Congr. Int. en Ing. Electrónica. Mem. ELECTRO, Vol. 39, pp. 154-159, Oct 2017, Chihuahua, Chih. México
http://electro.itchihuahua.edu.mx/memorias_electro/MemoriaElectro2017.zip
ISSN 1405-2172

PREDICCIÓN DE CONFIABILIDAD EN CAMPO Y ANALISIS DE COSTOS DE GARANTÍA DE UN PRODUCTO FABRICADO POR UNA AUTOMOTRIZ, EN MÉXICO

Chacón Blanco Raúl
Instituto Tecnológico de Chihuahua
División de Estudios de Posgrado e Investigación
Ave. Tecnológico # 2909, Chihuahua, Chih., México C.P. 31310
Tel.: +52 (614) 201 2000, Fax: +52 (614) 413 5187
rchacon@itch.edu.mx

RESUMEN.

Los datos provenientes de reclamos de garantía contienen información muy útil relacionada con la calidad y confiabilidad de un producto. En el presente trabajo, se analizaron datos provenientes de reclamos por garantías de una empresa internacional con presencia en México, que fabrica sistemas y componentes para la industria automotriz. El objetivo fue determinar la probabilidad de fallo de uno de sus componentes para el periodo de garantía de 36 meses, así como analizar los modos de falla de manera que los resultados puedan servir para la toma de decisiones. Para modelar los datos se empleó la distribución Weibull, y el estimador no paramétrico de Turnbull, los resultados mostraron una probabilidad de falla demasiado alta (0.0245), el análisis de los modos de falla, determinó que el principal problema estaba relacionado con el enrollado, eliminando este problema, la probabilidad de fallo se reduce a 0.017 y se genera un ahorro aproximado de $26,700 Usd.

Palabras Clave: Confiabilidad, datos de garantía, modos de falla

ABSTRACT.

Data from warranty claims contain very useful information related to the product quality and reliability. In the present study data from warranty claims of an international company with presence in Mexico, which manufactures systems and components for the automotive industry, were analyzed. The objective was to determine the failure probability of one of its components for the warranty period of 36 months, as well as to analyze the failure modes so the results can be used for decision process. Weibull distribution and non-parametric Turnbull estimator were used to model the data, the results showed a high failure probability (0.0245), the analysis of failure modes, determined that the main problem was related to winding, eliminating this problem, the failure probability is reduced to 0.017 and generates an approximate saving of $ 26,700 Usd.

Keywords: Reliability, warranty data, failure modes

1. INTRODUCCIÓN

En años recientes, ha habido cambios radicales en el área de administración y de mercadeo, esto ha provocado un incremento en el uso de métodos estadísticos enfocados a la mejora de la calidad tanto de productos como de servicios, una extensión natural de lo que ha pasado en el mundo de la calidad se manifiesta en un cambio de enfoque hacia la mejora de la confiabilidad [1], la confiabilidad se define como la probabilidad de que un producto realice su función de manera correcta por un tiempo especificado bajo las condiciones de uso encontradas [2]. Confiabilidad es la probabilidad de que el dispositivo sobreviva el instante *t* o más allá.

$$R(t) = \Pr\{\tau \geq t\}$$

Por otro lado la función de distribución de fallas acumuladas, se define como la probabilidad de que el dispositivo no sobreviva más allá del instante t.

