

00521  
138



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

**FACULTAD DE QUIMICA**

**“Análisis de Riesgos en el Área de  
Almacenamiento de Gasolina en una  
Refinería”**



**EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A**

**SAÚL RODRÍGUEZ EVANGELISTA**

*México, D.F.*

*2003*





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

# **PAGINACION DISCONTINUA**

## JURADO

Presidente	Prof. Alejandro Anaya Durand
Vocal	Prof. Jaime Medina Oropeza
Secretario	Prof. Modesto Javier Cruz Gómez
1er. Suplente	Prof. Néstor Noé López Castillo
2°. Suplente	Prof. Baldomero Pérez Gabriel

Sitio donde se desarrollo el tema:

Laboratorio E-212, Edificio E  
Facultad de Química. UNAM

Sustentante

  
Saúl Rodríguez Evangelista


Asesor del tema

  
Dr. M. Javier Cruz Gómez

Supervisor técnico

  
Ing. Ramón García Pineda

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Saúl Rodríguez Evangelista  
FECHA: 23/01/03  
FIRMA: 

## *AGRADECIMIENTOS*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México*

*Gracias por darme la oportunidad de ser parte de su comunidad y por todos los conocimientos que se me dio, dentro de la universidad.*

*Al Dr. Javier Cruz*

*Por la confianza que deposito en mí para hacer este trabajo*

*Al Ing. Ramón García Pineda*

*Por todos los comentarios y observaciones para la realización de este trabajo*

*A mi Papá y a toda mi familia por todo el apoyo, la paciencia y la confianza para llegar a la realización de este trabajo.*

*A todos los Integrantes del CEASPA*

*Por sus enseñanzas y consejos para la realización de este trabajo*

*A Citlali*

*Por ser la mejor amiga que pude tener en la facultad, gracias por tus consejos y apoyo que siempre me diste.*



## Índice

		Paginas
<b>Capítulo I Introducción</b>		
1.1	Justificación	1
1.2	Objetivo	2
1.3	Técnicas de análisis que se usaron	3
<b>Capítulo II Marco Teórico</b>		
2.1	Antecedentes	4
2.2	Técnicas de análisis de riesgos	6
2.2.1	Métodos comparativos	7
2.2.1.1	Códigos y Normas.	8
2.2.1.2	Lista de Comprobación (Checklist)	9
2.2.1.3	Análisis histórico de accidentes.	9
2.2.2	Índices de riesgo (Mond y Dow)	10
2.2.3	Métodos generalizados	10
2.2.3.1	Análisis de riesgos y operabilidad (HazOp)	11
2.2.3.2	Uso de las palabras guía	12
2.2.3.3	Metodología del análisis (HazOp)	13
2.2.3.4	Formación del equipo (HazOp)	18
2.2.3.5	Análisis "What if".	19
2.2.3.6	Análisis de árbol de fallas	20
2.2.3.7	Análisis de árbol de sucesos	21
2.2.3.8	Análisis de consecuencias de incendio o' explosión.	22
2.2.3.8.1	Incendio	22
2.2.3.8.2	Inflamabilidad	23
2.3	Propiedades de la gasolina	23
2.3.1	Numero de octano	25
2.3.2	Intervalo de ebullición	26
2.3.3	Presión de vapor de Reid	26
2.4	Tanques de almacenamiento	27
2.4.1	Accesorios	31
<b>Capítulo III Trabajo de Campo</b>		
3.1	Descripción del área de almacenamiento	33
3.2	Desarrollo del análisis "HazOp"	37
3.2.1	Análisis del circuito de gasolina	38
3.3	Análisis del árbol de fallas	72
3.4	Aplicación del análisis de consecuencias	77



<b>Capítulo IV Conclusiones y Recomendaciones</b>		
4.1	<i>Conclusiones y Recomendaciones del análisis "HazOp"</i>	86
4.2	<i>Resultados y Conclusiones del análisis de árbol de fallas (FTA)</i>	87
4.3	<i>Conclusiones y Recomendaciones del análisis de consecuencias</i>	89
	<b>Apéndices</b>	90
	<b>Glosario</b>	96
	<b>Bibliografía</b>	98



## Índice de Tablas

	<b>Página</b>	
2.1	<i>Accidentes ocurridos en los últimos años</i>	5
2.2	<i>Clasificación de las técnicas de análisis de riesgos</i>	7
2.3	<i>Puntos de verificación de los métodos comparativos</i>	8
2.4	<i>Puntos de verificación de los índices de riesgo</i>	11
2.5	<i>Definición de las palabras guía</i>	12
2.6	<i>Niveles de frecuencia</i>	14
2.7	<i>Niveles de gravedad</i>	14
2.8	<i>Matriz de riesgos</i>	14
2.9	<i>Simbología del análisis del árbol de fallas</i>	21
2.10	<i>Tipos de aceros mas empleados en México para la construcción de recipientes</i>	30
3.1	<i>Equipos utilizados para el manejo de gasolina (patio norte)</i>	33
3.2	<i>Equipos utilizados para el manejo de gasolina (patio oriente)</i>	34
3.3	<i>Potencial de pérdida y pérdida máxima probable</i>	74
3.4	<i>Comparación de resultados con el potencial de pérdida</i>	73
3.5	<i>Datos necesarios para realizar el análisis de consecuencias</i>	79
3.6	<i>Resultados del análisis de consecuencias</i>	80
3.7	<i>Vulnerabilidad de la radiación térmica</i>	84
4.1	<i>Recomendaciones Tipo A</i>	86
4.2	<i>Recomendaciones del análisis del árbol de fallas</i>	88





## Índice de Diagramas

	<b>Página</b>
3.1 <i>Localización de equipo (patio oriente)</i>	35
3.2 <i>Localización de equipo (patio norte)</i>	36
3.3 <i>Recibo de gasolina de muelles a tanque MJN-T-509 (parte I)</i>	40
3.4 <i>Recibo de gasolina de muelles a tanque MJN-T-509 (parte II)</i>	41
3.5 <i>Tanques de almacenamiento de gasolina MJN-T-509, T-568</i>	42,46,57
3.6 <i>Interconexiones de líneas de gasolina (Patio Norte) Manifold tanques MJN-T-509 y T-568</i>	58
3.7 <i>Interconexiones de líneas de gasolina (patio norte) línea a tanque MJN-T-509</i>	59
3.8 <i>Interconexiones de líneas de gasolina (patio norte) succión de C.B. 21</i>	60
3.9 <i>Casa de bombas No. 21</i>	61
3.10 <i>Interconexión de líneas de gasolina C.B. No 21</i>	66
3.11 <i>Manifold de descarga y recibo tanques MJA-T-88, T-89, T-90, T-91</i>	67
3.12 <i>Tanques de almacenamiento MJA-T-88, T-89, T-90, T-91</i>	68
3.13 <i>Análisis de árbol de fallas de la bomba MJN-P-2I</i>	75
3.14 <i>Análisis de árbol de fallas de la bomba MJN-P-2I (Modificado)</i>	76
3.15 <i>Resultados del análisis de consecuencias al tanque MJN-T-509</i>	85



## Lista de abreviaturas

<i>API</i>	<i>American Petroleum Institute</i>
<i>ASME</i>	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
<i>ASTM</i>	<i>American Society for Testing Materials</i>
<i>C.A</i>	<i>Consequences Analysis</i>
<i>DTI</i>	<i>Diagrama de Tubería e Instrumentación</i>
<i>EC</i>	<i>Evento Culminante</i>
<i>AAF</i>	<i>Análisis de Árbol de Fallas</i>
<i>GIDT</i>	<i>Gerencia de Investigación y Desarrollo Tecnológico</i>
<i>GLP</i>	<i>Gas Licuado de Petróleo</i>
<i>HazOp</i>	<i>Hazard and Operability (análisis de peligros y operabilidad)</i>
<i>ICI</i>	<i>Imperial Chemical Industries</i>
<i>L.I.I.</i>	<i>Limite Inferior de Inflamabilidad</i>
<i>L.S.I.</i>	<i>Limite superior de Inflamabilidad</i>
<i>MSDS</i>	<i>Material Safety Data Sheet</i>
<i>NASA</i>	<i>National Aeronautic Spatial Administration</i>
<i>NEMA</i>	<i>Nacional Electrical Manufacturers Association</i>
<i>NFPA</i>	<i>National Fire Protection Association</i>
<i>OSHA</i>	<i>Occupational Safety and Health Administration</i>
<i>PEMEX</i>	<i>Petróleos Mexicanos</i>
<i>PVR</i>	<i>Presión de Vapor de Reid (relativa)</i>
<i>SIASPA</i>	<i>Sistema Integral para la Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental</i>

**Capítulo I**  
**Introducción**





### **1.1 Justificación.**

*Todas las actividades humanas involucran un cierto grado de riesgo y las industrias de proceso no son la excepción. La Industria Química, en particular, es una rama preocupada por la innovación, en ella se desarrollan continuamente nuevos procesos y productos para satisfacer cada día mas las sofisticadas necesidades de la sociedad moderna, la cual requiere de productos con características muy particulares, de alta calidad y bajo costo. Esto en muchas ocasiones significa contar con procesos que requieren altas presiones y temperaturas, además de utilizar materiales con características fisicoquímicas que representan un peligro para la salud humana, al ambiente y a la propiedad.*

*Dentro de la Industria Química hay una creciente preocupación por aplicar métodos sistematizados para eliminar o reducir los riesgos, debido a que la sociedad en general, reclama a la industria una mayor seguridad para sus miembros, propiedades y medio ambiente.*

*Esta exigencia por parte de la sociedad ha sido motivada, en gran parte por los acontecimientos ocurridos en San Juan Ixhuatepec, México (noviembre 19 de 1984); Bopal, India (2 de diciembre de 1984) que dieron por resultado la pérdida de miles de vidas humanas y daños materiales cuantiosos. Cuando algo nuevo o distinto a lo usual se lleva a cabo en una planta Química, existe el riesgo de que alguna parte del proceso no se comporte conforme a lo esperado. Esta desviación puede tener efectos muy serios en alguna parte del proceso.*

*El análisis de riesgos puede realizarse a través del "sentido común" pero la complejidad de la tecnología moderna ha hecho que el proceso de análisis sea también complejo. Por ello ha sido necesario el desarrollar y establecer metodologías sistematizadas de alta confiabilidad, para realizar los diagnósticos de seguridad de los procesos industriales.*

*PEMEX buscando ser una de las empresas líderes en materia de seguridad industrial y de protección ambiental, está implantando dentro de sus instalaciones el Sistema Integral de Administración de Seguridad y Protección Ambiental (SIASPA), que es una herramienta para asegurar el cumplimiento de las políticas de seguridad, de protección al ambiente y normas nacionales e internacionales. El SIASPA esta integrado por 18 elementos relacionados con el factor humano, los sistemas de trabajo y las instalaciones. El elemento número 12 corresponde a los Análisis de Riesgos y tiene como*



**Objetivos:**

- ✓ *Identificar riesgos a la salud, integridad física, al medio ambiente y a la propiedad.*
- ✓ *Reducir los riesgos a los trabajadores y población circunvecina a las instalaciones, mediante técnicas adecuadas (medidas de prevención, protección y control) para controlarlos y reducirlos a niveles aceptables.*
- ✓ *Reducción significativa de incidentes e impactos ambientales, sus consecuencias y costos asociados.*
- ✓ *Lograr que el personal lleve a cabo sus actividades con plena conciencia de los riesgos que implica la operación.*
- ✓ *Mejorar la Operabilidad y confiabilidad de los equipos de proceso.*
- ✓ *Establecer planes de emergencia y medidas de protección.*

*PEMEX Refinación, preocupado por cada uno de los puntos del SIASPA y para poder dar seguimiento al punto 12 relacionado con los Análisis de Riesgos dentro de sus instalaciones, acordó llevar a cabo un estudio en el área de almacenamiento de gasolina junto con la Facultad de Química de la UNAM, con el objetivo de que se mantenga en límites aceptables la seguridad de la planta, que conlleve al beneficio y seguridad de la gente que labora en ella y a la que habita en los alrededores de dicha planta y a la de mantener una eficiencia en la misma.*

**1.2 Objetivos:**

- *Identificar y evaluar el nivel de riesgos en la Sección de Almacenamiento de Gasolina de los Patios Norte y Oriente, aplicando la técnica de Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp".*
- *Establecer las medidas para controlar o reducir el nivel de riesgo encontrado en la sección de almacenamiento de gasolina de los patios norte y oriente, con el fin de mejorar la operabilidad y la seguridad en el área de almacenamiento.*
- *Aplicando la técnica de análisis de árbol de fallas en el escenario "falla de la bomba MJN-P-2I", evaluar y cuantificar el riesgo para decidir si se acepta o no.*
- *Fomentar los principios de seguridad e higiene haciendo conscientes de ellos a todo el personal y la importancia que representa para todos.*



- *Aplicando la técnica de análisis de consecuencias en el escenario "Fuga e Incendio del tanque MJN-T-509 (tanque de almacenamiento de gasolina)"; para determinar los posibles daños ocasionados, que causaría si llegara a ocurrir.*

### **1.3 Técnicas de análisis que se usaron.**

*En su mayoría, las técnicas de análisis de riesgos han demostrado ser eficientes, sin embargo difieren en su metodología. Esta diferencia y el tipo de resultados que pueden ser obtenidos en particular de cada uno de ellos, sugieren que pueden combinarse para obtener mejores resultados. En el presente trabajo se combinaron la técnica HazOp (aplicada a la sección de almacenamiento de gasolina), la técnica de análisis de árbol de fallas (aplicada a la bomba MJN-P-2I) y la técnica de análisis de consecuencias (aplicada al Tanque MJN-T-509).*

*La técnica de análisis de riesgos (literalmente peligros) y operabilidad "HazOp" identifica riesgos potenciales en la planta y desviaciones de las intenciones de diseño, y establece las recomendaciones para minimizarlos y mejorar la Operabilidad de la misma. La técnica de análisis de árbol de fallas es usada para la evaluación cuantitativa de un escenario seleccionado y en base a los resultados obtenidos de este análisis se toma la decisión de aceptar o no el riesgo. El análisis de consecuencias permite estimar los efectos que puede causar un incidente, y conocidos los resultados, desarrollar acciones que mitiguen o reduzcan el riesgo del evento así como los posibles daños al personal y a la planta.*

**Capítulo II**  
**Marco Teórico**





### **2.1 Antecedentes.** <sup>(1)(2)</sup>

*Durante las últimas cinco décadas, la industria química ha experimentado una serie de cambios importantes, gracias a la aparición de nuevos materiales, al uso de nuevas tecnologías y a la generación de nuevas aplicaciones para los productos químicos. Estos cambios sumados al crecimiento demográfico, han dado lugar a la instalación de un número cada vez mayor de nuevas plantas y a un aumento en la capacidad de las mismas, a fin de satisfacer las necesidades de la población. Por esta razón, el número de personas expuestas a los efectos de los accidentes relacionados con esta industria, se ha incrementado de manera importante, lo que a su vez ha provocado que el público en general tome conciencia de los riesgos que genera la falta de seguridad en las empresas y promueva la creación de leyes y normas que regulen sus actividades y que haya una mayor vigilancia en estos tipos de industrias por parte de las autoridades.*

*En materia de seguridad, las palabras riesgo y peligro son mencionado continuamente sin hacer una distinción alguna; Peligro es cualquier condición física o química capaz de causar daños a las personas, al medio ambiente o a la propiedad y riesgo es la posibilidad de sufrir pérdidas, es decir se puede considerar como una medida de pérdida económica o daños a personas expresada en función de la probabilidad del suceso y la magnitud de sus consecuencias.*

*El nivel de riesgo asociado con la industria química se considera elevado por tres diferentes razones. En primer lugar, el tipo de materiales utilizados o producidos en las plantas químicas, en su mayoría se catalogan como peligrosos al ser tóxicos y/o corrosivos, explosivos y/o inflamables y por este motivo, en caso de alguna fuga o derrame, pudieran generar graves daños a las personas. En segundo lugar, los procesos utilizados en la industria química requieren, en algunas ocasiones, el uso de variables de operación en condiciones extremas, y por lo tanto generan un riesgo pues en caso de falla*





en el equipo o en el sistema de control, pueden provocar graves accidentes. Y finalmente, los grandes volúmenes de consumo y producción en las diferentes plantas, tienen como efecto el aumentar la gravedad de los accidentes que pudieran ocurrir

Los factores mencionados en el párrafo anterior, sumados a los errores humanos así como a una incorrecta administración de la seguridad en algunas empresas, han sido las causas de los graves accidentes que han ocurrido durante la fabricación, el uso, el almacenamiento y el transporte de productos químicos, en diferentes lugares alrededor del mundo, algunos de los cuáles han afectado de manera directa a la población, provocando la pérdida de muchas vidas humanas. En la Tabla 2.1 se muestran algunos ejemplos de estos accidentes

<p>El 11 de Noviembre de 1996 se incendiaron tres tanques de la planta de San Juanico con 21 millones 465 mil litros de gasolina, 4 personas murieron y 15 personas heridas y son desalojados miles de vecinos</p>
<p>El 26 de julio de 1996 ocurrió una explosión en las dos unidades criogénicas del complejo productor de gas operado por PEMEX gas y petroquímica básica, en Cactus, Chiapas. En tres horas el fuego consumió las dos plantas criogénicas, destrucción total en un radio de 500 m; trozos de concreto de hasta 10 Kg. volaron a mas de 300 m de distancia mueren 6 trabajadores y 9 resultaron lesionados</p>
<p>Explosión de contenedores de G.L.P. en San Juan Ixhuatepec, Edo. de México, el 19 de noviembre de 1984, 542 muertos, 800 heridos y 1 millón 500 mil personas evacuadas</p>
<p>Fuga de MIC, Union Carbide en Bhopal, India el 2 de Diciembre de 1984, aproximadamente 2500 muertos y 400,000 afectados. Actualmente mueren en promedio 2 personas afectadas cada día.</p>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 2.1 Algunos Accidentes Ocurridos en los últimos años

Estos accidentes, sumados a la falta de conocimientos del público en general con respecto a los procesos utilizados en las plantas químicas, además de los problemas ambientales asociados con la industria química, han generado un sentimiento de rechazo en la población, lo que ha favorecido que en muchas ocasiones se legisle de manera



*incorrecta, obligando a las empresas a gastar demasiados recursos en materia de seguridad, o por el contrario, permitiendo que operen en condiciones poco seguras. En ambos casos, las medidas y decisiones que se toman, dependen de factores ajenos al tema de seguridad al involucrar cuestiones políticas, económicas y sociales, que no se relacionan de ninguna forma con las raíces del problema. Para evitar esta situación se debe comprender que en la industria química, para dar una solución al problema de la seguridad, se debe realizar un estudio a fondo de cada caso, para conocer las causas y consecuencias de los posibles accidentes y así, distinguir entre el riesgo verdadero, que ha sido evaluado de manera objetiva y el riesgo percibido por los sujetos pasivos, basados sobre todo en apariencias.*

*Se debe señalar que por muchas medidas que se tomen para mejorar la seguridad de los procesos, es imposible eliminar por completo los riesgos derivados de la operación de las plantas químicas, ya que solo se eliminaría completamente el riesgo si la planta no existiera, y puesto que la industria química es necesaria, la cuestión se reduce a reducir o disminuir la frecuencia y la gravedad de cualquier accidente que se pudiera presentar.*

*Bajo esta perspectiva, las técnicas de análisis de riesgos permiten dentro de los niveles de incertidumbre asociados a cada uno de ellas y a los datos disponibles, señalar los puntos críticos de los procesos, cuantificar la magnitud de los riesgos y comparar las diferentes alternativas de solución. Los resultados que se obtienen con las técnicas de análisis de riesgos nos permiten comparar los niveles de riesgo que se tienen en la planta, con los valores fijados como límite por los gobiernos y la sociedad, expresados a través de las normas y códigos aplicables en materia de seguridad y operación. De esta manera se decide si un riesgo es aceptable o no, entendiéndose por aceptable, que se puede convivir con el riesgo, sin poner en peligro tanto a las instalaciones como al personal, y como no aceptable, aquel que representa un peligro para las instalaciones y el personal al cual debe encontrársele una solución para que deje de ser no aceptable.*

## **2.2 Técnicas de análisis de riesgos. <sup>(1)(2)</sup>**

*Para llevar a cabo el análisis de riesgos de un determinado proceso, se deben evaluar las características de las diferentes técnicas de análisis de riesgos antes de utilizar alguna*



en particular, ya que en la actualidad se dispone de un gran número de técnicas, pues en el transcurso de los años los investigadores en el área de seguridad de los procesos, han desarrollado diferentes métodos para solucionar los problemas de seguridad en la industria química. Para facilitar la selección de la técnica adecuada, estas han sido clasificadas en tres grupos como se muestra en la Tabla 2.2.

A pesar de que todas las técnicas se pueden aplicar a la gran mayoría de los casos, sólo algunas tendrán la ventaja de permitir el uso eficiente de los recursos. Por tal motivo, la selección debe realizarse cuidadosamente.

<ul style="list-style-type: none"><li>• Códigos.</li><li>• Listas de comprobación (Checklists).</li><li>• Análisis histórico de accidentes.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Índice Dow.</li><li>• Índice Mond.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp).</li><li>• Análisis de Árbol de Fallas (AAF).</li><li>• Análisis de Árbol de Sucesos (AAS).</li><li>• Análisis "What IF".</li><li>• Análisis de Consecuencias.</li></ul>

Tabla 2.2. Clasificación de las técnicas de Análisis de Riesgos.

### 2.2.1 Métodos comparativos. <sup>(1)(2)</sup>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Los métodos comparativos se basan en la experiencia previa acumulada en un campo determinado, bien como registro de accidentes previos o compilados en forma de códigos o listas de comprobación.



Los métodos comparativos de identificación de riesgo se utilizan para evaluar la seguridad de una instalación a través de la experiencia adquirida en operaciones previas de la compañía o en organizaciones externas a la misma. Los puntos de verificación se muestran en la Tabla 2.3.

<b>Normas y códigos aplicables a los equipos y líneas del proceso.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• En el diseño.</li><li>• En la fabricación.</li><li>• En la instalación.</li><li>• En la operación.</li></ul>
<b>Medidas de seguridad.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Sistemas contraincendios.</li><li>• Sistemas de relevo de presión.</li><li>• Sistemas de control.</li><li>• Diques de contención.</li><li>• Sistemas de alarma.</li><li>• Equipos de relevo.</li><li>• Manuales de operación.</li></ul>
<b>Planes de emergencia.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Procedimientos de paro de emergencia.</li><li>• Equipos de emergencia.</li><li>• Factores geográficos.</li><li>• Rutas de evacuación.</li></ul>

Tabla 2.3 Puntos de verificación de los Métodos Comparativos.

### 2.2.1.1 Códigos y Normas. <sup>(1)</sup>

**TESIS CON  
FALLA DE O.S.**

Esta técnica de identificación de riesgos se usa para evaluar la seguridad de una planta de procesos, con ayuda de manuales internos que indican como diseñar, fabricar, distribuir, instalar, operar, modificar y desmantelar los equipos de proceso. Estos manuales se elaboran cumpliendo con las legislaciones internacionales, nacionales o locales, así como estándares de las distintas ramas de la ingeniería en forma de códigos y normas (ASME, ASTM, API, NFPA, NEMA, etc.) y se complementan con la experiencia previa acumulada por la empresa.

Algunos de los organismos internacionales que emiten estas normas son la "Administración de la Seguridad y Salud Ocupacional" (OSHA), el Instituto Nacional de Normas Norteamericanas (ANSI); a escala nacional tenemos las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que son promulgadas por diversas secretarías de estado. <sup>(5)</sup>



### **2.2.1.2 listas de comprobación (checklists). <sup>(1)</sup>**

*La lista de comprobación es un método comparativo de identificación de riesgos en el que se requiere la experiencia acumulada por una organización industrial y es un recordatorio útil que permite comparar el estado de un sistema con una referencia externa, identificando directamente carencias de seguridad o áreas que requieren un estudio más profundo. Esta lista puede ser aplicada para la evaluación de equipos, materiales o procedimientos, excepto a la parte de Investigación y desarrollo.*

### **2.2.1.3 Análisis histórico de accidentes. <sup>(1)</sup>**

*El análisis histórico de accidentes es una herramienta de identificación de riesgos que hace uso de los datos recopilados en el pasado sobre incidentes industriales. La ventaja de esta técnica radica en que se refiere a accidentes ya ocurridos, por lo que los peligros identificados con su uso son indudablemente reales. Es aquí donde reside principalmente su limitación ya que el análisis solo se refiere a accidentes que han tenido lugar y no se pueden analizar todas las posibilidades importantes.*

*A pesar de lo anterior, el Análisis histórico de accidentes es una técnica útil, que permite la identificación de riesgos concretos. Es además, un medio para una verificación a posteriori de los métodos de los que se dispone en la actualidad en cuanto a la predicción de las consecuencias de los accidentes.*

*La información sobre accidentes ocurridos en el pasado puede proceder de fuentes muy diversas, tales como datos propios de la compañía, informaciones de prensa, entrevistas con testigos del accidente e informes de las comisiones de investigación. Evidentemente, la información de algunas de estas fuentes es poco confiable, pero puede servir como una buena referencia.*



### **2.2.2 Índices de riesgo. <sup>(1)</sup>**

*Los índices de riesgo son utilizados para evaluar los niveles globales de riesgo de las diferentes áreas de una planta, y para señalar en cuales de las mismas se debe realizar un estudio más profundo mediante la aplicación de otras técnicas de análisis. Para cumplir con su objetivo, los índices de riesgo toman en cuenta diversos factores relacionados con el proceso y las condiciones generales de la planta, con el fin de señalar las áreas de mayor riesgo y las consecuencias de los posibles accidentes. Índice Dow e Índice Mond están diseñados para dar rangos de riesgo en un proceso. El método consiste en dar puntos de penalización y de crédito en distintas partes críticas del proceso. El índice Dow toma en cuenta la flamabilidad y reactividad, mientras que el Mond también toma en cuenta la toxicidad.*

*Los puntos de penalización Los puntos de verificación de los índices de riesgo se muestran en la Tabla 2.4.*

### **2.2.3 Métodos generalizados. <sup>(1)</sup>**

*Los métodos generalizados se basan en el uso de esquemas de razonamiento lógico para identificar y evaluar en su totalidad, los riesgos presentes en un determinado proceso. Tomando como base la relación causa-efecto, en esta clase de métodos se analizan todos los sucesos que pueden dar origen a situaciones de peligro y se determinan las consecuencias de los posibles accidentes y la probabilidad de ocurrencia de los mismos, de forma cuantitativa o semicuantitativa.*



<b>Condiciones de operación.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Presión.</li><li>• Temperatura.</li></ul>
<b>Características de los materiales utilizados.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Explosivos.</li><li>• Tóxicos.</li><li>• Inflamables.</li><li>• Reactivos.</li><li>• Corrosivos.</li></ul>
<b>Características del proceso.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Endotérmico o Exotérmico.</li><li>• Tipos de reacciones.</li><li>• Volúmenes de producción.</li></ul>
<b>Normas y códigos aplicables a los equipos y líneas del proceso.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• En el diseño.</li><li>• En la fabricación.</li><li>• En la instalación.</li><li>• En la operación.</li></ul>
<b>Medidas de seguridad.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Sistemas contraincendios.</li><li>• Sistemas de relevo de presión.</li><li>• Sistemas de control.</li><li>• Diques de contención.</li><li>• Sistemas de alarma.</li><li>• Equipos de relevo.</li><li>• Manuales de operación.</li></ul>
<b>Planes de emergencia.</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Procedimientos de paro de emergencia.</li><li>• Equipos de emergencia.</li></ul>

Tabla 2.4 Puntos de verificación de los Índices de Riesgo.

