

Inspección Basada en Riesgo



Por:
Ing. Daniel Narváez Moreno
Inspector Certificado ID 92406
API 580 Risk Based Inspection

Una de las tareas más importantes para el grupo de mantenimiento en una planta de procesos de hidrocarburos es realizar el plan de inspección de equipos, el cual tiene por objetivo conocer el estado actual de los mismos. Por lo general, en una planta de procesos podemos clasificar a los equipos industriales en dos grandes grupos: equipos estáticos y equipos rotativos. En este artículo me voy a focalizar en los equipos estáticos, es decir, que sus partes principales no son móviles y que su estructura principal contiene fluidos a presión. En estos equipos, las técnicas utilizadas para inspeccionarlos involucran los conocidos END (Ensayos No Destructivos) que incluyen técnicas como inspección visual, ultrasonido, tintas penetrantes, partículas magnéticas, radiografía, y demás. A estas técnicas podemos añadir otras

importantes como el monitoreo al sistema de protección catódica, la inspección al estado de recubrimientos mediante métodos directos e indirectos, el estudio de las propiedades del fluido y del suelo entre otros.

La utilización de la técnica “Risk Based Inspection” o RBI, permite mejorar continuamente el plan de inspección de una facilidad y reducir el riesgo asociado a fallas en equipos que contienen de presión. A medida que se genera nueva información de inspecciones o cambian las condiciones de operación, es necesario realizar una reevaluación del programa RBI para tener una visión actualizada del riesgo. La metodología RBI también permite identificar la efectividad de las técnicas de inspección utilizadas, y en el caso de que no mitiguen el riesgo de forma adecuada y no sean efectivos en costos, otras medidas de mitigación podrían ser implementadas.

El RBI es una herramienta para evaluación y gestión del riesgo que abarca una parte de la gestión del riesgo que no se maneja en otros métodos como el análisis de peligros del proceso (Process Hazard Analysis - PHA), Análisis Funcional de Operatividad (Hazard and Operability

Study - HAZOP), las ventanas operacionales de integridad (Integrity Operating Window - IOW), o el mantenimiento centrado en confiabilidad (Reliability Centered Maintenance - RCM). La clave del éxito de un programa de gestión de riesgos es la integración de todas estas metodologías. El RBI produce planes de inspección y mantenimiento de equipos en donde se identifican las acciones a tomar para proveer una operación confiable y segura. El RBI puede proveer datos de entrada importantes para la planeación anual del presupuesto, definiendo el personal y los fondos necesarios para mantener a los equipos de operación en niveles aceptables de desempeño y riesgo.

El RBI representa la siguiente generación de metodologías de inspección y definición de intervalos, considerando que lo más importante es la seguridad y confiabilidad de la operación de las facilidades. Esta metodología se enfoca en los equipos y mecanismos de daño asociados que representan el mayor riesgo a la facilidad, centrándose en el riesgo y su mitigación. El RBI provee una mejor vinculación entre los mecanismos que conducen a un equipo a la falla y los métodos de inspección que reducirán el riesgo.

¿Para qué aplicar esta normativa?

Básicamente esta metodología se aplica para mejorar la gestión del riesgo en facilidades de proceso y de acuerdo con la práctica recomendada "API 580 - Risk Based Inspection", los resultados que se pueden obtener con la aplicación de esta metodología son:

- 1) Un ranking de todos los equipos evaluados por riesgo relativo. Este ranking permite priorizar equipos a inspeccionarse.
- 2) Una descripción detallada del plan de inspección a ser implementado en cada componente de los equipos.
 - a) Métodos de inspección a ser usados (visual, ultrasonido, radiografía, etc.)
 - b) Extensión de la aplicación del método de inspección. (porcentaje del área examinada o ubicaciones específicas)
 - c) Tiempos de la inspección (intervalos de inspección, fechas de cumplimiento)
 - d) Gestión del riesgo lograda a través del plan de inspección.

