

# ANÁLISIS PRELIMINAR DE PELIGROS (PHA) EN PROYECTOS DE LA INDUSTRIA DE PROCESOS

Nain Aguado Quintero, Ingeniero Sénior en Integridad de Activos y Confiabilidad Operacional

ASSETS PROJECT MAINTENANCE CONSULTING S.A.S

Carrera 85B No. 14-74 Santiago Cali D.E

## Resumen

**Identificación Preliminar de Peligros PHA** examina todas las fuentes de peligros y riesgos razonablemente posibles durante las actividades de diseño, construcción, instalación y puesta en marcha del proyecto, debe realizarse preferiblemente lo más temprano posible en la fase de diseño para poder influir en el diseño.

**Como soporte al diseño y la ingeniería:** estos estudios se emplean en las **etapas de diseño y construcción de instalaciones** con el objetivo de llevar a cabo revisiones clave que involucran al grupo de ingeniería, construcción y puesta en servicio. Estas revisiones generalmente incluyen un estudio de peligros, revisiones de diseño, revisiones de P&ID, revisiones de modelos 3D, revisiones de dibujos isométricos, evaluaciones de riesgos y revisiones de peligros durante la construcción (HAZCON).

Las metodologías empleadas por la industria de procesos de capital intensivo recomiendan las siguientes metodologías para el análisis de riesgos:

1. **El estudio HAZID** es una técnica dentro de un conjunto de herramientas de evaluación de peligros y gestión de riesgos. El HAZID se puede llevar a cabo a nivel de unidad o sistema con poca documentación aparte de un concepto de diseño.
2. **Los estudios HAZOP y What-if** se centran en un nivel de sistema o nodo y

dependen de información precisa sobre la seguridad del proceso. Los **estudios de pajarita o Bowtie** son una representación pictórica detallada y una evaluación de un evento importante, las amenazas y consecuencias relacionadas con su materialización, y las barreras preventivas y de mitigación establecidas para gestionar el riesgo.

La metodología HAZOP se desarrolló originalmente como una herramienta de identificación de riesgos para las industrias de procesamiento químico y petrolera.

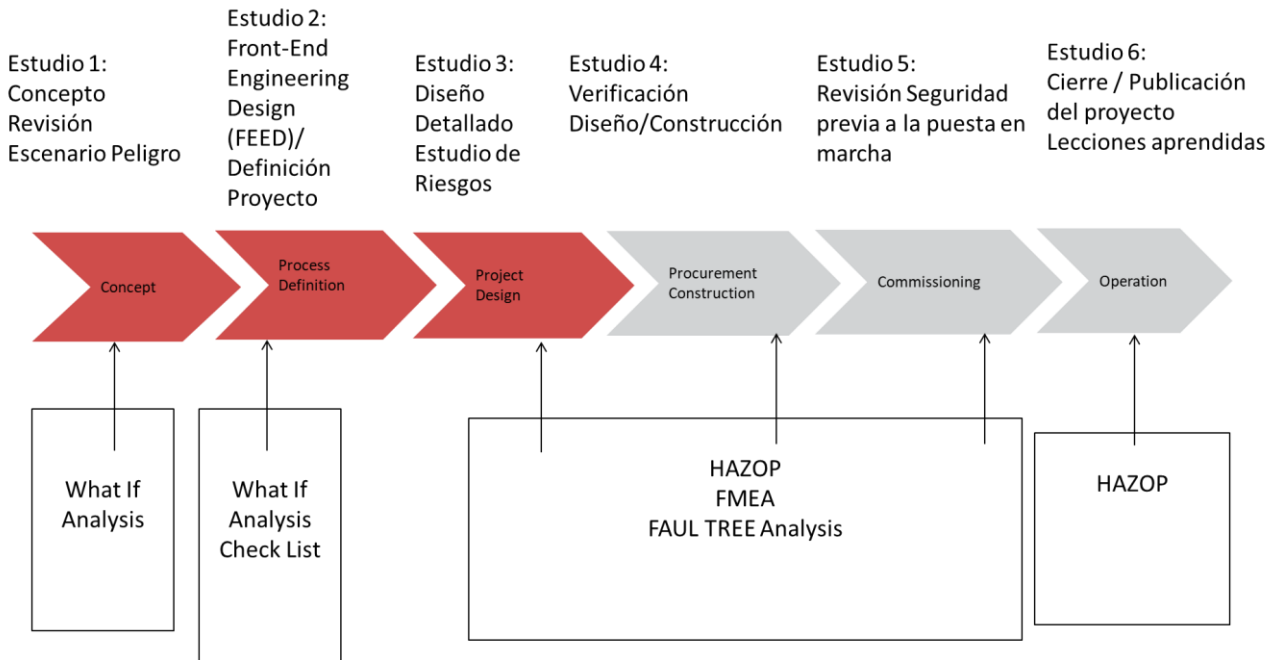
**El estudio HAZOP** por otro lado; para realizarlo necesitamos un diseño bastante completo. Como solución de compromiso, el HAZOP suele realizarse como comprobación final cuando se ha completado el diseño detallado.

