



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

APLICACIÓN DEL HAZOP AL ÁREA DE ALMACENAMIENTO  
DE MATERIALES PELIGROSOS EN UNA PLANTA DE  
POLIPROPILENO

**T E S I S   P R O F E S I O N A L**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**I N G E N I E R O   Q U Í M I C O**  
**P R E S E N T A :**  
**SABÁS   JOAQUÍN   LÓPEZ   GARCÍA**

DIRECTOR: ING. ENRIQUE TOLIVIA MELÉNDEZ



MEXICO, D.F.

JUNIO 2008



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
\*ZARAGOZA\*  
JEFATURA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA  
QUÍMICA

OFICIO: FESZ/JCIQ/011/08

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: LÓPEZ GARCÍA SABÁS JOAQUÍN  
P R E S E N T E

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I. Q. José Antonio Zamora Plata
VOCAL	Ing. Enrique Tolivia Meléndez
SECRETARIO	I. Q. Alejandro Juvenal Guzmán Gómez
SUPLENTE	I. Q. Zula Genny Sandoval Villanueva
SUPLENTE	I. Q. Everardo Antonio Feria Hernández

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

México D. F., a 14 de Marzo de 2008

JEFE DE LA CARRERA

I. Q. RAÚL RAMÓN MORA HERNÁNDEZ



---

## AGRADECIMIENTOS

---

A quien guía y sostiene cada paso de mi vida,  
Gracias profundamente a **DIOS**.

### A ELIZABETH

Gracias por ser parte de mi vida, ya que juntos hemos avanzado por caminos difíciles, y con tu apoyo me das la fuerza necesaria para sortear los obstáculos que se presentan. Siempre contarás incondicionalmente conmigo. Gracias por ser la mejor esposa, siempre te amaré.

### A MIS AMIGOS

En esta vida algo que no se puede vender, ni robar, ni prestar es la amistad. A lo largo de mi camino he tenido la fortuna de contar con muchos amigos que me alentaron y apoyaron sin condición alguna. Gracias por cruzarse en mi camino.

### A MI HIJA ERÉNDIRA

Por que eres el regalo y la responsabilidad más grata que Dios me ha otorgado. Siempre conserva la alegría de la niñez en tu alma y corazón; mantén la cordura y los pies sobre la tierra, pero busca en tu interior la fantasía pues te mantendrá con vida. Siempre contarás conmigo en las buenas, pero sobre todo en las etapas difíciles.

### A LOS MAESTROS

Les agradezco de todo corazón el tiempo y esfuerzo que me dieron para lograr un objetivo que había estado estacionado y olvidado durante mucho tiempo. Gracias a Enrique T., Zula G., José A., Alejandro J. y Everardo A.

*"Para tener éxito, la planificación sola es insuficiente.  
Uno debe improvisar también."*

*Isaac Asimov*

# ÍNDICE

<b>Resumen .....</b>	<b>viii</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>ix</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Generalidades.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes Históricos .....	2
1.2. Conceptos Básicos .....	4
1.3. Etapas de un Análisis de Riesgos .....	10
<b>2. Métodos de Análisis de Riesgos.....</b>	<b>14</b>
2.1. Lista de Verificación (Checklists) .....	16
2.1.1. Requerimientos de Personal y Material.....	16
2.1.2. Procedimiento de Análisis .....	18
2.1.3. Software Recomendado.....	19
2.1.4. Ejemplo de Aplicación.....	19
2.2. ¿Qué pasa sí? (What If?).....	21
2.2.1. Requerimientos de Personal y Material.....	21
2.2.2. Procedimiento de Análisis .....	22
2.2.3. Software Recomendado.....	24
2.2.4. Ejemplo de Aplicación.....	24
2.3. Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA) .....	26
2.3.1. Requerimientos de Personal y Material.....	26
2.3.2. Procedimiento de Análisis .....	27
2.3.3. Software Recomendado.....	29
2.3.4. Ejemplo Método de FMEA .....	30
2.4. Análisis de Modos de Falla, Efecto y Criticidad (FMEAC) .....	33
2.5. Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP).....	34
2.5.1. Requerimientos de Personal y Material.....	37
2.5.2. Procedimiento de Análisis .....	39
2.5.3. Software Recomendado.....	42
2.5.4. Ejemplo de Aplicación .....	43
2.6. Análisis de Capas de Protección (LOPA) .....	47
2.6.1. Requerimientos de Personal y Material.....	49
2.6.2. Procedimiento de Análisis .....	50
2.6.3. Software Recomendado.....	59
2.6.4. Ejemplo de Aplicación .....	59
2.7. Resumen de Métodos de Análisis de Riesgos .....	59

<b>3. Seleccionando Métodos de Análisis de Riesgo.....</b>	<b>62</b>
3.1. Factores que Influyen en la Selección del Método de Evaluación de Riesgos. ....	62
3.1.1. Motivación para el Estudio. ....	63
3.1.2. Tipo de Resultados Requeridos. ....	63
3.1.3. Tipo de Información Disponible para Desarrollar el Estudio.....	64
3.1.4. Características del Problema de Análisis. ....	66
3.1.5. Percepción del Riesgo ....	67
3.1.6. Disponibilidad de Recursos.....	68
3.2. Toma de Decisión para Seleccionar un Método de Análisis de Riesgo.	68
<b>4. Aplicación del Método HAZOP .....</b>	<b>71</b>
4.1. Alcance.....	71
4.2. Propósito .....	72
4.3. Equipo de Trabajo .....	72
4.4. Agenda del Análisis HAZOP.....	72
4.5. Información Requerida .....	73
4.6. Descripción del Proceso .....	75
4.6.1 Descarga de Propileno.....	75
4.6.2. Descarga de Etileno .....	78
4.6.3. Tanques de Almacenamiento de Materia Prima.....	79
4.6.4. Bombas de Alimentación en Área de Almacenamiento.....	80
4.7. Llenado del Formato.....	81
4.8. Documentación.....	82
<b>5. Análisis de Resultados .....</b>	<b>111</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>113</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>115</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Principales accidentes industriales.....	3
Tabla 1.2.	Consecuencias .....	5
Tabla 1.3.	Probabilidades.....	5
Tabla 1.4.	Elementos de accidentes en áreas de Proceso.....	9
Tabla 2.1.	Preguntas aplicables a una Lista de Verificación .....	17
Tabla 2.2.	Tiempo estimado para realizar Listas de Verificación .....	18
Tabla 2.3.	Resultados de una Lista de Verificación para el proceso de DAP.....	20
Tabla 2.4.	Tiempo estimado para realizar un análisis ¿Qué pasa sí?.....	22
Tabla 2.5.	Resultados Análisis ¿Qué pasa sí? para el proceso de DAP .....	25
Tabla 2.6.	Tiempo estimado utilizando para realizar FMEA .....	27
Tabla 2.7.	Ejemplos de modos de falla. ....	29
Tabla 2.8.	Resultados Análisis FMEA para el proceso de DAP. ....	31
Tabla 2.9.	Terminología usada en un Análisis HAZOP .....	35
Tabla 2.10.	Palabras guía en un análisis HAZOP .....	36
Tabla 2.11.	Parámetros de proceso y desviaciones.....	37
Tabla 2.12.	Tiempo estimado utilizando para realizar un HAZOP.....	38
Tabla 2.13.	Resultados del Análisis HAZOP para el proceso de DAP. ....	44
Tabla 2.14.	Tiempo estimado utilizando para realizar LOPA .....	50
Tabla 2.15.	Determinación de la consecuencia y severidad (cont.) .....	51
Tabla 2.16.	Frecuencias típicas para eventos iniciales .....	52
Tabla 2.17.	Ejemplos de IPL's Pasivos y Activos .....	53
Tabla 2.18.	Ejemplos de IPL's Acciones Humanas .....	54
Tabla 2.19.	Matriz de riesgo con acciones requeridas .....	57
Tabla 2.20.	Resultados Análisis LOPA.....	60
Tabla 2.21.	Resumen de métodos de Análisis de Riesgos y principales características .....	61
Tabla 3.1.	Información típica disponible para un análisis de riesgo. ....	64
Tabla 4.1.	Nodos aplicados al análisis HAZOP .....	73
Tabla 4.2.	Combinación palabras guía - parámetros.....	74
Tabla 4.3.	Reporte del análisis HAZOP .....	91
Tabla 4.4.	Hojas de acciones .....	106

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.	Matriz de Nivel de Riesgo .....	6
Figura 1.2.	Etapas de un Análisis de Riesgos.....	11
Figura 1.3.	Evaluación de una planta usando Análisis de Riesgos. ....	12
Figura 2.1.	Esquema de proceso para DAP.....	19
Figura 2.2.	Diagrama de flujo del método HAZOP .....	41
Figura 2.3.	Capas de defensa contra un posible accidente.....	47
Figura 2.4.	Comparación del Análisis de Capas de protección y Árbol de Fallas....	48
Figura 2.5.	Secuencia de un análisis por LOPA.....	58
Figura 3.1.	Aplicaciones de métodos de Análisis de Riesgo. ....	65
Figura 3.2.	Criterios para seleccionar métodos de Análisis de Riesgo.....	69
Figura 3.3.	Diagrama de flujo para seleccionar un método de Análisis de Riesgos	70
Figura 4.1.	DTI “Compresor de descarga de Propileno” .....	84
Figura 4.2.	DTI “Descarga de Propileno (carros tanque)” .....	85
Figura 4.3.	DTI “Tanque de almacenamiento de Propileno TA-701” .....	86
Figura 4.4.	DTI “Tanque de almacenamiento de Propileno TA-702” .....	87
Figura 4.5.	DTI “Tanque de almacenamiento de Etileno TA-802” .....	88
Figura 4.6.	DTI “Bombas de Etileno” .....	89
Figura 4.7.	DTI “Compresor de descarga de Propileno” (comentarios del HAZOP) .....	109
Figura 4.8.	DTI “Bombas de Etileno” (comentarios del HAZOP) .....	110

---

---

## **Resumen**

En este trabajo se presenta una descripción de diferentes métodos de Análisis de Riesgos, principalmente a ser aplicadas a plantas de proceso. Al incrementar la capacidad de producción de Polipropileno con una nueva línea de producción, se aplica el Análisis de Riesgos al área de almacenamiento de propileno y etileno, utilizando el método Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP). Este análisis arroja como resultado la necesidad de realizar modificaciones a los diagramas de tubería e instrumentación en la etapa de diseño, y es en ellos donde se muestran los cambios a equipos y adiciones al sistema de control mejorando la operación del proceso para minimizar riesgos potenciales en la planta.

---

---

## **Objetivos.**

- Describir y brindar lineamientos básicos sobre los distintos métodos cualitativos para Análisis de Riesgos, describiendo sus principales características y como se aplican.
- Aplicar y desarrollar ampliamente el método Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP) a un área de almacenamiento de materiales peligrosos.

---

---

## Introducción.

La vida moderna y la comodidad que busca el ser humano provocan la búsqueda de nuevos productos que satisfagan las necesidades crecientes debido inclusive al crecimiento poblacional o productos de “moda”. Por lo anterior, los procesos de producción y en especial la industria química y petroquímica tienen un avance continuo en tecnología que requiere desarrollar procesos cada vez más complejos y de mayor capacidad de producción. Esto directamente influye en que el ser humano esté expuesto a sustancias químicas y condiciones de operación del proceso que representen un riesgo para la salud y el medio ambiente.

Ya desde la década de los 60's se crearon métodos que permitían desarrollar análisis a los procesos, pero fue hasta que catástrofes ocurridas en la década de los 70's y 80's, en las cuales perecieron miles de personas y ocasionaron daños al ambiente provocaron que en todo el mundo se buscara reglamentar mecanismos para hacer frente y eliminar o disminuir futuros acontecimientos catastróficos.

Fue por ello que se inició el desarrollo de programas usados como herramientas para prevenir accidentes sobre todo de niveles catastróficos. En respuesta a esta necesidad se inicia el desarrollo del **Análisis de Riesgos**, el cual logra que estas herramientas identifiquen las posibles fallas, así como las consecuencias en caso de que un evento ocurra, y posibilitar la implementación de medidas para mitigar riesgos y elaborar planes de emergencia en un accidente.

Las instalaciones industriales que almacenan, procesan y generan sustancias peligrosas; tienen asociado un nivel de riesgo muy alto, dado que existe la posibilidad de inducir consecuencias adversas sobre receptores vulnerables (personas, bienes materiales y medio ambiente), como resultado de los efectos dañinos originados por sucesos incontrolables en sus instalaciones.

Actualmente en México como en otros países, la industria privada, industria paraestatal y firmas de ingeniería aplican en forma regular el Análisis de Riesgos en plantas de proceso nuevas y a plantas que incrementan su capacidad y tamaño.

## 1. Generalidades

### 1.1. Antecedentes Históricos

Se aprueban medidas de control de los riesgos inherentes a los accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, el principal objeto consiste en la prevención de accidentes graves en los que intervengan sustancias peligrosas, así como la limitación de sus consecuencias, con la finalidad de proteger a las personas, los bienes y el medio ambiente.

Los accidentes graves son aquellos cuya magnitud y gravedad hacen que sus consecuencias superen los límites de las industrias en los que han ocurrido, debido a la gravedad de sus consecuencias y al elevado número de víctimas, heridos, pérdidas materiales y graves daños al medio ambiente.

En la mente de todos están presentes algunos accidentes ocurridos de los que todavía se están notando sus consecuencias en personas y medio ambiente. Ejemplos como el accidente de Seveso en Italia, Los Alfaques en España y el de San Juan Ixhuatepec en México son conocidos por muchas personas que no tienen relación con el mundo de la seguridad industrial.

La mayoría de estos accidentes se asocia a la industria química y, sobre las que se depositaba prácticamente toda la responsabilidad de los accidentes de carácter grave. Sin embargo, cuando hablamos de la industria química, hay que decir que desde el punto de vista estadístico, tiene un nivel de seguridad mucho más elevado que otras actividades humanas.

Una manera de medir el nivel de accidentes de determinadas actividades industriales es el denominado Índice FAR (Fatal Accident Rate) [6], este término establece el número de accidentes fatales en una industria después de 108 horas de trabajo. Para la industria química, el índice FAR se sitúa entre 4 y 5, mientras que otras actividades productivas como agricultura, minería y construcción presentan índices FAR de 10, 12 y 64, respectivamente. Sin embargo, la repercusión social que han tenido determinados accidentes graves en industrias ocurridos a lo largo de la historia, ha sido mucho más elevada que, por ejemplo, los miles de muertos y heridos graves que cada año se suceden en nuestras carreteras.

Por lo tanto, la sociedad es consciente de que cualquier actividad humana, conlleva ciertos riesgos. En particular, la industria química, o más genéricamente, las

actividades en las que se utilizan, fabrican o manipulan sustancias peligrosas, implica la existencia de riesgos que socialmente pueden ser o no ser admitidos.

La tabla 1.1 muestra algunos de los accidentes industriales que mayor impacto social han tenido por su especial gravedad.

Accidente	Principales Consecuencias
Flixborough (UK), 1974. Explosión de vapor no confinada de ciclohexano.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 28 muertos y cientos de heridos.</li> <li>* Destrucción completa de las instalaciones.</li> </ul>
Cubatao (Brasil), 1974 Bola de fuego de gasolina por fuga de un oleoducto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Al menos 500 muertos.</li> <li>* Graves daños al medio ambiente.</li> </ul>
Seveso (Italia), 1976. Reacción química fuera de control que provoca el venteo de un reactor, con liberación a la atmósfera de dioxina.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Sin muertes.</li> <li>* Evacuación de más de 1,000 personas</li> <li>* Abortos espontáneos y contaminación del suelo.</li> <li>* Autoridades ilocalizables (fin de semana)</li> <li>* Las primeras medidas se tomaron a los cuatro días.</li> </ul>
Campo Los Alfaques, San Carlos de la Rápita (España), 1978. Explosión BLEVE de un camión sobrecargado de propileno al chocar contra un muro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 215 muertos</li> <li>* Destrucción completa del campo.</li> </ul>
Bhopal (India), 1984 Fuga de gas tóxico (Isocianato de metilo) en una planta para la fabricación de insecticidas de Union Carbide. La dispersión ocurrió en un área de aproximada de 40 Km <sup>2</sup> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 3,500 muertes directas y el mismo número de personas en condiciones críticas.</li> <li>* Unas 150,000 personas requirieron tratamiento médico.</li> <li>* Efectos a largo plazo: cegueras, trastornos mentales, lesiones hepáticas y renales.</li> <li>* La nube tóxica atravesó una de las vías de evacuación.</li> </ul>
San Juan de Ixhuatepec, México D.F. (México), 1984. Numerosas explosiones de depósitos y tanques de gas LPG debidas a una fuga y posterior explosión no confinada de gas LPG.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Más de 500 muertos.</li> <li>* Más de 4,500 heridos.</li> <li>* Más de 1,000 desaparecidos.</li> <li>* Destrucción masiva de viviendas.</li> </ul>
Guadalajara (México), 1992. Serie de explosiones en la red de alcantarillado de la ciudad de Guadalajara por vertidos incontrolados de combustible procedente de la planta de Petróleos Mexicanos, PEMEX.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* 190 muertos y 470 heridos.</li> <li>* 6,500 damnificados.</li> <li>* Destrucción de 1,547 edificaciones. Daños en 100 escuelas y 600 vehículos.</li> <li>* Entre 13 y 14 kilómetros de calles destruidas.</li> </ul>

Tabla 1.1. Principales accidentes industriales.

Las consecuencias muestran claramente el enorme costo causado por la destrucción de instalaciones y pérdidas humanas. Sin embargo, no se menciona nada sobre el daño causado al medio ambiente, ya que dependiendo del daño, su recuperación puede llevar muchos años

## **1.2. Conceptos Básicos**

Para tener un mejor entendimiento sobre el “Análisis de Riesgos” es necesario introducir algunos conceptos básicos como Peligro y Riesgo.

El Peligro es una característica física o química inherente que tiene el potencial de causar un daño a personas, construcciones y medio ambiente o combinación de todos.

El Riesgo es la medida de la pérdida económica y/o daño a la vida humana, resultante de la combinación de frecuencia de la ocurrencia y magnitud del daño o consecuencia.

El riesgo está siempre asociado a la factibilidad de que ocurra un evento no deseado. Por ello debe entenderse que el peligro es una propiedad intrínseca de una situación y que no puede controlarse o reducirse

$$\text{Riesgo} = \text{Consecuencia} \times \text{Probabilidad} \quad (1)$$

De esta forma, se puede expresar el riesgo como una función de esos factores. Mientras más grande sea el valor numérico obtenido de este producto mayor es el riesgo y por tanto la actividad a la cual se hizo el análisis no debe de continuar.

Una consecuencia es el resultado directo no deseable de un accidente usualmente relacionados con fuego, explosión o fuga de un material tóxico. Estima los efectos de un accidente en términos de factores como daños a la salud, pérdidas económicas o daños ambientales.

En la tabla 1.2 se muestra la descripción de las consecuencias con un valor numérico asignado.

Valor	Descripción	Seguridad Pérdida de vida	Medio Ambiente Pérdida de contención	Operativo Pérdida de planta o equipo
5	Catastrófico	Muertes.	Pérdida mayor de contención con escapes severos al ambiente.	Pérdida de activos. Abandono de recipientes. Pérdida de estructura.
4	Severo	Enfermedad o heridas graves o severas.	Pérdida de contención con escapes severos al ambiente.	Daño severo a los activos / pérdida de operaciones.
3	Significante	Heridas o enfermedad de media intensidad.	Pérdida de contención con escapes significantes al ambiente.	Daño significativo a equipos / retraso de varios días en las operaciones.
2	Menor	Baja intensidad en heridas o enfermedad.	Pérdida de contención con escapes menores al ambiente.	Daño menor a equipos / retraso hasta medio día en las operaciones.
1	Insignificante	Sin lesiones.	Pérdida de contención sin escape al ambiente.	Daño menor a equipos / No hay retraso en las operaciones.

Tabla 1.2. Consecuencias

La probabilidad (posibilidad de que algo salga mal) se muestra en la tabla 1.3, donde se considera una tabulación en función al daño hipotético.

Valor	Descripción	Definición
5	Frecuente	Un evento común que es probable que ocurra una vez por año o más.
4	Probable	Un evento que ocurra una vez o más durante operaciones o a lo largo de la vida del equipo (entre 1 – 3 años).
3	Posible	Un evento que puede ocurrir durante operaciones o a lo largo de la vida del equipo (entre 3 – 5 años).
2	Improbable	Un evento que puede ocurrir durante operaciones o a lo largo de la vida del equipo (entre 5 – 10 años).
1	Imposible	Un evento que nunca se puede experimentar. Hay extremadamente remota posibilidad de que ocurra (más de 10 años).

Tabla 1.3. Probabilidades

La experiencia demuestra que generalmente los grandes accidentes son causados por eventos poco frecuentes, pero que causan daños considerables.

El nivel de riesgo es el producto de la consecuencia multiplicada por la probabilidad, esta relación se le denomina Matriz de Riesgo o Índice de Riesgo y se muestra esquemáticamente en la figura 1.1. Estos valores proporcionan una solución cualitativa para la asignación de riesgos potenciales y proporcionar soluciones útiles.

La representación muestra a la probabilidad en la horizontal y la consecuencia en la vertical. Por tanto, mientras mayor sea el producto obtenido entre el producto de la probabilidad y la consecuencia más alto es el riesgo. Es decir, si el producto se encuentra entre 1-6 se considera bajo riesgo y las operaciones pueden continuar sin problemas. Si el riesgo esta entre 8-12 se tiene que aplicar planes para la reducción o contingencia del riesgo. Pero si el riesgo esta entre 15-25 se debe considerar cambios drásticos al proceso antes de continuar su operación.

Nivel de Riesgo: Riesgo Alto 15 – 25 Riesgo Medio 8 – 12 Riesgo Bajo 1 - 6			PROBABILIDAD				
			Imposible 1 Ocurre una vez en mas de 10 años	Improbable 2 Ocurre entre 5 – 10 años	Posible 3 Ocurre entre 3 – 5 años	Probable 4 Ocurre entre 1 – 3 años	Frecuente 5 Ocurre una vez por año o más
CONSECUENCIA	Catastrófico 5 (Muerte)	5	10	15	20	25	
	Severo 4 (Enfermedad o heridas graves)	4	8	12	16	20	
	Significante 3 (Heridas o enfermedad de media intensidad)	3	6	9	12	15	
	Menor 2 (Baja intensidad en heridas o enfermedad)	2	4	6	8	10	
	Insignificante 1 (Sin lesiones)	1	2	3	4	5	

Figura 1.1. Matriz de Nivel de Riesgo

El Análisis de Riesgos es la actividad dirigida a la elaboración de una estimación (cualitativa o cuantitativa) del riesgo, basada en la ingeniería de evaluación y en métodos estructurados para promover la combinación de las frecuencias y consecuencias de un accidente.

El Análisis de Riesgos (HE, Hazard Evaluation) es un esfuerzo organizado para identificar y analizar el significado de situación de riesgo asociada a una actividad o proceso. También es usado para determinar las fallas en el diseño y operación que lleven a accidentes químicos, fuego o explosiones. Proporciona a las organizaciones información para mejorar la seguridad y el manejo de riesgo en sus operaciones.

Para prevenir accidentes en un proceso primero se debe entender:

¿Cómo ocurren?

¿Cuál es el método de evaluación más apropiado?

¿Cuál es riesgo asociado con el proceso?

¿Cómo reducir la frecuencia y la consecuencia de accidentes potenciales?

Finalmente, un accidente es una secuencia de eventos que resultan en una consecuencia no deseada. Así, un Accidente Secuencial es una serie de eventos que transforman la amenaza en un accidente real. Normalmente, es una relación directa entre el riesgo y la severidad de un accidente. Por ejemplo, mientras más grande sea el inventario de un material peligroso, más severo resulta un accidente.

El primer evento de un accidente secuencial se conoce como evento inicial, un ejemplo es la falla en el software, falla de equipo, error humano, eventos externos, etc. En la tabla 1.4 se muestran algunos ejemplos.

La complejidad y tamaño del área de estudio influyen directamente en el esfuerzo necesario aplicado para desarrollar un estudio de Análisis de Riesgos, por tanto se consideran dos tipos de problemas: **Simple y Complejo**.

Un sistema simple o pequeño es aquel no se considera tener más de 10 equipos. Por ejemplo, un sistema de descarga y almacenamiento de un químico en el cual se contemplan bombas, tanque de almacenamiento y líneas de transferencia del fluido.

Un sistema complejo es aquel sistema el cual considera más de 10 equipos. Por ejemplo, un sistema de reacción química donde se incluyen reactores, columnas separadores, tanques de almacenamiento, etc.

Los métodos para el Análisis de Riesgos son una herramienta muy valiosa para abordar con decisión su detección, causa y consecuencias, y tienen la finalidad de eliminar o atenuar los propios riesgos así como limitar sus consecuencias, en el caso de no poder eliminarlos totalmente.

Los objetivos principales del Análisis de Riesgos son:

- 1.- Identificar y medir los riesgos que representa una instalación industrial para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales.
- 2.- Deducir los posibles accidentes graves que pudieran producirse.

- 3.- En el espacio y el tiempo, determinar las consecuencias de los accidentes, aplicando determinados criterios de vulnerabilidad.
- 4.- Analizar las causas de dichos accidentes.
- 5.- Discernir sobre la aceptabilidad o no de las propias instalaciones y operaciones realizadas en la planta.
- 6.- Definir medidas y procedimientos de prevención y protección para evitar la ocurrencia y/o limitar las consecuencias de los accidentes.
- 7.- Cumplir los requisitos legales de las normativas nacionales e internacionales que persiguen los mismos objetivos.

Riesgo en el Proceso	Evento de Accidentes Secuenciales		Resultados del Incidente	
	Evento inicial	Evento intermedio		
<b>Inventario de material:</b> Flamables Combustibles Inestable Corrosivo Reactivo Tóxico Gases inertes Desechos Pirofórico  <b>Condiciones Físicas Extremas:</b> Alta temperatura Temp. criogénicas Presiones altas Vacío Temperatura cíclica Presión cíclica Corrosión Erosión Alto voltaje Vibración	<b>Trastornos del Proceso:</b> Proceso desviaciones Temperatura Presión Flujo Concentración Cambio de fase Impurezas <b>Reacciones espontáneas:</b> Polimerización Reacción sin control Explosión interna Descomposición <b>Fallas de contención:</b> Tanques, tubos, recipientes, sellos, empaques <b>Falla de equipo:</b> Bombas, válvulas, instrumentos, sensores, interlocks. <b>Perdida de servicios:</b> Electricidad, agua, aire, vapor, etc.  <b>Falla en el manejo del sistema:</b> Personal inadecuado Entrenamiento insuficiente. Falta de control administrativo y auditorías  <b>Errores humanos:</b> Diseño Construcción Operación Mantenimiento Pruebas e inspección  <b>Eventos externos</b> Condiciones meteorológicas extremas Sismos Vandalismo /sabotaje	<b>Factores de Propagación</b> Falla de equipo  Falla de sistema de seguridad  <b>Fuentes de ignición:</b> Hornos Quemadores Incineradores Vehículos Interruptores eléctricos Electricidad estática Superficies calientes Cigarros  Falla en el manejo del sistema  <b>Errores humanos:</b> Omisiones Comisión Falla en diagnósticos Toma de decisión  <b>Efecto domino:</b> Falla del contenedor Fuga de otro material.  <b>Condiciones externas:</b> Meteorológicas Visibilidad	<b>Factores de Reducción de Riesgo</b> Respuesta control /operador Alarmas Sistemas de control Manual y automático ESD Sistema de detección de gas y fuego  <b>Respuesta del sistema de seguridad:</b> Válvulas de relevo Sistema de-presurizados Sistemas aislados Sistema de soporte <b>Respuesta a sistemas de mitigación:</b> Diques y drenajes Quemadores Sistemas contra incendio Venteo explosivo Absorción de gas tóxico  <b>Respuesta a planes de emergencia:</b> Sirenas Procedimientos de emergencia Seguridad personal Equipo Refugio Escape y evacuación  <b>Eventos externos:</b> Detecciones Tempranas Diseños especiales Estructuras  Entrenamiento Otros sistemas administrativos	<b>Fenómeno</b> Descarga Flasheo y evaporación  Dispersión: Neutral Gas Gas denso  <b>Fuego:</b> Alberca Jet Flash  <b>Explosiones:</b> Blevé Bola de fuego Confinada Vapor sin confinar Nube explosiva Explosiones físicas Polvo Detonación Fase condensada Misiles  <b>Consecuencias:</b> Análisis de efectos Efecto tóxico Efecto térmico Sobrepresión Valoración del daño Comunidad Trabajador Ambiente Bienes de la Compañía Producción

Tabla 1.4. Elementos de accidentes en áreas de Proceso

### 1.3. Etapas de un Análisis de Riesgos

El Análisis de Riesgos, desde el punto de vista de la prevención de accidentes, está delimitado por los siguientes puntos:

- Identificación de sucesos no deseados, que pueden conducir a la materialización de un peligro.
- Análisis de las causas por las que estos sucesos tienen lugar.
- Valoración de las consecuencias y de la frecuencia con que estos sucesos pueden producirse.

En la figura 1.2, se representan estos aspectos, lo que implica acciones diferentes en cada caso.

El primero de ellos se relaciona con la pregunta ¿Qué puede salir mal? Se refiere a todas las causas que provoquen efectos adversos.

La “Identificación de riesgos” es crucial ya que un peligro no identificado es algo que no debe permitirse. Para evitar omisiones en esta etapa, la experiencia del personal directamente involucrado en el proceso es esencial, para ello se han desarrollado métodos para eliminar o minimizar estas omisiones, las cuales se detallaran posteriormente.

El segundo punto se establece con la pregunta ¿Qué consecuencias pueden esperarse? Para contestarla, es necesario tener un modelo matemático que pueda ser usado para estimar los efectos originados a partir de las causas identificadas. Una misma causa puede tener diferentes consecuencias. Las diferentes posibilidades deben ser analizadas con el modelo apropiado, en cada caso se obtiene un estimado de las consecuencias esperadas para el personal y/o la instalación. Acciones evasivas y/o medidas de protección pueden ser incluidas en el modelo.

El tercer punto del Análisis de Riesgos es responder la pregunta: ¿Con qué frecuencia se espera un evento? Se requiere determinar frecuencia (ocasiones por año) o la probabilidad de que un evento dado tenga lugar durante la vida productiva de una planta. Métodos cualitativos o cuantitativos se aplican para determinar la frecuencia de un evento. En la práctica es común el uso de una combinación de métodos como Análisis Históricos con una Lista de Comprobación finalizando con un HAZOP. Esta es la razón por la cual métodos más estructurados se emplean usualmente, tal como el árbol de fallas ó el árbol de eventos, donde las probabilidades se asignan a cada etapa en la secuencia de eventos considerados. Esto se hace usando la información sobre frecuencia de falla de equipos y componentes que está disponible en las bases de datos de fiabilidad de equipos.

