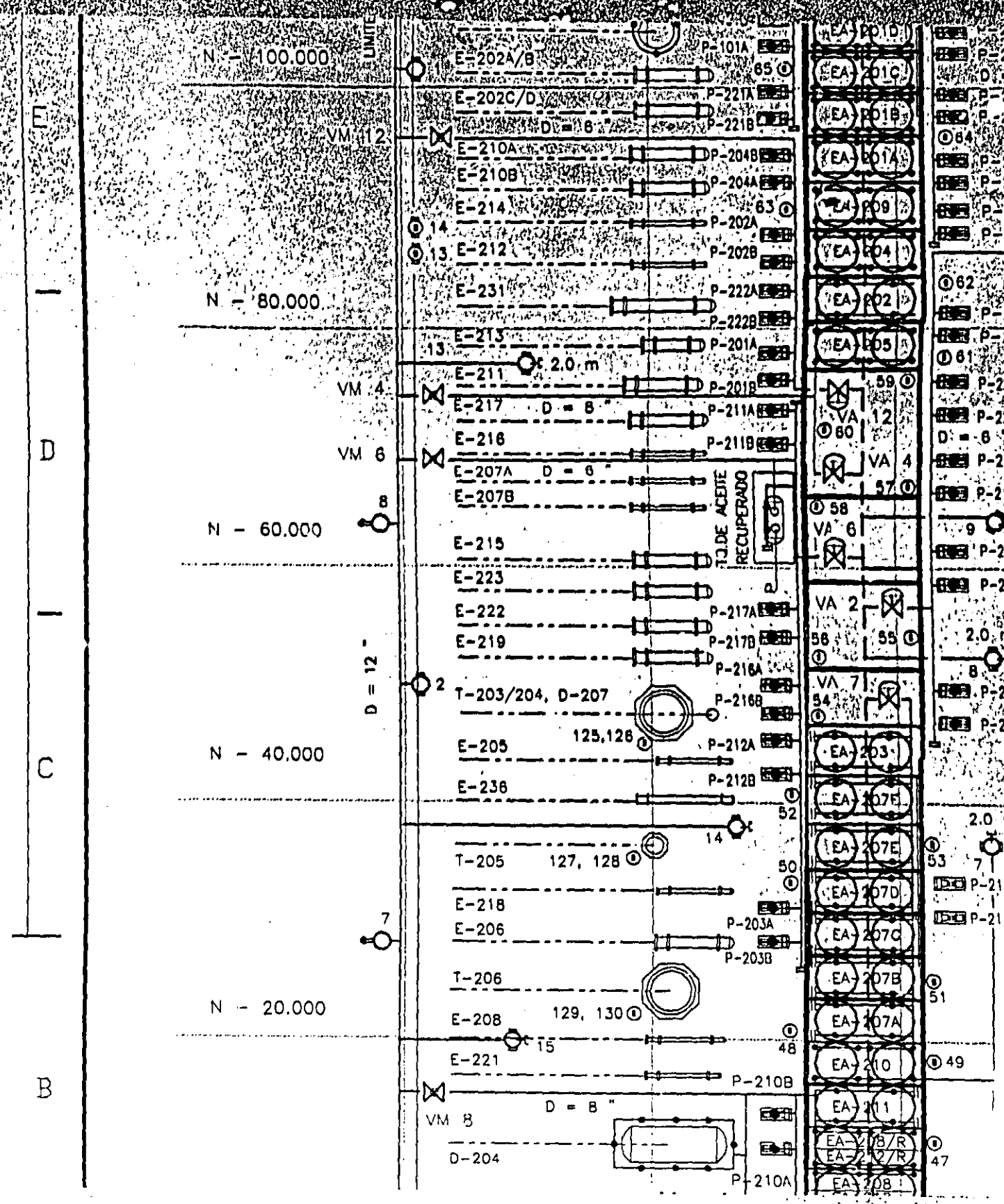
### NOTAS

- 1.- LA LOCALIZACION EXACTA DE LOS EQUIPOS DEBERA DEFINIRSE DURANTE EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA DE DETALLE
- 2.- EL TAMAÑO DE CADA UNO DE LOS EQUIPOS ES ESTIMADO, LAS DIMENSIONES REALES SE INDICARAN DURANTE EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA DE DETALLE
- 3.- LA ALTURA DE INSTALACION DE LOS EQUIPOS Y Y PLATAFORMAS DEBERA COMPROBARSE DURANTE EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA DE DETALLE
- 4.- LOS ENFRIADORES EA-208 Y EA-212 COMPARTEN LOS MISMOS VENTILADORES EN UNA MISMA SECCION
- 5.- LOS SISTEMAS DE INYECCION DE CO2 DEBERAN ESPECIFICARSE DURANTE EL DESARROLLO DE LA INGENIERIA DE DETALLE ( \* )
- 6.- LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO AUTOMATICO SE INSTALARAN LO MAS CERCA POSIBLE DE LA SECCION A PROTEGER

### SIMBOLOGIA



RED CONTRA INCENDIO.