Es importante comprender el método utilizado para HAZOP para preparar adecuadamente y completar con éxito el taller HAZOP, y para ayudar a garantizar que el resultado de HAZOP sea sólido, defendible y útil para el propietario de HAZOP de la Unidad de Negocios.

**El objetivo de este documento es delinear un método HAZOP** para uso de los facilitadores de HAZOP, comprender el papel del líder del equipo en la implementación de las recomendaciones y la gestión del proceso.

## Palabras Clave

Causa, Consecuencia, Intención del diseño, Desviación, Palabra guía, ALARP, SFAIRP, Peligro y operabilidad (HAZOP, Nodo, Operabilidad, Parámetros, P&ID, Riesgo, Salvaguardia, Términos de Referencia (TDR), Lubricación, Mantenimiento, Confiabilidad, Seguridad de Proceso, Integridad Mecánica, Análisis Riesgos, Perdida Productividad, Investigación de Incidentes, Gestión Cambio, Compromiso con las mejores Prácticas, Gestión Proyectos.



**Dibujo 1. La relación de los HS (HAZARD STUDIES) en el ciclo de vida del proyecto. Desarrollo propio**

### **1. Introducción Análisis Preliminar de Peligros PHA:**

Simplemente, un PHA permite a la Unidad de Negocio y al área de Ingeniería e Integridad de Activos:

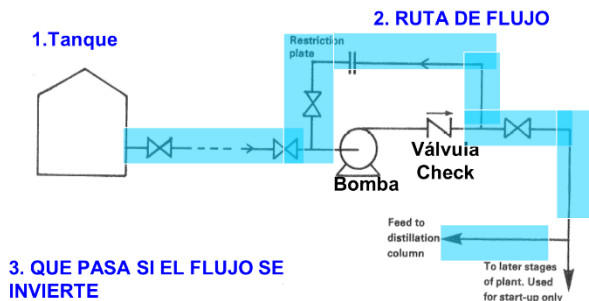
- Determinar la ubicación de posibles problemas de seguridad de procesos
- Identificar medidas correctivas para mejorar la seguridad de procesos
- Planificar con anticipación las acciones de emergencia que se tomarán si fallan los controles de seguridad de procesos.
- Utilizar una o más metodologías establecidas apropiadas a la complejidad del proceso.
- ES realizado por un equipo con experiencia en ingeniería y operaciones de procesos
- Incluye personal con experiencia y conocimientos específicos del proceso que se está evaluando y de la metodología de análisis de peligros que se está utilizando.

- Identificación de incidentes previos con probable potencial de consecuencias catastróficas.
- Controles de ingeniería y administrativos aplicables a los peligros y sus interrelaciones
- Consecuencias de la falla de los controles administrativos y de ingeniería, especialmente los que afectan a los empleados.
- Ubicación de las instalaciones; Factores humanos.
- La necesidad de resolver con prontitud los hallazgos y recomendaciones del PHA

### 1.1. Propósito Metodología HAZOP

El estudio de peligro y operabilidad (HAZOP) es una técnica estructurada y sistemática para examinar un sistema con el objetivo de:

1. Identificar los riesgos asociados con la operación y el mantenimiento de un sistema; los peligros o cualquier otra fuente de riesgo involucrada que pueden incluir tanto aquellos presentes en el área inmediata del sistema, como aquellos presentes en una mayor área de influencia, como por el ejemplo el medio ambiente.
2. Identificar potenciales problemas operativos del sistema y en particular identificar las causas de alteraciones operacionales, así como desviaciones de producción.



Dibujo 2: Diagrama de flujo de procesos desarrollado por el autor.

*“En el dibujo 2, analiza los riesgos que surgirían si se invierte el flujo en la operación. “*

Un rasgo característico de un estudio HazOp son las sesiones de trabajo durante las cuales el equipo multidisciplinario con la guía de un facilitador examina sistemáticamente todas las partes relevantes de un sistema. Se identifican desviaciones de la intención de diseño del sistema utilizando un grupo de palabras guía. La técnica busca estimular la imaginación de los participantes de una manera sistemática para identificar los riesgos y los problemas operativos.

### 2. Alcance

El **Análisis HAZOP** es principalmente un enfoque estructurado de lluvia de ideas basada en palabras guías y la experiencia de un equipo multidisciplinario (incluidos contratistas y proveedores cuando sea necesario). Este enfoque estructurado debe tomarse para asegurar que no queden peligros, que puedan iniciar eventos o secuencias de eventos (especialmente eventos de baja frecuencia, pero de alta consecuencia) sin identificar.