- 3) Una descripción de cualquier actividad de mitigación, como reparación, reemplazo o mejoras de seguridad a equipos, rediseño de equipos o mantenimiento, IOW y controles en las condiciones de operación.
- 4) Los niveles de riesgo esperado de todos los equipos después que el plan de inspección y otras actividades de mitigación sean implementados.
- 5) Identificación de conductores del riesgo.

Todos estos productos y resultados nos sirven para tomar decisiones de mantenimiento enfocando los recursos de manera óptima y justificada.

¿Quién ejecuta un RBI?

La principal audiencia para esta práctica recomendada es el personal de ingeniería e inspección técnica que son responsables de la integridad mecánica y operacional de los equipos cubiertos en esta práctica recomendada, sin embargo, si bien los grupos de inspección lideran la iniciativa del RBI, el RBI no es una actividad de inspección exclusivamente.

El RBI ingresa dentro de las actividades realizadas en la Gestión del Mantenimiento, y permite definir de manera más precisa el plan de inspección y el plan de reparaciones futuras, de esta forma se puede realizar un presupuesto acorde a las necesidades.

El Riesgo

En términos conceptuales el Riesgo es el producto de la probabilidad de que ocurra una falla por la consecuencia que se produce si ocurre dicha falla.

$$\text{Riesgo} = \text{Probabilidad} \times \text{Consecuencia}$$

Existen varios modelos para calcular el riesgo de acuerdo con el nivel de precisión requerido. Los modelos cualitativos nos dan una idea del nivel de riesgo de forma cualitativa, es decir, que el nivel se identifica mediante adjetivos de cualidad como alto, medio y bajo.

Los modelos cuantitativos involucran una gran cantidad de variables numéricas que permiten calcular con cierta precisión un nivel de riesgo, el cual está expresado en números, lo cual permite conocer cuando el riesgo excede el límite de riesgo aceptable. Estos modelos nos permiten

priorizar de mejor manera los equipos a inspeccionar y dar seguimiento a los resultados de la implementación de las medidas de mitigación. Y existen también métodos semicuantitativos que básicamente utilizan ciertos criterios numéricos y categóricos para expresar finalmente el riesgo en niveles cualitativos.

El RBI se enfoca en determinar el riesgo relativo de forma sistemática, lo cual permite tener una clasificación jerárquica, de tal forma que definamos a las facilidades, unidades, equipos y componentes en un ranking de acuerdo con el nivel de riesgo, y así lograr que los esfuerzos para gestionar el riesgo se ocupen de los equipos con más alto riesgo.

Los elementos claves de un programa de RBI deben incluir:

- Un sistema de gestión que permita mantener la documentación técnica, los datos históricos, información requerida para el análisis, las actualizaciones de los análisis y la consistencia del programa.
- Tener un método documentado para determinar la PoF
- Tener un método documentado para determinar la CoF
- Metodología para gestionar el riesgo mediante inspecciones, control de procesos y actividades de mitigación.

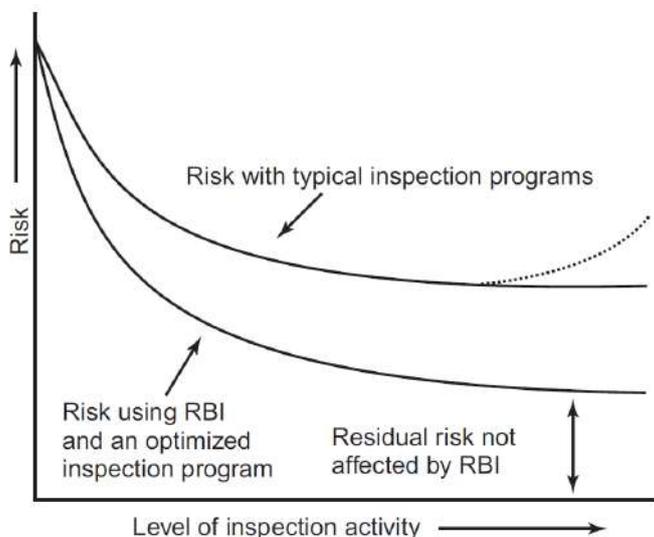


Figura 1. Gestión del Riesgo usando RBI. Tomado de API RP 580.

