

La Integridad de las plantas es la clave para mejorar su rendimiento

Sergio D. Kapusta

Shell Global Solutions (US), Inc.

Maarten Festen

Shell Global Solutions International B.V.

Sinopsis

La integridad técnica de una planta implica que, bajo condiciones de operación determinadas, el riesgo de fallas es tan bajo como puede ser razonablemente alcanzado—conocido en inglés por sus iniciales, A.L.A.R.P. (“as low as reasonably possible”). Esta definición no indica precisamente que es la integridad mecánica, ni cuales las condiciones que deben existir para alcanzarla. Las preguntas que surgen son: ¿Cómo puede obtenerse y mantenerse la integridad mecánica, y a que costo? Esta conferencia presenta respuestas a estas preguntas a través de un resumen de la estrategia y de los sistemas de gestión desarrollados en el Grupo Shell para alcanzar, mantener y demostrar la integridad técnica de sus plantas. Integridad no es una actividad ni un grupo, sino que es un proceso que involucra distintos niveles gerenciales y técnicos dentro de una empresa. Un sistema de Gestión de Calidad es necesario para asegurar que las estrategias mas adecuadas sean desarrolladas y ejecutadas dentro de la empresa. Ejemplos de la aplicación de este proceso y de sus sistemas asociados demuestran que la integridad de las plantas de producción, transporte y refinación de gas y petróleo es un factor critico para optimizar su rendimiento. Los elementos que constituyen la base de estos sistemas, y su incorporación al control de gestión de las plantas, serán analizados. Estos temas son de interés a todos aquellos interesados en mejorar tanto la seguridad como el nivel de prestación económica de sus plantas.

Introducción

Esta presentación esta centrada en la integridad técnica y mecánica de las plantas de procesamiento de hidrocarburos, aun cuando los elementos y conclusiones que aquí se presentan son igualmente validos para otro tipo de plantas industriales. Es claro que la integridad mecánica es solo uno de los componentes de la gestión de seguridad de procesos, pero es uno de los componentes más importantes. No es posible garantizar la seguridad del proceso solo puede ser tan alta como lo permita el equipo que lo contiene. La integridad mecánica es también un componente fundamental para mejorar el rendimiento, la confiabilidad y la prestación económica de las plantas, ya que las plantas que no producen por problemas de fallas o perdidas en la contención de los productos del proceso no producen beneficios. Numerosos estudios han demostrado que la falta de integridad mecánica, que resulta en fugas, contaminación, accidentes laborales, y hasta fallas

catastróficas, es la causa principal de pérdidas económicas y de vidas humanas en nuestra industria.

Un concepto que ha sido desarrollado para evaluar el riesgo de una actividad es el de A.L.A.R.P. Estas son las siglas, en inglés, que representan un riesgo tan bajo como puede ser razonablemente posible ("as low as reasonably possible"). Esto significa que todos los esfuerzos han sido efectuados para analizar los posibles modos de falla (corrosión, fractura, fragilización, fatiga, erosión, etc.), y los mecanismos para disminuir o bien mitigar el impacto de estas posibles fallas han sido estudiados e implementados. Estos riesgos no son solo económicos sino que incluyen posibles daños al medio ambiente y a la seguridad de las personas. Los programas de integridad mecánica y técnica están precisamente enfocados a establecer y mantener el riesgo ALARP.

La información que será presentada en este trabajo puede usarse para mejorar la efectividad de los programas de integridad mecánica. Un punto muy importante es que esta es una descripción de un programa para alcanzar excelencia en gestión de integridad mecánica (GIM), y no solo para cumplir con regulaciones y otras exigencias jurisdiccionales. En nuestra experiencia, aquellas plantas que se concentran solo en cumplir las regulaciones y no en alcanzar excelencia no extraen todos los beneficios, en términos económicos, de seguridad personal y de protección del medio ambiente, que pueden obtenerse de la excelencia en GIM.

Mantener la integridad mecánica de una planta de procesamiento de hidrocarburos no es ningún secreto. Consiste, simplemente, en ejecutar las acciones que son requeridas para este propósito, y ejecutarlas consistentemente, de una manera efectiva y continua, sin importar otras prioridades que pudiesen interponerse. No debemos permitir que estas otras prioridades nos distraigan del objetivo final que es mantener la integridad de las plantas.

