

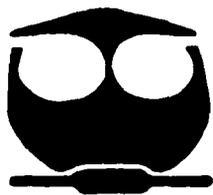


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

"ANALISIS DE RIESGOS EN EL CIRCUITO DE DISOLVENTE
SECO DE UNA PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES
LUBRICANTES"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P R E S E N T A :
N O R M A N D O O M A R T E N A N G O P L I E G O



MEXICO, D. F.



2002.

**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.

Paginación

Discontinua

JURADO ASIGNADO

Presidente.	Prof.	Eduardo Marambio Dennett.
Vocal.	Prof.	Modesto Javier Cruz Gómez.
Secretario.	Prof.	Néstor Noe López Castillo
1er. Suplente.	Prof.	Baldomero Pérez Gabriel
2o. Suplente.	Prof.	Euberto Hugo Flores Puebla

SITIO DONDE SE REALIZÓ EL TEMA:

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

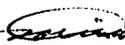
En una Planta Desparafinado de Aceites Lubricantes.

Asesor



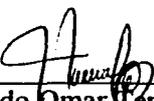
Dr. Modesto Javier Cruz Gómez.

Supervisor Técnico



I.Q. Sonia Monroy Caudillo.

Sustentante



Normando Omar Cenango Pliego

Agradecimientos.

A todo el personal de la Planta Desparafinadra, por brindarnos su ayuda y cooperación para que fuera posible realizar esta Tesis.

Al Doctor M. Javier Cruz Gómez por haberme dado la oportunidad de formar parte de este proyecto.

A todos mis amigos y compañeros del CEASPA Laboratorio 212, por haberme brindado su amistad y ayudado durante el desarrollo de mi Tesis.

A todos mis amigos de la Facultad de Química, por haberme dado su amistad y apoyo en los momentos difíciles como universitario.

Dedicatorias.

A mis papas por todo su amor, cariño y apoyo, ya que sin en ellos no hubiera logrado cumplir mis sueños y metas.

A mis hermanos por haberme dado su apoyo moral durante todo este tiempo y así poder llegar hasta este momento.

A mis compadres por estar en todo momento apoyándome moralmente y animándome para seguir adelante en mi vida profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por darme los conocimientos para poder afrontar mi vida como profesionista y así poder seguir adelante.

GRACIAS.

NORMANDO OMAR TENANGO PLIEGO.

**ÍNDICE DE CONTENIDO.**

	Página
ÍNDICE DE TABLAS	III
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE DIAGRAMAS	V
ABREVIATURAS	VI
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.	
1.1 Justificación del Estudio	1
1.2 Objetivos	4
1.3 Técnicas de Análisis que se usaron	4
CAPÍTULO II. ANTECEDENTES.	
2.1 Concepto de Riesgo	5
2.2 Análisis de Riesgo	6
2.3 Técnicas de Identificación de Análisis de Riesgo	8
2.3.1 Métodos Comparativos de Identificación de Peligros	9
2.3.2 Índice de peligros	9
2.3.3 Métodos Generalizados	11
2.4 Técnicas Utilizadas en el Análisis de Riesgo	14
2.4.1 Análisis de Peligros y operabilidad (HazOp)	14
2.4.2 Análisis de Árbol de Fallas (FTA)	21
2.4.3 Análisis de Consecuencias	26



	Página
CAPÍTULO III. TRABAJO DE CAMPO	
3.1 Descripción del Área de Estudio	28
3.2 Plan de Trabajo para el Análisis de Peligros y Operabilidad (HazOp)	31
3.2.1 Selección de Nodos	32
3.2.2 Resultados de Análisis de Peligros y Operabilidad (HazOp)	34
3.3 Resultados de Análisis de Árbol de Fallas (FTA)	50
3.4 Resultados de Análisis de Consecuencias	57
CAPÍTULO IV. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	
4.1 Recomendaciones de Análisis HazOp	63
4.2 Recomendaciones de Análisis de Árbol de Fallas	67
4.3 Recomendaciones de Análisis de Consecuencias	69
4.4 CONCLUSIONES	70
APÉNDICES	72
BIBLIOGRAFÍA	74

**ÍNDICE DE TABLAS**

	Página
Tabla 1.1 Accidentes en la industria	2
Tabla 2.1 Métodos de Investigación de Peligros	8
Tabla 2.2 Significado de las palabras guía	19
Tabla 2.3 Simbología utilizada en el Árbol de Fallas	25
Tabla 3.1 Niveles de Frecuencia y Gravedad	36
Tabla 3.2 Potencial de Pérdidas y Pérdida máxima probable	51
Tabla 3.3 Composición de la mezcla	57
Tabla 3.4 Propiedades Fisicoquímicas de las sustancias involucradas	58
Tabla 3.5 Datos requeridos para el Análisis de Consecuencia	58
Tabla 3.6 Datos del Acumulador	59
Tabla 3.7 Resultados obtenidos del incendio de la fuga de disolvente	59
Tabla 3.8 Resultados obtenidos del incendio en un Charco de disolvente	60
Tabla 3.9 Resultados obtenidos en la Vaporización en un Charco de disolvente	61
Tabla 4.1 Recomendaciones del análisis HazOp	63
Tabla 4.2 Recomendaciones del análisis del Árbol de Fallas	67



ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1 Sistemática del Análisis HazOp	18
Figura 2.2 Hoja de Registro de Sesión HazOp	20
Figura 2.3 Uso de Información y Productos principales en FTA	22
Figura 3.1 Matriz de Riesgos	36

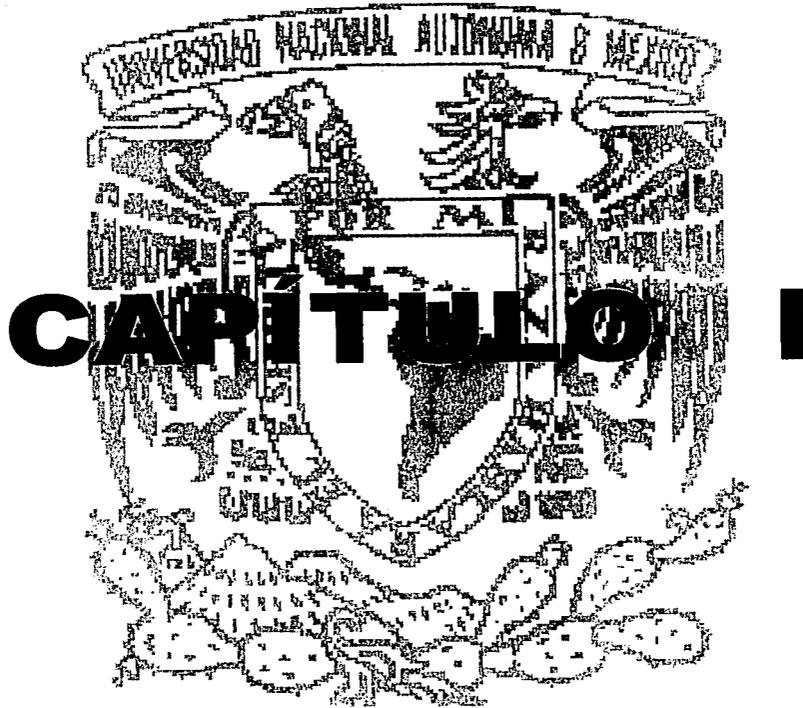
**ÍNDICE DE DIAGRAMAS**

	Página
Diagrama R-11600 Diagrama de flujo de proceso	30
Diagrama R-11600-2 Circuito de Disolvente Seco	44
Diagrama R-11600-3 Circuito de Disolvente Seco	45
Diagrama R-11600-4 Circuito de Disolvente Seco	46
Diagrama R-11600-5 Circuito de Disolvente Seco	47
Diagrama R-11600-6 Circuito de Disolvente Seco	48
Diagrama R-11601-2 Circuito de Disolvente Seco	49
Diagrama 3.1 Árbol de Fallas de la bomba LG-P-305	53
Diagrama 3.2 Árbol de Fallas de la bomba LG-P-305	54
Diagrama 3.3 Árbol de Fallas de la bomba LG-P-305 con Recomendaciones	55
Diagrama 3.4 Árbol de Fallas de la bomba LG-P-305 con Recomendaciones	56
Diagrama 3.5 Radiación generada por el Incendio de un Charco de disolvente	62



LISTA DE ABREVIATURAS

API	American Petroleum Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing Materials
NFPA	National Fire Protection Association
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación
ETA	Event Tree Analysis
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis
FTA	Fault Tree analysis
HazOp	Hazard and Operability
L.I.I.	Límite de inflamabilidad inferior
L.I.S.	Límite de inflamabilidad superior





1.1 JUSTIFICACIÓN.

Nuestra Ingeniería Química a evolucionado durante estos últimos años mejorando el análisis, la administración, la supervisión y el control de procesos; en los cuales se efectúan cambios físicos, químicos y bioquímicos, para transformar materias primas en productos elaborados o semielaborados; así como los diseños, construcción y montaje de plantas y equipos para estos procesos.

El Ingeniero Químico es el encargado de aplicar estos conocimientos teóricos de la ingeniería química y métodos de ingeniería a la solución de problemas en los procesos productivos industriales donde se modifica el estado físico o la composición química de los materiales, con la finalidad de obtener un producto o un servicio en forma óptima.

Durante los últimos años, la sociedad ha tenido la idea de que la Industria Química es de alto riesgo; el principal motivo es el crecimiento desmedido de la industria química tanto en el número de plantas industriales como en la capacidad de estas así como por los incidentes químicos que se han suscitado. Estos cambios involucran el uso de nuevos procesos e inclusive de nuevas industrias, nacimiento de nuevas tecnologías, automatización de las plantas, etc.

Este desarrollo ha propiciado un aumento en el número de personas que cada día pueden estar expuestas a las consecuencias de un accidente industrial (como se muestra en la tabla 1.1). Estos accidentes provocaron cuantiosas pérdidas humanas, materiales e impacto ambiental.

**Tabla 1.1 Accidentes en la Industria.**

LUGAR	ACCIDENTE
Flixborough (Gran Bretaña) 1 de Junio de 1974.	Explosión de una nube de gas producida por una ruptura de tubería que descargó aproximadamente 80 toneladas de ciclohexano líquido caliente.
San Juan Ixhuatepec (México, D.F.) 19 de Noviembre de 1984.	Explosión de contenedores de gas LP.
Bopal (India) 2 de Diciembre de 1984	Fuga de isocianato de metilo en una planta de Unión Carbide, la emisión del gas se esparció sobre una superficie de 40 Km ² .
Texas (EEUUA) Octubre de 1987	Fuga de ácido fluorhídrico.
Guadalajara (México) 23 de abril de 1992	Explosiones en cadena a lo largo de una red urbana de alcantarillado de aproximadamente 13 Km de longitud debido a la presencia de combustible por una fuga de una tubería.

La industria química por su parte, ha respondido a las demandas de la sociedad, lo que ha dado origen a la aparición de programas de seguridad, que se han ido extendiendo poco a poco dentro de la industria química. Una de las industrias mexicanas, buscando ser una de las empresas líderes en materia de seguridad industrial y de protección ambiental, está implantando dentro de sus instalaciones el Sistema Integral de Administración de Seguridad y Protección Ambiental (SIASPA). Para el diseño del SIASPA se han estudiado otros sistemas utilizados por empresas petroleras internacionales como EXXON, BRITISH PETROLEUM, SHELL y CONOCO, así como por los requerimientos para la administración de la seguridad y salud ocupacional "OSHA" del departamento de los Estados Unidos. El SIASPA esta integrado por 18 elementos relacionados con el factor humano, los sistemas de trabajo y las instalaciones. El elemento número 12 involucra los Análisis de Riesgos y tiene como objetivos:



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

La industria química, preocupada por cada uno de los puntos del SIASPA y para poder dar seguimiento al punto 12 relacionado con los Análisis de Riesgos dentro de sus instalaciones, acordó efectuar un estudio en una Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes.

Para realizar el estudio de riesgos antes mencionado se desarrollaron las siguientes actividades:

- Recopilación de información requerida para el estudio de riesgos.
- Actualización de Diagramas de Tubería e Instrumentación y de Flujo de Proceso.
- Sesiones de Análisis de Riesgo y Operabilidad “HazOp” con un equipo multidisciplinario.
- Análisis de Árbol de Fallas.
- Análisis de Consecuencias.



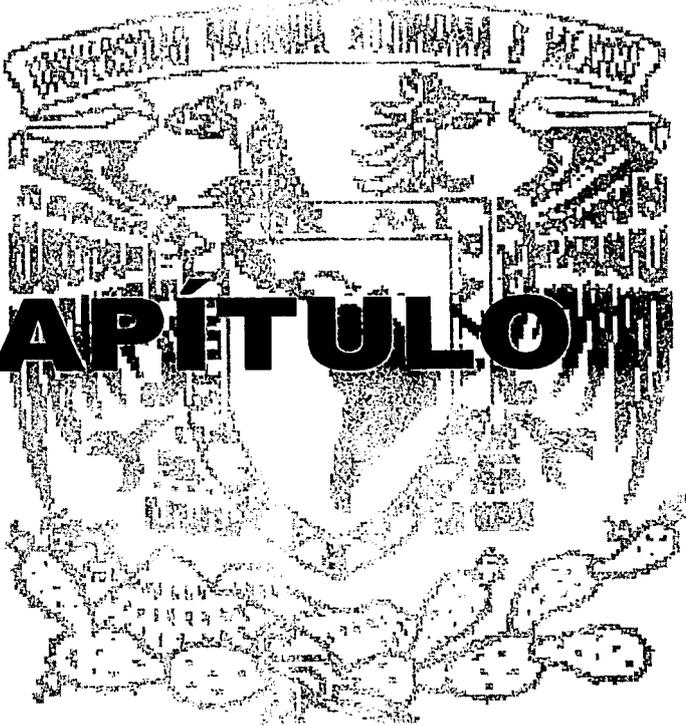
1.2 OBJETIVOS:

- Establecer las medidas para controlar y reducir el nivel de riesgos en una planta desparafinadora de aceites lubricantes aplicando la técnica "HazOp", con el fin de mejorar la operabilidad del área.
- Seleccionar un escenario hipotético de accidente para evaluar sus consecuencias y proponer medidas de protección para mitigar sus efectos.
- Obtener, como resultado del análisis de riesgos, una lista de recomendaciones que al ser implementadas conforme a su prioridad, mejorará la operación e incrementará la seguridad de la planta.

1.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS USADAS

En este trabajo se combinaron la técnica HazOp (aplicada al tanque LG-D-303), la técnica de análisis de Árbol de Fallas (aplicado a la bomba LG-P-305) y la técnica de análisis de consecuencias, como ejemplo se muestra la técnica aplicada al escenario hipotético de una fuga de solvente en el tanque LG-D-303.

La técnica de análisis de riesgos HazOp identifica riesgos potenciales en la planta, y establece las recomendaciones para minimizarlos y mejorar la operabilidad de la misma. La técnica de análisis de Árbol de Fallas es usada para la evaluación cuantitativa de un evento hipotético seleccionado y los resultados obtenidos de dicho análisis indican la probabilidad de ocurrencia del evento, las causas raíz que le darían origen y como consecuencia, ayuda a tomar la decisión, se toma la decisión de aceptar o no el riesgo. El análisis de consecuencias nos permite visualizar las situaciones y efectos que tiene un incidente, y a desarrollar acciones que reduzcan el riesgo del evento así como los posibles daños al personal y la planta.



CAPÍTULO II



2.1 CONCEPTO DE RIESGO

La palabra riesgo significa medida de la pérdida económica y/o de daños para la vida humana y el medio ambiente, expresada como una función de la probabilidad del suceso y la magnitud de las consecuencias^(1,7).

$$R = f(p, C)$$

Siendo:

R = riesgo;

p = probabilidad

C = magnitud de las consecuencias (pérdidas y/o daños).

De manera general se tiene que:

$$\text{Riesgo} = \text{probabilidad} \times \text{consecuencias}$$

El riesgo está siempre asociado a la probabilidad de que ocurra un evento no deseado. Por ello, debe entenderse que el peligro es una propiedad intrínseca de una situación (persona u objeto) y que no puede controlarse o reducirse. La palabra peligro significa cualquier condición física o química capaz de causar daños a las personas, al medio ambiente o a la propiedad. La palabra accidente significa cualquier acontecimiento que implica una desviación intolerable sobre las condiciones de diseño de un sistema y pueden ser accidentes menores o accidentes mayores. Existe una diferencia clara entre riesgo y peligro aunque frecuentemente se dice que hay un peligro elevado cuando realmente se quiere decir que el nivel de riesgo es alto.

El riesgo también puede ser definido a través de las siguientes expresiones:



- combinación de incertidumbre y daño
- razón entre peligro y las medidas de seguridad
- combinación entre evento, probabilidad y consecuencias

Muchas de las actividades que se realizan en la industria química presentan un riesgo, que sólo se puede eliminar si desapareciera la industria química, esta medida no es posible porque dependemos de esta; la solución real es determinar cual es el nivel de riesgo aceptable en una instalación/proceso.

Para decidir si un riesgo es o no aceptable, se requiere estimar su magnitud mediante un análisis de riesgos, es decir, se debe hacer una estimación cuantitativa del nivel del peligro potencial que representa una actividad, tanto para el personal como para los bienes materiales, en términos de la magnitud del daño y la probabilidad de que tenga lugar.

La decisión de aceptar o no el riesgo es difícil, porque se deben tomar en cuenta consideraciones humanas, económicas, de responsabilidad legal y de imagen pública.

2.2 ANÁLISIS DE RIESGOS^(1,7,8,10).

El análisis de riesgos es una disciplina que combina la evaluación del proceso desde el punto de vista de la ingeniería del proceso con técnicas matemáticas, que permiten realizar estimaciones de frecuencias/ probabilidades y consecuencias de accidentes. Los resultados del análisis de riesgos se utilizan para la toma de decisiones, ya sea mediante la jerarquización de las estrategias de reducción de riesgos o mediante la comparación con los niveles de riesgos fijados como objetivo en una determinada actividad.



El análisis de riesgos permite cuantificar el potencial de accidentes que se pudiera suscitar una determinada instalación o proceso y comparar las distintas alternativas de solución.

Un análisis de riesgo que es orientado a la prevención de accidentes implica:

- ***Identificación de sucesos no deseados y Análisis de los mecanismos por los que estos sucesos tienen lugar.*** ¿Qué puede ocurrir? ¿Qué puede ir mal?

En esta fase del estudio se pretende obtener una lista de todas las desviaciones que:

- Puedan producir un efecto adverso significativo.
- Tengan una probabilidad razonable de producirse.

La identificación de las circunstancias se llevará a cabo mediante códigos, listas de identificación, análisis histórico de incidentes, métodos basados en índices de peligros, análisis de desviaciones (What if), análisis de peligros y operabilidad (HazOp), análisis de modos de fallo y sus efectos (FMEA), etc.

- ***Estimación de los efectos no deseados y de la frecuencia con que pueden producirse.*** ¿Cuáles son las consecuencias? Para poder responder, es necesario tener un modelo o modelos de consecuencias que relacionen la causa original identificada con los efectos previstos, de esta manera que estos pueden ser cuantificados. ¿Con que frecuencia? La cuantificación de dichos sucesos se estima en términos de frecuencia o probabilidad de que tengan lugar durante la vida de la instalación. Para ello suele acudir a métodos más estructurados como el Análisis de Árbol de Fallas (FTA), o el Análisis de Árbol de Sucesos (ETA), en los que se procede a asignar probabilidades a los distintos sucesos en las cadenas de evolución de acontecimientos, haciendo uso de información.



2.3 TÉCNICAS DE IDENTIFICACIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGOS.

Algunas de las técnicas utilizadas en la identificación de riesgos pueden dividirse en tres grupos como se muestra en la Tabla 2.1. Los métodos comparativos se basan en la experiencia de las personas involucradas directamente en el proceso o equipo. Los índices de peligros, suelen identificar riesgos concretos, son útiles para señalar en que áreas hay mayor concentración de riesgo y requiere de un análisis mas detallado con técnicas mas especializadas y sistemáticas. Por último los métodos generalizados, los cuales proporcionan esquemas de razonamiento más sistemático y de mejores resultados, son considerados herramientas de análisis versátiles y de mucha utilidad.

Tabla 2.1. Métodos de Identificación de Peligros.

MÉTODOS COMPARATIVOS.
<ul style="list-style-type: none">• Códigos y estándares.• Listas de comprobación (Checklists).• Análisis histórico de accidentes.
ÍNDICES DE PELIGROS.
<ul style="list-style-type: none">• Índice Dow.• Índice Mond.
MÉTODOS GENERALIZADOS.
<ul style="list-style-type: none">• Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA).• Análisis "WHAT IF".• Análisis de Árbol de Sucesos (ETA).• Análisis de Árbol de Fallas (FTA).• Análisis de Peligros y Operabilidad (HazOp).• Análisis de Consecuencias.