$$F(t) = 1 - R(t) = \Pr\{\tau < t\}$$

Confiabilidad, no es solo cumplir las especificaciones del cliente al momento de la inspección, si no conservar la calidad a través del tiempo, por lo que un producto confiable debe permanecer dentro de sus límites de especificación durante toda su vida útil [3]. En otras palabras, tener buena calidad no garantiza tener una buena confiabilidad, esto plantea otra dificultad, la confiabilidad de un producto solo se puede evaluar directamente hasta después de que el producto ha estado en servicio por algún tiempo, por lo tanto la evaluación y pronóstico de la confiabilidad presenta muchos desafíos técnicos [1]. Adicionalmente, el diseño y desarrollo de nuevos productos, está expuesto a una serie de riesgos, el alto nivel de innovación provoca que las empresas busquen que su producto sea el primero en el mercado [4, 5], por otro lado en el caso de nuevos productos es imposible predecir la manera en que el producto será utilizado por el consumidor final [6], ambos, el corto tiempo requerido para que el producto este en el mercado y la incertidumbre relacionada con el uso del producto por el cliente, hacen extremadamente difícil evaluar el desempeño del producto para un periodo de tiempo razonable, (Por lo menos para el periodo de garantía) [7]. Como resultado, las compañías productoras de bienes de consumo deben aceptar el riesgo de que un producto nuevo o innovador pueda tener problemas de confiabilidad imprevistos [7]. Con el fin de reducir estos riesgos, los fabricantes necesitan tener información rápida y confiable sobre el comportamiento de sus productos en el

campo [8]. Los datos provenientes de reclamos de garantía contienen información muy útil relacionada con la calidad y la confiabilidad de un producto, el análisis de estos datos puede ser muy útil para identificar fallas prematuras en un producto, además proporcionan información valiosa sobre los modos de falla que posteriormente podrían ser utilizados para la modificación del diseño, para estimar la confiabilidad y decidir políticas de garantía del producto, o incluso para pronosticar futuros reclamos por garantías [9, 10, 11, 12, 13, 14]. Los costos de garantías debidos a mala calidad y confiabilidad son considerables en muchas industrias, incluyendo la industria automotriz [1]. Sin embargo actualmente la mayoría de las políticas de garantías en las empresas están más relacionados con el mercadeo que con la confiabilidad. Los datos de garantía son muy complejos y presentan serios retos para una interpretación y análisis adecuados, el análisis de confiabilidad o análisis de supervivencia es un conjunto de técnicas que se emplean para analizar los datos en los que generalmente la variable de interés es el tiempo que transcurre desde un instante inicial hasta la ocurrencia de un suceso de interés (que suele ser el fallo de una pieza) es decir, obtener información sobre la variable tiempo de vida, confiabilidad, probabilidad de fallo, riesgo de fallo, etc., matemáticamente, el tiempo de vida es una variable aleatoria no negativa [15, 16, 17, 18]. En el tratamiento del conjunto de datos de confiabilidad es de vital importancia la utilización de modelos paramétricos, no paramétricos y/o semi-paramétricos que describan bien el comportamiento de dicha variable.

Una de las características más importantes en el análisis de los datos en un estudio de confiabilidad es la presencia de datos censurados, es decir, cuando el suceso de interés, (por ejemplo la falla del producto), no ha sido observada, en el caso de los datos provenientes de reclamos por garantías, se dice que una observación es censurada por la derecha si al final del tiempo de garantía no se presentó la falla, sin embargo el hecho de que no se haya presentado la falla durante el tiempo de garantía no significa que el producto no fallará nunca, si bien se desconoce el momento exacto en el que ocurrirá la falla por lo menos se sabe que esta ocurrirá después del tiempo de garantía, es decir el tiempo de falla “Tf” es mayor al tiempo de garantía “Tg” “Tg” (Tf > Tg), de la misma manera una observación es censurada por la izquierda si se desconoce el momento exacto en el que ocurrió el fallo, pero se sabe que ocurrió antes del tiempo de garantía, (Tf<Tg) y así mismo es censurada por intervalo si solo se sabe que la falla se presentó entre dos momentos en el tiempo (T_1< Tf <T_2), esta peculiaridad en los datos de confiabilidad, hace que los métodos clásicos de estimación tengan que ser adaptados. Entre los modelos univariantes, más comúnmente utilizados dado su demostrada utilidad en casos prácticos son las distribuciones exponencial, gamma, Weibull, normal, log-normal y log-logística [2, 13]. Entre los métodos no paramétricos se encuentran el estimador de Kaplan-Meier para datos censurados por derecha y con el estimador de máxima verosimilitud de Turnbull para estimación bajo cualquier otro tipo de censura (censura arbitraria).

