

## El Lenguaje de las Máquinas

Las máquinas, al igual que los seres humanos, pueden *hablar* a través de su historial de fallas, el cual si ha sido documentado apropiadamente, es capaz de revelarnos información muy importante para mejorar su desempeño y reducir los costos de mantenimiento. De esta manera, al igual que el comportamiento presente de un ser humano tiene relación con sus experiencias vividas, el desempeño actual de nuestras máquinas se explica viendo e interpretando su antecedente de fallas. Éste nos puede revelar aspectos importantes como los son la física, su razón de ser y las consecuencias económicas, ambientales y las relacionadas con la seguridad ocupacional que conlleva cada avería.

### ¿Conoces tus máquinas?

Entender bien las funciones de la máquina de acuerdo a sus *parámetros de rendimiento* y sus condiciones de trabajo, o sea el *contexto operativo*, es imperativo para establecer adecuadamente su plan de mantenimiento. Estos dos aspectos son fundamentales para definir las fallas funcionales y determinar los esfuerzos de mantenimiento necesarios para proteger las funciones críticas de las máquinas. Cuando miramos el historial de averías de una máquina es importante comprender que no todas son críticas y que nuestro esfuerzo y tiempo debe enfocarse en las averías que más nos afectan, de acuerdo a los análisis correspondientes de las consecuencias de las fallas.

### Separe el síntoma de la causa

Los síntomas de cualquier enfermedad de una persona reflejan la manera en que el malestar se manifiesta y, de por sí, no revelan la verdadera causa del padecimiento. Aplicar un tratamiento a las sintomatologías no asegura que la enfermedad se cure aunque observemos una mejora momentánea. Un análisis médico más profundo revelará porqué nos hemos enfermado. La aplicación de un tratamiento efectivo a aquello que provoca la enfermedad evitará la recurrencia de la molestia.

Hay hechos observables detrás de cada avería en una máquina y estos eventos, al igual que los síntomas de la enfermedad, ponen en manifiesto la forma en que se exterioriza la falla. A estos eventos les llamamos en el lenguaje del mantenimiento centrado en confiabilidad *modos de fallas*. Algunos ejemplos que podemos mencionar son: desgaste de rodamientos, contaminación del aceite, holgura de los cojinetes, sobre calentamiento del motor, etc. En este punto, la máquina manifiesta unos síntomas de a través de los modos de fallas que presenta. Existe una razón por la que ocurre una falla y a ésta se le conoce como la *causa raíz* de la avería. Como estamos viendo, la máquina nos comunica una

sintomatología y debemos investigar la causa raíz de estos modos de falla y aplicar una acción de mantenimiento adecuada para erradicar o minimizar las consecuencias de la avería.

### Investigación científica de la anatomía de una falla

Hasta ahora hemos visto que la máquina habla a través de su historial de fallas, revelando los modos de fallas que ocurrieron en determinado momento y que provocaron que fuera incapaz de rendir una o varias funciones de acuerdo a su contexto operativo y a sus parámetros de rendimiento. Una vez segregados los modos de fallas con sus respectivas causas raíces podemos hacerles un análisis estadístico para determinar su patrón de fallas predominante. Esto se conoce como *la física de las fallas* en el lenguaje de la ingeniería de confiabilidad. Conocerla nos permite entender si la falla es prematura, aleatoria o si es causada por desgaste. El método más conocido y tradicional, el **Weibull Analysis**, nos permite crear un modelo estadístico para poder determinar la física de las fallas, la vida característica del componente y, a la vez, ser capaces de predecir la probabilidad de la avería. La ventaja primordial del Análisis de Weibull es su habilidad para pronosticar los eventos de fallas con una muestra estadística extremadamente pequeña. Los dos parámetros que definen la distribución de Weibull son el parámetro de forma  $\beta$  (Beta) y la vida característica  $\eta$  (Eta). Beta se relaciona con la física de la falla y Eta representa el tiempo típico de falla en la distribución de Weibull. Esta distribución es la más utilizada por los ingenieros de confiabilidad para analizar *datos de vida*. La función de la distribución de las fallas acumuladas de Weibull  $F(t)$  provee la probabilidad de fallas al tiempo hasta el tiempo  $t$  de modo que:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (1)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (2)$$

Donde:

$F(t)$  es la probabilidad de fallas hasta el tiempo ( $t$ )

$R(t)$  es la probabilidad de que la falla no ocurra hasta el tiempo ( $t$ )

$e = 2.718281828$

$\beta$  = Parámetro de forma

$t$  = Tiempo de la falla

$\eta$  = Vida Característica

El parámetro Beta se interpreta de la siguiente manera:

$\beta < 1$ : Las fallas son *Prematuras* y se recomienda corregir en falla. Además, puede ser recomendable verificar la calidad de las reparaciones o mejoras del diseño.

