



XIX

**Congreso de
Confiabilidad**

Madrid, 22 de noviembre de 2017.
Universidad Europea de Madrid

Libro de Ponencias

ÍNDICE

Día 22 de noviembre

- Conferencia Inaugural.** *Gestión de activos e influencia en la cuenta de resultados de la empresa* Pág. 3
- Ponencia 6.** *Compromiso con la excelencia a través de la Fiabilidad en GMV-ITS* Pág. 11
- Ponencia 10.** *Reaction time evaluation for events governed by wear out process* Pág. 20
- Ponencia 2.** *La Fiabilidad de las cosas en el internet de las cosas* Pág. 28
- Ponencia 8.** *Application of accelerated life testing during the development of equipment for reliability demonstration* Pág. 36
- Ponencia 7.** *Recolección de datos de Confiabilidad en instalaciones eléctricas marinas* Pág. 50
- Ponencia 1.** *Aproximación cualitativa al concepto de valor durante el ciclo de vida de un activo industrial* Pág. 58
- Ponencia 12.** *Modelo de Fiabilidad de fallos a la demanda extendido: consideración del efecto de las pruebas y mantenimiento* Pág. 67
- Ponencia 4.** *Impacto de la certificación de competencias en Gestión de Activos, Mantenimiento y Confiabilidad en las organizaciones, ISO17024, 2012* Pág. 75

GESTIÓN DE ACTIVOS E INFLUENCIA EN LA CUENTA DE RESULTADOS DE LA EMPRESA

Ing. Guillermo Sueiro
Director – Ellmann Sueiro y Asociados

RESUMEN

La idea de gestión de activos nace a partir de la necesidad de optimizar el uso de un activo en todas las etapas del ciclo de vida en las cuales participa. Esta necesidad no se origina únicamente desde el punto de vista técnico/ingenieril, sino que dicha optimización es necesaria para la generación de valor de la empresa. Dicho de otra manera, la gestión de activos no solamente es una disciplina que debiera interesar al sector de mantenimiento de la empresa, sino que tiene injerencia directa en el cuadro de resultados de la empresa.

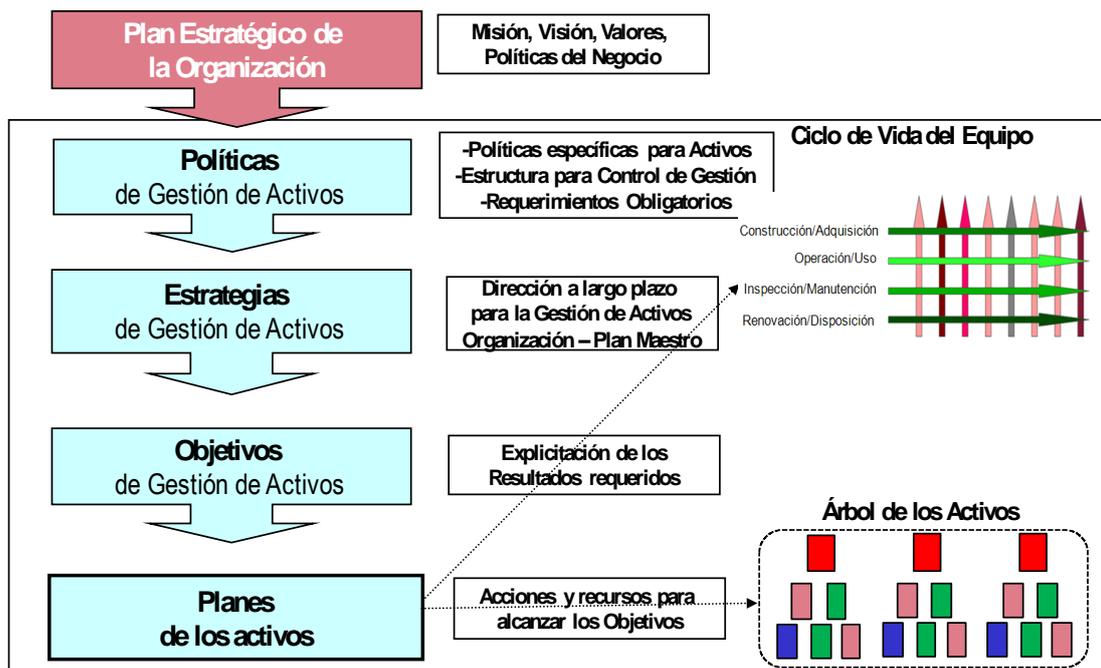
Lo que ocurre en la práctica es que no resulta fácil para los gerenciadore de activos demostrar en qué medida se modifican los resultados de la empresa ante la toma de decisiones respecto de la gestión de activos.

1. GESTIÓN DE ACTIVOS

El primer concepto que hay que tener en claro es que lo que comúnmente se llamaba “Mantenimiento”, a lo largo de los años fue evolucionando para transformarse en lo que hoy en día se llama “Gestión de Activos”. Lo que en la década de 1950 era “reparar cuando se rompa”, hoy en día es un conjunto de estrategias mucho más complejas que no sólo tiene que considerar la consecuencia económica directa del fallo (reparación), sino también los efectos que este pudiera tener sobre la seguridad, medio ambiente y resultado operacional, junto con todas las tecnologías de ejecución del mantenimiento disponibles en el mercado (que son cuantiosas).

La Gestión de Activos puede definirse como “las actividades a través de las cuales la organización maneja sus activos físicos a lo largo de todo el ciclo de vida, su interacción con los otros activos de la compañía y en el contexto de su operación”. Parte de la definición de los objetivos del negocio, pasando por las estrategias de los activos con el objetivo de optimizar todos los recursos para maximizar los resultados. En esta definición puede verse claramente como la gestión de activos es un concepto mucho más abarcativo y holístico que el mantenimiento.

Con el tiempo se desarrollaron documentos y normativas que brindan una guía para la implementación de un Sistema de Gestión de Activos Físicos, los cuales establecen un enfoque que tiene en cuenta dicha gestión a lo largo del ciclo de vida de los activos. El documento principal utilizado como referencia a nivel mundial es la serie de Normas ISO 55.000 – Gestión de Activos y en la siguiente imagen puede visualizarse el resumen de su enfoque.



2. CICLO DE VIDA

El otro concepto importante a interiorizar es que el mantenimiento no es la única etapa que transita un activo y una correcta gestión de activos debe considerar todas las etapas de lo que se llama el “Ciclo de Vida del Activo”.

El Ciclo de Vida de un Activo es todo lo que ocurre con el activo desde la idea con la cual se lo crea o incorpora a un proyecto, hasta su disposición final. Este ciclo de vida tiene asociado el “Costo de Ciclo de Vida”, el cual es la sumatoria de todos los costos asignables al activo (directos e indirectos, variables y fijos).

Las etapas componentes del ciclo de vida de un activo incluyen:

- Plan de Negocios
 - Idea inicial y estudios preliminares.
 - Evaluación del contexto total del proyecto, incluyendo estudios de factibilidad técnica, viabilidad económica e impacto ambiental.
 - Planeamiento de todas las etapas que abarcará el proyecto.
 - Anteproyecto, incluyendo toda la ingeniería básica necesaria.
 - Proyecto de detalle y diseño de los procesos.
 - Ejecución del proyecto de acuerdo a las etapas planificadas.
- Compra
 - Compra de los elementos necesarios y/o eventual manufactura de los mismos e instalación de todos los elementos de acuerdo al proyecto.

- Operación y Mantenimiento
 - Puesta en marcha, prueba de todas las instalaciones y aceptación de las mismas.
 - Operación y Mantenimiento de las instalaciones, uso o consumo de los bienes o servicios.
- Disposición
 - Evaluación de alternativas de aprovechamiento, incluyendo los posibles reciclajes o la eventual eliminación de los elementos de la instalación.
 - Descarte, reciclaje o venta de la instalación.

Etapas del Ciclo de Vida del Activo



En todas esas etapas, hay decisiones a tomar, información a seguir, costos a evaluar, registrar y considerar, repuestos a definir, capacitaciones a desarrollar, análisis a realizar referentes a distintos aspectos de la operación y el mantenimiento del activo.

La adecuada consideración de todos esos factores es clave en el logro del objetivo de maximizar el ROA (Retorno Sobre los Activos) y minimizar el LCC (Costo de Ciclo de Vida), así como lograr una adecuada TIR (Tasas de Retorno sobre Inversiones) que viabilicen los proyectos.

3. GESTIÓN DE ACTIVOS Y CUADRO DE RESULTADOS

3.1 Introducción

Todas las Empresas realizan acciones para trabajar con sus activos físicos y obtener beneficios de su confiabilidad. Lamentablemente, la experiencia indica que estas acciones y gestiones, en general, son aisladas y desordenadas, de manera tal que las Empresas no logran obtener un retorno máximo de sus activos.

Una de las preguntas que más dificultad les trae a las Empresas es la siguiente: ¿la gestión de activos debe ser orientada por costos o por resultados? Muchas empresas ven a la gestión de los activos como un costo, considerando únicamente la gestión en la etapa de Operación/Mantenimiento del activo. Otras empresas sí ven a la gestión de activos como una

oportunidad de agregar valor a la empresa, pero les cuesta demostrar el impacto de dicha gestión en los resultados generales de la compañía.

Centrarse en los resultados implica tener una visión de largo plazo, donde se consideren todas las etapas del ciclo de vida del activo, haciendo posible una gestión sustentable.

Para poder pensar en la influencia de la gestión de activos en los resultados de la empresa, primero tenemos que ser conscientes de los costos en que se incurren a lo largo del ciclo de vida:

- CI: Costo de Inversión (máquinas, edificios, calles, instalaciones, repuestos herramientas, equipos de mantenimiento, documentos y entrenamiento entre otros).
- CO: Costo de Operación (personal, energía, materiales e insumos, transporte, entrenamiento del personal y calidad).
- CM: Costo de Mantenimiento (personal de mantenimiento y los materiales y repuestos, tanto en lo dedicado al proactivo, al correctivo como a los rediseños, además de los costos de entrenamiento de este personal).
- CP: Costo de Parada (costo de pérdidas debido a mal funcionamiento del activo).

A continuación, veremos cómo decisiones en la gestión de activos en diferentes etapas del ciclo de vida impactan en el cuadro de resultados.

3.2 Inversión

Todos sabemos que el momento en el cual se adquiere un activo es un momento crítico. No sólo por el monto de dinero que la empresa tiene que desenvolver, sino porque la selección del activo tendrá una incidencia notoria en el funcionamiento operacional industrial.

Cuando se toman decisiones de inversión en equipamiento, deben considerarse, entre otros, los siguientes parámetros:

- Precio
- Calidad
- Servicio post-venta
- Disponibilidad de repuestos
- Costo de repuestos
- Garantía
- Estimación de gastos operativos y de mantenimiento

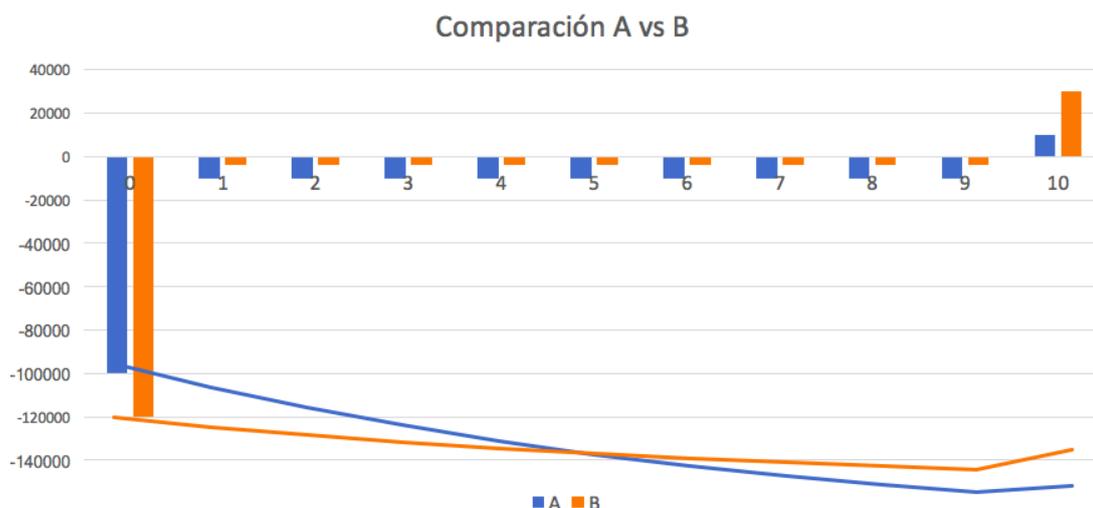
La decisión a tomar será aquella que tenga un mejor balance entre las variables evaluadas.

Una buena decisión respecto del activo a comprar puede tener un impacto importante en el cuadro de resultados de la empresa. Por ejemplo, una empresa tiene que decidir entre comprar un equipo A de industria nacional y otro aparentemente similar B fabricado en Asia, el cual tiene un costo mayor. A priori, uno pensaría que la decisión es obvia, pero la empresa decide investigar con profundidad la calidad, garantía, disponibilidad de repuestos y gastos de mantenimiento, generando el siguiente cuadro comparativo:

	Equipo A	Equipo B
Precio	€ 100.000	€ 120.000
Repuestos	Se fabrican a demanda. Demora de 2 meses.	Repuestos en stock en casa matriz. Disponibilidad 5 días.
Gastos de Operación y Mantenimiento (Anuales)	€ 10.000	€ 4.000
Garantía	6 meses	2 años
Valor de reventa (a los 10 años)	€ 10.000	€ 20.000

En la evaluación, la empresa consideró que, debido a la falta de disponibilidad inmediata de repuestos y a consultas con empresas que se encuentran utilizando dicho equipo, los gastos operativos del activo nacional serán mayores debido a pérdidas operativas por faltante de repuesto o a costo de capital inmovilizado (por la necesidad de un mayor stock de repuestos). También consideró dentro de este coste operativo, la necesidad de alguna reparación que no esté contemplada en la garantía.

En el siguiente gráfico, para un período evaluado de 10 años, puede verse la inversión y costos involucrados (columnas) y el Valor Actual Neto que agrega cada alternativa. Podemos ver que la alternativa B, si bien resulta de una inversión mayor, tiene un VAN mayor, con lo cual financieramente convendría más que la alternativa A.



Al margen de los números, este ejemplo intenta evidenciar la importancia de considerar y cuantificar las diferentes variables al momento de la compra de activos y cómo estas decisiones tienen impactos sobre el resultado de la empresa.

3.3 Estrategias de mantenimiento

Dentro de la etapa del ciclo de vida del mantenimiento, es necesario analizar y definir estrategias para asegurar que los activos continúen haciendo lo que sus usuarios desean que haga.

Es muy fácil demostrar cómo estrategias poco robustas de mantenimiento basadas solo considerando la reducción de costes impactan negativamente (a mediano plazo) en los resultados de la empresa. Estas estrategias provocan que la empresa se “ahorre” costes de mantenimiento en el corto plazo, sin considerar el riesgo de los fallos por falta de mantenimiento y sus consiguientes costes asociados (operacionales, seguridad y medio ambiente). Obviamente, estos costes generalmente son mayores al coste de mantenimiento debido a la falta de previsibilidad y daños que ocurren con el fallo.

En el siguiente ejemplo puede verse como una iniciativa de reducción de costes de mantenimiento del 10% termina produciendo un resultado negativo.

	Histórico	Iniciativa Reducción costes mantenimiento 10%
VENTAS	1.000	995 -0,5%
Costos directos excepto [1] costos directos de mantenimiento [2] costos adicionales debidos a fallas.	(560)	(557) -0,5%

[1] Costo directo de Mantenimiento	(40)	(36) -10%
[2] Costos adicionales asociados a fallas		
<i>Pérdida de calidad</i>	0,5% (3)	(4) +33%
<i>Costos de Producción Adicionales (pérdidas de productividad debidas a Mantenimiento)</i>	0,7% (4)	(6) +50%
<i>Scrap (debido a fallas de mantenimiento)</i>	0,3% (2)	(3) +50%
CONTRIBUCIÓN BRUTA	391	389 -0,5%
COSTO FIJO	(350)	(350)
CONTRIBUCIÓN NETA	41	39 - 5%

3.4 Estrategias de repuestos

La gestión de repuestos es también un componente crítico en la gestión de activos, debido a que la disponibilidad o no de un repuesto muchas veces termina definiendo la magnitud de las consecuencias de una falla. Esto hace necesario evaluar los costes en caso de no contar con el repuesto en stock (operacionales, seguridad y medio ambiente) versus los costes de tener el repuesto (y cuantos) en stock (costo operativo, administrativo y de capital inmovilizado).

Desde el punto de vista económico, debería tenerse en stock aquella cantidad de repuestos que maximicen el Valor Actual Neto, es decir, aquel flujo de fondos que considera todos los montos involucrados a lo largo del ciclo de vida del activo:

- Precio del repuesto
- Costo de tener el repuesto en stock
- Costo de pérdidas operacionales asociadas al nivel de stock
- Precio de reventa

En el siguiente ejemplo real se puede ver la comparativa del VAN con una (1) unidad de repuesto en stock (lo que la empresa tenía en ese momento) versus el VAN sugerido en función de las variables involucradas de 5 unidades en stock.

Repuestos	Costo de inventario	Nivel de Servicio	Costo total por año	Valor Actual Neto
0	0,00 \$	0,0000%	3.089.801,89 \$	-29.115.501,64 \$
C 1	13.000,00 \$	36,0867%	1.017.170,79 \$	-9.584.898,63 \$
2	26.000,00 \$	72,3778%	279.754,46 \$	-2.649.153,26 \$
3	39.000,00 \$	91,2653%	79.104,76 \$	-771.411,78 \$
4	52.000,00 \$	97,8492%	35.889,92 \$	-377.194,20 \$
5	65.000,00 \$	99,5684%	28.385,70 \$	-319.481,21 \$
6	78.000,00 \$	99,9271%	27.465,83 \$	-323.813,19 \$
7	91.000,00 \$	99,9894%	27.569,73 \$	-337.792,27 \$
8	104.000,00 \$	99,9986%	27.811,44 \$	-353.069,89 \$
9	117.000,00 \$	99,9998%	28.069,52 \$	-368.501,76 \$

Stock Actual (row 1)

Stock Ideal (row 5)

ΔVAN = 9.200.000 USD

Este ejemplo demuestra cómo la decisión de mantener repuestos en stock (componente de la gestión de activos) puede impactar de manera notable en las finanzas de la empresa. Y también como una decisión basada en el corto plazo de ahorro en repuestos puede terminar costándole muy caro a la empresa.

COMPROMISO CON LA EXCELENCIA A TRAVÉS DE LA FIABILIDAD EN GMV-ITS

Fulgencio Buendía¹, Isabel Bachiller², Samuel López³.

1. Ingeniero RAMS en GMV.

2. Líder Técnico de RAMS en GMV.

3. Responsable del Departamento de Ingeniería HW.

GMV P.T. Boecillo, Juan de Herrera nº17, 47151 Boecillo, Valladolid.

RESUMEN

En junio de 2016 GMV ITS adopta el desafío de convertirse en líder mundial del sector estratégico del transporte inteligente.

Para ello se propicia un cambio cultural por parte de la dirección que consiste en un compromiso por la excelencia a través de la fiabilidad. La referencia es la actividad de GMV en los sectores en los que actualmente es líder mundial: seguridad lógica y centros de control orbital. Como parte de esta apuesta en un mercado altamente tecnológico y cada vez más competitivo se han implantado, revisado y modificado una serie de procesos orientados al análisis de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y testeabilidad en el equipo de desarrollo de los nuevos productos estratégicos en el sector del transporte.

Este trabajo explica la evolución en los procedimientos operacionales y expone como caso práctico el desarrollo de la nueva generación de localizadores avanzados de GMV, primera de las apuestas de la nueva dirección de cara al apasionante desafío tecnológico y comercial, en los que el talento y la apuesta por la fiabilidad y la excelencia es la seña de identidad.

1 INTRODUCCIÓN

El mercado de los Sistemas Inteligentes de Transporte tiene un desarrollo tecnológico cada vez más exigente, globalizado y competitivo. El presente trabajo explica la apuesta por la excelencia basada en las metodologías RAMS en la división sectorial de Sistemas Inteligentes de Transporte. Tradicionalmente GMV ha ocupado un papel muy relevante en este sector, pero el cambio de cultura pretende posicionar a GMV como líder mundial del mismo, como lo es en los centros de control orbital.

La apuesta por la excelencia y la confiabilidad está llevando al desarrollo de una nueva gama de productos de los que se explica brevemente el apoyo que desde el departamento RAMS/ILS se está prestando.

El trabajo se compone de los siguientes apartados:

1 – Introducción.

2 – Posición actual de GMV en los sistemas inteligentes de transporte.

3 – Convergencia continua de la fiabilidad.

4 – Aplicación del sistema de fiabilidad integrada a la gama de localizadores avanzados de GMV-ITS.

5 – Conclusiones del trabajo.

2 POSICIONAMIENTO ACTUAL DE GMV EN EL MERCADO DE LOS SISTEMAS INTELIGENTES DE TRANSPORTE

Desde 1994 GMV proporciona Sistemas Inteligentes para el Transporte (ITS) basados en tecnología GPS. GMV ofrece soluciones integradas llave en mano listas para operar incluyendo todo el ciclo de vida, desde el análisis y diseño hasta su instalación y puesta a punto incluyendo hardware y software de desarrollo propio.

GMV desarrolla aplicaciones adaptadas a las necesidades del sector integrando distintas tecnologías entre las que se cuentan navegación por satélite, comunicaciones móviles, centrales de seguimiento y control e información a los usuarios.

En GMV proporcionamos soluciones para los diferentes modos de transporte, tanto para el transporte por carretera (viajeros y mercancías), como para el transporte ferroviario o marítimo. GMV es líder en número de referencias SAE en España, 45 empresas y 4.500 autobuses en los últimos 5 años (a destacar los proyectos de Transport Metropolitana de Barcelona) con 1000 buses y 3000 dispositivos SIU, Autoritat Transport Metropolitana Barcelona (ATM) con 500 autobuses, TITSA Tenerife con 600 autobuses, Consorcio de Transportes de Asturias con 450 buses con un SAE sobre WEB, etc.).

GMV diseña, desarrolla, fabrica y comercializa sistemas de expedición, control y validación de títulos de transporte, con los soportes más modernos y la tecnología más avanzada que garantiza la adaptación a proyectos actuales y futuros.

Asimismo, también proporciona desarrollos informáticos de gestión de datos que permiten realizar un análisis y control de los servicios, viajeros, recaudaciones, gráficos comparativos, ficheros históricos, etc. perfectamente compatibles con las aplicaciones de las empresas de transporte.

Como punto clave dentro de la estrategia de expansión al mercado internacional, se han transformado los procedimientos que conforma el Sistema de Gestión de la Calidad. Esto incluye los procesos de gestión de proyectos, de verificación y validación y de diseño, en el que se han integrado actividades de evaluación de la fiabilidad y de la mantenibilidad en la fase de diseño, con el objetivo no sólo de mejorar la calidad de los productos, sino también hacerlo a un coste acotado y evaluable en las fases tempranas del desarrollo. El principal objetivo de estas medidas, es conocer y evaluar en las fases tempranas del desarrollo, el punto óptimo de calidad. Esto es, el punto óptimo por encima del cual el coste de los procesos no repercute en un aumento significativo de la calidad.

3 CONVERGENCIA CONTÍNUA DE LA FIABILIDAD EN EL CICLO DE VIDA

La caracterización de la fiabilidad de los productos a través de todo su ciclo de vida ha sido la herramienta más importante a la hora de transformar los procesos de diseño.

El cálculo de las figuras de fiabilidad se obtiene de diferentes maneras dependiendo de la etapa del ciclo de vida del producto, de forma que la salida de cada una alimenta a las demás:

- Estimación teórica del MTBF (*Mean Time Between Failure*) mediante la norma FIDES, en la etapa de diseño.
- Corrección de la estimación de la fiabilidad con las pruebas HALT (*Highly Accelerated Life Testing*), en la etapa de Prototipo y Verificación.
- Medida de la fiabilidad en campo, mediante el análisis de las incidencias en el sistema integrado de monitorización.
- Análisis de la causa raíz de las incidencias en campo para poder corregirlas, caracterizarlas e incluirlas en el modelo general.

El objetivo es doble: por una parte hacer converger los procesos de manera que las estimaciones de fiabilidad cada vez sean más precisas, y por otra realimentar los procesos de desarrollo para mitigar la debilidades que se descubren en los diseños tanto SW como HW.

La siguiente figura resume el proceso de caracterización de la fiabilidad durante el ciclo de vida del producto.

