

CAPÍTULO 1

1. EL ANÁLISIS DE RIESGOS COMO CRITERIO DE VALORACIÓN EN RECIPIENTES EN SERVICIO

1.1. Fundamentos

Un programa de Inspección Basada en Riesgo es una técnica que involucra el análisis de riesgos y la integridad mecánica en un elemento, refiriéndose a la planeación, implementación y evaluación de la examinación de las condiciones físicas y metalográficas de los equipos con relación al servicio que deben de prestar.

Los métodos de inspección incluyen las técnicas de Ensayos No Destructivos diseñadas para la detección de defectos y medición de espesores de pared, tales como las pruebas radiográficas, ultrasonido entre otras.

La inspección es muy valiosa en equipos donde se tiene incertidumbre sobre las condiciones de operación. Cuando las condiciones de servicio y sus efectos son perfectamente conocidas, se puede desarrollar un gran plan integral de inspección. La inspección es también prioritaria en equipos en donde la historia de fabricación, inspección u operación no es conocida y además existe un inadecuado mantenimiento, por lo que los resultados obtenidos indicarán las recomendaciones necesarias para acondicionar los equipos para que continúen en operación.

La inspección Basada en Riesgo envuelve la planeación de una inspección con la información básica obtenida a partir del análisis de riesgo de los equipos. El propósito del análisis de riesgo es la identificación de los mecanismos de degradación potencial y las amenazas de la integridad de los equipos, con lo que se logra valorar las consecuencias y riesgos de una falla. El plan de inspección puede entonces indicar cuales son los equipos de alto riesgo y detectar las formas de degradación potenciales antes de que las condiciones para servicio de los componentes seleccionados puedan ser amenazadas a través de la realización de ensayos no destructivos

1.2. Documentos utilizados para el análisis de riesgos

El desarrollo de un plan de inspección basado en riesgos puede ser realizado a partir de documentos existentes por parte de dos organismos internacionales.

El primer documento es el recomendado por el ASME en su publicación "General Document Volume 1 CRTD-Vol.20-1", el cual contiene los métodos para la aplicación de un análisis basado en riesgo de acuerdo a la información requerida para los componentes seleccionados. Para el desarrollo del plan de inspección este documento contiene 4 pasos a seguir. El primer paso es la definición del sistema a inspeccionar, en el cual se incluyen estructuras, maquinas rotatorias y otros componentes estandarizados en los códigos ASME. El siguiente paso es la valoración del riesgo de forma cualitativa a través de la definición de los modos y causas de fallas, identificación de las consecuencias, estimación del nivel de riesgo y la clasificación de cada componente involucrado. Como tercer paso se procede a realizar un análisis cuantitativo por medio de un análisis de los efectos críticos de los modos de fallas en cada componente seleccionado y como último paso se tiene el desarrollo del programa de inspección.

El segundo documento es el recomendado por la API Pbl 581 “Base Resource Document: Risk Based Inspection”, el cual está relacionado con los códigos de inspección para recipientes a presión (API RP 510), sistemas de tuberías (API RP 570) y tanques de almacenamiento (API Std 653), así como con la administración de procesos peligrosos (API RP 750), en donde los resultados obtenidos en el programa de inspección servirán como entrada para las recomendaciones de acondicionamiento para el servicio de los equipos evaluados. Esta relación se la observa a continuación en la Figura 1-1.

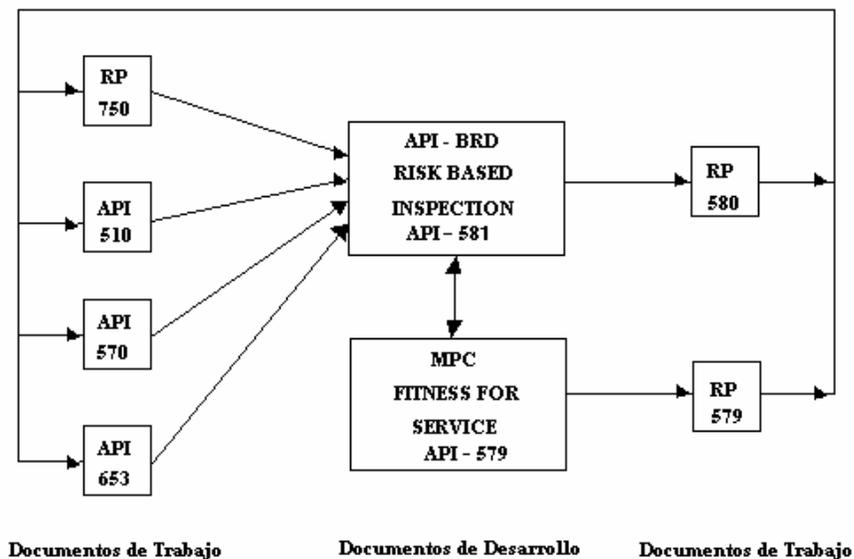


FIGURA 1-1. RELACIÓN ENTRE DOCUMENTOS DE TRABAJO Y DESARROLLO

Este documento está diseñado para ser aplicado en industrias de procesos químicos y petroleras. Su contenido es parecido al documento ASME antes mencionado y puede ser solamente aplicado a los siguientes equipos

