

222

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO



FACULTAD DE QUIMICA

“ ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL ÁREA DE  
ALMACENAMIENTO DE GAS LP DE LA REFINERÍA  
FRANCISCO I. MADERO, DE CIUDAD MADERO  
TAMAULIPAS”.

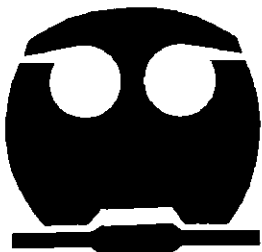
**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**INGENIERO QUÍMICO**

P R E S E N T A :

**FRANCISCO JAVIER VALENCIA CALLEJAS.**



201072

MÉXICO, D.F.

2001



EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

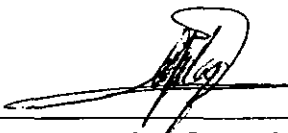
## **JURADO ASIGNADO.**

Presidente.                      Profesor. José Antonio Ortiz Ramírez.  
Vocal.                              Profesor. Eduardo Marambio Dennett.  
Secretario                        Profesor. M. Javier Cruz Gómez.  
1er. Suplente.                  Profesor. Celestino Montiel Maldonado.  
2º. Suplente.                    Profesor. Ramón Domínguez Betancourt.

### **SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:**

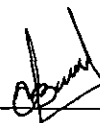
Refinería Francisco I. Madero, Cd. Madero, Tamaulipas  
y  
Laboratorio E-212, Facultad de Química, UNAM.

Asesor



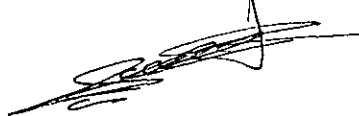
Dr. M. Javier Cruz Gómez.

Supervisor Técnico.



Carlos Baltazar Baltazar.

Sustentante.



Francisco Javier Valencia Callejas.

AGRADECIMIENTOS.

A DIOS

*POR ESTAR SIEMPRE CONMIGO EN TODO MOMENTO DE MI VIDA.*

A MI ABUELITA DARIA

*POR QUE EN CADA INSTANTE SE QUE ESTAS JUNTO A MI.*

## AGRADECIMIENTOS.

*A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO  
POR SER EL LUGAR DONDE ENCONTRE CONOCIMIENTOS Y FORMACIÓN.*

*AL DR. M. JAVIER CRUZ GÓMEZ  
POR DARMÉ LA OPORTUNIDAD DE PARTICIPAR EN ESTE PROYECTO JUNTO CON OTROS  
GRANDES PROFESIONISTAS.*

*AL INGENIERO JOSE ANTONIO ORTIZ  
POR TODO LO QUE ME ENSEÑÓ COMO PERSONA Y PROFESIONISTA.*

*A TODOS MIS MAESTROS DE LA FACULTAD DE QUÍMICA  
GRACIAS POR FORMAR PARTE DE LO QUE AHORA SOY.*

*A PEMEX  
POR LA OPORTUNIDAD DE APRENDER MUCHO MÁS ALLA DE LAS AULAS.*

*A LOS INGENIEROS CARLOS A. QUINTANILLA Y JOSE LUIS CRUZ  
POR LAS FACILIDADES Y APOYO EN LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.*

*A TODOS LOS DEMÁS INGENIEROS DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS DE LA  
REFINERÍA FRANCISCO I. MADERO.*

## DEDICATORIAS.

*A MI PAPA*

*POR TODO EL AMOR Y CARIÑO QUE ME BRINDA EN TODO MOMENTO.*

*A MI MAMA*

*POR EL APOYO Y AMOR INCONDICIONAL QUE SOLO ELLA ME HA SABIDO DAR.*

*A MI QUERIDO HERMANO JESUS*

*POR EL APOYO Y CARIÑO QUE ME HA BRINDADO Y QUE GRACIAS A EL HE LLEGADO  
HASTA ESTE MOMENTO.*

*A MI HERMANITA MARI*

*POR SER DE LA MANERA COMO ES Y QUERERME Y APOYARME TANTO.*

## DEDICATORIAS.

*A MARIBEL, CLAUDIA Y ROGELIO  
PORQUE A PESAR DE LA DISTANCIA Y EL TIEMPO SIEMPRE ESTARA LA AMISTAD.*

*A GINA, LAURA, LAURITA, CITLALI, COLUMBA, MIYERIA, ADRIANA, CARMEN, NAYELI,  
DIANA, MONICA, JORGE, ISRAEL, ELIAS, MOISÉS, PAQUITO, MIGUEL ANGEL, RAUL, JULIO,  
FERNANDO, HUGO, FERMIN, TÑO, QUIQUE, BETO, GODINEZ, ERICK, ARTURO Y A TODOS  
MIS DEMÁS AMIGOS POR LOS GRANDES MOMENTOS QUE COMPARTIMOS.*

*A MIS COMPAÑEROS DEL CEASP A  
CARLITOS, RAMÓN, DANIEL, PAOLA, SONIA, FERNANDA, LETICIA, VERÓNICA, FERNANDO,  
ALFREDO, JOSE, MARIO Y A TODOS LOS DEMÁS POR SU AMISTAD.*

*AHORA QUE CORRE SANGRE PUMA  
POR MIS VENAS SIENTO QUE LOS  
GRITOS DEL GOYA RETUMBAN MÁS  
FUERTES QUE NUNCA PARA RECORDAR  
QUE EN MI MENTE SIEMPRE ESTARAN  
PRESENTES TODOS LOS LINEAMIENTOS  
Y PRECEPTOS DE UN UNIVERSITARIO,  
SERVIR A MIS SEMEJANTES Y A MI  
PAIS, PERO SOBRE TODO NUNCA  
OLVIDAR DE DONDE VENGO, DE MI  
QUERIDA UNIVERSIDAD.*

*FJVC.*





## INDICE.

INDICE DE FIGURAS.....	I
INDICE DE TABLAS.....	II
INDICE DE DIAGRAMAS.....	III
LISTA DE ABREVIATURAS.....	IV

### CAPITULO I.

### INTRODUCCIÓN.

1.1. JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	2
1.2. OBJETIVOS DEL TRABAJO.....	5
1.3. ETAPAS DEL PROYECTO.....	6

### CAPITULO II.

### MARCO TEORICO.

2.1. DEFINICIÓN DE GAS LICUADO DEL PETRÓLEO.....	9
2.2. DEFINICIÓN DE RIESGO Y CLASIFICACIÓN.....	12
2.3. ANÁLISIS DE RIESGOS.....	13
2.4. ETAPAS DE UN ANÁLISIS DE RIESGOS.....	13
2.5. UTILIDAD DEL ANÁLISIS DE RIESGOS.....	15
2.6. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.....	16
2.6.1. MÉTODOS COMPARATIVOS.....	17
2.6.2. ÍNDICES DE RIESGOS.....	19
2.6.3. MÉTODOS GENERALIZADOS.....	20

---



## INDICE.

27. TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO.....	22
27.1. ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP).....	22
27.2. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (FTA).....	26
27.3. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	28

### CAPITULO III

### TRABAJO DE CAMPO.

3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS LP.....	36
3.2. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD.....	45
3.2.1. SELECCIÓN DE NODOS.....	45
3.2.2. DESCRIPCIÓN DE NODOS.....	46
3.2.3. REGISTRO DE LAS SESIONES HAZOP.....	49
3.3. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.....	81
3.4. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	87

### CAPITULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS HAZOP.....	96
4.2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ÁRBOL DE FALLAS.....	100
4.3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	102
4.4. CONCLUSIONES GENERALES.....	103
APÉNDICES.....	105
GLOSARIO DE TERMINOS.....	108
BIBLIOGRAFÍA.....	111

---



## INDICE DE FIGURAS.

FIGURA 2.1. PRODUCTOS ELABORADOS A PARTIR DE GAS LP.....	11
FIGURA 2.2. ETAPAS DE UN ANÁLISIS DE RIESGOS.....	14
FIGURA 2.3. UTILIDAD DEL ANÁLISIS DE RIESGOS.....	16
FIGURA 2.4. FORMATO PARA UN ESTUDIO FMEA.....	21
FIGURA 2.5. SISTEMÁTICA PARA EL ANÁLISIS HAZOP.....	25
FIGURA 3.1. TÉCNICAS PARA ANÁLISIS DE RIESGOS.....	44
FIGURA 3.2. MATRIZ DE RIESGOS USADA EN EL ESTUDIO HAZOP.....	50



## INDICE DE TABLAS.

TABLA 1.1. GRANDES ACCIDENTES INDUSTRIALES.....	2
TABLA 2.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.....	17
TABLA 2.2. SIGNIFICADO DE LAS PALABRAS GUIA.....	23
TABLA 2.3. SÍMBOLOS UTILIZADOS EN EL ÁRBOL DE FALLAS.....	27
TABLA 2.4. TIPOS DE FUENTES DE IGNICIÓN.....	29
TABLA 3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS TANQUE HORIZONTALES.....	36
TABLA 3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS TANQUES ESFÉRICOS.....	37
TABLA 3.3. DESCRIPCIÓN DE LAS CASAS DE BOMBAS.....	38
TABLA 3.4. SÍNTESIS DE LAS OPERACIONES DEL PATIO ORIENTE.....	40
TABLA 3.5. NIVELES DE FRECUENCIA Y GRAVEDAD.....	51
TABLA 3.6. POTENCIAL DE PÉRDIDA Y PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLES.....	83
TABLA 3.7. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.....	84
TABLA 3.8. DATOS PARA EL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	88
TABLA 3.9. RESULTADOS DE LA FORMACIÓN DE UNA NUBE DE GAS NO CONFINADA.....	90
TABLA 3.10. EFECTOS DE LA EXPLOSIÓN DE UNA NUBE DE GAS NO CONFINADA.....	90
TABLA 3.11. EXPLOSIÓN POR SOBREPRESIÓN DEL TANQUE MJA-T-36.....	92
TABLA 3.12. RESULTADOS DE LA ESFERA DE FUEGO EN EL TANQUE MJA-T-36.....	93
TABLA 4.1. LISTA JERARQUICA DE RECOMENDACIONES DEL HAZOP.....	100
TABLA 4.2. LISTA DE RECOMENDACIONES DEL ÁRBOL DE FALLAS.....	101
TABLA 4.3. RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	102



## INDICE DE DIAGRAMAS.

DIAGRAMA 3.1. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PATIO ORIENTE.....	41
DIAGRAMA 3.2. NODO: CABEZAL DE DESFOGUE DE ALTA PRESIÓN.....	60
DIAGRAMA 3.3. NODO: TANQUE ESFÉRICO MJA-T-43.....	71
DIAGRAMA 3.4-A. NODO: DESCARGA DEL TANQUE ESFÉRICO MJA-T-234.....	79
DIAGRAMA 3.4-B. NODO: DESCARGA DEL TANQUE ESFÉRICO MJA-T-234.....	80
DIAGRAMA 3.5-A. ÁRBOL DE FALLAS DEL TANQUE HORIZONTAL MJA-T-36.....	85
DIAGRAMA 3.5-B. ÁRBOL DE FALLAS DEL TANQUE HORIZONTAL MJA-T-36 (CON RECOMENDACIONES).....	86
DIAGRAMA 3.6-A. FORMACIÓN DE UNA NUBE DE GAS NO CONFINADA.....	91
DIAGRAMA 3.6-B. RADIO DE AFECTACIÓN Y ZONA DE SEGURIDAD PARA LA RADLACIÓN TÉRMICA DE UNA ESFERA DE FUEGO.....	94



## LISTA DE ABREVIATURAS.

**SIASPA:**

Sistema Integral para la Administración de la Seguridad y Protección Ambiental

**PEMEX:**

Petróleos Mexicanos.

**GIDT:**

Gerencia de Investigación y Desarrollo Tecnológico.

**HAZOP:**

Hazard and Operability (Peligro y Operabilidad).

**FTA:**

Fault Tree Analysis (Análisis de Árbol de Fallas).

**FMEA:**

Failure Modes and Effects Analysis (Análisis de Formas de Fallas y Efectos).

**FMECA:**

Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (Análisis de Criticidad, Formas de Fallas y Efectos).

**PGLE'S.**

Planos Generales de Localización de Equipo (Plot Plan's).

**DFP:**

Diagrama de Flujo de Proceso.

**DTI:**

Diagrama de Tubería e Instrumentación.

**ASTM:**

American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para Pruebas y Materiales).

**FEMA:**

Federal Emergency Management Administration (Dirección Federal de Administración de Emergencias).

**DOT:**

Department of Transportation (Departamento de Transporte).

**EPA:**

Environmental Protection Agency (Agencia de Protección del Medio Ambiente).

**ARCHIE:**

Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation (Programa para la Evaluación de Accidentes y Riesgos Químicos).



**LPG:**

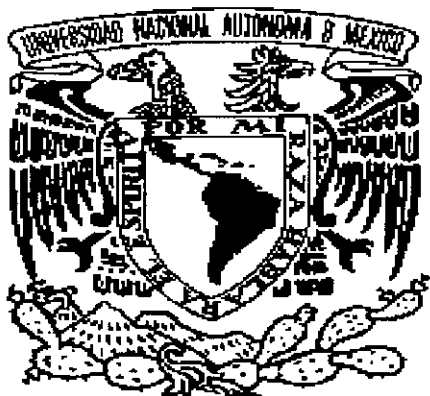
Liquefied Petroleum Gas (Gas Licuado del Petróleo).

**BLEVE:**

Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (Explosión de un Líquido Hirviendo en Expansión).

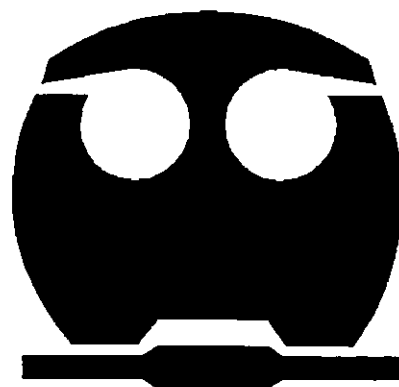
**EVNC:**

Explosión de una Nube de Gas No Confinada.



## CAPITULO I.

# INTRODUCCIÓN.







## 1.1 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

Hoy en día, debido a la gran demanda de bienes de consumo por parte de la población, la industria ha ido creciendo de una manera constante para cubrir dichas necesidades. Como es lógico, este crecimiento tanto en número de industrias como en la capacidad de éstas, ha provocado un aumento en el número de personas (dentro de las mismas plantas de proceso y entre el público en general), que en un momento dado estén expuestas a las consecuencias de un accidente industrial.

Debido a los accidentes de gran magnitud ocurridos en los últimos cincuenta años en la industria química (en la tabla 1.1 se enlistan algunos de ellos, la población en general considera que la industria química es de alto riesgo.

SITIO	SUSTANCIA INVOLUCRADA	ACCIDENTE	CONSECUENCIAS
Bhopal, India, 1984	Isocianato de Metilo	Escape del gas venenoso, en una planta de Union Carbide	2500 muertes directas
San Juan Ixhuatepec, México. 1984	Gas LP	Hacen explosión varios contenedores de gas LP	650 muertes y 2500 heridos
Guadalajara Jalisco, México, 1992	Combustible	Explosiones a lo largo de una red de alcantarillado urbano debido a vertidos de gasolina en el mismo	200 muertes y 2500 heridos

Tabla 1.1 Grandes Accidentes Industriales<sup>(1)</sup>



SITIO	SUSTANCIA INVOLUCRADA	ACCIDENTE	CONSECUENCIAS
Camping de Los Alfaques, San Carlos de la Rápia, España, 1978	Propileno	Explosión de una pipa con 39 Tm al chocar con una pared.	250 muertes
Cubatao, Brasil, 1974	Gasolina	Fuga de gasolina de un oleoducto dando origen a una esfera de fuego	500 muertes
Seveso, Italia, 1976	Ciclohexano	Fuga de 80 toneladas de ciclohexano que dan lugar a una explosión de gran magnitud.	28 muertes y cientos de heridos

Tabla 1.1 Grandes Accidentes Industriales<sup>(1)</sup> (continuación).

De acuerdo a lo anterior no es de extrañarse el creciente esfuerzo que la industria en general y en particular la química ha venido realizando para la prevención de accidentes. Dentro de esta última categoría tenemos a Petróleos Mexicanos (PEMEX), quien siendo una de las empresas líderes y de mayor importancia en nuestro país, no ha escatimado esfuerzos y recursos para lograr que sus instalaciones sean más seguras y que el impacto ambiental que provocan sea el más mínimo posible. Para lograr este objetivo PEMEX ha venido implantando un programa denominado SIASPA (Sistema Integral para la Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental). El SIASPA se encuentra integrado por 18 elementos fundamentales que son los siguientes:



- 1.- Política, Liderazgo y Compromiso.
- 2.- Organización.
- 3.- Capacitación.
- 4.- Salud Ocupacional.
- 5.- Análisis y Difusión de Incidentes y Buenas Prácticas.
- 6.- Control de Contratistas.
- 7.- Relaciones Publicas y con las Comunidades.
- 8.- Planeación y Presupuesto.
- 9.- Normatividad.
- 10.- Administración de la Información.
- 11.- Tecnología del Proceso.
- 12.- Análisis de Riesgos.
- 13.- Administración del Cambio.
- 14.- Indicadores de Desempeño.
- 15.- Auditorias.
- 16.- Planes y Respuesta a Emergencia.
- 17.- Integridad Mecánica.
- 18.- Control y Restauración.

PEMEX con el fin de cumplir con los elementos del SIASPA, en especial el elemento 12 relacionado con el análisis de riesgos, en conjunto con la UNAM (Facultad de Química), llevó a cabo el proyecto denominado “Análisis de Riesgos en el Área de Almacenamiento de gas LP de la Refinería Francisco I. Madero” en ciudad Madero, Tamaulipas. Para llevar cabo dicho proyecto se asignó personal especializado de la UNAM, así como personal de PEMEX (de la Gerencia de



Investigación y Desarrollo Tecnológico, GIDT) y personal que labora en el área de estudio de la Refinería.

Este trabajo que presento es parte del proyecto antes mencionado, que se realizó con la intención de mejorar aun más la seguridad en el área de almacenamiento de gas LP de la Refinería Francisco I. Madero. Mediante la aplicación de la metodología HAZOP, se identificaron los posibles peligros resultantes de las desviaciones de diseño del equipo del área. Una vez identificados los peligros potenciales que podrían llevar a un evento no deseado, se escogió un escenario hipotético de un accidente y mediante la técnica de Análisis de Árbol de Fallas se evaluó la probabilidad de que dicho accidente se presentara. Por último se evaluaron las consecuencias que provocaría a las instalaciones y fuera de ellas un accidente hipotético.

## 1.2 OBJETIVOS DEL TRABAJO.

Los principales objetivos a cumplir en este estudio son los siguientes:

1.- Mediante la aplicación de la técnica HAZOP (Hazard and Operability), identificar todos los peligros asociados a factores externos (fenómenos naturales, sociales, etc.) e internos (fallas en los sistemas de control, fallas en los sistemas mecánicos, factores humanos y fallas en los sistemas de administración, etc.), que podrían llevar a la culminación de un evento no deseado (accidente).

2.- Reducir los riesgos a los trabajadores y población circunvecina a las instalaciones de la Refinería, mediante la obtención de una serie de recomendaciones que al ser implementadas mejorarían la operación y seguridad de la planta.



3.- Evaluar de forma sistemática las consecuencias que tendría en los empleados, el público en general, el medio ambiente, la producción y/o las instalaciones (materiales, equipo y maquinaria) un accidente de un escenario hipotético.

### **1.3 ETAPAS DEL PROYECTO.**

#### **1.3.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN RELEVANTE.**

En esta etapa se reunió la información necesaria para llevar a cabo el estudio como es la siguiente: Dibujos y Diagramas (Diagramas de Flujo de Proceso DFP'S, Diagramas de Tubería e Instrumentación DTI'S, Arreglos de equipos, Isométricos, etc.), Información de todos los materiales usados en el proceso, Descripción del proceso, Manual de operación, Historias de accidentes e incidentes y sus consecuencias.

#### **1.3.2. DESARROLLO PRACTICO DEL ANÁLISIS HAZOP.**

Primero se integró el equipo multidisciplinario para realizar el análisis. Este equipo se formó con personal de la refinería (ingenieros de varias especialidades), personal de la UNAM encargado de dirigir el análisis y un especialista en este tipo de análisis encargado de coordinar al equipo multidisciplinario. También se acordaron las fechas para realizar las sesiones del análisis y se definieron los nodos a analizar. Después se llevaron a cabo las sesiones donde se analizaron los nodos, resultando una serie de recomendaciones. Finalmente con estas



recomendaciones se elaboró un plan de trabajo con acciones a implementar con el fin de mejorar aun más la seguridad en la refinería.

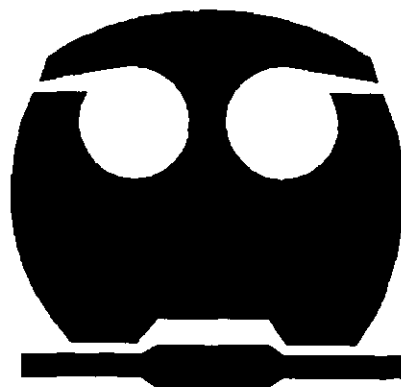
### **1.3.3. ANÁLISIS DE ARBOL DE FALLAS Y ESCENARIO DE CONSECUENCIAS.**

Por otra parte con los resultados obtenidos en el análisis de riesgos se determinaron los posibles escenarios de accidentes a los cuales se les aplicaría el Análisis de Árbol de Fallas y de Evaluación de consecuencias, obteniéndose una serie de resultados y recomendaciones que servirán para tomar las medidas adecuadas que incrementen aun más la seguridad en el área de estudio.



## CAPITULO II.

## MARCO TEORICO.





## 2.1. DEFINICIÓN DE GAS LICUADO DEL PETRÓLEO.<sup>(6)</sup>

Existe una gran variedad de clasificaciones para los productos derivados del petróleo, para este trabajo se propone la siguiente, en la cual se consideran tres categorías que se definen a continuación:

1ª. En esta categoría se incluyen a todos aquellos compuestos que a las condiciones de presión y temperatura ambiente se encuentran en estado gaseoso.

2ª. La segunda categoría se refiere a compuestos que contienen cinco o más átomos de carbono por molécula, y que son líquidos a presión y temperatura ambiente.

3ª. En esta categoría se denota a los compuestos de hidrocarburos formado por tres y cuatro átomos de carbono por molécula y que además tienen la propiedad de ser líquidos a temperatura ambiente y presiones moderadas.

En esta última categoría se refiere principalmente al propano, propileno, butano, butileno, isobutano, isobutileno y butadieno, los cuales se caracterizan por la relativa facilidad que tienen de pasar del estado líquido al gaseoso cuando se les disminuye la presión y corresponden a los llamados gases licuados del petróleo. La American Society for Testing and Materials (ASTM) establece la siguiente definición para los gases licuados del petróleo y sus sinónimos, LP gas y gas LP.

“Se refiere a aquellos compuestos hidrocarburos producidos durante el procesamiento del gas natural y de refinación convencional del petróleo.”





En el mercado se conocen cuatros tipos de gas licuado, en donde cada una corresponde a una formulación especifica, de tal forma que se satisfagan las distintas necesidades de los usuarios. Los cuatro tipos de gas licuado son los siguientes:

1.- Propano Comercial. Este combustible es el que más se utiliza de manera doméstica, comercial e industrial, dicha preferencia se debe a la elevada volatilidad del producto.

2.- Butano Comercial. Este combustible es el de menor volatilidad de los cuatro. Contrario al propano comercial, se utiliza en industrias y procesos donde la uniformidad en la vaporización del combustible no es un factor importante a considerar.

3.- Mezclas Comerciales Propano-Butano. La volatilidad de este combustible es intermedia. Este tipo de combustible abarca una extensa proporción de mezclas que permite cubrir rangos de necesidad específicos.