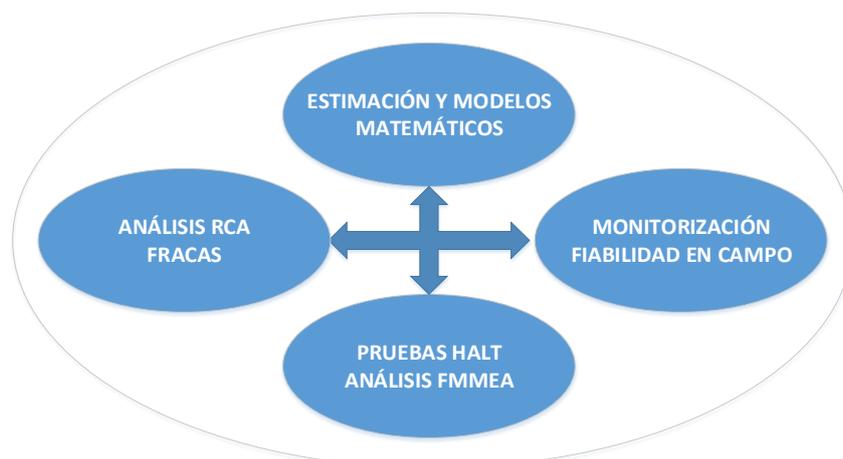


Ilustración 1: Caracterización de la Fiabilidad en GMV-ITS

3.1 CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO ORIENTADO A LA FIABILIDAD

Las actividades de confiabilidad comienzan incluso antes del desarrollo del producto, estableciendo los objetivos de confiabilidad. A continuación se

muestra un esquema de las diferentes fases de diseño y las actividades de confiabilidad asociadas:

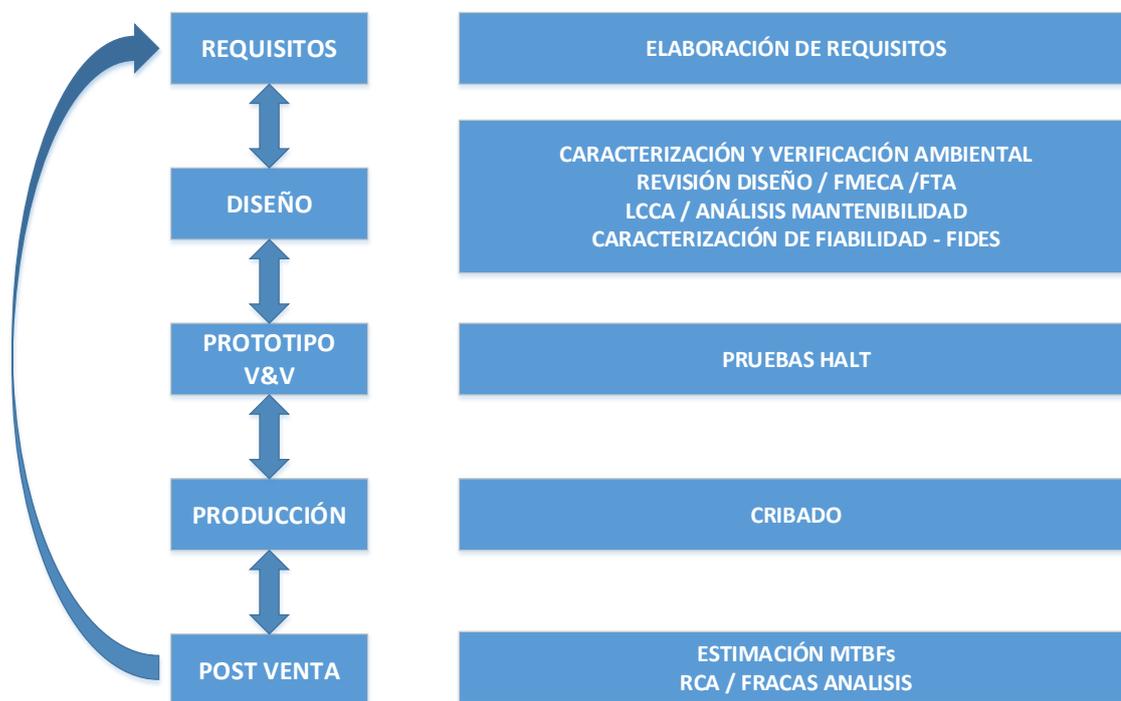


Ilustración 2: Actividades de confiabilidad en el ciclo de vida

Los objetivos de confiabilidad los establece la alta dirección teniendo en cuenta el posicionamiento de los productos dentro del mercado. Estos objetivos consideran datos intrínsecos de los productos, como puede ser la tasa de fallo, pero también datos propios de las operaciones como por ejemplo el número de quejas de clientes. Estos objetivos genéricos no tienen en cuenta ni el producto concreto, ni la tecnología ni el entorno en el que va a operar el sistema. Se trata de una meta que deben alcanzar los productos desarrollados en GMV.

A partir de los objetivos de confiabilidad establecidos por la dirección, se derivan los requisitos de fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y/o testeabilidad que se van a aplicar al producto concreto. Para el desarrollo de cada producto, se pueden aplicar diferentes tecnologías, ciclos de vida, herramientas, etc. Los requisitos de producto que se establecen para cada entorno concreto, incluyen requisitos específicos de confiabilidad que se derivan de los objetivos genéricos que ha establecido la dirección.

Durante la fase de diseño, se realiza una estimación de la fiabilidad mediante el método FIDES que evalúa no sólo las características propias del producto (tecnología) como el uso operacional y los procesos de desarrollo que se establecen en la empresa. Asimismo, se incorporan actividades de análisis de modos de fallos y sus efectos (FMEA), y de caracterización de los árboles de fallos (FTA). Los análisis de confiabilidad los realiza el equipo de RAMS

(*Reliability, Availability, Maintainability y Safety*) que se integran dentro del equipo de diseño pero que jerárquicamente pertenecen a una división diferente con objeto de mantener independencia de los objetivos de plazos y costes que pueden determinar o incluso limitar las características de confiabilidad del producto. Asimismo, durante la fase de diseño el equipo de RAMS realiza análisis de mantenibilidad, fundamentalmente análisis de costes de ciclo de vida, LCC (*Life cycle cost*) para evaluar distintas opciones de diseño dependiendo del coste a largo plazo. También se realizan análisis LORA (*Level Of Repair Analysis*) para identificar el nivel óptimo de mantenimiento.

En la fase de prototipo se incorporan pruebas de vida acelerada, HALT (*Highly Accelerated Life Test*). El objetivo es optimizar la fiabilidad del producto identificando los límites funcionales y destructivos del producto. Durante el cribado realizado en la fase de fabricación se descartan los productos que no cumplen con los requisitos de fiabilidad.

Durante la fase de operaciones, mantenimiento y postventa se ha implementado un sistema de FRACAS (*Failure reporting, analysis and corrective action system*) mediante la actualización de la herramienta previa de análisis de no conformidades en producción.

3.2 ESTIMACIÓN TEÓRICA DE FIABILIDAD MEDIANTE FIDES

La metodología adoptada por GMV-ITS para calcular la estimación es FIDES. FIDES es una metodología moderna de estimación de fiabilidad desarrollada por Airbus, Thales y otras compañías del sector aeronáutico para estimación de la fiabilidad de sistemas electrónicos.

La metodología FIDES está basada en la física del fallo y respaldada por análisis y reportes de equipos en operación, lo que le diferencia de otras metodologías basadas puramente en análisis estadísticos.

FIDES se basa en la premisa de que la fiabilidad de un sistema está determinada no sólo por las tecnologías utilizadas en la fabricación, sino también y además de manera determinante por las condiciones de operación y la calidad del proceso de diseño y fabricación. FIDES resume las contribuciones al fallo en tres conceptos:

- Tecnología.
- Calidad del proceso de diseño y producción.
- Condiciones y entorno de operación.

La siguiente ecuación resume el cálculo de fiabilidad en FIDES:

$$\lambda = \lambda_{physical} \cdot \Pi_{entorno} \cdot \Pi_{process}$$

Donde:

- $\lambda_{physical}$ representa la contribución física de la tasa de fallos inherente al componente y a su tecnología.
- $\Pi_{entorno}$ representa la sensibilidad al entorno operacional y las condiciones de uso (estrés térmico, eléctrico, mecánico, etc).
- $\Pi_{process}$ representa la calidad y control técnico durante el proceso de diseño de desarrollo, manufactura y operación de los componentes del producto y del proceso de producción de cada elemento. Este factor se basa en la contribución del proceso de producción de cada componente a la fiabilidad global del producto.

La contribución física a la tasa de fallo depende del uso que se vaya a hacer del sistema durante la vida del producto. El tiempo de operación se divide en fases durante las cuales las condiciones de uso son diferentes. Por ejemplo, en el caso de un localizador de flotas, el perfil operacional incluye el transporte y la operación con el autobús en movimiento.

La estimación teórica de la fiabilidad con FIDES se realiza en la fase de diseño una vez identificado:

- El producto bajo análisis: diseño propuesto, materiales, tecnologías, etc.
- El perfil operacional en el que va a trabajar el producto sujeto a análisis.
- El proceso de desarrollo, que es el establecido por el Sistema de Gestión de Calidad de GMV.

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS PRUEBAS HALT EN LOS NUEVOS LOCALIZADORES DE GMV-ITS

Se han desarrollado una serie de pruebas HALT para el cálculo de fiabilidad y asegurar la robustez del diseño de los distintos localizadores.

Para realizar el diseño de estas pruebas se ha realizado en base a un análisis FMEA. La estimación de los parámetros del test vienen determinados por el perfil operacional y los análisis de fiabilidad realizados en las fases anteriores.

3.4 MONITORIZACIÓN DE LA FIABILIDAD EN LA OPERACIÓN

Una vez se han obtenidas las estimaciones teóricas de fiabilidad según lo descrito en las secciones anteriores, GMV-ITS cuenta con dos mecanismos para realimentar las medidas de fiabilidad con los equipos en campo

1. Medidas de fiabilidad integradas en los propios equipos. Se almacenan las horas de operación y las incidencias que sufren.
2. Sistema integrado de gestión de activos e incidencias en la operación, accesible a los clientes que se conoce como “Web de Mantenimiento”.

Estos mecanismos proporcionan la capacidad de realizar análisis de causa raíz (RCA) que realimentan el diseño y la caracterización de fiabilidad y que permiten identificar mejoras en los procesos de desarrollo de los productos a partir del análisis causal de los fallos producidos en operaciones.

3.4.1 WEB DE MANTENIMIENTO DE GMV

La Web de mantenimiento de GMV es una herramienta para la gestión de los activos relativos a la prestación de servicios de localización de flotas. Su acceso vía Web permite una visión rápida y global del estado del suministro en cualquier momento. Es un activo para proporcionar servicio a los clientes y usuarios.

A partir de los datos contenidos en la Web de mantenimiento, se realizan estimaciones de campo sobre:

- La fiabilidad de los equipos en campo.
- Incidencias
- Causa raíz.

4 APLICACIÓN DEL SISTEMA DE FIABILIDAD INTEGRADA LA GAMA DE LOCALIZADORES AVANZADOS DE GMV-ITS

Los Sistemas de Ayuda a la Explotación, SAE, son un conjunto de soluciones que agrupan distintas tecnologías para la gestión de medios de transporte.

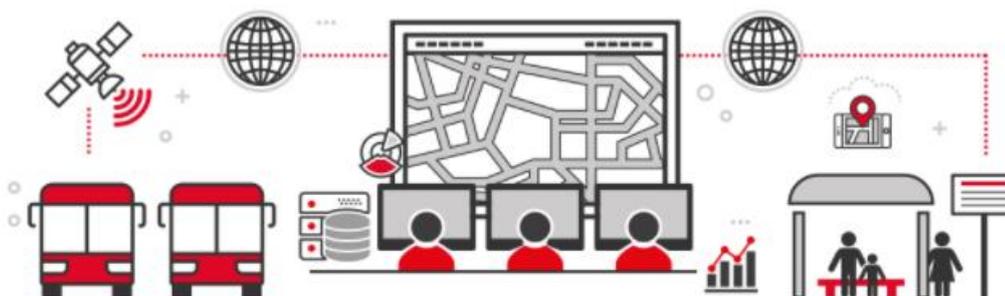


Ilustración 3: Sistemas de ayuda a la Explotación (SAE)

El sistema de fiabilidad integrada descrito en las secciones anteriores se ha puesto en marcha en primer lugar en el desarrollo de una nueva gama de localizadores avanzados que se incluyen en los Sistemas de Ayuda a la Explotación de GMV. Como se ha explicado, el método FIDES de estimación de la fiabilidad implica que previamente se haya realizado una caracterización rigurosa de las condiciones de operación. Para ello, se realizan dos tareas independientes y complementarias:

- Modelado físico de las condiciones de operación. Incluye cada una de las fases de operaciones: operativo y no operativo, así como distintos tipos de vehículo: autobús, camión, tren, etc.
- Identificación de las condiciones de operación.

La caracterización del entorno y las condiciones operacionales del equipo y cómo va a trabajar operacionalmente, va a impactar en su fiabilidad de manera notable. A continuación se muestra una figura en la que se realiza una caracterización de la fiabilidad, MTBF en función de las condiciones de operación de un sistema ferroviario.

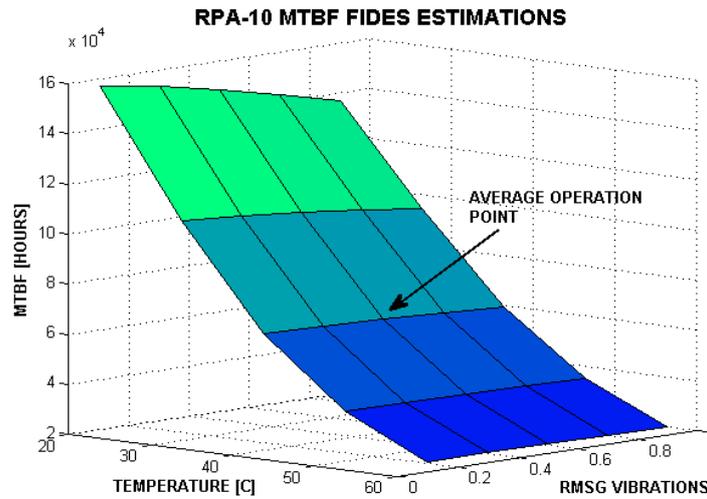


Ilustración 4: Superficie de caracterización de la Fiabilidad

Las condiciones de operación se obtienen mediante un modelado matemático. A continuación se verifican las condiciones operacionales en la cámara climática y después en los vehículos. Dentro de los nuevos procedimientos de GMV la caracterización ambiental tanto con el modelo teórico su verificación se consideran procesos fundamentales dentro del proceso de Diseño HW de GMV.

Una vez en operaciones, los fallos se gestionan a través de la web de mantenimiento. La siguiente figura muestra un ejemplo de análisis de fallos de un SAE, donde se identifica el porcentaje de incidencias de cada tipo que se ha producido en un tiempo de operaciones. El análisis identifica de forma ponderada el elemento del sistema en el que se ha producido el fallo, de manera que se pueden acotar las futuras evoluciones del sistema a los elementos que más fallan y obtener una nueva versión más robusta del sistema.

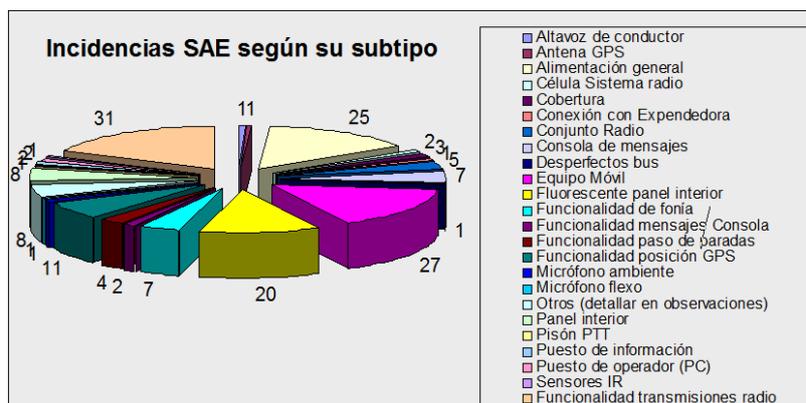


Ilustración 5: Ejemplo de análisis de fallos proporcionados por la Web de Mantenimiento

5 CONCLUSIONES

En este trabajo se exponen de manera resumida las actuaciones y los procesos RAMS que la división sectorial de GMV-ITS está aplicando en el desarrollo de la nueva gama de localizadores avanzados, con el objetivo de que nos permitan colocarnos como líder mundial del sector estratégico del transporte inteligente.

REACTION TIME EVALUATION FOR EVENTS GOVERNED BY WEAR OUT PROCESS

Juan Antonio Sánchez Lantarón
Aircraft Safety Engineer – Airbus Defense and Space

SUMMARY

Once that an Aircraft family enters into service, a continuous monitoring of the fleet is performed in order to keep its airworthiness in accordance with applicable regulations. Occasionally, some system malfunctions having a potential impact over the aircraft safety are detected, without being possible to impose any immediate alleviating action such as an inspection or limitation. For these cases, a reaction time can be defined to allow the implementation of the necessary corrective actions to eliminate the emergency situation without grounding the fleet, but ensuring an adequate level of Airworthiness. The objective of this report is to provide some guidelines to adapt the reaction time evaluation process provided by the AMC/GM PART21 to specific cases not covered by this guidance material, like the case of the failure modes governed by a wear-out process, in which the failure rate increases with time.

1. INTRODUCTION

The International Civil Aviation Organization (IACO) defines the Continued Airworthiness as “the process that ensures, at any time in its life, an aircraft complies with the technical conditions fixed to the issue of the Certificate of Airworthiness and is in a condition for safe operation” (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Based on this recommendation, European Regulations provide, through the Implementing Rules (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) and the Interpretative Material (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), specific requirements to the Type Certificate Holder:

- Put in place a system for collecting, investigating and analyzing reports and information related to occurrences which cause or might cause adverse effects on the continuing airworthiness of the product.
- Report to the Airworthiness Authorities (AA) any occurrence of which it is aware related to a product and which has resulted in or may result in an unsafe condition (not later than 72 hours after the identification of the possible unsafe condition).
- Investigate the reason for the deficiency and report to the AA the result of its investigation and any action it is taking or proposes to take to correct the deficiency.

When evidence shows that the safety level of an Aircraft may be compromised (an unsafe condition has been determined to exist in an aircraft), and no immediate alleviating actions such as an inspection or limitation can be imposed, the AMC/GM PART 21 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) establishes some guidance to evaluate the maximum time in which some particular deviations regarding the applicable regulation can be accepted, by means of ensuring that the global average risk of the aircraft fleet still meets the airworthiness requirements, avoiding in this way the immediate grounding of the whole aircraft fleet.

Main purpose of this report is to present an adaption of the evaluation process of the reaction time described by the AMC/GM PART 21 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), to cover the specific case of the failure modes governed by the wear-out process, in which the failure rate increases with time.

2. RISK ALLOWANCE DEFINITION AS PER AMG GM TO PART 21

Paragraph GM 21.A.3B(d)(4), included within the AMC/GM PART 21 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), provide guidelines to establish rectification campaigns to remedy discovered defects:

- a) Basic principles to be considered to maintain an adequate level of airworthiness after a defect has occurred which, if uncorrected would involve a potential significant increase of the risk level.
- b) Criteria to assess the residual increase in risk and to limit it to an appropriate small fraction of the aircraft life, for those cases where it is not possible to restore fully and immediately an adequate level of airworthiness (i.e.: imposing an inspection or limitation

In line with this second point, the guidance material declares the necessity of limiting the exposure time of a proposed campaign of corrective actions as a function of the risk level induced by the defect during the campaign, defining a not to exceed risk allowance which keeps the average airworthiness level within a reasonable value (Eq. 1).

$$\sum(Campaign\ Risk) \cdot (Exposure\ Time) < Risk\ Allowance \quad (Eq. 1)$$

As the risk allowance value could be evaluated based on different criteria, proposed methodology by the guidance material is based on the following qualitative judgements:

- Failure rate for an aircraft catastrophic event due to airworthiness reasons is 10E-7/FH
- Acceptable through life risk of an aircraft equal to ¼ of the individual aircraft's whole life
- A total of 10 emergency periods might arise during the life of an individual aircraft

Thus, using these criteria, maximum risk allowed during each of these emergency periods for an aircraft design life of 30.000 hours will be (Eq. 2):

$$Risk\ Allowance = 1 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{10} \cdot 30.000 = 7,5 \cdot 10^{-5} \quad (Eq. 2)$$

Additionally, to avoid exposure to high risk levels even for very short periods of time, the guidance material proposes a maximum catastrophic risk level of 2E-6 / FH so that no flight carries a risk greater than 20 times the original target. For this particular condition, grounding appears to be the only alternative, with the possibility of specially authorized high-risk flight to allow the aircraft to return to base empty.

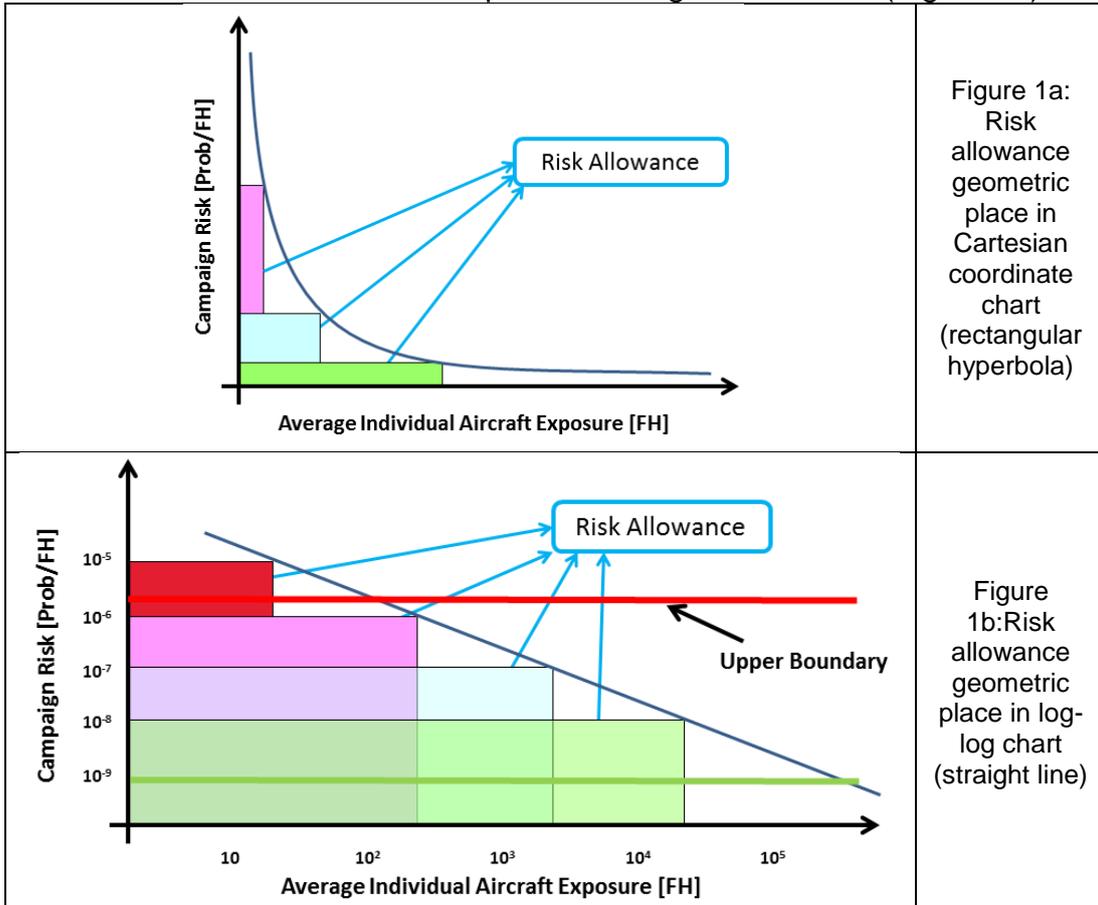
3. REACTION TIME EVALUATION FOR RANDOM FAILURES

The definition of the risk allowance as per Eq. 3 establishes an inverse proportionality between the Exposure Time of a proposed campaign of corrective actions (Reaction Time) and the Risk Level achieved during this campaign. This relationship will allow having higher reaction time for

campaigns with lower risk, but reduced reaction time for those campaigns in which the risks is higher:

$$(Campaign\ Risk) \cdot (Reaction\ Time) = Risk\ Allowance \quad (Eq. 3)$$

From the pure geometrical interpretation of this equation, the geometric place of the points which corresponds to this equation is a rectangular hyperbola in a Cartesian coordinate chart, representing Reaction Time in one axis Vs Campaign Risk in the other (Figure 1a), that can be transformed into a straight line if both axis of the chart are expressed in logarithm format (Figure 1b).



