

Gestión de inspección de recipientes a presión

El 21 y 22 de noviembre del año pasado se realizaron las Primeras Jornadas de Seguridad y Salud Ocupacional del Comahue organizadas por esta seccional del IAPG y tuvieron lugar en el aula magna de la Universidad del Comahue, en la ciudad de Neuquén.

Allí se expusieron un número considerable de trabajos de los cuales hoy presentamos uno: "Gestión de inspección de recipientes a presión" que estuvo a cargo de Eduardo Tellería y Alberto Paez de Petrolera Pérez Companc. El trabajo fue seleccionado para su publicación por la Sub Comisión de Seguridad, Salud y Ambiente de dicha seccional.

Como los equipos sometidos a presión representan un alto riesgo, deben ser inspeccionados periódicamente para verificar sus condiciones de integridad.

Entre los métodos más comúnmente empleados se encuentran la inspección visual y los ensayos no destructivos, que consisten, para este caso, en medición de espesores y prueba hidráulica.

Debido a que la aplicación de pruebas hidráulicas generaba grandes dificultades operativas y un elevado costo, a finales de la década del '90 se comenzaron a buscar métodos alternativos y se encontró la técnica de emisión acústica como la mejor opción.

Las ventajas principales son que se puede llevar a cabo con el recipiente en servicio y brinda información más amplia sobre su integridad global, de esta manera se reducen los costos de inspección y las pérdidas por paro de equipos.

Los resultados obtenidos con esta técnica demostraron su confiabilidad, por contrastación con los métodos tradicionales.

Posteriormente, dada la gran cantidad y diversidad de recipientes (torres, intercambiadores, separadores, acumuladores, zepelines, etc.), se hizo necesario optimizar las frecuencias y tipos de ensayos, en función de la condición de servicio del equipo y el riesgo que presentaba. Para ello se tomó como base las normas API 579 y 581 (Aptitud para el servicio e Inspección basada en riesgo, respectivamente).

Actualmente se ha finalizado este análisis, y cada recipiente ha quedado clasificado según su criticidad. También fue calculada su vida remanente junto con el plan de inspecciones respectivo.

A futuro, y dado los cambios en las condiciones operativas y/o la aparición de diferentes mecanismos de degradación dominantes, se considera

una revisión periódica tanto de la frecuencia como del alcance de las inspecciones.

Introducción

Tradicionalmente los recipientes a presión fueron ensayados mediante pruebas hidráulicas más el empleo de algunas de las técnicas de ensayo no destructivas (ultrasonido, radiografiado, partículas magnéticas, etc.).

Dados los inconvenientes operativos que representa la realización de las pruebas hidráulicas (desembriado, plaqueado, llenado con agua, etc.) sumados a los extensos tiempos de paro de planta que éstos implicaban, se buscaron técnicas alternativas que las suplieran. A partir del análisis de la legislación vigente, se encontró que la Ley 231 de la provincia de Buenos Aires establece como alternativa a la prueba hidráulica la realización de ensayos de emisión acústica.

Evaluadas las ventajas de esta técnica, se la adoptó y se lograron buenos resultados.

Nuestro sistema está compuesto por más de 500 recipientes sometidos a presión, como intercambiadores, separadores, torres, hornos, etc., distribuidos en:

- 1 planta de LPG.
- 1 planta de acondicionamiento de punto de rocío.
- 6 estaciones motocompresoras de gas natural.
- 16 baterías de producción (estaciones separadoras).
- 1 planta de tratamiento de crudo.

- 4 plantas de inyección de agua (dulce y salada).
- 1 planta de tratamiento de agua salada.

También consta de un volumen de información generado a partir de la ejecución de las inspecciones (medición de espesores, radiografías, ultrasonido, partículas magnéticas, emisión acústica, etc.). Debido a tal magnitud del sistema, se hizo necesaria la implementación de un sistema de gestión que priorizara los equipos de mayor riesgo y definiera el nivel y frecuencia de las inspecciones más adecuadas a cada caso.

Para el diseño de este sistema se tomó como base la norma API 581 *Risk Based Inspection* (RBI) y API 579 *Fitness for service*.