### 2.2.3.1 Análisis de peligro y operabilidad (HazOp). <sup>(1)(2)</sup>

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

El Análisis "HazOp" (Hazard and Operability Analysis) fue desarrollado para identificar y evaluar riesgos y problemas de operabilidad en una planta de proceso. La técnica requiere de información detallada de diseño y operación del proceso. El resultado de un Análisis HazOp incluye identificación de riesgos, problemas de operabilidad y recomendaciones para reducirlos.

El Análisis HazOp se aplica tanto en la etapa de diseño como en la instalación en operación normal, la sistemática es la misma y consiste en evaluar (línea a línea y



recipiente a recipiente) las consecuencias de posibles desviaciones en las intenciones de diseño, en todas las unidades de un proceso ya sea continuo o discontinuo.

La metodología del Análisis HazOp está basada en un carácter sistemático, ya que se realiza un examen basado en la aplicación sucesiva de una serie de palabras guía, que tienen por objeto proporcionar un razonamiento ordenado, capaz de facilitar la identificación de desviaciones. Cada vez que una desviación razonable es identificada, se analizan sus causas, consecuencias y posibles acciones correctivas, llevándose un registro ordenado de todo ello. Las palabras guía son aplicadas para encontrar desviaciones tanto en procesos químicos como en procedimientos.

### 2.2.3.2 Uso de las palabras guía.<sup>(4)</sup>

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Son palabras sencillas que se usan para calificar el propósito, guían y estimulan el proceso de pensamiento creativo para descubrir las posibles desviaciones.

<b>PALABRA GUIA</b>	<b>APLICACIÓN</b>	<b>EJEMPLO</b>
<b>NO</b>	No se consiguen las intenciones previstas en el diseño.	No hay flujo en una línea.
<b>MÁS/MENOS</b>	Aumento o disminución cuantitativa sobre la intención de diseño.	Más temperatura, mayor velocidad de reacción, mayor viscosidad, etc.
<b>ADEMAS DE</b>	Aumento cualitativo. Se consiguen las intenciones de diseño y ocurre algo más.	El vapor consigue calentar el reactor, pero además provoca un aumento de temperatura en otros elementos.
<b>PARTE DE</b>	Disminución cualitativa. Solo parte de los hechos o acciones transcurren según lo previsto.	La composición del sistema es diferente de la prevista.
<b>INVERSION</b>	Se obtiene el efecto contrario al deseado.	El flujo transcurre en sentido inverso, tiene lugar la reacción inversa, etc.
<b>EN VEZ DE</b>	No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo completamente distinto.	Cambio de catalizador, fallo en el modo de operación de una unidad, parada imprevista, etc.

Tabla 2.5 Definición de las Palabras Guía.





### **2.2.3.3 Metodología del análisis HazOp.**

*El análisis HazOp de un proceso, se desarrolla aplicando en una forma sistemática todas las combinaciones de palabras guía relevantes para la planta en cuestión, en un esfuerzo para encontrar los problemas potenciales de dicha planta. La explicación del significado de los parámetros involucrados en el formato de registro, para cada uno de ellos, es el siguiente:*

- **Desviación:** *Es la combinación de las palabras guía con un parámetro del proceso, la cuál está siendo estudiada.*
- **Causa:** *Son las causas potenciales que hacen que pueda ocurrir la desviación señalada.*
- **Consecuencia:** *Son las consecuencias que se podrían originar debido al efecto de la desviación aplicada y, si es aplicable, por la causa misma. Siempre se debe ser explícito en el registro de las consecuencias y no asumir que se deba tener conocimiento del significado de un registro. Un punto importante es que cuando se evalúan las consecuencias, no se toman en cuenta los sistemas de protección o instrumentación que ya estén incluidos en el diseño.*
- **Protecciones:** *Si existe algún dispositivo de protección, el cuál prevenga la causa o proteja contra las consecuencias adversas, será registrado en la columna de Protecciones. Las protecciones no necesariamente son restringidas al equipo físico, ya que cuando es apropiado se pueden tomar como protecciones aspectos de procedimientos, tales como inspecciones regulares a planta, siempre y cuando si se está seguro que estos serán llevados a cabo.*
- **Recomendaciones:** *Cuando una causa real resulta en una consecuencia negativa, se debe decidir si alguna recomendación debe ser tomada. En esta etapa es donde las consecuencias y las protecciones asociadas son consideradas. Si es considerado que las medidas de protección son las adecuadas, entonces no es necesario emitir alguna recomendación.*

*El siguiente paso del análisis HazOp consiste en evaluar los niveles de riesgo con base en la frecuencia y la gravedad de las causas y consecuencias de los posibles accidentes. Para llevar a cabo lo anterior, el equipo de trabajo debe hacer uso de sus conocimientos y de su experiencia para que con la ayuda de las Tablas 2.6 y 2.7 pueda clasificar los riesgos identificados en tres niveles, como se mostrará en la Tabla 2.8*



FRECUENCIA	
1	No más de una vez en la vida de la planta.
2	Hasta una vez en diez años.
3	Hasta una vez en cinco años.
4	Hasta una vez en un año.
5	Más de una vez al año.

Tabla 2.6 Niveles de Frecuencia. <sup>(11)</sup>

GRAVEDAD	
1	No tiene impacto en la planta, el personal o los equipos.
2	Daños a los equipos o generación de fugas menores.
3	Lesiones al personal de la unidad. Todos los daños se limitan a la planta.
4	Destrucción y daños limitados afuera de la planta.
5	Destrucción y daños extensivos afuera de la planta.

Tabla 2.7 Niveles de Gravedad. <sup>(11)</sup>

En la matriz de riesgos, claramente se aprecia que la frecuencia y la gravedad de los accidentes juegan un papel importante al valorar los niveles de riesgo y por lo tanto, entre mayor sea la exactitud con lo cuál se evalúen la frecuencia y la gravedad de los accidentes, la calidad del análisis será mayor.

		GRAVEDAD				
		1	2	3	4	5
FRECUENCIA	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	7	8
	3	3	6	7	8	9
	4	4	7	8	9	10
	5	5	8	9	10	10

Tabla 2.8 Matriz de Riesgos. <sup>(11)</sup>

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



Los niveles de riesgo se clasifican de la siguiente manera:

Para que la administración, tenga control y seguimiento de los niveles de riesgo identificado, estos se clasifican de la siguiente manera.

**Nivel A.**

El nivel de riesgo identificado es elevado y, por lo tanto, se requiere de acciones inmediatas a fin de prevenir pérdidas humanas y materiales de gran importancia. Los riesgos de nivel A serán todos aquellos que tengan un valor de 8 a 10 en la matriz de riesgos.

**Nivel B.**

El nivel de riesgo identificado es moderado por lo que la planta puede seguir operando de manera segura, sin embargo las acciones que se tomen tendrán un efecto notable en el mejoramiento de la seguridad y, por lo tanto, su aplicación dependerá de los costos y los beneficios derivados de las mismas. Los riesgos de nivel B serán todos aquellos que tengan un valor de 4 a 7 en la matriz de riesgos.

**Nivel C.**

El nivel de riesgo identificado es bajo por lo que la planta puede seguir operando de manera segura sin necesidad de implementar alguna acción. Los riesgos de nivel C serán todos aquellos que tengan un valor de 1 a 3 de acuerdo con la matriz de riesgos.

De acuerdo con las anteriores definiciones de niveles de riesgos, la matriz de riesgos quedaría de la siguiente forma:

		GRAVEDAD				
		1	2	3	4	5
FRECUENCIA	1	C	C	C	B	B
	2	C	B	B	B	A
	3	C	B	B	A	A
	4	B	B	A	A	A
	5	B	A	A	A	A

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



*Una vez evaluados los niveles de riesgo es posible saber si las protecciones del sistema son las más adecuadas o si son suficientes, que de suceder lo contrario, el equipo de trabajo deberá plantear alternativas de solución a fin de reducir los niveles de riesgo. Para decidir que tipo de medidas serán las más adecuadas, se deben revisar los niveles de frecuencia y gravedad junto con la matriz de riesgos, para conocer bien cuál de los factores mencionados se le debe dar más importancia.*

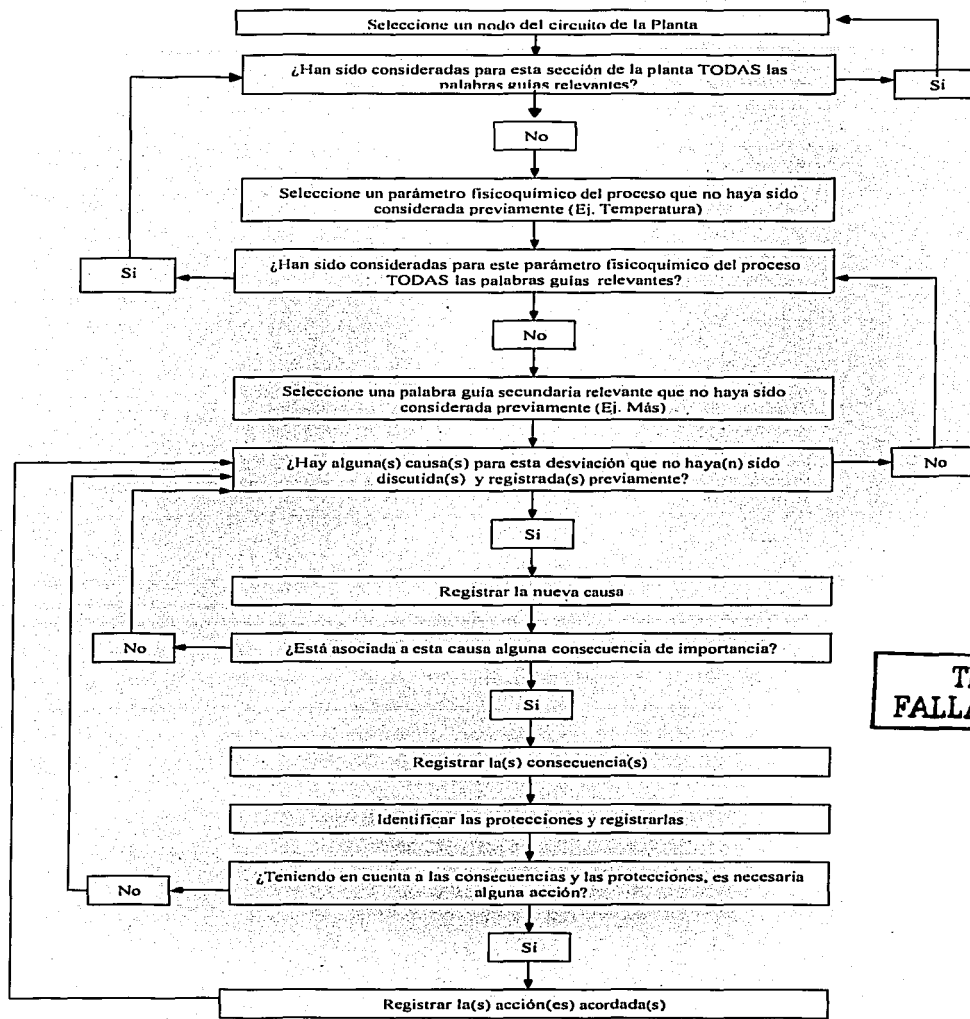
*Por dar un ejemplo, si el nivel de frecuencia para un determinado riesgo es muy elevado (igual a 5), y su nivel de gravedad es bajo (igual a 2), de acuerdo con la matriz de riesgos, el valor del riesgo será de 8 (Nivel A). Por este motivo toda protección del sistema que disminuya la frecuencia reducirá por sí sola, significativamente, el nivel de riesgo y por el contrario, toda protección del sistema que disminuya la gravedad del accidente, servirá de poco si no se aplica ninguna medida para bajar el nivel de frecuencia. Finalmente, las protecciones del sistema dependerán de las características particulares de cada situación por lo que no tiene caso profundizar en el tema, sin embargo, todas las protecciones del sistema permitirán cumplir con alguno de los siguientes objetivos:*

- *Reducir la frecuencia o probabilidad de las causas de los posibles accidentes, para lo cuál se deben aplicar medidas preventivas para evitar que pasen accidentes o reducir su frecuencia.*
- *Reducir las consecuencias de los posibles accidentes, para lo cuál se deben aplicar medidas correctivas, que disminuyan los efectos de posibles fugas, derrames, incendios y explosiones.*

*Y mientras que lo primero es lo preferido, no es siempre posible. De cualquier modo, siempre se trata de eliminar la causa, y únicamente donde sea necesario, tratar de mitigar las consecuencias. Habiéndose hecho el análisis para una sola desviación, puede hacerse ahora un diagrama de flujo para ilustrar el procedimiento del análisis HazOp. Este diagrama de flujo se muestra en la figura 2.1, e inmediatamente se ve que es un proceso iterativo, el cuál aplicado de manera sistemática y estructurada, mediante la combinación de palabras guía, permite la identificación de problemas potenciales.*



Figura 2.1 El procedimiento del análisis HazOp



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



#### **2.2.3.4 Formación del equipo HazOp:<sup>(1)</sup> <sup>(2)</sup>**

*El equipo que dirigirá el estudio HazOp deberá contar con un buen entendimiento del proceso y de la planta, y deberá tener aproximadamente seis miembros, con quizás un límite superior de nueve. En un estudio en el cual el contratista y cliente estén participando en el equipo, es deseable mantener un equilibrio entre los dos en términos de número de miembros para que ninguno de los dos se sienta superado.*

*Los participantes deben ser personas de distintas disciplinas, y este aspecto es una de las fuerzas de la metodología HazOp, por las siguientes razones, entre otras:*

- *Con un equipo de personas, cada una con diferentes conocimientos y experiencias, los problemas potenciales serán identificados con mayor facilidad, lo que no podría pasar con una o dos personas que trabajen individualmente.*
- *Un espíritu de cooperación y propósito común es generado con los cruces de los límites departamentales, y esto aun persistirá después de que el estudio HazOp ha sido terminado. El personal entenderá los puntos de vista, preocupaciones y constreñimiento dentro de las demás disciplinas para trabajar mejor, y para cuando tengan que tomar decisiones que afecten el proyecto.*

*La composición real del equipo HazOp variará según el tipo de planta que es estudiada. Una persona que siempre debe ser incluida es un representante de la operación de la planta. Él o ella deben tener experiencia y conocimiento del funcionamiento diario de la planta que está siendo estudiada, o de alguna que sea muy similar en su funcionamiento. La contribución de este miembro del equipo a la discusión puede ser invaluable, ya que presentan una perspectiva operacional que otros participantes no pueden tener.*

*Resumiendo todo lo dicho anteriormente, el equipo debe seleccionarse para que sea lo más balanceado y el estudio sea garantizado. Además, la intención debe ser que las preguntas hechas durante la reunión puedan ser contestadas inmediatamente, en lugar de tener que acudir a un experto externo al estudio, lo cuál consumiría tiempo. No es necesario para algunas personas participar en el estudio de principio a fin. Si la "esencia" del grupo consistiera en cinco personas, por ejemplo, los miembros adicionales podrían*



*llamarse de sesión en sesión como y cuando su particular especialización fuese necesaria.*

*Como en todas las actividades de grupo, se necesita designar a una persona quién estará a cargo del estudio; en los estudios HazOp, la persona designada comúnmente se llama facilitador o líder del estudio. Idealmente, no deberá estar asociado estrechamente con el proyecto bajo estudio, ya que podría ser un riesgo de que no pudiera ser lo suficientemente objetivo en la dirección del equipo. Como el papel del facilitador es de importancia vital en el progreso uniforme y eficaz del estudio, debe escogerse cuidadosamente y debe estar totalmente entendido con la metodología HazOp.*

*Otro miembro importante del equipo será el secretario. Su contribución a la discusión bien puede ser mínima, pero su función principal durante las sesiones es registrar todo lo que se vaya acordando en el estudio. También necesitará tener el suficiente conocimiento técnico para poder entender lo que está discutiendo.*

### **2.2.3.5 Análisis "What if". <sup>(1)(2)</sup>**

*El análisis "What if" es menos estructurado que el análisis HazOp. Debido a esta falta de estructuración, se requiere una mayor experiencia por parte de los componentes del equipo que lo lleva a cabo, ya que de lo contrario es más probable que ocurran omisiones importantes.*

*El objetivo de un análisis "What if" es considerar las consecuencias negativas de posibles sucesos inesperados. Con este método se supone que ocurre una falla sin considerar que fue lo que la causó. El análisis "What if" utiliza la pregunta "¿Qué pasa si?", aplicada a desviaciones en el diseño, construcción, modificación y operación de instalaciones industriales. Las preguntas se realizan sobre áreas concretas por un equipo de dos o tres expertos que poseen documentación detallada de la instrumentación, procedimientos de operación o acceso a personal de la planta para proveerse de información complementaria.*



### **2.2.3.6 Análisis de árbol de fallas.** <sup>(2)(3)</sup>

*El Análisis del árbol de fallas es una técnica deductiva enfocada en un accidente en particular o en la falla de un sistema importante, y su función es determinar las causas del evento. El árbol de fallas es un método gráfico que muestra los errores de equipo y humanos que pueden ocurrir en la falla del sistema de interés. Este análisis calcula la frecuencia y/o probabilidad de ocurrencia de un suceso culminante, de aquí que sea una de las herramientas más útiles cuando se desea cuantificar riesgos.*

*Como método de análisis de riesgos es de los más estructurados, y puede aplicarse a un solo sistema o a sistemas interconectados. La técnica supone que un suceso no deseado (un accidente o una desviación peligrosa de cualquier tipo) ya ha ocurrido, y busca las causas del mismo y la cadena de sucesos que puede hacer que tenga lugar.*

*El análisis de árbol de fallas descompone un accidente en sus elementos contribuyentes, ya sean estas fallas humanas, de equipos de planta o sucesos externos, etc. El resultado es una representación lógica en la que aparecen cadenas de sucesos capaces de generar el suceso culminante que ocupa la cúspide del árbol de fallas. Para la representación lógica se utiliza la simbología que se muestra en la Tabla 2.9.*

*Antes de empezar a construir el árbol de fallas es importante tener un conocimiento profundo del funcionamiento del sistema. Para esto, el analista deberá recopilar y entender la información relacionada con este sistema. La metodología empleada en la elaboración de un análisis de árbol de fallas es la siguiente:*

- 1. Identificar la falla del sistema (evento culminante) que va a ser analizada y ubicarla en la parte alta del árbol.*
- 2. Proceder al próximo nivel del sistema que llamaremos subsistema e identificar las fallas del subsistema que podrían conducir a la falla del sistema.*
- 3. Determinar la relación lógica entre las fallas del subsistema que son requeridas para producir la falla del sistema. Puede ser el resultado de la combinación de fallas o la ocurrencia de cualquiera de las fallas identificadas.*
- 4. Usar la estructura lógica de puertas "Y" u "O" para mostrar la relación de fallas del subsistema que producen la falla del sistema. La "Y" significa que las frecuencias o probabilidades deben ser multiplicadas y la "O" significa que estas deben ser sumadas.*





5. Proceder al próximo nivel más bajo del sistema y repetir los pasos del 2 al 4 hasta que se hayan identificado todas las fallas del nivel de componentes.
6. Iniciar con datos de frecuencia o probabilidad de fallas en el nivel de componentes, calcular la frecuencia o probabilidad de las fallas descritas en el nivel ubicado arriba del nivel de componentes usando las puertas "Y" u "O". Continuar la estructura lógica indicada por las puertas "Y" u "O" en el árbol de fallas hasta que la probabilidad de la falla del sistema o evento culminante ha sido calculada.



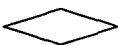


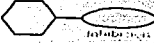


<b>Símbolo</b>	<b>Aplicación</b>
	Sucesos intermedios: Resultan de la interacción de otro suceso, que a su vez se desarrollan mediante puertas lógicas.
	Sucesos Básicos: Constituyen la base de la raíz del árbol. No necesitan desarrollo posterior en otros sucesos.
	Sucesos no desarrollados: No son sucesos básicos y podrían desarrollarse más, pero el desarrollo no se considera necesario, o no se dispone de la suficiente información.
	Puertas "O": Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida.
	Puertas "Y": Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los signos de entrada para producir el proceso de salida.
	Puertas inhibición: Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia del suceso de entrada y la satisfacción de una condición de inhibición.
	Condición externa: Se utiliza para indicar una condición o un suceso que existe como parte del escenario en que se desarrolla el árbol de fallas.
	Transferencias: Se utilizan para continuar el desarrollo del árbol de fallas en otra parte (por ejemplo, en otra página por falta de espacio).

Tabla 2.9 Simbología del Análisis de Árbol de Fallas. <sup>(1)</sup>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### 2.2.3.7 análisis de árbol de sucesos. <sup>(1)</sup>

El análisis de árbol de sucesos (Event Tree Analysis) evalúa las consecuencias que pueden tener lugar a partir de un suceso determinado. No interesa tanto en este caso estudiar como puede originarse el suceso iniciador, sino cuáles son sus posibles resultados. Por tanto, en el análisis ETA se hace énfasis en un suceso inicial que se



*supone que ya ha ocurrido, y se construye un árbol lógico que conecta dicho suceso inicial con los efectos finales, donde cada rama del árbol representa una línea de evolución que conduce a un efecto final.*

*El análisis de árbol de sucesos es especialmente adecuado para estudiar las posibles secuencias de evolución de los acontecimientos tras un accidente.*

### **2.2.3.8 Análisis de consecuencias de incendio o' explosión. <sup>(1)</sup>**

*Tanto incendios como explosiones son los tipos de accidentes más frecuentes en la industria química, seguido por las emisiones de sustancias tóxicas.*

*Desde el punto de vista del Análisis de Riesgos, la evaluación de consecuencias de incendios y explosiones, requiere el conocimiento de datos que definan el escenario en el cual ocurre el incendio o la explosión. Necesitamos saber, cuanto material dentro de los límites de inflamabilidad existe en una nube en el momento de la explosión o cuanto líquido inflamable hay en el derrame que se ha incendiado.*

#### **2.2.3.8.1 Incendio. <sup>(1)</sup>**

*Para que ocurra la ignición es necesario suministrar la energía mínima de ignición para iniciar la inflamación de la mezcla. Algunos ejemplos de fuentes de ignición pueden ser:*

- *Superficies calientes*
- *Equipo eléctrico*
- *Ignición espontánea*
- *Chispas y calor debidos a fricción*
- *Fósforos*
- *Ignición intencionada*
- *Electricidad estática*

*La electricidad estática es una importante causa de ignición en plantas de proceso. Su generación está asociada al contacto y separación de materiales de distinta naturaleza, lo que ocasiona que tras la separación de los materiales resulte un exceso de electrones.*



*La carga acumulada puede eliminarse con facilidad si ambos materiales son conductores pero si uno tiene baja conductividad eléctrica, se puede originar una diferencia de potencial, lo que produciría una descarga eléctrica.*

#### **2.2.3.8.2 Inflamabilidad. <sup>(4)</sup>**

*El término inflamabilidad hace referencia a la mayor o menor facilidad con que una sustancia puede arder en el aire o en algún otro gas que pueda servir como comburente. La combustión es una reacción química en la que se libera energía a partir de la oxidación de un material determinado, y el fuego es una consecuencia visible.*

*Los elementos necesarios y suficientes para que se produzca un incendio se esquematizan en el llamado "Triángulo de Fuego", que involucra tres elementos: combustible, comburente y fuente de ignición. Si falta cualquiera de sus elementos, el incendio no puede producirse.*

*Los límites de inflamabilidad nos proporcionan el intervalo de concentraciones de combustible (normalmente en porcentaje en volumen), dentro del cual una mezcla gaseosa puede entrar en ignición y arder, a lo que se le llama incendio. Por debajo del Límite Inferior de Inflamabilidad (L.I.I.) no existe suficiente combustible como para propagar la combustión. Para establecer los límites seguros se considera  $\frac{1}{2}$  L.I.I. como una buena aproximación. A concentraciones mayores que las del Límite Superior de Inflamabilidad (L.S.I.), no hay suficiente comburente como para que la reacción se propague lejos de la fuente de ignición.*

### **2.3 Propiedades de la gasolina**

*Las especificaciones de las gasolinas se definen para garantizar su manejo y distribución, un buen funcionamiento en el automóvil y para prevenir el deterioro del medio ambiente; y contemplan tanto propiedades físicas como químicas. <sup>(6)</sup>*

*Entre las propiedades físicas de las gasolinas se pueden citar la densidad o peso específico y la volatilidad; y entre las químicas el octanaje, el contenido de azufre, y otras características que en la actualidad se establecen con el objeto de reducir las emisiones contaminantes a la atmósfera, como son el contenido de benceno, aromáticos y olefinas.*



*La gasolina es una mezcla compleja de hidrocarburos con un intervalo de ebullición de 38 a 204 °C, tal como lo señala la ASTM. Los componentes se mezclan para proporcionar una elevada cantidad antidetonante, un fácil arranque un rápido calentamiento, una baja tendencia a la formación de sellos de vapor y un bajo contenido de depósitos en el motor. Para el diseño preliminar de una refinería, los componentes utilizados para la mezcla de gasolinas de motor, pueden limitarse a gasolina ligera de primer destilado, reformado catalítico, gasolina de desintegración catalítica, gasolina de Hidrodesintegración, gasolina alquilada y n-butano.*

*Algunas refinerías cortan a 82°C a 93 °C en vez de a 88°C, pero, en cualquier caso, esta es la fracción a la que no se puede materialmente aumentar su grado de octanaje mediante reformado catalítico. Como consecuencia se procesa separadamente de las fracciones más pesadas de la gasolina directa y generalmente requiere solo un lavado cáustico o una ligera hidrogenación, para producir una cantidad de gasolina para mezclado. En algunos casos es necesario estabilizar las gasolinas directas para convertir los mercaptanos residuales en disulfuros y con esto obtener un producto dulce.*

*Para un máximo octanaje sin adición de plomo, algunas refinerías han instalado unidades de isomerización para procesar la fracción de gasolina ligera*

*La gasolina pesada directa y la gasolina de la desintegración se utilizan como carga para la reformadora catalítica y cuando las necesidades de octanaje lo requieren, las gasolinas de desintegración catalítica y las desintegradas con hidrógeno pueden así mismo ser procesadas por esta unidad para incrementar los niveles de octano. Las condiciones de procesamiento de la reformadora se controlan para conseguir las propiedades antidetonantes deseadas del producto en el intervalo de 90 a 100 de ROM (Sin Plomo).*

*La gasolina polimera, se produce por la polimerización de los hidrocarburos olefinicos en parafinas, dentro del intervalo de ebullición de la gasolina. La reciente tecnología de las refinerías favorece más a los procesos de alquilación que a los de polimerización debido a que se pueden fabricar mayores cantidades de producto y con octanaje más alto a partir de olefinas ligeras*

*La gasolina alquilada es el producto de la reacción del isobutano con el propileno, buteno o penteno, y está construida por hidrocarburos de cadena ramificada en el intervalo de ebullición de la gasolina. La alquilación de una cantidad dada de olefinas, produce el doble de combustible de motor que el producido por polimerización. Además el*



RON de mezcla del alquilado es mayor y su sensibilidad al plomo más grande que el de la gasolina polimérica. <sup>(5)</sup>

### **2.3.1 Numero de octano.** <sup>(5)(6)</sup>

Existen dos tipos de numero de octano para los motores de gasolina: los determinados por el "método del motor" (MON) y los determinados por el "método de Investigación" (RON). Ambos métodos utilizan el mismo ensayo básico de motor, pero operan a condiciones distintas. El RON representa el funcionamiento durante una conducción a baja velocidad, cuando la aceleración es relativamente frecuente, y el MON es una guía para el funcionamiento del motor a altas velocidades o bajo condiciones de elevada carga. La diferencia entre los números de octano de investigación del motor de una gasolina es un indicador de los cambios en el funcionamiento bajo ambas conducciones de ciudad y carretera y se le conoce como "sensibilidad del combustible".

