

## Uso de la Metodología HAZOP para el Análisis de Riesgo en Estaciones de Almacenamiento de Combustibles de Aviación

Karen Vianey Aguilar Rodríguez<sup>1</sup>, Salvador Sosa Reyes<sup>2</sup> y María Teresa Cadenas González<sup>3</sup>

**Resumen**— El artículo tiene como propósito analizar la importancia de la metodología HAZOP en el Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos, dado que este método es una herramienta valiosa para la identificación, análisis y evaluación de riesgos, con la finalidad de eliminar o atenuar los propios, así como limitar sus consecuencias. La intención principal de este análisis es determinar desviaciones potenciales a la intención de diseño original y que puedan desencadenar impactos a receptores de riesgo de interés como personas, población, medio ambiente, entre otros, esta técnica se puede aplicar indistintamente a todo tipo de instalaciones ya sean nuevas, existentes o en casos de rehabilitaciones. Garantizar la seguridad del proceso en una instalación depende en gran medida de la metodología de identificación y de una eficaz evaluación de riesgos, seleccionar la metodología de análisis de riesgos es una decisión crítica pues de ella depende el logro de resultados para tomar acciones que contribuirán a reducir los riesgos a un nivel tolerable y aceptable.

**Palabras clave**— Análisis de riesgo, HAZOP, Causas, Consecuencias.

### Introducción

Las actividades de manejo de combustibles se desarrollan en escenarios que involucran diversidad de peligros y riesgos. Estos radican en el tipo de materiales y capacidad de los equipos que se utilicen, así como en su complejidad para manejar y operar los mismos y el grado de instrucción para la adecuada manipulación de estos. Es importante resaltar que este tipo de riesgos y eventos peligrosos pueden generar pérdidas materiales considerables y humanas, afectando la eficiencia y seguridad de la instalación. Los puntos de riesgo de cualquier instalación se enfocan a todas aquellas áreas de operación que en un momento dado pueden causar daño al personal, a las instalaciones o al ambiente, ya sea mediante explosión, incendio o toxicidad.

El análisis de riesgos se emplea para identificar los peligros y amenazas del proyecto y/o instalación, considerando las sustancias peligrosas, condiciones operativas y los posibles peligros, así como las salvaguardas, medidas de seguridad y protecciones consideradas para cada una de las áreas que conforman la instalación, HAZOP es una técnica cualitativa para identificar riesgos, permite un análisis más sistemático de las desviaciones de proceso que pueden producirse, sus causas y defensas contra las mismas. Si estas son significativas y las salvaguardas son inadecuadas o insuficientes, se deben recomendar acciones para reducir el riesgo. Los resultados deben ser una lista que contenga los hallazgos representativos donde se identifican los riesgos del proceso, las desviaciones operativas, las causas, las consecuencias, las salvaguardas y las recomendaciones.

En México, algunas de las Instalaciones de almacenamiento de combustibles de aviación han registrado eventos de riesgo ocurridos, en el cuadro 1, se resumen datos de accidentes e incidentes de los últimos diez años, los datos fueron recopilados de notas periodísticas y revistas electrónicas.

Cuadro 1. Accidentes e Incidentes ocurridos en la operación de EC en México.

Año	Ciudad	Instalación	Sustancia involucrada	Evento	Nivel de afectación
2018	CDMX	Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Turbosina	Fuga	13 operaciones de salida
2016	CDMX	Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Turbosina	Volcadura de pipa	No se reportaron daños
2012	Guadalajara	Aeropuerto Internacional de Guadalajara	Turbosina	Derrame	Operaciones en paro durante una hora.

<sup>1</sup>La Ing. Karen Vianey Aguilar Rodríguez es Estudiante del Posgrado en el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ, AC). [karen.aguilar@ciateq.mx](mailto:karen.aguilar@ciateq.mx) (autor correspondiente).