2.3.1 Métodos Comparativos de Identificación de Peligros.

Los métodos comparativos de identificación de riesgos se utilizan para evaluar la seguridad de una planta y se basan en la experiencia adquirida por el personal responsable de la operación del proceso o en la experiencia de organizaciones externas a la misma. Las empresas han elaborado procedimientos técnicos internos donde establecen como se diseñan, instalan, distribuyen, operan, etc, los equipos de proceso a utilizar. El contenido de los procedimientos cumplen con la legislación local y nacional, así como con estándares de las diferentes ramas de la ingeniería. Entre los códigos y estándares que han sido aplicados se encuentran los siguientes: ASME, ASTM, API, NFPA, etc.

Aparte de los códigos y estándares, otro método comparativo de identificación de riesgos que hace uso de la experiencia adquirida por la empresa, son las Listas de verificación (CHECKLISTS). Estas listas permiten comparar el estado de un sistema con una referencia externa, identificando carencias de seguridad o áreas que requieran un estudio más profundo.

2.3.2 Índices de Peligros.

Los índices de peligros, proporcionan un método directo y sencillo para estimar el riesgo global asociado con una unidad de proceso y jerarquizan las áreas conforme a su nivel de riesgo. Proporcionan un valor numérico, que permite identificar áreas en las que el riesgo potencial alcanza un nivel determinado. Con base a este nivel, se toma la decisión de hacer un análisis más profundo aplicando técnicas más específicas, por ejemplo: HazOp, Árbol de Fallas, etc. Los índices de peligros son de gran utilidad, porque proporcionan una estimación rápida y confiable del orden de magnitud del riesgo de un área específica.



El Índice de Incendio y Explosión creado por Dow Chemical, es una de las herramientas más utilizadas para la evaluación objetiva paso a paso de la posibilidad real de un incendio, explosión y reactividad de equipos de proceso y su contenido en la industria química. La determinación del Índice de Incendio y Explosión (F&EI) proporciona un valor relativo del riesgo de pérdidas individuales en una unidad de proceso debido a incendios y explosiones potenciales. El propósito principal es servir como guía para seleccionar métodos de protección contra incendios y ofrecer información clave para ayudar a evaluar el riesgo general de incendio y explosión.

Los objetivos del índice Dow son: cuantificar el daño esperado ocasionado por un incendio o una explosión, identificar los equipos que generan el mayor riesgo potencial y facilitar a la gerencia de seguridad una priorización de las medidas a adoptar.

El índice Mond es un índice de peligros de incendio y explosión aplicable a industrias de proceso de gran capacidad productiva. Sin embargo, la toxicidad de los materiales involucrados o de los que posiblemente se generen en un accidente, es contemplada únicamente como un factor agravante en las tareas de control y limitación de la incidencia y no como un posible riesgo en sí mismo.

La aplicación del método, a diferencia de los anteriores, es iterativa, por cuanto en primer lugar se divide la instalación objeto de estudio en unidades de proceso, se describen los materiales determinantes en el riesgo y se evalúa el peor caso (“worst case”). Una vez obtenido un primer resultado, se corrige con la modificación de los índices más determinantes (si ello es razonable) y por último se modifican los valores obtenidos mediante la aplicación de unos factores correctores que tienen en consideración aquellos aspectos que minimizan el riesgo, igual que en el método DOW.



El método no se complementa con cálculos sobre la pérdida de beneficios, el área afectada o los días de paralización. Sin embargo, se subdivide en varios factores indicadores de riesgos parciales (explosión e incendio por separado).

Los Índices de Mond y Dow determinan los índices de incendio, explosión y toxicidad de cada proceso. Es un método cualitativo y cuantitativo. Se aplica en la etapa de proyecto ejecutivo y de explotación.

2.3.3 Métodos Generalizados

Análisis de Modo de Fallas y sus Efectos (FMEA)

El análisis FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) consiste en un diagnóstico de componentes individuales con el objetivo de evaluar el efecto que un fallo de los mismos puede tener sobre el sistema. Es un análisis sistemático, que se realiza poniendo interés en fallos de funcionamiento de componentes. En el contexto de este análisis, una modalidad de fallo es un síntoma, una condición o un modo de operación asociado a la falla de un componente. El modo de falla puede identificarse como una pérdida de la función del componente (deja de actuar), funciona prematuramente, ésta fuera de tolerancia o tiene una característica física indeseada, por ejemplo una fuga pequeña. En el análisis FMEA todos los modos conocidos de falla de los componentes se consideran por turnos y las consecuencias de falla son analizadas y registradas.



Análisis "WHAT IF"

Esta técnica se aplica para evaluar el campo de sistemas de protección de procesos y es un método de análisis de riesgos general que difiere de otros porque no es tan rígido y sistemático y puede aplicarse tanto a una sección del proceso como a toda la empresa, en este método sólo se supone que ocurre una falla sin considerar que fue lo que la causó.

¿Que pasaría si hay una...

- ...pérdida de servicios (agua de enfriamiento, agua de proceso, vapor, aire de instrumentos o de proceso)?
- ...pérdida del sistema de enfriamiento?
- ...pérdida de energía eléctrica?
- ...pérdida de electricidad de emergencia?
- ...pérdida del sistema de cómputo de control del proceso?
- ...descarga de una válvula de relevo o un disco de ruptura?
- ...reacción de descomposición o polimerización incontrolada?
- ..pérdida del sistema de agua contra incendio?
- ...explosión o un incendio interno?
- ...falla del operador al efectuar alguna operación crítica?

Contestando a estas y otras preguntas clave se tendrá una evaluación de los efectos de fallas de equipo, errores en procedimientos, desastres naturales, etc, los resultados dependerán de la experiencia y de la capacidad imaginativa del grupo de análisis para plantear las preguntas.

Esta técnica conduce a la determinación y aplicación de las medidas preventivas requeridas para el control de la falla.



Análisis del Árbol de Sucesos (ETA).

Esta técnica parte de un suceso determinado e investiga mecanismos razonables mediante los cuales éste puede tener lugar. El análisis de árbol de sucesos (Event Tree Análisis) evalúa las consecuencias que pueden tener lugar a partir de un suceso determinado.

El ETA hace énfasis en un suceso inicial que supone que ha ocurrido, y se construye un árbol lógico que conecta dicho suceso inicial con los efectos finales, donde cada rama del árbol representa una línea de evolución que conduce a un efecto final o bien se anula la secuencia de circunstancias evitando el efecto final.

Esta técnica es especialmente adecuada para estudiar las posibles secuencias de evolución de los acontecimientos tras un accidente. Es decir permite analizar los escenarios posibles y establecer entre ellos una jerarquía en cuanto a su gravedad y probabilidad, seleccionar situaciones de emergencia para evaluación cuantitativa y preparar respuestas a las mismas.

El análisis de árbol de sucesos se lleva a cabo con el siguiente esquema:

- I Identificación de sucesos iniciadores relevantes.
- II Identificación de las funciones de seguridad diseñadas para responder al suceso iniciador.
- III Construcción del árbol de sucesos.
- IV Descripción de las cadenas de acontecimientos resultantes.



El suceso iniciador puede ser cualquier desviación, provocada por una falla de equipo o por un error humano.

2.4 TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS

2.4.1 Análisis de Peligros y Operabilidad "HazOp"

La técnica HazOp fue desarrollada a mediados de los años 60's por ingenieros de prevención de pérdidas y confiabilidad de la división Mond de la empresa Imperial Chemical Industries (ICI), de Gran Bretaña⁽⁶⁾, esta técnica es aplicada en la actualidad por los siguientes motivos:

1. Las causas de los accidentes potenciales que han ocurrido en diferentes plantas de proceso y que han provocado cuantiosas pérdidas humanas, materiales y ambientales, pueden evitarse disminuyendo su frecuencia o por lo menos, mitigando sus consecuencias.
2. El control y automatización de los procesos, cada vez más sofisticados, reducen el error humano, sin embargo, este incremento de tecnología puede provocar una disminución del conocimiento de los operadores aumentando el riesgo⁽⁶⁾.

Para desarrollar un *estudio HazOp* se requiere de una descripción completa del proceso y se cuestiona a cada una de las secciones de éste y a cada componente para descubrir que desviaciones del propósito original para el cual fueron diseñadas puede ocurrir y determinar cuales de éstas desviaciones pueden dar lugar a riesgos para el proceso o el personal. Además el análisis HazOp nos sirve para identificar problemas de seguridad en una planta y es de gran ayuda para mejorar la operación de la misma. La suposición de esta técnica es que los riesgos de operación, aparecen



como causa y consecuencia de las desviaciones de las condiciones normales en una determinada etapa de la planta, por ejemplo, arranque, operación normal en régimen estacionario, no estacionario y en paro de la misma. Una de las ventajas que tiene esta técnica, con las ya mencionadas, es de que este análisis puede aplicarse en la etapa de diseño como si ya estuviera construida la planta.

La técnica HazOp se basa en dos puntos principales:

- Carácter sistemático porque hace un examen basado en la aplicación sucesiva de palabras guía que proporciona una estructura de razonamiento que nos facilita la identificación de desviaciones, causas, consecuencias y acciones correctoras.
- Carácter Multidisciplinario ya que se aplica con la participación de un grupo de las diferentes áreas de la Ingeniería para discutir e identificar posibles riesgos y establecer medidas correctivas, para disminuir la posibilidad de su ocurrencia^(1,4).

Metodología del análisis HazOp

La información requerida por la técnica es la siguiente:

- Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) y Diagramas de Flujo de Proceso (DFP's) actualizados.
- Planos de los sistemas contra-incendio y de conexión a tierra.
- Balance de materia y energía.
- Capacidades de diseño, materiales de construcción y especificaciones.
- Procedimientos operacionales.
- Registros históricos de incidentes.



- Fallas de equipos o componentes.
- Descripción del Proceso, manual de operación. cartas de secuencias de control de instrumentos.
- Bitácoras de mantenimiento.

El efectuar un estudio de riesgo con información no actualizada es pérdida de tiempo.

La conversión de los datos en una forma adecuada a los propósitos del estudio. La información disponible se debe analizar para asegurarse que es suficientemente comprensible para cubrir los requisitos del estudio.

Dependiendo el tipo de planta a analizar es la cantidad de trabajo requerido en la conversión de los datos. Para plantas con proceso continuos, el trabajo preparatorio es menor, los diagramas de flujo o de tubería e instrumentación contienen suficiente información para el estudio.

Para el desarrollo del análisis se requiere como primer paso la formación de un equipo multidisciplinario formado por los siguientes Ingenieros:

- Ingeniero de proyectos.
- Ingeniero de procesos.
- Ingeniero instrumentista.
- Ingeniero de mantenimiento de plantas.
- Ingeniero de seguridad.
- Ingeniero de mantenimiento eléctrico.
- Ingeniero de mantenimiento mecánico.
- Ingeniero de mantenimiento civil.



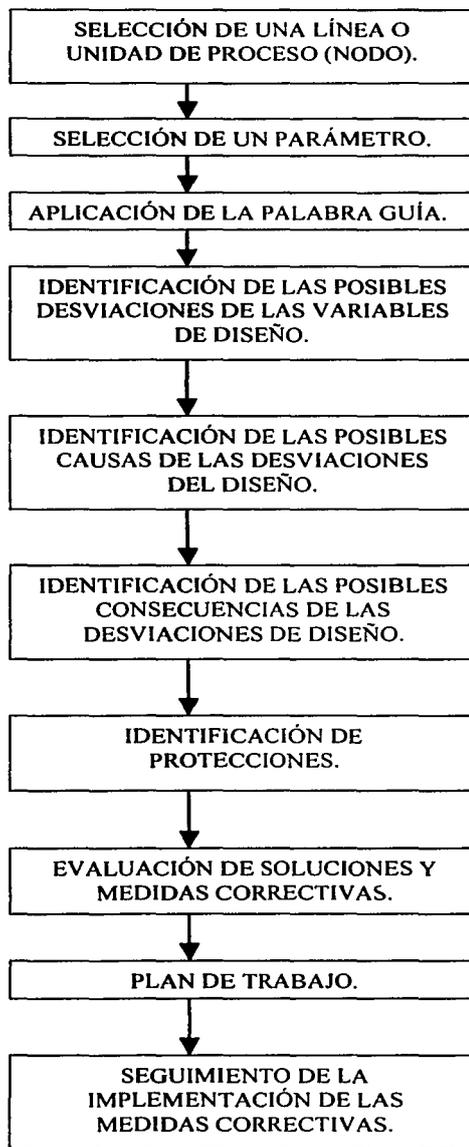
Además, se requiere de personal con experiencia en la aplicación del análisis, su objetivo primordial consiste en actuar de mediador, asegurándose de que se aplica adecuadamente la técnica, sin descuidar ningún detalle y estimular la participación entre los miembros del equipo formado. Para llevar a cabo el análisis se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Las sesiones de trabajo deben estar bien estructuradas y controladas por el facilitador que debe seguir el plan para la aplicación de la técnica HazOp.
- Seleccionar el primer elemento del sistema, generalmente un recipiente o equipo numerado en el diagrama. A este sistema se le conoce como nodo.
- Aplicación de la técnica HazOp.
- Se analiza la primera línea, conexión o accesorio, usando las palabras guía de la tabla 2.2, a los parámetros seleccionados para una unidad o sección del proceso y posteriormente se determinan las causas, consecuencias y protecciones de una desviación.
- Finalmente el equipo HazOp propone soluciones correctivas y evalúa su costo de acuerdo a su clasificación y jerarquización.
- La sistemática del análisis HazOp se indica en la figura 2.1

En el análisis HazOp es preciso garantizar un registro de los resultados del análisis, lo que generalmente se realiza en columnas como se muestra en el ejemplo de la figura 2.2.



Figura 2.1. Sistemática del Análisis HazOp⁽¹⁾.



**TABLA 2.2 Significado de las palabras guía^(1,4,5).**

Palabras Guía	Significado
NO	No se consiguen las intenciones previstas en el diseño. Ejemplo: No hay flujo en la línea.
MÁS	Aumento cualitativo sobre la variable de diseño. Ejemplo: Más temperatura, mayor velocidad de reacción, mayor presión, etc.
MENOS	Disminución cualitativa sobre la variable de diseño. Ejemplo: Menos temperatura, menor presión, etc.
ADEMÁS DE / TAMBIÉN COMO	Aumento cualitativo. Si se modifican las variables de diseño y ocurre algo más. Ejemplo: El vapor consigue calentar el reactor, pero además provoca un aumento de temperatura en otros elementos.
PARTE DE	Disminución cualitativa. Solo parte de los hechos transcurren según la intención de diseño. Ejemplo: La composición del sistema es diferente de la prevista.
INVERSIÓN	Se obtiene el efecto contrario al deseado. Ejemplo: El flujo transcurre en sentido inverso, se da la reacción inversa, etc.
EN VEZ DE / OTRO QUE	No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo totalmente distinto. Ejemplo: Cambio de catalizador, falla el modo de operación de la unidad, etc.



Figura 2.2. Hoja de registro de sesiones "HazOp".

	Compañía:	Area/proceso	Fecha:				
	Nodo:						
	Diagramas:			Producto:			
Desviación:							
Causas	Consecuencias	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase

Términos usados en un Análisis HazOp

Los términos más comunes utilizados en esta técnica se definen a continuación.

Causa: Es lo que hace que se genera una desviación al proceso. Falla de un instrumento, equipo, condiciones climatológicas, etc. Las causas inmediatas pueden tener causas secundarias que las provocan, las cuales pueden ser encontradas mediante un estudio más detallado.

Consecuencia: Es el daño leve ó grave, producto de la desviación al proceso, que se ocasiona a las personas, al medio ambiente y a las instalaciones de la planta.

Desviación: Es la combinación de las palabras guía con algún parámetro. Las desviaciones indican una modificación cualitativa ó cuantitativa de la variable de diseño.



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 significativo y suficientemente grande para que sea manejable.

Parámetro: Es una manifestación física ó química del proceso como el flujo, nivel, presión, temperatura, velocidad, composición, mezcla, ignición, etc.

Palabra guía: Es aquella que indica la desviación parcial ó total de la variable de diseño.

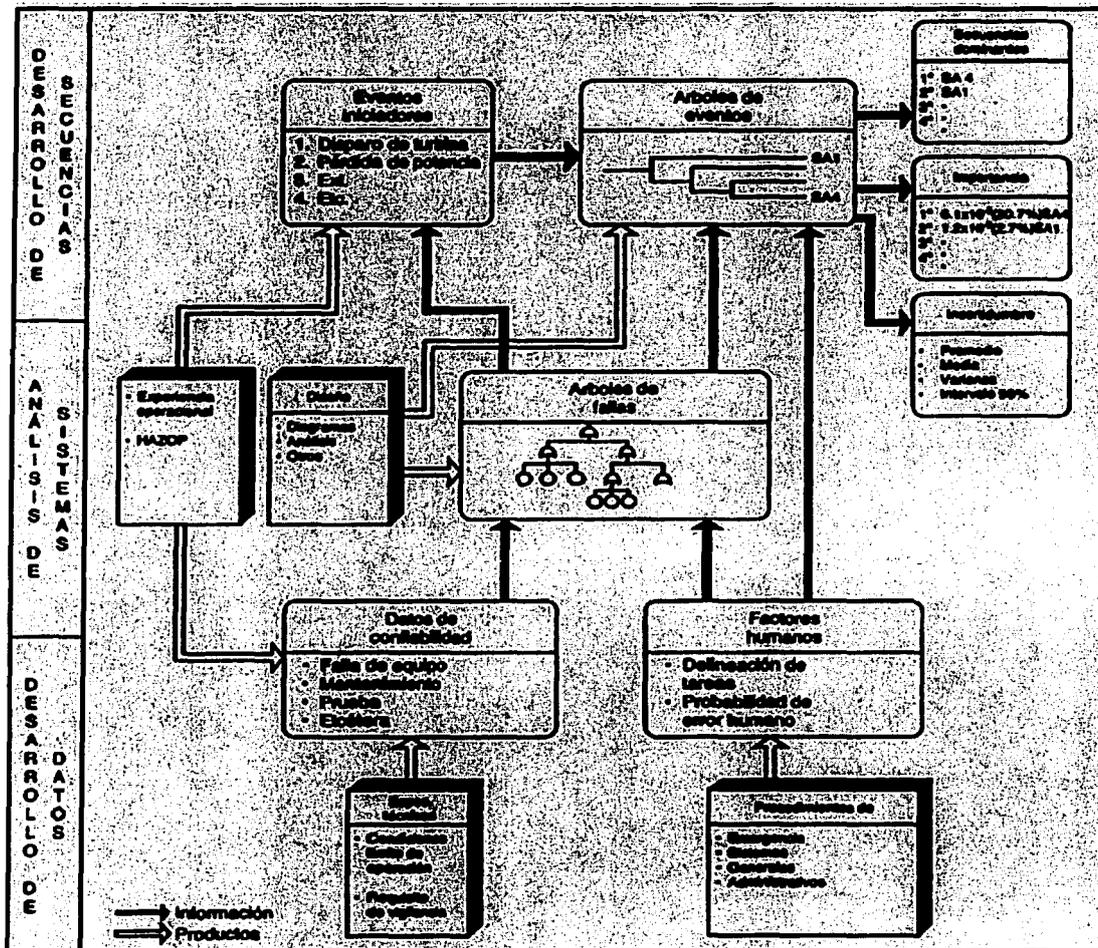
Salvaguarda ó protección: Es todo aquello que tiene un sistema de proceso (tubería, recipiente, reactor, etc.) para reducir la probabilidad de que ocurra un accidente ó para mitigar sus efectos, ya sean instrumentos, procedimientos, simulacros, sistemas contra incendio, etc.

2.4.2 Análisis de Árbol de Fallas (FTA).

El "Análisis de Árbol de Fallas" (FTA) es una técnica deductiva que estudia un accidente eventual en particular (evento culminante) y construye un diagrama lógico de la secuencia de todos los eventos accidentales concebibles (tanto mecánicos como humanos) que puedan originar el evento culminante (como se muestra en la figura 2.3). El "Árbol de Fallas" es una ilustración gráfica de las diversas combinaciones de fallas y defectos en los equipos y errores humanos que puedan dar como resultado el evento culminante. El FTA es, en realidad, un método para determinar cuales son los eventos que se desencadenan para dar origen al evento culminante, una vez que este ha sido identificado por medio de alguna otra técnica, como por ejemplo el HazOp.



Fig. 2.3 *Uso de información y productos principales en FTA.*





Como una herramienta cuantitativa, el análisis de árbol de fallas (FTA) es muy usado porque reduce la posibilidad del evento culminante al determinar las fallas y errores que pudieran causar el evento culminante, además de como interactúan y como, de acuerdo a la probabilidad de cada uno de ellos, determinan la probabilidad de ocurrencia del evento culminante. También, permite analizar los efectos de cambios o adición de componentes a un sistema, por ejemplo, la instalación de un sistema de alarmas de alto nivel o paro.