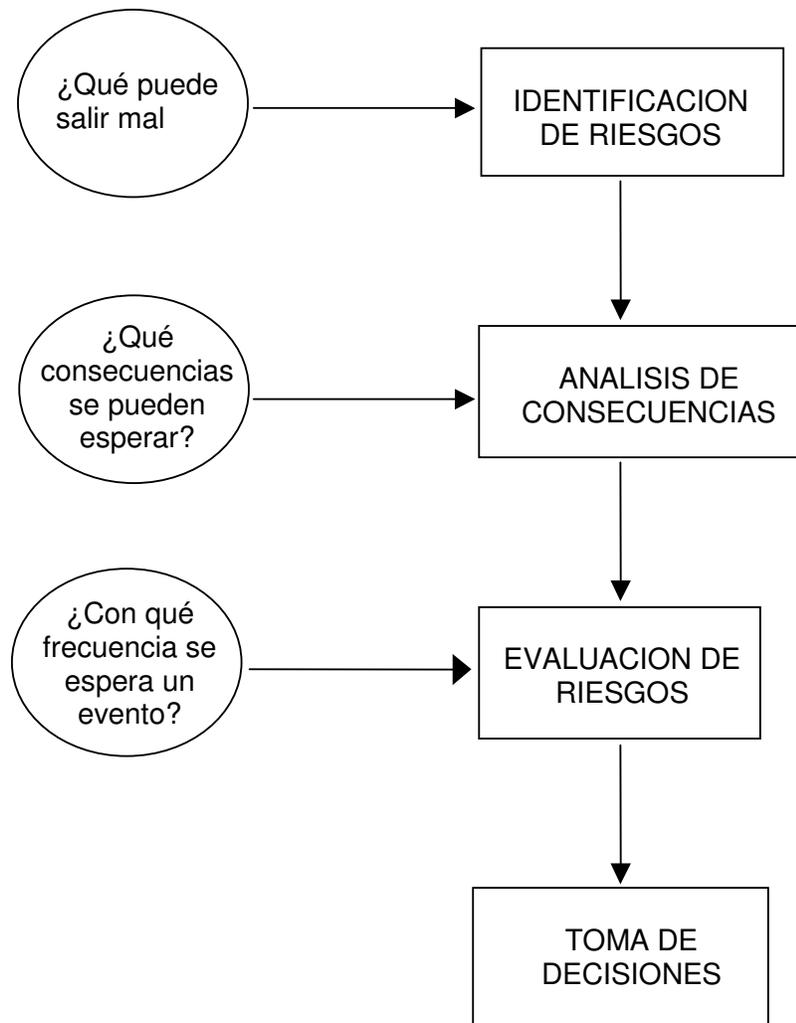


Figura 1.2. Etapas de un Análisis de Riesgos.

Las diferentes etapas de un Análisis de Riesgos para evaluar el diseño de una planta se muestran en la figura 1.3. Es importante reconocer que no todas los métodos requeridos se han desarrollado en el mismo nivel. Así, puede decirse que los métodos de Análisis de Riesgos han alcanzado madurez y pueden ser empleadas con confianza, es decir, si se aplican correctamente, la identificación de todos los riesgos relevantes deben obtenerse. También se considera que los métodos de estimación de consecuencias están bien desarrollados, lo que significa, dado un escenario, la incertidumbre con respecto a los efectos producidos es relativamente pequeña. Y su magnitud puede ser estimada aproximadamente. Contrario a ésta, estimar la frecuencia está comparativamente menos avanzada, y por tanto requiere de un desarrollo significativo hasta que su incertidumbre disminuya a niveles comparables a aquellos de los métodos previamente mencionados. Sin embargo, la cantidad de información disponible en bases de datos de fallas y accidentes está constantemente incrementándose, lo que significa que eventualmente la mayoría de

las frecuencias y probabilidades de falla serán estimadas con mejor aproximación. Debe notarse que los datos ingresados no tienen el mismo peso cuando estimamos las frecuencias de accidentes. Por el contrario, a veces sólo algunas frecuencias del árbol de fallas son críticas para la precisión del resultado final.

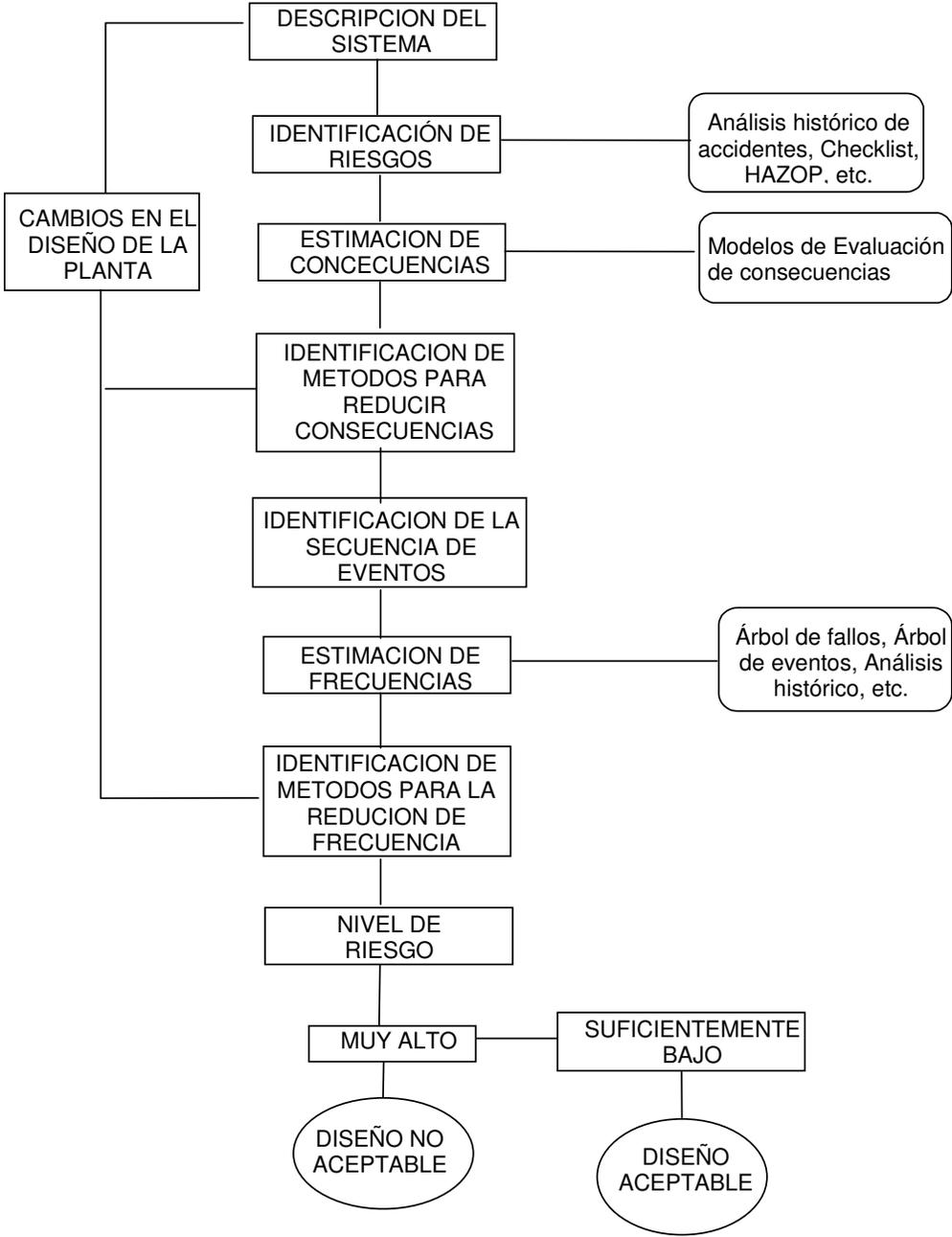


Figura 1.3. Evaluación de una planta usando Análisis de Riesgos.

Aunque no se considera en la figura 1.3, una de las tareas a ser realizadas en una de las etapas tempranas del proceso del Análisis de Riesgos consiste en desarrollar un conjunto específico de datos para el análisis. Aparte de la información contenida en el bloque “descripción del sistema” conocimiento de factores externos se requiere (topografía y el uso del suelo en los alrededores, información demográfica, información meteorológica, servicios externos, etc.) Además de datos relevantes para la estimación de la probabilidad de incidentes (record de accidentes pasados, datos de fiabilidad de los equipos, datos de catástrofes naturales, etc.).

## 2. Métodos de Análisis de Riesgos.

Básicamente, existen dos tipos de métodos para la realización de Análisis de Riesgos: Métodos Cualitativos y Métodos Semicualitativos.

**a.- Métodos cualitativos:** Se caracterizan por no recurrir a cálculos numéricos. Pueden ser métodos comparativos y métodos generalizados.

### Métodos comparativos

Se basan en la utilización de métodos obtenidos de la experiencia adquirida en equipos e instalaciones similares existentes, así como, en el análisis de sucesos que hayan ocurrido en establecimientos parecidos al que se analiza. Principalmente son cuatro métodos los existentes:

- \* Manuales Técnicos o Códigos y Normas de Diseño.
- \* Listas de Comprobación (Safety Checklist).
- \* Análisis Histórico de Accidentes.
- \* Análisis Preliminar de Riesgos (PHA)

### Métodos generalizados

Los métodos generalizados de análisis de riesgos, se basan en estudios de las instalaciones y procesos mucho más estructurados desde el punto de vista lógico-deductivo que los métodos comparativos. Normalmente siguen un procedimiento lógico de deducción de fallas, errores, desviaciones en equipos, instalaciones, procesos, operaciones, etc. Eso trae como consecuencia la obtención de determinadas soluciones para este tipo de eventos.

Existen varios métodos generalizados. Los más importantes son:

- Listas de Verificación (*Check lists*).
- ¿Qué pasa si ... ? (*What If ... ?*).
- Análisis de Modos de Falla y Efectos (*Failure Modes and Effects Analysis, FMEA*).
- Análisis de modos de Falla, Efectos y Criticidad (*Failure Modes and Effects and Criticality Análisis, FMECA*).

- Análisis de Riesgos y Operabilidad (*Hazard and Operability Analysis, HAZOP*).
- Análisis de Capas de Protección (Layer of Protection Analysis, LOPA).

**b.- Métodos semicualitativos:** Estos se basan principalmente en que introducen una valoración cuantitativa respecto a las frecuencias de ocurrencia de un determinado suceso y se denominan métodos para la determinación de frecuencias, o bien se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas de una instalación, basándose en una serie de índices que cuantifican daños: índices de riesgo.

- Índice de Dow (incendio y explosión).
- Índice de Mond.
- Índice SHI y MHI (Substance Hazard Index and Material Hazard Index)
- Árbol de Fallas (Fault Tree)
- Árbol de Sucesos (Event Tree)

Todos los métodos de análisis mencionados tiene como característica común que se desarrollan en tres etapas: Preparación, evaluación y documentación.

**Preparación.-** Se considera en forma general para esta etapa la recopilación de información, definición del alcance del análisis y organización de las juntas.

**Evaluación.-** Propiamente es el desarrollo de analizar el sistema de acuerdo al alcance determinado y al método seleccionado.

**Documentación.-** Incluye, adicional a los resultados de las juntas, desarrollar, revisar y complementar un reporte escrito donde se incluyen las acciones a seguir.

El objetivo principal del capítulo consiste en describir y analizar brevemente los principales métodos cualitativos que se pueden utilizar para completar las etapas de un Análisis de Riesgos: identificación del riesgo, evaluación y consecuencias.

Se incluyen los métodos que recurren a una valoración cualitativa y no a una medida numérica del fenómeno analizado; si bien algunos métodos utilizan valores numéricos, éstos se consideran como índices relativos de ponderación.

Estos métodos representan los más utilizados en procesos químicos, en los cuales se incluye un pequeño ejemplo para describir la secuencia de aplicación de cada método.

## **2.1. Lista de Verificación (Checklists)**

Las listas de verificación o “*Checklists*”, consisten de una serie de preguntas o pasos de procedimientos usados usualmente para evaluar o identificar el estatus de un sistema o proceso. Estas listas de Verificación son frecuentemente utilizadas por empresas para verificar la conformidad con estándares y/o practicas para identificar riesgos, deficiencias en el diseño y situaciones de accidentes potenciales.

Son de fácil aplicación y pueden ser utilizadas en cualquier etapa de un proyecto o modificación de una planta ya que son muy versátiles y usadas para familiarizar a personal inexperto en el proceso o sistema. Puede ser tan extenso y detallado para satisfacer una situación específica pero debe ser aplicado en orden y de forma consciente para identificar problemas que requieren atención especial.

Es una manera adecuada de evaluar el nivel mínimo aceptable de riesgo de un determinado proyecto; estas permiten una evaluación en cualquier trabajo independientemente de sus características.

Muchas empresas utilizan listas de verificación estandarizadas para dar seguimiento y control en las diferentes etapas de un proyecto. La lista de verificación completa frecuentemente es aprobada por varios miembros de trabajo antes que el proyecto se mueva de una etapa a otra. Esta limitado por la experiencia del que lo desarrolla.

La tabla 2.1 muestra únicamente algunos ejemplos para ser utilizados en una Lista de Verificación, pero para realizar una lista más exhaustiva para la aplicación de éste método se puede recurrir al “Hazard Evaluation Procedures”.

### **2.1.1. Requerimientos de Personal y Material**

Para desarrollar este método es necesario disponer de las normas o manuales prácticos operacionales de referencia, así como de un conocimiento del sistema o planta a analizar.

Pueden ser puestas en práctica por un titulado sin gran experiencia pero que este familiarizado con la planta procedimientos y políticas de la compañía. Se puede utilizar una lista de verificación de trabajos previos, siendo el analista quien determina en que porcentaje utiliza dichos documentos para el análisis actual.

<p><b>A) Proceso</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Que materiales son peligrosos?</li> <li>* Cuales son las propiedades físicas y químicas de las materias primas y productos?</li> <li>* Que reacciones peligrosas o descomposiciones pueden suceder?</li> <li>* Cómo es el proceso de almacenamiento de las materias primas y productos?</li> <li>* Se tienen materiales incompatibles en la misma área?</li> <li>* Se puede reducir el inventario del material?</li> <li>* Pueden minimizarse los desechos peligrosos?</li> <li>* Que riesgos pueden ocurrir por la pérdida de alguna materia prima?</li> <li>* Que riesgos pueden ocurrir por la pérdida de cualquier servicio?</li> <li>* Puede presentarse alguna reacción incontrolable o explosiva?</li> <li>* Que productos o materias primas pueden cambiar por condiciones climáticas extremas?</li> <li>* Se han presentado cambios en equipo de proceso o condiciones de operación.</li> <li>* Se han modificado las composiciones de las materias primas?</li> </ul> <p><b>B) Planta y edificios</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Que tan cercana esta el área de proceso a edificios administrativos?</li> <li>* Que fuerza externas pueden afectar a la planta? Vientos, movimientos de tierra, huracanes, sabotaje, fuego natural, etc.</li> <li>* Los caminos de acceso son adecuados y suficientes?</li> <li>* Se tienen fosas con material peligroso?</li> <li>* La distancia mínima entre equipos es de acuerdo a norma?</li> <li>* Se tiene área prevista para futuras ampliaciones?</li> <li>* Se tienen identificadas las rutas de escape, son seguras?</li> </ul>	<p><b>C) Equipo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Los equipos están diseñados para la máxima presión y temperatura?</li> <li>* Por emergencia los equipos tienen válvulas de seguridad?</li> <li>* El dimensionamiento de las válvulas de seguridad es correcto?</li> <li>* El sistema de desfogue esta diseñado adecuadamente?</li> <li>* El quemador cumple con el diseño del máximo relevo de emergencia?</li> </ul> <p><b>D) Válvulas y tuberías</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Las tuberías son adecuadas a máxima presión y temperatura?</li> <li>* El material de válvulas y tubería es adecuado para el fluido que manejan?</li> <li>* Se tienen conexiones y accesorios flexibles, son necesarios?</li> <li>* Son accesibles las válvulas de control para el operador?</li> </ul> <p><b>E) Bombas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* La presión de descarga excede la presión de diseño de tubería o equipo?</li> <li>* El material de las bombas es resistente al fluido a manejar?</li> </ul> <p><b>F) Tanques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Que precauciones se tienen para caso de derrame del material contenido?</li> <li>* Son adecuados los drenes y venteos para los tanques?</li> <li>* Tienen placa de contenido del producto en los tanques?</li> </ul> <p><b>G) Instrumentos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* La instrumentación esta localizados adecuadamente para controlar el proceso?</li> <li>* Es adecuado el sistema de control?</li> <li>* Los sistemas automáticos pueden operar en forma manual?</li> <li>* Se tienen procedimientos establecidos para pruebas de funcionamiento?</li> </ul>
---	---

Tabla 2.1. Preguntas aplicables a una Lista de Verificación

Si no se cuenta con una Lista de Verificación, uno o varios elementos pueden desarrollarlos y posteriormente iniciar la evaluación

Para desarrollar el método de Lista de Verificación el tiempo estimado es de acuerdo a lo indicado en la tabla 2.2. [2]

<b>ALCANCE</b>	<b>PREPARACIÓN</b>	<b>EVALUACIÓN</b>	<b>DOCUMENTACIÓN</b>
Proceso Simple	2 - 4 horas	4 – 8 horas	4 - 8 horas
Proceso Complejo	1 - 3 días	3 – 5 días	2 - 4 días

Tabla 2.2. Tiempo estimado para realizar Listas de Verificación

### **2.1.2. Procedimiento de Análisis**

Una vez que el análisis se ha definido, un análisis de Lista de Verificación consiste de las siguientes etapas:

- a) Selección o desarrollo de una lista de verificación. Una lista de verificación debe seleccionarse adecuadamente de acuerdo al tipo de proceso o sistema a analizar, por tanto debe prepararlo un ingeniero de amplia experiencia y que este familiarizado con la operación de la planta y con los estándares o procedimientos de la compañía. Una vez seleccionada la lista de verificación, puede ser aplicada por ingenieros de poca experiencia.
- b) Aplicación del método. El análisis de un sistema existente debe incluir una inspección a la planta y entrevistas al personal de operación por parte del equipo del análisis de riesgos. Durante la visita, el equipo de trabajo verifica el equipo de proceso y la forma de operar de acuerdo a lo indicado en la Lista de Verificación. Se debe llenar el documento basado en las observaciones realizadas durante la visita. Pero, cuando se trata de desarrollar un análisis a un proceso nuevo usualmente el equipo de trabajo desarrolla reuniones enfocándose en la revisión de los diagramas de proceso y discusiones de deficiencias en el proceso.
- c) Documentación de resultados. El equipo de trabajo que desarrolla el análisis debe plasmar en la tabla de la lista de verificación las deficiencias encontradas durante las juntas de revisión y en las visitas a campo. Este reporte debe contener adicionalmente recomendaciones para disminuir el riesgo, explicando ampliamente las acciones a realizar.

### 2.1.3. Software Recomendado.

Actualmente no se cuenta con un software comercial o específico para desarrollar una Lista de Verificación, pero cuando se aplica este método de forma reiterada, es usual que las empresas consultoras de seguridad tengan desarrollados formatos que cubran determinados procedimientos o reglamentos.

### 2.1.4. Ejemplo de Aplicación.

En un proceso continuo como el mostrado en la figura. 2.1 donde una solución de ácido fosfórico y una solución de amoníaco son alimentadas a un reactor con agitación para uniformizar el mezclado. Ambas soluciones reaccionan para formar fosfato diamónico (DAP) que es un producto no peligroso. Una vez formado el producto, este es enviado a un tanque de almacenamiento del tipo atmosférico. En caso de que la operación salga de control se tienen válvulas de seguridad en cada uno de los tanques de almacenamiento e inclusive en el reactor.

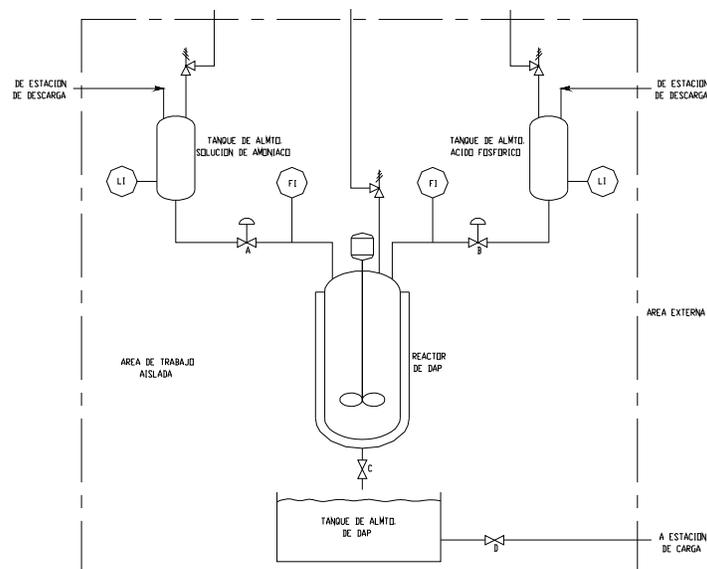


Figura 2.1. Esquema de proceso para DAP.

Si el flujo de ácido fosfórico que se alimenta al reactor se incrementa, el producto sale de especificación pero la reacción continúa siendo segura. Si en la operación ambas soluciones incrementan su flujo de alimentación al reactor, la energía liberada se incrementa y el reactor no está diseñado para soportar el incremento en la temperatura y presión. Si por el contrario, el flujo de alimentación de la solución de amoníaco al reactor se incrementa, se presenta un exceso de amoníaco que no reaccionó y se transfiere al tanque de almacenamiento de DAP. Una restricción de seguridad indica que no se debe permitir presencia de amoníaco en el área de trabajo, ya que éste causa severos daños al personal.

Detectores y alarmas de amoniaco están colocados en el área de trabajo.

La tabla 2.3 muestra una serie de resultados de un análisis por Lista de Verificación para el problema ejemplo. No se muestra al análisis completo ya que es muy extenso.

<b>MATERIAL:</b>	
*	<b>¿Las materias primas están conforme a especificación?</b> No, la concentración de amoniaco ha sido aumentada a la comúnmente adquirida y la relación de flujo al reactor se calibra para la nueva concentración de amoniaco.
*	<b>¿La calidad de la materia prima es verificada al recibirla?</b> Sí, El proveedor es confiable. El nivel del carro tanque y la factura son verificadas antes de autorizar la descarga, pero no se realiza ningún tipo de muestreo.
*	<b>¿El equipo de seguridad y contra incendio están bien localizados y con un mantenimiento adecuado?</b> No, el sistema contra incendio y el equipo de seguridad no cumplen con la seguridad requerida, ya que una pared se construyó recientemente en el área de proceso. El equipo existente se encuentra en buenas condiciones y se realiza una inspección regularmente.
*	<b>¿El personal tiene acceso a las hojas de datos?</b> Sí, las hojas de datos son accesibles las 24 horas del día en el área de proceso, en el edificio administrativo y en la oficina de seguridad.
<b>EQUIPO:</b>	
*	<b>¿Todo el equipo es inspeccionado?</b> Sí, se da al equipo un mantenimiento y una inspección de acuerdo a los estándares de la compañía. Sin embargo, se encontraron incongruencias entre los documentos. El personal de mantenimiento, sugiere que se revise la forma en documentar dicha inspección a los equipos de proceso.
*	<b>¿Las válvulas de seguridad son verificadas?</b> Sí, la verificación es continua y de acuerdo al procedimiento de la compañía.
*	<b>¿El sistema de seguridad y los interlocks se verifican adecuadamente?</b> Sí, No se presenta desviación alguna, esta de acuerdo a los procedimientos establecidos.
*	<b>¿El resguardo del material de mantenimiento es adecuado?</b> Sí, la compañía mantiene un bajo inventario de partes de repuesto como política de economía. Las partes de repuesto mayores es posible adquirirlas con un proveedor local en menos de 4 horas.
<b>PROCEDIMIENTOS:</b>	
*	<b>¿Los procedimientos de operación están actualizados?</b> Sí, los procedimientos fueron actualizados inmediatamente después de realizar un cambio menor en la secuencia de operación.
*	<b>¿Los operadores siguen los procedimientos?</b> No, los cambios recientes por el cambio en la secuencia de operaciones se han implementado lentamente en el personal y no se ha concluido completamente.
*	<b>¿El personal de operación esta entrenado adecuadamente?</b> Sí, un programa de entrenamiento con revisiones continuas esta implementado y es aplicable a todos los empleados.
*	<b>¿Cómo se maneja la comunicación en el cambio de turno?</b> El operador en turno toma 30 minutos antes de retirarse para escribir en la bitácora el estatus del proceso para el siguiente turno.

Tabla 2.3. Resultados de una Lista de Verificación para el proceso de DAP

## 2.2. ¿Qué pasa sí? (What If?)

¿Qué pasa sí? o What if? es un método de análisis que se caracteriza por ser una lluvia de ideas de un grupo de trabajo, familiarizados con el sistema haciendo preguntas acerca de posibles eventos no deseados dentro de un proceso u operación. No es tan estructurado como otros (*HAZOP-Hazard Operability Analysis*, *FMEA (Failure Mode Effects Analysis)*), y necesita la adaptación por parte del usuario al caso particular que se pretende analizar.

Evidentemente, requiere un conocimiento básico del sistema y la disposición mental para combinar o sintetizar las desviaciones posibles ya comentadas, por lo que normalmente es necesaria la presencia de personal con amplia experiencia para poder llevarlo a cabo de otra forma los resultados no son completos. La investigación debe incluir una visita a la planta o área de proceso y puede incluir entrevistas al personal de la planta

Es más útil cuando se realiza en etapas tempranas de un proyecto. Como su nombre sugiere, consiste en cuestionarse el resultado de la presencia de sucesos indeseados que pueden provocar consecuencias adversas.

El método exige el planteamiento de las posibles desviaciones desde el diseño, construcción o modificaciones de operación de una determinada instalación.

Debe definirse en primer lugar la categoría de las consecuencias (para el público, para los trabajadores de la planta o económicas), siendo que, a su vez, estas categorías pueden subdividirse en otras menores. Una vez definidas estas categorías, puede definirse el alcance físico del estudio, incluyendo posibles interacciones entre diferentes partes de la planta.

### 2.2.1. Requerimientos de Personal y Material

Un equipo de trabajo puede esta conformado por dos o tres personas con conocimientos en las áreas a analizar, los cuales necesitan documentación detallada de la planta, del proceso, de los procedimientos y posibles entrevistas con personal de operación.

Para cada área de un proceso deben definirse equipos que desarrollen el análisis. Cuando se tienen áreas de proceso complejas es mejor tener un grupo numeroso de participantes y posteriormente dividirlo en secciones.

Cada equipo debe poseer:

- Experiencia en las consecuencias a analizar.
- Conocimientos de la planta o el proceso.
- Experiencias en métodos de Análisis de Riesgos.

El equipo debe ser multidisciplinario e incluir puntos de vista de producción, fabricación, mantenimiento, ingeniería y seguridad. Cuando se tienen sistemas complejos o grandes el equipo puede crecer hasta 5 integrantes.

El resultado del trabajo será un listado de posibles escenarios incidentales, sus consecuencias y las posibles soluciones para la reducción del riesgo acerca del proceso.

Idealmente un grupo de trabajo puede reunirse por un periodo de 4 a 6 horas diarias, y por no más de una semana.

El costo y tiempo de un análisis *¿Qué pasa sí?* es proporcional a la complejidad de la planta y/o áreas a analizar. Sin embargo, una vez que el grupo ha ganado experiencia, el método se vuelve eficiente en tiempo y costo. Para desarrollar este método el tiempo estimado es de acuerdo a lo indicado en la tabla 2.4. [2]

ALCANCE	PREPARACIÓN (a)	EVALUACIÓN	DOCUMENTACIÓN
Proceso Simple	4 - 8 horas (a)	4 – 8 horas	1 – 2 días
Proceso Complejo	1 - 3 días (a)	3 – 5 días	1 - 3 semanas

(a) Lo realiza el líder del equipo y el escriba.

Tabla 2.4. Tiempo estimado para realizar un análisis *¿Qué pasa sí?*.

### 2.2.2. Procedimiento de Análisis

Después de definir el alcance de estudio, las etapas fundamentales de un análisis *¿Qué pasa sí?* o *What If* son:

- a) Preparación de la revisión.
- b) Desarrollo de la revisión.
- c) Documentación de resultados.

Las características básicas de cada etapa son las siguientes:

### **a) Preparación de la Revisión**

Es necesaria que toda la información requerida se encuentre disponible al inicio del trabajo para poder desarrollarlo sin interrupciones. Un resumen típico de la información requerida se muestra a continuación.

- Descripción del proceso
- Diagramas de Flujo:
- Plano de localización de equipos (*Plot Plan*).
- Diagramas de Tuberías e Instrumentación (P&ID).
- Procedimientos operaciones.

Cuando se va a realizar el análisis a una planta existente, el equipo de trabajo puede realizar una visita a la planta para tener una mejor idea de cada una de las etapas del proceso y operación. Esta visita puede incluir entrevistas al personal de las diferentes áreas. De esta visita los integrantes del equipo pueden iniciar un listado de preguntas previas al desarrollo normal de la junta.

La última parte de esta etapa de esta preparación preliminar de preguntas para que sean la base para el grupo en la reunión. Cualquier listado de preguntas de reportes anteriores pueden utilizarse.

### **b) Desarrollo de la Revisión**

Normalmente esta etapa inicia con una explicación básica del proceso por personal que conozcan el proceso y las diferentes áreas de la planta, incluyendo el equipo de seguridad y los procedimientos de control de salud. El equipo de trabajo empieza sus preguntas analizando el proceso y las prosigue a lo largo del mismo. En ocasiones el método puede centrarse en determinadas consecuencias específicas (seguridad personal, por ejemplo).

Esta etapa de revisión se puede desarrollar de dos formas diferentes. La primera de ellas consiste en desarrollar una lista donde sean consideradas todas las preguntas y posteriormente el equipo de trabajo durante la reunión se da respuesta una por una. La otra forma es que el equipo de trabajo en la sesión de revisión considera una pregunta con su correspondiente respuesta y propuesta.

Las dos formas de trabajo son adecuadas pero generalmente se prefiere la primera de ellas. Cuando así se requiere, y por la creatividad y dinámica del equipo de trabajo pueden irse adicionando nuevas preguntas.

Se van anotando sucesivamente todas las preguntas, y respuestas, incluyendo peligros, consecuencias y soluciones. El estudio se contempla recopilando los comentarios de todos los integrantes del equipo de trabajo y revisando las recomendaciones por parte del nivel adecuado de gerencia.

El método tiene un campo de aplicación amplio ya que depende del planteamiento de las preguntas que pueden ser relativas a cualquiera de las áreas que se proponga la investigación como: proceso, instrumentación, seguridad eléctrica, protección contra incendios, seguridad personal, etc.

Las preguntas se formulan en función de la experiencia previa y se aplican, tanto a proyectos de instalación, como a plantas en operación, siendo muy común su aplicación ante cambios propuestos en instalaciones existentes.

### ***c) Documentación de Resultados***

La documentación es clave para ayudar al equipo en la reducción o eliminación de riesgos. Normalmente se utilizan formatos de trabajo que la hace fácil y organizada como el mostrado en la tabla 2.5.

Adicionalmente, algunas ocasiones el equipo de trabajo incluye una lista de sugerencias y algunas compañías prefieren que la documentación para un análisis ¿Qué pasa sí? se entregue en forma de narrativa en lugar de una tabla.

#### **2.2.3. Software Recomendado.**

Actualmente se cuenta con una diversidad de software para desarrollar un análisis ¿Qué pasa sí?: de los cuales podemos mencionar los siguientes programas: WHAT IF-PC (Primatech, Inc.) y SAFEPLAN (Du Pont). Sin embargo, si no se cuenta con cualquiera de estos programas se facilita su ejecución si se tienen formatos donde se incluyan las preguntas, consecuencias y recomendaciones.

#### **2.2.4. Ejemplo de Aplicación.**

Se considera el proceso para obtener DAP, esta indicado en la sección 2.1.4, donde se describe detalladamente el proceso. La tabla 2.5 es un formato típico donde se muestran los resultados de un análisis ¿Qué pasa sí?

