

Root-cause analysis in the aftersales management

Vicente González-Prida¹, Luis Barberá¹, Adolfo Crespo¹, Pablo Viveros²,
Fredy Kristjanpoller²

¹Departamento de Organización Industrial, Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla.
Camino de los Descubrimientos s/n, 41092, Sevilla, España.

vicente.gonzalezprida@gdels.com, lbm@esi.us.es, adolfo.crespo@esi.us.es

²Departamento de Industrias, Universidad Técnica Federico Santa María.
Av. España 1680, Valparaíso, Chile. *pablo.viveros@usm.cl, fredy.kristjanpoller@usm.cl*

Abstract

This article focuses on one of the steps proposed by the authors as a framework for improving the management of post-sale service. Specifically, the referred step tries to apply root cause analysis of failures to improve the organization of warranty support. This analysis can help make better decisions within the scope of after-sales service, for example, whether a particular incident should be treated under warranty or not. This article begins with an introduction to the current concept of warranty, briefly describing the proposed framework and the relevant literature related to such customer service. Thus, the reader can place the step to be developed in a context of useful tools and methodologies for the management of post-sale service. Therefore, the main aspects of Root Cause Analysis are defined with the intention to apply these concepts in the management of those incidents reported by the user. With this objective, this article aims to adapt a developed and applied tool of the maintenance management (Root Cause Analysis) to a new field, in this case, the customer service. At the end of this article the main contributions for this work are summarized.

Keywords: root cause analysis, technical support, warranty management, post-sale service.

Análisis causa-raíz en la gestión del servicio post-venta

Resumen

Este documento se centra en una de las etapas propuestas por los autores como marco de referencia para mejorar la gestión del servicio post-venta. Concretamente, la etapa referida trata de aplicar el análisis causa-raíz de fallos para la mejora de la organización de las asistencias en garantía. Dicho análisis permitetomar mejores decisiones dentro del ámbito del servicio post-venta como, por ejemplo, saber si una determinada incidencia debe ser tratada en garantía o no. A tal efecto, el artículo comienza con una introducción a la noción actual de garantía, describiendo brevemente la propuesta de marco de referencia y la literatura relevante relacionada con este servicio al cliente. A continuación, los principales aspectos del Análisis Causa-Raíz se definen con el fin de aplicar estos conceptos en la gestión de aquellas incidencias comunicadas por el propio usuario. Con este objetivo, el presente trabajo pretende adaptar una herramienta desarrollada y aplicada en la gestión del mantenimiento (el Análisis Causa-Raíz), a un nuevo campo como es el del servicio de atención al cliente. Al final del documento se presentan las conclusiones donde se resumen las principales aportaciones de este trabajo.

Palabras clave: análisis causa-raíz, asistencia técnica, gestión de la garantía, servicio post-venta.

Introducción

La garantía se define generalmente como aquella política para el aseguramiento de la calidad que se aplica a todos los clientes de modo que los bienes o servicios adquiridos cumplan con sus especificaciones y requisitos y, en caso contrario, sean reemplazados o reparados. Este servicio se aplica durante un período de tiempo tras la venta del producto. La gestión de dicha política combinará por tanto acciones técnicas, administrativas y de organización durante el período de vigencia con el fin de mantener o restaurar el elemento a un estado en el que puede realizar la función deseada [1]. Existen diferentes modalidades de garantías adecuadas según el tipo de producto (productos de consumo, comerciales, industriales, estándar frente a personalizados...) como los mencionados en [2], [3]. Un aspecto clave en la gestión de la garantía es el hecho de que las decisiones estratégicas con respecto a ésta deben comenzar en una etapa muy temprana del ciclo de vida del producto y no como una idea posterior justo antes de la fase de lanzamiento [3]. Todas estas cuestiones son circunstancias negativas que un buen gestor del servicio postventa debería evitar. Así mismo, para una gestión eficaz de la fiabilidad del producto es necesario tener en cuenta la relación entre garantía y fiabilidad [4]. Algunos autores tratan de identificar el proceso, las acciones, los escenarios, las herramientas y las técnicas o métodos de apoyo que son necesarios para gestionar adecuadamente los costos de garantía. Un buen sistema de gestión de la garantía ayudará a alcanzar con éxito el objetivo empresarial de desempeñar satisfactoriamente el servicio postventa. En líneas generales, el objetivo de una compañía es incrementar sus beneficios. Desde la perspectiva de la garantía, esto involucra maximizar la confiabilidad de los productos incluyendo la prolongación de la vida de los mismos [5]. El objetivo de la Gestión de Activos que se ponen a la venta es predecir tanto alteraciones como detenciones no planificadas en su funcionamiento, así como minimizar las pérdidas de rendimiento del mismo. De este modo, la prioridad es determinar una secuencia de acciones eficientes, las cuales aseguren mínimas pérdidas de funcionamiento y que maximicen la utilidad del producto por parte del usuario [6]. Sobre los antecedentes y descripción de un marco de re-

ferencia propuesto para la gestión postventa de activos industriales, se sugiere consultar la referencia [7].