En el presente trabajo, se analizaron datos provenientes de reclamos por garantías de una empresa internacional con presencia en México, que desarrolla, fabrica y distribuye sistemas y componentes innovadores para la industria automotriz, los datos analizados fueron recuperados de una base de datos extremadamente compleja, proporcionada por la compañía, que contenía información relacionada con el desempeño en campo de sus productos durante los años 2013 - 2016, (Reclamos por garantías, modos de falla, proyectos, productos, ventas etc.), al tiempo del análisis la frecuencia de reclamos por garantía era excesivamente alta para dicho periodo de tiempo, adicionalmente un aspecto de suma importancia, tal vez aún más grave es el hecho de que se desconocía cuantos productos aún podrían fallar antes de su tiempo de garantía de 36 meses, lo cual constituye una limitante para la toma de decisiones en cuanto a la presencia de sus productos en el mercado, así como la preparación para afrontar los costos relativos a pagos por garantías. El objetivo de este estudio fue determinar la probabilidad de que las piezas ensambladas y distribuidas durante este periodo de tiempo fallen antes del tiempo de garantía de 36 meses, así como analizar los modos de falla de manera que los resultados pueda servir como referencia para la toma de decisiones en cuanto a la optimización de procesos y productos, así como a las políticas de garantía ofrecidas a los clientes para reducir costos por este concepto.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Datos.

Se analizó la base de datos en Excel proporcionada por la compañía, eliminando los reclamos que no correspondían al No. de parte evaluado, (Por interés de la compañía este estudio se centró en un solo número de parte), también se eliminó la información poco relevante (data cleaning), se utilizaron específicamente las variables fecha de venta del vehículo, y fecha de reclamación, se determinó el tiempo de vida del producto, calculando los días que transcurrieron desde la venta del auto hasta la fecha del reclamo, restando ambas fechas (fecha de reclamación - Fecha de venta del vehículo), posteriormente se redondeó hacia arriba para evitar tener ceros en esta variable y se dividió entre 30.4 para que los días de los 3 años de garantía considerados se dividan exactamente entre los 36 meses y evitar que los reclamos cercanos al final del plazo de garantía estuvieran fuera de los 36 meses pactados. Así, la variable resultante representa el tiempo de vida del producto en meses. Adicionalmente se consideraron los datos de la cantidad total de ventas de la autoparte mes a mes desde enero del 2013 así como la causa del reclamo o modo de fallo, se asumió que el total de productos que se vendieron, se

instalaron en un automóvil, es decir, no se consideró el caso de que algunas de estas autopartes fueran destinadas a refacción o que se encontraran aun en inventario, esto permite ser conservadores al momento de estimar las funciones de confiabilidad o de fallo.

Como parte de la estructura de los datos se determinó que la variable tiempo de vida en meses presentaba diferentes tipos de censura: por intervalos, que son las piezas que fallaron entre 0 y 1 mes, entre 1 y 2 meses y así sucesivamente hasta 35 a 36 meses; de igual manera se consideraron datos censurados por la izquierda a los registros que no tenían fecha de venta del vehículo capturada, es decir no fue posible estimar su tiempo de vida, pero al estar clasificados como reclamos por garantías, se asume que fallaron antes de la fecha de reclamo, por otro lado se consideraron datos censurados por derecha a las piezas que no fallaron al tiempo de garantía, o que no habían fallado pero que aún se encontraban dentro del plazo de garantía. Con los datos anteriores se construyó una tabla de frecuencias para el tiempo de vida de los productos ensamblados, donde cada intervalo de censura representa una clase, a estos datos se les ajustó un modelo paramétrico y uno no paramétrico, libre de distribución.