Es importante que todos, incluyendo el alto nivel gerencial de la planta, comprendan que "integridad" no es una actividad ni un departamento dentro de la organización sino que es un proceso continuo. El proceso de mantener la integridad mecánica de los equipos pertenece a una gran cantidad de personas dentro de la planta, y no solamente a los grupos de corrosión o inspección. Además de estos, un programa efectivo de integridad mecánica (IM) incluye funciones específicas para operarios, especialistas, ingenieros de proceso, ingenieros de proyectos, supervisores, etc. Aquellas plantas que definen los roles y expectativas para cada uno de estos participantes, y que los implementan de manera efectiva y consistente, son las que más éxito tienen en reducir pérdidas por fallas de los equipos.

Espero que aquellos que estén familiarizados con los temas de integridad mecánica de plantas de hidrocarburos lean este resumen y piensen: "Esta bien, pero esto ya lo sé...!". En ese caso, me alegro porque sus plantas no deben tener las pérdidas, baja confiabilidad o fallas de equipos de las que sufren tantas otras plantas en nuestra industria. Incluso a estas personas, los invito a reflexionar si la implementación de los principios contenidos en este resumen es tan buena como podría o debiera ser, o existe aun un margen para mejorar.

Otras personas ajenas al tema de integridad mecánica no tienen una idea cabal de la complejidad y alcance del trabajo necesario para mantener un alto nivel de integridad. Uno de los propósitos de esta presentación es precisamente ofrecer un panorama de las actividades y sistemas de gestión que son necesarios para alcanzar y mantener esta integridad.

Uno de los términos que usare muy frecuentemente en esta presentación es "efectivo". Una definición de efectivo es "que produce un resultado definitivo, decisivo, o deseado". En muchos casos, mucho esfuerzo y dinero se derrochan en actividades que aparentemente están orientadas a mantener la integridad mecánica de las plantas, pero que no son efectivas. O sea, no producen los resultados deseados. Es inútil escribir procedimientos y prácticas que no son correctamente implementadas. Es inútil obtener datos e información sobre la integridad de los equipos si estos no son transmitidos efectivamente a quienes deben tomar decisiones sobre estos equipos. Es inútil iniciar un "plan de choque" para solucionar problemas de integridad si estos planes no son mantenidos, renovados e implementados consistentemente. Efectivo no significa perfecto. Solo significa suficiente para cumplir con su cometido de manera de prevenir pérdidas o fallas.

Uno de mis colegas en Shell, John Reynolds, que es el coordinador del programa de integridad mecánica en API (American Petroleum Institute) describió en varias publicaciones los "101 elementos de un programa de integridad mecánica de equipos de presión". Estos 101 elementos son igualmente importantes y necesarios para obtener la excelencia en GIM mencionada anteriormente. Sería posible escribir libro completo detallando la importancia y la implementación de cada uno de estos 101 elementos, y otro tanto para mostrar sus interacciones en la obtención de excelencia en la gestión de integridad mecánica. Esta no es la intención de esta presentación. Solo he de concentrarme en algunos aspectos en dos conjuntos de estos elementos, como son la inspección basada en riesgo y la implementación de las ventanas operativas.

Confiabilidad, costos y beneficios

La mejora en la confiabilidad de las plantas esta basada en el desarrollo e implementación de estrategias y procedimientos en las áreas de mantenimiento, manejo de paradas, gestión de contratos, política de repuestos, etc. En Shell estos conceptos están incluidos bajo el termino MERIT, que es un programa integral para mejorar la confiabilidad de las plantas. El impacto de una correcta implementación de estas estrategias en el aumento del rendimiento de las plantas y en la reducción de los costos de mantenimiento se puede ver en la siguiente figura, que detalla los resultados obtenidos por Shell en sus refinerías:

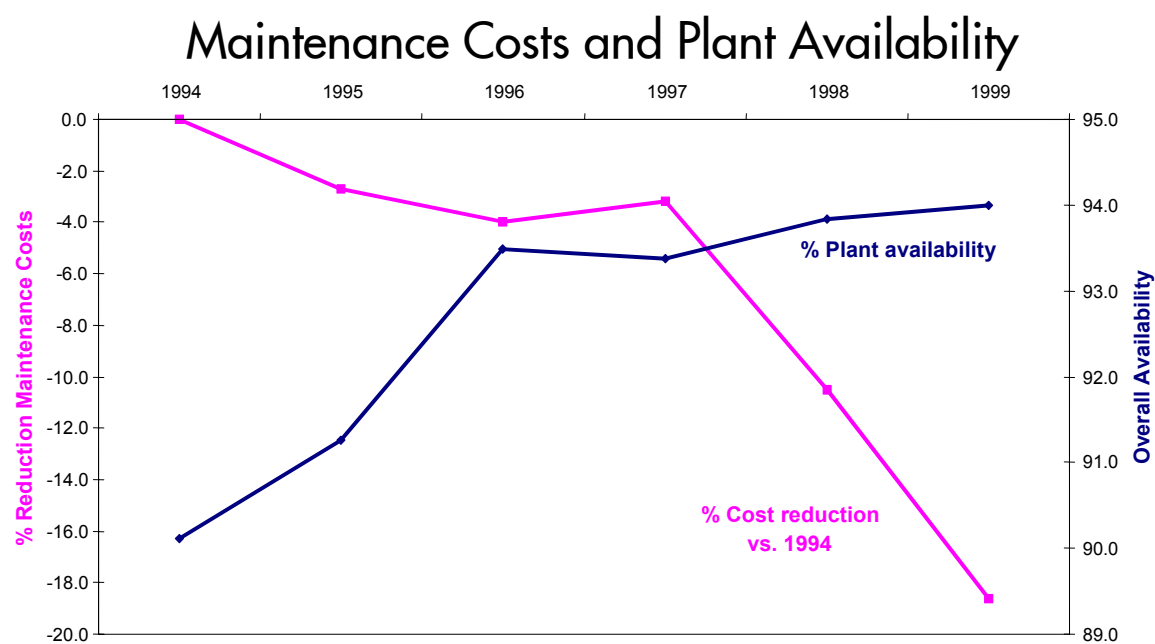


Figura 1. Resultados promedio de la implementación del programa MERIT (mejora de la confiabilidad) en 10 plantas de Shell en el periodo 1994-1999.

Esto significa que, a diferencia de otros programas que enfocan solo los síntomas de los problemas de confiabilidad, como ser los altos costos de mantenimiento, un correcto énfasis en las causas raíces de estos problemas no solo resultan en una mejora en el rendimiento de las plantas sino también en una reducción de los costos de mantenimiento. De tal manera que el aumento en la confiabilidad se obtiene sin costo.

Excelencia en la gestión de integridad mecánica

Como fuera dicho anteriormente, el objetivo de esta presentación no es describir una manera de cumplir con los requerimientos legales o internos para mantener y asegurar la integridad mecánica de las plantas, sino de cómo alcanzar la excelencia en integridad mecánica. En la mayoría de las plantas ya existen elementos del programa de integridad que cumplen con un

mínimo de requisitos impuestos por las autoridades o por políticas internas de la empresa. Estos programas generalmente tienen los siguientes síntomas:

1. Ocurren muchas pérdidas por fallas de integridad, y el impacto económico y de seguridad laboral de estas pérdidas es alto.
2. Los operadores de la planta no conocen o comprenden las variables críticas que afectan la integridad de las unidades que
3. Fuera de los grupos involucrados directamente en la integridad mecánica de los equipos (corrosión, inspección, mantenimiento), pocas personas que operan, reparan o proveen servicios técnicos poseen un buen conocimiento sobre las causas de pérdidas, fracturas, corrosión, etc.
4. El grupo principalmente encargado de mantener la integridad mecánica dentro de la planta, que puede tomar nombres tales como Departamento de inspección, de Mantenimiento, de Confiabilidad o de Integridad, debe permanentemente luchar para obtener el presupuesto necesario para implementar sus recomendaciones.
5. El enfoque de la operación es mayormente en ganancias, costos y presupuestos, y no existe una perspectiva suficiente en la preservación y confiabilidad a largo plazo de los equipos.
6. La planta funciona con una definida separación en la función de cada departamento. inspección (o un nombre similar) tiene a su cargo la integridad mecánica de los equipos, los ingenieros de proceso son responsables por mantener o aumentar la producción, los operadores deben ejecutar los planes, mantenimiento es responsable de reparar los equipos y ponerlos nuevamente en funcionamiento, los ingenieros de proyecto son responsables de completar los proyectos a tiempo y bajo el presupuesto, etc.
7. El control de gestión de cambios para modificaciones físicas de los equipos es generalmente efectivo, pero no así para cambios en los procesos o condiciones de operación.
8. Los recursos están muchas veces enfocados a resolver problemas de integridad mecánica en lugar de prevenirlos.
9. Los proyectos están muchas veces orientados a reducir el costo de instalación en lugar de reducir el costo total de operación.
10. Los inspectores “caminan” por la planta pues los operadores creen que ver a los inspectores en las unidades de procesos demuestra que están haciendo algo productivo.