Desarrollo

Principio de la emisión acústica

Una zona con defectos es un área con concentración de tensiones en la



Planta HRU

que, una vez estimulada, se produce una redistribución de ellas con la liberación de energía en forma de ondas mecánicas transitorias. La técnica consiste en captar estas perturbaciones del medio utilizando transductores piezoeléctricos instalados en forma estática sobre la estructura. Las señales se digitalizan y se almacenan para ser analizadas a través de sus parámetros representativos. El ensayo es global y puede ser realizado en condiciones de servicio, mediante el incremento de entre un 5 y un 10% de

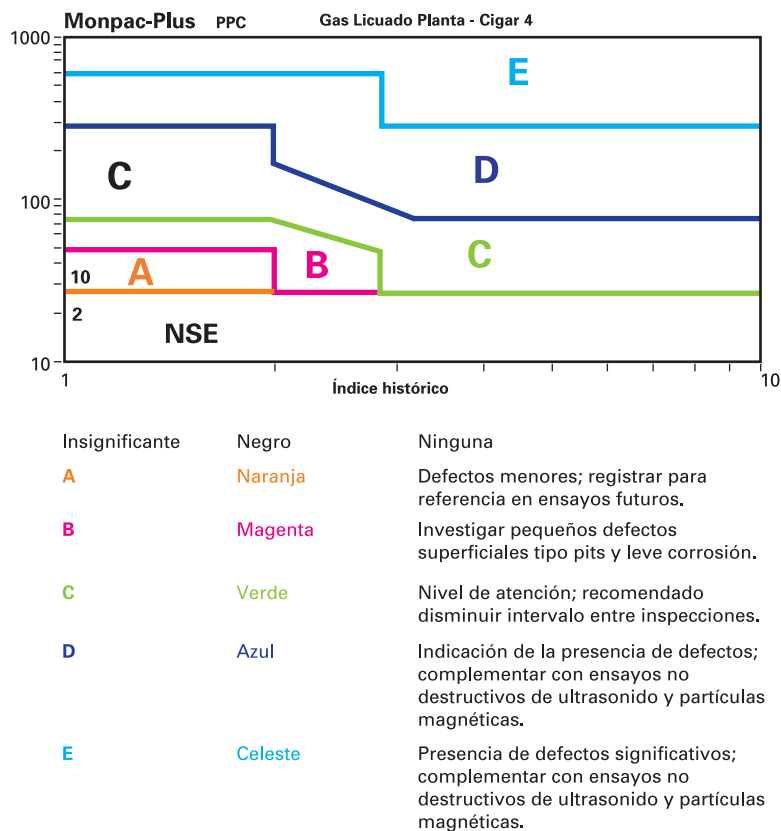
la máxima presión de operación.

Las áreas activas clasificadas como severas deberán examinarse con técnicas de ensayos no destructivos, tales como ultrasonido y partículas magnéticas para la caracterización y dimensionamiento de los defectos presentes.

Desarrollo de la tecnología

La emisión acústica es utilizada comúnmente desde hace bastante tiempo. Su nacimiento científico se remonta a los años '50, donde por primera vez se realizaron experiencias sistemáticas en ensayos de tracción. Esta especialidad tuvo un rápido crecimiento en los primeros años, casi exclusivamente como técnica de ensayos no destructivos, con claras ventajas sobre otras ya existentes, pues permite detectar y ubicar fisuras activas. El principal obstáculo era la enorme dificultad y el tiempo que insumía la

Figura 1 • Clasificación Monpacplus® de las áreas activas



interpretación de los resultados.

Posteriormente, se desarrolló un método de análisis que considera dos factores: el índice histórico —representa la evolución de la actividad durante el ensayo—, y la severidad, —indicativo de las señales más energéticas detectadas por los transductores—. La combinación de estos dos parámetros de análisis, ubicados en un diagrama de intensidad, clasifica las fuentes de emisión acústica detectadas durante el ensayo en cinco categorías distintas, relacionadas con el grado de compromiso de la integridad inducida por la presencia de eventuales defectos (figura 1).

Ventajas:

- Puede realizarse sin retirar el equipo de servicio.
- Se evitan paros de planta (y pérdidas de producción).
- Se evita el llenado con agua.
- Evaluación global en un solo ensayo.
- Evaluación del compromiso estructural ante eventuales fisuras (comportamiento dinámico).

- La metodología está normalizada en ASME (Sección V-Artículos 11° y 12°).

Desventajas:

- Sensible a los ruidos de operación.
- Requiere personal especializado y confiable.

Resultados obtenidos:

La confiabilidad de los ensayos realizados pudo corroborarse en aquellos casos en los que se detectaron señales relevantes, donde posteriormente se emplearon técnicas convencionales de ultrasonido y partículas magnéticas para ratificar la presencia de defectos.