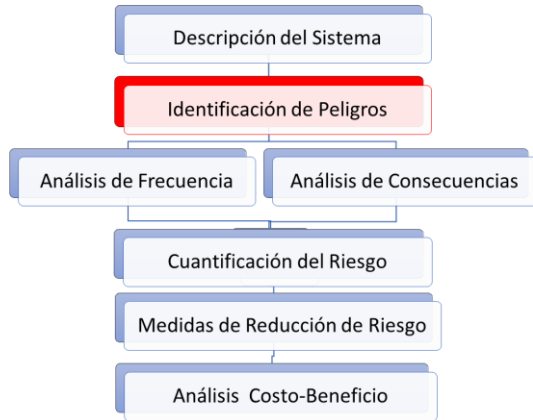
El análisis HAZOP se lleva a cabo siguiendo el diagrama de bloques que se muestra en el **Dibujo 3**.

El alcance de las actividades es:

- Recopilación, verificación, análisis y procesamiento de información, lo que incluye la revisión de la información proporcionada por el cliente y familiarización con los procesos y actividades de la planta.
- Desarrollo del estudio de peligros y operabilidad HAZOP.
- Jerarquización de los riesgos identificados de acuerdo con los

criterios establecidos en la matriz de riesgos de la Unidad de Negocios UN.

- Propuesta de mejoras y medidas de control de acuerdo con la importancia de los riesgos que previenen o mitigan.



**Dibujo 3: Diagrama de flujo análisis inicial de los peligros del proceso en una instalación desarrollado por el autor.**

### 3. Objetivos

Por criterios de seguridad

Por criterios de operatividad

**OBJETIVOS DE UN ESTUDIO PHA**

“Prevenir es mejor que controlar”

“Que es el Riesgo en una instalación

La **POSIBILIDAD** y *consecuencia* de que un *evento no deseado* específico ocurra durante un *periodo específico* o bajo *circunstancias específicas*”

**El método HAZOP** es una técnica formal para la identificación de peligros potenciales y problemas de operación de procesos que involucren altos riesgos.

**Su Principio:** es que los peligros no se manifestaran como daños si la planta se opera dentro de las intenciones de diseño. Por lo tanto, el método plantea las posibles desviaciones, respecto de las intenciones del diseño, que pudiera ocurrir y trata de

encontrar causas razonables para las desviaciones.

Si existen causas razonables para las desviaciones, se evalúan las consecuencias del peligro y su frecuencia probable de ocurrencia y se determina si es necesario realizar una actividad determinada para eliminar, minimizar o mitigar las consecuencias.

### 4. Términos y Definiciones

**Causa:** Evento, situación o condición que resulta o podría resultar, directa o indirectamente, en un incidente.

**Consecuencia:** Resultado directo e indeseable de una secuencia de incidentes que generalmente implica un incendio, una explosión o liberación de material tóxico.

**Intención del diseño:** Cómo se supone que debe funcionar un proceso o sistema.

**Desviación:** Desviación de la intención del diseño. Una desviación se crea combinando una palabra guía con un parámetro.

**Palabra guía:** Palabras como “alto”, “bajo” y “no” que se aplican a los parámetros para crear una desviación potencial de la intención del diseño.

**Peligro:** Condición o práctica química o física con potencial de causar daño a las personas, medio ambiente, propiedad o reputación.

**Peligro y operabilidad (HAZOP):** Ver Sección 1.1.

**Nodo:** Sección claramente definida de la instalación en la que se registran las desviaciones de la intención de diseño del proceso evaluado.

**Operabilidad:** Capacidad de operar una instalación dentro del marco de diseño y cumplir con las expectativas del negocio.

**Parámetros:** Condiciones, como flujo, presión y temperatura, utilizadas para definir un proceso.

**P&ID:** Diagramas de tuberías e instrumentación

**Riesgo:** Ver sección 2

**Salvaguardia:** Dispositivo, sistema o acción que probablemente interrumpiría la cadena de

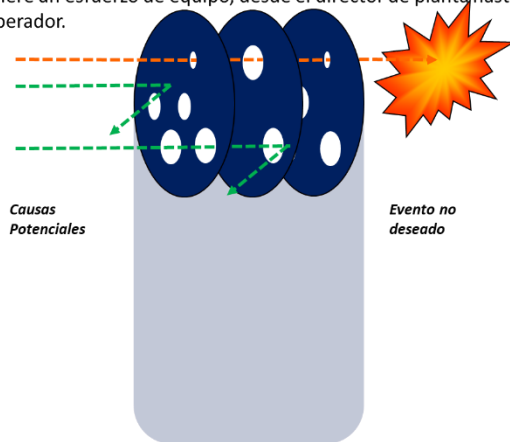
eventos después de un inicio, para mitigar los impactos de los eventos de pérdida. Las salvaguardas pueden prevenir causas, detectar desviaciones o mitigar las consecuencias.