Trabajo y responsabilidad conjunta

La excelencia en GIM solo puede obtenerse cuando existe una responsabilidad conjunta en mantener la integridad de los equipos por parte de todos los grupos mencionados anteriormente, y con un fuerte respaldo por parte del mas alto nivel gerencial.

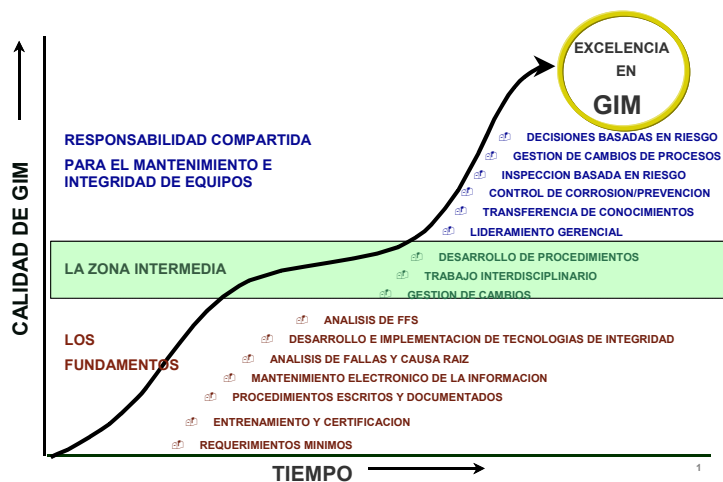


Figura 2. Elementos que contribuyen a la excelencia en la gestión de Integridad mecánica (GIM) de equipos y plantas.

Dos aspectos fundamentales de esta responsabilidad compartida por la integridad de los equipos son la creación de documentos de control de corrosión (DCC), y dentro de estos la definición e implementación de ventanas operativas para integridad.

Ambas actividades son el resultado del trabajo de las personas dentro de la planta que combinan la información, los conocimientos y la experiencia necesarias para contribuir a mejorar la integridad. Los grupos incluidos son operaciones, mantenimiento, inspección, ingeniería de procesos, e ingeniería de corrosión. Los componentes principales de los documentos de control de corrosión son:

1. Una descripción de todos los posibles problemas de degradación de materiales.
2. Una recomendación de las zonas dentro de la planta donde la posibilidad de fallas es mayor.
3. Una lista de las variables críticas que deben ser controladas para evitar fallas inesperadas en los equipos.
4. Un resumen de los valores de estas variables, que en su conjunto definen la ventana operativa de la unidad. Dada la importancia que tienen en mantener la integridad de los equipos y posiblemente en mejorar su rendimiento, volveremos a hablar en mas detalle de las ventanas operativas mas adelante.

Los documentos de control de corrosión son de extrema importancia para la implementación de la inspección basada en riesgo (RBI), de la cual hablaremos en mas detalle luego. Otro aspecto fundamental de los DCC's es la creación e implementación de sistemas para entrenamiento del personal y para la transferencia de conocimientos que aseguren que cada persona que tiene un rol que cumplir en la gestión de integridad mecánica, entiende este rol y tiene a su alcance la información necesaria para cumplirlo.