El numero de octano registrado  $(R+M)/2$  es la media aritmética del numero de octano del motor MON y por termino medio el  $(R+M)/2$  es cuatro unidades inferior al RON

El número de octano determina si el avance de encendido en los cilindros será constante y es alrededor de tres unidades inferior para cada 300 m de altura. En la práctica, sin embargo, el encendido está generalmente avanzado para alturas importantes para mejorar el funcionamiento del motor, siendo el efecto neto el reducir el RON de la gasolina alrededor de tres unidades por cada 1500 m. De incremento en la altura. La demanda de octanaje varía de 7 a 12 unidades de RON para el mismo modelo de motor debido a las diferencias de puesta a punto, depósitos del motor y falta de ajuste.

### **2.3.2 Curva de destilación (Intervalo de ebullición).** <sup>(8)(9)</sup>

El intervalo de ebullición de la gasolina determina la facilidad de arranque, la intensidad de la aceleración, las pérdidas por dilución en el cárter y la tendencia a la formación de sellos de vapor; el valor de la temperatura de sello de vapor se determina en forma experimental mediante el procedimiento descrito en la norma ASTM o bien se calcula utilizando las ecuaciones, que involucran a la PVR y a las temperaturas de destilación del combustible. El tiempo de calentamiento del motor viene influenciado por el porcentaje de destilado a 70 °C y la temperatura a la cual ha destilado el 90% según ASTM. El calentamiento se expresa en términos de la distancia de funcionamiento requerida para desarrollar completamente la potencia sin uso excesivo del ahogador. Un



calentamiento de tres a seis kilómetros y medio se considera satisfactorio y las relaciones entre la temperatura exterior y el porcentaje destilado para unas propiedades de calentamiento aceptables son:

La dilución en el cárter esta controlada por la temperatura a la cual ha destilado el 90% según ASTM y es asimismo función de la temperatura exterior. Para mantener la dilución en el cárter dentro de unos límites aceptables, la volatilidad debe ser

Temp. Ambiente mínima °C	27	16	4	-7	-18	-29
Destilación ASTM 90% °C	188	177	171	162	154	149

El intervalo de ebullición, además de variar con la composición de la gasolina, también depende del tipo de equipo que se utilice y es por ese motivo que fue necesario especificar el método de ebullición (destilación)-ASTM-D-86, que consiste en una destilación simple llevada a cabo en un equipo sencillo que permite obtener determinaciones rápidas y reproducibles

### 2.3.3 Presión de vapor de Reid. <sup>(5)</sup>

El vapor que se desprende de un líquido ejerce una presión, cuya magnitud depende de la temperatura y de la naturaleza del líquido. Al calentar el líquido se incrementa la presión y la densidad de vapor. Para comparar debidamente la presión de vapor de diferentes gasolinas o de sus componentes se ha convenido internacionalmente en fijar la temperatura en 37.8°C (100°F) que es la temperatura estimada que en promedio alcanza la gasolina en sistemas de alimentación al motor. Por otra parte, la presión de vapor de un hidrocarburo depende del largo de la cadena y del grado de ramificación, saturación, ciclización y aromatización. La tendencia a la formación de sellos de vapor esta relacionada directamente con la PVR de la gasolina.

La presión de vapor Reid se define como la presión de vapor de un producto determinado a 100 °F, en donde el volumen de vapor es cuatro veces el volumen de líquido.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **2.4 Tanques de almacenamiento.** <sup>(12)(14)</sup>

Los tanques de almacenamiento son usados para diferentes productos químicos y productos derivados del petróleo. Los tipos de tanques de almacenamiento comunmente usados son tres

- Tanques Atmosféricos
- Tanques de baja Presión
- Tanques Presurizados

Los tanques atmosféricos(verticales) son tanques que estan diseñados para operar cerca de la presión atmosférica estos tanques se dividen en

- Tanques de techo fijo que almacenan productos con presión de vapor inferior a  $0.169 \text{ kg/cm}^2 (2.4 \text{ lb/pul}^2)$
- Tanques de techo flotante que almacenan productos con presión de vapor entre  $0.169$  y  $1 \text{ Kg/cm}^2$

Los tanques de baja presión estan diseñados a operar a presión atmosférica, pero no excediéndose de  $15 \text{ psi}$  por arriba de la presión atmosférica. Estos tanques son normalmente construidos de acero

Los tanques presurizados, estan diseñados a operar a presiones por arriba de la presión atmosférica, excediéndose de los  $15 \text{ psi}$  que son extensamente empleados, sirven tanto como mezcladores, como para almacenar fluidos a altas presiones como el gas licuado, oxígeno ( $O_2$ ), hidrógeno ( $H_2$ ), propileno ( $C_3H_6$ ) y amoníaco ( $NH_3$ ), entre otros.

De todos los tipos de tanques citados anteriormente, son los cilíndricos verticales los que se emplean para almacenar grandes volúmenes de producto, ya que a causa de su forma, no presentan tantas restricciones para su construcción en cuanto a dimensiones como sucede con los otros.

Los tanques descritos deben de cumplir con lo establecido en los códigos estandares que se indican a continuación y con la reglamentación que indiquen las autoridades correspondientes.



## **2.4 Tanques de almacenamiento.** <sup>(12)(14)</sup>

Los tanques de almacenamiento son usados para diferentes productos químicos y productos derivados del petróleo. Los tipos de tanques de almacenamiento comúnmente usados son tres

- Tanques Atmosféricos
- Tanques de baja Presión
- Tanques Presurizados

Los tanques atmosféricos (verticales) son tanques que están diseñados para operar cerca de la presión atmosférica estos tanques se dividen en

- Tanques de techo fijo que almacenan productos con presión de vapor inferior a  $0.169 \text{ kg/cm}^2$  ( $2.4 \text{ lb/pul}^2$ )
- Tanques de techo flotante que almacenan productos con presión de vapor entre  $0.169$  y  $1 \text{ Kg/cm}^2$

Los tanques de baja presión están diseñados a operar a presión atmosférica, pero no excediéndose de 15 psi por arriba de la presión atmosférica. Estos tanques son normalmente construidos de acero

Los tanques presurizados, están diseñados a operar a presiones por arriba de la presión atmosférica, excediéndose de los 15 psi que son extensamente empleados, sirven tanto como mezcladores, como para almacenar fluidos a altas presiones como el gas licuado, oxígeno ( $O_2$ ), hidrógeno ( $H_2$ ), propileno ( $C_3H_6$ ) y amoníaco ( $NH_3$ ), entre otros.

De todos los tipos de tanques citados anteriormente, son los cilíndricos verticales los que se emplean para almacenar grandes volúmenes de producto, ya que a causa de su forma, no presentan tantas restricciones para su construcción en cuanto a dimensiones como sucede con los otros.

Los tanques descritos deben de cumplir con lo establecido en los códigos estándares que se indican a continuación y con la reglamentación que indiquen las autoridades correspondientes.





ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
API	<i>American Petroleum Institute</i>
NFPA	<i>Nacional Fire Protection Association</i>
STI	<i>Steel Tank Institute</i>
UL	<i>Underwriters Laboratories Inc. (E.U.A.)</i>
ULC	<i>Underwriters Laboratories of Canada</i>

*Las entidades antes señaladas reglamentan, entre otros conceptos, los siguientes:*

- *Procedimientos de fabricación*
- *Materiales de fabricación*
- *Protección contra la corrosión*
- *Protección contra incendio*
- *Pruebas de hermeticidad*
- *Almacenamiento de líquidos*
- *Instalación*
- *Boquillas*
- *Refuerzos*
- *Operación*
- *Detección de fugas*

*Pero como ya dijimos anteriormente, el acero es el metal de uso más generalizado, por lo que hablaremos un poco acerca de él. Se define como toda aleación maleable de hierro y carbono que generalmente contiene además pequeñas cantidades de silicio, manganeso, fósforo y azufre.*

*Convencionalmente los aceros se han dividido en tres grupos principales:*

- a) Aceros al carbono.*
- b) Aceros aleados.*
- c) Aceros inoxidable.*



a) **Acero al carbono.**- Es aquel material ferroso que debe principalmente sus propiedades distintivas al carbono que contiene.

b) **Acero aleado o especial.**- Es aquel que debe principalmente sus propiedades distintivas a algún elemento o elementos distintos del carbono, o juntamente a tales elementos y al carbono. Algunos aceros aleados contienen hasta 1.25 por ciento de carbono por lo que hasta ahora, ya que no se ha trazado una línea divisoria entre aceros aleados y al carbono, no se sabe si clasificarlos en uno a otro grupo.

c) **Acero inoxidable:** Este metal se puede considerar más bien, un tipo de acero aleado que tiene la característica de ser resistente a la corrosión atmosférica, a los álcalis, a los ácidos y a la oxidación a temperaturas elevadas. Su elemento aleado principal es el cromo, el cual se le puede agregar hasta en una proporción de un 25 por ciento, en algunos casos.

Otra clasificación de interés respecto al acero es la que se refiere al porcentaje de carbono que contiene, así con 0.10 por ciento a 0.30 por ciento se le denomina de bajo carbono; con 0.31 por ciento a 0.45 por ciento de mediano carbono; y con 0.46 por ciento a 1.70 por ciento de alto carbono. Aceros con mayor contenido de carbono, no son de uso comercial.

En la tabla 2.10, se especifican los aceros más empleados en México para la construcción de recipientes, tanto a presión como atmosféricos y se indican también los rangos de temperatura a que éstos trabajan aproximadamente.

Cuando se llega a presentar algún problema para una compañía constructora de tanques en la adquisición de materiales fabricados bajo las normas de la tabla mencionada, pueden emplearse otras especificaciones siempre y cuando cumplan con los mismos requisitos.



ESPECIFICACION DEL MATERIAL	GRADO	OBSERVACIONES
ASTM A- 285	C	<i>Son aceros al carbono muy dúctiles, maleables y fáciles de maquinar. Se usan en placas que resultan muy económicas y tienen gran existencia en el mercado, indicadas para emplearse en tanques atmosféricos que trabajen a temperaturas moderadas de entre 61°F (18.33°C) y 650°F (345°C).</i>
ASTM A- 283	C	
ASTM A-36		
ASTM A-515		<i>Se usan para recipientes a presión que trabajen a temperaturas entre 61°F (18.33°C) y 775°F (413°C).</i>
ASTM A-387		<i>Se usa en recipientes a presión que trabajen con temperaturas elevadas de hasta 1050°F (566°C).</i>
ASTM A-516		<i>Es un acero al carbono que se usa en recipientes a presión, los cuales a su vez: se emplean en procesos criogénicos con temperaturas de servicio bajas y moderadas entre -50°F (-45°C) y 60°F (15°C).</i>
ASTM A-203		<i>Son aceros con un contenido de níquel del 2.2 al 3.5%, para recipientes que trabajen a temperaturas muy bajas de hasta -425°F (-254°C).</i>
ASTM A-240-TP		
ASTM A-662	B	<i>Las placas de este tipo de acero al carbono-manganeso se usan en recipientes a presión, en servicio de temperatura baja y moderada, de -50°F (-45°C) a 60°F (15°C).</i>

TABLA 2.10 Tipos de acero más empleados en México para la construcción de recipientes, tanto a presión como atmosféricos.

(Información basada en las normas API Std. 620 y Std. 650, normas ASTM y normas de PEMEX, para diseño de tanques).

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### 2.6.2 Accesorios. <sup>(13)</sup>

*Para la colocación de los diversos accesorios que se mencionan a continuación, se deberá verificar previamente la longitud y diámetro de los mismos, así como las instrucciones del fabricante.*

*Accesorios en tanques superficiales de pared sencilla*

- *Venteo normal.*
- *Venteo de emergencia.*
- *Arrestador de flama.*
- *Entrada hombre.*
- *Control de inventarios*

*En tanques superficiales de doble pared no confinados se añadirán los siguientes accesorios:*

*Detección electrónica de fugas en espacio anular.*

*Venteo de emergencia en tanque secundario.*

***Venteo normal:*** Los venteos normales de los tanques de almacenamiento deberán instalarse de acuerdo a los siguientes criterios: en hidrocarburos líquidos con temperatura de inflamación mayor a 60°C (combustible diesel) se utilizarán boquillas para venteos con arrestador de flama. En hidrocarburos líquidos con temperatura de inflamación menor a 60°C (gasolina) se usarán venteos con válvulas de presión/vacío.

***Venteo de emergencia:*** Todos los tanques superficiales deben contar con una capacidad adicional de venteo con el fin de relevar la presión interna producida en caso de incendio. Para tal efecto se instalarán una o varias válvulas de alivio. El registro pasa-hombre será del modelo que permita que su cubierta se levante cuando los tanques estén expuestos a cualquier condición anormal de presión interna.

***Venteo de emergencia en tanque secundario:*** Cuando se coloquen tanques de doble pared sin confinamiento, se instalará un venteo adicional en la pared secundaria con el fin de relevar la presión interna producida en caso de incendio en el espacio anular de ambos tanques, de acuerdo a UL 2085.



**Control de Nivel:** El uso de este sistema en tanques de almacenamiento de combustibles es de gran importancia para prevenir sobrellenados, fugas y derrames de productos.

Permite medir las existencias del producto almacenado y será del tipo electrónico y automatizado.

Para instalar este dispositivo se colocará un tubo de acero al carbón de 2" de diámetro, cédula 40, desde el domo del tanque de almacenamiento hasta el nivel de piso terminado de la cubierta de la fosa. En el extremo superior del tubo se colocará una tapa y un registro para la interconexión del sistema de medición.

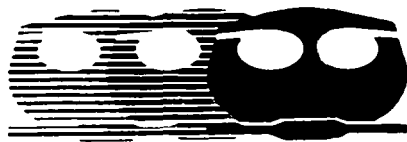
**Entrada Hombre:** Estará localizada en el cuerpo del tanque y su tapa se fijará herméticamente. La tapa deberá ser de peso liviano para evitar lesiones al operario, y su medida máxima será de 42".

La entrada hombre será utilizado para la inspección y limpieza interior de los tanques de almacenamiento.

**Detección electrónica de fugas en espacio anular:** Este sistema ayuda a prever fugas ocasionadas por fallas en el sistema de doble contención del tanque. Este sistema se instalará solamente en los tanques de doble pared.

**Arrestadores para Flama:** Es un dispositivo normalmente colocado en tanques de almacenamiento que contienen productos con presión de vapor no mayor a 0.169 Kg/cm<sup>2</sup> y/o su temperatura de ignición sea inferior a 60 °C.

**Capítulo III**  
**Trabajo de Campo**





### 3.1 Descripción del área de almacenamiento

En la Refinería se obtienen los siguientes productos: Gas Licuado, Gasolina Magna, Gasolina Premium, Diesel, Gas avión 100, Turbosina, Diesel Desulfurado, Diesel Marino, Combustóleo, coque, Asfalto-20, AC-30 y Azufre.

Con los cuales la refinería cubre la demanda de la zona de influencia y en ocasiones, algunos de ellos se exportan de acuerdo a los pactos comerciales que PEMEX realiza en el extranjero

Para el almacenamiento tanto de materia prima como de los destilados intermedios y terminados la refinería cuenta con el área de almacenamiento se divide en tres que son:

- ✓ Patio Norte
- ✓ Patio Oriente
- ✓ Patio Poniente

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

A continuación se describen los diferentes patios:

#### Patio Norte

En este patio almacena Crudo, Gasolina y así como destilados Intermedios tiene una capacidad para almacenar gasolina 1'055,000 Barriles.

El patio norte se almacena gasolina y se cuenta con el siguiente equipo:

Servicio	Clave del Equipo	Tipo de Techo (Cúpula)	Capacidad Nominal (Barriles)	Diámetro (m)	Altura (m)
Gasolina	MJN-T-506	Flotante	80000	39.31	10.66
Gasolina	MJN-T-508	Flotante	80000	36.60	12.19
Gasolina	MJN-T-509	Flotante	80000	36.60	12.19
Gasolina	MJN-T-510	Flotante	150000	45.72	14.63
Gasolina	MJN-T-512	Flotante	150000	45.72	14.63
Gasolina	MJN-T-514	Flotante	100000	36.88	14.63
Gasolina	MJN-T-567	Flotante	100000	40.84	12.19
Gasolina	MJN-T-568	Flotante	100000	40.84	12.19
Gasolina	MJN-T-574	Flotante	55000	30.48	12.19
Gasolina	MJN-T-801	Flotante	80000	36.57	12.19
Gasolina	MJN-T-802	Flotante	80000	36.57	12.19

Cuenta también para su distribución la casa de bombas No 23, la cual se especifica a continuación.



Servicio	Bomba	Presión de Descarga (Kg/cm <sup>2</sup> )
Gasolina	MJN-P-2I	3-5
Gasolina	MJN-P-2A	3-5
Gasolina	MJN-P-2B	3-5
Gasolina	MJN-P-2C	3-5

Tabla 3.1 Equipos utilizados para el manejo de Gasolina (Patio Norte)

**Patio Oriente**

En el Patio se almacenan productos intermedios, obtenidas en las unidades de proceso de la refinería, para un proceso posterior. Por la diversidad de productos que existen en este patio, se cuentan con diferentes tipos de tanques en las que podemos mencionar tanques atmosféricos (verticales), presurizados (horizontales), esféricos y esferoides; su capacidad de almacenamiento es de 1'650,000 Barriles

En el patio Oriente se cuentan con 4 tanques verticales para almacenamiento de gasolina en servicio y son:

Servicio	Clave del equipo	Tipo de techo (cúpula)	Capacidad Nominal (Barriles)	Diámetro (m)	Altura (m)
Gasolina Desulfurada	MJA-T-88	Fija	20000	18.30	12.80
Gasolina Desulfurada	MJA-T-89	Fija	20000	18.30	12.80
Gasolina Desulfurada	MJA-T-90	Fija	20000	18.30	12.80
Gasolina Desulfurada	MJA-T-91	Fija	20000	18.30	12.80

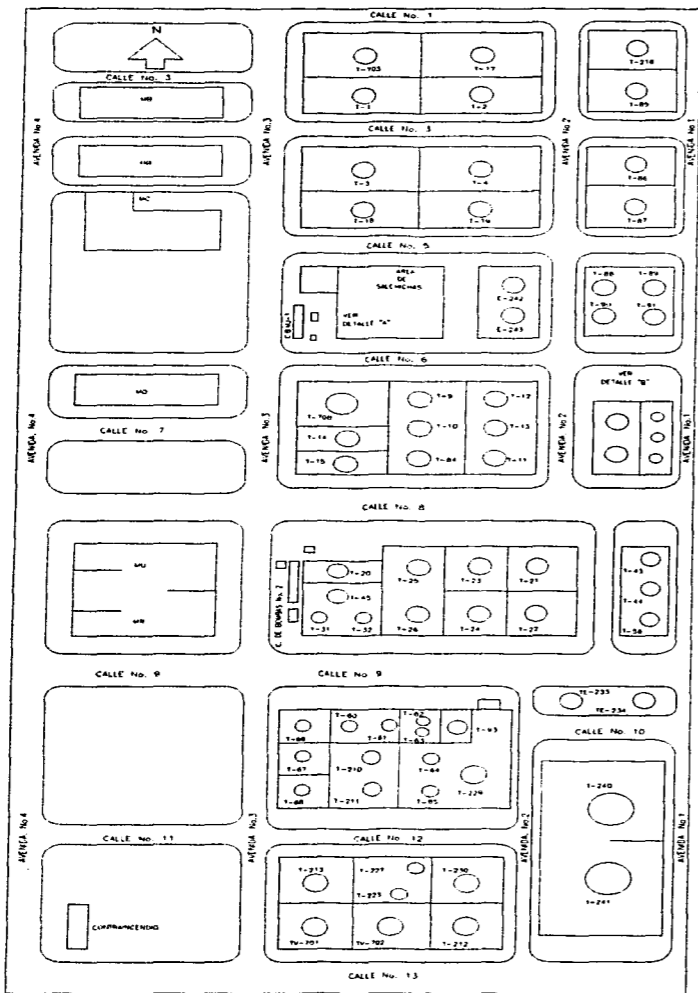
Cuenta también para su transportación la casa de bombas No 1, la cual se especifica a continuación.

Servicio	Bomba	Presión de Descarga (Kg/cm <sup>2</sup> )
Gasolina	MJA-CH-P19	3-5
Gasolina	MJA-BA-P3	3-5
Gasolina	MJN-BA-P2	3-5
Gasolina	MJN-BA-P1	3-5

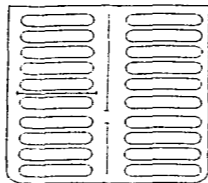
Tabla 3.2 Equipos utilizados para el manejo de Gasolina (Patio Oriente)



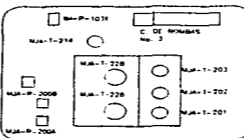




- MAR-T-32
- MAR-T-34
- MAR-T-35
- MAR-T-37
- MAR-T-38
- MAR-T-39
- MAR-T-41



DETALLE "A"



DETALLE "B"

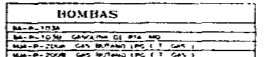
- MAR-T-84
- MAR-T-93
- MAR-T-94
- MAR-T-97
- MAR-T-98
- MAR-T-204
- MAR-T-207
- MAR-T-208
- MAR-T-209
- MAR-T-210

TANQUE HORIZONTAL	PRODUCTO ALMACENADO	CAPACIDAD
MAR-T-32	PROPANO	700 ML
MAR-T-34	PROPANO	700 ML
MAR-T-35	PROPANO	700 ML
MAR-T-37	PROPANO	700 ML
MAR-T-38	PROPANO	700 ML
MAR-T-39	PROPANO	700 ML
MAR-T-41	PROPANO	700 ML
MAR-T-84	PROPANO	700 ML
MAR-T-93	PROPANO	700 ML
MAR-T-94	PROPANO	700 ML
MAR-T-97	PROPANO	700 ML
MAR-T-98	PROPANO	700 ML
MAR-T-204	PROPANO	700 ML
MAR-T-207	PROPANO	700 ML
MAR-T-208	PROPANO	700 ML
MAR-T-209	PROPANO	700 ML
MAR-T-210	PROPANO	700 ML

TANQUE No	PRODUCTO ALMACENADO	CAPACIDAD
MAR-T-1	PROPANO	80,000 ML
MAR-T-2	PROPANO	80,000 ML
MAR-T-3	PROPANO	80,000 ML
MAR-T-4	PROPANO	80,000 ML
MAR-T-9	PROPANO	70,000 ML
MAR-T-10	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-11	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-12	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-13	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-14	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-15	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-16	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-17	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-18	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-19	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-20	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-21	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-22	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-23	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-24	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-25	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-26	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-27	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-28	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-29	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-30	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-31	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-32	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-33	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-34	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-35	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-36	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-37	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-38	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-39	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-40	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-41	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-42	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-43	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-44	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-45	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-46	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-47	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-48	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-49	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-50	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-51	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-52	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-53	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-54	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-55	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-56	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-57	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-58	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-59	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-60	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-61	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-62	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-63	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-64	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-65	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-66	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-67	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-68	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-69	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-70	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-71	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-72	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-73	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-74	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-75	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-76	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-77	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-78	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-79	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-80	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-81	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-82	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-83	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-84	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-85	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-86	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-87	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-88	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-89	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-90	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-91	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-92	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-93	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-94	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-95	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-96	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-97	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-98	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-99	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-100	PROPANO	20,000 ML

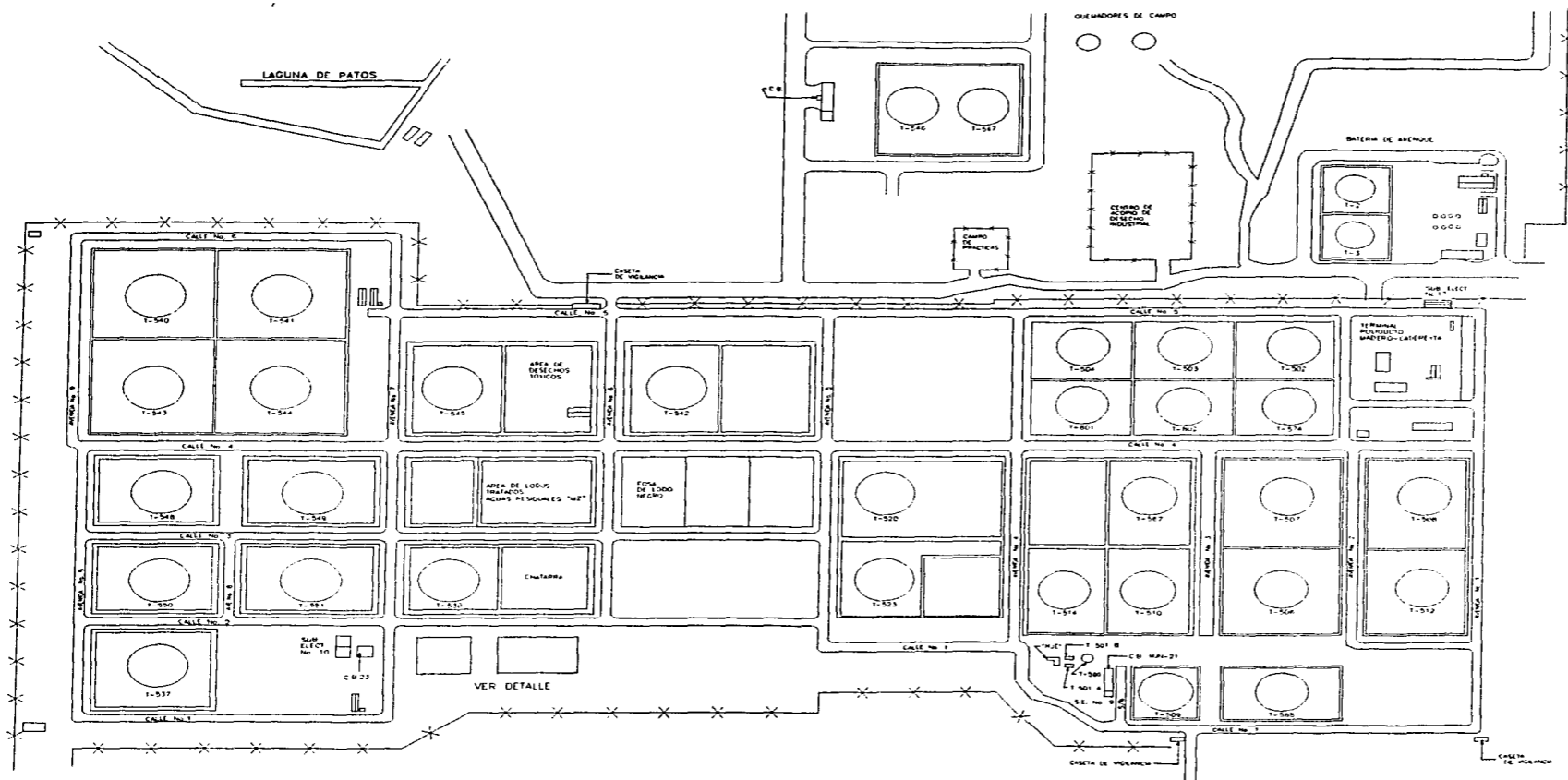
**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