N - 100.000

VM 112

N - 80.000

VM 4

VM 6

N - 60.000

D = 12

N - 40.000

N - 20.000

E

I

D

I

C

B

E-202A/B

E-202C/D

E-210A

E-210B

E-214

E-212

E-231

E-213

E-211

E-217

E-218

E-207A

E-207B

E-215

E-223

E-222

E-219

E-205

E-236

T-205

E-218

E-206

T-206

E-208

E-221

VM 3

D-204

P-101A

P-221A

P-221B

P-204B

P-204A

P-202A

P-202B

P-222A

P-222B

P-201A

P-201B

P-211A

P-211B

P-217A

P-217B

P-218A

P-218B

P-212A

P-212B

P-203A

P-203B

P-210B

P-210A

EA-201D

EA-201C

EA-201B

EA-201A

EA-209

EA-204

EA-202

EA-205

VA 1

VA 12

VA 4

VA 6

VA 2

VA 7

EA-203

EA-207E

EA-207E

EA-207D

EA-207C

EA-207B

EA-207A

EA-210

EA-211

EA-208/R

EA-208/R

EA-208

P-201

P-202

P-203

P-204

P-205

P-206

P-207

P-208

P-209

P-210

P-211

P-212

P-213

P-214

P-215

P-216

P-217

P-218

P-219

P-220

P-221

P-222

P-223

P-224

P-225

P-226

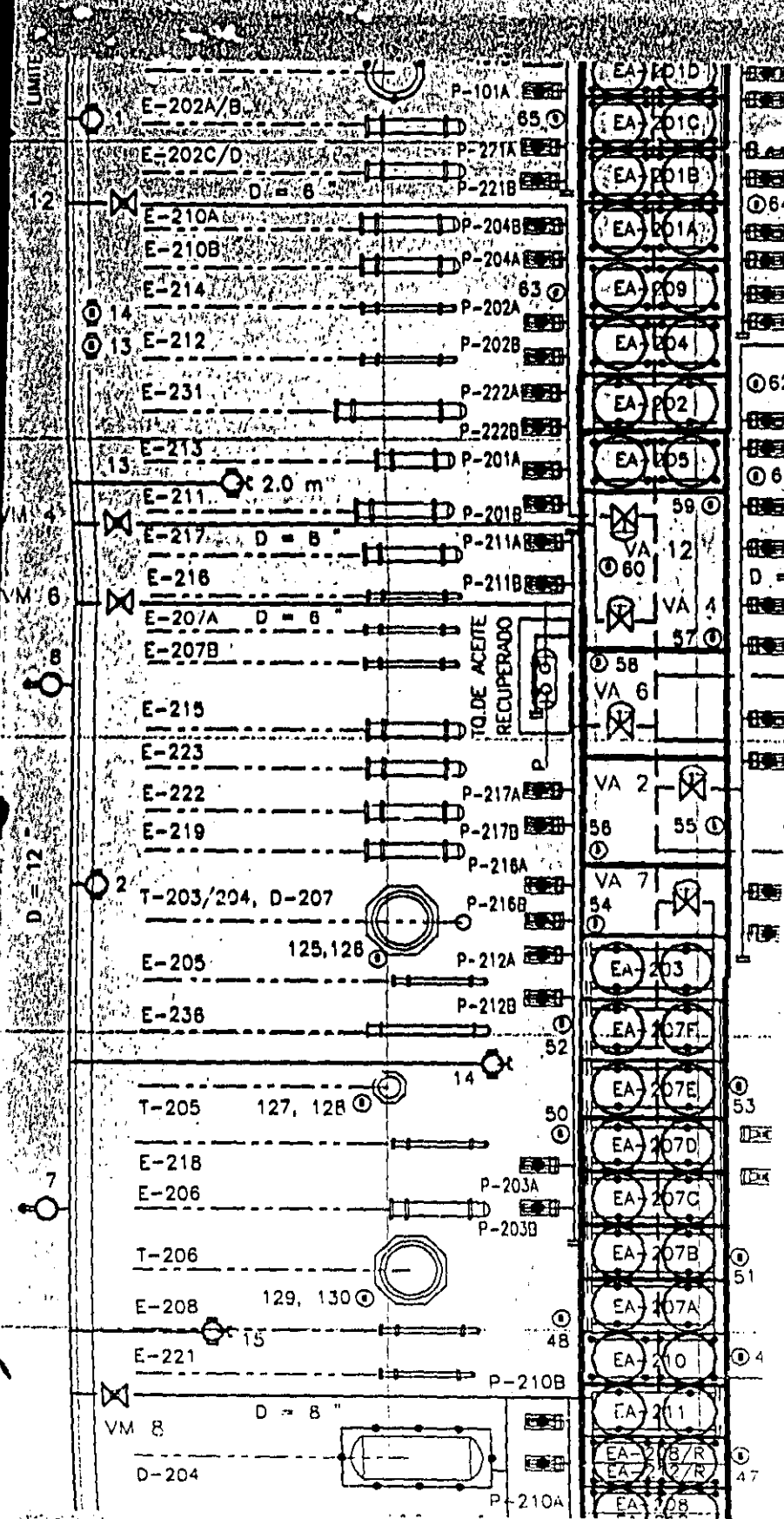
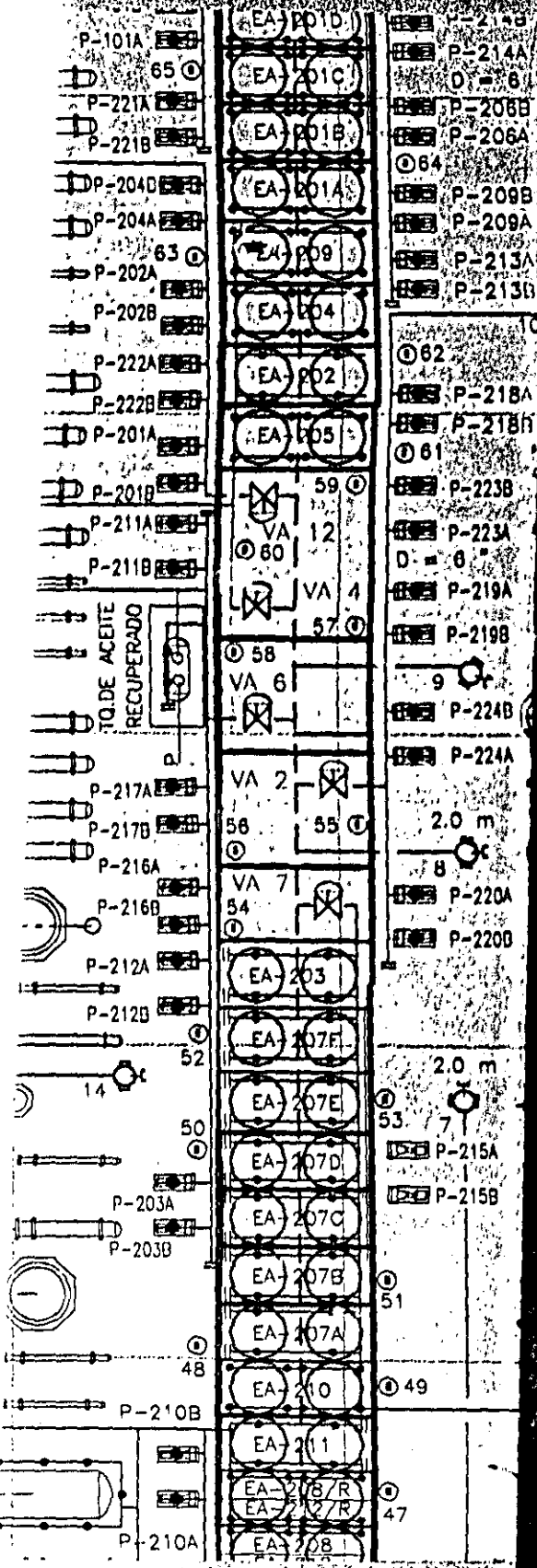
P-227