4.- Propano para Servicios Especiales (especial DUTY). Es un producto de alta calidad compuesto primordialmente por propano. Debido a sus características antidetonantes, muy superiores a los otros tres, se utiliza para satisfacer los requerimientos de las máquinas de combustión interna que operan a altas temperaturas y presiones.

Hoy en día el Gas Licuado es el punto de partida para la elaboración de numerosos productos e intermediarios químicos, algunos de estos usos se muestran en la figura 2.1.

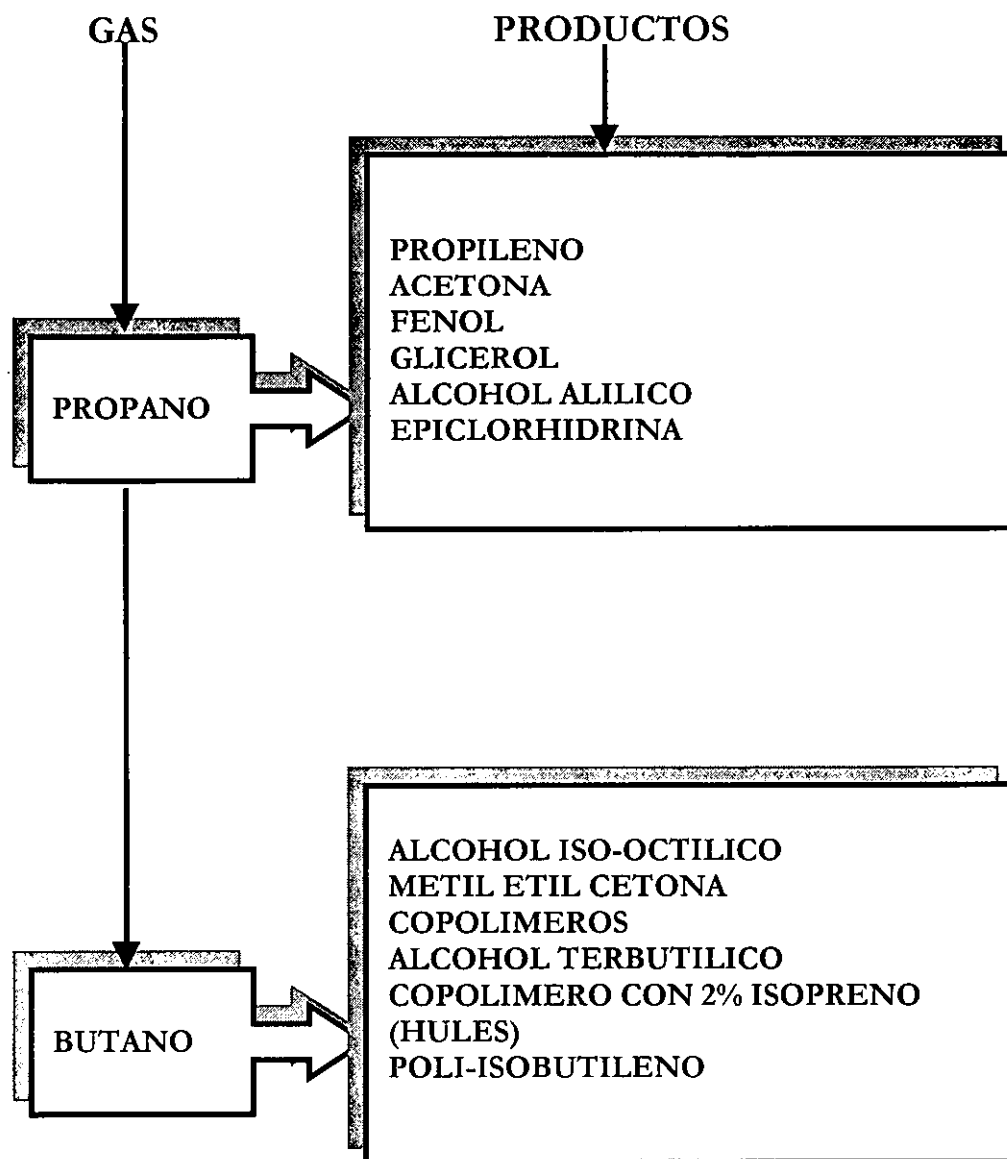


FIG. 2.1 Productos Elaborados a partir de Gas LP.<sup>(6)</sup>



## 2.2 DEFINICIÓN DE RIESGO Y SU CLASIFICACIÓN.<sup>(1,2,7)</sup>

Todas las actividades humanas se relacionan con un cierto riesgo potencial, dependiendo del tipo de actividad. Según la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), el riesgo se define como una medida de la probabilidad y severidad del daño que se puede causar a las personas y a sus propiedades. De esta manera se puede determinar el riesgo de la siguiente manera:

$$R = P * C$$

Donde: R es el riesgo.

P es la probabilidad de ocurrencia.

C son las consecuencias o totalidad de las pérdidas que se producen.

De tal modo el riesgo tiene asociados dos parámetros la frecuencia y a las consecuencias, de acuerdo a lo anterior se clasifica al riesgo de la siguiente manera:

1. De alta probabilidad y baja consecuencia.
2. De baja probabilidad y alta consecuencia.
3. De alta probabilidad y alta consecuencia.
4. De baja probabilidad y baja consecuencia.

Por otra parte se define un accidente como un evento o la combinación de eventos no deseados e inesperados que provocan consecuencias al personal, a la población en general, daños a instalaciones o a bienes de las personas o al medio ambiente.



En la actualidad la mayoría de la sociedad tiene conocimiento del riesgo que conlleva la actividad industrial, en algunos casos este riesgo es mucho mayor que otros dependiendo del tipo de industria. Para poder eliminar en su totalidad los riesgos, debemos de eliminar a la industria. Sin embargo, esto es imposible ya que nuestra sociedad esta basada en los bienes que se obtienen gracias a la actividad industrial. Entonces lo que se debe de hacer es determinar que tipo de riesgos se pueden aceptar, es decir, con cuales riesgos se pueden convivir y cuales son los que se pueden llevar hasta un nivel aceptable. Lo anterior se consigue estimando la magnitud del riesgo, para esto nos valemos de las Técnicas de Análisis de Riesgos (Risk Analysis), este tipo de técnicas cuantifica el riesgo en base a la probabilidad de ocurrencia y de las consecuencias que pueda acarrear a las personas y a sus bienes.

### **2.3 ANÁLISIS DE RIESGOS.<sup>(1,2,8)</sup>**

Un análisis de riesgos es un conjunto de técnicas que permiten identificar, analizar y evaluar de una forma sistemática la probabilidad de ocurrencia de riesgos que puedan provocar en un determinado momento algún accidente. Del análisis de riesgos obtenemos una cifra que se compara con otras ya determinadas y de esta manera se obtiene la magnitud del riesgo. Esta cifra se puede manipular añadiendo medidas de salvaguarda, que permiten que el nivel del riesgo disminuya hasta un nivel aceptable.

### **2.4 ETAPAS DE UN ANÁLISIS DE RIESGOS.<sup>(1,2,8)</sup>**

Una técnica de análisis de riesgos enfocada a prevenir accidentes sigue las siguientes etapas:



1. Conocer de manera detallada el proceso a estudiar, así como los materiales que emplea y el entorno en el cual se lleva a cabo el proceso, con el objetivo de identificar los riesgos que podrían llevar a un accidente.
2. Una vez identificados los riesgos se deben de analizar los mecanismos mediante los cuales se dan estos accidentes.
3. Evaluar la magnitud del evento y tratar de cuantificar sus posibles consecuencias. Si se cuenta con la información necesaria se debe de estimar la probabilidad de ocurrencia del evento no deseado.
4. Por último se deben de determinar las medidas enfocadas a prevenir, eliminar o minimizar el riesgo. Las etapas antes mencionadas se muestran en la figura 2.2

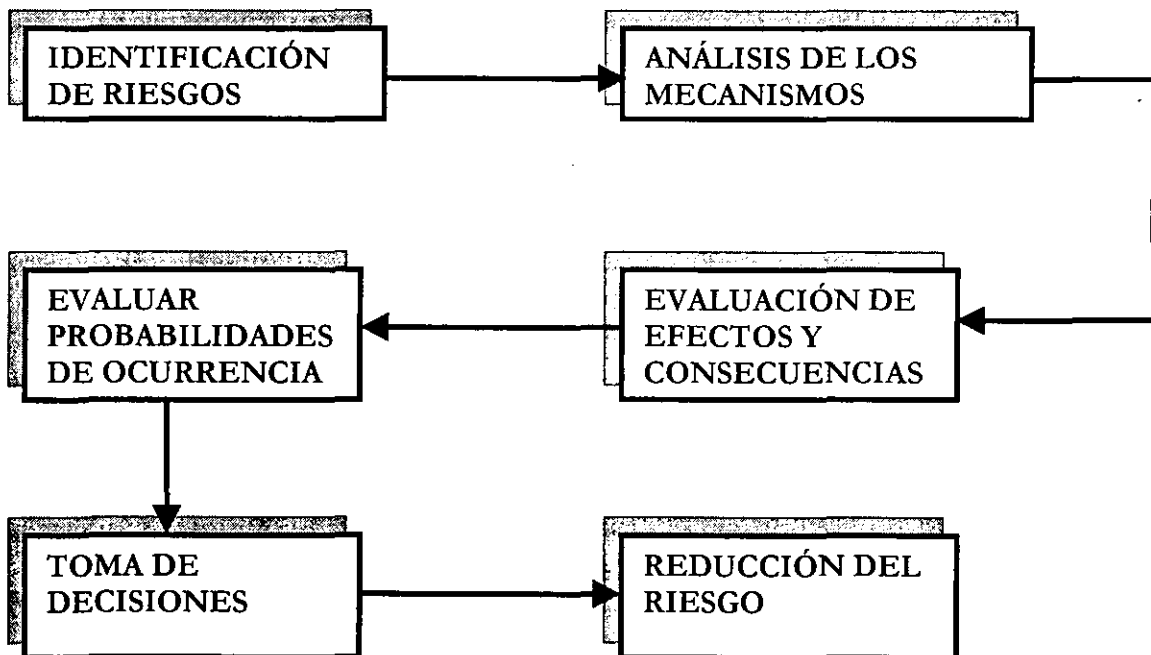


Figura 2.2 Etapas de un Análisis de Riesgos.<sup>(1,2,8)</sup>



En la primer etapa se deben de identificar solo aquellos riesgos que son probables de presentarse, es decir, se toman en cuenta los riesgos que sean más factibles a provocar un evento no deseado. Se debe de tener mucho cuidado en esta parte del análisis ya que no se debe de cometer el error de no tomar en cuenta algún riesgo que sea potencial, ya que un riesgo que no cae en el análisis es un riesgo doblemente potencial.

Para la segunda etapa se busca identificar las rutas que nos llevan al evento no deseado (accidente). En la siguiente etapa se evalúa y cuantifica el impacto que tendría en el personal, instalaciones, publico en general y medio ambiente un accidente. Para realizar esta parte del análisis se utilizan modelos que permiten evaluar los efectos previstos. Es en esta misma etapa donde se busca estimar la probabilidad de ocurrencia de un accidente usando métodos estructurados para este fin como el Análisis de Árbol de Fallas (FTA), este tipo de métodos permite cuantificar la probabilidad de que se presente algún accidente durante la vida útil de la planta.

Por último, se deben de obtener del análisis de riesgos una serie de medidas con el objetivo de que al ser implementadas permitirán reducir o en su caso mantener el nivel de riesgo en un nivel aceptable.

## **2.5 UTILIDAD DEL ANÁLISIS DE RIESGOS.**<sup>(1,7,8,10)</sup>

Antes de pasar a las técnicas de análisis de riesgos cabe mencionar lo siguiente respecto a la utilidad del análisis de riesgos. Como se menciono anteriormente, el análisis de riesgos además de identificar los riesgos, nos permite evaluar las consecuencias y estimar la probabilidad de que tenga lugar, pero sobre todo nos



permite elaborar medidas preventivas para minimizar los riesgos y tomar la decisión de aceptar o no un riesgo en las condiciones en que se da el estudio. Si se acepta se busca mantenerlo en el nivel actual y por el contrario si se rechaza se debe de reducir su nivel mediante las medidas pertinentes. Como podemos ver un análisis de riesgos tiene múltiples usos, algunos de estos se muestran en la figura 2.3

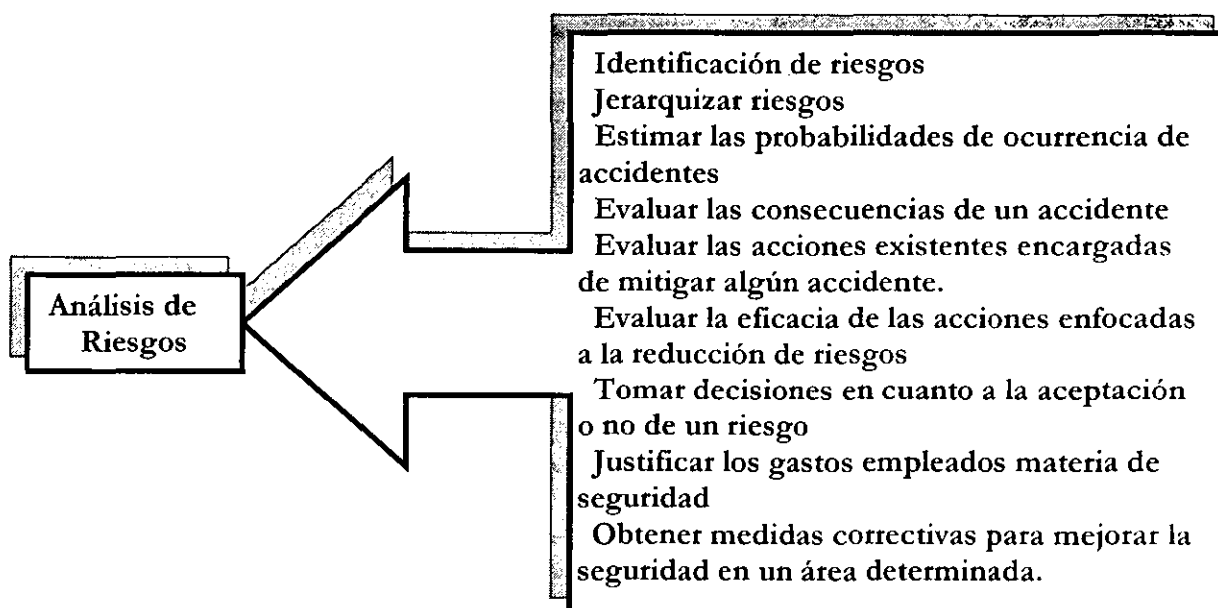


Figura 2.3 Usos del Análisis de Riesgos. <sup>(1,7,8,10)</sup>

## 2.6 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS. <sup>(1,2,7,8)</sup>

En nuestros días las Técnicas de Análisis de Riesgos existentes son muy variadas y con múltiples aplicaciones. Existen algunas que son del ámbito cualitativo y otras cuyo objetivo es cuantificar los riesgos existentes. Su aplicación va a depender del caso en estudio, es decir, nos inclinamos por el uso de una u otra técnica dependiendo del grado de profundidad que se le quiera dar a cada



caso. En la tabla 2.1 se muestran algunas de estas técnicas o métodos de Análisis de Riesgos más comunes.

<b>MÉTODOS COMPARATIVOS:</b>	Códigos, Estándares y Normas
	Lista de verificación "Checklist"
	Análisis histórico de accidentes
	Revisiones de seguridad
	Auditorias de seguridad
<b>INDICES DE RIESGOS:</b>	Índice Dow
	Índice Mond
<b>MÉTODOS GENERALIZADOS:</b>	Análisis de Peligros y Operabilidad "Hazop"
	Análisis de Formas de Fallas y Efectos
	Análisis de Árbol de Fallas
	Análisis de Árbol de Eventos
	Análisis "What-IP"
	Análisis de Error Humano
	Análisis de Causa-Efecto

Tabla 2.1 Métodos de Análisis de Riesgos.<sup>(1,7)</sup>

### 2.6.1 MÉTODOS COMPARATIVOS.<sup>(1,2,5,7)</sup>

Como su nombre lo indica estas técnicas se basan en la comparación de las condiciones del caso en estudio con códigos, normas o listas de comprobación. Estos documentos se elaboraron a partir de la experiencia adquirida a lo largo de la práctica de operaciones previas.

#### CODIGOS Y NORMAS.

Estas técnicas se basan en la comparación de las condiciones de la planta con manuales técnicos internos que nos indican la manera de cómo diseñar, distribuir,





operar, dar mantenimiento, etc, a una planta de proceso. Dichos manuales deben de regirse por los estándares de códigos y normas internacionales (ASME, ASTM, API, etc), además, para este caso de estudio de la normas de PEMEX y Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Cabe mencionar que esta técnica no solo funciona comparando y siguiendo las indicaciones de los manuales internos, sino que se debe de tener una cierta experiencia para tomar las decisiones adecuadas.

### **LISTAS DE COMPROBACIÓN.**

Al igual que los códigos y normas, una lista de comprobación surge de la experiencia acumulada de múltiples operaciones. Una lista de comprobación nos permite comparar el estado de un sistema en estudio con un patrón externo, identificando de esta manera las áreas del sistema en las cuales se debe de poner un mayor énfasis en la seguridad. Estas listas se pueden aplicar de una manera general hasta una forma detallada.

### **ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES.**

Como su nombre lo indica esta técnica utiliza un banco de registro de accidentes industriales. Dicho banco de datos se usa para identificar posibles riesgos existentes en una planta de proceso similar a la que ya ha sufrido un accidente. Otro uso que se le da es el de comprobar la exactitud de los modelos empleados para la evaluación de efectos y consecuencias.



## AUDITORIAS DE SEGURIDAD.

Una auditoria de seguridad consiste en una evaluación completa del programa de seguridad de una planta de proceso. Durante la aplicación de una auditoria de seguridad el objetivo principal a cumplir es el de identificar las condiciones y procedimientos que podrían provocar algún acto inseguro, además de comprobar que se esta cumpliendo con los objetivos de seguridad planteados por la administración.

### 2.6.2. ÍNDICES DE RIESGOS.<sup>(1,2,5,7)</sup>

Los índices de riesgos se utilizan para calificar a una instalación de proceso. Dicha calificación se obtiene asignando puntos buenos en base a las medidas de seguridad con que se cuenta en la instalación para evitar o minimizar un accidente. De igual modo se acreditan puntos malos (penalizaciones), tomando en consideración las condiciones que se presenten en la instalación, es decir, tomando en cuenta las condiciones de proceso, materiales utilizados en el mismo, etc. Al combinarse los puntos malos con los buenos se obtiene la calificación final que proporciona el índice de riesgo.

Los índices de riesgos más utilizados son el Índice Dow y el Índice Mond, ambos consideran la inflamabilidad y reactividad de los materiales en la asignación de los puntos buenos como de las penalizaciones. Sin embargo, el Índice Mond toma en consideración también la toxicidad del material.



### 2.6.3 MÉTODOS GENERALIZADOS.<sup>(1,2,5,7)</sup>

Los métodos generalizados a diferencia de los antes mencionados son más estructurados y con un esquema de razonamiento más sistemático. Entre los métodos generalizados más usados están el Análisis “What-If” y el Análisis de Formas de Fallas y Efectos. Cabe mencionar que el Análisis de Peligros y Operabilidad “HAZOP” y el Análisis de Árbol de Fallas se clasifican como métodos generalizados, pero se desarrollan en la siguiente sección.

#### ANÁLISIS “WHAT-IF”

El Análisis “What-If” (¿ Qué pasa si ?) como su nombre lo indica se basa en la aplicación de la pregunta ¿Qué pasa si? a condiciones de operación de una planta de proceso. Este tipo de análisis es muy flexible, ya que se puede aplicar desde un área de proceso grande hasta un solo equipo en particular, teniendo la misma confiabilidad en ambos casos.

Al plantearse una serie de preguntas de este tipo y posteriormente contestarlas, se logra obtener una serie de posibles causas de sucesos no deseados, además de una serie de acciones encaminadas a evitar que se den los accidentes o en su caso mitigar los efectos que provocarían si estos se llegaran a presentar.

#### ANÁLISIS DE FORMAS DE FALLAS Y EFECTOS.

El Análisis de Formas de Fallas y Efectos (Failure Modes and Effects Analysis, FMEA), consiste en hacer una tabulación detallada que incluya el equipo en



estudio (identificado por un número ), la descripción del equipo, así como de las condiciones de operación. Este análisis también debe de incluir las posibles causas que puedan provocar que el equipo tenga una falla, de igual modo se deben de tabular los efectos (inmediatos y retardados) que se presentarían si el equipo llegara a fallar. Por último se tabula el índice de gravedad. Dicho índice maneja la siguiente escala dependiendo de las repercusiones que tenga la falla del equipo: 1 sin efectos adversos, 2 riesgos bajos sin requerir el paro de la planta, 3 riesgos importantes sin requerir el paro de la planta y 4 peligro inmediato para el personal e instalaciones provocando un paro de emergencia de la planta.

Este análisis de puede aplicar en cualquier etapa de una planta de proceso, pero especialmente se usa durante la operación de la misma para identificar todas las posibles causas que lleven a la falla de algún equipo.

En la figura 2.4 se muestra un formato típico utilizado en un Análisis de Formas de Fallas y Efectos.

Fecha: _____		Pag. _____ de _____			
Planta: _____		Referencia: _____			
Sistema: _____					
Equipo	Identificación	Descripción	Forma de Falla	Efectos	Índice de Gravedad

FIG. 2.4 Formato para un estudio FMEA.<sup>(7)</sup>



## 2.7 TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO.

### 2.7.1. ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP).<sup>(1,5,7)</sup>

Esta técnica surge en los años 60's en la Mond Division del Imperial Chemical Industries (ICI), dicha técnica se enfoca a solucionar problemas de seguridad en plantas de proceso. El análisis HAZOP se da por la necesidad de mejorar la seguridad en las plantas de proceso, ya que al identificar los peligros potenciales se convierte en una herramienta de gran utilidad.

Principalmente el análisis HAZOP tiene dos objetivos que son: Identificar los peligros potenciales que podrían provocar algún accidente e identificar los problemas de operación que provoquen que no se obtenga la producción deseada.

Este tipo de análisis posee dos características esenciales que son:

1. Es un análisis sistemático ya que se lleva a cabo basándose en la aplicación de palabras guía (ver tabla 2.2), a los parámetros más importantes del sistema en estudio y de esta manera obtener las desviaciones sobre las condiciones de diseño.
2. Tiene un carácter multidisciplinario debido a que el grupo que realiza el análisis esta integrado por personal de diferentes especialidades.



PALABRA GUIA	SIGNIFICADO
NO	No se consiguen las intenciones previstas en el diseño. Ejemplo: No existe flujo en la línea.
MAS	Aumento cualitativo sobre la variable de diseño. Ejemplo: Más temperatura, mas presión, etc.
MENOS	Disminución cualitativa sobre la variable de diseño. Ejemplo: Menos temperatura, menos presión, etc.
PARTE DE	Disminución cualitativa. Solo parte de la intención se logra. Ejemplo: Se cierra una válvula de bloqueo cuando el procedimiento dice cerrar las dos válvulas de bloqueo.
ADEMÁS DE/ TAMBIEN COMO	Aumento cualitativo. Se consiguen las intenciones de diseño y ocurre algo más. Ejemplo: El vapor consigue calentar el reactor pero además provoca un aumento en la temperatura en otros elementos.
INVERSO	Se obtiene el efecto contrario al deseado. Ejemplo: El flujo transcurre en sentido contrario, se da reacción inversa, etc.
EN VEZ DE/ OTRO QUE	No se obtiene el efecto deseado, en su lugar ocurre algo totalmente diferente. Ejemplo: Cambio del catalizador, fallo en el modo de operación, etc.