TANQUE No	PRODUCTO ALMACENADO	CAPACIDAD
MAR-T-200	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-201	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-202	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-203	PROPANO	20,000 ML



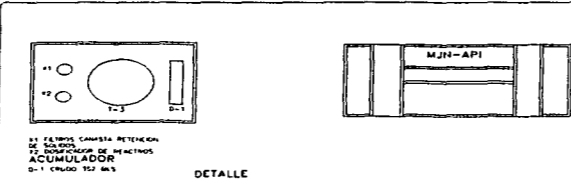
TANQUE	PRODUCTO ALMACENADO	CAPACIDAD
MAR-T-101	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-102	PROPANO	20,000 ML
MAR-T-103	PROPANO	20,000 ML

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



SERVICIO	EQUIPO	CAP. NOM. BLS.
GASEOLINA	MUN-T-504	100,000
	MUN-T-505	100,000
	MUN-T-510	100,000
	MUN-T-512	100,000
	MUN-T-514	100,000
	MUN-T-507	100,000
	MUN-T-508	100,000
	MUN-T-574	55,000
	MUN-T-501	80,000
	MUN-T-502	80,000
DIESEL	MUN-T-503	60,000
	MUN-T-504	60,000
	MUN-T-507	100,000
	MUN-T-509	200,000
	MUN-T-523	200,000
	MUN-T-527	100,000
	MUN-T-540	200,000
	MUN-T-543	200,000
	MUN-T-545	200,000
	MUN-T-544	200,000
GRUPO	MUN-T-546	200,000
	MUN-T-548	200,000
	MUN-T-549	200,000
	MUN-T-550	200,000
	MUN-T-551	200,000
GASOLEO	MUN-T-530	100,000
	MUN-T-547	200,000
RECUPERACION	MUN-T-506	1,000
	MUN-T-509	2,000
	MUN-T-522	50,000
	MUN-T-545	200,000

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



11 TUBERIA COMBATE RETENCION  
 12 TUBERIA COMBATE RETENCION  
 D-1 CRUDO T52 M3  
 D-2 CRUDO T52 M3

DETALLE



### *Patio poniente*

*Este patio esta destinado a almacenar los distintos tipos de combustoleo que se produce en la refinería, su capacidad es de 1'900,000 Barriles.*

*En los patios norte y oriente son los que nos interesa ya que el patio oriente se obtiene gasolina de las diferentes plantas y las diferentes corrientes que se envían al patio norte para preparar la gasolina en los tanques de preparación de gasolina.*

*Se muestran en los planos de localización de equipo del área de almacenamiento del patio norte y oriente.3.1 y el 3.2*

### *3.2 Desarrollo del análisis HazOp.<sup>(1)</sup>*

*Para desarrollar un estudio HazOp se requiere de una descripción completa del proceso y se cuestiona a cada una de las partes de proceso y a cada componente para descubrir que desviaciones del propósito original, por lo cual fueron diseñados, pueden ocurrir y determinar cuales de esas desviaciones pueden dar lugar a riesgos al proceso o al personal.*

*Los componentes se analizaran mediante el empleo de palabras clave o guía las cuales están concebidas para asegurar que las preguntas exploren todas las posibilidades de que su funcionamiento se desvíe de su intención y propósitos de diseño.*

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

*La información preliminar requerida para su realización es la siguiente:*

- ✓ Diagramas de Tubería e Instrumentación*
- ✓ Diagramas de Flujo de Proceso*
- ✓ Procedimientos de operación, de mantenimiento y de emergencia*
- ✓ Condiciones de operación y de proceso*
- ✓ Capacidades de diseño, materiales de construcción y especificaciones*

*Con toda esta información se procede a actualizar los diagramas de flujo de proceso y diagramas de tuberías e instrumentación etc.*

*Por la estructura propia del método.- Debido a que el método consiste en una división del área de estudio en circuitos y posteriormente en nodos, se facilita el análisis de cada parte del proceso, haciéndolo entonces muy específico; además al realizar el análisis en puntos donde convergen dos o más nodos o circuitos el análisis se hace un poco repetitivo, sin embargo esta lejos de ser una desventaja representa una ventaja al no poder pasar algo por alto.*



*Por último, se hacen recomendaciones para eliminar o reducir estos riesgos y se establecen las acciones requeridas para implantarlas.*

*También por medio del análisis "HazOp" se identifican los escenarios de accidentes aquellos que tienen una alta probabilidad y que pueden ocasionar cuantiosos daños para hacer un análisis de Arbol de fallas y un análisis de consecuencias con el propósito de cuantificarlos tomar decisiones de aceptación, elaborar planes de emergencia y de evacuación y establecer medidas de protección para mitigar sus consecuencias.*

### **3.2.1 Análisis del Circuito de gasolina**

*El circuito de Gasolina fue seleccionado como un circuito crítico debido a que de existir un incidente dentro de este las consecuencias son inmediatas para la refinería debido a la importancia de la gasolina, ya que representa el 30% de la producción de la refinería y 50% de los Ingresos de la misma;. Aunque la probabilidad de que haya un accidente es mínima, si éste se produjera su repercusión al exterior podría ser grande, pues las cantidades involucradas son elevadas. El análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp" se realizó solo en el circuito de Gasolina que se dividió en cuatro nodos que son:*

**Nodo 1** Línea de recibo de muelles a tanques patio norte

**Nodo 2** Tanque MJN-T-509

**Nodo 3** Gasolina de MJN-T-509 a casa de bombas MJN-CB-21

**Nodo 4** Gasolina de planta UPH a tanque MJA-T-90

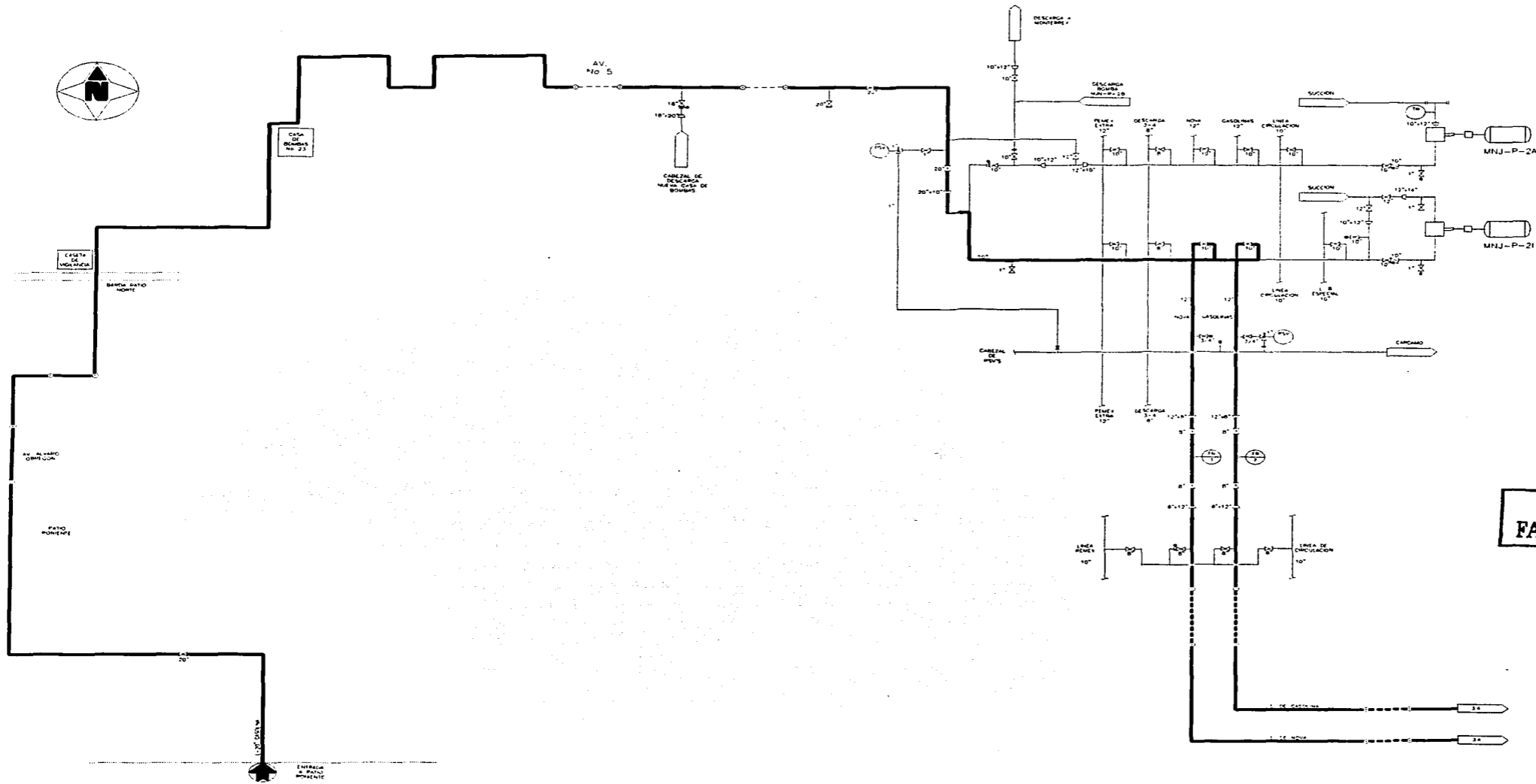
*Cada Nodo tiene su respectivos Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) los cuales fueron utilizados durante las reuniones de análisis de riesgos y Operabilidad*



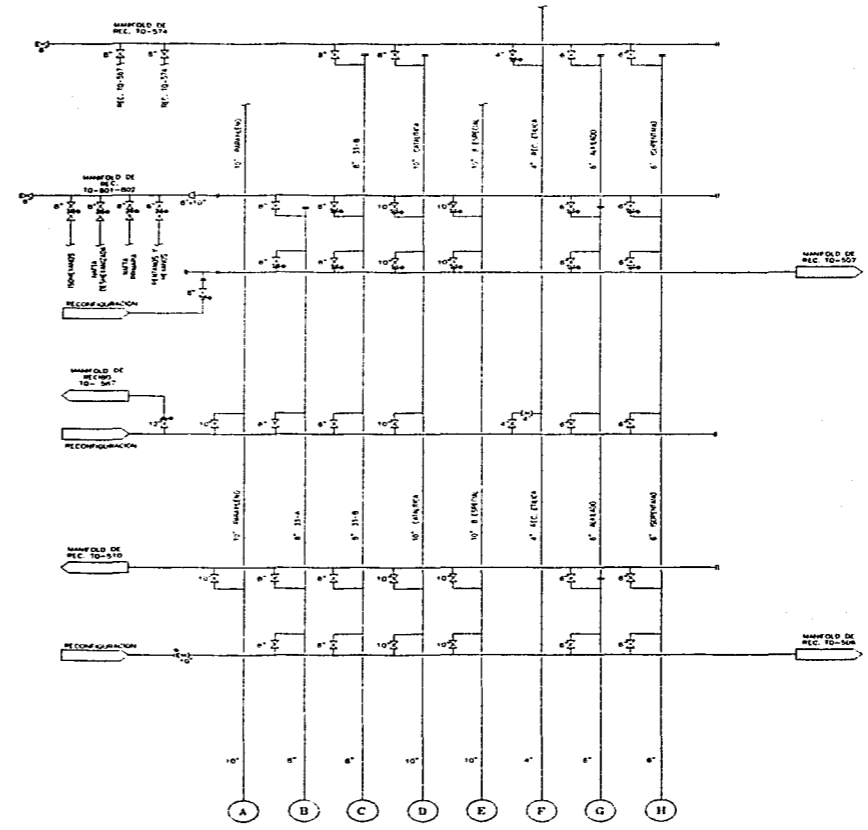
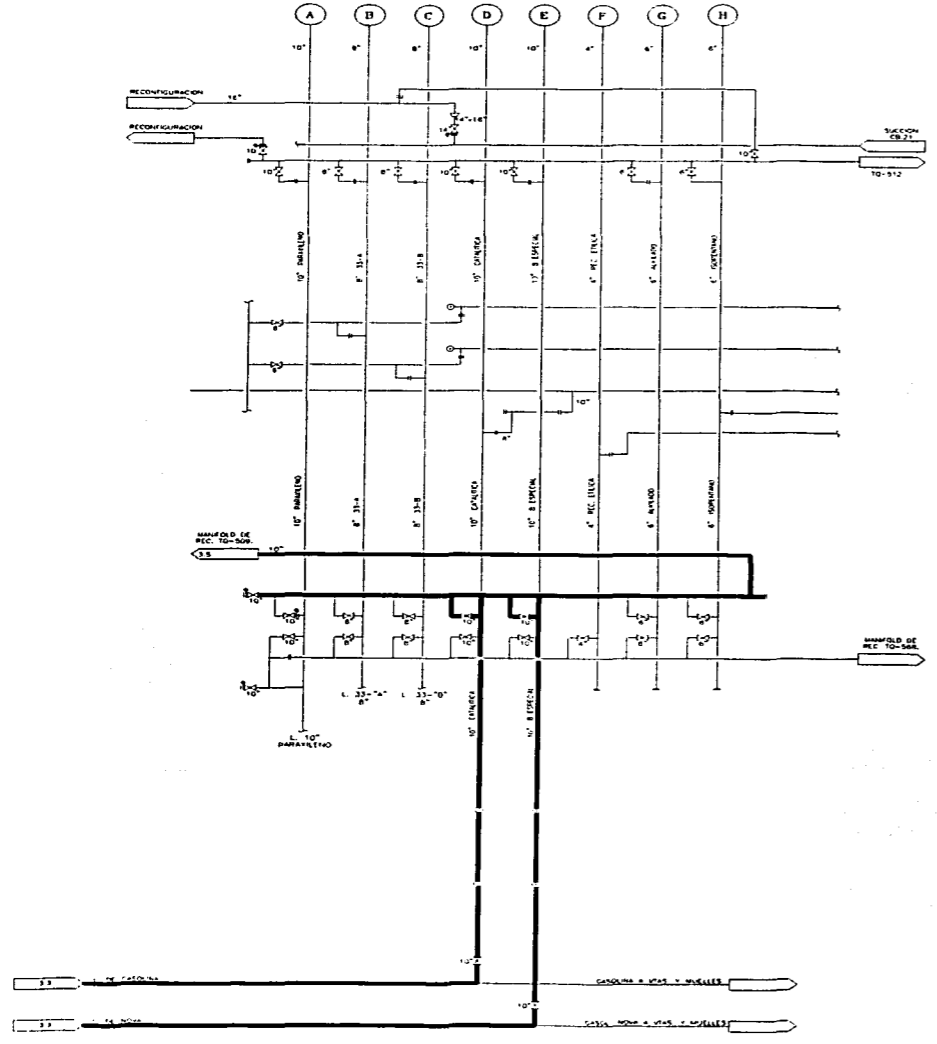
## **NODO 1**

### **Línea de recibo de muelles a tanques patio norte**

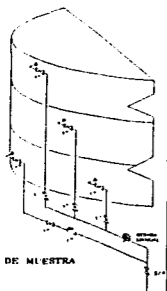
*La Gasolina es uno de los productos que llegan por barco al área de almacenamiento en el Patio Norte a través de la línea L-20 que es de 20" de diámetro donde se envía a través de una bomba de turbina que se encuentra dentro del barco. La línea L-20 pasa por el Patio Poniente atraviesa la avenida Álvaro Obregón para pasar por un lado de casa de bombas No. 23 donde sigue hasta llegar a una válvula de 20" donde más adelante hay una reducción donde la línea se reduce a 10" para llegar a casa de Bombas No.21 donde se divide en dos líneas que son L. de gasolina de 10" y la L. de Nova de 10" donde están instalados dos registradores de flujo uno en cada línea donde más adelante se encuentra una ampliación a cada línea pasando a 12" en que estas líneas tienen un injerto de una línea de 10" en el que estas líneas se dirigen a los manifold de los tanques de almacenamiento de gasolina, donde puede ser enviado a cualquiera de los tanques destinados para el almacenamiento de gasolina, de las diferentes capacidades con que se cuentan.*



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

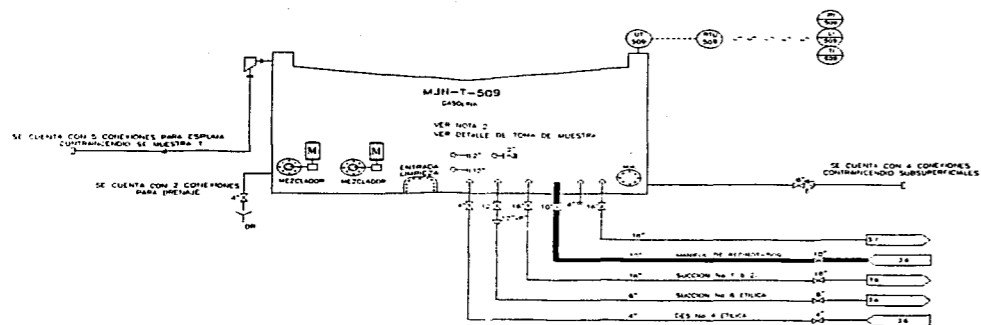


**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



DETALLE DE TOMA DE MUESTRA

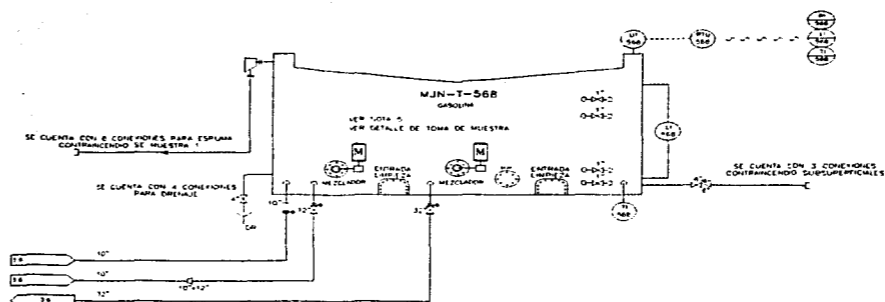
MJN-T-509  
CASOLINA  
CAP. 100000 GAL.  
D. 174 IN. H. 40 FT.  
ACERO INOXIDABLE



E. ON TORREAN

CALLE No. 1

MJN-T-568  
CASOLINA  
CAP. 100000 GAL.  
D. 174 IN. H. 40 FT.  
ACERO INOXIDABLE  
TIENE DE OPERACION



- NOTAS
- 1- EL TANQUE MUESTRA 1, CUENTA CON 2 APAREJOS DE LLENADO DEL TENDÓN FLUJANTE
  - 2- EL TANQUE MJN-T-509, CUENTA CON 4 APAREJOS DE ENFRAMADO
  - 3- EL TANQUE MJN-T-509 CUENTA CON 1 MONITOR CONTRA INCENDIO
  - 4- EL TANQUE MJN-T-568, CUENTA CON 2 APAREJOS DE LLENADO DEL TENDÓN FLUJANTE

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**





	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombeos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 1:</b> Recibo de Gasolina de Muelles a Tanques de Patio Norte		
	<b>Diagramas:</b> Diagrama 3.3,3.4	<b>Producto:</b>	Gasolina Premium
<b>Desviación:</b> <i>No Flujo</i>			

<b>Causa</b> <i>1.-Cualquier bloqueo intermedio cerrado.</i>			
<b>Consecuencias</b> <i>1. Represionamiento de la línea hacia el barco. 2. Fugas por conexiones y o accesorios. 3. Contaminación ambiental. 4. Incendio.</i>			
<b>Protecciones</b> <i>1. Instrucciones de trabajo para el recibo de gasolina de muelles. 2. Capacitación y adiestramiento de personal operativo. 3. Programa de calibración y revisión de tornillería y líneas. 4. Programa administrativo de suministro de productos de muelles</i>			
<b>Recomendaciones :</b> <i>1. Actualizar las instrucciones de trabajo para la integración de líneas de reconfiguración. 2. Continuar con el Programa de calibración y revisión de tomillería y líneas. 3. Reforzar la capacitación personalizada de personal operativo. 4. Pláticas motivacionales al personal para el mejor desempeño de sus actividades.</i>			
Frecuencia (4), 2	Gravedad (4),2	Riesgo (9),4	Clase B
<b>Causa</b> <i>2. Compuerta caída de cualquier válvula intermedia.</i>			
<b>Consecuencias</b> <i>1. Represionamiento de la línea hacia el barco. 2. Fugas por conexiones y o accesorios. 3. Contaminación ambiental. 4. Incendio.</i>			
<b>Protecciones</b> <i>1. Lubricación de vástago de válvulas. 2. Mantenimiento interno de la válvula cuando fuge esta</i>			
<b>Recomendaciones :</b> <i>1. Contar con el refaccionamiento adecuado para mantenimiento y/o reparación de válvulas. 2. Elaborar un programa de mantenimiento a las válvulas del circuito.</i>			
Frecuencia (4),2	Gravedad(4),2	Riesgo(9),4	Clase B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 1:</b> Recibo de Gasolina de Muelles a Tanques de Patio Norte		
	<b>Diagramas:</b> Diagrama 3.3 ,3.4,3.5	<b>Producto:</b> Gasolina Premium	
<b>Desviación:</b> <i>No Flujo</i>			

<b>Causa</b> 1. Mala programación de suministro de producto (se rebasa el régimen de recibo).			
<b>Consecuencias</b> 1. Daños en la cúpula debido a atoramiento en la escalera retráctil 2. Daños en el sello perimetral doble limpiador. 3. Sobrellenado del tanque. 4. Desprendimiento de la cúpula. 5. Derrame de gasolina			
<b>Protecciones</b> 1. Régimen de recibo establecido. 2. Sistema de tele medición de nivel con alarma por alto nivel. 3. Programa de mantenimiento preventivo al sistema de tele medición.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Dar estricto cumplimiento al programa de recibo			
Frecuencia (3) , 2	Gravedad (3) , 2	Riesgo (7) , 4	Clase B
<b>Causa</b> 2. Error en el manejo de control de velocidad en la turbina de suministro de producto de barco.			
<b>Consecuencias</b> 1. Daños en la cúpula debido a atoramiento en la escalera retráctil 2. Daños en el sello perimetral doble limpiador. 3. Sobrellenado del tanque. 4. Se rebasa el límite máximo de carrera de la cúpula. 5. Derrame de producto.			
<b>Protecciones</b> 1. Comunicación tierra-mar para los movimientos de recibo de producto. 2. Programa de inspección preventiva de riesgos en tanques de almacenamiento. 3. Sistema de tele medición de nivel con alarma por alto nivel. 4. Programa de mantenimiento preventivo al sistema de tele medición. 5. Instrucción de trabajo para el recibo de producto a tanques			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Dar estricto cumplimiento al programa de recibo 2. Seguir cumpliendo con los programas de inspección preventiva de riesgos en tanques de almacenamiento. 3. Seguir cumpliendo con los programas de mantenimiento preventivo al sistema de tele medición.			
Frecuencia (3) , 2	Gravedad(2) , 2	Riesgo(6) , 4	Clase B

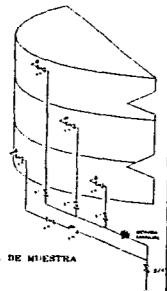
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **NODO 2**

### **Tanque MJN-T-509**

*El tanque MJN-T-509 es de tipo atmosférico de techo fijo, con capacidad de almacenamiento de 80,000 barriles, esta construido con placas de acero al carbón, teniendo como base un anillo de cimentación, cuenta con cuatro anillos de enfriamiento, tiene un sistema de tele medición de nivel, tiene una entrada hombre y una puerta de limpieza, tiene una boquilla de medición, tiene 4 boquillas de 6" de inyección subsuperficial, 5 cámaras de espuma en la parte superior del tanque, un monitor contra incendio, el cual se opera normalmente entre un 20% como mínimo y con un máximo de 80% de su capacidad. Por ser uno de los tanques de mayor tiempo en servicio es por lo que se le va hacer el análisis considerando por el tiempo de uso puede tener mayor problemas de operación.*

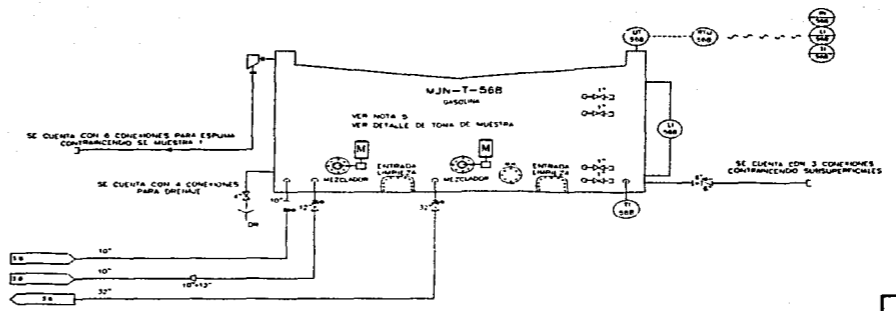
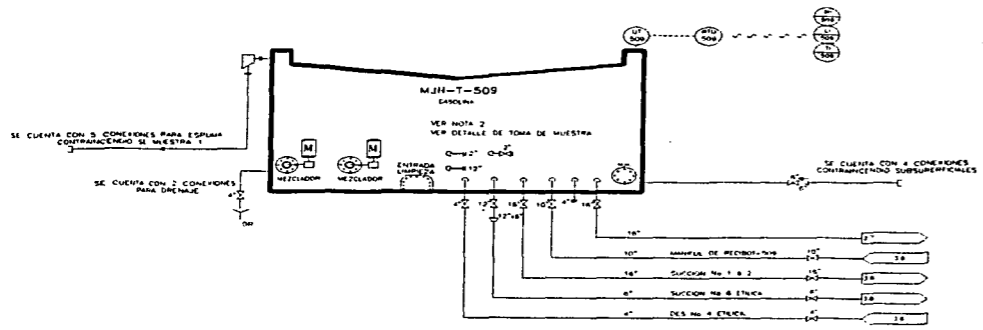