**Términos de referencia (TOR):** Es el acuerdo entre la Unidad de Negocio (UN) y el facilitador de HAZOP que define los objetivos, alcance, método, cronograma y entregables del HAZOP antes de su desarrollo.

UN: Unidad de Negocio

## 5. Preparación del HAZOP

La implementación y el mantenimiento de capas protectoras requiere un esfuerzo de equipo, desde el director de planta hasta el Operador.



Dibujo 4: Dinámica de un evento catastrófico en una instalación desarrollado por el autor.

### DINÁMICA ACCIDENTAL

**Causa:** primer evento en la dinámica accidental, que marca una transición entre la operación normal y la anormal. Puede ser una falla operacional, mecánica, evento externo.

**Desviación:** condición de operación fuera de parámetros de diseño, seguros o estándar.

**Evento de pérdida:** momento en que ocurre un efecto físico irreversible con el potencial de daño.

**Impacto:** medida del daño producido por un evento.

El especialista/consultor HAZOP debe recibir, al menos dos semanas antes del HAZOP, los

términos de referencia que incluyan los P&ID utilizados para definir los nodos y el procedimiento HAZOP de la UN. El diseño reflejado en los P&ID debe estar suficientemente desarrollado y aprobado por el equipo del proyecto para el estudio HAZOP. Cualquier documento adicional utilizado durante el HAZOP debe incluirse en el informe final.

A continuación, se proporciona una lista que describe las necesidades de datos típicas para un estudio HAZOP:

### Diagramas de flujo PI&D:

- Paquetes de proveedores si están dentro del alcance del HAZOP
- Especificaciones de clase de tubería
- Materiales de construcción

### PFD:

- Balances de calor y materia
- Inventarios
- Límites operativos superiores e inferiores seguros, envolventes operativas

### Informes anteriores de HAZID, What If, HAZOP o LOPA/SIL

### Información de los elementos de control, alarma y shutdown:

- Configuración de las alarmas y paradas
- Filosofía y descripción del sistema de control
- Descripciones de activación y respuesta de enclavamiento/disparo
- Matrices de parada (diagramas de causa y efecto)
- funciones del sistema ESD

### **Información sobre los sistemas de alivio de presión, quemado de gases, ventilación y despresurización:**

- Hojas de datos de válvulas de alivio
- Escenarios considerados para el dimensionamiento de los dispositivos
- Información sobre el diseño y dimensionamiento de los sistemas de quema/eliminación, incluida una lista completa de los problemas comunes
- Escenarios de falla (es decir, falla de energía) y efectos sobre las cargas de antorcha y la contrapresión del sistema de antorcha.

### **Cambios en el diseño desde el último HAZOP o PHA.**

#### **Procedimientos operativos:**

- Arranque, operación, apagado, emergencia, requeridos para un estudio HAZOP.

#### **Informes previos de accidentes:**

- Accidentes/incidentes/cuasi accidentes relacionados con la seguridad de procesos

#### **Descripción del proceso y química del proceso.**

- Planos de distribución de las instalaciones/unidades.

#### **La documentación adicional puede incluir lo siguiente según corresponda:**

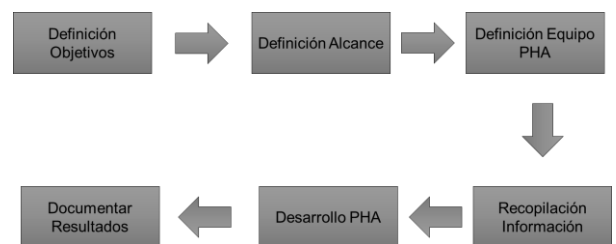
- Pautas de control de corrosión y diagramas de corrosión y materiales
- Curvas de funcionamiento de bombas y compresores y presiones muertas
- Hojas de datos de instrumentación, incluyendo válvulas de control, orificios,

válvulas de estrangulamiento y reguladores.