Proceso: Reactor de DAP Tópico a analizar: Fuga Tóxica	Analista: J. López Fecha: 23/Oct/07
---	--

¿Qué pasa sí?	Consecuencias / Riesgos	Salvaguarda	Recomendaciones
¿Se suministra otro material en lugar de ácido fosfórico?	Potencial riesgo de reacción del amoníaco o ácido fosfórico con material suministrado o material fuera de especificación.	Procedimiento de manejo de material en planta. Proveedor confiable.	Adecuar el procedimiento de recepción, manejo y etiquetado de materiales.
¿La concentración del ácido fosfórico es baja?	Amoníaco sin reaccionar se transfiere al tanque de almacenamiento de DAP y se libera al área de trabajo	Proveedor confiable. Detector y alarma de amoníaco en el área de almacenamiento	Verificar la concentración de ácido fosfórico antes de transferirlo al tanque de almacenamiento
¿El ácido fosfórico está contaminado?	Potencial riesgo de reacción del amoníaco o ácido fosfórico con material suministrado o material fuera de especificación.	Procedimiento de manejo de material en planta Proveedor confiable.	Adecuar el procedimiento de recepción, manejo y etiquetado de materiales.
¿La válvula B se cierra o se bloquea?	Amoníaco sin reaccionar se transfiere al tanque de almacenamiento de DAP y se libera al área de trabajo	Mantenimiento periódico Detector y alarma de amoníaco en el área de almacenamiento Indicador de flujo en la línea de ácido fosfórico.	Alarma / cierre de amoníaco (válvula A) a bajo flujo a través de la válvula B
¿Alto flujo de amoníaco es suministrado al reactor?	Amoníaco sin reaccionar se transfiere al tanque de almacenamiento de DAP y se libera al área de trabajo	Detector y alarma de amoníaco en el área de almacenamiento Indicador de flujo en la línea de amoníaco.	Alarma / cierre de amoníaco (válvula A) a bajo flujo a través de la válvula A.

Tabla 2.5. Resultados Análisis ¿Qué pasa sí? para el proceso de DAP

## **2.3. Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA)**

El Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA, Failure Modes and Effects Analysis) es un método sistemático y estructurado para identificar y prevenir fallas antes de que estas ocurran. Evalúa las vías de cómo fallan los equipos o por que operan inadecuadamente y los efectos que estas fallas puedan tener en un proceso. El método FMEA identifica fallas individuales y establece las diferentes combinaciones de fallas de equipos y las secuencias de los mismos que pueden llegar a provocar un accidente final de mayores consecuencias en la planta o sistema. Este método no examina los errores humanos directamente, no obstante, los efectos de una mala operación como resultados de errores humanos son indicados por un modo de falla del equipo.

FMEA también captura la información histórica para el uso en la mejora futura del producto.

Los modos de falla que se consideran son, típicamente, las situaciones de anomalía tales como:

- \* Abierto cuando normalmente deba estar cerrado.
- \* Cerrado cuando normalmente deba estar abierto.
- \* Marcha cuando normalmente deba estar parado.
- \* Paro cuando normalmente deba estar en marcha.
- \* Fugas cuando normalmente deba sin fugas.
- \* Otros.

El analista o equipo de análisis describe consecuencias potenciales y su relación con la falla de equipos. Ocasionalmente se investigan daños que puedan surgir si el sistema opera adecuadamente.

Cada falla individual es considerada como una ocurrencia independiente, sin ninguna relación a otra falla en el sistema, excepto para los efectos subsecuentes que estos puedan producir

El FMEA puede ser de fácil aplicación para cambios en el diseño o modificaciones en la planta o sistema. El uso temprano y constante de FMEA en el proceso permite al ingeniero obtener un producto confiable, seguro y completo para el cliente.

### **2.3.1. Requerimientos de Personal y Material**

Para garantizar la efectividad del método, debe disponerse de Lista de equipos y/o DTI's, conocimiento de la operación de los equipos, conocimiento general del proceso y/o planta.

Normalmente, el método FMEA puede llevarse a cabo por un equipo de dos analistas que conozcan perfectamente las funciones de cada equipo o sistema, así como la influencia de estas funciones en el resto de la línea o proceso, y como las fallas pueden afectar a cualquier parte del proceso o sistema. Estos analistas a su vez deben ser supervisados y revisados por otro elemento de mayor experiencia.

Para sistemas complejos, el número de analistas se debe incrementar en función de la complejidad, cantidad de equipos a ser analizados y especialidades a ser cubiertas.

El tiempo y costo para un análisis con FMEA son proporcionales al tamaño del proceso, a la complejidad y al número de componentes, siendo muy complicado intentar establecer un índice promedio de dedicación, sin embargo, en la tabla 2.6 [2] se muestran tiempos estimados para la realización de una evaluación de riesgos utilizando el método FMEA.

En promedio una hora es suficiente para analizar dos o cuatro equipos.

ALCANCE	PREPARACIÓN	EVALUACIÓN	DOCUMENTACIÓN
Proceso Simple	2 – 6 horas	1 – 3 días	1 – 3 días
Proceso Complejo	1 - 3 días	1 – 3 semanas	2 - 4 semanas

Tabla 2.6. Tiempo estimado utilizando para realizar FMEA

### 2.3.2. Procedimiento de Análisis

El método FMEA puede ser utilizado en las etapas de diseño, construcción y operación. El procedimiento de análisis se realiza en tres etapas

- a. Preparación de la revisión.
- b. Desarrollo de la revisión.
- c. Documentación de resultados.

#### ***a) Preparación de la Revisión***

En esta etapa se identifican los equipos a ser incluidos en el análisis del FMEA y las condiciones en las cuales son analizados. Esto implica que en el análisis se debe establecer un nivel de solución para el estudio, que tan extenso y/o detallado es el análisis al sistema.

Además, se deben determinar los límites del sistema a analizar y definir las condiciones en la frontera, los siguientes elementos definen las condiciones de las fronteras:

- Identificar la planta y/o sistema sujeto al análisis, el cual debe quedar claro para todos los integrantes del equipo. Se incluye una descripción del proceso bajo análisis.
- Establecer los límites físicos del FMEA, incluidas las interfases con otros sistemas o procesos, para ello se puede hacer uso del plot plan y de los DTI's.
- Establecer los límites analíticos modos de falla, consecuencias, causas y guardas existentes, en la mayoría de los casos no se consideran como causa de falla huracanes, movimientos telúricos, choques de avión, tornados.

### ***b) Desarrollo de la Revisión***

Un análisis FMEA debe desarrollarse de manera sistemática para reducir la posibilidad de omisiones. Para obtener mejores resultados al realizar una evaluación, se utilizan formatos que permiten guardar los resultados fácilmente; en la tabla 2.8 se muestra un ejemplo del formato.

Todos los modos de falla deben ser evaluados por cada componente o sistema antes de continuar con el siguiente modo de falla. Como mínimo un formato para realizar un análisis de modo de falla y efecto debe contener los siguientes puntos:

- Identificación de Equipo. La identificación para cada elemento de un sistema es importante ya que distingue incluso de equipos similares que realizan funciones diferentes en el mismo sistema. Generalmente son identificaciones cortas y se muestran generalmente en documentos de importancia en un proyecto como lo son los DTI's, DFP's y lista de equipo, donde cualquier codificación es aceptable.
- Descripción de Equipos. La descripción del equipo consiste en indicar el tipo de equipo, condiciones de operación y diseño, servicio corrosivo y cualquier otro dato que permita determinar su influencia a un posible modo de falla y sus efectos.
- Modos de Falla. El equipo de trabajo debe listar todos los modos de falla por cada componente o equipo, el equipo de trabajo debe indicar todas las posibles perturbaciones que modifiquen una condición normal de operación.  
La tabla 2.7 muestra ejemplos de modos de falla en equipos.
- Efectos. Por cada modo de falla identificado el equipo de trabajo debe indicar los efectos potenciales inmediatos. Estos efectos pueden ser

localizados en el equipo o globales afectando a otros equipos. Generalmente los efectos globales son más serios.

- Salvaguardas. Por cada modo de falla identificada, se debe describir cualquier procedimiento que permita reducir la probabilidad de que ocurra una falla o que permita mitigar las consecuencias de la falla.
- Acciones. Por cada modo de falla identificado se deben indicar todas las acciones correctivas para reducir la probabilidad de efectos asociados con el modo de falla. Las acciones correctivas para un equipo o sección pueden enfocarse en la causa o efecto para un modo de falla específico o aplicarlo colectivamente para todos los modos de falla.

Descripción del Equipo	Modo de Falla
Bomba normalmente operando	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No para</li> <li>- Para cuando se requiere que opere.</li> <li>- Ruptura de sellos mecánicos.</li> <li>- Ruptura de carcasa.</li> </ul>
Cambiador de calor, alta presión lado de tubos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ruptura del lado de tubos hacia la coraza.</li> <li>- Ruptura de coraza hacia el exterior.</li> <li>- Obstrucción del lado tubos</li> <li>- Obstrucción lado coraza.</li> </ul>
Válvulas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Falla apertura.</li> <li>- Ruptura de válvula.</li> <li>- No abre, permanece cerrada.</li> </ul>

Tabla 2.7. Ejemplos de modos de falla.

### ***c) Documentación de Resultados.***

El resultado de un análisis por FMEA será plasmado en una tabla donde se indican los efectos de las fallas de equipos dentro del proceso o sistema.

Los modos de falla identificados que provoquen consecuencias inaceptables deberán ser corregidos hasta niveles de aceptabilidad.

Los resultados de un FMEA pueden ser utilizados como primer paso de análisis más detallados de partes especialmente críticas. Adicionalmente. Se incluye una lista de diagramas o equipos analizados, acciones recomendadas para corregir el proceso o sistema.

### **2.3.3. Software Recomendado.**

Normalmente es necesario utilizar un software de apoyo, aunque en sistemas más simples puede ser útil un sistema corriente de base de datos en el caso de establecer comentarios simples y objetivos para cada caso.

Existe software comercial que permite ayuda en el desarrollo de un análisis FMEA tales como:

PHAWorks, Primatech Inc.  
FMEA-Pro 7, Dyadem International LTD.  
Relex-FMEA, Relex Software Corporation.  
Bytework-FMEA, The Global Choice of the Ford Motor Company  
AUTODCP, Customer Driven System.  
XFMEA Enterprice, Reliasoft Corporation

#### **2.3.4. Ejemplo Método de FMEA**

Usando el proceso de DAP descrito en la sección 2.1.4, se desarrolla un análisis por FMEA. La tabla 2.8 muestra una parte de este análisis.

Planta: Planta de DAP Sistema: Reacción de DAP Análisis: J. López				Fecha: 25/OCT/2007 Referencia: Figura 2.1 Pagina: 1 de 2.		
Part.	Identificación	Descripción	Modo de Falla	Efectos	Salvaguarda	Acciones
1.1	Válvula B, tubería de ácido fosfórico	Normalmente esta abierto el suministro de ácido fosfórico	A falla abre	Exceso de flujo de ácido fosfórico al reactor.  Alta presión y alta temperatura en el reactor.  Puede causar alto nivel en el reactor  Puede causar alto nivel en el tanque de almacenamiento de DAP  Producto fuera de especificación	Indicador de flujo en la línea de ácido fosfórico.  Válvula de relevo en el reactor descargando a la atmósfera	Alarma / paro por alto flujo de ácido fosfórico al sistema  Alarma / paro del sistema por alta temperatura y alta presión  Alarma / paro del sistema por alto nivel en el tanque de almacenamiento de DAP.
1.2	Válvula B, tubería de ácido fosfórico	Normalmente esta abierto el suministro de ácido fosfórico	A falla cierra	No hay flujo de ácido fosfórico al reactor.  Remanente de amoniaco es enviado a tanque de DAP y liberado al área de trabajo.	Indicador de flujo en la línea de ácido fosfórico.  Detector y alarma de amoniaco	Alarma / paro por bajo flujo de ácido fosfórico al sistema.  Considerar cambiar el tanque de almacenamiento de DAP al tipo cerrado y asegurar una ventilación adecuada del área de trabajo.

Tabla 2.8. Resultados Análisis FMEA para el proceso de DAP.

Planta: Planta de DAP Sistema: Reacción de DAP Análisis: J. López				Fecha: 25/OCT/2007 Referencia: Figura 2.1 Pagina: 2 de 2.		
Part.	Identificación	Descripción	Modo de falla	Efectos	Salvaguarda	Acciones
1.3	Válvula B, tubería de ácido fosfórico	Normalmente esta abierto el suministro de ácido fosfórico	Fuga (goteo)	Liberación de ácido fosfórico en el área de proceso	Mantenimiento periódico.  Verificar la selección de la válvula para servicio de ácido fosfórico	Verificar mantenimiento periódico y una adecuada inspección para esta válvula.
1.4	Válvula B, tubería de ácido fosfórico	Normalmente esta abierto el suministro de ácido fosfórico	Ruptura	Liberación intensa de ácido fosfórico en el área de proceso.	Mantenimiento periódico.  Verificar la selección de la válvula para servicio de ácido fosfórico	Verificar mantenimiento periódico y una adecuada inspección para esta válvula.

Tabla 2.8. Resultados Análisis FMEA para el proceso de DAP. (cont.)

## 2.4. Análisis de Modos de Falla, Efecto y Criticidad (FMEAC)

Este método de Análisis de Riesgos es similar al FMEA (sección 2.3) por lo cual se indica la principal diferencia entre ambas.

La diferencia fundamental en relación con el FMEA es que el FMEAC, además de establecer una relación entre los diferentes modos de fallo de un equipo o sistema y las consecuencias de cada uno de ellos, añade a esta consideración el establecimiento de la criticidad de cada uno de estas fallas. Es decir, establece un orden relativo de importancia de modos de falla en función de las consecuencias de cada uno de ellos.

Como consideraciones generales del método, se relacionarán todas las características indicadas en la sección 2.3 con los siguientes aspectos adicionales.

- En la Tabla del Formato de Trabajo (indicado en la sección 2.3) se añadirá una columna con el concepto de **criticidad**.
- Se añadirá la definición de las condiciones o conceptos básicos de criticidad que permitan apreciar las diferencias de importancia entre las posibles consecuencias derivadas de las fallas analizadas.

Como ejemplo se tiene la siguiente propuesta.

Efecto	Criticidad
- Suceso sin efectos adversos.	1
- Riesgo menor para las personas y las instalaciones. No se requiere paro del proceso	2
- Riesgo de cierta importancia para las personas y para las instalaciones. Se requiere paro programado del proceso	3
- Peligro inmediato para las personas y las instalaciones. Se requiere paro de emergencia.	4

Cada uno de las fallas y sus efectos son comparados bajo los conceptos básicos definidos en la columna de criticidad, y se ordenan en función de esta criticidad.

En el informe final, se destacan las fallas que pueden provocar efectos de criticidad absolutamente inaceptables. Las actuaciones prioritarias irán dirigidas a aportar soluciones frente a estas fallas.

Con estas consideraciones adicionales, el resto del método FMEAC es igual al FMEA.

## **2.5. Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP)**

El método de Análisis de Riesgos y Operabilidad identificada como HAZOP (Hazard and Operability Analysis) fue desarrollada en el Reino Unido en la década del 60, por la compañía Imperial Chemical Industries (ICI).

El estudio de HAZOP se basa en analizar en forma metódica y sistemática el proceso, la operación, la ubicación de los equipos y del personal en las instalaciones, la acción humana (de rutina o no) y los factores externos, revelando las situaciones riesgosas.

Se enfoca en determinar cómo un proceso puede apartarse de sus condiciones de diseño y sus condiciones normales de operación, planteando las posibles desviaciones que pudieran ocurrir. Todo ello mediante la aplicación de “Palabras Guía”.

Es un trabajo de equipo realizado por un grupo multidisciplinario de expertos que involucra una tormenta de ideas o “brainstorming”, coordinado por un especialista de HAZOP. El método se apoya en la pericia de los miembros del equipo y su experiencia anterior en instalaciones similares.

Para cada riesgo identificado, se determina su probabilidad y severidad de ocurrencia y se realizan recomendaciones para mitigar o eliminar dichas situaciones peligrosas.

El método HAZOP es el Análisis de Riesgos más riguroso, pero no puede proporcionar la seguridad completa de que todos los riesgos han sido identificados ya que el resultado del estudio depende fundamentalmente de la habilidad, creatividad, experiencia y participación activa de cada uno de los integrantes del equipo.

El HAZOP es un trabajo de equipo y el éxito o fracaso del mismo es de “todo el equipo”.

Se puede aplicar indistintamente a todo tipo de instalaciones ya sean nuevas, existentes o en casos de modificaciones de unidades en operación.

En el caso de nuevas instalaciones, el estudio se puede realizar en cualquiera de las etapas del proyecto, como puede ser: diseño conceptual, durante la ingeniería básica o de detalle, o antes de la puesta en marcha. Se deberá tener en cuenta que los cambios resultantes del análisis van a tener distinto impacto en función del grado de avance del proyecto. Por lo tanto, es aconsejable realizarlo en una etapa temprana del proyecto una vez que el diseño esté lo suficientemente consolidado, considerando que los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) son

accesibles de tal forma que el equipo de análisis pueda plantear preguntas y formular respuestas significativas.

También es posible utilizar un método menos riguroso de Análisis de Riesgo en la etapa conceptual del proyecto, identificando los riesgos más perceptibles en un período corto de tiempo y luego realizar un HAZOP cuando la ingeniería básica esté avanzada.

Es aconsejable que el estudio de HAZOP se repita varias veces durante la vida útil de una instalación, sobre todo antes de realizar cualquier modificación al proceso. Además, es posible cambiar o modificar ciertas partes del proceso sin incurrir en incrementos significativos de costos.

El método de análisis HAZOP utiliza terminología que en ocasiones es única y que se define en la tabla 2.9 para aquellas personas poco familiarizadas con este método.

TERMINO	DEFINICIÓN
Nodo	Línea, equipo o sección a analizar con límites perfectamente definidos.
Intención	Definición de cómo se espera que opere la planta en ausencia de desviaciones.
Palabra guía	Palabra usada para calificar o cuantificar un parámetro
Parámetro	Característica física o química usada para describir la condición de un proceso (ejemplo: flujo, presión, temperatura, etc.)
Desviación	La combinación de una palabra guía y un parámetro que resultan en una lista a revisar por el equipo (ejemplo: no flujo, mas temperatura, menor presión, etc.)
Causa	La razón de que una desviación pueda ocurrir. Estas pueden ser por falla del software, error humano, causas externas, etc.
Consecuencias	Es el resultado de una desviación (ejemplo: fuga de material tóxico)
Salvaguarda	Sistema o control diseñado para prevenir la causa o mitigar las consecuencias de una desviación (ejemplo: alarmas, interlocks, procedimientos, etc.)

Tabla 2.9. Terminología usada en un Análisis HAZOP

Las palabras guía mostradas en la tabla 2.9 son las desarrolladas originalmente por ICI para un análisis y son aplicadas a los parámetros de procesos tales como los que se indican en la tabla 2.10 donde se muestran desviaciones típicas para cada una. Algunas empresas han modificado estas listas para que resulten mas específicas en procesos u operaciones.

Los siguientes son ejemplos de desviaciones usando la palabra guía y parámetros de proceso:

No	+	Flujo	=	No Flujo
Mas	+	Presión	=	Alta presión
Así como	+	Una fase	=	Dos fases

PALABRA GUIA	SIGNIFICADO	EJEMPLOS
No	Se plantea para analizar la ausencia de la variable a la cual se aplica.	No hay flujo hacia el proceso cuando debe existir.
Mas	Incremento cuantitativo de la variable.	Se refiere a cantidades y propiedades físicas que cuantitativamente pueden definirse como presión, flujo, temperatura, viscosidad, etc.
Menos	Disminución cuantitativa de la variable.	Se refiere a cantidades y propiedades físicas que cuantitativamente pueden definirse como presión, flujo, temperatura, viscosidad, etc.
Parte de	Disminución cualitativa de la variable.	La composición de diseño no se alcanza. Composición de multicomponentes incorrecta
Así como	Incremento cualitativo de la variable	Actividad adicional a la considerada en el diseño. Contaminación o la transferencia de más de una fuente.
Inverso	Lógica opuesta	Secuencia del proceso se desarrolla en orden inverso. Flujo inverso
Con excepción de	Substitución completa	Cambios con respecto a una operación normal. Válvulas mal alineadas por el operador.

Tabla 2.10. Palabras guía en un análisis HAZOP

Los parámetros de proceso y las desviaciones usadas típicamente en un estudio de HAZOP se muestran en la tabla 2.11. Los parámetros de proceso adicionales pueden ser agregados si están autorizados. Un propósito de las palabras de guía es asegurar que todas las desviaciones relevantes de parámetros de proceso están evaluadas

### 2.5.1. Requerimientos de Personal y Material

La información fundamental requerida para realizar un HAZOP, y sin la cual este estudio no puede realizarse, son los Diagramas de flujo, DTÍ's, arreglo de equipo de la instalación y la Descripción del Proceso, Filosofía de Operación. Como información soporte se recurre a las Hojas de Datos de Equipos e Instrumentos, Balances de Masa y Energía, Matriz de Causa y Efecto, Planos de Clasificación Eléctrica de Áreas, Planos de tubería enterrada, etc., según se requiera.

PARAMETRO	DESVIACION	PARAMETRO	DESVIACION
Flujo	No flujo Alto flujo Bajo flujo Flujo inverso	Tiempo	Tiempo largo Tiempo corto Muy pronto Muy rápido
Flujo	Mucho flujo Poco flujo	pH	Alto pH Bajo pH
Presión	Alta presión Baja presión	Viscosidad	Alta viscosidad Baja viscosidad
Temperatura	Alta Temperatura Baja Temperatura	Valor calorífico	Alto valor calorífico Bajo valor calorífico
Nivel	Alto nivel / sobreflujo Bajo nivel / vacío	Fases	Fase adicional Perdida de fase
Agitación	Mucha agitación Agitación insuficiente Perdida de agitación Agitación inversa	Ubicación	Fuente adicional Destino adicional Fuente errónea Destino erróneo
Composición	Alta concentración Baja concentración Perdida de componente	Secuencia	Omitir etapa Invertir etapa Etapa extra
Pureza	Impurezas presentes Catalizador Inhibidor	Reacción	No hay reacción Poca reacción Mucha reacción Reacción lenta Reacción rápida

Tabla 2.11. Parámetros de proceso y desviaciones

La calidad del estudio de HAZOP depende directamente de la calidad y cantidad de información disponible.

El equipo que realiza el estudio de HAZOP debe estar integrado por especialistas de distintas áreas, con el objeto de generar múltiples puntos de vista sobre un mismo problema y dirigido por una persona experimentada en el método HAZOP. Un grupo típico estaría formado por especialistas de Proceso, Instrumentación, Mecánica, Electricidad, Operaciones, Mantenimiento, Seguridad y Medio Ambiente, y

coordinado por el líder del equipo de trabajo o “facilitador” o líder de HAZOP que debe estar familiarizado con todas las especialidades que intervienen en el estudio.

El facilitador debe conducir el análisis, motivar al equipo, mantener al grupo enfocado en el análisis, hacer participar a todas las personas, documentar la información generada y mantener la calidad del estudio.

El número ideal de participantes está comprendido entre 4 y 8 personas. Un mayor número de integrantes hace más difícil el acuerdo en las discusiones que se generan y con un menor número de personas se corre el riesgo de que se generen pocas ideas.

Los integrantes del grupo deben interrumpir sus actividades diarias normales durante el HAZOP y dedicarse exclusivamente al mismo ya que requiere el mayor aporte de cada uno. Es posible que algunos especialistas no estén dedicados totalmente al análisis y que sean convocados sólo cuando se los necesite.

La duración del HAZOP depende de la complejidad de la instalación que se esté analizando así que es muy variable, pudiendo ser de un día o de varias semanas. Como el estudio requiere de mucha concentración y participación de todos los presentes no es aconsejable que las sesiones duren más de 8 horas diarias. El cansancio o desconcentración de los integrantes va en perjuicio del resultado del HAZOP.

Por lo tanto, si el estudio fuera prolongado, por ejemplo más de 2 semanas, conviene intercalar en el programa 1 o 2 días “libres” retornando cada participante a sus actividades habituales de modo que el equipo retorne al HAZOP con más energía.

En la tabla 2.12 se muestran tiempos estimados para la realización de una evaluación de riesgos utilizando el método HAZOP.

<b>ALCANCE</b>	<b>PREPARACIÓN (a)</b>	<b>EVALUACIÓN</b>	<b>DOCUMENTACIÓN (b)</b>
Proceso Simple	8 – 12 horas	1 – 3 días	2 – 6 días
Proceso Complejo	2 - 4 días	1 – 3 semanas	2 - 6 semanas

(a) Lo realiza el líder del equipo y el escriba, pero pueden requerir ayuda para desarrollar esta actividad.

(b) Lo realiza el líder del equipo y el escriba con la ayuda de un programa.

Tabla 2.12. Tiempo estimado utilizando para realizar un HAZOP

## **2.5.2. Procedimiento de Análisis**

El método HAZOP puede ser utilizado en las etapas de diseño, construcción y operación. El procedimiento de análisis se realiza en tres etapas

- a. Preparación de la revisión.
- b. Desarrollo de la revisión.
- c. Documentación de resultados.

### ***a) Preparación de la Revisión***

Para simplificar el estudio de HAZOP conviene subdividir un proceso grande y complejo en tantas piezas pequeñas como sea requerido para el análisis. Para ello es necesario cumplir con los siguientes puntos antes de iniciar la revisión:

- El objetivo y alcance del estudio debe realizarse lo mas explicito posible.
- Selección del grupo de trabajo. En este concepto el facilitador debe seleccionar a los integrantes del grupo de trabajo, como mínimo consiste de un facilitador, un escriba y cuando menos dos elementos con conocimientos y experiencia en el proceso a analizar en distintas áreas.
- Obtención de la información. Debe suministrarse la información mínima para desarrollar el análisis sin interrupción.
- Planeación eficaz para desarrollar el análisis. Se considera que en este punto el líder desarrolla la preparación de los nodos de estudio, lista preliminar de desviaciones a considerar y distribuir previamente a todos los integrantes del estudio copias de los principales documentos.
- Planeación del lugar y cantidad de las reuniones. El líder debe estimar el tiempo requerido para desarrollar una cantidad de nodos en cada sesión. De preferencia no deben ser muy prolongadas y de ser necesario, dar unos minutos de receso.

### ***b) Desarrollo de la Revisión***

Un análisis HAZOP sigue una lista estructurada de pasos que permiten un análisis detallado. La figura 2.2 muestra el flujo de actividades en una reunión, la siguiente lista describe las principales etapas.

- Seleccionar un nodo y explicarlo. Se enfoca principalmente en los “nodos” de estudio, secciones de proceso o etapas. Al principio del estudio de HAZOP, un representante del equipo, generalmente de proceso, proporciona una descripción del proceso a analizar; incluyendo información de flujos, presiones, temperaturas, etc. Es importante que el equipo entero asimile claramente estos aspectos. Cada nodo se analiza alternadamente, hasta que se hayan estudiado todos. Teóricamente el resultado de HAZOP es independiente de cómo se hayan seleccionado los nodos pero en la

práctica se observa que una incorrecta selección de los mismos, impacta negativamente en el resultado del estudio.

- Aplicar la palabra guía y obtener una desviación. Las palabras guía se combinan con los parámetros relevantes para encontrar desviaciones. Uno de los métodos más ilustrativos de desarrollar una lista de desviaciones es el uso de una matriz. Se puede hacer uso de las tablas 2.10 y 2.11 que proporciona ejemplos de algunas desviaciones, y las palabras guía y los parámetros origen.
- Identificar las causas de la desviación. El equipo debe definir las causas de la desviación. El líder debe iniciar la discusión y asegurarse de que se han registrado todos los panoramas posibles. Esta capacidad es una de las cualidades más importantes de un líder de HAZOP. La siguiente regla debe ser recordada: La causa de la desviación debe estar en el nodo analizado. Las consecuencias se colocan respectivamente.
- Evaluar las consecuencias. Las consecuencias de cada causa deben ser analizadas y registradas. El equipo debe identificar todas las consecuencias directas e indirectas. La experiencia y conocimiento de cada elemento del equipo implica la capacidad de predecir las consecuencias de un acontecimiento particular. Los operadores deben poder proporcionar la información sobre experiencias relacionadas con el nodo de análisis y la parte técnica debe aportar sus conocimientos donde no se tengan experiencia.
- Salvaguardas. El equipo define si una salvaguarda es posible para minimizar los efectos de la consecuencia. Con ello se define si se puede indicar una recomendación.
- Decidir la acción o recomendación. Una vez que se determinan las consecuencias se define su importancia asignándoles un valor numérico y las salvaguardas existentes en la instalación, ya sea para evitar la ocurrencia de dicho evento o para mitigar su efecto. El equipo determina para cada consecuencia encontrada un valor numérico de acuerdo a lo indicado en la tabla 1.2, realizándose en forma similar para la Probabilidad. De esta forma se obtiene la clasificación de Riesgos de forma cualitativa. Si el Nivel de Riesgo asignado a la consecuencia es elevado, significa que se deben tomar acciones inmediatamente, por lo que el equipo realiza recomendaciones en donde se requiera reducir dicho valor. Se debe asegurar que las recomendaciones se implementen, asignado a cada una de ellas un responsable.

En la práctica, los líderes de HAZOP deben dar al equipo suficiente tiempo para el análisis pero no permitir que el equipo pase demasiado en tomar decisiones. Por una parte, si la solución es directa, una recomendación específica se debe registrar inmediatamente. Para asegurar fluidez y eficacia, el líder de equipo debe considerar: No competir con los integrantes, escuchar a todos los integrantes; durante las reuniones, no permitir que ningún integrante se ponga a la defensiva y mantener alto el nivel de energía tomando un receso si es necesario.

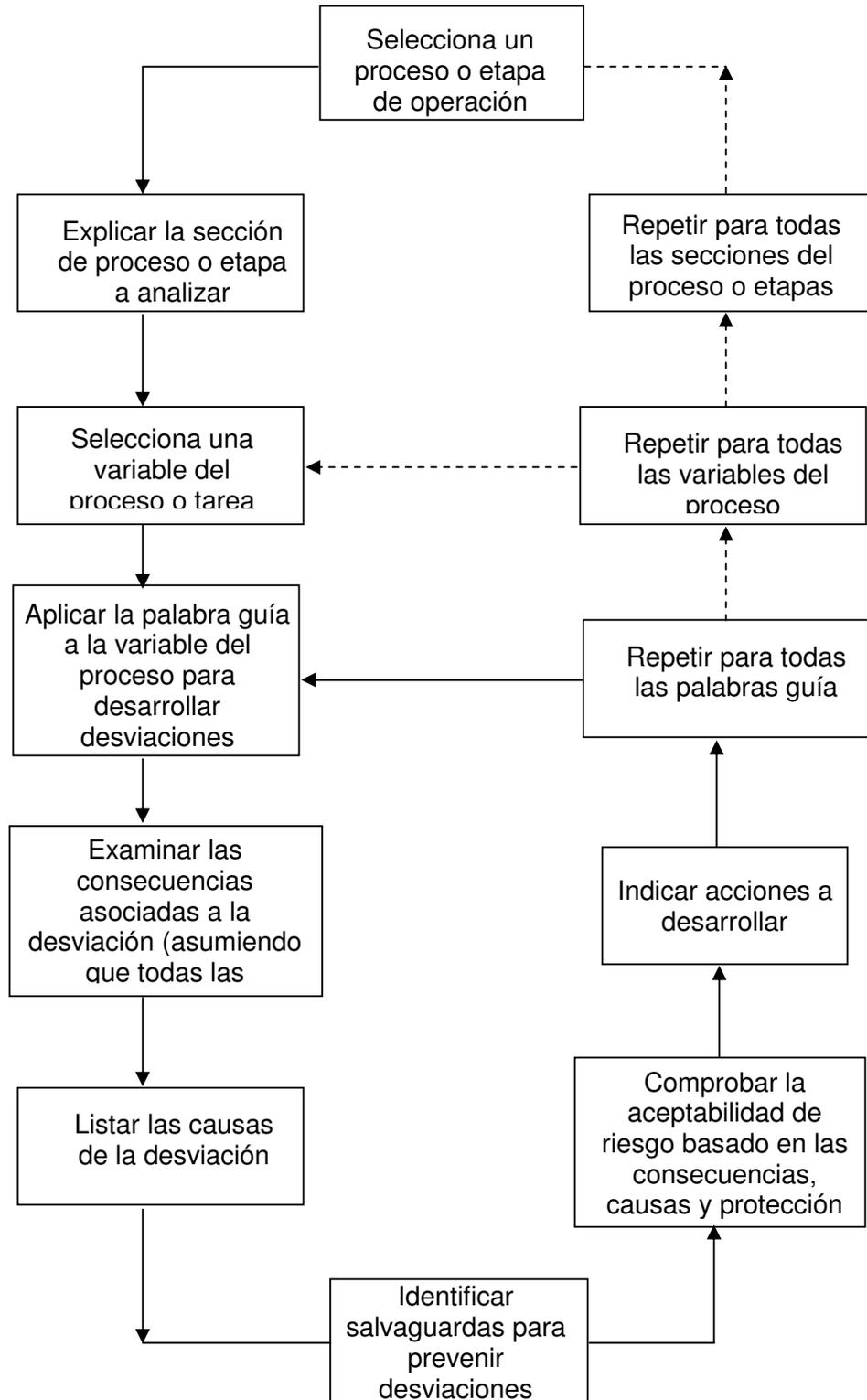


Figura 2.2. Diagrama de flujo del método HAZOP

Aunque el líder de equipo se haya preparado para el estudio, el método HAZOP puede presentar inconsistencias en la información disponible de la operación de la planta o en el conocimiento de los integrantes del equipo. A veces llamar a un especialista del tema para información adicional es necesario o decidir si pospone ciertas partes del estudio para obtener más información.