<sup>2</sup>El M.A. Salvador Sosa Reyes es Líder de especialidad en la Dirección de Sistemas Mecánicos en el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ, AC). [ssosa@ciateq.mx](mailto:ssosa@ciateq.mx)

<sup>3</sup>La M. en C. María Teresa Cadenas González es Investigadora en el departamento de Procesos en la Dirección de Ingeniería y Construcción de Plantas en el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ, AC). [teresa.cadena@ciateq.mx](mailto:teresa.cadena@ciateq.mx)

Año	Ciudad	Instalación	Sustancia involucrada	Evento	Nivel de afectación
2010	CDMX	Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México	Turbosina	Derrame	Daños en la carpeta de la posición 11 costo de más de 2 millones de pesos.

Fuente: <https://www.transponder1200.com/fuga-turbosina-causa-demoras-de-vuelos-en-el-aeropuerto-de-ciudad-de-mexico/>  
<https://www.informador.mx/Jalisco/Derrame-de-turbosina-en-aeropuerto-de-Guadalajara-provoca-alarma-20120810-0111.html>,  
<https://www.jornada.com.mx/2011/08/08/politica/021n1pol>,  
<https://www.publimetro.com.mx/mx/ciudad/2016/04/25/vuelca-pipa-turbosina-aicm.html>

### Descripción del Método

Los factores y criterios involucrados para seleccionar la metodología de análisis de riesgo, en referencia a las condiciones, parámetros y características del sistema o instalación en evaluación son las siguientes: motivo del estudio (primer estudio); tipo de resultado requerido (lista de problemas, accidentes y lista de acciones); información que se tiene del proceso (experiencia similar, diagramas de la instalación, historial operativo “en instalaciones similares”); características del problema (operación simple, proceso mecánico, operación continua, peligro de inflamabilidad y explosividad, situación falla aislada, accidentes proceso fuera de control); riesgo percibido y antecedentes (amplia experiencia, historial de accidentes, riesgo percibido medio) y selección de la técnica.

Para la identificación, evaluación y análisis de riesgos del proceso de una Estación de combustibles de aviación se considera la aplicación de las siguientes etapas (Figura 1).

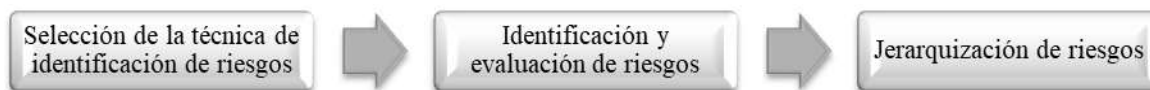


Figura 1. Etapas aplicadas para evaluación y AR en EC.

#### Selección de la técnica de Identificación de riesgos

Para seleccionar la metodología adecuada en la elaboración del análisis de riesgo se utilizaron los documentos: Guidelines for Hazard Evaluation Procedures (2008) y Guía para la Elaboración del Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos (ASEA, 2020). De acuerdo con la Guía ASEA, la metodología más adecuada para la elaboración del análisis de riesgo es aquella que identifique y evalúe de manera exhaustiva, sistemática, metodológica y consistente cada una de las áreas que conforman el proceso mediante el empleo de una o varias metodologías, las cuales se aplicarán como se establece en las normas o estándares internacionales y bibliografía especializada acorde a la etapa de desarrollo del proyecto (diseño, construcción, operación, cierre, desmantelamiento y abandono) y al tipo de proyecto (almacenamiento, suministro, exploración, etc.) y donde se determinen las acciones y/o recomendaciones que se implementarán para lograr un nivel de riesgo tolerable.