- a) Recipientes a presión
- b) Tuberías y componentes de procesos
- c) Tanques de almacenamiento atmosféricos y presurizados
- d) Calderos y calentadores
- e) Intercambiadores de calor
- f) Sistemas de alivio de presión
- g) Equipos rotatorios presurizados como bombas y compresores

En esta publicación se menciona la forma de medir el nivel de riesgo de cada componente, por medio de las consecuencias ambiental, de seguridad y el de interrupción de negocios, para el posterior desarrollo de un programa efectivo de inspección con el fin de reducir el riesgo de fallas en los componentes involucrados.

El riesgo es determinado en forma cualitativa por medio de una matriz de probabilidad y consecuencia a fin de desarrollar un plan adecuado de inspección y con los resultados obtener de manera cuantitativa el índice de riesgo en la misma forma que lo realiza el documento publicado por el ASME.

1.3. El sistema de análisis de riesgos

Para desarrollar un sistema integral de Inspección Basada en Riesgo, se debe realizar los pasos indicados en el Apéndice A. El sistema incluye actividades de inspección, recolección de datos de la inspección, actualizaciones y mejoramiento continuo del sistema.

El análisis de riesgo es “Un estado de conocimiento” específico y a partir que los procesos y sistemas son cambiados con tiempo, un estudio del riesgo puede reflejarse únicamente con la situación desde el momento en que los datos fueron recolectados.

Aun cuando un sistema es establecido por primera vez puede carecer de algunos datos necesarios, el programa de inspección basada en riesgos puede ser establecido basados en la información disponible, utilizando criterios conservadores en las partes desconocidas. Como el conocimiento es adquirido con la inspección y ensayos del programa y la base de datos mejorada, la

incertidumbre en el programa se reduce. Estos resultados reducen las incertidumbres en el cálculo de riesgos.

Cuando una inspección identifica defectos en los equipos, estos se deberán evaluar utilizando un análisis apropiado de ingeniería o por medio de los métodos de emergencia de acondicionamientos para el servicio. Basados en este análisis, la decisión puede ser hecha para reparar o continuar operando.

El conocimiento adquirido en la inspección, la evaluación de ingeniería y el mantenimiento es recolectada y utilizada para actualizar la base de datos de la planta. Estos nuevos datos podrán afectar los cálculos de riesgos y los rangos de riesgos en el futuro.

Por ejemplo, un recipiente a presión retirado de operación por fisuras producidas por corrosión bajo esfuerzo puede tener un índice de riesgo elevado. Después de la inspección, reparación y cambio o reubicación de atmósferas desfavorables, el riesgo calculado para el recipiente puede ser significativamente bajo, colocándolo en la parte inferior del índice de riesgos y permitirá la revisión del plan de inspección para enfocarse en otros equipos.

Se debe tener presente que el programa de inspección basado en riesgo estará en una auditoría y revisión continua, debido que de esta manera, se actualizarán los índices de riesgos de cada uno de los equipos incluidos en el programa y se realizarán los acondicionamientos para servicios que sean necesarios para una correcta operación del sistema. La Figura 1-2 muestra el proceso tradicional de análisis de riesgos