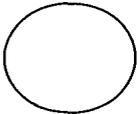
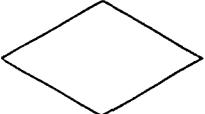
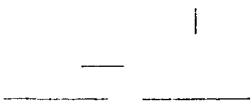
El FTA puede ser usado durante el diseño, modificación, operación o mantenimiento de instalaciones. Puede ser de especial utilidad en el análisis de procesos nuevos o desconocidos de los cuales no existe historia, pero existe base de datos confiable de otras instalaciones similares.

Este análisis calcula la probabilidad de ocurrencia de un suceso culminante y es una de las técnicas más utilizadas en la industria química ya que puede aplicarse a un solo sistema o sistemas interconectados^(1,5).

El análisis FTA usa compuertas lógicas de entrada y salida, que se representan por símbolos y por letras "Y" (que representa el producto) y "O" (que representa la suma); para mostrar la interacción de las fallas de los subsistemas para producir el evento culminante.

Los símbolos usados para las compuertas de entrada "Y" es un punto "●" de producto y "O" es el signo + de suma, para los eventos intermedios ó de mando, para los eventos básicos ó primarios (mal diseño ó deterioro de equipo ó línea durante el servicio) y para los eventos que ya no se desarrollan más, llamados secundarios (falla de equipo debido a perturbaciones excesivas en las condiciones de operación) se ilustran en la Tabla 2.3

**Tabla 2.3 Simbología utilizada en el árbol de fallas⁽⁴⁾.**

SÍMBOLO	APLICACIÓN
	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 se necesitan desarrollarse más.
	Sucesos no desarrollados. No son sucesos básicos, y podrían desarrollarse más, pero el desarrollo no se considera necesario, o no se dispone de la suficiente información.
	Puertas O: Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida.
	Puertas Y: Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los sucesos de entrada para producir el suceso de salida.
	Transferencias: Se utilizan para continuar el desarrollo del árbol en otra parte (por ejemplo, en otra página, por falta de espacio).



¿ *Cómo se construye un Árbol de Fallas?*

El árbol de fallas se construye desde el evento culminante hacia abajo. Cuando el evento de entrada es la falla de un componente ó equipo de un sistema se denomina “Falla Funcional” y se aceptan tres clases de eventos causantes, a través de una puerta “O”, fallas primarias, fallas secundarias y fallas de mando.

Fallas primarias: Son aquellas que suceden cuando el componente es incapaz de realizar su función de diseño bajo condiciones normales de operación.

Esto se debe a un diseño inadecuado, por defecto o deterioro durante su operación. Su símbolo es un círculo.

Fallas secundarias: Son las que ocurren por fuerzas ajenas al sistema por ejemplo, inundaciones, huracanes, tornados, terremotos, etc. Su símbolo es un rombo.

Fallas de mando: Ocurren cuando un componente o equipo falla debido a condiciones que rebasan los límites establecidos en la operación o de seguridad por ejemplo, falsas señales, cargas mecánicas, etc.



Un Árbol de Fallas , generalmente, consiste de los siguientes pasos:

- Identificar el evento culminante de la falla del sistema que se desea estudiar y ubicarlo en la parte superior del Árbol.
- Procesar, a continuación, el nivel inmediato inferior del sistema, por ejemplo, nivel de subsistemas e identificar las fallas de éstos que pueden llevar al evento culminante.
- Determinar la interacción lógica entre los subsistemas que puedan causar el evento culminante.
- Proceder con el nivel inmediato inferior del sistema de acuerdo al segundo inciso hasta llegar a la identificación de los eventos base.
- Manejar la base de datos de presentación de los eventos base y procesarlos estadísticamente para obtener la probabilidad de que cada evento base se produzca y, aplicando "Teoría de Conjuntos", calcular de acuerdo a las compuertas lógicas "Y" (simultáneos y, por lo tanto, producto) y "O" (independientes y, por lo tanto, suma) ir determinando la probabilidad de que ocurran los eventos del nivel superior del Árbol hasta llegar a la probabilidad del evento culminante. Las probabilidades de ocurrencia se muestran en el Apéndice A.

2.4.3 Análisis de Consecuencias/ Efectos.

Por medio de este análisis se puede estimar la magnitud de los daños ocasionados por un accidente, por ejemplo, al transportar, manejar o procesar una sustancia o material peligroso (tóxico, inflamable o explosivo). Este tipo de



estimaciones se realiza mediante modelos matemáticos que requieren de los siguientes aspectos:

- Características físicas y químicas de las sustancias.
- Características del contenedor o los contenedores.
- Características físicas o climatológicas del lugar o sistema de estudio.

Para seleccionar que tipo de modelos se deben usar, primero se determina el escenario de accidente, identificado por alguna técnica de identificación de riesgos. Posteriormente se determinan las consecuencias y por último, se cuantifican las pérdidas o daños.

Los accidentes más frecuentes que ocurren en la industria química son los incendios, (en el Apéndice B se muestra una distribución porcentual de los incendios industriales, según el tipo de material involucrado) y las explosiones, seguido por fugas de sustancias tóxicas. Desde el punto de vista de análisis de riesgos, la evaluación de consecuencias de incendios y explosiones, requiere el conocimiento de datos que definan el escenario en el cual ocurre el incendio o la explosión. Necesitamos saber, cuanto material dentro de los límites de inflamabilidad existe en una nube en el momento de la explosión o cuanto líquido inflamable hay en el derrame que se ha incendiado^(1,5).





3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El objetivo de la Planta desparafinadora es efectuar la separación de los hidrocarburos parafínicos de las fracciones lubricantes en el aceite refinado procedente de la Planta de tratamiento con *Furfural*. La planta desparafinadora tiene gran importancia ya que es la que proporciona los aceites básicos para formular diversos tipos de lubricantes. El sector de lubricantes de esta planta, es el único de la República, de aquí se desprende la necesidad de operar las Plantas de la mejor manera para lograr una producción alta, manteniendo el equipo y la calidad de los productos y en esta forma poder satisfacer las demandas del mercado nacional.

La separación de los aceites básicos o fracciones lubricantes de las parafinas, se efectúan por medio de un disolvente selectivo, que en este caso es la metil-etil-cetona (MEC).

La metil-etil-cetona (MEC), es un disolvente selectivo, es decir, disolverá ciertas clases de hidrocarburos contenidos en la carga de aceites lubricantes y rechazará a otros. La mayoría de las parafinas son completamente insolubles en esta cetona a las temperaturas del proceso de filtración; para evitar la formación de dos fases líquidas se agrega un disolvente del aceite que es el tolueno y así poder obtener una cristalización de la misma en una forma fácilmente filtrable. Este disolvente aromático tiene un alto poder disolvente para el aceite y cuando se mezcla con la cetona no disuelve a la parafina a la temperatura del proceso de filtración.



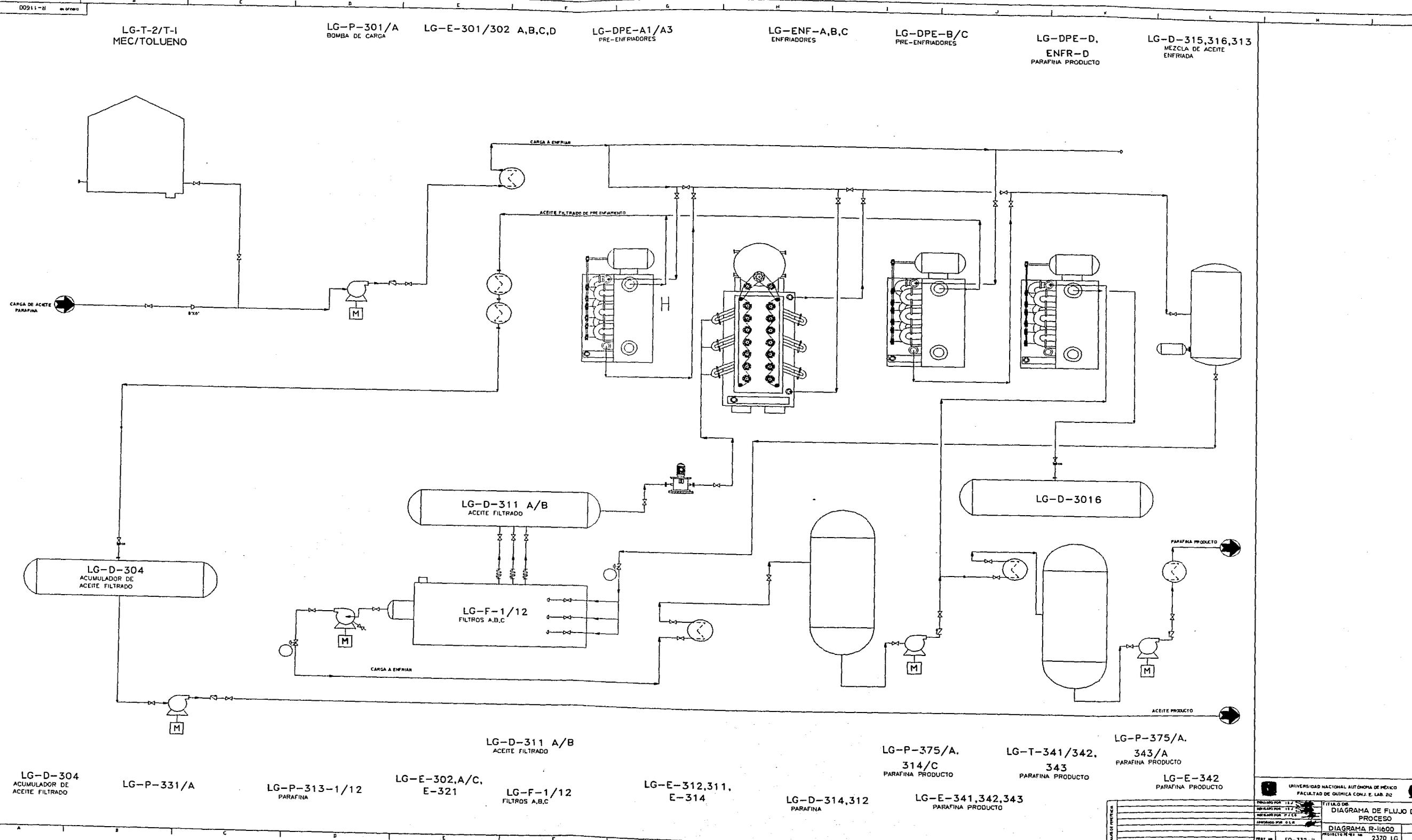
Descripción del Flujo de la Planta Desparafinadora de aceites lubricantes.

La unidad desparafinadora se divide en las siguientes secciones, siguiendo el orden lógico de flujo ver el diagrama R-11600:

- 1.- Recibo y mezcla de disolventes.
- 2.- Sección de enfriamiento de la carga de aceite (pre-enfriadores A, B y C - enfriadores A, B y C).
- 3.- Filtros continuos desparafinadores (filtros "A").
- 4.- Sección de enfriamiento de la mezcla de la parafina primaria (pre-enfriadores D y enfriadores D).
- 5.- Filtración fraccionada de parafina (filtros "B").
- 6.- Filtración de repaso (filtros "C").
- 7.- Enfriamiento de disolvente con propano.
- 8.- Sistema de recuperación de disolvente para:
 - a) Aceite desparafinado.
 - b) Parafina producto (parafina dura).
 - c) Parafina aceitosa (parafina suave).
- 9.- Generación de gas inerte, circulación y enfriamiento.
- 10.- Flujo de propano refrigerante.

Los disolventes usados en la unidad son la metil-etil-cetona y el tolueno.

Los disolventes se reciben por carros-tanque y se descargan en los acumuladores respectivos, los cuales están equipados con indicadores de nivel y comunicados con unas líneas de balance.



LG-T-2/T-1
MEC/TOLUENO

LG-P-301/A
BOMBA DE CARGA

LG-E-301/302 A,B,C,D

LG-DPE-A1/A3
PRE-ENFRIADORES

LG-ENF-A,B,C
ENFRIADORES

LG-DPE-B/C
PRE-ENFRIADORES

LG-DPE-D,
ENFR-D
PARAFINA PRODUCTO

LG-D-315,316,313
MEZCLA DE ACEITE
ENFRIADA

CARGA DE ACEITE
PARAFINA

CARGA A ENFRIAR

ACEITE FILTRADO DE PRE-ENFRIAMIENTO

LG-D-304
ACUMULADOR DE
ACEITE FILTRADO

LG-D-311 A/B
ACEITE FILTRADO

LG-F-1/12
FILTROS A,B,C

LG-D-3016

PARAFINA PRODUCTO

ACEITE PRODUCTO

LG-D-311 A/B
ACEITE FILTRADO

LG-P-375/A,
314/C
PARAFINA PRODUCTO

LG-T-341/342,
343
PARAFINA PRODUCTO

LG-P-375/A,
343/A
PARAFINA PRODUCTO

LG-E-342
PARAFINA PRODUCTO

LG-D-304
ACUMULADOR DE
ACEITE FILTRADO

LG-P-331/A

LG-P-313-1/12
PARAFINA

LG-E-302,A/C,
E-321

LG-F-1/12
FILTROS A,B,C

LG-E-312,311,
E-314

LG-D-314,312
PARAFINA

LG-E-341,342,343
PARAFINA PRODUCTO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA CONJ. E. LAB. 212	
TÍTULO DEL PROYECTO	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
PROYECTO No.	2370 LG
FECHA	10/02/2000



3.2 Plan de trabajo para el Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP).

El plan de trabajo utilizado por el equipo que realizó el estudio HazOp en la Planta Desparafinadora de aceites lubricantes se resume en los siguientes puntos:

- Obtener un conocimiento detallado del proceso a analizar a través de la actualización y verificación en el campo de DTI's.
- Seleccionar los nodos (en orden jerárquico) en lo que se aplicó la técnica HazOp.
- Conocer y tener a la mano los procedimientos normativos internos, la normatividad local, nacional y estándares internacionales.
- Formación del equipo HazOp: Ingenieros de operación, mantenimiento, seguridad, instrumentos, el moderador, el secretario y el personal que actualizó los DTI's.
- Establecer las reglas de juego: Puntualidad, participación activa y positiva, evitar las discusiones innecesarias y concentración en el estudio para la generación de ideas.
- Aplicar la técnica de Análisis de Peligros y Operabilidad (HazOp) en cada nodo del circuito previamente seleccionado del proceso. Durante la aplicación de la técnica es posible determinar, además de las desviaciones, causas, consecuencias, salvaguardas, recomendaciones y acciones, también los límites de operación (de temperatura, presión, nivel, etc.).
- Identificar escenarios de accidentes durante la aplicación de la técnica HazOp.
- Reporte HazOp.
- Desarrollo de un plan de trabajo para la implementación de las medidas correctivas obtenidas.



3.2.1 Selección de Nodos.

En la Planta Desparafinadora de aceites lubricantes se seleccionaron 5 nodos para el análisis HazOp, estos fueron seleccionados basándose en la experiencia del personal de operación.

Los Nodos que se analizaron en el *Circuito de Disolvente Seco*:

- 1 Tanque Acumulador de Disolvente seco.
- 3 Bombas .
- 1 Válvula de control.
- Enfriadores .

En este trabajo se presentan los resultados del nodo de Disolvente Seco que es:

1.- Tanque Acumulador de Disolvente Seco.

Descripción del nodo de Disolvente Seco.

A continuación se hace una breve descripción del nodo de Disolvente Seco.

Nodo: Tanque Acumulador de Disolvente Seco (diagrama R-11600-2, R-11600-3, R-11600-4, R-11600-5, R-11600-6 y R-11601-2).

Descripción: El Tanque LG-D-303 tiene una capacidad de 39.8 m³, un diámetro 2.5 m, una longitud de 8 m, una presión de operación de 1.4 kg/cm² y una temperatura de operación de 38.8 °C. Además, cuenta con un controlador de nivel.



El Disolvente Seco, que es una mezcla de tolueno (55%) y MEC (45%), es succionado del tanque por la bomba LG-P-303 y la descarga va a la succión de la bomba LG-P305, la descarga del disolvente seco de esta bomba tiene una presión suficientemente alta para que sea posible la inyección del solvente de la dilución en los preenfriadores.

El disolvente seco caliente pasa a través del cambiador LG-E-312 donde se enfría, de este cambiador pasa a través de los cinco enfriadores LG-ER-325, 324, 323, 322 y 321 que están en serie. Estos cambiadores son del tipo de tubos y coraza; el disolvente fluye a través de los tubos y al salir del último enfriador deberá estar a la temperatura requerida para el proceso. El medio de enfriamiento para los enfriadores de disolvente, es el propano líquido por el lado de la coraza, este es alimentado al enfriador por medio de una válvula controladora de nivel LV-319; el propano fluye diluido a la presión diferencial existente en cada enfriador. En la salida de vapores del enfriador están instaladas unas válvulas controladoras de temperatura TV-306 las cuales son controlados por TRC (Registrador controlador de temperatura), colocado en la salida del disolvente seco del enfriador, la salida de estos vapores de cada uno de los enfriadores es alimentada a la etapa correspondiente como es la área de enfriamiento y el área de filtros.

Disolvente Seco. El disolvente seco usado para las diluciones incrementales en la sección de enfriamiento debe tenerse disponible a varias temperaturas de manera que pueda ser inyectado a la carga a la temperatura de la misma, en el punto de inyección. Los disolventes a diferentes temperaturas se obtienen de cada uno de los enfriadores de disolvente.

1.- Disolvente de 90 °F (32 °C) de la salida del enfriador LG-ER-325.



- 2.- Disolvente de 60 °F a 70 °F (15.6 °C a 21 °C) de la salida del enfriador LG-ER-324.
- 3.- Disolvente de 30 °F a 40 °F (1.1 °C a 4.4 °C) de la salida del enfriador LG-ER-323.
- 4.- Disolvente de 5 °F a 15 °F. (-15.6 °C a -9.4 °C) de la salida del enfriador LG-ER-322-A.
- 5.- Disolvente de -15 °F a 10 °F. (-26 °C a 12.2 °C) de la salida del enfriador LG-ER-321.

3.2.2 Resultados del análisis de peligros y operabilidad (HazOp).

En las hojas de registro de las sesiones HazOp se presentan los resultados del análisis que son:

- Las causas de las desviaciones.
- Las consecuencias de dichas causas.
- La frecuencia.
- La gravedad.
- El índice de riesgo.
- Las protecciones.
- Las recomendaciones.

El índice ó número de riesgo permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad ó no del riesgo, ó bien asignar prioridades a las acciones recomendadas. El sistema para establecer las prioridades de las recomendaciones implementadas deberá usar una matriz de índice de riesgo que combine la probabilidad de ocurrencia de un



accidente y la severidad ó gravedad de las consecuencias del mismo. Son varias las matrices de riesgos que pueden encontrarse en la literatura y cada compañía que hace estudios de riesgos usa su propia matriz de riesgos. Más adelante se muestra una de ellas.

Las recomendaciones se clasifican de acuerdo al nivel de riesgo encontrado y se obtienen directamente de la matriz de riesgos. Estas se clasifican 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 ó su consecuencia. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo de **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 y el fundamento de la recomendación dada para reducir el riesgo, para que con base en esto se tome la decisión de “aceptar ó no el riesgo”. De acuerdo con la matriz de riesgos, que aquí 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**.

La siguiente tabla 3.1 muestra los niveles de frecuencia y de gravedad que se



utilizaron para la creación de la matriz de riesgos (figura 3.1). Son varias las matrices de riesgos que podemos encontrar en la literatura y cada compañía que hace estudios de riesgos usa su propia matriz de riesgos.

Tabla 3.1 Niveles de frecuencia y gravedad.

Frecuencia/probabilidad	Gravedad/consecuencia
1. No más de una vez en la vida de la planta 2. Hasta una vez en diez años 3. Hasta una vez en cinco años 4. Hasta una vez en un año 5. Más frecuentemente que una vez al año	1. No tiene impacto en la planta, personal ó equipo 2. Daños sólo al equipo ó fugas menores 3. Lesiones al personal de la unidad, todas las consecuencias se contienen en la instalación 4. Daños/destrucción mayores a la instalación, consecuencias limitadas fuera de la instalación 5. Daños/destrucción mayores a la instalación, y/o consecuencias extensivas fuera de la instalación

Figura 3.1 Matriz de Riesgos.

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

Aceptabilidad máxima: 3



Compañía: Planta Desparafinadora de Aceites
Lubricantes

Area/proceso: Circuito de disolvente seco

Fecha: 11 de enero de 2002.