Sistema de Gestión de Inspecciones

Para el diseño del sistema de gestión se toma como base la metodología de Inspección Basada en Riesgo (RBI) de la norma API 581.

RBI es un método para utilizar el riesgo como base para priorizar y gestionar los esfuerzos de un programa de inspección. En general, en una

planta en operación, un relativo alto porcentaje del riesgo está asociado con un pequeño porcentaje de equipos. RBI permite orientar los mayores esfuerzos de inspección y mantenimiento para proveer un alto nivel de cobertura sobre los equipos de alto riesgo y establecer recursos apropiados para los equipos de bajo riesgo. Un beneficio potencial de un programa de RBI es incrementar los tiempos de operación, mientras se mejora y se minimiza el nivel de riesgo de los equipos.

El objetivo de un programa de RBI puede ser sintetizado en:

1. Clasificar las unidades de operación dentro de una planta para identificar áreas de alto riesgo.
2. Estimar un valor de riesgo asociado con la operación de cada equipo basado en una metodología consistente.
3. Priorizar el equipamiento basado en la medición de riesgo.
4. Diseñar programas de inspección apropiados.
5. Manejar sistemáticamente el riesgo de falla de equipos.

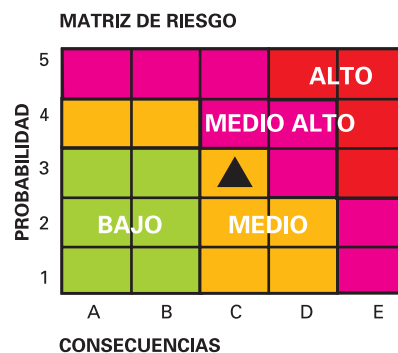
El método define el riesgo del equipamiento como la combinación de dos términos:

- La consecuencia de una falla.
- La probabilidad de la falla.

Incluye un análisis cualitativo que permite una rápida priorización para posteriormente efectuar un análisis más detallado en equipos de mayor riesgo.

El resultado del análisis cualitativo posiciona la unidad en una matriz de riesgo (figura 2).

Figura 2



El análisis de probabilidad está basado en datos de frecuencias de falla genérica por tipo de equipamiento. Éste es modificado por dos factores que reflejan las principales diferencias con respecto a lo genérico:

- Un factor refleja las condiciones de operación específicas de cada equipo.
- El otro refleja las prácticas de gestión de instalaciones que afecta la integridad mecánica del equipamiento.

El análisis de probabilidad incluye una serie de módulos técnicos que evalúan el efecto de los mecanismos de falla específicos (adelgazamiento, corrosión, la baja tensión, tubos de hornos, fatiga mecánica, fractura frágil, daño externo, etc.). Los módulos técnicos cumplen cuatro funciones:

- Clasifican la operación para identificar los mecanismos de daños activos.
- Establecen la velocidad de daño específico.
- Cuantifican la efectividad del programa de inspección.
- Calculan el factor de modificación que se aplica a la frecuencia de falla genérica.

Las consecuencias de una liberación de material peligroso es calculada por:

- Descripción cualitativa del orden de magnitud de una posible pérdida.
- Cantidad de fluido que puede liberarse durante una falla.
- Área en la cual el resultado de una falla del equipo puede ser evidente.

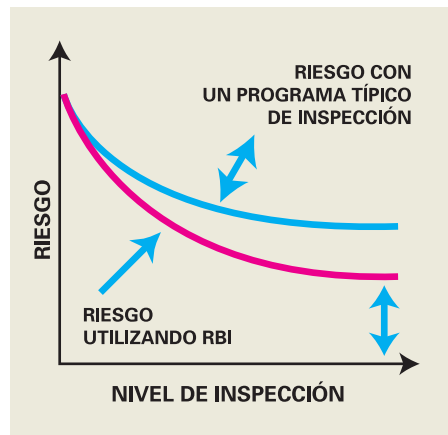
Para tomar decisiones más acertadas sobre cuándo, dónde y cómo inspeccionar una planta, el análisis RBI considera factores tales como:

- Los empleados en el lugar de operación.
- Poblaciones cercanas.
- Interrupción del negocio.
- Daños al medio ambiente.

