



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

APLICACION DE LA TECNICA DE ANALISIS DE RIESGO HAZOP EN PROCESO DE POLIMERIZACION NYLON 6 (NHAT)

TRABAJO ESCRITO VIA CURSOS DE EDUCACION CONTINUA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

PRESENTA
FERNANDO JAVIER RIVERA SANCHEZ



MEXICO, D. F.

2006



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
AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

APLICACION DE LA TECNICA DE ANALISIS
DE RIESGO HAZOP EN PROCESO DE
POLIMERIZACION NYLON 6 (NHAT)

TRABAJO ESCRITO VIA CURSOS DE
EDUCACION CONTINUA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO
PRESENTA

FERNANDO JAVIER RIVERA SANCHEZ



MEXICO, D. F.

2006

Jurado asignado:

Presidente Ramón E. Domínguez Betancourt

Vocal Irma Cruz Gavilán García

Secretario Raúl Sánchez Meza

1er. Suplente Francisco Javier Garfías Vázquez

2º. Suplente Sara Elvia Meza Galindo

Sitio en donde se desarrolló el tema:

Instituto Nacional de Control de Pérdidas, S.A. de C.V. México D.F.

Raúl Sánchez Meza
Nombre completo y firma del
asesor del tema

Fernando Javier Rivera Sánchez
Nombre completo y firma
del sustentante

Agradecimientos:

A mi madre:

Elsa Lorena Sánchez Félix.

Mi inmenso amor y respeto por verme brindado
con mucho esfuerzo una carrera profesional.

A mi esposa:

Delia Castro López.

Todo mi amor y cariño por su gran apoyo
y comprensión incondicional.

A mi asesor:

Ing. Raúl Sánchez M.

Por su ayuda en la elaboración de la tesina.

Y ante todo a Dios nuestro señor, por estar
siempre vivo en mí.

INDICE

1. - INTRODUCCIÓN.....	2
1.1.- HISTORIA ANÁLISIS DE RIESGO.....	2
1.2.- DEFINICIONES.....	5
1.3.- NORMATIVIDAD APLICABLE EN ANÁLISIS DE RIESGO.....	9
OSHA 1910.119 Y NOM-028-STPS-2004	
2. - TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.....	13
2.1.- CUALITATIVAS.....	13
2.2.- CUANTITATIVAS.....	14
2.3.- DE EFECTO.....	15
3. - METODOLOGÍA ANÁLISIS DE RIESGO HAZOP.....	17
4. - PROCESO DE FABRICACIÓN DE NYLON 6.....	23
4.1.- HISTORIA.....	23
4.2.- DESCRIPCIÓN PROCESO.....	24
4.2.1.- DIAGRAMA DE FLUJO.....	28
4.2.2.- DTI DEL ÁREA DEL PROCESO A ANALIZAR.....	29
5. - APLICACIÓN DE LA TÉCNICA HAZOP.....	30
6.- CONCLUSIONES.....	39
7.- BIBLIOGRAFÍA.....	41

1. - INTRODUCCIÓN

1.1. - HISTORIA ANÁLISIS DE RIESGO

El Primer registro del uso de **análisis de riesgo estructurado** fue en el año 3.200 AC. Con la Tribu Asipu que vivía en el valle del Tigris y Éufrates, cuya función era servir de consultores para decisiones riesgosas e inciertas. Identificaban las dimensiones del problema, recolectaban datos (que eran los presagios de los dioses) que interpretaban y producían una matriz con las alternativas.

La aparición de las primeras metodologías de análisis de riesgos en operaciones industriales tiene origen entre 1910 y 1920, la que conocemos actualmente como **Investigación de Accidentes**. Donde se definen las causas básicas que produjeron el accidente y se establecen las medidas preventivas y correctivas.

La segunda metodología fue inspecciones planeadas y no planeadas que identifican desviaciones de las medidas de control a implantar para eliminar o reducir riesgos, las cuales se complementan con **la Listas de Verificación**.

La metodología “**What if**” comenzó a utilizarse en muchas organizaciones en grupos multidisciplinarios que con su experiencia aplicaban la pregunta ¿qué pasa sí? a cada paso del proceso, determinando los efectos de las fallas o los errores de operación.

En los 40’s durante la segunda guerra mundial se empezaron a desarrollar métodos matemáticos probabilísticos de valoración cuantitativa de riesgos (PSA), asociado con el desarrollo y uso de la bomba atómica.

En los 50’s se empezó a combinar estas metodologías en conjunto del **what if?** Y se desarrollaron otros métodos como el **Failure mode and effects análisis (FMEA)**, el cual cada modo potencial de falla en un sistema es analizado a determinar los efectos sobre el mismo y clasificarlos de acuerdo su severidad.

Y a principios de los 60’s estas metodologías se formalizaron su uso en varias áreas.

En 1962 se desarrollo la metodología “**Fault Tree Análisis (FTA)** por Bell Telephone Laboratories, la cual consiste en el análisis y cuantificación de un diagrama lógico, el cual identifica la secuencia de todos los eventos que pueden dar como resultado una falla específica (fuego, explosión, derrame, etc).

En esta década se vio nacer también una serie de técnicas de evaluación de riesgos de incendio y explosión, encabezado por Dowchemical en Estados Unidos. Denominada **Índice de Dow** de fuego y explosión, seguida mas tarde por I.C.I. con la técnica **Índice de mond.** (Índice de fuego, explosión y toxicidad).

A principios de los 70's se desarrollo la metodología **Hazard and Operability Study (HAZOP)**, por Imperial Chemical Industries Ltd., la cual se concibió para aplicarse en el diseño de nuevas unidades de proceso operativas o modificativas a las existentes. A través de esta metodología uno imagina desviaciones en el proceso utilizando ciertas palabras clave que, al ser analizadas por un grupo multidisciplinario, permite una búsqueda sistemática de riesgos.

Estas metodologías de análisis de riesgos han sido profundamente utilizadas y perfeccionadas por parte de instalaciones nucleares, aeronáuticas y espaciales, extendiéndose después su empleo para la evaluación de riesgos a las industrias electrónica, química, petroquímica, etc. Además en la actualidad existen una gran variedad en el mercado, por lo que uno debe ser selectivo con ellas para obtener resultados adecuados.

Actualmente, las graves catástrofes industriales que han ocurrido en el mundo (México, Feyzin, Flixborough, Bophal, Chernobil, etc.) han sensibilizado a la opinión pública, motivando a las autoridades a legislar sobre el tema, tanto a nivel de la Unión Europea como a nivel interno de cada país. Donde Estados Unidos cuenta con la norma OSHA 1910.119 y en México con la NOM-028-STPS-2004.

Principales accidentes industriales

Flixborough (UK), 1974	Explosión de vapor no confinada (UVCE) de ciclohexano	<ul style="list-style-type: none"> • 28 muertos y cientos de heridos • Destrucción completa de las instalaciones
Cubatao (Brasil), 1974	Bola de fuego de gasolina por fuga de un oleoducto	<ul style="list-style-type: none"> • Al menos 500 muertos • Graves daños al medio ambiente
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"> • Sin muertes • Evacuación de más de 1.000 personas • Abortos espontáneos y contaminación del suelo
Camping Los Alfaques, San Carlos de la Rápita (España), 1978	Explosión BLEVE de un camión sobrecargado de propileno al chocar contra un camping	<ul style="list-style-type: none"> • 215 muertos • Destrucción completa del camping
San Juan de Ixhuatepec, México D.F. (México), 1984	Numerosas explosiones de depósitos y tanques de GLP debidas a una fuga y posterior explosión no confinada de GLP	<ul style="list-style-type: none"> • Más de 500 muertos, 4.500 heridos y Más de 1.000 desaparecidos • Destrucción masiva de viviendas • Efecto dominó procedente de la primera UVCE
Bhopal (India), 1984	Escape de isocianato de metilo en una planta de fabricación de insecticidas	<ul style="list-style-type: none"> • 3.500 muertes directas y el mismo número de personas en condiciones críticas • Unas 150.000 personas requirieron tratamiento médico • Efectos a largo plazo: cegueras, trastornos mentales, lesiones hepáticas y renales • La nube tóxica atravesó una de las vías de evacuación
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"> • 190 muertos y 470 heridos • 6.500 damnificados • Destrucción de 1.547 edificaciones. Daños en 100 escuelas y 600 vehículos • Entre 13 y 14 kilómetros de calles destruidas
Monagas 1994 (VENEZUELA)	Gasoducto	<ul style="list-style-type: none"> • 70 muertos
AZF Toulouse (FRANCIA) 2001	Almacén de nitrato amónico	<ul style="list-style-type: none"> • Planta destruida 31 muertos, 2,500 heridos y 27,000 edificios afectados
Chongqing (CHINA) 2003	Yacimiento de gas	<ul style="list-style-type: none"> • 193 muertos, mas de 10,000 intoxicados y 28 núcleos urbanos afectados
BP Texas (EEUU) 2005	Unidad de isomerización	<ul style="list-style-type: none"> • Planta destruida, 15 muertos y mas de 100 heridos

1.2.- DEFINICIONES

Los practicantes del análisis de riesgos y administración del proceso de seguridad hacen una distinción crítica entre *peligro* y *riesgo*. **El *peligro*** es la propiedad inherente de un agente químico, biológico o físico en una serie de condiciones. **El *riesgo***, por otra parte, es una función de probabilidad y consecuencia. En pocas palabras, peligro es la potencialidad de daño y riesgo es la probabilidad de daño.