Tabla 2.2. Significado de las Palabras Guía.<sup>(5)</sup>

## ETAPAS DEL ANÁLISIS HAZOP.

La aplicación del HAZOP se puede realizar en cualquier etapa de una planta, tanto en el diseño, construcción, arranque, operación o desmantelamiento. La metodología para aplicar un análisis de riesgos y operabilidad es la siguiente:

1. Formación del equipo multidisciplinario, generalmente con un ingeniero de proyectos, un ingeniero de proceso, un ingeniero de seguridad, un ingeniero eléctrico y un instrumentista, así como un especialista encargado de dirigir el análisis.



2. Recabar toda la información necesaria para el análisis como son: Diagramas de Flujo de Proceso (DFP'S), Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI'S), procedimientos de operación, registros históricos de accidentes/incidentes, etc.

3. Selección de los nodos, es decir, decidir los puntos específicos o lugares en donde se van a estudiar las desviaciones.

4. Revisar las intenciones de diseño de los nodos con ayuda del equipo multidisciplinario.

5. Aplicar las palabras guía a los parámetros más importantes del proceso y obtener de este modo las desviaciones.

6. Listar todas las causas (internas y externas) que puedan provocar las desviaciones.

7. Encontrar las consecuencias sin protecciones y listar todas las protecciones existentes tanto para las causas como para las consecuencias.

8. Determinar el índice de riesgo con y sin protecciones.

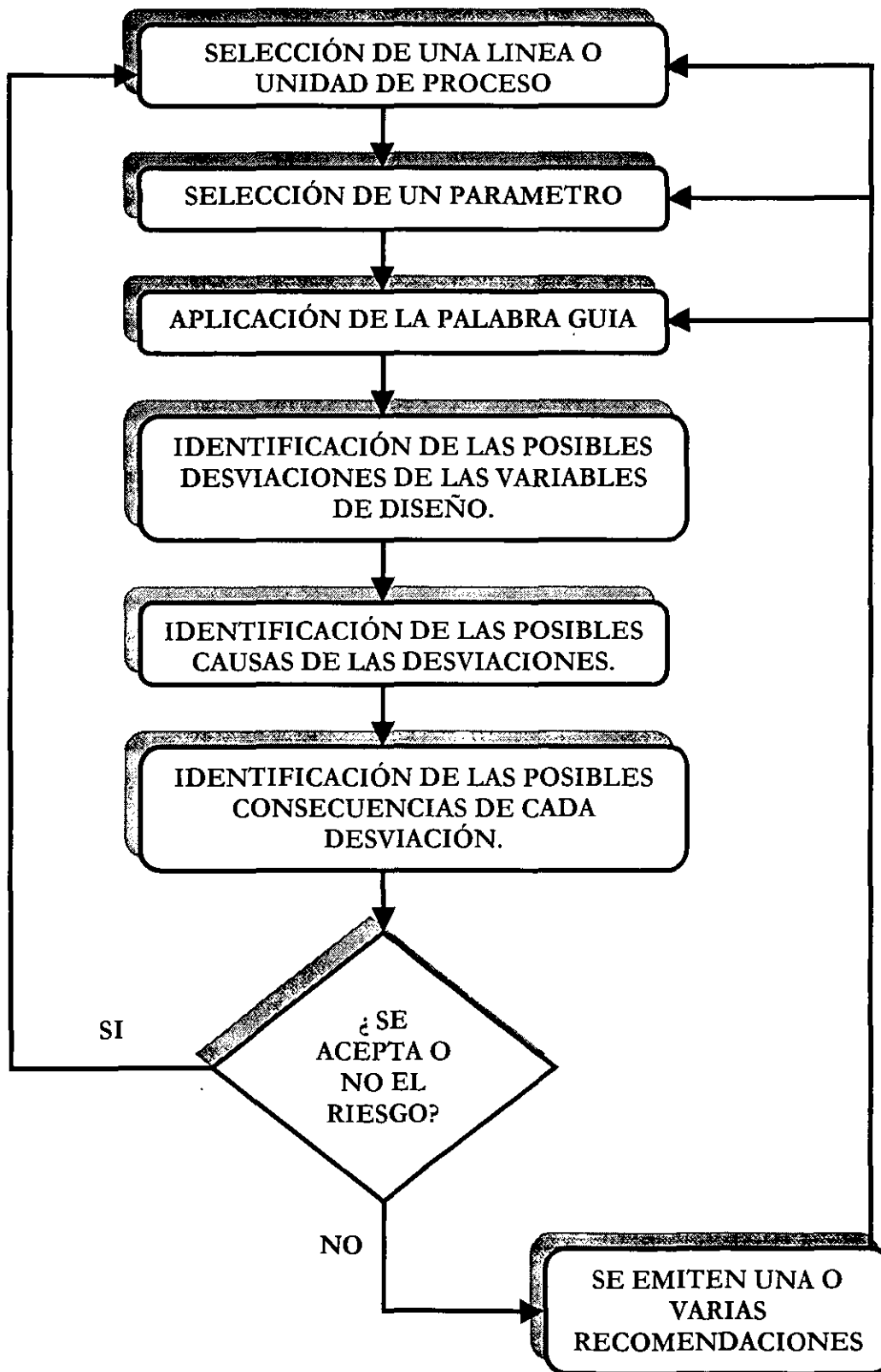
9. Enlistar las recomendaciones para reducir la probabilidad de las causas o en su caso para mitigar las consecuencias y llevar a cabo las acciones necesarias para implementarlas.

10. Dar seguimiento a las recomendaciones implementadas para controlar el riesgo en un nivel aceptable.

La metodología del análisis HAZOP se muestra en la figura 2.5.



FIG. 2.5 .Sistemática para el análisis HAZOP.<sup>(5)</sup>







### 2.7.2. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.<sup>(4,5,7)</sup>

El análisis de Árbol de Fallas ( Fault Tree Analysis, FTA), se desarrolló también en los años 60's por parte de los Bell Laboratories. Es una técnica deductiva que cuantifica la probabilidad de ocurrencia de un accidente y construye un diagrama lógico de todas las posibles causas que puedan llevar a la realización del accidente.

El análisis de árbol de fallas utiliza una serie de símbolos específicos (ver tabla 2.3), así como dos tipos de puertas de entrada y salida. La puerta "O" indica que para determinar la probabilidad del evento culminante se tienen que sumar las probabilidades de todas las fallas que llevan a dicho evento (accidente). Por otra parte la puerta "Y" nos dice que se tienen que multiplicar las probabilidades de las fallas para calcular la probabilidad de ocurrencia del accidente. Las probabilidades de fallas o errores se toman de la literatura<sup>(5)</sup>, en el apéndice A se enlistan algunas probabilidades de fallas y errores para equipos y personal.

Los pasos a seguir en un análisis de árbol de fallas son los siguientes:

1. Definir el evento culminante y colocarlo en la parte superior del árbol.
2. Procesar el nivel inmediato inferior identificando las posibles fallas que llevan al evento culminante.
3. Se continua estructurando el árbol hacia abajo hasta llegar a los eventos básicos.
4. Calcular la probabilidad del evento culminante de acuerdo al tipo de puerta, a partir del nivel más bajo.




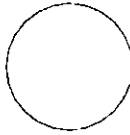
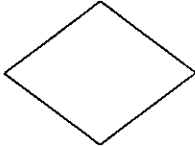



SÍMBOLOS	SIGNIFICADO
	Sucesos Intermedios: Resultan de la interacción de otros sucesos, que a su vez se desarrollan mediante puertas lógicas.
	Sucesos Básicos: Constituyen la base de la "raíz" del árbol. No necesitan desarrollo posterior en otros sucesos.
	Sucesos no desarrollados: No son sucesos básicos pero podrían desarrollarse más aunque no se considera necesario.
	Puerta "Y": Representa la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los sucesos de entrada para producir el suceso de salida.
	Puerta "O": Representa la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más de los sucesos de entrada para producir el suceso de salida.
	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.

Tabla 2.3. Símbolos utilizados en un Árbol de Fallas.<sup>(5)</sup>



### 2.7.3. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS Y EFECTOS.<sup>(1,2,5,7)</sup>

Mediante el análisis de consecuencias se pueden estimar de manera cuantitativa los daños que provocaría un accidente tanto a personas como a sus bienes. Esta estimación se realiza utilizando un serie de modelos matemáticos que han sido desarrollados para simplificar los mecanismos por los cuales se da un accidente. Entre los programas más importantes se encuentran el SIRIA, SCRI Y ARCHIE. Estos modelos requieren de la disponibilidad de la siguiente información:

1. Propiedades físicas y químicas de las sustancias.
2. Propiedades del contenedor de almacenamiento.
3. Características del lugar de estudio, por ejemplo, las condiciones climáticas.

### LÍMITES DE INFLAMABILIDAD.

Los límites de inflamabilidad (superior e inferior), nos dan el intervalo de concentraciones dentro del cual una mezcla de gases puede entrar en ignición y arder. Por debajo del Límite Inferior de Inflamabilidad (L.I.I), no existe la cantidad suficiente de combustible para que se de la combustión y por arriba del Limite Superior de Inflamabilidad (L.S.I.), no se tiene la cantidad suficiente de oxígeno para llevar a cabo la combustión.

Para que se de un incendio y explosión es necesario la presencia de una fuente de ignición. Dichas fuentes de ignición se presentan de una gran variedad de formas, en la tabla 2.4 se muestran varios tipos de fuentes de ignición, así como el porcentaje del total de accidentes que han provocado.



FUENTES DE IGNICIÓN	% DEL NUMERO DE CASOS.
Superficies Calientes	10.1
Llamas de quemadores	10.1
Equipo eléctrico.	7.6
Ignición espontánea.	7.6
Chispas debidas a fricción..	7.6
Llamas de oxicorte.	5.1
Niños con fósforos.	3.8
Ignición intencionada	2.5
Electricidad estática.	1.3
Causa de ignición desconocida.	44.3

Tabla 2.4. Tipos de Fuentes de Ignición.<sup>(1)</sup>

## MODELO DE EXPLOSIÓN DE RECIPIENTES POR SOBREPRESIÓN.

Para que se presente una explosión por sobrepresión, la presión interna del recipiente debe de vencer la resistencia mecánica del contenedor. En la actualidad se cuentan con varios modelos para estimar los efectos provocados por la explosión de un recipiente debido a la sobrepresión. Entre los más usados se encuentra el Método del Equivalente en TNT (trinitrotolueno).

El Método del Equivalente en TNT sigue más o menos la siguiente secuencia: Primero supone una expansión isotérmica del gas almacenado, de tal modo que la energía de la explosión se expresa con la ecuación:

$$W = 0.0129P_1V_1 \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

donde: W = masa equivalente en TNT, (gr).

$P_1, P_2$  = presión inicial y final respectivamente, (atm).

$V_1$  = volumen, (lt).



El siguiente paso es calcular la presión en la superficie del recipiente ( $P_s$ ) mediante la siguiente ecuación:

$$P_B = P_s \left[ 1 - \frac{3.5(\gamma - 1)(P_s - 1)}{\left[ \left( \frac{\gamma T}{M} \right) (1 + 5.9 P_s) \right]} \right]^{-2\gamma / (\gamma - 1)}$$

donde:  $P_B$  = presión a la que se produce el estallido, (bar).

$P_s$  = presión en la superficie del recipiente, (bar).

$\gamma$  = relación de capacidades caloríficas.

$T$  = temperatura absoluta, (°K).

$M$  = peso molecular del gas.

La presión en la superficie del recipiente nos sirve para calcular una distancia virtual a partir del centro de la explosión, en la cual se toma en cuenta el efecto que tiene el recipiente sobre la explosión

El siguiente paso es calcular una distancia reducida ( $Z$ ) usando el valor de  $P_s$  y por último se calcula la distancia real ( $R$ ), empleando la ecuación:

$$R = z(W_{TNT})^{1/3}$$

donde:  $z$  = distancia reducida, (m Kg<sup>-1/3</sup>).

$R$  = distancia real, (m).

$W_{TNT}$  = masa de TNT utilizada, (Kg).

La pared del recipiente puede reducir los efectos de la explosión. Sin embargo, las partes del recipiente en la mayoría de los casos se convierten en proyectiles que alcanzan gran velocidad y distancias lejanas provocando que el rango de afectación se incremente, además de que estos proyectiles pueden desencadenar una serie de accidentes debido al “efecto domino”.



## MODELO DE EXPLOSIÓN DE UNA NUBE DE GAS NO CONFINADA.

En la industria química las consecuencias más catastróficas han sido provocadas por las explosiones de nube de vapor no confinadas. Hasta nuestros días aun no se conoce con exactitud el mecanismo por el cual se dan este tipo de explosiones, ya que se puede dar una deflagración o una explosión dependiendo de la velocidad de las ondas de presión que se producen. En el apéndice B se muestran los daños más comunes provocados por ondas de sobrepresión.

De acuerdo a datos de registros de accidentes, las sustancias que tienen entre 2 y 6 átomos de carbono en especial aquellos hidrocarburos con 3 o 4 átomos de carbono, han sido los responsables de casi todos los casos de explosiones de nube de gas no confinada.

El modelo más usado para estimar los efectos de una explosión de este tipo, es el Modelo del Equivalente de TNT (trinitrotolueno). El modelo asume las siguientes suposiciones.

1. La fuga de la nube es instantánea y la nube se forma inmediatamente.
2. La forma de la nube es cilíndrica y la altura corresponde a su eje vertical.
3. La concentración de la nube es uniforme.
4. La temperatura de la nube es constante e igual a 70 °F (21 °C).
5. El calor de combustión usado como referencia es el del trinitrotolueno (2000 BTU/lb).



Lo primero que se hace en este modelo es ajustar la masa de la nube a su equivalente en TNT, para lo cual se usa la ecuación siguiente:

$$m_{TNT} = \left[ mc \frac{\Delta H_c}{1155} Y_f \right]$$

donde:  $m_{TNT}$  = masa equivalente de TNT (lbs).

$mc$  = masa total de material inflamable en la nube (lbs).

$\Delta H_c$  = calor de combustión inferior del material (kcal/Kg).

$Y_f$  = factor de explosividad.

El siguiente paso consiste en calcular la distancia a una sobrepresión dada usando el valor obtenido para  $m_{TNT}$  y la siguiente ecuación de regresión:

$$X = m_{TNT}^{1/3} \exp^{(3.5031 - 0.724 \ln(Op) + 0.0398 (\ln(Op))^2)}$$

donde:  $X$  = distancia a una sobrepresión dada (Ft).

$Op$  = sobrepresión a la cual se va a calcular la distancia (psi).

A pesar de ser uno de los más usados, este modelo tiene una limitación que nos puede llevar a sobreestimaciones de los efectos, ya que considera que toda la masa liberada participa en la explosión, cuando en realidad en una nube solo una fracción participa en el efecto explosivo. Esta fracción está determinada por un factor de explosividad que es característico de cada sustancia. En el apéndice C se muestran algunos valores del factor de explosividad para varias sustancias.



## MODELO DE BLEVES Y ESFERAS DE FUEGO.

Un BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) se produce cuando un líquido cuya temperatura de ebullición es menor que la temperatura del medio ambiente se encuentra almacenado bajo presión y al producirse una fuga en el contenedor el líquido pasa inmediatamente al estado gaseoso, formándose una masa de gas inflamable que al encontrar una fuente de ignición produce la esfera de fuego. Dicha esfera de fuego trae consigo efectos desastrosos producidos por la radiación térmica. La radiación térmica asociada a una esfera de fuego se encuentra generalmente en el orden de 200 a 350 KW/m<sup>2</sup>. Si tomamos en cuenta que una radiación de 128 KW/m<sup>2</sup> y un tiempo de exposición de 10.1 segundos provocan prácticamente el 100% de mortalidad de las personas expuestas, entonces, no es de extrañarse que este tipo de accidentes provoquen un gran número de muertes cada vez que se presentan .

En la actualidad se cuentan con ecuaciones empíricas que calculan los efectos de una esfera de fuego, entre éstas se tienen las siguientes:

$$\text{Diámetro máximo de la esfera de fuego(m): } D_{\text{máx}} = 6.48M^{0.325}$$

$$\text{Duración de la esfera de fuego(s): } t = 0.825M^{0.026}$$

$$\text{Altura del centro de la esfera de fuego(m): } H = 0.75D_{\text{máx}}$$

$$\text{Diámetro inicial de la semiesfera a nivel del suelo(m): } D_{\text{inic}} = 1.3D_{\text{máx}}$$

donde: M es la masa inicial del líquido inflamable en Kg.

Del mismo modo que existen ecuaciones para determinar las dimensiones aproximadas de la esfera de fuego, también tenemos ecuaciones que determinan las zonas de afectación(XI) y la de seguridad (Xf).





$$X_f = 1.48W^{0.056} \quad \text{para} \quad W \geq 2000 \text{ lbs.}$$

$$X_f = 8.0W^{0.052} \quad \text{para} \quad W \leq 2000 \text{ lbs.}$$

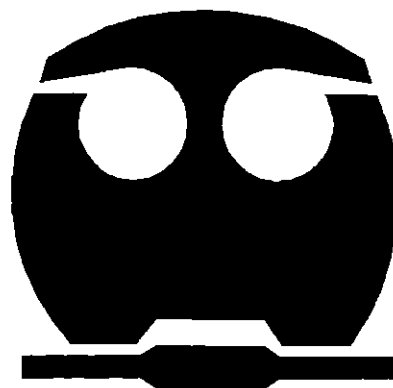
$$X_I = 4.53W^{0.052}$$

Donde:  $X_I$  y  $X_f$  esta expresada en ft.



## CAPITULO III.

# TRABAJO DE CAMPO.





### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS LP.

En el patio oriente de almacenamiento de gas licuado de la refinería Francisco I. Madero, se almacenan las siguientes mezclas de gas: propano, propano-propileno, butano, butano-butileno, isobutano y gas LP. Para el manejo de dichas mezclas se cuenta con el siguiente equipo que se enlista a continuación, acompañado de sus principales características:

\* 20 Tanques Horizontales “Salchichas”:

TANQUE	PRODUCTO ALMACENADO	CAPACIDAD (BLS)	PRESIÓN DE DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIAMETRO (m)	LONGITUD (m)
MJA-T-33/37	Propano-propileno	700	17.5	2.74	18.3
MJA-T-38/42	Fuera de operación	700	17.5	2.74	18.3
MJA-T-94/98	Propano	700	17.5	2.74	18.3
MJA-T-204/208	Propano-propileno.	700	17.5	2.74	18.3

Tabla 3.1 Descripción de Tanques Horizontales.



\* 12 Tanques Esféricos “Esferas”.

TANQUE	PRODUCTO ALMACENADO	CAPACIDAD (BLS)	PRESIÓN DE DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIAMETRO (m)
MJA-T-43	Butano-butileno	10,000	15	14.6
MAJ-T-44	Fuera de operación	10,000	15	14.6
MJA-T-58	Butano-butileno	10,000	15	14.6
MAJ-T-66	Isobutano	5,000	6	11.6
MAJ-T-93	Isobutano	10,000	15	14.6
MJA-T-201	Butano	5,000	6	11.6
MJA-T-202	Fuera de operación	5,000	6	11.6
MJA-T-203	Butano	5,000	6	11.6
MJA-T-226	Gas LP	15,000	16.2	16.4
MJA-T-228	Gas LP	15,000	16.2	16.4
MJA-T-233	Gas LP	15,000	16.2	16.4
MJA-T-234	Butano-butileno	15,000	16.2	16.4

Tabla 3.2 Descripción de Tanques Esféricos.



Cabe mencionar que aunque en el patio oriente se cuenta con un mayor número de tanques esféricos, solo se mencionan en este trabajo aquellos que almacenan gas licuado.

**\* TRES CASAS DE BOMBAS.**

CASA DE BOMBAS.	BOMBA.
1	MJA-P-9
	MJA-P-9A
	MJA-P-10A
	MJA-P-10B
	MJA-P-17A
	MJA-P-17B
2	MJA-P-104A
	MJA-P-104B
3	MJA-P-201A
	MJA-P-201B
	MJA-P-202A
	MJA-P-202B
	MJA-P-203A
	MJA-P-203B
	MJA-P-204A
	MJA-P-204B
	MJA-P-205A (fuera de operación)
	MJA-P-205B (fuera de operación)

**Tabla 3.3 Descripción de Casa de Bombas.**



También se cuenta con las bombas MJA-P-200 A/B que no se encuentran en ninguna de las casas antes mencionadas, si no que se localizan afuera del dique de contención de los tanques esféricos MJA-T-226 Y MJA-T-228.

Las corrientes que se almacenan en los tanques esféricos MJA-T-226, MJA-T-228 Y MJA-T-233 provienen de distintas plantas. La preparación del contenido (gas LP), se realiza por la mezcla de dichas corrientes. Una vez que se elabora, se realizan pruebas por parte del laboratorio de la refinería con el fin de verificar que cumplan con las normas, cuando se acepta se envía a las llenaderas para su venta.

La mezcla de propano-propileno que llega de la Planta Desintegradora Catalítica “ME” se almacena en los tanques horizontales MJA-T-33/38 y MJA-T-204/208. Esta mezcla es enviada mediante las bombas MJA-P-201 A/B a la compañía INDELPRO (que se localiza fuera de la refinería). En dicha empresa separan el propano del propileno, este último se usa en el proceso de la propia empresa mientras que el propano se regresa a la refinería y se almacena en los tanques MJA-T-94/98 y luego se envía a las llenaderas para su venta.

La mezcla butano-butileno proveniente de la Planta Catalítica se envía para su almacenamiento a los tanques esféricos MJA-T-43, MJA-T-44, MJA-T-58 y MJA-T-234, posteriormente se bombea a la Planta de Alquilación “MR” mediante las bombas MJA-P-104 A/B.

El butano proveniente de la Planta Fraccionadora de Gases “CH” y de la Reformadora se almacena en los tanques esféricos MJA-T-201 y MJA-T-203 para

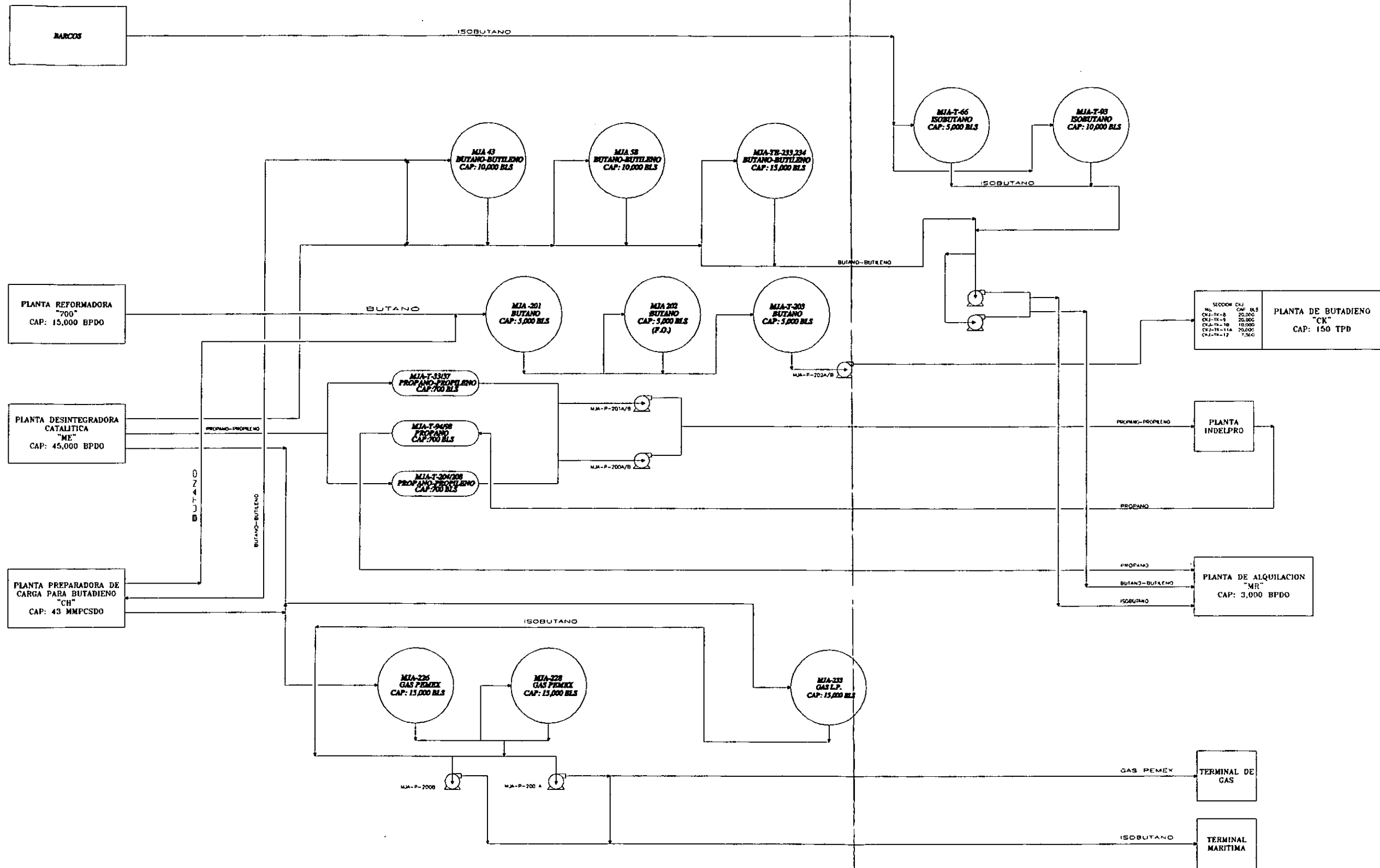


posteriormente enviarlo a la Planta de Butadieno usando las bombas MJA-P-202 A/B.