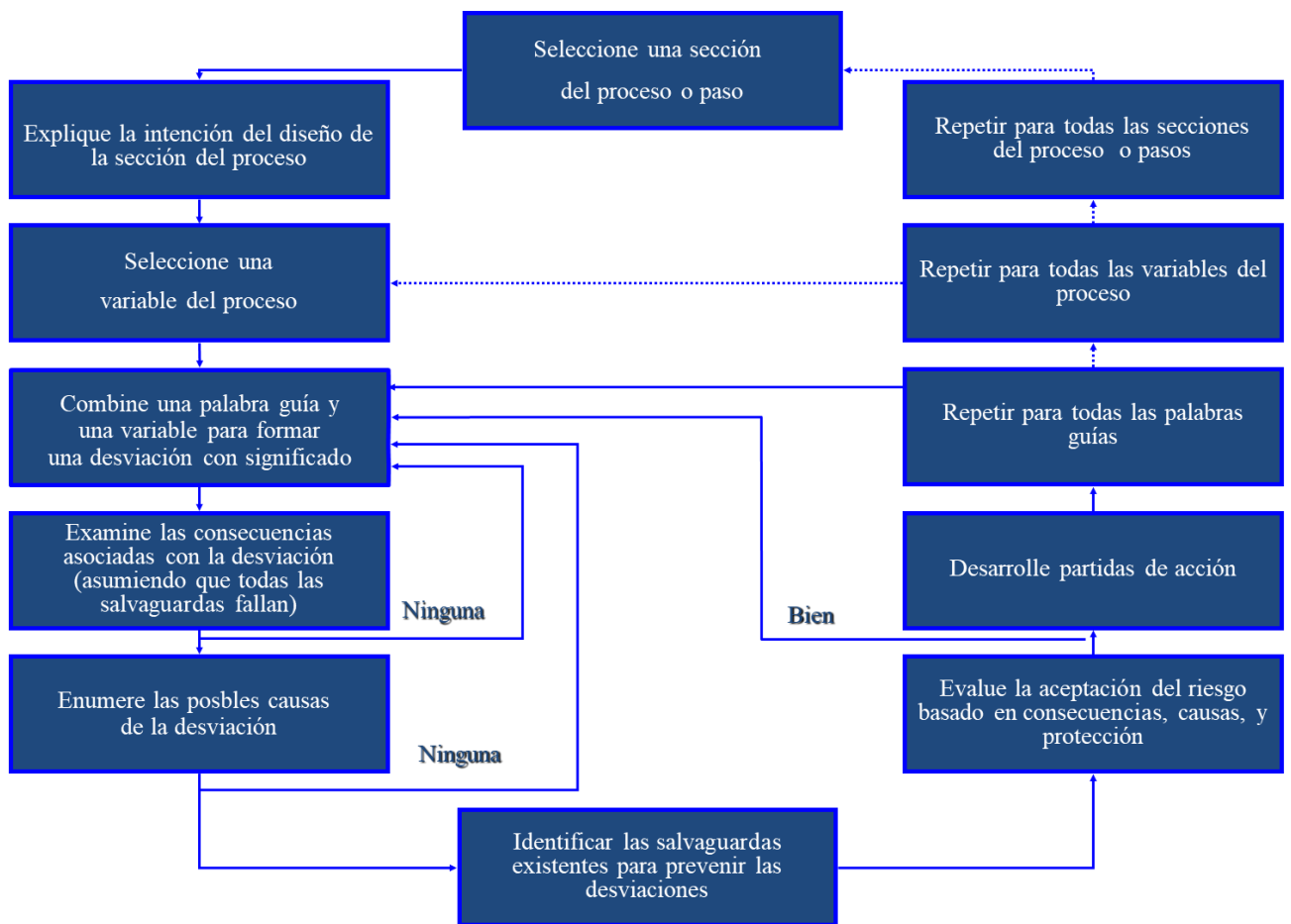
- Capacidades de válvulas.
- Filosofía y bases del diseño de protección contra incendios
- Resultados de inspección y pruebas, registros de mantenimiento, historial operativo y condición actual de equipos de proceso
- Planos de disposición general y elevación, incluyendo clasificación del área eléctrica

#### **Filosofía de operaciones y mantenimiento**

- Procedimientos de puesta en servicio
- Procedimientos de mantenimiento
- Evaluación de riesgos previa. En particular, cualquier modelado de consecuencias que se haya completado para evaluar las consecuencias de las causas identificadas
- Diagramas de bucles eléctricos
- Diseño del sistema de ventilación
- Códigos y normas de diseño



**Dibujo 5: Flujo análisis inicial de los peligros del proceso en una instalación desarrollado por el autor.**



**Dibujo 6: Procedimiento HAZOP desarrollado por el autor.**

## 6. Ejecución del HAZOP

El flujo de trabajo del proceso HAZOP, ilustrado en el Dibujo 6, combina de manera sistemática los parámetros del proceso (como flujo, presión y temperatura) con palabras guía (como no, alto, bajo e inverso) para identificar desviaciones del proceso respecto a la intención de diseño o el funcionamiento previsto de las instalaciones.

### 6.1. Definición de nodo

Normalmente, los nodos son determinados por el facilitador durante la revisión de los P&ID del proyecto.

### La definición incluye:

1. Divida la instalación en sistemas de procesos y subsistemas, utilizando un diagrama de procesos en bloques, si es necesario.
2. Seguir el flujo del proceso del sistema en estudio, utilizando los PFD
3. Aislar los subsistemas en componentes principales que logren un único objetivo (por ejemplo, aumentar/disminuir la presión o la temperatura, eliminar agua o líquidos, separar o comprimir gases, eliminar contaminantes, exportar líquido o gas)
4. Los nodos deben ser lo suficientemente pequeños para que el equipo no pierda el foco.

