

Corrosión en tuberías de transporte de gas y petróleo

Octubre de 2011

Ing. Fernando Jorge Tomati
Ing. Adrián Sergio Gabriele

CORROSIÓN EN TUBERÍAS DE TRANSPORTE DE GAS Y PETROLEO

Sinopsis

Los métodos de medición usualmente utilizados para medir corrosión en tuberías tienen diversas fuentes de error que ponen en duda la confiabilidad de los datos. Sin embargo, existe una práctica generalizada de considerar crecimientos lineales de la media de corrosión en cada punto, razonamiento que contiene dos supuestos de difícil comprobación:

- La distribución de datos de corrosión en una dada área de la tubería tiene un comportamiento normal o gaussiano.
- El crecimiento de los defectos en el tiempo es de carácter lineal.

El hecho de calcular fechas de intervención o inspección basadas en esos supuestos aumenta la incertidumbre del resultado.

Por todo lo antedicho se plantea un método alternativo que, asumiendo el error de medición como algo propio del proceso (ruido), realiza un tratamiento de los resultados basado en:

- Estadística no paramétrica para extraer conclusiones válidas a partir de los datos disponibles, los cuales adoptan usualmente comportamientos típicos de distribuciones Log-normal o Triangular.
- Adopción de curvas de comportamiento del tipo exponencial para calcular la tasa de crecimiento de defectos.

El método minimiza la incertidumbre respecto de las conclusiones finales y permite, por ende, informar al operador sobre fechas probables de falla con mayor precisión y razonable margen de seguridad.

Introducción

Un tema crítico en la tecnología de transporte de fluidos en la industria es el avance de la corrosión tanto interna como externa. En tal sentido, los operadores necesitan información precisa acerca del grado de avance, el tipo y las características macro de cada tramo de tubería a fin de tomar decisiones (mejorar el plan de prevención o directamente intervenir para reparar).

Existe una gran cantidad de fuentes de variación en los datos que provienen del ensayo (el equipo de medición en sí, el algoritmo de cálculo interno, la ubicación de los sensores, el proveedor). Por ese motivo es necesario utilizar herramientas estadísticas que aseguren un tratamiento adecuado de los datos.

Desarrollo

El primer punto a considerar es la naturaleza de los datos, que vienen dados generalmente en una planilla de cálculo donde cada registro corresponde a un punto de medición con la información asociada, como ser:

- Distancia absoluta respecto del origen de la medición
- Profundidad máxima de la falla
- Longitud de la falla
- Orientación dentro del tubo (en escala horaria)
- Distancias relativas de referencia respecto de soldaduras aguas arriba y abajo
- Comentarios y otras indicaciones

Con el objeto de analizar la información se considera la profundidad de la falla expresada en % de espesor de cañería afectada. Un análisis de normalidad de los datos indica claramente que el comportamiento de los mismos no responde a una distribución normal, lo cual obliga a un tratamiento no paramétrico de los mismos (ver fig. 1).