La OSHA (Occupational Safety and Health Administration), presenta la siguiente definición:

“**Riesgo** es una medida de **probabilidad** y severidad de daño a la salud humana y propiedades“.

Incluye ambos sentidos de que la posibilidad de daño puede ocurrir y la indicación de que tan serio es el posible daño.

$$R = P \times C$$

Donde: R = Riesgo, P = Probabilidad y C = Consecuencia.

La consecuencia se entiende como la totalidad de las pérdidas que pueden producirse en caso de presentarse el riesgo, valoradas en dinero. Por lo que se desprende que los riesgos tienen dos componentes importantes: *la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias resultantes*.

De tal manera que los riesgos pueden ser:

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

Obviamente, de los cuatro casos arriba enlistados, los de mayores consecuencias son los que nos interesan, es decir, los numerales 2 y 3, por fortuna en la realidad, solo se presentan los del numeral 2.

Matriz de Riesgo se entiende como: La evaluación de riesgos es uno de los primeros pasos para poder planear e implementar un Sistema de Gestión en Seguridad y Salud en el Trabajo.

NIVELES DE CONSECUENCIAS Y SUS CRITERIOS

NIVEL	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN DETALLADA
1	Insignificante	Sin perjuicios y bajas pérdidas financieras
2	Menor	Tratamiento primeros auxilios, liberado localmente, se contuvo inmediatamente, pérdidas financieras media.
3	Moderado	Requiere tratamiento médico, liberado localmente, contenido con asistencia externa, pérdida financiera alta.
4	Mayor	Perjuicios extensivos, pérdida de capacidad de producción, liberación externa, sin efectos nocivos, pérdida financiera mayor.
5	Catastrófico	Muerte, liberación tóxica externa con efectos nocivos, enorme pérdida financiera.

NIVELES DE FRECUENCIA

NIVEL	DESCRIPCIÓN	DESCRIPCIÓN DETALLADA
5	Casi certeza	Se espera que ocurra en la mayoría de las circunstancias.
4	Probable	Probablemente ocurra la mayoría de las circunstancias.
3	Posible	Podría ocurrir en algún momento.
2	Imposible	Pudo ocurrir en algún momento.
1	Raro	Puede ocurrir solo en circunstancias excepcionales.

MATRIZ DE RIESGOS

		CONSECUENCIA				
		1	2	3	4	5
FRECUENCIA	5	H	H	E	E	E
	4	M	H	H	E	E
	3	L	M	H	E	E
	2	L	L	M	H	E
	1	L	L	M	H	H

E: Riesgo extremo requiere acción inmediata
H: Riesgo alto necesita atención alta Gerencia.
M: Riesgo Moderado, debe especificarse responsabilidad gerencial
L: Riesgo bajo, administrar mediante procedimientos de rutina.

En general, los elementos que dan origen a los riesgos presentes en una instalación de proceso industrial son los siguientes: Materias primas, Productos intermedios, Procesos, Recursos humanos, Residuos peligrosos y Medio ambiente.

La interrelación de estos elementos a través de la tecnología utilizada, es la que da por resultado la existencia de riesgos reales y potenciales y su magnitud depende de las características particulares de cada uno de los elementos anteriores. En cualquier planta de proceso, los riesgos existentes en la misma se asocian principalmente a tres factores:

1.- Naturaleza y cantidad de las sustancias manejadas, procesadas o almacenadas.

2.- Condiciones extremas de operación (básicamente temperatura y presión).

3.- Equipos y actividades desarrolladas para la correcta operación de los equipos y procesos existentes (riesgos operacionales).

El diagnóstico de seguridad para una planta de procesos involucra responder a una serie de preguntas:

¿Existen riesgos reales y potenciales?, si es así, ¿Cuáles son?, ¿De que magnitud son?

¿Son aceptables?, si no es así, ¿Como se pueden eliminar o reducir?

Las respuestas a éstas exigencias pueden obtenerse a través del *Análisis de Riesgos*. Este proceso requiere cubrir las siguientes etapas generales:

1a. Etapa

Conocer a detalle las características de los procesos, los materiales utilizados y su entorno para la identificación primaria de la existencia de posibles riesgos reales y potenciales.

2a. Etapa

Identificar los riesgos específicos existentes, mediante el empleo de técnicas especiales.

3a. Etapa

Evaluar la magnitud del evento y cuantificar sus consecuencias posibles, y si fuese necesario y se cuenta con la información, evaluar la probabilidad de ocurrencia.

4a. Etapa

Establecer las medidas preventivas necesarias para eliminar o minimizar el riesgo hasta el grado de aceptación del mismo.

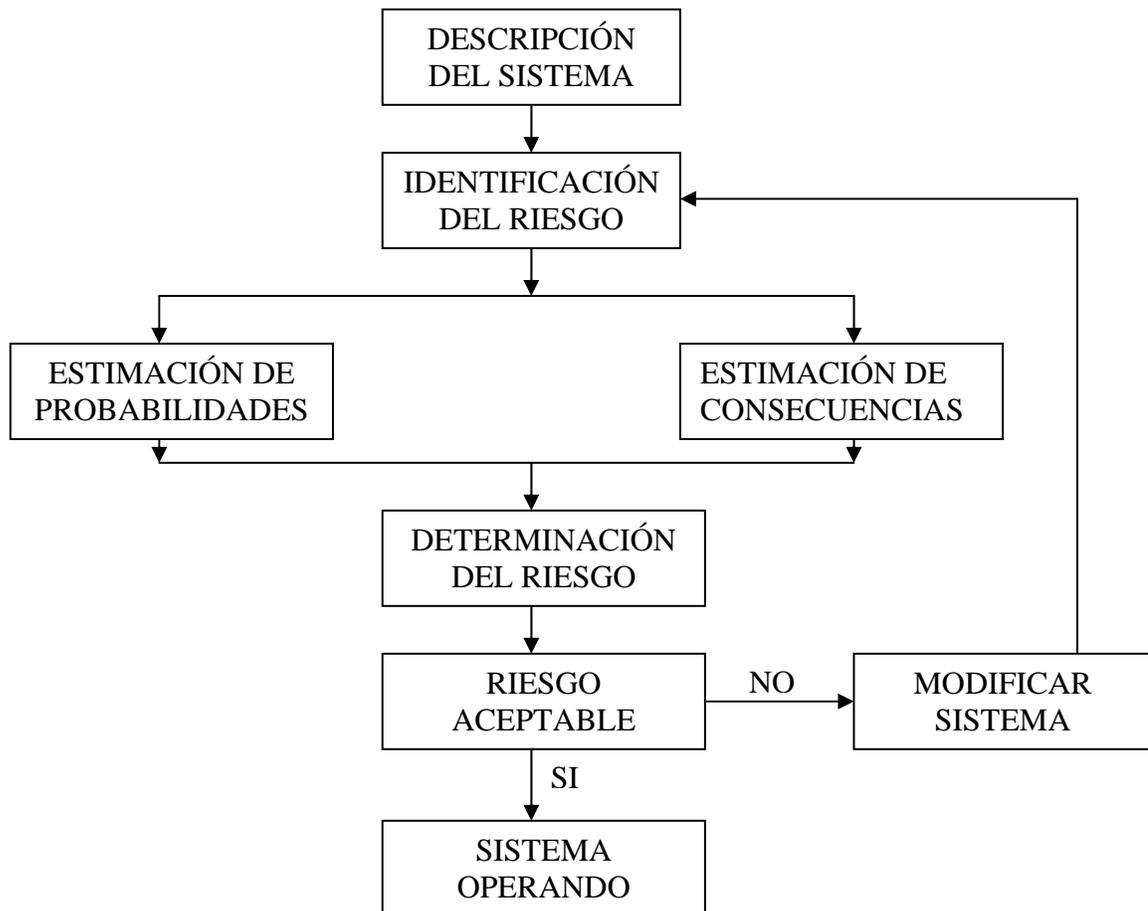
Existen varias técnicas específicas a aplicar en cada una de las etapas, estas técnicas dependerán de cada caso en particular y del grado de profundidad requerido. El uso de ellas debe ser selectivo con el fin de optimizar sus resultados.

En todo diagnóstico es indispensable seguir la secuencia de las etapas anteriores para optimizar los resultados del diagnóstico.

Análisis de Riesgos

- Identificación de los riesgos.
- Evaluación de su severidad y las pérdidas probables.
- Establecimiento de prioridades.

PROCESO DE EVALUACIÓN DEL RIESGO



1.3.- NORMATIVIDAD APLICABLE EN ANÁLISIS DE RIESGO OSHA 1910.119 Y NOM-028-STPS-2004

Normatividad internacional aplicable (OSHA 1910.119)

La Occupational Safety and Health Administration de los EUA, dentro del Code of Federal Register, en la sección 1910 cuenta con la norma 119, la cual se intitula “*Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals, 1910.119*” (Administración de la seguridad de procesos de sustancias químicas altamente peligrosas), en la cual establece las obligaciones de la industria con relación a la elaboración de los estudios de análisis de riesgos de las industrias que así lo requieran.

Los catorce elementos de la norma OSHA 1910.119 “Process Safety Management” (PSM), fueron publicados el lunes 24 de febrero de 1992 con el objetivo de prevenir o minimizar las consecuencias catastróficas de escapes de productos químicos tóxicos, reactivos, inflamables o explosivos. El cumplimiento del propósito de esta norma requiere un programa comprensivo de administración de riesgos que: integre las tecnologías, los procedimientos a las prácticas administrativas.