- Los nodos deben ser lo suficientemente grandes como para incluir al menos un equipo importante y pueden incluir equipo asociado (por ejemplo, un nodo centrado en una columna de destilación con equipo asociado incluido, bombas e intercambiadores)
- Otras consideraciones, como las rupturas de especificaciones de presión, pueden definir los límites de los nodos.

## 6.2. Desviaciones

Las desviaciones típicas aplicadas a cada nodo se enumeran en la siguiente Tabla 1.

Process Related Deviations	Other Deviations
High Pressure	Startup / Shutdown
Low Pressure	Maintenance (e.g., facility siting issues)
High Flow	Sampling
Low / No Flow	Others, as appropriate
Reverse Flow	
Misdirected Flow	
High Level	
Low / No Level	
High Temperature	
Low Temperature	
Incorrect Concentration	

PALABRA GUIA	DESVIACION	CAUSAS
NO	NO HAY FLUJO	Bloqueo, fallo en la bomba, válvula cerrada, fuga, recipiente de succión vacío, falla de control, descarga sobrepresurizada
MAS	MAS TEMPERATURA	Fuego exterior, puntos calientes, bloqueo, formación de espuma, explosión de la reacción, gases, efecto del sol
MENOS	MENOS FLUJO	
CONTRARIO o INVERSO	FLUJO INVERSO	Falla de válvula, descarga despresurizada, inversión del bombeo
ADEMAS DE	IMPUREZAS o FASE EXTRA	Entrada de contaminantes como agua o aceites, corrosión, falla del aislamiento.
PARTE DE	VARIACION EN LA COMPOSICION	Concentración alta o baja de la mezcla, cambio en la alimentación, reacciones adicionales
DIFERENTE DE	ACTIVIDADES DISTINTAS	Marcha y parada de planta, inspecciones y muestreo, mantenimiento, fallo de energía, emergencia de proceso.

Tabla 1. Palabras Guías y Desviaciones adaptado por el autor.

## 6.3. Clasificación de riesgos

La clasificación de riesgos se realiza para proporcionar información al sistema de gestión de peligros de UN. El uso de una matriz de clasificación de riesgos (RAM) debe

confirmarse con la UN antes de la sesión HAZOP y documentarse en el TOR. El equipo HAZOP lleva a cabo el proceso de clasificación de riesgos de la siguiente manera:

MATRIZ DE EVALUACION DE RIESGOS

PROBABILIDAD	GRAVEDAD				
	Leve	Moderado	Severo	Alto	Catastrofico
5 Frecuente	25	50	75	100	125
4 Ocasional	16	32	48	64	80
3 Raramente	9	18	27	36	45
2 Remoto	4	8	12	16	20
1 Improbable	1	2	3	4	5

SEVERIDAD	CONSECUENCIAS				
	A	B	C	D	E
PERSONAS	No daños salud	Ligeros daños afectan salud	Menores daños afectan salud	Accidente mayor	Más de 3 fatalidades
EFFECTOS POBLACIÓN	No efectos	Ligeros daños afectan salud	Menores afectan salud	Accidente mayor	Más de 3 fatalidades
PERDIDAS PRODUCCIÓN	No pérdidas	Pérdidas leves	Pérdidas menores	Pérdidas moderadas	Pérdidas mayor
DAÑOS INSTALACIÓN	No daños	Daños leves	Daños menores	Daños moderados	Daños mayores
IMPACTO AMBIENTAL	No impacto	Impacto leve	Impacto menor	Impacto moderado	Efecto mayor

Dibujo 6. Modelo Matriz de Riesgo – Adaptado por el autor

Debido a limitaciones de tiempo del proyecto, la UN podría intentar clasificar el riesgo solo a ciertos escenarios. Por ejemplo, se podría solicitar que el enfoque del HAZOP para fines de clasificación de riesgos se reduzca de la siguiente manera:

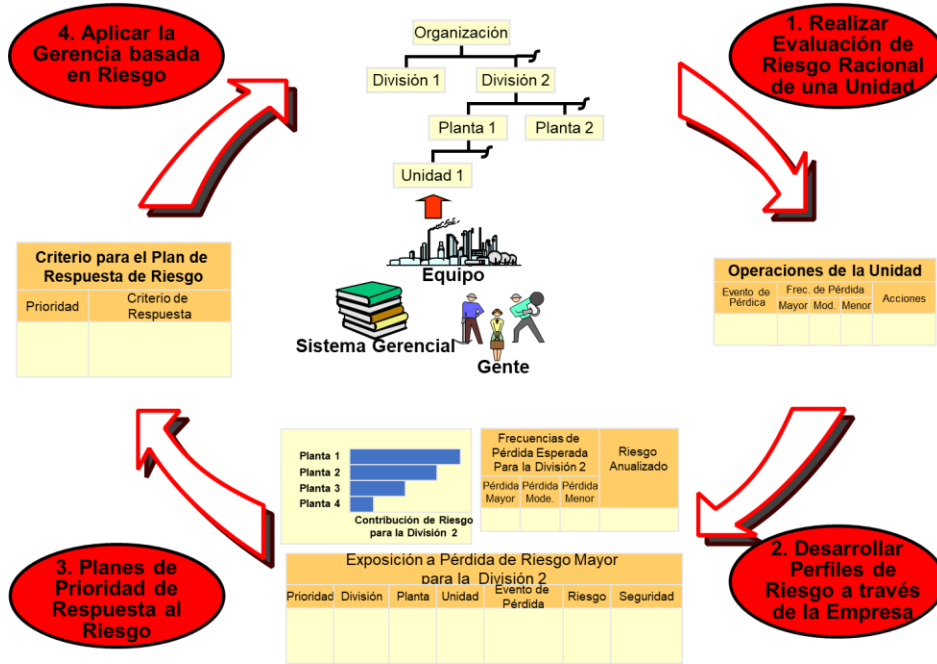
- Clasifique el riesgo únicamente en consecuencias categorizadas como “Seguridad” o “Ambiental”.
- Clasifique el riesgo únicamente como consecuencias para las cuales el equipo ha generado una recomendación. Esta solicitud común implica que las consecuencias de interés sin recomendaciones (que pueden tener un rango de riesgo en el rango crítico) se están gestionando adecuadamente fuera de Riesgo de explosión.

## 6.4. TALLER HAZOP

Detalles: Grabación, Entregables, Reglas básicas, Cronograma, Equipo



## Perfil de Confiabilidad/Riesgo Racional

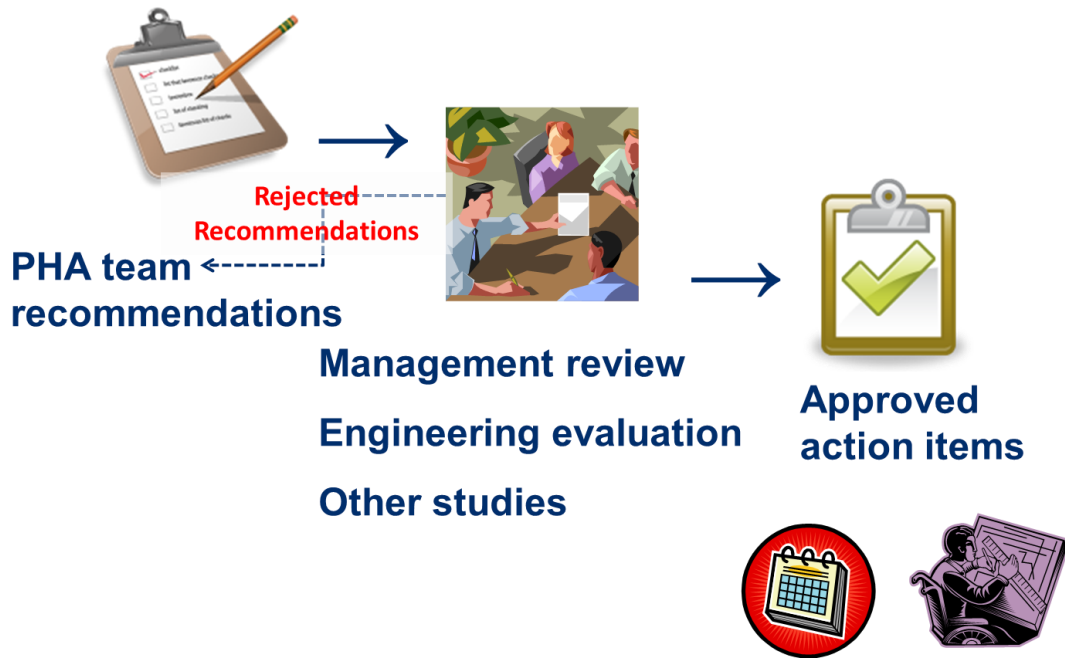


<b>Proyecto:</b>								
<b>HAZOP:</b>								
<b>Fecha:</b>								
<b>INTEGRANTES DEL GRUPO DE TRABAJO</b>			<b>Sesión</b>	1	2	3	4	5
<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Empresa</b>	<b>Fecha</b>					
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

Tabla 2. Team HAZOP desarrollado por el autor.

ESTUDIO HAZOP CPR																							
Nodo	Variable	Palabra Guía	Desviación	Consecuencia	Sev	Causas	Prob	Controles existentes	DP	EP	PP	DI	IA	MC	NPR	Medidas para evitarla	Sev	Prob	MC	NPR			
1	Caudal	Flujo bajo/sin flujo	Falla de bomba de descarga de camión hacia estanques (detención)	Posible retorno de flujo de columna de fluido	2	Falla de motor.	3	Procedimiento de descarga de metanol. Existe rutina de mantenimiento asociada a inspección de equipos (incluye bombas de descarga de metanol).							5	30	Implementar plan de integridad del sistema de bombeo que involucre encontrar las deficiencias de las bombas (motor, vibraciones, y apriete del sistema de anclaje).	2	1	1	2		
	Caudal	Flujo bajo/sin flujo	Ostrucción de filtro de succión de bombas	Sin alimentación de metanol hacia los estanques (sin descarga del camión). Se detiene la descarga por no tener flujo.	1	Contaminación del producto, daño mecánico del filtro.	2	Camión exclusivo para traslado de metanol y con el manejo de partículas de contaminación del metanol.							1	2	Rutina de revisión de filtro.	1	1	1	1		
	Caudal	Flujo bajo/sin flujo	Válvula cerrada de descarga de camión												1	0	Inspección pre-operativa del área	2	1	2	4		
	Caudal	Flujo bajo/sin flujo	Camión sin producto para ser descargado																				
																0						0	
																0							0
																0							0
																0							0
																0							0

Tabla 3. Herramienta HAZOP desarrollado por el autor.



<b>Número de nodos del proyecto</b>	11
<b>Número total de desviaciones estudiadas</b>	154

<b>Actividades Derivadas</b>		
Número de acciones (A)	0	0.0 %
Número de recomendaciones (R)	47	100.0 %
Número de preguntas (P)	0	0.0 %
<b>Total de actividades derivadas del proyecto</b>	<b>47</b>	<b>100 %</b>

<b>Riesgo</b>			
Desviaciones con riesgo Tolerable	(criticidad = T)	132	81.99 %
Desviaciones con riesgo Medio	(criticidad = M)	29	18.01 %
Desviaciones con riesgo No Tolerable	(criticidad = NT)	0	0.0 %
		<b>161</b>	<b>100.0 %</b>

**Tabla 4. Actividades derivadas del estudio desarrollado por el autor.**

## **BIBLIOGRAFIA**

1. HAZOP-BEST-GUIDE  
INTRODUCTION TO RISK AND FAILURES – CRC
2. ISO 17776-2002 Petroleum and natural gas industries – Offshore production installations – Guidelines on tools and techniques for hazard identification and risk assessment, 2002
3. Sutton Technical Books. Process Safety Management. Sutton Technical Books. [Online] 07 23, 2013. <http://www.stb07.com/process-safety-management/process-safety-management-index.html>.
4. Códigos y estándares (OSHA, CCPS, NEBOSH, ASTM, API, NFPA, ANSI, ASME, etc.)
5. 29 CFR 1910.119, Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals, OSHA. OSHA Website, [www.osha.gov](http://www.osha.gov).
6. Kletz, Trevor. What went wrong? Case histories of process plant disasters and how they could have been avoided. 5th. Oxford : Elsevier, 2009

### **Autor: Nain Aguado Quintero**

Ingeniero mecánico, Esp. Maquinaria y Equipo Agroindustrial, MBA en Dirección Proyectos. Process Safety, Occupational Safety and Health Trainer. Mobile Crane Inspector. Experto en Fiscalización de Procesos en la Ingeniería, Procura, Construcción (EPC) de Plantas de Refinación de Petróleo. Experto en Corrosión en la Industria Hidrocarburos.

Experiencia en consultoría internacional, en los mercados de Latinoamérica en la gestión integral de activos, confiabilidad y gestión integral de proyectos, diseño y fabricación de infraestructura de soporte para los sectores Oil & Gas, Minero, Portuario y Agroindustrial.

Director General Assets Project Maintenance Consulting S.A.S , [www.lubricaronline.com](http://www.lubricaronline.com), Colombia.

LubricaroOnLine Centro de Excelencia Operacional, <https://ceo.lubricaronline.com/>.

Fundador y Editor REVISTA DIGITAL LATINOAMERICANA LUBRICACIÓN Y MANTENIMIENTO INDUSTRIAL, ISSN: 2500-4573, [www.revistalubricaronline.org](http://www.revistalubricaronline.org).

Miembro de la Mesa Sectorial de Plásticos, Caucho y Fibra Sintética, Industria Petroquímica, SENA Colombia

Miembro de la Junta Editorial de CMB Connect Español.

<https://esp.cbmconnect.com/>.

Miembro activo de la asociación colombiana de ingenieros (ACIEM), Project Management Institute (PMI), American Society of Mechanical Engineers ASME, AICHE, GPC .

Teléfono Oficina: +57 301 348 7347

Teléfono Residencia: (602) 330 6881, Cali, Valle Cauca.

Dirección Oficina: Carrera 85B No. 14-74, Santiago Cali.

Email: [naguado@lubricaronline.com](mailto:naguado@lubricaronline.com)