Por último además de los productos antes mencionados se recibe isobutano de barcos, el cual se almacena en las esferas MJA-T-66 y MJA-T-93 para su posterior envío a la Planta de Alquilación o a la Terminal de Gas mediante las bombas MJA-P-104 A/B. Para una mejor comprensión del proceso, se muestra un esquema de flujo de las corrientes del área en el diagrama 3.1 y en la tabla 3.4 se resumen las operaciones que se realizan.

PRODUCTO	SE RECIBE DE	ALMACENAMIENTO	DESTINO	BOMBAS
Propano-propileno	ME	MJA-T-33/38 y MAJ-T-204/208	Indelpro	MJA-P-201 A/B
Propano	Indelpro	MJA-T-94/98	MR	*****
Butano-butileno	ME	MJA-T-43, MJA-T-44, MJA-T-58 y MJA-T-234	MR	MJA-P-104 A/B
Butano	Reformadora CH;	MJA-T-201 MJA-T-202 y MJA-T-203	Planta de Butadieno	MJA-P-202 A/B.
Isobutano	Barcos	MJA-T-66 y MJA-T-93.	MR o Terminal de Gas.	MJA-P-104 A/B.
Gas Pemex	CH, ME, MR	MJA-T-226 MJA-T-228 MJA-T-233	Ventas	MJA-P-200 A/B.

**Tabla 3.4 Síntesis de las Operaciones del Patio Oriente.**







Por otra parte se tienen dos cabezales de desfogue como medida de seguridad, uno de alta presión y otro de baja presión. El cabezal de alta presión recibe el desfogue de los siguientes tanques: tanques horizontales MJA-T-33/38, MJA-T-94/98 y MAJ-T-204/208, tanques esféricos MJA-T-226, MJA-T-228, MJA-T-233 y MAJ-T-234, así como las purgas de todas las bombas de la Casa de Bombas 1 y de las bombas MJA-P-200 A/B. Esta línea de desfogue va a los quemadores MJF-FS-1 y MJF-FS-2. El cabezal de baja presión recibe de los tanques esféricos MJA-T-43, MAJ-T-58, MJA-T-201, y MJA-T-203 así como de las purgas de las bombas de Casa de Bombas 3. Los desfogues van a un sistema cerrado y termina en los Quemadores de Campo y Multiyets.

Los cabezales de desfogue funcionan cuando la presión interna de los tanques sobrepasa a la presión de calibración de las válvulas de relevo (psv's), abriéndose estas últimas, liberando parte del producto almacenado hasta que la presión baje, esto con el fin de evitar una explosión por sobrepresión de algún tanque.

Una protección especial con la que se cuenta es un Sistema Hidráulico, el cual puede cerrar las válvulas Vickers ubicadas en la parte inferior de los tanques de almacenamiento en caso de presentarse alguna emergencia. Dicho sistema funciona de la siguiente manera: el fluido hidráulico (aceite) es inyectado a presión en las válvulas Vickers por una red hidráulica mediante un sistema de potencia (el cual cuenta con dos bombas y un tanque de almacenamiento de aceite localizados en la Casa de Bombas 1), esto mantiene abiertas la válvulas. Al presentarse alguna interrupción del sistema debido a fallas en las bombas inyectoras del aceite o a que se fundieran las fusibles de las válvulas Vickers o a



alguna fuga en la red de aceite, el sistema inmediatamente cerraría todas la válvulas de todos los tanques de almacenamiento aislándolos completamente.

Otra medida de seguridad con que se cuenta son los detectores de mezclas explosivas. Al momento de presentarse una fuga en algún tanque los detectores permitirían ubicar la fuga. Cada tanque esférico cuenta con dos detectores, uno ubicado en la parte inferior y otro en la parte superior, del mismo modo los tanques horizontales en su mayoría cuentan con estos detectores. Además, en las casas de bombas se tienen distribuidos estratégicamente varios detectores del mismo tipo. Cabe mencionar que estos detectores interactúan con la Central de Contra Incendio de la Refinería, es decir, al sonar la alarma de los detectores se despacha inmediatamente personal especializado y con equipo adecuado para controlar cualquier imprevisto.

Por último se cuenta con el sistema contra incendio, el cual se encuentra ubicado a todo lo largo y ancho del área de almacenamiento. Dicho sistema tiene monitores con hidrantes. Por otra parte en cada tanque esférico se tienen tres anillos con aspersores, uno en la parte inferior, otro en medio y uno más en la parte más alta del tanque. En los mismos tanques se cuenta con una línea de 3" conectada a la línea de recibo-entrega con el fin de que si llegara a fallar el sistema hidráulico de las válvulas Vickers, mediante esta línea se inyectaría agua al tanque para desplazar el gas y evitar de esta manera su salida.

En este trabajo, además de identificar los riesgos existentes, se buscó el cuantificar la probabilidad de que se pueda presentar un accidente y en caso de que se diera un accidente se buscó evaluar los efectos que provocaría dentro y fuera de la refinería tanto a personas como a las instalaciones. Para lograr lo

anterior nos valemos de las diferentes técnicas de Análisis de riesgos. En la figura 3.1 se muestran los modelos de Análisis de Riesgos que se usaron para este estudio.

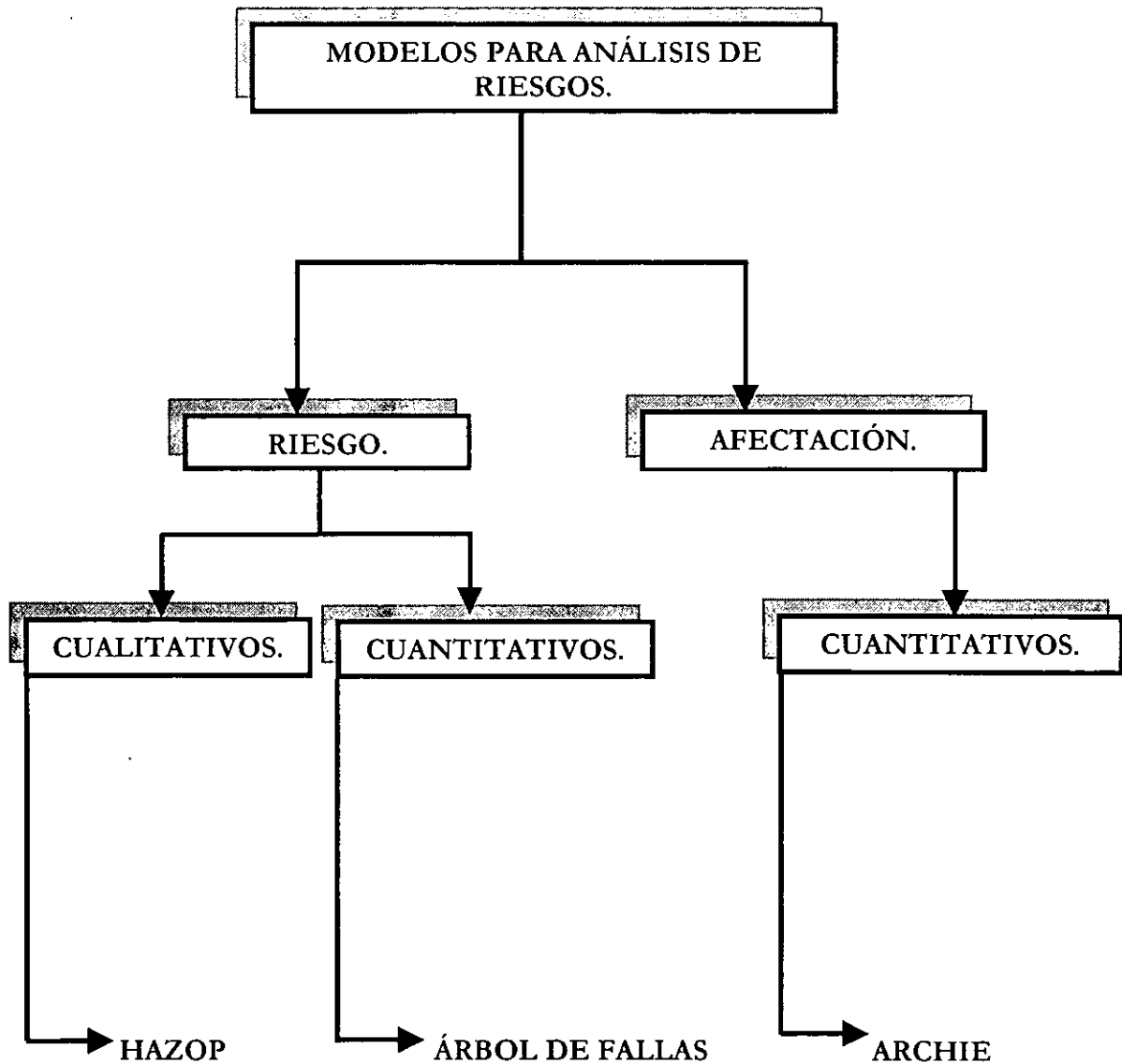


FIG. 3.1 Técnicas para Análisis de Riesgos.<sup>(1,2,5)</sup>



### **3.2. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP).**

Para llevar a cabo el Análisis de Peligros y Operabilidad en el área de almacenamiento de gas LP se siguió el siguiente plan de trabajo:

- 1.- Revisión bibliográfica del área de estudio (almacenamiento gas LP).
- 2.- Actualizar en campo los Diagramas de Tubería e Instrumentación así como los Diagramas de Flujo de Proceso con el fin de tener un conocimiento más detallado del funcionamiento del área.
- 3.- Revisión de los registros históricos de accidentes o incidentes, registros de calibración de válvulas de relevo, etc.
- 4.- Integración del equipo multidisciplinario con ingenieros de la refinería, gente encargada de dirigir el análisis y personal encargado de la actualización de los DTTS y DFP'S.
- 5.- Selección y delimitación de los nodos (en orden jerárquico), con ayuda del equipo multidisciplinario.
- 6.- Aplicación de la técnica HAZOP a cada nodo seleccionado (la metodología del Análisis HAZOP se muestra en la sección 2.7.1 de esta tesis).

#### **3.2.1. SELECCIÓN DE NODOS.**

Los nodos seleccionados del área de almacenamiento de gas LP para realizar el estudio de Análisis de Peligros y Operabilidad HAZOP se enlistan a continuación:



- 1.- Tanque Esférico MJA-T-43.
- 2.- Tanque Horizontal MJA-T-36 y Líneas de Carga y Descarga.
- 3.- Cabezal de Desfogues de Alta Presión.
- 4.- Recibo de Plantas a Tanque esférico MJA-T-234.
- 5.- Descarga de Tanque Esférico MJA-T-234 a bombas MJA-P-204 y 205A/B.
- 6.- Descarga de Tanque Esférico MJA-T-234 a bombas MJA-P-104 A/B.
- 7.- Descarga de Tanque Esférico MJA-T-233 a bombas MJA-P-202 A/B.

Estos nodos se escogieron en base a los comentarios de los ingenieros del área, ya que ellos consideraron que era en estas partes donde existía un mayor riesgo de que se presentara algún accidente y además de que son representativos de las condiciones de los demás tanques y equipos.

En este trabajo sólo se presentan tres de ellos, estructurados de la siguiente manera: primero la descripción de cada nodo, después la matriz de desviaciones seguida de las hojas de registro de las sesiones HAZOP y por último el Diagrama de Tubería e Instrumentación de cada nodo.

### **3.2.2. DESCRIPCIÓN DE LOS NODOS:**

#### **NODO: CABEZAL DE DESFOGUES DE ALTA PRESIÓN.**

Como se mencionó anteriormente, se cuentan con dos líneas de desfogue, una de baja presión y otra de alta presión de 24". Se escogió la línea de alta presión por ser la que recibe desfogues de las esferas de mayor capacidad y por manejar a todos los tanques horizontales.



Este cabezal recibe la carga de las válvulas de alivio (psv's) de los tanques esféricos MJA-T-226 y MJA-T-228 mediante una línea de 12" de diámetro, de igual manera recibe las purgas de la bombas MJA-P-200 A/B. Por otra parte los tanques MJA-T-233 y MJA-T-234 desfogan hacia una parte del cabezal que se une con la línea de 24" de las esferas MJA-T-226 y 228.

Todas las válvulas de relevo de los tanques horizontales relevan hacia una línea de 20" a la cual se le une una línea de 2" que viene de las purgas de las bombas de la Casa de Bombas 1. La línea de 24" proveniente de los tanques esféricos se une con la de 20" y esta se va hacia los quemadores sin humo MJF-FS-1 y MJF-FS-2. Este nodo se puede apreciar mejor en el diagrama 3.2.

### **NODO: TANQUE ESFÉRICO MJA-T-43.**

Este tanque esférico se eligió para estudiarlo como un nodo ya que es el único que esta operando sin válvulas Vickers y por lo tanto no cuenta con el sistema hidráulico de seguridad. Debido a lo anterior el riesgo de que se presente un accidente en este tanque es mucho mayor que en los otros.

El tanque MJA-T-43, se encuentra ubicado en un dique junto a los tanques esféricos MJA-T-44 (fuera de operación) y MJA-T-58. El tanque a analizar tiene una capacidad de 10,000 BLS, aunque normalmente es usado solo al 80% de su capacidad, es decir, unos 8,000 BLS. En este tanque se almacena butano-butileno proveniente de la Planta Catalítica "ME" para posteriormente enviarlo a la Planta de Alquilación "MR" para su proceso. Este tanque tiene una presión de diseño de 15 Kg/cm<sup>2</sup> y un diámetro de 14.6 m. Para seguridad el tanque cuenta con dos



válvulas de relevo, la PSV-43A y la PSV-43B. Estas válvulas se abren cuando la presión interna de la esfera sobrepasa a la presión de calibración de las mismas válvulas, permitiendo el flujo del contenido del tanque hacia el cabezal de desfogue de baja presión con el fin de disminuir la presión y evitar un accidente por sobrepresión. También cuenta con un indicador de temperatura local (LI-43), así como dos detectores de mezclas explosivas, el ID#75 localizado en la parte inferior del tanque y el ID# 76 ubicado en la parte más alta del tanque. De igual modo tiene dos indicadores de presión (PI-43A y PI-43B) y por último posee un indicador de nivel también local (LI-43). El nodo se muestra en el diagrama 3.3.

**NODO:     DESCARGA DEL TANQUE ESFÉRICO MJA-T-234  
              A BOMBAS MJA-P-104 A/B.**

Este nodo se analizó para identificar los riesgos asociados a la operación de descarga de un tanque esférico hacia una de las plantas de proceso. Se escogió esta operación ya que es representativa de las múltiples operaciones realizadas en el área de almacenamiento. Otro de los motivos para analizar la descarga del tanque esférico MJA-T-234 fue que para realizar dicha descarga se tienen que llevar a cabo una serie de manipulaciones a varias válvulas en un arreglo localizado afuera del dique del tanque. Estas manipulaciones si en algún momento se realizan de manera incorrecta pueden tener como consecuencia un accidente debido a la mala alineación de las líneas. Este tanque almacena la mezcla butano-butileno proveniente de la Planta Desintegradora Catalítica “ME” y la descarga se lleva a la Planta de Alquilación “MR”.



La descarga del tanque esférico MJA-T-234 se realiza mediante una línea de 8" de diámetro la cual llega al arreglo antes mencionado por fuera del dique de la esfera. Esta línea llega a la succión de las bombas MJA-P-104 A/B (la que más se utiliza para esta operación es la MJA-P-104A), la cual bombea el contenido de la esfera a la Planta de Alquilación. Cabe mencionar que la línea de 8" tiene como medida de seguridad una válvula de relevo (PSV-27) que desfoga al cabezal de baja presión (ver diagramas 3.4-A y 3.4-B).

### 3.2.3. REGISTRO DE LAS SESIONES HAZOP.

En las hojas de registro HAZOP se muestran los siguientes resultados obtenidos del análisis de Riesgos: El nombre del nodo analizado, el producto manejado en el proceso, los diagramas utilizados en el análisis del nodo, las desviaciones, las consecuencias de dichas desviaciones, la frecuencia, la gravedad, el índice de riesgo, las protecciones existentes y la recomendaciones sugeridas por el equipo multidisciplinario para reducir el índice de riesgo.

Para calcular el índice de riesgo se utilizó la Matriz de Riesgos que se muestra en la figura 3.2. Este cálculo se realizó combinando la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la severidad o gravedad de las consecuencias del mismo. En la tablas 3.5 se muestran los niveles de frecuencia y consecuencias. En el análisis realizado la frecuencia y la gravedad fueron establecidas por los ingenieros de la refinería que formaron parte del equipo multidisciplinario.





## GRAVEDAD

		1	2	3	4	5
F R E C U E N C I A	1	1/C	2/C	3/C	4/B	5/B
	2	2/C	4/B	6/B	7/B	8/A
	3	3/C	6/B	7/B	8/A	9/A
	4	4/B	7/B	8/A	9/A	10/A
	5	5/B	8/A	9/A	9/A	10/A

Acceptabilidad Máximas 3.

Figura 3.2 Matriz de Riesgos utilizada en el Análisis HAZOP.<sup>(2,5)</sup>



FRECUENCIA/PROBABILIDAD	GRAVEDAD/CONSECUENCIAS.
1: No más de una vez en la vida de la planta.	1: No tiene impacto en la planta, personal o equipo.
2: Hasta una vez en diez años.	2: Daños solo al equipo o fugas menores
3: Hasta una vez en cinco años.	3: Lesiones al personal de la unidad, todas las consecuencias se contienen en las instalaciones.
4: Hasta una vez en un año.	4: Daños/destrucción mayores a las instalaciones, consecuencias limitadas fuera de las instalaciones.
5: Más frecuentemente que una vez en un año.	5: Daños/destrucción mayores a las instalaciones, y/o consecuencias extensivas fuera de las instalaciones.

Tabla 3.5 Niveles de Frecuencia y de Gravedad.<sup>(2,5)</sup>

En las hojas de registro de sesiones HAZOP, los números que aparecen entre paréntesis corresponden a la frecuencia, gravedad e índice de riesgo, tomando en consideración las protecciones existentes en el nodo analizado. En algunos casos el número disminuía y en otros se mantenía constante.

El índice o número de riesgo nos permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad o no del riesgo, asignando prioridades a las acciones recomendadas. Las recomendaciones obtenidas del análisis se clasificaron de la siguiente manera:

**Clase A:** Las recomendaciones de la clase **A** tienen alta prioridad. Esto significa que es necesaria una acción inmediata para mitigar la ocurrencia del accidente o su consecuencia. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo **8 a 10**.




**Clase B:** Las recomendaciones de la clase B tienen prioridad media. Esto quiere decir que la administración debe evaluarlas, mediante un análisis de costo-beneficio junto con el fundamento de la recomendación dada para reducir el riesgo; y con base a esto tomar la decisión de “aceptar o no el riesgo”. De acuerdo con la matriz de riesgos que se presenta estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo de 4 a 7.

**Clase C:** Las recomendaciones de la clase C tienen baja prioridad. Esto significa que la acción correctiva que se tome mejorará aún más la seguridad, pero el proceso puede seguir operando con seguridad aunque la recomendación no se implemente. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo de 1 a 3.



