Miquel Romero Obón, codirector del curso de Postgrado de Experto en Aplicación Práctica de la Estadística en los Procesos de la Industria Farmacéutica y Afines (2017-2018). Facultad de Farmacia y Ciencias de la Alimentación. Universitat de Barcelona

Simulación estadística para la definición de planes óptimos de mantenimiento preventivo

Frecuentemente tendemos a fijar planes de mantenimiento preventivo, de calibración, de ejecución de órdenes de producción, gestión de proyectos y otros, con base determinista y generalmente estáticos en el tiempo. En contraposición a ello, este artículo da un enfoque estocástico y dinámico basado en la distribución estadística de Weibull como solución óptima para este tipo de planificación.

DETERMINISTA Y ESTOCÁSTICO

Un modelo determinista es aquel que emplea reglas matemáticas fijas, de modo que establece las mismas salidas o resultados de forma invariable, sin contemplar el azar y la incertidumbre. Los modelos que tienen en cuenta que las condiciones varían en el tiempo, siendo estas causantes en mayor o menor grado de los resultados, y consideran la aleatoriedad y la incertidumbre son los denominados estocásticos. Estos segundos representan con mayor exactitud los procesos reales, por lo que su aplicación en la vida real suele aportar mayor capacidad de predicción y posibilidad de optimización por encima de los planes basados en criterios deterministas.

LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

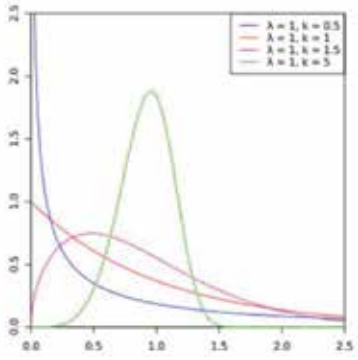
Esta distribución estadística fue descubierta inicialmente por Fréchet en 1927 y aplicada por Weibull en 1951 tras los trabajos realizados por Rosin y Rammler en 1933. Tiene la particularidad de poder "mimetizar" muchas otras distribuciones estadísticas como la exponencial, de Rayleigh, delta de Dirac y otras al variar los parámetros que la caracterizan. Posee elevado interés en disciplinas como el análisis de supervivencia, meteorología, telecomunicaciones, seguros e hidrología por citar unas pocas.

La distribución de Weibull modela la tasa de fallos cuando esta es proporcional a una potencia del tiempo. Cuando el parámetro de forma de la distribución de Weibull (k) toma valores entre 0 y 1, la tasa de fallos disminuye en el tiempo (por ejemplo, la mortalidad infantil); si este parámetro es 1, la tasa de fallos se considera constante en el tiempo; para valores de 1 en adelante, la tasa de fallos crece en el tiempo. Es precisamente este último caso el que describe el efecto del desgaste y el envejecimiento de los equipos (Figura 1).

$$F(x;k,\lambda)=1 - e^{-(x/\lambda)^k}$$

Ecuación de la función de distribución de Weibull para la forma k y la escala λ

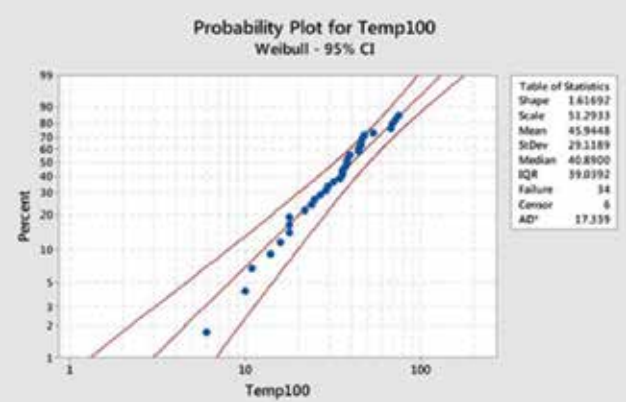
FIGURA 1.



¿CÓMO IDENTIFICAR SI LOS DATOS SIGUEN UNA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL Y CUÁLES SON LOS PARÁMETROS QUE LA CARACTERIZAN?

El mejor modo de identificar la distribución estadística que se ajusta mejor a los datos es el gráfico de probabilidad, junto al test de bondad de ajuste. El primero se interpreta mediante la observación de los puntos representados, confirmando que se reparten alineadamente sin extralimitar los márgenes de confianza predefinidos. Para el segundo método, se emplea el test de Anderson-Darling o su p-valor (probabilidad), interpretándose como distribución aceptable si dicho p-valor supera el nivel de significación α de 0,05. En la Figura 2 se muestran ambos métodos ofreciendo el gráfico de probabilidad, valor de Anderson-Darling (AD) y parámetros de forma y escala, además de otros estadísticos descriptivos.

FIGURA 2.



Una vez confirmado que los datos siguen la distribución de Weibull, es necesario caracterizarla con los parámetros de forma y escala correspondientes. Los softwares estadísticos dan esta información al ejecutar los tests anteriormente citados. A partir de aquí, la distribución es útil para determinar el momento óptimo de sustituir un recambio antes de que se rompa o calibrar un instrumento antes de que derive en resultados inaceptables, por citar ejemplos relacionados con las aplicaciones mencionadas anteriormente.