El riesgo es un concepto relativo, y no puede reducirse a cero solamente realizando esfuerzos de inspección. El riesgo residual de pérdida de fluido incluye factores como

el error humano, desastres naturales, amenazas de terceros, actos vandálicos, errores de diseño, limitaciones de los métodos de inspección, mecanismos de daño ocultos, entre otros.

Procedimiento de un Análisis de Riesgo

La secuencia lógica para realizar un análisis de riesgo es el siguiente:

- a) Recolectar y validar los datos y la información necesaria.
- b) Identificar los mecanismos de daño
- c) Determinar susceptibilidad de daño y tazas.
- d) Determinar la PoF sobre una ventana de tiempo para cada mecanismo de daño.
- e) Determinar los modos de falla más creíbles
- f) Identificar escenarios creíbles de consecuencias que pueden resultar de un modo de falla.
- g) Determinar la probabilidad para cada escenario de consecuencia, considerando POF y la probabilidad específica que de un escenario de consecuencia resulte de una falla.
- h) Determinar el riesgo, incluyendo un análisis de sensibilidad y una revisión de los resultados del riesgo para tener consistencia.

Análisis de Datos e Información

La aplicación de esta metodología implica tener disponible la información de entrada para estimar el nivel de riesgo. La cantidad de información y precisión de ésta depende del tipo de modelo de riesgo, sin embargo, existe información base que se debe tomar en cuenta. Los datos típicos en la implementación de un RBI son: tipo de equipos, materiales, registros de inspecciones, características de fluidos, condiciones de operación, sistemas de seguridad y detección, mecanismos de daño y tasas, densidad de personal, información de recubrimientos y aislamiento, costos por interrupción del negocio, costos de remplazo de equipos, costos de remediación ambiental.

Esto puede significar la recolección de datos en distintas áreas y archivos de la empresa operadora y puede ser complementado realizando un levantamiento de información disponible en campo de forma exhaustiva. Una vez realizada la recolección de datos, es necesario

validarlos, clasificarlos y centralizarlos en un formato estándar. Después de esto, se puede contar con una importantísima fuente de datos centralizada y tabulada para consulta y reutilización.

La información puede estar administrada en una base de datos, o simplemente tabulada en un archivo plano para ser procesada por un sistema de gestión de que genere los resultados del riesgo por cada equipo de forma automática.

Mecanismos de Daño y Modos de Falla

Para definir los Mecanismos de Falla, es muy importante entender la operación de los equipos y cómo éstos interactúan con el fluido y el ambiente. Para esto, los ingenieros especialistas en procesos pueden aportar información valiosa en esta etapa.

Los modos de falla son la forma en que se va a producir la fuga. Algunos de los modos de falla pueden ser: fuga por orificio, fuga pequeña, fuga moderada o ruptura. Cada uno de estos modos de falla produce una rata de fuga distinto y por lo tanto un volumen evacuado distinto. Por esta razón es importante definir cuáles son los modos de falla más probables.

Los mecanismos de daño en cambio son el tipo de proceso fisicoquímico que sufre el material y depende directamente de la interacción del fluido y del ambiente con el material del componente. Existen algunas guías para identificar estos mecanismos de daño como la práctica recomendada API 571 sobre mecanismos de daño en refinerías o la ASME PCC-3 en donde existe un anexo que habla sobre este tema. Entre los mecanismos de daño se encuentra la corrosión, fisuras, daños mecánicos y daños metalúrgicos.

Evaluación de la PoF y CoF

PoF - Probabilidad de falla

En esta etapa se estima la probabilidad de ocurrencia de una consecuencia específica por pérdida de fluido dado un determinado mecanismo de daño. Y se deben establecer

todos los escenarios más creíbles¹ de mecanismos de daño a los que el equipo analizado sea susceptible. Este análisis debe ser creíble, repetible y documentado.