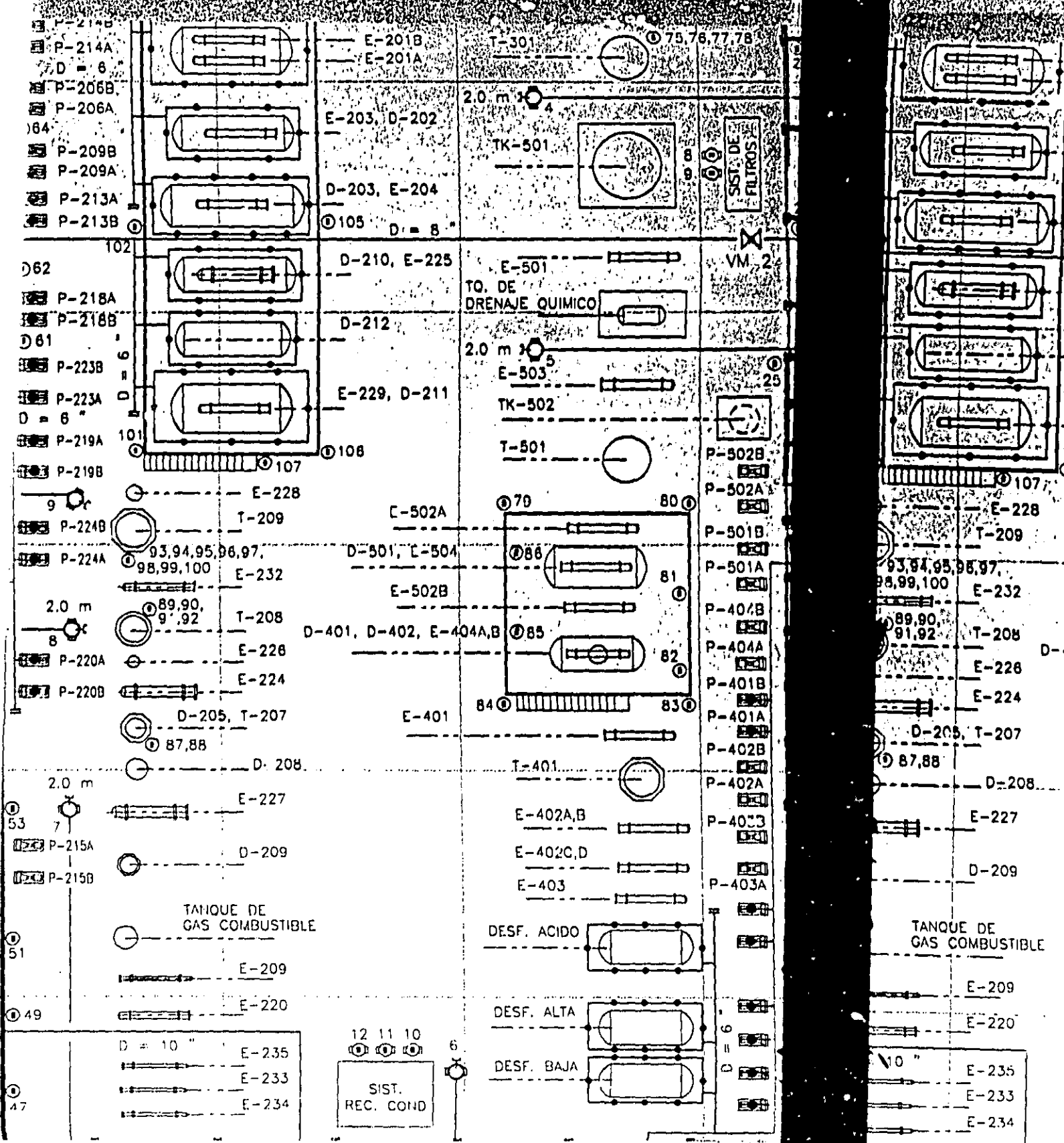
P-228

P-229

P-230







- P-214A
- D = 6
- P-206B
- P-206A
- P-209B
- P-209A
- P-213A
- P-213B

- P-218A
- P-218B
- P-223B
- P-223A
- P-219A
- P-219B

- P-224B
- P-224A
- P-220A
- P-220B

- P-215A
- P-215B

- E-235
- E-233
- E-234

- E-201B
- E-201A

- E-203, D-202

- D-203, E-204
- D = 8"

- D-210, E-225

- D-212

- E-229, D-211

- E-228
- T-209

- D-501, E-504
- E-232

- T-208
- E-228

- E-224

- D-205, T-207
- D = 208

- E-227

- D-209

TANQUE DE GAS COMBUSTIBLE

- E-209

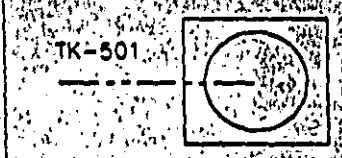
- E-220

- 12 11 10

SIST. REC. COND

- T-301
- 75, 76, 77, 78

- 2.0 m



SIST. DE FILTROS

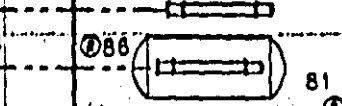
- E-501
- TQ. DE DRENAJE QUIMICO

- 2.0 m
- E-503

- TK-502

- T-501

- C-502A
- 70 80



- 86
- 81

- 85
- 82

- 84
- 83

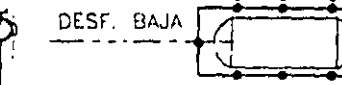
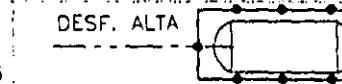
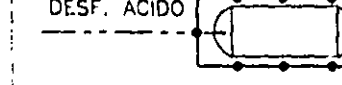
- E-401

- T-401

- E-402A,B

- E-402C,D

- E-403



- P-502B
- P-502A

- P-501B

- P-501A

- P-407B

- P-404A

- P-401B

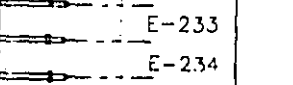
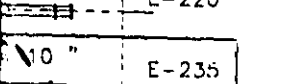
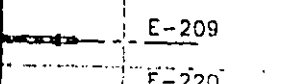
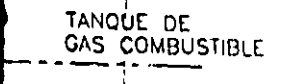
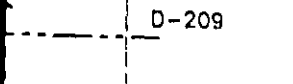
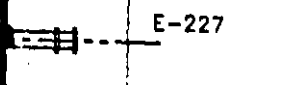
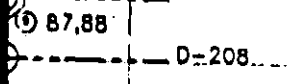
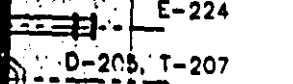
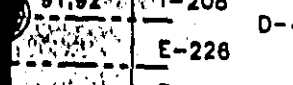
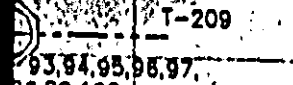
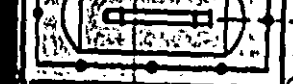
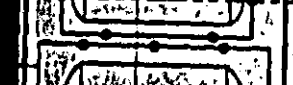
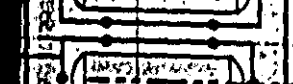
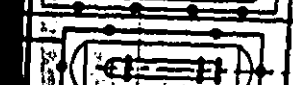
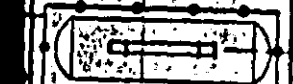
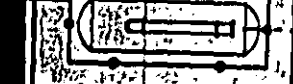
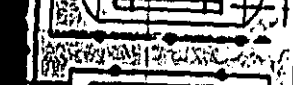
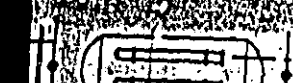
- P-401A