El Análisis de Riesgo de Proceso (PHA) no puede ser terminado satisfactoriamente hasta que la información de seguridad del proceso no se encuentre totalmente disponible para el proceso en estudio. El cumplimiento de la información para la seguridad del proceso y el análisis de riesgo del proceso es como sigue:

Hasta un 25% deberá ser completado para mayo 26 de 1994.

Hasta un 50% deberá ser completado para mayo 26 de 1995.

Hasta un 75% deberá ser completado para mayo 26 de 1996.

100% deberá ser completado para mayo 26 de 1997.

La aplicación de esta norma es a procesos que involucren el valor de las cantidades umbrales o mayores, dadas en el apéndice A de esta norma y a procesos que involucren líquidos o gases

inflamables que se encuentren a una instalación en cantidades de 10,000 libras o mayores (sujetas a pocas excepciones). Los hidrocarburos combustibles, son excluidos de esta norma si se utilizan como combustibles exclusivamente, son incluidos si los combustibles son parte de un proceso cubierto por la norma.

Los análisis de riesgos de proceso (Process Hazard Analys. PHA) .

Se realizaran utilizando una o mas metodologías siguientes que son apropiadas para determinar y evaluar los riesgos del proceso a analizar, y son: “What if?”/Check list, HAZOP, Modos de falla y efecto (FMEA), Árboles de falla, o una metodología equivalente apropiada.

Dichos análisis de riesgos deberán ser realizados por un equipo de empleados que por lo menos tenga un empleado con experiencia y conocimientos específicos del proceso a evaluar, así como otro en la metodología de análisis a utilizar.

Se deberá contar con un sistema donde se asegure quede bien documentado el análisis de riesgo, así como sus recomendaciones del mismo sean resueltas. Además de desarrollar un programa escrito de cuando las acciones serán resueltas, donde se le comunicara a mantenimiento y al personal asignado a ese proceso o afectado por dichas acciones.

Por lo menos cada 5 años de la terminación del análisis se deberá actualizar o revalidar y por otro lado se deberán conservar dichos análisis por cada sección de proceso analizado.

NORMA Oficial Mexicana NOM-028-STPS-2004

La Secretaría del trabajo y Previsión Social cuenta con su Norma oficial mexicana NOM-028-STPS-2004; Organización del Trabajo-Seguridad en los procesos de sustancias químicas, la cual fue publicada en el diario oficial (DOF) en la primera sección el viernes 14 de enero de 2005 .

Con **el Objetivo** de establecer los elementos para organizar la seguridad en los procesos que manejen sustancias químicas, a fin de prevenir accidentes mayores y proteger de daños a los trabajadores e instalaciones de los centros de trabajo.

El campo de aplicación de esta norma rige en todo el territorio nacional y aplica a los procesos en todos los centros de trabajo donde se realicen operaciones con sustancias químicas peligrosas en cantidades igual o mayor a la cantidad umbral de su apéndice A. Y quedan excluidas de esta norma las actividades económicas en materia de gas LP, que estén reguladas por otra disposiciones legales, cuya vigilancia compete a la Secretaría de Energía, así como los procesos que manejen combustibles para generar energía donde establece en su capítulos:

8. Análisis de Riesgos.

Contar con un análisis de riesgo para cada uno de los procesos críticos del centro del trabajo. En el que debe aplicar uno o más métodos específicos (lista de verificación, What if, HAZOP, AMFE, Árbol de Fallas etc. Ver en el Apéndice “C” no normativo) para identificar, evaluar y controlar los riesgos significativos asociados con el proceso.

Y que debe incluir una sección de recomendaciones para la administración de riesgos de procesos identificados.

Y actualizar los análisis de riesgo al menos cada cinco años o cuando exista cualquiera de las situaciones siguientes: antes de que se realicen cambios a algún proceso, o cuando se proyecte un proceso nuevo o producto de una investigación de accidente mayor.

9. Administración de Riesgo.

Contar con una relación de riesgos potenciales identificados y evaluados mediante los estudios de análisis de riesgo. Y tener criterios de aceptación de riesgos basado en la probabilidad de ocurrencia y posibles daños que ocasionen.

Elaborar un programa de cumplimiento a recomendaciones, resultado de los análisis de riesgo. Y administrar los riesgos no aceptados, hasta lograr su aceptación y llevar registro de las medidas de control aplicadas, así como actualizar la documentación del proceso, y conservarlas por periodos de 5 años.

La Norma entra en vigor a los 365 días naturales después de su publicación DOF. Excepto los capítulos 7, 9, 12, 13 y el apartado 8.1 del capítulo 8, que entrará en vigor a los 4 años después de la publicación de la norma en la DOF.

2. - TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

Los análisis de riesgos pueden ser llevados con distintos grados de refinamiento dependiendo de la información de riesgos y datos disponibles. El análisis puede ser; cualitativo, semi-cuantitativo o cuantitativo y de efectos (consecuencias).

En la práctica, a menudo se utiliza primero el análisis cualitativo para obtener una indicación general del nivel de riesgo, luego puede ser necesario llevar a cabo un análisis cuantitativo más específico. El detalle de las técnicas de análisis es el siguiente:

2.1.- CUALITATIVAS

El análisis cualitativo utiliza formatos de palabras o escalas descriptivas para describir la magnitud de las consecuencias potenciales y la probabilidad de que esas consecuencias ocurran.

Su objetivo es IDENTIFICAR: Riesgos, Efectos y Causas

El análisis cualitativo se utiliza como una actividad inicial de preselección, para identificar los riesgos que necesitan un análisis más detallado, cuando el nivel del riesgo no justifica el tiempo y esfuerzos requeridos para un análisis más completo ó cuando los datos numéricos disponibles son inadecuados para un análisis cuantitativo.

Métodos Cualitativos para el Análisis

Análisis Histórico de Riesgos

Check list. Listas de verificación

Análisis de Seguridad en el Trabajo

What If...? (¿Qué pasa Si?)

Análisis de Modos de las fallas y sus efectos (FEMA)

Análisis de Riesgo HAZOP

Árbol de Fallas (FTA)

Árbol de Sucesos (ETA)

Análisis de Causas y Consecuencias (ACC)

Análisis semi-cuantitativo

En los análisis semi-cuantitativos, a las escalas cualitativas tales como las descritas anteriormente le son asignados valores.

Emplean índices globales de potencial de riesgo estimado a partir de las estadísticas de plantas semejantes o de disposición general. Estos métodos son útiles para concluir comparaciones entre: Distintas plantas existentes, en una misma planta antes y después de modificaciones, entre procesos diferentes ligados a un mismo fin y entre alternativas de diseño.

- Análisis de riesgos con evaluación del riesgo intrínseco
- Análisis de los modos de los fallas, efectos y Criticidad (FEMAC)
- Método de Dow: Índice de fuego y explosión
- Método de ICI: Índices de Mond

2.2.- CUANTITATIVAS

El análisis cuantitativo emplea valores numéricos (en lugar de las escalas descriptivas empleadas en los análisis cualitativo y semi-cuantitativo), tanto para las consecuencias como para la probabilidad se emplean datos de una variedad de distintas fuentes.

Su objetivo es expresar en términos probabilísticos.

Incluye un análisis crítico con cálculos y estructuras para establecer la probabilidad de sucesos complejos

- Análisis cuantitativo mediante árboles de fallas (FTA)
- Análisis cuantitativo mediante árboles de sucesos
- Análisis cuantitativo de causas y consecuencias

2.3.- DE EFECTO O CONSECUENCIAS.

Los análisis de consecuencias deben estudiar los diferentes tipos de accidentes potenciales en establecimientos industriales que pueden producir fenómenos de tipo: mecánico, térmico y químico, poniendo en riesgo a las personas, medio ambiente y bienes materiales.

Dichos accidentes se seleccionan a partir de un correcto análisis de riesgos y son los siguientes:

- a) Fugas o derrames incontrolados de sustancias peligrosas: líquidos o gases en depósitos y conducciones
- b) Evaporación de líquidos derramados
- c) Dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles
- d) Incendios de charco o "Pool fire"
- e) Dardos de fuego o "Jet fire"
- f) Deflagraciones no confinadas de nubes de gases inflamables o "UVCE"
- g) Estallido de depósitos o "BLEVE"
- h) Explosiones físicas y/o químicas
- i) Vertido accidental al medio ambiente de sustancias contaminantes, procedente de fugas o derrames incontrolados

Para estos accidentes se establecen una serie de variables físicas que definen unos criterios de vulnerabilidad cuyas magnitudes se consideran representativas para la evaluación de la magnitud del accidente. En este sentido se ha considerado como un parámetro de protección de la salud en cuanto a afectación por toxicidad, el IDLH (peligro inmediato a la salud o a la vida), que se define como un valor máximo en ppm ó mg/m³ en concentración de un contaminante tóxico al cual una persona puede escapar sin daños irreversibles a su salud en un período de hasta 30 minutos de exposición. Este valor se utiliza para definir la zona de alto riesgo, lo cual se hace mediante la utilización de **modelos de dispersión** que permiten determinar que distancia se

requiere en los casos en los que ocurran accidentes en actividades industriales con fugas o derrames.

El TLV (valor límite umbral), es el valor promedio de concentración máxima permisible para exposición, dado en ppm ó mg/m^3 de un contaminante tóxico que se considera no tener ningún efecto en una persona expuesto al mismo en una exposición de 15 minutos.