Nodo: 9. Tanque LG-D-303

Diagramas: R-11600-2

Producto: MEC y Tolueno

Desviación: Menos nivel			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase	
1.	1. Falla en la indicación de nivel y que este tapado el LG.	1. Cavitación, daños a las bombas LG-P-303 y fuga por sellos.	4 (4)	2 (2)	7 (7)	1. Los indicadores ópticos LG's. 2. Indicador de nivel en tablero de control. 3. Patrullaje operacional. 4. Seguimiento al mantenimiento preventivo.	1. Verificación de libertad de tomas de nivel una vez por guardia. 2. Instalar alarma por bajo nivel en el acumulador LG-D-303.	B	
2.	2. Falta de recuperación.	1. Cavitación, daños a las bombas LG-P-303 y fuga por sellos.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Los indicadores ópticos LG's. 2. Indicador de nivel en tablero de control. 3. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por bajo nivel en el acumulador LG-D-303.	A	
3.	3. Fugas en el circuito después de la descarga de la LG-P-305.	1. Cavitación, daños a las bombas LG-P-303 y fuga por sellos.	3 (3)	2 (2)	6 (6)	1. Los indicadores ópticos LG's. 2. Indicador de nivel en tablero de control. 3. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por bajo nivel en el acumulador LG-D-303.	B	

37



Compañía: Planta Desparafinadora de Aceites
Lubricantes

Area/proceso: Circuito de disolvente seco

Fecha: 11 de enero de 2002.

Nodo: 10. Bomba LG-P-303

Diagramas: R-11600-2

Producto: MEC y Tolueno

Desviación: No flujo en la descarga			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
4.	1. Compuerta caída de la válvula de la succión de la bomba LG-P-303 o del acumulador LG-D-303.	1. Cavitación, daños a las bombas y fuga por sellos. 2. Alto nivel en el acumulador LG-D-303. 3. Deja sin carga a la bomba LG-P-305.	3 (3)	2 (2)	6 (6)	1. El PI de tablero y campo en la descarga de las bombas LG-P-303. 2. Los indicadores ópticos LG's del acumulador LG-D-303. 3. Indicador de nivel en tablero de control. 4. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-303. 3. Instalar alarma por alto nivel en el acumulador LG-D-303.	B
5.	2. Taponamiento súbito de las pichanchas.	1. Cavitación, daños a las bombas y sellos. 2. Alto nivel en el acumulador LG-D-303. 3. Deja sin carga a la bomba LG-P-305.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. El PI de tablero y campo en la descarga de las bombas LG-P-303. 2. Los indicadores ópticos LG's. 3. Indicador de nivel en tablero de control. 4. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por alto nivel en el acumulador LG-D-303. 3. Instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-303.	A
6.	3. Compuerta caída de la válvula de descarga de la bomba LG-P-303.	1. Calentamiento del motor y de la bomba LG-P-303. 2. Calentamiento de rodamientos de la bomba LG-P-303. 3. Fuga de disolvente por sellos e incendio.	3 (3)	3 (3)	7 (7)	1. Elementos térmicos del motor. 2. El PI de tablero y campo en la descarga de las bombas LG-P-303. 3. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por baja presión en la descarga de la bomba LG-P-303.	B

38



Compañía: Planta Desparafinadora de Aceites
Lubricantes

Area/proceso: Circuito de disolvente seco

Fecha: 11 de enero de 2002.

Nodo: 10. Bomba LG-P-303

Diagramas: R-11600-2

Producto: MEC y Tolueno

Desviación: No flujo en la descarga			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
7.	4. No nivel en el acumulador LG-D-303.	1. Cavitación, daños a las bombas y fuga por sellos.	4 (4)	3 (3)	8 (8)	1. Los indicadores ópticos LG's. 2. El PI de tablero y campo en la descarga de las bombas LG-P-303. 3. Indicador de nivel en tablero de control. 4. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por bajo nivel en el acumulador LG-D-303. 3. Instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-303.	A

Desviación: Menos presión en la descarga			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
8.	1. Bajo nivel en el acumulador LG-D-303.	1. Cavitación, daños a las bombas y fugas por sellos. 2. Menos presión en la succión de la bomba LG-P-305.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Los indicadores opticos LG's. 2. El PI de tablero y campo en la descarga de las bombas LG-P-303. 3. Indicador de nivel en tablero de control. 4. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por bajo nivel en el acumulador LG-D-303. 3. Instalar alarma por baja presión en la descarga de la bomba LG-P-303.	A

39



Compañía: Planta Desparafinadora de Aceites
Lubricantes

Area/proceso: Circuito de disolvente seco

Fecha: 11 de enero de 2002.

Nodo: 11. Bomba LG-P-305 y 305A

Diagramas: R-11600-3

Producto: MEC y Tolueno

Desviación: No flujo en la descarga			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase	
9.	1. Compuerta caída de la válvula a la descarga de la bomba LG-P-305.	1. Calentamiento del motor y bomba LG-P-305. 2. Daños a la bomba LG-P-305. 3. Fuga de disolvente por sellos e incendio.	4 (4)	3 (3)	8 (8)	1. Elementos térmicos del motor. 2. Patrullaje operacional. 3. El PI de campo en la descarga y succión de las bombas LG-P-305.	1. Modernizar las bombas LG-P-305 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-305.	A	
10.	2. Falla de la válvula del PIC-320 (cerrado).	1. Calentamiento del motor y bomba LG-P-305. 2. Daños a la bomba LG-P-305. 3. Fuga de solvente por sellos e incendio.	3 (2)	3 (3)	7 (6)	1. Elementos térmicos del motor. 2. Mantenimiento preventivo. 3. Indicación de presión PIC-320 en tablero. 4. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-305 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-305.	B	
11.	3. Compuerta caída de la válvula de succión de la bomba LG-P-305.	1. Cavitación, daños a las bombas y fuga por sellos.	3 (3)	2 (2)	6 (6)	1. El PI de campo en la descarga y succión de las bombas LG-P-305. 2. Indicación de presión PIC-320 en tablero. 3. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-305 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por bajo flujo en la descarga de las bombas LG-P-305.	B	
12.	4. La bomba LG-P-303 no alimenta disolvente a la LG-P-305.	1. Cavitación, daños a las bombas LG-P-305 y fuga por sellos. 2. Menos presión en la descarga de la LG-P-305.	5 (4)	2 (2)	8 (7)	1. El PI de tablero y campo en la descarga de las bombas LG-P-303. 2. Los indicadores ópticos LG's. 3. Indicador de nivel en tablero de control. 4. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-305 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-303.	B	

40



Compañía: Planta Desparafinadora de Aceites
Lubricantes

Area/proceso: Circuito de disolvente seco

Fecha: 23 de enero de 2002.

Nodo: 12. Válvula PV-320

Diagramas: R-11601-2

Producto: MEC y Tolueno

Desviación: Más presión			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase	
13.	1. Taponamiento de los ER's.	1. Calentamiento del motor LG-P-305. 2. Posibles fugas en las bridas del arreglo de la PV-320. 3. Fuga por el preñe-estopa de la válvula PV-320.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. El PI de campo en la descarga de las bombas LG-P-305. 2. El indicador de presión PIC-320.	1. Instalar una recirculación al acumulador LG-D-303 (mediante una PSV). 2. Instalar alarma por alta presión en la PIC-320.	A	



Compañía: Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes

Area/proceso: Circuito de disolvente seco

Fecha: 23 de enero de 2002.

Nodo: 13. Enfriador LG-ER-321

Diagramas: R-11600-5

Producto: MEC y Tolueno

Desviación: No flujo				LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación			
14.	1. Falla del PIC-320, cierra.	1. No flujo de disolvente seco a filtros, enfriadores y preenfriadores. 2. Represionamiento de la LG-P-305.	5 (3)	2 (2)	8 (6)	1. Mantenimiento preventivo. 2. El indicador de presión del PIC-320. 3. Los indicadores de presión en la descarga de la bomba LG-P-305.	1. Cumplimiento al mantenimiento preventivo. 2. Verificación de la calibración de los PI's en la descarga de las bombas.		B	
15.	2. No flujo en la descarga de la LG-P-303 o LG-P-305.	1. No flujo de disolvente seco a filtros, enfriadores y preenfriadores. 2. Cavitación, daños a la bombas LG-P-305 o LG-P-303 y fuga por sellos. 3. Más nivel en el acumulador LG-D-303.	3 (3)	2 (2)	6 (6)	1. El PI de campo en la descarga de las bombas LG-P-303 y LG-P-305. 2. Los indicadores ópticos LG's del acumulador LG-D-303. 3. Indicador de nivel del acumulador LG-D-303 en tablero de control. 4. Patrullaje operacional.	1. Modernizar las bombas LG-P-305 y LG-P-303 de acuerdo al API 8a. edición (doble sellos). 2. Instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-305. 3. Instalar alarma por alto nivel en el acumulador LG-D-303.		B	
16.	3. Fuga en cualquier punto de la línea de la descarga LG-P-305 a los ER's.	1. Menos flujo de disolvente seco a filtros, enfriadores y preenfriadores.	2 (2)	3 (3)	6 (6)	1. Indicación de flujo del FRC-303. 2. Indicación de presión del PIC-320. 3. Indicación de flujo de los FRC's 312, 313, 314, 316 y 320	1. Cumplimiento del patrullaje operacional.		B	

42



Compañía: Planta Desparafinadora de Aceites
Lubricantes

Area/proceso: Circuito de disolvente seco

Fecha: 23 de enero de 2002.

Nodo: 13. Enfriador LG-ER-321

Diagramas: R-11600-5

Producto: MEC y Tolueno

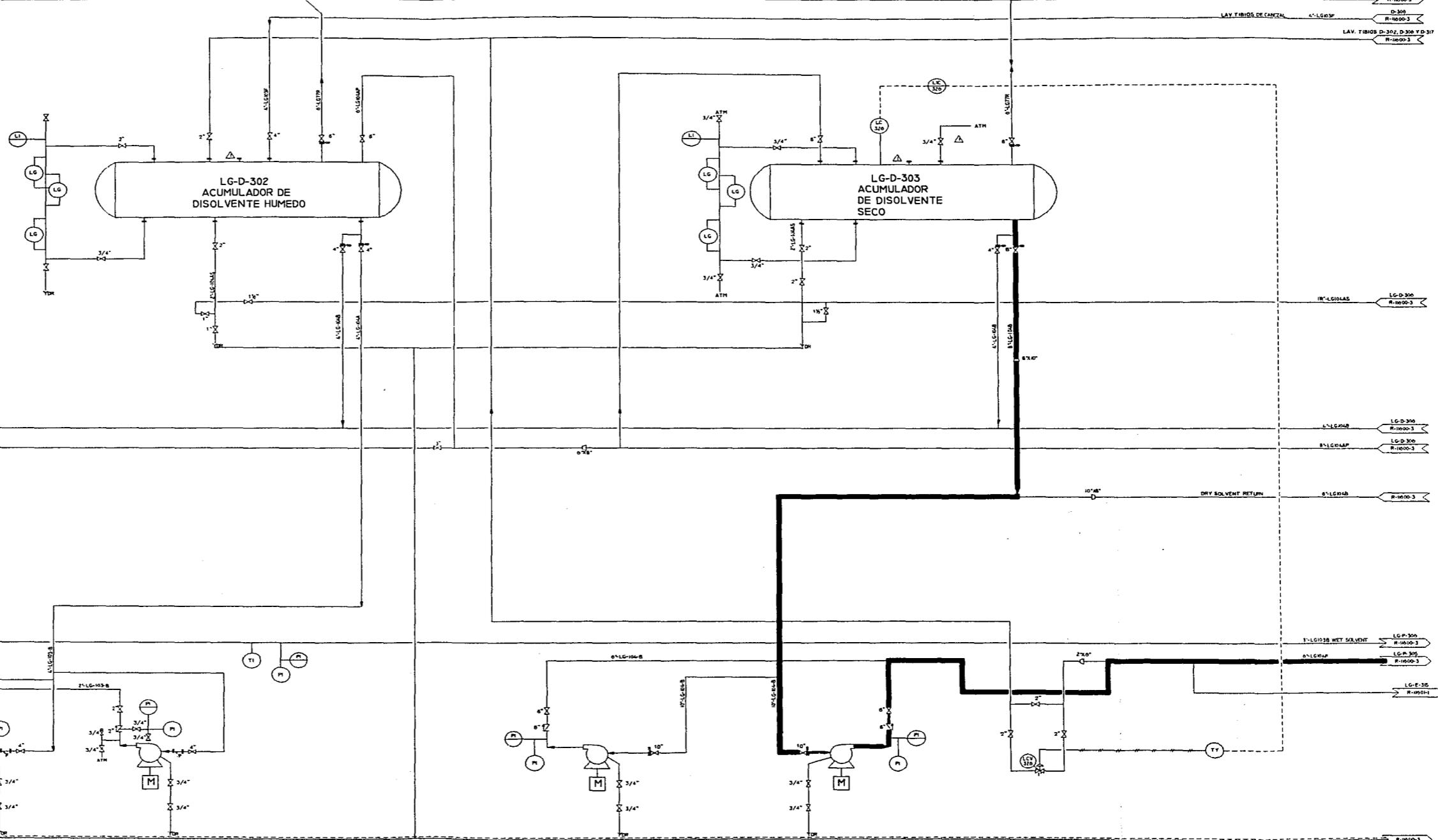
Desviación: Disolvente seco con agua				LOI:			LOS:	LSI:	LSS:
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase	
17.	1. Picaduras de los tubos de los condensadores de disolvente.	1. Taponamientos en los ER's por la formación de hielo. 2. Represionamiento en los ER's. 3. Fragilización en las válvulas, codos, restricciones. 4. No hay flujo de disolvente seco.	4 (4)	2 (2)	7 (7)	1. Patrullaje operacional (visualización del estado del solvente). 2. Análisis de laboratorio. 3. Las PSV's de la 3112 a la 3116.	1. Instalar analizador de humedad en el acumulador LG-D-303. 2. Continuidad en la rutina de visualización del estado de disolvente. 3. Instalar condensadores de relevo para el disolvente seco y húmedo.	B	

3

Desviación: Más presión				LOI:			LOS:	LSI:	LSS:
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase	
18.	1. Por la formación de sólidos (agua o parafina) en el disolvente seco.	1. Fragilización en las válvulas, codos, restricciones. 2. No hay flujo de disolvente seco. 3. Disolvente de lavado sucio.	4 (4)	2 (2)	7 (7)	1. Patrullaje operacional (visualización del estado del solvente). 2. Análisis de laboratorio. 3. Las PSV's de la 3112 a la 3116.	1. Instalar analizador de humedad en el acumulador LG-D-303. 2. Continuidad en la rutina de visualización del estado de disolvente. 3. Instalar condensadores de relevo para el disolvente seco y húmedo.	B	

LG-D-302
ACUMULADOR DE
DISOLVENTE HUMEDO

LG-D-303
ACUMULADOR DE
DISOLVENTE SECO



LG-P-304A
BOMBA DE
RELEVO

LG-P-304
BOMBA DE CARGA
DE DISOLVENTE HUMEDO

LG-P-304B
BOMBA DE CARGA
DE DISOLVENTE HUMEDO

LG-P-303A
BOMBA DE RELEVO

LG-P-303
BOMBA DE CARGA
DE DISOLVENTE SECO

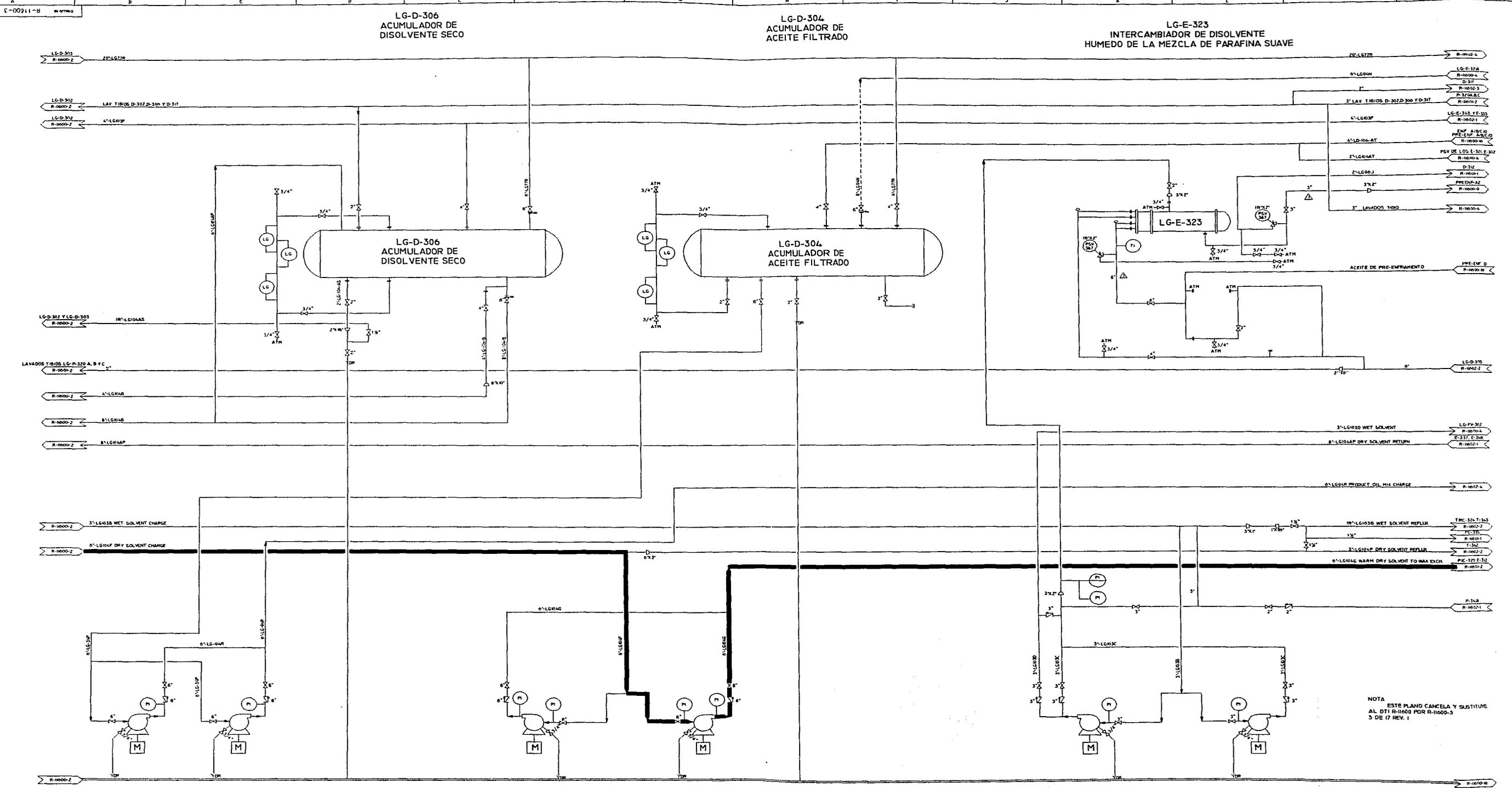
NOTA
ESTE PLANO CANCELA Y SUSTITUYE
AL OTI R-11600 POR R-11600-2
2 DE 17 REV. 1

LISTA DE CAMBIOS
1.- SE AGREGO VENTEO AL
2.- SE AGREGARON FILTROS
304 Y 304B
3.- SE AGREGARON ENTRIAS
LG-D-302 Y 303

SIMB
CIRCUITO

NO.	DESCRIPCION	PROY. NO.	FECHA

UNIVERSIDAD FACULTAD
INGENIERIA QUIMICA
APROBADO POR R.J.C.L.
APROBADO POR S.L.P.
PROY. NO. FD-352-11



LISTA DE CAMBIOS REV. I
 1- SE AGRO VALVULA DE CONTROL TRC-302 DE LA LINEA DE 3"
 2- SE AGRO VALVULA DE CONTROL TRC-312 DE LA LINEA DE 3"
 3- SE AGRO LINEA DE 2" CON VALVULA DE COMPUERTA AL EQUIPO D-300

SIMBOLOGIA
 CIRCUITO

CIRCUITO DE
 DISOLVENTE SECO

NOTA
 ESTE PLANO CANCELA Y SUSTITUYE
 AL D71 R-11600 POR R-11600-3
 3 DE 17 REV. I

LG-P-331A
 BOMBA DE CARGA
 ACEITE PRODUCTO

LG-P-331
 BOMBA DE CARGA
 ACEITE PRODUCTO

LG-P-305A
 BOMBA DE RELEVO

LG-P-305
 BOMBA DE DISOLVENTE
 SECO A DILUCION

LG-P-306A
 BOMBA DE DISOLVENTE
 HUMEDO A DILUCION

LG-P-306
 BOMBA DE DISOLVENTE
 HUMEDO A DILUCION

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA CONJ. E. LAS ZU	
TITULO DEL DISEÑO POR D.F. SERVICIO POR D.F. SERVICIO POR D.F. SERVICIO POR D.F.	TITULO DEL DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTO SECCION DE ENFRIAMIENTO DIAGRAMA R-11600-3 PROYECTO NEREN 2370 LC
PROY. NO. DIBUJO NO.	FO-332-11 DESCRIPCION TRC-302 30 NOV 1966 R-208