## Matriz de Desviaciones del Nodo: Línea de Desfogue de Alta Presión.

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 20 de Octubre de2000.	
	Nodo: Línea de desfogue de alta presión del sistema de gas LP.						
	Diagramas: DTI Cabezal de Desfogue de Alta Presión.				Producto: Gas LP.		
<b>MATRIZ DE DESVIACIONES DEL NODO: LINEA DE DESFOGUE DE ALTA PRESIÓN DEL SISTEMA DE GAS LP.</b>							
<b>DESVIACION PARAMETRO</b>	<b>NO</b>	<b>MÁS</b>	<b>MENOS</b>	<b>PARTE DE</b>	<b>INVERSO</b>	<b>TAMBIÉN COMO/ ADEMAS DE</b>	<b>OTRO QUE/ EN VEZ DE</b>
<b>PRESIÓN</b>		<b>MÁS PRESION</b>					
<b>TEMPERATURA</b>			<b>MENOS TEMPERATURA</b>				
<b>SEGURIDAD</b>			<b>MENOS SEGURIDAD</b>				
<b>ESTRUCTURA</b>			<b>MENOS ESTRUCTURA</b>				



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero	Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.	Fecha: 20 de Octubre de 2000.				
	Nodo: Línea de desfogue de alta presión del sistema de gas LP.						
	Diagramas: DTI Cabezal de Desfogue de Alta Presión.	Producto: Gas LP.					
Desviación: MAS PRESIÓN.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Bloqueo de la válvula (A/1) de 20" del cabezal de desfogue de tanques esféricos y tanques horizontales.	1. Represionamiento del cabezal de desfogue. 2. Fugas en uniones y puntos débiles existentes en la línea. 3. Ruptura del cabezal de desfogue. 4. Incendio y explosión.	2 (2)	3 (3)	6 (4)	1. Programa de mantenimiento y calibración de espesores.  2. Programa de aislamiento y pintura de la línea.  3. Rondines de supervisión.	1. Elaborar, difundir y aplicar un procedimiento para meter en operación el cabezal de desfogue. 2. Aplicar y verificar los programas de mantenimiento, calibración de espesores, de aislamiento y pintura de la línea. 3. Elaborar un reporte semestral por parte de SITSi donde se den a conocer las observaciones y recomendaciones de los rondines de inspección preventiva de riesgos. 4. Revisar diseño y material de cabezales de desfogue.	B
2. Bloqueo de la válvula (A/2) de 2" de la línea de desfogue de las bombas MJA-P-9, 9A, 10 A/B, 17 A/B y 200 A/B.	1. Represionamiento y fugas en accesorios de las líneas de desfogues de bombas. 2. Falla de las conexiones de las líneas de desfogues de las bombas. 3. Incendio.	3 (3)	2 (2)	6 (6)	1. Programa de aislamiento y pintura de la línea.  2. Rondines de vigilancia.	1. Elaborar, difundir y aplicar un procedimiento para meter y sacar en operación las líneas de desfogue de las bombas, verificando la correcta aplicación del procedimiento.  2. Revisar diseño y material de cabezales de desfogue.	B



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 20 de Octubre de 2000.	
	Nodo: Línea de desfogue de alta presión del sistema de gas LP.						
	Diagramas: DTI Cabezal de Desfogue de Alta Presión.				Producto: Gas LP.		
Desviación: MAS PRESION.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
3. Bloqueo de la válvula de mariposa (A/3) que se localiza después del manifold y antes de los tanques de sello del cabezal de desfogue.	<p>1. Represionamiento total de los cabezales de desfogue de alta y baja presión.</p> <p>2. Fugas por conexiones de las líneas de desfogue de baja y alta presión.</p> <p>3. Posible paro de algunas plantas.</p> <p>4. Incendio y explosión.</p>	2 (2)	5 (5)	8 (8)	1. Ninguna.	<p>1. Elaborar, difundir y aplicar un procedimiento para meter y sacar a operación y mantenimiento el cabezal de desfogue de alta y baja presión y verificar su cumplimiento.</p> <p>2. Elaborar un programa de mantenimiento preventivo y verificar su aplicación (SITSI) para la válvula de mariposa .</p>	A



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 20 de Octubre de 2000.	
	Nodo: Línea de desfogue de alta presión del sistema de gas LP.						
	Diagramas: DTI Cabezal de Desfogue de Alta Presión.				Producto: Gas LP.		
Desviación: MENOS TEMPERATURA.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Desfogue de las PSV'S de los tanques esféricos 226, 228, 233 y 234 con arrastre de líquidos.	1. Enfriamiento de las partes del sistema.  2. Fragilización del cabezal de desfogues.  3. Fugas.  4. Incendio y explosión	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. Ninguna.	1. Elaborar, difundir, aplicar y verificar un procedimiento operativo para los tanques esféricos de manera que no se sobrepresionen.  2. Revisar diseño y material de cabezales de desfogue.  3. Incrementar la iluminación en el área de gas LP.  4. Investigar la existencia de pinturas que cambien de color a bajas temperaturas, para pintar pequeños tramos de las líneas de desfogue.	B



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 20 de Octubre de 2000.	
	Nodo: Línea de desfogue de alta presión del sistema de gas LP.						
	Diagramas: DTI Cabezal de Desfogue de Alta Presión.				Producto: Gas LP.		
Desviación: MENOS ESTRUCTURA.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Corrosión externa de la tubería por ambiente salino.	1. Corrosión generalizada en la tubería.  2. Poros y fugas.	5 (3)	1 (1)	5 (3)	1. Programa de mantenimiento y calibración de espesores.  2. Programa de aislamiento y pintura de la línea.  3. Rondines de supervisión.	1. Aplicar y verificar los programas de mantenimiento, calibración de espesores, de aislamiento y pintura de la línea.  2. Elaborar un reporte semestral por parte de SITSI donde se den a conocer las observaciones y recomendaciones de los rondines de inspección preventiva de riesgos.	C
2. Corrosión de la estructura de soporte del cabezal de desfogue.	1. Deterioro de la propia estructura.  2. Colapso de la estructura con las líneas de desfogue.  3. Incendio y explosión.	2 (2)	5 (2)	8 (4)	1. Programa de mantenimiento a estructuras y racks de los cabezales de desfogue.  2. Programa de aislamiento y pintura de la estructura y racks de cabezales de desfogue.  3. Rondines de supervisión.	1. Aplicar y verificar los programas de mantenimiento, de aislamiento y pintura de racks y estructura de los cabezales de desfogue.  2. Elaborar un reporte semestral por parte de SITSI donde se den a conocer las observaciones y recomendaciones de los rondines de inspección preventiva de riesgos.	B

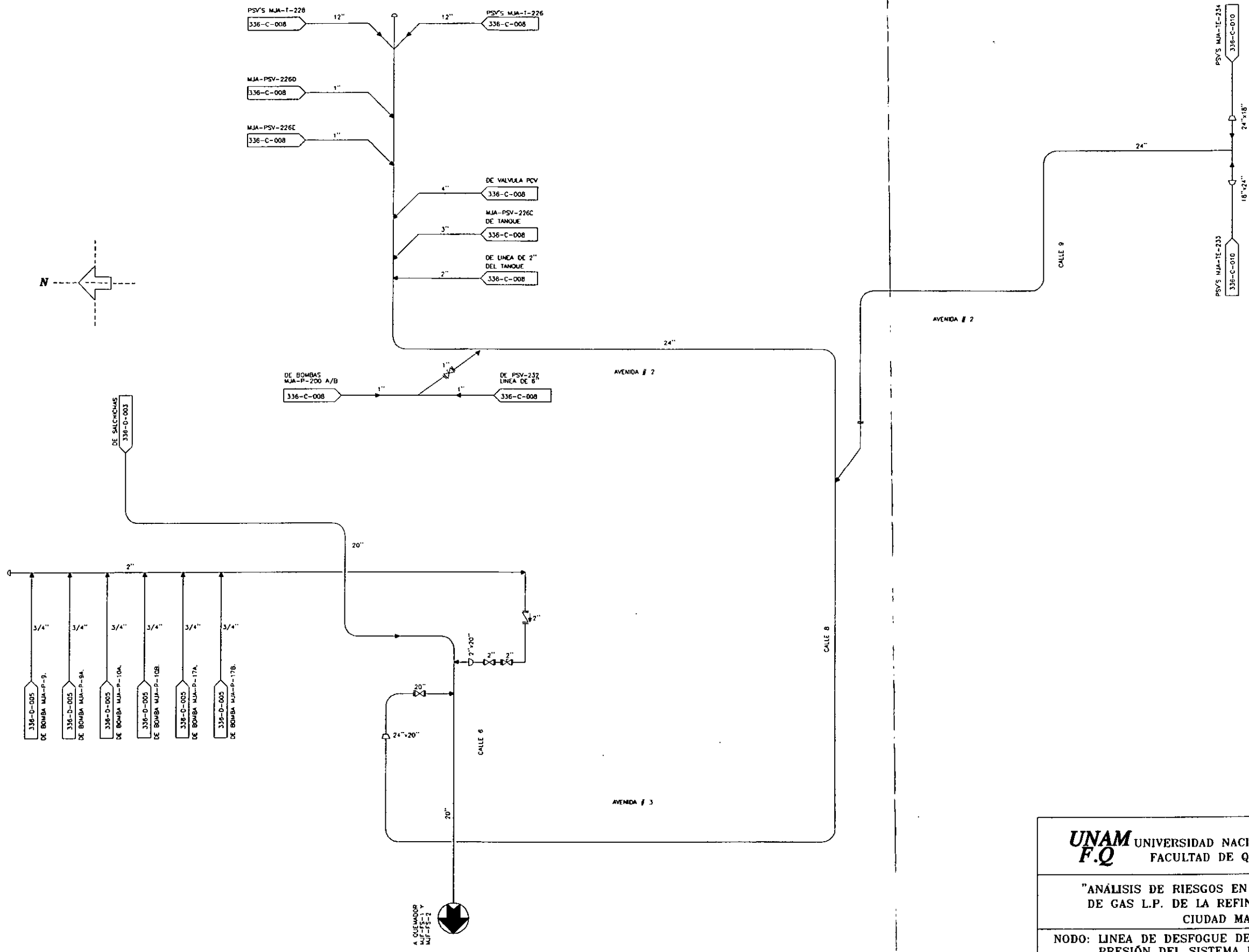











	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 20 de Octubre de 2000.	
	Nodo: Línea de desfogue de alta presión del sistema de gas LP.						
	Diagramas: DTI Cabezal de Desfogue de Alta Presión.				Producto: Gas LP.		
Desviación: MENOS ESTRUCTURA.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
3. Corrosión interna del cabezal de desfogue por presencia de disolución cáustica en el gas LP.	1. Corrosión interna en las líneas de desfogue. 2. Velocidad acelerada de desgaste en las mismas líneas. 3. Poros, fracturas y fugas. 4. Incendio y explosión.	2 (2)	5 (5)	8 (8)	1. Análisis de laboratorio de composición del producto en los tanques esféricos y horizontales.  2. Programa de calibración de espesores de la línea de desfogue.	1. Aplicar y verificar el cumplimiento efectivo de los procedimientos de control de calidad de los productos que se envían a almacenamiento de gas LP.  2. Implementar el sistema de trampas de sosa de tanques esféricos y horizontales.  3. Revisar diseño y material de cabezales de desfogue.	A




	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 20 de Octubre de 2000.	
	Nodo: Línea de desfogue de alta presión del sistema de gas LP.						
	Diagramas: DTI Cabezal de Desfogue de Alta Presión.				Producto: Gas LP.		
Desviación: MENOS SEGURIDAD.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Indebido control operacional de las esferas.	1. Daños graves a los quemadores multijet e incendio en los mismos.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. Ninguna.	1. Instalar medidores de flujo, alarmas luminosas y sonoras por alto flujo antes de los tanques de sello de los quemadores del cabezal de desfogue de alta y baja presión.	A



**SIMBOLOGIA:**

-  VALVULA MACHO.
-  VALVULA DE COMPUERTA.
-  TAPA TORIESFERICA.
-  FLECHA DE FLUJO.
-  BRIDA.
-  REDUCCION AMPLIACION.
-  FLECHA DE ENTRADA O SALIDA.

**UNAM F.Q** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE QUIMICA CONJ. E. LAB. 212 

"ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL AREA DE ALMACENAMIENTO  
 DE GAS L.P. DE LA REFINERIA FRANCISCO I. MADERO."  
 CIUDAD MADERO, TAMAULIPAS.

NODO: LINEA DE DESFOGUE DE ALTA  
 PRESIÓN DEL SISTEMA DE L.P.G.

DIAGRAMA: No: 3.2.



## Matriz de Desviaciones del Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.	Fecha: 21 de Septiembre de 2000.
	Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.		
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43, 44 Y 58.	Producto: Butano- butileno.	

## MATRIZ DE DESVIACIONES DEL NODO: TANQUE ESFERICO MJA-TE-43.

DESVIACION PARAMETRO	NO	MÁS	MENOS	PARTE DE	INVERSO	TAMBIÉN COMO/ ADEMAS DE	OTRO QUE/ EN VEZ DE
PRESIÓN		MÁS PRESION	MENOS PRESION (VACIO)				
TEMPERATURA		MÁS TEMPERATURA					
ATERRIZAMIENTO			MENOS ATERRIZAMIENTO				
COMPOSICIÓN							COMPOSICIÓN DIFERENTE
ESTRUCTURA			MENOS ESTRUCTURA				



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero	Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.	Fecha: 21 de Septiembre de 2000.				
	Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43, 44 Y 58.	Producto: Butano-butileno.					
Desviación: MAS PRESIÓN.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Llegada de una cantidad mayor de ligeros de la planta FCC.	1. Relevo de las PSV's. 2. Congelamiento de la línea de desfogue.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Procedimientos de operación de la FCC. 2. Análisis químicos por parte del laboratorio.	1. Cumplimiento estricto de los procedimientos de operación de la torre deetanizadora y depropanizadora en la planta FCC.	A
2. Mayor temperatura de la corriente de entrada a la esfera.	1. Relevo de las PSV's. 2. Congelamiento de la línea de desfogue. 3. Contaminación del medio ambiente, al quemar mas producto.	4 (3)	2 (2)	7 (6)	1. Espreas de enfriamiento del sistema de contra incendio. 2. Monitoreo de cada dos horas de la temperatura de salida del butano/butileno de la planta FCC.	1. Continuar cumpliendo con el monitoreo de la temperatura de salida del butano/butileno de la corriente de salida de la planta FCC. 2. Instalar en la torre de observación (bunker-1) una alarma por alta temperatura en la salida del butano/butileno.	B
3. Falla de la válvula 43 A/B de relevo.	1. Fugas por conexiones.	4 (2)	2 (2)	7 (4)	1. Programas de mantenimiento preventivo a las PSV's.	1. Continuar dando el mantenimiento preventivo y calibración a las PSV's.	B
4. Válvulas de bloqueo, antes o después de las válvulas PSV's, bloqueadas.	1. Fugas por conexiones. 2. Daños a la estructura de la esfera.	4 (2)	3 (2)	8 (4)	1. Programas de flejamiento de válvulas.	1. Asegurar el flejamiento de las válvulas de bloqueo que estan antes y después de las PSV's.	B
5. Presionamiento no controlado de la esfera para poder alcanzar el NPSH de las bombas P-204 A, P-205 B y P-104 A	1. Relevo de las PSV's 43A/B. 2. Congelamiento de la línea de desfogue. 3. Fugas por conexiones. 4. Daños estructurales al equipo.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Válvulas de relevo PSV's 43A/B. 2. Diseño de construcción de la esfera.	1. Dar cumplimiento a los procedimientos de operación, con relación a los límites de operación inferior y superior de la esfera. 2. En caso de requerirse aumentar presión dentro de la esfera como operación no rutinaria, tener por escrito un procedimiento para efectuar esta operación, el cual hay que difundirlo y aplicarlo.	A



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 21 de Septiembre de 2000.	
	Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43, 44 Y 58.				Producto: Butano-butileno.		
Desviación: PRESION BAJA (VACIO).							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Succión del contenido de la esfera y que se encuentren cerrados los venteos.	1. Colapso de la esfera.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. Procedimientos de operación y capacitación del personal.	1. Continuar cumpliendo los procedimientos de operación y capacitación del personal.	B



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero	Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 21 de Septiembre de 2000.		
	Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43, 44 Y 58.				Producto: Butano-butileno.		
Desviación: COMPOSICIÓN DIFERENTE A LO ESPERADO..							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Presencia de oxígeno mayor de 0.3% dentro de la esfera.	1. Mezcla explosiva. 2. En presencia de una fuente de ignición, explosión.	3 (2)	3 (3)	7 (6)	1. Procedimiento de barrido con gas troncal o con vapores del producto de la esfera antes de meterla a operación normal. 2. Monitoreo por parte de laboratorio del contenido de oxígeno. 3. Sistema de tierras de la esfera. 4. Válvulas de relevo PSV's 43A/B. 5. Sistemas de espreas de contra incendio.	1. En época de tormentas eléctricas se debe tener una mayor precaución en el seguimiento de procedimientos y monitoreos.	B
2. Presencia de ligeros en la corriente de entrada.	1. Aumento de la presión. 2. Relevo de PSV'S 43 A/B.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Válvulas de relevo PSV's 43 A/B. 2. Procedimientos operacionales de la FCC. 3. Monitoreo, por laboratorio, de las corrientes de butano-butileno a la salida de la FCC.	1. Instalar una señal remota de alarma por alta presión al cuarto de control. 2. Cumplir estrictamente los procedimientos operacionales de las torres deetanizadoras y depropanizadoras.	A



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero	Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 21 de Septiembre de 2000.		
	Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43, 44 Y 58.			Producto: Butano-butileno.			
Desviación: COMPOSICIÓN DIFERENTE A LO ESPERADO..							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
3. Presencia de pesados en la corriente de entrada, como son pentano e isopentano.	1. Formación de una fase de pesados en el fondo de la esfera.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. Monitoreo en el laboratorio.  2. Eliminación de pesados por medio del drenado enviándolos al quemador si los pesados son del 5% o menores.  3. Bombeo de pesados a tanques de almacenamiento de gasolina, si los pesados son mayores a 5%.	1. Cumplimiento estricto de los procedimientos de operación de la planta FCC.  2. En caso de recibirse solución cáustica, instalar bomba y líneas para mandarse a la planta de sosas gastadas, en caso de que sean hidrocarburos pesados enviarlos hacia tanques de gasolina.	B
4. Presencia de sosa y agua en la corriente de entrada.	1. Taponamiento de la línea de muestreo.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Procedimiento de muestreo.	1. Eliminar el arrastre de sosa y agua de FCC mediante el cumplimiento estricto de sus procedimientos de operación.  2. Efectuar limpieza de equipo (esferas, salchichas y accesorios de tubería), mediante la implantación de un programa de mantenimiento.  3. Elaborar, implantar y difundir un procedimiento para evitar arrastres de sosa y agua en la corriente de gas LP.  4. Dar cumplimiento al pie de la letra al procedimiento de drenado y muestreo.	A





	Compañía: Refinería Francisco I. Madero	Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 21 de Septiembre de 2000.		
	Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43, 44 Y 58.				Producto: Butano-butileno.		
Desviación: MENOS ESTRUCTURA.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Corrosión generalizada en el exterior de la esfera por medio ambiente salino (marino).	1. Oxidación y picado de las paredes externas de la esfera.  2. Fugas.  3. Contaminación.  4. Incendio.	2 (2)	5 (2)	8 (4)	1. Programa de calibración y medición de espesores.  2. Programa de pintura.  3. Programa de inspección preventivo de riesgos.  4. Programa de medición acústica.  5. Espreas de contra incendio.	1. Instalar el sistema oleodinámico con válvulas de cierre rápido (la esfera MJA-T-43 no tiene válvulas Vicker).  2. Elaborar un estudio para independizar por áreas el sistemas oleodinámico en casa de bombas 1 y 2.  2. Elaborar un programa de reparación general de esferas y cumplirlo cabalmente en actividades y tiempos especificados.  3. Incluir en el plan de presupuestos los recursos necesarios para dar cumplimiento al sistema de reparación general de las esferas.  4. Dar cumplimiento al procedimiento de medición de espesores, que dice que se debe de aplicar recubrimiento en el punto de medición de espesor.  5. Soldar placas de refuerzo entre la estructura (cuerpo del tanque) y accesorios.	B



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.		Fecha: 21 de Septiembre de 2000		
	Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43, 44 Y 58.				Producto: Butano-butileno.		
Desviación: MENOS ESTRUCTURA.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
2. Corrosión interna por la presencia de disolución cáustica en la corriente de butano-butileno.	1. Fragilización de la soldadura de la esfera.  2. Obstrucciones por tapones de sosa.  3. Descarga de la sosa al drenaje.  4. Interferencia en la interpretación del análisis de corrosión.	2 (2)	2 (2)	4 (4)	1. Programa de calibración y medición de espesores.  2. Recubrimiento de protección interno.  3. Programa de inspección  4. Programa de medición acústica.  5. Agua de protección contra incendio.	1. Cumplir estrictamente los programas de operación en la planta FCC en su sección de ligeros.	B



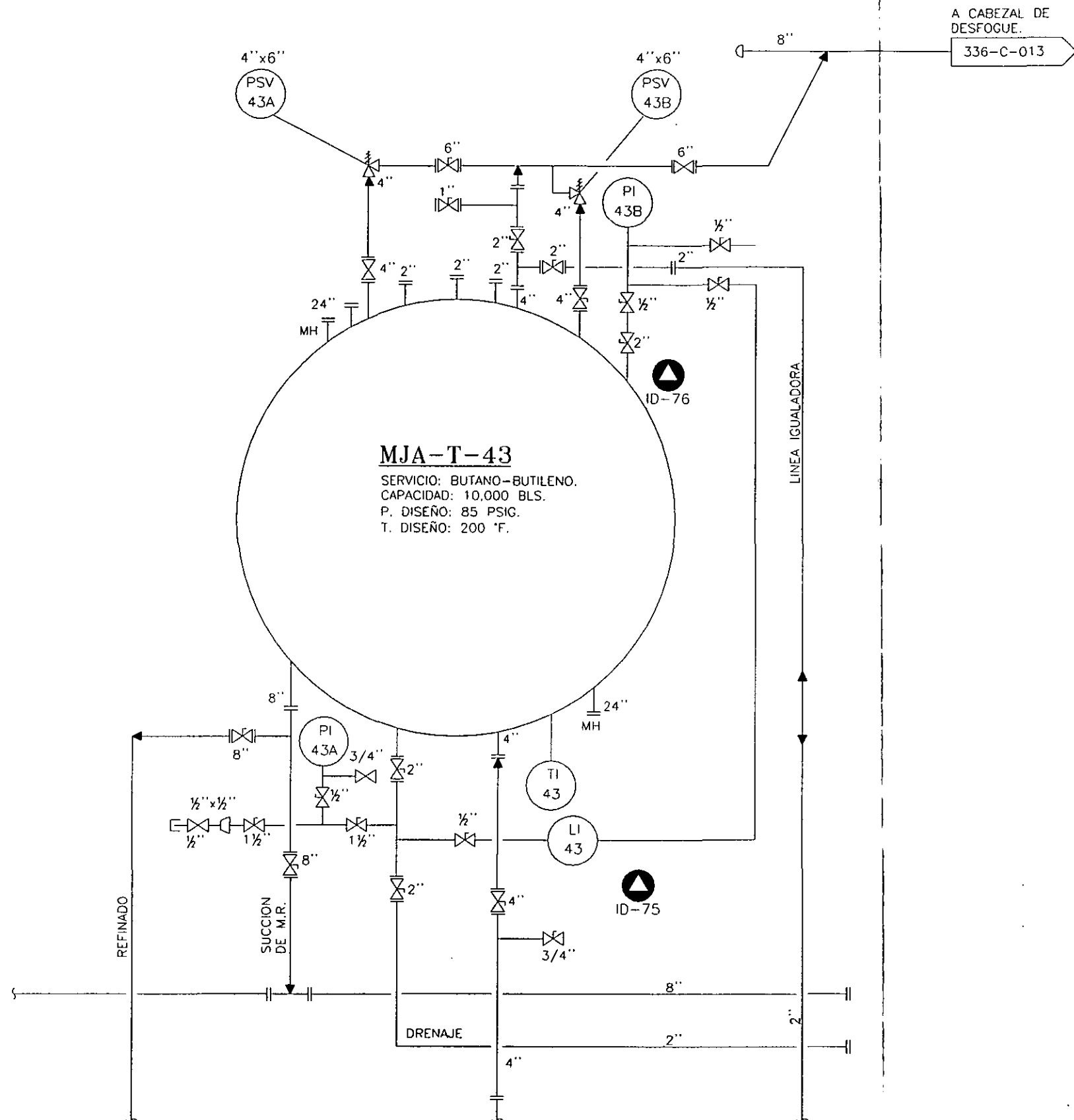
	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 21 de Septiembre de 2000.	
	Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43, 44 Y 58.				Producto: Butano-butileno.		
Desviación: MENOS ATERRIZAMIENTO.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Actos de robo (Se roban los cables de tierra del equipo de proceso).	1. Daños al equipo.  2. Incendio.	5 (5)	5 (5)	10 (10)	1. Rondines de vigilancia.  2. Bardas de concreto con sertina.	1. Mejorar la red de alumbrado en la periferia de la refinería.  2. Agilizar el trámite de adquisición del circuito detector de movimiento alrededor de la barda perimetral.  3. Instalar un circuito cerrado de monitoreo en cada puerta.  4. Instalar un sistema de detección de metales en las puertas de la refinería.	A



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 21 de Septiembre de 2000.	
	Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43, 44 Y 58.				Producto: Butano-butileno.		
Desviación: MAS TEMPERATURA.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Producto que llega a las esferas mas caliente.	1. Mas presión  2. Relevo de las PSV's.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Procedimientos de operación de la planta de FCC.	1. Instalar un TI con alarma en la línea de salida de producto de la torre desbutanizadora de la planta FCC.  2. Instalar un TI con señal al cuarto de control, en la línea de entrada a las esferas.	A
2. Calentamiento de fusibles por alta temperatura ambiente	1. Fusión de los fusibles del sistema oleodinámico.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Ninguna.	1. Hacer un estudio para separar los equipos, de tal manera que queden protegidos por al menos dos sistemas oleodinámicos.  2. Elaborar un sistema de reemplazo de fusibles de acuerdo a su vida media, en el medio ambiente extremo. Definiendo cual es el departamento responsable de llevarlo a cabo.  3. Instalar válvulas Vicker en la línea de entrada y salida de producto, en la esfera MJA-T-43.	A



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 21 de Septiembre de 2000.	
	Nodo: Tanque Esférico MJA-T-43.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43, 44 Y 58.				Producto: Butano-butileno.		
Desviación: MAS TEMPERATURA.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
3. Envejecimiento acelerado de los fusibles del sistema oleodinámico por efecto del medio ambiente.	1. Fusión de los fusibles del sistema oleodinámico.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Ninguna.	1. Elaborar un sistema de reemplazo de fusibles de acuerdo a su vida media, en el medio ambiente extremo. Definiendo cual es el departamento responsable de llevarlo a cabo.  2. Instalar un detector con alarma sonora y visual que mande señal al cuarto de control en caso de falla del sistema oleodinámico. (Relacionar esto con el estudio de independizar a los usuarios del sistema oleodinámico).  3. Cambiar a la mayor brevedad todos los fusibles que actualmente están instalados, ya que no son confiables.	A



**SIMBOLOGIA.**

- VALVULA SISTEMA SOLDADO (NOMEX 1)
- VALVULA SELLADA
- VALVULA DE COMPUERTA
- VALVULA MANO DE ENORMES
- VALVULA DE SERRANO
- BRINDA
- CORTE DE LINEA
- TOMA DE MUESTRA
- DRENAJE
- BRINDA CON PLACA CIEGA
- MECANISMO DE HERRAJES ESTROFAGAS

**UNAM F.Q.** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
 FACULTAD DE QUIMICA CONJ. E. LAB. 212

"ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL AREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS L.P. DE LA REFINERIA FRANCISCO I. MADERO."  
 CIUDAD MADERO, TAMAULIPAS.