Las metodologías de identificación y evaluación de riesgos más representativas en la industria de procesos químicos son las siguientes (Autor, año)

1. Análisis Preliminar de Riesgo, *Preliminary Hazard Analysis* (PHA)
2. Revisión de Seguridad, *Safety Review* (SR)
3. Ponderación Relativa, *Relative Ranking* (RR)
4. Análisis de Lista de verificación, *Checklist Analysis* (CL)
5. Análisis que pasa sí, *What if Analysis* (WI)
6. Análisis Que pasa sí/Lista de verificación, *What if/Check list* (WI/CL)
7. Estudio de análisis de riesgo y operabilidad, *Hazard and Operability Study* (HazOp)
8. Análisis de modo de falla y sus efectos, *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA)
9. Análisis de árbol de fallas, *Fault Tree Analysis* (FT)
10. Análisis de árbol de eventos, *Event Tree Analysis* (ET)
11. Análisis Causa-Consecuencia, *Cause Consequence Analysis* (CCA)
12. Análisis de confiabilidad humana, *Human Reliability Analysis* (HRA)

*Metodología de identificación de riesgos: HAZOP (Hazard and Operability).*

En principal objetivo de esta metodología es identificar los potenciales riesgos en las instalaciones y evaluar los problemas de operabilidad. Aunque la identificación de riesgos es el objetivo principal del método, los problemas de operabilidad deben ser revelados cuando éstos tienen impacto negativo en la rentabilidad de la instalación o conducen también a riesgos.[Pablo Freedman, TECNA S.A.]

La metodología HAZOP básicamente consiste en: dividir las instalaciones en nodos y representarlos en diagramas de flujo o diagrama de tuberías e instrumentación; describir la intención de diseño (operación normal, límites y condiciones de seguridad según diseño) de las diferentes secciones definidas; determinar las causas y consecuencias posibles de las desviaciones postuladas y significativas; evaluar la prevención de las causas de las desviaciones, mitigación de las consecuencias; propuestas de mejoras de diseño, procedimientos y preparación del personal, para la prevención de las desviaciones y la mitigación de sus consecuencias (Figura 2).

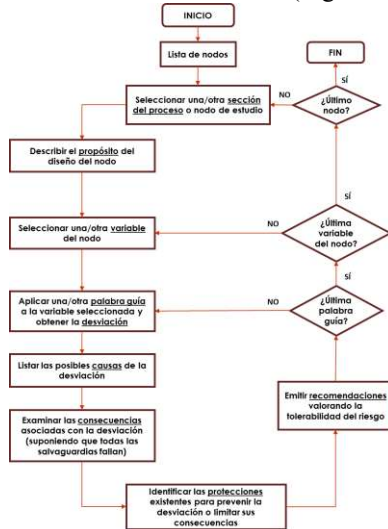


Figura 1. Protocolo general de la metodología de Análisis HAZOP.  
Fuente: Elaborado por autor, modificado de *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*.

El análisis de HAZOP se basa en identificar principalmente cuatro elementos: la causa que da origen a la desviación y que puede ser básicamente por error humano, por falla de los equipos o proceso o falla externa, las consecuencias resultantes de esa causa, las salvaguardas identificadas para mitigar o atender la consecuencia y las recomendaciones a implementarse para mitigar, eliminar o administrar el riesgo, todo esto analizando metodológicamente el proceso, la ubicación de los equipos, las áreas que involucren personal, las actividades operativas (de rutina o no) y todos los factores externos que pudieran dar paso a situaciones riesgosas.

**Caso de estudio: Estación de almacenamiento de combustibles de aviación.**

*Identificación y evaluación de riesgos*

Para el caso de estudio, se analizaron las etapas más representativas y de interés del proceso, en este caso es el almacenamiento de combustible. Para determinar los riesgos que se pueden presentar, se analizó la información proporcionada y los procesos de instalaciones similares, en la que se identificaron riesgos potenciales asociados con el concepto, diseño, construcción, operación y mantenimiento considerando las mejores prácticas y estándares nacionales e internacionales de ingeniería, y en su caso, la aplicación hasta donde sea posible del diseño inherentemente seguro.

Del análisis de identificación de riesgos se obtuvieron las consecuencias, las cuales se evaluaron de acuerdo con los nodos y se determinó el nivel de riesgo a: personal, población, medio ambiente, instalaciones y producción. Mediante la aplicación de la metodología HAZOP se identifica el escenario de mayor riesgo:

**Nodo 1. Almacenamiento de combustibles.**

- Incremento de nivel en tanque de almacenamiento de combustible por error humano que ocasiona derrame de combustible.
- Derrame de combustible por válvulas de drenados del tanque de almacenamiento abiertas.