Ventanas operativas para integridad mecánica

El objetivo de las ventanas operativas relacionadas con la integridad mecánica es establecer en la zona de procesos de la planta un medio ambiente que permita la conversión de la materia prima (alimentación) de las unidades en productos, de una manera segura y económicamente eficiente, sin sobresaltos significativos en la operación y sin paradas imprevistas de la planta. En su sentido más amplio, la ventana operativa de una instalación se puede definir como el conjunto de condiciones de operación dentro de las cuales se debe mantener el proceso para asegurar la operación segura, confiable y eficiente.

En el contexto de la inspección basada en riesgo, los parámetros operacionales definen las condiciones bajo las cuales el análisis y las conclusiones del análisis de riesgo son validos.

Desviaciones fuera de la ventana operativa erosionan la solidez del análisis y requieren una nueva evaluación del riesgo y del plan de inspección. Los parámetros definidos dentro de la ventana operativa deben ser controlables, y controlados, para verificar que la operación no se aparta de los límites impuestos durante el análisis.

La ventana operativa representa en general una limitación, dentro de la ventana de diseño de los equipos, de los parámetros operativos fuera de la cual la integridad mecánica de la planta se deteriora por corrosión o degradación de los materiales de construcción. La ventana de diseño se establece sobre la base del diseño del proceso y de los equipos, y esta generalmente protegida por alarmas, sistemas de seguridad, válvulas de seguridad y otros elementos similares. Durante la operación de una unidad, nuevos límites se establecen que restringen la operación por debajo del diseño, a través de una combinación de factores: experiencia con la operación, necesidad de asegurar la confiabilidad de los equipos, cambios en los equipos o en los procesos, necesidad de resolver problemas inmediatos, etc. Es decir que en muchos casos las plantas se operan por debajo de su capacidad real lo que involucra una pérdida de rentabilidad que puede ser importante. En otros casos, la situación es inversa y las plantas operan fuera de su ventana de diseño original, por ejemplo por la acumulación de pequeños y sucesivos cambios en la operación, cada uno de los cuales puede no tener consecuencia pero que en su conjunto constituyen un riesgo importante. El primer paso para mejorar la confiabilidad y optimizar la rentabilidad de la operación es entonces definir a la ventana operativa y establecer su relación con la capacidad real de operación de la planta.

Eso está representado en la Figura 3, donde los tres pasos para aumentar la rentabilidad de la planta son: (1) definir la ventana operativa; (2) alinear la ventana operativa con la ventana de diseño original de la planta; (3) extender la ventana operativa hasta la capacidad real de la planta, sobre la base de un análisis detallado de todos los posibles mecanismos de degradación y corrosión.

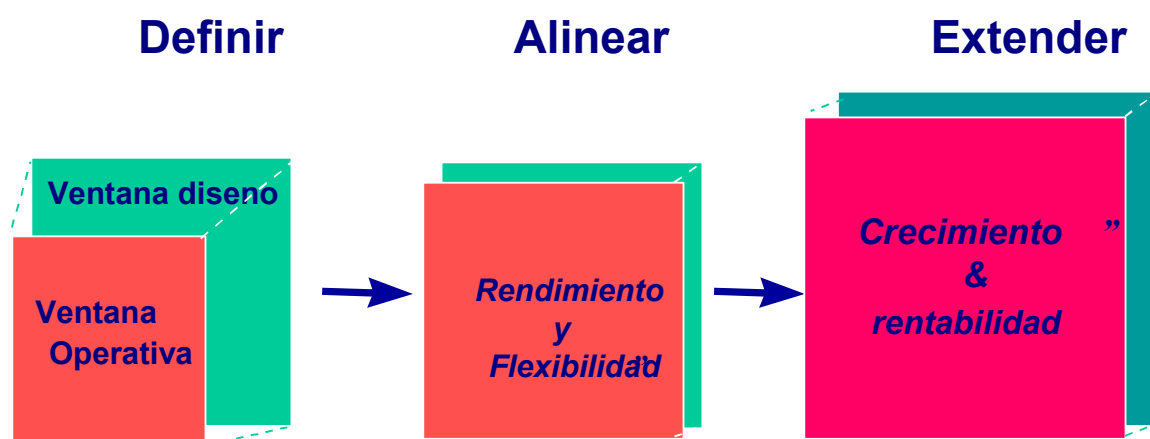


Figura 3. Esquema del proceso para definir y ampliar la ventana operativa de una unidad o de una planta.

