

## **LA GESTIÓN DE RIESGO ORIENTADA A LA INSPECCIÓN TÉCNICA**

Wilson Chávez Basantes<sup>1</sup>, Julián Peña Estrella<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero mecánico 2003

<sup>2</sup>Director de tesis, Ingeniero Mecánico, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1987, Profesor de ESPOLE desde 1987

### **RESUMEN**

La gestión de riesgo es desarrollada a partir de la valoración del riesgo de fallas en cada equipos, logrando identificar los modos de fallas a los que están propenso y la probabilidad de que estos ocurran, determinando las consecuencias que dichas fallas puedan tener.

Como primer paso, se muestran los fundamentos básicos del análisis de riesgo a ser desarrollado en tanques de almacenamiento, recipientes a presión, sistemas de tuberías, calderas e intercambiadores de calor.

El siguiente paso, es la aplicación de los fundamentos en el desarrollo del programa de inspección no destructiva en los componentes seleccionados. El objetivo fue determinar la probabilidad de que una falla ocurra y las consecuencias que podría tener; con lo que se determinó el índice de riesgo en dichos recipientes que poseen 32 años de servicio. Posteriormente, se desarrolló el plan de inspección acorde a las normas API 653 y API 575, para proceder a la "valoración" del riesgo sobre los puntos críticos por medio de ensayos no destructivos. Al final se mencionan las recomendaciones para que dichos componentes puedan seguir en servicio sin afectar su operación

### **INTRODUCCIÓN**

La inspección integral de los sistemas presurizados, tanques de almacenamiento y contenedores de materiales peligrosos en servicio ha tomado gran importancia en los últimos años, debido a que las paradas de producción representan pérdidas en las empresas. Por lo que se ha visto necesario que las paradas de producción se realicen de una manera sistemática, analizando que equipos realmente requieren de inspección y con que frecuencia se la debe realizar, tendiente a disminuir el impacto que las inspecciones provocan en la producción.

La realidad económica de la industria ecuatoriana, frecuentemente lleva a adquirir equipos usados que son dados de baja en otros países, lo cual nos lleva a considerar la inspección basada en riesgos en nuestro medio

Con el objeto de determinar que equipos son prioritarios para una inspección y la frecuencia con que se debe realizar, se desarrolló en Mayo del 2002 la norma ANSI / API RP 580 Risk Based Inspection (Inspección Basada en Riesgo) o también conocida como RBI por sus siglas en inglés. Esta norma provee los elementos básicos para el desarrollo e implementación de un programa de inspección basada en riesgos para reparar equipos y tuberías en las industrias de procesos químicos y de hidrocarburos.

En esta publicación se analizará los fundamentos básicos necesarios para un análisis de riesgos, definiendo el sistema a ser analizado con el objeto de identificar los peligros presentes y determinar la probabilidad de que una falla ocurra y su consecuencia, lo cual nos proveerá de un índice de riesgos de acuerdo a un análisis cualitativo para poder desarrollar un programa de inspección adecuado de acuerdo a la norma API Publ 581 Base Resource Document Risk Based Inspection, para una aplicación específica, la cual será en este trabajo un tanque de almacenamiento

Desarrollado el programa se procede a la aplicación de técnicas de ensayos no destructivos y con los resultados obtenidos evaluar si es que la estructura inspeccionada cumple con los parámetros de funcionamiento mínimos estipulados en sus respectivas normas de inspección y obtener el índice de riesgo de manera cuantitativa a fin de determinar el índice de riesgo real.

Los resultados obtenidos una vez realizada la inspección servirán para recomendar los acondicionamientos necesarios a realizar para que la estructura inspeccionada siga en servicio

Previendo esta situación, el API desarrollo la norma API RP 579 Fitness-For-Service para poder disminuir el índice de riesgo en los componentes inspeccionados.

La filosofía actual de las compañías en el Ecuador enfoca a la producción, en donde no existen organismos que regulen la compra, operación, mantenimiento y obsolescencia de los equipos utilizados, en tal situación se sugiere:

- Identificar las áreas de alto riesgo en una planta
- Estimar el valor de riesgo asociado con la operación de cada equipo en una industria de procesos químicos o de hidrocarburos basado en una metodología consistente
- Priorizar la inspección de los equipos basados en la medición del riesgo
- Diseñar un apropiado programa de inspección
- Administrar sistemáticamente el riesgo de la falla de equipos.

El método RBI mide el riesgo de un equipo o un componente por medio de una combinación de términos: consecuencias de fallas y probabilidad que ocurra una falla, los cuales se explicarán en el desarrollo de este trabajo. Con estos términos se logra obtener un resultado cualitativo de acuerdo a la clasificación que se tenga en una matriz de riesgo desarrollada por el API, en la cual se clasifican los riesgos desde bajo hasta niveles de alto riesgo.

Este índice obtenido de manera cualitativa nos permite desarrollar un plan de inspección adecuado para el componente analizado y aplicar las diferentes técnicas de ensayos no destructivos tradicionales con el fin de realizar un análisis cuantitativo del índice de riesgo

## **FUNDAMENTOS**

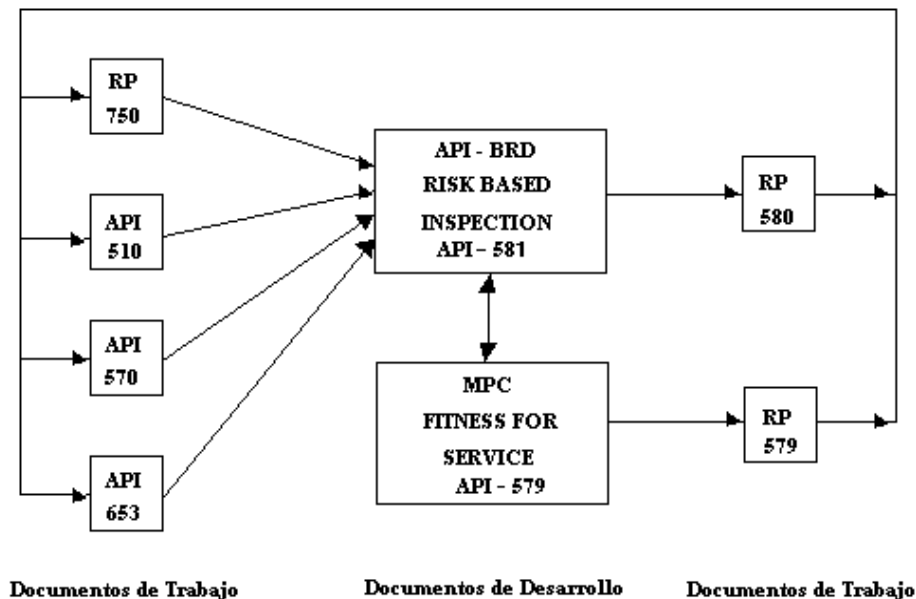
Un programa de Inspección Basada en Riesgo es una técnica que involucra el análisis de riesgos y la integridad mecánica en un elemento, refiriéndose a la planeación, implementación y evaluación de la examinación de las condiciones físicas y metalográficas de los equipos con relación al servicio que deben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

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

La inspección basada en riesgos es desarrollada a partir del documento de 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.



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

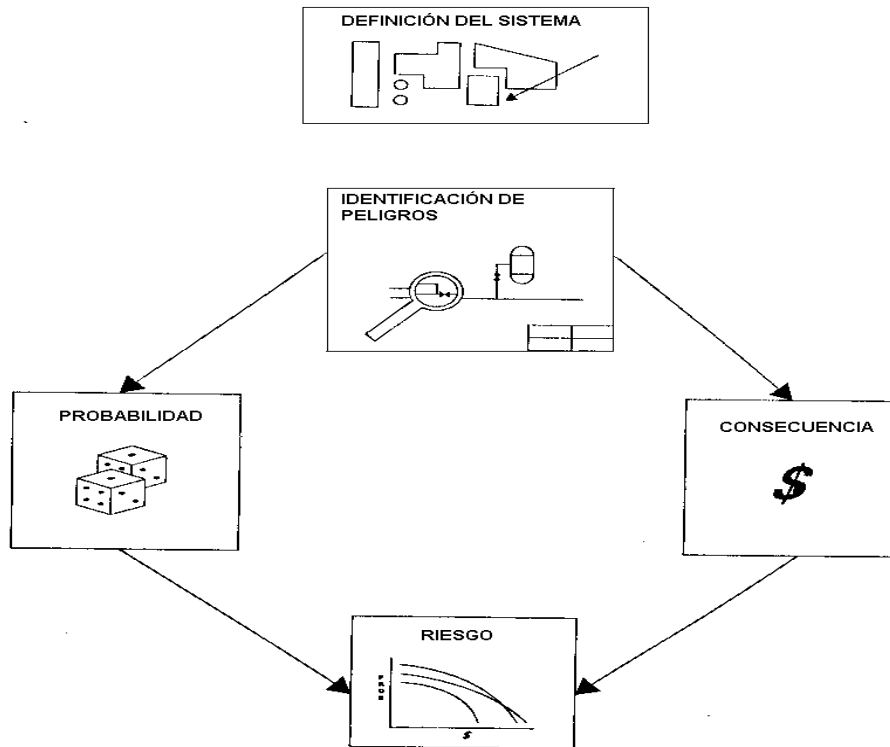
Este documento está diseñado para ser aplicado en industrias de procesos químicos y petroleras. Su contenido es parecido al documento ASME antes mencionado y puede ser solamente aplicado a los siguientes equipos

- 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.

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 2 muestra el proceso tradicional de análisis de riesgos



**FIGURA 2. PROCESO TRADICIONAL DEL ANÁLISIS DE RIESGO**

### **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:

$$\text{Riesgo}_S = C_S \times F_S$$

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  $\text{m}^2$  por año en consecuencias tóxicas o inflamables, dólares por año para consecuencias ambientales o interrupciones de operación. El riesgo para un equipo es:

$$\text{Riesgo}_{\text{Equipo}} = \sum \text{Riesgo}_S$$

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.

## **DETERMINACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS**

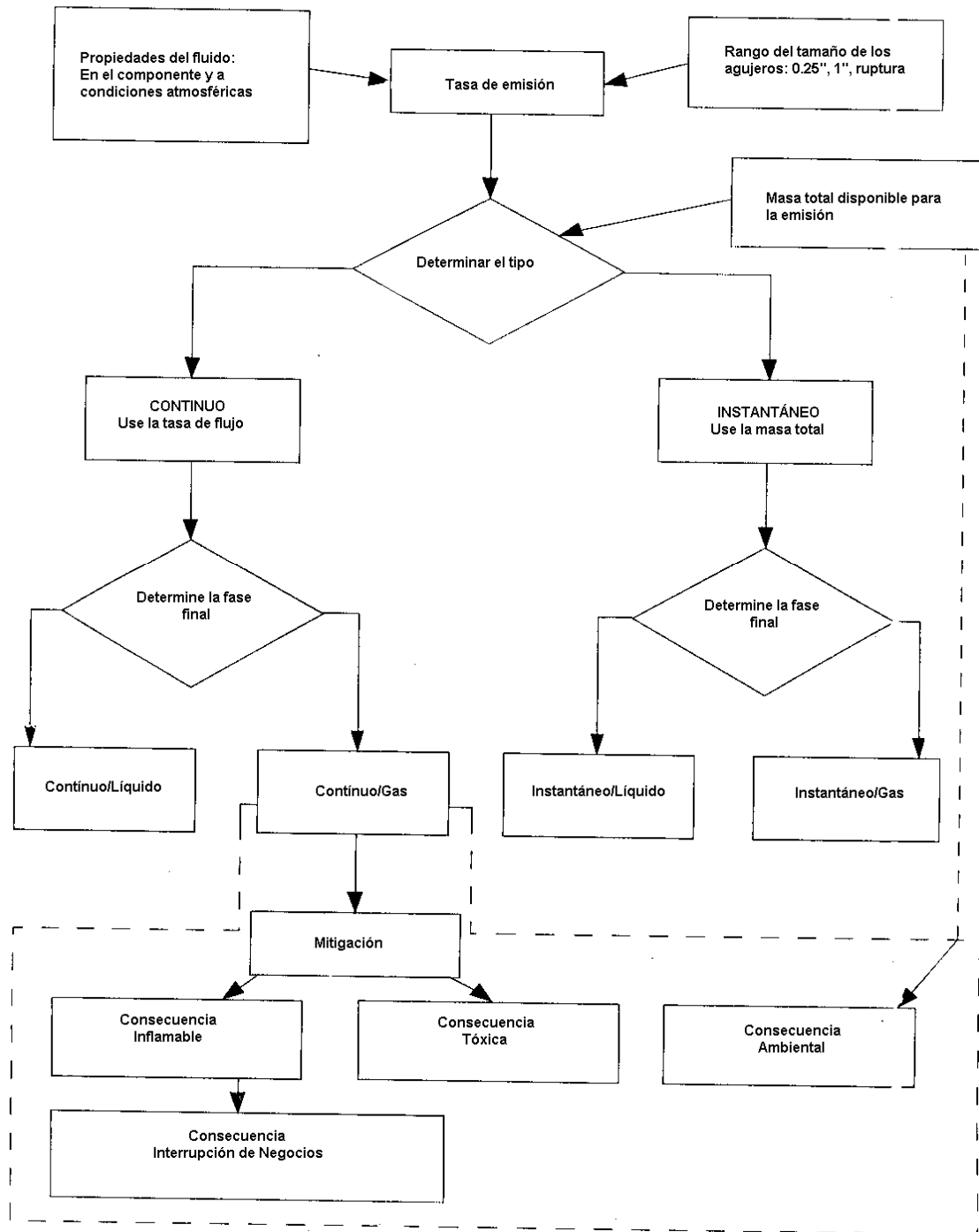
La determinación de las consecuencias dependerá del tipo de análisis que se este realizando en cada componente. Si el análisis es de tipo cualitativo, este requerirá de la información general de cada componente. La cual comprende principalmente las características del fluido del proceso en lo que respectan a su nivel de inflamabilidad, reactividad y toxicidad de acuerdo a la norma 704 de la NFPA, de la cantidad de material disponible en el interior de cada componente, sus propiedades a condiciones atmosféricas, las condiciones de seguridad existentes y de la población cercana al lugar donde se encuentra el componente en análisis. Estos factores son colocados en una tabla de evaluación y el resultado final genera un rango de consecuencia entre A hasta E, donde A representa un nivel de consecuencia bajo y E representa un nivel de consecuencia alto. Estas tablas de evaluación serán presentadas más adelante en la sección de este capítulo correspondiente a la determinación del índice de riesgo de forma cualitativa.

Para un análisis cuantitativo de las consecuencias del fluido de trabajo de los componentes en estudio, se deben realizar los siguientes ocho pasos que se mencionan a continuación y su relación se observa en la Figura 3.

- a) Determinación del fluido representativo y sus propiedades
- b) Seleccionar el juego de agujeros, para encontrar el posible rango de probabilidad en el cálculo del riesgo
- c) Estimación de la cantidad total de fluido disponible en una emisión
- d) Estimación la tasa potencial de emisión
- e) Definir el tipo de emisión, para determinar el método a usar para el modelado de dispersión y la consecuencia
- f) Seleccionar la fase final del fluido (líquido o gas)
- g) Evaluar el efecto de reacción después de una fisura
- h) Determinación del área potencialmente afectada por la emisión, o el costo relativo en el tiempo de para

## **DETERMINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA**

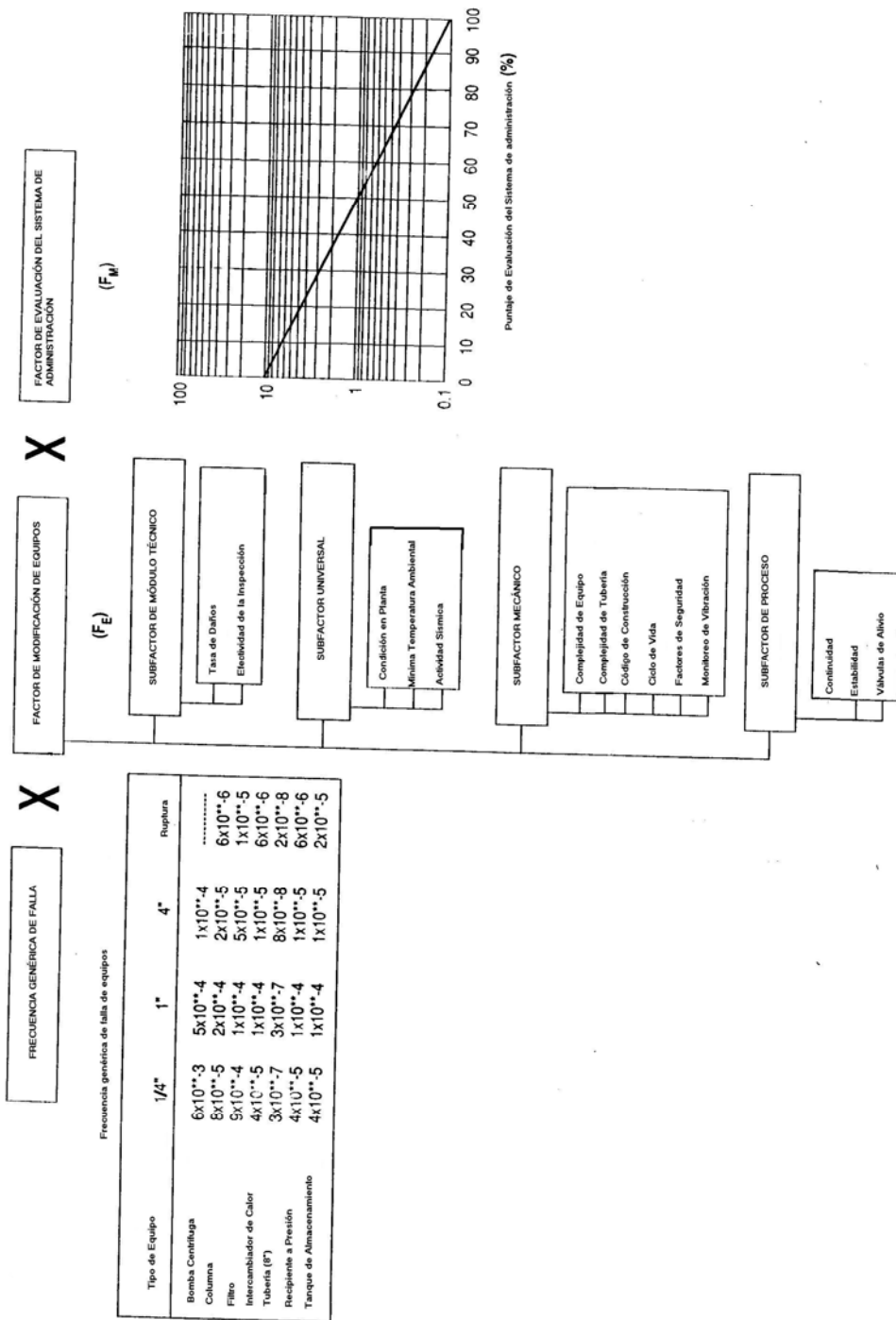
La probabilidad dependerá del tipo de análisis a realizarse en cada componente. Si el análisis es de tipo cualitativo, este requerirá de la información general sobre los posibles mecanismos de deterioro a los que está expuesto cada componente, el tipo de programa de inspección existente en cada compañía, las condiciones de trabajo con respecto a las típicas encontradas en la industria, de las condiciones del proceso y los datos de diseño. Estos factores son colocados en una tabla de evaluación y el resultado final genera un rango de probabilidad entre 1 hasta 5, donde 1 representa un nivel de probabilidad bajo y 5 representa un nivel de probabilidad alto.



**FIGURA 3. FLUJO PARA EL CÁLCULO DE LA CONSECUENCIA**

El análisis cuantitativo involucra un estudio más detallado como se indicó anteriormente y obedece a la siguiente ecuación, donde estos factores involucran parámetros que se observan en la Figura 4 y se explican a continuación.

$$Frecuencia_{Ajustada} = Frecuencia_{genérica} \times F_E \times F_M$$



(F<sub>M</sub>)

Puntaje de Evaluación del Sistema de administración (%)

**FIGURA 4. AJUSTES DE LA FRECUENCIA DE FALLAS**

## DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE RIESGO DE FORMA CUALITATIVA

El análisis de riesgos de forma cualitativa es utilizado para predecir el nivel de riesgo que podría tener los componentes en estudio, para luego desarrollar el plan de inspección más adecuado y con los resultados obtenidos, realizar un análisis cuantitativo de los riesgos a los que se encuentran expuestos.

En la determinación del análisis de riesgos cualitativo se utiliza un procedimiento que consiste en la recopilación de información general sobre el equipo y el proceso y se divide en tres partes:

- Parte A: Determinación de la probabilidad
- Parte B: Determinación de las consecuencias de daños
- Parte C: Determinación de las consecuencias a la salud

Entre los resultados obtenidos en la parte B y C, se deberá escoger la que posea mayores consecuencias y junto a la probabilidad que posea el componente poder predecir el nivel de riesgo que existe.

Una vez determinada la probabilidad de riesgo y el nivel de consecuencia tanto de daños como de salud, se procede a ubicar los resultados en una matriz de 5 x 5, conocida como matriz de nivel de riesgo, la cual indica el nivel de riesgo del componente analizado. La matriz se encuentra dividida en zonas identificada con colores que indican si el nivel de riesgo es bajo con color blanco, medio con color amarillo, medio alto con color anaranjado y rojo para riesgos altos. La matriz se puede observar en la Figura 5

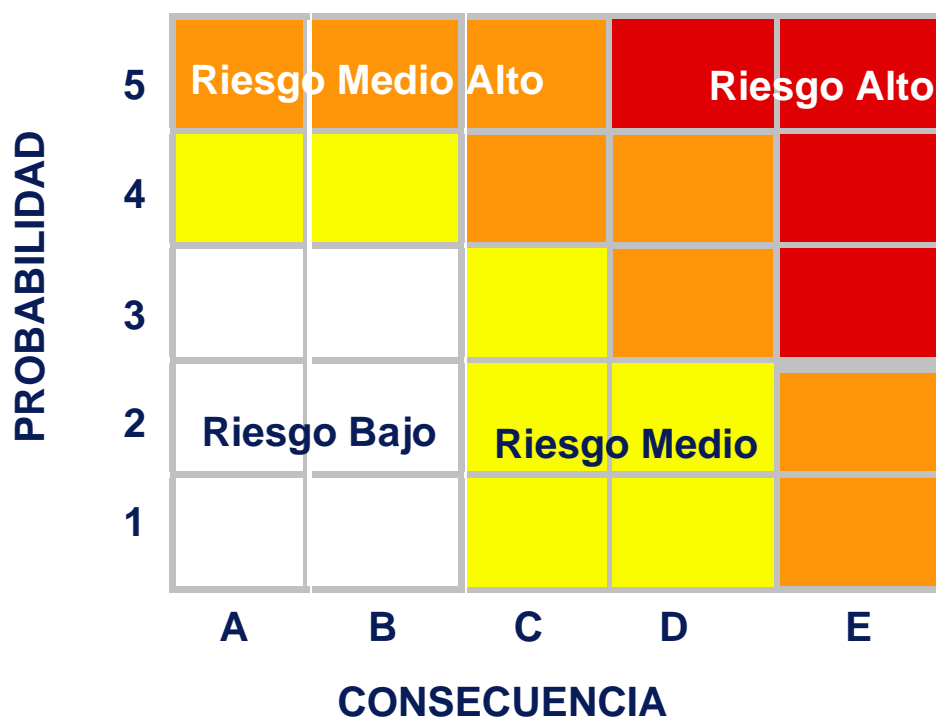


FIGURA 5. MATRIZ DE NIVEL DE RIESGO



## **DESARROLLO DEL PLAN DE INSPECCIÓN**

El propósito de un programa de inspección es planificar las actividades necesarias para detectar el deterioro al que están expuestos los equipos durante el servicio antes de que una falla ocurra.

Un programa de inspección debe ser desarrollado para identificar los diferentes tipos de daños posibles que deberían ser encontrados, el lugar donde estarían localizados, la técnica de inspección a utilizar y que tan frecuente se debe de realizar la inspección.

Para realizar una inspección de manera efectiva, se deberán de disponer de datos de diseño tales como los materiales de construcción, dimensiones y procesos de fabricación. Se necesita además de datos del proceso como la presión y temperatura de trabajo y el producto que es manejado por el equipo. Por último debe de conocerse la historia del equipo referente a datos de inspecciones realizadas anteriormente, análisis de fallas, actividades de mantenimiento, reparaciones y modificaciones.

## **DETERMINACIÓN CUANTITATIVA DEL ÍNDICE DE RIESGOS**

El análisis de riesgos de forma cuantitativa se utiliza para establecer el nivel de riesgo del componente en estudio en términos de área afectada por año o por pérdidas económicas por año, luego de haber ejecutado el plan de inspección seleccionado anteriormente con el análisis cualitativo

La determinación del riesgo cuantitativo se realiza por medio de los procedimientos explicados en las Figuras 3 y 4. Para la determinación del índice de riesgos, se deben de definir las características del fluido almacenado y de esta manera calcular la tasa de emisión al ambiente a fin de encontrar las consecuencias que provocarán las diferentes emisiones dependiendo del tamaño de agujeros seleccionados y a través de la determinación de la probabilidad de falla, determinar el índice de riesgos dependiendo del interés requerido.

## **CONCLUSIONES**

Se concluye lo siguiente:

1. La inspección basada en riesgo resulta beneficiosa en las compañías que la apliquen, debido a que integra las técnicas tradicionales de ensayos no destructivos con las políticas de calidad.
2. El análisis de riesgos se enfoca en la importancia en que la gerencia presta atención a los componentes existentes y a la integridad de las operaciones, lo cual es útil al momento de realizar tomas de decisiones que garantice el correcto manejo de sustancias peligrosas y que el personal de la compañía se encuentre capacitado para el trabajo y casos de emergencias.
3. Provee a las compañías una visión real del estado en que se encuentran los componentes y logran identificar los mecanismos de daños a los que se encuentran expuestos, y por medio de la de inspección periódica poder establecer la vida útil de los equipos.
4. La determinación del riesgo esta basada en aspectos estadísticos que evalúan la efectividad de las técnicas de inspección con el propósito de disminuir la incertidumbre de los resultados obtenidos
5. Se logra identificar las áreas afectadas por cada componente con respectos a las características de inflamabilidad, toxicidad y reactividad de los fluidos de trabajo y de esta forma readecuar las instalaciones y medidas de seguridad a fin de reducir el impacto esperado.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda lo siguiente:

1. El análisis de riesgos debería ser aplicado en las compañías ecuatorianas que usan en sus procesos sustancias inflamables o tóxicas, a fin de tener una visión real de los componentes que poseen, para desarrollar un programa de inspección que integre a toda la compañía y poder disminuir las pérdidas económicas por las fallas de los equipos.
2. Modelar las consecuencias tóxicas de las sustancias no consideradas en la Norma API 581, a fin de incrementar el campo de aplicación del análisis de riesgos
3. La creación de un organismo de control que verifique la correcta aplicación del análisis de riesgos. Este organismo deberá incluir controles sobre el medio ambiente, salud de la población aledaña y de la vida útil de los equipos.
4. Poseer una base de datos de las inspecciones realizadas anteriormente, a fin de tener registros sobre la tasa de daños de los componentes, lo cual resulta beneficioso al momento de realizar el análisis de riesgos

## **REFERENCIAS**

1. W. Chávez, "Gestión del Análisis de Riesgos Aplicados en Procesos de Inspección Técnica de Tanques de Almacenamiento" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2003)
2. API PUBLICATION 581, Risk Based Inspection. Base Resource Document, First Edition, May 2000
3. API RECOMMENDED PRACTICE 580, Risk-based Inspection, First Edition, May 2002
4. ROYAL & SUNALLIANCE ENGINEERING, Best Practice for Risk Based Inspection as a part of Plant Integrity Management, Health & Safety Executive, First Edition, London, September 2001