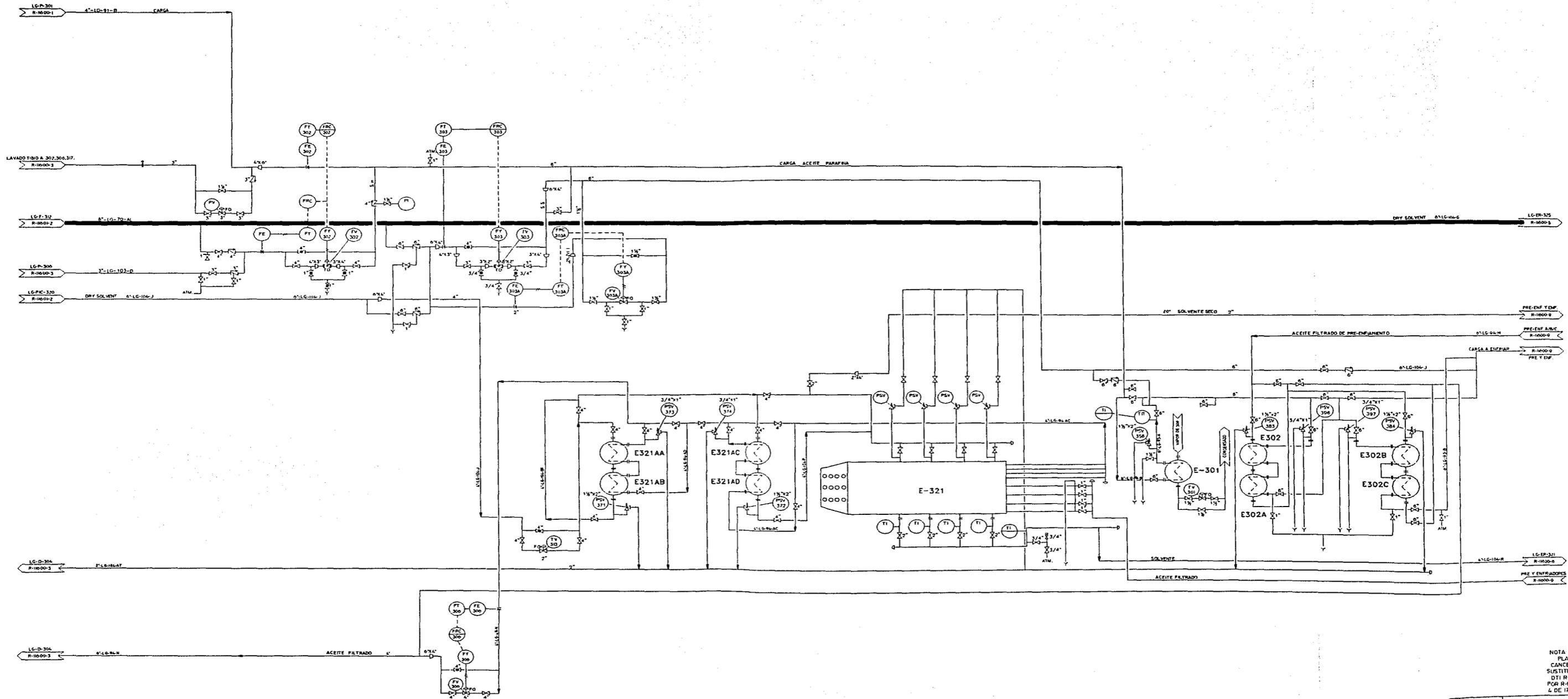
E-321 AA/AB/AC/AD
ACEITE FILTRADO CON DISOLVENTE SECO

E-321
ACEITE FILTRADO CON DISOLVENTE SECO

E-301
CALENTADOR DE CARGA

E-302A/B/C
PRE-ENFRIADOR DE CARGA

SIMBOLO
CIRCUITO

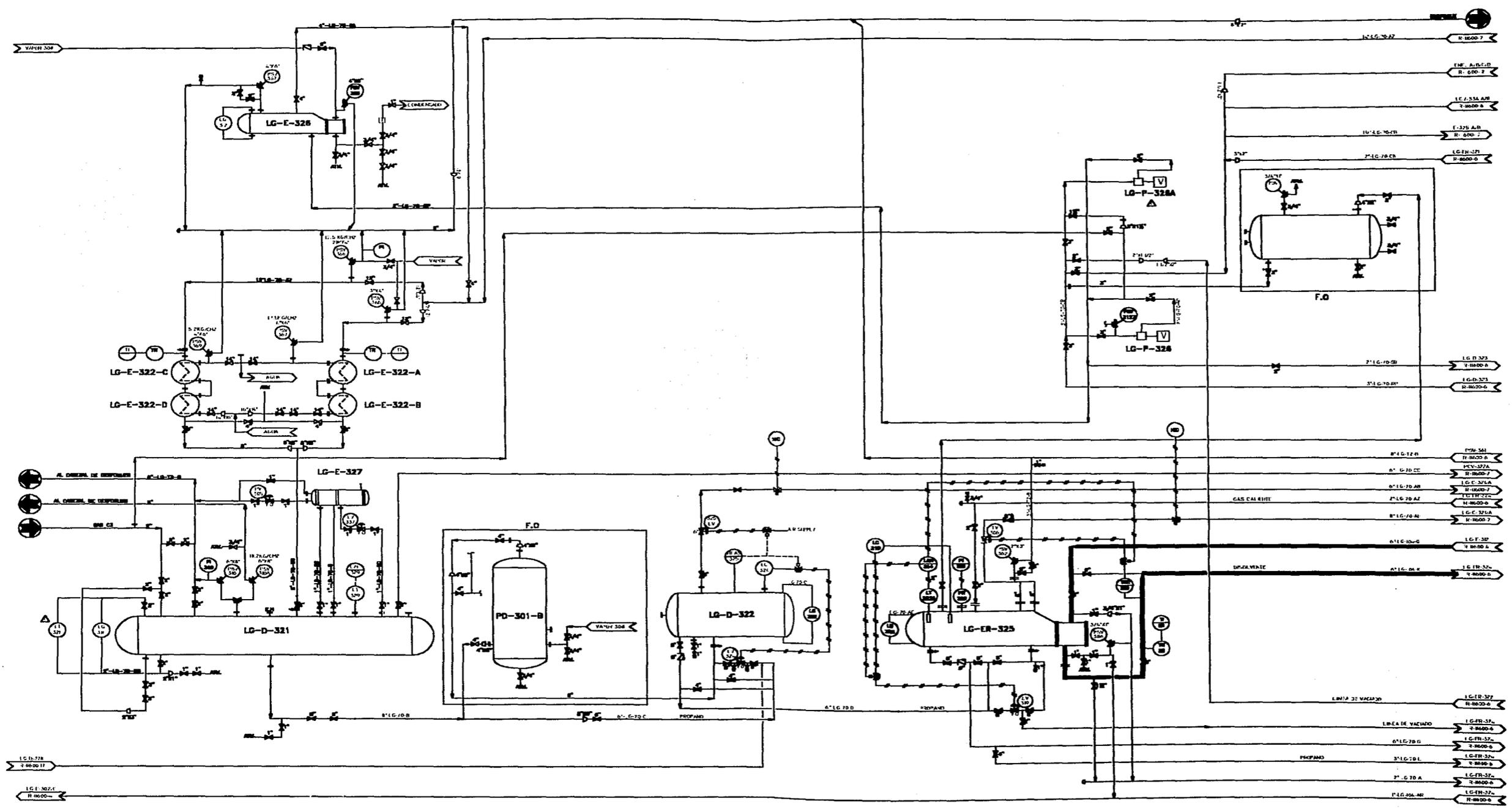


CIRCUITO DE

NOTA ESTE PLANO CANCELA Y SUSTITUYE AL DTI R-1000 POR R-1000-4 A DE 17 REV.1

REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN	PROY. NO.	FO-332-II

LG-D-321 ACUMULADOR DE PROPANO
 LG-E-326 EVAPORADOR DE PROPANO
 LG-E-322-A,B,C,D CONDENSADOR DE PROPANO
 LG-E-327 CONDENSADOR DE INCONDENSABLE DE C3
 LG-D-322 ECONOMIZADOR
 LG-ER-325 ENFRIADOR DE DISOLVENTE CON PROPANO
 LG-P-326/A RECUPERADOR DE PROPANO



CIRCUITO DE

NOTA: ESTE PLANO CANCELA Y SUSTITUYE AL D11 R-1600 POR R-1600 5 6 DE 17 REV.1

UNIVERSIDAD NACIONAL FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO	FECHA	REV.	DESCRIPCION

PROYECTO: R-1600 5 6 DE 17 REV.1

LG-ER-324
ENFRIADOR DE
DISOLVENTE
CON PROPANO

LG-ER-323
ENFRIADOR DE
DISOLVENTE
CON PROPANO

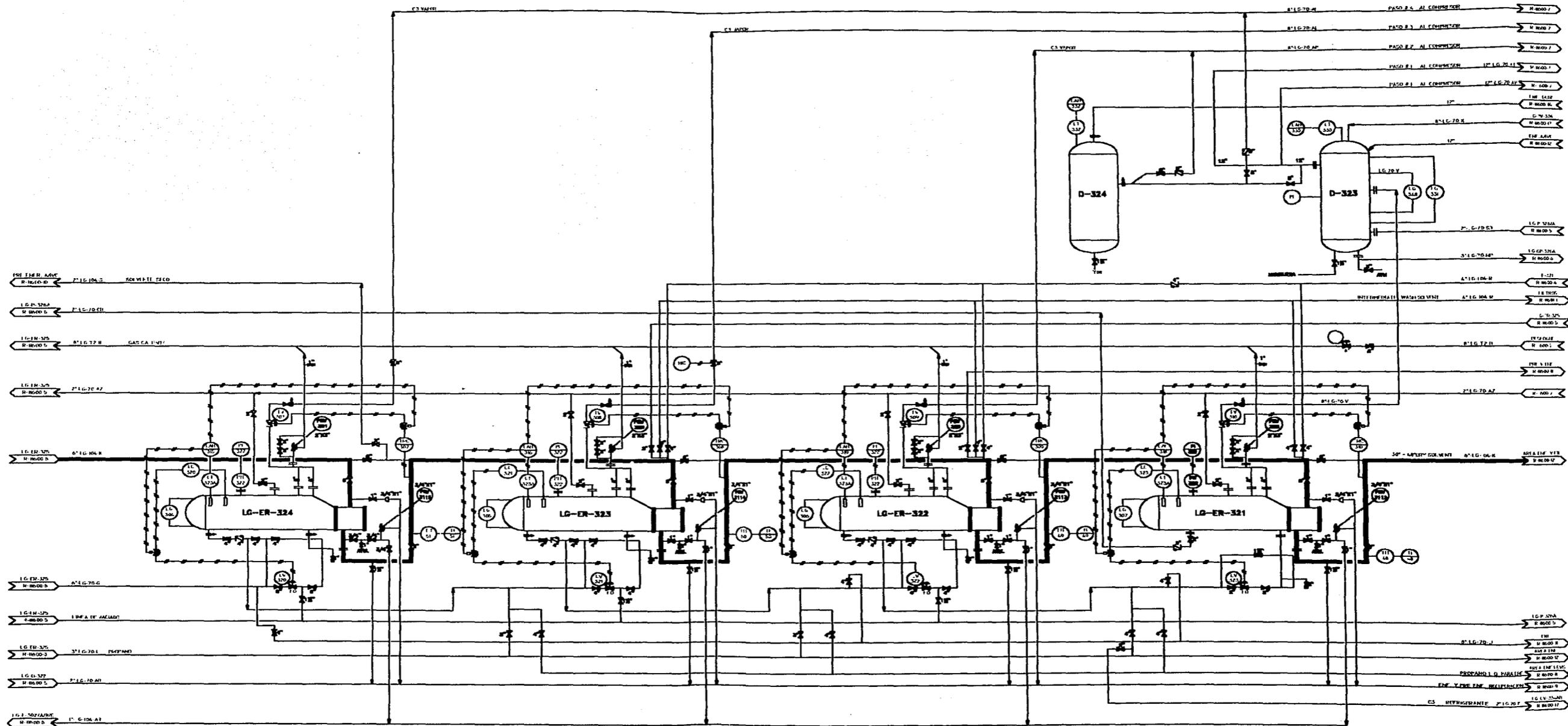
LG-ER-322
ENFRIADOR DE
DISOLVENTE
CON PROPANO

LG-D-324
TRAMPA DE
PROPANO ALTA
PRESIÓN

LG-ER-321
ENFRIADOR DE
DISOLVENTE
CON PROPANO

LG-D-323
TRAMPA DE
PROPANO BAJA
PRESIÓN

SIMBOL
CIRCUITO



CIRCUITO DE

NOTA: NO HAY CONTROL AL
(TV 5: M)

NOTA: ESTE
PLANO
CANTELA Y
SUSTITUIR AL
DII N. 1000
POR N. 1000 Q
6 DE 17 REV. 1

UNIVERSIDAD NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA

NO. DE REVISION	DESCRIPCION	FECHA	PO-324-1

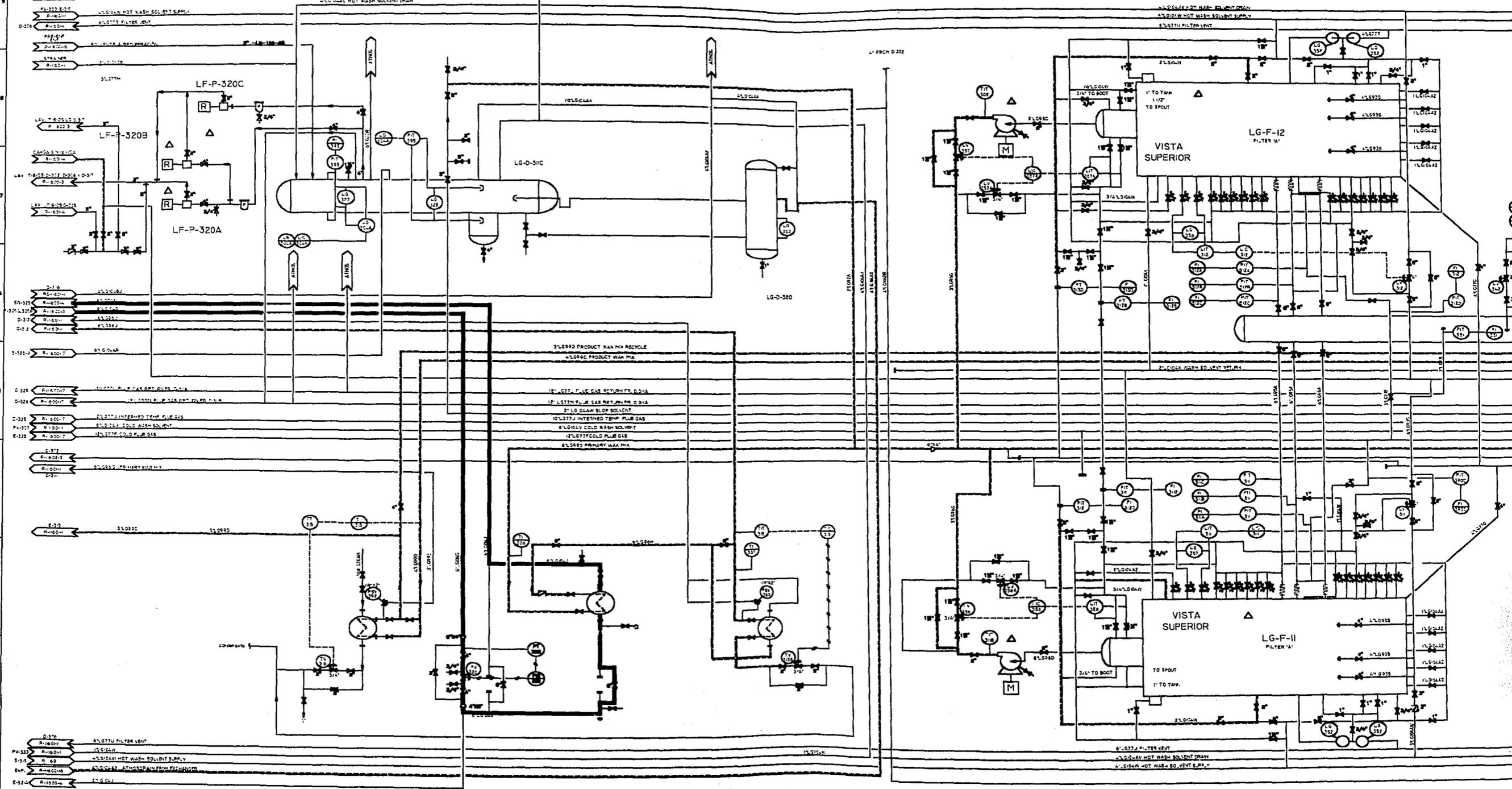
LG-P-320 A,B,C
BOMBA LAVADOS
TIBIOS A RECUPERACIÓN

LG-D-311-C
RECIBIDOR DE
LAVADOS TIBIOS

LG-D-380
RESUMIDERO ATMOSFÉRICO

LG-P-313-12
BOMBA PARAFINA
DE F-12

LG-F-12
FILTRO DE
PARAFINA PRIMARIA



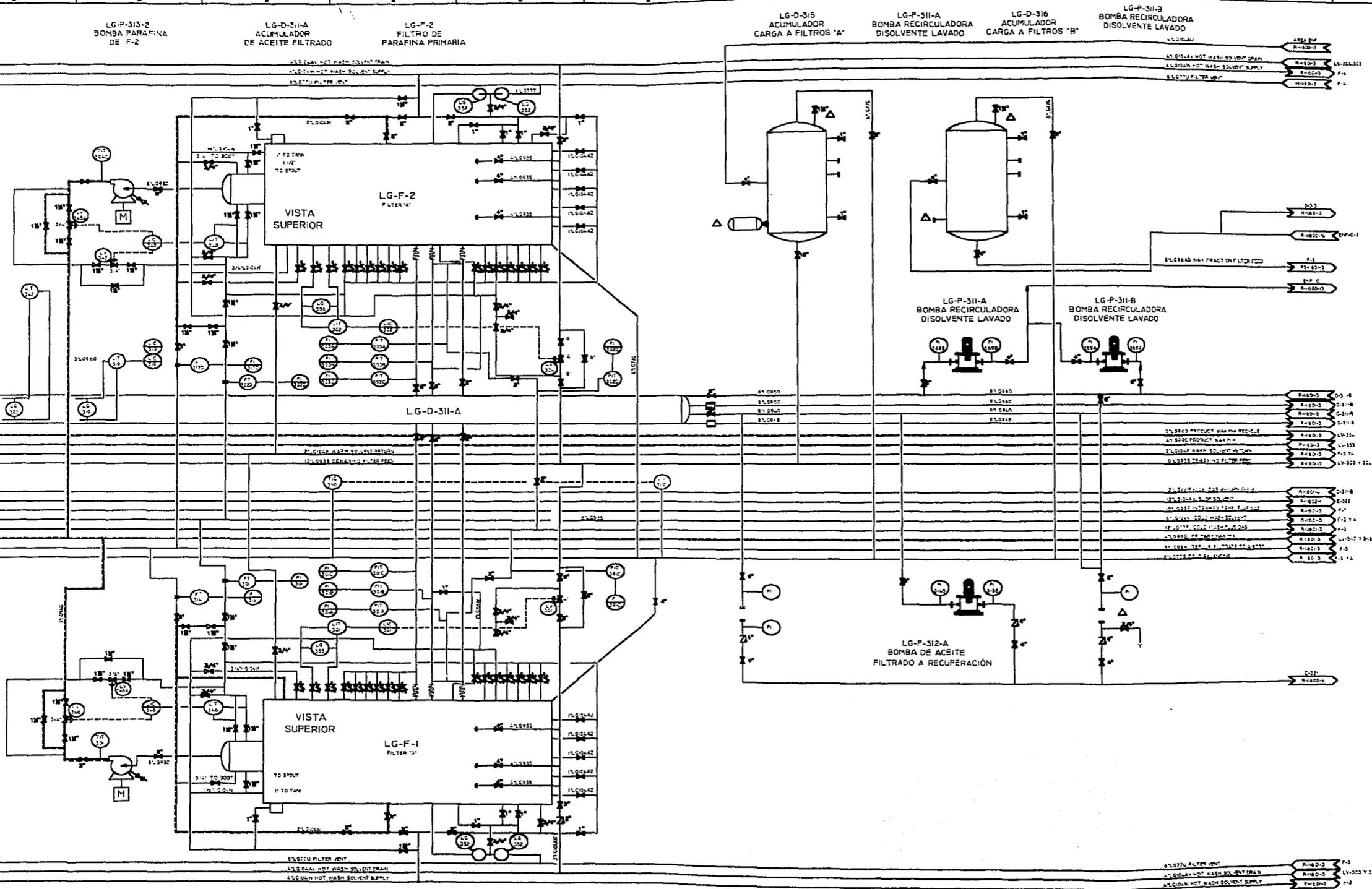
LG-E-314
INTERCAMBIADOR
DE PARAFINA DURA
CON VAPOR

LG-E-312
INTERCAMBIADOR DE
LA MEZCLA DE PARAFINA
PRIMARIA CON DISOLVENTE

LG-E-311
INTERCAMBIADOR
DE PARAFINA PRIMARIA
VS VAPOR

LG-P-313-II
BOMBA PARAFINA
DE F-II

LG-F-II
FILTRO DE
PARAFINA PRIMARIA



- LISTA DE CAMBIOS REV. I**
- 1- SE ANCLARON LOS FILTROS N° 12 CON TODO SU INSTRUMENTACION.
 - 2- SE BOMBEO EN LOS EQUIPOS LG-D Y LG-D-316.
 - 3- LA BOMBA DEL EQUIPO LG-D-315 SE ENCONTRA FUERA DE SERVICIO.
 - 4- LA BOMBA DEL EQUIPO LG-D-316 SE QUITO.
 - 5- SE QUITO LA BOMBA LG-P-311.
 - 6- SE ADERESARON LAS BOMBAS LG-P-311-A Y LG-P-311-B.
 - 7- SE ADERESARON LAS BOMBAS LG-P-312-A Y C CON INSTRUMENTACION.