La ventana operativa solo puede establecerse usando parámetros que son mensurables y controlables. Parámetros que no cumplen con estas dos condiciones pueden ser utilizados para medir el rendimiento del proceso, pero no para delimitar la operación.

Los parámetros usados para definir una ventana operativa poseen ciertas características comunes:

- 1) estos parámetros pueden ser simples e independientes variables del proceso, como por ejemplo la temperatura, presión, pH, concentración, etc., o pueden ser variables calculadas, como por ejemplo el punto de rocío, velocidades de corrosión, relación entre carga e inyección, etc.
- 2) pueden estar basados en medidas de la condición física de los equipos, tales como vibración, o temperatura de piel.

- 3) además de parámetros que afectan directamente la integridad mecánica, la ventana operativa puede contener parámetros que afectan otros límites, tales como la tendencia al ensuciamiento o a la formación de emulsiones.

Definición de ventanas operativas

La definición de las ventanas operativas requiere un conocimiento detallado del proceso, de los posibles mecanismos de corrosión y degradación de materiales, de la manera en que la unidad es operada, y de las fuentes de datos donde la información necesaria es accesible, tales como diagramas de flujo, base de datos de inspección, ensayos de laboratorio, etc. Esto significa que las ventanas operativas deben ser establecidas en un equipo de trabajo que combine las distintas disciplinas y experiencia, y no por un individuo solo.

Medidas de la excelencia en Integridad Mecánica

Varios parámetros pueden ser, y han sido utilizados en varias plantas, para medir la efectividad del proceso de integridad mecánica y el progreso en el camino hacia la excelencia. Estos parámetros son elegidos por los grupos de trabajo en integridad mecánica, compuestos por inspectores, ingenieros de corrosión, mantenimiento, operación, ingenieros de proceso, y gerentes de planta. La participación gerencial no se limita al simple “apoyo” a las iniciativas de integridad mecánica sino en la participación activa en estos grupos, en carácter de líder y referente.

Algunos de los parámetros que pueden utilizarse como medidas de la excelencia en la integridad mecánica han sido descriptos en la Figura 3. En particular, y a corto plazo pueden ser:

- Porcentaje de terminación de los diagramas de corrosión de corrosión (DCC's) y de inspección basada en riesgo para cada una de las unidades de proceso.
- Porcentaje del personal que esta involucrado en tareas de integridad mecánica que han sido entrenados en los DCC's.
- Numero de áreas de proceso en los cuales existen grupos de integridad mecánica activos y efectivos, con participación del nivel gerencial de la unidad o planta.

A mas largo plazo:

- Número de escapes (perdidas), y su costo.
- Número de situaciones de riesgo que han sido identificadas y remediadas.
- Número de incidentes debidos a fallas de integridad mecánica.

Riesgo y confiabilidad

Durante esta presentación se ha hecho referencia a términos tales como riesgo y la confiabilidad. La gestión de riesgo y confiabilidad, conocida por sus iniciales en ingles RRM (Risk and Reliability Management) es uno de los componentes esenciales en una estrategia tendiente a mejorar la integridad mecánica de una planta. A su vez, RRM incluye programas de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM = reliability centered maintenance), evaluación de funciones de protección con instrumentación (IPF = instrumented protected functions), e inspección basada en riesgo (RBI = risk based inspection). Creemos que la excelencia en la gestión de integridad se basa firmemente en estos programas.

Estos programas están íntimamente relacionados a través del uso de una metodología común para evaluar riesgos, y a través del producto que cada uno de estos programas. La inspección basada en riesgo provee una evaluación detallada de los modos de falla, de los programas de prevención de estas fallas, y resulta en un programa de inspección que optimiza los costos y disminuye el riesgo. El mantenimiento basado en confiabilidad provee un plan de mantenimiento optimo. La evaluación de funciones de protección provee las bases para el diseño y un plan de ensayos.

En esta presentación se pone énfasis en la inspección basada en riesgo como uno de los pilares para alcanzar la excelencia en integridad mecánica.