Este valor se utiliza para definir la zona de amortiguamiento siguiendo un procedimiento semejante al que se realiza para determinar la zona de alto riesgo.

En lo relativo a afectación por riesgo en los casos de actividades en las cuales se utilizan sustancia con características explosivas, para la determinación de la zona de alto riesgo, se establece como parámetro de afectación $0.5 \text{ lb}/\text{pulg}^2$, tomando como zona de afectación, el área de un círculo con un radio que considera la distancia desde donde se encuentra el punto donde se puede formar la nube explosiva y cuyo extremo representa la distancia a la cual se tiene una onda de sobrepresión de $0.5 \text{ lb}/\text{pulg}^2$.

Las metodologías utilizadas en estos son:

1. Nube Toxica
2. Nube inflamable
3. ondas de calor
4. Ondas de sobre presión.

3. - METODOLOGÍA ANÁLISIS DE RIESGO HAZOP

El HAZOP es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los riesgos, los accidentes o los problemas de operabilidad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a las condiciones normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada. Ya se aplique en la etapa de diseño, como en la etapa de operación. Tanto continuas como discontinuas. La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de unas "palabras guía". La realización de un análisis HAZOP consta de las etapas que se describen a continuación.

1. Definición del área de estudio

Consiste en delimitar las áreas a las cuales se aplica la técnica. En una determinada instalación de proceso, considerada como el área objeto de estudio, se definirán para mayor comodidad una serie de sistemas o líneas de proceso que corresponden a entidades funcionales propias: línea de carga a un depósito, separación de disolventes, reactores, etc.

Que se deberán localizar en diagramas; de flujo de proceso (DFP) y en de tubería e instrumentación (DTI).

2. Definición de los nudos

En cada uno de estos subsistemas o líneas se deberán identificar una serie de puntos claramente localizados en el proceso en sus DFP o DTI'S. Por ejemplo, tubería de alimentación de una materia prima a un reactor, impulsión de una bomba, depósito de almacenamiento, etc.

La técnica HAZOP se aplica a cada uno de estos puntos. Y vendrán caracterizados por variables de proceso: presión, temperatura, caudal, nivel, composición, viscosidad, etc.

3. Aplicación de las palabras guía

Las "palabras guía" se utilizan para indicar el concepto que representan a cada uno de los nudos definidos anteriormente que entran o salen de un elemento determinado. Se aplican tanto a

acciones (reacciones, transferencias, etc.) como a parámetros específicos (presión, caudal, temperatura, etc.). La tabla de abajo presenta algunas palabras guía y su significado.

Palabra guía	Significado	Ejemplo de desviación	Ejemplo de causas originadoras
NO	Ausencia de la variable a la cual se aplica	No hay flujo en una línea	Bloqueo; falla de bombeo; válvula cerrada o atascada; fuga; válvula abierta; falla de control
MÁS	Aumento cuantitativo de una variable	Más flujo (más caudal)	Presión de descarga reducida; succión presurizada; controlador saturado; fuga; lectura errónea de instrumentos
		Más temperatura	Fuegos exteriores; bloqueo; puntos calientes; explosión en reactor; reacción descontrolada
MENOS	Disminución cuantitativa de una variable	Menos caudal	Falla de bombeo; fuga; bloqueo parcial; sedimentos en línea; falta de carga; bloqueo de válvulas
		Menos temperatura	Pérdidas de calor; vaporización; venteo bloqueado; falla de sellado
INVERSO	Analiza la inversión en el sentido de la variable. Se obtiene el efecto contrario al que se pretende	Flujo inverso	Falla de bomba; sifón hacia atrás; inversión de bombeo; válvula check que falla o está insertada en la tubería de forma incorrecta
ADEMÁS DE	Aumento cualitativo. Se obtiene algo más que las intenciones del diseño	Impurezas o una fase extraordinaria	Entrada de contaminantes del exterior como aire, agua o aceites; productos de corrosión; falla de aislamiento; presencia de materiales por fugas interiores; fallas de la puesta en marcha
PARTE DE	Disminución cualitativa. Parte de lo que debería ocurrir sucede según lo previsto	Disminución de la composición en una mezcla	Concentración demasiado baja en la mezcla; reacciones adicionales; cambio en la alimentación
DIFERENTE DE	Actividades distintas respecto a la operación normal	Cualquier actividad	Puesta en marcha y parada; pruebas e inspecciones; muestreo; mantenimiento; activación del catalizador; eliminación de tapones; corrosión; fallo de energía; emisiones indeseadas, etc.

4. Definición de las desviaciones a estudiar

Para cada nudo se plantea de forma sistemática todas las desviaciones que implican la aplicación de cada palabra guía a una determinada variable o actividad. Para realizar un análisis exhaustivo, se deben aplicar todas las combinaciones posibles entre palabra guía y variable de proceso,

descartándose durante la sesión las desviaciones que no tengan sentido para un nudo determinado.

Paralelamente a las desviaciones se deben indicar las causas posibles de estas desviaciones y posteriormente las consecuencias de estas desviaciones.

5. Sesiones HAZOP

Las sesiones HAZOP tienen como objetivo la realización sistemática del proceso descrito anteriormente, analizando las desviaciones en todas las líneas o sistemas seleccionados a partir de las palabras guía aplicadas a determinadas variables o procesos. Se determinan las posibles causas, las posibles consecuencias, las respuestas que se proponen, así como las acciones a tomar. Y en algunos casos jerarquizan los niveles de consecuencia, frecuencia y riesgos. De acuerdo a su gestión de riesgos.

Toda esta información se presenta en forma de tabla que sistematiza la entrada de datos y el análisis posterior. A continuación se presentan formatos del HAZOP aplicado a un proceso continuo.

Planta:							
Sistema o área:							
Palabra guía	Desviación de la variable	Posibles causas	Consecuencias	Respuesta	Señalización	Acciones a tomar	Comentarios

Planta:						
Sistema o área:						
Palabra guía	Desviación de la variable	Posibles causas	Consecuencias	Respuesta	NIVEL	
					C	F R

DIAGRAMA DE FLUJO PARA ESTUDIO DE HAZOP

1. Selección de un equipo (recipiente).
2. Explicación del uso general del recipiente y tubería asociada a él.
3. Selección de línea.
4. Explicación de la línea.
5. Selección de parámetros.
6. Creación de una desviación para la aplicación de una palabra guía.
7. Examinar las posibles causas de una desviación.
8. Examinar las consecuencias.
9. Detectar los riesgos.
10. Hacer registros escritos adecuados.
11. Repetir del 7 al 10 para todas las desviaciones significativas de los parámetros.
12. Repetir del 6 al 11 para todos los parámetros.
13. Marcar las líneas de DTI completas.
14. Repetir del 3 al 13 para cada una de las líneas principales.
15. Seleccionar un sistema auxiliar.
16. Definir los sistemas auxiliares.
17. Repetir del 6 al 12 para los sistemas auxiliares.
18. Marcar los sistemas auxiliares de DTI completos.
19. Repetir del 15 al 18 para todos los sistemas auxiliares.
20. Explicar la intención de los recipientes.
21. Repetir del 6 al 12 para los recipientes.
22. Marcar los recipientes sobre los DTI completos.
23. Repetir del 1 al 22 para todos los recipientes sobre los DTI.
24. Marcar los DTI completos.
25. Repetir del 1 al 24 para todos los DTI.

6. El informe final consta de los siguientes documentos:

- Esquemas simplificados con la situación y numeración de los nudos de cada subsistema.
- Formatos de información de las sesiones con indicación de las fechas de realización y composición del equipo de trabajo.
- Análisis de los resultados obtenidos. Se puede llevar a cabo una clasificación cualitativa de las consecuencias identificadas.
- Listado de las medidas a tomar. Constituye una lista preliminar que debería ser debidamente estudiada en función de otros criterios (costo, otras soluciones técnicas, consecuencias en la instalación, etc.) y cuando se disponga de más elementos de decisión.
- Lista de los sucesos iniciadores identificados.

Recursos necesarios

Fijación de objetivos y delimitación del contenido del estudio

Aunque el objetivo general es identificar los riesgos del proceso y las consecuencias que generan, debería centrarse en función de los objetivos específicos que se persiguen y el alcance del trabajo a realizar (verificar un diseño, mejorar la seguridad de la planta, modificaciones, etc.).

También es importante definir las consecuencias a considerar: daños a los trabajadores, daños a la vecindad de la planta, pérdidas de producción, daños a la planta o a los equipos, impacto ambiental, etc.

Equipo de trabajo

El grupo de trabajo estable estará constituido por un mínimo de cuatro personas y por un máximo de siete. Podrá invitarse a asistir a determinadas sesiones a otros especialistas.

Se designará a un coordinador / director del grupo, experto en HAZOP. El grupo debe incluir a personas con un buen conocimiento y experiencia en las diferentes áreas que confluyen en el diseño y explotación de la planta.

Una posible composición del grupo podría ser la siguiente:

- Conductor / director del grupo - Técnico de seguridad.
- Ingeniero de proceso - Ingeniero del proyecto.
- Químico - investigador (si se trata de un proceso químico nuevo o complejo).
- Ingeniero de instrumentación.
- Supervisor de mantenimiento.
- Supervisor de producción.

Información básica necesaria

Se requieren dos tipos de información básica: una relativa a la instalación y otra respecto a las instrucciones de operación recogidas en el manual de operaciones y/o procedimientos de trabajo.