SIMBOLOGÍA
CIRCUITO

**CIRCUITO DE
DISOLVENTE SECO**

NOTA: ESTE PLANO CANCELA Y SUSTITUYE AL DTI R-11601 POR R-11601-2 DE 4 REV. I

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		FACULTAD DE QUÍMICA CONJ. E. LAB. 212	
TÍTULO DEL PROYECTO			
DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN			
SECCIÓN DE FILTRACIÓN			
DIAGRAMA R-11601-2			
AUTOR			
FECHA			
DIBUJO NO.		DESCRIPCIÓN	
R-11601-2		CIRCUITO DE DISOLVENTE SECO	



3.3 Resultados del Análisis de Árbol de Fallas (FTA)

Para el análisis se tomó como evento culminante el Incendio en la bomba de disolvente seco LG-P-305 a sugerencia del personal de la Planta Desparafinadora de aceites lubricantes.

Esta técnica fue usada para la evaluación cuantitativa del evento culminante (Incendio en la bomba de disolvente seco LG-P-305). La probabilidad del escenario de accidente (evento culminante) obtenida se comparó con un potencial de pérdida correspondiente a la pérdida probable total (en dólares) que se produciría si el accidente ocurre, se puede ver en la (Tabla 3.2). Los valores del potencial de pérdida y de la pérdida probable fueron tomados de la literatura y representan una aproximación. Si la probabilidad del evento culminante es mayor que el potencial de pérdida, el riesgo no se acepta y es necesario reducir su probabilidad, mediante técnicas de reducción de riesgos. Si la probabilidad del evento culminante es menor que el potencial de pérdida, el riesgo puede aceptarse y es necesario controlarlo en su nivel actual.

El evento culminante (Incendio en la bomba de disolvente seco LG-P-305) puede darse por siete factores principales:

- Sobrecalentamiento de la bomba.
- Sobrecarga eléctrica.
- Falta de protección para sobrecarga eléctrica.
- Daño al sello.
- Falla de mantenimiento.
- Mala operación.
- Falla de instrumentación.

**Tabla 3.2 Potencial de Pérdida y Pérdida Máxima Probable.**

PROBABILIDAD (P)	FRECUENCIA PROBABLE (F)
10^0	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento)
10^{-1}	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año)
10^{-3}	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año)
10^{-5}	Poco probable (no se ha presentado en 5 años)
10^{-7}	Improbable (no se ha presentado en 10 años)
10^{-9}	No se ve probabilidad de que ocurra
POTENCIAL DE PÉRDIDA (P^p)	PÉRDIDA PROBABLE TOTAL (en dólares)
1	1 a 100
10^{-1}	100 a 1,000
10^{-2}	1,000 a 10,000
10^{-3}	10,000 a 100,000
10^{-4}	100,000 a 1,000,000
10^{-5}	1,000,000 a 10,000,000
10^{-6}	10,000,000 a 100,000,000
10^{-7}	100,000,000 a 1,000,000,000
10^{-8}	Mayor de 1000,000,000

Los datos de probabilidad utilizados para la evaluación cuantitativa fueron tomados de la literatura, en el Apéndice A se muestran algunas probabilidades de ocurrencia de accidentes en diferentes industrias.

El diagrama 3.1 y 3.2 muestra el Árbol de fallas con el desarrollo de cada una de las ramas para los factores principales y el diagrama 3.3 y 3.4 en este diagrama se han incluido recomendaciones a portadas por los ingenieros de la planta.

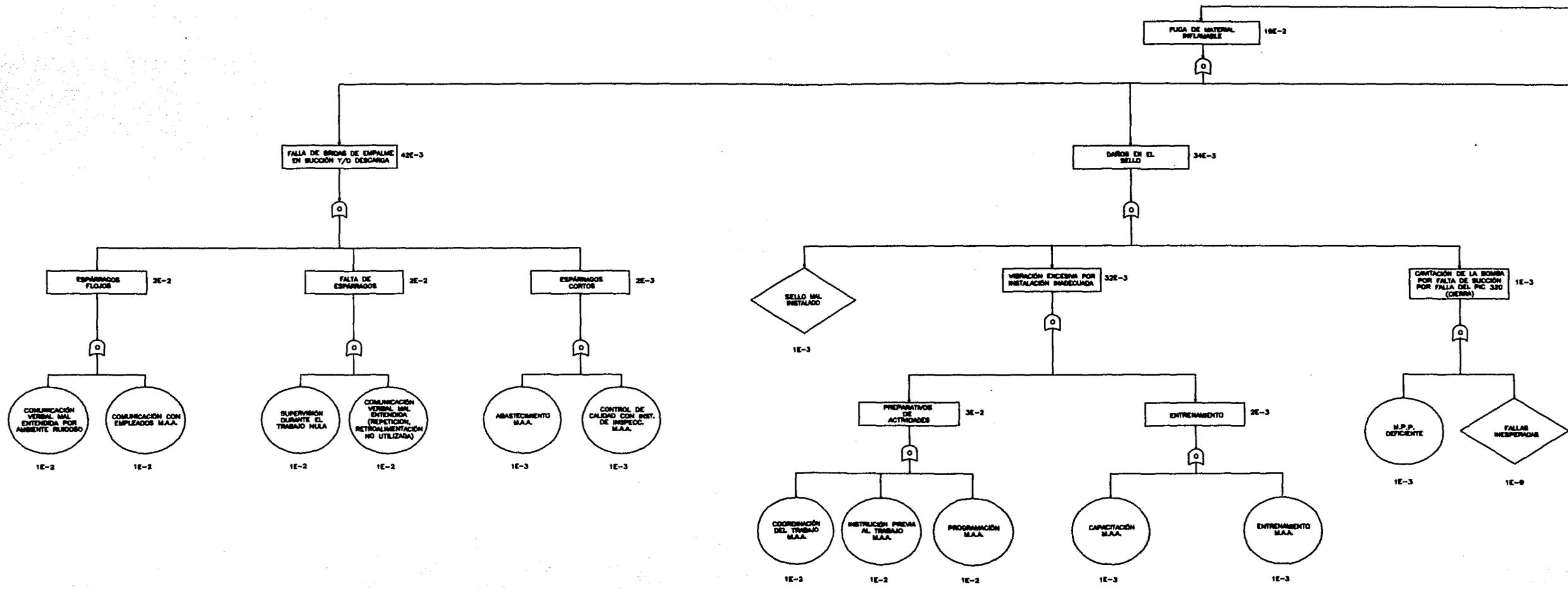


Comparación de Probabilidad con Potencial de Pérdida.

La probabilidad del evento culminante (Incendio en la bomba de disolvente seco LG-P-305) calculada se compara con el valor del potencial de pérdida correspondiente a la pérdida probable total (en dólares) que se tendría en caso de que se produzca el accidente.

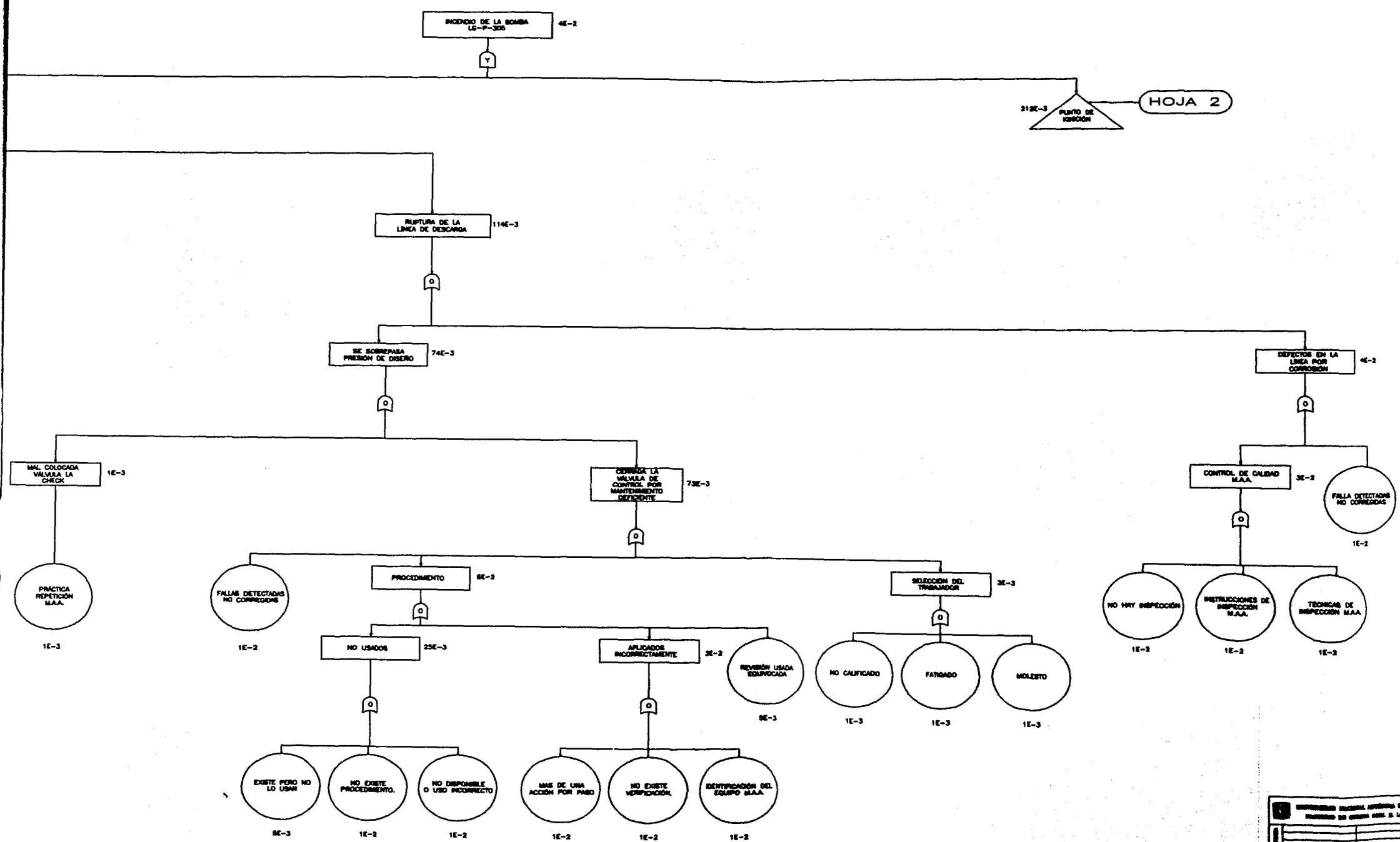
El valor del potencial de pérdida, P^0 , que se tomó para hacer la comparación fue de 10^{-5} , el valor de probabilidad que se obtuvo del análisis de árbol de fallas es de 4×10^{-2} lo cual quiere decir que es muy probable que ocurra el evento. El valor que se obtuvo del análisis del árbol de fallas es más grande que P^0 , lo que quiere decir que se debe disminuir la probabilidad del evento culminante, mediante la aplicación de recomendaciones que permitan reducir el árbol eliminando sucesos.

Las recomendaciones que se hacen para disminuir la probabilidad de que ocurra el evento culmine se muestran en el capítulo IV, las que fueron usadas para disminuir la probabilidad del evento culminante a un valor de 5×10^{-3} .



NOTAS

M.A.A. MENOR AL ADECUADO
M.P.P. MANTENIMIENTO PREVENTIVO/PREDICTIVO



21E-3 PUNTO DE INSPECCION HOJA 2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
INSTITUTO DE QUÍMICA COM. E. LAB. 502

DIAGRAMA No. 3.1

FECHA DE ELABORACIÓN: 15/11/2011

ELABORADO POR: []

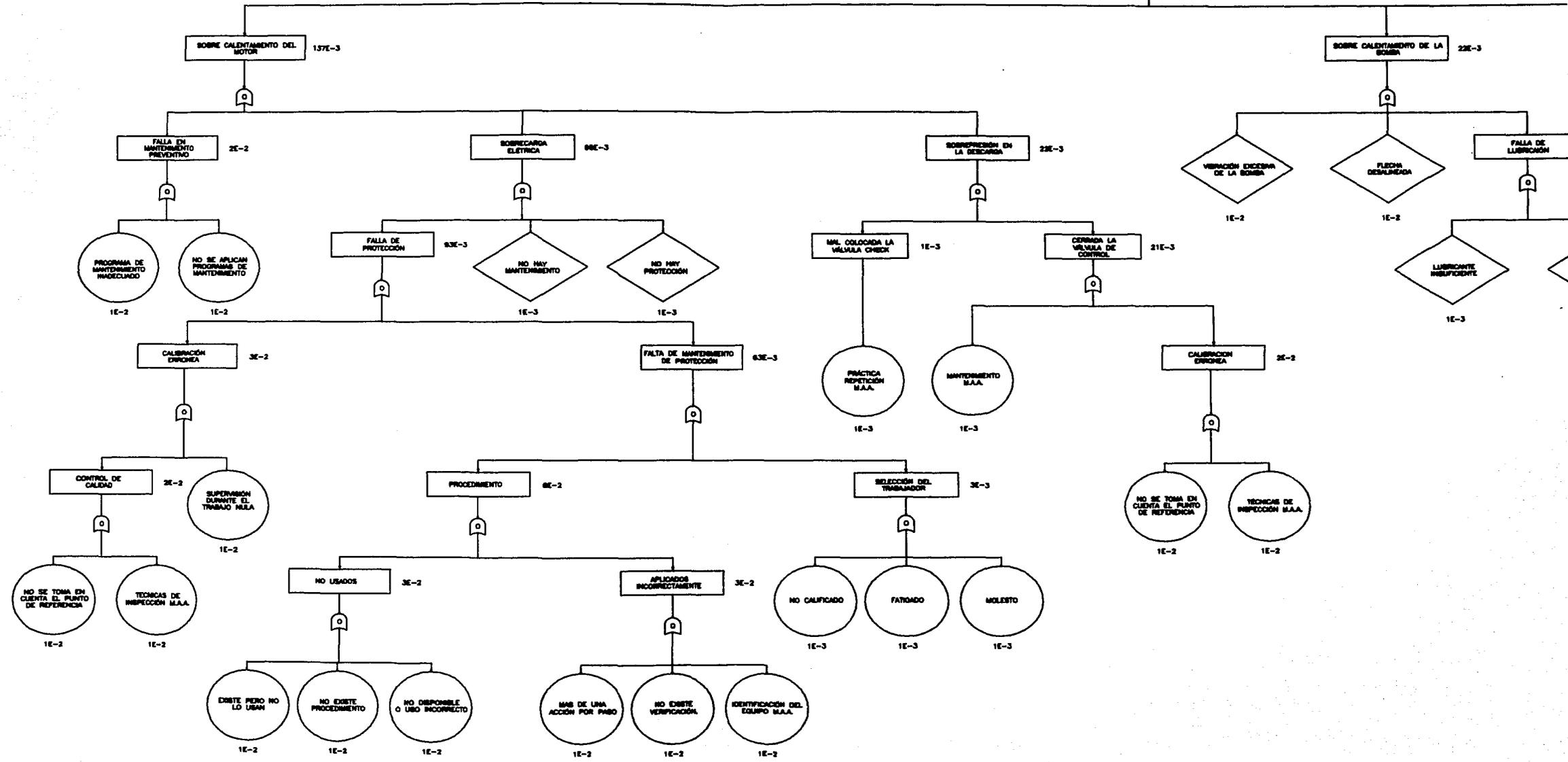
REVISADO POR: []

APROBADO POR: []

PROYECTO: []

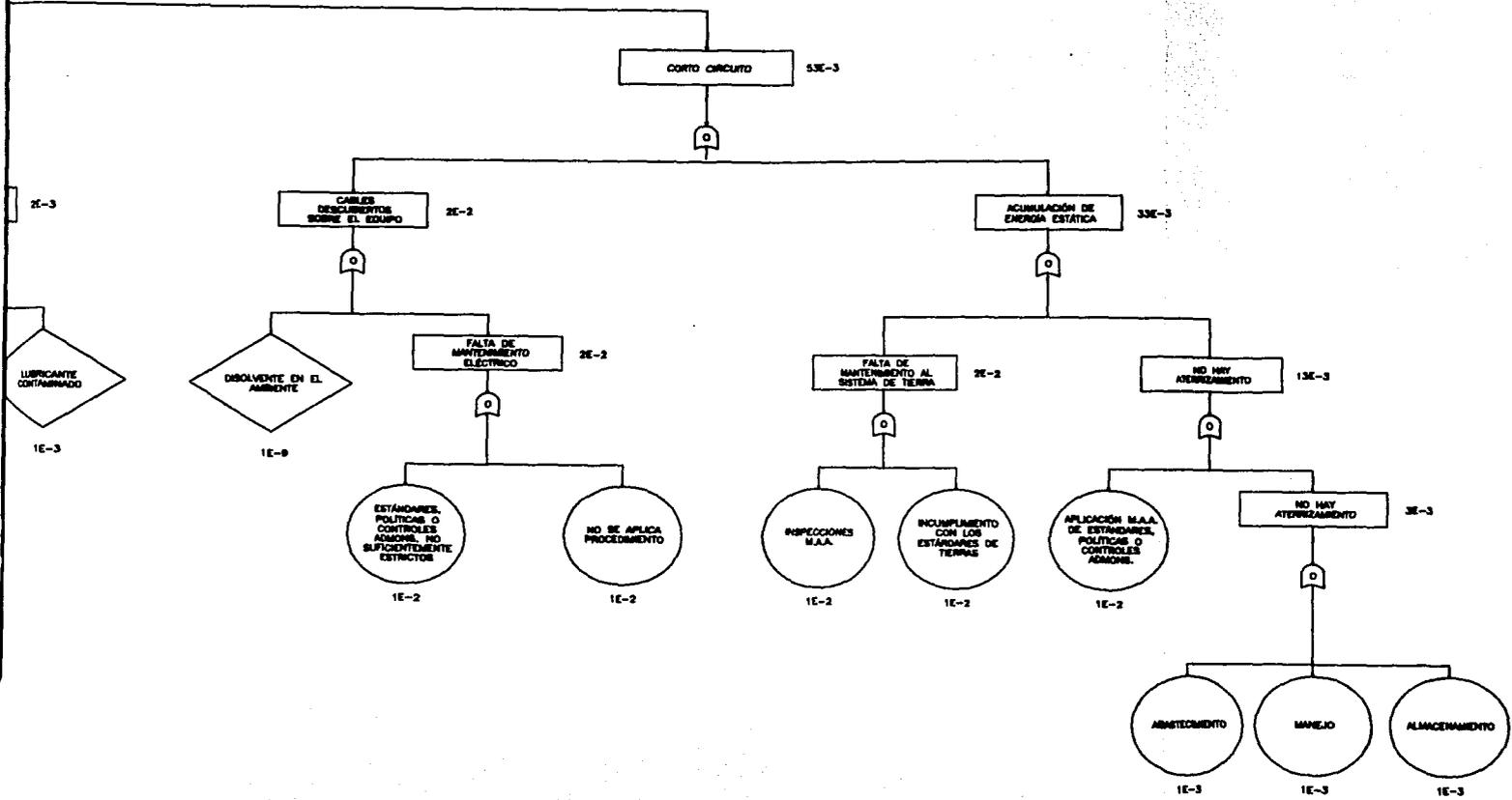
FECHA: []

