

Análisis Cuantitativo de Riesgos de la Unidad de Destilación Primaria de Nafta – Diesel de la Planta de Fraccionamiento de Líquidos de Gas Natural de Pisco - Perú

Quantitative Analysis of Risks of the Primary Distillation Unit of Nafta - Diesel of the Plant of Fractionation of Natural Gas Liquids of Pisco - Peru

Teresa O. Barrios Mendoza
obarriosm17@yahoo.es - Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica - UNICA
Pedro Córdova Mendoza
pcordovam@hotmail.com - Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria-UNICA.
Isis C. Córdova Barrios
isiscordovabarrios@hotmail.com - Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria-UNICA
Antonina Juana García Espinoza
garcianina40@hotmail.com - Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria-UNICA
Cedidec García Espinoza
cedidec.garcia.espinoza@gmail.com - Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Ruth Rodríguez Álvarez
ruthra@gmail.com - Facultad de Ingeniería Química-UNA

Resumen

El análisis cuantitativo de riesgos es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la matriz de valor de riesgos de accidentes, problemas de operabilidad por incendios, explosión, dispersión de gases, derrames de hidrocarburos y riesgos operacionales, se producen como consecuencia de desviación de las variables dinámicas de control en la unidad, respecto a los parámetros normales de operación y el entorno por fenómenos naturales. La ponderación del valor de la probabilidad y la consecuencia es de 2 de un máximo de 16, para ser considerado moderado, implica que el trabajo operativo de riesgos debe hacerse con supervisión permanente.

Palabras claves: *Destilación primaria, Riesgos, Probabilidad, Análisis de consecuencias, Derrames de hidrocarburos.*

Abstract

Quantitative analysis of risks is an identification technique of inductive risks based on the value matrix of accident risks, operability problems due to fires, explosion, dispersion of gases, spills of hydrocarbons and operational risks, which are produced as a result of deviation from the dynamic variables of control in the unit, with respect to the normal parameters of operation and the environment by natural hazards. The weighting of the value of the probability and the consequence is 2 out of a maximum of 16, to be considered moderate, implies that the operative work of risks must be done with permanent supervision.

Keywords: *Primary distillation, Risks, Probability, Consequences analysis, Hydrocarbon spills.*

Introducción

El proceso de valoración del riesgo para la salud y seguridad de los trabajadores permite que se verifique un determinado peligro en el lugar de trabajo (Cortés-Díaz, 2007; Quintanilla-Guerrero et al., 2011). Los líquidos de gas natural en Loberías-Pisco cuenta con tecnologías de última generación, la disponibilidad de ésta juega un rol fundamental en la vida y economía del país. Prácticamente imposible el desarrollo de un país si no dispone de fuentes de energía seguras y a costos razonables, los hidrocarburos (gas natural y petróleo) constituyen la primera fuente de energía del mundo (Chambergó, 2009).

La probabilidad de un evento en riesgo mediante la técnica del árbol de fallas a la unidad, desarrolla modelo gráfico, que muestra las distintas combinaciones de fallas de componentes y/o errores humanos cuya ocurrencia simultánea es suficiente para desembocar en un suceso accidental, así como la consecuencia de un evento en riesgo mediante el análisis de consecuencias en la unidad de destilación primaria, es un proceso combinado de árboles de fallas y de árboles de sucesos, elabora procedimientos de riesgo en base a símbolos lógicos de Nielsen, en cada evento se empleó la calificación de la NFPA 59A (2016), para la producción, almacenamiento y manejo de gas natural licuado.

Materiales y métodos

Recopilación bibliográfica

Se realizó la recopilación bibliográfica con el fin de acceder a información que relacionada con el análisis de riesgos con metodología inductiva basada en la matriz de valor de riesgos de accidentes.

Análisis cuantitativo de riesgos

Método de ingeniería y formulaciones matemáticas, combinadas con información estadística de fallas, para producir resultados numéricos de consecuencias de accidentes y sus frecuencias o probabilidades de ocurrencia, usados para estimar riesgos (Leza, 2010). El proceso de aplicación del análisis cuantitativo de riesgos se desarrolla en forma más detallada en el documento PLUSPETROL PERÚ CORPORATION, S.A. PLANTA DE FRACCIONAMIENTO PISCO: "Criterios para el Análisis Cuantitativo de Riesgos"

Esta metodología no establece preconcepciones acerca de la credibilidad de cualquier accidente. De hecho, cualquier peligro o escenario de accidente que puede ser identificado es considerado para análisis, incluyendo error humano, fallas de los sistemas de protección y eventos fortuitos como caída de aviones.

Una fortaleza particular del Análisis Cuantitativo de Riesgo es que, siendo cuantitativo en su naturaleza, provee una visión óptima de los riesgos asociados con una actividad particular, a diferencia de cualquier generalización cualitativa o subjetiva. Provee por lo tanto una mejor comprensión del sistema bajo estudio y sus debilidades potenciales y puede conducir a la identificación de posibles modificaciones que reduzcan significativamente el riesgo total.