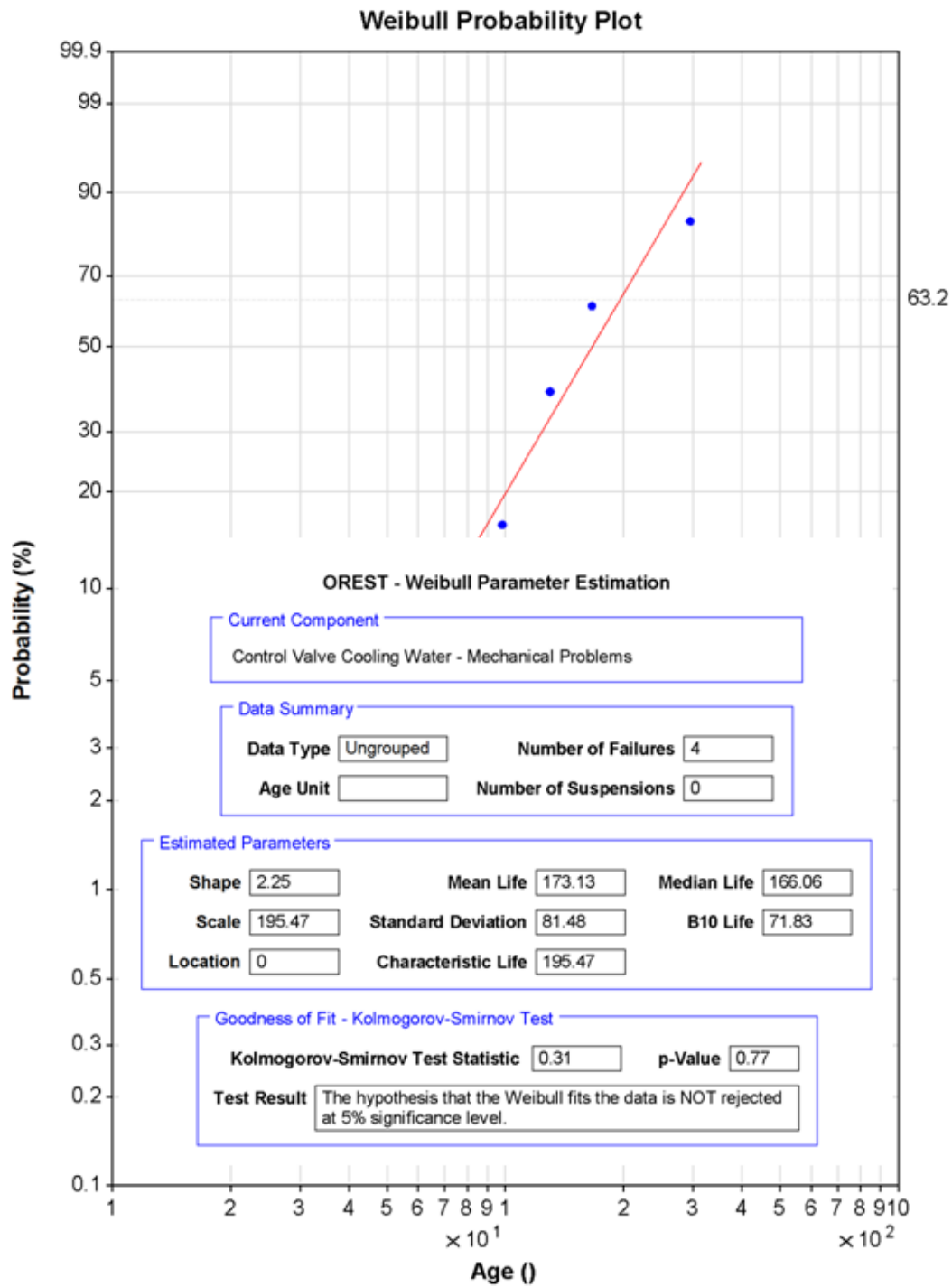
$\beta = 1$ : Vida Útil: Las fallas ocurren con probabilidad constante. No se recomiendan las restauraciones o los replazos preventivos. Si las fallas son frecuentes se deben considerar mejoras en el diseño. El mantenimiento basado en condición puede ser útil, si es costo-beneficioso.

$\beta = 1$  a  $3$ : Mezcla de fallas por desgaste y al azar. No se recomiendan las restauraciones o replazos preventivos. El mantenimiento basado en condición puede ser útil si es costo-beneficioso.

$\beta > 3$ : Fallas *por desgaste*. El mantenimiento y replazo preventivo son efectivos si su costo es inferior al de la falla y sus consecuencias.

