

Desarrollo de un plan de prueba para pruebas de vida acelerada en el sensor *knock*

José Roberto Díaz Reza¹, Manuel Iván Rodríguez Borbón¹, Rey David Molina Arredondo¹,
Roberto Romero López¹

¹Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Resumen

La falta de pruebas de vida acelerada en las empresas conlleva a que se presenten problemas de garantía de los productos, Continental Juárez Planta I no es la excepción, ya que presenta problemas de garantía en sensores *knock* debido a la incertidumbre del tiempo de vida estos. En este trabajo se pretende desarrollar un plan de prueba para pruebas de vida acelerada para los sensores que permita estimar el tiempo de vida garantizado por el fabricante mediante el uso de herramientas estadísticas que definan el estrés que afecta al sensor, así como también los niveles de prueba del estrés, posteriormente calcular el tamaño de muestra y calcular los percentiles de interés. Para realizar las pruebas en los sensores y de esta manera obtener los datos para el análisis, se utilizará una cámara para pruebas de vida acelerada. Asimismo, el análisis se realizara con la utilización de los softwares: Minitab 16, ALTA 9, R y Matlab. Finalmente, el análisis de los datos del plan de prueba se desarrollará con el fin de reducir las fallas en los sensores, las devoluciones por producto, establecer tiempos de garantía convenientes e impactar en los gastos por garantía en los que incurre la empresa.

Palabras clave: Sensor Knock, pruebas de vida acelerada, relaciones de vida-esfuerzo, planes de prueba.

Introducción

Antecedentes

De acuerdo con Acuña (2003), el enfoque actual en procesos de manufactura se ha dirigido hacia el desarrollo de productos que sean suficientemente robustos para que puedan enfrentar los embates tanto del proceso de producción como de su uso final. Estas acciones enfocan los esfuerzos de la calidad hacia el diseño, tanto del producto como de los procesos que, en forma concurrente, tratan de cumplir con los requisitos establecidos por los clientes. Según Crottsby et al. (2003) citado por Alberts & Jasper (2012) la calidad puede ser

el componente más crítico en la satisfacción de los requerimientos del cliente de una organización. Actualmente, el costo de las cuentas de control de calidad está entre 7 y 10% de los ingresos totales por ventas de los fabricantes (Dhillon, 2005). De ahí parte la importancia de asegurarla; y esto es posible en la etapa del diseño del producto y del proceso.

Hoy en día, las empresas buscan la reducción del costo total invertido en el control de calidad, sin reducir la calidad de los productos y servicios, con el fin de mantenerse competitivos dentro de la

economía tanto local como global (Dhillon, 2005), para lograr dicho objetivo es necesario hacer uso de otras técnicas que ayuden a asegurar la calidad a través del tiempo.

Una de las técnicas que permite estudiar el comportamiento del desarrollo de los productos y de su vida útil es la confiabilidad (Acuña, 2003). La confiabilidad se define como la probabilidad de que un componente o sistema llevará a cabo una función requerida para un tiempo dado cuando se usa bajo condiciones de operación establecidas (Ebeling 2010, Wessels 2010, Birolini 2014).

En los últimos años la aplicación de la confiabilidad a la ingeniería de producto y de procesos ha demostrado excelentes resultados como medio de anticipar fallas de operación (Acuña, 2003); por ejemplo, identificar, prevenir, reducir y corregir dichas fallas. Una falla ocurre cuando un producto deja de realizar su función requerida, dichas fallas se deben clasificar de acuerdo a su modo, producción o uso y mecanismo (Birolini, 2014).

Por lo tanto, con el propósito de minimizar las fallas en los diseños de ingeniería, los diseñadores deben entender por qué y cómo ocurren las fallas lo que a su vez conlleva a maximizar el rendimiento del sistema y hacer eficiente el uso de los recursos (Modarres, Kaminskiy, & Krivtsov, 2010).

En 2007 Jing-Ying, Hong-Jian , Guo-Jin, Yong, & Pin-hua realizaron una prueba y un análisis de confiabilidad en un

relevador protector de sobrecarga de un motor para determinar la razón del incremento de las fallas y mejorar la confiabilidad de los productos ya que dicha confiabilidad afecta directamente el funcionamiento seguro del motor. Los resultados obtenidos arrojaron que las fallas del relevador protector de sobrecarga se deben a una baja confiabilidad debido a la resistencia del contacto del relevador, la sincronización del sistema bimetálico, procesamiento, ensamble, entre otras.