### ***c) Documentación de Resultados***

El proceso de la documentación es una parte importante del estudio del HAZOP. La persona asignada para escribir lo acontecido durante las reuniones debe poder definir los resultados pertinentes de todas las conversaciones que ocurren durante las reuniones. Es imposible registrar manualmente todo lo que se dice durante las reuniones, con todo es muy importante que las ideas relevantes queden archivadas.

Puede ser provechoso tener integrantes de equipo para revisar al final de cada sesión los nodos analizados. Normalmente, los resultados de las reuniones de HAZOP se registran en forma tabular como la mostrada en la tabla 2.13; sin embargo, algunos conceptos se pueden registrar por separado.

La parte más importante del informe es el listado de recomendaciones a realizar, donde cada una tiene una prioridad de ejecución dada, directamente asociada al Nivel de Riesgo de las consecuencias determinadas en el estudio.

Las recomendaciones incluyen cambios: de diseño, de operación o mantenimiento, que eliminan (o reducen su impacto) las desviaciones, causas y/o consecuencias.

Es fundamental que se implementen las recomendaciones realizadas.

El HAZOP es eficaz si se toma acción para implementar las recomendaciones realizadas durante el estudio.

### **2.5.3. Software Recomendado.**

Normalmente es necesario utilizar un software de apoyo, aunque en sistemas más simples puede ser útil un sistema corriente de base de datos en el caso de establecer comentarios simples y objetivos para cada caso.

El software utiliza bases de datos donde se documenta la información en forma ágil y ordenada, y permiten originar reportes completos y de fácil seguimiento. Incluyen librerías generales que se pueden utilizar de guía durante el análisis pero de ninguna manera son herramientas “inteligentes” ya que toda la información debe ser generada por el equipo.

Existe software comercial que ayuda en el desarrollo de un análisis HAZOP tales como:

PHAWorks, Primatech Inc.

PHA-Pro, Dyadem International LTD.

HAZOP +, Isograph LTD.

HAZOP Manager V. 6.0, Lihou Technical & software Service

#### **2.5.4. Ejemplo de Aplicación**

Se considera el proceso de reacción para obtener Fosfato diamónico (DAP), indicado en la sección 2.1.4, donde se describe ampliamente. La tabla 2.13 es un formato típico donde se muestran los resultados de un análisis HAZOP.

Planta: Planta de DAP Sistema: Reacción de DAP Equipo: HAZOP #2				Fecha: 25/OCT/2007 Diagrama No. 70-200, Rev. 1 Pagina: 1 de 3.	
Part.	Desviación	Causas	Consecuencias	Salvaguarda	Acciones
1.0 Tanque – Tanque de almacenamiento de amoniaco. El amoniaco debe contenerse en forma segura a temperatura y presión ambiente (figura 2.1)					
1.1	Alto nivel	Amoniaco sin descargar de la estación de descarga sin espacio en el tanque de almacenamiento.  El indicador de nivel en el tanque de almacenamiento de amoniaco falla a bajo nivel.	Liberación potencial de amoniaco a la atmósfera	Indicador de nivel en el tanque de almacenamiento.  Válvula de relevo en el tanque de almacenamiento de amoniaco.	Revisión del procedimiento de descarga de amoniaco para iniciar el proceso.  Considerar enviar la descarga de la válvula de relevo a una área segura.  Considera la adición de una alarma de nivel en el tanque de amoniaco.
2.0 Línea – Línea de alimentación de amoniaco al reactor de DAP. Liberación de amoniaco al reactor a condiciones requeridas (figura 2.1)					
2.1.	Alto flujo	La válvula de control A abre a falla.  El indicador de flujo falla a alto.  El operador pone muy alto el flujo de amoniaco.	Amoniaco sin reaccionar se transfiere al tanque de DAP, liberándose al área de proceso	Programa de mantenimiento de la válvula A.  Detector y alarma de amoniaco.	Considera la adición de alarma / paro por alto flujo de amoniaco al reactor.  Asegurar mantenimiento periódico y una adecuada inspección para esta válvula.  Considerar cambiar el tanque de almacenamiento de DAP al tipo cerrado y asegurar una ventilación adecuada del área de trabajo.

Tabla 2.13. Resultados del Análisis HAZOP para el proceso de DAP.

Planta: Planta de DAP Sistema: Reacción de DAP Equipo: HAZOP #2				Fecha: 25/OCT/2007 Diagrama No. 70-200, Rev. 1 Pagina: 2 de 3.	
Part.	Desviación	Causas	Consecuencias	Salvaguarda	Acciones
2.2	No Hermeticidad	Corrosión Erosión Impactos externos Falla de empaques Error de mantenimiento	Ligero goteo de amoniaco en el área de proceso  Perdida de presión en el sistema.  Fuga intensa	Programa de mantenimiento a la línea.  Inspección periódica por el operador en el área de proceso.  Programa de inspección a espesores de equipo y tubería.	Asegurar una ventilación adecuada del área de trabajo.  Implementar un programa de verificación a equipos, instrumentos y tuberías.
3.0 Tanque – Tanque de almacenamiento de ácido fosfórico. El ácido fosfórico debe contenerse en forma segura a temperatura y presión ambiente (figura 2.1)					
3.1	Baja concentración de ácido fosfórico	Baja concentración de ácido fosfórico es suministrada por el proveedor  Error en la carga de ácido fosfórico al carro tanque	Amoniaco sin reaccionar se transfiere al tanque de DAP, liberándose al área de proceso.	Procedimiento de transferencia y descarga de ácido fosfórico  Detector y alarma de Amoniaco.	Asegurar la existencia de procedimiento para manejo adecuado de material, recepción y etiquetado.  Considerar la verificación de la concentración de ácido fosfórico en el carro tanque antes de descargar.  Asegurar una ventilación adecuada del área de trabajo y Considerar cambiar el tanque de almacenamiento de DAP al tipo cerrado.

Tabla 2.13. Resultados del Análisis HAZOP para el proceso de DAP. (cont.)

Planta: Planta de DAP Sistema: Reacción de DAP Equipo: HAZOP #2				Fecha: 25/OCT/2007 Diagrama No. 70-200, Rev. 1 Pagina: 3 de 3.	
Part.	Desviación	Causas	Consecuencias	Salvaguarda	Acciones
4.0 Línea – Línea de alimentación de ácido fosfórico al reactor de DAP. Liberación de ácido a condiciones requeridas al reactor (figura 2.1)					
4.1.	No flujo	No hay alimentación de ácido fosfórico. El indicador de flujo falla. El operador pone muy bajo el flujo de ácido. La válvula de control B falla a cierre. Tapa la línea. Goteo o ruptura de la línea.	Amoniaco sin reaccionar se transfiere al tanque de DAP, se libera al área de proceso.  Perdida de presión en el sistema.  Fuga intensa	Programar mantenimiento de la válvula B.  Detector y alarma de amoniaco.  Programa de inspección a espesores de equipo y tubería.	Considerar la adición de alarma / paro por bajo flujo de ácido fosfórico al reactor.  Asegurar programa de mantenimiento y una adecuada inspección para válvula B.  Considerar cambiar el tanque de almacenamiento de DAP al tipo cerrado y asegurar una ventilación adecuada del área de trabajo.
5.0 Reactor – Reactor de DAP. Mantener la reacción a temperatura y presión requeridas (figura 2.1)					
5.1.	No agitación	Falla energía eléctrica  Falla el motor del agitador.  Falla mecánica del agitador.  El operador no arranca el agitador.	Amoniaco sin reaccionar se transfiere al tanque de DAP se libera al área de proceso.  Incremento en la presión	Detector y alarma de amoniaco.  Programa secuencial de operación.  Programa de mantenimiento a las válvulas de seguridad	Considerar la adición de alarma / paro por pérdida de agitación en el reactor.  Considerar cambiar el tanque de almacenamiento de DAP al tipo cerrado y asegurar una ventilación adecuada del área de trabajo.  Verificar la continua capacitación al personal

Tabla 2.13. Resultados del Análisis HAZOP para el proceso de DAP. (cont.)

## 2.6. Análisis de Capas de Protección (LOPA)

El método de Análisis de Capas de Protección identificada como LOPA (Layer of Protection Analysis) fue desarrollada por “Center for Chemical Process Safety” (CCPS) en 1993.

El estudio LOPA es un método poderoso de Análisis de Riesgos y se basa en el concepto de capa de protección de seguridad para mitigar riesgos en procesos. Es una herramienta de análisis que típicamente se desarrolla usando la información generada durante una evaluación de riesgos como el HAZOP para evaluar la frecuencia de incidentes potenciales y la probabilidad falla de las capas de protección.

Como se ilustra en la figura 2.3 muchos tipos de capas de protección son posibles. Un escenario puede requerir de una o más capas de protección dependiendo de la complejidad del proceso y de la severidad de una consecuencia. Cabe indicar que para cada escenario, solo una capa puede funcionar adecuadamente para prevenir una consecuencia. Sin embargo, como ninguna capa es totalmente efectiva, las capas de protección deben ser suficientes para representar el riesgo de un accidente tolerable.

LOPA proporciona las bases para definir cuando una capa de protección independiente (Independent Protection Layers, IPLs) es suficiente para controlar el riesgo de un accidente para un escenario. Si el riesgo estimado de un escenario no es aceptable, se pueden adicionar nuevas capas. LOPA no sugiere cuales capas independientes deben adicionarse.

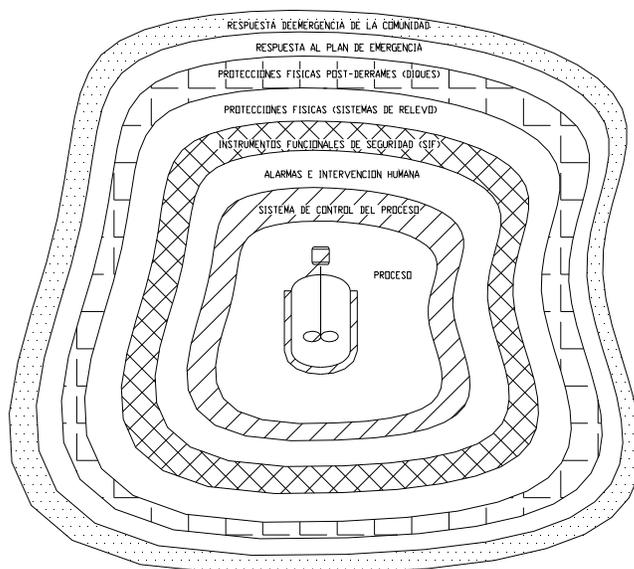


Figura 2.3. Capas de defensa contra un posible accidente.

LOPA se aplica después de una consecuencia inaceptable y proporciona un orden aproximado de magnitud del riesgo en un escenario. La capa más interna es de naturaleza inherente del proceso y la última capa es la respuesta a la comunidad para proporcionar una condición segura.

La prevención y la mitigación de sucesos peligrosos dependen de la disponibilidad y funcionamiento adecuado de las capas de protección. En caso de falla de una de las capas, aún se dispone de la siguiente capa para llevar al proceso a un estado seguro. A medida que crece el número de capas de protección también lo hace la seguridad del proceso.

LOPA es una variante del Análisis por Árbol de fallas (Fault Tree Análisis). La figura 2.4 muestra una comparación entre el árbol de sucesos y el análisis de capas de protección, este último describe una trayectoria a través del árbol de sucesos, que se representa con una línea más gruesa. Después del árbol de sucesos se tienen varias ramificaciones, correspondiendo a una capa de protección. Para cada ramificación se tienen dos opciones: uno para la propagación del suceso y otro para su ausencia.

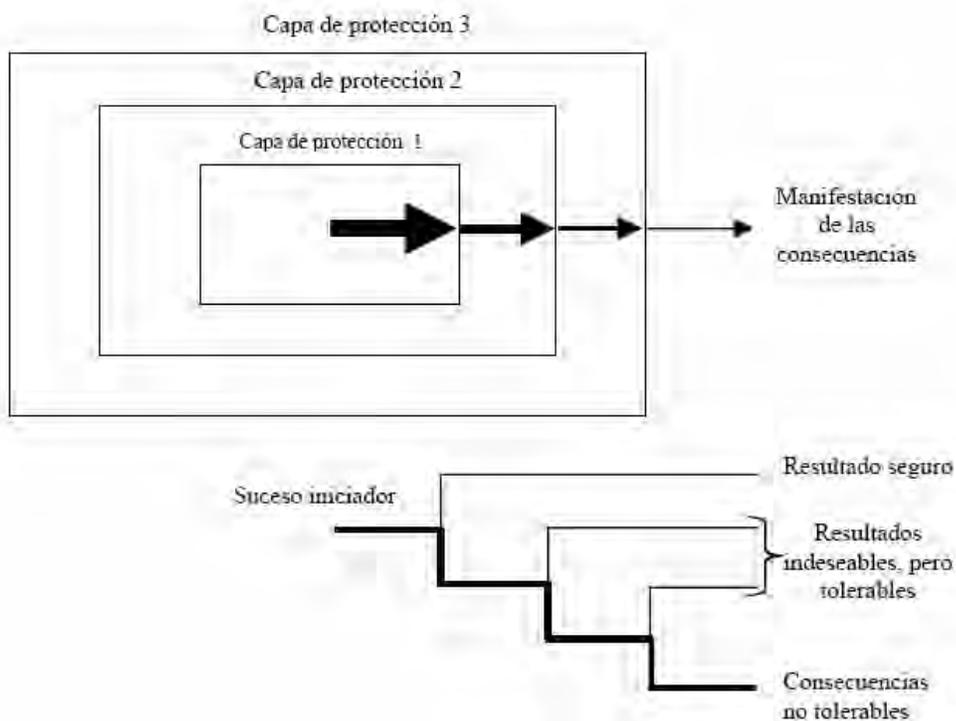


Figura 2.4. Comparación del Análisis de Capas de protección y Árbol de Fallas.

LOPA puede utilizarse en cualquier etapa de un proyecto o proceso, pero da un mejor costo beneficio si se implementa cuando los diagramas de flujo están terminados y los DTI's se encuentran en desarrollo. También es común utilizarlo para aplicarlo en proyectos que incrementan su capacidad, también conocida como "Revamp".

### **2.6.1. Requerimientos de Personal y Material**

Algunas organizaciones conducen LOPA como una parte de la revisión del análisis de riesgos, permitiendo que el equipo de trabajo sea el mismo. Esto resulta ser más eficiente porque el equipo está familiarizado con el panorama y las decisiones se pueden registrar como parte de las recomendaciones de análisis. Otras compañías han encontrado que para ser más eficientes capturan la lista de riesgos potenciales de LOPA durante el PHA, para realizar una evaluación posterior con un equipo más pequeño (quizás apenas un ingeniero de proceso y una persona experta en LOPA). El equipo de LOPA entonces proporciona al equipo de análisis de riesgo los resultados de su evaluación. Cualquiera de las dos formas se puede utilizar con éxito. El factor importante es que el conocimiento de proceso está incorporado en el LOPA y que el método de LOPA está aplicado correctamente.

LOPA es un acercamiento simplificado y no se debe aplicar a todos los panoramas. El esfuerzo requerido para ejecutar LOPA puede ser excesivo para tomar algunas decisiones y ha terminado siendo simplista para tomar otras decisiones. LOPA requiere más tiempo para alcanzar una decisión que métodos cualitativos tales como HAZOP y What-if.

Este tiempo adicional se compensa por la toma de una mejor decisión del riesgo comparada con la seleccionada por métodos cualitativos para escenario moderadamente complejos. Para las decisiones simples, el valor de LOPA es mínimo. Para panoramas y decisiones más complejos, LOPA puede ahorrar realmente el tiempo comparado a usar solamente métodos cualitativos, porque LOPA induce el enfoque a la toma de decisión.

La información fundamental requerida para realizar un análisis por LOPA, es la información generada por un análisis de riesgo como el HAZOP, What-if, FMEA, etc. Además, información soporte como en la requerida en un HAZOP

Ya que LOPA únicamente considera analizar aquellos riesgos que no son aceptables, el tiempo utilizado es difícil de estimar ya que depende de la complejidad.

En la tabla 2.14 se muestran tiempos estimados para la realización de una evaluación de riesgos utilizando LOPA. [3]

ALCANCE	PREPARACIÓN	EVALUACIÓN	DOCUMENTACIÓN
Proceso Simple	3 – 6 horas	1 – 2 días	1 – 3 días
Proceso Complejo	1 - 2 días	1 – 3 semanas	2 - 4 semanas

Tabla 2.14. Tiempo estimado utilizando para realizar LOPA

### 2.6.2. Procedimiento de Análisis

El método LOPA puede ser utilizado en cualquier etapa del proyecto. El procedimiento de análisis se realiza conforme a las siguientes etapas:

- a. Preparación para la revisión.
- b. Desarrollo de la revisión.
- c. Documentación de resultados.

#### **a) Preparación para la Revisión**

LOPA es un método simplificado de análisis de riesgos. Los datos que se requieren son las causas de cuantas veces falla el equipo, cantidad de fallas del personal, las consecuencias de las causas. Con esta información el equipo determina los valores para la severidad de la consecuencia, la frecuencia del evento inicial y PFD's para IPL's.

Por tanto las compañías dedicadas o que desarrollan un análisis por LOPA deben tener previamente tablas donde se indiquen estos valores. Las siguientes tablas muestran los datos requeridos para desarrollar el análisis.

Categoría de Consecuencias	Personal	Comunidad	Ambiente
1 y 2	Sin perdida	Sin riesgo	Sin información
3.	Heridas simples	Ruido / olor	Violación a permisos
4.	> 1 heridas	Una o más lesiones	Serios impactos
5.	Fatalidad	Una o más lesiones severas	Serios impactos

Tabla 2.15. Categorización de consecuencias

Tamaño consecuencia Descarga características	Descarga 1 a 10 lb	Descarga 10 a 100 lb	Descarga 100 a 1,000 lb	Descarga 1,000 a 10,000 lb	Descarga 10,000 a 100,000 lb	Descarga > 100,000 lb
Extremadamente Tóxico, arriba del P.E.	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5	Categoría 5	Categoría 5	Categoría 5
Extremadamente Tóxico, abajo del P.E. o altamente tóxico, arriba del P.E.	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5	Categoría 5	Categoría 5
Altamente tóxico, arriba del P.E. o flamable, arriba del P.E.	Categoría 2	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5	Categoría 5
Flamable, abajo del P.E.	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5
Combustible líquido	Categoría 1	Categoría 1	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 2	Categoría 3

P.E.= Punto de ebullición

Magnitud de la pérdida Consecuencia características	Ahorro o equipo no esencial	Paro de planta < 1 mes	Paro de planta 1 a 3 meses	Paro de planta > 3 mes	Ruptura de tanque 3,000 a 10,000 gal 100 a 300 psig	Ruptura de tanque >10,000 gal > 300 psig
Gran daño mecánico al producto principal de la planta	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 4	Categoría 4	Categoría 5
Ligero daño mecánico al subproducto de la planta	Categoría 2	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 4	Categoría 5

Costo de la consecuencia Consecuencia características	\$0 -\$10,000 (U.S)	\$10,000 -\$100,000 (U.S)	\$100,000- \$1,000,000 (U.S)	\$1,000,000- \$10,000,000 (U.S)	>-\$10,000,000 (U.S)
Costo total del evento	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4	Categoría 5

Tabla 2.15. Determinación de la consecuencia y severidad (cont.)

La estimación de la probabilidad. La frecuencia de un evento inicial esta basada en los últimos datos de la industria, experiencia de la compañía o incidentes históricos. Si no se tienen datos disponibles, la estimación se puede hacer basándose en el gravamen subjetivo de expertos. Algunos de los datos usados por la industria para los varios eventos se han publicado en la literatura. La tabla 2.16 da los detalles de la frecuencia para algunos eventos iniciales.

Evento Inicial	Rango de Frecuencia (f) (/año)	Valor seleccionado como ejemplo para el LOPA (/año)
Falla de recipiente a presión	$10^{-5}$ a $10^{-7}$	$1 \times 10^{-6}$
Falla de tubería, en 100 m	$10^{-5}$ a $10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$
Fuga en tubería (sección en 10%) –100 m	$10^{-3}$ a $10^{-4}$	$1 \times 10^{-3}$
Falla de tanque atmosférico	$10^{-3}$ a $10^{-5}$	$1 \times 10^{-3}$
Empaque o empaque fuera de especificación.	$10^{-2}$ a $10^{-6}$	$1 \times 10^{-2}$
Alta velocidad en turbina con ruptura de carcasa	$10^{-3}$ a $10^{-4}$	$1 \times 10^{-4}$
Intervención tercera parte (impacto externo por ensanchamiento, vehículo, etc.)	$10^{-2}$ a $10^{-4}$	$1 \times 10^{-2}$
Disminución de carga de la grúa.	$10^{-3}$ a $10^{-4}$ (/izaje)	$1 \times 10^{-4}$ (/izaje)
Caída de relámpago	$10^{-3}$ a $10^{-4}$	$1 \times 10^{-3}$
Falsa apertura de válvulas de seguridad	$10^{-2}$ a $10^{-4}$	$1 \times 10^{-2}$
Falla del agua de enfriamiento	1 a $10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$
Falla de sellos de bombas	$10^{-1}$ a $10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$
Falla de la manguera de carga / descarga	1 a $10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$
Falla en lazo de instrumentos	1 a $10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$
Falla de regulador	1 a $10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$
Fuego externo pequeño (causas)	$10^{-1}$ a $10^{-2}$	$1 \times 10^{-2}$
Fuego externo mayor (causas)	$10^{-2}$ a $10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$
Falla múltiple de elementos de proceso (LOTO – Lock-Out-Tag-Out)	$10^{-3}$ a $10^{-4}$ (/ocasión)	$1 \times 10^{-3}$ (/ocasión)
Falla del operador (rutina de ejecución, suponer buen entrenamiento, fatiga, estresado)	$10^{-1}$ a $10^{-3}$ (/ocasión)	$1 \times 10^{-2}$ (/ocasión)

Tabla 2.16. Frecuencias típicas para eventos iniciales

Capa de Protección Independiente (IPL)	Comentarios Asumiendo bases de diseño, inspección y procedimientos de mantenimiento adecuados.	PFD de literatura e industria	PFD usada para el ejemplo
<b>PASIVOS</b>			
Dique	Se reduce la frecuencia de la consecuencia (propagación del derrame) de un tanque sobrelleno, ruptura, fuga, etc.	$1 \times 10^{-2}$ a $1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$
Sistema de drenaje enterrado	Se reduce la frecuencia de la consecuencia (propagación del derrame) de un tanque sobrelleno, ruptura, fuga, etc.	$1 \times 10^{-2}$ a $1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$
Venteo abierto (no válvula)	Debe prevenir sobre presión.	$1 \times 10^{-2}$ a $1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$
Protección contra fuego	Debe reducir la temperatura y proporcionar tiempo para la despresurización, fuego, etc.	$1 \times 10^{-2}$ a $1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$
Pared contra explosión / Bunker	Debe reducir las consecuencias por una explosión por confinación de la explosión y protección de equipo, edificio, etc.	$1 \times 10^{-2}$ a $1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-3}$
Diseño por "seguridad inherente"	Bien implementada puede reducir significativamente la frecuencia de consecuencias asociadas al escenario. Las reglas de LOPA permiten diseños inherentes para eliminar ciertos escenarios (la presión de diseño de un tanque excede cualquier alta presión).	$1 \times 10^{-1}$ a $1 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-2}$
Arrestadores y detonadores de flama	Un diseño instalación y mantenimiento adecuado pueden eliminar la retroflama por las tuberías o en un recipiente.	$1 \times 10^{-1}$ a $1 \times 10^{-3}$	$1 \times 10^{-2}$
<b>ACTIVOS</b>			
Válvulas de relevo	Previene que el sistema exceda la presión especificada. La efectividad de este dispositivo es sensible al servicio y experiencia.	$1 \times 10^{-1}$ a $1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-2}$
Discos de ruptura	Previene que el sistema exceda la presión especificada. La efectividad puede ser sensible al servicio y experiencia.	$1 \times 10^{-1}$ a $1 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-2}$
Sistema de control de proceso básico	Puede considerarse IPL si no se asocia al evento inicial considerado. (Ver IEC 61508 (IEC, 1998) y IEC 61511. (IEC, 2001) para debate adicional).	$1 \times 10^{-1}$ a $1 \times 10^{-3}$ ( $< 1 \times 10^{-1}$ permitido por IEC)	$1 \times 10^{-1}$
Interlocks	Ver IEC 61508 (IEC, 1998) e IEC 61511 (IEC, 2001) para los requisitos del ciclo de vida y discusión adicional		
SIL 1	Consiste típicamente de: Sensor sencillo (redundante por tolerancia de defecto) Procesador lógico sencillo (redundante por tolerancia de defecto) Elemento final sencillo (redundante por tolerancia de defecto)	$\geq 1 \times 10^{-2} < 1 \times 10^{-1}$	No se especifica un nivel específico del SIL. Los siguientes ejemplos calculan un PFD requerido para un SIF
SIL 2	Consiste típicamente de: Sensor múltiple (por tolerancia de defecto) Procesador lógico múltiple (por tolerancia de defecto) Elemento final múltiple (por tolerancia de defecto)	$\geq 1 \times 10^{-3} < 1 \times 10^{-1}$	
SIL 3	Consiste típicamente de: Sensor múltiple Procesador lógico múltiple Elemento final múltiple	$\geq 1 \times 10^{-3} < 1 \times 10^{-1}$	

Tabla 2.17. Ejemplos de IPL's Pasivos y Activos

Capa de Protección Independiente (IPL)	Comentarios Asumiendo bases de diseño, inspección y procedimientos de mantenimiento adecuados.	PFD de literatura e industria	PFD usada para el ejemplo
<b>ACCIONES HUMANAS</b>			
Acción humana con tiempo de respuesta de 10 minutos	Acción simple bien documentada con indicaciones claras y confiables que la acción está requerida	$1 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-1}$
Respuesta humana a indicación o alarma con tiempo de respuesta de 40 minutos	Acción simple bien documentada con indicaciones claras y confiables que la acción está requerida. (La PFD es limitada por IEC 61511; IEC 2001.)	$1 \times 10^{-1}$ ( $>1 \times 10^{-1}$ permitido por IEC)	$1 \times 10^{-1}$
Acción humana con tiempo de respuesta de 40 minutos	Acción simple bien documentada con indicaciones claras y confiables que la acción está requerida.	$1 \times 10^{-1}$ a $1 \times 10^{-2}$	$1 \times 10^{-1}$

Basado en "Inherently Safer Chemical Processes: A Life Cycle Approach (CCPS 1996b), Handbook of Human Reliability Analysis with Emphasis on Nuclear Power Plant Applications (Swain 1983).

Tabla 2.18. Ejemplos de IPL's Acciones Humanas

IPLs humano implica la confianza en operadores o en el personal, para tomar medidas para prevenir una consecuencia indeseada. En respuesta a alarmas o siguiendo un chequeo rutinario del sistema. La eficacia del ser humano en la ejecución de tareas rutinarias y de emergencia ha sido el tema de varias publicaciones (Guidelines for Preventing Human Error in Process Safety; CCPS 1994, and Swain 1983). El funcionamiento total, humano generalmente se considera menos confiable que los controles automáticos, por lo que debemos tener cuidado al considerar la eficacia de la acción humana como se indica en la tabla 2.18). La acción humana debe tener las características siguientes:

- La indicación para la acción requerida por el operador debe ser perceptible. La indicación debe estar siempre:

- Disponible para que el operador.
- Claro para el operador incluso bajo condiciones emergencia
- Simple y directo de entender.

- El tiempo disponible para tomar medidas debe ser adecuado. Esto incluye el tiempo necesario para decidir que acción es requerida y el tiempo necesario tomar medidas. Cuanto más largo es el tiempo disponible para la acción, más bajo es el PFD dado para la acción humana como IPL. La toma de decisión para el operador requiere:

- Sin cálculos o diagnósticos complicados,
- No balancear el costo de parar la producción contra la seguridad.

- El operador no se debe esperar para realizar otras tareas al mismo tiempo que la acción requerida por el IPL, y la carga de trabajo normal del operador debe permitir que el operador esté disponible para actuar a la IPL.
- El operador es capaz de tomar medidas requeridas bajo todas las condiciones esperadas que se presenten. Como ejemplo, considerar un IPL propuesto donde requieren a un operador subir una plataforma para abrir una válvula. Si un fuego (como evento inicial) puede prevenir esta acción, no sería adecuado considerar la acción de operador como IPL.
- El entrenamiento del para la acción requerida se realiza regularmente y se documenta. Esto debe implicar ejercicios de acuerdo con las instrucciones, operación escrita y auditorias regulares para demostrar que todos los operadores asignados a la unidad pueden realizar las tareas asignadas cuando son alertados por la alarma específica.
- La indicación y acción, deben normalmente ser independiente de la cualquier alarma, instrumento, SIF o del otro sistema acreditados ya como parte de otro IPL o evento inicial.

### ***b) Desarrollo de la Revisión***

El método analítico de LOPA consiste en un número de pasos que establecen criterios de una consecuencia, la identificación escenarios de accidentes y de su frecuencia de ocurrencia, la identificación de IPL's, la estimación del riesgo y la revisión de las medidas de control existentes del riesgo basadas en los criterios de aceptación. En la figura 2.5 se muestra esquemáticamente la secuencia de cómo aplicar el análisis por LOPA, de cualquier forma a continuación se enumeran con una breve explicación.

1. Identificar la consecuencia para el escenario seleccionado. La consecuencia se identifica típicamente durante una revisión cualitativa del riesgo (ejemplo: análisis HAZOP). El analista evalúa la consecuencia y estima su magnitud. Algunas compañías únicamente consideran la magnitud de la liberación (del material o de la energía), pero no da información completa acerca del estado, el impacto a la gente, al ambiente, y al sistema de producción, en la tabla 2.14 es un ejemplo de cómo se presentan consecuencias para todos los aspectos indicados. Otras compañías modelan la liberación para estimar el riesgo a todos los ámbitos para proporcionar la probabilidad del daño resultando de un escenario específico.
2. Seleccionar un escenario. LOPA se aplica a un escenario a la vez. El escenario describe una causa – consecuencia, se obtiene de un análisis cualitativo (ejemplo: análisis HAZOP).