2.2. Modelo Estadístico

2.2.1 Modelo Paramétrico

Para fines de modelado se empleó la distribución Weibull, debido a su versatilidad, ya que puede ajustarse tanto a datos que presentan tasas de fallo crecientes como decrecientes, el producto por su parte puede presentar envejecimiento o desgaste, por lo que su tasa de fallo tendrá una tendencia creciente, la función de confiabilidad para la distribución Weibull se define como:

$$R(t) = \int_{t}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}\right] dt$$

Para evaluar la idoneidad del modelo, se determinó la bondad de ajuste, una vez evaluada la bondad de ajuste se estimaron los parámetros del modelo y se calculó la función de fallo, para el periodo de garantía de 36 meses por medio del software estadístico Minitab.

2.2.2 Modelo No Paramétrico

Con el propósito de comparar las estimaciones basadas en el modelo de paramétrico, se utilizó también el estimador no paramétrico de máxima verosimilitud (NPMLE, por sus siglas en inglés) de Turnbull para estimación bajo censura arbitraria, este método presenta un menor sesgo en comparación con otros modelos no paramétricos cuando se necesita realizar un análisis de supervivencia con censuras arbitrarias [19, 20, 21] . Los cálculos fueron realizados también por medio de Minitab.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. Tabla de Frecuencias

En la tabla 1, se muestran las frecuencias de fallo para cada intervalo de censura, el signo + significa censura por la derecha, por ejemplo, 36 + significa que solo se sabe que hasta el mes 36 ese producto no presentó falla, 35 +, significa que hasta el mes 35 ese producto no presentó falla, pero que aún le falta un mes para terminar su periodo de garantía, de la misma manera 34+ significa que hasta el mes 34 ese producto no presentó falla, pero que aún le faltan dos peses para terminar el periodo de garantía, y así sucesivamente hasta 1 +, los intervalos que inician en cero, significan censura por izquierda.

Tabla 1. Tabla de Frecuencia para los tiempos de vida de los productos ensamblados y distribuidos por la empresa

LI	LS	Frecuencia	LI	LS	Frecuencia
0	1	37	33	+	3558
1	2	16	32	+	2446
2	3	23	31	+	1586
3	4	26	30	+	1745
4	5	31	29	+	1853
5	6	42	28	+	2302
6	7	44	27	+	2592
7	8	42	26	+	2565
8	9	38	25	+	2393
9	10	34	24	+	1770
10	11	29	23	+	720
11	12	41	22	+	1999
12	13	65	21	+	2580
13	14	57	20	+	2342
14	15	74	19	+	2589
15	16	87	18	+	2336
16	17	63	17	+	2265
17	18	79	16	+	2313
18	19	80	15	+	2324
19	20	57	14	+	2026
20	21	47	13	+	2292
21	22	44	12	+	1966
22	23	64	11	+	2066
23	24	65	10	+	1692
24	25	62	9	+	1898
25	26	34	8	+	2353
26	27	32	7	+	2552
27	28	52	6	+	1919
28	29	40	5	+	1776
29	30	37	4	+	1572
30	31	31	3	+	2255
31	32	19	2	+	1818
32	33	18	1	+	1578
33	34	22	0	9	2
34	35	15	0	7	2
35	36	14	0	6	3
36	+	28648	0	4	3
35	+	2644	0	3	2
34	+	3555	0	2	2

3.2. Análisis estadístico (Ajuste de modelos)

Los resultados del ajuste del modelo Weibull se muestra en la siguiente grafica de probabilidad (Fig.1), como se puede observar, el análisis de la distribución Weibull presentó una adecuada bondad de ajuste (Anderson-Darling ajustado = 912.090), si los datos, en efecto, provienen de la distribución ajustada, entonces estos seguirán una línea recta, los parámetros de forma y escala fueron estimados en 1.37634 y 527.015 respectivamente