En ocasiones la cantidad de tiempo disponible para pruebas de confiabilidad es considerablemente menor que el tiempo de vida esperada de un componente (Ebeling, 2010). Por esta razón es necesario realizar pruebas que nos permitan saber el comportamiento de los materiales o productos a través del tiempo. Las pruebas de vida acelerada a menudo han sido usadas para obtener fallas dentro de un marco de tiempo razonable para que la distribución de vida de los materiales y productos pueda ser estimada (Loon-Ching, Aik-Peng, & Soon-Huat, 2002).

Las pruebas de vida acelerada se componen de una variedad de métodos de ensayo para el acortamiento de la vida de los productos o bien acelerar la degradación de su rendimiento. El objetivo de esta prueba es obtener rápidamente los datos que, adecuadamente modelados y analizados, proporcionen la información del rendimiento deseado sobre la vida o desempeño del producto en condiciones de uso normal (Nelson, 2004).

En 2007 Gyu-Ho & Hongbing desarrollaron un método de prueba de vida

acelerada con un diseño óptimo de estrés múltiple basado en un modelo de riesgo proporcional para determinar la resistencia a la fatiga a largo plazo a través de millones de ciclos de un polímero vítreo. Lo anterior les permitió desarrollar los primeros planes de prueba de vida acelerada de análisis que utilizan el modelo de riesgos proporcionales con múltiples factores de estrés para predecir la confiabilidad. Dichos planes determinarán los niveles para todos los tipos de estrés y el número de unidades de prueba asignado a cada nivel con el fin de reducir al mínimo la varianza de la estimación de la confiabilidad en condiciones de funcionamiento normal durante un periodo de tiempo.

Existen diversos modelos de pruebas de vida acelerada para el análisis de la relación vida-esfuerzo, entre los que destacan, Arrhenius (Wayne, 2004; Ebeling, 2010), que se usa para modelar la vida del producto en función de la temperatura, Eyring (Nelson, 2004; Ebeling, 2010), que es una alternativa para a la relación de Arrhenius, la relación de potencia inversa (Ebeling, 2010; Nelson, 2004) que se usa para modelar la vida del producto como una función de un estrés de voltaje, entre otras.

No basta solo con conocer los modelos que relacionan la vida-esfuerzo para realizar una prueba de vida acelerada, también se debe definir un plan de prueba para saber cómo elegir los niveles de las variables que se aceleran, especificar los rangos de las variables experimentales de aceleración y elegir el número de unidades de prueba para asignar a cada nivel de la variable de aceleración ya que los criterios

apropiados para la elección de un plan de pruebas dependen del propósito del experimento (Meeker & Escobar, 1998).

Planteamiento del Problema

En general, la falta de pruebas de vida acelerada en las empresas conlleva a que se presenten problemas de garantía de los productos. En la empresa Continental Juárez Planta I se fabrican sensores *knock* para diferentes compañías de automóviles, dichas compañías exigen que se realicen pruebas de validación de los sensores, las cuales han sido diseñadas por los clientes mismos para garantizar la vida o la calidad del producto a través del tiempo.

Sin embargo, estas pruebas de validación no determinan la confiabilidad de producto, es decir, no se determina la vida útil del sensor bajo dichas condiciones solo se realizan las pruebas para verificar que el sensor puede soportar los efectos expuestos en las pruebas anteriores y que se cumple con los requerimientos solicitados por el cliente.

En la actualidad, la empresa no cuenta con pruebas de vida para ningún producto que garantice el buen funcionamiento, la vida útil, o bien, que ayuden a detectar los defectos que se puedan presentar una vez que el producto esté en funcionamiento y de esta manera garantizar la vida y la calidad del producto durante un periodo de tiempo establecido por el fabricante.

Debido a este hecho, hoy en día se tienen problemas de garantías ocasionadas por el mal funcionamiento de los sensores

que se envían al cliente, lo cual indica que existen problemas de calidad, o bien, problemas de confiabilidad en los sensores así como también se necesita saber si se requieren cambios en el diseño del producto o en el proceso.

Justificación

Las empresas hoy en día buscan ser más competitivas para lograr el éxito dentro del mercado, es por eso que optan por especializarse en áreas de importancia como lo es la ingeniería de confiabilidad. Al ser Continental una empresa reconocida a nivel mundial no debe presentar en sus productos calidad y confiabilidad bajas, sin embargo, actualmente esta empresa está recibiendo un alto porcentaje de devoluciones de productos debido a que no están cumpliendo con las garantías que ofrecen en sus componentes; lo que indica que se están cubriendo las expectativas de vida para la que fueron diseñados.

Lo anterior está sucediendo a pesar de que Continental está realizando las pruebas de validación solicitadas por el cliente y estas pruebas están cumpliendo con los requerimientos. Sin embargo, a pesar de que los productos están cumpliendo, después de determinado tiempo presentan fallas, por lo que se hace necesario realizar pruebas de vida acelerada.

Es bien sabido que cualquier componente o en este caso el sensor *knock* no está exento de fallas, pero es importante tener en él una alta confiabilidad ya que desempeña un papel importante en el motor del automóvil y al suscitarse una falla en

este sensor los daños que podría ocasionar desde bajo rendimiento en el combustible hasta fallas mecánicas en el motor.

Asimismo, es importante observar el comportamiento del sensor para determinar su vida útil durante un periodo de tiempo determinado bajo condiciones establecidas. Para lograr esto se debe establecer un plan de prueba para realizar pruebas de vida acelerada en las cuales se determine la confiabilidad del sensor, así con esto lograr un nivel de satisfacción alto para el cliente y ofrecer periodos de garantía adecuados para evitar gastos por devoluciones de productos defectuosos.

Objetivos

Diseñar un plan de pruebas para sensores *knock* que estime el tiempo de vida garantizado por el fabricante.

Determinar el estrés que afecta la vida del sensor *knock*

Determinar los niveles de prueba del estrés.

Calcular el tamaño de muestra.

Analizar los resultados para validar el plan de prueba.

Estimar la fracción de falla del sensor *knock*.

Estimar los percentiles de interés.

Alcance

De acuerdo al objetivo establecido anteriormente se pretende determinar la confiabilidad de los sensores *knock* elaborados en la empresa Continental, es decir, se busca con la elaboración de este

trabajo establecer un plan de prueba específico para pruebas de vida acelerada que indique el tiempo de vida útil de dicho sensor, con la finalidad de incrementar la satisfacción del cliente y disminuir al máximo los costos de garantía adquiridos por fallas dentro de este periodo.

Delimitación

Continental es una empresa que fabrica una gran variedad de productos para diferentes marcas de automóviles, dentro de estas

marcas se incluyen; Toyota, Ford, Chrysler, Nissan, BMW, entre otras. De los productos que se fabrican en la empresa destacan los neumáticos, ya que Continental es uno de los cinco productores más importantes a nivel mundial, también se producen mangueras, bandas o cadenas de tiempo para el motor, sensores *knock*, además de otros. Este trabajo se enfocará en el cliente Ford, específicamente en la línea de sensores, tomando como objeto de análisis el sensor *knock* xxx.

Marco Teórico

La variable aleatoria T es llamada continua si su función de distribución acumulada (CDF) es una función continua de t . La función de densidad de probabilidad (PDF) correspondiente a $F(t)$ es su derivada (en caso de existir). Denotamos PDF por $f(t)$ Esta función describe la forma de la distribución de falla de tal manera que:

$$F(t) = \int_0^t f(x)dx, \quad 0 \leq t \leq \infty. \quad (1)$$

La confiabilidad, la cual denotaremos por $R(t)$ se usa generalmente para expresar un cierto grado de seguridad de que un dispositivo o sistema operará con éxito en un entorno determinado durante un cierto periodo (Shelemyahu , 1992). La función de confiabilidad $R(t)$ teniendo una distribución de vida $F(t)$ de un componente o un sistema es:

$$R(t) = 1 - F(t) = \int_t^{\infty} f(t)dt \quad (2)$$

Otra función importante relacionada con la distribución de vida es la tasa de falla o tasa de riesgo instantánea $h(t)$ o también denotada por $l(t)$. Esta es la tasa de riesgo instantánea de un elemento el cual ha sobrevivido t unidades de tiempo (Shelemyahu , 1992).

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3)$$

La forma más útil para expresar la PDF de la confiabilidad y de la falla es en términos de la tasa de falla (Lewis, 1994).

$$R(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t')dt' \right] \quad (4)$$

Para obtener la PDF para las fallas (Lewis, 1994)

$$f(t) = \lambda(t') \exp \left[- \int_0^t \lambda(t')dt' \right] \quad (5)$$

Pruebas de vida acelerada

La competición global y otros factores están forzando a los fabricantes a producir productos altamente confiables, seguros y de buena calidad. Sin embargo, dicha competición ha llevado a desarrollar nuevas estrategias de mercadotecnia de productos, tales como tiempos de garantía inusuales a la hora de vender el producto (Rodríguez Borbón, 2007).