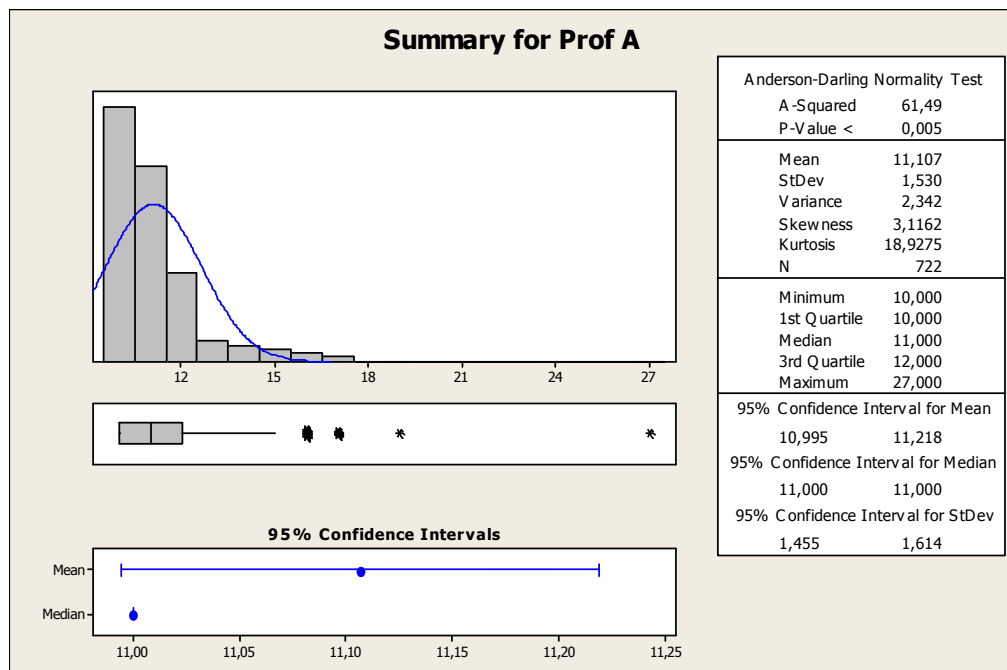


Fig. 1 – Cálculo de normalidad

El segundo paso consiste en realizar un análisis exploratorio de la totalidad de la información con la finalidad de conocer el perfil de fallas a lo largo del tramo estudiado. La herramienta más apropiada en este caso resulta el “Run Chart”. En la figura 2 se aprecia el perfil de un tubo de 5 años de antigüedad en el que a su vez se destacan puntos relavantes de mayor corrosión (cuadro azul).

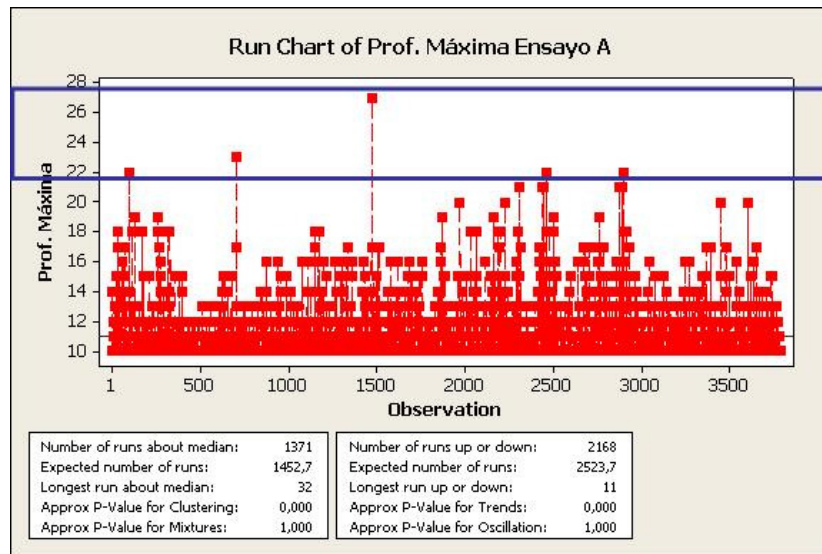


Fig. 2 – Run Chart Ensayo A

En el caso en que se disponga de información correspondiente a dos ensayos es posible apreciar en forma meramente visual el avance de la corrosión. En la figura 3 se presenta un análisis de la misma tubería pero 5 años después.

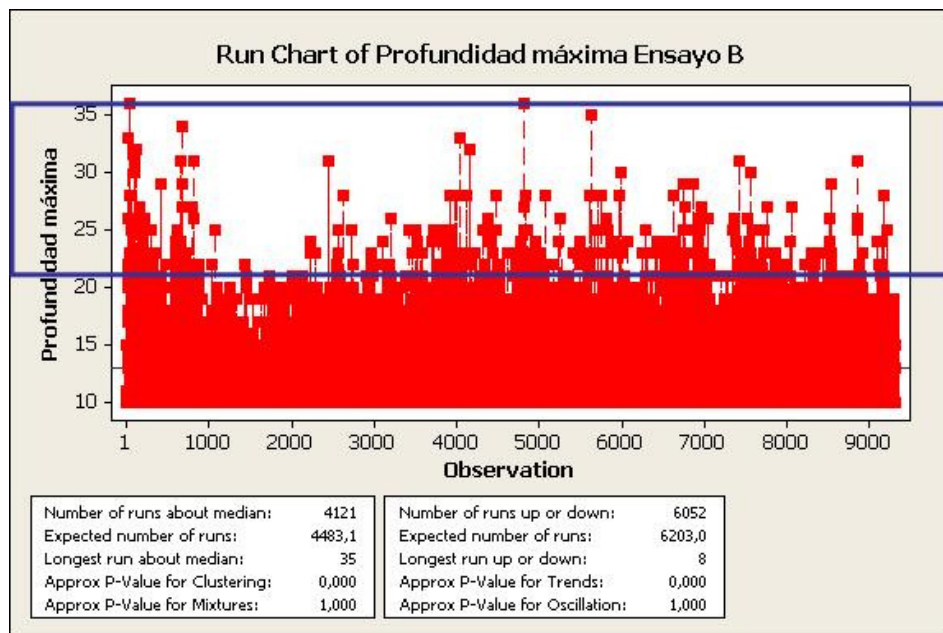


Fig. 3 – Run Chart Ensayo B (+ 5 años)