Sobre la instalación es preciso disponer de:

- Descripción del proceso con hojas de datos sobre el flujo del proceso y balances másicos y caloríficos.
- Características y peligrosidad de las sustancias químicas implicadas.
- Plano de la instalación.
- Diagramas del proceso e instrumentación (Flowsheets, lay outs, etc.) con datos completos sobre los diversos componentes de la instalación (tuberías, válvulas, equipos, elementos de seguridad, etc), sus características, sus condiciones de trabajo y sus limitaciones.
- Características y disponibilidad de los servicios (vapor, refrigeración, aire, electricidad).
- Descripción de los sistemas de emergencia.
- Resultados de anteriores estudios de seguridad.

4. - PROCESO DE FABRICACIÓN DE NYLON 6

4.1.- HISTORIA DEL NYLON 6

Las primeras investigaciones para la obtención del nylon 6 fueron realizadas por Gabriel Maass a principios de 1899 y en 1907 por V. Braun. Sin embargo Carothers y Berchet (1930) concluyeron en sus estudios de polimerización y formación de anillos que la épsilon-Caprolactama "no polimeriza ni en la presencia ni ausencia de catalizador".

Los trabajos desarrollados sobre el nylon derivaron a W. H. Carothers y sus colaboradores, a sintetizar primeramente el nylon 66 (1935) después de una brillante y extensa investigación sobre policondensación. La producción comercial de este polímero y subsiguiente transformación en fibras la llevó a cabo Du Pont Company en diciembre de 1939.

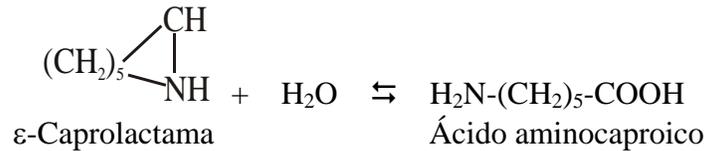
A finales de los años treinta se realizaron en Alemania numerosas investigaciones dirigidas a obtener polímeros sintéticos formadores de fibra que no interfirieran con las patentes de Du Pont. Fruto de estos trabajos fue el descubrimiento del nylon 6, fue Schlak (1938) quien descubrió la polimerización de la caprolactama y así demostró el primer proceso factible para la manufactura comercial del nylon 6. Este descubrimiento resultó aparentemente de la observación de que la polimerización del ácido N-metoxicarbonil-épsilon amino caproico forman poliamidas que contienen épsilon-Caprolactama a una concentración que depende de las condiciones de operación. Los primeros materiales usados por Schlak para efectuar la polimerización de lactama abriendo el anillo de la misma fueron los hidroclouros del ácido aminocaproico y otros compuestos aminos. Finalmente pequeñas cantidades de agua o sustancias que forman agua fueron usadas como iniciadores de la polimerización en operaciones comerciales en Alemania (1949). Después de 1945 se inicio la producción comercial de NYLON 6 a partir de caprolactama en varios países, especialmente en Europa, La Unión Soviética y Japón. Otras poliamidas que invaden el campo de los plásticos son: nylons 11, 12, 610, 612, 66/610,66/610/6 y dos poliamidas aromáticas.

4.2.- DESCRIPCION PROCESO

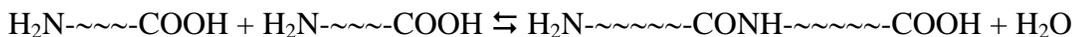
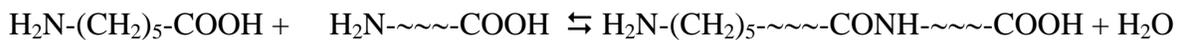
El Nylon 6 se hace a partir de la polimerización de apertura de anillo de la ϵ -Caprolactama utilizando agua como iniciador de la reacción y utilizando como terminadores de cadena al Ácido acético y a la N-Butilamina, dando como resultado una mezcla en equilibrio de 90% de polímero y el resto de Caprolactama en gran parte además de pequeñas cantidades de agua y oligómeros.

En donde se efectúan las siguientes reacciones:

A. - Reacción de hidrólisis: se puede considerar a esta reacción como la iniciación de la polimerización, ya que es aquí donde se forma la unidad repetitiva conocida como monómero, que al reaccionar con otras de su misma especie, propiciará la formación de cadenas.



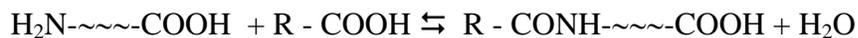
B. - Reacción de policondensación: a esta reacción se le considera de propagación y puede efectuarse entre 2 unidades monoméricas, entre una unidad monomérica y una cadena ó entre dos cadenas, produciendo una cadena de mayor peso molecular y agua.



C.- Reacción de poliadición: Esta reacción se considera también de propagación y se efectúa entre una cadena y una molécula de lactama. Esta reacción no se tiene desprendimiento de agua.



D.- Reacción con agentes monofuncionales: esta reacción se efectúa entre los grupos terminales de las cadenas y agentes reguladores del peso molecular.



El proceso consta de las siguientes etapas: recepción y almacenamiento de materia prima principal (ϵ -Caprolactama), preparación de mezcla polimerizable, polimerización, extrusión-enrollado, estirado y empaque final (ver Diagrama de Flujo anexo 4.2.1).

La Caprolactama, comúnmente llamada lactama es la materia prima principal para la fabricación del nylon 6. A temperatura ambiente ésta en estado sólido, cristalina de color blanco; arriba de su punto de fusión (69.2°C) es líquida e incolora, altamente soluble en agua y por acción del oxígeno del aire se descompone fácilmente.

La lactama virgen llega en pipas fundida a 80°C , es bombeada a presión al tanque de almacenamiento (acero inoxidable), provisto de un sistema de calentamiento en las paredes con venas de agua caliente y un serpentín con vapor de 20 lb. en el fondo. El cual mantiene la lactama a una temperatura controlada de 80°C . También cuenta con una alimentación de Nitrógeno (N_2) para mantener una atmósfera inerte y evitar su oxidación.

Esta lactama pasa al tanque receptor donde se mezcla con lactama del proceso (vacíos). Y después es transferida por medio de una bomba centrífuga al tanque mezclador pasando primero por filtros. Tanto el tanque como la bomba y los filtros son enchaquetados y las líneas de transferencias son trazadas, ambos calentados con vapor de 20 lb.

En el mezclador se forma la mezcla polimerizable; donde se mezclan las lactamas con los siguientes aditivos: Ácido acético, N- Butilamina, Solución fosfórica y agua destilada.

Posteriormente por medio de una bomba centrífuga pasa la mezcla por filtros de polipropileno y llega al tanque intermedio. Este tanque se utiliza para mantener la continuidad del proceso cuando se está preparando la mezcla polimerizable.

La mezcla por gravedad pasa por filtros oblea y llega a las bombas de pistón donde la bombean a 8 Kg/cm^2 . al precalentador. Tanto el mezclador como el tanque intermedio, bombas y filtros son enchaquetados y cuentan con un sistema de calentamiento, donde se recircula agua caliente

manteniendo así la temperatura controlada a 80 °C y los tanque tienen alimentación de N₂ para mantener una atmósfera inerte.

La línea de transferencia de lactama de las bombas de pistón al precalentador es calentada con vapor de 150 lb., logrando subir la temperatura de la mezcla a 110 °C. En el precalentador se calienta de 110 a 210 °C y pasa al polimerizador.

El polimerizador consta de una carcasa donde se alojan 4 tubos verticales en arreglo cuadrado y conectados en serie formando dos U paralelas. La mezcla entra por los tubos donde es calentada a 264 °C, donde se obtiene una conversión de 90 % de polímero de baja viscosidad, después del último tubo el polímero pasa a unas bombas de engranes las cuales se encargan de transferirlo al segundo reactor de polimerizador llamado compensador. El polímero se distribuye en todo el diámetro del reactor y escurre por la pared en forma de película hasta un nivel constante (aprox. a 1.2 m. de la tapa del reactor) y a 264 °C. Esta película se desprende agua y lactama en forma de vapores, los cuales se condensan por el condensador de contacto que tiene el compensador al lado, y son enviados a un proceso de recuperación. El polímero con mayor viscosidad que en el reactor anterior es transferido por medio de bombas de engranes al tercer reactor llamado vacío. En este reactor el polímero también se distribuye en todo el diámetro del reactor escurriendo y formando una película de polímero hasta el fondo del reactor donde se mantiene un nivel constante. Manteniéndose a una temperatura de 265 °C, además cuenta con un condensador barométrico de contacto y un sistema de vacío con el que mantiene una presión absoluta en el reactor entre 4 a 7 mmHg., logrando así evaporar el agua y lactama del polímero en equilibrio y así desplazar la reacción de policondensación, a la formación de polímero de mayor peso molecular y por ende de mayor viscosidad, sirviendo para el procesado de fibra.

El agua y lactama evaporada salen del equipo por la parte superior pasan al condensador, el cual tiene una espesa en la parte superior donde sale una cortina de lactama, condensando a los vapores y pasando a un tanque barométrico, de este tanque la lactama condensada pasa por

gravedad primero a unos filtros canasta y después llega a unas bombas centrífugas retornando la lactama a la esprea del condensador haciéndola pasar por unos filtros vela antes de llegar a esta. La lactama sobrante de esta recirculación es llama lactama de vacíos. La cual se descarga de los tanques barométricos por gravedad llegando por una línea al tanque recibidor y así de vuelta al proceso. Todo el sistema de recirculación de lactama del vacío es calentado por un sistema de recirculación de agua caliente controlada a 80°C.