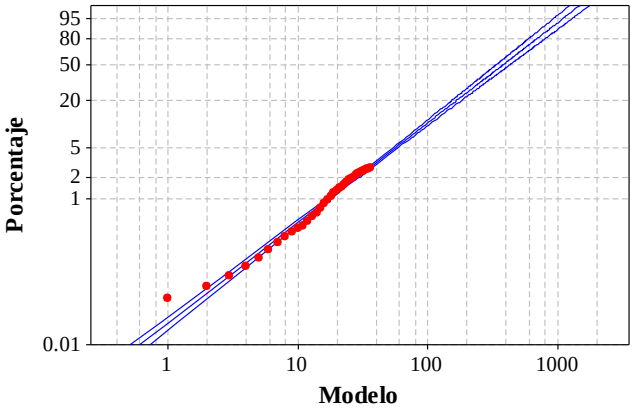

Fig. 1. Grafica de Probabilidad de Weibull 95% de IC ajustada a los datos de vida (*Método de Máxima Verosimilitud*)

3.3. Función de Fallos

La figura 2. Muestra la probabilidad de falla acumulada para el tiempo de garantía de 36 meses utilizando los parámetros obtenidos de la distribución Weibull, la probabilidad es demasiado alta, existe la probabilidad de que 2.45% de las piezas fabricadas y distribuidas fallen durante el periodo de garantía, esto equivale a 24,570 defectos por cada millón de oportunidades (DPMOs.).

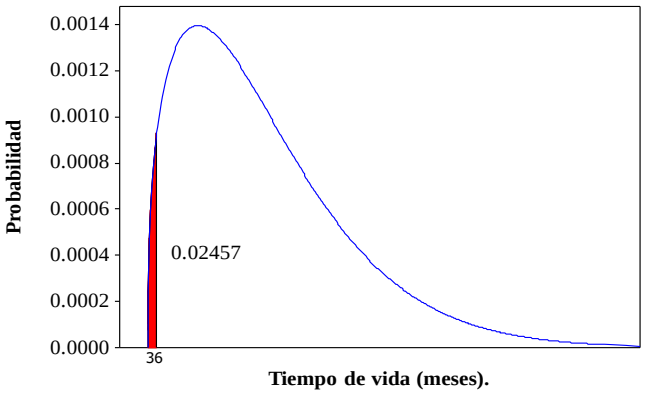

Fig. 2. Grafica de probabilidad de falla acumulada para el tiempo de garantía de 36 meses (Distribución Weibull)

En la figura 3 se muestra los resultados del análisis mediante el modelo no paramétrico de máxima verosimilitud de Turnbull, en general, estos muestran que con este modelo libre de distribución la probabilidad acumulada de falla a los 36 meses es similar al resultado basado en el modelo de Weibull, (0.0263 vs 0.0254), esto sirve de referencia, ya que como se mencionó antes el modelo de Turnbull es adecuado cuando se necesita realizar un análisis de supervivencia con censuras arbitrarias, sin embargo de manera general los modelos paramétricos tienen un mayor poder de prueba, adicionalmente, debido a que se cuenta con un tamaño de muestra lo suficientemente grande, es recomendable el uso de modelos paramétricos.

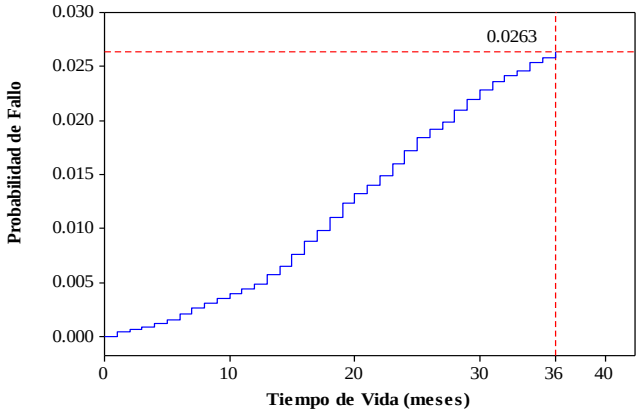

Fig. 3. Grafica de fallas acumuladas para el tiempo de garantía de 36 meses (Técnica de Turnbull)

En la Figura 4, se observa como varía la probabilidad de fallo acumulada obtenida mediante el ajuste de la distribución Weibull en relación al tiempo de vida de los productos evaluados, a pesar de que al tiempo del análisis las políticas de garantías estaban ya definidas y acordadas con los clientes, para futuras negociaciones, se puede observar que el reducir al tiempo de garantía de 36 a 24 meses, la probabilidad de falla se reduce de 2.45% a 1.41%, en DPMOs de 24,570 a 14,100.