3. Identificar la causa inicial de la desviación y determinar la frecuencia (causa / año). La causa inicial debe llevar a la consecuencia. La frecuencia debe explicar los aspectos de fondo para el escenario, tal como la frecuencia del modo de operación para el cual el escenario es válido. La mayoría de las compañías proporcionan guías para estimar la frecuencia para alcanzar consistencia en los resultados, la tabla 2.16 muestra un ejemplo para determinar la frecuencia para la causa inicial en el escenario analizado. El equipo debe listar las causas tal como pérdida del control de flujo, pérdida del control de presión, exceso de reacción, etc.
4. Identificar el IPLs y estimar la probabilidad de falla de la demanda (PFD) de cada IPL. Algunos escenarios del accidente requieren solamente un IPL, mientras que otros requieren mas IPLs. La PFD es una medición de la reducción del riesgo que se puede obtener al usar el IPL. El distinguir las salvaguardias existentes que cumplen los requisitos de IPLs para un escenario dado es lo más importante de LOPA. La mayoría de las compañías proporcionan un valores predeterminado de IPL para uso del analista, así que el analista puede escoger los valores que el mejor se ajuste al escenario analizado, en las tablas 2.17 y 2.18 se muestra un ejemplo de cómo son estos valores.
5. Estimar el riesgo del escenario por una combinación matemática de consecuencia, inicial causa e IPL. Otros factores pueden ser incluidos durante el cálculo, dependiendo de la definición de la consecuencia (acontecimiento del impacto). Las aproximaciones incluyen fórmulas aritméticas y métodos gráficos. Sin importar los métodos, la mayoría de las compañías proporcionan un formato estándar para documentar los resultados como el mostrado en la tabla 2.17.
6. Proporcionar recomendaciones específicas por medio de la evaluación del riesgo. El equipo LOPA debe dar recomendaciones donde es posible indicar opciones para su implementación. El equipo debe proporcionar varias recomendaciones para que pueda seleccionarse la mejor opción. Estas decisiones pueden considerar una comparación con riesgos tolerables para una compañía, la tabla 2.19 muestra que acción tomar para una consecuencia y frecuencia obtenida.

### ***c) Documentación de Resultados***

Normalmente, los resultados de un análisis con LOPA se registran en formatos como el mostrado en la tabla 2.20.

<b>Consecuencia</b> <b>Frecuencia (/año)*</b>	<b>Categoría 1</b>	<b>Categoría 2</b>	<b>Categoría 3</b>	<b>Categoría 4</b>	<b>Categoría 5</b>
10 <sup>-0</sup>	Opcional (evaluar alternativas)	Opcional (evaluar alternativas)	Actuar en la primer oportunidad (notificar a la gerencia)	Acción inmediata (notificar a la gerencia)	Acción inmediata (notificar a la gerencia)
10 <sup>-1</sup>	Opcional (evaluar alternativas)	Opcional (evaluar alternativas)	Opcional (evaluar alternativas)	Actuar en la primer oportunidad (notificar a la gerencia)	Acción inmediata (notificar a la gerencia)
10 <sup>-2</sup>	Ninguna otra acción	Opcional (evaluar alternativas)	Opcional (evaluar alternativas)	Actuar en la primer oportunidad (notificar a la gerencia)	Actuar en la primer oportunidad (notificar a la gerencia)
10 <sup>-3</sup>	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Opcional (evaluar alternativas)	Opcional (evaluar alternativas)	Actuar en la primer oportunidad (notificar a la gerencia)
10 <sup>-4</sup>	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Opcional (evaluar alternativas)	Opcional (evaluar alternativas)
10 <sup>-5</sup>	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Opcional (evaluar alternativas)
10 <sup>-6</sup>	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción
10 <sup>-7</sup>	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción	Ninguna otra acción

\* Ejemplo: 10<sup>-2</sup> es equivalente a 1/100 años

Tabla 2.19. Matriz de riesgo con acciones requeridas

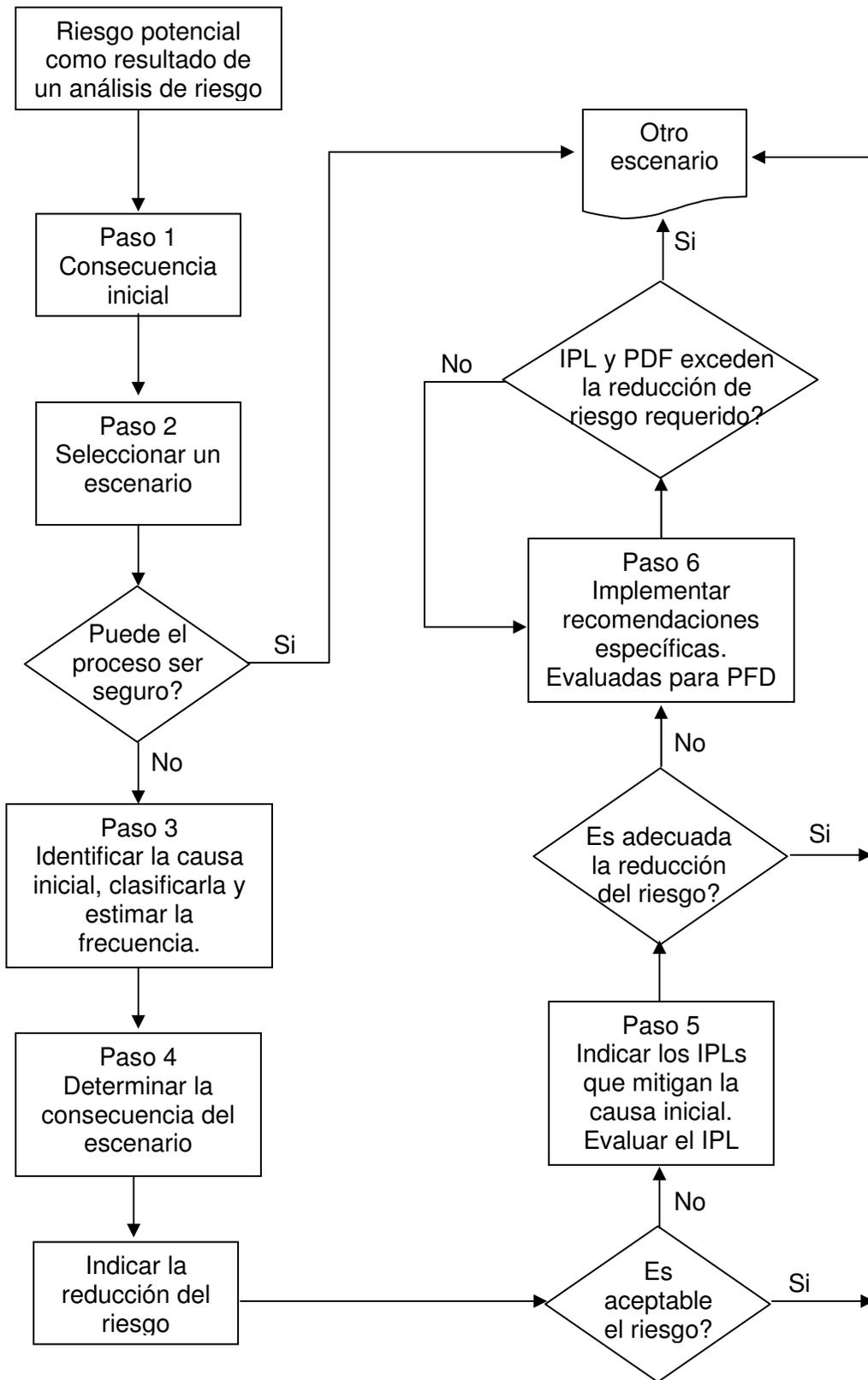


Figura 2.5. Secuencia de un análisis por LOPA.

### **2.6.3. Software Recomendado.**

El método de LOPA se puede ejecutar usando tablas acondicionadas pero es preferible utilizar un software. Típicamente, estas herramientas ayudan al usuario a:

- Selecciona apropiadamente la frecuencia del evento inicial, la IPLs y la Probabilidad de falla ante la demanda (Probabilities of Failure on Demand, PFDs).
- Aplica simples modelos matemáticos y genera la documentación requerida para este método.

El software permite que el analista convierta datos automáticamente de una evaluación cualitativa del riesgo (información contenida en tablas de HAZOP o de FMEA) como punto de partida para un escenario de LOPA, y finalmente para complementar en análisis LOPA, se generan los resultados en una tabla.

Existe software comercial que permite ayuda en el desarrollo de un análisis LOPA tales como:

Hazard Review LEADER™ , ABS Consulting  
PROBE™, Exida.com  
PHA-Pro 6, Dyadem International LTD.  
LOPA Manager, Berwanger Siemen Company.

### **2.6.4. Ejemplo de Aplicación**

Se considera el proceso de reacción para obtener DAP, indicado en la sección 2.1.4, donde se describe ampliamente. La tabla 2.20 es un formato típico donde se muestran los resultados de un análisis LOPA, considerando los resultados de un HAZOP.

## **2.7. Resumen de Métodos de Análisis de Riesgos**

En la tabla 2.21 se indican resumidas las principales características de los métodos de Análisis de Riesgos considerados en este trabajo.

Escenario número:	Tag del equipo:	Título del escenario:	
1.1		Sobreflujo en el tanque de almacenamiento de amoniaco	
Fecha:12/NOV07	Descripción	Probabilidad	Frecuencia (/año)
Consecuencia Descripción / Categoría	Liberación de amoniaco a la atmósfera por sobreflujo en el tanque de almacenamiento. Categoría 3 o 4		
Criterio de Tolerancia al Riesgo (Categoría o frecuencia)	Máxima tolerancia de un incendio serio		$<1 \times 10^{-4}$
	Máxima tolerancia de un accidente fatal		$<1 \times 10^{-5}$
Evento inicial (típicamente una frecuencia)	El indicador de nivel falla y continúa alimentándose amoniaco al tanque de almacenamiento. (tabla 2.15)		$1 \times 10^{-1}$
Evento permitido o condición		N/A	
Modificador condicional (si aplica)	Probabilidad de explosión	1	
	Probabilidad de personal en área afectada	0.5	
	Probabilidad de heridas fatales	0.5	
	otros	N/A	
<b>Frecuencia de consecuencias sin mitigar</b>			$2.5 \times 10^{-2}$
Capa de protección independiente (IPL)	Operador checa el nivel antes de descargar (tabla 2.16 acciones humanas)	$1 \times 10^{-1}$	
	Falla del sistema de control básico. (tabla 2.16 IPL's activas)	$1 \times 10^{-2}$	
Salvaguardas (no IPL's)			
<b>Total PFD de todos los IPL's</b>		$1 \times 10^{-3}$	
<b>Frecuencia de consecuencia mitigada</b>			$2.5 \times 10^{-5}$
Criterio de tolerancia de riesgo cumplido? (si / no):		Si	
Acción requerida para cumplir criterios de la tolerancia del riesgo	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Indicador de nivel en el tanque de almacenamiento.</li> <li>* Válvula de relevo en el tanque de almacenamiento de amoniaco.</li> </ul>		
Notes			
Referencias (relación con la revisión del Análisis de Riesgo, DFP, DTI's, etc. De acuerdo a lo indicado en la figura. 2.1.			
Análisis LOPA (miembros del equipo, si aplica)			

Tabla 2.20. Resultados Análisis LOPA.

Método	Campo de Aplicación	Recursos humanos / materiales	Software recomendado	Ventajas	Desventajas
Checklist	Aplicable a todas las fases de un proyecto: diseño, construcción, puesta en marcha, operación, paros y mantenimiento.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* La preparación ha de ser realizada por personas de gran experiencia.</li> <li>* Es preciso disponer de las normas o estándares de referencia.</li> <li>* Buen conocimiento del sistema o planta.</li> <li>* La realización no requiere gran experiencia pero sí el análisis de los resultados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Ninguno.</li> <li>* Uso de formatos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Permite comprobar con detalle el estado de una instalación</li> <li>* Método versátil que permite comprobar con detalle la adecuación de las instalaciones.</li> <li>* Puede utilizarlo gente de poca experiencia</li> <li>* Constituye una buena base de partida para complementarlo con otros métodos de identificación que tienen un alcance superior al cubierto por los reglamentos e instrucciones técnicas.</li> <li>* Son puestas a punto por cada compañía en particular y para uso propio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Las listas de inspección se limitan con la capacidad del ingeniero que la aplica.</li> <li>* Actualización constante</li> <li>* No se recomienda para riesgos complejos o de gran tamaño.</li> <li>* Examina la instalación solamente desde el punto de vista de cumplimiento de un reglamento o procedimiento determinado.</li> </ul>
What-If.?	Aplicable a todas las fases de un proyecto. Aplicable a modificaciones o instalaciones existentes	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se debe disponer de: diseño detallado, datos de operación mantenimiento, conocimiento profundo de la instalación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* WHAT IF-PC (Primatech, Inc.)</li> <li>* SAFEPLAN (Du Pont).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Su aplicación es más sencilla.</li> <li>* El tiempo de ejecución de este método es proporcional al tamaño del sistema a analizar.</li> <li>* Para sistemas grandes, se puede dividir en sistemas pequeños.</li> <li>* Se pueden utilizar formatos sencillos para plasmar las preguntas, respuestas, consecuencias y soluciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Método que requiere inversión de tiempo y equipo.</li> <li>* Es altamente dependiente de la experiencia y conocimiento de los miembros del equipo de trabajo.</li> <li>* Tiende por tanto a ser incompleto.</li> </ul>
HAZOP	Aplicable a modificaciones o instalaciones existentes, así como a fase de diseño avanzado. Aplicable a todas las fases de un proyecto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se debe disponer de: diseño detallado, datos de operación / mantenimiento, conocimiento profundo de la instalación, equipo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* PHAWorks, Primatech Inc.</li> <li>* PHA-Pro, Dyadem International LTD.</li> <li>* HAZOP +, Isograph LTD.</li> <li>* HAZOP Manager V. 6.0, Lihou Technical &amp; software Service</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Método sistemático que puede crear desde el punto de vista de seguridad hábitos metodológicos útiles.</li> <li>* El coordinador mejora su conocimiento del proceso.</li> <li>* No requiere muchos recursos a exclusión del tiempo de dedicación, etc.</li> <li>* Análisis muy exhaustivo de la instalación.</li> <li>* Método más usado alrededor del mundo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Método que requiere una mayor inversión de tiempo.</li> <li>* Las modificaciones a la planta surgidas del HAZOP deben analizarse con mayor detalle.</li> <li>* Los resultados obtenidos son muy dependientes de la calidad del equipo.</li> <li>* Es muy dependiente de la información disponible.</li> <li>* Puede omitirse un riesgo si los datos de partida son erróneos o incompletos.</li> </ul>
FMEA	Aplicable en fases de: diseño, construcción, operación, previo a árboles de fallos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Información necesaria similar a What-If? y HAZOP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* PHAWorks, Primatech Inc.</li> <li>* FMEA-Pro 7, Dyadem International LTD.</li> <li>* Relex-FMEA, Relex Software Corporation.</li> <li>* Bytework-FMEA, The Global Choice of the Ford Motor Company</li> <li>* AUTODCP, Customer Driven System.</li> <li>* XFMEA Enterprice, Reliasoft Corporation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Método menos costoso que HAZOP. Rapidez del método</li> <li>* Los resultados que proporciona el método son función de esta misma simplicidad.</li> <li>* Metódico y ordenado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Menos exhaustivo que el HAZOP.</li> <li>* Requiere de personal con experiencia.</li> </ul>
FMEAC	Igual a FMEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Igual a FMEA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Igual a FMEA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Igual a FMEA.</li> <li>* Incluye una valoración de la criticidad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Igual a FMEA</li> </ul>
LOPA	Utiliza en cualquier etapa de un proyecto También es común utilizarlo para aplicarlo en proyectos "Revamp".	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Debe disponer de resultados de un análisis previo de Checklist, What-if, FMEA, HAZOP, etc,</li> <li>* Se requiere de 2 o 3 elementos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Hazard Review LEADER™, ABS Consulting.</li> <li>* PROBE™, Exida.com.</li> <li>* PHA-Pro 6, Dyadem International LTD.</li> <li>* LOPA Manager, Berwanger Siemen Company.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se enfoca en consecuencias severas.</li> <li>* Considera todas las causas iniciales identificadas.</li> <li>* Permite asignar recursos eficientemente para la reducción de riesgos.</li> <li>* Confirma qué IPL es eficaz para la causa inicial.</li> <li>* Documenta todo lo que se considera en el análisis.</li> <li>* Ofrecer una base racional para manejar el IPL en una planta operando.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Se requieren de tablas donde se indiquen frecuencias de eventos y diversos IPL's.</li> <li>* Se requiere realizar un análisis de riesgo antes de aplicarlo.</li> </ul>

Tabla 2.21. Resumen de métodos de Análisis de Riesgos y principales características

### 3. Seleccionando Métodos de Análisis de Riesgo

La seguridad de cualquier tipo de proceso es influenciada por muchas cosas: por ejemplo, emplear tecnología apropiado en el diseño y construcción, anticipación los efectos de circunstancias externas, entendiendo y tratando con el comportamiento humano, y el mantener una dirección eficaz en el proyecto. Posiblemente una prioridad es la selección adecuada de un método de Análisis de Riesgos.

Como se indicó en el capítulo anterior se tienen una gran variedad de métodos para el Análisis de riesgos, cada una de ellas posee diferentes características y requerimientos tanto de información como de personal para su efectivo desarrollo.

La selección del método de Evaluación de Riesgos es mas un arte que una ciencia, es por ello que surge la pregunta ¿Cómo seleccionar el método mas adecuado para un proceso? Ya que incluso para un profesional con cierta experiencia el “**mejor**” método no es tan evidente.

#### 3.1. Factores que Influyen en la Selección del Método de Evaluación de Riesgos.

Los seis factores que se indican a continuación son puntos que el analista debe considerar cuando selecciona un método de análisis para una aplicación específica:

1. Motivación para el estudio.
2. Tipo de resultados requeridos.
3. Tipo de información disponible para desarrollar el estudio.
4. Características del problema a analizar.
5. Percepción del riesgo.
6. Disponibilidad de recursos y preferencias.

La importancia de cada uno de estos factores en la selección puede variar. Sin embargo, las siguientes observaciones acerca de estos factores pueden tomarse en cuenta para una situación real.

### **3.1.1. Motivación para el Estudio.**

Este factor debe ser de los más importantes para el analista. Desarrollar un análisis de riesgo sin la comprensión de esta motivación y sin tener un propósito bien definido da como probable resultado perder recursos para mejorar la seguridad. Una serie de resultados conforman el propósito de un estudio. Por ejemplo, ¿Cuál es el impulso para hacer el estudio? ¿Es el estudio caracterizado como parte de una política para realizar el análisis de riesgo de nuevos procesos? ¿Son entendibles las necesidades para tomar decisiones de la gestión de riesgos refiriéndose a la mejora de un proceso existente? ¿O el estudio se está haciendo para satisfacer un requisito regulador o legal?

Los analistas responsables de seleccionar el método más apropiado y de suministrar los recursos humanos, técnicos, y físicos necesarios deben ser proporcionados adecuadamente, escribir el o los objetivos de modo que puedan ejecutar eficientemente.

### **3.1.2. Tipo de Resultados Requeridos.**

Tal vez sea los factores más importantes que el analista debe considerar. El método seleccionado debe proporcionar el camino más efectivo para proporcionar la información requerida para satisfacer la razón del estudio.

Dependiendo de la motivación para un estudio de Análisis de Riesgos, una variedad de resultados puede para satisfacer el estudio. La definición del tipo específico de información necesaria para satisfacer el objetivo del análisis es una parte importante para la seleccionar adecuada del método. Las siguientes son cinco categorías de información que se obtienen de un Análisis de Riesgos:

- Lista de riesgos.
- Lista de situaciones de accidentes potenciales.
- Lista de alternativas para reducir el riesgo o las áreas que necesitan un análisis adicional.
- Prioridad de resultados.
- Datos para un análisis de riesgo cuantitativo (de ser necesario).

Algunos métodos pueden utilizarse solamente para identificar riesgos asociados a un proceso o actividad. Si éste es el único propósito del estudio, el método puede ser seleccionado para proporcionar una lista o una selección de las áreas del proceso u operación que poseen una característica de riesgo particular.

Casi todos los métodos proporcionan listas de situaciones potenciales y de alternativas posibles para reducción de riesgos. Algunos métodos pueden utilizarse considerando que su principal característica es basada en sacar el mayor provecho de la percepción del equipo de trabajo para analizar el nivel de riesgo asociado a la

actividad. Si una organización puede anticipar que no es posible satisfacer los resultados con un análisis cualitativo, entonces el analista puede elegir un método de Análisis de Riesgo cuantitativo.

### 3.1.3. Tipo de Información Disponible para Desarrollar el Estudio.

Las siguientes dos condiciones establecen que información es disponible para el equipo de análisis de riesgos.

- La etapa de la vida del proyecto o actividad en la que el análisis debe desarrollarse.
- La calidad y actualización de la documentación disponible.

La tabla 3.1 muestra la información disponible conforme transcurre la vida de un proyecto.

Tipo de información	Nivel de detalle	Tiempo en que se dispone de la información del proyecto
<ul style="list-style-type: none"> <li>* Experiencia en la operación</li> <li>* Procedimientos de operación</li> <li>* Equipo existente</li> <li>* DTI's</li> <li>* DFPs</li> <li>* Experiencia en procesos similares</li> <li>* Inventarios de materiales</li> <li>* Química del proceso básico</li> <li>* Propiedades físicas y químicas de materiales</li> </ul>		

Tabla 3.1. Información típica disponible para un análisis de riesgo.

Las etapas de la vida de un proyecto establecen los límites de información detallada disponible para el equipo de Análisis de Riesgo. Por ejemplo, si un análisis se desarrolla en una etapa conceptual del proceso, es altamente probable que no se cuente con los DTI's del proceso. Así, si el analista debe seleccionar entre un análisis HAZOP y un What-if, por la etapa y la información disponible debe usar un análisis What-if como el mas adecuado. La figura 3.1 muestra cual método es mas comúnmente utilizado para realizar un Análisis de Riesgo de acuerdo a la etapa de vida de un proyecto, cabe hacer notar que se incluyen otros métodos que no se describen en este trabajo con el nombre en inglés.



### 3.1.4. Características del Problema de Análisis.

Para una selección de un método de Análisis de Riesgos, un analista debe vislumbrar ciertas características de la planta o proceso a ser analizado. Estas pueden dividirse en cinco áreas:

- a) **La complejidad y tamaño del problema.** Estos conceptos son importantes ya que algunos métodos pueden empantanarse al analizar procesos extremadamente complicados. Son función del número de procesos o de sistemas a analizar, la cantidad de equipo, el número de etapas en la operación y el número de riesgos y efectos que se analizar (tóxico, fuego, explosión o ambiental).

Es particularmente importante que los analistas seleccionen un nivel de la resolución que sea compatible con el propósito del estudio. Por ejemplo, si se va a analizar un proceso grande, se debe dividir en tantas secciones más pequeños para el análisis.

Para propósitos del planeación de emergencia, el analista puede utilizar What-if para identificar tipos generales de secuencias del accidente que pueden tener un impacto en la población de la planta. Para muchos métodos de análisis, considerar un número más grande de equipos u etapas de operación aumentará el tiempo y el esfuerzo necesarios para realizar un análisis.

- b) **El tipo de proceso.** El tipo de proceso también afecta la selección del método. La mayoría de los métodos que se revisan en este trabajo cubren esta condición ya que pueden ser utilizadas para casi cualquier tipo o combinación de tipos de proceso. Sin embargo, algunos métodos satisfacen mejor a procesos con características particulares. Por ejemplo, FMEA tiene una reputación bien merecida para analizar riesgos asociados a sistemas electrónicos o informáticos, mientras que el análisis con HAZOP no es tan aceptable para este tipo de sistemas.
- c) **Tipo de operaciones en el proceso.** Si una operación es estática o de transporte; permanente o transiente, continuo o por lotes, puede afectar la selección del método. Todos los métodos se pueden utilizar para analizar instalaciones fijas o de transporte. Porque los accidentes potenciales que implican sistemas del transporte, de tal forma que, los métodos del análisis como FMEA, What-if o Checklist se utilizan más a menudo que el Árbol de Fallas para analizar procesos simples. Sin embargo, el Árbol de Eventos se utiliza preferentemente para analizar la combinación de las circunstancias de un derrame de vehículos.

Finalmente, algunos métodos tales como What-If, Checklist, HAZOP, Árbol de Eventos son mejores para analizar procesos por lotes que los métodos

Árbol de Fallas y FMEA, ya que estos últimos no pueden tratar fácilmente la necesidad de evaluar la naturaleza dependiente del tiempo de las operaciones por lotes.

- d) **La naturaleza del riesgo.** La naturaleza de los riesgos asociados al proceso tiene una influencia de menor importancia para la selección del método. Toxicidad, fuego, explosión, reactividad se pueden analizar con cualquier método, aunque se tienen algunos métodos cuantitativos que son específicos para cubrir únicamente fuego y explosión.
- e) **Eventos de accidentes o situaciones de preocupación.** Si un estudio se enfoca en: fallas simples contra fallas múltiples; pérdida de la contención; pérdida de la función; trastornos del proceso; software, procedimientos o fallas humanas pueden afectar a la decisión de la selección del método. Por ejemplo, Si el análisis está dirigido para la evaluación de situaciones de fallas múltiples, los métodos Árbol de Fallas y Árbol de Eventos presentan más flexibilidad para ser aplicadas en esta situación comparada con HAZOP y FMEA.

### 3.1.5. Percepción del Riesgo

Si todos los métodos de Análisis de Riesgo fueran perfectos, entonces no importa que método utilizar o quién realiza el análisis. Desgraciadamente, ni los métodos o los analistas, ni los estudios pueden ser perfectos y no pueden garantizar que todas las posibles situaciones del accidente que implica un proceso se identifican.

Las organizaciones se ocupan de solventarlo de dos maneras. Primero, utilizan a equipos interdisciplinarios para realizar el análisis, utilizando la experiencia combinada de los miembros de equipo, bajo el concepto "muchas cabezas son mejores que una", la estrategia es la llave para desarrollar un análisis de riesgo de alta calidad. En segundo lugar, las organizaciones tienden a utilizar métodos más sistemáticos para procesos con un riesgo mayor o para las situaciones en las cuales se espera que los accidentes tengan consecuencias severas.

Así, cuanto mejor se percibe el riesgo del proceso, más importante resulta el utilizar un método que reduce al mínimo una situación de riesgo. Cuando se percibe un alto riesgo en el proceso, es mejor utilizar métodos más rigurosos, por ejemplo, análisis HAZOP, What-If, Checklist, Arbol de Fallas, FMEA.

### **3.1.6. Disponibilidad de Recursos.**

Algunos factores que afectan a la selección del método son: Disponibilidad de personal experto y bien informado, fechas para la realización del estudio, los recursos financieros, el lugar para realizar en un ambiente adecuado el estudio.

Generalmente, el personal que debe estar disponible para un Análisis de Riesgos son: líderes expertos, personal con conocimientos o expertos en la aplicación del método elegido y gente bien informada en el proceso o la actividad a analizar. Si los ingenieros de diseño, operadores, personales del mantenimiento, etc., no están disponibles, entonces la calidad del estudio está en peligro. La experiencia ha demostrado que si se cuenta con un líder de equipo que es un veterano de muchos estudios aumenta la oportunidad de tener un estudio exitoso.

Otro factor determinante es el tiempo y esfuerzo aplicado para realizar un análisis de riesgo, los analistas deben utilizar estimaciones con gran precaución. El tiempo real requerido para un estudio puede ser mucho más largo (o algo más corto) que estas estimaciones. Estas estimaciones se proporcionan solamente para dar a analistas una idea aproximada de la escala relativa de esfuerzo que deben considerar para realizar el Análisis de Riesgo.

Idealmente, un Análisis de Riesgos debe ser realizado usando el método más familiar utilizado por el equipo. Además, la gerencia puede a veces tener preferencia por un método sobre otro. Sin embargo, la preferencia de la gerencia no debe eclipsar otras razones técnicas para seleccionar un método. Para evitar conflictos referentes a la selección del método, los analistas deben ayudar proporcionando a la gerencia datos tangibles de las ventajas, fuerza, limitaciones y costos relativos a cada método.

### **3.2. Toma de Decisión para Seleccionar un Método de Análisis de Riesgo.**

Los seis factores discutidos en la sección anterior pueden tener diversos grados de importancia, dependiendo de las circunstancias donde se aplique el método. Así, resulta difícil el construir una secuencia de selección general para la toma de decisión y cada método tiene fuerzas y debilidades únicas.

Por otra parte, cada industria, organización, proceso o actividad tendrán objetivos y necesidades diferentes. Así, es difícil construir un organigrama universal para la toma de decisión para cada organización. Sin embargo, es posible sugerir una orden lógica para considerar los factores discutidos con anterioridad.

La figura 3.2 ilustra una orden general para considerar los factores que podrían influenciar qué método utilizar para un estudio dado. Ciertamente, los factores que implican la motivación y el tipo de resultados deben ser los más importantes para

cada organización; estos factores proporcionan la definición básica para satisfacer la necesidad de identificar un gran riesgo.

La información disponible, las características del problema, y el riesgo percibido pueden tener diversos grados de importancia, dependiendo de la cultura de la organización. La cantidad de recursos necesarios es el último factor a considerar para la selección del método.

Para ayudar a la toma de decisión adecuada es posible ilustrarlo en forma detallada por medio del diagrama de flujo mostrado en la figura 3.3.

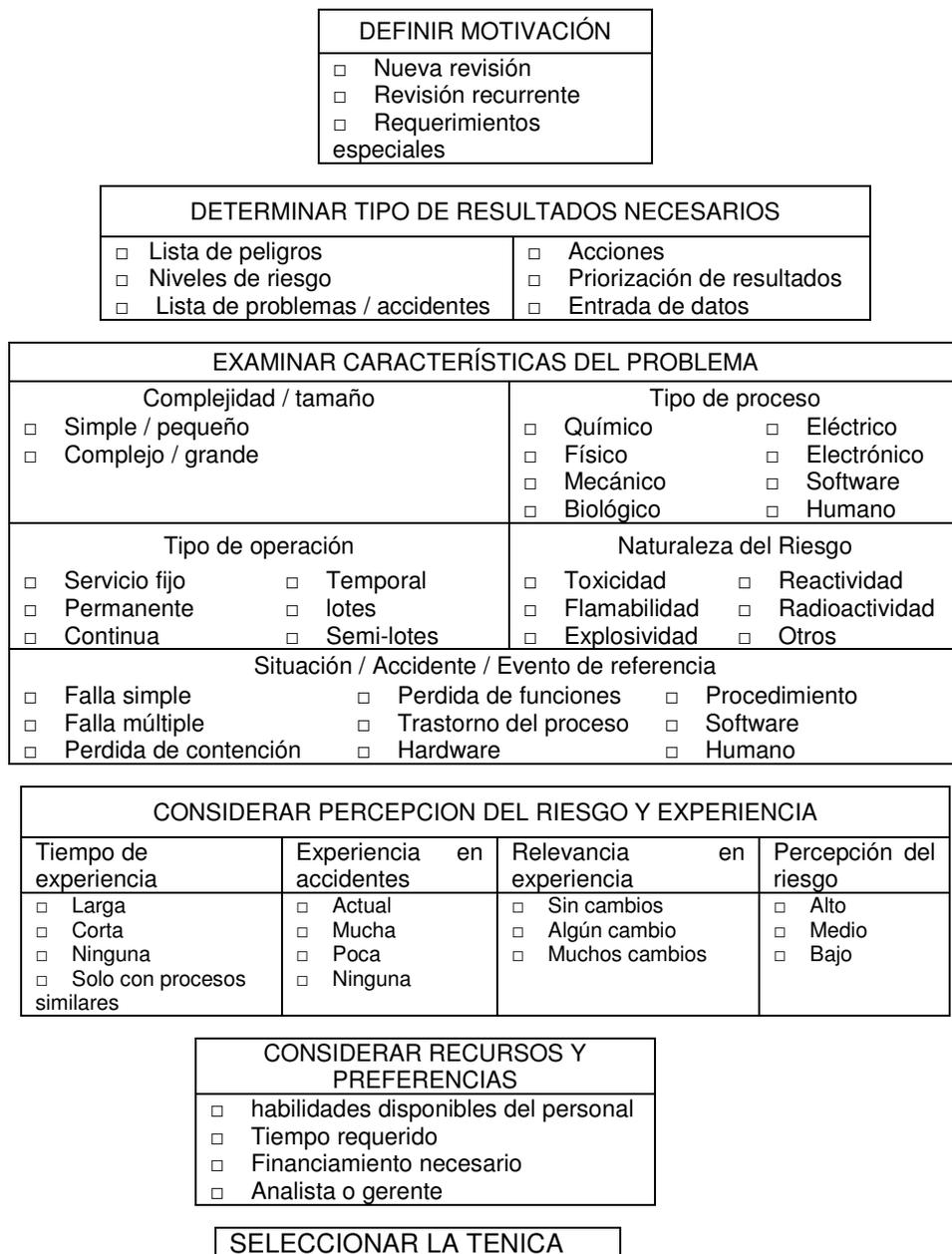


Figura 3.2. Criterios para seleccionar métodos de Análisis de Riesgo.