### Jerarquización de riesgos.

En esta etapa, se evaluaron los riesgos identificados con base en características de frecuencia y severidad de las consecuencias para determinar el grado de riesgo de cada causa y desviación analizada. De acuerdo con el grado de riesgo resultante de la aplicación de las matrices se determinó el tipo de riesgo, con la cual se asigna la prioridad de las acciones recomendadas. Esta técnica, a veces llamada semi cuantitativa, requiere estimar el orden de magnitud de la frecuencia y de la consecuencia de los eventos. Se empleó una matriz de riesgos en la cual se agruparon todas las posibles combinaciones para los criterios establecidos (categorías de frecuencias y de consecuencias) para evaluar todos los aspectos relacionados con las actividades dentro de la instalación (Figura 2).

Matriz de riesgo							
Consecuencia			Frecuencia				
Personas	Activos	Medio ambiente	1. El evento no ha ocurrido en los últimos 10 años	2. El evento ha ocurrido alguna vez en un periodo $\geq 5$ y 10 años	3. El evento ha ocurrido alguna vez en un periodo $\geq 3$ y 5 años	4. El evento ha ocurrido alguna vez, durante los últimos 2 años	
4. Una o más fatalidades.	4. Daño a las instalaciones y producción; se restablece en más de una semana.	4. Impacto al medio ambiente externo	A 4	A 8	A 12	A 16	
3. Lesiones no reversibles.	3. Daño a las instalaciones y producción; se restablece entre 1 y 5 días.	3. Impacto al medio ambiente interno, afecta a más de un área interna.	B 3	B 6	A 9	A 12	
2. Lesiones reversibles con incapacidades y tratamiento médico.	2. Daño a las instalaciones y producción; se restablece en un día o menos.	2. Impacto al medio ambiente interno, solo impacta al área donde se genera.	C 2	B 4	B 6	A 8	
1. Sin lesión.	1. La continuidad operativa no se pierde.	1. Las consecuencias serían menores a cualquiera de las anteriores	C 1	C 2	B 3	A 4	

Figura 2. Matriz de riesgos de frecuencia y consecuencia.  
Fuente: Elaborado por autor, modificado de NOM-006-ASEA-2017.

### Comentarios Finales

#### Resumen de resultados

Las causas y consecuencias documentadas se categorizan asignándoles un valor de consecuencia y un valor de frecuencia obteniéndose con eso el Nivel de riesgo, en el cuadro 2 se muestra el nivel de riesgo identificado para cada escenario, los cuales de acuerdo a la matriz de frecuencias y consecuencias se clasifican en tres categorías: "A. NO TOLERABLE", "B. ALARP" y "C: TOLERABLE", si los riesgos identificados son No tolerable o ALARP se deberán tomar acciones inmediatamente realizando recomendaciones en donde se requiera reducir el riesgo a un punto tolerable o aceptable con controles, y con la finalidad de implementarse las recomendaciones se debe asignar un responsable a las mismas.

Una vez realizada la identificación y evaluación de riesgos del proyecto, se documentan el total posibles escenarios o consecuencias, sin considerar las protecciones existentes, es decir, riesgo actual, y una vez consideradas las protecciones y salvaguardas efectivas, se reevalúan los escenarios obteniendo el riesgo residual, cabe mencionar que las consecuencias pueden ser las mismas, sin embargo, se consideran causas diferentes evaluadas en cada nodo.

Los riesgos obtenidos con un nivel de riesgo tipo "B", están en el orden de los estándares y son aceptables siempre que se mantengan en forma efectiva todas las medidas de seguridad implementadas para la prevención y/o mitigación de los mismos.

Las medidas y recomendaciones consideradas son un elemento resultante de suma importancia derivado que mediante este se reduce la frecuencia de los escenarios de riesgo identificados, de igual manera estas medidas ayudan a prevenir, mitigar, controlar y administrar los riesgos.