Los motivos para implementar un programa de inspección basada en riesgo son muchos y dependen en gran medida de las condiciones específicas de cada planta, por ejemplo:

Para cambiar la cultura, de la inspección basada en tiempo (cada x años), o gobernada por reglamentos y regulaciones gubernamentales, o impuestos por estándares de inspección.

- Para aplicar una estrategia de hacer lo que es necesario para garantizar la integridad mecánica de los equipos
- Para aumentar la confiabilidad y eficacia de la operación de la planta. La Figura 4 muestra el aumento en la eficacia en las refinerías de Shell luego de la implementación del programa de inspección basada en riesgo.
- Para mejorar la rentabilidad y disminuir los costos: menos inspección, paradas de planta reducidas, tiempo de corrida extendido, ausencia de paradas inesperadas o no planeadas. En promedio, la relación entre beneficios y costos para un programa de inspección basada en riesgo es de 5 a 1.
- Para reducir los riesgos y aumentar la seguridad de la operación.

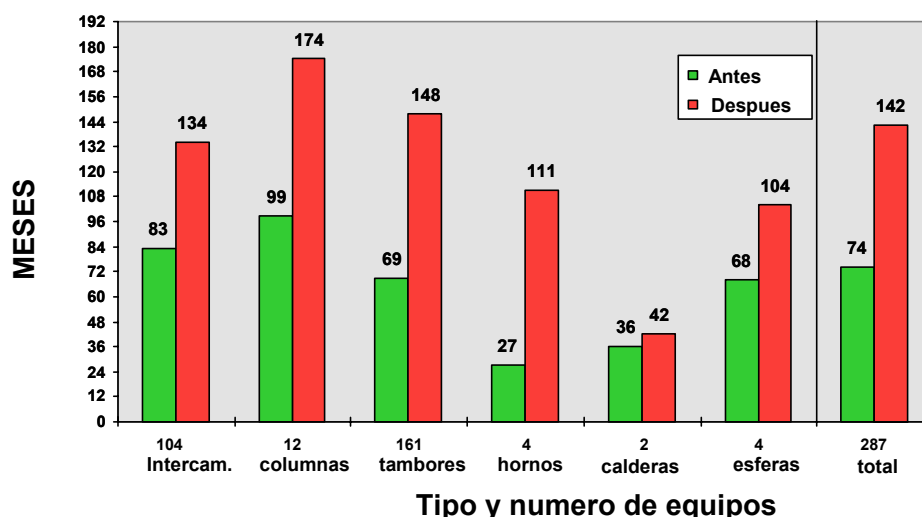


Figura 4. Promedio de tiempo entre inspecciones de equipos antes y después de implementar un programa de inspección basada en riesgo.

Implementación de un programa de inspección basada en riesgo

La norma o practica API RP 580 define las condiciones mínimas que debe cumplir un programa de inspección basada en riesgo, pero esta norma no especifica los detalles de su implementación o el tipo de programa que debe ejecutarse. La norma API RP 579, que es complementaria de la anterior, define un programa específico de inspección basada en riesgo y el software para ayudar a su implementación. El uso del programa asociado con API RP 579 no es obligatorio, sino que es una de varias opciones aceptables cumplir con los requerimientos de API RP 580. Cada una de estas opciones tienen ventajas y desventajas que pueden incidir en su preferencia. Entre los requerimientos establecidos por API RP 580 figuran:

- Involucrar a las distintas partes de la organización de la planta que estén relacionadas con la inspección de equipos.
- Incorporar todos los posibles modos de falla y un análisis de las consecuencias de las mismas, incluyendo seguridad industrial y medio ambiente.
- Evaluar la efectividad de los métodos de inspección utilizados para detectar las posibles fallas en los equipos.

- Proveer un mecanismo de revisión que permita verificar la implementación de las recomendaciones del ejercicio de evaluación de riesgos y del plan de inspección.
- Re-evaluar el riesgo luego de cada cambio en el proceso.
- Considerar las condiciones operativas en relación con el diseño de la planta
- Documentar detalladamente el proceso de análisis de riesgo y el desarrollo del plan de inspección.