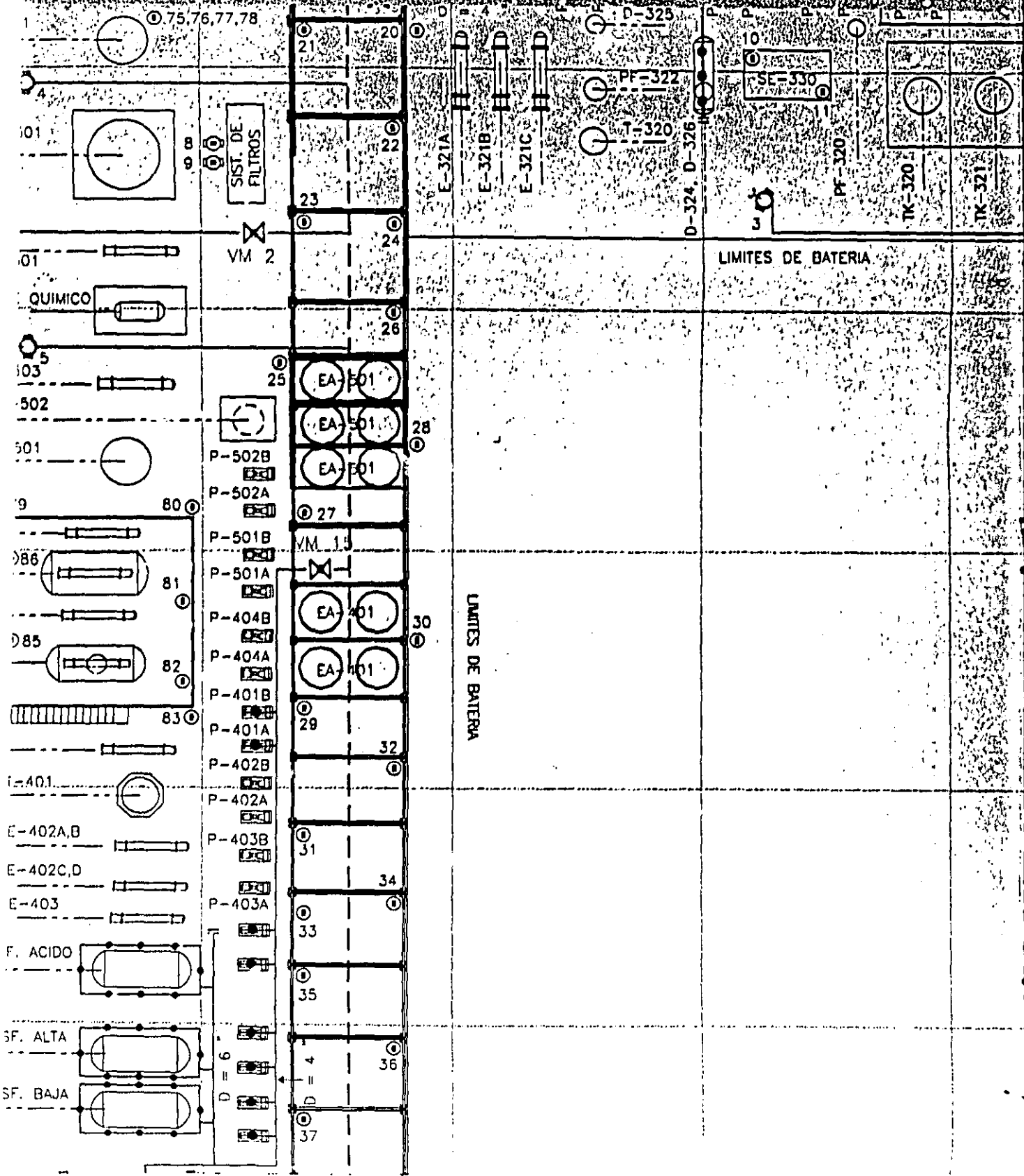
- P-402B

- P-402A

- P-403

- P-403A





75,76,77,78

SIST. DE FILTROS

VM 2

QUIMICO

P-502B

P-502A

P-501B

P-501A

P-404B

P-404A

P-401B

P-401A

P-402B

P-402A

P-403B

P-403A

F. ACIDO

SF. ALTA

SF. BAJA

D = 6

20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29  
30  
31  
32  
33  
34  
35  
36  
37

E-321A  
E-321B  
E-321C

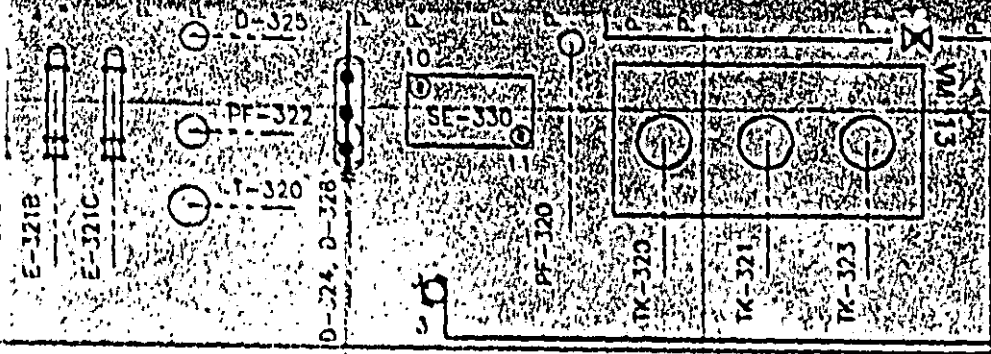
LIMITES DE BATERIA

LIMITES DE BATERIA

D-325  
PF-322  
T-320  
D-324, D-326

SE-330  
PF-320  
TK-320  
TK-321





LIMITES DE BATERIA

LIMITES DE BATERIA

D = 12

INSTALARAN LO MAS CERCA POSIBLE DE LA SECCION  
A PROTEGER

## S I M B O L O G I A



RED CONTRA INCENDIO.



SISTEMA DE INYECCION DE CO<sub>2</sub>.



EXTINGUIDOR DE POLVO QUIMICO SECO.



EXTINGUIDORES DE APOYO.



EXTINGUIDORES DE CO<sub>2</sub>.



BOQUILLA DE ASPERSION.



MONITOR DE AGUA CONTRA INCENDIO.



HIDRANTE DE AGUA CONTRA INCENDIO.



TOMA DE AGUA PARA VEHICULO  
CONTRA INCENDIO.