DETALLE DE TOMA DE MUESTRA

MJN-T-509  
GASOLINA  
CAPA flotante 115  
D. 120 ft. x 40 ft.  
TECHO flotante

MJN-T-568  
GASOLINA  
CAPA flotante 115  
D. 120 ft. x 40 ft.  
TECHO flotante  
SIEMPRE  
OPERACION

- NOTAS
- 1- EL TANQUE MJN-T-509 CUENTA CON 2 ARREGLOS DE CUBIERTA DEL TECHO flotante
  - 2- EL TANQUE MJN-T-509 CUENTA CON 4 ANILLOS DE EMPARTEADO
  - 3- EL TANQUE MJN-T-509 CUENTA CON 4 MONITORES CONTRA TORNADO
  - 4- EL TANQUE MJN-T-568 CUENTA CON 2 ARREGLOS DE CUBIERTA DEL TECHO flotante



S ON RUBIENAY

CALLE No 1

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Área/proceso:</b> Sector 6 Bombes y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 2:</b> Tanque MJN-T-509		
	<b>Diagramas:</b> Diagrama 3.5	<b>Producto:</b> Gasolina Premium	
<b>Desviación:</b> Alto nivel			

<b>Causa</b> 1. Movimiento involuntario (alineación errónea de tanques, al hacer cambio de tanque se deja alineado el tanque que ya está lleno)			
<b>Consecuencias</b> 1. Derrame de gasolina. 2. Contaminación 3. Daño severo a la estructura de la cúpula flotante 4. Incendio			
<b>Protecciones</b> 1. Instrucciones de trabajo. 2. Capacitación. 3. Bloqueos en drenajes de diques. 4. Sistema contra incendio, cámaras de espuma e inyecciones			
<b>Recomendaciones:</b> 1. Continuar con la capacitación del personal en movimientos operacionales. 2. Instalar sistema de tele medición de nivel con LAHH. 3. Actualizar las instrucciones de trabajo cuando se hacen modificaciones en las líneas			
Frecuencia (4),3	Gravedad(3),2	Riesgo(8),6	Clase B
<b>Causa</b> 2. Mala comunicación entre ingeniero, jefe de guardia y medidor general.			
<b>Consecuencias</b> 1. Derrame, con una alta contribución de aceite a efluentes. 2. Emisión de vapores a la atmósfera. 3. Daño severo a la estructura de la cúpula flotante 4. Incendio			
<b>Protecciones</b> 1. Instrucciones de trabajo. 2. Capacitación. 3. Bloqueos en drenajes de diques. 4. Sistema contra incendio, cámaras de espuma e inyecciones subsuperficiales.			
<b>Recomendaciones:</b> 1. Respetar y aplicar la jerarquía de mandos para el cumplimiento de las instrucciones de trabajo y minimizar la falta de comunicación. 2. Continuar la aplicación de la instrucción de trabajo. 3. Que recursos humanos refuerce la capacitación apoyándose en personal de operación del área.			
Frecuencia (4),3	Gravedad(3),2	Riesgo(8),6	Clase B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombas y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 2:</b> Tanque MJN-T-509		
	<b>Diagramas:</b> Diagrama 3.5	<b>Producto:</b> Gasolina Premium	
<b>Desviación:</b> Alto nivel			
<b>Causa</b> 1. Movimiento involuntario (alineación errónea de tanques, al hacer cambio de tanque se deja alineado el tanque que ya esta lleno)			
<b>Consecuencias</b> 1. Derrame de gasolina. 3. Daño severo a la estructura de la cúpula flotante			
2. Contaminación 4. Incendio			
<b>Protecciones</b> 1. Instrucciones de trabajo. 3. Bloqueos en drenajes de diques. inyecciones			
2. Capacitación 4. Sistema contra incendio, cámaras de espuma e			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Continuar con la capacitación del personal en movimientos operacionales. 2. Instalar sistema de tele medición de nivel con LAH. 3. Actualizar las instrucciones de trabajo cuando se hacen modificaciones en las líneas			
<b>Frecuencia (4),3</b>	<b>Gravedad(3),2</b>	<b>Riesgo(8),6</b>	<b>Clase B</b>
<b>Causa</b> 2. Mala comunicación entre ingeniero, jefe de guardia y medidor general.			
<b>Consecuencias</b> 1. Derrame, con una alta contribución de aceite a efluentes. 2. Emisión de vapores a la atmósfera. 3. Daño severo a la estructura de la cúpula flotante 4. Incendio			
<b>Protecciones</b> 1. Instrucciones de trabajo. 2. Capacitación. 3. Bloqueos en drenajes de diques. 4. Sistema contra incendio, cámaras de espuma e inyecciones subsuperficiales.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Respetar y aplicar la jerarquía de mandos para el cumplimiento de las instrucciones de trabajo y minimizar la falta de comunicación. 2. Continuar la aplicación de la instrucción de trabajo. 3. Que recursos humanos refuerce la capacitación apoyándose en personal de operación del área.			
<b>Frecuencia (4),3</b>	<b>Gravedad(3),2</b>	<b>Riesgo(8),6</b>	<b>Clase B</b>
<b>Causa</b> 3. Falla y/o incumplimiento en la rutina de medición de nivel.			
<b>Consecuencias</b> 1. Derrame de gasolina 2. Emisión de vapores a la atmósfera. 3. Daño severo a la estructura de la cúpula flotante. 4. Contaminación de drenajes aceitoso y pluvial.			
<b>Protecciones</b> 1. Instrucción de trabajo para medición de nivel. 2. Capacitación de personal operacional			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Concientizar al personal de operación para aplicación de la instrucción de trabajo para medición de nivel. 2. Instalar sistema de tele medición con alarma de alto y bajo nivel. E incluirlo en el programa de mantenimiento preventivo.			
<b>Frecuencia (5),5</b>	<b>Gravedad(3),3</b>	<b>Riesgo(9),9</b>	<b>Clase A</b>

TESIS CON  
 FOLIO DE ORIGEN



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Área/proceso:</b> Sector 6 Bombeos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 2:</b> Tanque MJN-T-509		
	<b>Diagramas</b> Diagrama 3.5	<b>Producto:</b> Gasolina Premium	
<b>Desviación:</b> Alto nivel			

<b>Causa</b>			
4. Válvulas calzadas, se quedan abiertas.			
<b>Consecuencias</b>			
1. Derrame de gasolina. 2. Emisión de vapores a la atmósfera. 3. Daño severo a la estructura de la cúpula flotante. 4. Contaminación de drenajes aceitoso y pluvial.			
<b>Protecciones</b>			
1. Procedimiento de emergencia para el derrame de un tanque. 2. Se tienen válvulas de bloqueo en drenaje de diques, para evitar la extensión del derrame.			
<b>Recomendaciones :</b>			
1. Realizar simulacros de contingencia por sobrellenado de tanques. 2. Elaborar un procedimiento para el mantenimiento de válvulas en los principales circuitos.			
Frecuencia (3),2	Gravedad(3),2	Riesgo(7),4	Clase B
<b>Causa</b>			
5. Sobrepasar el régimen de recibo			
<b>Consecuencias</b>			
1.-Sobrepresionamiento del tanque. 2. Derrame de gasolina. 3. Inundación de las cámaras de espuma. 4. Erosión en la placa del fondo del Tanque			
<b>Protecciones</b>			
1. Régimen de recibo establecido. 2. Ventilas de emergencia.			
<b>Recomendaciones :</b>			
1. Continuar con en el programa de revisión y mantenimiento a válvulas de presión vacío y arrestadores de flama.			
Frecuencia (3),2	Gravedad(2),2	Riesgo(6),4	Clase B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombes y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 2:</b> Tanque MJN-T-509		
	<b>Diagramas</b> Diagrama 3.5:	<b>Producto:</b>	Gasolina Premium
<b>Desviación:</b> Bajo nivel			
<b>Causa</b>			
1. Fuga en la brida del mezclador.			
<b>Consecuencias</b>			
1. Contaminación de los drenajes aceitoso y pluvial. 2. Contaminación a los mantos freáticos. 3. Incendio			
<b>Protecciones</b>			
1. Programa de reparación general de tanques. 2. Inspección preventiva de riesgos 3. Bloqueos en drenaje de diques			
<b>Recomendaciones</b>			
1. Cumplir con el programa de reparación general de tanques de almacenamiento de gasolina. 2. Continuar con la inspección preventiva de riesgos. 3. Realizar las pruebas no destructivas necesarias cuando se hagan reparaciones			
<i>Frecuencia (3),2</i>	<i>Gravedad(3),2</i>	<i>Riesgo(7),4</i>	<b>Clase B</b>
<b>Causa</b>			
2. Fuga en alguna válvula al pie del tanque.			
<b>Consecuencias</b>			
1. Contaminación de los drenajes aceitoso y pluvial. 2. Contaminación a los mantos freáticos y emisión de vapores a la atmósfera. 3. Incendio.			
<b>Protecciones</b>			
1. Programa de reparación general de tanques. 2. Inspección preventiva de riesgos. 3. Pruebas hidrostáticas en líneas.			
<b>Recomendaciones :</b>			
1. Cumplir con el programa de reparación general de tanques de almacenamiento de gasolina. 2. Continuar con la inspección preventiva de riesgos.			
<i>Frecuencia (3),2</i>	<i>Gravedad(3),2</i>	<i>Riesgo(7),4</i>	<b>Clase B</b>
<b>Causa</b>			
3. Succión de producto sobrepasando el mínimo de nivel, por no contar con un dato real del nivel.			
<b>Consecuencias</b>			
1. Daños a la cúpula. 2. Formación de atmósfera explosiva en el interior del tanque. 3. Arrastre de sedimentos a la bomba. 4. Cavitación de la bomba de succión. 5. Explosión e incendio.			
<b>Protecciones</b>			
1. Instrucción de trabajo para vaciado de tanques. 2. Rutina de medición de nivel			
<b>Recomendaciones</b>			
1. Instalar sistema de tele medición con alarma bajo y alto nivel. 2. Asegurar el cumplimiento de la rutina de medición de nivel. 3. Cumplir con las instrucciones de trabajo.			
<i>Frecuencia (4),3</i>	<i>Gravedad(3),2</i>	<i>Riesgo(8),6</i>	<b>Clase B</b>





	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombeos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 2:</b> Tanque MJN-T-509		
	<b>Diagramas 3.5</b>	<b>Producto:</b>	Gasolina Premium
<b>Desviación:</b> Bajo nivel			

<b>Causa</b> 4. Falla y/o incumplimiento en la rutina de medición de nivel.			
<b>Consecuencias</b> 1. Daños a la cúpula. 2. Formación de atmósfera explosiva en el interior del tanque. 3. Arrastre de sedimentos a la bomba 4. Cavitación de la bomba de succión. 5. Explosión e incendio.			
<b>Protecciones</b> 1. Instrucción de trabajo para medición de nivel. 2. Capacitación de personal operacional			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Concientizar al personal de operación para aplicación de la instrucción de trabajo. 2. Instalar sistema de tele medición con alarma de alto y bajo nivel.			
Frecuencia (5) ,5	Gravedad (3) ,3	Riesgo (9) ,9	Clase B
<b>Causa</b> 5. Fuga por el fondo del tanque			
<b>Consecuencias</b> 1. Derrame de gasolina. 2. Inundación de drenajes pluviales y aceitosos. 3. Contaminación Ambiental y del subsuelo. 4. Incendio			
<b>Protecciones</b> 1. Líneas para gravitar contenido del tanque a otro tanque. 2. Diques y área interior para contener el volumen del tanque. 3. Válvulas de bloqueo fuera de dique del tanque en sistemas de drenajes aceitoso y pluvial. 4. Sistemas de tele medición			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Cumplir al 100% con el programa de mantenimiento a tanques. 2. Probar la efectividad y funcionalidad del sistema de tierras para evitar la acumulación de carga estática que provoque corrosión en el fondo del tanque.			
Frecuencia (2),2	Gravedad(4),2	Riesgo(7),4	Clase B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombas y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 2:</b> Tanque MJN-T-509		
	<b>Diagramas</b> Diagrama 3.5:	<b>Producto:</b>	Gasolina Premium
<b>Desviación:</b> Menos estructura			

<b>Causa</b> 1. Se rebasa el régimen de succión del tanque.			
<b>Consecuencias</b> 1. Daños a la cúpula del tanque. 2. Deformación de la placa del cuerpo. 3. Pérdida de verticalidad del			
<b>Protecciones</b> 1. Régimen de succión establecido. 2. Instrucción de trabajo.			
<b>Recomendaciones</b> 1. Respetar el régimen de succión de tanques para prevenir daños a los mismos.			
<b>Frecuencia (3),</b> 2	<b>Gravedad(2),</b> 2	<b>Riesgo(6),</b> 4	<b>Clase B</b>
<b>Causa</b> 2. Hundimientos del subsuelo en la cercanía del tanque			
<b>Consecuencias</b> 1. Pérdida de la verticalidad. 2. La cúpula pierde movilidad por verticalidad afectada. 3. Formación de esfuerzos y grietas. 4. Fugas e incendio.			
<b>Protecciones</b> 1. Normatividad de construcción de tanques API-650, 653 y GEPASI-3600,3610, 3620 y 8300, ASTM, ANSI AWS, NEMA.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Que el supervisor del proyecto verifique y haga cumplir las normas de construcción de tanques. 2. Entregar datos técnicos y refaccionamiento de accesorios de todos los proyectos de construcción.			
<b>Frecuencia (2),</b> 1	<b>Gravedad(3),</b> 1	<b>Riesgo(6),</b> 1	<b>Clase C</b>
<b>Causa</b> 3. Corrosión en fondo del tanque.			
<b>Consecuencias</b> 1. Contaminación de los mantos freáticos. 2. Emisión excesiva de vapores a la atmósfera. Fugas e incendio			
<b>Protecciones</b> 1. Bloqueos en el drenaje de diques. 2. Programa de mantenimiento a tanques de almacenamiento.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Cuando se de mantenimiento a un tanque que se incluya cambio de partes y/o accesorios verificar que los materiales a utilizar sean los adecuados.			
<b>Frecuencia (3),</b> 1	<b>Gravedad(3),</b> 1	<b>Riesgo(7),</b> 1	<b>Clase C</b>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**




	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombeos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 2:</b> Tanque MJN-T-509		
	<b>Diagramas</b> Diagrama 3.5:	<b>Producto:</b> Gasolina Premium	
<b>Desviación:</b> Alta presión			

<b>Causa</b> 1. Que por inestabilidad o falla en planta se envíe gasolina caliente al tanque.			
<b>Consecuencias</b> 1. Vaporización súbita. 2. Represionamiento del tanque. 3. Daños a la cúpula.			
<b>Protecciones</b> 1. Ventiladas de emergencia.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Instalar sistema de tele medición con alarma por alta y bajo nivel.			
Frecuencia (3),1	Gravedad(3),1	Riesgo(7),1	Clase B
<b>Causa</b> 2. Gasolina con alto contenido de ligeros.			
<b>Consecuencias</b> 1. Daños físicos a la integridad del tanque. 2. Contaminación ambiental. 3. Rotura e incendio			
<b>Protecciones</b> 1. Ventiladas de emergencia.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Instalar sistema de tele medición con alarma por alta y bajo nivel.			
Frecuencia (3),3	Gravedad(3),2	Riesgo(7),6	Clase B
<b>Causa</b> 3. Sobrellenado del tanque.			
<b>Consecuencias</b> 1. Daños físicos a la integridad del tanque. 2. Contaminación ambiental. 3. Rotura e incendio			
<b>Protecciones</b> 1. Ventiladas de emergencia.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Instalar sistema de tele medición con alarma por alta y bajo nivel.			
Frecuencia (3),1	Gravedad (3),2	Riesgo (7),2	Clase C

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombeos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 2:</b> Tanque MJN-T-509		
	<b>Diagramas Diagrama 3.5:</b>	<b>Producto:</b>	Gasolina Premium
<b>Desviación:</b> Presión de vacío (Otro que)			

<b>Causa</b> 1. Alta velocidad en el régimen de succión.			
<b>Consecuencias</b> 1. Daño físico al cuerpo del tanque (colapso en las partes débiles del tanque). 2. Formación de mezcla explosiva en el interior de un tanque.			
<b>Protecciones</b> 1. Instrucciones de trabajo para vaciados de tanques.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Continuar con el cumplimiento de las instrucciones de trabajo de vaciado de tanques.			
Frecuencia (3),2	Gravedad(3),3	Riesgo(7),6	Clase B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombes y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 2:</b> Tanque MJN-T-509		
	<b>Diagramas</b> Diagrama 3.5	<b>Producto:</b> Gasolina Premium	
<b>Desviación:</b> Menos Aterrizamiento			

<b>Causa</b> 1. Corte de cables por robo.			
<b>Consecuencias</b> 1. Acumulación de carga estática. 2. Incendio.			
<b>Protecciones</b> 1. Programa de mantenimiento preventivo al sistema de tierras. 2. Inspecciones preventivas de riesgos. 3. Sistema contra incendio.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo al sistema de tierras. 2. Continuar inspecciones preventivas de riesgos 3. Reportar a mantenimiento la falta de tierras mediante la respectiva orden de trabajo en el recorrido de las instrucciones de trabajo.			
<b>Frecuencia (4) ,4</b>	<b>Gravedad (3) ,2</b>	<b>Riesgo (7) ,8</b>	<b>Clase B</b>
<b>Causa</b> 2. Falta de placa donde se instala el cable de tierra (desoldamiento)			
<b>Consecuencias</b> 1. Acumulación de carga estática. 2. Incendio.			
<b>Protecciones</b> 1. Programa de mantenimiento preventivo al sistema de tierras. 2. Inspecciones preventivas de riesgos. 3. Sistema contra incendio.			
<b>Recomendaciones :</b> 1 y 2. Ídem a las recomendaciones 1 y 2 de la causa anterior. 3.-Continuar con la revisión a los sistemas contra incendio.			
<b>Frecuencia (4) ,1</b>	<b>Gravedad(3),2</b>	<b>Riesgo(8),2</b>	<b>Clase C</b>
<b>Causa</b> 3. Sulfatación del cable			
<b>Consecuencias</b> 1. Alta resistencia al flujo de corriente. 2. Acumulación de carga estática.			
<b>Protecciones</b> 1. El recipiente cuenta con múltiples conexiones a tierra. 2. Barnizado de cable para garantizar conductividad y prevenir la sulfatación 3. Programa de mantenimiento preventivo al sistema de tierras.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Reportar a mantenimiento cables de tierras dañados mediante la respectiva orden de trabajo en el recorrido de las instrucciones de trabajo.			
<b>Frecuencia (4) ,3</b>	<b>Gravedad(2),2</b>	<b>Riesgo(7),6</b>	<b>Clase B</b>

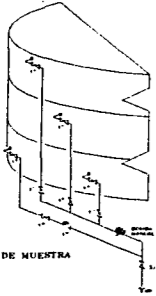


### **NODO 3**

## **Gasolina de MJN-T-509 a casa de bombas**

### **MJN-CB-21**

*Una vez preparada la gasolina se toman muestras para ser analizadas en el laboratorio cuyo objetivo principal es vigilar y controlar que se cumplan con las normas de calidad establecidas para los productos en elaboración o terminados, así como los destinados al mercado nacional y los de importación y exportación. Una vez que es aprobada por el laboratorio la gasolina es enviada a ventas por medio de las bombas MJN-P-21, MJN-P-2A,B,C así como también puede ser enviada a muelles para su envío a otras zonas que se necesite a través de la línea L-20 que tiene un diámetro de 20" que se utiliza tanto para recibo como para enviar gasolina.*

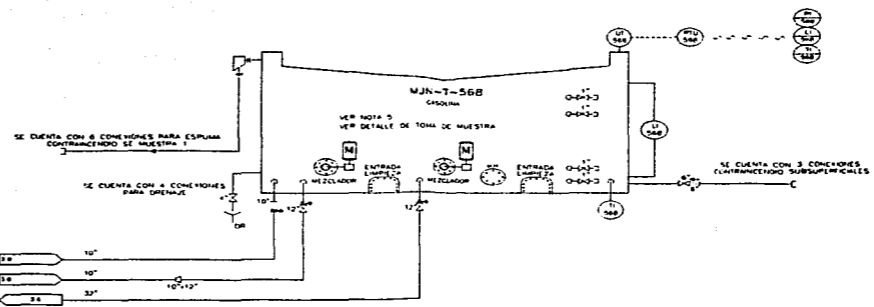
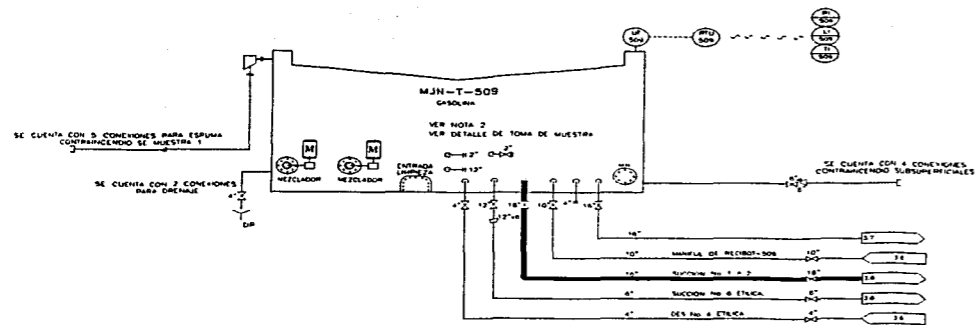


DETALLE DE TOMA DE MUESTRA

MJN-T-509  
GASOLINA  
CAP. 10000 M<sup>3</sup>  
D. 120 FT. DIAMETRO  
TECNO. FLOTANTE

MJN-T-568  
GASOLINA  
CAP. 10000 M<sup>3</sup>  
D. 124 FT. DIAMETRO  
TECNO. FLOTANTE  
SIST. DE OPERACION

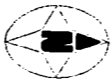
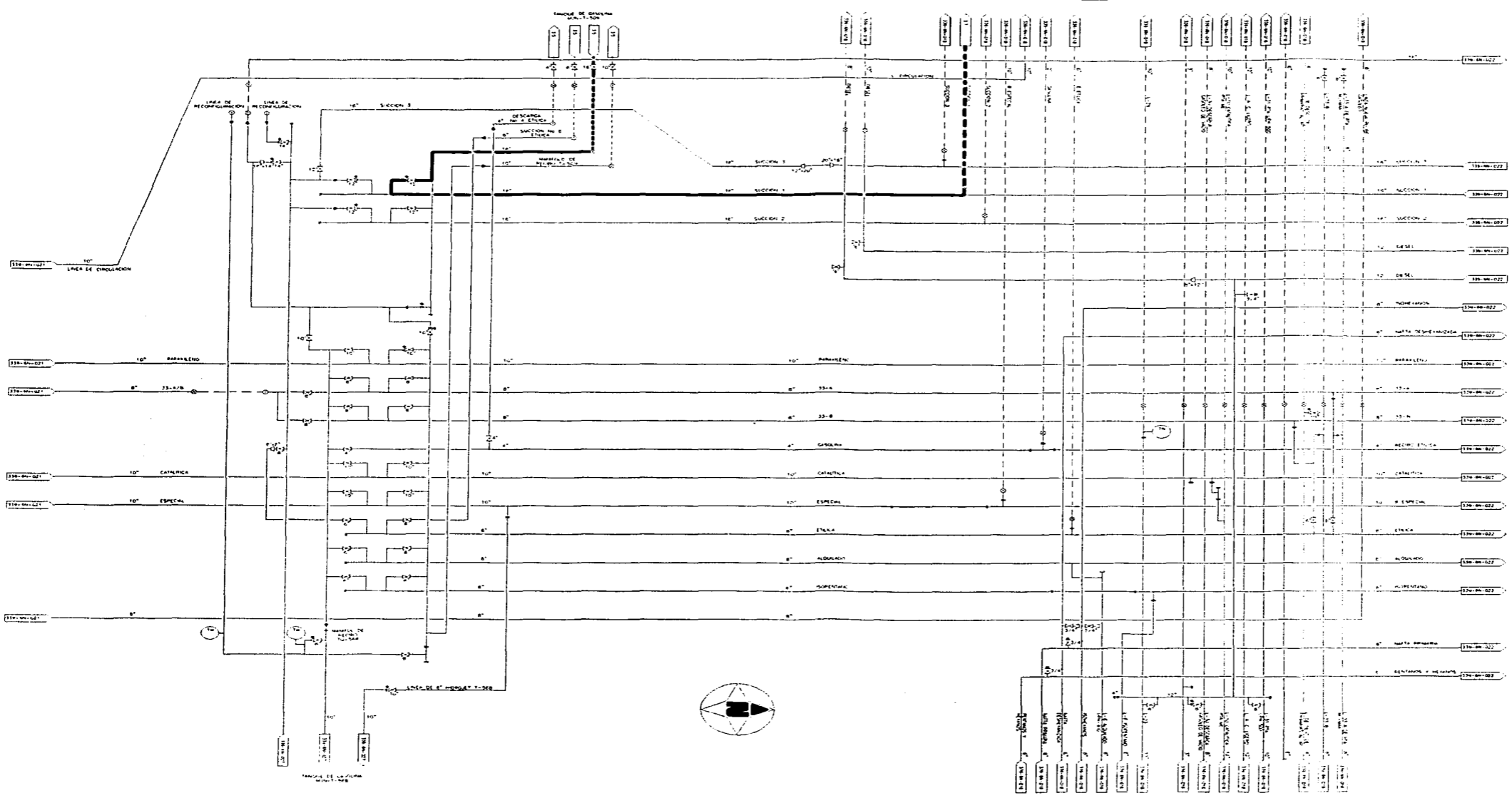
- NOTAS
- 1 - EL TANQUE MONTADO, CUENTA CON 2 ANILLOS DE EMPUJE DEL TECNO FLOTANTE
  - 2 - EL TANQUE MONTADO CUENTA CON 4 ANILLOS DE EMPUJE
  - 3 - EL TANQUE MONTADO CUENTA CON 1 ANILLO CONTRA EMPUJE
  - 4 - EL TANQUE MONTADO, CUENTA CON 2 ANILLOS DE EMPUJE DEL TECNO FLOTANTE



E. O. YOUNG

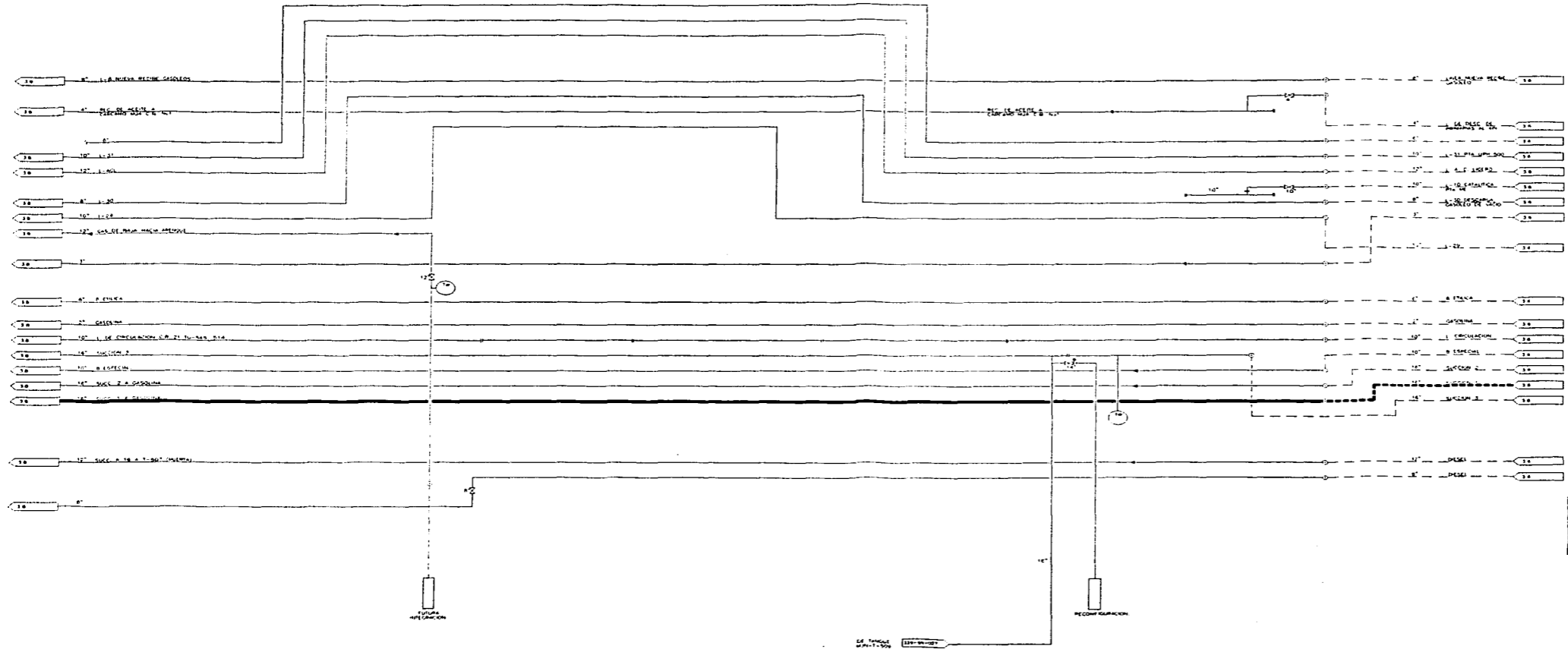
CALLE No 1

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

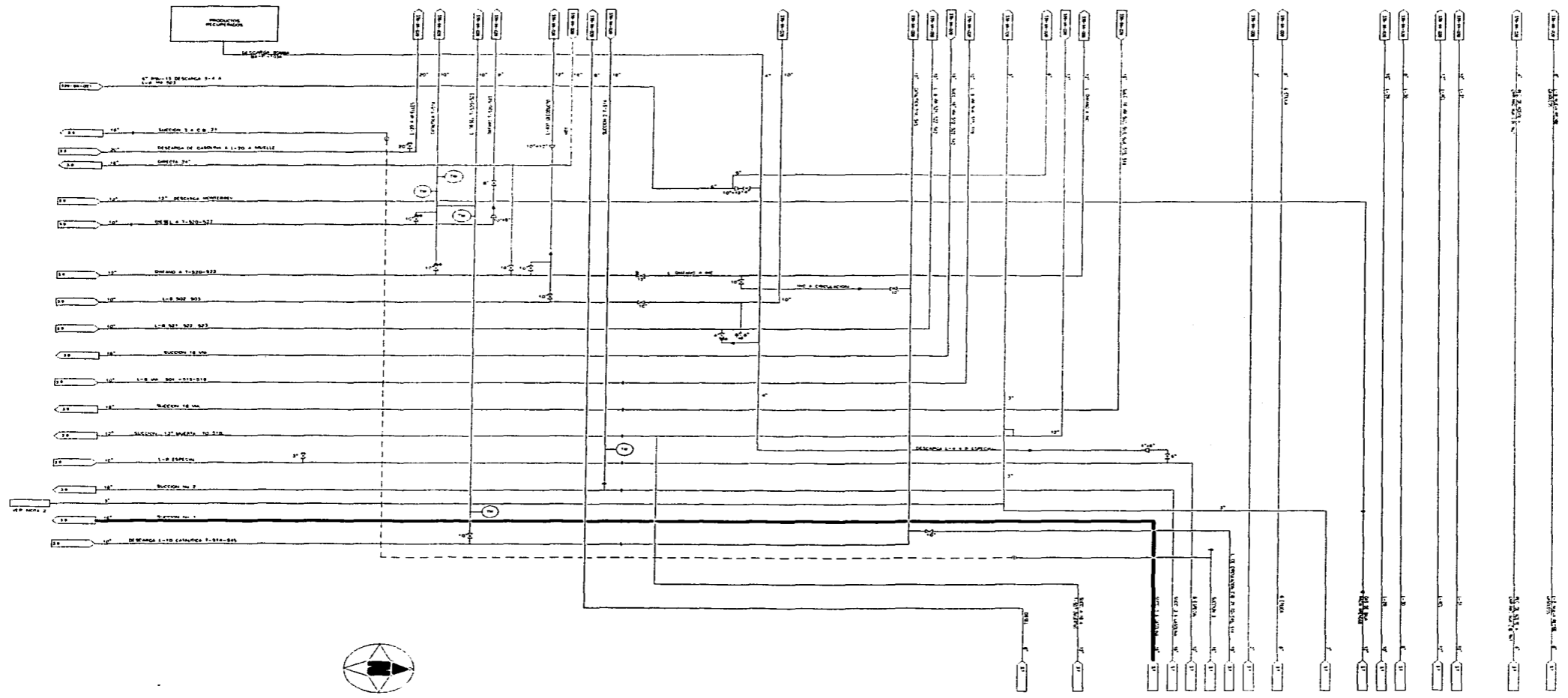


**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

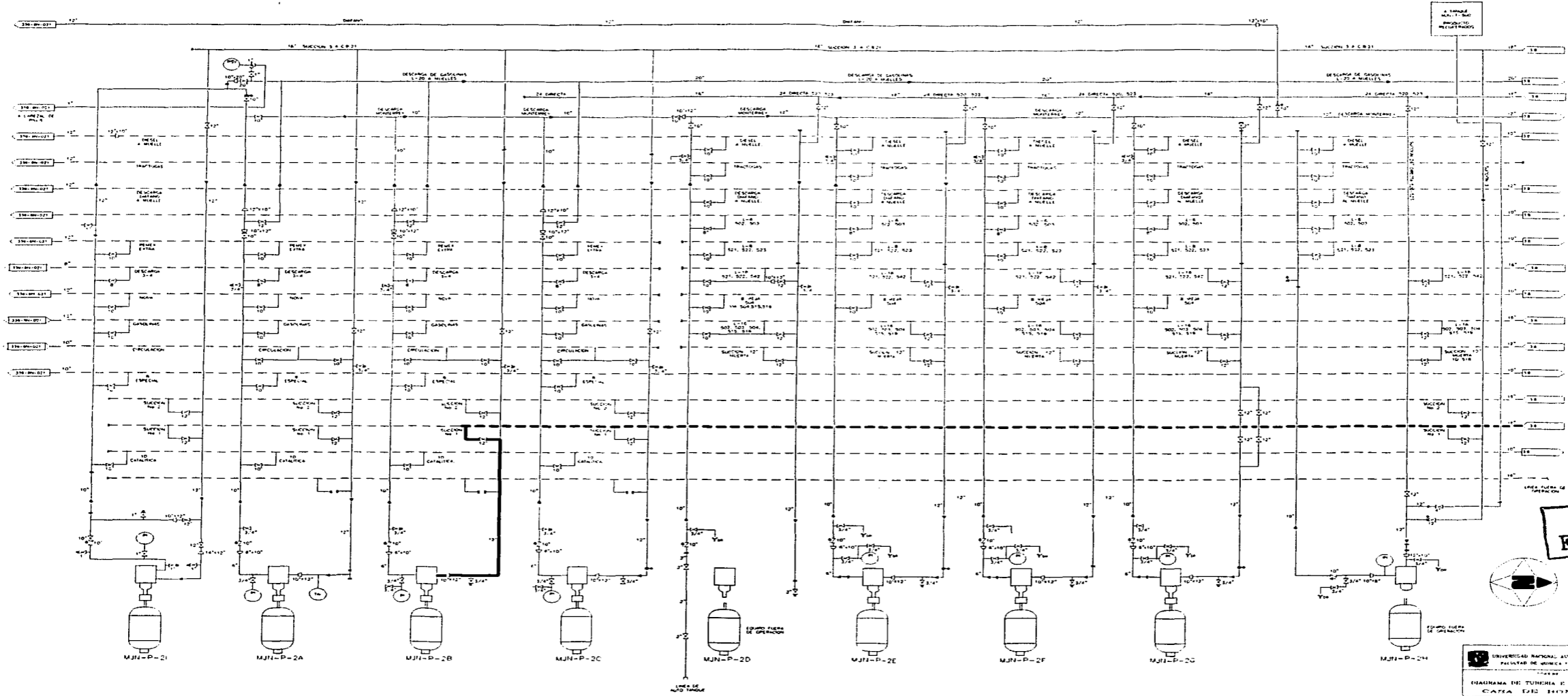




**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**





	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombeos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 3:</b> Gasolina de MJN-T-509 a casa de Bombas MJN-CB-21		
	<b>Diagramas:</b> Diagrama 3.5,3.6,3.7,3.8,3.9	<b>Producto:</b> Gasolina	
<b>Desviación:</b> Menos Flujo			

<b>Causa</b> 1. Taponamiento de filtros por arrastre de sedimentos.
<b>Consecuencias</b> 1. Calentamiento del motor de la bomba. 2. Cavitación del equipo dinámico. 3. Daños al sello. 4. Fuga e incendio.
<b>Protecciones</b> 1. Procedimiento para limpieza de filtros. 2. Existen bombas de relevo. 3. Indicador de presión en la descarga. 4. Sistema de aspersión para protección contra incendio. 5. Extintores de polvo químico seco. 6. Hidrantes y monitores cercanos al área.
<b>Recomendaciones :</b> 1. Respetar el nivel inferior de operación del tanque para evitar arrastre de sedimentos. 2. Hacer un estudio para la instalación de un sistema de alarma y disparo automático por muy bajo nivel. 3. Instalación de válvulas de seccionamiento en el cabezal de succión hacia la bomba para minimizar los puntos de riesgos y reducir la emisión de contaminación por gasolina. 4. Hacer un estudio para el recuperación de gasolina de purgas de bombas en los trabajos de limpieza de filtros.
<i>Frecuencia (5) ,4</i> <i>Gravedad (4) ,3</i> <i>Riesgo (10) ,8</i> <i>Clase A</i>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 3:</b> Gasolina de MJN-T-509 a casa de Bombas MJN-CB-21		
	<b>Diagramas</b> Diagrama 3.5,3.6,3.7,3.8,3.9	<b>Producto:</b>	Gasolina
<b>Desviación:</b> No Flujo			

<b>Causa</b>			
1. Válvula de seccionamiento mal alineada o compuerta caída.			
<b>Consecuencias</b>			
1. Cavitación del equipo dinámico.			
2. Daños a sellos mecánicos.			
3. Fuga e incendio			
<b>Protecciones</b>			
1. Indicador de presión en la descarga de la bomba.			
2. Instrucción de trabajo para alinear válvulas respectivas.			
3. Capacitación y adiestramiento del personal			
4. Sistema de aspersion para protección contra incendio.			
<b>Recomendaciones :</b>			
1. Que la formación académica del personal a contratar sea adecuado a su desenvolvimiento en la planta.			
2. Instalar un sensor de no flujo como protección de la bomba.			
Frecuencia (4) ,3	Gravedad (3) ,2	Riesgo (8) ,6	Clase B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombeos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 3</b> Gasolina de MJN-T-509 a casa de Bombas MJN-CB-21		
	<b>Diagramas</b> Diagrama 3.5,3.6,3.7,3.8,3.9	<b>Producto:</b> Gasolina	
<b>Desviación:</b> Estructura Parte de (Agentes corrosivos)			

<b>Causa</b>			
1. Producto fuera de especificación.			
<b>Consecuencias</b>			
1. Desgaste acelerado de equipo dinámico.			
<b>Protecciones</b>			
1. Análisis de laboratorio en los tanques.			
<b>Recomendaciones :</b>			
1. Mantener comunicación del ingeniero de planta con bombeos			
<b>Frecuencia (3),2</b>	<b>Gravedad(2),2</b>	<b>Riesgo(6),4</b>	<b>Clase B</b>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **NODO 4**

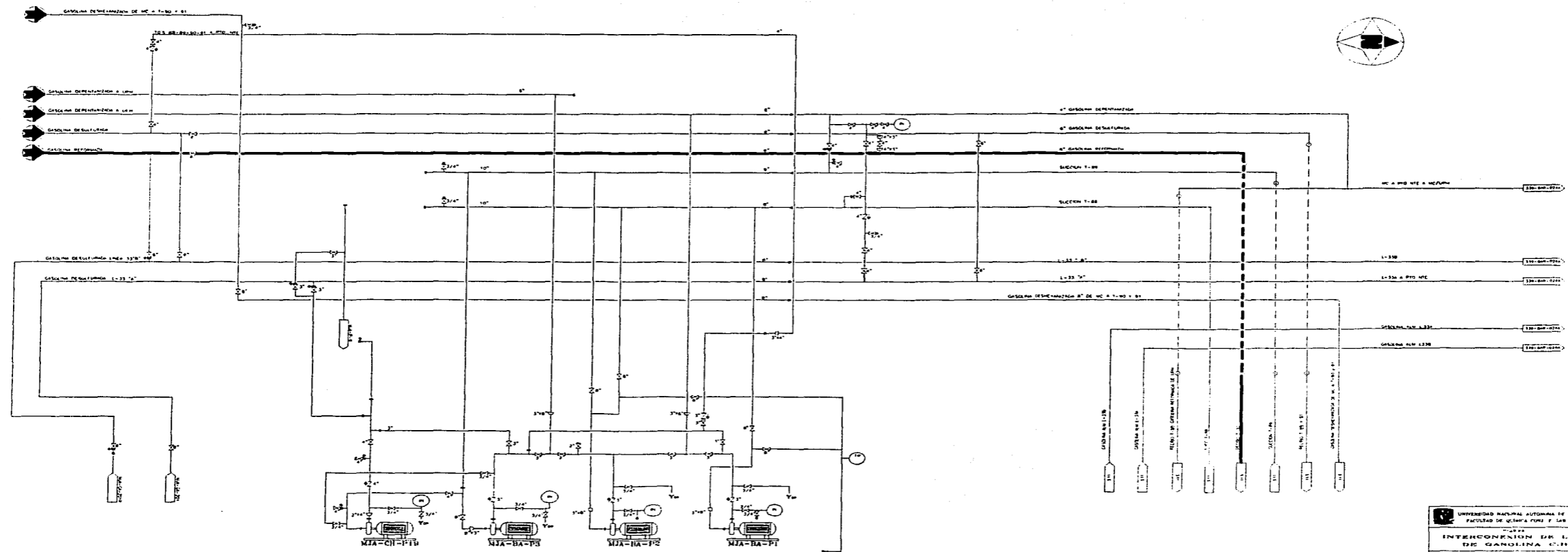
### **Gasolina de planta UPH a tanque MJA-T-90**

*En este nodo se recibe la gasolina obtenida de la planta UPH (600 y 700 es enviada al tanque MJA-T-90 a través de la línea 6" Gasolina Reformada para llegar a la línea de succión del tanque donde son tomadas muestras por medio de automuestrador para ser analizadas en el laboratorio y una vez que se acepta es enviada al patio norte donde se encuentran los tanques de preparación de la gasolina, al llegar al manifold de los tanques MJA-T-88, MJA-T-89, MJA-T-90 y MJA-T-91 se puede alinear a cualquiera de los diferentes tanques por lo que no necesariamente debe ser la alimentación al tanque MJA-T-90, sino para fines de análisis y por encontrarse muy deteriorado debido a la falta de mantenimiento por parte de la refinería se decidió hacer el análisis a este tanque.*

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

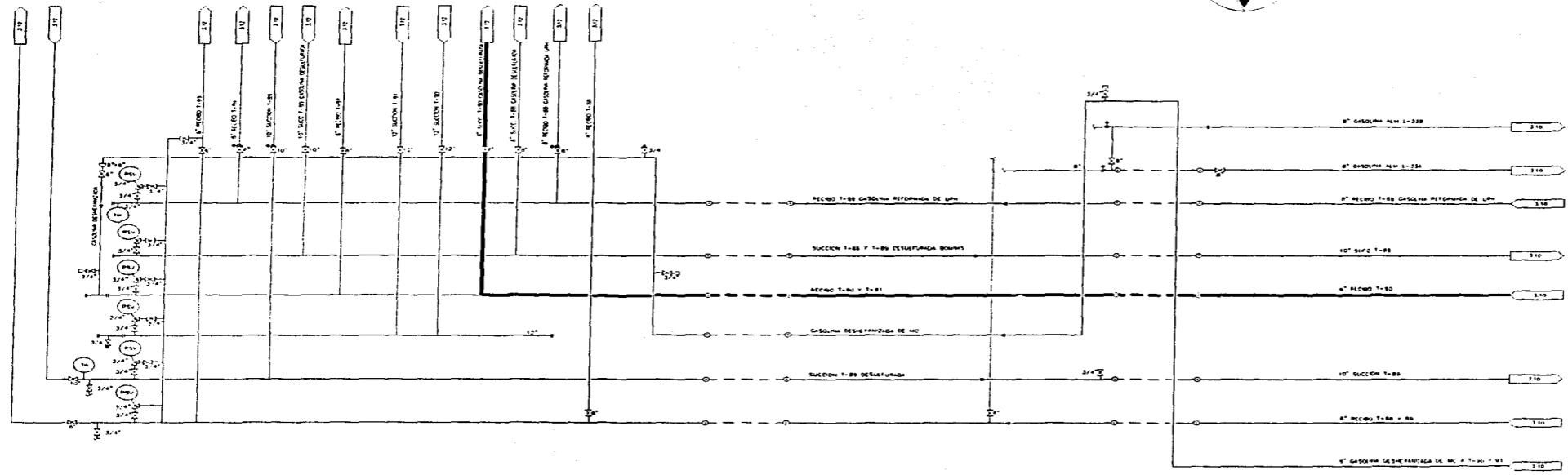


PLANTA UPI-  
UG00-700



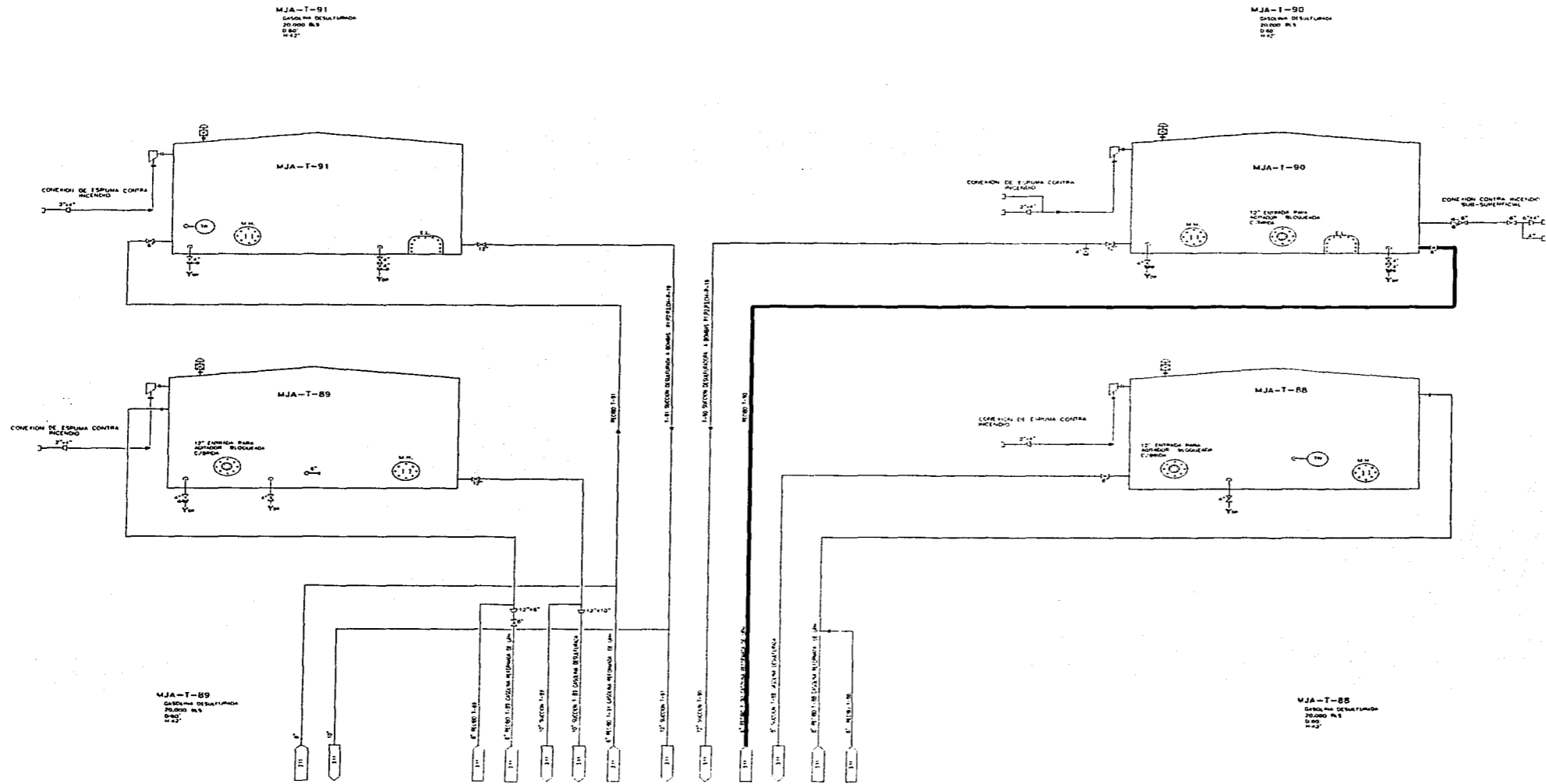


**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



- 1- LOS TANGENTES MJA-T-91 Y MJA-T-90 CUENTAN CON 2<sup>o</sup> CONEXIONES DE ESPUMA CONTRA INCENDIO (MÁS QUE EN CADA CASO)
- 2- LOS TANGENTES MJA-T-89 Y MJA-T-88 CUENTAN CON 1<sup>o</sup> CONEXIÓN DE SISTEMA AUTOMÁTICO DE EXTINCIÓN DE FUEGO (MÁS QUE EN CADA CASO)

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**





	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombes y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 4:</b> Gasolina de planta UPH a MJN-T-90		
	<b>Diagramas</b> Diagrama 3.10,3.11,3.12	<b>Producto:</b> Gasolina Reformada	
<b>Desviación:</b> Mas Temperatura			

<b>Causa</b> 1. Descontrol de la planta UPH, gasolina caliente a tanque
<b>Consecuencias</b> 1. Alta generación de vapores. 2. Deformación del último anillo del tanque si tiene cúpula fija. 3. Fuga producto por bridas. 4. Derrame y contaminación.
<b>Protecciones</b> 1. Arrestadores de flama y válvulas de presión vacío. 2. Sistema de drenaje con bloqueos para su contención. 3. Cámaras de espuma e inyección subsuperficial.
<b>Recomendaciones :</b> 1. Instalación de anillos de enfriamiento. 2. Continuar con los programas de inspecciones preventivas de riesgos y calibración de equipo. 3. Mantener la comunicación entre la planta UPH y almacenamiento.
Frecuencia (3),2                      Gravedad(4),2                      Riesgo(8),4                      Clase B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombeos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 4:</b> Gasolina de planta UPH a MJN-T-90		
	<b>Diagramas:</b> Diagrama 3.10,3.11,3.12	<b>Producto:</b>	Gasolina Reformada
<b>Desviación:</b> Mas Presión			

<b>Causa</b> 1. Cualquier válvula de seccionamiento del circuito mal alineada.			
<b>Consecuencias</b> 1. Represionamiento de la línea hacia la planta. 2. Fugas por conexiones y accesorios. 3. Derrame en el área y contaminación al medio ambiente. 4. Incendio.			
<b>Protecciones</b> 1. Válvula de seguridad en el cabezal de recibo de salida de planta. 2. Instrucción de trabajo para alinear el circuito al tanque. 3. Capacitación y adiestramiento de personal operativo.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Verificar que las válvulas de bloqueo de las PSV's estén candadeadas en posición de abierto y avisar al Ing. de seg. cuando sean removidas. 2. Continuar con el programa de revisión y calibración de las PSV's. 3. Continuar con la aplicación de las instrucciones de trabajo. 4. Programas de capacitación motivacional al personal.			
Frecuencia (3),2	Gravedad(4),2	Riesgo(8),4	Clase B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	<b>Compañía:</b> Refinería	<b>Area/proceso:</b> Sector 6 Bombeos y almacenamiento Patio Norte	<b>Fecha:</b> 26 de Octubre de 2001
	<b>Nodo 4:</b> Gasolina de planta UPH a MJN-T-90		
	<b>Diagramas</b> Diagrama 3, 10, 3, 11, 3, 12	<b>Producto:</b>	Gasolina Reformada
<b>Desviación:</b> Menos estructura			

<b>Causa</b> 1. Producto fuera de especificación (con alto contenido de azufre y mercaptanos)			
<b>Consecuencias</b> 1. Adelgazamiento y formación de poros en la línea por erosión y corrosión. 2. Fugas de producto al medio ambiente. 3. Incendio.			
<b>Protecciones</b> 1. Programa de inspección y calibración de líneas. 2. Aplicación de recubrimiento anticorrosivo y pintura.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Continuar con los programas de inspección y calibración de líneas 2. Continuar la aplicación de recubrimientos anticorrosivos y pintura			
Frecuencia (4) ,3	Gravedad (3) ,3	Riesgo (8) ,7	Clase B
<b>Causa</b> 2. Arrastre de sólidos en la línea.			
<b>Consecuencias</b> 1. Adelgazamiento y formación de poros en la línea por erosión. 2. Fugas de producto al medio ambiente. 3. Incendio			
<b>Protecciones</b> 1. Programa de inspección y calibración de líneas. 2. Aplicación de recubrimiento anticorrosivo y pintura.			
<b>Recomendaciones :</b> 1. Continuar con los programas de inspección y calibración de líneas 2. Continuar la aplicación de recubrimientos anticorrosivos y pintura.			
Frecuencia (4),3	Gravedad(3),3	Riesgo(8),7	Clase B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### **3.3 Análisis del árbol de fallas**

*El análisis de árbol de fallos, es de gran utilidad como se menciona anteriormente para encontrar las causas más elementales que dan como resultado un evento no deseado, teniendo como resultado del análisis un diagrama estructurado de todos los eventos aislados que pueden dar como consecuencia un evento mayor*

*La metodología utilizada para la realización del análisis del árbol de fallos es la siguiente:*

- a) Identificar la falla del sistema (Evento culminante "EC") que será analizada y colocarla en la parte alta del árbol.*
- b) Continuar con el siguiente nivel del sistema, el cual se llama subsistema e identificar las diferentes fallas que contribuyen al fallo del sistema.*
- c) Determinar la relación lógica entre las fallas de los subsistemas que requieren para producir el evento culminante.*
- d) Utilizar las puertas "Y" y "O" en una estructura lógica para mostrar la relación de las fallas de los subsistemas que producen el evento culminante*
- e) Continuar con la construcción hasta el nivel mas bajo del sistema (nivel de componentes) repitiendo los pasos "b" a "d" hasta que las fallas de los componentes sean identificadas en su totalidad*
- f) Calcular la probabilidad de las fallas descritas en el árbol. Siguiendo la estructura indicada por las puertas "Y" y "O" Hasta que la probabilidad del evento culminante sea calculada. El calculo comienza desde el nivel mas bajo*

*Se desarrolla empleando los mecanismos del álgebra simbólica y las compuertas o llaves del álgebra Booleana.*

*El álgebra de Boole se define como:*

*El estudio del comportamiento de las variables que toman sus valores en el conjunto  $\{0, 1\}$  y de las funciones de estas variables que toman sus valores, también del mismo conjunto. La capacidad de sus ramas se define por la probabilidad del flujo que ocurra un evento peligroso.*

*Para complementar el análisis de árbol de fallas finalmente se compara la probabilidad del Evento Culminante "EC" obtenida con un potencial de pérdida correspondiente a la pérdida probable total (en dólares) que produciría si el accidente ocurre de acuerdo a la Tabla 3.3. Los valores del potencial de pérdida y de pérdida probable total fueron tomados de literatura y es una relación aproximada de las pérdidas que se producirían en caso de que ocurriera el accidente en el área de almacenamiento de Gasolina. Si la probabilidad del evento culminante es mayor que el potencial de pérdida, el riesgo no se acepta y es*



necesario reducir su probabilidad, mediante técnicas de reducción de riesgos. Si la probabilidad del evento culminante es menor que el potencial de pérdida, el riesgo puede aceptarse y es necesario controlarlo a su nivel actual.