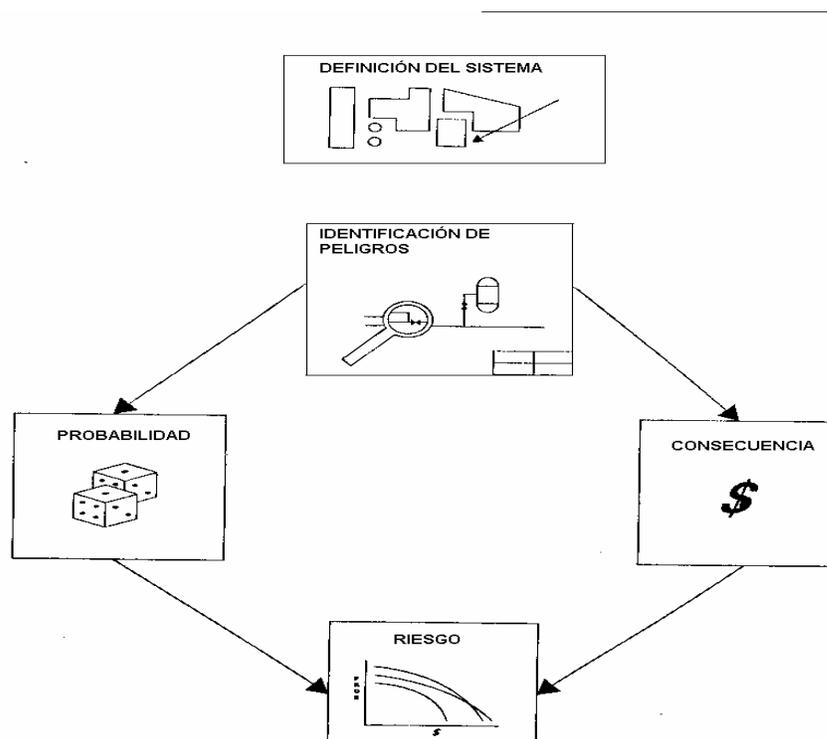


FIGURA 1-2. PROCESO TRADICIONAL DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

1.4. Definición del sistema para el análisis de riesgos

En la definición del sistema para las fases de análisis, las reglas son establecidas y toda la información pertinente es recolectada.

Las reglas para un análisis típico incluyen lo siguiente:

- a) Metas y objetivos.- Constituye la motivación para conducir el análisis de riesgo. Los posibles objetivos son: Satisfacer los requerimientos reglamentarios, hacer un análisis costo/beneficio, evaluar el riesgo de una propuesta de expansión.
- b) Medición requerida del riesgo.- Dar a conocer los resultados finales requeridos en los objetivos
- c) Límites del sistema.- Definir los límites físicos y de operación del sistema. Los bordes físicos definen los equipos a ser incluidos en el estudio. Los bordes de operación incluyen la función o modo de operación del sistema.
- d) Nivel de detalle.- Define como las unidades en el sistema serán analizadas. Preguntas tales como, ¿Qué secciones de la tubería serán modeladas? o ¿Qué tuberías estarán combinadas en el grupo para facilitar el análisis? Necesitan ser resueltas en el inicio del programa.

- e) Recolección de datos.- Define que datos deben ser capturados y mantenidos. Actualizaciones de dibujos y procedimientos de operación son recolectadas para revisiones futuras. Otros datos relacionados como el clima o la población puede ser recopilada, dependiendo de los objetivos del estudio. En el Apéndice B se presentan datos usualmente recopilados en un análisis de riesgo.

1.5. Identificación de peligros

La tarea de encontrar peligros ha tomado una gran importancia en los últimos años, por lo que se hace necesario identificar los escenarios potencialmente peligrosos, los cuales pueden hacerse siguiendo las siguientes técnicas que se detallan a continuación

1.5.1. Estudio de peligrosidad y operabilidad

Esta basado en lluvia de ideas, utilizando una lista de palabras guías para la estimulación de la discusión dentro del grupo. Las palabras guías enfocan los parámetros del proceso, tales como flujo, nivel, temperatura y presión, las cuales se extienden para incluir otras consecuencias, como los factores humanos y los parámetros de operación anormales. Sin embargo, los peligros correspondientes a

consideraciones de seguridad y ambientales también pueden ser identificadas. Este estudio es realizado por un equipo que se encuentre familiarizado con los procesos, para que la identificación de peligros potenciales sea más efectiva.

1.5.2. Análisis de los modos de fallas y sus efectos

Es un análisis de tipo inductivo que detalla sistemáticamente todos los posibles modos de falla e identifica los efectos que pueden tener en el sistema. Este análisis se realiza llenando una lista con la siguiente información:

- a) Nombre
- b) Número del equipo
- c) Descripción o uso
- d) Modo de falla
- e) Efecto en el sistema
- f) Probabilidad
- g) Criticidad

Este tipo de análisis debe ser realizado por un equipo de expertos para asegurar su correcta determinación. Los orígenes de las fallas en los diferentes sistemas a analizar incluye:

- a) Un inadecuado diseño y/o material para las cargas y ambientes de operación.
- b) Una incorrecta y/o deficiente manufactura
- c) Un deterioro no anticipado en servicio tales como las grietas por corrosión o fatiga.
- d) Errores en la operación o mantenimiento del sistema
- e) Mal funcionamiento de los sistemas de control y medición
- f) Factores humanos que incluyen daños intencionales
- g) Eventos externos tales como fuego, impactos o tormentas