VALVULA DE SECCIONAMIENTO MANUAL (VM).



VALVULA DE SECCIONAMIENTO  
AUTOMATICO (VA).



INYECTORES DE CO<sub>2</sub>.

0

10

20

30

ESCALA ◻  
METRICA ◻



FACULTAD DE QUIMICA

INSTALARAN LO MAS CERCA POSIBLE DE LA SECCION  
A PROTEGER

## S I M B O L O G I A



RED CONTRA INCENDIO.



SISTEMA DE INYECCION DE CO2.



EXTINGUIDOR DE POLVO QUIMICO SECO. < 130 >



EXTINGUIDORES DE APOYO. < 18 >



EXTINGUIDORES DE CO2. < \* >



BOQUILLA DE ASPERSION. < 426 >



MONITOR DE AGUA CONTRA INCENDIO. < 15 >



HIDRANTE DE AGUA CONTRA INCENDIO. < 4 >



TOMA DE AGUA PARA VEHICULO  
CONTRA INCENDIO. < 9 >



VALVULA DE SECCIONAMIENTO MANUAL (VM). < 17 >



VALVULA DE SECCIONAMIENTO  
AUTOMATICO (VA). < 17 >



INYECTORES DE CO2. < \* >

0            10            20            30            40

ESCALA □  
METRICA □



PS-001



FACULTAD DE QUIMICA

E

—

D

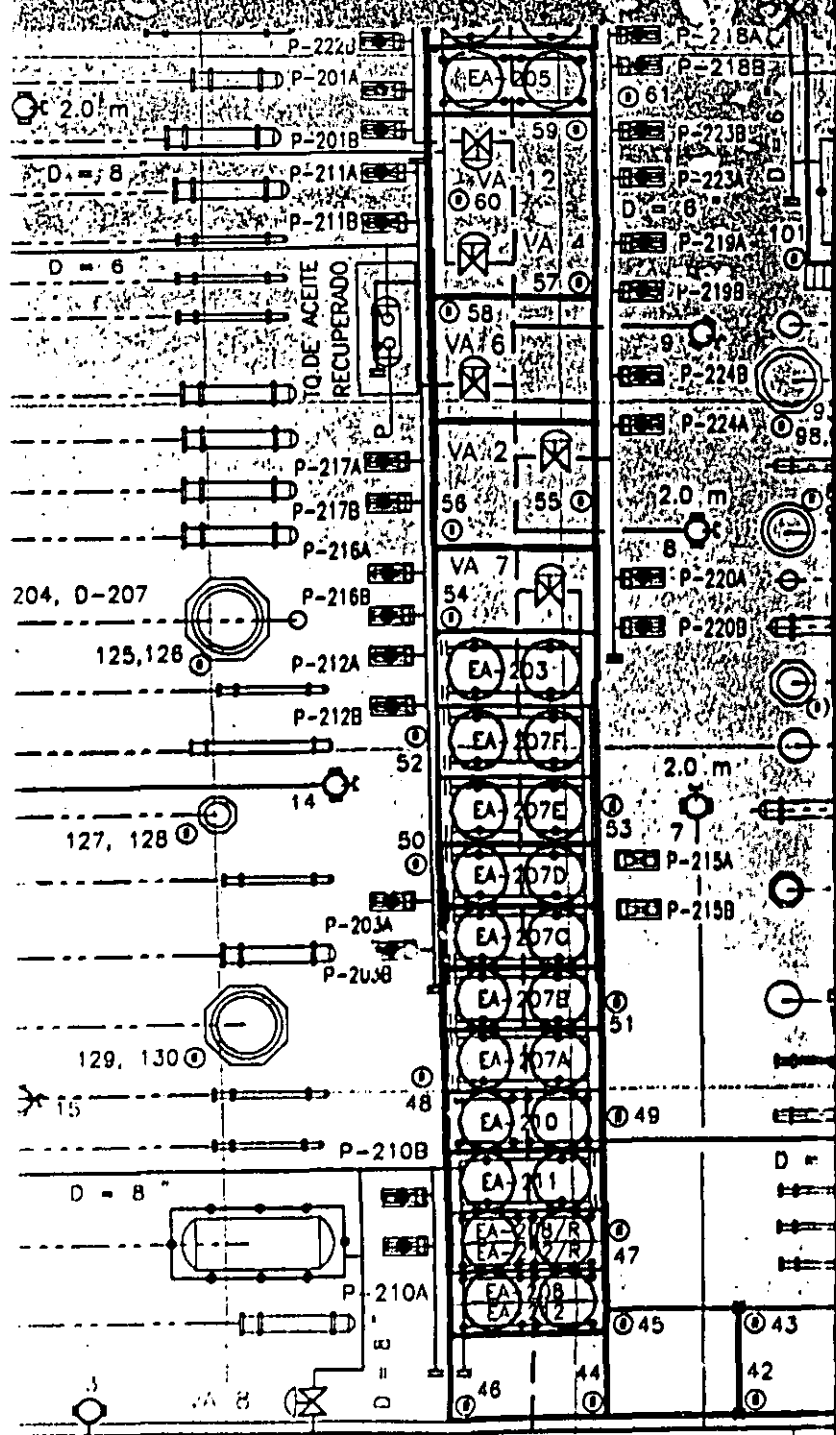
—

C

—

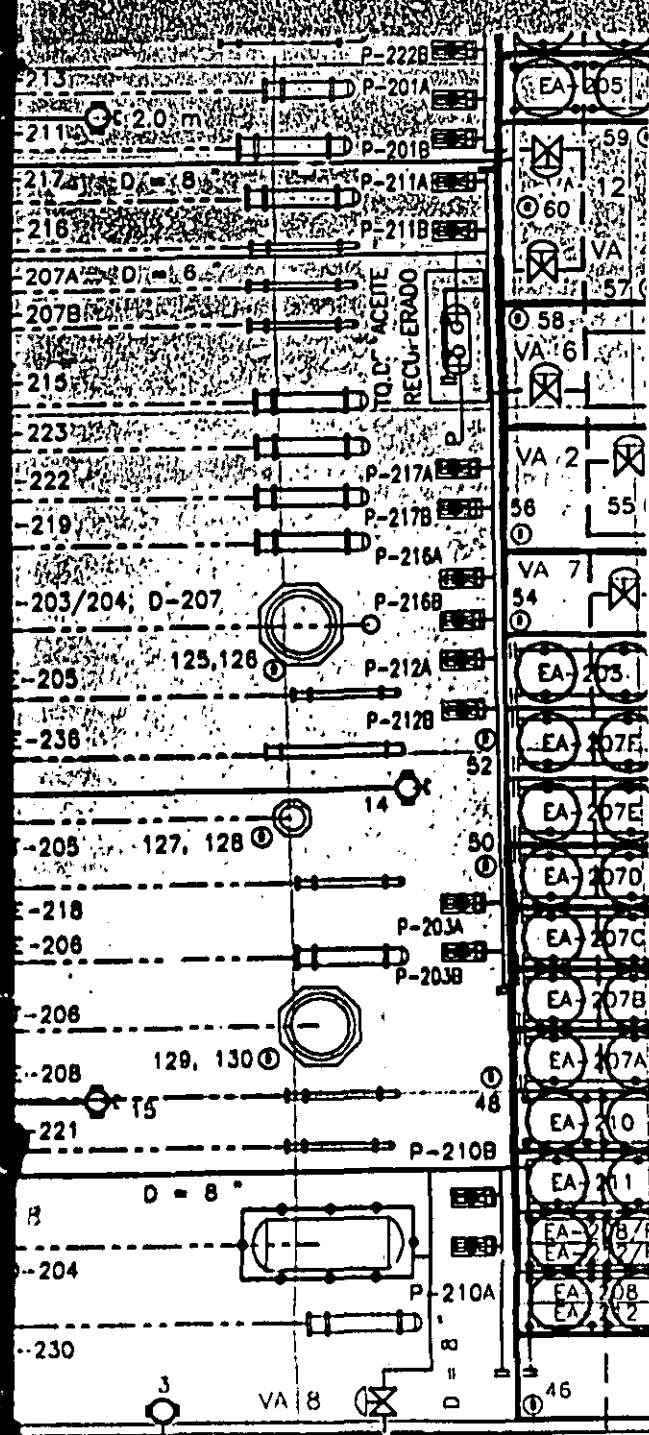
B



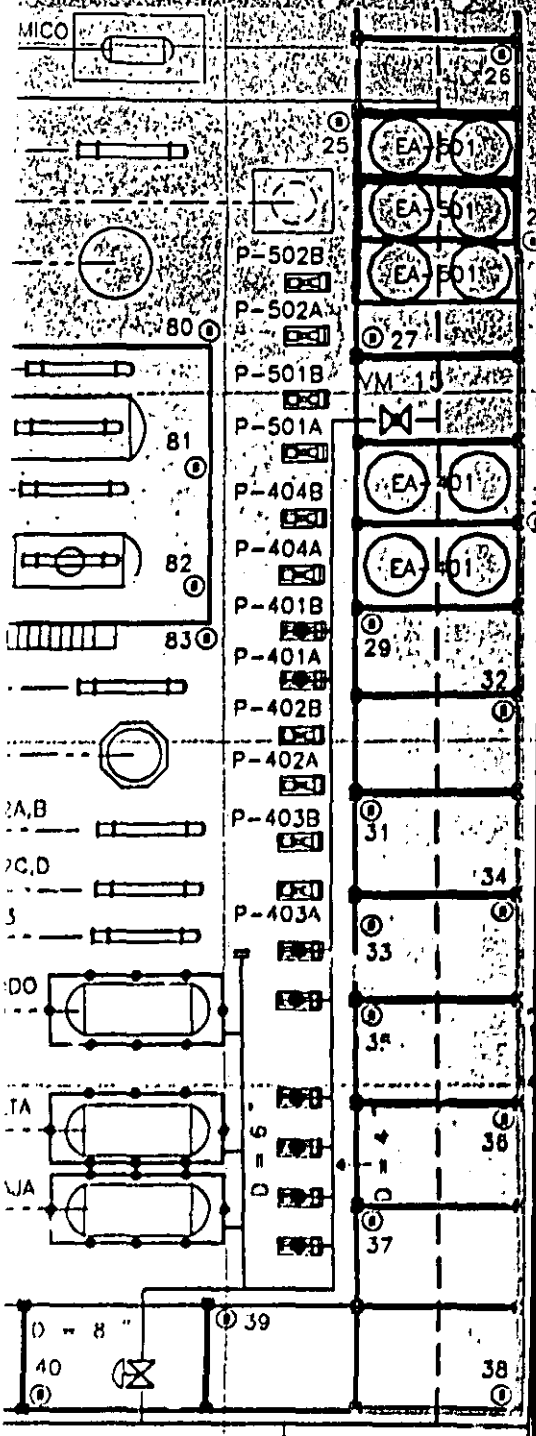


E - 2C.00C

E - 4C.00C



E - 2C.00C



VA 15

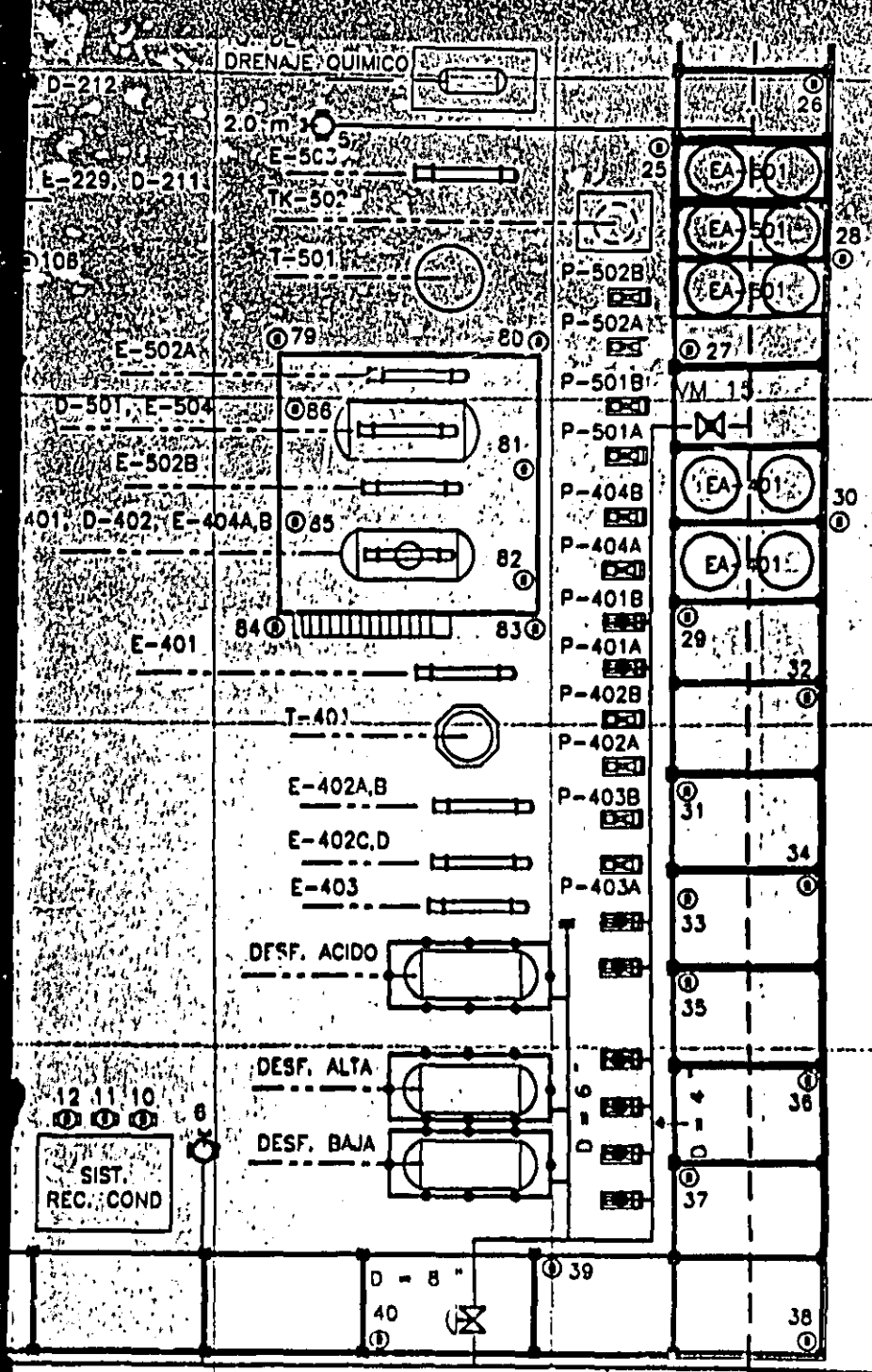
D = 8"