### 3.3.1 Descripción del Evento Culminante

En este trabajo, la técnica de análisis de Arbol de Fallos fue usada para la evaluación cuantitativa del escenario incendio en la bomba MJN-T-2I de la casa de bombas No. 21 que se utiliza para el envío de Gasolina a ventas y a muelles. En este escenario se considera, para fines de análisis, que la falta de instrumentación, alguna falla en las protecciones existentes, falta de mantenimiento, error humano puede dar lugar a un incendio en la bomba. Este escenario fue identificado y seleccionado durante el análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp"

Para decidir si aceptar o no del riesgo hemos usado la relación del potencial de pérdida ( $P^0$ ) con la pérdida máxima probable (\$) mostrada en la Tabla 3.3 Si consideramos que para el escenario para (incendio en la bomba de gasolina MJN-P-2I) la pérdida es de 100,000 a 1 millón de dólares, el potencial de pérdida es  $P^0=10^{-4}$  respectivamente. Si la probabilidad de cualquiera de los escenarios es mayor que el potencial de pérdida ( $P^0$ ) el riesgo no puede ser aceptado y deben implementarse medidas correctivas para reducirlos.

La probabilidad del escenario potencialmente peligroso, si se implementan las medidas correctivas recomendadas, se reduce a niveles de aceptabilidad. A continuación se muestran los valores de probabilidad, para el escenarios analizado, obtenido del análisis de árbol de fallas en las condiciones actuales del área de almacenamiento de gasolina, del análisis de árbol de fallas tomando en cuenta las medidas correctivas y recomendaciones para reducir estos valores de probabilidad

ESCENARIO	$P_1$	$P^0$	$P_1 > P^0$	$P_2$	$P_2 \leq P^0$
Incendio en la B bomba MJN-P- 2I	$2.0 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-4}$	NO SE ACEPTA EL RIESGO	$5.69 \times 10^{-5}$	SE ACEPTA Y SE CONTROLA

Tabla 3.4 Comparación de resultados con el potencial de perdida

( $P_1$ ) Probabilidad de ocurrencia del evento sin medidas correctivas

( $P_2$ ) Probabilidad de ocurrencia del evento con medidas correctivas

( $P^0$ ) potencial de perdida



Los resultados de dicho análisis se muestran en los diagramas 3.13 y 3.14

PROBABILIDAD (P)	FRECUENCIA PROBABLE (F)
$10^0$	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento)
$10^{-1}$	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año)
$10^{-3}$	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año)
$10^{-5}$	Poco probable (no se ha presentado en 5 años)
$10^{-7}$	Improbable (no se ha presentado en 10 años)
$10^{-9}$	No se ve probabilidad de que ocurra
POTENCIAL DE PÉRDIDA ( $P^0$ )	PÉRDIDA PROBABLE TOTAL (en dólares)
1	1 a 100
$10^{-1}$	100 a 1,000
$10^{-2}$	1,000 a 10,000
$10^{-3}$	10,000 a 100,000
$10^{-4}$	100,000 a 1,000,000
$10^{-5}$	1,000,000 a 10,000,000
$10^{-6}$	10,000,000 a 100,000,000
$10^{-7}$	100,000,000 a 1,000,000,000
$10^{-8}$	Mayor de 100,000,000

TABLA 3.3. Potencial de pérdida y pérdida máxima probable (en dólares)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

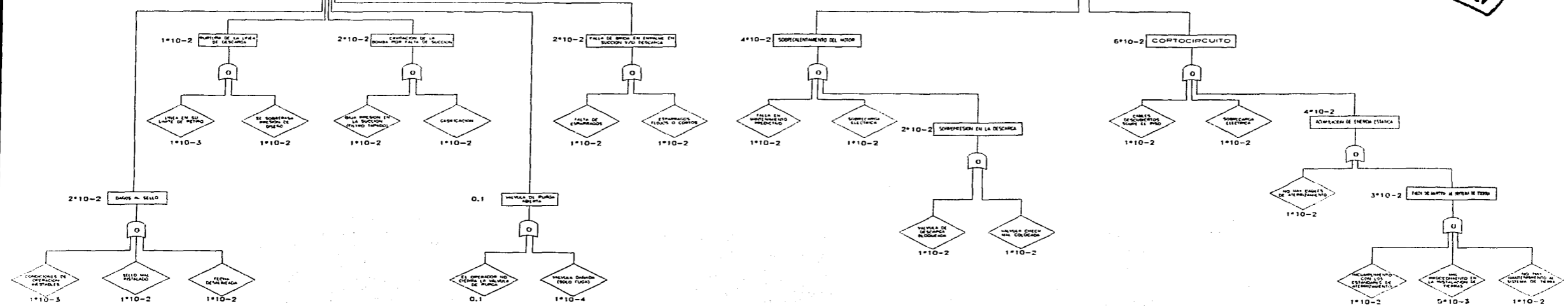


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

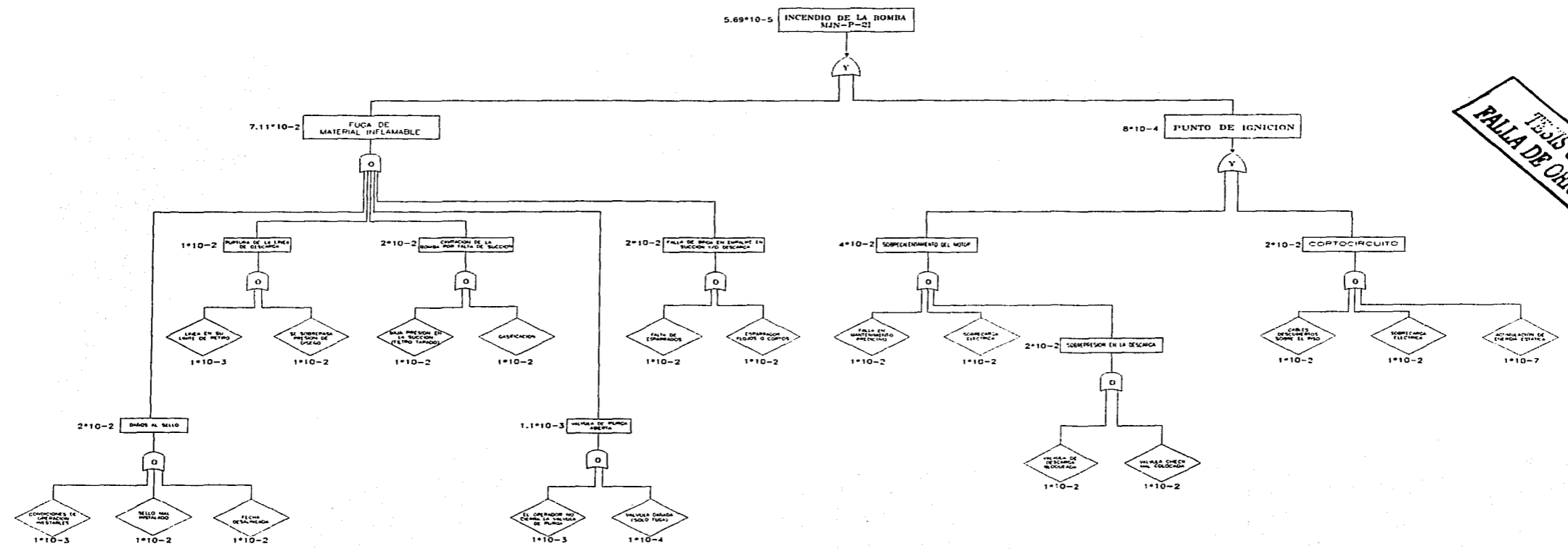
2\*10-2 INCENDIO DE LA BOMBA  
M2N-P-21

2\*10-1 FUGA DE MATERIAL INFLAMABLE

1\*10-1 PUNTO DE IGNICION



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





### 3.4 Aplicación del análisis de consecuencias

En esta parte del estudio de riesgos, se presentan los resultados de la evaluación de los efectos de incendio y explosión de un posible escenario de accidente, el cual se identificó durante el Análisis de Peligros y Operabilidad y después de haber hecho una revisión de los registros de incidentes ocurridos en la planta. A continuación se describe el escenario de fuga e incendio seleccionado sus posibles causas, fundamentos y efectos, así como también los modelos de evaluación de riesgos usados para cada uno de ellos.

Para el caso de un tanque cilíndrico vertical, con una presión  $P$  constante abierto a la atmósfera donde la variación de la descarga con respecto al tiempo se puede calcular de la siguiente ecuación.

$$m^*(\text{Kg/s}) = FcA\rho \sqrt{\left(\frac{2(P - P_2)}{\rho} + 2gh_o\right)} - \frac{\rho g (FcA)^2 t}{A_R} \quad (1)$$

Donde  $P_1$  es la presión en el interior del tanque (igual a  $P_2$  si el tanque está ventado a la atmósfera),  $h_o$  es la altura inicial del líquido sobre el orificio,  $t$  es el tiempo en segundos y  $A_R$  es el área transversal del cilindro. El tiempo para que se vacíe el tanque hasta el nivel del orificio  $t_f$  se obtiene haciendo  $m^*=0$  en la ecuación (1) donde.

$$T_f = \frac{A_R}{FcAg} \sqrt{\frac{2(P - P_2)}{\rho} + 2gh_o} \quad (2)$$

Y la cantidad total (Kg.) de líquido derramado hasta ese momento viene dado por

$$M_T = A_R h_o \rho \quad (3)$$

Para el cálculo del diámetro del charco se recomienda la correlación de (Eliá, 1991)

$$r = \left(\frac{t}{B}\right)^{0.75} \quad (4)$$

Donde  $t$  es el tiempo en el que dura la descarga y  $B = \left(\frac{9\pi\rho_l}{32gm''}\right)^{0.333}$  donde  $m''$  es la velocidad de descarga (kg/s).

Una vez derramado el líquido que en nuestro caso es gasolina esta se empieza a evaporar, si la temperatura del charco es menor a la temperatura de ebullición la velocidad de vaporización se puede calcular por la siguiente ecuación

$$V_{\text{vap}}(t) = \frac{Q_{\text{vap}}}{\Delta h_v(T_{\text{charco}})} \quad (5)$$



Donde  $\Delta H_v$  es el calor de vaporización, calculada en función de la temperatura del charco ( $T_{charco}$ ), usando las propiedades de la librería del programa (PHAST).

La forma del charco a cierto tiempo(t) esta idealizado a un cilindro circular de radio  $r(t)$  y un espesor uniforme  $h(t)$  con un punto de origen localizado en el lugar de la fuga, por otro lado la máxima rapidez de quemado se recomienda utilizar la ecuación Burgess and Hertzberg (1974)

$$m_{max} = 10^{-3} \frac{\Delta H_c}{\Delta H^* v} \quad (6)$$

Donde  $m_{max}$  = esta en  $Kg/s/m^2$  donde  $\Delta H_c$  es el calor de combustión y  $\Delta H^* v$  es el calor de vaporización modificado a las condiciones ambientales.

La altura de la flama se recomienda la correlación de Thomas (Mudan 1984)

$$H = 42D \left[ \frac{m}{\rho_a \sqrt{gD}} \right]^{0.61} \quad (7)$$

Donde

$D$  es el diámetro de la flama

$m$  rapidez de quemado del charco

$\rho_a$  densidad del aire

$g$  la aceleración gravitacional

Se llevo acabo el análisis proveyendo con datos reales del equipo al programa PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools).

Los datos necesarios para la valuación de estos modelos del escenario se muestran en la tabla 3.5 los cuales son específicos de la sustancia, del tanque que la contiene y de las condiciones ambientales prevalecientes.



Tabla 3.5 Datos Necesarios para realizar el Análisis de Consecuencias

Datos de diseño, operación y otros		Datos fisicoquímicos de la sustancia	
Tipo de Contenedor	Cilíndrico vertical	Sustancia	Gasolina
Diámetro del tanque	36.6 m.	Fórmula Química	De $C_5H_{12}$ a $C_9H_{20}$
Longitud del tanque	12.2 m	Peso molecular Promedio	72
Masa total Contenido del tanque	8903288 Kg	Gravedad específica	0.7
Volumen total del contenido en el tanque (llenado máximo 80%)	12718984 l.	Límite inferior de Inflamabilidad	1.4
Presión atmosférica	1 atm.	Temperatura de ebullición	65 °C
Temperatura Ambiente	30 °C		
Diámetro de la Fuga	0.1016 m		

Quando ocurre una falla catastrófica del techo de un tanque, el tanque abierto se comporta como un charco (Pool). Una falla en las paredes, base o tuberías del tanque dará como resultado un charco. En el escenario "Incendio del tanque Vertical" se considera para fines de análisis que la falla de Instrumentación, la falta de mantenimiento, error humano y/o falla de diseño, pueden ser la causa de un derrame y/o Incendio en el tanque vertical MJN-T-509, el cual se almacena Gasolina para su almacenamiento y su posterior envío a ventas, lo que permitió una fuga de gasolina en grandes cantidades, generándose primero un charco y posteriormente un incendio.

Este programa da como resultado los efectos de unos eventos no deseados en este caso se usaron los siguientes modelos:

- Velocidad de descarga: Este modelo se utilizó debido a que en caso de una de una fuga o descompostura de una válvula es un valor indispensable para cualquier cálculo posterior.
- Evaporación del Charco: El programa puede modelar la extensión del "charco" podemos saber que tan grande puede ser el incendio ya que solo se incendiará el espejo del charco, con este valor podemos establecer los límites del incendio vaporización del "Charco" en tierra o agua.



- Fuego en el "Charco": con este modelo tiene para calcular la forma de la flama es decir la altura, dirección y el ángulo de la flama en la dirección del viento.

Para este escenario se considera la falta de soportes adecuados para una línea de 4 pulg. lo cual provoca una rotura junto a una de las válvulas del tanque Fuga e incendio de gasolina del tanque MJN-T-509.

Los resultados de dicho cálculo se encuentran en la tabla 3.6 y el diagrama 3.15

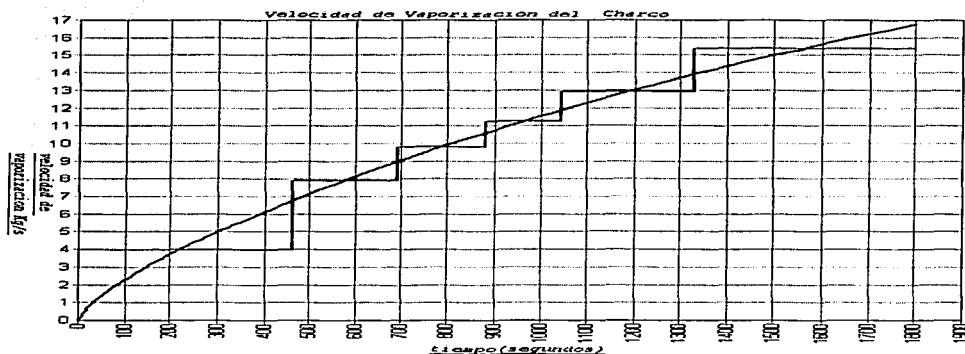
Velocidad de descarga	2.953 Kg/s(6.51lb/min)
Duración de la descarga	1800 seg. (30 min.)
Cantidad descargada	5.31 ton.(10620 lb)
Estado	Líquido
Área de la Alberca incendiada	3644.58 m <sup>2</sup> (39229.93 ft <sup>2</sup> )
Velocidad de la evolución del Vapor	22.25 Kg/s (49.05lb/s)
Radio de fuego de la alberca	22.66 m. (74.34ft.)
Altura de la flama	38.47 m.(126.21ft.)
Radio de la zona de desastre	45.8 m. (150.26 ft.)
Radio de la zona afectada	112.2 m. (368.11ft.)
Poder de emisividad de la flama	29.09 Kw. /m <sup>2</sup>

Tabla 3.6 Resultados del Análisis de Consecuencias para el tanque MJN-T-509

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Grafica No. 1 velocidad de vaporización del charco vs tiempo producto de la fuga por fondo del tanque MJN-T-509

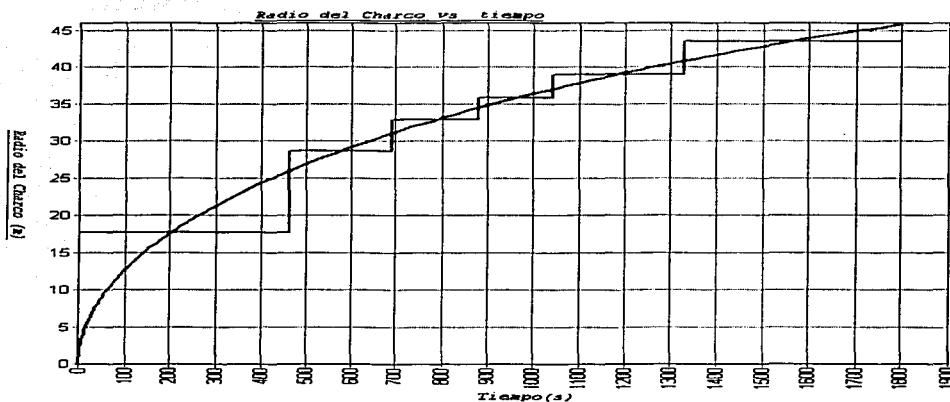


Cuando se produce la descarga de un líquido con un punto de ebullición mayor que la temperatura ambiente, cuya temperatura en el momento de la descarga es inferior a la temperatura de ebullición, el resultado es un charco de líquido desde el que tiene lugar la evaporación. En la grafica se muestran los cálculos a diferentes tiempos la vaporización del charco, donde muestra el comportamiento de la velocidad evaporación con respecto al tiempo en donde se puede observar que desde un tiempo cero empieza a aumentar la velocidad de vaporización hasta llegar a un punto donde se alcanza la rapidez máxima de vaporización.  $8.85 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/s}^2$

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



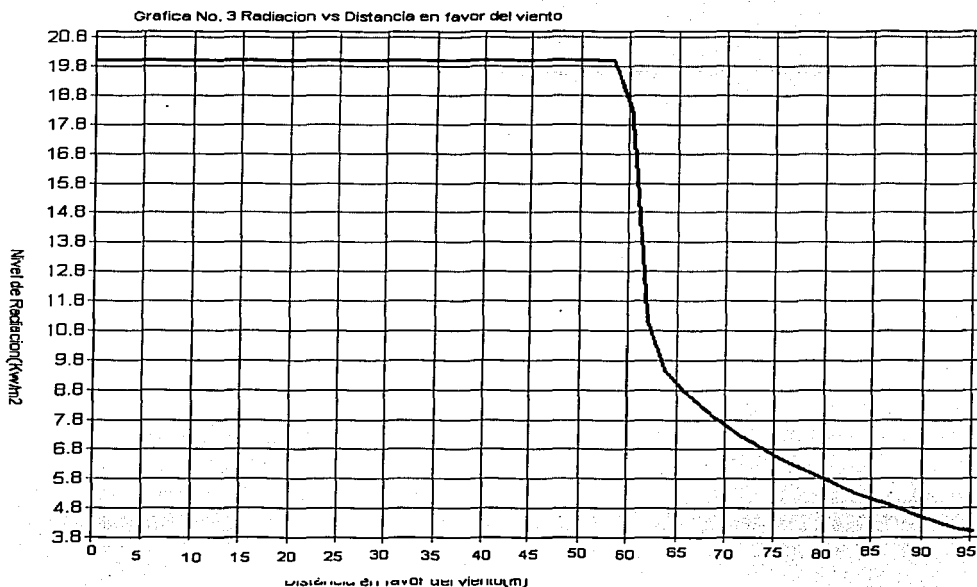
Grafica No. 2 radio del charco vs tiempo debido a la fuga del fondo del tanque MJN-T-509



Como podemos ver en la grafica el radio va aumentando rápidamente conforme pasa el tiempo indicando que a mayor tiempo es mas grande el radio del charco hasta llegar hasta llevar a un punto máximo donde se tiene el radio máximo del charco que en este caso es el radio del dique que es el que limita que se siga extendiendo el derrame de un recipiente dañado que en este caso en un tanque atmosférico donde el radio viene relacionado con la cantidad derramada y el tiempo de respuesta sin olvidar que en caso de una fuga grande el radio del charco lo limitaría el dique a no seguirse extendiendo.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**





Radiación procedente de un incendio puede causar efectos adversos tanto a personas como a instalaciones. De una manera directa, los sujetos expuestos pueden sufrir quemaduras de diverso grado, con resultado de muerte a partir de ciertos valores de intensidad de radiación recibida y del tiempo de exposición. Por otro lado los efectos térmicos pueden afectar equipos e instalaciones debilitando sus estructuras y destruyéndolas total o parcialmente, lo que a su vez puede dar origen a muerte o heridas en individuos no expuestos directamente a la radiación. En un incendio líquido en un charco, por lo general las personas expuestas a niveles peligrosos de radiación reaccionan a tiempo, buscando refugio o escapando.

Como podemos observar en la grafica 3, la radiación radiación varia con forme se va alejando de la zona del incendio. Una vez conocida la radiación recibida en función de la distancia, se puede establecer un mapa térmico-distancia que proporcione los flujos recibidos en un punto determinado y hacer una comparación considerando la vulnerabilidad de las personas a determinados flujos de radiación térmica.



Como elemento de comparación, la intensidad de radiación que recibimos del sol es aproximadamente  $1 \text{ Kw/m}^2$ , niveles de radiación equivalentes a  $1.6 \text{ Kw/m}^2$  pueden tolerarse sin sensaciones de incomodidad durante periodos de tiempo relativamente prolongados. En la tabla 3.7 se muestran algunos valores de nivel de radiación y sus consecuencias

Nivel de radiación ( $\text{Kw/m}^2$ )	Consecuencias
1.5	Máx. soportable para personas con vestimentas normales y un tiempo prolongado
3	Zona de alerta
5	Máx. Soportable por personas protegidas con trajes especiales y tiempo limitado máximo 3 min.
8	Umbral de letalidad (1% de afectación por incendio para un tiempo de exposición de 1 min.
12.5	Ignición de recubrimientos plásticos. Extensión del incendio
40	Destrucción de equipos/tanques

Tabla 3.7 Vulnerabilidad a la radiación térmica

Con los datos obtenidos podemos determinar que la distancia segura del incendio que sería 118.81 m. del centro del incendio (considerando como centro el punto de fuga) con un nivel de radiación de  $1.5 \text{ Kw/m}^2$  donde cualquier persona puede estar sin necesidad de ropa especial.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**ANALISIS DE CONSECUENCIAS**

MUN-T-500  
PATRÓN GASOLINA  
CAPACIDAD 50000 BBL.  
DIÁMETRO 34 ft.  
ALTO 40 ft.