Esto de hecho ha considerado a las pruebas de confiabilidad tradicional como obsoletas debido al largo tiempo necesario para realizar una prueba y su inhabilidad de proveer predicciones de confiabilidad a condiciones diferentes a las condiciones de la prueba (Rodríguez Borbón, 2007).

Debido a las limitaciones de tiempo y recursos las pruebas de vida acelerada (ALT por sus siglas en inglés) proveen una forma económica de obtener datos vida (Francis, 2009), ya que los productos son sometidos a dichos niveles de estrés que aquellos a uso normal e.g. temperatura, voltaje y tasa de uso con el propósito de obtener información de manera oportuna. (Francis, 2009).

El análisis de datos de vida tradicional involucra los datos de tiempos de falla obtenidos bajo condiciones de operación normal con el fin de cuantificar las características de vida de un producto, sistema o componente (ReliaSoft, 2014).

En el análisis de datos típicos de vida, se determina, a través del uso de distribuciones estadísticas, una distribución de vida que describa los tiempos de falla de

un producto. Estadísticamente hablando, se desea determinar el nivel de uso de la PDF, o los tiempos de falla. Una vez que se obtiene la PDF, los demás resultados de confiabilidad se pueden determinar fácilmente, incluyendo el porcentaje de fallas bajo garantías, tasas de riesgo, comparación de diseño y periodo de desgaste (ReliaSoft, 2014).

La vida característica puede ser cualquier medida como la media, mediana, confiabilidad, $F(t)$, las cuales están expresadas en función del estrés (ReliaSoft, 2014). Dependiendo de la distribución que se asuma, se consideran diferentes vidas características. En la siguiente tabla se muestran la vida característica de algunas distribuciones.

Tabla 1. Vida característica de algunas distribuciones comunes. Fuente: (ReliaSoft, 2014)

Distribución	Parámetros	Vida Característica
Weibull	β, v	Parámetro de escala v
Exponencial	λ	Vida media ($1/\lambda$)
Lognormal	μ, σ	$\exp(\mu + \sigma^2/2)$

Se puede escoger una distribución fundamental para ajustar los datos de vida recolectados a cada nivel de estrés que derive en la PDF del estrés acelerado para cada nivel de estrés. Se puede elegir una relación de vida estrés (Arrhenius, potencia inversa, Eyring, entre otras) para cuantificar el camino desde la PDF del estrés acelerado con el propósito de extrapolar el nivel de uso de la PDF (ReliaSoft, 2014). Desde extrapolar el uso del nivel de uso de la PDF, se pueden derivar una variedad de funciones, incluyendo, confiabilidad, tasa de falla, media, tiempo de garantía, etcétera.

A continuación se muestran algunos modelos de las relaciones vida-esfuerzo. (ReliaSoft, 2014)

Relaciones de vida esfuerzo

Relación de Arrhenius

De acuerdo con Nelson (2004) la relación de vida esfuerzo (vida estrés) de Arrhenius es extensamente usada como una función de la temperatura. Cuando las fallas son aceleradas como un resultado de un incremento en la temperatura, este enfoque está basado en el modelo Arrhenius (Ebeling, 2010), usada para describir la relación entre la tasa de una reacción química y la temperatura (Rodríguez-Díaz & Santos-Marín, 2008).

Relación de Potencia Inversa

La relación de potencia inversa es extensamente usada para modelar la vida del producto en función de un estrés de aceleración, las aplicaciones incluyen: lámparas incandescentes, lámparas de flash, fatiga de metal simple debido a cargas mecánicas, entre otros (Nelson, 2004)

Relación de Eyring

De acuerdo con Escobar & Meeker (2006) Eyring da una teoría física describiendo el efecto que la temperatura tiene sobre la tasa de reacción. Se utiliza con mayor frecuencia cuando la tensión térmica (temperatura) es la variable de aceleración. Sin embargo, la relación Eyring también se utiliza a menudo para las variables de estrés diferentes a la temperatura, tales como la humedad (ReliaSoft, 2014).