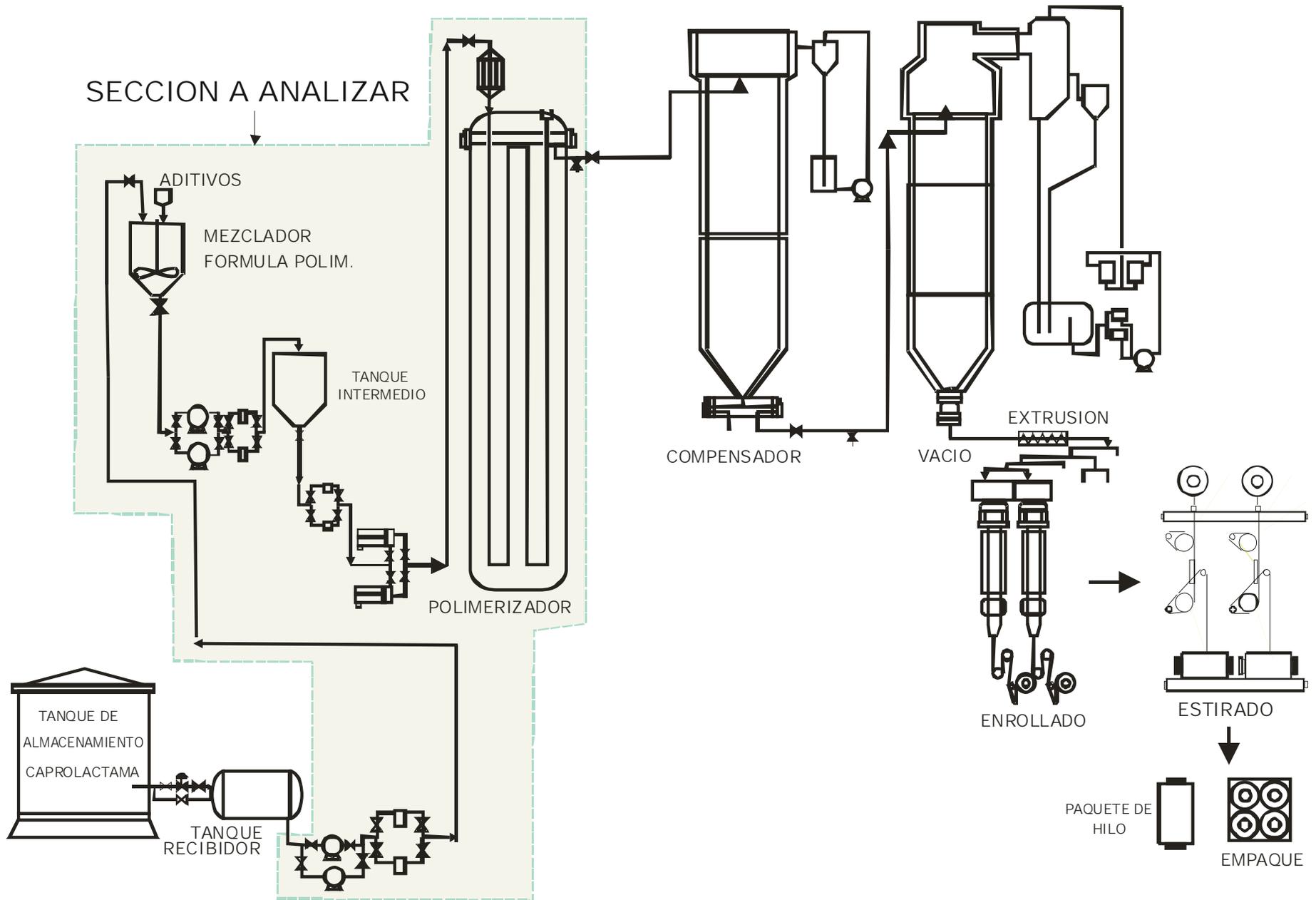
A la salida del reactor (vacío), cuenta con una bomba de engranes (Vacorex), donde el polímero es bombeado por la línea de transferencia pasando por un mezclador estático se utilizado para uniformizar el polímero y en ocasiones para mezclarlo con un antioxidante (Aminox) y posteriormente llegar a los blocks de extrusión.

El calentamiento de los reactores de polimerización y extrusión se realiza con vapores de dowtherm “A” (difil), los cuales se realiza por medio de 3 reboilers; el primero calienta el precalentador, polimerizador y compensador, el segundo el vacío y el tercero la línea de transferencia de la vacorex y blocks de extrusión (ver DTI anexo 4.2.2).

El proceso de extrusión y enrollado es donde el polímetro es procesado para la formación de la fibra, el polímero es extruido pasando por espreas de hilar, enfriado y enrollado en paquetes de fibra sin estirar, después dicha fibra pasa a maquinas estiradoras, donde la fibra es estirada en caliente (planchas) y enrollada, obteniendo así paquetes de hilo con sus características finales.

Ya por último los paquetes finales de hilo son empacados para su venta final.

4.2.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO NYLON 6



5.- APLICACIÓN DE LA TÉCNICA HAZOP

El área de proceso a analizar por la técnica de HAZOP, en el proceso de polimerización de nylon 6. Es lo que comprende desde el tanque mezclador de la formula polimerizable hasta el primer reactor de polimerización (que se indican en el DFP y DTI de la hojas anteriores).

Dicha parte del proceso de acuerdo con la experiencia e información de la misma, es la que mas incidentes de seguridad y de calidad a presentado (Derrames de lactama, Vapores de químicos, Mezclas mal preparadas ocasionando producto de mala calidad entre otros).

El objetivo de este análisis por medio de esta técnica en dicha área; es identificar, evaluar cualitativamente y prevenir los riesgos potenciales a que se encuentra expuesto tanto el personal, el equipo y la productividad. Derivados de una mala operación o mal funcionamiento de un equipo o simplemente no se considero en el sistema del diseño del proceso etc.

PLANTA: NYLON				
ÁREA: Mezclador de Formula Polimerizable				
PALABRA GUIA	VARIABLE DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIA	MEDIDAS A TOMAR
NO FLUJO	FLUJO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla de bomba de transferencia al Mezclador (motor o impulsor). 2. Válvulas de bloqueo a LCV, Filtros o bombas Cerradas por error al tanque mezclador. 3. Filtro saturados, tapado 4. Ruptura de tubería o fuga por bridas. 	<p>Retrazo de preparación de mezcla, bajando el nivel del tanque intermedio, paro de bombas pistón al polimerizador, baja de producción.</p> <p>Igual que (1) Calentamiento de bomba, dañándola o parar por votarse el motor y llegar a quemarse.</p> <p>Igual que (1) Igual que (1), derrame de lactama o mezcla.</p>	<p>Tener bomba con motor lista para realizar cambio y si es necesario bajar flujo de producción y no realizar paro de bomba de pistón. Instalar en línea otra bomba como equipo duplex.</p> <p>Verificar las válvulas antes de preparar la mezcla. Seguir procedimiento de entrega y recepción de equipo a mantto.</p> <p>Cambio de filtro según programa de limpieza equipo duplex o cuando se tenga baja presión a la salida del filtro. Verificar temperatura de líneas y equipos.</p> <p>En la rutina de campo de condiciones de operación se inspeccione el estado de los equipos. Localizar fuga, dejar solidificar lactama o mezcla y recogerla con equipo de seguridad (EPP), para evitar accidentes por resbalarse.</p>
MÁS	FLUJO	<ol style="list-style-type: none"> 5. Válvula abierta del "by pass" de la LCV del mezclador. 	Llenado rápido del mezclador.	Verificar todas las válvulas antes de preparar la mezcla, cuando se entrega a mantenimiento de acuerdo a procedimiento de entrega de equipo a manto.
MENOS	FLUJO	Ver no flujo.	Ver no flujo.	Ver no flujo.
MÁS	NIVEL	<ol style="list-style-type: none"> 6. Falla de LIC o LSH del tanque mezclador, no mande parar a bomba o no cierre LCV. 7. LCV al mezclador abierta por falla de aire. 	Mayor nivel requerido para la mezcla. Posible derramé de la mezcla por alimentación de nitrógeno o taponamiento del mismo.	<p>Ajustar cantidades de aditivos para mantener su % en peso (de acuerdo a procedimiento). Con operador presente, para realizar el paro manual de bomba y verificando el nivel físico. Instalar Micromotion y así tener 2 dispositivos de paro y alarma de diferentes puntos.</p> <p>Asegurar que a falla de aire o electricidad cierre LCV.</p>