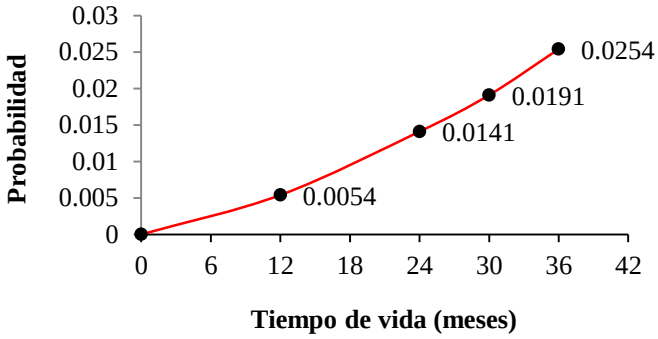

Fig. 4. Grafica de probabilidad de falla acumulada para el tiempo de garantía de 24 meses (Distribución Weibull)

3.4. Análisis del Modo de Falla

Los resultados del análisis de los modos de falla, se muestran en la Figura 5, en común acuerdo con la empresa e involucrando al personal directamente relacionado con el proceso, se analizaron 34 modos de falla reportados en los reclamos por garantías, se agruparon por afinidad todos aquellos modos de falla relacionados con una misma causa potencial.

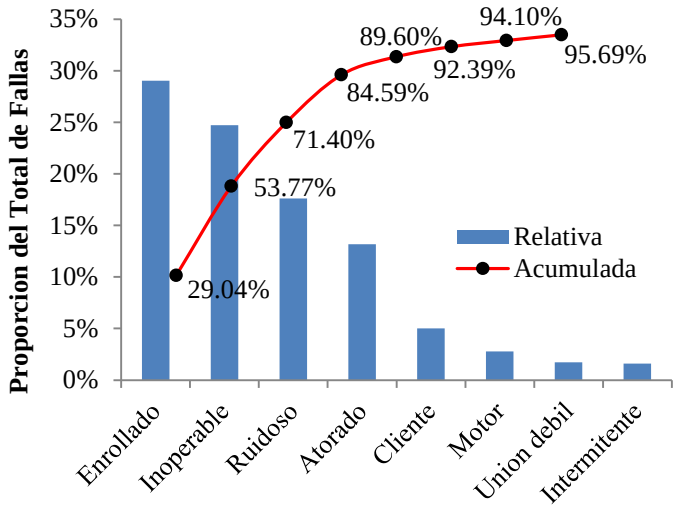

Fig. 5. Diagrama de Pareto para los principales de Modos de falla

En esta figura se puede observar claramente que el principal problema está relacionado con todos los modos de falla de enrollado (29.4%), de la misma manera podemos observar que entre los tres principales problemas (enrollado, inoperable y ruidoso) se encuentra más del 70% de los defectos.

Este análisis ayuda a la compañía enfocar esfuerzos para realizar acciones correctivas que resulten en la reducción o eliminación de este tipo de defectos, lo que permitiría aumentar la confiabilidad del producto, reduciendo por consecuencia las probabilidades de falla y los costos por concepto de pago de garantías, para evaluar este efecto, se eliminaron los registros relacionados con el modo de falla de enrollado, y se volvieron a calcular los parámetros de forma y escala de la distribución Weibull, y posteriormente se recalculó la función de fallos acumulada para el periodo de garantía de 36 meses, y los resultados se muestran en la figura 5, se puede observar que si se logra eliminar el problema de enrollado, la probabilidad de falla se reduce considerablemente, de 2.45% a 1.7%, en DPMOs de 24,570 a 17,000, lo que sería aproximadamente similar a ofrecer un periodo de garantía de 24 meses (1.41%).