Planes de Prueba

La predicción de la confiabilidad de nuevos componentes, productos y sistemas es una difícil tarea debido a la falta de planes de prueba bien diseñados que aporten información útil durante la prueba y debido a la naturaleza estocástica de las condiciones de operación normal. La precisión de la predicción de la confiabilidad tiene un efecto mayor en los costos de garantía, reparación y estrategias de mantenimiento. Por lo tanto es importante diseñar planes de prueba eficientes (Elsayed, 2013).

Un plan de prueba detallado es en general diseñado antes de llevar a cabo una prueba de vida acelerada. El plan requiere determinar el tipo de estrés, método de aplicación del estrés, los niveles de estrés, el número de unidades a ser probadas, y un modelo aplicable de ALT que relacione los tiempos de falla a condiciones aceleradas a aquellos a condiciones normales. Con el propósito de determinar el tipo de estrés a ser aplicado en ALT es importante entender la falla potencial de los componentes y las causas de tales fallas. Esto en general es basado en conocimiento de ingeniería de los materiales de los componentes, función y los estreses que inducen tal falla (Elsayed, 2013).

En general, el tipo de estrés aplicado depende de las condiciones de operación previstas del producto y la causa potencial de la falla. En muchos casos el número de unidades y tiempo disponible son extremadamente limitados. Esto ha llevado a la industria a considerar diferentes tipos de cargas de estrés (Elsayed, 2013).

Debido a los presupuestos ajustados y a las limitaciones de tiempo, hay una necesidad cada vez mayor de determinar la mejor carga de estrés con el fin de acortar la duración de la prueba y reducir el costo total mientras se alcanza una estimación precisa de confiabilidad (Elsayed, 2013).

Además, como es a menudo el caso, los productos son generalmente expuestos a múltiples estrés en el uso real, como la temperatura, humedad, corriente eléctrica, campo eléctrico y varios tipos de shock y vibración (Elsayed, 2013)

Nelson (2004) menciona que un buen plan de prueba debe ser robusto, multipropósito y proveer de estimaciones precisas, tales planes consisten de tres o cuatro niveles de prueba igualmente espaciados con asignaciones desiguales.

Por su parte Elsayed (2013) menciona que un plan para pruebas de vida acelerada requiere determinar el tipo de estrés, método de aplicar el estrés, niveles de estrés, número de unidades a ser probadas a cada nivel de estrés y un modelo de ALT aplicable que relacione los tiempos de falla condiciones aceleradas con aquellas a condiciones normales.

Cuando se diseña un ALT, necesitamos abordar las siguientes cuestiones: (a) seleccionar los tipos de estrés a usar en el experimento; (b) determinar los niveles de estrés para cada tipo de estrés seleccionado; y (c) determinar la proporción de aparatos a ser asignados al nivel de estrés (Elsayed, 2013).

Metodología

En base al historial de las pruebas realizadas a los sensores y de los datos obtenidos a partir de estas, tales datos se analizan y se llega a la conclusión que siguen una distribución Weibull, por lo tanto la metodología está enfocada a dicha distribución. La metodología se dividió en 6 etapas, las cuales se describen a continuación.

Calcular el tamaño de muestra

En esta etapa se desea calcular el tamaño de muestra (n) necesario para satisfacer los requerimientos solicitados por el cliente, se puede determinar el número n que logre una precisión deseada de la estimación de la vida media logarítmica o la vida mediana a

un estrés de diseño (Nelson, 2004). Para cualquier plan de prueba, la n que logra esto es:

$$n = \{1 + (x_0 - \bar{x})^2 \cdot [n / \sum (x_0 - \bar{x})^2]\} \cdot (K_r \sigma / w)^2 \quad (6)$$

Determinar el estrés que afecta la vida del Sensor

En esta etapa se determinó mediante los FMEA internos de la empresa que el estrés que afecta la vida del sensor es la temperatura, es por eso que se utilizará la relación de vida-esfuerzo de Arrhenius combinada con la distribución Weibull la cual se dijo que se utilizaría al principio de la metodología.

Determinar los niveles de prueba del estrés.

Ahora que ya conocemos el estrés que afecta al sensor, se calcularán los niveles a los cuales vamos a realizar las pruebas así como también el tiempo de duración de la prueba y la cantidad de unidades que se asignarán en cada nivel del estrés para poder obtener información suficiente para calcular los parámetros necesarios para realizar los cálculos posteriores.