Moreover, as mentioned in previous section, to avoid exposure to high risk levels even for very short periods of time, a maximum risk of level $2E-06$ / FH shall be considered, and therefore this value shall be taken into account as the upper boundary of the risk allowance chart (Figure 1b)

This interpretation allows, for those defective cases in which the failure rate remains constant with the time (random failures), performing a quick evaluation of the maximum Reaction Time recommended to correct the defect detected either by:

- Calculating directly the Reaction time, using the Risk allowance definition (Eq. 3) for a given campaign risk
- Using the Log-Log Risk allowance chart (Figure 2)

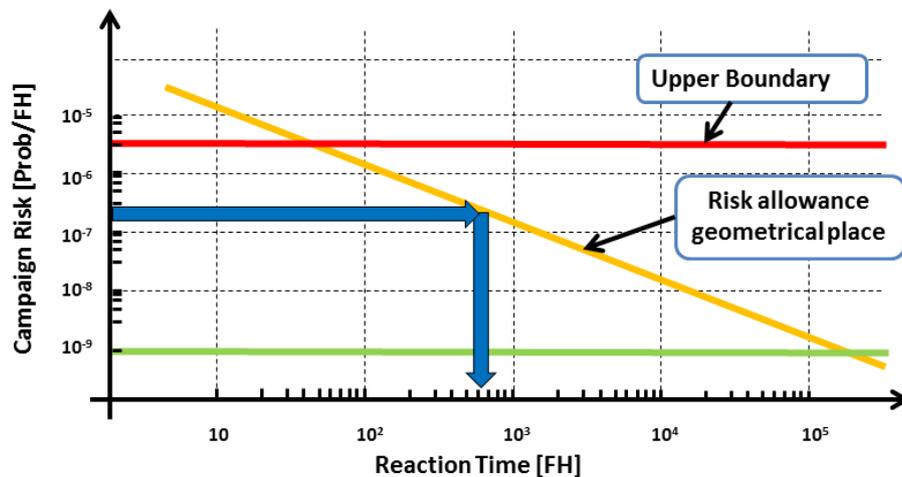


Figure 2: Reaction time evaluation for given campaign risk, assuming that the origin of the detected defective is a random failure (constant failure rate)

4. CAMPAIGN RISK EVALUATION FOR WEAR OUT FAILURES

Although the AMC/GM PART 21 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) only describes the methodology to evaluate the reaction time for a random failure defect, it shall be noted that a significant percentage of the defects detected during the operation of the Aircrafts along their life corresponds to non-expected early degradation of the affected components, and thus a wear-out model shall be used to evaluate its potential repercussion on the A/C airworthiness.

The most frequent methodology used in the aviation industry to assess the reliability of the failed airplane systems or components is the Weibull analysis (Ref. 4). One of the main reasons for its wide spread use is because this kind of analysis allows the identification of the following failure types of a component (Ref. 5):

- Infantile failure: Reliability improves with age / Decreasing hazard rate
- Random failure: Reliability constant with age / Constant hazard rate
- Wear-out failure: Reliability decreases with age / Increasing hazard rate

Once that the Weibull statistical analysis of the data recorded during the investigations of the in-service occurrence reveals that the system defect is in line with the wear-out failure mode, the next step is the evaluation of the campaign risk based on the predicted failure rate (Ref. 5). This will imply the reevaluation of each failure condition several times in order to characterize its evolution as a function of the time (Figure 3).

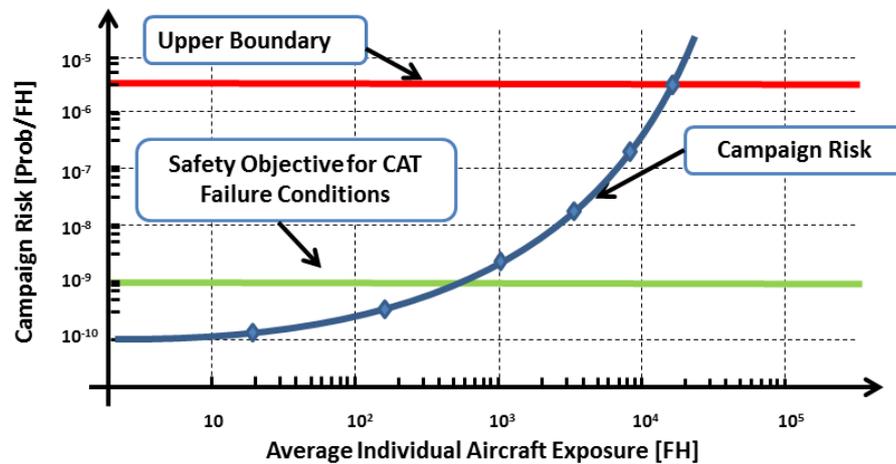


Figure 3: Typical evolution of the A/C campaign risk for a system defect ruled out by a wear out process

5. REACTION TIME EVALUATION FOR WEAR OUT FAILURES

Due to the nature of this particular analysis (wear out process with increasing campaign risk), the reaction time cannot be evaluated directly through the risk allowance equation defined for constant failures rates (Eq. 3), being necessary to recover the initial definition of the risk allowance as per Eq. 1.

This equation captures the necessity of assessing the product of the campaign risk by the exposure time for each dedicated flight, in order to predict the number of flight hours at which the sum of the risks accumulated in each flight will reach the maximum risk allowance. This approach defines the reaction time as the maximum time, at which the area behind the curve of the campaign risk is equal to the risk allowance.

Therefore, proposed methodology to evaluate the reaction time for failures ruled out by wear-out process consists of the following steps:

1. To predict the failure rate evolution as a function of time for the detected wear-out failure mode through the Weibull Analysis (or any other alternative method)
2. To discretize the aircraft life in intervals.
3. To evaluate the average failure rate of the system component in each time interval defined in step 2
4. To evaluate the average aircraft campaign risk in each time interval, considering the average failure rate obtained in Step 3. This evaluation can be done using the traditional Fault Trees methodology, assuming that for that limited period of time the failure rate remains constant.
5. To evaluate, for each time interval, the cumulative risk in accordance with Eq. 3.

Note: The cumulative risk shall be evaluated from the first time interval in which the campaign risk overcome the safety objective ($1E-9 / FH$ for CAT Failure Conditions), as before this situation the airworthiness of the A/C is not at risk.

6. To perform the sum of the cumulative risk and to compare it with the risk allowance established in Eq. 2.
7. To evaluate the Reaction time (RT_1) as the maximum time at which the cumulative risk is equal to the risk allowance

8. To compare the Reaction time obtained in step 7 (RT_1) with the time at which the Campaign risk overcome the upper limit of $2E-6 / FH$ (RT_2), being the final reaction time the lower value between RT_1 and RT_2 .

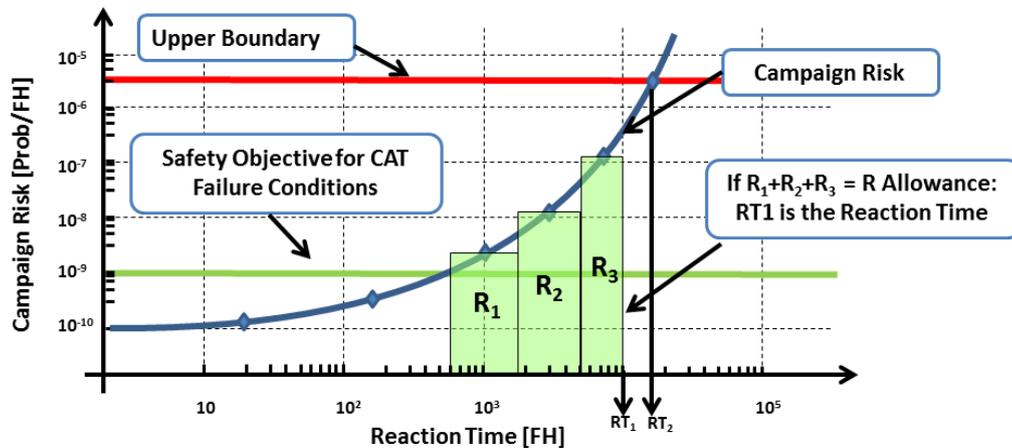


Figure 4: Discretization process for cumulative risk evaluation in case of wear out failures mode

6. APPLICATION

As an example of application of this methodology, the analysis of a potential defect declared in an engine equipment that could lead directly to an engine in flight shut down is proposed.

For the purpose of this analysis, the following input data will be considered:

- The individual equipment failure mode can be modelled by means of the following Weibull parameters:

$$\beta = 2.9 \text{ and } \eta = 470 \text{ FH}$$

As the β parameter is higher than 1, it is assumed that the source of the failure is ruled out by a wear-out process, and therefore the failure rate increases with time (Ref. 5)

- The campaign risk will be evaluated considering that the most impacted Failure Condition at A/C level due to this defect is the “Two engine failure during Take Off” condition, which is assessed to have Catastrophic safety repercussions. For a four engine aircraft, the Fault Tree associated to this event is shown in Figure 5, where the Risk Time exposure of 0,03 hours corresponds to the duration of the take-off phase.

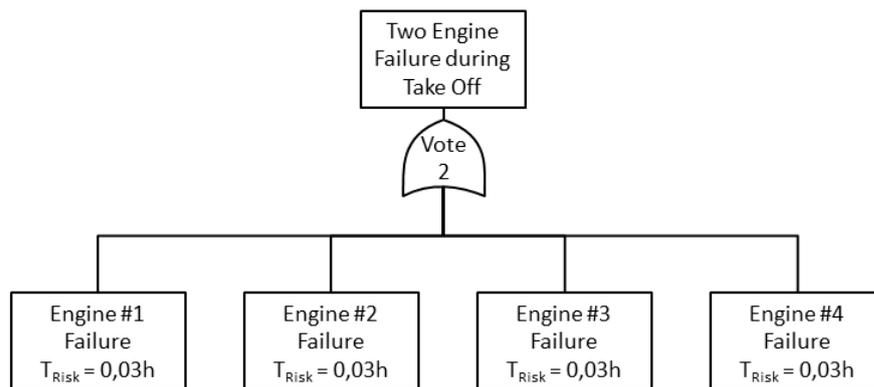


Figure 5: Proposed Fault Tree for the evaluation of the Failure Condition “Two Engine Failure during Take Off”

Based on the above points, Table 1 compiles the following intermediate results for the evaluation of the Reaction Time:

1. Time reference: Central value of the time interval defined for the evaluations [Time Interval is 20 FH]
2. Failure Rate: Individual failure rate of each affected components based on the Weibull parameters
3. Average Campaign risk: Results of the Fault Tree evaluation, considering that the failure rate remains constant in each timeframe defined. It shall be noticed that final result has been evaluated considering an average flight length of 4 hours
4. Time Frame Cumulative Risk: Cumulated Risk in each particular timeframe [Product of the average campaign risk by the time frame duration]
5. Total Cumulative Risk: Cumulated risk since the declaration of the unsafe condition, when the campaign risk overcomes the safety objective.

From the results shown in Table 1, it can be observed that:

- The time at which the maximum total cumulative risk is equal to the risk allowance is $RT_1 = 820$ FH
- The time at which the Average Campaign risk overcome the upper limit of $2E-6 / FH$ is $RT_2 = 1260$ FH

And therefore the Reaction time to implement the corrective actions due to the detected event is $RT_1 = 820$ FH.

Time Reference [FH]	Failure Rate [1/FH]	Average Campaign Risk [1/FH]	Time Frame Risk [-]	Total Cumulative Risk [-]	
20	1,51E-05	1,55E-13			
160	7,87E-04	6,69E-10			
180	9,84E-04	1,07E-09	2,14E-08	2,14E-08	Average Campaign Risk above Catastrophic safety objective (1E-9/FH)
300	2,60E-03	8,06E-09	1,61E-07	5,44E-07	
400	4,49E-03	2,48E-08	4,95E-07	2,24E-06	
500	6,86E-03	5,89E-08	1,18E-06	6,59E-06	
600	9,69E-03	1,19E-07	2,38E-06	1,58E-05	
800	1,67E-02	3,61E-07	7,22E-06	6,31E-05	
820	1,75E-02	3,97E-07	7,94E-06	7,10E-05	Total cumulative Risk just below Risk Allowance of 7,5E-5
840	1,84E-02	4,35E-07	8,71E-06	7,97E-05	
1240	3,85E-02	1,94E-06			Average Campaign Risk above upper limit of 2E-06/FH
1260	3,97E-02	2,06E-06			

Table 1: Summary of the intermediate evaluations for the

4. CONCLUSIONS

This article reviews proposed methodology in AMC/GM Part 21 (Ref. 3) to evaluate the allowed reaction time to implement any corrective actions to eliminate any potential emergency situation that may arise over the aircraft fleet, ensuring a minimum level of airworthiness.

Current reaction time evaluation process compiled in AMC/GM Part 21 (Ref. 3) only covers the case in which the detected failure mode follows a random failure approach where the failure rate remains constant with the time.

An alternative methodology has been described to cover those cases in which the failure mode is ruled out by a wear-out process, where the failure rate increases with time.

This methodology allows being more precise in the evaluation of the allowed time to impose the corrective actions, thus minimizing the disturbance to the operators but ensuring an acceptable level of Airworthiness.

REFERENCES

- Ref. 1 ICAO 9760 Ed. 1 Airworthiness Manual – Volume 1: Organization and Procedures
- Ref. 2 Commission Regulation (EC) N° EC 748/2012 of 3 August 2012
- Ref. 3 EASA – AMC and GM to Part 21
- Ref. 4 SAE ARP5150 – Safety Assessment of Transport Airplanes in Commercial Service
- Ref. 5 http://reliawiki.org/index.php/The_Weibull_Distribution

LA FIABILIDAD DE LAS COSAS EN EL INTERNET DE LAS COSAS. *RoT IN THE IoT.*

(^a)Miguel Ángel Rodríguez López, (^b)Miguel Ángel Sanz Bobi y (^c)Antonio José Fernández Pérez

(^a)Acciona Energía S.A., (^b)Universidad Pontificia Comillas, ETSI-ICAI y (^c) Comunidad AEC de Confiabilidad

RESUMEN

La Industria 4.0 y el Internet de las Cosas (*IoT*) son ya una realidad palpable. Cada día, un mayor número de dispositivos están conectados a la red de redes, generando cantidades ingentes de datos. Son tantos estos datos, que los antiguos servidores y la actual “*Cloud*” se quedarán obsoletos muy pronto al ser insuficiente su capacidad de almacenamiento y procesado. Para solucionar este inconveniente, la computación en la niebla (“*Fog Computing*”) se postula como una solución factible.

1. INTRODUCCIÓN

Internet ha supuesto una revolución en las comunicaciones por el simple hecho de que todo dispositivo conectado a la red de redes puede intercambiar información con otros dispositivos.

Ahora, la conectividad de los equipos está sufriendo su propia revolución. La reducción del coste de la electrónica, la mejora de la sensórica y el aumento de la capacidad adquisitiva de grandes sectores de la sociedad están permitiendo que cada vez más equipos tengan la posibilidad de estar monitorizados o controlados vía remota, desde interruptores para la luz a cafeteras.

La Figura 1.1, propuesta por *Ahmed Banafa*, muestra la evolución del número de equipos conectados y una proyección hasta el año 2020.

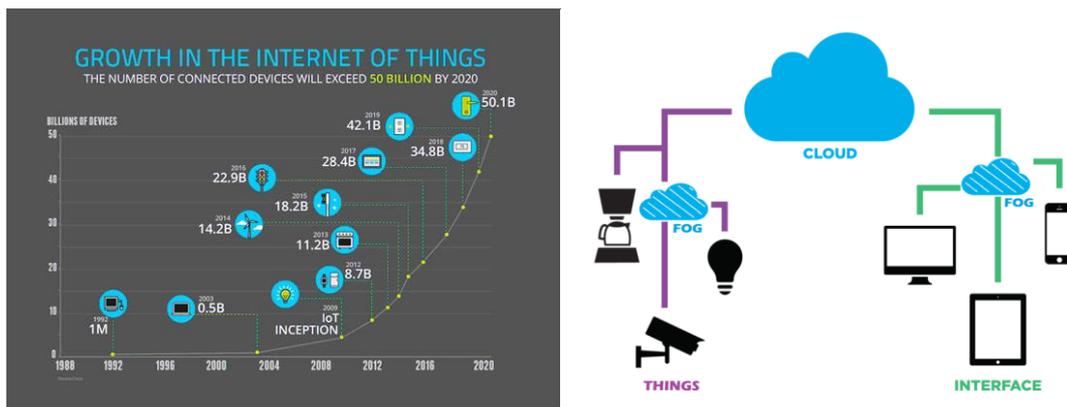


Figura 1.- Evolución de equipo conectados a Internet (1.1-derecha). y Esquema de computación en la niebla (1.2-izquierda).

Según algunos autores, el “Internet de las cosas (*IoT*)” es un concepto que se refiere a la interconexión digital de los objetos cotidianos con internet”. *IoT* supondrá una generación de datos en tiempo real de tal calibre que los actuales servidores quedarán obsoletos para almacenar y analizar todos esos datos. Por otra parte, la necesidad de transmitir dichos datos hasta la nube

precisará anchos de banda enormes y que se tenga en cuenta que el origen de los datos no será geográficamente fijo.

Mediante la computación en la niebla (*Fog computing*), se evitaría tener que enviar todos los datos a los “*cloud*”, siendo procesados primeramente a nivel local. La niebla se sitúa en la frontera entre la nube y el usuario, como una extensión de la nube, utilizando dispositivos como routers, conmutadores y dispositivos de acceso integrado (Figura 1.2).

Esencialmente consiste en que, en lugar de enviar los datos generados por vehículos, semáforos, contadores inteligentes, etc. a la nube para ser analizados, estos datos sean analizados en los propios dispositivos inteligentes que los rodean. La computación en este nivel solucionaría los problemas de disponer de sistemas capaces de actuar en tiempo real con los datos entrantes y trabajar dentro de los límites del ancho de banda disponible. En sistemas críticos, tales como trenes, metro, vehículos, etc., no basta con mandar datos a servidores centrales para esperar a ser analizados, la seguridad es lo primero en estos casos, requiriéndose cálculo en tiempo real (según autores, los actuales sensores generan 2 exabytes de datos, lo cual es un volumen demasiado elevado para mandarlo a la nube al requerir un ancho de banda excesivo y suponer un proceso económicamente costoso.

La ejecución de algoritmos en la niebla, permitiría recoger y procesar información que se está generando en tiempo real a nuestro alrededor, enviando a la nube únicamente el resultado del algoritmo o bien interactuando directamente con el dispositivo. Esto facilitará:

- Ejecutar aplicaciones que requieren una latencia muy baja y previsible. Tal es el caso de aplicaciones para sistemas de alta fiabilidad y seguridad, que no pueden situarse en cola la ejecución, sino que deben ser procesadas en tiempo real, con tiempos de respuesta cortos.
- Reducir el ancho de banda requerido para la transmisión de datos.
- Tener aplicaciones móviles más potentes y rápidas, así como mejores sistemas de control distribuido.

El concepto de Fiabilidad de las Cosas (*RoT*) hace referencia a un conjunto de metodologías y algoritmos de libre disposición que sirven para monitorizar y evaluar el estado de salud de los dispositivos conectados a internet (o en la misma niebla) con la finalidad de mejorar su seguridad y disponibilidad.

Las oportunidades de negocio crecen exponencialmente y Cisco ya ha pronosticado que de manera optimista el mercado tendrá unos 19 billones de dólares de beneficio. En este contexto, la actividad operativa de cualquier equipo podrá monitorizarse en tiempo real y mediante la utilización de técnicas de inteligencia artificial (IA), se puede identificar patrones de fallo de los equipos. La aplicación de un adecuado mantenimiento basado en la condición permitirá alargar su período de vida útil y maximizar su eficiencia operativa. Estos equipos sufren fallos, malfuncionamientos y degradaciones y, en consecuencia, el conocimiento del instante potencial de su fallo permitiría reducir el impacto de sus averías. Por otra parte, conocer qué es lo que va a fallar y cuándo permite optimizar la gestión de almacenes y reducir los tiempos logísticos de espera en la realización de las tareas de mantenimiento. La aplicación de una tarea de mantenimiento predictivo supone la realización de tres procesos: Detección, Diagnóstico y Prognosis.

El objeto de la presente ponencia es presentar una novedosa adaptación al nuevo entorno del *IoT* y *Fog Computing* de las metodologías para la detección de anomalías en equipos industriales mediante la utilización de modelos de comportamiento normal.

2. INTELIGENCIA SOCIAL VS MODELOS EXPERTOS

Generalmente, se elaboran modelos para la caracterización de una variable física con un elevado grado de acierto. La realización de estos modelos de comportamiento precisa un elevado volumen de datos correspondientes a un extenso histórico de operación de los equipos. Datos que hay que almacenar durante largo periodo de tiempo hasta que son analizados.

La metodología que se propone consiste en la realización de un modelo de comportamiento de un equipo a partir de sus variables de operación (temperatura, presión, etc.) y, posteriormente, comparar el valor real de dichas variables con el obtenido con el modelo. Si se dan desviaciones entre el modelo y la realidad, podría significar que el equipo está presentando un comportamiento anómalo.

La principal diferencia entre el modelo llamado “Inteligencia Social” y el modelo “Experto” radica en el conjunto de datos de entrenamiento del modelo, el número de modelos y la utilización conjunta de todos ellos:

1. En el modelo de comportamiento “Experto”, se utiliza un elevado número de datos de operación de un equipo y se realiza un único modelo de comportamiento. Esto requiere almacenar en la nube un elevado histórico de datos de operación de cada equipo.
2. El modelo de comportamiento basado en “Inteligencia Social” consiste en disponer, en tiempo real (en la niebla), de multitud de modelos de comportamiento de un mismo equipo, pero con un volumen muy reducido de datos.

En el caso expuesto, se deseaba evaluar el estado operativo de un tren, concretamente de uno de los rodamientos de su motor eléctrico analizando la temperatura del mismo. Un primer paso sería realizar el modelo de comportamiento de la temperatura del rodamiento y, en una segunda etapa, utilizar ese modelo para monitorizar su condición.

En sistema “*Experto*”, se utiliza un modelo realizado a partir de datos históricos del equipo. Durante un periodo más o menos largo, la empresa propietaria del equipo deberá estar leyendo, transmitiendo y almacenando dichos datos de operación de todas las variables del tren y posteriormente realizar un modelo de comportamiento. Este proceso precisa mucha capacidad de almacenamiento y de cálculo, ya que el entrenamiento de redes neuronales con un elevado volumen de datos puede ser muy lento. Posteriormente, el modelo residente en el sistema de control del tren o en un centro de control remoto deberá utilizarse para evaluar el estado real de equipo. Para ello, se requerirá un equipo de alta capacidad de cálculo, además de otro redundante para el caso de que falle el primero.

En el caso de los modelos de “*Inteligencia Social*”, los viajeros de cada trayecto, mediante sus Smartphone, podrían recopilar datos de operación y ejecutar, en tiempo casi real, un modelo de su comportamiento, enviando al sistema central el modelo entrenado. De esta forma, el sistema central se convierte en un repositorio de miles de modelos de comportamiento, en vez

de en un repositorio de datos; reduciendo drásticamente las necesidades de almacenamiento, comunicaciones y cálculo. De igual forma, otros dispositivos de los viajeros podrían desarrollar el rol de “supervisores”. Es decir, el sistema central les envía los modelos ya entrenados y éstos ejecutarán otro conjunto de algoritmos de detección y diagnóstico, de tal forma que estarán evaluando en tiempo real el estado del equipo, dando como resultado una estimación de su estado operativo. Esta metodología proporciona una mayor robustez y fiabilidad al sistema.

2.2. Realización del modelo de comportamiento.

2.2.1. Selección, limpieza y tratamiento de la muestra

Las variables consideradas para la realización de los modelos de Temperatura de uno de los rodamientos del eje del motor (°C): 1) Carga/potencia del motor eléctrico (kW), 2) Temperatura ambiente (°C), Revoluciones del rotor (r.p.m.), y 3) la Temperatura del rodamiento gemelo opuesto en el mismo eje rotor (°C). El tratamiento de los datos consiste en un filtrado manual y, posterior normalización. El filtro manual elimina aquellos valores que, desde el punto de vista lógico de operación, no tienen sentido; posiblemente debidos a fallos en la sensórica o casos de operación claramente anómalos.

2.2.2. Realización del modelo de comportamiento

El modelo de comportamiento se realizó mediante la utilización de redes neuronales. La principal ventaja que aportan los modelos con redes neuronales deriva del hecho de que no hace falta conocer la naturaleza del conjunto de datos que se quiere representar, sino que la propia red neuronal, a través del proceso de entrenamiento, recoge las características esenciales de dicho conjunto de datos.

Una red neuronal es básicamente una ecuación más o menos compleja para la que hay que ajustar sus parámetros. El ajuste de los parámetros se realiza mediante un proceso iterativo en el que se calcula la salida del modelo y se compara con la salida real. En cada iteración se ajustan los parámetros de tal forma que se busca minimizar el error entre el modelo y la realidad.

Se utilizaron redes neuronales MLP con 4 variables de entrada, 2 capas ocultas de 10 neuronas cada capa y una única capa de salida.

2.2.2.1. Método clásico: Modelo Experto

Este método utiliza únicamente un (1) modelo de comportamiento para estimar la temperatura del rodamiento. El modelo se realizó entrenando la red neuronal con el histórico de 3 años de operación del rodamiento. Es decir, un total de 123.492 registros diezminutales. El tiempo medio de entrenamiento de este tipo de modelo es de 87 segundos.

Para validar el modelo, se utilizaron los datos de un año de operación no utilizados en el entrenamiento (52.560 registros). Se calculó el error absoluto medio obtenido un valor de 1.269°C para el modelo “Experto”. La respuesta del modelo experto se muestra junto con el de “Inteligencia Social” en la Figura 2.

2.2.2.2. Modelos para Fog Computing: Inteligencia Social

Un sistema de “Inteligencia Social” consiste en un conjunto de modelos que trabajan de forma conjunta, dando su opinión sobre un evento en base a la información parcial que disponían para realizar cada uno de los modelos.

Se dispondrá de n modelos de comportamiento de la temperatura del rodamiento y se les pedirá una estimación a varios modelos, llegando a un

consenso en el valor estimado. ¿Cuántos modelos deben conformar la inteligencia social para dar una correcta estimación de la temperatura?