En la figura 3 se observa la reducción de riesgo que puede esperarse cuando el nivel y frecuencia de inspec-

Componente	Probabilidad	Consecuencia
Bocina	x	
Luces	x	
Luces de giro	x	
Frenos	x	x
Limpiaparabrisas	x	
Neumáticos	x	x
Cinturón de seguridad		x

Figura 3



ción se incrementan. Se observa que inicialmente, el riesgo baja abruptamente y llega a un punto donde el aumento de inspecciones tiene una incidencia muy baja, ya que el riesgo no puede reducirse significativamente.

Éste no puede disminuir a cero debido a estos elementos :

- Errores humanos.
- Desastres naturales.
- Eventos externos (colisiones, etc.).
- Efectos secundarios por unidades vecinas.
- Sabotaje.
- Limitaciones en los métodos de inspección.
- Errores de diseño.
- Desconocimiento de los mecanismos de deterioro.

No todos los programas de inspección son igualmente efectivos en la detección del deterioro en servicio y reducción del riesgo. La aplicación del RBI permite determinar la relación entre métodos y frecuencia de inspección que optimice la relación costo-beneficio.

El incremento del nivel y frecuencia de inspección reduce el término

de probabilidad de la ecuación de riesgo, por el mantenimiento correctivo o preventivo realizado en las áreas donde se detectaron problemas, pero la inspección no altera el término de consecuencia (que es el otro componente de la ecuación de riesgo).

Las consecuencias pueden reducirse a través de cambios de diseño u otras acciones correctivas. El RBI permite identificar áreas donde las consecuencias de una falla pueden reducirse realizando cambios en el sistema o mediante procedimientos de mitigación.

Relación entre inspección y riesgo

Para entender la relación entre inspección y riesgo realicemos una analogía con un ejemplo de la vida diaria. Uno de los mayores riesgos en la sociedad moderna son los accidentes de tránsito. Las personas aceptan el riesgo individualmente, pero en forma colectiva se trata de controlar por diferentes medios: examen de conducir, limitación de la edad para conducir, exámenes médicos, limitación de la velocidad, prohibición de la conducción bajo la influencia de drogas o alcohol, verificación técnica de los vehículos, etc. Intuitivamente estas acciones nos parecen importantes, pero ¿qué término del riesgo afectan: la probabilidad, la consecuencia, o ambos? En la tabla se indican algunas conclusiones examinando los componentes de la inspección de vehículos.

En esta analogía todas las inspecciones, excepto una, chequean la función, la excepción es una inspección de condición. Inspecciones funcionales, tales como la bocina son: anda/no anda. La excepción es la inspección de los neumáticos. Si los neumáticos tienen la presión de aire correcta funcionarían apropiadamente. No obstante, el criterio en este caso no es la función sino la condición. Si el desgaste del dibujo excede cierto límite, los neumáticos no pasarán la inspección. El punto importante es que el ensayo adoptado sea apropiado

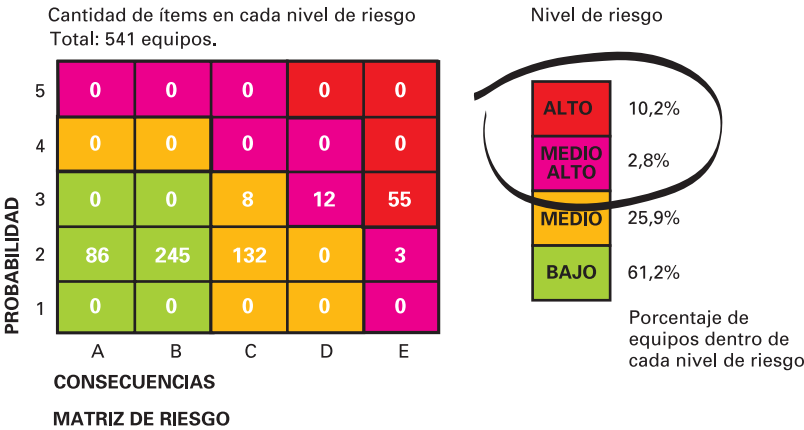
para el resultado deseado. Inspeccionar solamente la presión de los neumáticos sería tan poco efectivo como inspeccionar visualmente la bocina. Esto demuestra cómo la inspección puede afectar el riesgo.

Sistema

Las etapas del sistema son los mostrados en la figura 4. Ésta incluye actividades de inspección, recolección de datos, actualización y mejora continua. El análisis de riesgo refleja el estado de riesgo al momento de realizarse el relevamiento de datos, ya que los sistemas y procesos cambian con el tiempo. Aunque en la etapa inicial puede carecerse de los datos necesarios, el programa puede ser establecido basado en la información disponible, como tablas, equipos similares, etc., asumiendo valores conservativos para los datos desconocidos.