Análisis causa-raíz para la identificación de causas físicas de incidencias en garantía

El desarrollo de nuevas tecnologías y prácticas en la gestión implica que el equipo técnico de asistencia al cliente debe estar dotado de habilidades técnicas y de gestión [8], con lo que se justifica la utilización de herramientas más complejas que permitan generar soluciones de mantenimiento y garantía más certeras que minimicen la incertidumbre. La implementación de las metodologías de mantenimiento reduce significativamente los costos de garantía mediante la focalización en las causas raíces de los fallos, para lo cual dos herramientas, el Mantenimiento Productivo Total (TPM) y el Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) adaptados al servicio postventa son útiles para afrontar y superar estos desafíos [9].

Más concretamente, el RCM es una herramienta que integra las prácticas de las estrategias mantenimiento Correctivo, Preventivo y Predictivo (o basado en condición, CBM), el cual está diseñado para minimizar los costos de mantenimiento [10] mediante el balance de los altos costos del mantenimiento correctivo con los costos de las políticas del mantenimiento programado (preventivo o predictivo), tomando en consideración la pérdida potencial de vida útil del equipo en cuestión [11]. El RCM, así como su adaptación al caso de la gestión de la garantía analiza las funciones y los fallos de un sistema e identifica las consecuencias de éstos para implementar medidas preventivas utilizando un procedimiento de resolución lógico y estandarizado [12], sin embargo, el análisis no conlleva una investigación profunda para identificar los mecanismos de fallo y las causas reales del mismo [13]. El Mantenimiento Proactivo utiliza herramientas tales como el Análisis de Causa Raíz de Fallos (RCFA), Análisis de Modos y Efectos de Fallo (FMEA), Análisis Crítico (CA), Testeo de Aceptación (Acceptance Testing) y Exploración de Edad (AE). Algunos autores incluso hacen una distinción e identifican una sub-rama en el Mantenimiento Proactivo, denominado Mantenimiento Radical (RM), el cual involucra la de-

tección y predicción de causas raíces de fallos, para posteriormente tomar las medidas adecuadas para eliminar las causas raíces o a las condiciones que las inducen [14]. Existe una amplia variedad de herramientas y métodos para determinar las causas raíces de determinados eventos o fallos [15]. Éstas varían en complejidad, calidad de la información requerida y aplicabilidad de sus resultados. En general, las más utilizadas son las mostradas en la Tabla 1.

Estas metodologías tienen diferencias sustanciales, pudiéndose clasificar en cualitativas y cuantitativas [16], [17], [6]. Mientras que las metodologías cualitativas se realizan generalmente en forma de brainstorming, las metodologías cuantitativas pueden llegar a utilizar métodos matemáticos complejos. Otras herramientas son también:

- Análisis del Cambio
- Árbol de Realidad Actual (CRT)
- Análisis de Modos y Efectos de Fallo (FMEA)

La importancia del uso de las herramientas de Análisis de Causa Raíz para el mantenimiento radica en la necesidad de entender las causas principales de fallo sobre las cuales la administración, la gestión o la operación puedan tener incidencia, de manera que se puedan evitar los fallos crónicos y recurrentes mediante un determinado plan de acción. En este sentido, no es suficiente con encontrar las causas origen de los fallos, sino que es necesario generar acciones correctivas y esencialmente preventivas, siendo aquí donde el uso de este tipo de herramientas juega un papel fundamental. Las Redes Bayesianas (BN) se pueden utilizar como soporte para la toma de decisiones basado en un razonamiento probabilístico, ya que permiten calcular probabilidades de eventos futuros y tienen capacidad para adaptarse a los cambios [18]. Además, el objetivo del monitoreo y del diagnóstico es ser capaz de integrar el conocimiento previo de los procesos con la evidencia física observada en el presente para, de este modo, generar la explicación más plausible del comportamiento del proceso. El teorema de Bayes incorpora este tipo de soporte predictivo al diagnóstico [19]. En el diagrama de flujo que se presenta en la Figura 1, basado en los trabajos de [7], [13], se muestra la ubicación de las distintas metodologías de Análisis de Causa Raíz en un modelo de gestión del mantenimiento por etapas.