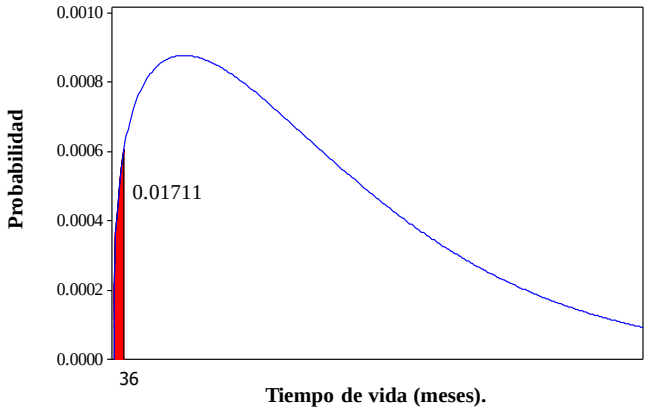

Fig. 5. Grafica de probabilidad de falla acumulada para el tiempo de garantía de 36 meses eliminando el problema de enrrollado (Distribución Weibull).

En la Tabla 2, se describe un análisis del ahorro generado por conceptos de pago de garantías en función de las probabilidades de falla descritas en los escenarios anteriores, con la totalidad de los reclamos y eliminando los registros referentes al modo de falla de enrollado.

Tabla 2. Tabla de Frecuencia para los tiempos de vida de los productos ensamblados y distribuidos por la empresa

Vol. Ventas (Pzas)	Probab. Falla Estimada	No. de Fallas Estimadas	Costo Promedio Garantía (USD)	Costo de Garantía Esperado (USD)
23,834	0.0245*	584	$150	$87,600
23,834	0.017**	406	$150	$60,900
Ahorro Estimado				$26,700

* Probabilidad de Falla asociada con el total de defectos
** Probabilidad de falla eliminando el problema de enrrollado

Acorde con el pronóstico de ventas (master production plan) para el 2017 se tiene previsto un volumen de ventas para este componente de 23,834 piezas, de las cuales se espera que 584 fallen antes de 36 meses, en promedio el costo de garantía se estimó en $150 Usd, lo que produce un costo esperado para el 2017 de $87,600 Usd, de las 584 piezas, se espera que 178 sean defectos relacionados con el problema de enrrollado, por lo que si se enfocan los esfuerzos de la compañía en eliminar este modo de falla, el ahorro esperado por este concepto sería de $26,700 Usd.

4. CONCLUSIONES

El objetivo del análisis de datos de garantías es extraer información útil que ayude en la toma de decisiones, para lograrlo, la estadística desempeña un papel fundamental así mismo es de vital importancia obtener la mejor información para asegurar la confiabilidad deseada. Los datos provenientes de reclamos por garantía son útiles para detectar defectos prematuros en los productos de manera que puedan proporcionar a los fabricantes la oportunidad de descubrir indicios de problemas inesperados de calidad y confiabilidad, otros de los beneficios del análisis de datos de garantía es que proporciona información útil para la modificación y mejora del producto, además es útil para estimar y explicar los costos de los reclamos de garantía, para predecir las reclamaciones futuras y el costo de garantía así como para estimar la confiabilidad y las probabilidades de fallo del producto para decidir sobre la política de garantía y la permanencia del producto en el mercado.

La estimación de la confiabilidad de los productos a partir de los datos de garantía, refleja el desempeño real del producto y es más informativo que los datos de pruebas recopilados en los laboratorios. Históricamente, el análisis de los datos de garantía se ha centrado en aspectos de comerciales y de mercadeo, sin embargo es necesario realizar mayores esfuerzos para desarrollar métodos estadísticos para estimar la confiabilidad en el campo del producto y desarrollar procedimientos de recolección de información y planes de prueba y ensayo.