Un despliegue de la tubería completa muestra el mismo efecto comparativo en un gráfico de tres dimensiones en el que los ejes XY corresponden a la longitud respecto del origen y la ubicación horaria del defecto, mientras que el eje Z representa la profundidad de la falla (ver fig. 4).

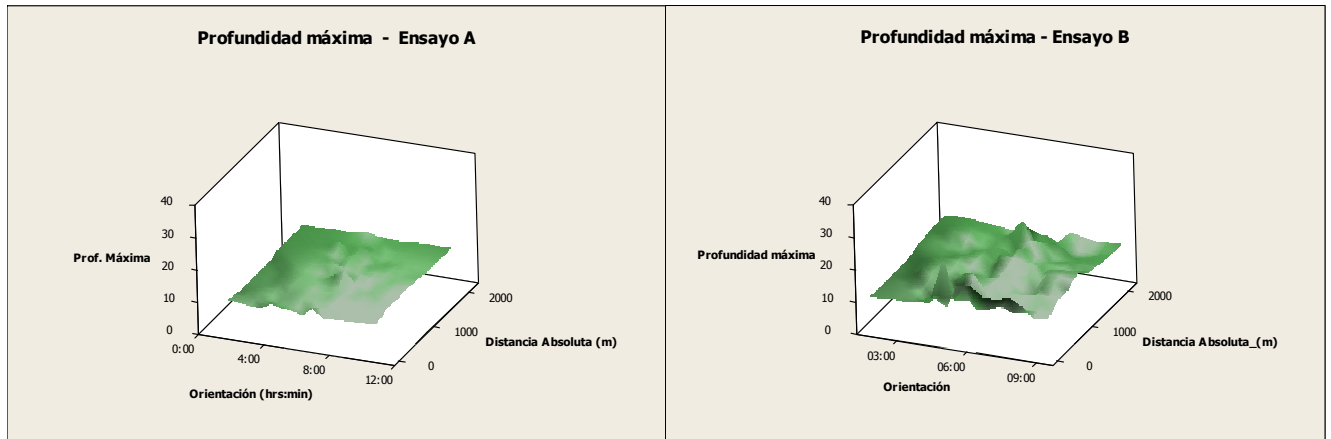


Fig. 4 – Despliegue de la superficie (5 años de diferencia)

Realizado el análisis exploratorio inicial se procede al estudio tramo por tramo. Es bueno recordar que el objeto del mismo es determinar fechas de falla crítica a fin de decidir un plan de remediación.

El problema que se presenta en este punto es que los puntos de falla detectados no son necesariamente coincidentes. Como se observa en la figura 5 el sensor no pasa necesariamente por el mismo lugar en cada ensayo. Esto genera las siguientes fuentes de error:

- Un defecto encontrado en el Ensayo A no es registrado en el Ensayo B: matemáticamente significa un defecto que se reparó naturalmente, lo cual no es cierto.
- El sensor registró un valle (profundidad máxima) en un ensayo y una ladera (profundidad media) en el otro, lo cual genera una estimación errónea del avance de la corrosión.