NODO: TANQUE ESFERICO MJA-T-43.      DIAGRAMA: No: 3.3.



**Matriz de Desviaciones del Nodo: Descarga del Tanque Esférico MJA-T-234 a Bombas  
MJA-P-104 A/B.**

	<b>Compañía:</b> Refinería Francisco I. Madero.		<b>Area/proceso:</b> Sector 6, Patio Oriente.		<b>Fecha:</b> 31 de Octubre de 2000.		
	<b>Nodo:</b> Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-234 a bombas 104 A/B.						
	<b>Diagramas:</b> DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43,44 Y 58. DTI Tanques Esféricos MJA-TE-233 Y 234.				<b>Producto:</b> Butano-butileno.		
<b>MATRIZ DE DESVIACIONES DEL NODO: DESCARGA DEL TANQUE ESFERICO MJA-TE-234 A BOMBAS MJA-P-104 A/B.</b>							
<b>DESVIACIÓN PARAMETRO</b>	<b>NO</b>	<b>MÁS</b>	<b>MENOS</b>	<b>PARTE DE</b>	<b>INVERSO</b>	<b>TAMBIEN COMO/ ADEMAS DE</b>	<b>OTRO QUE/ EN VEZ DE</b>
PRESIÓN		MÁS PRESION					
TEMPERATURA		MÁS TEMPERATURA					
INSTRUMENTACIÓN			MENOS INSTRUMENTACIÓN				
SOPORTE TÉCNICO			MENOS SOPORTE TÉCNICO				
COMPOSICIÓN							CONTAMINACIÓN DEL PRODUCTO
RELEVO			MENOS RELEVO				



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 31 de Octubre de 2000.	
	Nodo: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-234 a bombas 104 A/B.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43,44 Y 58. DTI Tanques Esféricos MJA-TE-233 Y 234.			Producto: Butano-butileno.			
Desviación: MAS PRESION.							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Recibo de butano-butileno de FCC sin que la bomba 104 B (butano-butileno) este en funcionamiento.	1. Represionamiento de la salida de planta.  2. Fugas en accesorios y en puntos débiles de la línea.  3. Incendio y explosión.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Ninguna	1. Realizar el estudio pertinente para instalar válvulas PSV en la línea de succión a la bomba 104 B.  2. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de descarga de tanque esférico MJA -TE-234, 43, 44 y 58.  3. Elaborar un programa de control aleatorio médico de alcohol y antidoping.  4. Evitar que el personal de turno doble guardias en exceso.	A
2. Que todas las válvulas que se ubiquen dentro del nodo 6 y la válvula de bloqueo de la succión de la bomba 104 B esten cerradas.	1. Represionamiento de la salida de planta.  2. Fugas en accesorios y en puntos débiles de la línea.  3. Incendio y explosión.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Ninguna.	1. Realizar el estudio pertinente para instalar válvulas PSV en la línea de succión a la bomba 104 B.  2. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de descarga de tanque esférico MJA -TE-234, 43, 44 y 58.  3. Elaborar un programa de control aleatorio médico de alcohol y antidoping.  4. Evitar que el personal de turno doble guardias en exceso.	A





	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 31 de Octubre de 2000.	
	Nodo: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-234 a bombas 104 A/B.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43,44 Y 58. DTI Tanques Esféricos MJA-TE-233 Y 234.				Producto: Butano-butileno.		
Desviación: <b>MÁS TEMPERATURA..</b>							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Aumento en la temperatura ambiente además el bloqueo de las válvulas que se ubiquen dentro del nodo 6 y la válvula de bloqueo de la succión de la bomba 104 B estén cerradas.	1. Represionamiento de la salida de planta.  2. Fugas en accesorios y en puntos débiles de la línea.  3. Incendio y explosión.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Ninguna.	1. Realizar el estudio pertinente para instalar válvulas PSV en la línea de succión a la bomba 104 B.  2. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de descarga de tanque esférico MJA -TE-234, 43, 44 y 58.  3. Elaborar un programa de control aleatorio médico de alcohol y antidoping.  4. Evitar que el personal de turno doble guardias en exceso.	A



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero	Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 31 de Octubre de 2000.		
	Nodo: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-234 a bombas 104 A/B.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43,44 Y 58. DTI Tanques Esféricos MJA-TE-233 Y 234.				Producto: Butano-butileno.		
Desviación: MENOS INSTRUMENTACIÓN..							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Falta de aplicación del procedimiento global interno de comunicación de las diferentes áreas de la refinería (mantenimiento, operación, seguridad, planeación, recursos humanos y gerencia).	1. Instalaciones deficientes en instrumentación.  2. Represionamiento en la línea.  3. Fugas en accesorios y en puntos débiles de la línea.  4. Falta de control absoluto en el proceso.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Procedimiento para la elaboración de cambios en general.	1. Difundir y aplicar el procedimiento global interno de cambios de las diferentes áreas de la refinería (mantenimiento, operación, seguridad, planeación, recursos humanos y gerencia).	A



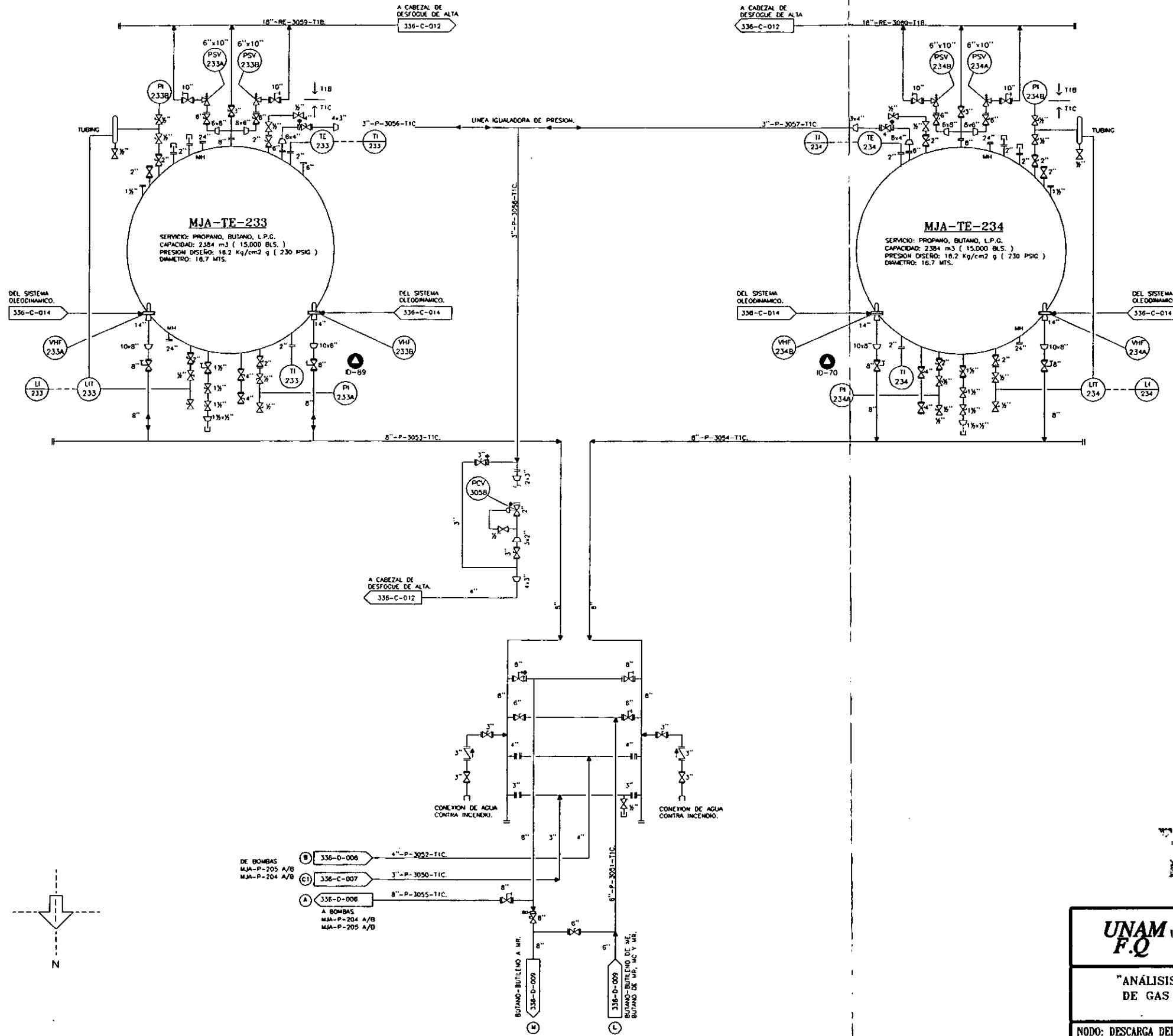
	<b>Compañía:</b> Refinería Francisco I. Madero	<b>Area/proceso:</b> Sector 6, Patio Oriente.			<b>Fecha:</b> 31 de Octubre de 2000.		
	<b>Nodo:</b> Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-234 a bombas 104 A/B.						
	<b>Diagramas:</b> DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43,44 Y 58. DTI Tanques Esféricos MJA-TE-233 Y 234.				<b>Producto:</b> Butano-butileno.		
<b>Desviación: MENOS SOPORTE TÉCNICO.</b>							
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>R</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
1. Incumplimiento de los procedimientos de trabajo en las modificaciones. No se le da seguimiento a la realización de estos trabajos.	1. Trabajos fuera de diseño y especificaciones.  2. Pérdida de horas hombre y de producción.  3. Incidentes potenciales.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Procedimiento para la administración del cambio.	1. Difundir, aplicar estrictamente y dar seguimiento al procedimiento para la administración del cambio por parte de todas las áreas involucradas.  2. Realizar estudios técnicos económicos de factibilidad que permitan detectar si las desviaciones de diseño y especificaciones pueden ser solucionadas con un mantenimiento correctivo.	A
2. Planeación deficiente para la adquisición de recursos materiales para la aplicación del procedimiento para la administración del cambio.	1. Trabajos fuera de diseño y especificaciones con recursos existentes y recuperados de otras áreas.  2. Pérdida de horas hombre y de producción.  3. Incidentes potenciales.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Procedimiento para la administración del cambio.  2. Planeación del presupuesto.  3. Planeación de adquisiciones.	1. Formar equipos de soporte técnico para la administración del cambio.  2. Difundir, aplicar estrictamente y dar seguimiento al procedimiento para la administración del cambio por parte de todas las áreas involucradas.	A



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.			Fecha: 31 de Octubre de 2000.	
	Nodo: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-234 a bombas 104 A/B.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43,44 Y 58. DTI Tanques Esféricos MJA-TE-233 Y 234.				Producto: Butano-butileno.		
Desviación: CONTAMINACIÓN DEL PRODUCTO..							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Contaminación de butano butileno con isobutano por dejar alineada la línea de succión de esferas 43, 44 y 58 cuando se recibe isobutano de buque tanques.	1. Aumento de la concentración de isobutano en la corriente de butano butileno. 2. Aumento de los análisis de laboratorio. 3. Paro de planta MR. 4. Pérdida de producción de alquilado. 5. Pérdida de producción de butano butileno que se deriva a gas LP. 6. Desfogues de isobutano al quemador de la planta MR.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. Ninguna.	1. Instalar una válvula de bloqueo común de 4" en la línea de succión de esferas 43, 44 y 58. 2. Elaborar, difundir, aplicar y dar seguimiento al procedimiento para el recibo de buque tanques a las esferas 93 y 233. 3. Elaborar un programa de control aleatorio médico de alcohol y antidoping. 4. Evitar que el personal de turno doble guardias en exceso.	B
2. Contaminación de butano butileno con isobutano por dejar alineado el bloqueo de paso de interconexión de succión de esferas 233 y 234.	1. Aumento de la concentración de isobutano en la corriente de butano butileno. 2. Aumento de los análisis de laboratorio. 3. Paro de planta MR. 4. Pérdida de producción de alquilado. 5. Pérdida de producción de butano butileno que se deriva a gas LP. 6. Desfogues de isobutano al quemador de la planta MR.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. Ninguna.	1. Elaborar, difundir, aplicar y dar seguimiento al procedimiento para el recibo de buque tanques a las esferas 93 y 233. 2. Elaborar un programa de control aleatorio médico de alcohol y antidoping. 3. Evitar que el personal de turno doble guardias en exceso.	B



	Compañía: Refinería Francisco I. Madero		Area/proceso: Sector 6, Patio Oriente.		Fecha: 31 de Octubre de 2000.		
	Nodo: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-234 a bombas 104 A/B.						
	Diagramas: DTI Tanques Esféricos MJA-TE-43,44 Y 58. DTI Tanques Esféricos MJA-TE-233 Y 234.			Producto: Butano-butileno.			
Desviación: MENOS RELEVO..							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Línea de recibo de isobutano de barcos y de descarga de esferas 43, 44 y 233 a planta MR con servicio doble.	1. Contaminación de producto. 2. Prácticas operativas inadecuadas. 3. Aumento de los análisis de laboratorio. 4. Paro de planta MR. 5. Pérdida de producción de alquilado. 6. Pérdida de producción de butano butileno que se deriva a LPG. 7. Desfogues de isobutano al quemador de la planta MR. 8. Incidentes potenciales. 9. Fugas, incendio y explosión.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Ninguna.	1. Elaborar, difundir, aplicar y dar seguimiento al procedimiento para el recibo de buque tanques a las esferas 93 y 233. 2. Elaborar un estudio para la instalación de líneas independientes de recibo barcos y descarga de esferas. 3. Difundir, aplicar estrictamente y dar seguimiento al procedimiento para la administración del cambio por parte de todas las áreas involucradas. 4. Realizar estudios técnicos económicos de factibilidad que permitan detectar si las desviaciones de diseño y especificaciones pueden ser solucionadas con un mantenimiento correctivo.	A



**SIMBOLOGIA.**

- VALVULA SISTEMA HIDRAULICO ( VICKERS ).
- VALVULA HIDRAULICA.
- VALVULA MACHO.
- VALVULA DE COMPUERTA.
- VALVULA CHECK.
- VALVULA MACHO DE ENGRANES.
- VALVULA DE SEGURIDAD.
- REDUCCION AMPLIACION.
- BRIDA.
- CORTE DE LINEA.
- JUNTA CIEGA.
- INDICADOR DE MEZCLAS EXPLOSIVAS.

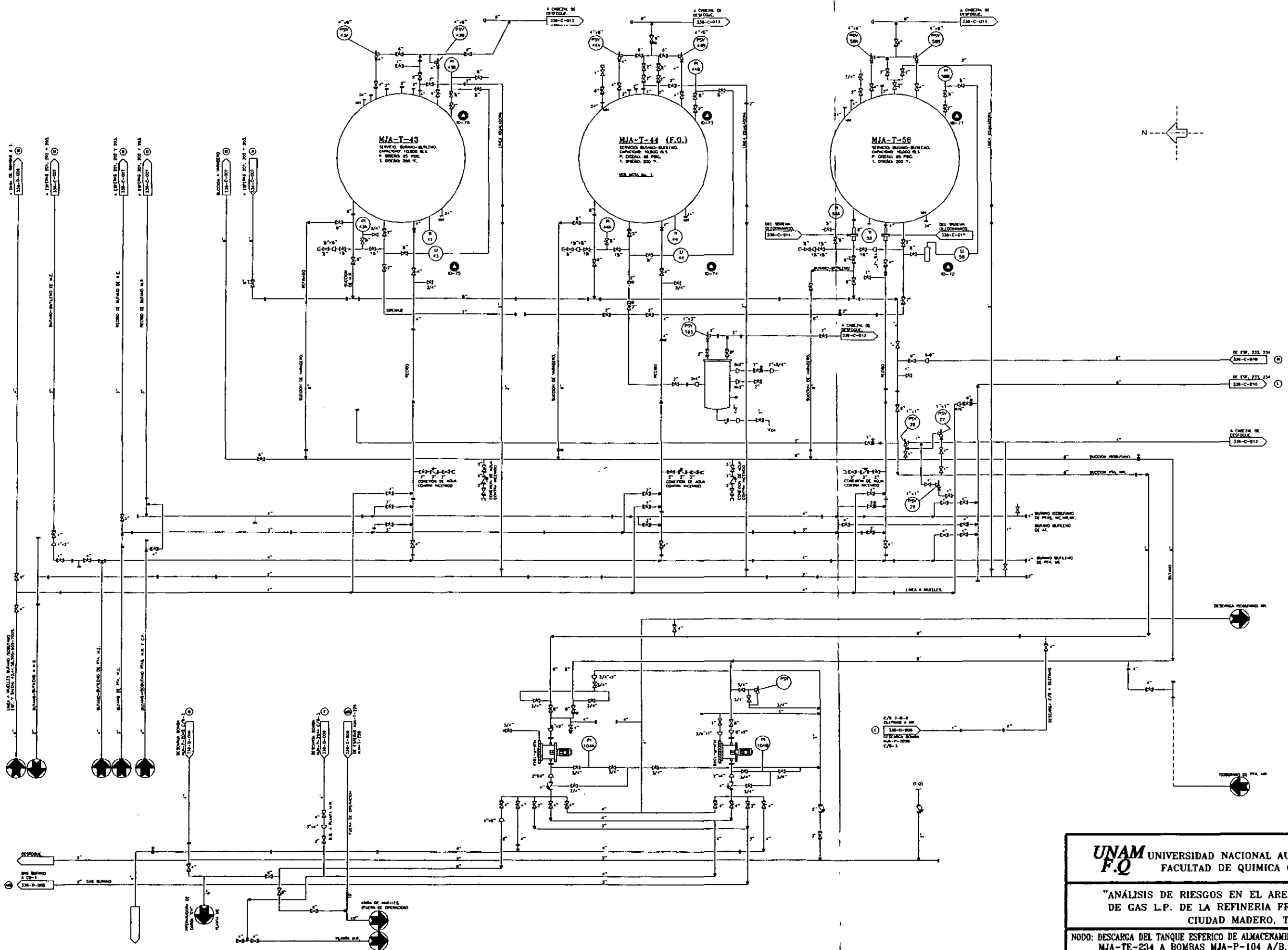
**ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA**

**UNAM F.Q.** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA CONJ. E. LAB. 212


"ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL AREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS L.P. DE LA REFINERIA FRANCISCO I. MADERO." CIUDAD MADERO, TAMAULIPAS.

NODO: DESCARGA DEL TANQUE ESFERICO DE ALMACENAMIENTO MJA-TE-234 A BOMBAS MJA-P-104 A/B.

DIAGRAMA: No: 3.4-A.



- SIMBOLOGIA.**
- BOMBA TIPO BOOSTER.
  - VÁLVULA DE CONTROL DE FLUJO.
  - VÁLVULA DE CIERRE.
  - VÁLVULA DE SEGURIDAD.
  - LÍNEA DE TUBERÍA.
  - LÍNEA DE DRENAJE.
  - LÍNEA DE FLUJO DE EMERGENCIA.
  - LÍNEA QUE CRUZA EL LÍMITE DE PLANTA.

**UNAM** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO   
**F.O.** FACULTAD DE QUIMICA CONJ. E. LAB. 212

"ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL AREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS L.P. DE LA REFINERIA FRANCISCO I. MADERO."  
 CIUDAD MADERO, TAMAULIPAS.

NODO: DESCARGA DEL TANQUE ESFERICO DE ALMACENAMIENTO MJA-TE-234 A BOMBAS MJA-P-104 A/B. DIAGRAMA: No: 3.4-B.



### 3.3. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.

Mediante la revisión de incidentes dentro del área de almacenamiento de gas LP. y con la ayuda del Análisis de riesgos se identificó el siguiente escenario hipotético: “Explosión del Tanque Horizontal MJA-T-36”. Se hace notar que éste es un evento muy poco probable, sin embargo, se está analizando con el objetivo de poner en práctica una metodología de análisis y corroborar que se cuentan con las medidas preventivas adecuadas.

La metodología usada para elaborar el Árbol de fallas es la misma que se describe en la sección 2.7.2.

Como se muestra en el diagrama 3.5-A, la explosión del tanque MJA-T-36 se puede dar por tres causas principales como son: la sobrepresión del tanque, falla en el diseño del tanque o por deterioro durante su servicio y por fallas ajenas al sistema causadas por eventos que no se pueden controlar como por ejemplo los naturales (terremotos, huracanes, etc).

Una vez que se obtiene la probabilidad del evento culminante por medio del árbol de fallas, esta se compara con un potencial de pérdida correspondiente a la pérdida probable total (en dólares) que se daría si el accidente llegara a presentarse, en la tabla 3.6 se muestran los valores del potencial de pérdida y de pérdida probable total, los cuales fueron obtenidos de la literatura.<sup>(5)</sup>

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. Por otro lado, si la probabilidad del evento culminante es menor que el potencial de pérdida, el riesgo puede aceptarse y debe de controlarse en su nivel actual.

De acuerdo a la tabla 3.6 se supone que la pérdida máxima probable es de 1 a 10 millones de dólares, es decir, el potencial de pérdida es  $P^o = 1 \times 10^{-5}$ . Al comparar este potencial con la probabilidad obtenida del árbol de fallas ( que fue de  $5.703 \times 10^{-3}$ ), nos damos cuenta que este último es más grande , por lo que no se acepta el riesgo y por lo tanto se debe buscar reducir la probabilidad del evento culminante, mediante la eliminación de sucesos en el árbol, esto se puede dar mediante la implementación de recomendaciones obtenidas del análisis HAZOP. Las probabilidades de cada uno de los eventos del Árbol de Fallas se obtuvieron de la literatura en base a datos registrados, (ver apéndice A).

En el Diagrama 3.5-B se muestra el árbol de fallas para la Explosión del Tanque Horizontal MJA-T-36, donde se incluyen la recomendaciones para reducir la probabilidad del evento culminante.

La probabilidad obtenida del árbol con recomendaciones es menor que el potencial de pérdida por lo que el riesgo se acepta y se controla en su nivel actual. En la tabla 3.7 se muestran los resultados del Análisis de Árbol de Fallas.

Las recomendaciones del Árbol de Fallas se enlistan en el capítulo IV, junto a las resultañtes del Análisis HAZOP, así como las del Análisis de consecuencias.