La metodología simula la interacción transitoria entre dispositivos en el IoT. Durante un breve periodo de tiempo (viaje en metro, ciclo de funcionamiento de la lavadora,..), el equipo del que se desea mejorar su fiabilidad y, por tanto, del que se desea realizar un modelo de comportamiento interactúa con un dispositivo inteligente. De tal forma que este equipo monitoriza la operación, realiza un modelo de su comportamiento o ejecuta algoritmos de supervisión, utilizando modelos previos. El proceso se divide, por tanto, en dos fases: modelización y evaluación.

Inicialmente se fijó el tamaño de la muestra de entrenamiento de cada individuo que conforma la “Inteligencia Social” en 1.000 datos consecutivos seleccionados aleatoriamente del histórico de 3 años.

Al igual que con el modelo “Experto”, se calculó el error absoluto medio para cada grupo poblacional (de 1 a 10.000 individuos) y a partir de poblaciones de 50-100 individuos el error converge rápidamente a 1,75°C.

La respuesta del sistema de “*Inteligencia Social*” se calcula a partir del valor medio de la estimación de cada modelo. Dado que es posible que alguno de los modelos esté dando una estimación con un elevado error, se ha eliminado las estimaciones de aquellos individuos cuyo valor estimado este fuera del rango $\mu \pm \sigma$ del conjunto de estimaciones. Al igual que sucedía en con el ejemplo realizado con modelos en base a 1000 muestras el error converge rápidamente a 1,39°C.

Se concluye que con un tamaño de muestra de entrenamiento superior se obtienen mejores resultados, no siendo necesarios más de 100-200 individuos en la población. En cada caso se deberá buscar el punto óptimo entre tamaño de muestra necesaria para entrenar el modelo y el número de individuos opinando en la niebla.

En cuanto a los tiempos de entrenamiento de cada modelo, el sistema necesita una media de 0,71 segundos. El tiempo de computación es prácticamente inmediato, lo cual no requiere muchos recursos en los dispositivos de la niebla. Además la ejecución es en paralelo.

Comparó el tamaño de las muestras de datos de entrenamiento, los datos necesarios para entrenar el modelo experto fueron 2,48Mb, mientras que cada muestra del sistema de “*inteligencia Social*” era de 22,5Kb, esto reduce la necesidad de flujo de información y por tanto es más rápido.

En la Figura 2, se muestra la respuesta del sistema de “*Inteligencia Social*” formado por 200 individuos. Se observa cómo no se supera en ningún caso el valor máximo de operación de 65°C. Se trata de algo normal ya que, en condiciones normales de operación, no deberían alcanzarse temperaturas tan elevadas. Sin embargo, el sistema experto (Figura 2) ha interpretado que sí son valores posibles de operación del equipo. Esto es debido a que al utilizar el histórico completo de operación del equipo durante los tres años previos, se han podido dar multitud de situaciones similares, habiéndose interpretado como una situación habitual.

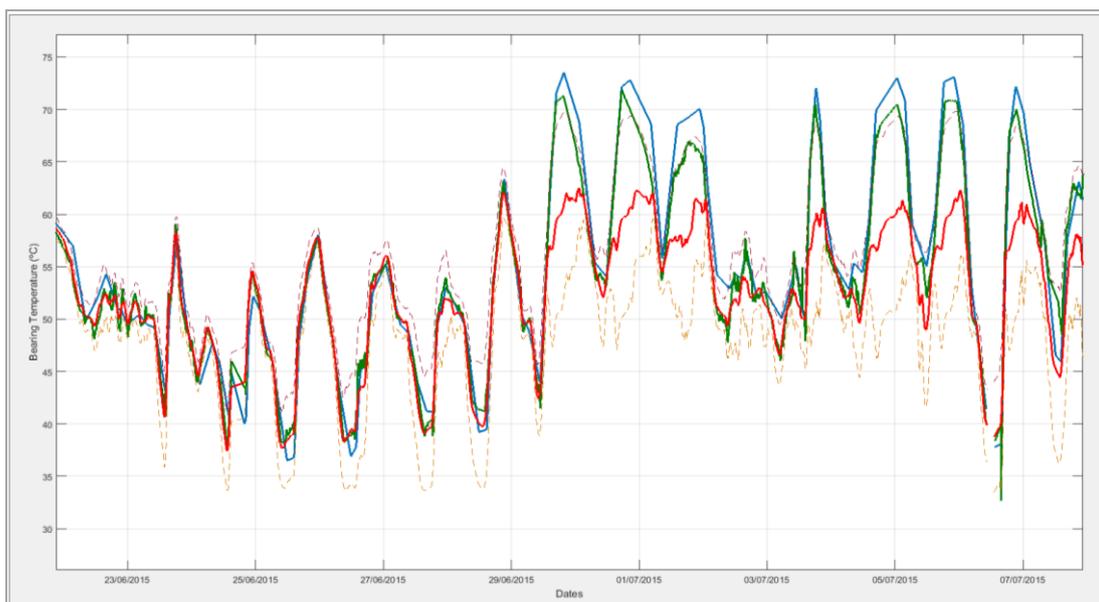


Figura 2.- Temperatura del equipo en instantes previos al fallo y la respuesta del modelo experto (verde) frente a la temperatura real (azul) y la respuesta de la “Inteligencia Social” (en rojo), con sus bandas de operación normal.

En la Figura 2, se ha representado el valor real de la temperatura en color azul, en verde el valor estimado por el modelo experto y en rojo el valor estimado por el modelo de “*Inteligencia Social*”, acompañado de sus bandas de oscilación superior (línea roja de rayas) e inferior (línea amarilla de rayas). Estas bandas se han calculado a partir de la desviación típica de las 200 estimaciones realizadas por cada uno de los “individuos de la sociedad de modelos” en intervalo. Se observa como el valor real que presenta el equipo se encuentra siempre dentro del intervalo definido y muy próximo al valor medio del modelo en los periodos de funcionamiento normal.

2.2.3. Cálculo de los Indicadores de Estado.

Representando la señal real del equipo y comparándola con la temperatura esperada según los modelos (Figura 2), se observa el momento exacto en el que equipo comienza a presentar una temperatura anormalmente superior. De la diferencia entre el valor real de la temperatura del equipo y el valor estimado por los modelos, se obtienen los residuos y a partir de ellos el Indicador de estado, siendo la media móvil de los mismos.

En la Figura 3, se representan sendos indicadores de estado, siendo el eje x la evolución temporal y el color el sobrecalentamiento del equipo. La escala de color oscila de 0 a 5°C, coincidiendo el valor 0 con valores del indicador negativos o nulo y alcanzando el valor más alto cuando el indicador supera un calentamiento medio del equipo de 5°C a lo largo de la semana. Se ha calculado este indicador utilizando tanto el modelo experto (gráfica inferior) como el modelo en base a la “*Inteligencia Social*” (gráfica superior).

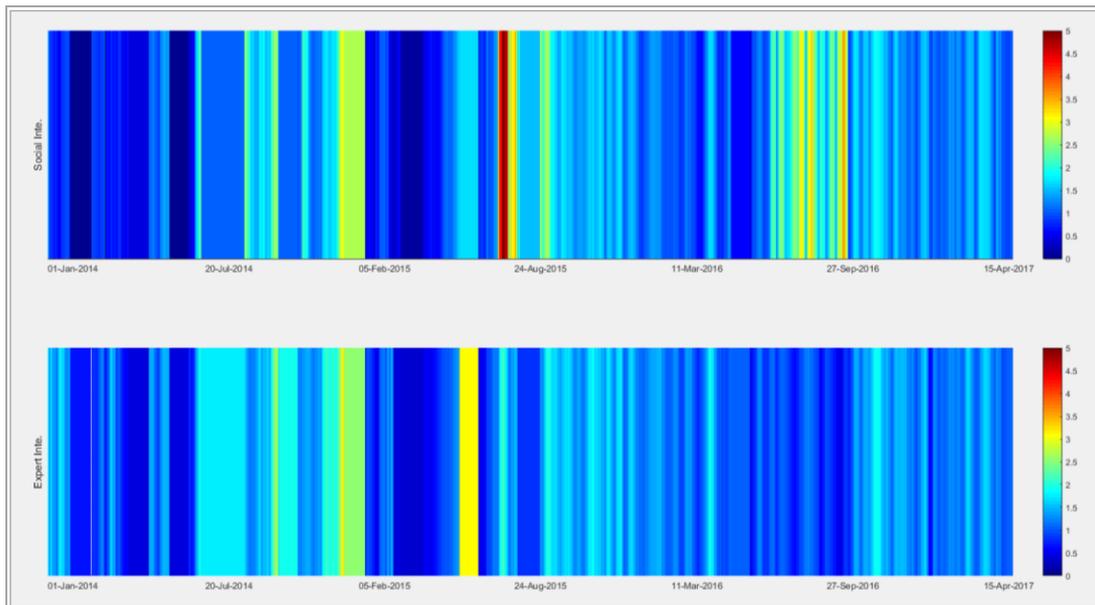


Figura 3.- Cálculo de los Indicadores de estado del equipo a partir del modelo de Inteligencia Social (superior) y el modelo experto (inferior).

En la Figura 3, se observa que el indicador construido a partir del modelo de “*Inteligencia Social*” es más sensible a los malfuncionamientos en el equipo, alcanzando un valor de alarma en las fechas (Julio 2015) en las que el equipo presentó el fallo. Sin embargo, el indicador construido a partir del modelo “*Experto*” está considerando situaciones anómalas, pero transitorias, como propias del modelo que no contempla el modelo de “*Inteligencia Social*”.

3. CONCLUSIONES

Fog Computing permite reducir el tráfico de datos a los servidores, descargándoles de carga de computación y mejoran los tiempos de respuesta y la fiabilidad del sistema. Se ha presentado una novedosa metodología que adapta los métodos clásicos al nuevo entorno del *IoT*. La estrecha interacción entre fuentes de generación de datos y dispositivos con capacidad de cálculo permitirá generar modelos de comportamiento más eficientes.

Por otra parte, la metodología de “*Inteligencia Social*” presentada, no sólo ha demostrado su capacidad para modelizar del comportamiento de equipos utilizando menos recursos que los métodos clásicos, sino que además se ha mostrado más sensible a la hora de detectar malfuncionamientos en dichos equipos.

4. BIBLIOGRAFÍA

1. Andrew Kusiak and Anoop Verna. (2012). Analyzing bearing faults in wind turbines: A data-mining approach. *Renewable Energy* 48 (2012) 110-116. doi:10.1016/j.renene.2012.04.020
2. Rodríguez-López MA. *Metodología para sistemas inteligentes de detección de mal funcionamiento en equipos. Aplicación a los aerogeneradores*. Tesis Doctoral en la Universidad de La Rioja. Logroño. 2015.

3. Sun P, Li J, Wang C, Lei X. A generalized model for wind turbine anomaly identification based on SCADA data. Appl Energy 2016;168:550–67. doi:10.1016/j.apenergy.2016.01.133.
4. <https://www.bbvaopenmind.com/internet-de-las-cosas-y-computacion-de-la-niebla/>
5. <https://iotforall.com/openfog-consortium-reference-architecture-executive-summary/>
6. https://es.wikipedia.org/wiki/Internet_de_las_cosas

APPLICATION OF ACCELERATED LIFE TESTING DURING THE DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR RELIABILITY DEMONSTRATION

Elena García¹, Ricardo de Arriba¹, Alberto Gallego²

¹RMTS & ILS Engineer at CESA

²Product Support & RMTS Engineering Manager at CESA

ABSTRACT

Accelerated testing is a powerful tool that can be effectively used in two very different ways: Qualitative or Quantitative. Qualitative accelerated testing (HALT) is used primarily to identify failures and failure modes while quantitative accelerated testing (ALT, without “H”) is used to make predictions about product life characteristics (such as MTBF, B10 life, etc.) under normal use conditions. In accelerated testing the quantitative knowledge builds upon the qualitative knowledge and both have different objectives. Using accelerated testing in a quantitative manner requires a Physics-of-Failure approach, a comprehensive understanding and application of the specific failure mechanism involved, and the relevant activating stress or stresses.

In this paper, quantitative accelerated life testing is used for two different applications to verify Reliability objectives in a cost-effective manner: 1) Reliability Demonstration of a high precision stepper actuator in a benign environment including test results and verification of assumptions; 2) Reliability Demonstration Plan (sample size, test time, etc.) for a Flight Control Hydraulic Servo-actuator as the roadmap for the Reliability substantiation.

1. INTRODUCTION

The idea of accelerated testing emerges from the need to assure the product’s behavior. It is important for a company to obtain time-to-failure data, but it cannot take as long as the expected life of the product, to obtain it. In other words, no one can wait years to see how the product really turns out.

Accelerated Life Testing are testing programs that accelerate aging of a product by subjecting it to conditions outside its normal service range. The main goal is to allow reliability estimation with less time on test than would normally be required.

A second class of testing methods is designated “Highly Accelerated” (highly accelerated life testing, HALT, highly accelerated stress screening, HASS). Despite the similar terminology these tests have a different objective. HALT is a method aimed at discovering failure modes (test to failure) and subsequently improving weak links in the design phase. HASS can be performed once the product has been ruggedized to identify process defects during production before they are shipped to customers. As a result, product margin between those specified and operating limits is increased.

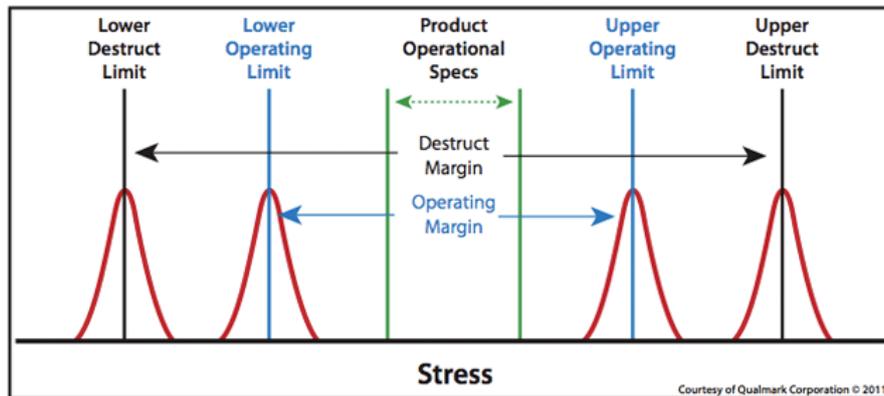


Figure 1-1 – HALT Goal (source: www.austinrl.com)

These highly accelerated tests would fall below the “Qualitative Tests” category along with other designations such as Elephant Test, Bake and Shake Test or Torture Test. When a product is subject of a qualitative test, it is put under severe levels of stress. If the specimen survives, it passes the test. However, the data obtained cannot be extrapolated to normal use conditions and do not yield estimates of product life.

Stress levels induced in the product are higher than those that would appear during normal conditions thus we cannot be sure that the revealed failure modes will arise under normal use. Highly Accelerated Testing can then be used to point out design weaknesses and manufacturing process flaws but it does not answer the question: What is the reliability of the product?

2. ACCELERATED LIFE TESTING

ALT falls below Quantitative Testing category (QALT). These tests have been used to shorten required test time and are designed to provide reliability information on the product, component, or system. Understanding the potential failure mechanisms and product design limits is critical to developing a successful accelerated test.

a. Accelerating Parameters

Stress levels should be chosen so that they do not introduce failure modes that would never occur under normal use conditions. In order to select these stress levels, feedback from highly accelerated testing (qualitative testing) becomes very useful. Stress level should fall outside the product specification limits but inside the design limits.

There are two methods of acceleration:

- Usage rate acceleration
- Overstress acceleration

For products that do not operate continuously under normal conditions, it can be accelerated the time it takes to induce a failure in the unit by operating it at

a greater rate than normal. The acceleration factor for time compression relies on the knowledge or assumption that applying a stress motion more often does not include other stress factors (such as heat built up) and that environmental conditions (such as UV degradation or thermal cycling) do not change the path and rate of failures.

This approach is no longer feasible, if the unit to be tested maintains a very high or even continuous usage. In this case it is necessary to find another way to stimulate the product to fail.

When usage rate is no longer an option, an alternative is to apply stresses that exceed those that a product will encounter under normal use conditions, also known as overstress acceleration. Results obtained (time-to-failure) can then be extrapolated to use conditions. Stresses such as high or low temperature, humidity, voltage, vibration etc. can be applied alone to accelerate failure mechanisms or in a combination.

Higher stress levels will induce failures more quickly thus requiring shorter test duration. However, as the stress level moves farther away from the use conditions, the uncertainty in the extrapolation to normal use conditions, increases.

b. Life Distribution & Life Stress Models

Normally, from life data analysis, one seeks to find a life distribution that describes the time-to-failure of a product. After performing a QALT using overstress acceleration, the challenge is to obtain the use level probability density function from the overstress test data obtained.

Testing the unit under different stress levels will help fitting the life model (exponential, Weibull, lognormal) to the data. After this, a life-stress relationship is required to describe a life characteristic of the distribution from one stress level to another. The life characteristic can be any life measure.

Available life-stress models are the following (depending on stress(es) chosen):

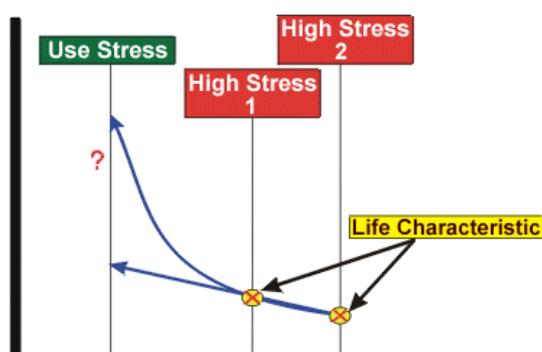


Figure 2-1 Life-stress relation (source: www.weibul.com)

- Arrhenius (temperature stress)
- Eyring (temperature stress)
- Inverse Power Law (non-thermal stress)
- Temperature-Humidity
- Temperature Non-Thermal Relationship
- Multivariable Relationships: General Log-Linear and Proportional Hazards
- Time-Varying Stress Models

c. Sample Size

It is clear that in a statistical analysis, as the sample size increases, the confidence interval of an estimated statistic becomes narrower. However, reliability testing is often limited by the time available to perform the test and its cost. The reliability engineer does not usually have the option to choose the number of desired samples but he/she has to create a test plan based on the available resources.

In reliability demonstration tests it is commonly used the risk control approach. This approach is based on the Null and Alternative hypothesis.

	When H0 is true	When H1 is true
Do not reject H0	correct decision (probability = $1 - \alpha$)	Type II error (probability = β)
Reject H0	Type I error (probability = α)	correct decision (power = $1 - \beta$)

Figure 2-2 – Null & Alternative hypothesis (source: ref.[3])

H0 is the null hypothesis, the product meets the reliability requirement

H1 is the alternative hypothesis, the product does not meet the reliability requirement

Type I error refers to the probability of rejecting a product because it has failed the demonstration test but does meet the reliability requirement (probability of rejecting good equipment). This is also called producer's risk, or α error.

Type II error refers to the probability of accepting bad equipment, although the product does not meet the reliability requirement, it passes the demonstration test. Also called as consumer's risk or β error.

In reliability demonstration tests, one wants to determine the sample size needed in order to demonstrate a specified reliability at a given confidence level. Depending on the available time to perform the test there are two different approaches:

- Available test time = demonstration time (one shot devices)
 - Method used: Non-Parametric Binomial equation:

$$1 - CL = \sum_{i=0}^f \binom{n}{i} (1 - R)^i R^{n-i}$$

Where CL is the confidence level, f is the number of failures allowed, n is the sample size and R is the demonstrated reliability.

- Available test time < demonstration time

Assumptions have to be made regarding the failure distribution of the product in order to introduce time as part of the test plan

- Parametric Binomial

$$1 - CL = \sum_{i=0}^f \binom{n}{i} (1 - R(t))^i R(t)^{n-i}$$

- Exponential Chi-Squared Demonstration Test
The exponential distribution is usually used due to its simplicity although in most cases it is not the most adequate distribution (constant failure rate assumption).

$$R(t) = e^{-t/\theta} ; -\frac{t}{\theta} = \ln(R(t))$$

Required reliability at T_0 (available test time):

$$R(T_0) = e^{-T_0/\theta} = e^{\frac{T_0}{t} \ln(R(t))}$$

Taking into account that the Chi-Squared distribution for 2 degrees of freedom and risk factor $\alpha = 1 - CL$ is:

$$\chi_{1-CL,2}^2 = -2\ln(1 - CL)$$

With the help of the parametric binomial equation, the number of units can be obtained.

The Chi-Squared approach assumes that the failed items are replaced while the binomial method does not.

3. ACCELERATED TESTING APPLIED TO A HIGH PRECISION STEPPER ACTUATOR

This case study consists on the accelerated life testing of a stepper actuator used for a high precision application in a benign environment and for a service life of more than thirty years. The function of the actuator is basically correct the surface deformations of a telescope mirror segment. The equipment will rest during daylight time and it will be active during night (observation time) performing cycles in an intermittent fashion.

The aim of this test is to demonstrate under a certain level of confidence that reliability objective can be met for this application in a limited time and cost effective manner.

The duty cycle of the equipment is 348 000 cycles during its service life. The reliability objective set for this equipment is 1.2 million of cycles of MTBF during its service life.

It is well-known that the most probable failure modes of the equipment are the backlash increase and friction built up due to the nut wear-out. But time at

which this wear-out shows is very variable depending on the conditions of operation, load, side loads, etc. (it ranges from 1 to 10 million of cycles).

There are available only five units to perform this test and they are allowed to be repaired.

The test consists on keeping the equipment running continuously (Accelerated life testing based on usage rate acceleration) letting some rest intervals for the equipment cooling. The test will be with reposition as the equipment can be repaired in case it fails.

Parametric binomial and Exponential inference is used to get accumulated test times and sample sizes sets. shows the alternatives to perform the test to demonstrate the MTBF objective with a 90% level of confidence.

Sample size	Allowed failures			
	0	1	2	3
1	2 820 667			
2	1 410 333	2 382 454		
3	940 222	1 588 302	2 173 281	
4	705 167	1 191 227	1 629 961	2 045 990
5	564 133	952 981	1 303 968	1 636 792
6	470 111	794 151	1 086 640	1 363 993

Table 3-1 – Stepper actuator test plan

As the maximum number of units is five and to keep the unit running below its potential wear-out zone, it is highlighted in red the possible options for performing the test. The most cost-effective test plan is 5 units and 1 failure allowed during test or 4 units and zero failure allowed. First selection gives us the flexibility to finish the test after 564 133 cycles if no failure is found during test and second selection allows us to save one unit in case the other four cannot be technically repaired after eventual failures. The second selection set up can be seen in Figure 3-1.

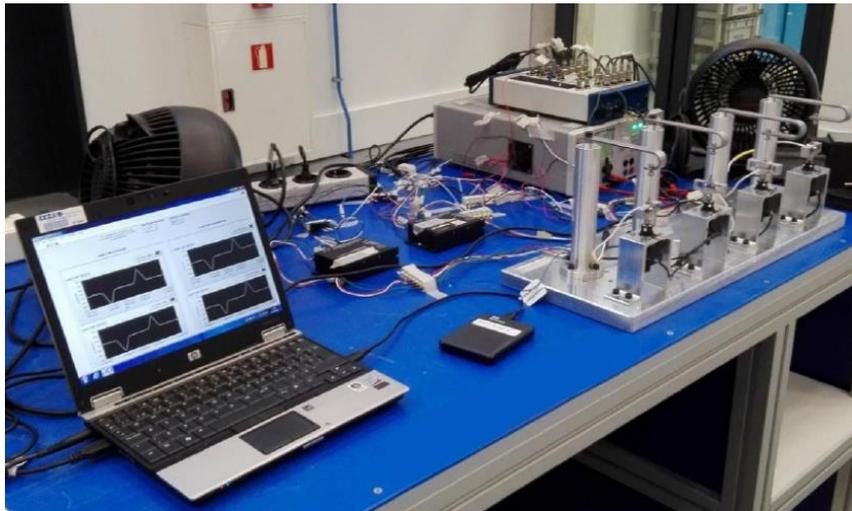


Figure 3-1 – Stepper actuator test set-up (source: ref.[18])

During the test, twice a day the actuation time is checked, the current consumption measured and the load recorded.

Figure 3-2 and Figure 3-3 shows the load profile during one cycle of the actuator at the beginning and the end of the test. It is not observed degradation of the actuator performance at the light of these graphs.