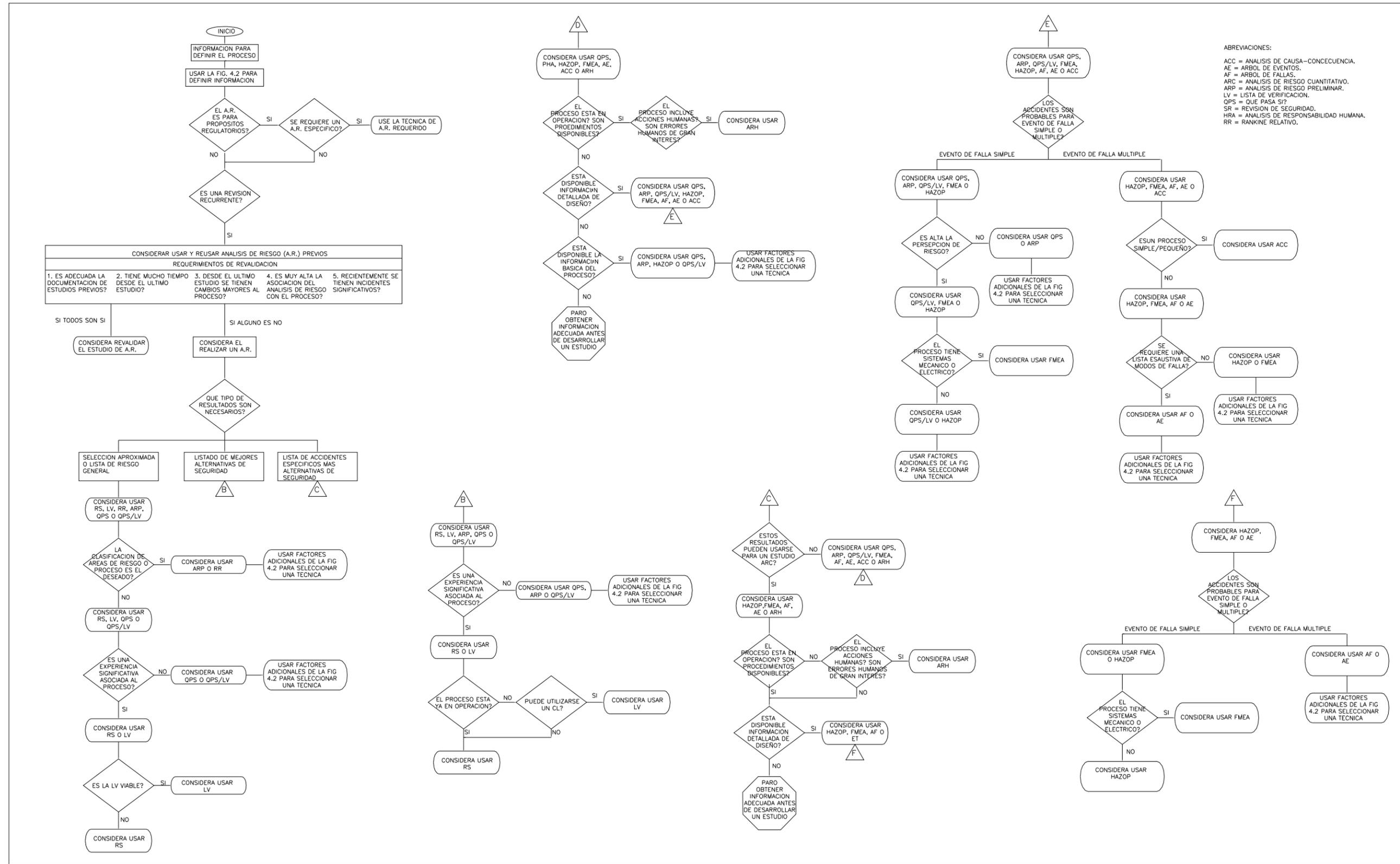


Figura 3.3. Diagrama de flujo para seleccionar un método de Análisis de Riesgos

### **4. Aplicación del Método HAZOP**

En la actualidad la mayoría de las compañías que desarrollan un nuevo proyecto realizan uno o más estudios de Análisis de Riesgo durante el desarrollo de la ingeniería. Aunque se trate de tecnologías y diseños ampliamente probados, los resultados de estudio generalmente revelan situaciones no previstas en la etapa de ingeniería.

En instalaciones existentes, y sobre todo en aquellas que a través de los años han sufrido modificaciones a su diseño original, un estudio identifica los riesgos con los cuales conviven día a día el personal, el medio ambiente y las instalaciones. Sin un estudio de riesgo no se tiene pleno conocimiento de las contingencias factibles de ocurrir. Los riesgos, además de ser las fuentes de situaciones peligrosas, impactan directa y negativamente en la rentabilidad de la instalación.

El HAZOP es una herramienta muy poderosa a la hora de identificar y reducir los riesgos de cualquier proceso, ya que como se indicó en la sección tres de este trabajo es metódico, sistemático y es el método más usado por la mayoría de las empresas.

A continuación se aplica el método HAZOP al área de almacenamiento de materiales peligrosos en una planta de Polipropileno, con el principal objetivo de mostrar más ampliamente las etapas que conforman un Análisis de Riesgo HAZOP. Para ello se sigue lo indicado en la sección 2.5 pero con la adición de generar un reporte de entrega del Análisis de Riesgos.

#### **4.1. Alcance**

Se muestran los principales resultados del Análisis Funcional de Operabilidad (HAZOP) realizado para el sistema de descarga y almacenamiento de material peligroso en una planta de polipropileno que amplía su producción 300,000 ton/año colocando otra línea de producción. Centrándose en nuevas áreas para descarga y almacenamiento de propileno y etileno.

## 4.2. Propósito

El propósito del método de HAZOP es el análisis de una manera sistemática de todas las desviaciones de proceso razonables del diseño que pueden dar lugar a riesgos (situaciones potencialmente peligrosas para la gente que trabaja en la instalación, el ambiente, la planta o el equipo) y/o problemas operacionales.

El equipo de trabajo emite un número de acciones, que son parte de la ingeniería de detalle para que sean aplicados en etapas posteriores a la entrega del análisis de riesgo.

## 4.3. Equipo de Trabajo

Para desarrollar el Análisis de Riesgo por el método HAZOP se integra un equipo de trabajo conformado por los siguientes cinco elementos:

Nombre	Compañía	Puesto	Asistencia			
			12	13	14	15
JLG	Ingeniería	Facilitador	✓	✓	✓	✓
ELL	Ingeniería	Escriba	✓	✓	✓	✓
SLA	Ingeniería	Ingeniero de Proceso	✓	✓	✓	✓
AMR	Cliente	Operación	✓	✓	✓	✓
EMA	Cliente	Operación	✓	✓	✓	✓

Adicionalmente y de ser necesario se solicita la asistencia por tiempo limitado del ingeniero Mecánico e ingeniero de Sistemas de Control.

## 4.4. Agenda del Análisis HAZOP

La junta de análisis se desarrolla de acuerdo a las siguientes sesiones:

Noviembre 12 a Noviembre 15 de 8:00 a 14:00– Ciudad de México

El programa de ejecución diaria es de acuerdo a lo siguiente:

Noviembre 12: Nodos A-01 y A-02  
Noviembre 13: Nodos A-03 y A-04  
Noviembre 14: Nodos A-05 y A-06  
Noviembre 15: Nodos A-07 y A-08

De ser necesario y si así lo determina el equipo las sesiones pueden alargarse para concluir los objetivos diarios.

#### 4.5. Información Requerida

Los siguientes documentos se utilizan durante las reuniones de análisis:

Descripción del proceso.

Diagramas de tuberías e instrumentación (mostrando nodos).

Hojas de datos de los equipos

Plano de localización general de equipo.

Narrativas de control.

Los diagramas de tubería e instrumentación (DTI) en los cuales se plasman los nodos (ver figuras 4.1. a 4.6) y que se distribuye al equipo están indicados en la tabla 4.1.

Nodo	DTI	Título del DTI
A-01	A-714	Área de descarga de Propileno (carros tanque)
	A-714A	Compresor de descarga de Propileno (C-702A).
	A-702	Almacenamiento de Propileno
	A-703	Almacenamiento de Propileno
A-02	A-714	Área de descarga de propileno (carros tanque)
	A-702	Almacenamiento de Propileno
	A-703	Almacenamiento de Propileno
A-03	A-714	Área de descarga de Propileno (carros tanque).
	A-714A	Compresor de descarga de Propileno (C-702A).
A-04	A-714A	Compresor de descarga de Propileno (C-702A).
A-05	A-714A	Compresor de descarga de Propileno (C-702A).
A-06	A-714A	Compresor de descarga de Propileno (C-702A).
A-07	A-820	Almacenamiento de Etileno.
	A-830	Bombas de Etileno línea 2
A-08	A-830	Bombas de Etileno línea 2

Tabla 4.1. Nodos aplicados al análisis HAZOP

Ya que se cuenta con dos trenes similares de descarga de propileno con los compresores C-702A y C-702B, únicamente se analiza uno de los trenes y se aplicaran los mismos resultados al otro compresor.

Los nodos marcados en los DTI's marcados con la revisión 0 y se encuentran identificados con diferentes colores para evitar confusiones.

La tabla 4.2 muestra las posibles combinaciones de palabras guía con parámetros que definen las desviaciones posibles no deseadas para este estudio. No obstante, de ser necesario y por decisión del equipo de trabajo se pueden adicionar otras palabras guías y parámetros.

		Palabras Guía				
		No	Mas	Menos	Inverso	Incorrecta
Parámetros	Flujo	✓	✓	✓	✓	
	Temperatura		✓	✓		
	Presión		✓	✓		
	Nivel	✓	✓	✓		
	Composición		✓	✓		✓
	Fase		✓	✓		✓

Tabla 4.2. Combinación palabras guía - parámetros

Se debe considerar la matriz de riesgo de acuerdo a lo indicado en la figura 1.1, para la consecuencia (severidad) y la probabilidad, de tal forma de que la consecuencia cumpla con los siguientes criterios:

**Catastrófico:** Muerte, daños mayores a \$5 millones, perdida de producción por mas de una semana

**Severo:** Enfermedad o heridas graves, daños de hasta \$1.5 millones, perdida de producción por 2 días a una semana

**Significante:** Heridas o enfermedad de media intensidad, daños hasta a \$800 mil, perdida de producción por medio día a dos días

**Menor:** Baja intensidad en heridas o enfermedad, daños menores a \$800 mil, perdida de producción por medio día

**Insignificante:** Sin lesiones, daños menores sin posible cuantificación, sin perdida de producción.

Mientras que para las acciones apropiadas para los factores de riesgo se consideran de acuerdo a lo siguiente:

**Riesgo alto o Inaceptable:** Debe suministrarse equipo y establecer procedimientos para reducir la probabilidad y las consecuencias.

**Riesgo medio o Indeseable.** Considerar cambio de equipo o forma de control del proceso, si se requiere y establecer procedimientos para reducir la probabilidad y las consecuencias.

Riesgo bajo o Aceptable: No se requiere ninguna acción especial.

## **4.6. Descripción del Proceso**

Al inicio de la primera sesión del análisis de riesgo es necesario exponer a todos los participantes la descripción de proceso (esta descripción normalmente no forma parte escrita del Análisis de Riesgo), aquí se describe para entender perfectamente la descarga y almacenamiento de etileno y propileno que son la materia prima para la producción de polipropileno.

### **4.6.1 Descarga de Propileno**

Los sistemas de descarga reciben propileno por medio de carros-tanque y auto-tanques, para enviarlos a los Tanques de Almacenamiento.

#### **Estación de Descarga de Carros Tanque**

La estación de descarga de carros tanque (CT) tiene 4 posiciones de descarga. Cada posición cuenta con un brazo de descarga de líquido con capacidad de descarga promedio de 60 m<sup>3</sup>/h, y un brazo para vapor que tiene la función dual de inyectar vapor durante la fase de transferencia de líquido, y de recuperar vapor durante la fase de despresurización. A cada compresor de descarga le corresponden dos posiciones de descarga con sus correspondientes brazos de descarga de líquido y vapor.

Los CT son estacionados en las posiciones asignadas y los brazos de descarga (líquido y vapor) son acoplados a las boquillas correspondientes. Cada CT debe ser aterrizado antes de iniciar la descarga.

Para operar las secuencias de descarga de CT se tiene un PLC (I-761), que esta montado en un panel local (panel de descarga de CT), que cuenta con botones, y luces de status, que permiten a los operadores controlar y monitorear las secuencias de descarga. Cada compresor de descarga tiene su propia secuencia independiente a la de los otros compresores.

La secuencia automática configurada en el PLC (I-761) se va a su punto inicial, confirmando que la válvula de cuatro vías correspondiente al compresor en operación, esta en posición de descarga de líquido.

Las válvulas automáticas de corte de líquido y vapor, de la secuencia en progreso, permanecen cerradas.

Normalmente se descargan ambas posiciones, ya que es la condición normal de operación.

Se inicia la secuencia automática de descarga elegida desde el panel local, las válvulas automáticas correspondientes de corte de líquido y vapor abren.

El Compresor correspondiente a la secuencia en progreso, arranca automáticamente en modo de descarga líquida.

Se debe monitorear usando los indicadores de presión disponibles, la presión diferencial entre el lado vapor y el lado líquido.

Durante la descarga normal de líquido la presión diferencial será aproximadamente de 1.5 bar. En cuanto la presión diferencial este por debajo de 0.3 bar, finaliza la transferencia de líquido.

Las válvulas de corte de descarga de líquido cierran.

Inmediatamente en cuanto se cierran las válvulas de descarga de líquido, el compresor en operación para, y la válvula de 4 vías cambia a la posición de recuperación de vapor.

En cuanto se registre que la válvula de 4 vías esta en su posición de recuperación de vapor, el compresor arranca nuevamente.

Se inicia la recuperación de vapor, hasta que la presión de vapor dentro los CT sea superior a 0.3 barg.

Al registrarse que la presión ha bajado al nivel deseado dentro los CT, el compresor para y las válvulas de vapor cierran. La válvula de 4 vías regresa a su posición de descarga de líquido.

En este momento la secuencia de descarga finaliza.

Antes de desacoplar los brazos de descarga de líquido y vapor de cada CT, deben cerrarse cuidadosamente las válvulas del CT, y se ventea al quemador el propileno entrampado entre los brazos y las válvulas de corte, posteriormente se debe barrer con nitrógeno todas las líneas para asegurar un ambiente inerte antes del desacoplamiento.

#### Estación de Descarga de Autos Tanque

La estación de descarga de autos tanque (AT) tiene 4 posiciones de descarga nuevas. A cada compresor de descarga le corresponden dos posiciones de descarga con sus correspondientes brazos de descarga de líquido y vapor. Cada posición cuenta con un brazo de descarga de líquido con capacidad de descarga promedio de 48 m<sup>3</sup>/h, y un brazo para vapor que tiene la función dual de inyectar vapor durante la

fase de transferencia de líquido, y de recuperar vapor durante la fase de despresurización

Los AT antes de descargarse son pesados en la báscula (Z-701), para luego pasar a estacionarse en las posiciones asignadas.

Cada uno de los AT debe ser aterrizado.

Se realiza el acoplamiento de las boquillas del AT con los brazos de líquido y vapor.

Para operar las secuencias de descarga de AT se tiene un PLC (I-703), que esta montado en un panel local (panel de descarga de AT), que cuenta con botones, y luces de status, que permiten a los operadores controlar y monitorear las secuencias de descarga. Cada compresor de descarga tiene su propia secuencia independiente.

La secuencia automática configurada en el tablero de control se va a su punto inicial, confirmando que la válvula de cuatro vías correspondiente al compresor en operación, esta en posición de descarga de líquido:

Las válvulas de corte de líquido y vapor de la secuencia en progreso permanecen cerradas.

Normalmente se descargan ambas posiciones, ya que es la condición normal de operación.

Se inicia la secuencia automática de descarga elegida desde el panel local, las válvulas de corte de líquido y vapor abren.

El Compresor correspondiente a la secuencia en progreso arranca en modo de descarga líquida.

Se debe monitorear usando los indicadores de presión disponibles, la presión diferencial entre el lado vapor y el lado líquido.

Durante la descarga normal de líquido la presión diferencial será aproximadamente de 1.5 bar. En cuanto la presión diferencial este por debajo de 0.3 bar, se termina la transferencia de líquido.

Las válvulas de corte de descarga de líquido cierran.

Inmediatamente en cuanto se cierran las válvulas de descarga de líquido, el compresor en operación para, y la válvula de 4 vías cambia a la posición de recuperación de vapor.

En cuanto se registre que la válvula de 4 vías esta en su posición de recuperación de vapor, el compresor arranca nuevamente.

Se inicia el período de recuperación de vapor, que continúa mientras la presión de vapor dentro del AT sea superior a 0.3 barg o que hayan transcurrido 45 minutos, lo que ocurra primero. El compresor para y las válvulas de vapor cierran. La válvula de 4 vías regresa a su posición de descarga de líquido.

En este momento la secuencia de descarga llega a su fin.

Antes de desacoplar los brazos de descarga de líquido y vapor de cada AT, deben cerrarse cuidadosamente las válvulas del AT, y se ventea al quemador el propileno entrampado entre los brazos y las válvulas de corte, posteriormente se debe barrer con nitrógeno las líneas para asegurar un ambiente inerte antes del desacoplamiento.

#### **4.6.2. Descarga de Etileno**

Los sistemas de descarga reciben etileno por medio de auto-tanques, para transferirlo al tanque de almacenamiento.

La estación de descarga de carros tanque (CT) tiene una sola posición de descarga. Se cuenta con mangueras flexibles de descarga de líquido con capacidad de descarga promedio de 10 m<sup>3</sup>/h y manguera de retorno de vapores.

Los CT son estacionados en las posiciones asignadas y las mangueras de descarga (líquido y vapor) son acopladas a las boquillas correspondientes. Cada CT debe ser aterrizado antes de iniciar la descarga. Poner en línea la bomba a ser utilizada para la descarga.

El operador abre la válvula de corte HV-820 los vapores de etileno en el tanque de almacenamiento se envían al CT manteniendo un equilibrio entre la fase líquida y vapores de etileno en el CT de tal forma que se mantenga una presión constante. Inmediatamente abre la válvula de corte HV-522 para la fase líquida.

El operador arranca las bombas BA-803 A/B manualmente (una en operación y una de relevo) y permanece atento al nivel del CT y a la presión que debe mantenerse en 13.2 barg y -80 °C.

Se tienen permisos que pueden parar la descarga de las bombas, uno de ellos es el nivel en el tanque de almacenamiento de etileno TA-802 que es al 80% y el otro es que los detectores de gas censen presencia de etileno en el área de descarga y de almacenamiento.

Una vez que el nivel en el CT llega a la marca indicada, el operador para la bomba e inmediatamente cierra las válvulas HV-822 y HV-820.

Antes de desacoplar las mangueras de descarga de líquido y retorno de vapores del CT, deben cerrarse cuidadosamente las válvulas del CT, y se ventea a la línea de desfogue el etileno entrampado de todas las líneas.

#### Bombas de Alimentación de Etileno a las Líneas de Polimerización LP 1 y LP 2

Las bombas BA-805 A/B y BA-820 A/B son del tipo turbina regenerativa, que succionan del tanque de almacenamiento TA-802 cuya característica principal es tener un NPSHr de 3 ft para evitar posibles daños a las bombas. Además, para que las bombas funcionen correctamente, el nivel del tanque debe mantenerse siempre por arriba del 10% de altura. El Etileno es enviado a la línea de producción 1 y a la línea de producción 2. Dos bombas estarán en operación y una de relevo para cada línea ya que requieren de diferentes flujos y presiones. Las bombas se arrancan de forma manual (botonera local) siempre bajo la supervisión directa del operador, que debe verificar la alineación correcta de válvulas y el funcionamiento mecánico correcto.

El paro puede ser manual (botonera local) o por PLC. La carga hacia la línea 1 es a la presión de descarga de la bomba BA-805 A/B (aprox. 31 barg), por lo que se controla la presión con PT-8024 a través de PV-8024. El etileno es precalentado en un vaporizador EA-802 hasta la temperatura requerida en la línea de producción 1.

El flujo de alimentación hacia la línea 2 por medio de las bombas BA-820 A/B (aprox. 37 barg), para mantener un flujo de descarga constante y una operación estable de las bombas, se tiene una recirculación que es controlada a través del PT-8224 a través de PV-8224. El etileno es inmediatamente vaporizado por medio de EA-820 hasta la temperatura requerida en la línea de producción 2.

Una vez que el nivel en el AT llega a la marca indicada, el operador para la bomba e inmediatamente cierra las válvulas.

Antes de desacoplar las mangueras de descarga de líquido y retorno de vapores del CT, deben cerrarse cuidadosamente las válvulas, y se ventea a la línea de desfogue el etileno entrampado de todas las líneas.

#### 4.6.3. Tanques de Almacenamiento de Materia Prima

El área de almacenamiento esta formada por tres tanques de Almacenamiento:

Tanque	Descripción	Capacidad (m3)
TA-701	Almacenamiento de Propileno TA-702	1200
TA-702	Almacenamiento de Propileno TA-703	1200
TA-802	Almacenamiento de Etileno TA-802	310

Los tanques de Almacenamiento se encuentran cubiertos de un aislamiento para evitar que el fluido aumente su temperatura de almacenamiento ya que se trata de fluidos que requieren baja temperatura para mantenerse en estado líquido.

Cada tanque de Almacenamiento cuenta con transmisores de nivel, para evitar el sobre-llenado del recipiente ó bajar demasiado el nivel.

#### 4.6.4. Bombas de Alimentación en Área de Almacenamiento

Cada tanque de almacenamiento cuenta con sus bombas que tienen diferentes servicios:

Bombas	Servicio	Capacidad por Bomba (m3/hr)
BA-701 A/B	Alimentación de Propileno a PP1	35
BA-702 A/B/C	Alimentación de Propileno a PP2 (nuevo)	60
BA-703 A/B/C	Alimentación de Propileno a LP 1 y 2	106

Bombas de Alimentación de Propileno a Purificación de Propileno (PP).

Las bombas BA-701 A/B son del tipo vertical de lata, que succionan del tanque de Almacenamiento TA-701. Para contar con un NPSH suficiente para que la bomba funcione correctamente, el nivel del tanque debe mantenerse siempre por arriba del 10% de altura. Una bomba esta en operación y otra de relevo. La bomba se arranca de forma manual (botonera local) siempre bajo la supervisión directa del operador, que debe verificar la alineación correcta de válvulas y el funcionamiento mecánico correcto. El paro puede ser manual (botonera local) o por paro de emergencia vía CCM. Para mantener un flujo de descarga constante y una operación estable de la bomba, se tiene una recirculación que es controlada a través del FIC-701, que usa el FE-701 para medir el flujo total de la bomba, y en cuanto detecta un rechazo de carga, la FV-701 abre para regresar el flujo total al valor normal de operación. En caso de un rechazo total de carga, la FV-701 tiene la capacidad de mantener en operación la bomba a flujo mínimo continuo, hasta que se decida parar ó reactivar la alimentación.

Bombas de Alimentación de Propileno a PP

Las bombas BA-702 A/B/C son del tipo vertical de lata, que succionan del tanque de almacenamiento TA-702. Para contar con un NPSH suficiente para que las bombas funcionen correctamente, el nivel del tanque debe mantenerse siempre por arriba del 10% de altura. Dos bombas estarán en operación y una de relevo. Las bombas arrancan en forma manual (botonera local) siempre bajo la supervisión directa del operador, que debe verificar la alineación correcta de válvulas y el funcionamiento mecánico correcto. El paro puede ser manual (botonera local) o por paro de emergencia vía CCM. Para mantener un flujo de descarga constante y una operación

estable de las bombas, se tiene una recirculación que es controlada a través del FIC-701, que usa el FE-701 para medir el flujo total de las bombas, y en cuanto detecta un rechazo de carga, la FV-701 abre para regresar el flujo total al valor normal de operación. En caso de un rechazo total de carga, la FV-701 tiene la capacidad de mantener en operación las bombas a flujo mínimo continuo, hasta que se decida parar una de ellas, ambas ó reactivar la alimentación.

#### Bombas de Alimentación de Propileno a las Líneas de Polimerización LP 1 y LP 2

Las bombas BA-703 A/B/C son del tipo vertical de lata, que succionan del tanque de almacenamiento TA-703. Para contar con un NPSH suficiente para que las bombas funcionen correctamente, el nivel del tanque debe mantenerse siempre por arriba del 10% de altura. El Propileno es enviado a la línea de producción 1 y a la línea de producción 2. Dos bombas estarán en operación y una de relevo. Las bombas se arrancan de forma manual (botonera local) siempre bajo la supervisión directa del operador, que debe verificar la alineación correcta de válvulas y el funcionamiento mecánico correcto.

El paro puede ser manual (botonera local) o por paro de emergencia vía CCM. La carga hacia la línea 1 debe ser a menor presión que la presión de descarga de la bomba (aprox. 25 barg), por lo que se controla la presión con PIC-701 a través de PV-701. Se tiene un transmisor de presión, que corta el suministro en caso de falla de la PV-701.

El flujo de alimentación hacia la línea 2 a alta presión (aprox. 46.7 barg) es controlada dentro la misma unidad de proceso. Para mantener un flujo de descarga constante y una operación estable de las bombas, se tiene una recirculación que es controlada a través del FIC-701, el FE-701 mide el flujo total de las bombas, y en cuanto detecta un rechazo de carga de cualquiera de las dos líneas, la FV-701 abre para regresar el flujo total al valor normal de operación. En caso de un rechazo total de carga, la FV-701 tiene la capacidad de mantener en operación las bombas a flujo mínimo continuo, hasta que se decida parar una de ellas, ambas ó reactivar la alimentación.

#### **4.7. Llenado del Formato**

Durante las reuniones del análisis se va complementando el formato de acuerdo a la secuencia indicada en la figura 2.13 y conforme a los comentarios o conclusiones a las que llega el equipo de trabajo, éste formato se guarda día a día y contiene los siguientes elementos:

- 1. Datos de referencia como son Nodo, DTI, equipos y descripción.
- 2. Causa de la desviación.
- 3. Consecuencias

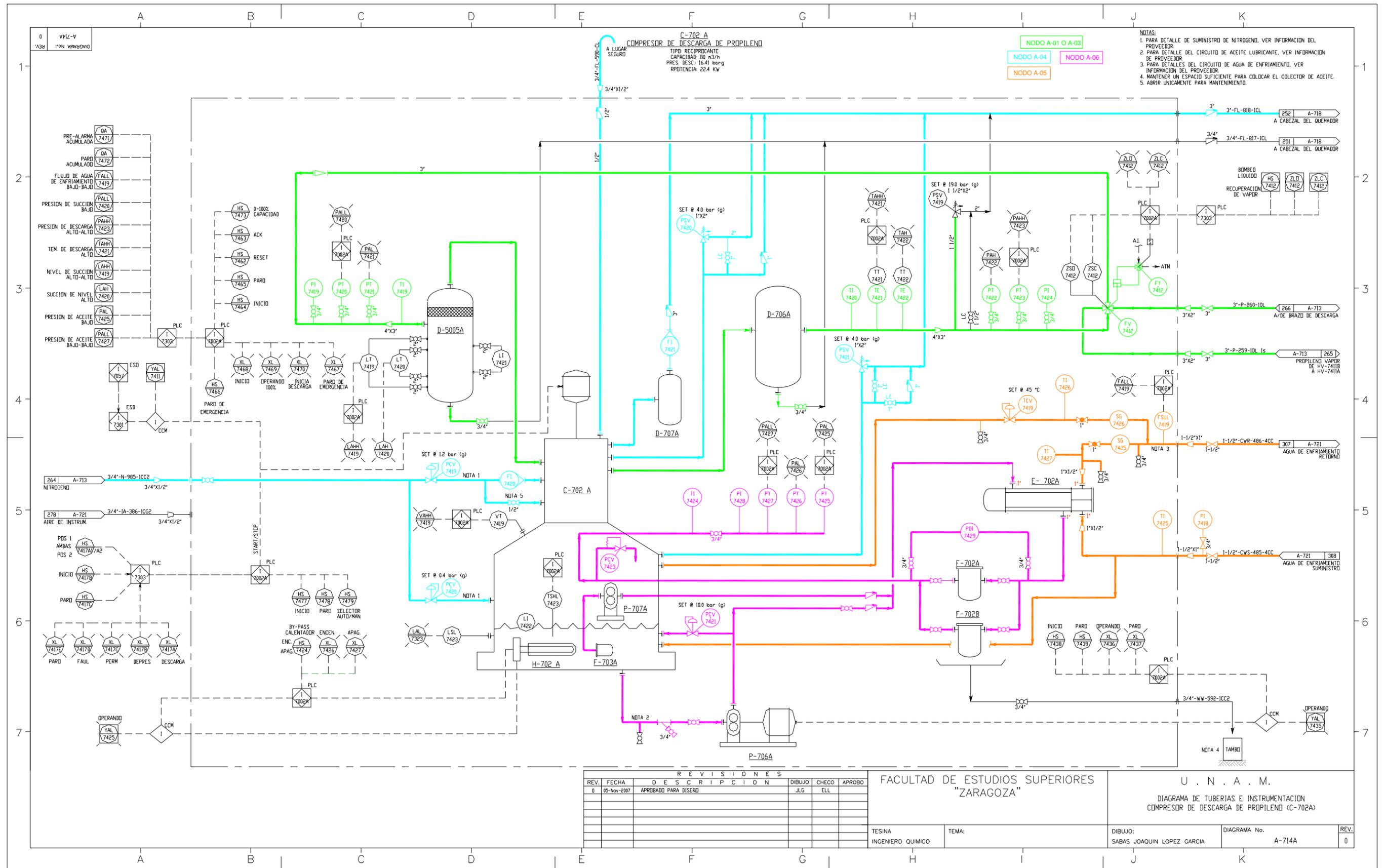
- 4. Salvaguardas.
- 5. Severidad.
- 6. Frecuencia.
- 7. Riesgo
- 8. Indicar las acciones (si se requieren).