Cuando se establecen los mecanismos de daño, es necesario establecer la velocidad del daño y la efectividad de las inspecciones ejecutadas, sobre todo las realizadas con ensayos no destructivos. El PoF evalúa los modos de falla y la probabilidad de que éstos ocurran. Por ejemplo, una picadura o “pitting” se evalúa con una fuga de agujero pequeño y un adelgazamiento por corrosión general se puede evaluar con una fuga grande o ruptura.

Nivel Cualitativo	Probabilidad de Falla Anual o Frecuencia
Bajo	< 0.0001
Medio	0.0001 - 0.01
Alto	> 0.1

Tabla 1. Ejemplo de niveles de probabilidad de falla en términos cualitativos y cuantitativos.

CoF - Consecuencia de falla

El análisis de la consecuencia se realiza para determinar el impacto que tendría cada equipo ante una potencial pérdida de contención de fluido. Este análisis debe ser una estimación simplificada, repetible y creíble, y serán las consecuencias más probables producto de un modo de falla típico para un mecanismo de daño específico e identificado previamente.

Generalmente las consecuencias se clasifican en las siguientes categorías: impacto en salud y seguridad, impacto medioambiental e impacto económico.

Una de las principales estimaciones dentro de este análisis es el *Volumen derramado*. A partir de este valor se puede calcular los distintos tipos de consecuencias, sin embargo, a pesar de que el enfoque del RBI está relacionado con la pérdida de fluido, es posible que en el estudio se tomen en cuenta daños mecánicos en los componentes internos, aunque este tipo de fallas generalmente se contemplan en los programas de mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM.

Los resultados de las consecuencias pueden manejar unidades distintas, sin embargo, es necesario que todas las probables consecuencias estén presentadas bajo las

¹ El término creíble se refiere a que es un escenario posible, de acuerdo con experiencias con equipos similares o con el aporte del ingeniero de corrosión o de materiales.

mismas unidades para tener una mejor comprensión de estas.

En el proceso de cálculo de la consecuencia es importante determinar varios factores que influirán en el valor final, como el tipo de descarga del fluido y el tipo de dispersión para así determinar los eventos inflamables más probables y medir su impacto sobre el personal y las facilidades.

Los factores principales para tomar en cuenta en el proceso de estimación de las consecuencias incluyen los siguientes:

- a) *Eventos inflamables*
- b) *Derrames tóxicos*
- c) *Derrame de otros tipos de fluidos*
- d) *Consecuencias medioambientales*
- e) *Consecuencias por interrupción del negocio*
- f) *Impacto por mantenimiento o reconstrucción*

De acuerdo con la práctica recomendada API 580, los pasos a seguir para determinar la consecuencia final son los siguientes:

- a) Estimar la tasa de derrame
- b) Estimar el volumen total de fluido que será derramado.
- c) Determinar si el fluido es disperso de una manera rápida (instantánea) o lenta (continua).
- d) Determinar si el fluido se dispersa en la atmósfera como líquido o gas.
- e) Estima los impactos de los sistemas de mitigación existentes.
- f) Estimar las consecuencias.

Gestión del Riesgo

Como ya lo mencionamos, el riesgo se calcula con la ecuación $Riesgo = Probabilidad \times Consecuencia$. De esta manera podemos definir el nivel de riesgo por cada componente y por cada consecuencia específica para llegar al riesgo final.

Por ejemplo, si tenemos una probabilidad de falla de 0.001 eventos/año y una consecuencia de \$100 000/evento, el riesgo será el producto de estos dos valores con lo que tendríamos \$100 por año.

De esta manera se puede determinar el riesgo de cada equipo y realizar un ranking para priorizar el plan de

inspección. Es importante que se establezcan los niveles aceptables del riesgo y los rangos para cada nivel de riesgo. Una vez establecidos los rangos es posible presentar los resultados en un matriz como se indica en la Figura 2.

En algunos casos se debe ajustar los rangos a la matriz corporativa establecida por el operador y determinar las medidas de mitigación de acuerdo con estos rangos.