PALABRA GUIA	VARIABLE DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIA	MEDIDAS A TOMAR
MENOS	NIVEL	<p>8. Igual que (1).</p> <p>9. Válvula automática de descarga del mezclador abierta por error, al preparar mezcla.</p> <p>10. Falla del LT del mezclador.</p>	<p>Igual que (1).</p> <p>Contaminar mezcla del tanque intermedio con lactama, bajando el % de aditivos en la mezcla, provocando problemas de calidad por alta viscosidad (geles, inestabilidad etc.).</p> <p>Igual que (1).</p>	<p>Igual que (1).</p> <p>Colocar control automático que al arranque bomba de lactama a mezclador cierre válvula de descarga del mezclador.</p> <p>De acuerdo al procedimiento de preparación de mezcla, estar verificando el nivel físico del tanque y reportar a instrumentos cuando este variando, para chequeo. Contemplarlo en el PMP.</p>
MÁS	TEMPERATURA	11. Válvula de “by pass” abierto de la TCV de vapor, del sistema agua de calentamiento a mezclador, Tanque intermedio o falla TCV.	Ayuda a la formación de sólidos de degradación de lactama, originando el ensuciamiento de filtros y líneas. Provocando consecuencias igual que (1).	Llevar a cabo rutinas de operador de campo de chequeo de condiciones de proceso y equipo, reportándola a supervisor y mantto.
MENOS	TEMPERATURA	<p>12. Traza de Vapor de 20 lb. en mal estado así, como aislamiento de líneas, accesorios y tanques.</p> <p>13. Válvula de bloqueo cerrada a TCV de vapor a sistema de agua de calentamiento.</p> <p>14. Falla de bomba de recirculación del agua de calentamiento.</p>	<p>Enfriamiento de la lactama o mezcla la cual se puede solidificar tapando las líneas de transferencia.</p> <p>Consecuencias igual que (1).</p>	<p>Llevar a cabo rutinas de operador de campo de chequeo de condiciones de proceso y equipo, para tomar acción o reportarla a supervisor y mantto.</p> <p>Calentar líneas con mangueras de vapor de acuerdo a procedimiento.</p> <p>Entrega de equipo a mantto. para PMP. del equipo.</p> <p>Y cumplir programa chequeos de equipo en paros de mantto. mayor.</p> <p>Realizar cambio de relevo de bomba. Y seguir el programa de cambio de equipo duplex para PMP.</p>
MÁS	PRESIÓN	15. Obstrucción de línea transferencia mezclador.	Igual que (1) y (3).	
MENOS	PRESIÓN	16. Paro de bomba, Igual que (1).	Ver no flujo.	

PALABRA GUIA	VARIABLE DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIA	MEDIDAS A TOMAR
MENOS (MENOR)	% PESO DE ADITIVOS EN MEZCLA (Butilamina y Ácido Acético)	17. Mal pesaje de las cantidades de aditivos o báscula descalibrada. 18. Derrame de cualquiera de los aditivos por tener cerrado válvula de alimentación al mezclador.	Incremento de viscosidad en polímero, provocando mala estabilidad de proceso. Igual que (17) y riesgo de accidente por inhalación de vapores de aditivos, quemadura por contacto en la piel y posible conato por inflamarse.	El operador seguirá procedimiento de preparación de aditivos, realizar chequeo de calibración a báscula de acuerdo a programa de equipos críticos. Seguir procedimiento de adición de aditivos con el equipo de protección personal (mascara, peto etc.) y no personal ajeno en el momento de la adición. Además de equipos de seguridad (cal, extinguidor de polvo, rociadores, etc.), no tener puntos de ignición cercanos. Instalar equipo de adición de aditivos por medio de bombeo medido, en lugar de manual y así evitar el contacto físico y error humano.
MÁS (MAYOR)	% PESO DE ADITIVOS EN MEZCLA (Butilamina y Ácido Acético)	19. igual que (17). 20. Doble adición de un mismo aditivo, “por error humano”.	Decremento de viscosidad en polímero, provocando mala estabilidad de proceso.	Igual que (17). Seguirá procedimiento de preparación de aditivos y enumerar cargas de adición y utilizar porrones de diferente color, para identificar aditivos. Instalar equipo de adición de aditivos por medio de bombeo medido, en lugar de manual y así evitar el contacto físico y error humano.
OTRO o (DISTINTO)	Agua en lugar de solución fosfórica	21. Error de no preparación de la solución.	Caída total de la viscosidad del polímero, por no reacción y paro de planta por no poder hilar.	Seguir procedimiento de preparación de aditivos y tener comunicación con laboratorio de entrega de solución fosfórica bien preparada. Dar hincapié tanto en procedimiento como en capacitación del personal la importancia de los aditivos.
DISTINTO	Adición de aditivos	22. Error o desconocimiento de manera de adicionar aditivos. No barriendo con agua cada vez que se adicione un aditivo.	Reacción inestable entre aditivos generando demasiados vapores tóxicos, explosivos e inflamables a la presencia de calor o fuente de ignición.	Verificar en el adiestramiento la comprensión del procedimiento de adición de aditivos, puesto con operador con experiencia. Instalar equipo de adición de aditivos por medio de bombeo medido, en lugar de manual y así evitar el contacto físico y error humano. Verificar equipo aterrizado.

AREA: TANQUE INTERMEDIO				
PALABRA GUIA	VARIABLE DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIA	MEDIDAS A TOMAR
NO	NIVEL Tanque intermedio (vacío)	<p>23. No contar con alarma de bajo nivel (LLA), y operador no verifica el nivel por olvido.</p> <p>24. Válvulas cerradas de bloqueo de filtros.</p> <p>25. Taponamiento de líneas, filtros sucios a tanque intermedio.</p> <p>26. Falla de bomba de transferencia a tanque.</p> <p>27. Fuga de mezcla por tubería, bridas y bombas.</p> <p>28. Falla de bomba de transferencia (motor o impulsor).</p>	<p>Paro de bombas de pistón, por falta de mezcla y disminución en niveles en reactores de polimerización, afectando la calidad y producción del producto.</p> <p>Igual que (23).</p> <p>Igual que (23).</p> <p>Igual que (23).</p> <p>Igual que (23) y derrame de lactama.</p> <p>Igual que (23).</p>	<p>Procedimiento operador de campo realiza rutina de chequeo de condiciones de operación (niveles de tanques) y estado de equipo. Instalar alarma de bajo nivel LLA en campo y tablero.</p> <p>Igual que (23).</p> <p>Verificar temperaturas de línea y filtro, realizar cambio de filtro de acuerdo a programa de limpieza de equipo duplex.</p> <p>Realizar cambio de bomba de relevo de acuerdo PMP.</p> <p>Localizar fuga, dejar solidificar lactama o mezcla y recogerla con equipo de seguridad (EPP), para evitar accidentes por resbalarse. Llevar a cabo procedimiento entrega a equipo a mantto. Cambio de bomba de relevo y contemplarla en el programa de mantenimiento preventivo (PMP).</p>
MENOS	NIVEL	29. VER NO NIVEL	VER NO NIVEL	VER NO NIVEL
MÁS	NIVEL	30. Operador olvido checar nivel de tanque, además de no contar con LHA.	Derrame de lactama del tanque intermedio por burbujeador de nitrógeno.	<p>Instalar alarma de alto nivel (LHA) en tablero y campo. Además de un sistema de paro de bomba y cierre de válvula de entrada del tanque intermedio por alto nivel.</p> <p>Localizar fuga, dejar solidificar lactama o mezcla y recogerla con equipo de seguridad (EPP), para evitar accidentes por resbalarse.</p>
NO	FLUJO	31. Igual que (24,25,26 y27).	Igual que no nivel tanque intermedio.	Igual que no nivel tanque intermedio.
MENOS	FLUJO	32. Igual que (24,25,26 y27).	Igual que no nivel tanque intermedio.	Igual que no nivel tanque intermedio.
PALABRA	VARIABLE	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIA	MEDIDAS A TOMAR

GUIA	DESVIACION			
MÁS	FLUJO	33. Bomba recién reparada o cambio de filtros.	Llenado rápido de tanque intermedio, posible derrame por alto nivel (ver punto 30).	(Ver punto 30).
MÁS	TEMPERATURA	34. Igual que (11).	Igual que (11).	Igual que (11).
MENOS	TEMPERATURA	35. Igual que (12, 13,14).	Igual que consecuencia (23).	Igual que (12, 13,14).

AREAY SISTEMA: ALIMENTACIÓN AL POLIMERIZADOR				
PALABRA GUIA	VARIABLE DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIA	MEDIDAS A TOMAR
NO o MENOS	FLUJO de mezcla	<p>36. Válvulas cerradas por olvido de bloqueo a filtros oblea, a bombas de pistón y válvula bloqueo al polimerizador.</p> <p>37. Filtro oblea saturado por impurezas.</p> <p>38. Falla de la bomba de pistón por problemas de motor o mecánicos.</p> <p>39. Falla de energía eléctrica.</p> <p>40. Fuga de mezcla por bridas o algún equipo o elemento desacoplado.</p> <p>41. Falla de la bomba del polimerizador.</p>	<p>Igual que consecuencia (23).</p> <p>Igual que consecuencia (23).</p> <p>Igual que consecuencia (23).</p> <p>Paro total de planta.</p> <p>Derrame de mezcla.</p> <p>Baja producción de producto.</p>	<p>Verificar la correcta operación de las válvulas al cambio del equipo de relevo para mantenimiento o limpieza. Y asegurar abrir válvula de bloqueo al polimerizador al arranque de bomba de pistón.</p> <p>Realizar cambio de equipo duplex para limpieza y/o mantto. de acuerdo a programas y procedimiento de entrega de equipo.</p> <p>Igual a punto anterior.</p> <p>Seguir procedimiento de paro por falla de energía eléctrica.</p> <p>Asegurar bloquear equipo de acuerdo a procedimiento de entrega y recepción a mantto. Localizar fuga y delimitarla, dejar solidificar lactama o mezcla y recogerla con equipo de seguridad (EPP), para evitar accidentes y poder corregir.</p> <p>Tener bomba y motor de repuesto a emergencia y seguir procedimiento de cambio.</p>
INVERSO	FLUJO de mezcla	<p>42. No cerrar la válvula de bloqueo al polimerizador, a paro de bomba por alta o baja presión.</p> <p>43. Abrir válvula de bloqueo al polimerizador sin tener presión especificada en la línea, al arrancar bomba de pistón.</p>	<p>Regreso de flujo ya polimerizado, tapando toda la tubería de alimentación teniendo que realizar paro total de planta para cambio tubería.</p> <p>Igual punto anterior.</p>	<p>Asegurar que el cierre de la válvula de bloqueo al polimerizador, al paro de bomba por alta presión. Instalar válvula automática con by-pass, para que al paro bloquee la entrada al polimerizador.</p> <p>Seguir procedimiento de arranque de bombas de pistón a polimerizador e instalar válvula automática de bloqueo la cual abra a una presión específica.</p>