#### **4.8. Documentación.**

Los documentos utilizados y generados durante este Análisis de Riesgos HAZOP son:

- Se utilizan los DTI's marcados con los nodos, éstos diagramas se muestran en las figuras 4.1 a 4.6.
- Se generan las hojas de trabajo, que se llenan durante cada una de las sesiones en las cuales se resume el trabajo desarrollado durante las jornadas diarias, el reporte se muestra en la tabla 4.3.
- Se genera las hojas de acción, éstas hojas incluyen los puntos clave a modificar en el proceso por cualquiera de las disciplinas involucradas en el HAZOP y permiten definir quién es el responsable y la fecha en que se debe cubrir dicho requerimiento, las hojas de acción se indican en la tabla 4.4

**DIAGRAMAS DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN  
MARCADOS CON NODOS**



REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJO	CHECO	APROBO
0	05-Nov-2007	APROBADO PARA DISEÑO	JLG	ELL	

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
 "ZARAGOZA"

TESINA  
 INGENIERO QUIMICO

TEMA:

U. N. A. M.  
 DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION  
 COMPRESOR DE DESCARGA DE PROPILENO (C-702A)

DIBUJO:  
 SABAS JOAQUIN LOPEZ GARCIA

DIAGRAMA No.  
 A-714A

REV.  
 0

Figura 4.1. DTI "Compresor de descarga de Propileno"

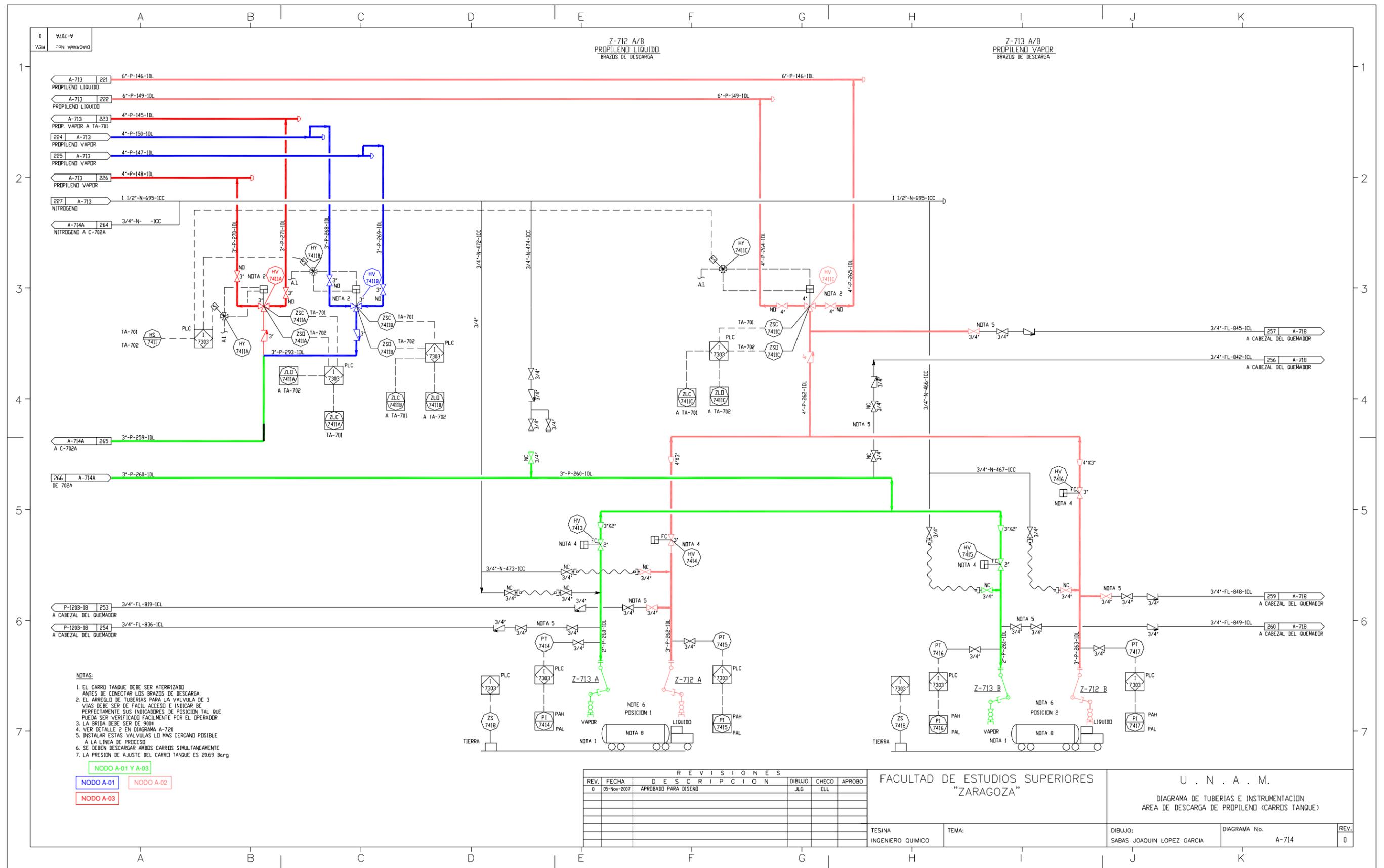


Figura 4.2. DTI "Descarga de Propileno (carros tanque)"

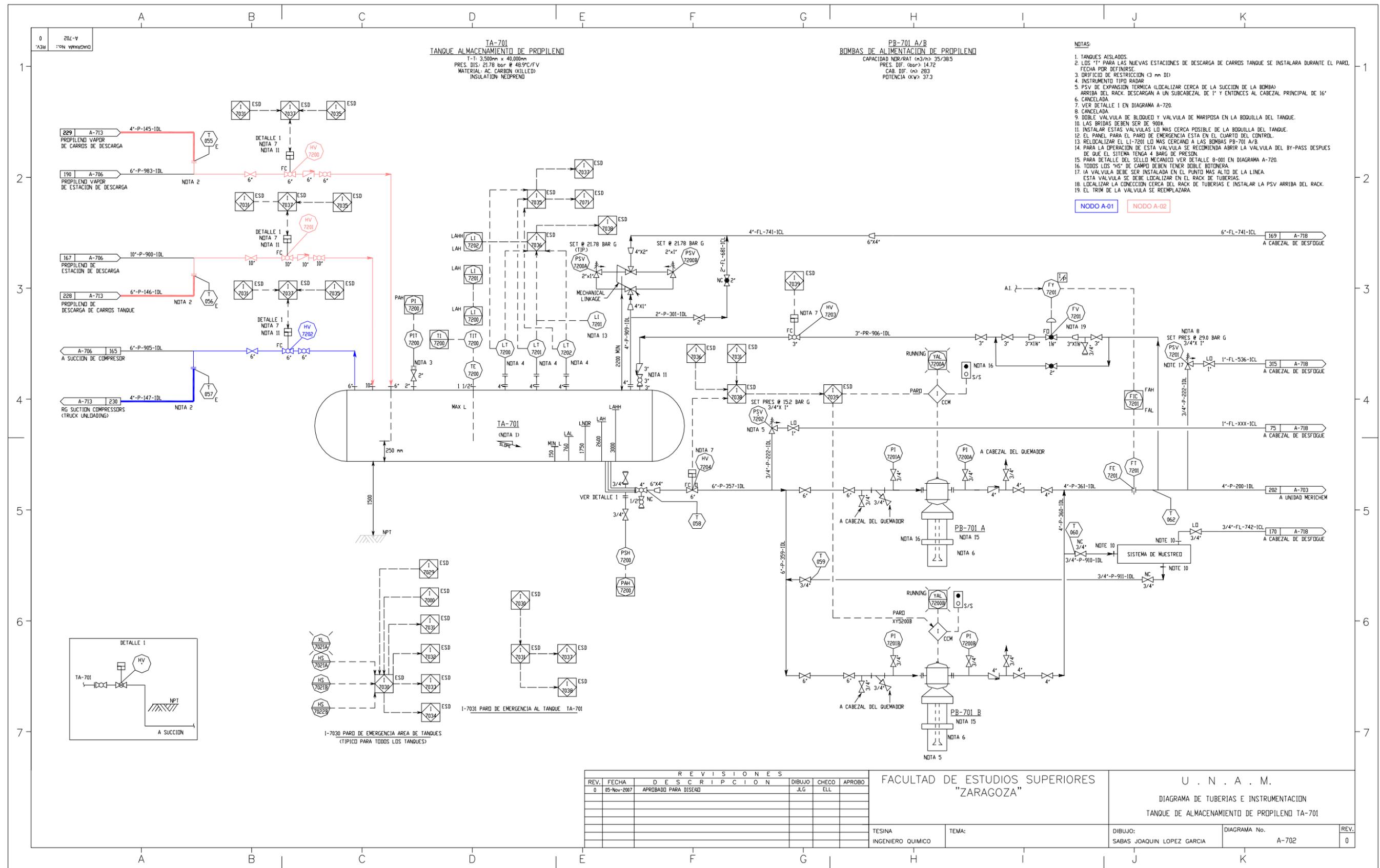


Figura 4.3. DTI "Tanque de almacenamiento de Propileno TA-701"

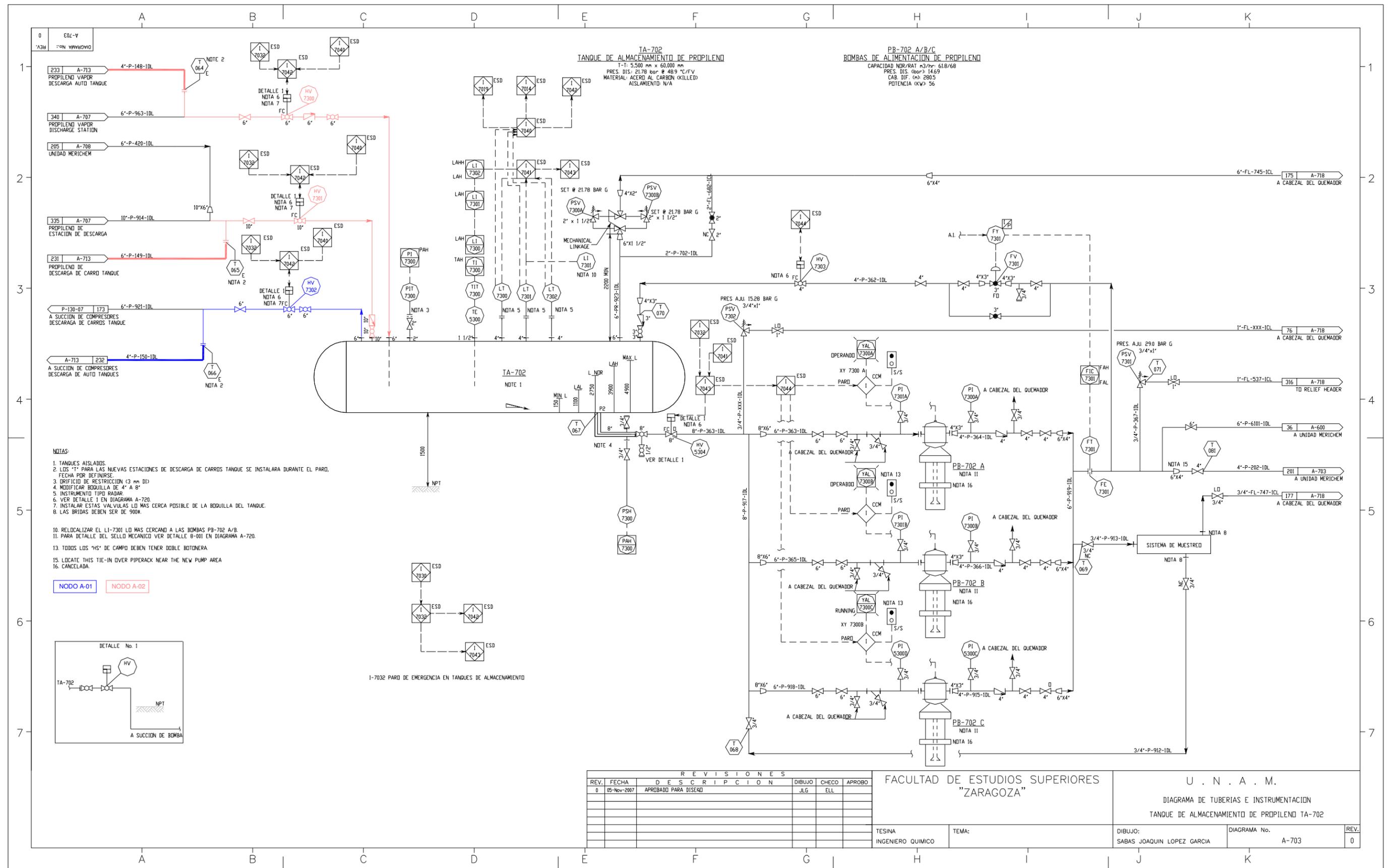


Figura 4.4. DTI "Tanque de almacenamiento de Propileno TA-702"



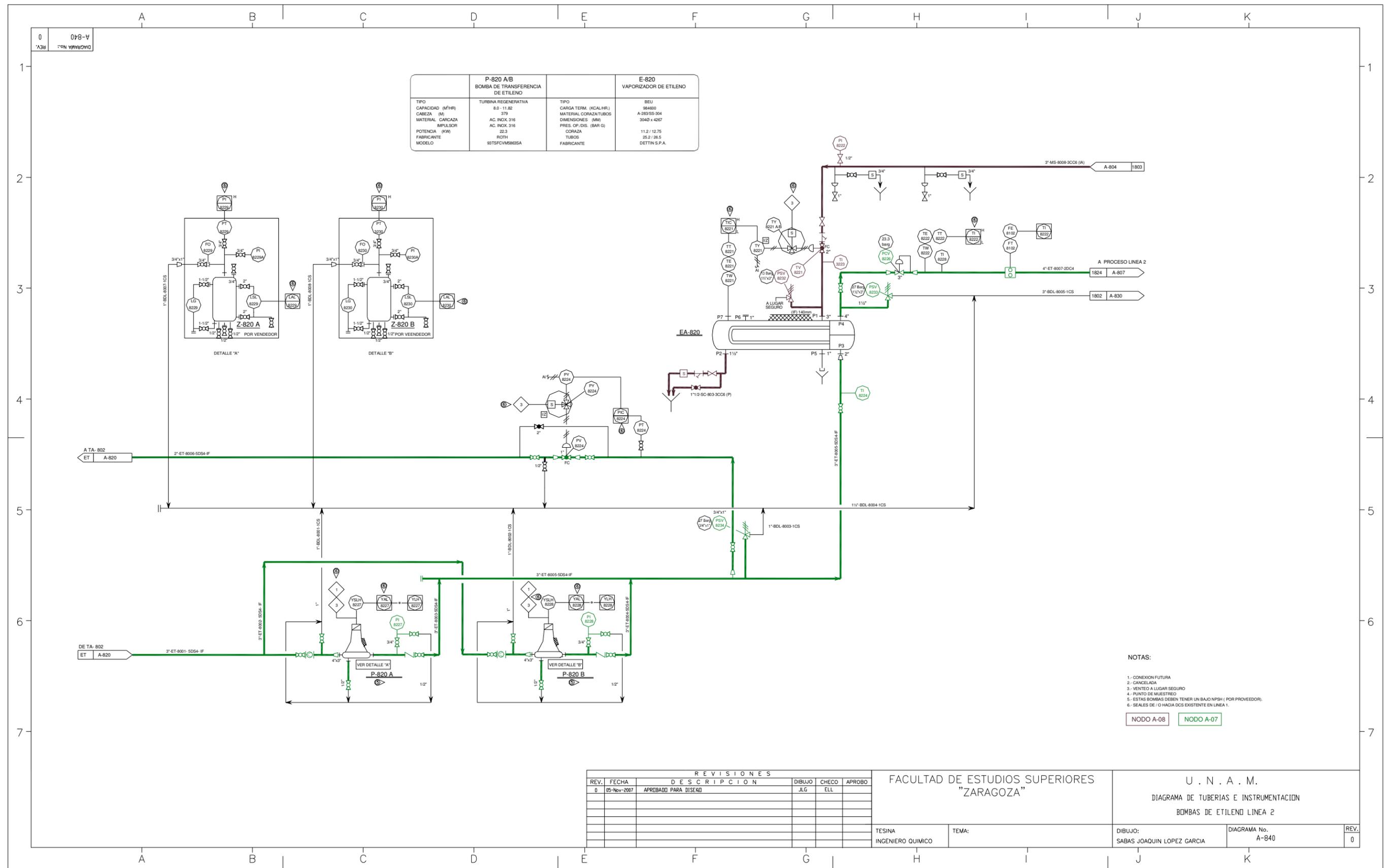


Figura 4.6. DTI "Bombas de Etileno"

**REPORTE DEL ANÁLISIS  
HAZOP**

**HOJAS DE TRABAJO**

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP			Hojas de trabajo		
SESION:	01						FECHA:12/Nov/07
NODO:	A-01						
DIAGRAMA/ TITULO:	A-714 A-714A A-702 A-703	Área de descarga de propileno (carros tanque). Compresor de descarga de propileno (C-702A) Almacenamiento de Propileno Almacenamiento de Propileno					Rev.: 0 Rev.: 0 Rev.: 0 Rev.: 0
EQUIPO:	Separador (D-705A), Compresor (C-702A), Amortiguador de pulsaciones 1a etapa (D-706A), brazos de descarga posición 1 y 2.						
PROPOSITO:	Incrementar la presión en la línea de propileno de 10 a 16.4 barg para descargar el propileno liquido de los carros tanque.						
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO NO Línea de succión al compresor	La válvula manual en la entrada del paquete del compresor del propileno permanece cerrada.  HV-7302 / 7202 cierran por cualquier posible causa..	Perdida de la alimentación y daño al compresor C-702A.  Para la descarga.	PAL-7421 en tablero local.  PT-7420 para el compresor y se alarma PALL-7420 en el DCS.  EPO (Entrenamiento y Procedimientos de Operación).	3	2	6	Adicionar señal al DCS (PAL-7421).
FLUJO NO Línea de descarga del compresor	La válvula manual a la salida del paquete del compresor del propileno permanece cerrada.  HV-7413 / HV-7415 cierran por alguna causa, mientras que la otra posición esta fuera de servicio.  No abre la válvula manual del brazo de descarga mientras que la otra posición esta fuera de servicio.	Alta presión a la descarga del compresor, potencial daño al compresor C-702A	PAH-7422 en tablero local  PAHH-7423 para el compresor y se alarma PAHH-7423 en el DCS.  PSV-7419.  Alarmas PAH-7416 o PAH-7414 en DCS  EPO  PM (Programa de mantenimiento)	3	2	6	Adicionar señal al DCS (PAH-7422).
FLUJO MENOS Línea de succión al compresor	La válvula de drenaje del D-705A se mantiene abierta.  Obstrucción del demister en el separador.	Perdida de propileno, releva al quemador.  Perdida de flujo y presión en la succión del compresor. Retardo en la descarga de carro tanque.	EPO.	1	2	2	No se requiere acción.

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP			Hojas de trabajo		
SESION:	01						FECHA:12/Nov/07
NODO:	A-01						
DIAGRAMA/ TITULO:	A-714 A-714A A-702 A-703	Área de descarga de propileno (carros tanque). Compresor de descarga de propileno (C-702A) Almacenamiento de Propileno Almacenamiento de Propileno					Rev.: 0 Rev.: 0 Rev.: 0 Rev.: 0
EQUIPO:	Separador (D-705A), Compresor (C-702A), Amortiguador de pulsaciones 1a etapa (D-706A), brazos de descarga posición 1 y 2.						
PROPOSITO:	Incrementar la presión en la línea de propileno de 10 a 16.4 barg para descargar el propileno liquido de los carros tanque.						
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO MENOS Línea de descarga del compresor	La válvula de drenaje del D-706A se mantiene abierta  La válvula del by-pass en la PSV-7419 se mantiene abierta.	Perdida de propileno, relevando al quemador.  Perdida de flujo y presión en la succión del compresor. Retardo en la descarga de carro tanque.	EPO.	1	2	2	No se requiere acción.
NIVEL MAS	El operador no vacía el D-705A cuando se requiere.	Daño al compresor C-702A debido al arrastre de líquido.	Alarma LAH-7420 en tablero local.  LAHH-7419 para el compresor y activa la alarma LAHH-7419 en DCS.  EPO.	2	2	4	No se requiere acción.
NIVEL MENOS	Condición Normal.			1	2	2	No se requiere acción.
PRESION MAS Línea de descarga del compresor	No se identifica causa.						No se requiere acción.
PRESION MENOS Línea de descarga del compresor	No se identifica causa.						No se requiere acción.

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP				Hojas de trabajo			
SESION:	01						FECHA:12/Nov/07		
NODO:	A-02								
DIAGRAMA/ TITULO:	A-714	Área de descarga de propileno (carros tanque).					Rev.: 0		
	A-702	Almacenamiento de Propileno TA-702					Rev.: 0		
	A-703	Almacenamiento de Propileno TA-703					Rev.: 0		
EQUIPO:	Carros tanque, Brazos de descarga, línea de descarga de propileno.								
PROPOSITO:	Propileno liquido de carro tanque a tanque de almacenamiento TA-701 / TA-702.								
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION		
FLUJO NO	HV-7301/7201 cierran por alguna causa.  La válvula manual aguas arriba de HV-7301/7201 permanece cerrada.  No abre la válvula manual del brazo de descarga mientras que la otra posición esta fuera de servicio.	Alta presión a la descarga del compresor, potencial daño al compresor C-702A.  Alta presión en toda la línea de descarga de propileno (carro tanque y auto tanque)  Relevo de propileno a la atmósfera en el área de carros tanque con potencial fuego y explosión.  Paro de la descarga	PAH-7422 en tablero local.  PAHH-7423 para el compresor y alarma PAHH-7423 en DCS.  PSV-7419, cerca de carro tanque (PSV-7419 con presión de ajuste por debajo de la presión de diseño del carro tanque)  EPO  PM (Programa de Mantenimiento) PAH-7414 / 7416	2	2	6	Adicionar señal a DCS (PAH-7422)		
FLUJO MENOS	No se identifica causa.						No se requiere acción.		
FLUJO MAS	Inapropiada acoplamiento del brazo de descarga.  Ruptura del brazo de descarga debido a movimiento indebido del carro tanque.	Relevo de propileno a la atmósfera en el área de carros tanque con potencial fuego y explosión.	Exceso de flujo en la válvula a la descarga del carro tanque.  EPO  El brazo de descarga se suelta.	2	1	2	No se requiere acción.		
NIVEL MAS	No se identifica causa.						No se requiere acción.		
NIVEL MENOS	Condición Normal.			1	2	2	No se requiere acción.		
PRESION MAS	No se identifica causa.						No se requiere acción.		
PRESION MENOS	No se identifica causa.						No se requiere acción.		

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP			Hojas de trabajo		
SESION: 02		FECHA:13/Nov/07					
NODO: A-03							
DIAGRAMA/ TITULO: A-714 Área de descarga de propileno (carros tanque). A-714A Compresor de descarga de Propileno (C-702A).		Rev.: 0 Rev.: 0					
EQUIPO: Separador (D-705A), Compresor (C-702A), Amortiguador de pulsaciones (D-706A), Estación de descarga posición 1 y 2.							
PROPOSITO: Recuperación de propileno vapor de carros tanque a tanques de almacenamiento.							
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO NO Línea de succión del compresor	La válvula manual a la entrada del paquete de compresor de propileno permanece cerrada.  HV-7413 o HV-7415 cierran por cualquier causa mientras que la otra posición esta fuera de servicio.  No se abre la válvula manual del brazo de descarga mientras que la otra posición esta fuera de servicio.	Perdida de alimentación y daño al compresor C-702A.  Paro en la recuperación de vapores.	PAL-7421 en tablero local.  PALL-7420 paro del compresor y alarma en DCS (PALL-7420).  PAL-7414/7416 en DCS  EPO  PM	3	2	6	Adicionar señal al DCS (PAL-7421).
FLUJO NO Línea de descarga del compresor	La válvula manual a la salida del paquete de compresor (C-702A) permanece cerrada.  HV-7300 o HV-7200 cierra por alguna causa.  La válvula manual de HV-7300 o HV-7200 permanece cerrada.  Por error se cierra la válvula manual aguas arriba de la válvula HV-7411A.	Alta presión en la línea de descarga del compresor, llevando a un posible daño al compresor C-702A.	PAH-7422 en tablero local panel  PAHH-7423 paro del compresor y alarma PAHH-7423 en DCS  PSV-7419.  EPO.  PM	3	2	6	Adicionar señal al DCS (PAH-7422).

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP			Hojas de trabajo		
SESION:	02						FECHA:13/Nov/07
NODO:	A-03						
DIAGRAMA/ TITULO:	A-714                   Área de descarga de propileno (carros tanque). A-714A                   Compresor de descarga de Propileno (C-702A).						Rev.: 0 Rev.: 0
EQUIPO:	Separador (D-705A), Compresor (C-702A), Amortiguador de pulsaciones (D-706A), Estación de descarga posición 1 y 2.						
PROPOSITO:	Recuperación de propileno vapor de carros tanque a tanques de almacenamiento.						
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO MENOS Línea de succión del compresor	La válvula de drenaje del D-705A se mantiene abierta.  Obstrucción del demister en el separador.	Perdida de propileno relevando al quemador.  Perdida de flujo y presión a la succión del compresor.  Retardo en la descarga de carro tanque.	EPO.				No se requiere acción.
FLUJO MENOS Línea de descarga del compresor	La válvula de drenaje del D-706A se mantiene abierta.  La válvula del by-pass en la PSV-7419 se mantiene abierta	Perdida de propileno relevando al quemador.	EPO	1	2	2	No se requiere acción.
NIVEL MAS	No se identifica causa.						No se requiere acción.
NIVEL MENOS	Condición normal			1	2	2	No se requiere acción.
PRESION MAS Línea de descarga del compresor	No se identifica causa.						No se requiere acción.
PRESION MENOS Línea de descarga del compresor	No se identifica causa.						No se requiere acción.

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP			Hojas de trabajo		
SESION:	01						FECHA:12/Nov/07
NODO:	A-01						
DIAGRAMA/ TITULO:	A-714 A-714A A-702 A-703	Área de descarga de propileno (carros tanque). Compresor de descarga de propileno (C-702A) Almacenamiento de Propileno Almacenamiento de Propileno					Rev.: 0 Rev.: 0 Rev.: 0 Rev.: 0
EQUIPO:	Separador (D-705A), Compresor (C-702A), Amortiguador de pulsaciones 1a etapa (D-706A), brazos de descarga posición 1 y 2.						
PROPOSITO:	Incrementar la presión en la línea de propileno de 10 a 16.4 barg para descargar el propileno liquido de los carros tanque.						
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO NO Línea de succión al compresor	La válvula manual en la entrada del paquete del compresor del propileno permanece cerrada.  HV-7302 / 7202 cierran por cualquier posible causa..	Perdida de la alimentación y daño al compresor C-702A.  Para la descarga.	PAL-7421 en tablero local.  PT-7420 para el compresor y se alarma PALL-7420 en el DCS.  EPO (Entrenamiento y Procedimientos de Operación).	3	2	6	Adicionar señal al DCS (PAL-7421).
FLUJO NO Línea de descarga del compresor	La válvula manual a la salida del paquete del compresor del propileno permanece cerrada.  HV-7413 / HV-7415 cierran por alguna causa, mientras que la otra posición esta fuera de servicio.  No abre la válvula manual del brazo de descarga mientras que la otra posición esta fuera de servicio.	Alta presión a la descarga del compresor, potencial daño al compresor C-702A	PAH-7422 en tablero local  PAHH-7423 para el compresor y se alarma PAHH-7423 en el DCS.  PSV-7419.  Alarmas PAH-7416 o PAH-7414 en DCS  EPO  PM (Programa de mantenimiento)	3	2	6	Adicionar señal al DCS (PAH-7422).
FLUJO MENOS Línea de succión al compresor	La válvula de drenaje del D-705A se mantiene abierta.  Obstrucción del demister en el separador.	Perdida de propileno, releva al quemador.  Perdida de flujo y presión en la succión del compresor. Retardo en la descarga de carro tanque.	EPO.	1	2	2	No se requiere acción.

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP			Hojas de trabajo				
SESION:	01						FECHA:	12/Nov/07	
NODO:	A-01						Rev.:	0	
DIAGRAMA/	A-714	Área de descarga de propileno (carros tanque).						Rev.:	0
TITULO:	A-714A	Compresor de descarga de propileno (C-702A)						Rev.:	0
	A-702	Almacenamiento de Propileno						Rev.:	0
	A-703	Almacenamiento de Propileno						Rev.:	0
EQUIPO:	Separador (D-705A), Compresor (C-702A), Amortiguador de pulsaciones 1a etapa (D-706A), brazos de descarga posición 1 y 2.								
PROPOSITO:	Incrementar la presión en la línea de propileno de 10 a 16.4 barg para descargar el propileno liquido de los carros tanque.								
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION		
FLUJO MENOS Línea de descarga del compresor	La válvula de drenaje del D-706A se mantiene abierta  La válvula del by-pass en la PSV-7419 se mantiene abierta.	Perdida de propileno, relevando al quemador.  Perdida de flujo y presión en la succión del compresor. Retardo en la descarga de carro tanque.	EPO.	1	2	2	No se requiere acción.		
NIVEL MAS	El operador no vacía el D-705A cuando se requiere.	Daño al compresor C-702A debido al arrastre de líquido.	Alarma LAH-7420 en tablero local.  LAHH-7419 para el compresor y activa la alarma LAHH-7419 en DCS.  EPO.	2	2	4	No se requiere acción.		
NIVEL MENOS	Condición Normal.			1	2	2	No se requiere acción.		
PRESION MAS Línea de descarga del compresor	No se identifica causa.						No se requiere acción.		
PRESION MENOS Línea de descarga del compresor	No se identifica causa.						No se requiere acción.		

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP				Hojas de trabajo			
SESION:	01						FECHA:12/Nov/07		
NODO:	A-02								
DIAGRAMA/ TITULO:	A-714	Área de descarga de propileno (carros tanque).			Rev.: 0				
	A-702	Almacenamiento de Propileno TA-702			Rev.: 0				
	A-703	Almacenamiento de Propileno TA-703			Rev.: 0				
EQUIPO:	Carros tanque, Brazos de descarga, línea de descarga de propileno.								
PROPOSITO:	Propileno liquido de carro tanque a tanque de almacenamiento TA-701 / TA-702.								
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION		
FLUJO NO	HV-7301/7201 cierran por alguna causa.  La válvula manual aguas arriba de HV-7301/7201 permanece cerrada.  No abre la válvula manual del brazo de descarga mientras que la otra posición esta fuera de servicio.	Alta presión a la descarga del compresor, potencial daño al compresor C-702A.  Alta presión en toda la línea de descarga de propileno (carro tanque y auto tanque)  Relevo de propileno a la atmósfera en el área de carros tanque con potencial fuego y explosión.  Paro de la descarga	PAH-7422 en tablero local.  PAHH-7423 para el compresor y alarma PAHH-7423 en DCS.  PSV-7419, cerca de carro tanque (PSV-7419 con presión de ajuste por debajo de la presión de diseño del carro tanque)  EPO  PM (Programa de Mantenimiento) PAH-7414 / 7416	2	2	6	Adicionar señal a DCS (PAH-7422)		
FLUJO MENOS	No se identifica causa.						No se requiere acción.		
FLUJO MAS	Inapropiada acoplamiento del brazo de descarga.  Ruptura del brazo de descarga debido a movimiento indebido del carro tanque.	Relevo de propileno a la atmósfera en el área de carros tanque con potencial fuego y explosión.	Exceso de flujo en la válvula a la descarga del carro tanque.  EPO  El brazo de descarga se suelta.	2	1	2	No se requiere acción.		
NIVEL MAS	No se identifica causa.						No se requiere acción.		
NIVEL MENOS	Condición Normal.			1	2	2	No se requiere acción.		
PRESION MAS	No se identifica causa.						No se requiere acción.		
PRESION MENOS	No se identifica causa.						No se requiere acción.		

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP			Hojas de trabajo		
SESION: 02		FECHA:13/Nov/07					
NODO: A-03							
DIAGRAMA/ TITULO: A-714 Área de descarga de propileno (carros tanque). A-714A Compresor de descarga de Propileno (C-702A).		Rev.: 0 Rev.: 0					
EQUIPO: Separador (D-705A), Compresor (C-702A), Amortiguador de pulsaciones (D-706A), Estación de descarga posición 1 y 2. PROPOSITO: Recuperación de propileno vapor de carros tanque a tanques de almacenamiento.							
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO NO Línea de succión del compresor	La válvula manual a la entrada del paquete de compresor de propileno permanece cerrada.  HV-7413 o HV-7415 cierran por cualquier causa mientras que la otra posición esta fuera de servicio.  No se abre la válvula manual del brazo de descarga mientras que la otra posición esta fuera de servicio.	Perdida de alimentación y daño al compresor C-702A.  Paro en la recuperación de vapores.	PAL-7421 en tablero local.  PALL-7420 paro del compresor y alarma en DCS (PALL-7420).  PAL-7414/7416 en DCS  EPO  PM	3	2	6	Adicionar señal al DCS (PAL-7421).
FLUJO NO Línea de descarga del compresor	La válvula manual a la salida del paquete de compresor (C-702A) permanece cerrada.  HV-7300 o HV-7200 cierra por alguna causa.  La válvula manual de HV-7300 o HV-7200 permanece cerrada.  Por error se cierra la válvula manual aguas arriba de la válvula HV-7411A.	Alta presión en la línea de descarga del compresor, llevando a un posible daño al compresor C-702A.	PAH-7422 en tablero local panel  PAHH-7423 paro del compresor y alarma PAHH-7423 en DCS  PSV-7419.  EPO.  PM	3	2	6	Adicionar señal al DCS (PAH-7422).

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP			Hojas de trabajo		
SESION:	02						FECHA:13/Nov/07
NODO:	A-03						
DIAGRAMA/ TITULO:	A-714                    Área de descarga de propileno (carros tanque). A-714A                    Compresor de descarga de Propileno (C-702A).						Rev.: 0 Rev.: 0
EQUIPO:	Separador (D-705A), Compresor (C-702A), Amortiguador de pulsaciones (D-706A), Estación de descarga posición 1 y 2.						
PROPOSITO:	Recuperación de propileno vapor de carros tanque a tanques de almacenamiento.						
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO MENOS Línea de succión del compresor	La válvula de drenaje del D-705A se mantiene abierta.  Obstrucción del demister en el separador.	Perdida de propileno relevando al quemador.  Perdida de flujo y presión a la succión del compresor.  Retardo en la descarga de carro tanque.	EPO.				No se requiere acción.
FLUJO MENOS Línea de descarga del compresor	La válvula de drenaje del D-706A se mantiene abierta.  La válvula del by-pass en la PSV-7419 se mantiene abierta	Perdida de propileno relevando al quemador.	EPO	1	2	2	No se requiere acción.
NIVEL MAS	No se identifica causa.						No se requiere acción.
NIVEL MENOS	Condición normal			1	2	2	No se requiere acción.
PRESION MAS Línea de descarga del compresor	No se identifica causa.						No se requiere acción.
PRESION MENOS Línea de descarga del compresor	No se identifica causa.						No se requiere acción.

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP				Hojas de trabajo			
SESION:	02						FECHA:13/Nov/07		
NODO:	A-04								
DIAGRAMA:	A-714A	Compresor de descarga de Propileno (C-702A).					Rev.: 0		
TITULO:									
EQUIPO:	Compresor de descarga de propileno (C-702A), línea de nitrógeno (flusing).								
PROPOSITO:	Suministro y regulación de la presión del nitrógeno para el sistema de sellos en el paquete de compresión de propileno C-702A.								
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION		
FLUJO NO Línea de nitrógeno al C-702A.	Por error se cierra la válvula manual a la entrada del paquete de compresión.	Perdida de nitrógeno, vibración y daño del compresor C-702A.	VSHH-7419 para el compresor y alarma acumulativa en DCS  EPO.	3	2	6	Confirmar consecuencia con el proveedor.		
FLUJO MAS Línea de nitrógeno al C-702A.	PCV-7420 abre por alguna causa.	Alta presión en la línea de nitrógeno y potencial daño al compresor C-702A.	PSV-7421.  PM.	2	2	4	Asegurar que la PCV-7420, y PSV-7421 se incluyan en el programa de mantenimiento (PM).		
	Por error se mantiene totalmente abierto el indicador de flujo FI-7420.	Nitrógeno en exceso al desfogue.	EPO.	2	2	4	No se requiere acción.		
	Se mantiene abierta la válvula del by-pass del FI-7420, cuando no se requiere.	Perdida de nitrógeno a la atmósfera, potencial pérdida de nitrógeno al sistema de sellos y daño al compresor.	EPO.				Solicitar al vendedor el suministro de la válvula del by-pass del FI-7420 para poder bloquearla.		
	Falla de la válvula PCV-7419.	Alta presión en la línea de nitrógeno y potencial daño al compresor C-702A.	PSV-7420  PM.	2	2	4	Asegurar que la PCV-7419, y PSV-7420 se incluyan en el programa de mantenimiento (PM).		
FLUJO MENOS Línea de nitrógeno al C-702A.	Por error se cierra el indicador de flujo FI-7420.	Perdida de nitrógeno y daño al compresor C-702A.	EPO.	2	2	4	No se requiere acción.		

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP				Hojas de trabajo		
SESION: 02		FECHA:13/Nov/07						
NODO: A-04								
DIAGRAMA: A-714A		Compresor de descarga de Propileno (C-702A).				Rev.: 0		
TITULO:								
EQUIPO: Compresor de descarga de propileno (C-702A), línea de nitrógeno (flusing).								
PROPOSITO: Suministro y regulación de la presión del nitrógeno para el sistema de sellos en el paquete de compresión de propileno C-702A.								
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION	
FLUJO INVERSO Línea de nitrógeno al C-702A.	Disminuye la presión del cabezal de nitrógeno entonces el propileno a mayor presión fluye hacia el cabezal de nitrógeno.	Contaminación del nitrógeno puede llevar a alto potencial de fuego o explosión.	FI-7420.  By-pass del FI-7420 se mantiene normalmente cerrado.	3	4	8	Solicitar al vendedor el suministro de la válvula del by-pass FI-7420 para poder bloquearla.  Instalar válvula check en la línea de suministro al paquete de compresión.	
PRESION MAS Línea de nitrógeno al C-702A.	No se identifica causa.						No se requiere acción.	
PRESION MENOS Línea de nitrógeno al C-702A.	No se identifica causa.						No se requiere acción.	

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP			Hojas de trabajo		
SESION:	03					FECHA:14/Nov/07	
NODO:	A-05						
DIAGRAMA/ TITULO:	A-714A	Compresor de descarga de Propileno (C-702A).				Rev.: 0	
EQUIPO:	Compresor de Propileno (C-702A), circuito de agua de enfriamiento.						
PROPOSITO:	Suministrar agua de enfriamiento para prevenir el incremento de temperatura del compresor de propileno y su sistema de lubricación.						
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO NO Línea de sum./ret. de agua de enfriamiento al paquete de compresión de propileno	La válvula manual de sum./ret. de agua de enfriamiento permanece cerrada	Sobrecalentamiento del compresor, daño al compresor.	FSLL-7419 para el compresor y activa la alarma FALL-7419 en DCS.  EPO.	2	2	4	Preguntar al proveedor si se requiere protección por alta temperatura debido al circuito de aceite lubricante.
	Falla del agua de enfriamiento	Sobrecalentamiento del compresor por el sistema de lubricación, potencial daño al equipo. Incremento de temperatura en la línea de descarga del compresor.	EPO.  TT-7422 activa la alarma TAH-7422 en el tablero local.  TT-7421 para el compresor y activa la alarma TAHH-7421 en DCS.	2	2	2	No se requiere acción.
	El cabezal de agua de enfriamiento se mantiene bloqueado.	Expansión térmica, posible daño al sistema de enfriamiento.	EPO.	2	4	8	Adicionar una válvula de seguridad en la línea de retorno de agua de enfriamiento.
FLUJO MENOS Línea de sum./ret. de agua de enfriamiento al paquete de compresión de propileno.	La válvula manual de retorno de agua de enfriamiento permanece cerrada  La válvula manual de retorno de agua de enfriamiento del E-702A permanece cerrada.	Ver el caso: NO FLUJO.					

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP			Hojas de trabajo		
SESION:	03						FECHA:14/Nov/07
NODO:	A-05						
DIAGRAMA/ TITULO:	A-714A	Compresor de descarga de Propileno (C-702A).				Rev.: 0	
EQUIPO:	Compresor de Propileno (C-702A), circuito de agua de enfriamiento.						
PROPOSITO:	Suministrar agua de enfriamiento para prevenir el incremento de temperatura del compresor de propileno y su sistema de lubricación.						
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO MAS Líneas de sum./ret. agua de enfto. al paquete de compresión de propileno.	Condición normal.	No se identifican consecuencias.		1	2	2	No se requiere acción.
PRESION MAS Línea de sum./ret. agua de enfto. al paquete de compresión de propileno.	No se identifica causa.						No se requiere acción.
PRESION MENOS Línea de sum./ret. agua de enfto. al paquete de compresión de propileno.	No se identifica causa.						No se requiere acción.
TEMPERATURA MAS Línea de sum./ret. agua de enfto. al paquete de compresión de propileno.	No se identifica causa.						No se requiere acción.

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP				Hojas de trabajo	
SESION:	03					FECHA: 14/Nov/07	
NODO:	A-06						
DIAGRAMA:	A-714A	Compresor de descarga de Propileno (C-702A).				Rev.: 0	
TITULO:							
EQUIPO:	Compresor de propileno (C-702A), Circuito de aceite lubricante.						
PROPOSITO:	Suministro de aceite lubricante a partes mecánicas del compresor C-702A.						
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO NO	Falla la bomba P-707A.	Perdida de lubricación, daño al compresor.	Bomba de relevo P-706A.  PT-7426 activa la alarma PAL-7426 en DCS.  PT-7427 arranca la bomba de relevo P-706A y activa la alarma PAL-7427 en DCS.  PT-7425 para el compresor C-702A y activa la alarma PALL-7425 en DCS.	2	1	2	No se requiere acción.
FLUJO MENOS	Obstrucción del filtro del aceite lubricante (F-703A).  Obstrucción del filtro en línea de la bomba de aceite lubricante.  Incremento de la viscosidad del aceite lubricante debido a las condiciones ambientales.	Igual que: FLUJO NO (caso menos severo).    Sobrepresión en la descarga de la bomba P-707A.	EPO.  PM.   TSL-7423 arranca el calentador eléctrico H-702A.  PCV-7422.	2	2	4	Preguntar al proveedor si una alarma de alta caída de presión se requiere para el filtro de aceite lubricante.
FLUJO MAS	Condición normal.			1	2	2	No se requiere acción.
NIVEL MAS	Condición normal.			1	2	2	No se requiere acción.

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP				Hojas de trabajo	
SESION:	03					FECHA: 14/Nov/07	
NODO:	A-06						
DIAGRAMA:	A-714A	Compresor de descarga de Propileno (C-702A).				Rev.: 0	
TITULO:							
EQUIPO:	Compresor de propileno (C-702A), Circuito de aceite lubricante.						
PROPOSITO:	Suministro de aceite lubricante a partes mecánicas del compresor C-702A.						
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
NIVEL MENOS	Falla reposición de aceite lubricante.	Presión y flujo decrecen en la línea de aceite, daño a la bomba P-707A y al compresor C-702A.	LSL-7423 activa la alarma LAL-7423 en tablero local.  PT-7426 activa la alarma PAL-7426 en DCS.  PT-7427 arranca la bomba de relevo P-706A y activa la alarma PAL-7427 en DCS.  PT-7425 para el compresor C-702A y activa la alarma PALL-7425 en DCS.  EPO.	1	3	3	No se requiere acción.
TEMPERATURA MENOS	No se identifica causa.						No se requiere acción.
TEMPERATURA MAS	No se identifica causa.						

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP				Hojas de trabajo	
SESION:	04					FECHA: 15/Nov/07	
NODO:	A-07						
DIAGRAMA/ TITULO:	A-820 Almacenamiento de etileno A-830 Bombas de etileno Línea 2					Rev.: 0 Rev.: 0	
EQUIPO:	Bombas de transferencia de etileno (PB-820 A/B); Vaporizador de etileno (E-820).						
PROPOSITO:	Las bombas de etileno del tanque de almacenamiento a 6.5 barg & -60 °C, envían etileno a la nueva línea de producción a través del vaporizador para incrementar las condiciones a 24.8 barg & -2 °C.						
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION
FLUJO NO	Valvulas de bloque cerrada corriente arriba de las bombas PB-820 A/B.  Valvulas de bloqueo cerrada corriente abajo de las bombas PB-820 A/B.	Perdida de flujo y daño a las bombas PB-820 A/B  Perdida de alimentación a proceso, provocando perdida de calidad al producto.	PAL-8102.  EPO.	2	4	8	Fijar alarma de bajo y bajo-bajo flujo al trasmisor de flujo FT-8102.
FLUJO MENOS	Valvulas de bloqueo cerradas corriente arriba del E -820.	Perdida de alimentación a proceso, provocando perdida de calidad al producto.	PAL-8102.  EPO.	2	4	8	Fijar alarma de bajo y bajo-bajo flujo al trasmisor de flujo FT-8102.
	Valvulas de bloqueo cerradas corriente abajo E -820.  PV-8224 cierra por alguna causa.	Perdida de alimentación a proceso, provocando perdida de calidad al producto.  Sobrepresión en el vaporizador E-820, potencial ruptura de tubos en el vaporizador.	PSV-8233.  EPO.	2	4	8	Fijar alarma por alta presión del transmisor PT-8224. Analizar si la valvula de seguridad PSV-8232 puede dimensionarse por ruptura de tubos (considerar congelamiento de agua).
	Valvulas de drenaje y/o purga de la PB-820 A/B se abren cuando no es necesario. Valvulas de purga del PI-8227 or PI-8228 se abren cuando no es necesario.	Perdida de etileno al cabezal del quemador.	EPO.	1	3	3	No se requiere acción.
	Se abre la válvula del by-pass del PV-8224 cuando no es necesario. La PV-3224 abre por alguna causa.	Decrece la alimentación de etileno al proceso.	PAL-8102  EPO.  PM.	2	3	6	Fijar una alarma por baja presión en PT-8224.

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP				Hojas de trabajo			
SESION:	04						FECHA: 15/Nov/07		
NODO:	A-07								
DIAGRAMA/ TITULO:	A-820 Almacenamiento de etileno A-830 Bombas de etileno Línea 2						Rev.: 0 Rev.: 0		
EQUIPO:	Bombas de transferencia de etileno (PB-820 A/B); Vaporizador de etileno (E-820).								
PROPOSITO:	Las bombas de etileno del tanque de almacenamiento a 6.5 barg & -60 °C, envían etileno a la nueva línea de producción a través del vaporizador para incrementar las condiciones a 24.8 barg & -2 °C.								
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION		
FLUJO MAS	La PCV-8226 abre por alguna causa.	Incremento de alimentación de etileno al proceso, temporal descontrol en el proceso.	PM.	1	3	3	Fijar alarma a alto y muy alto flujo en el transmisor FT-8102.		
PRESION MAS	Alta presión en E-8020, lado tubos, cuando se bloquea para liberarlo a mantenimiento.	Potencial ruptura de tubos o conexiones.	PSV-3233. EPO.	1	3	3	No se requiere acción.		
PRESION MENOS	No se identifica causa.								

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"		REPORTE DEL ANALISIS HAZOP				Hojas de trabajo		
SESION: 04		FECHA: 15/Nov/07						
NODO: A-08								
DIAGRAMA/ TITULO: A-830 Bombas de etileno Línea 2		Rev.: 0						
EQUIPO: Vaporizador de etileno (E-820), suministro de vapor.								
PROPOSITO: Se suministra vapor para calentar el etileno de -60 °C a -2 °C para enviarlo a la nueva línea de producción2.								
DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	C	P	R	ACCION	
FLUJO NO	La valvula manual corriente arriba de la TV-8221 permanece cerrada.  La TV-8221 se cierra por alguna causa.	Perdida de intercambio térmico, etileno liquido fluye hacia el proceso daño potencial al equipo en la linea 2.	TAL-8221. TAL-8222.	2	3	6	Adicionar una alarma por baja temperatura de TAL-8222 para detener el suministro de etileno al sistema.  Instalar by-pass a TV-8221	
FLUJO MENOS	Bloqueo del filtro en línea al E-8020 a la salida, lado coraza.  Falla de la trampa de vapor.	Similar a: FLUJO NO, pero con menos severidad.	TAL-8221. TAL-8222.  PM	1	3	3	Incluir las trampas de vapor en el programa de mantenimiento.	
TEMPERATURA MENOS	No se identifica causa.							
TEMPERATURA MAS	No se identifica causa.							
PRESION MENOS	No se identifica causa.							
PRESION MAS	No se identifica causa.							

Tabla 4.3. Reporte del análisis HAZOP (cont.)

**REPORTE DEL ANÁLISIS  
HAZOP**

**HOJAS DE ACCIONES**

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"			REPORTE DEL ANALISIS HAZOP HOJAS DE ACCIONES				
N.	NODO	DESVIACION	ACCION	POR	SEGUIMIENTO	RESPONSABLE	FECHA
1	A01	No Flujo en la succión del compresor	Adicionar señal al DCS (PAL-7421).	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07
2	A01	No Flujo a la descarga del compresor	Adicionar señal al DCS (PAH-7422).	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07
3	A02	No Flujo	Adicionar señal al DCS (PAH-7422).	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07
4	A03	No Flujo en la succión del compresor	Adicionar señal al DCS (PAL-7421).	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07
5	A03	No Flujo a la descarga del compresor	Adicionar señal al DCS (PAH-7422)	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07
6	A04	No Flujo en la línea de nitrógeno al C-702A.	Confirmar consecuencia con el proveedor.	Ingeniería / Cliente	Obtener confirmación del vendedor	JLG ELL	25/Nov/07
7	A04	Mas Flujo en la línea de nitrógeno al C-702A.	Asegurar que la PCV-7420, y PSV-7421 se incluyan en el programa de mantenimiento (PM).	Cliente	Actualizar el PM, si se requiere.	ELL	Dic/07
8	A04	Mas Flujo en la línea de nitrógeno al C-702A.	Solicitar al vendedor el suministro de la válvula del by-pass del FI-7420 para poder bloquearla.	Ingeniería / Cliente	Obtener confirmación del vendedor	JLG ELL	25/Nov/07
9	A04	Mas Flujo en la línea de nitrógeno al C-702A.	Asegurar que la PCV-7419, y PSV-7420 se incluyan en el programa de mantenimiento (PM).	Cliente	Actualizar el PM, si se requiere.	ELL	Dic/07
10	A04	Flujo Inverso en línea de nitrógeno al C-702A.	Solicitar al vendedor el suministro de la válvula del by-pass del FI-7420 para poder bloquearla.	Ingeniería / Cliente	Obtener confirmación del vendedor	JLG ELL	25/Nov/07
11	A04	Flujo Inverso en línea de nitrógeno al C-702A.	Instalar válvula check en la línea de suministro al paquete de compresión.	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07
12	A05	No Flujo en la línea de sum./ret. de agua de enfriamiento al paquete de compresión de propileno.	Preguntar al proveedor si se requiere protección por alta temperatura debido al circuito de aceite lubricante.	Ingeniería / Cliente	Obtener confirmación del vendedor	JLG ELL	25/Nov/07

Tabla 4.4. Hojas de acciones

Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza"			REPORTE DEL ANALISIS HAZOP HOJAS DE ACCIONES					
N.	NODO	DESVIACION	ACCION	POR	SEGUIMIENTO	RESPONSABLE	FECHA	
13	A05	El cabezal de agua de enfriamiento se mantiene bloqueado.	Adicionar una válvula de seguridad en la línea de retorno de agua de enfriamiento.	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07	
14	A06	Menos flujo	Preguntar al proveedor si una alarma de alta caída de presión se requiere para el filtro de aceite lubricante.	Ingeniería / Cliente	Obtener confirmación del vendedor	JLG ELL	25/Nov/07	
15	A07	No flujo de etileno a bombas PB-820A/B	Fijar alarmas de bajo, muy bajo, alto y muy alto flujo del transmisor FT-8102.	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07	
16	A07	Menos flujo de etileno a bombas PB-820A/B	Fijar alarmas de alta y baja presión del transmisor PT-8224.	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07	
17			Analizar si la valvula de seguridad PSV-8232 puede dimensionarse por ruptura de tubos (considerar congelamiento de agua).	Ingeniería	Actualizar el DTI de requerirse	JLG	20/Nov/07	
18	A08	No flujo de vapor al vaporizador E-820.	Adicionar una alarma por baja temperatura de TAL-8222 para detener el suministro de etileno al sistema.	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07	
19			Incluir las trampas de vapor en el programa de mantenimiento.	Cliente	Actualizar el PM, si se requiere.	ELL	Dic/07	
20			Instalar by-pass a TV-8221	Ingeniería	Actualizar el DTI	JLG	20/Nov/07	
<b>Notas:</b> 1.- Aplicar las acciones 1 a 13 al compresor C-702B que corresponde al otro tren de descarga de propileno, que es similar al análisis realizado al compresor C-702A. Debiendo considerar los DTI's A-715 y A-715B.								

Tabla 4.4. Hojas de acciones (cont.)

**DIAGRAMAS DE TUBERÍAS E INSTRUMENTACIÓN  
CON COMENTARIOS DEL HAZOP**



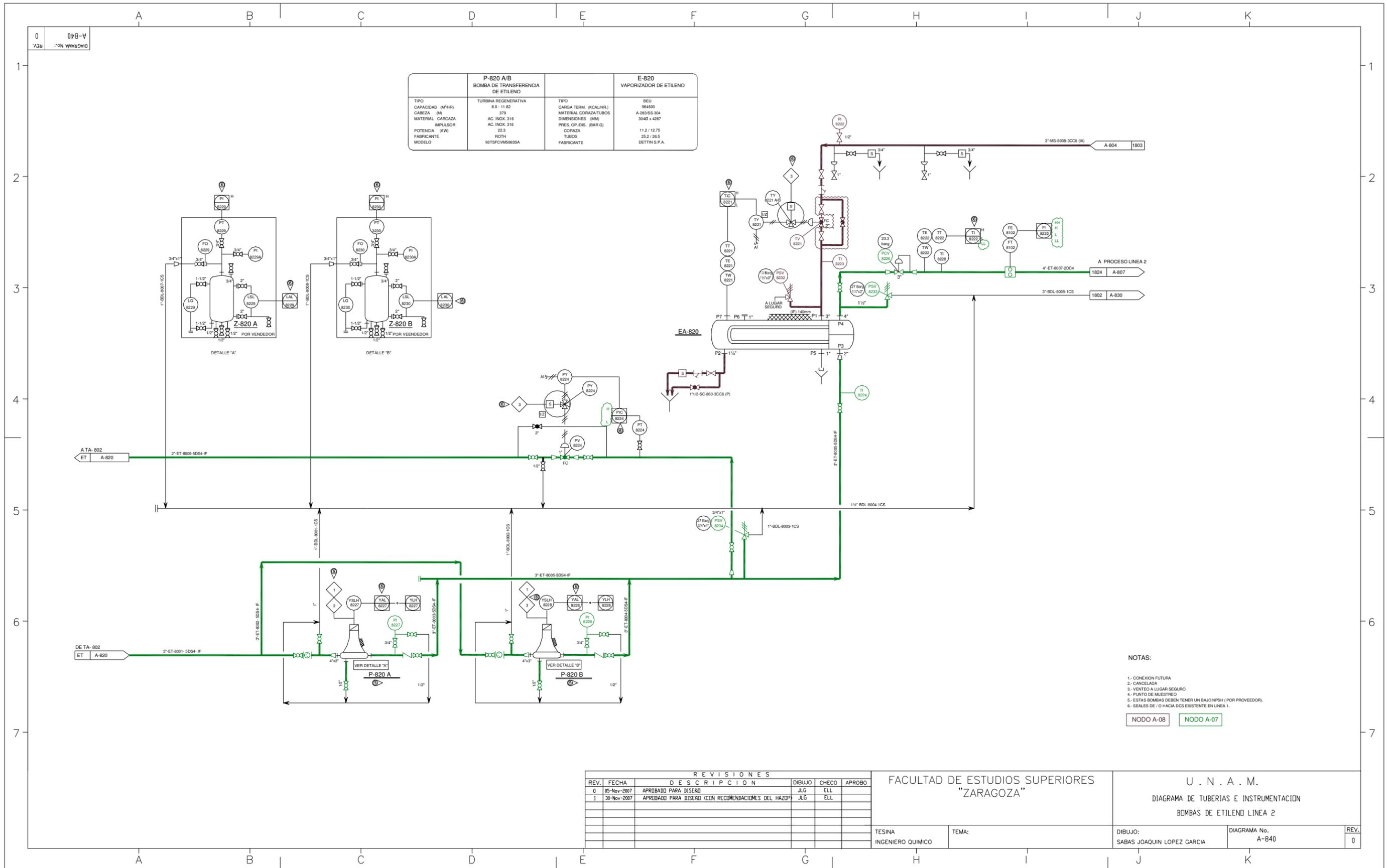


Figura 4.8. DTI "Bombas de Etileno" (comentarios del HAZOP)

### 5. Análisis de Resultados

De acuerdo con los resultados obtenidos, se tiene:

- Una vez que obtenidas las acciones, se plasman en los DTI's y se emiten, con la descripción que identifique adecuadamente la nueva revisión, por ejemplo "Con recomendaciones del HAZOP". Estas acciones se observan claramente en las figuras 4.7 a 4.8, en donde las acciones se indican marcadas con una nube (donde solamente se incluyen aquellos diagramas que muestran actualizaciones). Esto permite a todas las disciplinas involucradas identificar los cambios y/o adiciones al alcance del proyecto.
- De acuerdo a lo indicado en la tabla 4.3, se determina que la mayoría de los casos se encuentra en un nivel de riesgo bajo, es decir, las protecciones indicadas son suficientes para considerar que las operaciones pueden continuar sin requerir de acciones adicionales. Estos casos están definidos con un valor de nivel de riesgo menor a 6. No obstante se proporciona un tipo de acción cuando se tiene un valor del nivel de riesgo igual a 6, de tal forma que al aplicar la acción sugerida el valor de nivel de riesgo disminuya a un valor por debajo de 6. Sin que necesariamente represente un costo económicamente alto para la aplicación de dichas acciones.
- La tabla 4.3 también indica casos en los cuales se tiene un nivel de riesgo medio, están definidos entre un rango de 8 a 12, lo cual implica directamente la aplicación de acciones para bajar este nivel de riesgo por debajo de 6. Las acciones sugeridas deben implementarse independientemente de los recursos, es decir, no importa el costo económico ni humano.
- El Análisis de riesgo no arroja ningún caso con un nivel de riesgo alto, es decir, valores entre 15 y 25. Esto implica directamente que la seguridad en el proceso como en la operación es aceptable.
- La tabla 4.4, indica aquellas acciones que cubren un nivel de riesgo de 4 y mayores, donde algunas tienen prioridad para implementarse, lo anterior no implica que se deje de poner atención a todas y cada una de las acciones a solventar

- De acuerdo a la tabla 4.3 y la tabla 4.4, se identifican como acciones prioritarias aquellas que tengan un nivel de Riesgo “R” alto, es decir, mientras mayor sea el valor de “R” mayor prioridad se tiene para aplicar las acciones determinadas durante las jornadas de trabajo (ver columna N, tabla 4.4). Se tiene prioridad de atención a los puntos 10, 13, 11, 15 y 16. El siguiente nivel de importancia esta formado por los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 18 y 20. Finalizando con los puntos de menor riesgo, que son los puntos 7, 8, 9, 12, 14, 17 y 19.

---

## Conclusiones

---

De acuerdo a los resultados obtenidos, se tienen las siguientes conclusiones:

- Se tienen diversos métodos de Análisis de Riesgo, cada uno con diferentes formas de desarrollo, donde el HAZOP resulta ser el método más usado por realizar un análisis más exhaustivo y metódico, siendo una excelente herramienta para identificar y reducir riesgos de prácticamente cualquier tipo de proceso.
- El seguimiento adecuado del método HAZOP lleva a la elaboración de un Análisis de Riesgo con un alto grado de certidumbre para minimizar riesgos. No obstante, se debe considerar que los resultados dependen de la experiencia de todos los integrantes del equipo de análisis.
- Mientras más especialistas participan en el Análisis de Riesgos mas definidas se tienen las acciones a realizar para disminuir las causas y por ende las consecuencias en el proceso analizado.
- Es indispensable que el líder del Análisis de Riesgos o “facilitador” lleve un control de las acciones a implementar en la siguiente etapa de ingeniería, independientemente de la etapa en que se encuentre el proyecto Lo cual permite al final disminuir el nivel de riesgo en el proceso.
- Al seleccionar varios responsables para darle continuidad al cumplimiento de las acciones sugeridas, permite que todas las disciplinas se involucren y se disminuya el tiempo de ejecución de las acciones.
- Mientras más avanzado se encuentre el proyecto más costoso resulta realizar cualquier cambio y/o actualización al diseño, secuencia del proceso o control del mismo.
- Si la información generada por el HAZOP no es tomada en cuenta, el riesgo permanece latente y por ende en cualquier momento puede suceder un accidente una vez que el proceso arranque.

Las siguientes representan conclusiones personales para la aplicación del Análisis de Riesgos:

- Las empresas realmente deben comprometerse aplicando el Análisis de Riesgos a su proceso, atendiendo simultáneamente la seguridad del personal, de la planta y con ello ayudando incluso a mejorar un medio ambiente el cual sufre un deterioro constante y por tanto a evitar posibles accidentes que pueden resultar en catástrofes de importancia.
- Se requiere promover entre las empresas el tener más personal capacitado para desarrollar Análisis de Riesgos, de tal forma que se permita desarrollar dentro de la firma de ingeniería cuando menos uno o dos análisis de riesgo durante la vida del proyecto, sin que por ello represente un costo elevado. Ya que actualmente muchas empresas tienen que contratar a un tercero con experiencia para desarrollar éste análisis, lo cual implica un costo mayor en el proyecto. Además, se tiene la desventaja que la empresa contratada lo realiza en un mayor tiempo ya que primero debe de entender perfectamente el proceso y después aplicar el análisis.
- Es necesario, que en la formación del Ingeniero Químico, se den seminarios para aplicar este tipo de métodos. Ya que de algunos años a la fecha, ésta actividad se desarrolla en forma común en cualquier proyecto independientemente de la etapa en que se encuentre. Esto representa un esfuerzo tanto para el plantel como para el propio alumno, pero es un elemento básico necesario para dar inicio a una vida profesional de calidad.

---

## Bibliografía

---

- [ 1 ] “Guía Técnica: Métodos cualitativos para el análisis de riesgos”, Dirección General de Protección Civil Española, España, 2004.
- [ 2 ] “Guidelines for Hazard Evaluations Procedures”, Center for Chemical Process Safety (CCPS), Second Edition with Worked Examples; American Institute of Chemical Engineers, New York (1992).
- [ 3 ] “Introduction to Layer of Protection Layer”, Angela E. Summers, Published in Journal of Hazardous Materials, Texas A&M University (October 2002).
- [ 4 ] “Layers of Protection Analysis: Simplified Process Risk Assessment”, Center for Chemical Process Safety (CCPS), American Institute of Chemical Engineers, New York (2001).
- [ 5 ] “Process Hazards Analysis Team Leader Training Course”. Fluor Daniel, Inc. Process Department, Houston, Texas (1998)
- [ 6 ] “Perry’s Chemical Engineer’s Handbook”, 7<sup>th</sup>. Ed., Robert H. Perry and Don W. Green. Mc Graw Hill, 1999.

## DIRECCIONES DE INTERNET

[www.proteccioncivil.org](http://www.proteccioncivil.org) (Dirección General de Protección Civil Española)  
[www.unizar.es](http://www.unizar.es)