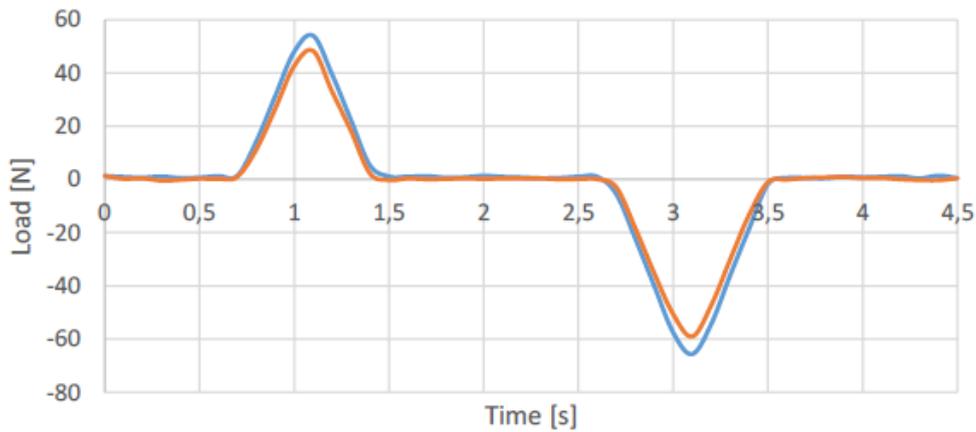


Figure 3-2 – Load measured by load cell 1 (red line) and load cell 2 (blue line) at the beginning of the test

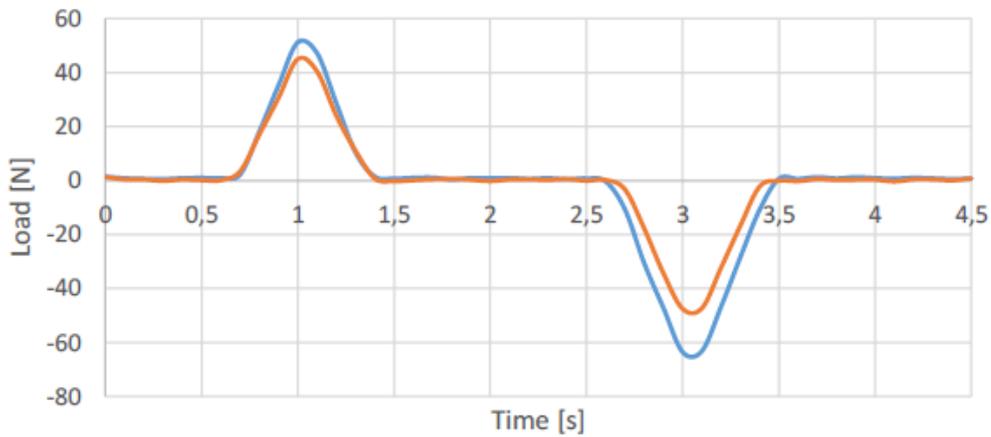


Figure 3-3 – Load measured by load cell 1 (red line) and load cell 2 (blue line) after 705 000 cycles

Current consumption (RMS) has not increased during the development of the test and the functional behavior of the actuator (load-displacement) have not been modified after the test. As can be seen in the graphs in Figure 3-4, the slopes are similar, meaning that the same displacement produces the same load increment.

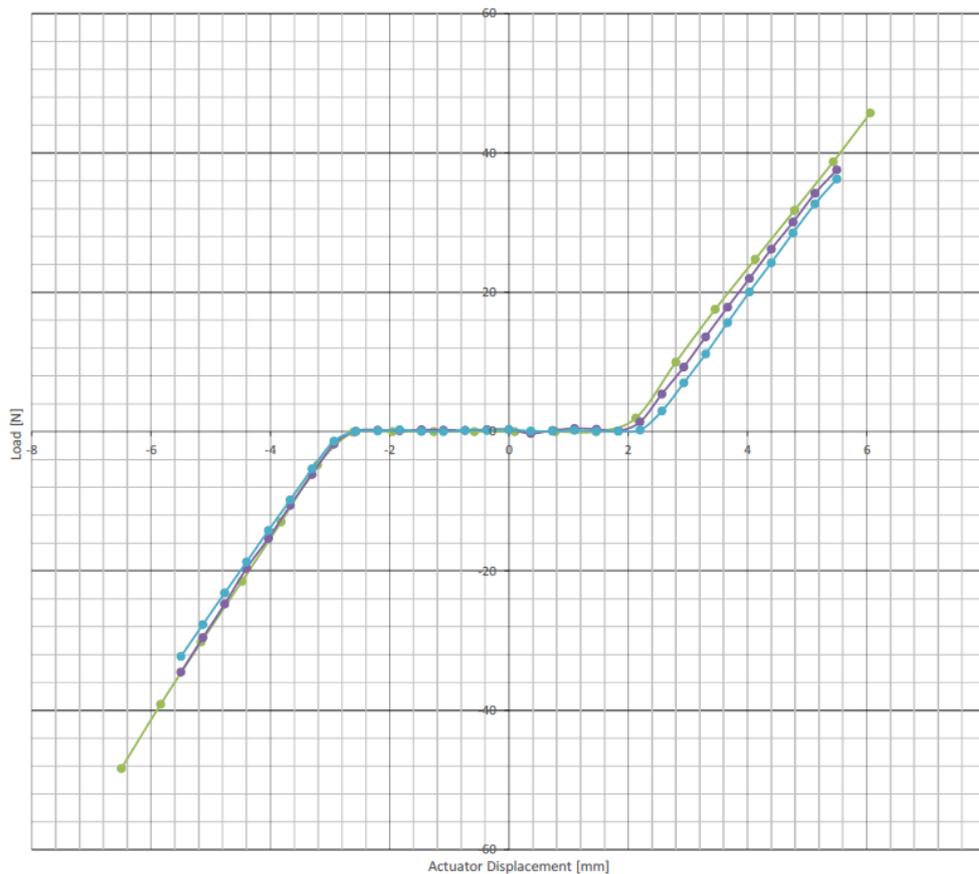


Figure 3-4 – Stepper actuator functional curves. Green line is the functional curve at the beginning of the test and blue and purple lines are the measures of the load cells 1 and 2 at the end of the test.

At the light of the results, test has been considered successful. This is, actuators have not shown neither hard failure nor performance degradation out of limits and initial assumptions have been checked.

Reliability demonstration is achieved at the level of confidence established under the hypotheses made. The lower limit of the mean time between failures for the actuators can be assumed to be higher than 1.2 million cycles or equivalently the upper limit for the failure rate can be said to be lower than $0.65E-06$ failures per hour with a level of confidence of 90%.

4. RELIABILITY DEMONSTRATION PLAN FOR A FLIGHT CONTROL ACTUATOR

This second case study presents a Reliability Demonstration Plan for FCS servo-actuators as the roadmap to verify the Purchaser reliability objectives.

It has been requested to perform a reliability demonstration plan for servo-actuators involved in a FBW flight control system for a twin engine jet. The project consists on developing four servo-actuators to command elevator, aileron, rudder and spoiler surfaces.

The aircraft primary flight controls consist of two elevators, two ailerons, a single rudder and eight multi-function spoilers. Two electrically commanded hydraulic actuators per each aileron, elevator and rudder surface, and one electrically commanded hydraulic actuator per spoiler surface.

Main components include:

- Solenoid valve
- Servo-valve
- Switching valve
- Damping valve
- Compensator
- LVDT
- Relief valve
- Filter

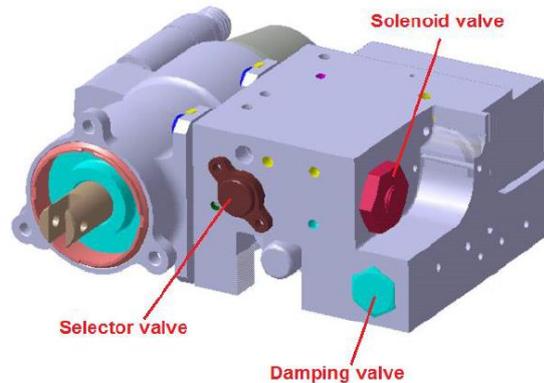


Figure 4-1 – Elevator Servo-Actuator
(source ref.[18])

The following table shows the MTBF estimated for these equipment.

<i>Equipment</i>	<i>MTBF (FH)</i>
<i>Aileron, Elevator & Rudder servo-actuator</i>	<i>21 000</i>
<i>Spoiler servo-actuator</i>	<i>29 000</i>

Table 4-1 – Estimated MTBF

The purchaser requests to demonstrate that the component meets or exceeds the reliability requirement with an 80% confidence level.

As a first approach, assuming the constant failure rate hypothesis and that non-operational time is not representative in the failure rate of the actuators, an Accelerated Life Testing based un usage acceleration factor is planned. Flight Control servo-actuators are continuously operating while on-flight, and in this case, a continuous operation throughout the day would be the objective. Special care should be paid in the verification of those hypotheses after the compilation of the test results, as in this new development, the environment (such as high level of vibration during flight) could have significant effects.

The plan is built using the exponential distribution and the cumulative binomial function. The following MTBF multipliers are obtained in order to calculate the necessary test time per unit.

<i>80% CL</i>	<i>Allowed failures</i>				
	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i># Units on test</i>					
<i>1</i>	<i>1.6094</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>2</i>	<i>0.8047</i>	<i>2.2483</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>3</i>	<i>0.5365</i>	<i>1.2476</i>	<i>2.6351</i>	<i>-</i>	<i>-</i>
<i>4</i>	<i>0.4024</i>	<i>0.8733</i>	<i>1.5494</i>	<i>2.9138</i>	<i>-</i>
<i>5</i>	<i>0.3219</i>	<i>0.6737</i>	<i>1.1189</i>	<i>1.75</i>	<i>3.1311</i>

Table 4-2 – MTBF multipliers

The first step is to find out how many cycles has to perform each actuator to demonstrate the MTBF and translate these cycles into hours. In order to do this, it is necessary to refer to each of the actuator's life cycle endurance profile. Once established the relation between cycles and time and taking into account the table above, the following results are obtained:

<i>Aileron</i>	<i>Allowed failures</i>				
<i># Units on test</i>	0	1	2	3	4
1	10 191	-	-	-	-
2	5094	14231	-	-	-
3	3396	7897	16680	-	-
4	2547	5528	9807	18444	-
5	2038	4266	7085	11081	19826

Table 4-3 – Test time per unit for aileron servo-actuator

<i>Spoiler</i>	<i>Allowed failures</i>				
<i># Units on test</i>	0	1	2	3	4
1	124	-	-	-	-
2	62	172	-	-	-
3	41	96	202	-	-
4	31	67	119	224	-
5	25	52	86	135	241

Table 4-4 – Test time per unit for spoiler servo-actuator

Results for elevator and rudder servo-actuators are in line with those of the aileron, not shown here as they do not add anything new.

It is at this point when the decision regarding available test time and number of units has to be made. The available test will be given by the development schedule and the number of units will depend on the availability of those. Always bearing in mind the most decisive factor: cost.

From Tables 4.3 and 4.4 it can be seen that the most sensible way forward would be to select two or three units (a high risk is assumed if only one unit is selected and complexity of the test bench and cost of the units could be too high if more than 4 units are used). The next table shows the needed months (assuming the test goes on the 24 hours a day, 7 days per week) to demonstrate the reliability of the equipment in the case of two and three units.

<i># Units on test</i>	<i>Allowed failures</i>					
	<i>Aileron</i>			<i>Spoiler</i>		
	0	1	2	0	1	2
2	7.1	19.8	-	0.086	0.24	-
3	4.7	11	23.1	0.057	0.13	0.28

Table 4-5 – Needed months for reliability demonstration

It shall be noted that this test time would be increased to perform adjustments, eventual equipment rests, set-up, etc. making the effective time lower than the 24/7 hypothetical test.

Particular conditions of the test (cycles at each load, vibration, thermal cycling, forced ventilation, rest times...) will be defined to be consistent with the hypotheses made in order to get the closest test to real conditions in the shortest test time.

5. CONCLUSIONES & FUTURE WORK

Throughout this paper, a general view of accelerated life testing has been provided along with two different case studies.

First case study shows how time compression ALT is easy to design and explain when the suitable conditions are present. Results are straightforward to interpret and hypotheses are verified after the analysis of the test results.

Second case study shows the reliability demonstration test plan for a more complex example, where also the rate of usage is accelerated, but the environmental conditions during non-operational time and constant rate assumption need to be carefully examined after tests completion.

It has been presented, two examples of quantitative testing, with the objective of verifying a certain reliability objective under a required confidence level, however it shall be noted that it is also important the qualitative approach (HALT) to learn about new designs, create robust products and apply a Reliability Growth philosophy. The Reliability Growth philosophy is based on qualitative testing with the objective to discover product faults and increase its reliability. Although reliability testing requires a portion of the project's budget, which can be considerable for new developments, finding causes of failure during development and preventing recurrence is far less expensive than finding new failure causes in use.

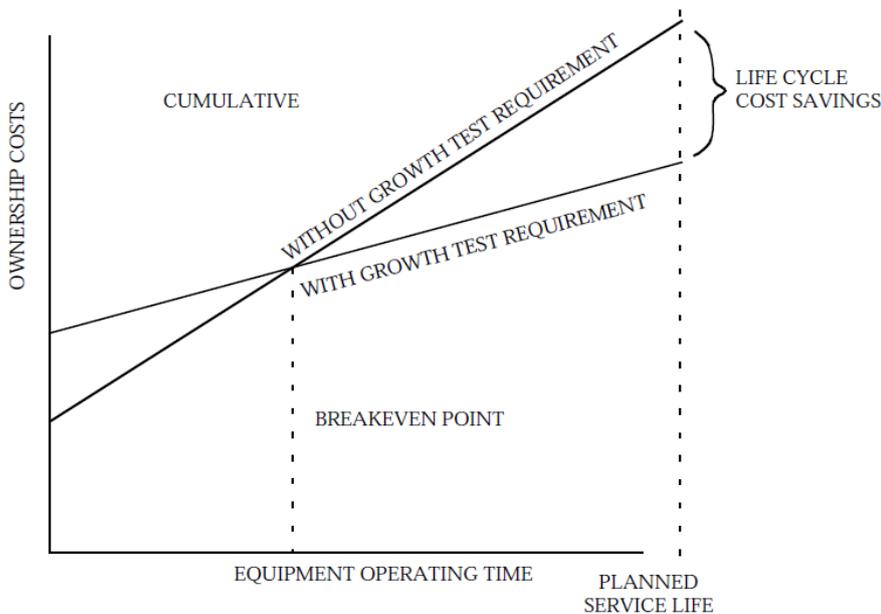


Figure 5-1 – Comparison of cumulative life cycle costs with and without specified reliability growth test requirements (source: ref.[19])

Further work should be done to raise awareness of the importance to bear in mind these types of tests (qualitative and quantitative) from the very first point of the project. Frequently, due to the extra costs that they imply and the always tightness of schedules, these tests are discarded when it is undeniable their contribution to a company's know-how. Management and decision making staff shall put in value the great amount of information these tests supply and the great savings they can achieve if properly applied. This shall be one of our main objectives as Reliability practitioners.

6. ABBREVIATIONS

ALT	Accelerated Life Testing
CESA	Compañía Española de Sistemas Aeronáuticos
CL	Confidence Level
FBW	Fly-by-wire
FCS	Flight Control System
FH	Flight Hour
HALT	Highly Accelerated Life Testing
HASS	Highly Accelerated Stress Screening
MTBF	Mean Time Between Failures
QALT	Quantitative Accelerated Life Testing

7. BIBLIOGRAPHY

- [1] J. Warleta, Fiabilidad, Capítulos 16 y 19
- [2] O'Connor and Kleyner, Practical Reliability Engineering, Chapter 12

- [3] Huairui Guo et al, Determining the Right Sample Size for Your Test: Theory and Application, 2013 IEEE Annual Reliability and Maintainability Symposium
- [4] Reliability Edge, Volume 12 Issue 1, Accelerated Testing with the Inverse Power Law
- [5] Reliasoft Corporation, Life Data Analysis Reference, Chapter 22
- [6] Reliasoft Corporation, Accelerated Life Testing
- [7] Reliability Hotwire, Issue 118, Using the Cumulative Binomial Equation for Reliability Demonstration Test Design and for Estimating the Parameters of a Data Set with Zero failures
- [8] Reliability Hotwire, Issue 165, Understanding the Effect of the Beta Parameter on Demonstration Testing
- [9] Accendo Reliability, A Brief Introduction to HALT
- [10] Accendo Reliability, For Maximum Test Value, Take it to the Limit!
- [11] Accendo Reliability, Life Testing Starting Point
- [12] Pantelis Vassilou and Adamantios Mettas, Understanding Accelerated Life Testing Analysis, RAMS 2002 Symposium
- [13] Reliawiki, Inverse Power Law Relationship
- [14] System Reliability Center SRC, Accelerated Testing of Systems and Assemblies
- [15] David H. Collins et al, Accelerated Test Methods for Reliability Prediction, Journal of Quality Technology - July 2013, Volume 45 · Number 3
- [16] MIL-HDBK-781, Reliability Test Methods
- [17] NPRD-2011
- [18] CESA internal documentation
- [19] MIL-HDBK-338B, Electronic Reliability Design Handbook

RECOLECCIÓN DE DATOS DE CONFIABILIDAD EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS MARINAS

5.1 *Ángel Marín, Sara González y Roger Mendonça*

5.2 *Iberdrola Ingeniería y Construcción, SAU*

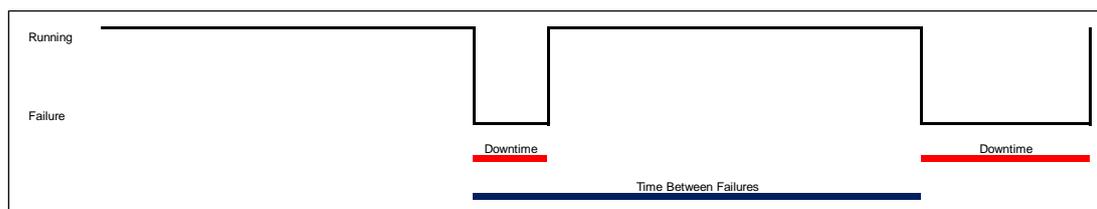
Resumen

En los últimos años se está promocionando el desarrollo de proyectos de instalaciones eléctricas marinas.

Es muy importante que estas instalaciones sean muy fiables, ya que se trata de instalaciones abandonadas, y poder asistirles en operaciones de reparación es muy costoso desde todos los puntos de vista.

En este tipo de instalaciones no existen datos de fiabilidad para la realización de estudios de viabilidad técnicos y económicos enfocados al análisis de ciclo de vida.

Los datos de confiabilidad requeridos son:



- **Datos de fiabilidad:** Para determinar los datos de fiabilidad, existen bases de datos de reconocido prestigio de instalaciones terrestres y que pueden usarse para determinar dichos valores.
- **Datos de mantenibilidad:** Para determinar estos valores es más complicado, ya que no hay demasiada experiencia en este sector. Además de los tiempos de parada estándar de instalaciones terrestres, se tiene que considerar otros tiempos que afectan a la mantenibilidad debidos a particularidades de este tipo de instalaciones. Estos tiempos son: Tiempos de logística marina, tiempo de encontrar una ventana climatológica adecuada, etc...

Entre las dificultades que se pueden encontrar en este tipo de instalaciones para poder asistirles están:

- Necesidades de embarcaciones adecuadas. Medios logísticos muy caros, debido a la escasa flota a nivel mundial preparada para acometer reparaciones en alta mar.
- Dificultades climatológicas para el acceso a la instalación marina con una ventana de reparación adecuada.
- Falta de formación por parte de muchos suministradores en reparaciones marinas.

- Pérdidas de producción más altas de lo usual durante fallos, debido los tiempos de parada y concretamente a aspectos logísticos.

1. Introducción

La gestión del mantenimiento de instalaciones de producción eléctrica aprovechando la energía oceánica es un área en desarrollo debido a lo novedoso de este campo.

El proceso de captación de energía marina se basa en convertidores de energía cinética similares a los empleados en las máquinas eólicas, implantados en este caso instalaciones marinas. El resto de la infraestructura necesaria es similar a la desarrollada en los parques eólicos offshore, por lo que la gestión del mantenimiento de estas instalaciones compartirá muchas similitudes.

Para el aprovechamiento de este tipo de energía existen diversos tipos de tecnologías. Estos son dispositivos parecidos a los rotores de las turbinas eólicas.

Además del mantenimiento de los aerogeneradores marinos, el parque marino necesitara en otras partes de la planta, tales como:

- **Sistema colector**, el cual se compone de los sistema eléctrico de potencia para la evacuación de la energía y del sistema de comunicaciones.
- **Subestaciones Eléctricas Transformadoras**. Dependiendo del proyecto podremos encontrar sistemas colectores que desemboquen la energía producida en subestaciones onshore o plantas de mayores dimensiones en las que sea necesario disponer de puntos de transformación intermedia mediante la instalación de subestaciones offshore.



En los casos en los que se hace necesaria la instalación de Subestaciones Offshore, esta aumenta el voltaje de la electricidad generada antes de su transmisión a tierra firme, para reducir las pérdidas eléctricas. La subestación está instalada en una estructura de soporte y contiene instalaciones para permitir el acceso marítimo y aéreo en la mayoría de los casos,

que puede ser una plataforma helicóptero si la estructura está lejos de la costa.

2. Accesibilidad

La operación de las instalaciones se realiza principalmente de forma remota desde el centro de operaciones en tierra, sin embargo las tareas de mantenimiento tienen que llevarse a cabo de forma local, lo que significa que el personal tiene que poder acceder a las estructuras marinas en alta mar. Dependiendo de la tarea, pueden ser requeridas distintas soluciones logísticas.

Mejorar los costes y tiempos de acceso a los generadores offshore es un área clave donde se pueden mejorar la eficacia y los costes de mantenimiento.

La estrategia para elección de los distintos tipos de transporte y logística, va a depender entre otros de los siguientes factores:

- La cantidad de personas y medios técnicos necesarios para la tarea de mantenimiento.
- Los tiempos de tránsito de cada uno de los medios de transporte.
- La fiabilidad del medio de transporte elegido, en relación a las posibilidades que tiene de realizar el movimiento en el momento necesario sujeto a las condiciones climáticas y marítimas.
- Dimensión de la planta.

Las dimensiones y diseño de la instalación también condicionarán los medios logísticos que van a tenerse en la etapa de Operación y Mantenimiento (O&M) de la planta, ya que a mayor escala de operaciones, será posible contar con una mayor dotación de medios, así como con soluciones logísticas más robustas para el acceso a instalaciones offshore, tales como el uso de helicópteros para el traslado de personal y el uso de pasarelas especializadas instaladas en los buques de mantenimiento.

La programación de actividades de mantenimiento y el acceso las instalaciones offshore no solo depende de condicionantes puramente técnicos, en este tipo de instalaciones el acceso a las plataformas offshore por necesidades de mantenimiento está sujeto también a condiciones climatológicas y marítimas, así como la distancia de las instalaciones al puerto donde se ubica el Centro de O&M Onshore. Estos condicionantes externos afectarán sin duda alguna a la disponibilidad total de la planta.

Además de este condicionante que afecta a la producción, la cuestión logística del personal dedicado al mantenimiento en las instalaciones offshore representa un riesgo importante para el personal que va a llevar a cabo el trabajo técnico, y requiere una formación especializada del mismo para trabajos en el medio marino. En ocasiones, los traslados por vía marítima del personal desde el Centro de O&M Onshore se convierte en un limitante por condiciones meteorológicas adversas, pero en otras ocasiones incluso la fatiga de las tripulaciones y técnicos se convertirá en una consideración de seguridad importante para organizar las tareas de mantenimiento.

Además de las limitaciones anteriormente descritas, en los movimientos marítimos habrá que tener consideración, para coordinarse con los organismos correspondientes, del paso de rutas de navegación destinadas a actividades militares, de pesca y/o recreo.

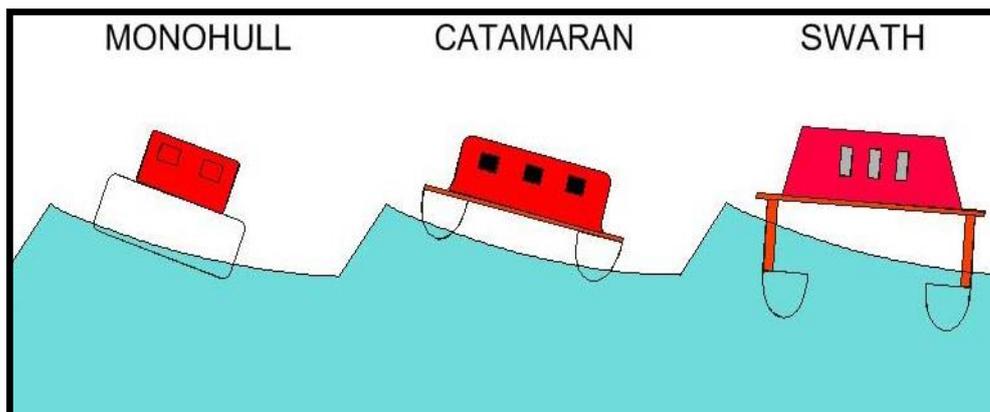
A continuación se describen diferentes tipos de transporte:

2.1. Transporte marítimo

La elección del tipo de barco y el diseño se ve afectada por las condiciones marítimas y cómo se utilizará la embarcación. Los barcos aptos para el transporte de personal dentro de los parques marinos suelen estar diseñados para transportar 12 o 24 personas.

Llegados a este punto ha de analizarse como conviene optimizar el traslado de los equipos de mantenimiento a los distintos puntos offshore, aprovechando la movilización de varios equipos de mantenimiento a distintas plataformas marinas en el mismo viaje para tareas de mantenimiento preventivo.

La elección del tipo de barco está en función de las características del mar del sitio. La amplitud y la duración de las olas del mar son factores importantes para su selección. Para disminuir los movimientos botes causados por las ondas, la longitud de la embarcación debe ser más largo que la longitud de onda de las ondas del mar. La capacidad de operar con viento fuerte y las olas son muy importantes para poder maximizar la cantidad de horas de trabajo cada semana.



2.1.1. Tipos de transporte marítimo:

Tal como se describe, dependiendo de las necesidades de cada tipo de transporte y de las necesidades intrínsecas a cada proyecto conviene realizar un estudio intensivo sobre el tipo de transporte marítimo que será más adecuado para cada proyecto.