HOJA 11



NOTAS

MAA. MENOR AL ADECUADO
M.P.P. MANTENIMIENTO
PREVENTIVO/PREDICTIVO

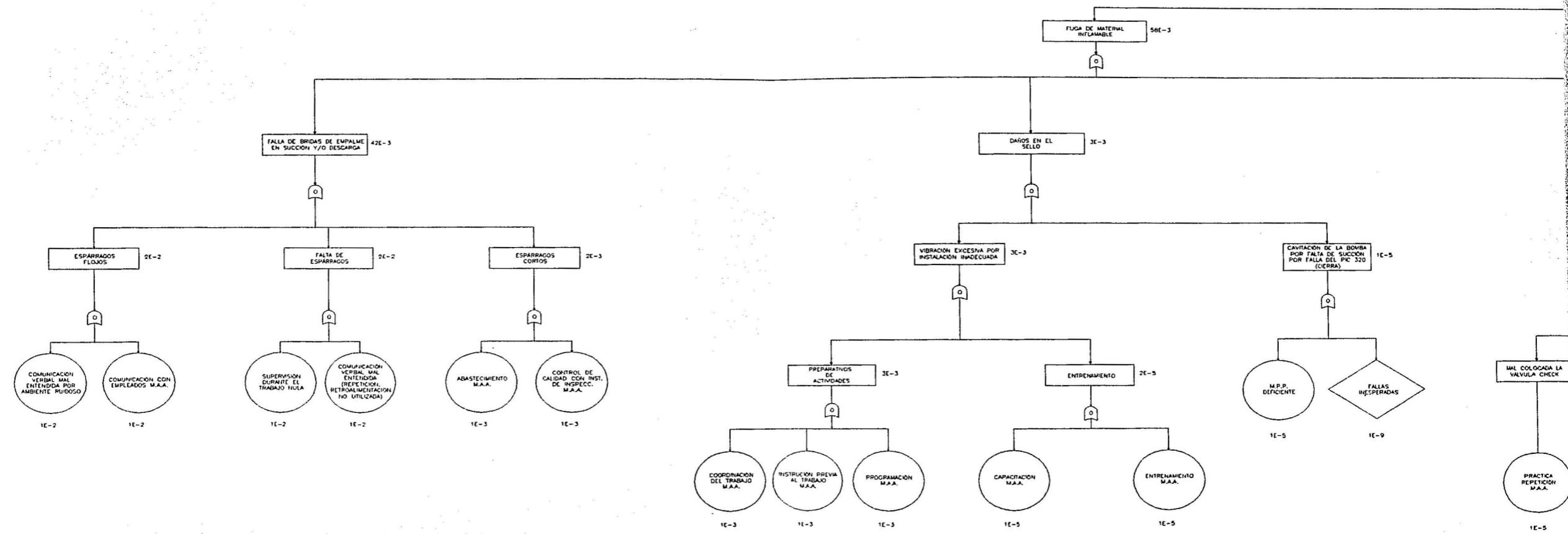


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA, QUÍMICA, S. LAZ. 200

DIAGRAMA No. 3.2

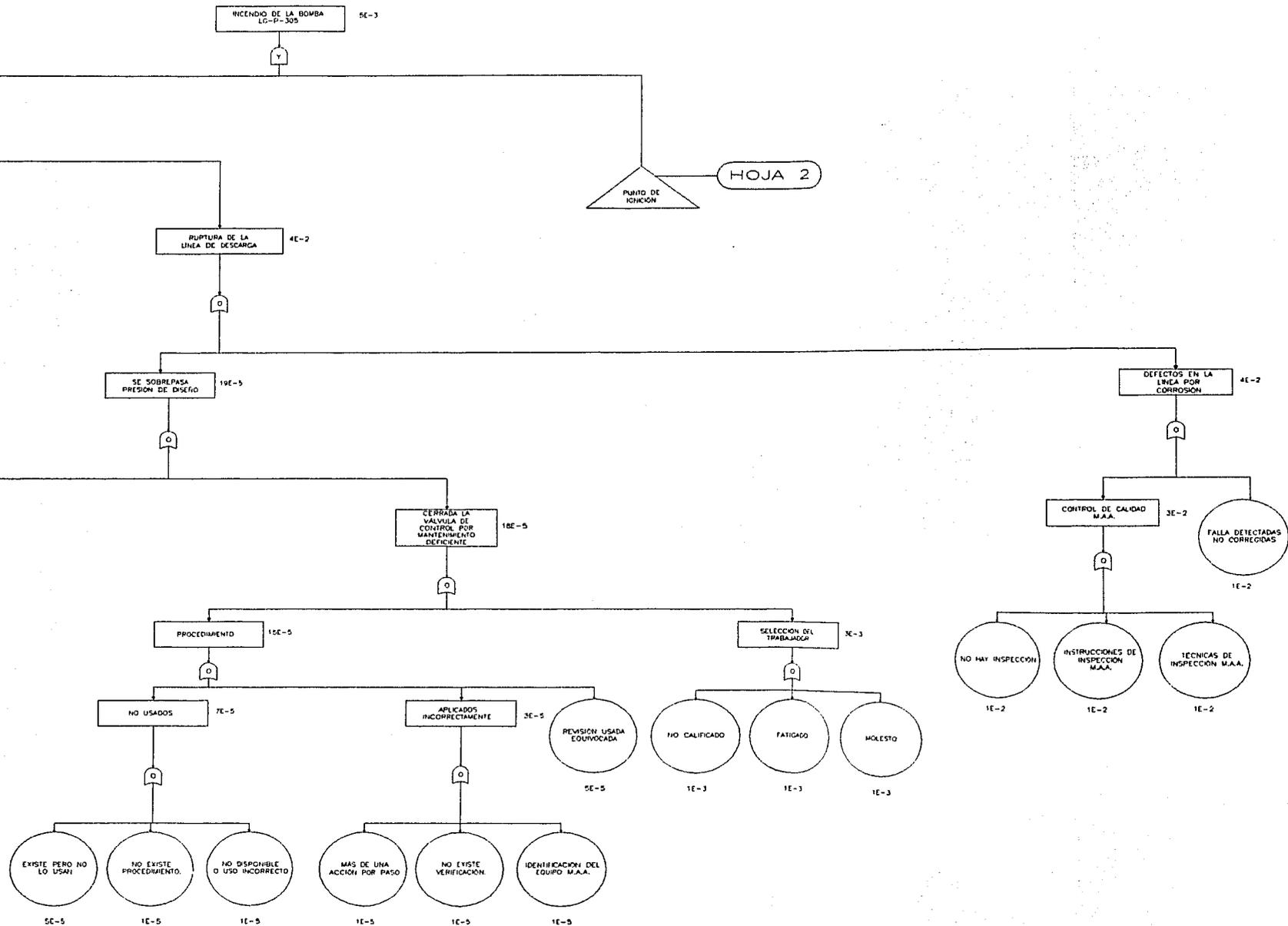
PROYECTO POR	FECHA	ESTADO

NO. 12-1-100001
FD-332-1
NOVIEMBRE 01, 2001



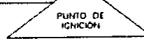
NOTAS

M.A.A. MENOR AL ADECUADO
M.P.P. MANTENIMIENTO
PREVENTIVO/PREDICTIVO

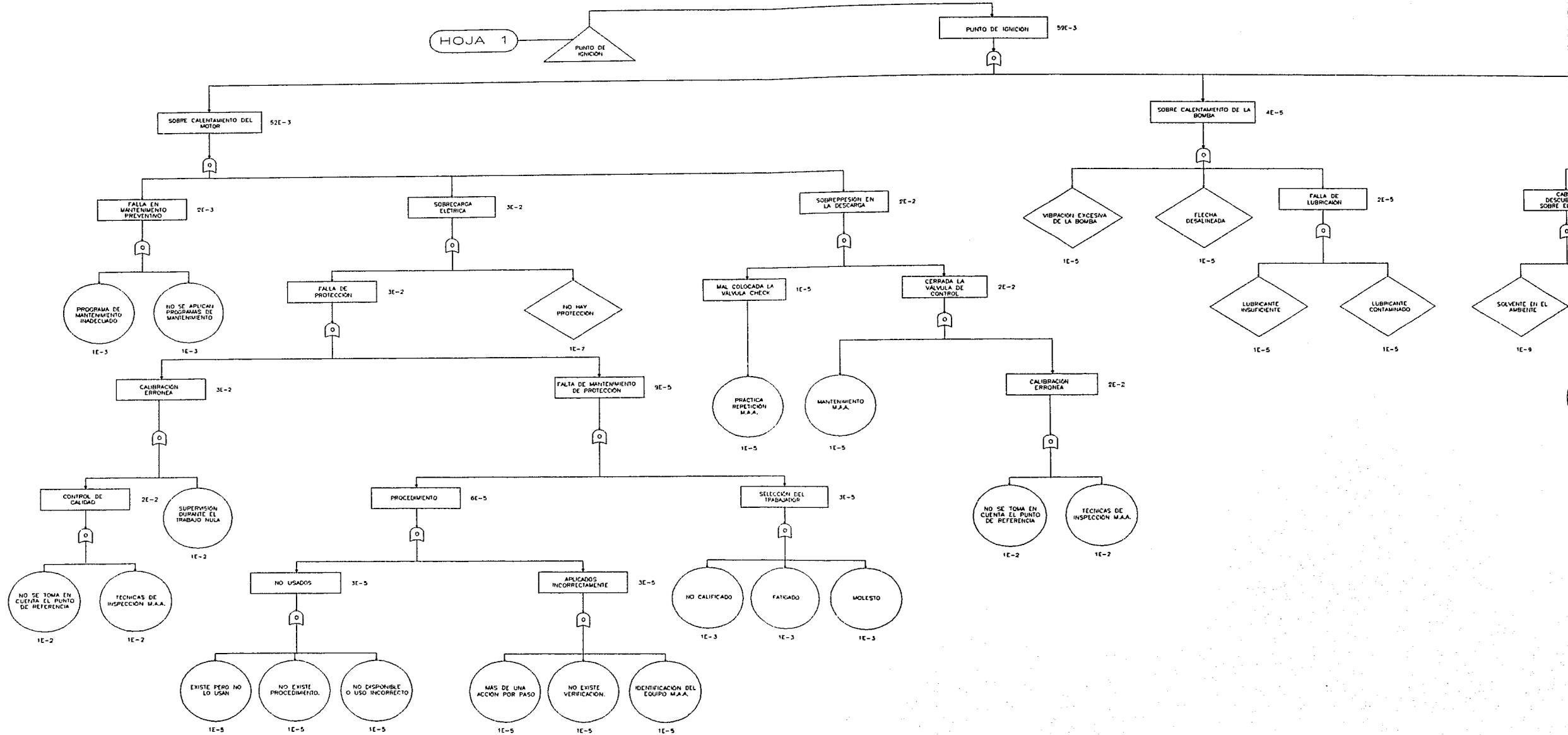


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA COM. E. LAB. 212

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA COM. E. LAB. 212		DIAGRAMA No. 3.3	
REVISOR POR DISEÑO	REVISOR POR DISEÑO	TÍTULO DEL PROYECTO	ARBOLES DE FALLAS DE LA BOMBA DE DISOLVENTE SECO LG-P-305 A/B DE LA PLANTA LG. RECOMENDACIONES (PÁG. 1)
REVISOR POR PASO	REVISOR POR PASO	PROYECTO	FO-332-II-APRECOMI
REVISOR POR PASO	REVISOR POR PASO	PROYECTO	FO-340/2001
REVISOR POR PASO	REVISOR POR PASO	FECHA	NOVIEMBRE DEL 2001
REVISOR POR PASO	REVISOR POR PASO	PROY. No.	FO-332-II
REVISOR POR PASO	REVISOR POR PASO	DESCRIPCIÓN	

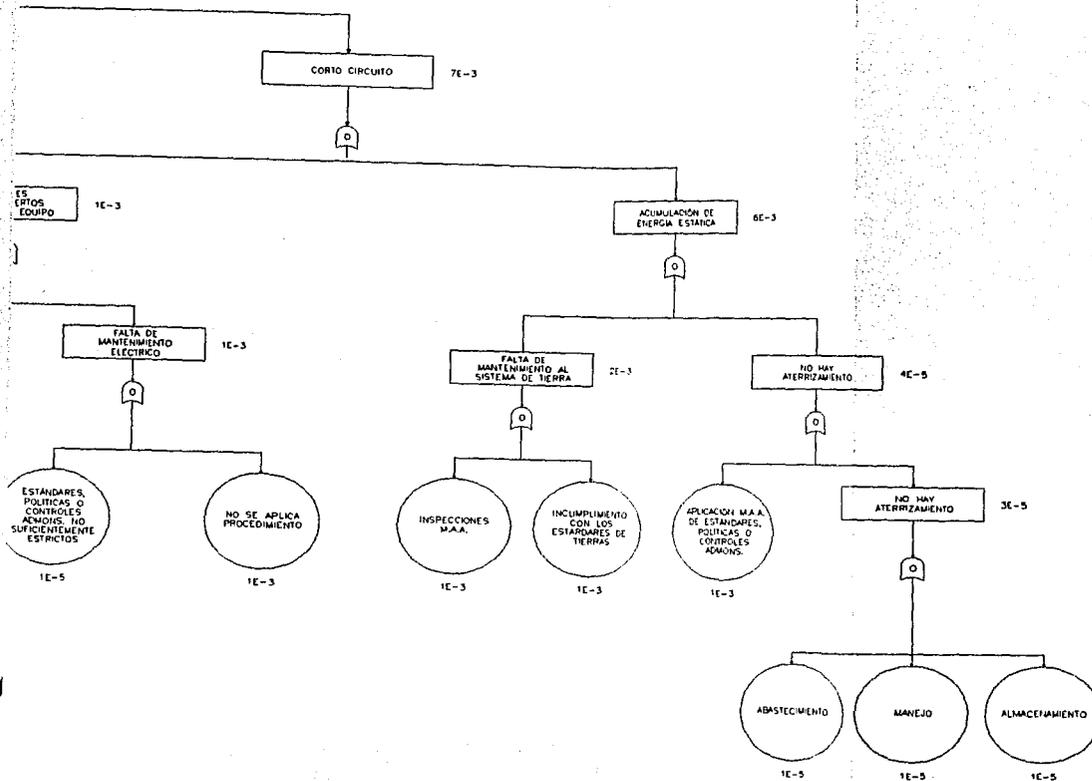


PUNTO DE IGNICION 59E-3



NOTAS

MA.A. MENOR AL ADECUADO
M.P.P. MANTENIMIENTO
PREVENTIVO/PREDICTIVO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA CONJ. E. LAB. 618

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA CONJ. E. LAB. 618

DIAGRAMA No. 3.4

FECHA DE ELABORACIÓN	ELABORADO POR	REVISADO POR	PROYECTO	FECHA
			FO-332-II-ATFBRECOM2	NOVIEMBRE DEL 2001
			FO-340/2001	



3.4 Resultados del Análisis de Consecuencias.

El análisis se lleva a cabo alimentando datos reales de la unidad al programa PHAST Profesional Versión 6.0.

El análisis de consecuencias se realizó utilizando tres modelos de evaluación de riesgos que son:

- Incendio en la fuga de disolvente.
- Incendio en un charco de disolvente.
- Vaporización del charco.

Se tomó como escenario la fuga por la brida de unión entre el tanque LG-D-303 y la línea de descarga de dicho tanque. Esta línea transporta una mezcla de líquidos cuya composición se muestra en la tabla 3.3, mientras que en la tabla 3.4 se muestran las propiedades fisicoquímicas.

Tabla 3.3 Composición de la mezcla.

Componente	% Vol.
Tolueno	55
MEC	45

**Tabla 3.4 Propiedades Fisicoquímicas de la sustancias involucradas.**

Tolueno (C₆H₅CH₃)	MEC (C₄H₈O)
PM= 92 g/mol	PM= 72.11 g/mol
L.I.I (%)= 1.3	L.I.I (%)= 2
L.S.I (%)= 7.1	L.S.I (%)= 11
P _f = -95 °C	P _f = -87 °C
P _{v(23 C)} = 22 mmHg	P _{v(23 C)} = 78 mmHg
T _{eb} = 111 °C	T _{eb} = 81 °C
ρ= 0.87 g/ml	ρ= 0.81 g/ml

Aún cuando la probabilidad de que este escenario suceda es muy baja ya que implica la fuga por la brida, se optó por éste debido a lo siguiente:

- El riesgo potencial de llevar disolvente (Tolueno y MEC) que son altamente inflamables con un amplio límite de explosividad.
- La gravedad de las consecuencias que el suceso podría acarrear.
- La conveniencia de saber como sería la situación de presentarse el suceso.

Los datos ingresados al programa se muestran en las siguiente tabla 3.5

Tabla 3.5 Datos requeridos para el análisis de consecuencias.

Escenario	Fuga
Material	Tolueno-MEC
Temperatura de operación	48.8 °C
Presión de operación	1.379 bar
Masa de material en el tanque	232000 kg
Velocidad del viento:	1.50 m/s
Estabilidad:	F
Modelo de explosión	TNT

Tipo de acumulador: Tanque horizontal cilíndrico los datos se muestran en la Tabla 3.6

**Tabla 3.6 Datos del acumulador de disolvente seco.**

Longitud	8 m
Diámetro	2.5 m
Volumen total	39.27m ³
Diámetro de la fuga	10 mm

Del programa PHAST se obtuvieron los siguientes resultados:

Descripción de Escenarios.**Incendio de la fuga de disolvente por la brida .**

El escenario de accidente supone que el contenido de disolvente se fuga por la brida de unión entre el tanque LG-D-303 y la línea 8"-LG-104B. Los resultados que se obtuvieron se muestran en la tabla 3.7

Tabla 3.7 Resultados obtenidos del incendio de la fuga de disolvente.

Fracción del líquido	1
Temperatura final	47.66 °C
Velocidad final	18.13 m/s
Diámetro de atomización	0.46 mm
Flujo másico	0.72 kg/s
Duración de la descarga	3600 s
Estado del material	Líquido
Ángulo de la fuga	29.93 ^o
Proporción de la descarga	2.74 kg/s
Velocidad de la fuga	68.88 m/s
Longitud de la flama	45.48 m
Poder de emisión de la flama	63.17 kW/m ²



Como se puede observar en este escenario la longitud de la flama causaria daños a una distancia de 45.48 m.

Incendio en un charco de disolvente.

En la tabla 3.8 se muestran los resultados del incendio del charco, el área de afectación por la radiación generada por el incendio se muestra en el diagrama 3.5

Tabla 3.8 Resultados obtenidos del incendio en un charco de disolvente.

Diámetro del charco	8.52 m
Tipo de superficie	piso
Elevación	2.5 m
Duración máxima de exposición	3600 s
Longitud de la flama	16.33 m
Ángulo de la flama	29.93 ^o
Poder de emisión de la flama	63.17 kW/m ²

Como se puede observar en este escenario la longitud de la flama causaria daños a una distancia de 16.33 m pero es muy poco probable que ocurra este escenario.



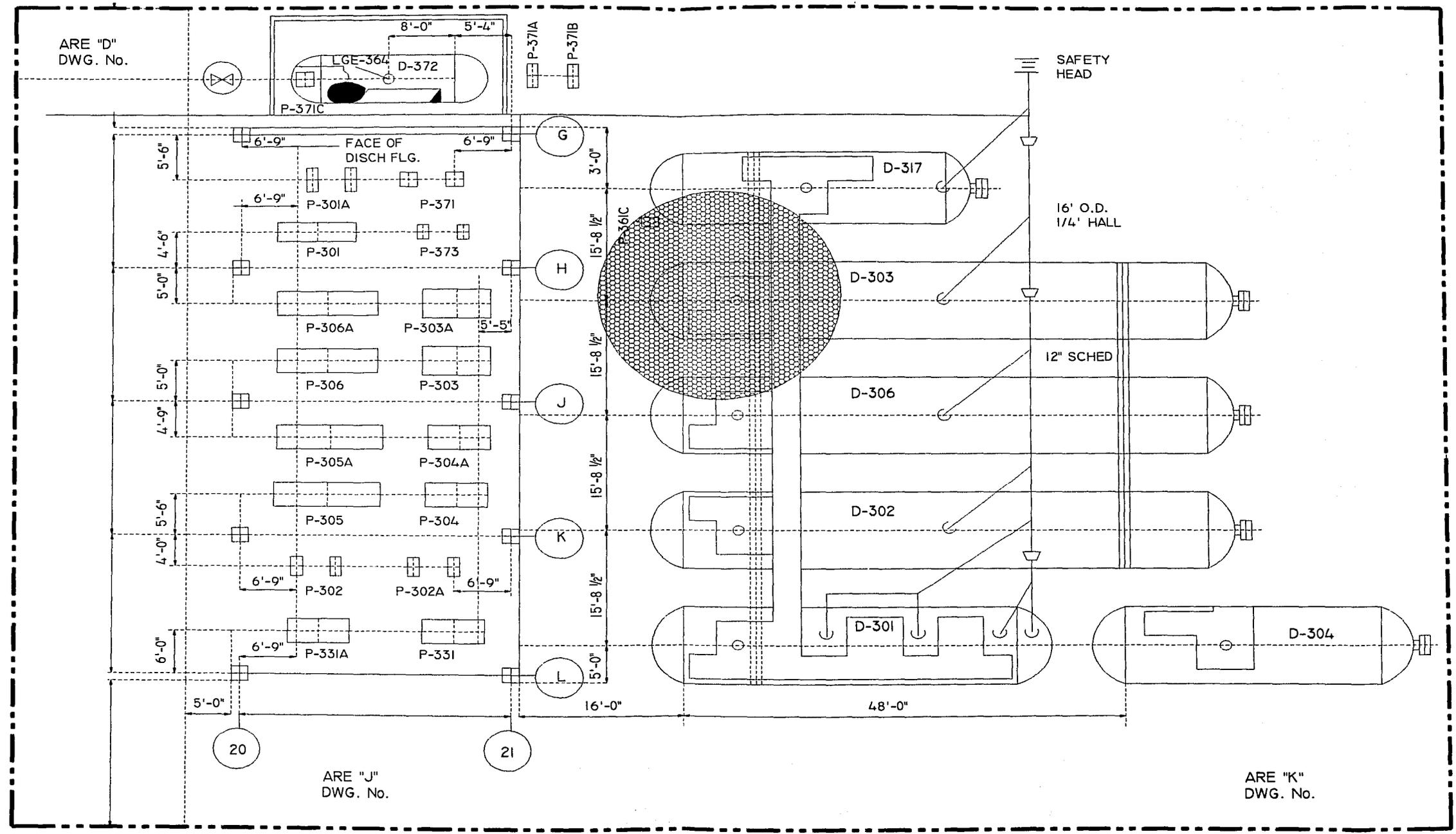
Vaporización del charco.