Existen muchos mecanismos y modos de fallas asociados con sistemas a presión y recipientes de almacenamiento, las

cuales pueden provocar una ruptura brusca de estas estructuras, como las que se mencionan a continuación:

- a) Falla en los mecanismos de protección
- b) Corrosión / erosión (general, local, picadura)
- c) Daños por fluencia lenta y alta temperatura
- d) Fisuras por fatiga
- e) Fisuras por corrosión bajo esfuerzos
- f) Fragilización
- g) Ampollas causadas por el hidrógeno
- h) Fractura frágil
- i) Pandeo

Esto se debe a defectos que se desarrollan tanto en la parte externa como interna de la superficie de estos componentes, las que se pueden detectar por medio del uso de los diferentes ensayos no destructivos. Las capacidades de

detección y determinación del tamaño de los defectos de cada técnica de ensayo se comparan en el Apéndice C.

1.6. Valorización probabilística para un análisis de riesgos

La valoración probabilística esta dirigida para estimar la probabilidad de ocurrencia de fallas en los escenarios identificados en las fases previas del análisis de riesgo.

La forma más común de medición de la probabilidad de falla de un escenario es su frecuencia. Esta puede utilizarse en eventos simples o complejos. Típicamente, un año es utilizado como intervalo de tiempo estándar del análisis de frecuencia. La probabilidad estimada de los elementos del escenario es obtenida y combinada para predecir la probabilidad total del escenario

Para obtener la frecuencia del escenario, se debe multiplicar la frecuencia con que ocurre un agujero por la probabilidad de todos los eventos que resulta. El resultado de la probabilidad es la frecuencia en el escenario. La representación matemática de la probabilidad de la secuencia, en términos de la frecuencia se muestra a continuación:

$$F_S = F_{\text{Agujero}} \times P_{\text{Resultado}} \quad (\text{ec. 1-1})$$

1.7. Análisis de las consecuencias en un análisis de riesgos

Las consecuencias en los equipos de proceso o en tuberías van a depender de factores como las propiedades físicas del material, las condiciones ambientales tóxicas o inflamables, duración y acciones de mitigación. Los efectos pueden afectar al personal o equipos de la planta, la población residente alrededor y el medio ambiente. Las consecuencias peligrosas son estimadas en cinco fases:

- Descarga
- Dispersión
- Efectos Inflamables
- Efectos Tóxicos
- Efectos Ambientales

Las consecuencias de inflamabilidad, reactividad y toxicidad de las diferentes sustancias que manejan y almacenan los componentes analizados, están contemplados en la norma NFPA 704 de la National Fire Protection Association a través del uso del diamante de fuego que comunica los peligros de materiales peligrosos, tal como se indica en la Figura 1-3.

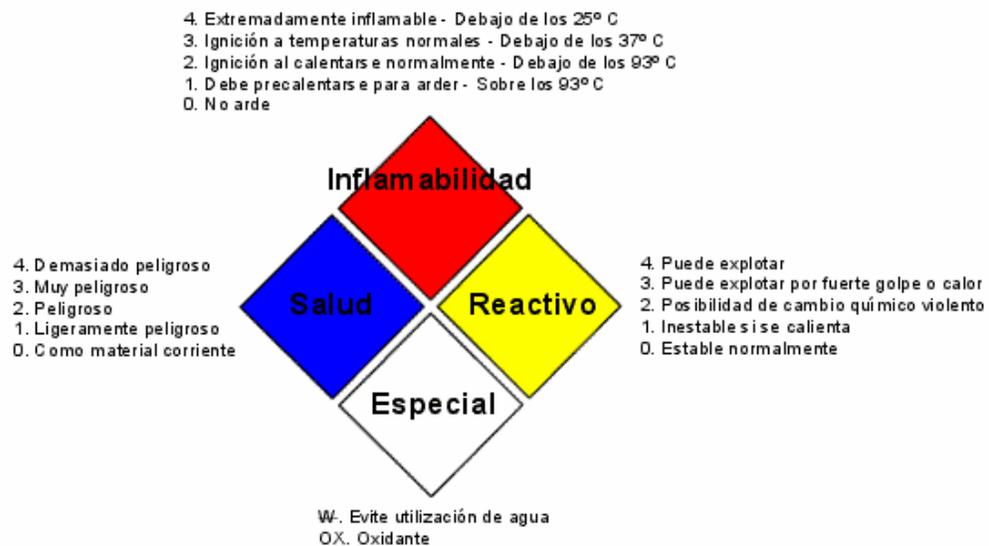


FIGURA 1-3. DIAMANTE DE FUEGO DE LA NORMA NFPA 704

En las consecuencias por descarga, la fuente de peligro incluye agujeros y ruptura en tuberías y recipientes, agujeros en sello de bombas y agujeros en válvulas de alivio. La tasa de masa de materiales y las condiciones del material y del ambiente en el tiempo son factores claves en el cálculo de las consecuencias.