EJEMPLO PRÁCTICO

Disponemos de un equipo cuyo mantenimiento preventivo consta de revisiones trimestrales para sustituir unas piezas de las que se conoce que se produce desgaste. Las frecuencias de revisión se fijaron en la compra y calificación del equipo en base a recomendaciones del fabricante hace ya unos años. Este equipo tiene un histórico de mantenimiento correctivo que evidencia la incapacidad de detección pronta de algunos desajustes o desgastes, por lo que se estudia cómo mejorar el plan actual de mantenimiento preventivo.

NS NutraSalud
www.nutrasalud.es

Proyectos y tendencias en nutrición para conservar y mejorar la salud

INFORMACIÓN SOBRE COMPLEMENTOS ALIMENTICIOS, INGREDIENTES FUNCIONALES Y SÚPER ALIMENTOS

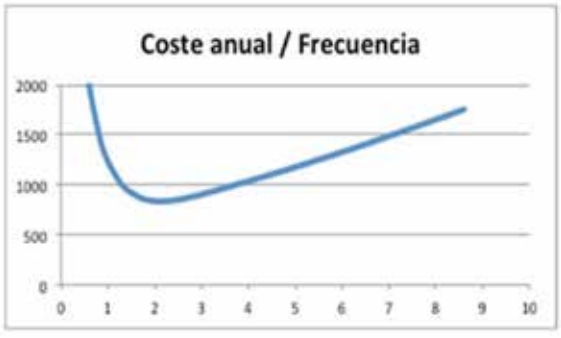
NS NutraSalud
www.nutrasalud.es

TABLA 1.

RESUMEN DE 10 SIMULACIONES PARA PERIODOS DE 12 MESES CON EL MODELO ACTUAL (TRIMESTRAL) Y LA NUEVA ESTRATEGIA PROPUESTA (BIMESTRAL). SE EMPLEA EL VALOR 100 PARA EL COSTE DE UN RECAMBIO Y 300 PARA EL DE UNA AVERÍA/MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Número simulación	Coste modelo original (cada 3m)	Coste modelo nuevo (cada 2m)	Diferencia anual	% ahorro anual
1	903	837	66	-7,3%
2	909	840	69	-7,6%
3	899	831	68	-7,6%
4	902	839	63	-7,0%
5	911	842	69	-7,6%
6	904	836	68	-7,5%
7	908	837	71	-7,8%
8	910	841	69	-7,6%
9	901	840	61	-6,8%
10	904	835	69	-7,6%
Promedio	905	838	67	-7,4%

FIGURA 3.



A partir del histórico de eventos de mantenimiento, se caracteriza una distribución de Weibull con parámetros de forma y escala de valor 2 para ambos. La distribución de frecuencias muestra que la tasa de fallos antes de 3 meses es del 89 % -calculable con MS Excel con la expresión =DIST.WEIBULL(3;2;2;1)-. Esto se interpreta como que en el 89% de las ocasiones, un elemento mecánico se rompió o averió antes de la revisión, luego el mantenimiento inicialmente ideado como preventivo pasó a ser realmente correctivo.

La misma distribución de frecuencias muestra que un preventivo mensual sería efectivo en la reducción de correctivos, sin embargo se sustituirían recambios generalmente antes de lo realmente necesario, generando un sobrecoste adicional respecto a la situación inicial. Para este caso la función =DIST.WEIBULL(1;2;2;1) ofrece como resultado el 22%. Por tanto, en 88 de cada 100 veces se reemplaza la pieza sin presentar esta la fatiga justificativa del cambio.

Para facilitar los próximos cálculos, suponemos que la experiencia disponible permite cotizar el gasto de avería como el triple del valor de un recambio. Por tanto, conocida la función de coste y la distribución de Weibull, podemos evaluar cada plan de mantenimiento preventivo y escoger el óptimo.

La graficación del coste anual versus frecuencia de recambio muestra un mínimo entorno a 2 meses, cuyo valor es el óptimo para los datos actuales en este equipo. Esta será la base para el nuevo plan de mantenimiento preventivo, veamos ahora cómo simular el comportamiento futuro y su coste asociado (Figura 3).

Para ello, bastará con generar aleatoriamente un número elevado de sucesos bajo la premisa de que se comportan según la distribución de Weibull anteriormente caracterizada. Esta simulación, realizable en softwares estadísticos o incluso en MS Excel, puede repetirse tantas veces como se desee y evaluar el coste resultante de las estrategias original y optimizada. La diferencia entre ambas dará una estimación del ahorro que supondrá la aplicación del nuevo plan optimizado. La Tabla 1 muestra los resultados de ejecutar 10 simulaciones para periodos de 12 meses. El ahorro promedio se estima en un 7,4% anual respecto al plan original.

CONCLUSIÓN

Los modelos estocásticos basados en la distribución de Weibull reflejan mejor los procesos reales de desgaste a los que están sometidos los equipos de fabricación o los instrumentos de medida, por lo que aportan soluciones mejores y fácilmente optimizables. Con su empleo se ganan dos cosas: conocer mejor nuestros equipos y establecer con elevada probabilidad el momento adecuado para sustituir recambios sin llegar a producir averías de mayor gravedad, con el consiguiente paro y sobrecoste indeseado. Para que este tipo de modelización estocástica no pierda validez en el tiempo, es preciso revisitar el modelo con la generación de historia. De este modo se garantiza la realimentación que conduce a la mejora continua en busca del plan de mantenimiento o calibración óptimos en todo momento.

Próximo artículo: validación del diseño de un proceso mediante simulación estadística.