40

39

38

E - 100.CC0



DRENAJE QUIMICO

2.0 m<sup>3</sup>

E-229, D-211

E-503

TK-502

T-501

E-502A

D-501, E-504

E-502B

401, D-402, E-404A,B

E-401

T-401

E-402A,B

E-402C,D

E-403

DES.F. ACIDO

DES.F. ALTA

DES.F. BAJA

SIST. REC. COND

D = 8"

40

39

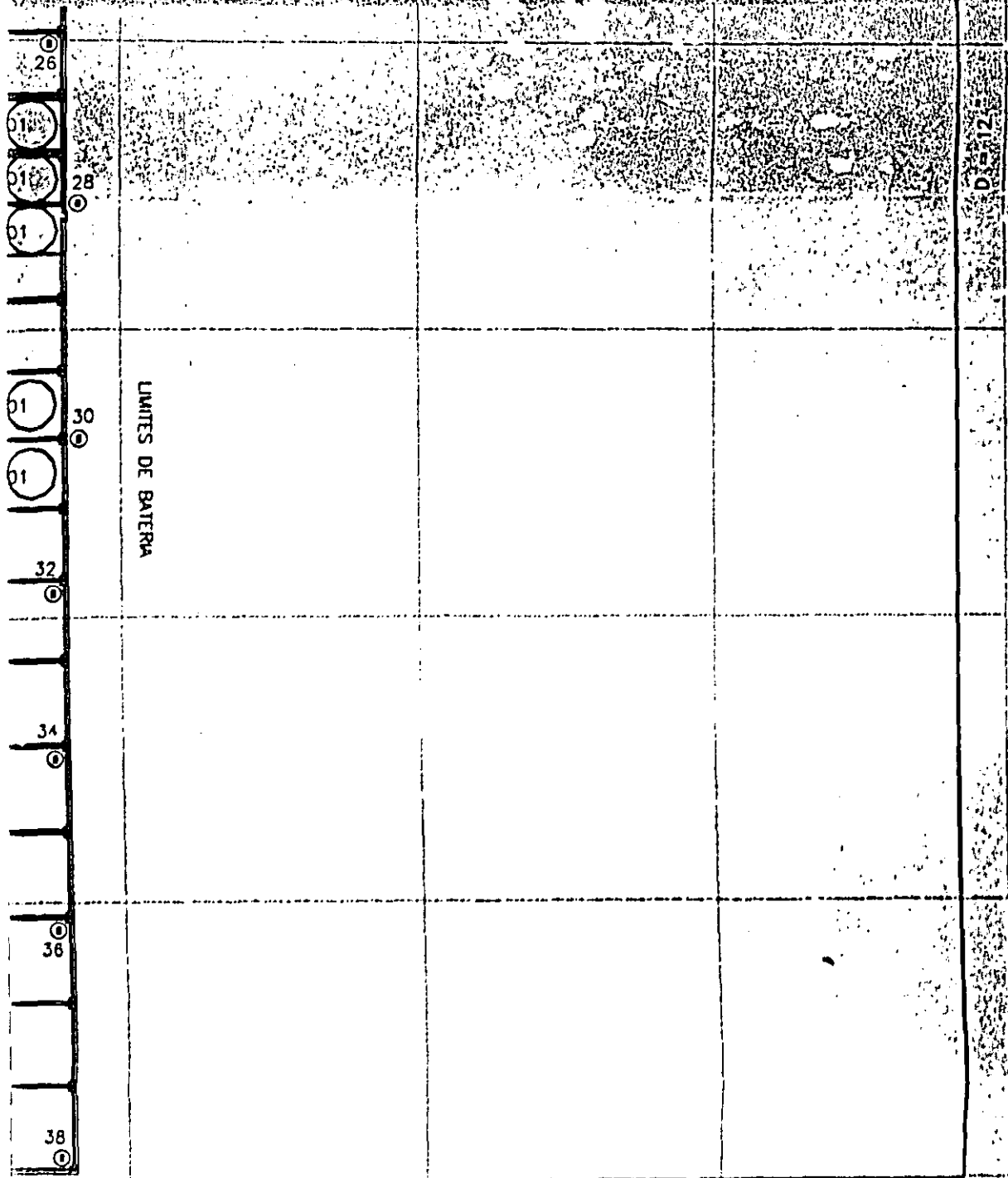
38

VA 15

E BATERIA

E - 80.000

E - 100.CC0



D = 12 "

E - 20.000

D = 12 "