PALABRA GUIA	VARIABLE DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIA	MEDIDAS A TOMAR
MENOS	<p>TEMPERATURA (En línea del intermedio a bombas de pistón)</p> <p>(En línea de bombas de pistón a polimerizador)</p> <p>(Polimerizador)</p>	<p>44. Traza de vapor de 20 lb. en mal estado así, como aislamiento de línea del intermedio a filtros oblea y válvulas de bloqueo.</p> <p>45. Falla vapor de 150 Lb. a línea de bombas de pistón a polimerizador; por mal aislamiento, trampas no descargan o falla de suministro de servicios.</p> <p>46. Válvulas bloqueo cerrada a VCP del reboiler o falla de la misma. Y válvulas en líneas de alimentación o retorno de difil cerradas.</p> <p>47. Demasiados incondensables de vapor de difil.</p> <p>48. Baja presión en reboiler por bajo nivel o alto nivel (inundado) del mismo.</p> <p>49. Venteo de reboiler abierto por descuido.</p> <p>50. Fuga de difil por alguna válvula, brida, instrumento, línea o equipo.</p>	<p>Taponamiento de línea por solidificación de lactama (mezcla), provocando no flujo a bombas de pistón. Y paro de la misma (igual que punto 23).</p> <p>Obstrucción en línea al polimerizador parando bomba de pistón por alta presión. Y no flujo (igual punto 23).</p> <p>Formación de geles en polímero dando productos de mala calidad.</p> <p>Igual que punto anterior.</p> <p>Igual que punto anterior.</p> <p>Baja de nivel, si se baja demasiado el nivel, posible doblamiento de tubos de interior del reboiler y fuga interna.</p> <p>Posible fuego o explosión en el área afectada.</p>	<p>Rutina de operador de campo verifica además de las condiciones de operación, el estado del equipo y reportándolas a mantenimiento.</p> <p>En el caso de taponamiento seguir el procedimiento evitando el derrame de mezcla y quemaduras.</p> <p>Rutina de operador de campo verifica, condiciones de operación y el estado del equipo, reportándolas a mantenimiento o al supervisor en caso de falla de servicios.</p> <p>Realizar check list de arranque de equipo asegurando el estado correcto de las válvulas.</p> <p>En proceso normal, tener listo repuesto de VCP del reboiler, utilizar by-pass para hacer cambio y verificar aire de suministro a la válvula.</p> <p>Ventear polimerizador según procedimiento.</p> <p>Operador de campo checa las condiciones, repone con difil caliente el nivel del reboiler y asegura el llenado sin sobrellenarlo, limpia la mirilla de nivel.</p> <p>Seguir procedimiento de venteo, coordinándose operador de campo y tablerista, si nota alguna desviación en las variables y tomar acción rápida.</p> <p>Localizar la fuga y ver la gravedad, si es necesario realizar rápidamente bloqueo de reboiler con VCP, manuales y abrir venteo, activar alarma vs. incendio.</p> <p>Operador de campo reportara estado de equipo de acuerdo a rutina y entregar a mantto.</p> <p>Revisar la integridad mecánica de los equipos de acuerdo a programa de mantto.</p>

PALABRA GUIA	VARIABLE DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIA	MEDIDAS A TOMAR
MENOS	TEMPERATURA	51. Paro de hornos de difil.	Enfriamiento de temperatura de polimerizador, posible amarre de bombas de engrane y paro de proceso.	Seguir procedimiento de operación de proceso por paro de horno de difil, donde menciona como ir parando y trabajando el equipo.
MÁS	TEMPERATURA En líneas de alimentación. Polimerizador	52. Mejora calidad de vapores de servicios, problema en la reducción del vapor. 53. By-pass de VCP del reboiler abierta o falla de la VCP.	Ayuda a la formación de sólidos de oligomeros, ensuciando en menos tiempo los filtros, menos flujo en línea a bombas pistón. Aumento de temperatura por alta presión degradando el polímero y teniendo mala calidad y procesabilidad del producto. Y en caso extremo la alta presión abriría la válvula de seguridad del reboiler y se vaciaría el reboiler.	Rutina de operador de campo, checar el cambio de filtros y reportar temperaturas para corrección. Igual que punto 45, además asegurar que a falla de aire cierre la válvula.
MÁS	PRESIÓN	54. Por obstrucción o válvula de bloque cerrada. 55. Falsa señal de PT.	Puntos 36 y 44. Activa PIA polimerizador y manda paro de bombas de pistón, teniendo variaciones de niveles en reactores siguiente y producto de baja calidad.	Puntos 36 y 44. Checar en campo y tablero las alarmas y paro de bomba de pistón. Y entregar a mantto para su rápida corrección, contar con repuestos de instrumentos o equipos críticos.
MENOS	PRESIÓN	56. Igual que 38, 39 y 40. 57. Falla de sello de ruptura. 58. Válvula de purga a la salida del polimerizador abierta.	Igual que 38, 39 y 40. Paro de proceso por salida de polímero del alto polimerizador, posible quemaduras a personal cerca. Derrame de polímero.	Igual que 38, 39 y 40. No pasarse el tiempo recomendado por fabricante para el cambio de sello de polímero. Adecuar área de descarga del polímero, para evitar accidentes o incendios. Tener extractores para sacar vapores, activar alarma de emergencias. Asegurar el cierre de válvula de purga a la toma de muestra. Tener agua para enfriar polímetro y aislar lugar y contar con equipo de seguridad para cerrar válvula.

6.- CONCLUSIONES

Después de realizar el análisis de riesgo de proceso (HAZOP) de nylon 6, en el área que comprende desde el tanque mezclador de la fórmula polimerizable hasta el primer reactor de polimerización. Donde a continuación se concluye las siguientes acciones más importantes a tomar (pudiendo ver todas en el HAZOP). Para evitar o disminuir a los riesgos que se exponen; personal, equipo y producto.

A) En cuanto a equipo; realizar las siguientes instalaciones:

1. Bomba para tener un sistema duplex en línea de alimentación al mezclador, evitando retraso de preparación de mezcla y baja de producción.
2. CF (Micromotion) para así tener 2 sistemas de medición de lactama al preparar la mezcla para evitar derrame y mala preparación de la misma.
3. Control automático de cierre de válvula de descarga del mezclador al arranque de bomba de alimentación al mismo, evitando contaminación de mezcla preparada y derrame.
4. Sistema de alimentación de aditivos por medio de bombas con medición de flujo, para evitar la mínima exposición física a químicos por error humano.
5. Sistema de Instrumentación con indicación de nivel (LI), alarma de alto y bajo nivel (LHA, LLA) en campo y tablero. El cual mande el cierre de válvula de descarga del mezclador y paro de bomba, evitando derrame de mezcla.
6. Válvula automática de bloqueo al polimerizador con su by-pass., la cual cierre al paro de bombas de pistón y evitar retorno de polímero.

B) En cuanto personal involucrados es; el adiestramiento, entendimiento de los procedimientos involucrados y comunicación entre los mismos para una pronta acción sin arriesgarse.

También se puede concluir que dicho análisis de riesgo sería más enriquecido si se hubiera realizado con un grupo multidisciplinario como lo estipula el método, el cual aumentaría su creatividad por su variedad de ideas. Por lo tanto dicho Análisis no pretende ser una guía formal

a seguir de los resultados obtenidos, si no solo trata de mostrar el procedimiento a seguir de dicha técnica y los beneficios que te puede brindar el realizarlo.

7.- BIBLIOGRAFÍA

1. Harris R. Greenberg and Joseph J.Cramer. Risk Assesment and Risk Management for the Chemical Process Industry. Stone & Webster Engineering Corpooration. Van Nostrand Reinhold. New York (1991).
2. Secretaria del trabajo y prevención Social. NOM-028-STPS-2004, Organización del trabajo-Seguridad en procesos de sustancias químicas. Primera Sección del Diario Oficial de la federación viernes 14 de enero de 2005.
3. Occupational safety and Health Administration, labor (OSHA). Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals. Federal register Vol.57, No. 36. 29CFR Part 1910.119-e. Stone & Webster Engineering Corpooration, Safety & Risk Management Division. New York USA. Monday, February 24, 1992.
4. Joaquín Casal, Helena Montiel, Eulalia Palmas y Juan A. Vílchez. Análisis del riesgo en instalaciones industriales. Alfa Omega Grupo editorial S.A. de C.V. Bogota D.C. Colombia 2001.
5. R. Ellis Knowlton. Una introducción a Los Estudios de Riesgo y Operabilidad “El enfoque de la palabra guía”.Chemetics International Company Inc. Feb.1981, traducción al Español por : Carlos J. Gorricho, C.G. Ingeniería Ltda. Dic. 1987.