Algunas de las principales ventajas del Análisis Cuantitativo de Riesgos son las siguientes:

- Permite considerar todos los escenarios de accidentes incluyendo aquellos con muy baja probabilidad de ocurrencia o sobre los cuales no se tiene experiencia.
- Identifica las posibles secuencias de accidentes, cuantificando su frecuencia y severidad, con el objeto de clasificarlas de acuerdo con su importancia relativa.
- Ofrece oportunidades para analizar en base a criterios Costo-Beneficio, las propuestas de inversión en reducción de riesgos, facilitando la toma de decisiones más objetivas.
- Considera el entorno de la instalación, favoreciendo la armonía en las interacciones.

Análisis y cuantificación del riesgo

¿Qué es el análisis del Riesgo? Habiendo ya identificado y clasificados los riesgos, pasamos a realizar el análisis de los mismos, es decir, estudiar la posibilidad y las consecuencias de cada factor de riesgo con el fin de establecer el nivel de riesgo del proyecto o proceso. El análisis de los riesgos determinará cuáles son los factores de riesgo que potencialmente tendrían un mayor efecto sobre el proyecto y, por lo tanto, deben ser gestionados por el responsable con especial atención. Existen tres tipologías de métodos utilizados para determinar el nivel de riesgos de los proyectos o procesos: cualitativos, cuantitativos o semicuantitativos (Comunidad de Madrid, 2010).

Métodos Cualitativos. Es el método de análisis de riesgos más utilizado en la toma de decisiones en los proyectos, los responsables de la gestión de riesgos se apoyan en su juicio, experiencia e intuición para la toma de decisiones. Se pueden utilizar cuando el nivel de riesgo sea bajo y no justifica el tiempo y los recursos necesarios para hacer un análisis completo. También cuando los datos numéricos son inadecuados para un análisis más cuantitativo que sirva de base para un análisis posterior y más detallado del riesgo global. Los métodos cualitativos incluyen brainstorming, cuestionario y entrevistas estructuradas, evaluación para grupos multidisciplinarios, juicio de especialistas y expertos (Comunidad de Madrid, 2010).

Métodos Semicuantitativos. Se utilizan clasificaciones de palabra como alto, medio o bajo, o descripciones más detalladas de la probabilidad y la consecuencia. Estas clasificaciones se demuestran en relación con una escala apropiada para calcular el nivel de riesgo. Se debe poner atención en la escala utilizada a fin de evitar malos entendidos o malas interpretaciones de los resultados del cálculo (Comunidad de Madrid, 2010).

Métodos Cuantitativos. Se consideran métodos cuantitativos a aquellos que permiten asignar valores de ocurrencia a los diferentes riesgos identificados, es decir, calcular el nivel de riesgo del proyecto. Los métodos cuantitativos incluyen el análisis de probabilidad, el análisis de consecuencias y la

simulación computacional (Comunidad de Madrid, 2010).

Proceso de análisis cuantitativo de riesgos

El procedimiento del proceso de análisis cuantitativo de riesgos utilizado para lograr el objetivo propuesto en la investigación se detalla a continuación:

Paso 1. Revisión de normas y documentos relacionados con la materia de seguridad industrial en instalación de líquidos de gas natural.

Paso 2. Establecimiento de un cronograma de visitas a las instalaciones de PLUSPETROL, en el distrito Paracas, provincia de Pisco, a fin de familiarizarse con los procesos de la estación de descarga objeto de investigación.