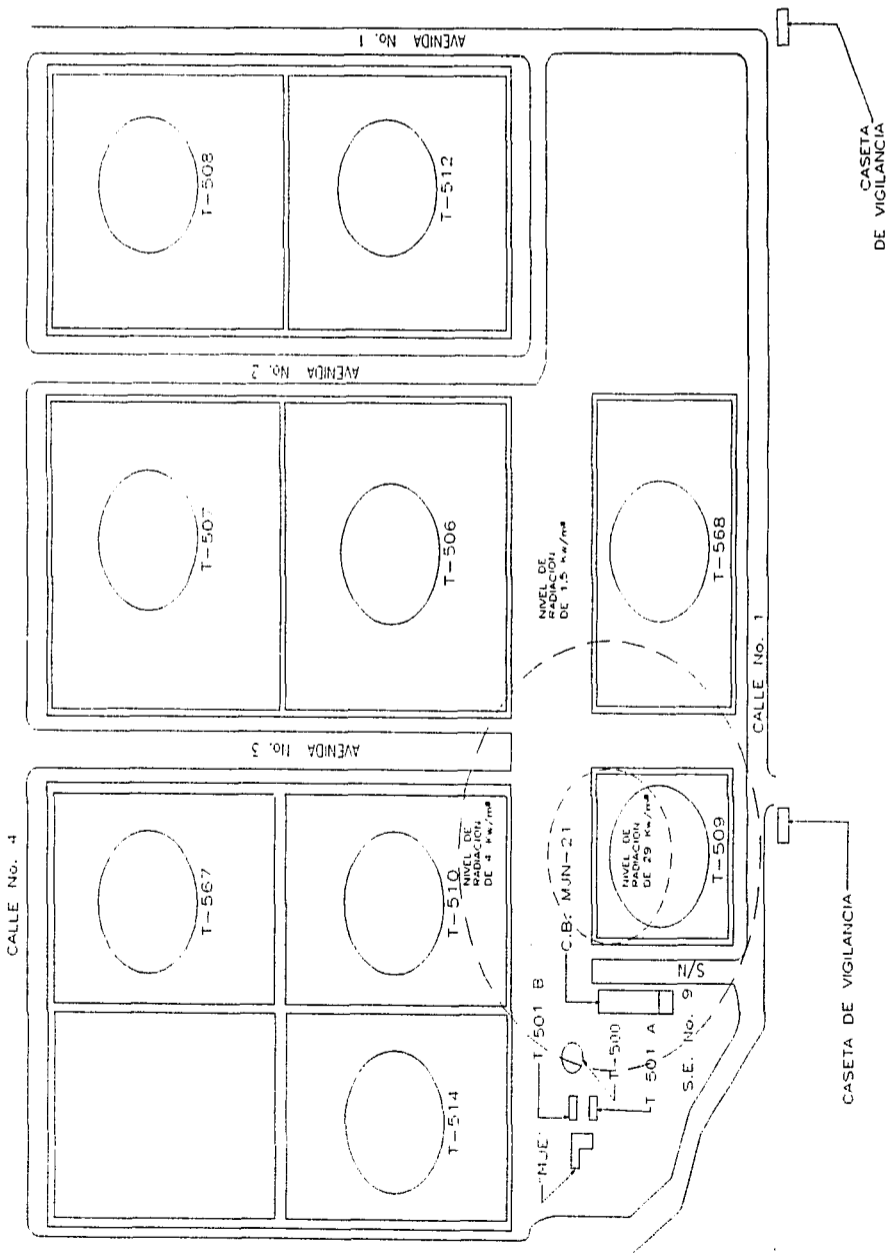
MODELOS DE RIESGOS DE  
UN SITIO DE RIESGO  
MODELOS DE RIESGOS DE  
INCENDIO O EXPLOSION DE UNA  
NUBE DE GAS NO COMPLETADA.  
DIÁMETRO DE LA DESCARGA A 619

**DATOS**

PUNTO NORMAL DE EBULLICION  
T<sub>100</sub>(170.6°F)  
PESO MOLECULAR APROXIMADO 72  
CARVEDAD ESPECIFICA 0.76  
PRESION DE VAPOR 17.8 PSIA

ZONA DE DESASTRE  
45.8 m (150.25 ft)  
NIVEL DE RADACION  
DE 29  $\mu\text{R}/\text{hr}$

ZONA DE AFECTACION  
112.2 m (368.11 ft)  
NIVEL DE RADACION  
DE 2  $\mu\text{R}/\text{hr}$



**Capítulo IV**  
**Resultados y Conclusiones**





## Resultados y Conclusiones

### 4.1 Resultados y Recomendaciones del análisis HazOp

Los resultados del análisis HazOp son las recomendaciones hechas a la propia Refinería para incrementar su seguridad estas recomendaciones se van generando en el transcurso del análisis, quedan plasmadas en el acta donde se realizó. Esto tiene la finalidad de poder interpretar el desarrollo del análisis y así visualizar la manera en la que se llega a esa recomendación

Como se explicó anteriormente las recomendaciones se clasifican en tres tipos A; B; C, basándose en su Índice de riesgo, siendo la tipo "A" la de mayor prioridad, la "B" la de prioridad media y la "C" la de menor prioridad.

Tabla 4.1 Recomendaciones tipo "A"

Nodo de aplicación	Recomendación
<p style="text-align: center;">Gasolina de MJN-T-509 a casa de Bombas MJN-CB-21</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Respetar el nivel inferior de operación del tanque MJN-T-509 para evitar arrastre de sedimentos (20%).</li> <li>2.- Hacer un estudio para la instalación de un sistema de alarma y disparo automático por muy bajo nivel entre el tanque MJN-T-509 y las bombas de casa de bombas MJN-CB-21.</li> <li>3.- Hacer un estudio para el recuperado de gasolina de purgas de bombas (MJN-CB-21) en los trabajos de limpieza de filtros.</li> <li>4.- Instalación de válvulas de seccionamiento en el cabezal de succión hacia las bombas (MJN-CB-21) para minimizar los puntos de riesgos y reducir la emisión de contaminación por gasolina.</li> </ol>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Como podemos observar las primera recomendación tipo "A" se basa principalmente en respetar las instrucciones de trabajo, siendo este un punto clave en la seguridad debido a que no basta con solo verificar los equipos si no que se deben de contar los elementos



necesarios para poder realizar de una manera realmente eficiente, es decir una manera en la cual los problemas que se presenten sean realmente corregidos.

Como podemos ver, solo se emitieron Cuatro recomendaciones de tipo "A" es decir con la mayor prioridad, en ambos nodos estudiados; y se basan en dar mantenimiento, seguir las instrucciones de trabajo y hacer las modificaciones necesarias para reducir el riesgo al mínimo para la bomba MJN-CB-2I.

Se hicieron cuarenta y un recomendaciones de tipo B y una solo recomendación de tipo C; La mayoría de las recomendaciones tipo "B" y "C, se refieren también a la necesidad de respetar los procedimientos operacionales en los nodos estudiados en donde podemos pensar que en general es una causa frecuente de riesgos es la desatención o desconocimiento a estos procedimientos, también se refieren en aplicar simulacros de emergencia, con el fin de que los operadores puedan actuar de manera segura en caso de algún incidente.

#### **4.2 Resultados y Conclusiones del análisis de árbol de fallas (FTA).**

Con el análisis de árbol de fallas aplicado al escenario incendio de la bomba MJN-P-2I, se encontró que su probabilidad de ocurrencia a la condición actual de estudio es  $2.2 \times 10^{-2}$  año<sup>-1</sup> este valor comparado con el potencial de pérdida de la tabla 3.3, nos indican que los riesgos no pueden ser aceptados

Para que los riesgos de dichos escenarios puedan ser aceptados, es necesario implementar las recomendaciones mostradas en la tabla 4.2

El análisis de árbol de fallas nos da la siguiente probabilidad para el escenario con las recomendaciones antes mencionadas donde se puede ver la importancia de hacer las recomendaciones lo mas pronto posible ya que al aplicar esos cambios la probabilidad es de  $5.69 \times 10^{-5}$ , este valor es menor al potencial de pérdida seleccionado para el escenario, por lo que debe ser reducido a niveles de aceptabilidad, en el cual debe ser controlado, como se puede ver la importancia de esta herramienta en el análisis de riesgos para



cuantificar y determinar la probabilidad de que suceda un evento no deseado.

ESCENARIO	PROBABILIDADES		RECOMENDACIONES
	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	
1. Incendio en de bomba gasolina MJN-P-21. (C.B. # 21)	2.2x10 <sup>-2</sup>	5.6x10 <sup>-5</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instalar Sistema de recuperado de purgas de bombas.</li> <li>2. Colocar protección para sobrecarga eléctrica.</li> <li>3. Asegurar la calidad y cantidad de refraccionamiento.</li> <li>4. Verificar la adecuada instalación de la bomba.</li> <li>5. Evitar el envío de producto por arriba de la temperatura ambiente.</li> <li>6. Instalar detectores de fuego.</li> <li>7. Mantener el nivel de aceite de lubricación.</li> <li>8. Dar mantenimiento adecuado al sistema de lubricación.</li> <li>9. Asegurar el mantenimiento de protección (antichispas).</li> <li>10. Mantenimiento preventivo adecuado.</li> </ol>

Tabla 4.2 Recomendaciones del Análisis del Árbol de fallas

تیسویں  
FALLA DE ORIGEN



#### **4.3 Conclusiones y Recomendaciones del análisis de consecuencias**

*Los resultados obtenidos del Análisis de consecuencias para el escenario "Incendio del tanque MJN-T-509" Los daños por radiación térmica del incendio del tanque MJN-T-509 que almacena gasolina, se muestran en la tabla 3.6 y en el diagrama 3.15. Los resultados nos muestran que el radio de la zona de perjuicios es de 112.2 m con un nivel de radiación de 4 Kw/m<sup>2</sup> y el de la zona de fatalidad es de 45.8 m. donde el nivel de radiación sería de 29.09 Kw/m<sup>2</sup>. El diámetro máximo fuego es de 39.4 m con una duración de 30 min. y con una altura de flama de 38.47 m donde el área segura es de 118.81 m donde se recibiría una radiación de 1.5 Kw/m<sup>2</sup> que no se necesita ningún equipo especial*

*Para el caso de la gasolina se considero el incendio en charco, pues modelos de dispersión aplicados, evalúan como poco probable la formación de una nube de vapores dentro de los límites de inflamabilidad lo suficientemente grande para formar una explosión y a consecuencia de ésta una onda de presión. La disposición de los tanques y la ausencia de obstáculos para el paso del aire favorecen la dispersión del material. Si los vapores de gasolina alcanzan una fuente de ignición se formaría una bola de fuego en los alrededores de la fuga. Un incendio de este tipo puede tener graves consecuencias para el personal, por lo que se recomendó; la elaboración de planes de emergencia, efectuar simulacros periódicamente, rutas de evacuación y su señalización y las medidas de protección para mitigar los efectos a personas e instalaciones.*

*Los resultados del análisis de riesgos no pretenden de ninguna manera reducir los riesgos de la planta a cero, pues se sabe de antemano que esto es imposible. Tampoco aseguran hacer encontrado todos los escenarios posibles, ni las mejores soluciones para minimizar los peligros encontrados. Este análisis pretende iniciar un compromiso de los trabajadores de la planta, así como sus directivos en generar una industria más responsable.*

*El análisis de riesgos aplicado a esta planta o área constituye una simple fracción del esfuerzo que se esta realizando en la creación de una nueva cultura en cuanto a ser mas eficientes, reduciendo costos y no menos importante la protección del medio ambiente y el aumento de la seguridad de los trabajadores y de las comunidades cercadas a las industrias.*



# Apéndice





DATOS GENERALES DEL PRODUCTO			
Nombre Químico	Gasolina	Formula Química	De C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> a C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>
Nombre Común	Gasolina PEMEX Premium	Estado Físico	Líquido
Sinónimo	Premium Combustible Automotriz	Clasificación DOT <sup>2</sup>	Clase 3 Líquidos inflamables. División 3.1
<p><b>Descripción general del producto:</b> Mezcla de diferentes hidrocarburos obtenidos de la destilación atmosférica del petróleo crudo, sometido a diferentes procesos. Obligatoria en la zona Metropolitana del valle de México</p>			
IDENTIFICACION DE COMPONENTES			
COMPONENTE		%	
		(Vol. Peso)	
Gasolina PEMEX Premium		100 v.	
Aromáticos		25 v. máx.	
Olefinas		10 v. máx.	
Bencenos		1.0 v. máx.	
Plomo		0.01 g/gal	
Azufre		0.05p máx.	
PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS			
Peso Molecular	Variable	% de volatilidad	Esencialmente 100
Temperatura de Ebullición °C	30-225@760 mmHg	Color	Amarillo etéreo
Temperatura de Fusión °C	No disponible	Olor	Característico al Petróleo
Densidad de vapor (aire=1)	3.4	Solubilidad en agua	Insoluble
Densidad relativa (H <sub>2</sub> O=1) 20/4 °C	0.7	PH	No aplicable
Presión de vapor (mmHg 20 °C)	6.5-7.8 lb/pulg <sup>2</sup>	Indice de Octano(R+M)/2	93 mínimo
Vel. Evaporación (Butil-Acetato=1)	No Disponible		
RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN			
Temperatura de Inflamación (°C)	-38	Limites de Inflamabilidad o explosividad	Inferior : 1.4
Temperatura de Auto ignición (°C)	No disponible		Superior : 7.6
<p>Medio de Extinción.- En incendios pequeños emplear polvo químico seco, agua en forma de rocío, espuma o Bióxido de Carbono En Incendios mayores emplear agua en forma de rocío o espuma regular; no utilizar chorro de agua. Equipo de Protección Personal.- El Personal que efectúa labores de combate de incendio de edificios o en áreas confinadas donde se almacena este producto debe emplear equipo de respiración autónomo y traje de protección completo</p>			

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Procedimiento y Precauciones especiales en el combate de incendios.-**

Utilice agua en forma de rocío para enfriar superficies expuestas y proteger al personal que intenta eliminar la fuga. Continuar el enfriamiento de los contenedores, aún después de que el fuego haya sido extinguido.

Eliminar la fuente de fuga si es posible hacerlo sin riesgo.

Si la fuga o derrame no se ha incendiado utilice agua en forma de rocío para dispersar vapores.

Permitir que el fuego arda bajo condiciones controladas o extinguir empleando polvo químico seco o espuma

Tratar de cubrir el líquido derramado con espuma. Evite Introducir agua directamente dentro del contenedor.

Aislar el área de peligro, mantener alejadas a las personas innecesarias y evitar situarse en las zonas bajas

**Condiciones que conducen a otros riesgos especiales**

La gasolina es un líquido extremadamente inflamable, puede incendiarse fácilmente a temperatura normal, sus vapores son más pesados que el aire por lo que se dispersaran por el suelo y se concentraran en las zonas bajas.

Los vapores de gasolina no controlados que alcancen una fuente de ignición, pueden provocar una exposición

Los recipientes que hayan almacenado este producto pueden contener residuos de él, por lo que no deben presurizarse, calentarse, cortarse, soldarse o exponerse a flamas u otras fuentes de ignición.

**RIESGOS DE REACTIVIDAD****Estabilidad**

En condiciones normales esta substancia es estable

**Incompatibilidad (substancia a evitar)**

Evitar el contacto de este producto con materiales oxidantes fuertes y con fuentes de ignición

**Descomposición en componentes o productos peligrosos**

A temperaturas elevadas, esta substancia puede generar gases tóxicos o inflamables (descomposición térmica)

En caso de combustión incompleta se generan humos, monóxido de carbono y Oxidos de Azufre.

**Información sobre el manejo y Almacenamiento**

El personal no debe ingerir alimentos, beber o fumar durante el manejo de este producto.

El personal no deber emplear lentes de contacto cuando maneje este producto.

Las gasolinas son líquidos inflamables, por lo que existe el riesgo de incendio donde se almacenan, manejan o emplean.

Deben tomarse precauciones para evitar que sus vapores formen mezclas explosivas.

Deben evitarse temperaturas extremas en su almacenamiento almacenar en contenedores cerrados fríos, secos, aislados, en áreas bien ventiladas y alejados del calor, fuentes de ignición y productos incompatibles como ácidos y materiales oxidantes.

No almacenar en contenedores sin etiquetas; los recipientes que contengan gasolina, deben almacenarse separados

De los vacíos y de los parcialmente vacíos.

No debe emplearse

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## Apéndice B

Probabilidad de Ocurrencia de accidentes utilizados en el árbol de fallas

Componente	Probabilidad
Falla de gas por falta de línea	0.1
Error humano (ignición por soldadura o corte)	1E-2
Falla detector de gas o fuego	8.76E-2
Válvula mecánicamente defectuosa	1E-4
PSV mal calibrada	1E-2
Falla aplicación de soldadura (soldadores no certificados)	1E-2
Falla de inspección (omisión)	1E-2
Falla al tomar acción correcta después de la	1E-3
Falla control de calidad (materiales corrosivos)	1E-3
Falla mantenimiento (calibración o recubrimiento)	1E-2
Falla de decisión (se opera al límite de retiro)	1E-3
Falla operacional (equivocacional)	1E-3
Falla secundaria debido a efectos ajenos	1E-9
Falla procedimiento operacional (omisión)	1E-2
Falla Indicador de Nivel	8.76E-2
Falla válvula de cierre rápido	8.76E-2
Falla alarma por alto nivel	8.76E-2
Falla alarma por alta presión	8.76E-2
Falla Indicador de temperatura a la salida de los	8.76E-2
Falla de diseño o deterioro durante su servicio	1E-2
Falla de decisión (la línea opera en límite de retiro)	1E-3
Procedimiento no actualizado o difundido	5E-3
No se sigue el procedimiento operacional	1E-2
Error de operación	1E-1
Falla mecánica	1E-4

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN.**



### **Cálculos para el árbol de fallas**

*Para un árbol de fallas sencillo los cálculos son muy simples*

#### **Puerta "Y"**

*Si un componente tiene dos entradas, o si es proveído de soporte desde dos subsistemas y solo uno de ellos es necesario para el buen funcionamiento, el sistema es redundante, es decir, fallara si el suministro uno y el suministro dos fallan. Lo anterior es descrito por una puerta "Y". Se puede afirmar que las dos entradas están en paralelo.*

*La probabilidad total de que el sistema falle es dada por la ley de producto de probabilidades. Asumiendo de que las probabilidades de que falle el suministro 1, el que falle el suministro 2, son estadísticamente independientes*

$$Pr(\text{Evento}) = Pr(E_1) \cdot Pr(E_2)$$

*Esto puede ser generalizado para más de dos eventos de entrada*

$$Pr(\text{Evento}) = Pr(E_1) \cdot Pr(E_2) \cdot Pr(E_3)$$

#### **Puerta "O"**

*Si un sistema tiene dos componentes que están conectados en serie, el fallo de cualquiera, el primero o el segundo componente causaran que el sistema falle. Esto es descrito por una puerta "O" de un árbol de fallas.*

*Asumiendo que las fallas  $C_1$  y  $C_2$  son estadísticamente independientes, la probabilidad de que el sistema falle esta dada por:*

$$Pr(\text{Evento}) = Pr(C_1) + Pr(C_2) - Pr(C_1) \cdot Pr(C_2)$$

*Algunas veces ambos componentes fallan, así que el último término evita que estos casos se contabilicen dos veces, por lo que el término del producto se resta de la suma*

*En general para un número N de entradas a una puerta "O", la probabilidad esta dada por:*

$$Pr(\text{Evento}) = \sum Pr(i) - \sum Pr(i) \cdot \sum Pr(j) + \sum Pr(i) \cdot Pr(j) \cdot Pr(k) + \dots + \prod Pr(i)$$

#### **Eventos que no son independientes**

*Los cálculos arriba aplican si los eventos, como la falla del componente 1 y 2, son estadísticamente independientes:*

$$Pr(1 \text{ y } 2) = Pr(1) + Pr(2)$$



*Cuando los eventos no son estadísticamente independientes podría ser cuando uno causa al otro, o ambos tienen la misma causa. Estos eventos entonces ocurren juntos.*

$$Pr(1 \text{ y } 2) = Pr(1)$$

$$Pr(1 \text{ o } 2) = Pr(1)$$

*Otra forma en que la dependencia se presenta, es cuando los eventos son mutuamente exclusivos. Esto no es frecuentemente una condición lógica, por ejemplo, una válvula no puede al mismo tiempo fallar abierta y fallar cerrada. Otra posibilidad es que un evento prevenga al otro, por ejemplo, un incendio y una inundación son mutuamente exclusivos.*

*En este caso las probabilidades están dadas por:*

$$Pr(1 \text{ y } 2) = 0$$

$$Pr(1 \text{ o } 2) = Pr(1) + Pr(2)$$

*Los árboles de fallas pueden ser evaluados fácilmente, si todos los eventos en el árbol son independientes. El principio es encontrar las puertas en el nivel más bajo del árbol y calcular las probabilidades de los eventos salida. Posteriormente, cada nivel más bajo es reemplazado por un "evento mayor" con su correspondiente probabilidad calculada. El proceso es repetido hasta que la probabilidad del evento culminante es calculada. A este proceso se le conoce como reducción en serie/paralelo.*

*Esta reducción puede ser aplicada a un árbol de fallas si los eventos no se repiten dentro del mismo árbol, es decir, no aparecen más de una vez. Esta reducción también puede ser aplicada a árboles complicados con eventos repetidos, aplicándolo solo en aquellas partes del árbol, para formar "subárboles" en aquellas partes donde no hay eventos repetidos. Esto puede ser muy útil para reducir la complejidad del árbol.*

*Uno de los aspectos más difíciles del calcular del árbol de fallas es encontrar el modelo para la probabilidad o frecuencia adecuada de los eventos de árbol de fallas. Para lograr lo anterior es necesario comprender que la primera y más importante distinción es entre eventos y condiciones.*

*Un evento es un cambio en el estado de la planta o una acción realizada por una persona.*

*Una condición es una descripción del estado de un componente o de parte de la planta.*

*Los eventos están caracterizados por una frecuencia, usualmente representada como número de ocurrencias por unidad de tiempo. Si un evento conduce directamente al evento culminante de un árbol de fallas, entonces su frecuencia es requerida. Los cálculos*



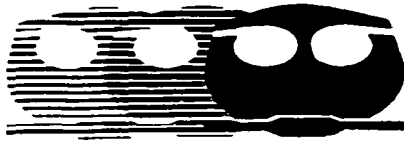
*de la frecuencia de un árbol de fallas, la mayor parte del tiempo consisten en pequeños cálculos.*

*La frecuencia de un evento esta dada por.*

$$Fr(\text{evento}) = Fr(\text{evento iniciante}) \cdot Pr(\text{condición})$$

*La probabilidad de la condición es en la practica el resultado de una serie de subcondiciones, las cuales podrían ser: La probabilidad de que las sustancias necesarias o la energía para el accidente estén presentes, Las probabilidades de que varias medidas de seguridad se encuentren en estados fallidos, o fuera de operación por mantenimiento; La probabilidad de que hayan personas o propiedades expuestas al accidente.*

# Glosario







## **Glosario**

**Accidente.-** Evento no deseado que provoca daños a las personas, al ambiente, y/o instalaciones

**Causas.-** Es lo que hace que un incidente o accidente ocurra. Por ejemplo, falla de un equipo, de un instrumento, error humano, condiciones metereologicas, etc. Mediante un estudio mas profundo, es posible encontrar las causas mencionadas

**Circuito.-** Es la parte del proceso en la que se divide el mismo para su mejor estudio

**Código.-** Conjunto de normas y reglas adoptadas como obligatorias y tienen fuerza y efectos de una ley

**Consecuencias.-** Es el daño leve o grave, producto de un incidente o accidente, que se ocasiona a las personas dentro y fuera de la planta de proceso, al medio ambiente y a las instalaciones.

**Desviación.-** Palabra guía que indica una modificación cualitativa o cuantitativa de los parámetros a analizar

**Dique.-** Muro hecho para contener las aguas u otros materiales líquidos

**Escenario.-** Situación en donde existe un riesgo potencial que tiene probabilidad elevada de causar perdidas

**Evento culminante.-** Suceso último generalmente de mayores proporciones producto de una serie de sucesos menores que puede estar relacionados o no entre sí

**Factor de visión.-** Es la radiación recibida, en ausencia de absorción por la atmósfera, por una superficie situada fuera del perímetro de un incendio de características conocidas.

**Frecuencia.-** Número de fallos o errores que tiene un componente, equipo o humano, por alguna unidad de tiempo determinada



**Ignición.-** Proceso de incendio de una sustancia combustible. Se produce cuando la temperatura de la sustancia se eleva hasta el punto en que las moléculas reaccionan espontáneamente con él oxígeno, y la sustancia empieza arder. Esta temperatura se llama temperatura de ignición o punto de ignición.

**Incidente.-** Suceso no deseado, que bajo ciertas circunstancias, ligeramente diferentes, pueden provocar daños a las personas, al ambiente y/o instalaciones

**Índice de riesgo.-** Es la combinación matemática entre la frecuencia y la gravedad. Índice de Riesgo(perdida/año)= Índice de Frecuencia (accidente /año) x Índice de gravedad (perdida/accidente)

**Límite de Inflamabilidad.-** Límites superior e inferior de concentración, a una temperatura y presión dadas de gases inflamables en el aire expresadas en porcentaje de combustible por volumen entre los cuales son capaces de arder

**Nodo.-** Es la subdivisión de un sistema de proceso, que tiene un origen, en donde comienzan nuevas propiedades del material procesado, y un destino, en donde nuevamente hay un cambio de propiedades. Este debe ser lo suficientemente pequeño para que sea manejable y suficientemente grande para que sea significativo

**Norma.-** (a) declaración oficial detallada de especificaciones y requisitos por ejemplo para equipos o ensayos (b) Objeto que sirve como base para comparaciones o aceptaciones.

**Palabra guía.-** Es aquella que indica la desviación parcial o total de la intención

**Parámetro.-** Es la manifestación física o química del proceso como el flujo, nivel, presión, temperatura velocidad, composición, mezcla, ignición, etc.

**Probabilidad.-** Es la posibilidad matemática de que un evento ocurra y se expresa en fracciones entre 0 y 1. La absoluta imposibilidad es cero y la absoluta certeza es uno.

## Bibliografía





## **BIBLOGRAFIA**

1. –Santamaría Ramiro J. M y Braña Aisa, P.A., **Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria**, Fundación MAPFRE(1994)
2. *Apuntes del Curso "Administración Integral del Riesgo (ARI)", Presentado en la Facultad de Química Edificio E, ciudad Universitaria, por el Ing. Jesús Arturo Butron Silva*
3. J. R. Taylor , **Risk Analysis for process plant pipelines and Transport**, Chapman & Hall (1994)
4. Brown, A. E. P. 1999. Risk Analysis: An Investment in Engineering. **Process Safety Progress**, 12(3):121-125.
5. Tesis "**Formulación de gasolinas, programa de computo para formular Gasolinas empleando el método de optimización en microft Excel @**", Arturo Deloiza Quintero y María Susana Rodriguez Quintero Escuela superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas-IPN(1998)
6. Rodriguez Martínez Nicolás "**Las Gasolinas sus características, su impacto en la operación de los vehículos y en el medio ambiente.**" Rev. IMIQ, Vol. 31(1992) 18-40
7. Ing. Raúl Huesca Cadena y Dr. Francisco Javier Garfias y Ayala," **La Gasolina del Valle de México**" Rev. IMP (1992)
8. Norma Oficial Mexicana NOM-\*086Ecol-1994 "**Contaminación atmosférica especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles**" Diario Oficial, viernes 2 de diciembre de 1994
9. American Society for Testing and Materials ASTM-D-86-90, **Standard Test Method For Distillation of Petroleum Products**, Annual Book of ASTM standards, 1991
10. Process Hazard Analysis Software Tool, "**PHAST User's Manual**" versión 6.0



11. *Apuntes del taller "Hazard assessment and risk analysis techniques for process industries" presentado por "Continuing Engineering studies of the University of Texas at Austin" en el Instituto Mexicano del Petroleo.*
12. *Cleanup of Petroleum contaminated soils at underground storage tanks, Lyman D.C. Park Ridge, New Jersey Noyes 1990*
13. <http://www.franquiciapemex.com/especificaciones/prov4.html>