Además de estos requerimientos, la experiencia con la implementación de estos programas de evaluación de riesgo y de inspección en mas de 50 unidades de refinерías en numerosos países y bajo diferentes visiones del significado de la integridad mecánica han permitido desarrollar una serie de observaciones, reglas y recomendaciones practicas que facilitan el trabajo y aceleran la aceptación de la inspección basada en riesgo como practica habitual. Aquí se mencionan algunas de estas observaciones:

La información requerida para un análisis cuantitativo del riesgo no es muchas veces accesible. Esto puede causar una gran demora en la prosecución del trabajo mientras se obtiene esta información. Por otro lado, un análisis cualitativo de riesgo es subjetivo y no puede siempre justificarse o documentarse. La mejor opción es entonces la de realizar un análisis semi-cuantitativo basado en experiencia y, cuando sea posible, en modelos que permitan predecir la degradación de los materiales.

Si la información requerida para completar el análisis no es accesible, se puede basar el análisis en hipótesis conservativas y bien documentadas.

El análisis de las consecuencias de fallas debe ser simple y realista. En general, a menos que se posea una gran cantidad de datos que permita un estudio estadístico, la experiencia grupal y la memoria colectiva del grupo de trabajo son suficiente para obtener una aproximación aceptable las consecuencias. Hay varios módulos que pueden ser utilizados para hacer una estimación de la posibilidad de falla. Sin embargo, estos módulos son generales y no reemplazan el conocimiento y la experiencia del personal de inspección, corrosión y operaciones relacionado con la planta.

Los resultados del programa de inspección basado en riesgo deben incorporarse al sistema de análisis de datos de la planta, y no ser mantenidos en forma independiente. La inspección basada en riesgo no es una actividad unitaria, sino que es un proceso vivo que debe mantenerse y repetirse con regularidad. Las condiciones de operación pueden cambiar frecuentemente, y el programa de RBI debe ser capaz de tomar en consideración estas variaciones.

Gran parte de los beneficios de la inspección basada en riesgo se obtienen del proceso de análisis, y no de los resultados finales. Es relativamente sencillo encontrar un consultor que puede escribir, en la comodidad de su oficina, un programa completo incluyendo el plan de inspección, la selección de ventanas operativas, el programa de análisis químicos y físicos, etc. Esto, sin embargo, muchas veces resulta en un reporte que no tiene mucho valor pues las personas que tienen a su cargo la ejecución de estos planes no los consideran propios y por lo tanto no aceptan ni las conclusiones ni las tareas que les son asignadas. El trabajo en equipo es fundamental para garantizar el éxito a largo plazo de los programas de RBI.

El rol de los inspectores cambia con la implementación de RBI: la inspección se convierte no ya en un método para encontrar problemas, sino en un método para confirmar la condición de los equipos y las predicciones y suposiciones hechas durante el análisis. También el énfasis se mueve hacia técnicas de inspección no-intrusivas, que no requieren paradas de planta o apertura de los equipos.

Conclusiones

Esta conferencia ha tratado de demostrar la manera de alcanzar y mantener la excelencia en integridad mecánica de las plantas de procesamiento de hidrocarburos. Dentro de los muchos elementos necesarios para alcanzar la integridad mecánica, se han escogido dos como ejemplo: el uso de ventanas operativas dentro de los diagramas de control de corrosión, y la inspección basada en riesgo. Estos dos son, a su vez, ejemplos de la importancia del trabajo en equipo con la participación de todas las disciplinas que están

involucradas en integridad. Además es necesaria una participación activa del nivel gerencial para demostrar a los demás niveles de la planta la visibilidad e importancia que tiene la integridad mecánica.

Alcanzar la excelencia en integridad mecánica resulta en un mayor grado de rendimiento y de rentabilidad de las plantas. Esto significa que la integridad mecánica puede ser gratuita, pues los beneficios que resultan, tanto en términos estrictamente económicos cuanto en mejoras a la seguridad de las personas y del medio ambiente, exceden los costos.

Agradecimiento

Los autores agradecen a Shell Global Solutions International B.V. por la autorización y apoyo para presentar este trabajo. También quieren resaltar la participación de John Reynolds, que desarrollo muchas de las ideas presentadas en este trabajo.