

FIABILIDAD ESTADÍSTICA: ESTADO DEL ARTE Y NUEVOS RETOS

Salvador Naya Fernández
Departamento de Matemáticas. Escuela Politécnica Superior.
Universidad de A Coruña
e-mail: salva@udc.es

Resumen

En los últimos años se produjo una revolución en el uso de métodos estadísticos para mejorar la calidad de productos y servicios. Una extensión natural de lo que pasó en este mundo de la calidad se manifiesta también en un cambio de enfoque en la mejora de la fiabilidad. En una forma práctica, la fiabilidad se define como “calidad a través del tiempo”. Hoy en día los ingenieros están convencidos de que una buena fiabilidad es una característica indispensable para tener la oportunidad de competir. En este trabajo se hace un acercamiento a los conceptos de la fiabilidad desde una visión estadística.

Abstract

In the last years there has generated a revolution in the use of statistical methods for product and service quality. A natural extension of the revolution in product/service quality is to turn focus to product reliability, which is defined as “quality over time”. Engineers now consider good quality an essential characteristic to compete in today. In this paper we give a brief introduction to reliability, we describe some of the statistical tools used in reliability.

1. Introducción

La Calidad de un producto se caracteriza por su grado de concordancia con las especificaciones que lo definen. Sin embargo, cada vez es más importante la extensión de la calidad en el tiempo de uso del producto, así nace el concepto de fiabilidad. La fiabilidad de un producto o de un sistema se puede definir, cualitativamente, como la aptitud para realizar su función, durante un tiempo especificado, en las condiciones especificadas.

Para medir la conservación de la calidad en el tiempo es necesario hacer uso del concepto de probabilidad. Así, podemos definir la fiabilidad de un producto o equipo como la probabilidad de que dicho producto o equipo funcione correctamente durante un período determinado de tiempo en las condiciones para las que fue diseñado. De acuerdo con esto, la fiabilidad es calidad a través del tiempo (“quality over time”). Por lo tanto, un producto fiable es aquel que permanece con una buena calidad, lo que obliga a estar dentro de sus límites de especificación, durante su vida tecnológica.

En algunos sectores de la industria, como el farmacéutico o el alimentario, se usa el término más específico, “estabilidad”, para referirse a los casos en los que la fiabilidad depende de la conservación de una determinada composición química. Por otra parte, en áreas de las ciencias de la salud, en las que se trata cuestiones similares, pero aplicadas a ser vivos, es más frecuente hablar de “Análisis de Supervivencia”. También es frecuente usar el término “confiabilidad”, esta última es de gran uso en países de América latina, a diferencia de España en el que se habla de fiabilidad.

2. Conceptos básicos de fiabilidad

El concepto central de la teoría de la fiabilidad es el estudio de la distribución del tiempo hasta la que tiene lugar un suceso puntual que, genéricamente, llamaremos *fallo*. El tiempo hasta la que este se presenta se denomina *tiempo de fallo*. Como las distintas unidades de un producto no fallan todas al mismo tiempo, llamando T al instante en el que falla una unidad, podemos considerar T como una variable aleatoria, y estudiar su distribución de probabilidad, con el que llegamos a la definición matemática de la fiabilidad como la probabilidad de que una unidad, escogida al azar, no haya fallado en un tiempo t . Así definida, la función de fiabilidad o supervivencia es una función decreciente de t , que denotaremos por $R(t)$. Además, si f y F son las funciones de densidad y de distribución de probabilidad de la variable aleatoria T , existe la siguiente relación:

$$R(t) = P(T \geq t) = \int_t^{\infty} f(x)dx = 1 - F(t)$$

Es decir, la función de fiabilidad en un tiempo t representa la probabilidad de que un individuo (léase producto o sistema) experimente un fallo con posterioridad al tiempo t . También es habitual en este campo el uso de la función de riesgo o tasa de fallo

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = -\frac{R'(t)}{R(t)} = -\frac{d \log R(t)}{dt}$$

La tasa o razón de fallo de un componente o sistema, permite estimar la proporción de unidades que fallan en un intervalo de tiempo $(t, t + dt)$, con respecto a las que siguen funcionando en un instante de tiempo t . Desde esta perspectiva, podría decirse que $h(t)dt$ es la aproximación de la probabilidad de que un individuo que no falló antes de un tiempo t lo haga en el siguiente período de tiempo dt .

Si por ejemplo, consideramos una variable de tipo exponencial (que sería una de las formas más simples de modelar la vida de un material) con densidad $f(t) = \lambda \exp(-\lambda t)$, la función de fiabilidad resultaría $R(t) = P(T \geq t) = \exp(-\lambda t)$ y su tasa de fallo sería:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \lambda$$

En este caso la razón de fallo es constante y se dirá que esta variable carece de memoria, en el sentido de lo ocurrido hasta el instante de tiempo t no influye en lo que ocurra después.

La representación de la tasa de fallo frente al tiempo da lugar, en muchos casos, a una curva conocida como *curva de la bañera*. En esta curva aparecen una serie de fallos al principio del proceso conocidos como mortalidad infantil, que suelen ser debidos a los desajustes propios de productos con poco uso, luego aparecen fallos que se distribuyen de forma aleatoria en el tiempo, rama constante de la curva, terminando con un incremento de fallos debido al desgaste o envejecimiento propio.

Se hacemos un estudio cuantitativo, aparte de analizar las curvas de fiabilidad o supervivencia ($R(t)$), podemos definir una serie de medidas características propias de esta materia como la vida media hasta el fallo (Mean Time To Failure, MTTF) o la media entre fallos (Mean Time Between Failures, MTBF). Un estudio cualitativo de la fiabilidad lleva a análisis modal de fallos y sus efectos (FMEA) o al análisis por árboles de fallos (FTA).

Existen métodos, tanto paramétricos como no paramétricos, que permiten estimar estos valores en función de las observaciones de los fallos de muestras de los productos analizados. Además, también se cuenta con guías de referencia para tasas de errores dependiendo del producto estudiado. Por ejemplo, una de estas guías, en el caso de estudio de productos electrónicos, es la elaborada por el Pentágono americano conocida como MILHDBK217F.

3. Características de los datos y modelos usados en fiabilidad

Cuando se examinan datos para el control de calidad, si se inspecciona una muestra de 10 artículos, se obtienen 10 observaciones, estos datos se denominan datos completos. En el contexto de pruebas de vida, cuando se estudia una muestra de tamaño 10 es raro que se obtengan 10 observaciones completas, debido a que algunos de los artículos de la muestra pueden no fallar dentro de un período razonable de tiempo o la prueba puede detenerse antes de que fallen todas las unidades. Bajo estas circunstancias o cuando se desea un análisis en una etapa intermedia antes de que finalice la prueba, el resultado será de datos incompletos o de datos censurados.

Un dato está censurado cuando solo se dispone de una cuota para el tiempo de fallo. Si esa cuota es inferior tendremos un problema de censura por la izquierda, si la cuota fuera superior, que es el tipo más frecuente, hablaremos de censura por la derecha. Cualquier estudio de fiabilidad debe tener presente como fueron obtenidos los datos, ya que cuando tenemos un dato censurado, el tiempo observado no corresponde a un tiempo de fallo; pero la información parcial proporcionada por esa observación de tiempo de censura, no debe ser rechazada para la obtención de modelos sobre el comportamiento de la variable. La elección de un determinado modelo es función de su flexibilidad para reproducir las características de las funciones de fiabilidad o de riesgo, y podrá abordarse desde dos perspectivas: la paramétrica y la no paramétrica.

En el caso de la estimación paramétrica, el problema consiste en suponer que la función puede modelarse por una distribución concreta, que depende de un número finito de parámetros que será necesario estimar a partir de muestras de datos reales o simulados. Debido a que los valores observados en este tipo de problemas son positivos, la modelización usualmente supone una distribución de tipo no normal. Así, es común el empleo de distribuciones como la exponencial, la lognormal, la Weibull o la logística. Existen también modelos paramétricos específicos, como la relación de Arrhenius, que permiten modelar procesos en donde la duración de un material depende de la temperatura, que son usados en problemas de pruebas aceleradas.