Cuadro 2. Jerarquización de riesgos.

Nodo	Desviación	Causa	Consecuencia	Salvaguarda	Nivel de riesgo: Personas	Nivel de riesgo: Activos	Nivel de riesgo: Medio ambiente	Recomendación
1	Mas nivel	Error humano	Sobrellenado tanque de almacenamiento ocasionando	Dique de contención	3	6	6	Instalar alarma por alto nivel en tanque

			derrame de combustible				
1	Más nivel	Válvulas de drenado abiertas	Derrame de combustible	Dique de contención	3	6	6
							Instalar candado y cadena para bloqueo de válvulas

Fuente: Elaborado por autor, del caso de estudio.

Para determinar los niveles de riesgo es importante definir la consecuencia y frecuencia de cada escenario; la frecuencia califica la causa, es decir, que tan frecuente se presenta inicialmente el escenario de riesgo y la consecuencia ve el impacto que tiene en el escenario de riesgo. Aplicado esto a nuestro caso de estudio para el escenario 1 el nivel de riesgo a personas es 3 y es resultado de una consecuencia 1 sin lesión a personas y frecuencia 3, esto sugiere que el evento ha ocurrido alguna vez en un periodo entre 3 y 5 años; así para el nivel de riesgo a activos es 6 es el resultado de una consecuencia 2 daño a las instalaciones y producción, se restablece en un día o menos y frecuencia 3 el evento ha ocurrido alguna vez en un periodo entre 3 y 5 años; y el nivel de riesgo a medio ambiente es 6 resultado de una consecuencia 2 impacto al medio ambiente interno solo impacta al área donde se genera y frecuencia 3 el evento ha ocurrido alguna vez en un periodo entre 3 y 5 años.

Estos resultados muestran la importancia en todas las secuencias de accidente de la falla o distracción de los operadores, por lo que debe ser obligatorio un plan de capacitación el personal de las plantas. La planificación de las acciones de mantenimiento de la instalación debe tener en cuenta tanto los resultados generales de la evaluación de riesgos y los resultados del análisis de sensibilidad.

Nuestros resultados pueden compararse con los reportados por Massimo et al., (2013) obtuvieron una probabilidad del sobrellenado de tanques de almacenamiento de petrolíferos fue de 3.8E-04. Mientras que Fuentes-Bargues et al., (2017) reportaron una frecuencia de falla menor para este escenario de 0.00242 (2.8E-03).

Todos los accidentes se pueden prevenir mientras las instalaciones, procesos y actividades se desarrollen con criterios de seguridad industrial, seguridad operativa y de protección al ambiente, las frecuencias identificadas para el escenario de mayor riesgo.

Para que el nivel de riesgo del proyecto, sea RIESGO ACEPTABLE, es primordial y necesario dar cumplimiento a todas y cada una de las recomendaciones derivadas del Análisis de Riesgo de Proceso, no solamente a las provenientes de las sesiones multidisciplinarias sino también las que son producto de análisis complementarios y recomendaciones generales con la finalidad de que los riesgos identificados inherentes a la operación sean administrados por la administración o personal encargado de tomar decisiones con respecto a la implementación de las recomendaciones resultantes.

### Conclusiones

El diseño de una instalación nunca puede ser absolutamente seguro, completamente a prueba de errores humanos, la complejidad de las operaciones desarrolladas, la diferentes condiciones de operación y el siempre posible acontecimiento de un fallo no previsto, son factores que hacen de la correcta operación un factor tan importante como el diseño inicial.

Dado que no se puede asegurar que una instalación bien diseñada con la mejor tecnología existente no pueda sufrir un accidente grave debido a un fallo de comunicación, a una operación de arranque realizada de manera incorrecta, a un control insuficiente sobre las modificaciones o procedimientos de mantenimientos inadecuados o postergados, en el análisis se identifica la importancia de la metodología HAZOP en el análisis de riesgo, se puede denotar que los tipos, numero de peligros y efectos evaluados es proporcional al esfuerzo requerido para realizar una evaluación de peligros.