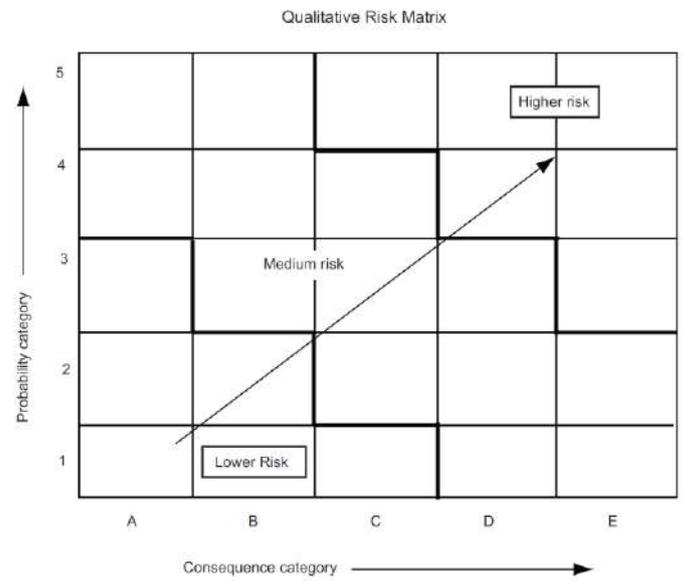


Figura 2. Ejemplo de matriz de riesgo. Tomado de API RP 580.

Para realizar el análisis de riesgo, se puede optar por un software propio de tal manera que esté disponible todo el tiempo para los ingenieros responsables o se puede contratar el servicio para que se actualice el riesgo de forma periódica de acuerdo con la información nueva generada en las inspecciones.

Plan de Inspecciones

Cuando se tiene establecido el ranking de equipos, es importante definir el plan de inspecciones. Este proceso involucra los equipos a inspeccionar, las técnicas a utilizar, cuánto se va a inspeccionar y cuándo se lo va a hacer.

Es importante tomar en cuenta que realizar las inspecciones no es una medida de mitigación del riesgo directamente, sino que es una forma de reducir la incertidumbre con relación a los mecanismos de daño latentes. Si se ejecuta una inspección efectiva, se aumenta la posibilidad de predecir una falla y así tomar acciones de mitigación antes de que se produzca una falla.

Cuando se detecta una anomalía en una inspección es necesario realizar un análisis de aptitud de servicio con API 579 para determinar qué acción hay que tomar.

Un análisis RBI reemplaza la filosofía de inspección de intervalos de tiempo basados en un porcentaje de la vida remanente o lo que comúnmente se encuentra en los documentos API 510, API 570 y API 653 sobre el ½ de la vida remanente.

Optimizar los tiempos de inspección permite redirigir los recursos a aquellos equipos que representan un mayor riesgo para la salud, medioambiente y la operación.

Re-evaluación del Riesgo

Una vez ejecutado el plan de inspección y las medidas de mitigación, es necesario realizar una re-evaluación del riesgo para actualizar los niveles del riesgos y reprogramar el plan de inspección. Esto se lo puede realizar una vez al año.

Referencias

- API RECOMMENDED PRACTICE 580, *Risk-based Inspection*, 3ra Edición, Febrero 2016
- API RECOMMENDED PRACTICE 581, *Risk-Based Inspection Methodology*, 3ra Edición, Abril 2016
- ASME PCC-3, *Inspection Planning Using Risk-Based Methods*, 2017

Códigos y Estándares

El documento más utilizado dentro del RBI es la Práctica Recomendada API RP 581, en donde se detalla paso a paso la metodología para el cálculo del riesgo de manera semicuantitativa y cuantitativa.

Otros estándares internacionales y prácticas recomendadas para el RBI incluyen ASME PCC-3 y RIMAP utilizado en Europa.

Algunas de las normas relacionadas con esta práctica recomendada se listan a continuación:

- API 510 - Pressure Vessel Inspection Code
- API 570 - Piping Inspection Code
- API 653 - Tank Inspection
- API 579 / ASME FFS-1 - Fitness-For-Service
- API 571 - Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry