GUÍA PARA EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO (IBR) EN INSTALACIONES DEL SECTOR HIDROCARBUROS

Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Col, Jardines en la Montaña, CP. 14210, Ciudad de México
Tel: (55) 9126-0100 www.gob.mx/asea

2020
AÑO DE LEONA VICARIO
BENEMÉRITA MADRE DE LA PATRIA

Contenido

1. INTRODUCCIÓN 3
2. OBJETIVO 4
3. ALCANCE 4
4. DEFINICIONES 4
5. GENERALIDADES 6
6. MECANISMO PARA EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO 9
6.1 Conformación del equipo de trabajo de la IBR 10
6.2 Definición de los equipos y/o sistemas a evaluar 10
6.3 Recolección de datos e información técnica 11
6.4 Proceso de análisis y valoración del riesgo 11
6.5 Evaluación y clasificación del riesgo 14
6.6 Desarrollo del programa de IBR 14
6.7 Ejecución del programa y reporte de IBR 15
6.8 Evaluación de los resultados de la IBR 15
6.9 Mitigación del riesgo 16
6.10 Reevaluación del programa de IBR 16
7. REFERENCIAS 17
Anexo 1. Ejemplo para la Evaluación y clasificación del riesgo 19

1. INTRODUCCIÓN

La inspección de los equipos estáticos, ductos, tuberías de proceso, servicios auxiliares y estructuras que forman parte de las Instalaciones del Sector Hidrocarburos, tanto en tierra como costa fuera, juega un papel importante en la identificación y prevención de fallas. Los programas de inspección se establecen para detectar y evaluar los diferentes mecanismos de daño debido a las condiciones de operación, entorno ambiental, sustancias y materiales involucrados. Asimismo, los métodos, la frecuencia y los criterios de aceptación utilizados en las inspecciones pueden afectar el nivel de incertidumbre que está relacionado con la probabilidad de falla del elemento inspeccionado (nodo de estudio).

Las frecuencias de inspección han sido tradicionalmente impulsadas por prácticas prescriptivas de la industria, generalmente a intervalos basados en el tiempo. Esta práctica de inspección se basa principalmente en la experiencia de la industria, en general para cada tipo de componente, proporcionando hasta ahora un nivel adecuado de confiabilidad; sin embargo, tal práctica no considera explícitamente la probabilidad de falla de un componente bajo su operación, condiciones ambientales y de carga, ni las consecuencias de la falla. Las prácticas actuales de inspección dificultan reconocer si se puede lograr dicha confiabilidad o mejorarla, variando los métodos de inspección, las ubicaciones o las frecuencias, además, no identifican fácilmente si una actividad de inspección es excesiva o insuficiente y no redundan en el aumento de seguridad para la integridad del componente.

Un programa de inspección efectivo considerará cuándo, dónde y cómo gestionar los recursos de inspección, con el propósito de administrar la integridad mecánica de las Instalaciones, bajo un enfoque en el valor económico y rendimientos aceptables; así como contar con un registro documental que sirva de insumo para los procesos de inspección programada y para la actualización de los programas de mantenimiento, cuando se presenten cambios en las condiciones de operación.

La Inspección Basada en Riesgo (IBR) comienza con el reconocimiento de que su objetivo esencial es la prevención de incidentes y/o accidentes que perjudiquen la seguridad y la confiabilidad de las Instalaciones.

Con un enfoque de IBR se proporciona un medio para evaluar las consecuencias y la probabilidad de falla de los equipos estáticos, ductos, tuberías de proceso, servicios auxiliares y estructuras, determinando los mecanismos de daño específicos mediante el empleo de técnicas de inspección que efectivamente reducirán el riesgo de falla asociado.

La IBR es un proceso que asegura que los recursos de inspección se centren en las áreas de mayor riesgo y proporciona una metodología para determinar la combinación óptima de métodos y frecuencia de inspección. Como resultado de esto, hay un aspecto de mejora continua del proceso de la IBR que permite volver a calcular el riesgo y la posterior reevaluación de las actividades de inspección, reduciendo la incertidumbre y mejorando la confiabilidad.

En un mercado competitivo como el actual, para el Sector Hidrocarburos se ha convertido en prioridad evitar paros no programados y la mejora en la gestión de riesgos con el fin de proteger el medio ambiente y las personas de los riesgos industriales. Por lo que, mediante la realización de inspecciones adecuadas como las que se plantean en esta Guía de IBR se identificarán, evaluarán y definirán riesgos industriales que pudieran poner en peligro la integridad de los equipos y/o sistemas.

2. OBJETIVO

Poner a disposición de los Regulados los fundamentos del proceso de Inspección Basada en Riesgo, los requerimientos para su aplicación y la descripción de la metodología para el desarrollo de programas de inspección en Instalaciones donde se realicen las actividades del Sector Hidrocarburos, establecidas en la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, con el propósito de mantener la integridad mecánica de los equipos estáticos, ductos, tuberías de proceso, servicios auxiliares y estructuras de las Instalaciones, en tierra y costa fuera; así como para la optimización de los recursos de inspección, el mantenimiento y la Gestión de los riesgos.

3. ALCANCE

Esta Guía es una referencia que se recomienda ser aplicada para el desarrollo de programas de Inspección Basada en Riesgo para Instalaciones que realicen las actividades mencionadas en la fracción XI del artículo 3o. de la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos, en particular para los equipos y/o sistemas que se mencionan a continuación:

I. Tuberías de proceso y sus componentes;
II. Recipientes a presión: todos los componentes sujetos a presión;
III. Tanques de almacenamiento: atmosféricos y presurizados;
IV. Ductos, lanzadores y receptores de diablos;
V. Intercambiadores de calor (carcasas, cabezales flotantes, canales y haz de tubos);
VI. Calderas y componentes presurizados de calderas y calentadores;
VII. Dispositivos de alivio de presión;
VIII. Componentes rotatorios (partes sometidas a presión);
IX. Estructuras para plataformas flotantes y de base fija en el mar, y
X. Estructuras y soportes de equipos estáticos, tales como: sistemas de tuberías de proceso y servicios auxiliares de Instalaciones en tierra y costa fuera sometidas a ambientes corrosivos.

Quedan excluidos del alcance de esta Guía, los sistemas de instrumentación y control, sistemas eléctricos y componentes de maquinaria no estática.

4. DEFINICIONES

Para efectos de la aplicación e interpretación de la presente Guía, se aplican en singular o plural los conceptos y definiciones previstos en el artículo 3o. de la Ley de la Agencia Nacional de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos y las definiciones siguientes:

4.1 Análisis de Riesgo de Proceso (ARP): Aplicación sistemática de una o más metodologías específicas para identificar peligros y evaluar Riesgos de un proceso o sistema, con el fin de determinar los escenarios de riesgo y verificar la existencia de dispositivos, sistemas de seguridad, salvaguardas y barreras suficientes ante las posibles amenazas que propiciarían la materialización de algún escenario de Riesgo identificado;

4.2 Ensayos No Destructivos (END): Pruebas que permiten la detección de discontinuidades en la estructura o en las propiedades de los materiales, cuya aplicación no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.

4.3 Equipos: Son todos aquellos dispositivos como: recipientes, intercambiadores de calor, calentadores a fuego directo, bombas, compresores, tanques de almacenamiento, filtros que en conjunto con las líneas de tubería integran los circuitos. Por lo general, se encuentran sujetos a distintos tipos de corrosión, por lo que los Nodos de estudio en este caso pueden ser equipos enteros o partes de estos que presenten condiciones similares de corrosión.

4.4 Evento: Suceso relacionado a las acciones del ser humano, al desempeño del equipo o a los sucesos externos a las operaciones del Regulado, que pueden provocar siniestros, incidentes y accidentes, y emergencias, vinculados con las actividades del Sector Hidrocarburos.

4.5 Falla: Terminación de la capacidad de un sistema o componente para realizar su función requerida de contención de un fluido o soporte, y transmisión de carga en el caso de estructuras.

4.6 Frecuencia: Medida de la ocurrencia de un evento no deseado en un intervalo de tiempo determinado.

4.7 Gestión de riesgos: un enfoque estructurado para manejar la incertidumbre relativa a una amenaza, a través de una secuencia de actividades humanas que incluyen evaluación de riesgo, estrategias de desarrollo para manejar y mitigar el riesgo utilizando recursos gerenciales.

4.8 Inspección Basada en Riesgo (IBR): Proceso de evaluación y gestión de riesgos cuyo fin es la optimización de los programas de inspección de equipos estáticos, ductos, tuberías de proceso, servicios auxiliares y estructuras en Instalaciones.

4.9 Inspección Basada en Riesgo Cualitativa: Proceso de evaluación y gestión de riesgos basado en información descriptiva, fundado en el juicio ingenieril y la experiencia como base del análisis de probabilidad y consecuencias. Los resultados cualitativos se expresan en rangos: alto, medio y bajo, siendo necesario asignar valores numéricos a cada categoría para facilitar el cálculo del riesgo.

4.10 Inspección Basada en Riesgo Cuantitativa (probabilística): Proceso de evaluación y gestión de riesgos que integra una metodología, requiere información sobre el diseño de las Instalaciones (libro de proyecto), operación de equipos, historial de operación, confiabilidad de los componentes, análisis de riesgos, reportes de mantenimiento e inspecciones realizadas durante la vida de la Instalación, acciones humanas, progreso físico de los accidentes y efectos potenciales sobre la salud y el medio ambiente; utiliza modelos lógicos que descartan la combinación de eventos que pueden resultar en accidentes y modelos físicos que no consideran el progreso del accidente y el transporte del material peligroso hacia el medio ambiente. El método de evaluación utilizado es probabilístico.

4.11 Inspección Basada en Riesgo Semi-cuantitativa: Proceso de evaluación y gestión de riesgos, con un enfoque que considera aspectos del análisis cualitativo y cuantitativo, combinando los beneficios de ambos; por ejemplo, la rapidez del cualitativoy el rigor del cuantitativo. Comúnmente la misma información que es requerida para el análisis cuantitativo se utiliza en este tipo de enfoque, sin embargo, requiere un menor detalle. La probabilidad y consecuencia se expresan en categorías que deberán estar asociadas a valores numéricos que permitirán calcular el riesgo para posteriormente evaluar si tiene o no un nivel tolerable.

4.12 Mecanismo de daño: Forma en la cual un equipo o línea de tubería se degrada resultando en la pérdida de contención. Éste puede ser de naturaleza química o física y su comportamiento puede estar en función del tiempo o por ocurrencia de un evento. Ejemplos: adelgazamiento, picadura, socavaciones, laminaciones, corrosión por agrietamiento (SCC: Agrietamiento por corrosión bajo esfuerzos, SSC: agrietamiento bajo tensión en presencia de sulfuros e HIC: agrietamiento inducido por hidrógeno), cambios metalúrgicos y/o mecánicos, entre otros.

4.13 Modo de falla: Forma en que se manifiesta la falla, para la Inspección Basada en Riesgo, la falla de interés es la pérdida de contención o falla estructural, puede ser un orificio pequeño, una grieta o ruptura total.

4.14 Nodo de estudio: Sección de equipos estáticos, ductos, tuberías de proceso, servicios auxiliares y estructuras de las Instalaciones definidas para su estudio.

4.15 Programa de inspección: Conjunto documentado de acciones y/o estrategias determinadas a partir de los mecanismos de daño que detallan el alcance, la extensión, los métodos y las actividades de inspección específicas para determinar el estado de equipos estáticos, ductos, tubería de proceso, servicios auxiliares y estructuras en Instalaciones; a través de la calendarización de las actividades de inspección a efectuarse para todos los Nodos de estudio definidos en la Instalación.

4.16 Probabilidad: Medida de la posibilidad de ocurrencia de un evento en un periodo dado.

4.17 Riesgo: Probabilidad de ocurrencia de un evento indeseable, medido en términos de sus consecuencias en las personas, Instalaciones, medio ambiente o la comunidad.

4.18 Riesgo ALARP: (por sus siglas en inglés, *As Low as Reasonably Practicable*-Tan Bajo como sea Razonablemente Práctico). Los riesgos que se ubiquen en esta región deben estudiarse a detalle mediante análisis de costo-beneficio para que pueda tomarse una decisión sobre si se tolera el riesgo o se implantan recomendaciones que permitan reducirlos a la región de riesgo tolerable.

4.19 Riesgo no tolerable: Los riesgos de este tipo deben provocar acciones inmediatas para implantar las recomendaciones generadas en el análisis de riesgos. El costo no debe ser una limitación y el no hacer nada no es una opción aceptable. Estos riesgos representan situaciones de emergencia y deben establecerse controles inmediatos temporales. Las acciones deben reducirlos a una región de Riesgo ALARP y en el mejor de los casos, hasta Riesgo tolerable.

4.20 Riesgo tolerable: Riesgo que se acepta en un contexto dado basado en los valores actuales de la sociedad.

5. GENERALIDADES

5.1 Para efectos de interpretación de la presente Guía, todo riesgo alto se entenderá como Riesgo no tolerable, todo riesgo medio como Riesgo ALARP y todo riesgo bajo como Riesgo tolerable.

5.2 Los Regulados definirán los equipos críticos de acuerdo con los criterios establecidos por ellos para el análisis de la IBR, así como lo establecido conforme a las normas, códigos, estándares y buenas prácticas nacionales e internacionales.

5.3 Los Regulados enfocarán los recursos principalmente a los equipos con riesgo no tolerable y establecerán las acciones de mitigación una vez identificados los riesgos, con el objeto de aminorar la probabilidad de falla (inspecciones, reparaciones o sustituciones) y las consecuencias de la falla (detección o aislamiento de la fuga o derrame).

5.4 Los Regulados podrán utilizar los siguientes tipos de IBR:

I. Cualitativa;
II. Cuantitativa, y
III. Semi-cuantitativa.

5.5 Los Regulados utilizarán un tipo de análisis más riguroso como lo es el análisis cuantitativo a los equipos estáticos, tuberías de proceso, servicios auxiliares y estructuras de la Instalación definidos como equipos críticos; asimismo podrán realizar un análisis semi-cuantitativo cuando éstos cuenten con respaldo o relevo.

5.6 En caso de que los Regulados no cuenten con los datos e información para el análisis cuantitativo, podrán realizar un análisis cualitativo, sin embargo, la precisión de este tipo de análisis dependerá de los antecedentes y la experiencia de los analistas de riesgo y miembros del equipo.

5.7 El tipo de IBR a desarrollar por los Regulados, podrá seleccionarse al principio del proceso de análisis y llevarse a cabo hasta su finalización, o bien podrá modificarse a medida que avanza el análisis, sin embargo, la coherencia del enfoque será vital para comparar los resultados de una evaluación con la siguiente.

5.8 Los Regulados determinarán el tipo de IBR tomando en cuenta lo siguiente:

I. Objetivo del estudio;
II. Tipo de Instalación;
III. Los riesgos asociados a la actividad que desarrollan;
IV. Número de equipos y/o sistemas a estudiar;
V. Los recursos disponibles;
VI. El calendario de la evaluación;
VII. La complejidad de las Instalaciones y los procesos;
VIII. Propiedades físicas, químicas y tóxicas de las sustancias asociadas a la actividad a desarrollar;
IX. Origen y calidad de los datos disponibles;
X. El grado de discriminación de riesgo necesario, y
XI. El tiempo para obtener los resultados.

5.9 Con la finalidad de complementar los programas de inspección, los Regulados podrán aplicar diversos métodos basados en el riesgo y en la seguridad (por ejemplo: Análisis de Capas de Protección (LOPA), Análisis de Riesgo de Proceso (ARP), Análisis de Modos de Falla y Efecto (FMEA), entre otros, según resulten aplicables), asimismo los resultados que deriven de la IBR podrán mejorar los métodos implementados en la Instalación.

5.10 Para aplicar la metodología de IBR se determinarán los mecanismos de daño y los modos de falla, siendo entre otros:

I. Mecanismos de daño:

a) Corrosión generalizada interna y externa;
b) Corrosión bajo esfuerzo;

c) Corrosión por picaduras;
d) Laminación por corrosión;
e) Agrietamiento;
f) Corrosión atmosférica o microbiológica;
g) Cambios metalúrgicos, y
h) Cambios mecánicos.

II. Modos de falla:

a) Fuga de agujero de alfiler;
b) Fugas de pequeñas a moderadas;
c) Fuga grande;
d) Ruptura dúctil, y
e) Fractura frágil.

5.11 Cuando se utiliza la metodología de Inspección Basada en Riesgo Cuantitativa para determinar la probabilidad de falla y sus consecuencias, los Regulados podrán seleccionar el tamaño de orificio de fuga, de conformidad con lo establecido en API-RP-581, DNVGL-RP-G101 o aquel estándar equivalente o superior que haya servido de referencia, con la finalidad de simular las consecuencias que se puedan tener y determinar cuantitativamente el riesgo.

5.12 Los Regulados podrán implementar indicadores para medir la efectividad y la mejora continua del programa de IBR, de acuerdo con sus requerimientos; estos podrán ser, entre otros:

I. Índice de paros no programados;
II. Tiempo promedio para fallar;
III. Tiempo promedio para reparar;
IV. Disponibilidad de los equipos;
V. Confiabilidad de los equipos;
VI. Uso de la IBR, y
VII. Porcentaje de cumplimiento del programa de IBR.

5.13 Se recomienda que todas las Instalaciones nuevas inicien operaciones con programas de IBR.

5.14 El mecanismo para el desarrollo de un programa de IBR se muestra en la Figura 1 y se describe del numeral 6.1 al 6.10.

6. MECANISMO PARA EL DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO

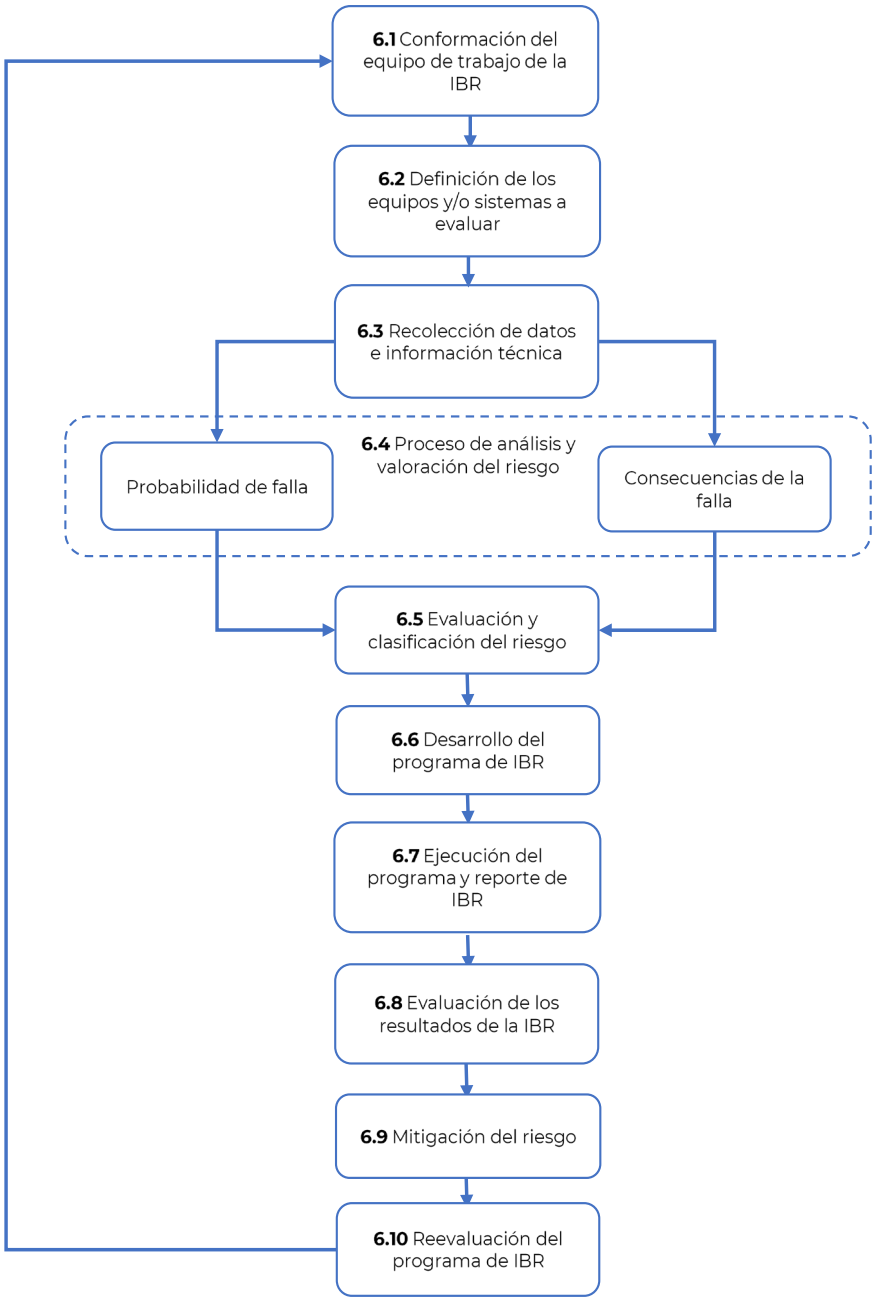

Figura 1. Mecanismo para el desarrollo de un programa de IBR.

6.1 Conformación del equipo de trabajo de la IBR

6.1.1 El equipo de trabajo de la IBR designado por los Regulados estará integrado por un líder con experiencia y conocimientos en los sistemas y/o equipos a inspeccionar, o en su caso, en la metodología empleada para la inspección y los tipos de procesos a evaluar, así como por los especialistas necesarios con experiencia y conocimientos en metodologías, análisis y valoración del riesgo, cumplimiento regulatorio relacionado con la Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y protección al medio ambiente, evaluación de costos para la implementación de programas de IBR, procesos, equipos estáticos, ductos, tuberías de proceso, servicios auxiliares y estructuras de las Instalaciones, corrosión, materiales, operación, mantenimiento, ensayos no destructivos, entre otros.

6.1.2 El líder del equipo de trabajo de la IBR tendrá entre otras las siguientes responsabilidades:

- **I.** Gestionar los recursos necesarios para la realización de la IBR;
- **II.** Evaluar las habilidades, conocimientos y experiencias de los integrantes del equipo;
- **III.** Definir las actividades de la IBR que realizará el personal especializado;
- **IV.** Coordinar y supervisar las actividades de inspección;
- **V.** Realizar las gestiones necesarias para los insumos de información, así como para la difusión de los resultados de la IBR;
- **VI.** Asegurar la calidad de las actividades de inspección;
- **VII.** Dar seguimiento a los resultados de la IBR para garantizar que se implementen medidas para administrar los riesgos, y
- **VIII.** Documentar la administración del cambio en los documentos que se requieran.

6.1.3 Los integrantes del equipo de trabajo de la IBR, dependiendo de la especialidad, tendrán entre otras las siguientes responsabilidades:

- **I.** Recopilar la información sobre el funcionamiento de equipos y/o sistemas, así como de las condiciones operativas de los procesos;
- **II.** Proporcionar la información relacionada con el historial del mantenimiento, accidentes y medidas para mitigar los riesgos;
- **III.** Definir el tipo de IBR que se va a realizar;
- **IV.** Identificar los mecanismos de daño y modos de falla;
- **V.** Realizar el cálculo del riesgo;
- **VI.** Evaluar y clasificar los riesgos;
- **VII.** Generar los registros de su participación y aportación de acuerdo con su especialidad, entregándolos al líder de la IBR, y
- **VIII.** Documentar e informar los resultados de la inspección.

6.2 Definición de los equipos y/o sistemas a evaluar

El equipo de trabajo de la IBR podrá definir los equipos y/o sistemas a evaluar considerando, como mínimo, los siguientes criterios:

- **I.** Objetivos y metas del programa de IBR;
- **II.** Nivel de detalle en el que se realizarán las evaluaciones de la IBR;
- **III.** Equipos y/o sistemas que produzcan mayor riesgo de daño y que requieran mayor análisis;
- **IV.** Equipos y/o sistemas que han tenido los mayores problemas de confiabilidad;

V. Equipos y/o sistemas que tienen la probabilidad de falla más alta;
VI. Equipos y/o sistemas donde la calidad de los programas de inspección sea deficiente o nulo;
VII. Equipos y/o sistemas que tienen las consecuencias más graves al ocurrir una falla;
VIII. Grado de daño a los equipos de protección por los mecanismos de daño;
IX. Periodo para la ejecución de la IBR;
X. Recursos (humanos, materiales, equipos a utilizar) necesarios para la IBR, y
XI. Límites físicos y operativos.

6.3 Recolección de datos e información técnica

6.3.1 El equipo de trabajo de la IBR contará con fuentes de datos e información confiable y actualizada para el análisis de equipos y/o sistemas de la Instalación. El manejo de la información se concentrará en una base de datos para el control y seguimiento de la IBR. Dicha base contemplará lo siguiente:

I. Datos de diseño y construcción;
II. Datos del proceso;
III. Sistemas de seguridad y detección;
IV. Descripción y evaluación de los mecanismos de daño;
V. Historial de inspección y mantenimiento de cada equipo y tuberías de la Instalación;
VI. Información sobre reparaciones y/o modificaciones;
VII. Evaluación de códigos y estándares actualmente en uso, o que hayan sido utilizados durante el diseño del equipo, y
VIII. Para el caso de las Instalaciones nuevas, recopilar datos de los mecanismos de daño en Instalaciones similares o información de referencia para establecer los mismos.

6.3.2 Zonas de alta consecuencia

Para el caso de ductos, como parte de la recopilación e integración de la información, el Regulado identificará para el segmento de ducto en estudio, las zonas de alta consecuencia, tales como: cruzamientos con cuerpos de agua, zonas densamente pobladas, áreas naturales protegidas, entre otras.

6.4 Proceso de análisis y valoración del riesgo

6.4.1 Los Regulados realizarán el proceso de análisis y valoración del riesgo mediante la identificación de mecanismos de daño documentados, la estimación de las probabilidades de ocurrencia de fallas y la evaluación de las consecuencias de las fallas, así como la identificación de los factores de riesgo, con lo cual desarrollarán estrategias efectivas de mitigación del riesgo.

6.4.2 El proceso de análisis y valoración del riesgo contemplará, como mínimo, las siguientes actividades:

I. Recopilación y validación de los datos e información necesaria;
II. Identificación de los mecanismos de daño y, opcionalmente, la determinación de los modos de daño para cada mecanismo; por ejemplo: pérdida general de metal, pérdida local de metal, picadura;
III. Determinación de la susceptibilidad a los daños y de las tasas de daño;
IV. Determinación de la probabilidad de ocurrencia de falla en un periodo definido para cada mecanismo de daño;

V. Determinación del modo de falla documentado, por ejemplo: fuga pequeña, fuga grande, ruptura, entre otros;
VI. Identificación de los escenarios de riesgo que resultarán de los modos de falla;
VII. Determinación de la probabilidad de falla de cada escenario de riesgo;
VIII. Determinación de las consecuencias de la falla de cada escenario de riesgo, y
IX. Determinación del riesgo, incluyendo un análisis de sensibilidad y examinando los resultados para comprobar su coherencia.

6.4.3 Probabilidad de falla

6.4.3.1 El análisis de probabilidad en un programa de IBR se realizará para estimar la posibilidad que tiene un equipo de fallar, conforme a los mecanismos de daño documentados a los que puede ser susceptible. Se expresa típicamente en términos de frecuencia, representada en eventos por año.

6.4.3.2 Tipos de análisis de probabilidad

I. Análisis cualitativo
La base de este método es el conocimiento del historial de funcionamiento y el posible deterioro de los materiales. Se podrá asignar una categoría de probabilidad de falla para cada unidad, sistema, agrupación o artículo del equipo. Dependiendo de la metodología empleada las categorías podrán describirse con palabras (alto, medio o bajo) o con descriptores numéricos (0.1 a 0.01 veces al año).

II. Análisis cuantitativo
Para utilizar este método se podrá adoptar un enfoque probabilístico en el que se utilizarán datos de falla específicos u opinión de expertos para calcular la probabilidad de falla. Estos datos de falla pueden obtenerse en el equipo específico y no como un valor único determinado.

Cuando exista información inexacta o insuficiente de las fallas del elemento de interés, se podrá utilizar otro método en el cual se utilizarán datos generales de la falla, mismos que deberán ajustarse y hacerse específicos para el equipo que se está analizando, ya sea aumentando o disminuyendo la frecuencia de la falla pronosticada en función de la información específica del equipo. De esta manera, los datos generales de falla se utilizarán para generar una frecuencia de la falla ajustada.

6.4.3.3 Determinación de la probabilidad de falla

Los Regulados podrán estimar la probabilidad de falla con base en las siguientes consideraciones:

I. Identificación del tipo de material que podría dar lugar a una pérdida de contención y los mecanismos de daño que son más probables que ocurran, con base en un criterio ingenieril;
II. Precisión de la tasa y susceptibilidad de daño;

III. Efectividad de los programas de inspección para identificar y monitorear el mecanismo de daño, con la finalidad de que el equipo pueda ser reparado o reemplazado antes de la falla.
IV. Continuación del daño en caso de que persistieran las condiciones actuales.

6.4.4 Consecuencias de la falla

6.4.4.1 El análisis de consecuencias de falla se realizará para estimar las consecuencias que se producirían de la identificación de un modo de falla, el cual resulta usualmente de un mecanismo o mecanismos de daños. Las consecuencias se categorizarán en impactos en la seguridad industrial y operativa, en la salud, en el ambiente y en aspectos económicos. El equipo de la IBR considerará la particularidad de los peligros presentes y seleccionará las unidades de medida en función de la gravedad de una lesión, costo, área afectada, daño ambiental, entre otras.

6.4.4.2 Tipos de análisis de consecuencias

I. Análisis cualitativo
Este método se llevará a cabo a partir de la identificación de las consecuencias de la falla (en seguridad industrial y operativa, salud, ambiente y aspectos económicos) y podrán estimarse con base en los conocimientos y la experiencia de expertos.

Para un método cualitativo, se asignará típicamente una categoría de consecuencias (de la “A” a la “E” o “alta”, “media” o “baja”). También se podrá asociar un valor numérico, como un costo.

II. Análisis cuantitativo
La utilización de este método implicará el uso de un modelo que describirá combinaciones de eventos para representar los efectos de falla en el personal, el equipo, las Instalaciones y el medio ambiente. Los modelos cuantitativos suelen tener uno o más escenarios de falla y podrán calcularse con base en lo siguiente:

a) Tipo de fluido de proceso en el equipo;
b) Estado del fluido de proceso dentro del equipo (sólido, líquido o gas);
c) Propiedades clave del fluido de proceso (peso molecular, punto de ebullición, temperatura de autoignición, energía de ignición, densidad, inflamabilidad, toxicidad, entre otros);
d) Las variables de operación del proceso, como la temperatura y la presión;
e) Cantidad total de fluido disponible para su liberación en caso de fuga;
f) Modo de falla y tamaño de la fuga resultante, y
g) Estado del fluido después de su liberación en condiciones ambientales (sólido, líquidas o gas).

6.4.4.3 Determinación de las consecuencias de la falla

Las consecuencias de la liberación de un material peligroso podrán estimarse asumiendo un escenario de riesgo específico y documentado, a partir de lo siguiente:

I. Estimación de la tasa de liberación;
II. Estimación del volumen total de fluido que será liberado;

III. Determinación de la dispersión del fluido de manera rápida, instantánea o lenta;
IV. Determinación de la dispersión del fluido en la atmósfera, así como en el suelo o cuerpos de agua, como líquido o gas;
V. Estimación de los impactos de cualquier sistema de mitigación existente, y
VI. Estimación de las consecuencias.

6.4.5 El análisis de la probabilidad y las consecuencias deberá ser una estimación repetible, simplificada y fidedigna de lo que se espera en caso de que se produjera una falla en el equipo que se está evaluando.

6.5 Evaluación y clasificación del riesgo

6.5.1 Para evaluar el nivel de riesgo, el equipo de trabajo de la IBR desarrollará una matriz de riesgo de probabilidad de falla y severidad de consecuencia, utilizando categorías de frecuencia y consecuencia. Dichas categorías estarán en función de datos propios o de bibliografía especializada, justificando la información presentada y/o indicando las fuentes o referencias bibliográficas. Asimismo, podrán utilizar éste o cualquier otro método que iguale o mejore la obtención del nivel de riesgo. Como ejemplo se presenta la matriz de riesgo del Anexo 1.

6.5.2 El riesgo se determinará con base en el producto de la probabilidad de falla y la consecuencia de la falla. En términos matemáticos la ecuación será la siguiente:

Riesgo = Probabilidad * Consecuencia

6.5.3 El equipo de trabajo de la IBR clasificará los riesgos y presentará los resultados de estos en una matriz o gráficas de riesgo, identificando inicialmente los equipos, sistemas y/o longitud de ducto afectado (kilómetro de inicio y fin) con riesgo alto, medio y bajo, las partes de la Instalación que necesitarán más atención en la inspección, medidas de reducción de riesgos, así como determinarán la necesidad de llevar a cabo una evaluación más detallada para los escenarios de mayor riesgo.

6.6 Desarrollo del programa de IBR

El equipo de trabajo de la IBR desarrollará el programa de inspección que contendrá, como mínimo, lo siguiente:

I. El objetivo y alcance de la inspección;
II. Descripción del área, planta o nodo/equipo que se va a inspeccionar;
III. Equipos de medición necesarios para la IBR y sus certificados de calibración vigentes;
IV. Procedimientos críticos o aplicables a la IBR;
V. Tiempo de inicio y terminación de la actividad;
VI. Periodo de inspección;
VII. Responsables de la inspección;
VIII. Personal especializado que realizará la IBR;
IX. Programa de capacitación;
X. Equipo de protección personal específico para las actividades a desempeñar, y
XI. Técnicas de inspección.

6.7 Ejecución del programa y reporte de IBR

6.7.1 Para la aplicación de las técnicas de inspección, los Regulados revisarán los antecedentes históricos del nodo de estudio, con la finalidad de verificar la integridad mecánica y su mecanismo de daño.

6.7.2 El programa de inspección será ejecutado por personal capacitado y calificado en las técnicas de inspección según corresponda.

6.7.3 Los Regulados ejecutarán todos los trabajos de manera segura, conforme a los procedimientos establecidos en su Sistema de Administración de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y protección al medio ambiente autorizado por la Agencia.

6.7.4 Durante la ejecución de la inspección a los equipos y/o sistemas, los Regulados enfocarán los esfuerzos en la detección de los mecanismos de daño esperados o, en su caso, en el monitoreo de las indicaciones con presencia de daño que no hayan rebasado los criterios de aceptación en la inspección anterior.

6.7.5 Todas las inspecciones realizadas a los equipos y/o sistemas serán registradas en bitácoras y se actualizarán las bases de datos con la información derivada de las inspecciones. Esta actividad permitirá contar con el histórico técnico para las futuras inspecciones.

6.7.6 El reporte de los resultados contendrá, como mínimo, la siguiente información:

I. Tipo de inspección realizada;
II. Código del equipo;
III. Códigos y estándares aplicados;
IV. Descripción de la operación del equipo o sistema de tuberías;
V. Nivel de riesgo;
VI. Mecanismos de daño de degradación principal;
VII. Factor de daño actual;
VIII. Factor de daño sin inspecciones anteriores;
IX. Nivel de inspección recomendado;
X. Acciones de mitigación que se recomienden para reducir el riesgo inherente a nivel tolerable;
XI. Fecha de la próxima inspección, y
XII. Comentarios.

6.8 Evaluación de los resultados de la IBR

6.8.1 Una vez que se ha cumplido con el programa de inspección, los resultados obtenidos se revisarán y evaluarán para la toma de decisiones, con la finalidad de mitigar los riesgos.

6.8.2 Cuando los resultados no sean aceptables, se generará un reporte el cual se entregará al líder de la IBR, donde se especificará el nivel de criticidad de cada una de las indicaciones no aceptables, así como el programa de atención de éstas, mismo que contendrá la fecha de ejecución, los responsables, requerimientos, entre otros.

6.8.3 En caso de que los resultados de la inspección sean aceptables, se actualizará la fecha y efectividad de la inspección por cada mecanismo de daño, el espesor medido, las velocidades de corrosión, las susceptibilidades a agrietamiento, entre otros.

6.8.4 Cuando exista duda con los resultados obtenidos de las inspecciones, se realizará una verificación de la inspección efectuada, con la finalidad de corroborar la veracidad de los resultados. Si existieran desviaciones se elaborarán reportes donde se especifique el motivo de éstas indicando fechas y responsables de la reevaluación al sistema.

6.9 Mitigación del riesgo

6.9.1 Uno de los aspectos más importantes de la gestión de riesgos a través del programa de IBR es el desarrollo y uso de estrategias de mitigación.

6.9.2 Los Regulados llevarán a cabo acciones de mitigación inmediata para reducir el riesgo. Así mismo, utilizarán e implementarán las mejores prácticas nacionales e internacionales para la Gestión del riesgo y aplicarán el principio ALARP (por sus siglas en inglés, *As Low as Reasonably Practicable*), lo cual permitirá demostrar que se han implementado o implementarán todas las medidas de reducción de riesgos para disminuir la probabilidad de falla y la magnitud de la consecuencia de la falla a un nivel tan bajo como sea razonablemente práctico.

6.9.3 Los Regulados realizarán la mitigación del riesgo por medio de controles de ingeniería y/o factores humanos que lo llevarán a la reducción y hasta ser considerado un riesgo tolerable, así mismo se enfocarán en una disciplina operativa y en la confiabilidad de los sistemas de protección.

6.9.4 Algunas de las acciones de mitigación que podrán realizar los Regulados, según la situación de análisis, son las siguientes:

I. Modificación del proceso para eliminar las condiciones de riesgo;
II. Modificación de los procedimientos operativos para evitar situaciones de riesgo;
III. Tratamiento químico para reducir las tasas de daño;
IV. Cambio en la metalurgia de los componentes para reducir la probabilidad de falla;
V. Eliminación del aislamiento innecesario para reducir la probabilidad de corrosión;
VI. Reducción o limitación de los inventarios disponibles para minimizar las consecuencias de falla;
VII. Optimización de los sistemas de seguridad, detección o limitación de pérdidas;
VIII. Cambio en los insumos de proceso a aquellos que resulten menos inflamables o tóxicos;
IX. Cambio en el diseño de los componentes para reducir la probabilidad de falla, y
X. Control del proceso.

6.9.5 En caso de aplicar medidas de mitigación que tengan cambios en el diseño, se deberá actualizar el archivo o expediente.

6.10 Reevaluación del programa de IBR

6.10.1 Derivado de la evaluación de resultados y de las acciones de mitigación de los riesgos, los Regulados reevaluarán los riesgos y realizarán, como mínimo, lo siguiente:

I. Para los riesgos no tolerables, elaborarán un programa de acciones con la finalidad de llevarlos a niveles tolerables;
II. Para los riesgos tolerables y/o ALARP, actualizarán los datos de inspección, recalcularán el nivel de riesgo, actualizarán expedientes y elaborarán un nuevo programa de inspección, y
III. Realizarán la administración del cambio en los documentos que se requieran.

6.10.2 Los Regulados realizarán una reevaluación del programa de IBR, cuando ocurran o se planeen cambios significativos en las condiciones de operación, cambios en el mecanismo de daño, operaciones a condiciones fuera de diseño, cambios en especificaciones de materiales o incidentes en las Instalaciones.

7. REFERENCIAS

7.1 NOM-020-STPS-2011.- Recipientes sujetos a presión, recipientes criogénicos y generadores de vapor o calderas - Funcionamiento - Condiciones de Seguridad. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de diciembre del 2011.

7.2 NOM-009-ASEA-2017.- Administración de la integridad de ductos de recolección, transporte y distribución de hidrocarburos, petrolíferos y petroquímicos. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de enero del 2019.

7.3 API-510: 2014.- Pressure Vessel Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair and Alteration. Código de inspección de recipientes a presión: Inspección, evaluación, reparación y modificación de recipientes en servicio. Décima edición, mayo 2014.

7.4 API-570: 2016.- Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems. Código de Inspección de tuberías: Inspección, reparación, alteración y reclasificación de sistemas de tubería en servicio. Cuarta edición, febrero 2016.

7.5 API-571: 2011.- Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry. Mecanismos de deterioro que afectan al equipo estático de la industria de la refinación del crudo. Segunda edición, abril 2011.

7.6 API-574: 2016.- Inspection Practices for Piping System Components. Prácticas de Inspección para componentes de Sistemas de Tuberías. Cuarta edición, noviembre 2016.

7.7 API-579-1/ASME FFS-1: 2016.- Fitness-For-Service. Aptitud para servicio. Tercera edición, junio 2016.

7.8 API-RP-580: 2016.- Risk Based Inspection. Inspección Basada en Riesgo. Tercera edición, febrero 2016.

7.9 API-RP-581: 2016.- Risk-Based Inspection Methodology. Metodología de Inspección Basada en Riesgo. Tercera edición, abril 2016.

7.10 API-RP-584: 2014.- Integrity Operating Windows. Ventanas de Integridad de Operativa. Primera edición, mayo 2014.

7.11 API-653: 2001.- Tank Inspection, Repair, Alteration, and Reconstruction. Inspección, reparación, modificación y reconstrucción de tanques. Quinta edición, diciembre 2001.

7.12 API-750: 1990.- Management of Process Hazards. Gestión de riesgos de procesos. Primera edición, enero 1990.

7.13 API-RP-1160: 2001.- Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines. Sistema de Gestión de Integridad de Tuberías de Transporte Líquidos. Primera edición, noviembre 2001.

7.14 DNV-RP-G101: 2017.- Risk Based Inspection of offshore topsides static mechanical equipment. Inspección Basada en Riesgo para equipo mecánico estático en instalaciones costa afuera. Julio 2017.

7.15 ASME, section V: 2018.- Nondestructive Examination, Boiler and Pressure Vessel Code. Pruebas no destructivas, Código para Calderas y Recipientes a Presión. Edición 2018.

7.16 ASME, section VIII, division 1: 2018.- Rules for Construction of Pressure Vessels. Reglas para la Construcción de Recipientes a presión. Edición 2018.

7.17 ASME "General Document Volume 1 CRTD-Vol.20-1", 2018. ASME Documento General Volumen 1 CRTD Vol.20-1. Edición 2018.

7.18 ASME B 31: 2018.- Pressure Piping. Tuberías de Proceso. Edición 2018.

7.19 ABS 120: 2018.- Guide for risk-based inspection for floating offshore installations. Guía para usar encuestas de inspección basada en riegos para la industria de alta mar. Noviembre 2018.

7.20 ISO 2394: 2015.- General principles on reliability for structures. Principios generales de fiabilidad para estructuras. Marzo 2015.

7.21 ASEA.- Guía para la Revisión de Seguridad de Pre-arranque (RSPA), 17 de enero de 2019.

7.22 ASEA.- Guía para la elaboración del Análisis de Riesgo para el Sector Hidrocarburos, 11 de julio de 2018.

Anexo 1. Ejemplo para la Evaluación y clasificación del riesgo

Tabla 1. Frecuencia

Valor	Descripción
4	El evento ha ocurrido alguna vez en los equipos y/o sistemas del mismo tipo o similar, durante los últimos 2 años.
3	El evento ha ocurrido alguna vez en los equipos y/o sistemas del mismo tipo o similar, en un periodo ≥ 2 y ≤ 5 años.
2	El evento ha ocurrido alguna vez en los equipos y/o sistemas del mismo tipo o similar, en un periodo ≥ 5 y ≤ 10 años.
1	El evento ha ocurrido en un periodo mayor de 10 años, en equipos y/o sistemas del mismo tipo o similar en la industria.

Tabla 2. Consecuencia

Calificación (Cuando el equipo de trabajo de la IBR defina que pudiera presentarse al menos una de las consecuencias de la fila correspondiente)	**Personas**	**Instalaciones y producción**	**Medio Ambiente**
4	Una o más fatalidades.	Daño a las Instalaciones y producción que se restablecería en más de una semana.	Impacto negativo al medio ambiente, que se presente fuera de las Instalaciones.
3	Lesiones no reversibles.	Daño a las Instalaciones y producción que se restablecería entre 1 y 5 días.	Impacto negativo al medio ambiente, que afecta a más de un área al interior de la Instalación.
2	Lesiones reversibles con incapacidades y tratamiento médico.	Daño a las Instalaciones y producción que se restablecería en un día o menos.	Impacto negativo al medio ambiente que afecta sólo en el área donde se genera al interior de la Instalación.
1	Sin lesión.	La continuidad operativa no se pierde.	Las consecuencias serían menores a cualquiera de las anteriores.

Riesgo no tolerable (riesgo alto)

Riesgo ALARP (riesgo medio)

Riesgo tolerable (riesgo bajo)

Tabla 3. Evaluación y clasificación del riesgo

Consecuencia			Frecuencia			
Personas	**Activos**	**Medio Ambiente**	1. El evento ha ocurrido en un periodo mayor a 10 años	2. El evento ha ocurrido alguna vez en un periodo ≥ 5 y ≤ 10 años.	3. El evento ha ocurrido alguna vez en un periodo ≥ 2 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 negativo al medio ambiente externo.	**Medio** **4**	**Medio** **8**	**Alto** **12**	**Alto** **16**
3. Lesiones no reversibles.	3. Daño a las Instalaciones y producción; se restablece entre 1 y 5 días.	3. Impacto negativo al medio ambiente interno, afecta a más de un área interna.	**Bajo** **3**	**Medio** **6**	**Alto** **9**	**Alto** **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 negativo al medio ambiente interno, sólo impacta el área donde se genera.	**Bajo** **2**	**Medio** **4**	**Medio** **6**	**Medio** **8**
1. Sin lesión.	1. La continuidad operativa no se pierde.	1. Las consecuencias serían menores a cualquiera de las anteriores.	**Bajo** **1**	**Bajo** **2**	**Bajo** **3**	**Medio** **4**