Los resultados se muestran en la tabla 3.9

Tabla 3.9 Resultados obtenidos para la vaporización en un charco de disolvente.

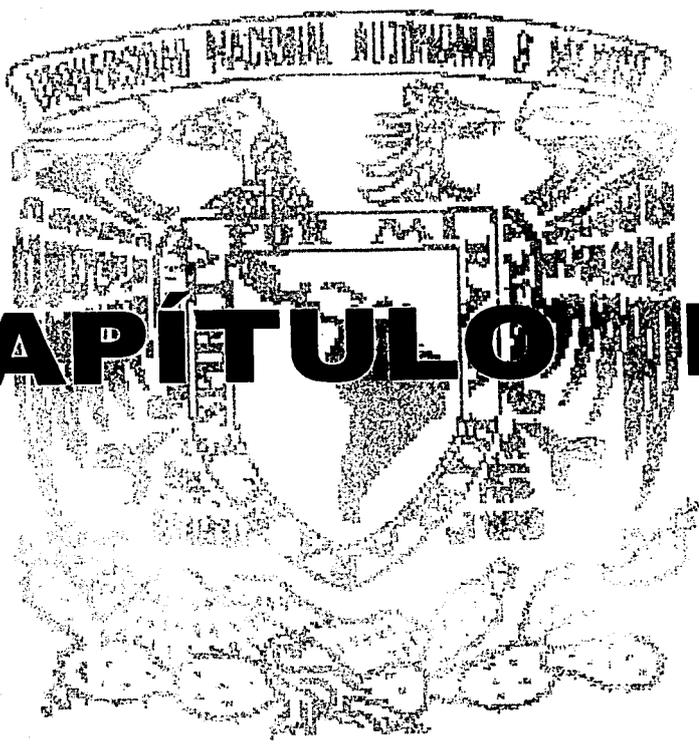
Duración de la nube (segundos)	Proporción del charco vaporizado (kg/s)	Flujo total de vapor (kg/s)
1110.56	0.0163459	0.1132123
469.507	0.0387749	0.154552
362.543	0.050125	0.165902
308.897	0.0590949	0.174872
273.56	0.0667469	0.182524
475.238	0.0764055	0.192182
5.99.699	0.0899562	0.205733

En este esenario el radio máximo del charco es de 8.51 metros, las recomendaciones de acuerdo al Análisis de Consecuencias se dan en el capítulo IV.



RADIACIÓN GENERADA POR EL INCENDIO DE UN CHARCO DE 63.17 KW/M2

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA CONJ. E. LAB. 212		TÍTULO DB: ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	
PROYECTO: 2370 LG		REV. 1	
DIAGRAMA 3.5		FECHA: 16/02/2008	
PROY. NO. FQ-332-11	DESCRIPCIÓN	TÉCNICO	REVISOR
DIBUJO NO.	DESCRIPCIÓN	FECHA	REVISOR



CAPÍTULO IV



4.1 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS HAZOP.

Los resultados del análisis HazOp son una serie de recomendaciones, las cuales son clasificadas, de acuerdo a la prioridad con que éstas deben ser implementadas, con la letra A (alta prioridad), B (prioridad media) y C (baja prioridad). A continuación, en la tabla 4.1 se muestran las recomendaciones clasificadas y en orden jerárquico de acuerdo a su nivel de prioridad y con sus respectivos escenarios.

Tabla 4.1 Recomendaciones del análisis HAZOP.

ESCENARIO, CAUSA Y/O FUNDAMENTO	RECOMENDACIÓN	CLASE
1. Falta de recuperación. Esto puede provocar cavitación, daños a las bombas LG-P-303 y la fuga por sellos.	1. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos) e instalar alarma por bajo nivel en el acumulador LG-D-303.	A
2. Taponamiento súbito de las picanas lo que puede provocar cavitación, daños a las bombas y sellos, alto nivel en el acumulador LG-D-303 y dejar sin carga a la bomba LG-P-305.	2. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos), instalar alarma por alto nivel en el acumulador LG-D-303 e instalar alarmas por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-303.	A
3. No nivel en el acumulador LG-D-303, lo que provocaría, cavitación, daños a las bombas y fuga por sellos.	3. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos), instalar alarma por bajo nivel en el acumulador LG-D-303 e instalar alarmas por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-303.	A



ESCENARIO, CAUSA Y/O FUNDAMENTO	RECOMENDACIÓN	CLASE
4. Bajo nivel en el acumulador LG-D-303. Esto puede provocar Cavitación, daños a la bomba y fuga por sellos y menos presión en la succión de la bomba LG-P-305.	4. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos), instalar alarma por bajo nivel en el acumulador LG-D-303 e instalar alarmas por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-303.	A
5. Compuerta caída de la válvula a la descarga de la bomba LG-P-305 lo que puede provocar calentamiento del motor y bomba LG-P-305, daños a la bomba LG-P-305 y fuga de disolvente por sellos e incendio.	5. Modernizar las bombas LG-P-305 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos), e instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-305.	A
6. Taponamiento de los ER's, lo que provocaría, calentamiento del motor de la bomba LG-P-305, posibles fugas en las bridas del arreglo de las PV-320 y fuga por el preñe-estopa de la válvula PV-320.	6. Instalar una recirculación al acumulador LG-D-303 (mediante una PSV) e instalar alarma por alta presión en la PIC-320.	A
7. Falla en la indicación de nivel y que este tapado el LG. Esto puede provocar Cavitación, daños a la bomba LG-P-303 y fuga por sellos.	7. Verificación de libertad de tomas de nivel una vez por guardia e instalar alarma por bajo nivel en el acumulador LG-D-303.	B
8. Fuga en el circuito después de la descarga de la bomba LG-P-305 lo que puede provocar cavitación, daños a las bomba LG-P-303 y fuga por sellos.	8. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos) e instalar alarma por bajo nivel en el acumulador LG-D-303.	B



ESCENARIO, CAUSA Y/O FUNDAMENTO	RECOMENDACIÓN	CLASE
9. Compuerta caída de la válvula de la succión de la bomba LG-P-303 o del acumulador LG-D-303, lo que provocaría, cavitación, daños a las bombas y fuga por sellos, alto nivel en el acumulador LG-D-303 y dejar sin carga a la bomba LG-P-305.	9. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos), instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-303 e instalar alarma por alto nivel en el acumulador LG-D-303.	B
10. Compuerta caída de la válvula de descarga de la bomba LG-P-303 lo que puede provocar calentamiento del motor y de la bomba LG-P-303, calentamiento de rodamientos de la bomba P-303 y fuga de disolvente por sellos e incendio.	10. Modernizar las bombas LG-P-303 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos) e instalar alarma por baja presión en la descarga de la bomba LG-P-303.	B
11. Falla de la válvula del PIC-320 (cerrado), lo que provocaría, cavitación, calentamiento del motor y bomba LG-P-305, daños a la boma LG-P-305 y fuga de disolvente por sellos e incendio.	11. Modernizar las bombas LG-P-305 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos), instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-305.	B
12. Compuerta caída de la válvula de la succión de la bomba LG-P-305, lo que provocaría, cavitación, daños a las bombas y fuga por sellos.	12. Modernizar las bombas LG-P-305 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos), e instalar alarma por bajo flujo en la descarga de las bombas LG-P-305.	B
13. La bomba LG-P-303 no alimenta solvente a la bomba LG-P-305 lo que provocaría cavitación, daños a las bombas LG-P-305 y fuga por sellos y menos presión en la descarga de la bomba LG-P-305.	13. Modernizar las bombas LG-P-305 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos), e instalar alarma por baja presión en la descarga de las bombas LG-P-303.	B



ESCENARIO, CAUSA Y/O FUNDAMENTO	RECOMENDACIÓN	CLASE
14. Falla del PIC-320 (cierra), lo que provocaría, no flujo de disolvente seco a filtros, enfriadores y preenfriadores y represionamiento de la bomba LG-P-305.	14. Cumplimiento al mantenimiento preventivo y verificación de la calibración de los PI's en la descarga de las bombas.	B
15. No flujo en la descarga de la bomba LG-P-303 y 305 lo que puede provocar no flujo de disolvente seco a filtros, enfriadores y preenfriadores, cavitación, daños a la bomba LG-P-305 o LG-P-303 y fuga por sellos y mas nivel en el acumulador LG-D-303.	15. Modernizar las bombas LG-P-305 y LG-P-303 de acuerdo al API 8ª. Edición (doble sellos), instalar alarma por baja presión en la descarga de la bomba LG-P-305 e instalar alarma por alto nivel en el acumulador LG-D-303.	B
16. Fuga en cualquier punto de la línea de la descarga de la bomba LG-P-305 a los ER's, lo que provocaría, menos flujo de disolvente seco a filtros, enfriadores y preenfriadores.	16. Cumplimiento del patrullaje operacional.	B
17. Picadura de los tubos de los condensadores de disolvente, lo que provocaría, taponamiento en los ER's por formación de hielo, represionamiento en los ER's, fragilización en las válvulas, codos, restricciones y no hay flujo de disolvente seco.	17. Instalar analizadores de humedad en el acumulador LG-D-303, continuidad en la rutina de visualización del estado del disolvente e instalar condensadores de relevo para el disolvente seco y humedo.	B
18. Por la formación de sólidos (agua o parafina) en el disolvente seco lo que provocaría fragilización en las válvulas, codos, restricciones, no hay flujo de disolvente seco y disolvente de lavado sucio.	18. Instalar analizadores de humedad en el acumulador LG-D-303, continuidad en la rutina de visualización del estado del disolvente e instalar condensadores de relevo para el disolvente seco y humedo.	B



4.2 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE FALLAS.

El análisis del árbol de fallas dio como resultado una serie de recomendaciones que de implementarse reduce la probabilidad del evento culminante (Incendio en la bomba de disolvente seco LG-P-305). En la tabla 4.2 se muestran las recomendaciones

4.2 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE FALLAS.

BOMBA P-305		
	CAUSA	RECOMENDACIONES
1	Sobrecalentamiento de la bomba.	<ol style="list-style-type: none">1. Mantener el nivel de aceite de lubricación de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.2. Dar mantenimiento al sistema de lubricación de acuerdo a programa.3. Continuar con el mantenimiento predictivo de acuerdo a programa.4. Continuar con el programa de rotación de equipos.
2	Sobrecarga eléctrica.	<ol style="list-style-type: none">1. Continuar con el mantenimiento predictivo de acuerdo a programa.2. Contar con el refaccionamiento adecuado y original, así como con los dispositivos y herramientas necesarias para poder realizar el trabajo.
3	No hay protección para sobrecarga eléctrica.	<ol style="list-style-type: none">1. Colocar protección para sobrecarga eléctrica.
4	Daño al sello.	<ol style="list-style-type: none">1. Verificar la adecuada instalación de la bomba.2. Verificar que el sello sea adecuado y su instalación correcta.3. Verificar la alineación de la flecha.



BOMBA P-305		
	CAUSA	RECOMENDACIONES
5	Falla de mantenimiento	<ol style="list-style-type: none">1. Asegurar que el procedimiento de mantenimiento exista, este actualizado, sea el adecuado y que sea utilizado.2. Asegurar el cumplimiento total del mantenimiento en las fechas establecidas para realizarlo.3. Contar con el refaccionamiento adecuado y original, así como con los dispositivos y herramientas necesarias para poder realizar el trabajo.4. Asegurar que se reporten todas las fallas del equipo para que mantenimiento las pueda corregir.5. Asegurar que se capacite adecuadamente al personal que realizará el mantenimiento con suficientes prácticas y continuar dando capacitación al personal ya calificado.6. Asegurar que se realice la supervisión de actividades para disminuir la omisión de actividades.
6	Mala operación	<ol style="list-style-type: none">1. Asegurar que se capacite adecuadamente al personal de operación con suficientes prácticas y continuar dando capacitación al personal ya calificado.2. Asegurar el cumplimiento de los procedimientos operacionales al 100%.3. Asegurar que el procedimiento de operación exista, este actualizado, sea el adecuado y que sea utilizado.4. Asegurar que se apliquen las listas de verificación de movimientos operacionales para evitar que alguna válvula quede cerrada o abierta, según sea el caso.5. Continuar con el patrullaje operacional.
7	Falla de instrumentación	<ol style="list-style-type: none">1. Asegurar el mantenimiento a instrumentos y lazos de control en las fechas establecidas en el programa.2. Contar con el refaccionamiento adecuado y original.



4.3 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

De acuerdo a los resultados de los modelos aplicados al escenario planteado es posible dar algunas recomendaciones a fin de contribuir a la mejor respuesta del personal al escenario planteado.

Recomendaciones del análisis de consecuencias.

1. Asegurar el cumplimiento del mantenimiento predictivo a la corrosión de la línea 8"-LG-104-B de descarga del disolvente del tanque LG-D-303, para que cualquier fractura pueda ser detectada a tiempo.
2. Revisar el plan de emergencias y las rutas de evacuación con base a los resultados del análisis, estableciendo las zonas de seguridad.
3. Difundir los riesgos de incendio y/o explosión hacia todo el personal de la planta.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**



4.4 CONCLUSIONES.

El análisis HazOp es un método para identificar peligros y cuantificar riesgos que impiden una operación eficiente. Tiene carácter sistemático y multidisciplinario; el cual debe considerarse como un concepto de seguridad del proceso para protección del personal, instalaciones, comunidades aledañas y medio ambiente. Del análisis de Peligros y Operabilidad (HazOp) se obtuvieron un total de 18 recomendaciones, de las cuales 6 se clasificaron con la letra A (prioridad alta) y 12 con la letra B (prioridad media). De acuerdo a esta clasificación las recomendaciones de la clase A requieren una acción inmediata para disminuir la ocurrencia del accidente ó sus consecuencias.

Otro de los puntos esenciales es que del Análisis HazOp, estableció un plan de trabajo, el cual sirve para dar seguimiento a las recomendaciones hechas por el equipo multidisciplinario. Este plan de trabajo fue estructurado entre el personal del área que participó en el análisis y personal de la UNAM quienes coordinaron el estudio, con el fin de mejorar la protección de la planta y del medio ambiente, proporcionando una mejor calidad de vida para los operadores y la comunidad.

Del análisis de Árbol de Fallas surgieron un total de 7 recomendaciones, que de implementarse se reducirá la probabilidad de que se de el evento culminante (incendio en la bomba de disolvente seco LG-P-305).



El análisis de consecuencias proporciona información para disminuir los efectos que se producirían en caso de una explosión ó ruptura de una línea de proceso ó de un recipiente que almacena un líquido peligroso, así como los efectos de una explosión ó incendio de una nube de gas no confinada con cuantiosas pérdidas materiales y humanas, esta información es utilizada para la elaboración de planes de emergencia y de evacuación además de establecer las zonas de seguridad.

El análisis de peligros es un estudio sistemático muy útil cuando se quiere detectar los potenciales peligrosos que pueden existir en una planta de proceso. Por lo tanto, el Ingeniero Químico debe conocer todo lo relacionado de cómo poder llevar a cabo un análisis de peligros, para hacer más seguro el funcionamiento de los procesos y de esta manera evitar pérdidas humanas dando las medidas adecuadas a cada situación.

Los objetivos principales del análisis de peligros en la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes, se cumplieron al identificarse, evaluarse y cuantificar los escenarios de riesgos utilizando las técnicas como son el Análisis HazOp, el Análisis de Consecuencias y el Análisis de Árbol de fallas y al poder establecer el plan de trabajo para implementar las recomendaciones que minimicen la probabilidad de dichos escenarios.

La finalidad de esta tesis es proporcionar los medios necesarios al personal que trabaja en la planta para que estos elaboren o actualicen sus programas de mantenimiento, operación y de seguridad, para reducir al mínimo la ocurrencia de accidentes. Esto ayudará en su política de seguridad y protección al medio ambiente así como para mejorar la calidad de vida de los empleados y de la comunidad que es una de las prioridades de la empresa.

**APÉNDICE A****Probabilidad de ocurrencia de accidentes⁽⁵⁾.**

Componente	Probabilidad
Falla de gas por falla de línea .	0.1
Error humano (ignición por soldadura o corte).	1E-2
Falla detector gas o fuego.	8.76E-2
Válvula mecánica 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 límite de retiro).	1E-3
Falla operacional (equivocacional).	1E-3
Falla secundaria debido a efectos ajenos.	1E-9
Falla procedimiento operacional (omisión).	1E-2
Falla indicador de nivel.	8.76E-2
Falla válvula de cierre rápido.	8.76E-2
Falla alarma por alto nivel.	8.76E-2
Falla alarma por alta presión.	8.76E-2
Falla indicador de temperatura a la salida de los cambiadores.	8.76E-2
Falla de diseño o deterioro durante su servicio.	1E-2
Falla de decisión (la línea de operación en su límite de retiro).	1E-3
Procedimiento no actualizado o difundido.	5E-3
No se sigue el procedimiento operacional.	1E-2
Falla de bomba.	1E-1
Falla de interruptor.	1E-1
Corto circuito.	1E-1
Falta de corriente.	1E-1/1E-2
Falla 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**

Tipo de material inflamado en incendios industriales⁽¹⁾ (% del número de casos).

a) Industrias en general.

MATERIAL	(%)
Madera o papel.	27.9
Líquidos inflamables o combustibles.	22.1
Materias químicas, metales o plásticos.	15.7
Textiles.	1.03
Productos naturales.	9.6
Gas.	6.4
Sólidos volátiles.	5.4
Materiales con aceite.	2.2
Otros tipos indeterminados o no informados.	0.4

b) Industria química.

SEGÚN EL ESTADO FÍSICO.

Gas.	13
Vapor.	20
Líquido.	25
Sólido.	29
Desconocido.	13

Según el tipo de material.

HIDROCARBUROS: 29.5

Gas.	4
Líquido/vapor.	23
Sólido.	2.5
Otros productos: 70.5	
Líquido/vapor orgánico.	20
Sólidos orgánicos.	9
Sólidos celulósicos.	8
Hidrógeno.	9
Acero.	2.5
Azufre.	1
Desconocido.	21



BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- Santamaría Ramiro, J.M. Análisis y Reducción de riesgos en la industria química, Fundación MAPFRE, España, 1994.
- 2.- Taller de Análisis de Riesgo y Operabilidad. UNAM-Facultad de Química (1999).
- 3.- AICHE, Guidelines for Hazard Evaluation Procedure, New York 1992.
- 4.- Independent Engineering Service LTD, Seminario sobre Estudios Hazop, México, 1998.
- 5.- Hazard Assesment and Risk Analysis Techniques for Process Industries, IMP, México 1994.
- 6.- C. Florentini y F. De Vecchi (TECSA S.P.A; Italia). E.P. Lander (ATR Applied Training Resources, EEUU); C. Vilagut Orta (TECSA Iberica, S.A.). Gestión de la Seguridad de los Procesos-Soporte al Funcionamiento y Sistemas de Formación. Ingeniería Química 127-152 (Sep.1997).
- 7.- <http://www.asecorp-online.com/ficheros/formacion/sem-emergenciasoct01/emergencias-riesgo.pdf>
- 8.- <http://www.imiq.org/mtv/st-vt-3/VT-3-2.PDF>
- 9.- <http://www.gruposise.com/An%El%lisis%20de%20Riesgo.htm>
- 10.- <http://www.questconsult.com/q-brochuresp.pdf>
- 11.- <http://www.unizar.es/aeipro/finder/PREVENCION%20Y%20SEGURIDAD/EE09.htm>
- 12.- <http://www.col.ops-oms.org/saludambiente/SOIP/3aSeguridad.htm>
- 13.- <http://www.unizar.es/aeipro/finder/PREVENCION%20Y%20SEGURIDAD/EE09.htm>
- 14.- www.cueronet.com/tecnica/medio_ambiente_y_terminacion3.htm
- 15.- www.ifa.csic.es/rec/jose/compuestos.htm
- 16.- Encyclopedia of industrial chemistry, ULLMANN'S, Vol. A4.
- 17.- Encyclopedia of Chemical Processing and Design. John J. Mcketta.