La otra filosofía en la estimación de los modelos de riesgo, la estimación no paramétrica, no presupone ningún modelo a priori para la distribución, consiste en dejar que los datos decidan por sí mismos. En este contexto no paramétrico, los estimadores de Kaplan Meier (Kaplan e Meier 1985) para la razón de fallo, y el estimador de Nelson-Aalen (Nelson (1972) y Aalen (1978)) para la función de riesgo acumulado son los más utilizados, presentando muchas de las propiedades deseables desde el punto de vista estadístico. Para un estudio con detalle de esta temática el manual de Meeker y Escobar (Meeker y Escobar, 1998) representa un magnífico referente presentando no sólo los conceptos teóricos sino también una amplísima colección de aplicaciones a datos y problemas reales de fiabilidad industrial en la que los autores tienen una contrastada experiencia. Para la manipulación de estos datos existen también distintos programas estadísticos que permiten el tratamiento de datos de fiabilidad, pero es sobre

todo el paquete estadístico SPLIDA (SPlus Life Data Analysis) el que cuenta con más adeptos. SPLIDA es un conjunto de funciones de S-PLUS con una interface gráfica diseñada para el análisis de datos de fiabilidad. Muchas de estas funciones están también disponibles para el programa de Software libre R, que se puede descargar desde la dirección <http://cran.es.R-project.org/>.

4. Tendencias y retos de la fiabilidad estadística

La fiabilidad estadística como parte de la estadística está aún empezando a emplearse de forma habitual en problemas de ingeniería, por lo que como rama emergente presenta interesantes retos futuros. Uno de estos retos está relacionado con el concepto de ingeniería robusta. La robustez estadística puede definirse como la habilidad (de un producto o proceso) para realizar su función, de forma efectiva, bajo una variedad de condiciones operativas y ambientales (incluyendo desgaste o degradación a largo plazo). En este sentido el reto estaría en diseñar un producto que sea robusto a los ruidos ambientales. Estos métodos fueron concebidos inicialmente para la mejora de la calidad, principalmente por el japonés Genichi Taguchi, por lo que también se conocen como métodos de Taguchi, pero está claro que podrán y deberán tener un lugar importante en la mejora de la fiabilidad (Wu y Hamada, 2000).

La necesidad de adaptar los métodos de diseño de experimentos a problemas de fiabilidad también son temas de estudios recientes. Como ejemplo, puede verse una pequeña aplicación a la optimización dentro del campo emergente de los nanomateriales, concretamente la aplicación se hizo a resinas epoxi mezcladas con nanoclays, que usados en los depósitos de combustible de hidrógeno de los transbordadores espaciales como el Discovery (véase Naya, Martínez y Artiga. 2009).

La aplicación de métodos de nueva aparición en el campo de la estadística, como es el caso de la estimación no paramétrica de curvas o de estudios con datos funcionales, serán una de las líneas que, de seguro, más pronto que tarde, irán incorporándose en estos estudios. Como conclusión se podría terminar diciendo que, dado que los problemas de fiabilidad generan problemas matemáticos importantes e interesantes, los cuales tienen que ser investigados, divulgados e implantados, parece claro que los métodos estadísticos continuarán creciendo y evolucionando para dar solución a estos nuevos problemas.

5. Referencias

- [1] Aalen, O. (1978). Nonparametric inference for a family of counting processes. *The Annals of Statistics*, 6, 701-726.
- [2] Kaplan, E. L. y Meier, P. (1958). Nonparametric estimation from incomplete observations. *Journal of the American Statistical Association*, 53, 457-481.
- [3] Meeker, W. y Escobar, L. (1998). *Statistical Methods for Reliability Data*. New York, 1998.
- [4] Naya, S. Martínez.Vilariño, S. y Artiga, R. (2009). Effects of thermal cycling on permeability and thermal properties of nanoclay-epoxy composites. *Dyna*. Vol. 84 n°2 • 151-156.
- [5] Nelson, W. (1972). Theory and applications of hazard plotting for censored failure data. *Technometrics*, 14, 945-965.
- [6] Wu, C. y Hamada M. (2000) *Experiments: Planning, Analysis and Parameter Design Optimization*. Wiley. New York.