PROBABILIDAD (P)	FRECUENCIA PROBABLE (F)
10 <sup>0</sup>	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento).
10 <sup>-1</sup>	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año).
10 <sup>-3</sup>	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año).
10 <sup>-5</sup>	Poco probable (no se ha presentado en cinco años).
10 <sup>-7</sup>	Improbable (no se ha presentado en diez años).
10 <sup>-9</sup>	No se ve la probabilidad de que ocurra.
POTENCIAL DE PÉRDIDA (P <sup>o</sup> )	PÉRDIDA PROBABLE TOTAL (EN DÓLARES)
1	1 a 100
10 <sup>-1</sup>	100 a 1,000
10 <sup>-2</sup>	1,000 a 10,000
10 <sup>-3</sup>	10,000 a 100,000
10 <sup>-4</sup>	100,000 a 1,000,000
10 <sup>-5</sup>	1,000,000 a 10,000,000
10 <sup>-6</sup>	10,000,000 a 100,000,000
10 <sup>-7</sup>	100,000,000 a 1,000,000,000
10 <sup>-8</sup>	Mayor de 1000,000,000

Tabla 3.6 Potencial de Pérdida y Pérdida Máxima Probable.<sup>(5)</sup>



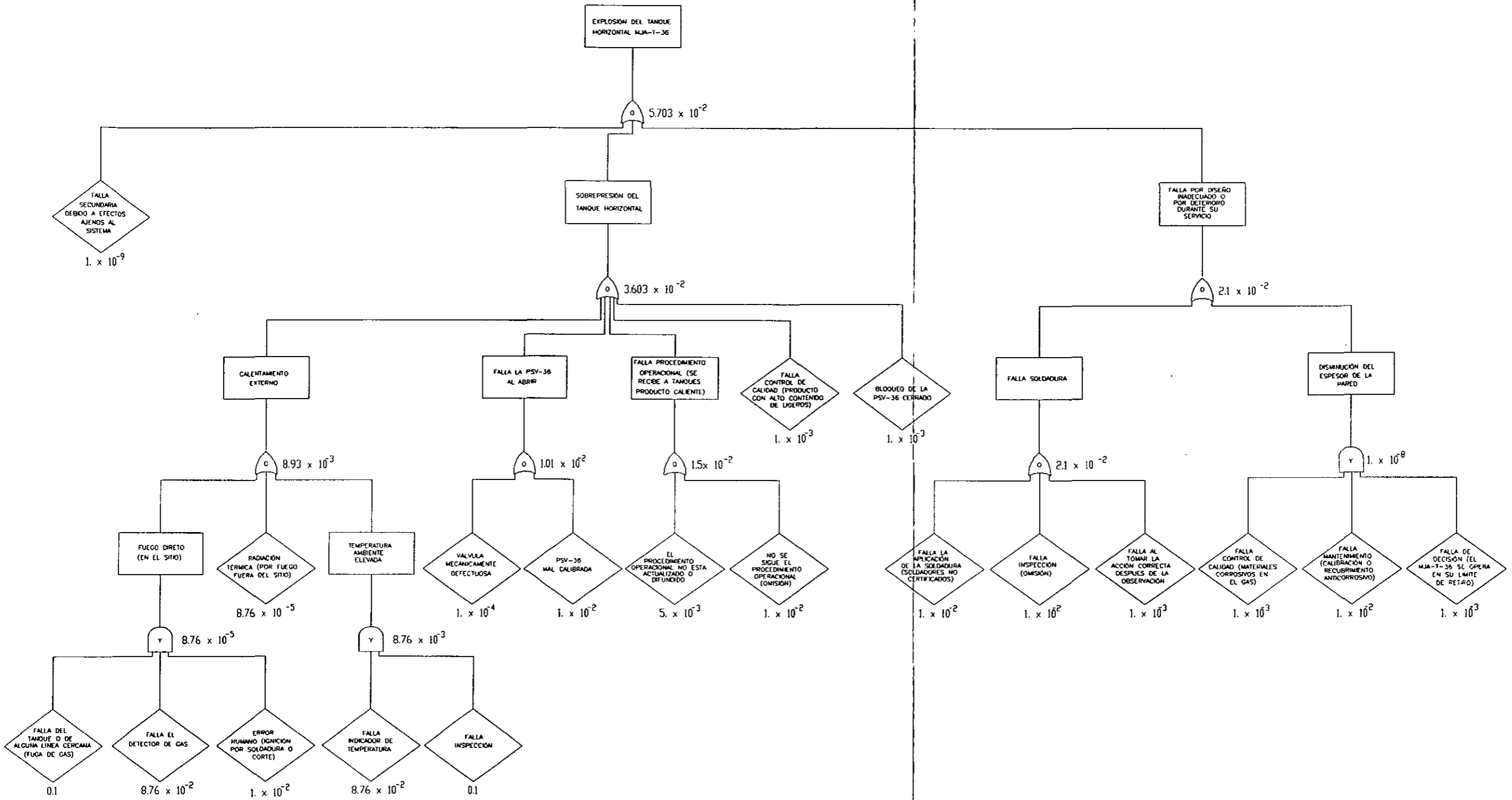
ESCENARIO	SIN RECOMENDACIONES			NO SE ACEPTA EL RIESGO.
EXPLOSIÓN DEL TANQUE HORIZONTAL MJA-T-36.	$P_1$	$P^0$	COMPARACIÓN	
	$5.703 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-5}$	$P_1 > P^0$	
	CON RECOMENDACIONES			
	$P_2$	$P^0$	COMPARACIÓN	
	$1.01 \times 10^{-7}$	$1 \times 10^{-5}$	$P_2 \leq P^0$	SE ACEPTA Y CONTROLA EL RIESGO.

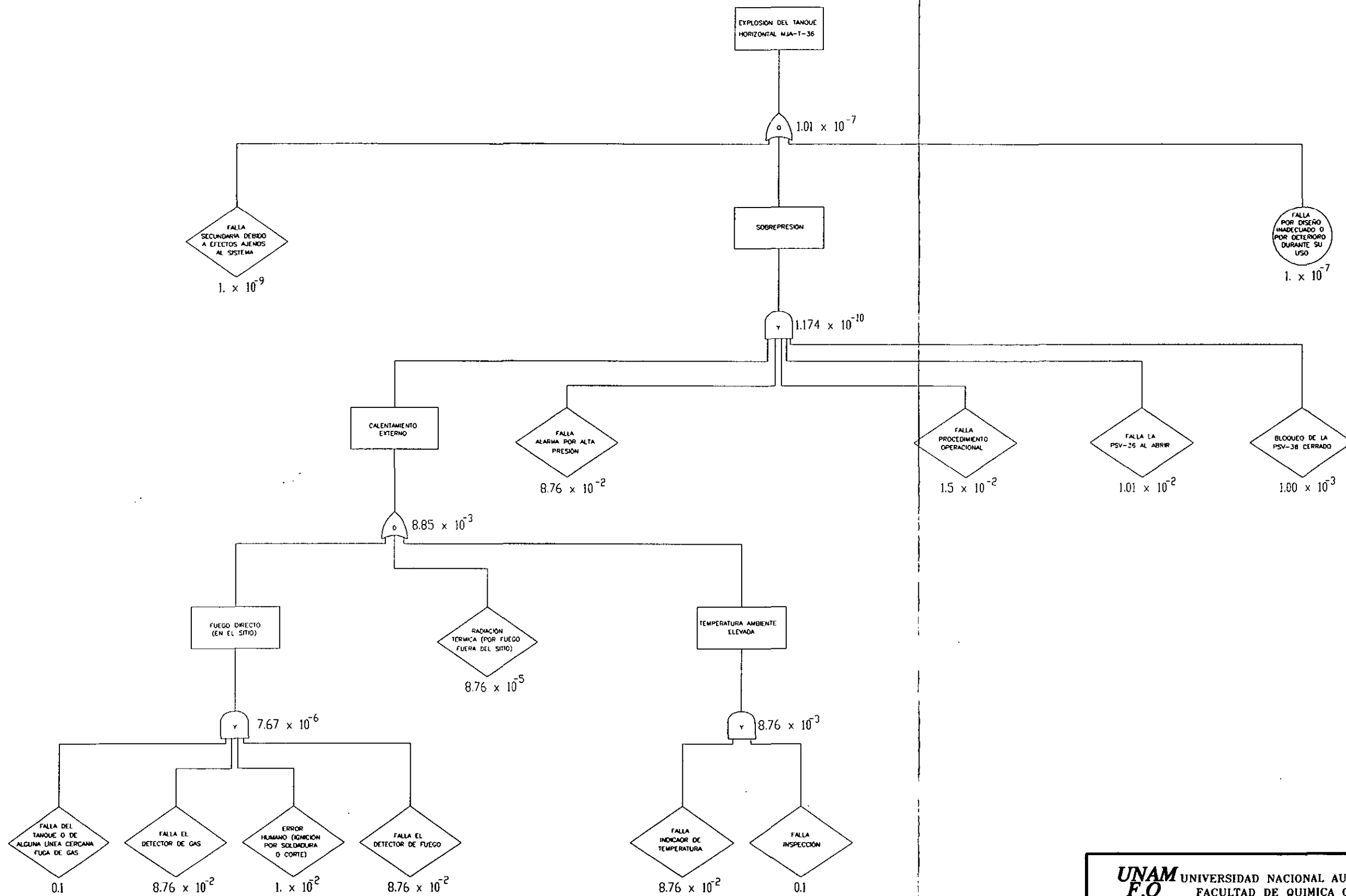
donde :  $P_1$  es la probabilidad del evento culminante sin recomendaciones.

$P_2$  es la probabilidad del evento culminante con recomendaciones.

$P^0$  es el potencial de pérdida.

**Tabla 3.7 Resultados del Análisis de Árbol de Fallas.**







### 3.4. DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

Para la evaluación de los diferentes escenarios se utilizó un programa desarrollado por la Federal Emergency Management Administration (FEMA), el Department of Transportation (DOT) y la Environmental Protection Agency (EPA), denominado ARCHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation).<sup>(4)</sup>

Los escenarios hipotéticos escogidos para el análisis de consecuencias se enlistan a continuación:

- 1.- Explosión de una nube de vapor no confinada provocada por la fuga del tanque horizontal MJA-T-36.
- 2.- Explosión por sobrepresión del Tanque Horizontal MJA-T-36.
- 3.- Evaluación de los efectos de la radiación térmica provocada por una bola de fuego.

En el tanque horizontal MJA-T-36 se almacena la mezcla propano-propileno proveniente de la Planta Catalítica "ME". Para la evaluación de los tres escenarios se consideró que solo se tenía almacenado puro propileno ya que es la sustancia más peligrosa de las dos y además de que el modelo usado (ARCHIE), no da resultados confiables para mezclas de sustancias.

Los datos de las propiedades físicas y químicas del propileno así como los datos de operación y diseño del tanque horizontal MJA-T-36 necesarios para realizar el análisis de consecuencias, se muestran en la tabla 3.8.



DATOS DE OPERACIÓN Y DISEÑO.	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS. (PROPILENO)
Diámetro: 9 Ft.	Peso molecular: 42
Longitud: 60 Ft.	Punto normal de ebullición: -52.6 °F
Presión de Diseño: 249 psia.	Presión de vapor (a 86 °F): 192 psia.
Presión de Ruptura del tanque: 328 psia.	Gravedad específica: .609
Coefficiente de Descarga: 0.62	Límite Inferior de Inflamabilidad: 2.0 %vol.
Diámetro de la Descarga: 2".	Límite Superior de Inflamabilidad: 9.0 %vol.
Volumen total contenido en el tanque: 3817 Ft <sup>3</sup> .	Calor de Combustión: 19683 BTU/lb.
	Factor de Explosividad: 0.03
	Coefficiente de capacidades caloríficas(Cp/Cv): 1.3

**Tabla 3.8 Datos para el Análisis de Consecuencias.**

### **EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA EXPLOSIÓN DE UNA NUBE DE VAPOR NO CONFINADA.**

Lo primero que se hizo fue determinar el escenario hipotético, el cual se describe a continuación:

Fuga del Tanque Horizontal MJA-T-36 por un la línea de 2" que es usada para purgar el tanque y para tomar muestras por parte del laboratorio (se escogió esta línea por ser la que más se manipula durante la operación del tanque y debido a que ya han tenido un incidente relacionado con el purgado del tanque según comentarios de los ingenieros del área).



Se considera que todo el contenido del tanque se fuga, es decir, toda la masa dentro del recipiente pasa al estado gaseoso formando parte de la nube de vapor en forma instantánea.

El modelo utilizado calcula primero la cantidad descargada, la velocidad de la descarga y la duración de la descarga. Luego se evalúan los riesgos de la formación de una nube de vapor no confinada. Los resultados obtenidos del modelo se muestran en la tabla 3.9 y se ilustran en el Diagrama 3.6-A.

Por último se obtienen los efectos de la explosión de una nube de gas no confinada, estos resultados se muestran en la tabla 3.10.

### **EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA EXPLOSIÓN POR SOBREPRESIÓN DEL TANQUE HORIZONTAL MJA-T-36.**

El segundo escenario a evaluar es la explosión del tanque horizontal MJA-T-36 debido a la sobrepresión. Para que se de esta explosión se debe de vencer la resistencia del tanque por parte de la presión interna del mismo. Al producirse la explosión, se provocan ondas de choque de diferente presión de acuerdo a la distancia de separación del recipiente, además de que se forman proyectiles con fragmentos del mismo tanque los cuales producen mayores daños.

Los resultados obtenidos para este modelo se muestran en la tabla 3.11.



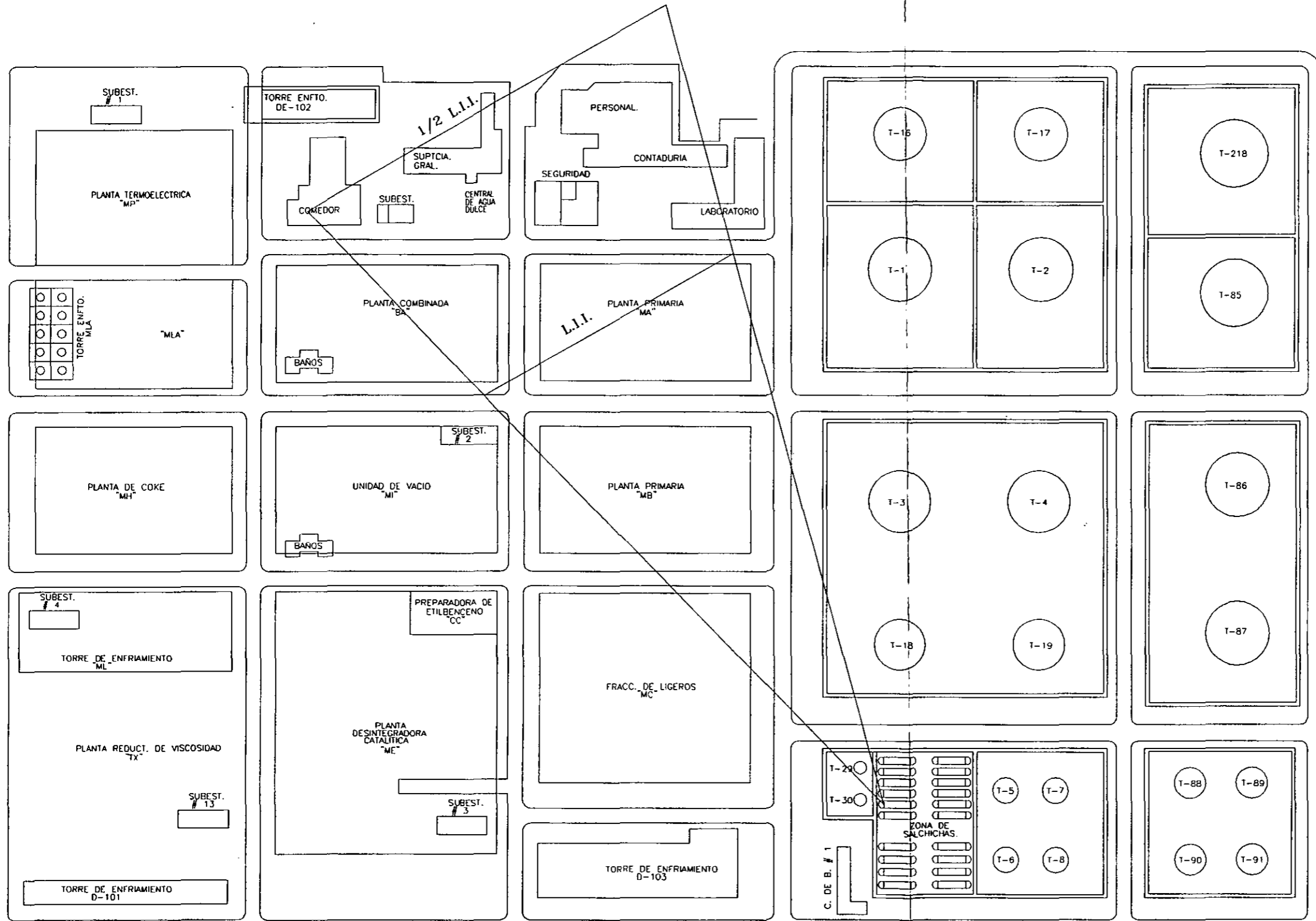


Velocidad de descarga:	6433.3 lb/min
Duración de la descarga:	18.3 min.
Cantidad descargada:	117092 lbs.
Estado:	Mezcla de gas/aerosol
Distancia máxima de riesgo en la dirección del viento para un medio del límite inferior de inflamabilidad (1/2 L.I.I.):	1484 ft (452 m)
Distancia máxima de riesgo en la dirección del viento para el límite inferior de inflamabilidad (L.I.I.):	1021 ft (311 m)
Ancho máximo de la zona de riesgo para un medio del límite inferior de inflamabilidad (1/2 L.I.I.):	742 ft (226 m)
Ancho máximo de la zona de riesgo para el límite inferior de inflamabilidad (L.I.I.):	511 ft (156 m)
Peso máximo de gas explosivo para un medio del límite inferior de inflamabilidad (1/2 L.I.I.):	16683 lbs.
Peso máximo de gas explosivo para el límite inferior de inflamabilidad (L.I.I.):	11474 lbs.

**Tabla 3.9. Resultados de la Formación de una Nube de Gas no Confinada.**

DISTANCIA		EFECTOS EN GENERAL.
(Ft)	(m)	
25828	7872	Rompimiento de ventanas bajo tensión.
3639	1110	Algunos daños a techos de casas, 10% de ventanas rotas.
1358 a 2356	414 a 718	Ventanas usualmente fragmentadas; algunos otros daños.
1358	414	Casas parcialmente demolidas, inhabitables.
349 a 1358	106 a 414	Daños causados por fragmentos de vidrios en el aire
820	250	Derrumbe parcial de muros de casas.
625 a 820	191 a 250	Se cuartea el concreto de las calles.
279 a 724	85 a 221	Ruptura de la membrana auditiva del 90% a 1% en la población expuesta.
705	215	50% de destrucción de casas.
522 a 625	159 a 191	Daños a panel de acero y edificios.
456	139	Daños a paneles y mamparas de madera.
376 a 456	115 a a139	Casi una completa destrucción de las casas que se encuentran cerca.
309	94	Total destrucción de construcciones.
185 a 256	56 a 78	La población cercana se afecta en un intervalo del 99% al 1% con daños fatales.

**Tabla 3.10. Efectos de la Explosión de una Nube de Gas no Confinada.**





DISTANCIA		EFECTOS EN GENERAL.
(Ft)	(m)	
8266	2520	Rompimiento de ventanas bajo tensión.
1214	370	Algunos daños a techos de casas, 10% de ventanas rotas.
445 a 793	136 a 242	Ventanas usualmente fragmentadas; algunos otros daños.
445	136	Casas parcialmente demolidas, inhabitables.
105 a 445	32 a 136	Daños causados por fragmentos de vidrios en el aire
286	87	Derrumbe parcial de muros de casas.
236 a 286	72 a 87	Se cuartea el concreto de las calles.
82 a 284	25 a 86	Ruptura de la membrana auditiva del 90% a 1% en la población expuesta.
275	84	50% de destrucción de casas.
186 a 236	57 a 72	Daños a panel de acero y edificios.
154	47	Daños a paneles y mamparas de madera.
117 a 154	36 a 47	Casi una completa destrucción de las casas que se encuentran cerca.
87	26	Total destrucción de construcciones.
66 a 82	20 a 25	La población cercana se afecta en un intervalo del 99% al 1% con daños fatales.

**Tabla 3.11. Explosión por Sobrepresión del Tanque Horizontal MJA-T-36.**

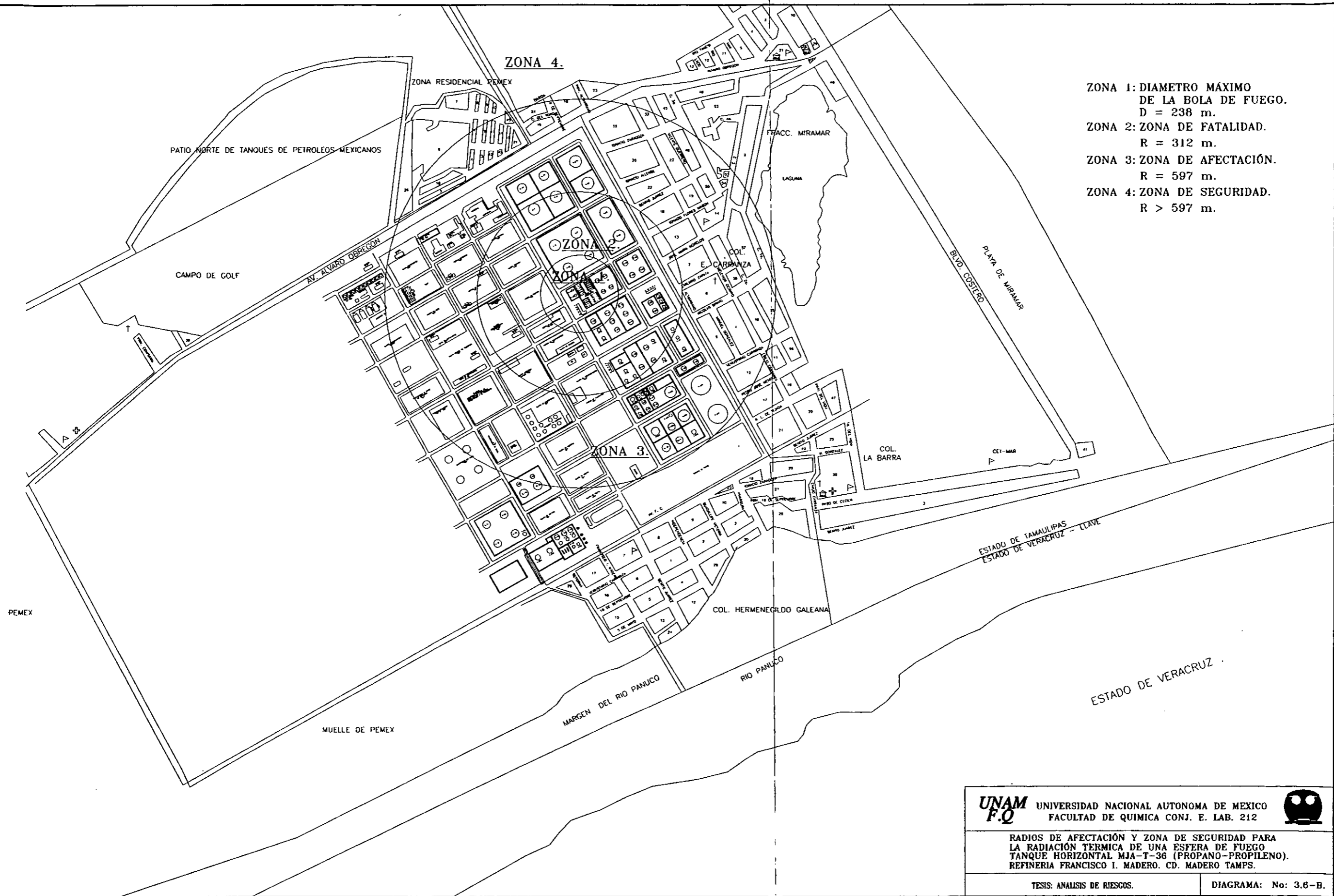
### EVALUACIÓN DE LOS EFECTOS DE LA RADIACIÓN TÉRMICA DE UNA ESFERA DE FUEGO.