Los tipos de embarcaciones más comúnmente utilizados para realizar este tipo de trabajos, en función de la estabilidad, capacidad de carga o transporte y coste intrínseco a cada uno de ellos son:

- **Barco de casco rígido:**

Los barcos de casco rígido tienen un consumo de combustible más reducido que los catamaranes. El diseño del casco con fondo plano permite un mayor espacio interior sin alterar las prestaciones para almacenar herramienta, recambios y otros.



En contrapartida las embarcaciones de casco rígido se balancean de forma acentuada con el oleaje, amortiguando por medio de las oscilaciones el efecto de la fuerza de las olas, esto puede resultar un aspecto negativo de cara a realizar determinadas tareas de mantenimiento.



- **Catamarán:**

La ventaja de utilizar un catamarán es un aumento de la estabilidad en las operaciones de carga y descarga así como en condiciones de marejada. Este es un factor importante a la hora de abordar tareas de mantenimiento correctivo que entrañen labores de carga y descarga de equipos pesados. Además el diseño de dos cascos del catamarán facilita la aproximación a las plataformas de los aerogeneradores marinos.

- **SWATH:**

Un SWATH (Small Waterplane Area Twin Hull) es un navío tipo catamarán con una leve superficie de flotación, impulsado a motores y que posee dos cascos, cada uno de los cuales está profundamente sumergido. La plataforma central está unida a los cascos por juntas puestas al nivel de flotación de tal forma que parece que la estructura superior se apoya en dos submarinos.

Lo interesante del SWATH es la mejora de la estabilidad de la nave durante temporales ya que, al estar los cascos profundamente sumergidos y estar reducida la superficie sobre la línea de flotación el navío sufre mucho menos el efecto desestabilizador del oleaje o de las rachas de viento, lo que dará una mayor estabilidad para llevar a cabo las tareas de mantenimiento y las transferencias de personal y equipos a las plataformas offshore.

Sus oscilaciones se reducen entre el 20% y 50 % en comparación con un monocasco de igual carga de desplazamiento, por contrapartida su coste es mucho más elevado.

- **Pequeñas embarcaciones motoras:**

En el caso de intervenciones puntuales no programadas o de mantenimiento rutinario que exijan una menor movilización de personal y medios materiales, habría que valorar el uso de un medio de transporte más reducido de cara a reducir costes, para ello sería una buena elección el uso de pequeñas embarcaciones, siempre que el estado del medio marítimo y las condiciones climáticas permitan su uso para el transporte del personal de mantenimiento en condiciones seguras.



2.2. Transportes aéreos: Helicópteros

Una alternativa a considerar en el transporte de personal a ubicaciones offshore, es el transporte por helicóptero.

Aunque el coste de este transporte es más elevado que el transporte marítimo y más limitado de cara a transportar piezas de recambio y herramientas necesarias para determinadas tareas de mantenimiento. Los helicópteros pueden ser utilizados para la transferencia de aire del personal a las plataformas offshore en determinadas ocasiones en las que sea necesaria una respuesta rápida y/o las condiciones marítimas no lo permitan hacer por medio de embarcaciones.

Este tipo de transporte requiere la inclusión de una plataforma de aterrizaje fija en las estructuras marítimas lo suficientemente amplia lo que condiciona también los costes de diseño del proyecto, por lo que puede limitarse el uso de este tipo de transporte a proyectos grandes con una fuerte capacidad de inversión y aprovechamiento de sinergias y/o para proyectos en los que haya que recorrer grandes distancias o las condiciones usuales del mar no permitan acceder de modo seguro a las instalaciones.

2.3. Resumen de los distintos tipos de transporte

En la siguiente tabla se describen las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas de transporte:

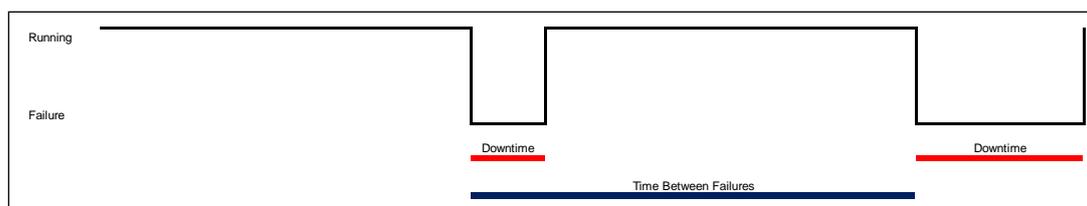
Tipo de desembarco	Máxima altura de ola (m)	Máxima velocidad del viento (m/s)	Ventajas	Desventajas
Desembarco directo	0,5–1,5 (emb. pequeñas) 2,5 (embarcaciones medias)	10	Método simple y menos costoso	Muy condicionado por el estado de la marea
Desembarco con compensación de movimiento	2 – 2,5 (Seabridge) 2 - 3 (Ampelmann)	11,5 (Seabridge) 14 (Ampelmann)	No está condicionado por el estado de la marea	Necesidad de inversión extra en equipamiento
Helicóptero	-	15-20	No está condicionado por el estado de la marea y es el más rápido	Alto coste

3. Recopilación de datos de fiabilidad

Es muy importante que estas instalaciones sean muy fiables, ya que se trata de instalaciones abandonadas, y poder asistirles en operaciones de reparación es muy costoso desde todos los puntos de vista.

En la fase de estudios de fiabilidad de una instalación en fase de viabilidad técnico-económica. Dado lo novedoso de estas instalaciones, se debe tener en consideración que no existen datos fiables para realizar estos estudios

Los datos de confiabilidad requeridos son:



- **Datos de fiabilidad:** Para determinar los datos de fiabilidad, existen bases de datos de reconocido prestigio de instalaciones terrestres y que pueden usarse para determinar dichos valores.
- **Datos de mantenibilidad:** Para determinar estos valores es más complicado, ya que no hay demasiada experiencia en este sector. Además de los tiempos de parada estándar de instalaciones terrestres, se tiene que considerar otros tiempos que afectan a la mantenibilidad debidos a particularidades de este tipo de instalaciones. Estos tiempos son: Tiempos de logística marina, tiempo de encontrar una ventana climatológica adecuada, etc...

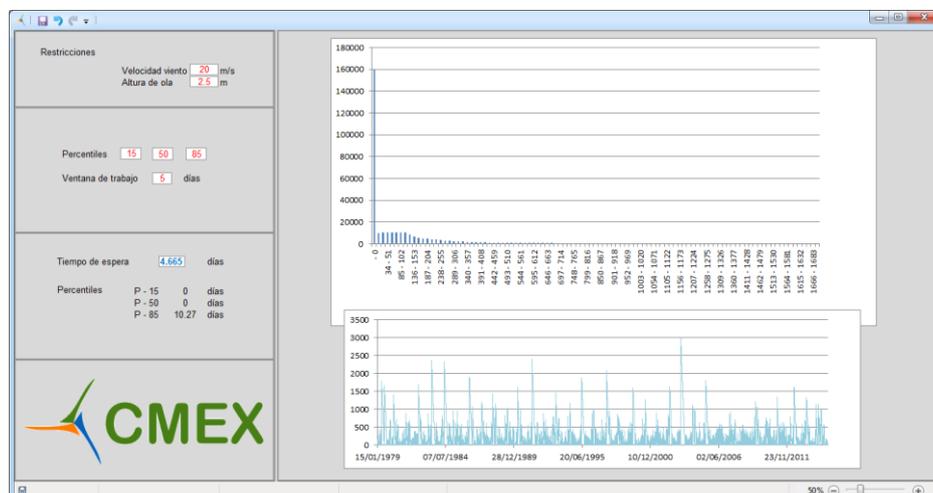


Entre las dificultades que se pueden encontrar en este tipo de instalaciones para poder asistirles están:

- **Necesidades de embarcaciones adecuadas.** Medios logísticos muy caros, debido a la escasa flota a nivel mundial preparada para acometer reparaciones en alta mar.
- **Dificultades climatológicas** para el acceso a la instalación marina con una ventana de reparación adecuada.
- **Falta de formación** por parte de muchos suministradores en reparaciones marinas.
- **Pérdidas de producción más altas de lo usual durante fallos,** debido los tiempos de parada y concretamente a aspectos logísticos.

En Iberdrola Ingeniería y Construcción se ha desarrollado una herramienta de cálculo del tiempo medio de espera para poder encontrar una ventana climatológica adecuada para ejecutar una reparación. Para alimentar esta herramienta se ha tenido en consideración:

- **Embarcaciones tipo** según la reparación a acometer. La selección de la embarcación servirá para determinar el tiempo de espera climatológico según las condiciones de velocidad de viento y ola de diseño de la misma.
- **Historial climatológico** de la ubicación de 35 años con datos horarios de altura de ola y velocidad de viento.



APROXIMACIÓN CUALITATIVA AL CONCEPTO DE VALOR DURANTE EL CICLO DE VIDA DE UN ACTIVO INDUSTRIAL

*Antonio de la Fuente, Vicente Gonzalez-Prida, Juan Gómez,
Antonio Guillén, Antonio Sola, Adolfo Crespo, Carlos Parra
Departamento de Organización Industrial, Universidad de Sevilla, España.*

Resumen:

La familia de normas ISO 5500x establece el “Valor” como uno de los conceptos clave en la gestión de activos. Según esta norma, el activo es la entidad que tiene o genera valor para la organización, y la definición concreta del valor para dicha organización responde a un equilibrio de aspectos financieros, ambientales y sociales, entre otros, que a su vez tienen que estar alineados con los objetivos estratégicos de la organización. En este artículo se propone la definición de unas “dimensiones del valor” que pueden ser factorizadas y medidas para, posteriormente, combinarlas de en una única media semicuantitativa. Disponer de este tipo de indicador permite comparar cualitativamente los beneficios aportados por los activos presentes en un proceso industrial o empresarial y puede tener gran impacto en los procesos complejos de toma de decisiones.

1. Introducción

"Valor" es uno de los conceptos clave en la gestión de activos. La norma internacional ISO 55000 establece que la gestión de activos debe promover la aportación de valor considerando en este concepto el equilibrio de resultados financieros, ambientales y sociales, calidad de servicio, rendimiento, etc., ligados a la explotación de los activos industriales. Para ello, la organización ha de fomentar un mejor desempeño de los activos, de una manera cuantificable en factores ambientales o sociales, de las habilidades y el desarrollo de competencias, de la mitigación o adaptación al cambio climático o de los objetivos de sostenibilidad [1], [2]. El “Valor” es una cualidad que debe ser definida o interpretada por la propia organización, según los criterios estratégicos de ésta. Para gestionar y tomar decisiones en base al valor, se observa necesario medirlo según las diferentes formas en que se puede interpretar o manifestar. Estas “formas del valor” deben ser descritas de manera que sean medibles, siendo posible entonces hablar de “dimensiones del valor”. A cada dimensión se le podrá asociar unos factores, los cuales corresponderán a cada una de las líneas o tendencias sobre las que puede variar el valor. En otras palabras, en Gestión de Activos, el conjunto de Factores nos definirá tangiblemente la cualidad Valor según una determinada Dimensión. Obviamente, dependiendo de la organización las dimensiones tendrán distinta relevancia en la composición del valor. Así mismo, al determinar la importancia relativa de las diversas dimensiones del valor, hay que considerar que los distintos roles, tanto externos (propiedad, usuario) como internos a la organización (operador, mantenedor), pueden aportar visiones complementarias sobre las dimensiones del valor y su interpretación hacia el funcionamiento y gestión de un activo determinado. Un

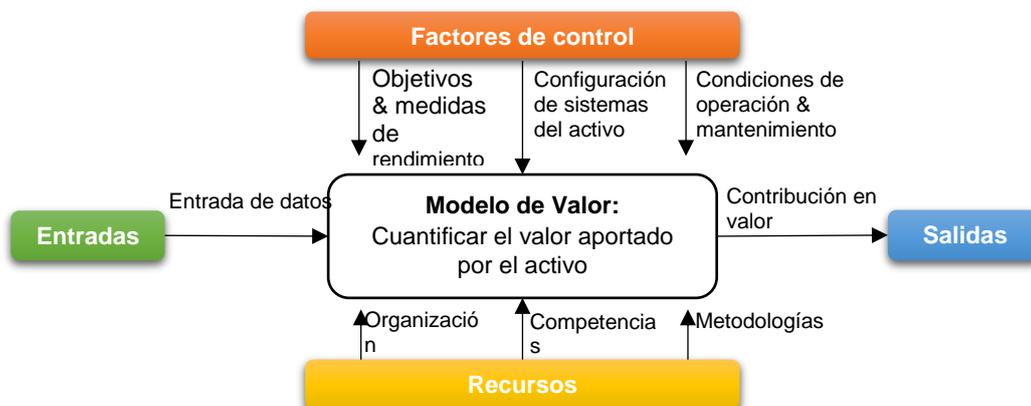
ejemplo de cómo puede distribuirse la percepción de valor según los distintos roles se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Ejemplo factores de valor para los distintos roles relacionados con un activo.

Factores	Atributos	Propiedad	Operador	Mantenedor	Usuario
Impacto en Producción	Beneficio empresarial	X	X		
	Rendimiento		X	X	
	Coste del servicio		X		X
Impacto en la Calidad de Servicio	Cumplimiento del servicio			X	X
	Diversidad de Servicio	X			X
	Seguridad		X	X	X
	Usabilidad		X		X
Impacto en el Medio Ambiente	Emisión de CO2	X			X
	Consumo energético	X	X	X	
	Aplicación de en. renov.	X			X

Como se apuntaba anteriormente, los diversos factores deberán facilitar la cuantificación del valor que conceden los activos al objetivo global de la organización, siendo éste un criterio rector para la toma de decisiones. La definición final del concepto de valor es propia de cada organización. Los factores y su peso dentro del modelo deberán consensuarse entre los intereses de los distintos roles (una posibilidad es la de formar grupos de trabajo con representantes de todas las visiones) En los siguientes apartados se muestran la metodología propuesta para dar lugar a esta cuantificación. Una visión complementaria a la expuesta sobre los factores de valor es la que analiza los elementos claves para la obtención y explotación de un modelo de medida del valor. Estos aparecen descritos en el marco general básico para la modelización del valor (Figura 1).

Fig. 1. Elementos claves para la obtención de un modelo de valor [3].



El estudio sobre los modelos de medida del valor como herramienta de la gestión de activos se encuentra en plena actualidad y en constante evolución [4]. Asimismo, la cuantificación del valor bajo el símil de un grado de avance en los objetivos de uso del activo (según la estrategia de la organización), puede ser un buen apoyo para la toma de decisiones, de una manera adicional a los tradicionales análisis de costes de ciclo de vida. Este conocimiento añadido podrá evitar indeterminaciones o inconcreciones que puedan afectar negativamente al cumplimiento de los objetivos estratégicos del negocio [5]. Otras decisiones en este sentido pueden también extrapolarse de las referencias [6], [7]. La metodología para el tratamiento de la medida del valor que se desarrolla a continuación propone una sistemática sencilla que persigue únicamente ser ilustrativa y de fácil aplicación a cualquier caso práctico de una organización industrial donde se pretenda implantar un sistema de gestión de activos.

2. Propuesta de Índices de Contribución al Valor por Factores de Valor

2.1 Introducción a la metodología para el cálculo del ICV

A continuación se plantea la composición de un Índice total de Contribución en Valor por parte de un activo (ICV), a modo de herramienta para la medida del valor. Como ya se introdujo con anterioridad, es importante destacar que la metodología de cálculo expuesta es una mera propuesta sin ánimo de ser exhaustiva y con la única intención de ilustrar una posible ponderación de este concepto. El planteamiento trata de ser una medida semicuantitativa y adimensional del valor que, como se ha indicado anteriormente, incluya una evaluación ponderada de los distintos factores considerados. Para cada factor se consideran una serie de atributos que deben ser definidos por la organización (Tabla 2). El ICV de cada factor pondera también el peso de cada uno de estos atributos dentro del índice, de la misma forma que se pondera cada factor al componer el índice global de contribución al valor

Tabla 2.- Ejemplo de dimensiones, factores y atributos para la construcción del índice de contribución de valor

Dimensiones del valor	Factores de valor	Atributos del Índice de Contribución de Valor por cada Factor de Valor Considerado
Sostenibilidad del negocio	Impacto en Producción	Planificación; Capacidad, Productividad; Coste del servicio; Rendimiento.
	Impacto en la calidad de servicio	Motivación; Satisfacción; Formación; Competencias; Cumplimiento del servicio; Aplicación de TICs, Usabilidad.
Sostenibilidad ambiental	Impacto en el Medioambiente	Emisiones de residuos; Energías renovables; Seguridad; Consumo energético.

La evaluación de los distintos atributos será compuesta en un ICV por cada factor de valor que a su vez se emplearán para componer, de manera similar, el ICV global del activo. Las expresiones (1) y (2) pueden usarse indistintamente para el cálculo de del ICV por cada factor de valor, donde n es el número de atributos que componen cada factor y X_i ($i=1,2,..n$) es el grado de madurez de cada atributo.

$$ICV_{factor} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (1)$$

$$ICV_{factor}(\%) = \left(\frac{1}{n \times 4} \sum_{i=1}^n X_i \right) \times 100 \quad (2)$$

El método de evaluación de cada uno de los atributos propuestos se ha basado, entre otras referencias, en los modelos de media de la madurez que se emplean para evaluar el estado real de las organizaciones en cuanto a ciertos aspectos clave para la misma, tanto a nivel organizativo como de aplicación de tecnologías. La cuantificación objetiva de estos aspectos suele ser compleja, al igual que ocurre con el caso del valor que estamos tratando.

En ese sentido, los modelos de madurez a los que nos referimos tienen gran utilidad en el campo del mantenimiento empleándose como herramienta fundamental en los estudios de benchmarking [8], [9]. Usando los siguientes niveles de madurez del mantenimiento como referencia ([10]): Excelente (V), bueno (IV), normal o promedio (III), justo (II) y pobre (I); se establecen para cada uno de los indicadores y nivel de madurez, un valor de referencia internacional, que es actualizado como consecuencia de la implementación de las medidas RAM [11]–[14]. Similar a lo anterior, a continuación se mostrarán ejemplos de cuantificación del valor, simplificando la anterior escala a sólo 5 niveles (de 0 a 4).

2.2 Cálculo del ICV para el factor Impacto en la Producción.

Se han considerado una serie de atributos (5 en particular) para el factor de valor que, evaluándose en el activo en particular en una escala del 0 al 4, debe permitir obtener la cuantificación de la aportación de valor de este activo concreto en relación a este factor. El siguiente cuadro (tabla 3) resume la evaluación de atributos y el cálculo de ICV de producción para dos activos A y B. En este caso, el cálculo de ICV es la ponderación de los valores de los diferentes atributos.

Tabla 3. Ejemplo de cuantificación del valor desde el factor Impacto en Producción

Atributo	Criterio	Escala	Activo A	Activo B
Planificación	Relación entre actividades previstas y planificadas para el activo	0: Nada o muy malo (<60%) 1: Poco (>60%) 2: Normal (>80%) 3: Bueno (>90%) 4: Excelente (>95%)	3	2
Capacidad	Capacidad utilizada del activo en relación con la capacidad máxima de los procesos	0: Nada o muy malo 1: Poco 2: Normal 3: Bueno 4: Excelente	3	3
Productividad	Horas operativas del activo dedicadas a una función respecto el total de horas	0: Nada o muy malo (<75%) 1: Poco (>75%) 2: Normal (>85%) 3: Bueno (>90%) 4: Excelente (>95%)	3	4
		0: Nada o muy malo 3: Bueno		

Coste del servicio	Percepción sobre el coste del servicio en el que se encuentra involucrado el activo	1: Poco 2: Normal	4: Excelente	2	3
Rendimiento	Porcentaje de cumplimiento de objetivos por parte del activo	0: Nada o muy malo (<75%) 1: Poco (>75%) 2: Normal (>85%)	3: Bueno (>90%) 4: Excelente (>95%)	2	3
ICV Producción				2,6	3

A partir de estas evaluaciones es posible realizar análisis y establecer comparaciones que permitan guiar la gestión del propio activo dentro de la estrategia de la empresa. El valor total obtenido respecto a la máxima posible, en términos porcentuales para cada activo del ejemplo, se muestra en la tabla (Tabla 4).

Tabla 4. Resultado en el ejemplo de cuantificación del valor desde el factor Impacto en Producción

	Activo A	Activo B
Planificación	3	2
Capacidad	3	3
Productividad	3	4
Coste del servicio	2	3
Rendimiento	2	3
TOTAL	13	15
% Respecto la máx. Puntuación (20)	65,00%	75,00%

2.3 Índice de Contribución en Valor por Impacto Social (IS)

Para el caso de la contribución en valor por aspectos de índole social, se han considerado una serie de atributos (7 en particular) para el activo que, evaluándose en una escala del 0 al 4, debe permitir obtener un índice de su cuantificación. En el siguiente cuadro (Tabla 5) se comparan dos activos en cuanto a su contribución en valor por impacto social en el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización. Al igual que en el punto anterior, el cálculo del ICV es la ponderación de los diferentes atributos.

Tabla 5. Ejemplo de cuantificación del valor desde el factor Impacto Social

Atributo	Criterio	Escala	Activo A	Activo B
Motivación	Percepción del personal involucrado en la O&M del activo, respecto su posición en la organización	0: Nada o muy malo 1: Poco 2: Normal 3: Bueno 4: Excelente	1	2
Satisfacción	Percepción del usuario directo o indirecto del	0: Nada o muy malo (<70%) 1: Poco (>70%) 3: Bueno (>90%) 4: Excelente (>95%)	1	2

	activo, respecto a sus expectativas previas	2: Normal (>85%)		
Formación	Porcentaje de personal involucrado en la O&M del activo, cubierto por planes de formación	0: Nada o muy malo (<10%) 3: Bueno 1: Poco 4: Excelente (>90%) 2: Normal	2	3
Competencias	Porcentaje de personal involucrado en la O&M del activo.	0: Nada o muy malo (<60%) 3: Bueno (>85%) 1: Poco (>60%) 4: Excelente (>90%) 2: Normal (>75%)	3	2
Cumplimiento del Servicio	Porcentaje de servicios cumplidos en donde está involucrado el activo	0: Nada o muy malo (<60%) 3: Bueno (>90%) 1: Poco (>60%) 4: Excelente (>95%) 2: Normal (>85%)	3	4
TICs Activos Físicos	Porcentaje de TICs aplicados para monitorización de activos	0: Nada o muy malo (<50%) 3: Bueno (>90%) 1: Poco (>50%) 4: Excelente (>95%) 2: Normal (>75%)	2	3
Usabilidad	Facilidad para el uso de los servicios por parte de personas con discapacidades y minusvalías	0: Nada o muy malo 3: Bueno 1: Poco 4: Excelente 2: Normal	2	1
Índice de Contribución en Valor por Impacto Social (IS)			2	2,42857

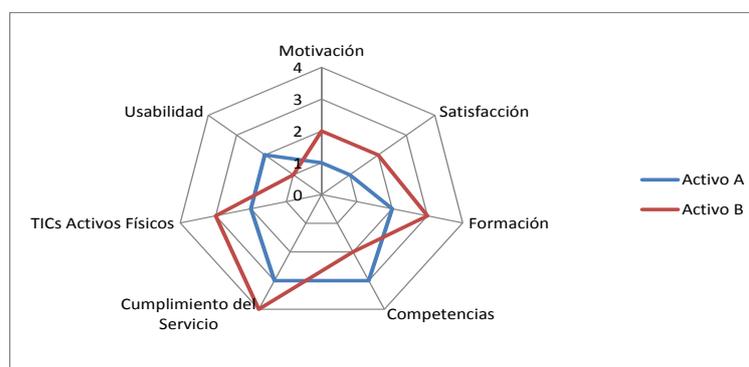


Fig. 2. Representación gráfica de la contribución desde el factor Impacto Social

El valor total obtenido respecto a la máxima posible, en términos porcentuales para cada activo del ejemplo, se puede mostrar en una tabla como anteriormente, o bien, ilustrados en una gráfica de roseta (Figura 2).

2.4 Índice de Contribución en Valor por Impacto Medioambiental (IM)

Para el caso de la contribución en valor por aspectos de índole medioambiental, se han considerado una serie de atributos (4 en particular) para el activo que, evaluándose en una escala del 0 al 4, debe permitir obtener un índice de su cuantificación. En el siguiente cuadro (Tabla 6) se comparan dos activos en cuanto a su contribución en valor por impacto medioambiental

en el cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización. Aunque aquí no se muestra, el valor total obtenido respecto a la máxima posible puede mostrarse en términos porcentuales en una tabla, o bien, ilustrarse en una gráfica de roseta para cada activo.