E - 40.000

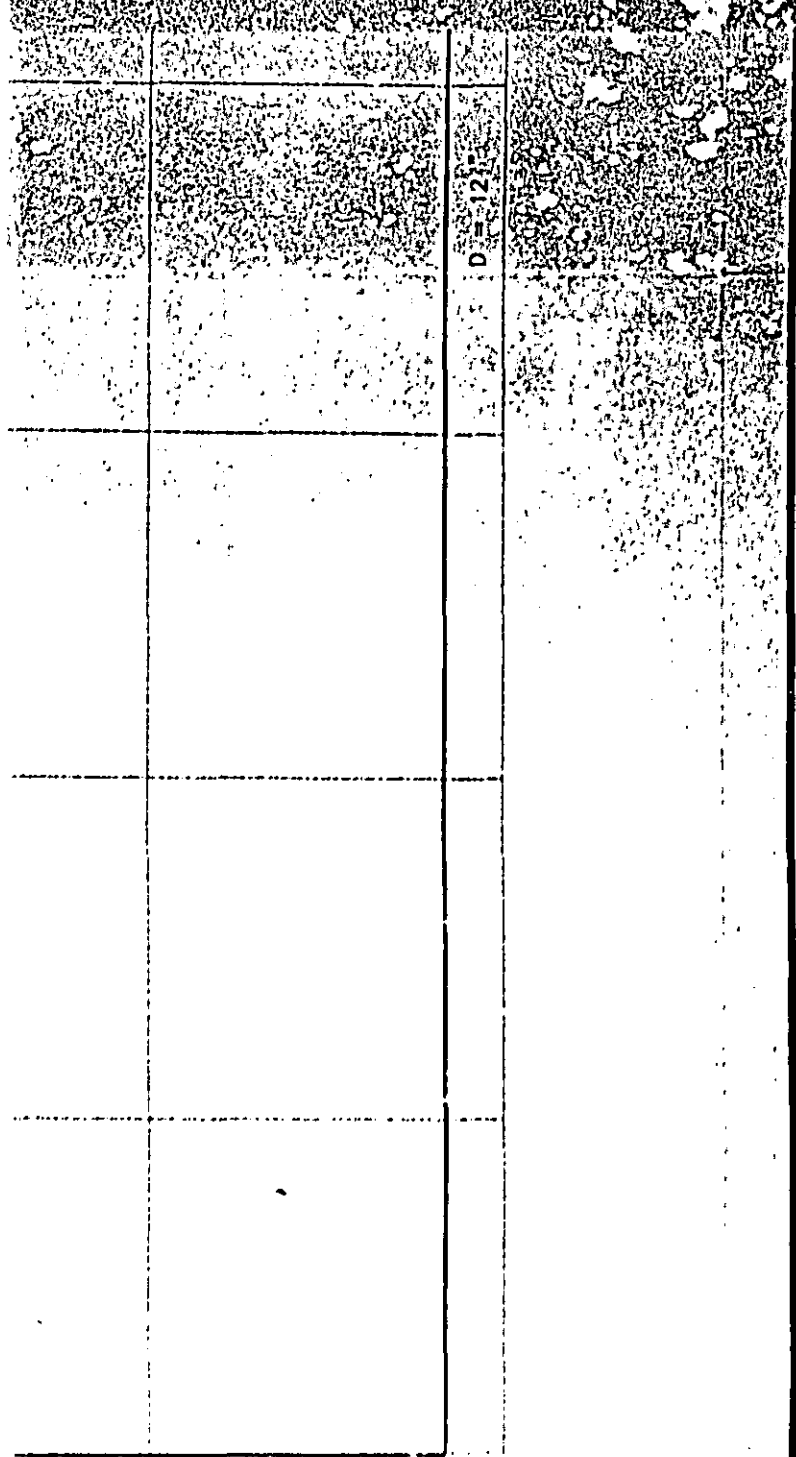
E - 160.000

E - 20.000

6












7





E - 160.000

E - 180.000

-  SISTEMA DE
-  EXTINGUIDOR DE FO
-  EXTINGUIDORES DE
-  EXTINGUIDORES DE
-  BOQUILLA DE ASPER
-  MONITOR DE AGUA C
-  HIDRANTE DE AGUA
-  TOMA DE AGUA PARA  
CONTRA INCENDIO
-  VALVULA DE SECCIO
-  VALVULA DE SECCIO  
AUTOMATICO (VA)
-  INYECTORES DE CO2

ESCALA ◻  
METRICA ◻



FACULTA

REFINERIA FRANCISCO  
SISTEMA CONTRA INCE









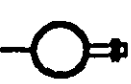



UNIVERSIDAD  
DE

ACOT. : EN M.

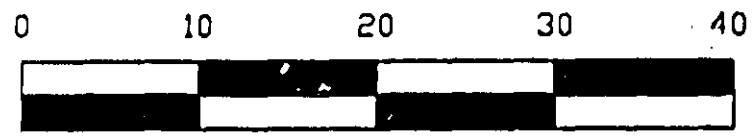
TRABAJO



SISTEMA DE INYECCION DE CO2

-  EXTINGUIDOR DE POLVO QUIMICO SECO ( 130 )
-  EXTINGUIDORES DE APOYO ( 18 )
-  EXTINGUIDORES DE CO2 ( \* )
-  BOQUILLA DE ASPERSION ( 426 )
-  MONITOR DE AGUA CONTRA INCENDIO. ( 15 )
-  HIDRANTE DE AGUA CONTRA INCENDIO. ( 4 )
-  TOMA DE AGUA PARA VEHICULO CONTRA INCENDIO. ( 9 )
-  VALVULA DE SECCIONAMIENTO MANUAL (VM). ( 17 )
-  VALVULA DE SECCIONAMIENTO AUTOMATICO (VA). ( 17 )
-  INYECTORES DE CO2. ( \* )

ESCALA ◻  
METRICA ◻



PS-00



FACULTAD DE QUIMICA

REFINERIA "FRANSCISCO I. MADERO" CD. MADERO TAMPS.  
SISTEMA CONTRA INCENDIO DE LA PLANTA FCC



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO







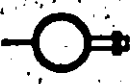



ACOT. : EN M.

TRABAJO DE TESIS

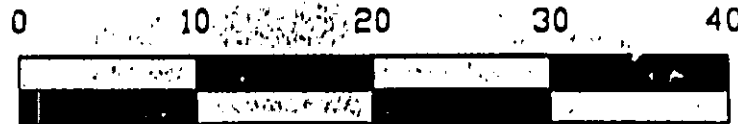
ESCALA : SIM

E - 180.000

SISTEMA DE INYECCION DE CO2

	EXTINGUIDOR DE POLVO QUIMICO SECO	( 130 )
	EXTINGUIDORES DE APOYO	( 18 )
	EXTINGUIDORES DE CO2	( * )
	BOQUILLA DE ASPERSION	( 426 )
	MONITOR DE AGUA CONTRA INCENDIO	( 15 )
	HIDRANTE DE AGUA CONTRA INCENDIO	( 4 )
	TOMA DE AGUA PARA VEHICULO CONTRA INCENDIO	( 9 )
	VALVULA DE SECCIONAMIENTO MANUAL (VM)	( 17 )
	VALVULA DE SECCIONAMIENTO AUTOMATICO (VA)	( 17 )
	INYECTORES DE CO2	( * )

ESCALA  
METRICA

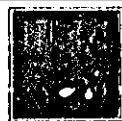


PS-001



FACULTAD DE QUIMICA

REFINERIA "FRANCISCO I. MADERO" CD. MADERO TAMPS.  
SISTEMA CONTRA INCENDIO DE LA PLANTA FCC



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

ACOT. : EN M.

TRABAJO DE TESIS

ESCALA : SIN