Con la metodología HAZOP aplicada al análisis de riesgos para el sector hidrocarburos se crea un punto de vista de la seguridad más claro que permite generar buenas medidas útiles para mitigar, eliminar o administrar los riesgos y a su vez permite mejorar el conocimiento del proceso.

Los resultados del análisis tienen impacto en función de la etapa en que se encuentra el proyecto, puesto que permite la identificación en cada porción del proceso para realizar las recomendaciones que podrán dar solución y coadyuvar a reducir los riesgos a un nivel tolerable y aceptable.

Resulta indispensable dar cumplimiento a las buenas prácticas de ingeniería para la seguridad y control del proceso, así como los aspectos de programación de mantenimientos de la instalación, reforzando los mecanismos de control

que garanticen las actividades a desempeñar y su correcto desempeño; lo cual repercutirá en la disminución de la presencia de eventos no deseados y en el control del riesgo inherente de este tipo de instalaciones

El uso de la metodología HAZOP permite: Identificación de peligros de forma general y detallada, Llegar a las consecuencias de riesgo de interés, Indicar recomendaciones para escenarios de alto riesgo, Indicar las condiciones de operación del nodo analizado considerando las salvaguardas y sistemas de seguridad, Emitir recomendaciones específicas para eliminar la causa y/o mitigar la consecuencia, Jerarquizar los riesgos con matrices de riesgo para cada receptor de interés, Uso de la documentación clara y concisa del proyecto.

### Referencias

ASEA. Guía para la elaboración del Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos. 2020

NORMA OFICIAL MEXICANA. NOM-006-ASEA-2017. Especificaciones y criterios técnicos de seguridad industrial, seguridad operativa y protección al medio ambiente para el diseño, construcción, pre-arranque, operación, mantenimiento, cierre y desmantelamiento de las instalaciones terrestres de almacenamiento de petrolíferos y petróleo, excepto para gas licuado de petróleo.

Fuentes-Bargues, J., González-Cruz, M., González-Gaya, C., & Baixauli-Pérez, M. "Risk Analysis of a Fuel Storage Terminal Using HAZOP and FTA". International Journal of Environmental Research and Public Health, 14(7), 705. MDPI AG. 2017. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph14070705>

Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. Center for Chemical Process Safety, AIChE, 3ra edition. 2008

Massimo Guarascio, Lombardi Mara y Massi Federica. "Risk Analysis in Handling and Storage of Petroleum Products" American Journal of Applied Sciences 10 (9): 965-978. 2013

### Notas Biográficas

La Ing. Karen Vianey Aguilar Rodríguez es Coordinadora de Sistemas de Seguridad y Ambiental en la Dirección de Ingeniería y Construcción de Plantas en el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ, AC). Este autor es estudiante del programa Dirección y Gestión de Proyectos de Ingeniería en el Posgrado CIATEQ A.C. en la Ciudad de Querétaro, Qro, México.

El M.A. Salvador Sosa Reyes es Líder de especialidad en la Dirección de Sistemas Mecánicos en el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ, AC). Es asesor y catedrático en el programa de Dirección y Gestión de Proyectos de Ingeniería en la Dirección de Posgrado de CIATEQ, AC.

La M. en C. María Teresa Cadenas González es Investigadora en el departamento de Procesos en la Dirección de Ingeniería y Construcción de Plantas en el Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ, AC) Unidad Tabasco. Ha publicado artículos de divulgación e investigación científica y 1 capítulo de libro en revistas indexadas y con arbitraje a nivel Nacional. Asesor de proyectos Ganadores: Expo-ciencias Nacional y Estatal, Encuentro de Jóvenes hacia la investigación del CONACYT, Concurso Estatal de Innovando Energía que organiza la SEDENER, en el área de Biomasa y Energía Solar. Y ha formado recursos humanos: 18 direcciones de tesis de Licenciatura y 2 como co-director de maestría.