5. REFERENCIAS

[1] L. Escobar, E. R. Villa Diharce y S. Yáñez, «Confiabilidad: Historia, estado del arte y desafios,» *Dyna*, vol. 70, nº 140, pp. 5-21, Noviembre 2003.

[2] W. Meker y L. Escobar, Statistical Methods of Reliability Data, New York: Wiley, 1998.

[3] L. Condra, Reliability Improvement with Design of Experiments, Second ed., M. Dekker, Ed., New York, 2001.

[4] Y. Lu, H. T. Loh, Y. Ibrahim, P. C. Sander y A. C. Brombacher, «Reliability in a time-driven product development process,» *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 15, pp. 427-430, 2000.

[5] V. T. Petrova, P. C. Sander y A. C. Brombacher, «The rol of the service centre in imporvement processes,» *Quality and Reliability Engineering International*, nº 15, pp. 431-437, 1999.

[6] V. Petrova, P. Sander y A. Brombacher, «The use of quality metrics in service centres,» *International Journal of Production Economics*, vol. 67, pp. 27-36, 2000.

[7] R. A. Ion, V. T. Petkova y B. H. J. Peet, «Field Reliability Prediction in Consumer Electronics using Warranty Data,» *Quality and Reliability Engineering International*, nº 23, p. 401–414, 2007.

[8] K. Susuki, Role of field performance data and its analysis, London: Balakrishnan N. CRC Press, 1995, pp. 141-151.

[9] K. Susuki, «Estimation of lifetime parameters from incomplete field data,» *Technometrics*, vol. 27, pp. 263-271, 1985.

[10] K. Susuki, «Nonparametric Estimation of Lifetime Distributions from a Record of Failures and Follows-ups,» *Journal of the American Statistical Association*, vol. 80, pp. 68-72, 1985.

[11] M. R. Karim y K. Susuki, «Analysis of warranty claim data: A literature review,» *International Journal of Quality and Reliability Management*, vol. 22, pp. 667-686, 2005.

[12] J. D. Kalbfleisch, J. F. Lawless y J. A. Robinson, «Methods for the analysis and prediction of warranty claims,» *Technometrics*, vol. 33, pp. 273-285, 1991.

[13] J. F. Lawless, X. J. Hu y J. Cao, «Methods for the estimation of failure distributions and rates from automobile warranty data.,» *Lifetime Data Analysis*, vol. 1, pp. 227-240, 1995.

[14] J. F. Lawless, «Statistical analysis of product warranty data,» *International Statistical Review*, vol. 66, pp. 41-60, 1998.

[15] J. Klein y M. Moeschberger, Survival analysis: techniques for censored and truncated data, New York: Springer, 1997.

[16] P. K. Andersen, O. Borgan, R. D. Gill y N. Keiding, Statistical models based on counting processes, New York: Springer-Verlag, 1993.

[17] D. R. Cox y D. Oakes, Analysis of survival data, Chapman & Hall, 1984.

[18] J. F. Lawless, Statistical Models and Methods for Lifetime Data, 2nd ed., Wiley, 2002.

[19] R. Peto, «Experimental survival curves for interval-censored data,» *Journal of the Royal Statistical Society*, vol. 22, pp. 86-91, 1973.

[20] B. W. Turnbull, «Nonparametric estimation of a survivorship function with doubly censored data,» *Journal of the American Statistical Association*, vol. 69, nº 345, pp. 169-173, 1974.

[21] B. W. Turnbull, «The empirical distribution function with arbitrarily grouped censored and truncated data,» *Journal of The Royal Statistical Society*, vol. 38, nº 3, pp. 290-295, 1976.

[22] L. García, «La disponibilidad como objetivo,» *Ingeniería Química*, vol. 28, nº 320, pp. 189-194, 01 1996.