Tabla 1

Métodos para determinar las Causas-Raíces

Métodos para determinar las causas raíces	
	- Análisis de Árboles de Fallo (FTA)
Cuantitativas	- Análisis de Pareto
	- Inferencia Bayesiana
	- Análisis de los 5 Por Qué
Cualitativas	- Diagrama de Ishikawa
	- HAZOP

Aquí se puede observar lo siguiente:

- El Análisis de Pareto se ubica en la etapa de jerarquización de equipos críticos, debido a que junto a la matriz de criticidad, puede ayudar a determinar qué equipos son críticos a nivel sistémico.
- El FMEA puede ser utilizado en la etapa de Análisis de Puntos débiles de los equipos críticos, donde una evaluación de causas, modos de fallo y efectos puede considerarse relevante.
- El Análisis Crítico ayuda a determinar si los puntos débiles de los equipos críticos son significativos en el performance del sistema.
- El FTA o la Inferencia Bayesiana pueden ser utilizados para realizar un análisis más complejo de determinación de las causas raíces de los fallos en equipos y los puntos débiles críticos tanto para el sistema, como para correcto desarrollo del plan de acción definido en base a la estrategia de mantenimiento adoptada.

Por todo lo anterior, cabe destacar que el funcionamiento óptimo de las metodologías se logra cuando se utilizan adecuadamente para un determinado requerimiento de una etapa específica dentro del marco de la gestión global del servicio post-venta, en función de sus características y requerimientos de información y recursos.

Modelos de análisis de causa raíz y su adaptación al servicio post-venta

Clasificación según el enfoque

La causa raíz de un fallo puede ser definida como la causa más básica la cual puede ser razo-

nablemente identificada (Tabla 2) y sobre la cual la organización tiene control [20]. La literatura que soporta este enfoque identifica tres niveles de causa raíz del fallo de un sistema:

- Causa Raíz Física: Fallo de un equipo causado por razones físicas.
- Causa Raíz Humana: Fallo de un equipo causado por la intervención humana.

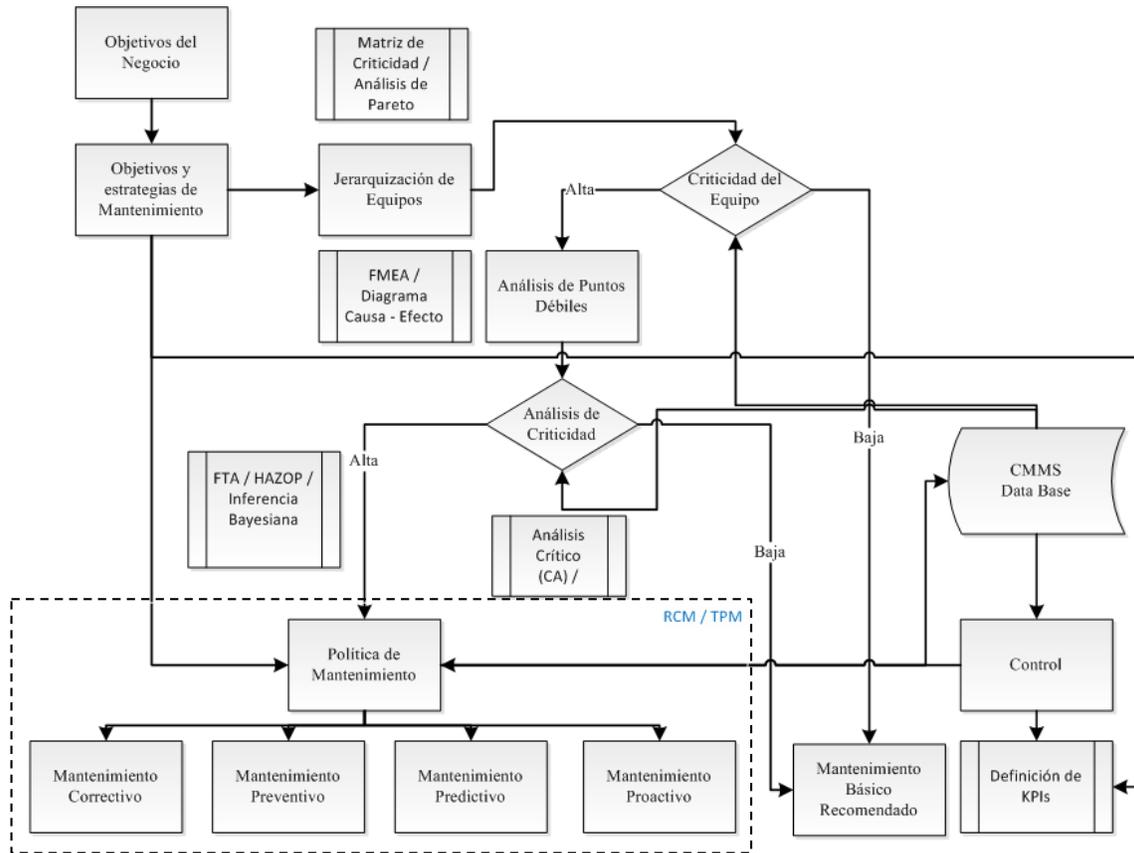


Figura 1. Ubicación de las metodologías RCA.

Tabla 2
Clasificación en grupos de los RCA en base a su enfoque

Grupos Análisis Causa Raíz	Descripción
Deductivo	Enfoque que implica un razonamiento desde lo general a lo específico (Ejemplo: Análisis de Árbol de Fallas).
Inductivo	Enfoque que implica un razonamiento desde casos individuales hasta conclusiones generales, entregando un enfoque general (Ejemplos: Diagrama de Causa y Efecto, Análisis HAZOP).
Morfológico	Método basado sobre la propia estructura del sistema sometido a estudio. Se enfoca en los elementos potencialmente peligrosos, concentrándose en factores que tienen la mayor influencia sobre la seguridad del sistema.
Técnicas no orientadas a sistemas	Conceptos y técnicas no orientadas a sistemas como los anteriores (Ejemplos: Análisis del Cambio, Estudio de Probabilidad de Error Humano).

- Causa Raíz Latente: Fallo de un equipo causado por decisiones a nivel organizacional que desencadenan un evento de fallo.

El Análisis de Fallo (FA) o Análisis de Causa Raíz (RCA) consiste en examinar detalladamente los ítems que llegan al estado de fallo para determinar la causa raíz del mismo y mejorar la confiabilidad del sistema [21].

Este proceso identifica factores causales utilizando un enfoque estructurado con técnicas diseñadas para lograr una orientación adecuada y permitir así, la identificación y resolución de problemas. Su ejecución elimina o minimiza aquellas causas raíces que pueden generar fallos recurrentes, no centrándose en las consecuencias propias del fallo [22]. Dentro de los métodos de Análisis de Causa Raíz se pueden distinguir cuatro grupos según se muestra en la Tabla 2 [23]. Para profundizar en las metodologías de Análisis Causa Raíz más utilizadas, se sugiere consultar la referencia [24].

Mejoras en el programa de garantías

En los apartados anteriores hemos observado que existen diferentes métodos ya desarrollados para llevar a cabo el análisis de puntos débiles en un producto lanzado al mercado. Tal como hemos visto, el análisis causa-raíz considera acciones con el fin de descubrir el motivo de la aparición de un fallo específico y cómo corregir sus causas. Una posible clasificación de las causas po-

dría ser, naturalmente, para saber si la incidencia debe ser atendida o no por la garantía (Figura 2), haciendo énfasis en aquellas reclamaciones de causas aún desconocidas.

En cualquier caso, este análisis ayudará a readaptar las consideraciones adoptadas inicialmente en la etapa anterior del marco de referencia propuesto (el Cuadro de Mando Integral), mejorando de esta manera la eficacia del programa de garantía. Un detallado análisis causa raíz de fallos puede consistir en:

- Determinar la causa raíz de la avería
- Proponer, testear y validar hipótesis
- Recomendar acciones preventivas
- Aplicar mejoras
- Formar un equipo de expertos
- Recopilar evidencias
- Analizar resultados y determinar las causas del fallo.

Con lo anterior, para asistir a las garantías con el mínimo desperdicio, gastos o esfuerzos innecesarios, es necesario diseñar un plan adecuado para el programa de gestión de las garantías. El plan para un determinado producto requiere la identificación de sus funciones, la forma en que estas funciones pueden fallar y, a continuación, establecer un conjunto de tareas aplicable y eficaz, basado en consideraciones de seguridad de los productos y de los servicios.

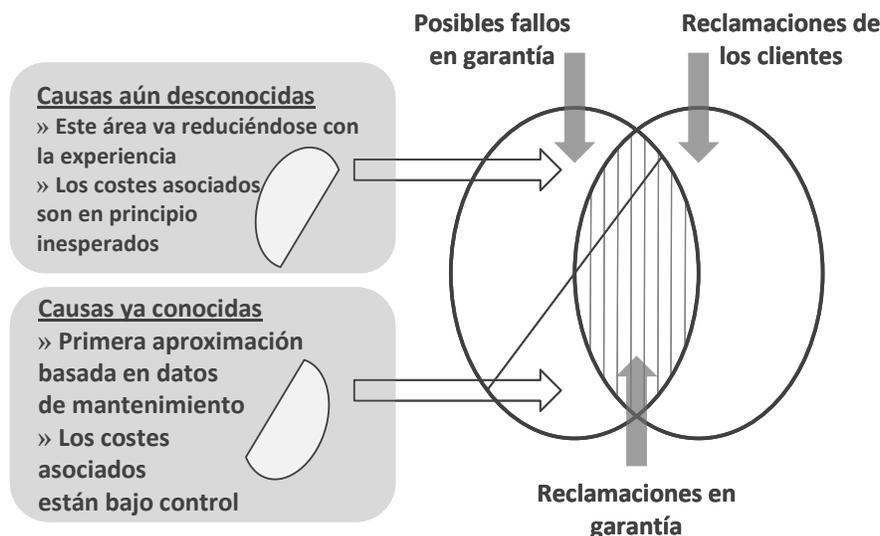


Figura 2. Posible clasificación de causas.

Un método que puede ayudar a elaborar ese plan al comienzo del programa de garantías se puede extraer de las técnicas de gestión del campo de mantenimiento. En particular, será útil la aplicación adaptada de un análisis de la fiabilidad y de herramientas de diseño para el mantenimiento, como por ejemplo el uso del ya descrito FMECA para el diseño genérico de un plan de mantenimiento. Un plan de mantenimiento inicial, aplicado al horizonte de tiempo de la garantía, puede suponer una primera aproximación para la planificación de las capacidades en garantía, el aprovisionamiento de piezas de repuesto, la programación de tareas para las asistencias, el nivel de formación de los técnicos, etc. La planificación y la mejora de la programación aplicada a la gestión postventa pueden mejorar la eficacia y la eficiencia de las políticas del programa de garantías. Aunque no entra dentro de los objetivos de este artículo y, a fin de no extender excesivamente el mismo, se sugiere consultar la referencia [16] en donde se muestra un caso práctico de implementación de una de las metodologías aquí mencionadas, concretamente, la Inferencia Bayesiana. Aquel caso trataba en particular la integración de la garantía como variable de decisión en el proceso de renovación en la certificación de las piezas resultantes de un sistema industrial complejo, cuando este se desmantela al final de su ciclo de vida útil.

Ventajas e inconvenientes

Las herramientas o metodologías descritas anteriormente tienen ventajas e inconvenientes intrínsecos a cada una de ellas. Dependiendo del tipo y profundidad del análisis que se realice, es necesario evaluar cada metodología para utilizar solo aquella que mejor se adapte a las necesidades abordadas. Si bien todas las metodologías tienen la capacidad de definir el problema analizado, los diagramas de Causa y Efecto no muestran todas las relaciones causales entre el efecto primario y las causas raíces ni tampoco son capaces de entregar una ruta clara hacia las causas raíces dado que sólo categorizan u ordenan causas aisladas en grupos que producen un efecto primario. Sin embargo, poseen un bajo nivel de requerimiento de información y recursos y son relativamente fáciles de utilizar [25]. La Tabla 3 presenta un cuadro resumen comparativo en base

un conjunto de criterios, para las metodologías comúnmente utilizadas en análisis RCA. Un plan de mantenimiento inicial, aplicado al horizonte de tiempo de la garantía, puede suponer una buena primera aproximación para la planificación de las capacidades en garantía, el aprovisionamiento de piezas de repuesto, la programación de tareas para las asistencias, el nivel de formación de los técnicos, etc.

El estudio HAZOP es un estudio estructurado en forma de brainstorming y desarrollado por personas muy interiorizadas en el problema a resolver, por lo que es altamente dependiente de la experiencia de los encargados de realizarlo y debe ser llevado a cabo en varias sesiones, lo que requiere tiempo y otros recursos. Su ventaja radica en los planes desarrollados para prevenir la recurrencia [26]. El FMEA es efectivo para encontrar las causas de fallo de un componente, no obstante, pierde capacidad para resolver problemas complejos al no poder establecer relaciones causales más allá del modo de fallo que está siendo analizado. El Análisis de Árbol de Fallos es un método cuantitativo que funciona extremadamente bien en problemas ingenieriles, encontrando causas relacionadas al diseño original del sistema, determinando escenarios posibles y seleccionando soluciones apropiadas, siempre que no se incluyan factores humanos [17].

Por su parte, la Inferencia Bayesiana (a pesar de requerir mayores recursos y tener una menor facilidad de uso) presenta grandes capacidades para establecer relaciones causales para un gran número de variables y es apto como soporte a la toma de decisiones para prevenir la recurrencia [6]. Su estructura facilita la combinación del conocimiento previo, ya sea obtenido de forma causal o de datos observados. Las redes bayesianas pueden ser utilizadas para conocer las relaciones causales, facilitar la comprensión y la forma óptima de análisis del problema y para predecir eventos futuros [16], [25]. En cualquier caso, los criterios de comparación de las diferentes técnicas pueden mejorarse y afinarse agregando criterios como la capacidad de modelar sistemas de gran dimensión, la capacidad de modelar multi-estados, la complementariedad entre las diversas técnicas...aparte de la propia fusión de las mismas. A modo de ejemplo didáctico para la implementación de criterios de comparación puede aplicarse

Tabla 3
Comparación de algunas metodologías RCA [22], [25], [26], [27], [28]

Metodología RCA / Características	Características									
	Capacidad para definir el problema	Facilidad de Uso	Requerimientos de Información	Dependencia de la experiencia de los realizadores	Consumo de Recursos y tiempo	Definición de todas las relaciones causales	Entrega de una ruta hacia las causas raíces	Explica cómo las soluciones previenen la recurrencia	Capacidad para incluir fallos humanos	Predicción de eventos futuros
Diagramas de Causa y Efecto	Alta	✓	✓		✓				✓	
	Baja			✓		✓	✓	✓	✓	✓
HAZOP	Alta	✓		✓	✓	✓	✓	✓		
	Baja		✓					✓	✓	✓
Inferencia Bayesiana	Alta	✓		✓		✓	✓	✓		✓
	Baja		✓		✓				✓	
FMEA	Alta	✓	✓		✓	✓		✓		
	Baja			✓			✓	✓	✓	✓
Análisis de Árbol de Fallas	Alta	✓	✓	✓			✓	✓	✓	
	Baja				✓	✓			✓	✓

metodologías como el AHP [29], o bien mediante indicadores de mantenibilidad como los definidos en la referencia [30-33].

Conclusiones

A lo largo del presente documento, se ha descrito una herramienta específica y ya desarrollada en el ámbito del mantenimiento, con la intención de aplicarla en la gestión y organización de las asistencias en garantía. Con tal intención, una vez definido el concepto de garantía y descrito resumidamente el marco de referencia que se propone para su gestión, se ha analizado las distintas metodologías que engloban la posibilidad de un Análisis de Causa Raíz. Estas metodologías facilitan y mejoran la toma de decisiones en casos tales como el del servicio post-venta. Profundizando en estas metodologías, se observa que la dificultad de llegar a resultados robustos mediante alguna de ellas radica en la utilización de sólo un enfoque, dado que un análisis cualitativo tipo brains-

torming puede dejar de lado una cantidad importante de información contenida en datos cuantitativos, mientras que un enfoque netamente numérico es factible de tener sesgo dado que no toma en consideración aspectos como la experiencia o información cualitativa relevante. Es decir, la utilización de un método aislado puede derivar en un análisis incompleto, por tanto, en algunos casos específicos puede ser conveniente una integración de herramientas de Análisis de Causa Raíz, especialmente cuando se abordan sistemas complejos, obteniendo mejores resultados. De hecho una de las combinaciones comunes para soportar un análisis RCA es la de FMECA y FTA. En definitiva, existe evidencia de que la integración de distintos tipos de Análisis de Causa Raíz genera resultados más robustos, es decir, cada herramienta unitariamente posee sus propias limitaciones pero la integración entre ellas permite eliminar las limitaciones propias e individuales de cada una de ellas. La presente investigación, plantea la posibilidad de identificación de causas físicas de fallo así

como la representación del malfuncionamiento de un producto complejo puesto a la venta, basados en la integración de Redes Bayesianas, Árboles de fallo, FMEA y estudio HAZOP en función a su vez de los estados de determinadas variables que, dada sus dependencias, pueden desencadenar un estado o evento de fallo. La integración de estas metodologías supone como se ha comentado anteriormente, un resultado más robusto en la identificación de las causas principales de una desviación en el rendimiento a partir de la generación de una cadena de causalidad. Como futuras líneas de investigación, se sugiere profundizar en este ámbito dentro de la gestión de servicios post-venta de modo que, una vez conocidas las causas de los fallos, sea posible evaluar los costos de las averías mediante métodos matemáticos avanzados donde se apliquen tecnologías de apoyo electrónico como la vigilancia remota, monitoreo, diagnóstico, etc con el fin de desarrollar modelos más elaborados. Además, las nuevas tecnologías electrónicas aplicadas a la garantía, permitirán un mayor conocimiento en la causa-raíz de los fallos y, por consiguiente, mayores niveles de calidad del producto así como incrementar la efectividad del servicio de la asistencia técnica. En definitiva, la principal aportación de este artículo es la utilización de diversas técnicas para el mejoramiento de la confiabilidad de los equipos, al ser esta un área crítica para la optimización de recursos de una empresa. Ello representa una ventaja competitiva entre las diferentes unidades de negocio. La técnica de análisis causa-raíz es un área muy tratada en el ámbito del mantenimiento, siendo la novedad en el presente artículo tanto la fusión de las distintas metodologías como su implementación para el caso de la gestión de las garantías.

Agradecimientos

Esta investigación se ha realizado con el apoyo del Ministerio de Ciencia e Innovación Español, a través del Proyecto EMAINSYS (DPI2011-22806) "Sistemas Inteligentes de Mantenimiento. Procesos emergentes de E-maintenance para la Sostenibilidad de los Sistemas de Producción, y de los fondos FEDER. La colaboración internacional que se ha llevado a cabo para lograr estos resultados ha recibido financiación del Séptimo Programa Marco de la Comunidad Europea

(FP7/2007-2013 en virtud de acuerdo de subvención n.º PIRSES-GA-2008-230. 814).

Referencias bibliográficas

1. V. González-Prida, J. F. Gómez, M. López, A. Crespo, P. Moreu. "Warranty cost models State-of-Art: A practical review to the framework of warranty cost management". Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and Applications-Martorell et al. (eds), © 2010 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-55509-8, (2009) 2051-2059.
2. D. N. P. Murthy, W. R. Blischke. "Warranty management and product manufacturing". Springer-Verlag London Limited, 2005 (pp 302 + xviii). ISBN 1852339330.
3. V. González-Prida, A. Crespo "BOOK REVIEW: Reliability Engineering. Warranty Management and Product Manufacturing" (By D. N. P. Murthy and W. R. Blischke). TTPC Production Planning & Control, 2010, Taylor and Francis.
4. D. N. P. Murthy. "Product warranty and reliability" Springer Science+Business Media, Inc. Ann Oper Res (2006) 143: 133-146..
5. Eti, M., Ogaji, S., & Probert, S. (2006). Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. Applied Energy, 1235-1248.
6. Weidl, G., Madsen, A., & Israelson, S.: Applications of object-oriented Bayesian networks for condition monitoring, root cause analysis and decision support on operation of complex continuous processes. Computers and Chemical Engineering, (2005) 1996-2009.
7. Vicente González-Prida Díaz, Adolfo Crespo Márquez. "A reference framework for the warranty management in industrial assets". Computers in Industry 63 (2012) 960-971. ISSN: 0166-3615.
8. Smidt-Destombes, K., Heijden, M., & Harten, A.: On the availability of a k-out-of-N system given limited spares and repair capacity under a condition based maintenance strategy. Reliability Engineering and System Safety, (2004) 287-300.
9. Eti, M., Ogaji, S., & Probert, S. (2006). Development and implementation of preventive-

- maintenance practices in Nigerian industries. *Applied Energy*, 1163-1179.
10. L. Barberá, V. González-Prida, A. Crespo, P. Moreu. (2010). Revisión de herramientas software para el análisis de la fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad (RAMS) de equipos industriales. *Journal of Ingeniería y Gestión de Mantenimiento*, nº 68 April-May-June 2010. Madrid, España
 11. Crockera, J., & Kumbarb, U. (2000). Age-related maintenance versus reliability centred maintenance: a case studio on aero-engines. *Reliability Engineering and System Safety*, 113-118.
 12. Moubray, J. (1997). *Reliability-centred maintenance*. New York: Industrial Press Inc.
 13. Li, D., & Gao, J. (2010). Study and application of Reliability-centered Maintenance. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 622-629.
 14. Gao, J. (2005). Informatization and intellectualization of the engineering asset. *National Conference for Device Management*.
 15. L. Barberá, V. González-Prida, A. Crespo. (2010). Review and evaluation criteria for software tools supporting the implementation of the RCM methodology. To be published in the *International Journal of Quality & Reliability Management*
 16. Godichaud, M.; Peres, F.; Gonzalez, V.; Tchanganani, A.; Crespo, A.; Villeneuve, E. 2011. Integration of warranty as a decision variable in the process of recertification of parts resulting from end-of-life system dismantling. *Quality and Reliability (ICQR)*. IEEE International Conference. Pp: 156-160.
 17. Gano, D. (2007). *Apollo Root Cause Analysis - A New Way of Thinking* (Tercera ed.).
 18. Rossing, N., Lind, M., Jensen, N., & Jørgensen, S. (2010). A functional HAZOP methodology. *Computers and Chemical Engineering*, 244-253.
 19. Box, G., & Kramer, T. (1992). Statistical process monitoring and feedback adjustment: A discussion, technical report, center for quality and productivity improvement. *Technometrics*, 251-285.
 20. Dei, S., & Stori, J. (2005). A Bayesian network approach to root cause diagnosis of process variations. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 75-91.
 21. Paradies, M., & Busch, D. (1988). Root Cause Analysis at Savannah River Plant. *Conference on Human Factors and Power Plants*, (págs. 479-483).
 22. Sikos, L., & Klemes, J. (2010). Reliability, availability and maintenance optimisation of heat exchanger networks. *Applied Thermal Engineering*, 63-69.
 23. Doggett, A. (2004). A statistical comparison of three root cause analysis tools. *Journal of Industrial Technology*, 1-9.
 24. American Institute of Chemical Engineers. (1992). *Guidelines for Investigating Chemical Process Incidents*. New York: AIChE.
 25. Vicente González-Prida, Luis Barberá, Adolfo Crespo, Pablo Viveros, Fredy Kristjanpoller. "Approach to Analyzing Root Causes in the Management of Warranty Support". *International Journal of E-Business Development* 3 (1), 1-9. ISSN: 2226-7336.
 26. Cai, X., & Wu, C. (2004). *Application manual of modern machine design method* (Primera ed.). Beijing: Chemical Industry Press.
 27. Wolbrecht, E., D'Ambrosio, B., Paasch, R., & Kirby, D. (2000). Monitoring and diagnosis of a multi-stage manufacturing process using Bayesian Networks. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 53-67.
 28. Zitrou, A., Bedford, T., & Walls, L. (2010). Bayes geometric scaling model for common cause failure rates. *Reliability Engineering and System Safety*, 70-76.
 29. Vicente González-Prida, Juan F. Gómez, Adolfo Crespo. "Practical Applications of AHP for the Improvement of Warranty Management" *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, Vol. 17 No. 2, (2011)163-182.
 30. Pedro Moreu de León, Vicente González-Prida Díaz, Luis Barberá Martínez, Adolfo Crespo Marquez. "A practical method for the maintainability assessment using maintenance indicators and specific attributes". *Reliability Engineering and System Safety*. 100 (2012). 84-92. ISSN: 0951-8320.
 31. Hitchcock, L. (2006). Integrating Root Cause Analysis Methodologies. *Engineering Asset Management*, 614-617.

32. C. Parra, A. Crespo, P. Moreu, J. Gómez & V. González-Prida. "Non-homogeneous Poisson Process (NHPP), stochastic model applied to evaluate the economic impact of the failure in the Life Cycle Cost Analysis (LCCA). " 2009 Taylor& Francis Group, London, ISBN 978-0-415-48513-5. Pag. 929-939.
33. Vicente González-Prida, L. Barberá, J. F. Gómez, Adolfo Crespo. "Contractual and

quality aspects on warranty: best practices for the warranty management and its maturity assessment" International Journal of Quality and Reliability Management, IJQRM. Vol. 29, N° 3, (2012), ISSN: 0265-671X, Emerald 2012.

Recibido el 10 de Febrero de 2013
En forma revisada el 28 de Abril de 2014