A medida que se incrementa el conocimiento del sistema, sobre la base de las inspecciones y la recolección de datos, la incertidumbre irá decre-

Sistema aplicado en el Área Entre Lomas



ciendo, con lo cual irá cambiando el *ranking* de riesgo. Por ejemplo, si se sospecha que un recipiente está sometido a corrosión bajo tensión, tendrá un calificación de riesgo elevada. Si

se eliminan las condiciones adversas de operación el riesgo de este equipo será significativamente menor.

Cuando las inspecciones detectan defectos, éstos son evaluados mediante análisis de ingeniería apropiados o métodos de aptitud para el servicio (API 579).

Procedimientos

Figura 4



INFORMES TÉCNICOS PARA LOS PLANES DE INSPECCIÓN

- IT CTI el -001-02 API 579 daño por corrosión generalizada
- IT CTI el -002-02 API 579 daño por defectos tipo fisuras
- IT CTI el -003-02 API 579 determinación de la grilla para perfil crítico
- IT CTI el -004-02 plan genérico de inspección Rev 00
- IT CTI el -005-02 API 581 semicuantiativa por equipo

PROCEDIMIENTOS GENÉRICOS DE INSPECCIÓN

Inspección de la placa de identificación	PI 101 REV 00
Inspección visual externa	PI 102 REV 00
Inspección de la aislación	PI 103 REV 00
Inspección de soportes y cables de puesta a tierra	PI 104 REV 00
Espesores por UT para cañerías y recipientes medianos o pequeños	PI 105 REV 00
Visual interna	PI 106 REV 00
Partículas magnéticas/Tintas penetrantes en soldaduras	PI 107 REV 00
Emisión acústica	PI 108 REV 00
Réplicas metalográficas	PI 109 REV 00
Inspección de mazos y cabezales en intercambiadores de calor	PI 110 REV 00
Espesores por UT para acum. de LPG, esferas, TK, aéros, hornos y torres	PI 111 REV 00
Probetas de corrosión	PI 112 REV 00
Dureza	PI 113 REV 00
Documentación técnica	PI 114 REV 00

Conclusiones

El avance científico y tecnológico pone a disposición de la industria, modernas técnicas de diagnóstico y gestión. Su aplicación es un desafío para los profesionales de cada área, que redundando tanto en la mejora de la seguridad en el trabajo y el cuidado del medio ambiente, como en la reducción de costos de inspección. ■■■

Eduardo Tellería es ingeniero mecánico egresado de la Universidad Nacional de La Plata. Ha realizado cursos de perfeccionamiento en Gestión de Mantenimiento, Evaluación de Aptitud para el Servicio de Recipientes a Presión, Mantenimiento Basado en la Confiabilidad (RCM), en Medio Ambiente y en Seguridad Industrial. Desde 1985 ha desarrollado sus actividades en servicios de cementación, en áreas de ingeniería de ventilación industrial y en áreas de

perforación y workover como contratista de YPF. Desde 1997 a la actualidad se desempeña en el área de Ingeniería de Mantenimiento en Petrolera Pérez Companc S.A.

Alberto Paez es ingeniero electricista, egresado de la Universidad Tecnológica de La Plata. Desarrolló cursos de perfeccionamiento en Auditorías de Mantenimiento, Gestión de Mantenimiento, Evaluación de

Proyectos de Inversión, de Medio Ambiente y de Seguridad Industrial. De 1984 a 1988 desarrolló sus actividades en Destilería La Plata, en el área de calibración de protecciones e instrumental. Posteriormente, hasta 1991, en Electromecánica Argentina se desempeñó en servicio técnico y ventas, y desde 1991 hasta la actualidad, como jefe del sector Mantenimiento de Petrolera Pérez Companc S.A.

Bibliografía

- American Petroleum Institute, API, *Fitness - For - Service- RP 579* Recommended Practice, First Edition, January 2000.
- American Petroleum Institute, API 581, *Risk - Based Inspection*, Recommended Practice, First Edition, May 2000.
- Physical Acoustics Argentina, *Catálogos de Emisión Acústica*.
- Solari M., *Risk Based Metallurgical Design*, Chapter 3, *Handbook of Metallurgical Design*", ed. G.Totten, K. Funatani and L. Xie, to be published by Marcel Dekker USA, 2002.