Tabla 6. Ejemplo de cuantificación desde la dimensión medioambiental

Atributo	Criterio	Escala		Activo A	Activo B
Emisiones Residuos	Grado de control y reducción en las emisiones de CO2 y otros residuos contaminantes generados por el activo	0: Nada o muy malo 1: Poco 2: Normal	3: Bueno 4: Excelente	3	2
Energías renovables	Grado de utilización de energías verdes y materiales reciclables por el activo	0: Nada o muy malo 1: Poco 2: Normal	3: Bueno 4: Excelente	2	2
Seguridad	Porcentaje de personas y entes externos (infraestructuras, medioambiente) afectados por incidencias en el activo	0: Muy malo (>90%) 1: Poco 2: Normal	3: Bueno 4: Excelente (<10%)	2	1
Consumo energético	Grado de consumo de energía por parte del activo respecto al promedio para una operación estándar	0: Nada o muy malo 1: Poco 2: Normal	3: Bueno 4: Excelente	3	4
Índice de Contribución en Valor por Impacto Medioambiental (IM)				2,5	2,25

3 Cálculo del ICV global (ICV)

Para cuantificar el grado (o índice) total de contribución en valor por parte de un activo en un momento dado, ha de efectuarse una combinación de los anteriores indicadores. Según las circunstancias y el posible predominio de los intereses de algún stakeholder frente a los de otros, es oportuno que los indicadores no puedan computarse de una manera alícuota, sino que deban ser ponderados mediante un determinado peso.

$$ICV = \alpha \cdot IE + \beta \cdot IS + \gamma \cdot IM \quad (3)$$

La expresión (3), sin pretender ser exhaustiva, es una propuesta simple que ilustra o sugiere la consideración de una serie de pesos representados en los coeficientes α , β , y γ , los cuales modificarán la cuantificación total del valor del activo. Suponiendo unos determinados pesos, el siguiente cuadro muestra el resultado que se obtendría en el ejemplo anterior (Tabla 7).

Tabla 7. Resultado porcentual en la cuantificación del valor de un activo

	Activo A	Activo B	Coeficiente	Peso del factor
Impacto Económico	2,6	3	α	0,5
Impacto Social	2	2,43	β	0,3
Impacto Medioambiental	2,5	2,25	γ	0,2
				1,00
Índice de Contribución en Valor del Activo	2,40	2,68		
% respecto la máx. Puntuación (4)	60,00%	66,96%		

4 Conclusiones y futuras líneas de investigación

A lo largo de este documento se ha descrito la influencia en la gestión de activos de factores como el impacto en la producción, el ámbito social o el medioambiental. Estos factores se han presentado asociados a posibles dimensiones del valor como pueden ser la sostenibilidad del negocio o la sostenibilidad ambiental, y se ha propuesto traducirlos a un porcentaje de contribución de valor similar al que podría entenderse como un grado de avance en la gestión de proyectos. Con ello, se pretende que posteriores líneas de actuación reúnan estas características en una técnica que permita el seguimiento del ciclo de vida del activo, no sólo basado en costes sino también en base al valor que provee el activo a la organización con el tiempo. Una futura metodología podrá requerir que esta evaluación sea desarrollada a lo largo del tiempo en periodos que se deberán estimar como convenientes la propia organización. Con tal efecto, futuras investigaciones podrán tratar una metodología que considere ambos aspectos (coste y valor) de modo que pueda ser útil para tomar decisiones sobre los propios activos como es el hecho por ejemplo de controlar y comprobar que el uso de los recursos durante el ciclo de vida se está aplicando correctamente (entre otras opciones). Este control podrá alertar de incidencias en la gestión del activo que pueden causar problemas a futuro, así como facilitar la decisión cuando se plantea la inversión entre activos alternativos.

Referencias

- [1] J. E. Amadi-Echendu *et al.*, "What is engineering asset management?," *Eng. Asset Manag. Rev.*, 2010.
- [2] K. El-Akruti, R. Dwight, and T. Zhang, "The strategic role of Engineering Asset Management," *Int. J. Prod. Econ.*, 2013.
- [3] I. Roda, A. K. Parlikad, M. Macchi, and M. Garetti, "A Framework for Implementing Value-Based Approach in Asset Management," Springer, Cham, 2016, pp. 487–495.
- [4] A. Sola Rosique and A. Crespo Márquez, *Principios y marcos de referencia de la gestión de activos*. AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, 2016.

- [5] V. González-Prida Díaz and A. Crespo Márquez, *After-sales Service of Engineering Industrial Assets*. 2014.
- [6] R. Howes, "Improving the performance of Earned Value Analysis as a construction project management tool," *Eng. Constr. Archit. Manag.*, 2000.
- [7] J. S. Page, *Conceptual cost estimating manual*. GPP, 1996.
- [8] T. Wireman, *Benchmarking best practices in maintenance management*. Industrial Press, 2004.
- [9] J. S. Mitchell, J. E. Hickman, and J. E. Amadi-Echendu, *Physical asset management handbook*. Clarion Technical Publishers, 2007.
- [10] H. B. Maynard, S. M. Lowry, and G. J. Stegemerten, "Time and Motion Study and Formulas for Wage Incentives." McGraw-Hill Book Co., New York, NY, 1940.
- [11] R. Dekker, "Applications of maintenance optimization models: a review and analysis," *Maint. Reliab.*, 1996.
- [12] H. Wang, "A survey of maintenance policies of deteriorating systems," *European Journal of Operational Research*. 2002.
- [13] U. N. E. Norma, "200001-3-1," *Técnicas análisis la Confiabilidad*.
- [14] C. P. Team, "Software Engineering Institute. 2007. CMMI®for Development, Version 1. CMMI-DEV, V1. 2."

MODELO DE FIABILIDAD DE FALLOS A LA DEMANDA EXTENDIDO: CONSIDERACIÓN DEL EFECTO DE LAS PRUEBAS Y MANTENIMIENTO

*Pablo Martorell^a, Isabel Martón^a, Ana Sánchez^b, Sebastián Martorell^a,
^aGrupo MEDASEGI, Departamento de Ingeniería Química y Nuclear
^bDepartamento de Estadística e Investigación Operativa*

RESUMEN

La fiabilidad de los sistemas y componentes que integran una instalación industrial resulta esenciales para garantizar un funcionamiento correcto y seguro de la misma. En este sentido, el mantenimiento y las pruebas influyen decisivamente sobre el estado de los componentes. En esta ponencia se presenta un nuevo modelo dependiente del tiempo para la probabilidad de fallo en demanda de un componente de seguridad, introduciendo los efectos positivos y negativos de los mantenimientos y las pruebas.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, diversos estudios han mostrado la importancia de modelar de forma explícita como el envejecimiento de los equipos afecta a la fiabilidad de los componentes y sistemas de seguridad (Volkanovski 2012, Kancev et al. 2014, Vaurio 2015). Los componentes de seguridad presentan normalmente dos tipos de fallo a la demanda: los fallos en espera y los fallos en demanda

Ambos modos de fallo están sometidos a la degradación del llamado estrés por demanda y el envejecimiento, que degradan el equipo y conducen en última instancia al fallo del mismo. Las actividades de pruebas y mantenimientos son realizadas con el fin de controlar la degradación, y consecuentemente, la fiabilidad e indisponibilidad de los componentes. Sin embargo, estas actividades no solo introducen efectos positivos, sino también negativos.

Los primeros estudios al respecto (Kim et al. 1992, Kim et al. 1994) proporcionaron las bases de un modelo capaz de reflejar tanto los efectos positivos como los negativos de las pruebas, para los modos de fallo en espera y en demanda.

De acuerdo a los últimos trabajos, la tasa de fallos en espera de componentes de seguridad está afectada por el estrés de las demandas y el envejecimiento (Kim et al. 1992, Kim et al. 1994). Recientemente se ha propuesto un modelo de indisponibilidad de componente de seguridad para fallos en espera, los cuales recogen de forma explícita el efecto del envejecimiento, de la efectividad del mantenimiento y de la eficiencia de las pruebas (Martón et al 2015). Estos modelos no tienen en cuenta de forma explícita la influencia del estrés al que se somete al componente como consecuencia de las pruebas.

Por otro lado, la probabilidad de fallo a la demanda de un componente de seguridad se ve afectada principalmente por el estrés de las demandas, que

incluyen las demandas operacionales, por pruebas, tras mantenimiento, etc. Recientemente se ha propuesto un modelo dependiente de la edad que considera, entre otros factores, el efecto del “estrés por pruebas”, el efecto del mantenimiento y la indisponibilidad por pruebas (Sung Min Shin et al. 2015). Por consiguiente, la probabilidad de fallo a la demanda no es solo función del número de pruebas sino también de las actividades de mantenimiento.

El siguiente artículo propone un nuevo modelo de fiabilidad para la probabilidad de fallo por demanda de componentes de seguridad. Este modelo se fundamenta en el modelo de Martón et al. (2015) para fallos en espera, el cual considera de manera simultánea el envejecimiento de equipos, la efectividad del mantenimiento y la eficiencia de las pruebas.

Se presenta un caso de aplicación para una motoválvula de un sistema de seguridad. Con el objetivo de remarcar los aspectos positivos y negativos de las actividades de mantenimiento y pruebas, se realizan una serie de análisis de sensibilidad.

2. MODELO DE FIABILIDAD BÁSICO PARA UN COMPONENTE DE SEGURIDAD

En el ámbito nuclear, el modelo de fiabilidad genérico de un componente de seguridad está compuesto por al menos dos contribuciones asociadas con cada uno de los modos de fallo: la probabilidad de fallo por demanda y la tasa de fallos en espera. Habitualmente, a ambos se les atribuye un valor contante i.e. ρ_0 y λ_0 . De este modo, no se tienen en cuenta factores como el envejecimiento o la degradación del componente como consecuencia de las demandas a las que se solicita

El modelo de Kim (1992) estableció las bases de un modelo de fiabilidad para componentes de seguridad más realista. Dicho modelo consideraba el envejecimiento y los efectos positivos y negativos de las pruebas en los componentes. Posteriormente, Kim et al. 1994 propuso una simplificación del modelo de fiabilidad previo, la cual se formula de la siguiente manera:

$$u_R(n, t') = \rho(n) + \int_{nT}^{nT+t'} \lambda(n, u) du \quad (1)$$

Siendo la contribución debida a fallos a la demanda:

$$\rho(n) = \rho_0 + \rho_0 p_1 n \quad (2)$$

Y la contribución debida a fallos en espera:

$$\lambda(n, u) = \lambda_0 + \lambda_0 p_2 n + \alpha u \quad \text{para } u \in [0, nT+t'] \quad (3)$$

donde n = número de pruebas realizadas en el equipo en el tiempo cronológico t , T = intervalo de pruebas; t' = tiempo transcurrido desde la última prueba, ρ_0 = probabilidad de fallo por demanda; p_1 = factor de degradación asociado a los fallos en demanda; p_2 = factor de degradación asociado a los fallos en espera; λ_0 = tasa de fallos en espera residual y α = factor de envejecimiento.

La Ec. 1 representa la indisponibilidad debida a la falta de fiabilidad del componente como la suma de las contribuciones debidas a fallos en espera y

en demanda. En las Ecs. 2 y 3 vemos como estas contribuciones tienen en cuenta aspectos tales como el estrés de las pruebas o el envejecimiento a través de un factor lineal. No obstante, se omite la influencia del mantenimiento para ambas contribuciones.

A continuación, se introducirán los efectos positivos y negativos de las pruebas y el mantenimiento en la probabilidad de fallo a la demanda.

3. MODELO DE FIABILIDAD BÁSICO PARA UN COMPONENTE DE SEGURIDAD

a. Probabilidad de fallo por demanda considerando la degradación por pruebas

De forma genérica, se puede afirmar que la probabilidad de fallo por demanda de un componente, el cual se encuentra normalmente en espera y preparado para ejecutar una función de seguridad en demanda, depende del número de demandas que haya realizado el componente. Habitualmente, estas demandas no están solo asociadas con las pruebas de vigilancia, o funcionales sino que también incluyen aquellas no planeadas por incidentes operacionales y pruebas realizadas tras la reparación de un componente. Sin embargo, los componentes de seguridad más importantes de una instalación están sometidos a una numerosa cantidad de pruebas de vigilancia, siendo estas predominantes en la degradación que sufren.

Actualmente no se tiene en cuenta de forma explícita la degradación asociada con el estrés de las demandas, siendo la probabilidad de fallo a la demanda una constante ρ_0 :

$$\rho(t) = \rho_0 \quad (4)$$

La probabilidad de fallo por demanda de un componente puede ser reformulada en términos de una función de degradación $f(t)$, como sigue:

$$\rho(t) = \rho_0 + \rho_0 * f(t) \quad (5)$$

Asumiendo que el estrés inducido por las demandas es únicamente el correspondiente al de las pruebas, la Ec. 5 puede simplificarse de la siguiente forma:

$$f(t) = p_1 * n(t) \quad (6)$$

La simplificación adoptada para la Ec. 6 será la adoptada en las siguientes secciones por simplicidad, de forma que se facilite la introducción y formulación de los efectos del mantenimiento.

b. Probabilidad de fallo por demanda considerando la efectividad del mantenimiento

La edad del componente es función de las actividades de mantenimiento que se realizan al mismo durante su vida. Por tanto, resulta necesario que los

modelos incluyan el efecto que el mantenimiento tiene sobre la edad del componente y la fiabilidad.

Con el objetivo de incluir el efecto del mantenimiento en la edad del componente se ha adoptado un modelo de mantenimiento imperfecto. Los modelos de mantenimiento imperfecto se basan en la idea de que el mantenimiento mejora la edad del componente en función de la efectividad ε del mismo para reducir el envejecimiento del equipo. Entre los diferentes modelos de mantenimiento imperfecto existentes, se han seleccionado los modelo PAS (*Proportional Age-Setback*), y PAR (*Proportional Age Reduction*) (Martorell et al.1999).

Por un lado el modelo PAS asume que cada actividad de mantenimiento reduce proporcionalmente la degradación del componente existente inmediatamente antes de llevar a cabo dicha actividad de mantenimiento, donde ε representa la efectividad del mantenimiento que oscila en el intervalo $[0,1]$.

Por otro lado, el modelo PAR asume que tras cada actividad de mantenimiento se reduce de forma proporcional al factor ε la degradación sufrida solo tras el último mantenimiento, mientras que la degradación acumulada previa no se ve alterada.

Asumiendo que las actividades de mantenimiento preventivo son constantes con un periodo M , las expresiones que se obtienen respectivamente para la probabilidad de fallo en demanda antes y después de un número de mantenimientos m , incluyendo un modelo PAS de mantenimiento imperfecto, son las siguientes:

$$f_m^+ = p_1 \cdot \frac{M}{T} \cdot (1 - \varepsilon) \sum_{k=0}^{m-1} (1 - \varepsilon)^k \quad (7)$$

$$f_m^- = p_1 \cdot \frac{M}{T} \cdot \frac{1 - (1 - \varepsilon)^m}{\varepsilon} \quad (8)$$

Siendo ε la efectividad del mantenimiento, T el intervalo de pruebas y $p_1 =$ factor de degradación asociado a los fallos en demanda debido a las pruebas de vigilancia.

Mientras que para el modelo PAR, partiendo del mismo supuesto se obtienen las siguientes expresiones:

$$f_m^+ = p_1 \cdot \frac{M}{T} \cdot (1 - \varepsilon) \sum_{k=0}^{m-1} (1 - \varepsilon)^k \quad (9)$$

$$f_m^- = p_1 \cdot \frac{M}{T} \cdot \frac{1 - (1 - \varepsilon)^m}{\varepsilon} \quad (10)$$

4. CASO DE APLICACIÓN

En esta sección se presenta un caso de aplicación para una válvula motorizada de una central nuclear. La Tabla 1 muestra los datos de fiabilidad, envejecimiento, pruebas y mantenimiento de la válvula motorizada (Sung Min Shin et al.2015, Sánchez et al. 2009):

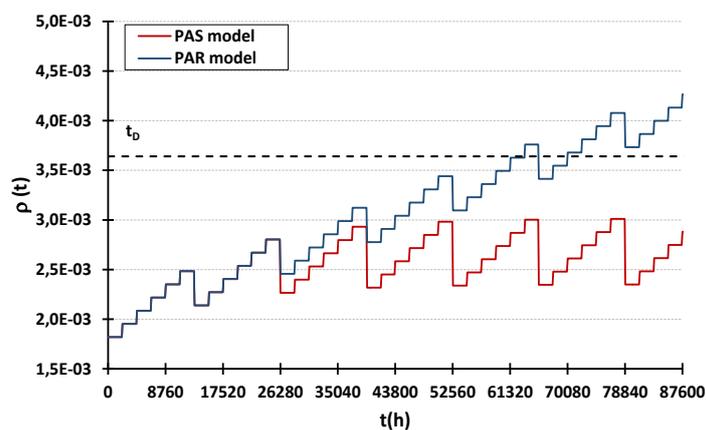
Tabla 1. Parámetros de la válvula motorizada para el caso base

Parámetro	Valor	Unidades
ρ_0	1.82E-03	1/hora
ρ_1	4.57E-10	1/demand
T	2190	hora
M	13140	hora
ε	0.6	-

a. Modelos de fiabilidad dependientes del tiempo: PAS vs PAR

En primer lugar, se ofrece una comparación entre los modelos PAS y PAR presentados en la Sección 3. Dicha comparación permite observar las diferencias en la evolución de la fiabilidad con el paso del tiempo. La Figura 1 muestra la evolución de la probabilidad de fallo por demanda con el paso del tiempo para ambos modelos. Se puede observar el comportamiento asintótico del modelo PAS frente al incremento lineal del modelo PAR.

Figura 1. $\rho(t)$ del componente para los modelos de envejecimiento PAS y PAR



b. Sensibilidad de $\rho(t)$ para el intervalo de mantenimiento

La Figura 2 muestra el resultado de realizar un análisis de sensibilidad de $\rho(t)$ en función de distintos periodos de mantenimiento, M , para los modelos PAS (lado izquierdo) y PAR (lado derecho). Para el modelo PAS, se observa que para una efectividad del mantenimiento $\varepsilon=0.6$, si el periodo de mantenimiento M se extiende el comportamiento asintótico se alcanza más tarde, luego $\rho(t)$ aumenta. Esto es, para $M=18$ meses, el valor asintótico ρ_{m^+} tiene a un valor de $2.35E-03$, alcanzado tras 52560 horas de funcionamiento. Para el resto de casos estudiados, no se aprecia la adopción del mencionado comportamiento asintótico, que con certeza se alcanzará posteriormente.

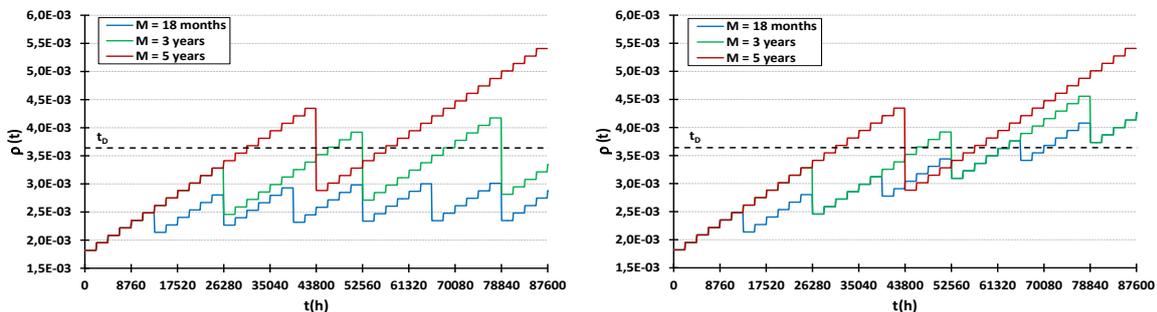


Figura 2. $\rho(t)$ del componente para diferentes periodos de mantenimiento de los modelos PAS y PAR

c. Sensibilidad de $\rho(t)$ para la efectividad del mantenimiento

La Figura 3 muestra el resultado de realizar un análisis de sensibilidad de $\rho(t)$ en función de distintos valores para la efectividad del mantenimiento, ε , para los modelos PAS (lado izquierdo) y PAR (lado derecho). El intervalo de mantenimiento se mantiene constante en $M=18$ meses. Para el modelo PAS se observa que si la efectividad del mantenimiento aumenta, el comportamiento asintótico se alcanza más rápidamente. Este hecho es coherente con la función del mantenimiento como herramienta de mejora del estado del componente. De esta forma, para valores de $\varepsilon=0.4$ el comportamiento asintótico no es alcanzado tras 10 años de funcionamiento del componente, mientras que para valor de $\varepsilon=0.6$ y $\varepsilon=0.8$, la función $\rho(t)$ tiende a $\rho_{m^+}=2.35E-03$ y $\rho_{m^+}=1.99E-03$ respectivamente

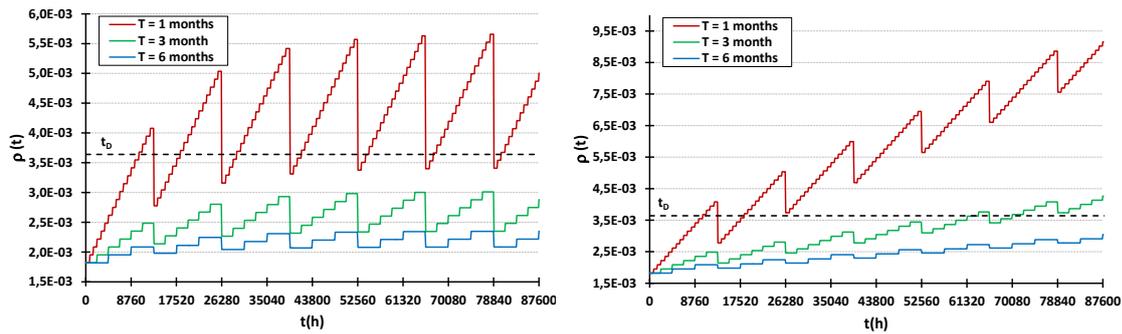


Figura 3. $\rho(t)$ del componente para diferentes efectividades del mantenimiento de los modelos PAS y PAR

d. Sensibilidad de $\rho(t)$ para el intervalo de pruebas

La Figura 4 muestra el resultado de realizar un análisis de sensibilidad de $\rho(t)$ en función de distintos intervalos de pruebas, T , para los modelos PAS (lado izquierdo) y PAR (lado derecho). El intervalo de mantenimiento y la efectividad del mismo se mantienen constantes en $M=18$ meses y $\varepsilon=0.6$ respectivamente. Para el modelo PAS se observa el comportamiento asintótico es independiente de la periodicidad a la que se somete la válvula a las pruebas. En ambos modelos queda patente que la pendiente en la evolución de la probabilidad de fallo por demanda aumenta cuando el intervalo de las pruebas decrece.

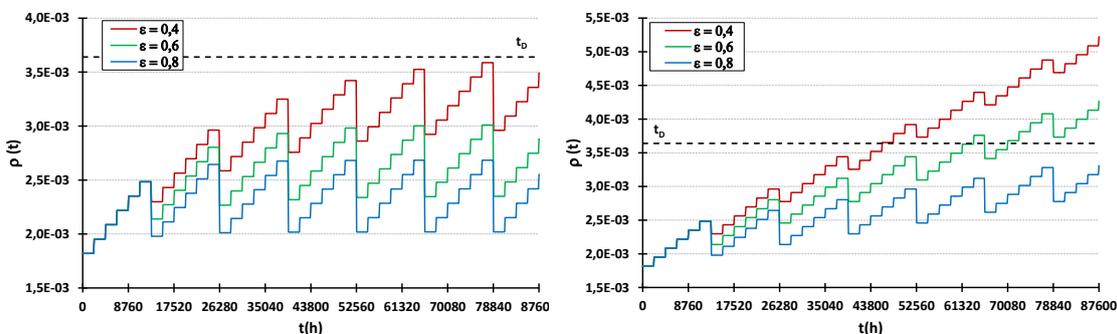


Figura 4. $\rho(t)$ del componente para diferentes intervalos de pruebas de los modelos PAS y PAR

5. CONCLUSIONES

Los componentes de seguridad normalmente presentan dos tipos de fallo a la demanda: fallos en demanda o fallos en espera. Normalmente, los primeros están asociados con la probabilidad de fallo por demanda mientras que los segundos se asocian con la tasa de fallos en espera. Ambos modos de fallo se ven afectados por la degradación que supone el estrés de las pruebas y el envejecimiento, produciendo en última instancia el fallo del componente.

Esta ponencia propone un nuevo modelo para la probabilidad de fallo en demanda de un componente de seguridad, el cual considera de forma explícita

e integral el efecto del estrés por las demandas (fundamentalmente por las pruebas) y la efectividad del mantenimiento (A través de la adopción de un modelo PAS o PAR).

El caso de aplicación se centra en una válvula motorizada de una central nuclear, cuyo modo de fallo en demanda se ve afectado por el estrés de las pruebas. Este ejemplo muestra cómo se comporta el nuevo modelo, siendo capaz de reproducir correctamente la influencia de todos los parámetros relacionados con las pruebas y el mantenimiento de un componente de seguridad.

6. AGRADECIMIENTOS

El trabajo presentado forma parte de un Proyecto del Ministerio de Economía y Competitividad (ENE2016-80401-R) y de la tesis doctoral (BES-2014-067602).

7. REFERENCIAS

Kančev D., Čepin M., Gjorgiev, B. 2014 Development and application of a living probabilistic safety assessment tool: multi-objective multi-dimensional optimization of surveillance requirements in NPPs considering their ageing. *Reliability Engineering and System Safety*, 131, pp. 135–147

Kim, I. S., Martorell, S., Vesely, W. E. & Samanta, P. K. 1992. Quantitative evaluation of surveillance test intervals including test-caused risks. NUREG/CR-5775, BNL-NUREG-52296.

Kim, I. S., Martorell, S., Vesely, W. E. & Samanta, P. K. 1994. Risk analysis of surveillance requirements including their adverse effects. *Reliability Engineering and System Safety*, 45: 225–34.