El gráfico de Weibull tiene en la ordenada (eje de  $x$ ) los tiempos de falla y en la abscisa (eje de  $y$ ) el porcentaje acumulado de fallas. Necesitamos marcar los puntos, de acuerdo a sus coordenadas ( $x,y$ ) y luego, trazamos una línea de ajuste para éstos. Con los propios datos del tiempo de las fallas y su porcentaje de fallas acumuladas creamos un modelo estadístico que nos permite determinar la física de las fallas, la vida característica y el promedio del componente, la probabilidad de fallas en cualquier tiempo de vida, así como su confiabilidad a en cualquier tiempo de operación.

El siguiente ejemplo presenta un gráfico de Weibull de una avería mecánica específica en una válvula de control de agua helada.



Esta gráfica se creó con 4 datos de fallas ocurridas en un rango (espacio) de tiempo de operación de 100 a 400 días. En otras palabras, los tiempos de fallas fluctúan entre los 100 y 400 días de operación. Los parámetros de Weibull para este caso son:

$$\beta = 2.25 \text{ y } \eta = 195$$

La máquina nos está hablando y nos dice lo siguiente:

*“Tengo una vida característica de poco más de 6 meses y mis fallas se combinan entre aleatorias y por desgaste”.* Esta información es suficiente para concluir que los remplazos por tiempo de operación no son muy efectivos como estrategia de mantenimiento para este componente. Más bien, El monitoreo de condición, a través de algún parámetro de comportamiento que esté relacionado con la avería, es la táctica de mantenimiento más apropiada teniendo en cuenta que los costos relacionados a las tareas de mantenimiento basados en condición deben ser más bajos que los ocasionados por la posible avería.

### Conclusión y apuntes finales

Las máquinas nos hablan a través de su historial de fallas, el cual nos puede revelar información útil para determinar los síntomas de las averías, sus causas raíces, su física y la vida característica de los componentes. En este breve ensayo técnico hemos visto cómo el análisis estadístico de fallas revela específicamente la manera en que éstas ocurren y sugieren la estrategia de mantenimiento adecuada para evitarlas.

En el presente artículo hemos abordado sólo una de las aplicaciones del análisis estadístico de fallas pero vale la pena mencionar que este análisis permite predecir otros aspectos relacionados al mantenimiento de activos. Entre las aplicaciones de los análisis estadísticos de fallas están las siguientes:

1. Predicción de averías.
2. Determinar la estrategia de mantenimiento adecuada para modos de fallas.
3. Calcular el tiempo óptimo de remplazo preventivo de activos o componentes.
4. Estipular el presupuesto de mantenimiento
5. Pronosticar los costos de las averías
6. Predecir la mantenibilidad

Tomemos tiempo para hablar con nuestras máquinas. Ellas tienen mucho que contarnos de su pasado y conocerlo nos ayudará a establecer un plan de mantenimiento con el equilibrio óptimo entre la confiabilidad y los costos de las fallas. Vale la pena aprender varios lenguajes y, entre ellos, el que hablan nuestras máquinas.



**Jesús R. Sifonte, BSME, MMRE, P.E.**

Ingeniero Mecánico graduado de la Universidad de Puerto Rico. También, tiene una Maestría en Ingeniería de Confiabilidad y Mantenimiento (Maintenance and Reliability Engineering) de la Universidad de Monash, Au. Consultor Internacional que cuenta con más de veinte años de experiencia en Mantenimiento Predictivo y Confiabilidad de Maquinarias. Ha dictado cientos de cursos de RCM, Ingeniería de Confiabilidad, Análisis de Vibraciones y Optimización del Mantenimiento por los últimos quince años en la región del Caribe, Latinoamérica y España. Frecuentemente participa en importantes eventos internacionales relacionados al mantenimiento y la ingeniería de confiabilidad como ponente. Además, es Presidente de la Empresa *PdMtech, Inc.* con sedes en San Juan, Puerto Rico y Lima, Perú, consultor Senior del IMMP (Instituto Mexicano de Mantenimiento Predictivo) y Director del CMMI (*Condition Monitoring & Maintenance Institute*), empresa dedicada a la capacitación y consultoría de Mantenimiento Predictivo, Gestión de Mantenimiento e Ingeniería de Confiabilidad con sedes en varios países latinoamericanos y en España. Entre sus clientes de capacitación y consultoría figuran importantes empresas como *Johnson & Johnson, PEMEX, Southern Copper, Petro Amazonas, Iberdrola, Pfizer Pharmaceuticals, Petro Perú, Shell, CEMEX, Coca Cola, Hewlett Packard*, etc.