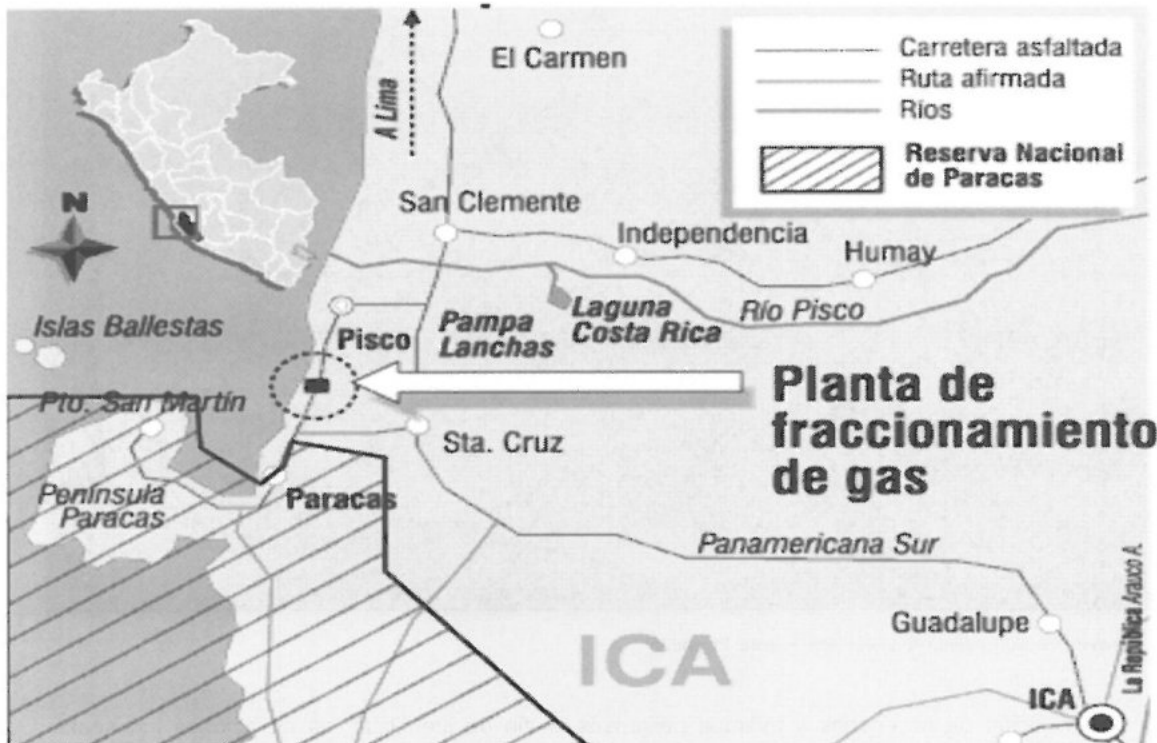


Figura 1. Ubicación de la Planta de Fraccionamiento de Líquidos de Gas Natural (LGN) de Pisco está ubicada al sur de la ciudad de Pisco, en el Distrito de Paracas, Provincia de Pisco, Departamento de Ica, aproximadamente a 250 km. al sur de Lima, al Este de la Carretera Pisco — Paracas. http://gasnatural.osinerg.gob.pe/contenidos/ciudadania/alcance_labores-planta_fraccionamiento_lgn_pisco.html

Paso 3. Sala de control, describiendo sus procesos, operaciones y condiciones de trabajo presentes en la misma.

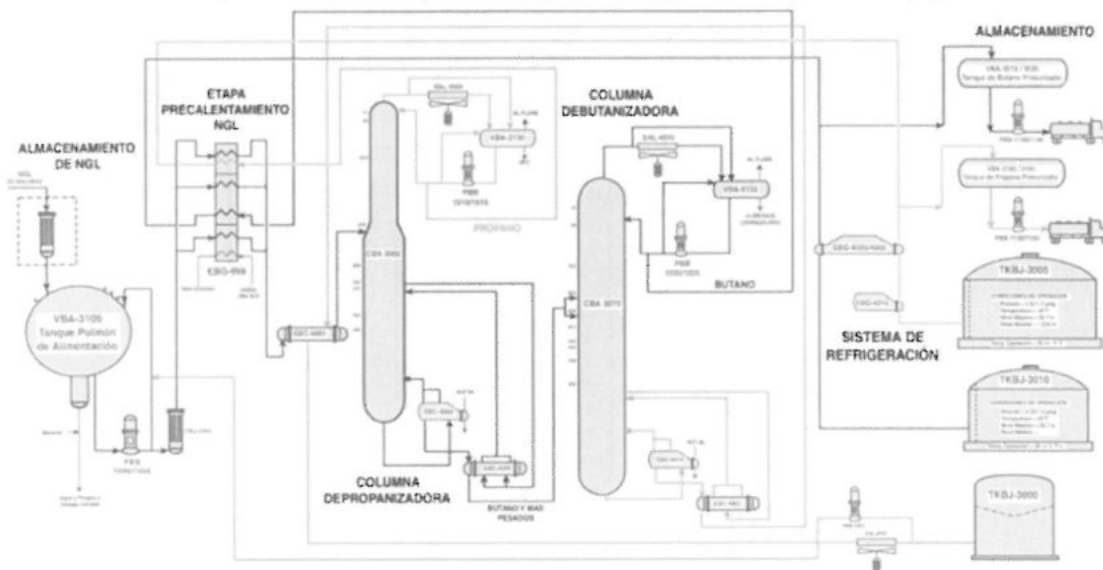


Figura 2. Diagrama de proceso unidad de fraccionamiento planta de fraccionamiento de LGN Pisco. Fuente: Pluspetrol

Paso 4. Verificación del cumplimiento de las normas de seguridad para las instalaciones, con el fin de observar si el diseño de los diferentes equipos tiene la adecuada ubicación y cumplen con la separación entre equipos que establece la norma (NTP 333: Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del "Árbol de fallos y errores") y (NTP 238: Los análisis de peligros y de operabilidad en instalaciones de proceso) "Separación entre equipos e instalaciones" para llevar a cabo el objetivo de identificar los puntos críticos (Bestratén-Belloví, 1998; Piqué-Ardanuy & Cejalvo-Lape, 1999).



Figura 3. Planta de fraccionamiento de LGN Pisco. Fuente: Pluspetrol

Paso 5. Identificación de escenarios y eventos peligrosos. A fin de identificar las situaciones indeseables, fue necesario construir un escenario de posibles accidentes. Para poder entender el accidente fue necesario describir todos los pasos significativos, desde la causa inicial hasta el procedimiento final de emergencia.