Estas descargas pueden ser instantáneas, como es el caso de la ruptura catastrófica de un recipiente o constantes, como es la pérdida de material en un periodo limitado de tiempo. La naturaleza del evento puede afectar los resultados. Con una apropiada ecuación es posible modelar estas dos condiciones: instantáneas o constantes.

En las consecuencias por dispersión, cuando un líquido volátil o vapor es arrojado, este puede ser o no visible. La nube de vapor se dispersa al mezclarse con el aire hasta llegar a niveles seguros o es encendida. Estos niveles poseen rasgos que determinan los impactos de la nube de vapor, mencionados a continuación:

- a) Densidad
- b) Altura de la emisión y dirección
- c) Velocidad de descarga
- d) Clima

Dentro de los efectos inflamables, existen cinco tipos que pueden resultar en la quema de un hidrocarburo

- a) Destello de fuego
- b) Bola de fuego
- c) Chorro de flama
- d) Fuente de fuego
- e) Explosión

Una nube que contiene materiales inflamables puede que no explote inmediatamente. Si la concentración inicial en la descarga del material esta por debajo del límite superior de inflamabilidad, este no podrá encenderse. La tasa de quema y la velocidad de la flama determina que tipo de fuego resulta.

En los efectos tóxicos, las consecuencias son determinadas por la concentración y su duración. Se utiliza dos métodos para valorar las consecuencias de una descarga tóxica. La primera utiliza un criterio simple que identifica un nivel específico como es los efectos adversos en la salud de los individuos que puedan ocurrir. El segundo método refleja la probabilidad del daño en una población al recibir una cierta dosis.

Los efectos ambientales más severos tratan fugas de materiales que causan daños en la flora y fauna. La valoración de los daños ambientales es extremadamente difícil debido a que envuelve muchos factores para su limpieza y en la estimación de costos.

1.8. Cálculo del riesgo

Dado que la Inspección basada en Riesgos define el riesgo como un producto de las consecuencias y probabilidades de falla, en términos matemáticos, el riesgo para un escenario es:

$$\text{Riesgo}_S = C_S \times F_S \quad (\text{ec. 1-2})$$

Para cada equipo, el riesgo es la suma de todos los riesgos de un escenario. Las unidades del riesgo dependerán del interés que se desee, por ejemplo m^2 por año en consecuencias tóxicas o inflamables, dólares por año para consecuencias ambientales o interrupciones de operación. El riesgo para un equipo es:

$$\text{Riesgo}_{\text{Equipo}} = \sum \text{Riesgos} \quad (\text{ec. 1-3})$$

Con estos resultados se puede desarrollar un programa de inspección con el objeto de reducir los riesgos encontrados. Para hacerlo se necesita establecer:

- a) Qué tipo de daño se busca
- b) Dónde se busca el daño
- c) Cómo se busca el daño
- d) Cuándo se busca el daño

Qué y donde establecen lo que hay que revisar en los datos de diseño, de proceso y la historia del equipo, Cómo es para decidir la revisión de la densidad y variabilidad de daños, las muestras

válidas de inspección, las muestras de tamaño, la capacidad de detección del método y la validez para predicciones futuras basadas en observaciones pasadas. Cuándo relaciona la vida restante del equipo.

El análisis de riesgos puede ser realizado en tres niveles de estudio diferentes. El nivel 1 involucra un análisis de riesgos de forma cualitativa, utilizado para la predicción del nivel de riesgo de cada componente y poder diseñar el programa de inspección más adecuado. El nivel 2 abarca un estudio cuantitativo, el cual se realiza con los datos obtenidos del programa de inspección diseñado y donde los resultados son presentados en función del área afectada debido a las consecuencias inflamables o tóxicas. El nivel 3 es de tipo cuantitativo que comprende una investigación más profunda de los resultados originados por el análisis de riesgos de nivel 2, el cual determina un análisis económico en la compañía en función del área afectada en el componente en estudio en caso de producirse una falla con respecto al impacto ambiental en la eliminación de contaminantes y repercusiones por la para de producción, indemnización y reparación de los componentes afectados.