Estimar la fracción de falla del sensor Knock

En esta etapa se van a hacer los análisis para calcular la fracción de falla de los sensores a un determinado tiempo t y una temperatura T , para esto utilizaremos la siguiente fórmula extraída de Nelson (2004) que relaciona estos dos factores:

$$\begin{aligned} F = (t, T) &= 1 - e^{-[t/\alpha(T)]^\beta} = \\ &= 1 - e^{-te^{-[\gamma_0 - (\gamma_1/T)]^\beta}} \end{aligned} \quad (7)$$

Estimar los percentiles de interés

En cuanto a los resultados esperados de este trabajo se busca el desarrollo de un diseño de plan de prueba para pruebas de vida acelerada, análisis de confiabilidad, específicamente en el sensor *Knock*, para posteriormente calcular percentiles y cuartiles a condiciones de operación del

En la etapa 5 se calcularán todos los percentiles mediante la fórmula en Nelson (2004)

$$\begin{aligned} \tau_p(T) &= \alpha(T)[\ln(1 - P)]^{1/\beta} = \\ &= \exp[\gamma_0 + \gamma_1(1000/T)][-\ln(1 - P)]^{1/\beta} \end{aligned} \quad (8)$$

Analizar los resultados para validar el plan de prueba.

En Nelson (2004) se presentan tres tipos de planes, los cuales son: planes óptimos, tradicionales y de compromiso. Los planes óptimos producen más estimaciones precisas a niveles de estrés de diseño, los planes tradicionales consisten en niveles de estrés igualmente espaciados en la prueba, cada uno con el mismo número de muestras, este plan produce menos precisión en la estimación que los planes óptimos. Los planes de compromiso corren más muestras al nivel de estrés bajo que a un nivel alto y estos planes darán mejores resultados para pruebas de costo y tiempo dados. De estos tres se analizará la varianza para saber cuál es el más adecuado para la situación actual dentro de la empresa.

Resultados

sensor con el fin de reducir las devoluciones por producto defectuoso y así establecer tiempos de garantía convenientes al momento de vender el producto a los clientes e impactar en los gastos por garantía en los que incurre la compañía.

Referencias

- Acuña, J. A. (2003). Ingeniería de Confiabilidad. Costa Rica: Tecnológica de Costa Rica.
- Alberts, G. A., & Jasper, L. S. (2012). The Influence of Customers' Quality Perception of Commercial Vehicles on Their Maintenance Behavior. *Technology Management For Emerging Technologies*, 3387-3396.
- Birolini, A. (2014). *Reliability Engineering, Theory and Practice*. Heidelberg: Springer.
- Ebeling, C. E. (2010). *An Introduction to Reliability and maintainability engineering*. Illinois: Waveland Press, Inc.
- Elsayed, A. E. (2013). *Stochastic Reliability and Maintenance Modeling*. London: Springer Series in Reliability Engineering.
- Escobar, L. A., & Meeker, W. Q. (2006). *A Reiview of Accelerated Test Models*.
- Francis, P. (2009). Accelerated life test planning with independent lognormal competing risks. *Journal of Statistical Planning and Inference*, 140 (2010) 1089-1100.
- Lewis, E. E. (1994). *Introduction to Reliability Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Loon-Ching, T., Aik-Peng, T., & Soon-Huat, O. (2002). Planning Accelerated life test with Three constant stress levels. *Pergamon*, 439-446.
- Modarres, M., Kaminskiy, M., & Krivtsov, V. (2010). *Reliability Engineering and Risk Analysis A Practical Guide*. Boca Raton London New York: CRC Press.
- Nelson, W. B. (2004). *Accelerated Testing, Statistical Models, Test Plans and Data Analysis*. Hoboken, New Jersey: JOHN WILEY & SONS, INC.
- ReliaSoft. (18 de Febrero de 2014). *Accelerated Life Testing Data Analysis Reference*. Obtenido de http://reliawiki.com/index.php/Accelerated_Life_Testing_Data_Analysis_Reference
- Rodríguez Borbón, M. I. (2007). *Bayesian Analysis for Cox's Proportional Hazard Model With Error Effect and Applications To Accelerated Life testing Data*. El Paso Tx.: The University Of Texas.
- Rodríguez-Díaz, J. M., & Santos-Marín, M. T. (2008). Study of the best designs for modification of the Arrhenius Equation. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 95 (2009) 199-208.
- Shelemyahu, Z. (1992). *Introduction to Reliability Analysis, Probability Models and Statistics Methods*. New York: Springer-Verlag New York Inc.