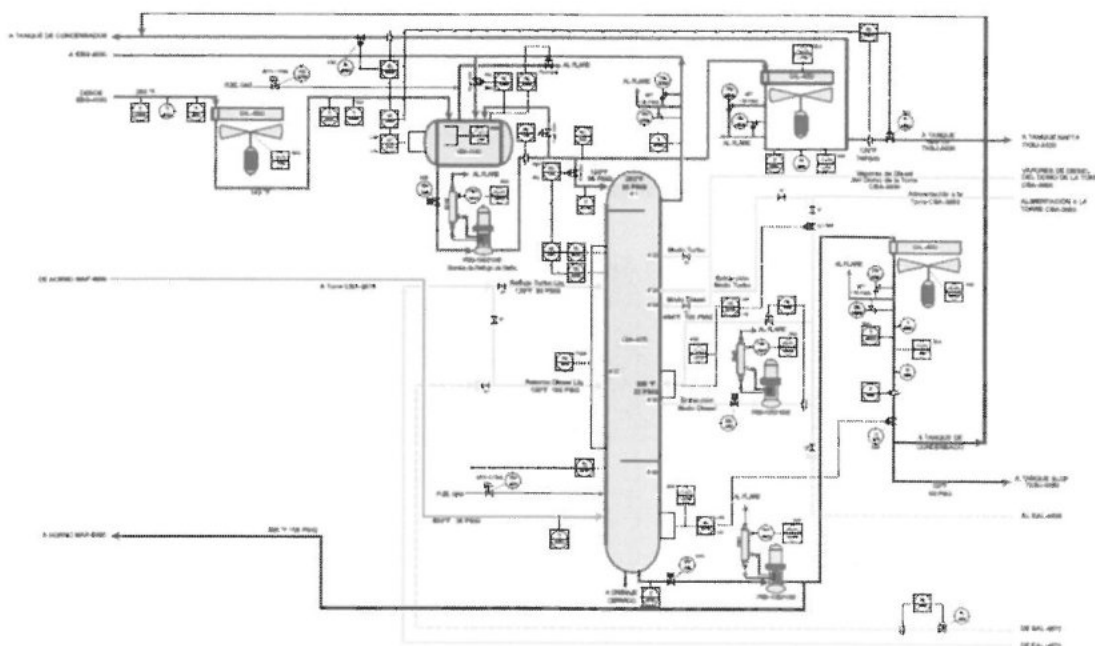


Figura 4. Diagrama de condensados de nafta y diesel. Fuente: Pluspetrol Perú Corporation, S.A. Planta de Fraccionamiento Pisco

Se establecieron ciertos escenarios de potenciales accidentes que son representativos en este tipo de instalaciones. La definición de estos escenarios se basó en las siguientes premisas. Clasificación de los potenciales accidentes en dos categorías: i) escape de gas inflamable y ii) fuga de líquidos. Se consideraron dentro de estas categorías puntos críticos que presentaban las mismas características en cuanto a presión, temperatura, flujo y composición. En cada uno de los puntos estudiados puede ocurrir una contingencia, bien sea por fuga de líquido o por escape de gas, esta puede ser originada por diversas causas.

Paso 6. Determinación de la Frecuencia de Ocurrencia de los Eventos y los efectos sobre la instalación, personal y terceros. Para ello se realizó:

1. Inspección en operación. En esta inspección se incluyen listas de verificación (Check List) donde se especifican las características esperadas en el equipo. Se utiliza un formato para el registro de los resultados de la inspección. En este tipo de inspección están incluidas las actividades de Mantenimiento Predictivo.
2. Inspección en paro. Es necesario revisar el equipo cuando se encuentra fuera de servicio para detectar desgaste, deformaciones o desviaciones de ciertas partes que no puedan inspeccionarse en servicio. En las inspecciones en paro se incluyen las recomendaciones del fabricante con respecto a todas las tareas de inspección (Predictivo-Preventivo).
3. Mantenimiento Periódico. Se han considerado las recomendaciones del fabricante con respecto

a las tareas que se requieren realizar como mantenimiento preventivo para asegurar el correcto funcionamiento del equipo.

4. Pruebas. Estas actividades son necesarias realizarlas para verificar básicamente los datos de ingreso y salida. Es necesario establecer parámetros ideales del equipo, mencionando los valores correctos de entradas y salidas. Asimismo, se verifican condiciones de antes, durante y después del arranque del equipo. En estas actividades se utilizan hojas de Inspección para no repetir información.
5. Ajustes. Se definen los ajustes a considerar, mencionando las especificaciones y rangos permisibles. Debe de identificarse si se refiere al equipo o son exclusividad de conjuntos funcionales.
6. Detección de fallas. Para poder realizar la detección de estas fallas se utiliza una secuencia lógica: a) confinación del problema, b) operación apropiada, c) problemas históricos y d) detección analítica de falla.

Confinación del problema. Utilizando la figura "Diagrama de entradas y salidas", confirmar que las alimentaciones y los servicios tienen un flujo normal. Así se puede asegurar que el problema está dentro del sistema. Luego utilizar la Figura 5 "Diagrama Funcional de Bloques", para verificar qué subconjunto tiene bien las entradas, pero mal las salidas. Al confinar el problema dentro de un conjunto, es posible confinar el problema a un componente en la misma forma.