Para que se de una bola de fuego primero se tiene que dar una BLEVE, es decir, el propileno al tener una temperatura de ebullición menor a la temperatura ambiente pasa al estado gaseoso de manera inmediata cuando se produce la fuga del tanque. Esta masa de gas cuando encuentra una fuente de ignición produce la bola de fuego. Nuestro modelo calcula el diámetro de la bola de fuego, el radio de la zona de fatalidad y el radio de la zona de afectación. Los resultados se muestran en la tabla 3.12. y se ilustran en el Diagrama 3.6-B.



Diámetro máximo de la bola de fuego:	780 ft (238 m)
Altura máxima de la bola de fuego:	1282 ft (391 m)
Duración de la bola de fuego:	15.7 seg.
Radio de la zona de desastre:	1021 ft (311 m)
Radio de la zona afectada:	1958 ft (597 m)

**Figura 3.12. Resultados de la Bola o Esfera de Fuego en el Tanque Horizontal MJA-T-36.**



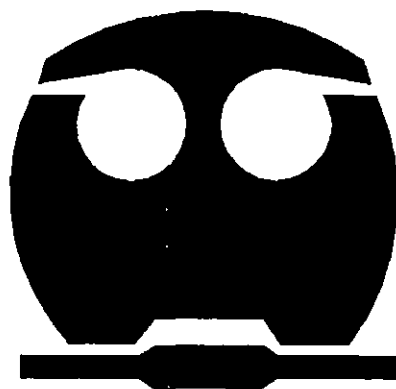
- ZONA 1: DIAMETRO MÁXIMO DE LA BOLA DE FUEGO.  
D = 238 m.
- ZONA 2: ZONA DE FATALIDAD.  
R = 312 m.
- ZONA 3: ZONA DE AFECTACIÓN.  
R = 597 m.
- ZONA 4: ZONA DE SEGURIDAD.  
R > 597 m.

<b>UNAM</b> <b>F.Q.</b>	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA CONJ. E. LAB. 212	
RADIOS DE AFECTACIÓN Y ZONA DE SEGURIDAD PARA LA RADIACIÓN TÉRMICA DE UNA ESFERA DE FUEGO TANQUE HORIZONTAL MJA-T-36 (PROPANO-PROPILENO). REFINERIA FRANCISCO I. MADERO. CD. MADERO TAMPS.		
TESIS: ANALISIS DE RIESGOS.	DIAGRAMA: No: 3.6-B.	



## CAPITULO IV.

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.





#### 4.1. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD “HAZOP”.

Del Análisis de Peligros y Operabilidad realizado en un Área de Almacenamiento de gas LP se obtuvieron un total de 26 recomendaciones enfocadas a buscar que el área sea mucho más segura. Ciertamente en el área de almacenamiento se cuenta con el equipo de seguridad necesario para evitar cualquier accidente o en su caso mitigar las consecuencias que tendría si llegara a presentarse alguno, sin embargo, estas recomendaciones permitieron detectar áreas en las cuales la seguridad se podía mejorar aun más implementando una serie de acciones. Las recomendaciones obtenidas se clasificaron de acuerdo al nivel de riesgo encontrado, con las letras A (de alta prioridad), B (de mediana prioridad) y C (de baja prioridad). Se obtuvieron 19 recomendaciones A y 7 B. Cabe mencionar que de los siete nodos analizados si se clasificaron varias recomendaciones como C, pero para los tres nodos que se presentan en este trabajo ninguna de las recomendaciones alcanzo la clasificación de C. A continuación en la tabla 4.1 se enlistan las recomendaciones de acuerdo a su orden jerárquico.



ESCENARIO	RECOMENDACIONES	NIVEL
1. Indebido control operacional de las esferas.	1. Instalar un indicador de flujo a la salida del cabezal de desfogue de alta presión de esferas y salchichas, con alarma luminosa y sonora por alto flujo.	A
2. Bloqueo de la válvula de mariposa que se localiza después del maníful y antes de los tanques de sello.	2. Elaborar un programa de mantenimiento preventivo para la válvula de mariposa que se localiza después del maníful, en la línea de desfogue de alta presión de gas LP y antes de los tanques de sello y que SITSI verifique su aplicación.	A
3. Corrosión interna del cabezal de desfogue por presencia de disolución cáustica en el gas LP.	3. Aplicar y verificar el cumplimiento efectivo de los procedimientos de control de calidad de los productos que se envían a almacenamiento de gas LP.	A
	4. Implementar el sistema de trampas de sosa en los tanques esféricos y horizontales.	A
	5. Revisar diseño y material de cabezales de desfogue.	A
4. Actos de robo (Se roban los cables de tierra del equipo de proceso).	6. Agilizar el trámite de adquisición del circuito detector de movimiento alrededor de la barda perimetral.	A
	7. Instalar un circuito cerrado de monitoreo y un sistema de detección de metales en cada puerta de la Refinería.	A
	8. Instalar un sistema de detección de metales en las puertas de la Refinería.	A
5. Calentamiento de fusibles por alta temperatura ambiente y envejecimiento acelerado de los fusibles del sistema oleodinámico por efecto del medio ambiente.	9. Elaborar un estudio para independizar por áreas el sistema oleodinámico en casa de bombas 1 y 2, con alarma sonora y visual localizadas en el cuarto de control en caso de falla del sistema oleodinámico. Llevando a cabo las acciones pertinentes para su realización.	A





ESCENARIO	RECOMENDACIONES	NIVEL
6. Presencia de sosa y agua en la corriente de entrada del tanque esférico MJA-T-43.	10. Elaborar un programa de reparación general de esferas dando prioridad a las esferas 43, 44 y 58 con sus tomas de muestra. Asignando los recursos necesarios para dar cumplimiento a dichos programas de reparación	A
	11. Dar cumplimiento de manera adecuada al procedimiento de drenado y muestreo en tanques los esféricos y horizontales.	A
7. Corrosión generalizada en el exterior de la esfera por medio ambiente salino (marino).	12. Elaborar, implantar y difundir un procedimiento para eliminar arrastre de sosa y agua en la corriente de gas LP.	A
8. Presionamiento no controlado de la esfera para poder alcanzar el NPSH de las bombas P-204 A, P-205 B y P-104 A	13. Tener por escrito un procedimiento para aumentar presión dentro de la esfera MJA-T-43 en condiciones no rutinarias. Este procedimiento se tiene que difundir y aplicar.	A
9. Producto que llega a las esferas mas caliente.	14. Instalar un TI con alarma en la línea de salida de producto de la torre desbutanizadora de la planta FCC, así como un TI con señal al cuarto de control, en la línea de entrada a las esferas.	A
10. Presencia de ligeros en la corriente de entrada.	15. Instalar una señal de alarma por alta presión al cuarto de control en la esfera MJA-T-43.	A
11. Recibo de butano-butileno de FCC sin que la bomba 104 B (butano- butileno) este en funcionamiento.	16. Realizar el estudio pertinente para la instalación de PSV's en la línea de recibo de plantas a tanque esférico de almacenamiento MJA-TE-234, en la línea de succión a la bomba 104 B, en la línea de butano-butileno de MJL, en la línea de succión de las bombas MJA-P-201 A/B, en las líneas de succión y recibo de los circuitos de gas de alta y baja presión y en la descarga de las bombas MJA-T-200 A/B. Posteriormente llevar a cabo las acciones pertinentes que resulten del estudio.	A



ESCENARIO	RECOMENDACIONES	NIVEL
12. Falta de aplicación del procedimiento global interno de comunicación de las diferentes áreas de la refinería (mantenimiento, operación, seguridad, planeación, recursos humanos y gerencia).	17. Difundir, aplicar estrictamente y dar seguimiento al procedimiento para la administración del cambio por parte de todas las áreas involucradas (mantenimiento, operación, seguridad, planeación, recursos humanos y gerencia). Formar equipos de soporte técnico para dicha administración.	A
13. Línea de recibo de isobutano de barcos y de descarga de esferas 43, 44 y 233 a planta MR con servicio doble.	18. Realizar el estudio pertinente y llevar a cabo las acciones que resulten para independizar las líneas de descarga de gas LP, isobutano y propileno de buque tanque a refinería, así como de la línea de recibo de barcos y descarga de esferas, cumpliendo en forma estricta con el procedimiento de la administración del cambio.	A
14. Contaminación de butano butileno con isobutano por dejar alineado el bloqueo de paso de interconexión de succión de esferas 233 y 234.	19. Que la unidad de Recursos Humanos proporcione suficiente personal capacitado para que las guardias estén completas, evitando que el personal de turno doble guardias en exceso.	A
15. Presencia de oxígeno mayor de 0.3% dentro de la esfera.	20. En época de tormentas eléctricas se debe tener una mayor precaución en el seguimiento de procedimientos y monitoreos.	B
16. Mayor temperatura de la corriente de entrada a la esfera.	21. Instalar en la torre de observación (bunker-1) una alarma por alta temperatura en la salida de la línea de butano-butileno	B
17. Presencia de pesados en la corriente de entrada, como son pentano e isopentano.	22. En caso de recibirse disolución cáustica, instalar bomba y líneas para mandarse a la planta de sosas gastadas, en caso de que sean hidrocarburos pesados enviarlos hacia tanques de gasolina.	B



ESCENARIO	RECOMENDACIONES	NIVEL
18. Válvulas de bloqueo, antes o después de las válvulas PSV's, cerradas.	23. Asegurar el flejamiento de las válvulas de bloqueo que están antes y después de las PSV's de todos los tanques esféricos y horizontales.	B
19. Contaminación de butano butileno con isobutano por dejar alineada la línea de succión de esferas 43, 44 y 58 cuando se recibe isobutano de buque tanques.	24. Instalar una válvula de bloqueo común de 4" en la línea de succión de esferas MJA-T-43, 44 y 58.	B
20. Corrosión generalizada en el exterior de la esfera debido al medio ambiente salino (marino).	25. Dar cumplimiento al punto del procedimiento de medición de espesores en tanques, que dice que se debe de aplicar recubrimiento en el punto de medición de espesor.	B
	26. Soldar placas de refuerzo entre la estructura (cuerpo del tanque) y accesorios.	B

**Tabla 4.1 Lista Jerárquica de Recomendaciones.**

## 4.2. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.

Como se vio en el capítulo anterior, la probabilidad de la explosión del tanque horizontal MJA-T-36 es mayor que el potencial de pérdida fijado para este accidente, lo cual quiere decir que no se acepta el riesgo. Para reducir la probabilidad de este accidente es necesario implementar algunas de las recomendaciones que se obtuvieron del Análisis del nodo "Tanque horizontal MJA-T-36 y Líneas de Carga y Descarga". En la tabla 4.2 se enlistan algunas de



las recomendaciones que permiten disminuir la probabilidad de ocurrencia del accidente antes mencionado.

Tomando en consideración las recomendaciones surgidas del análisis HAZOP, la probabilidad de la explosión del tanque horizontal disminuyó de  $5.703 \times 10^{-2}$  a  $1.01 \times 10^{-7}$ , lo cual ya es menor al potencial de pérdida ( $1 \times 10^{-5}$ ), permitiendo aceptar el riesgo y con la obligación de mantenerlo en su nivel o tratar de disminuirlo mucho más mediante otro análisis.

ESCENARIO	P1	P2	RECOMENDACIÓN.
Explosión Del Tanque Horizontal MJA-T-36 debido a la Sobrepresión.	$5.703 \times 10^{-2}$	$1.01 \times 10^{-7}$	1. Instalar una señalización con alarma sonora y luminosa por alto nivel en el tanque horizontal MJA-T-36 al cuarto de control de la casa de bombas No. 1.
			2. Elaborar, difundir y aplicar procedimientos operativos para la falla del equipo de medición de nivel en el MJA-T-36.
			3. En cada paro institucional de la planta FCC (cada 2 años), dar mantenimiento al sistema de medición de nivel (Rotogage) del MJA-T-36.
			4. Elaborar y dar cumplimiento al programa de mantenimiento preventivo de las válvulas Vickers y de relevo (PSV'S) de entrada y salida de tanques horizontales y esferas.

**Tabla 4.2 Recomendaciones del Árbol de Fallas.**



### 4.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

Los resultados obtenidos para el análisis de consecuencias se muestran en el capítulo III, gracias a estos resultados se obtuvieron varias recomendaciones con el fin de que si se llegase a presentar el evento no deseado, estas pudieran mitigar de alguna manera los efectos que provocaría el accidente en el personal e instalaciones tanto de la refinería como de fuera de ella. Las recomendaciones más importantes se muestran en la tabla 4.3.

ESCENARIOS.	RECOMENDACIONES
1.- Explosión de una Nube de Vapor no Confinada provocada por la fuga del Tanque Horizontal MJA-T-36.	1. Elaborar en base a los resultados obtenidos en el análisis de consecuencias, planes de emergencia y rutas de evacuación y su señalización para mitigar los daños causados por la radiación térmica de la bola de fuego y por las ondas de presión.
2.- Explosión por sobrepresión del Tanque Horizontal MJA-T-36.	
3.- Evaluación de los efectos de la Radiación Térmica provocada por una bola de fuego.	2. Dar a conocer al personal de toda la refinería los riesgos de incendio y explosión de una nube de propileno no confinada

**Tabla 4.3 Recomendaciones del Análisis de Consecuencias.**



## CONCLUSIONES GENERALES.

Este trabajo forma parte del Análisis de Riesgos que se practicó en el área de almacenamiento de gas LP de la refinería Francisco I. Madero. Dicho análisis servirá como un instrumento para lograr que la seguridad en el área sea mucho mejor. Por otra parte este estudio servirá a la refinería para seguir cumpliendo con la implementación del SIASPA, en especial a lo referente al elemento No. 12 sobre Análisis de riesgos.

Como conclusión final se puede decir que se cumplieron los objetivos planteados para este trabajo, ya que al aplicar el Análisis de Peligros y operabilidad HAZOP se identificaron los peligros potenciales que podrían provocar algún accidente con consecuencias lamentables. También se cumplió con el objetivo de mejorar la seguridad de los trabajadores y de la población circunvecina al obtener mediante el análisis de peligros un total de 26 recomendaciones de las cuales 19 eran de nivel A (de alta prioridad) y 7 de nivel B (de mediana prioridad). Para darle seguimiento a estas recomendaciones se elaboró un plan de trabajo con fechas de compromiso a cumplir.

Por otra parte, al aplicar el Análisis de Árbol de Fallas se logró cuantificar la probabilidad de ocurrencia de la explosión del tanque horizontal MJA-T-36. De este análisis se obtuvieron una serie de recomendaciones que al ser implementadas reducirán la probabilidad de que tenga lugar dicho accidente.

Por último gracias al Análisis de Consecuencias y Efectos se logró cumplir con el tercer objetivo de este trabajo, ya que al escoger un escenario hipotético de un



accidente, se evaluaron los efectos que provocaría a los empleados y a la población circundante si este accidente se llegara a presentar. Mediante el análisis de consecuencias se obtuvieron una serie de recomendaciones enfocadas a mejorar las acciones que se efectúan en la refinería con el fin de mitigar los efectos de algún accidente.

Finalmente el realizar este trabajo sirvió para tener una definición más clara de las responsabilidades que un ingeniero químico tiene dentro de la industria, como es el tener como prioridad principal la seguridad y protección de sus trabajadores, de la comunidad y del medio ambiente.

Gracias a este trabajo se logró comprender que una de las tareas del ingeniero químico en cualquier industria (no solo en la petrolera), es el aplicar la cultura de Ganar-Ganar, es decir; se debe de lograr que la industria gane en el aspecto económico pero también se debe lograr que los trabajadores y comunidad en general ganen en el aspecto de seguridad y bien social.



**APÉNDICE A.**  
**PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE ACCIDENTES**  
**UTILIZADAS EN EL ÁRBOL DE FALLAS**

<b>FALLA O ERROR</b>	<b>PROBABILIDAD</b>
Falla de gas por la falla en la 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 la acción correcta después de la observación	1E-3
Falla control de calidad (materiales corrosivos)	1E-3
Falla mantenimiento (calibración o recubrimiento anticorrosivo)	1E-2
Falla de decisión (se opera en el límite de retiro)	1E-3
Falla operacional (equivocacional)	1E-3
Falla secundaria debida a efectos ajenos al sistema	1E-9
Falla del procedimiento operacional (omisión)	1E-2
Falla del indicador de nivel	8.76E-2
Falla la válvula de cierre rápido	8.76E-2
Falla la alarma por alto nivel	8.76E-2
Falla alarma por alta presión	8.76E-2
Falla indicador de temperatura a la salida de los cambiadores	8.76E-2
Falla del diseño o deterioro durante su servicio	1E-2
Falla en la toma de decisión (operación de la línea en su límite de retiro)	1E-3
Procedimiento no actualizado o difundido	5E-3
No se sigue el procedimiento operacional	1E-2
Falla de la bomba	1E-1
Falla el interruptor	1E-1
Corto circuito	1E-1
Falta de corriente eléctrica	1E-1/1E-2
Falla en el motor	1E-3
Error de operación	1E-1
Falla mecánica	1E-4
Error de inspección	1E-1
Falla bomba centrífuga	1.04E-4
Falla bomba centrífuga (catastrófico).	1.04E-6
Falla bomba (impulsada a motor)	2.4E-6





## APÉNDICE B EFECTOS DE LA SOBREPRESIÓN

<b>SOBREPRESIÓN. (PSIG)</b>	<b>DAÑOS ESPERADOS.</b>
0.03	Rompimiento de ventanas bajo tensión.
0.30	Algunos daños a techos de casas, 10% de ventanas rotas.
0.50-1.0	Ventanas usualmente fragmentadas; algunos otros daños.
1.0	Casas parcialmente demolidas, inhabitables.
1.0-8.0	Daños causados por fragmentos de vidrios en el aire
2.0	Derrumbe parcial de muros de casas.
2.0-3.0	Se cuartea el concreto de las calles.
2.4-12.2	Ruptura de la membrana auditiva del 90% a 1% en la población expuesta.
2.5	50% de destrucción de casas.
3.0-4.0	Daños a panel de acero y edificios.
5.0	Daños a paneles y mamparas de madera.
5.0-7.0	Casi completa destrucción de las casas que se encuentran cerca.
10	Total destrucción de construcciones.
15.5-29.0	La población cercana se afecta en un intervalo del 99% al 1% con daños fatales.



**APÉNDICE C.**  
**FACTORES DE EXPLOSIVIDAD PARA VAPORES Y GASES.**

FACTOR DE EXPLOSIVIDAD. (f)	SUBSTANCIA.	
<b>f = 0.03</b>	Acetona	n-Decano
	Acrilonitrilo	n-Heptano
	Benceno	n-Hexano
	Monóxido de carbono	n-Pentano
	Eter dimetilico	n-Propanol
	Etanol	Acetato de n-propilo
	Etano.	Eter de petróleo
	Hidrógeno	Propano
	Sulfuro de hidrógeno	Propileno
	Alcohol isopropílico	p-Xileno
	Acetato de metilo	Tetrafloruro de etileno
	n-Butano	Tolueno
	Acetato de n-butilo	Acetato de vinilo
	Metano	Cloruro de vinilo
	Metanol	Gas de agua
<b>f = 0.06</b>	Disulfuro de carbono	Eter di-vinílico
	Ciclohexano	Etileno
	Eter di-etílico	Oxido de propileno
<b>f = 0.19</b>	Acetileno	Nitrometano
	Oxido de etileno	Vinil acetileno



## GLOSARIO DE TÉRMINOS.

**Análisis de Riesgos:** Conjunto de técnicas que consisten en la identificación, análisis y evaluación sistemática de la probabilidad de la ocurrencia de daños asociados a los factores externos e internos con el objetivo de controlar y/o minimizar las consecuencias a los empleados, población en general, medio ambiente, producción y/o a las instalaciones.

**Accidente:** Evento o combinación de eventos no deseados, inesperados e instantáneos, que tienen consecuencias tales como lesiones al personal, daños a terceros en sus bienes o en sus personas, daños al medio ambiente, daños a las instalaciones o alteración a la actividad normal del proceso.

**Causa:** Razón motivo u origen real (primario), por el que ocurrió un incidente o accidente.

**Comburente:** Sustancia que provoca la combustión a otra o la activa.

**Combustible:** Materiales sólidos, líquidos o gaseosos que arden al combinarse con un comburente y en contacto con una fuente de ignición.

**Combustión:** Reacción exotérmica de un combustible, con un oxidante (comburente).

**Consecuencia:** Daño leve o grave resultado de un evento no deseado, medido por sus efectos en los empleados, público en general, el medio ambiente, la producción y/o las instalaciones (equipo y maquinaria.).

**Desviación:** Es la combinación de la palabra guía con el parámetro que indica una modificación cualitativa o cuantitativa de la variable de diseño.

**Deflagración:** Explosión en la cual se producen ondas de sobrepresión, cuya velocidad es menor a la velocidad del sonido.



**Detonación:** Explosión en las ondas de choque producidas rebasan, con mucho, a la velocidad del sonido.

**Dique:** Muro de contención de líquidos

**Efecto Domino.** Serie de eventos no deseados y consecutivos cuya causa iniciadora es la misma.

**Explosión.** Expansión violenta de gases que se producen por una reacción química, por ignición o por calentamiento de ciertos materiales que dan lugar a fenómenos acústicos, térmicos y mecánicos.

**Escenario de Consecuencias:** Es la determinación de un accidente hipotético que ocurre bajo condiciones determinadas, definiendo mediante el uso de modelos matemáticos y criterios acordes a las características de los procesos y/o materiales, las zonas que se ven afectadas.

**Frecuencia:** Número de fallos o errores que se presentan por año, día, hora o demanda.

**Incidente:** Evento no deseado que puede o no traer consecuencias a las personas, al medio ambiente o a las instalaciones.

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

**Inflamable:** Material combustible que llega fácilmente a su punto de ignición y arde muy fácilmente teniendo una gran velocidad de propagación de la flama.

**Nodo:** Es una 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.



**Parámetro:** Es una manifestación física o química del proceso como lo es el flujo, nivel, temperatura, velocidad, composición, etc.

**Palabra Guía:** Aquella palabra que indica la desviación de la variables de diseño.

**Peligro:** Exposición a un riesgo.

**Protección:** Es todo lo bueno que tienen un sistema de proceso (tubería, recipiente, reactor, etc.) para reducir la probabilidad de que ocurra un accidente o bien para mitigar sus efectos.

**Recomendaciones:** Serie de acciones a implementar con el objetivo de incrementar la seguridad en determinada área.



## BIBLIOGRAFÍA.

1. Santamaría Ramiro, J.M. y Braña Aísa, P.A.

**Análisis de Riesgos en la Industria Química.**

Capitulo II, Fundación MAPFRE, España, 1994.

2. IMP

**Hazard Assesment and Risk Analysis Techniques for Process Industries.**

Mexico City, 1994.

3. Independent Engineering Services LTD.

**Seminario Sobre Estudios HAZOP.**

México, 1998.

4. Federal Emergency Management Agency.

**Manual of Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation (ARCHIE).**

U.S. 1986.

5. UNAM-Facultad de Química.

**Taller de Análisis de Riesgos y Operabilidad.**

México, 1999.

6. González Colin Armando.

**Tesis “ Normas ,Especificaciones y Procesos para Obtención y Manejo de Gas L.P.”**

Mexico,1988.



7. Bufete de Profesionales en Seguridad Industrial, S.A. de C.V.

**Taller de Análisis de Riesgos.**

8. Stephens. M.M.

**Minimizing Damage to Refineries.**

U:S: Dept. of the Interior,

Office of Oil and Gas, 1970.

9. Norma Oficial Mexicana, NOM-122-STPS-1996.

**Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el funcionamiento de recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas que operen en los centros de trabajo.**

México, 1996.

10. Rodellar Lisa Adolfo.

**Seguridad e Higiene en el Trabajo.**

Barcelona, España, 1988.