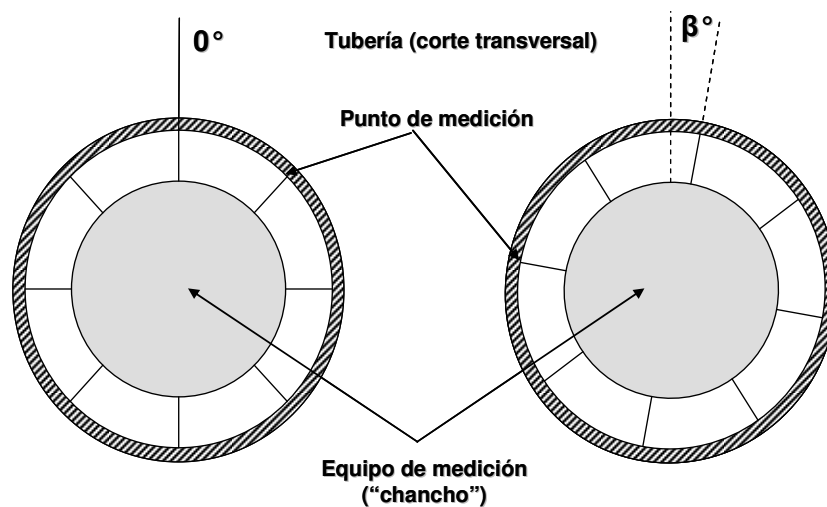


Fig. 5 – Diferencias en las mediciones

En la práctica resulta casi imposible aparear los datos ya que estos raramente coinciden en sus coordenadas en forma exacta. Hacerlo en forma manual apelando al criterio técnico parece una buena opción, pero la enorme cantidad de datos a analizar (más de 10.000 registros en un ensayo típico) hace que la tarea sea inviable.

La solución propuesta consiste en dividir la tubería en rodajas (por ejemplo tramos de 1 metro de longitud) y estudiar la densidad de fallas en el mismo utilizando la mediana como el estadístico de posición más adecuado.

El problema de la ubicación horaria del defecto al analizar las rodajas se soluciona analizando los gráficos de la figura 4. Obsérvese que la mayor incidencia en la corrosión se presenta a las 6:00 horas, es decir, en la parte inferior de la tubería. Esto es la resultante de la acumulación de agua en el “piso” de la misma.

El estudio de rodajas de tubería permite un análisis más preciso y con mayor probabilidad estadística de encontrar áreas de alta actividad química. También permite determinar, a través del análisis de datos dentro de las “rodajas críticas”, si el crecimiento de las fallas es estadísticamente significativo o no (ver fig 6).

Mann-Whitney Test and CI: Prof A; Prof B

	N	Median
Prof A	1410	11,000
Prof B	1997	12,500

Point estimate for ETA1-ETA2 is -2,000
 95,0 Percent CI for ETA1-ETA2 is (-2,000;-1,500)
 W = 1529136,0
 Test of ETA1 = ETA2 vs ETA1 not = ETA2 is significant at 0,0000
 The test is significant at 0,0000 (adjusted for ties)

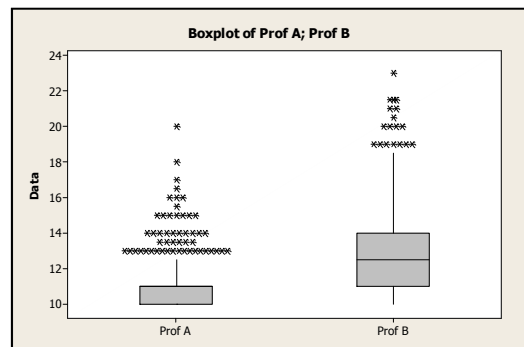


Fig. 6 – Test de significancia

Finalmente, para tramos de tubería con defectos importantes, o bien con un crecimiento significativo, es necesario determinar la fecha probable de falla. Para ello es apropiado utilizar una curva del tipo exponencial que pase por dos puntos (ensayos A y B) o, mejor aún, por tres puntos si se adiciona el instante inicial como falla de profundidad cero (supuesto razonablemente cierto). En la figura 7 se aprecia una determinación del tiempo de falla crítica calculado con este método. Obsérvese que el criterio con este tipo de curvas resulta más conservador que si se asumiera un comportamiento lineal.