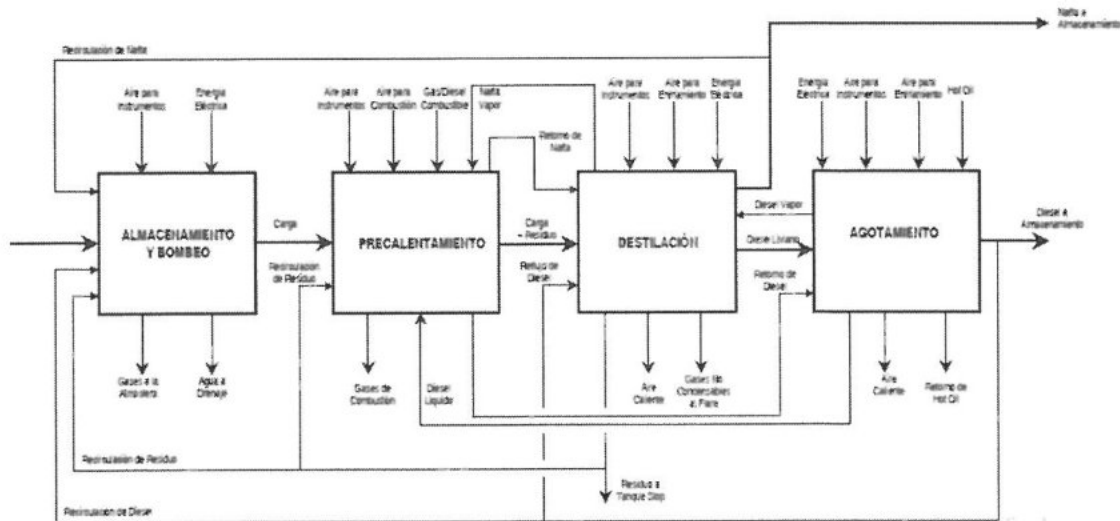


Figura 5: Diagrama Funcional de Bloques. Fuente: M. P. del Sistema de Fraccionamiento de Condensados-Pluspetrol.

Operación Apropiada. Debe determinarse si el problema es el equipo o la forma en como está siendo operado. Se deben verificar los contactos para asegurar que el equipo está operando correctamente. Verificar: i) Condiciones normales de operación del equipo, ii) condiciones normales de operación del proceso. La clave para localizar un problema se

encuentra en las "Condiciones Normales de Operación". Antes de hacer cualquier ajuste asegúrese que esta información ha sido revisada puesto que la información puede provenir de errores de instrumentos por lo que se deben considerar otros indicadores, ver figura 6.

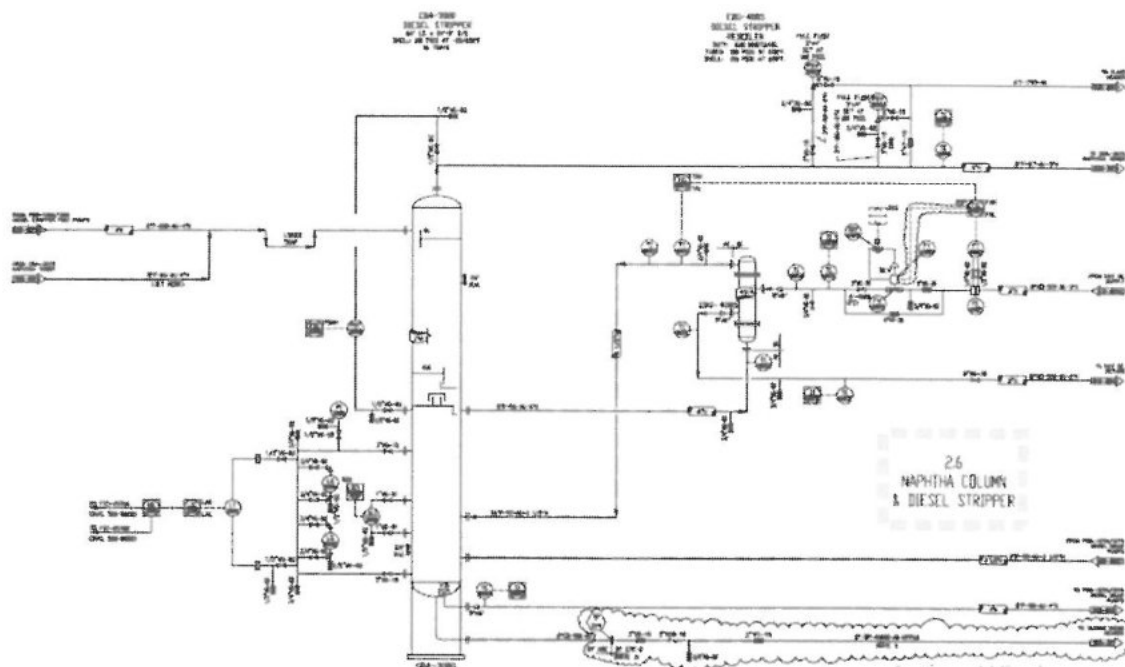


Figura 6: Columna Nafta y Diesel stripper. Fuente: M. P. del Sistema de Fraccionamiento de Condensados-Pluspetrol

Problemas históricos. En algunos casos se puede determinar por fallas pasadas las causas que las originaron y como corregirlas. Es necesario considerar que un síntoma puede ser producido por diferentes causas.

Detección analítica de fallas. Se utiliza la definición de normalidad para cada conjunto, componente o conjunto de componentes. El objeto es realizar una "Detección de Fallas" como guía para detectar anomalías únicamente del equipo. El Árbol se organiza por conjuntos y subconjuntos. Para el uso del Árbol de Detección de Fallas, comenzar con la prueba de todo el sistema, entradas y salidas, si está bien continuar con los conjuntos, subconjuntos y componentes de cada rama.

Resultados y discusión

Análisis cuantitativo mediante la técnica del árbol de fallas

Se ha precisado conocer la indisponibilidad o probabilidad de fallo de aquellos sucesos que en el árbol se representan en un círculo (sucesos básicos) y se ha determinado los valores probabilísticos de fallo a aquellos sucesos que se representan en un rombo (sucesos no desarrollados) (Piqué-Ardanuy & Cejalvo-Lape, 1999).

Según este modo en que ha fallado el componente, se calcula la probabilidad de fallo del mismo en función de la tasa de fallo que se puede obtener en bancos de datos y, fundamentalmente, de la propia experiencia. Existe, asimismo, información que nos proporciona datos estimativos sobre tasas de errores humanos que permite asignar valores probabilísticos a su ocurrencia (Piqué-Ardanuy & Cejalvo-Lape, 1999). En esta situación, analizamos la probabilidad de contaminación del derrame de líquidos en tanques de almacenamiento de condensados, TKBJ-3000 Tanque de Condensado (Nodo 1, figura 7), mediante la elaboración del correspondiente árbol de fallas. Considerando para el análisis cuantitativo mediante la técnica del árbol de fallas.

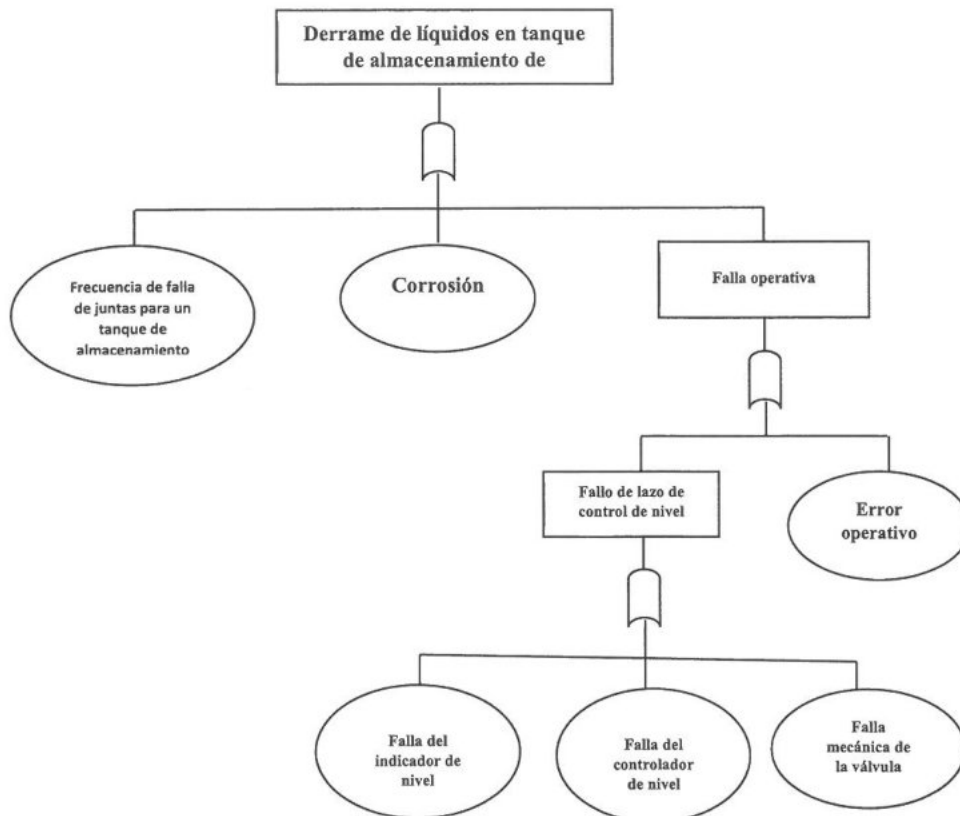


Figura 7. Árbol de fallas del derrame de líquidos en tanques de almacenamiento de condensados. (Nodo 1)

El condensado, la Nafta y el Diesel son contaminantes de suelos y del agua; por lo tanto, deben evitarse las fugas o pérdidas, de producirse deben ser eliminadas de inmediato y reportadas.

Es necesario siempre que el producto derramado fluya a los drenajes establecidos, para su posterior recuperación en el sistema de tratamiento de efluentes.

Si la fuga es en una zona no pavimentada, el suelo contaminado deberá disponerse adecuadamente. Utilizar los kits antiderrames para controlar cualquier derrame en el sector de la planta. Se ha descrito la secuencia a seguir en una detección analítica, marcando los valores normales que debe registrar el equipo para una correcta operación

Análisis cuantitativo mediante la técnica de las causas y consecuencias

Es un proceso combinado de árboles de fallas y de árboles de sucesos. Se emplean los símbolos lógicos de nielsen, ver más abajo, para expresar relaciones e interrelaciones similares a los de los árboles de fallos, más otros procedentes de los árboles de sucesos. Se definen, determinan y analizan conjuntos mínimos de fallos (cmf) como se hace en el método del árbol de fallas. Se puede efectuar análisis cualitativos, semicuantitativos, o cuantitativos de riesgos.

1. Se eligió un suceso significativo para ser evaluado, puede ser un complejo como en el árbol de fallas o iniciador como en el árbol de sucesos.
2. Se ha identificado los factores condicionantes y sucesos intermedios incluyendo los elementos o sistemas de seguridad.
3. Se ha establecido las secuencias de acontecimientos entre los elementos definidos, incluyendo sus salidas disyuntivas o no.
4. Se aplicó el árbol de fallas a las salidas de las disyuntivas que los supongan.
5. Se ha determinado los cmf (conjuntos mínimos de fallos), de igual forma que en el método del árbol de fallas.
6. Luego evaluamos los resultados.

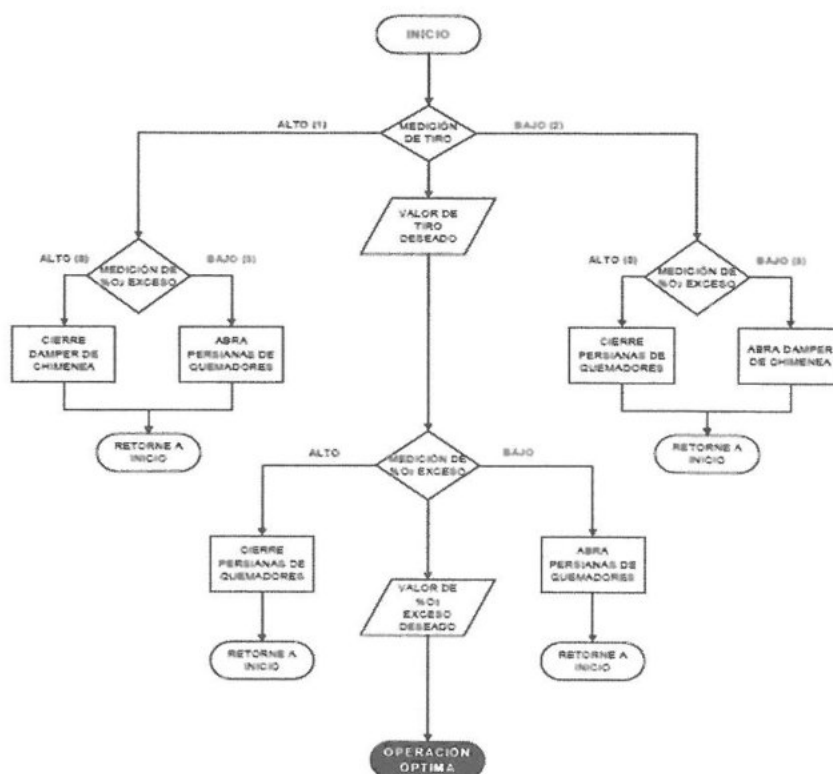


Figura 11. Calentamiento de condensados que van a la columna primaria de nafta y diesel. Fuente: DOC-PERPIS-1006 Mantenimiento Planeado del Sistema de Fraccionamiento de Condensados-Pluspetrol.

Análisis cuantitativo de la matriz de valor de riesgo de un evento.

Tabla 1. Análisis de riesgos del equipo: 1° Tanques de almacenamiento de condensado TKRJ-3000

Escenarios de Riesgo				Calificación de Riesgos				Medida de Mitigación Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación del Riesgos Residual		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta /Control existente	Valoración de Consecuencias		Probabilidad / frecuencia		Valoración de Riesgo cuantitativo	Consecuencias	Probabilidad	Magnitud de Riesgo
				Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia	Clasificación				
1	Tanques de almacenamiento de condensados TKBJ-3000	Incendio tipo Pool fire en el exterior de tanques de almacenamiento de condensado	Ataño por muy alto nivel LALL-23001 Alarma por bajo caudal FAL-11036		4		1	-	4	1	4

Tabla 2. Análisis de riesgos del equipo: 2° Tanques de almacenamiento de condensado TKBJ-3000

Escenarios de Riesgo				Calificación de Riesgos				Medida de Mitigación Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación del Riesgos Residual		
N°	Peligro	Riesgo	Indicador de alerta /Control existente	Valoración de Consecuencias		Probabilidad / frecuencia		Valoración de Riesgo cuantitativo	Consecuencias	Probabilidad	Magnitud de Riesgo
				Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia	Clasificación				
2	Tanques de almacenamiento de condensados TKBJ-3000	Incendio tipo Pool fire en el exterior de tanques de almacenamiento de condensado	Ataño por muy alto nivel LALL-23001 Alarma por bajo caudal FAL-11036		4		1	-	4	1	4

Tabla 3.
Análisis de riesgos del equipo: Torre de Fraccionamiento de Nafta CBA 3075

N°	Peligro	Escenarios de Riesgo	Riesgo	Indicador de alerta /Control existente	Calificación de Riesgos				Medida de Mitigación Prevención, Monitoreo, Control del Riesgo	Calificación del Riesgo Residual			
					Valoración de Consecuencias		Probabilidad / frecuencia			Valoración de Riesgo cuantitativo	Consecuencias	Probabilidad	Magnitud de Riesgo
					Efectos Económicos	Clasificación	Frecuencia	Clasificación					
3	Torres de fraccionamiento de Nafta CBA-3075	Incendio tipo Pool fire exterior en las torres de fraccionamiento de Nafta.	Detector de fugas. Alarmas de muy bajo nivel (LALL-23075A). Detector de flama. Accionamiento de la válvula de seguridad que va hacia el Fiare que está ubicado después del intercambiador EBG-24030.		2		1		-	2	1	2	

Nivel		Consecuencias			
		1 Menor	2 Moderado	3 Grave	4 Muy grave
Probabilidad	4 Alta	4	8	12	16
	3 Media	3	6	9	12
	2 Baja	2	4	6	8
	1 Remota	1	2	3	4
Niveles de Riesgo		Bajo: 1 - 3	Moderado: 4 - 6	Importante: 8 - 9	Alto: 12 - 16
		Se procede con el trabajo y no es necesario mejorar la acción preventiva: Sin embargo, se deben considerar soluciones rentables o mejorar que no supongan una carga económica importante.	Se hace el trabajo con supervisión permanente y/o, se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implementarse a mediano plazo	Nivel de riesgo debe ser reducido. De lo contrario no se debe comenzar la actividad hasta que se haya reducido el riesgo en el corto plazo	No se hace el trabajo bajo ninguna circunstancia y se deben para las actividades hasta que se reduzcan el riesgo, sino es posible reducirlo, debe prohibirse las actividades en las áreas afectadas por el siniestro

Figura 4. Matriz de Valor de Riesgo

Los condensados proveniente del fondo de la debutanizadora, las fracciones de nafta, diesel, residuo y gas son los eventos iniciales de ingreso a la unidad de destilación primaria, mediante la técnica del árbol de fallas se evidencio puntos débiles en el nodo 1: tanque almacenamiento de condensados TKBJ-3000, nodo 2: bombas de carga PBB-1030, intercambiadores precalentamiento de nafta EBG-4030 e intercambiadores precalentamiento de diesel EBG-4040, nodo 3: columnas de fraccionamiento CBA-3175, nodo 4: acumuladores de nafta VBA-1040/1045, bombas de reflujo de nafta PBB-1040/1045 y nodo 5: reboilers de diesel EBG-4085, obteniéndose la frecuencia del suceso en un rango de 9.0×10^{-6} a 4.8×10^{-4} veces/año.

La técnica de consecuencias en la unidad determina la probabilidad de eventos críticos denominado potencial incendio tipo Pool fire. Eventos N°1: exterior TJJJ-3000, por ignición de vapores inflamables derrame de líquidos orificio 1" causadas por falla de uniones. Eventos N°2: interior TJJJ-3000, recipiente originado por eventos externos: clima, rayos, choques de autos. Evento N°3: exterior CBA-3175, por derrame de líquidos vía orificio 1" causadas por fallas de control. Probabilidad de muerte 10 min, distancia 50 metros.

El análisis de la matriz valor de riesgo su ponderación es 2 de un máximo de 16 para ser considerado moderado.

Referencias bibliográficas

- Bestratén-Belloví, M. (1998). NTP 238: Los análisis de peligros y de operabilidad en instalaciones de proceso. España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Disponible en:
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_238.pdf
- Chambergó, O. (2009). Aspectos Esenciales del Gas Natural: Un Enfoque que Contribuye a Promover su Desarrollo. *La Revista Del Gas Natural*, 1(1), 18–29.
- Comunidad de Madrid. (2010). *Análisis de riesgos. Gestión de riesgos. Análisis y cuantificación*. Madrid - España. Disponible en:
http://www.madrid.org/cs/StaticFiles/Emprendedores/Analisis_Riesgos/pages/pdf/metodologia/4AnalisisycuantificaciondelRiesgo%28AR%29_es.pdf
- Cortés-Díaz, J. M. (2007). *Técnicas de prevención de riesgos laborales: seguridad e higiene del trabajo* (9na.). Madrid - España: Editorial Tebar.
- Leza, R. S. (2010). *Análisis cuantitativo de riesgos QRA (Quantitative Risk Assessment)*. Argentina. Disponible en: https://www.lea-global.com/uploads/circulares/2015/09/9_analisis_cuantitativo_de_riesgos_-_qra.pdf
- NFPA 59A. (2016). *Standard for the Production, Storage, and Handling of Liquefied Natural Gas (LNG)*. USA. Disponible en:
https://www.nfpa.org/Assets/files/AboutTheCodes/59A/TIA_59A_16_1.pdf
- Piqué-Ardanuy, T., & Cejalvo-Lape, A. (1999). NTP 333: Análisis probabilístico de riesgos: Metodología del "Árbol de fallos y errores." España: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Disponible en:
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/301a400/ntp_333.pdf
- Quintanilla-Guerrero, E., Gamboa-Oyarce, H., Vargas-Aroca, J. P., Clasing-Jalabert, O., Urzúa-Pérez, G., & Abarca-Moreno, E. (2011). *Manual de Procedimientos para la Gestión de Prevención de Riesgos*. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Disponible en:
<http://www.uchile.cl/.../manual-de-procedimientos-para-la-gestion-de-prevencion-de-riesgos.pdf>