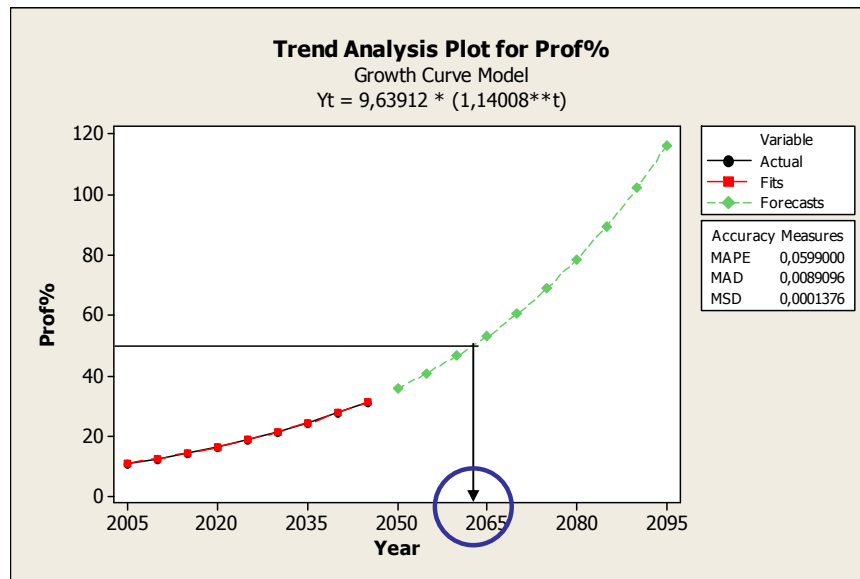


Fig. 7 – Determinación de la fecha probable de falla

Conclusiones

Es posible realizar determinaciones precisas de fechas probables de falla y tasas de corrosión de una tubería a lo largo del tiempo a través de un tratamiento adecuado de los datos tomando en consideración las siguientes premisas:

- Los datos deben ser analizados con estadística no paramétrica
- El análisis debe ser realizado en dos etapas: una fase exploratoria y otra de detalle “cortando” la tubería en segmentos o rodajas.
- La probabilidad de falla debe realizarse con una curva exponencial.

Bibliografía

TANDON T., CAZENAVE P. GAO M.; “In Line Inspection Performance Verification – Benchmark Study”; paper presented in the Río Pipeline Conference 2011.
 GAO M., KRISHNAMURTHY R.; Statistical methods for INE inspection performance evaluation”, paper presented in the Río Pipeline Conference 2011.
 BUBENIK T., NESTLEROTH J.B., LEIS B.; “Introducing to Smart Pigging in Natural Gas Pipelines”; The Gas research Institute, December 2000.

Acerca de los autores

Ing. Adrián Sergio Gabriele

Ingeniero Químico. Director Comercial de HLTnetwork S.A. Six Sigma Black Belt y Master Black Belt (Six Sigma Academy). Certified Quality Engineer (ASQ).

Ex-Business Excellence Manager para América Latina en ICI. En tal carácter, desplegó el programa Six Sigma y Prácticas de Excelencia en la región obteniendo beneficios económicos significativos para el negocio y superando en valor absoluto a regiones como Asia y América del Norte. Además, implementó un programa regional de motivación personal hacia la mejora continua involucrando en forma espontánea al 40% de la población de la empresa. Colaboró activamente en el proceso de mejora de los procesos de Marketing y Ventas, lo mejoró significativamente la imagen de marca de los productos estrella ("cash cows") y la satisfacción de los clientes. Ex Gerente de Calidad Total en DuPont América del Sur, donde entrenó y acompañó todos los proyectos Six Sigma de Brasil y Argentina, además de contribuir a la certificación ISO-9000 de plantas en ambos países.

Ha formado a más de 120 Green Belts en Argentina, Uruguay y Brasil.

Ing. Fernando Jorge Tomati

Ingeniero Electromecánico. Six Sigma Black Belt y Master Black Belt (Six Sigma Academy - E.I.DuPont de Nemours & Co.). Director y Socio de HLTnetwork S.A.. Jurado de tesis en el Doctorado en Estadística de la Universidad Nacional del Litoral. Ex Consultor Senior en Seguridad y Salud para DuPont en el proyecto Petrobrás.

Profesional con amplia experiencia en todos los aspectos de management en manufactura y producción. Experto en el liderazgo de procesos de cambio aplicando sistemas de trabajo de alta performance (HPWS), incluyendo programas de seguridad, salud ocupacional, protección ambiental, calidad total, control de costos, planificación y programación a través del sistema Business Resource Planning (BRP). Mentor de proyectos de modernización tecnológica en plantas de Du Pont Argentina y de todos los aspectos de las Comunicaciones Internas como un continuo de las Comunicaciones Institucionales, incorporadas en el código CAER del programa Cuidado Responsable del medio ambiente. Ha sido miembro de varios comités corporativos como Strategic Development Process de Flooring y Nylon Industrial, Up-time Excellence, Marketing, Nylon Six Sigma y ha recibido varios premios de DuPont por logros extraordinarios. Fernando lideró proyectos Six Sigma y fue entrenador oficial de DuPont Argentina para sus recursos en Argentina y Brasil.

Fernando ha entrenado aproximadamente 280 Green y Black Belts en América del Sur tanto en empresas de manufactura como de servicios. También ha estado a cargo de múltiples capacitaciones en estadística aplicada a través de la utilización de diferentes softwares de aplicación estadística.