Martón I, Sánchez AI, Martorell S. 2015. Ageing PSA incorporating effectiveness of maintenance and testing. *Reliability Engineering and System Safety*, 139: 131–40.

Martorell, S., Sanchez, A. Serradell V. Age-dependent reliability model considering effects of maintenance and working conditions. *Reliability Engineering and System Safety* 64 (1999) 19–31.

IMPACTO DE LA CERTIFICACIÓN DE COMPETENCIAS EN GESTIÓN DE ACTIVOS, MANTENIMIENTO Y CONFIABILIDAD EN LAS ORGANIZACIONES, ISO 17024,2012

Alexis Lárez Alcázar
Director Técnico Enova Levante

Resumen

Este documento ofrece una visión general de la importancia de los sistemas de certificación de competencias en persona y las razones por las cuales han logrado posicionarse en un lugar privilegiado en la empleabilidad. En él se aborda la problemática asociado a la ética de las organizaciones que certifican sin estar acreditada para ello y el impacto del mercadeo en cuanto a la publicidad engañosa, adicionalmente se comparan algunos cuerpos de conocimientos desarrollados por importantes organizaciones para evaluar las competencias en gestión de activos, mantenimiento y fiabilidad.

Este artículo plantea y considera las diferentes interrelaciones del sistema de gestión de certificación de competencias, visto desde la perspectiva de los requisitos de la norma ISO 17024,2012; y cuál es el rol que desempeñan las entidades nacionales de acreditación en el proceso de certificación, para que la entidad a acreditar, demuestre cumplimiento con los requisitos de la norma.

Introducción

Hoy en día las empresas se enfrentan a una gran presión como consecuencia de las continuas fluctuaciones de las economías globales, lo que ha conducido a las organizaciones industriales a la búsqueda de nuevos modelos y enfoques para lograr unos niveles adecuados de rentabilidad.

En este sentido las organizaciones son consciente de que una adecuada gestión de sus activos y del mantenimiento de estos, son un factor clave para lograr estos objetivos, por lo que la adecuada gestión del conocimiento y competencias asociado a ello se convierte en un bien estratégico y en un paradigma por cambiar.

Este cambio de paradigma en la industria han puesto de manifiesto que el conocimiento y las competencias se han convertido en el centro de la competitividad y una ventaja fundamental para la generación de valor [1]. De allí que las organizaciones actualmente plantean el desarrollo de competencia desde dos condiciones contextuales: las condiciones externas que incluyen, la posición del mercado, el sector industrial, el desarrollo tecnológico, la competitividad y la legislación vigente. Y por otro lado las condiciones internas tales como: la estructura organizativa, la cultura organizacional y la organización del trabajo [2].

Para cumplir con estos roles y funciones, el personal debe poseer un conjunto de diversas competencias tales como: Ingeniería, tecnología de la información y comunicación (TIC), negocios y finanzas, gestión y tener un conocimiento competente de los requisitos técnicos, normativos y legislativos. En este sentido la formación en gestión de activos, mantenimiento y confiabilidad mejora la capacidad del capital humano para contribuir al logro de los objetivos estratégicos de la empresa al racionalizar el uso de los activos [3]

De aquí la importancia de la certificación de competencia de personas, dado que es un método para asegurar que un individuo cumple con los requisitos de un esquema de certificación tal como lo define la UNE ISO 17024 (2012) [4]. En este

sentido, muchas organizaciones están apostando por profesionales certificados, pero mantienen la visión, de que la confianza en los sistema de certificación se logran mediante un proceso aceptado de evaluación y reevaluaciones periódicas de las competencias de las personas certificadas, además de la evaluación y reevaluación de la empresa que certifican y que está acreditado por una organización con autoridad para ello.[5].

Este artículo busca por un lado dar claridad en cuanto a cuales son los principales elementos a considerar en los procesos de certificación de competencia alineados a la UNE ISO 17024,2012, y por otro lado facilitar la comprensión y el reconocimiento del impacto positivo de las mismas dentro de las organizaciones.

Competencias en Gestión de Activos, Mantenimiento y Confiabilidad

El concepto de competencias ha sido motivo de estudio de muchas investigaciones y es un término muy utilizado hoy en día en el contexto organizacional, este puede ser definido según la (RAE), como: “la pericia, aptitud, idoneidad para hacer algo o intervenir en un asunto determinado”, por otro lado la Norma UNE 66173 IN(2003), la define como el conjunto de "atributos personales y aptitud demostrada para aplicar conocimientos y habilidades, en contraparte la Norma ISO 55000(2014), la define como la capacidad para aplicar el conocimiento y habilidades para alcanzar los resultados previstos [6].

Competencias en Gestión de Activos

El análisis de estos concepto permite adentrarse específicamente en la revisión de las competencias asociadas a la gestión de activos, en este sentido es posible establecer como punto de partida las dos fuentes más importantes disponibles para ello. The Asset Management Landscape (2014)(GFMAM)[7] y The IAM's Competence framework (2014) (IAM)[8], ambos documentos desarrollan las competencia requeridas por lo profesionales para asegurar que la mismas se encuentran alineados con los conceptos, fundamentos y requisitos contenida dentro de la norma ISO 55001(2014)[18].

Ambos marco de competencia contiene los requisitos que son necesarios a obtener por las personas que trabajan en los diferentes niveles dentro de una organización para la gestión óptima de sus activos. Los requisitos de competencia se describen típicamente en una jerarquía determinada, por ejemplo, roles, unidades o grupo de temas y elementos de competencia o temas [9].

En la figura 1, se comparte el marco de competencia de Gestión de Activos desarrollada por el GFMAM [7], el mismo está distribuido en 6 grupos de temas y 39 elementos de competencias.

Grupo de Temas	Elementos de Competencias
Planificación y Estrategias	Política de Gestión de Activos
	Estrategia de Gestión de Activos & Objetivos
	Análisis de la demanda
	Planificación estratégica
	Planificación de Gestión de Activo
Toma de Decisiones sobre la Gestión de Activos	Inversiones de Capital para la toma de decisiones
	Toma de Decisiones en Operación & Mantenimiento
	Análisis del Costos del Ciclo de Vida
	Estrategias de Recursos

	Estrategias de Paradas de plantas & Overhaul
Entrega del Ciclo de Vida	Normas Técnicas & Legislación
	Creación & Adquisición de Activos
	Sistemas de Ingeniería
	Gestión de la Configuración
	Entrega del Mantenimiento
	Ingeniería de Confiabilidad
	Gestión de Operaciones
	Gestión de los Recursos
	Gestión de las Paradas de plantas & Overhaul
	Respuestas a Fallas e Incidentes
	Desincorporación & eliminación de los activos
Información de los Activos	Estrategias de Información de Activos
	Normas de información de Activos
	Sistemas de Información de Activos
	Gestión de la información y de los datos
Personas & Organización	Cadena de suministro & Compra
	Liderazgo en Gestión de Activos
	Estructura Organizacional
	Cultura organizacional
	Gestión de Competencia
Revisión de los Riesgos	Diagnóstico & Gestión de Riesgo
	Planificación de Contingencia y Análisis de Resiliencia
	Desarrollo sostenible
	Gestión del cambio
	Supervisión de rendimiento y salud de activos
	Supervisión del sistema de gestión de activos
	Revisión de Gestión, Auditoría y Aseguramiento
	Contabilidad y valuación de activos
	Participación de los interesados

Tabla 1. Marco de competencia en Gestión de Activos (traducida GFMAM,2014)

Los marcos de competencia definen el nivel de competencia requerido para diferentes roles de gestión de activos o de otra manera definirán el proceso por el cual estos, deben ser definidos dentro de una organización que busca adoptar el implementar un sistema de gestión de activos [9]. Adicionalmente a este existen otros marcos de competencias como el desarrollado por el IAM.

Competencias en Gestión del Mantenimiento y Confiabilidad

La formación en gestión del mantenimiento mejora la capacidad del capital humano para contribuir al logro de las metas estratégicas de la organización para racionalizar el uso de los activos, por lo que la certificación de las competencias de las personas que laboran en mantenimiento resulta beneficiosa tanto para los empleadores como para los empleados. Por un lado mejora la movilidad de los empleados y el reconocimiento de habilidades, al tiempo que facilita las decisiones de reclutamiento de empleadores [10].

De allí que varias organizaciones hayan desarrollado 'cuerpo de conocimiento para gestionar de forma óptima el mantenimiento de los activos de las organización, los cuales incluyen áreas de gestión y técnicas, con temas principales en cada una, y una lista de habilidades y procesos asociados con

cada tema [11]. A continuación se muestran los programas desarrollados por tres organismos internacionales independientes.

Organización	The European Federation of National Maintenance Societies (EFMNS)	Society of Maintenance and Reliability Professionals (SMRP)	American Society for Quality (ASQ)
Certificación	Experto Europeo Gestión del Mantenimiento Experto en Gestión del Mantenimiento Técnico Europeo en Mantenimiento	Profesional certificado en Mantenimiento y Fiabilidad (CMRP) Técnico Certificado en mantenimiento y fiabilidad (CMRT)	Ingeniero certificado en Fiabilidad (CRE)
Vigencia	Publicada 1998	Acreditada ISO 17024	Acreditada ISO 17024
Temas	Organización y Gestión	Gestión y Negocio	Gestión de fiabilidad
	Desempeño de la fiabilidad en plantas de producción	Fiabilidad de Procesos de manufactura	Probabilidad y estadística para la fiabilidad
	Sistemas de información del mantenimiento	Fiabilidad de activos	Fiabilidad en el diseño y desarrollo
	Métodos y Técnicas del Mantenimiento	Personas y organización	Predicción y modelamiento de la fiabilidad
		Planificación - Programación	Pruebas de fiabilidad Mantenibilidad y Fiabilidad Colección y uso de datos

Tabla 1. Comparación de los temas del cuerpo de conocimiento, definido por EFMNS, SMRP y ASQ

Estos ejemplos de cuerpos para el desarrollo del conocimiento no son únicos. Somos conscientes de que muchas empresas globales participan en sus propios proyectos internos e identifican y han desarrollado cuerpos de conocimientos y competencias de en gestión del mantenimiento y fiabilidad de activos adaptado a su negocio específico [10]. Estas organizaciones globales valoran en alto grado el impacto potencial sobre la ventaja competitiva de la implementación de las mejores prácticas en el área del mantenimiento y la fiabilidad y se involucran en proyectos sustancialmente importante para identificar, evaluar y mejorar las competencias de su personal.[4]. Adicionalmente existen otras normas normativa como la UNE-EN 15628:2015, la cual define la cualificación del personal de mantenimiento con respecto a las tareas a realizar en el mantenimiento de instalaciones, infraestructura y sistemas de producción [15].

Sistema para la evaluación de competencia o Esquema de certificación según ISO 17024,2012

La definición de un claro esquema de certificación de competencias es una tarea fundamental o eje de marcha para aquellas organizaciones cuyo interés u objetivo sea la certificación de competencia en personas, en este sentido tal como lo plantea la Norma ISO 17024(2012)[5]. Las organizaciones que tiene como objetivo la certificación de personas, deben trabajar de forma coherente, comparable y confiable. La certificación de personas sólo puede darse cuando hay un esquema de certificación claro.

En este sentido dentro de los objetivos de los programas de certificación de competencia deben considerarse el desarrollo de evaluaciones y por lo tanto,

planes de capacitación para las personas en diferentes clasificaciones o áreas de gestión, ejemplo de ello gestión activos, mantenimiento y fiabilidad [16].

Otra organización que define algunos criterios para el desarrollo de esquema de certificación profesional es la Organización Nacional de Competencia (NOCA)[9]. Esta establece 5 criterios principales que deben distinguir un esquema de certificación profesional.

- 1) Validar periódicamente la alineación de funciones profesionales, análisis del trabajo y competencias requeridas.
- 2) Proporcionar una demostración válida y objetiva de cómo un examen de certificación está vinculado a un conjunto definido de competencias, basado en la alineación de roles profesionales o análisis de puestos de trabajo.
- 3) El examen debe proporcionar una demostración fiable y válida, basada en métodos estadísticos aceptados psicométricamente.
- 4) Establecer una puntuación de aprobación mínima utilizando métodos estadísticos psicométricamente aceptados.
- 5). Debe establecer una revisión de credenciales, mantenimiento de las competencias, y recertificación.

Estos criterios están perfectamente alineado con los establecidos en el requerimiento 8 de la norma ISO 17024 (2012)[5] y en el documento Guía ISO 17024 [17].

Tal como se afirma en la guía ISO 17024(2016)[17]. La confianza en los esquemas de certificación de personas se consigue mediante un proceso, aceptado globalmente, consistente en la evaluación de las competencias certificadas que, además, incluya reevaluaciones periódicas. Sólo la armonización del sistema utilizado para el desarrollo y mantenimiento de un esquema de certificación de personas puede establecer el entorno para el reconocimiento mutuo y el intercambio global de conocimiento.

Acreditación de un sistema de evaluación de competencia alineada a la ISO 17024,2012

Los procesos de acreditación son llevadas a cabo por organizaciones con la autoridad legal del país correspondientes, en el caso de España esta es una responsabilidad del Entidad Nacional de Acreditación (ENAC).

El proceso de acreditación es una declaración de la competencia técnica de una Entidad para realizar las actividades incluidas en el alcance de la acreditación. Dicha competencia se establece mediante la demostración del cumplimiento por parte de dicha entidad de los requisitos de carácter público establecidos a tal efecto en normas internacionales de acreditación [17], para el caso que nos ocupa la norma de referencia es la ISO 17024 (2012) [5].

En este sentido para que una organización sea acreditada para certificar competencia en personas debe establecer, documentar, implementar y mantener un sistema de gestión de competencia capaz de apoyar y demostrar el cumplimiento coherente de los requisitos de la Norma Internacional ISO 17024 (2012)[5].

Parte de estos requisitos se encuentran establecidos en el requerimiento 10 de la norma ISO 17024(2012)[5] y que son resumidos en la tabla N°3

(10) Requisitos del Sistema de Gestión de Certificación		
(10.1) Generalidades		
(10.2) Requisitos generales del Sistema de Gestión		
(10.2.1) Generalidades	(10.2.2) Documentación del Sistema de Gestión	(10.2.3) Control de Documentos
(10.2.4) Control de Registros	(10.2.5) Revisión por la Dirección	(10.2.6) Auditoría interna
(10.2.7) Acciones Correctivas	(10.2.5.1) Generalidades (10.2.5.2) Información para la revisión (10.2.5.3) Resultados de la revisión	(10.2.8) Acciones Preventivas

Tabla 3. Requerimientos 10, ISO 17024,2012; Sistema de gestión certificación de personas

Estos requisitos, compartidos en la tabla 3, se convierten en el marco de referencia para una organización que desee implementar un sistema de gestión para la certificación de competencia de personas, sin embargo existe otros requisitos generales que deben ser considerado por la organización, tal como se mencionan a continuación: 4. Requisitos generales, 5. Requisitos de la estructura, 6. requisitos Relativos a los recursos, 7. Requisitos relativos a registro de la información.

En este sentido el documento Procedimiento de acreditación de entidades de certificación [19], describe de forma general el sistema implantado por ENAC para llevar a cabo la acreditación de entidades que realizan Certificación de personas.

Certificaciones y Evaluación de competencia profesionales en Gestión de Activos, mantenimiento y confiabilidad

Algunas personas ven el valor de las competencias profesionales en la búsqueda de múltiples niveles y tipos de certificación. Su motivación a menudo se deriva de querer una comprensión holística de un tema, sobresalir en el mercado de trabajo, o tener la auto-satisfacción de logros demostrables [9]. De ahí que los organismos de certificación de personal aporten valor desarrollando y manteniendo programas para asegurar que los empleadores y el público en general se beneficien con confianza de la aplicación experta y eficiente de conocimientos y habilidades, mejorando la satisfacción en el trabajo de los certificantes.[20].

El dominio público y el acceso suele ser intrínseco a los programas de certificación de personas, debido a que los organismos de certificación quieren que profesionales de determinadas áreas se sientan atraídas por sus programas. Sin embargo alguien razonablemente competente y familiarizado con el tema debe ser alentado a intentar certificarse [16]. La gente debe ser capaz de optar a certificarse sin tener que satisfacer las extrañas obligaciones que suelen imponer algunas organizaciones, como la compra de una membresía, la realización de un curso de formación previo a la presentación del examen o el pago de cantidades usura de dinero [5]. En este sentido, si la membresía en una asociación o la formación es un requisito obligatorio de elegibilidad para la

certificación, y con esta se ofrece, que obtener la certificación es más fácil o sencillo, el programa de certificación funciona en contraposición al requisito 5.2 de la norma ISO 17024(2012)[9].

Para ello la norma ISO 17024(2012)[5], plantea los requisitos definidos en el requerimiento 9, mostrado en la tabla 5.

(9) Requisitos Relativos al Proceso de Certificación		
(9.1) Proceso de Solicitud	(9.2) Proceso de Evaluación	(9.3) Proceso del examen
(9.4) Decisión de Certificación	(9.5) Suspender retirar o reducir el alcance de la certificación	(9.6) Proceso de Renovación de la Certificación
(9.7) Uso de Certificación, Logo tipos y Marcas	(9.8) Apelación Contra Decisión de Certificación	(9.9) Quejas

Tabla 5.Otros Requerimientos referido al proceso de certificación, ISO 17024,2012.

El cumplimiento de estos requisitos garantizan una adecuada adaptación de los mecanismos de evaluación tradicionales para incrementar la eficacia de los niveles de aprendizaje [10] en competencias técnicas específicas y alineadas a la normativa internacional vigente. "El" conocimiento "de un individuo no puede ser observado directamente, su existencia sólo puede inferirse mediante las acciones" [16]. Se requieren de métodos transparentes y consistentes que sean eficientes y rentables tanto para certificante como para la organización que certifica.[20]

Reconocimiento internacional de las certificaciones profesionales en gestión de activos, mantenimiento y confiabilidad

La relación entre formación, certificación de competencias profesionales y el empleo es un tema que, si bien se viene abordando desde hace mucho tiempo, adquiere especial relevancia en épocas de crisis. En este contexto, la certificación de las competencias ha despuntado a nivel internacional como un factor clave para la incrementar empleabilidad del profesional.[21]

En este sentido la globalización de los mercados ha brindado una apertura importante en la competitividad de los profesionales para optar a puestos de trabajo de alta responsabilidad en cualquier parte del mundo, de allí que muchas de las organizaciones acreditadas para certificar competencias en gestión de activos, mantenimiento y fiabilidad tengan dentro de sus miembros certificados, profesionales de todas partes del mundo, por esta razón se hace más frecuente observar la forma en que se incrementan las ofertas de empleo con exigencias de alguna certificación reconocida en el área.[22]. Adicionalmente las organizaciones empleadoras sienten un mayor de nivel de confianza en el desempeño de los profesionales con competencias certificadas, lo que las lleva a ofrecer mejores beneficios a la hora de contratarlos [21].

De allí que las organizaciones certificadoras acreditadas bajo los requerimiento de la norma ISO 17024(2012)[5], como por ejemplo (SMRP y ASQ) gozan de un gran prestigio a nivel mundial.

Compromiso ético (Organizaciones – Profesionales) en relación a la certificación de competencias

Los principios éticos juegan un papel fundamental, dado que orientan los comportamientos humanos. Sin ninguna duda, la ética es un factor decisivo en la excelencia de las relaciones en el mundo de los negocios [22].

Hoy en día muchas organizaciones certificadoras se encuentran con las dificultades para implementar una adecuada ética empresarial, debido sobre todo, a las características del entorno que nos está tocando vivir. Los vertiginosos cambios y la feroz competencia hace muy difícil mantener un equilibrio entre las oportunidades de negocio y los comportamientos éticos de la organización [21]. En este sentido la norma ISO 17024(2012)[5], plantea algunos aspectos importante asociado al comportamiento ético de las organizaciones certificadoras, estos aspectos están establecidos en los requisitos 4.3 (Gestión de la imparcialidad y sus 6 epígrafes) y en el 5.2 (Estructura del organismo de certificación en relación con las actividades de formación y sus 3 epígrafes).

Existe un aspecto adicional muy importante, asociado al comportamiento ético de las organizaciones certificadoras y es lo relativo al mercadeo o gestión publicitaria de las certificaciones de personas, muchas de estas organizaciones inducen al engaño colectivo o publicidad engañosa para atraer a mayor cantidad de personas[21], ofrecen certificaciones que, según ellos están acreditadas, por otras organizaciones que no tienen competencia para acreditar por ejemplo (IAM y otros), es aquí donde el desconocimiento juega en contra de los usuarios finales de estos procesos de certificación.

Conclusiones

La industria actual está demandando profesionales con competencias certificadas en gestión de activos, mantenimiento y fiabilidad. Sería difícil encontrar un empleo moderno y técnico que no requiera algún tipo de competencias certificables.

Los profesionales con competencias certificadas tiene dos ventajas competitivas, por una lado mayor índice de empleabilidad y por otro mayores responsabilidades y mejores beneficios.

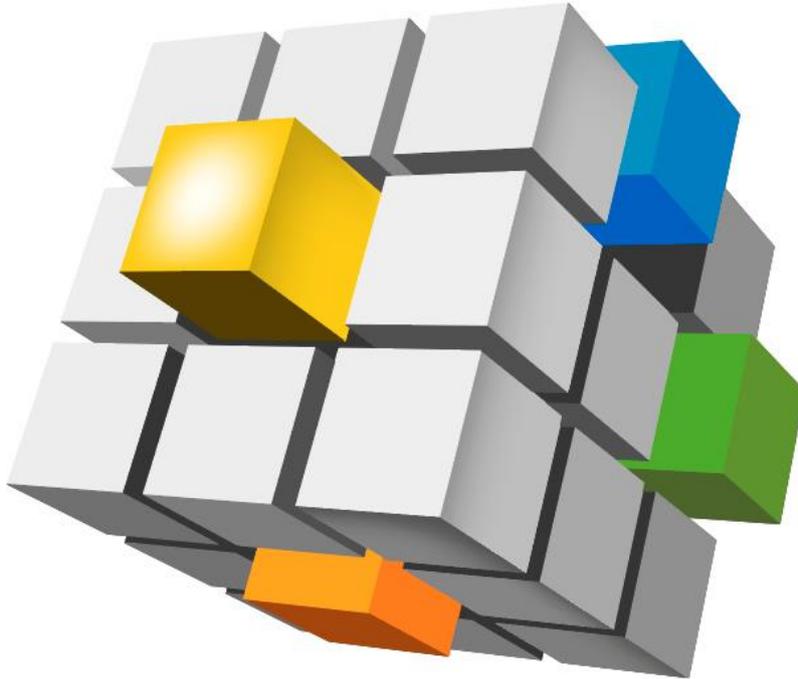
Las organizaciones de reputación y madurez como certificadoras acreditadas bajo los requerimientos de la norma ISO 17024(2012), ocupan un lugar privilegiado y destacado dentro de los sectores industriales, estas organizaciones han desarrollado sus propios cuerpos de conocimiento.

Desde el punto de vista ético para las organizaciones certificadoras existen algunas debilidades a la hora de implementar un adecuado sistema de certificación de persona, como la gestión de la imparcialidad, la evaluación de las amenazas asociadas a estas y la definición clara de una estructura del organismo de certificación independiente de la formación.

Bibliografía

- 1] Henrik Kock, Andreas Gill, Per Erik Ellström, (2008) "Why do small enterprises participate in a programme for competence development?", *Journal of Workplace Learning*, Vol. 20 Iss: 3, pp.181 – 194
- [2] Eraut, M. (2004). Informal learning in the workplace. *Studies in continuing education*, 26(2), 247-273.

- [3] Papathanassiou, N., Pistofidis, P., & Emmanouilidis, C. (2013). Competencies development and self-assessment in maintenance management e-training. *European Journal of Engineering Education*, 38(5), 497-511.
- [4] Rintamäki, E. (2014). *Personnel certification in industrial maintenance services*. Aalto University, Finlandia, 2014.
- [5] UNE – EN 17024,2012.Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para las entidades que realizan certificación de personas.AENOR.2012
- [6] UNE 66173:2003 IN. Los recursos humanos en un sistema de gestión de la calidad. Gestión de las competencias. AENOR, 2003
- [7] GFMAM. *The Asset Management Landscape*.2da Edición, ISBN 978-0-9871799-2-0.2014
- [8] *The IAM Competences framework*. Requerimientos. 3edición.UK,2014
- [9] Durley, Cynthia C. "The NOCA guide to understanding credentialing concepts." Washington, DC: National Organization for Competency Assurance. Retrieved July 27 (2005): 2006.:
- [10] Hodkiewicz, M. R., and Rodrigo Pascual. "Education in Engineering Asset Management—current trends and challenges." *International physical asset management conference*. 2006.
- [11] Fernández, Juan F. Gómez, and Adolfo Crespo Márquez. "Defining Maintenance Management Framework." *Maintenance Management in Network Utilities*. Springer London, 2012. 127-147.
- [15] UNE-EN 15628:2015. Mantenimiento. Cualificación del personal de mantenimiento. AENOR, España, 2015.
- [16] Larry Cote, C. E. T. "Best Practices for Personnel Certification." (2009).
- [17] *Guía ISO 17204. Como desarrollar esquema de certificación de personas*, Traducción ENAC, Madrid. 2016.
- [18] UNE-EN 55001. Gestión de Activos. Sistemas de Gestión – Requerimientos. AENOR. 2015.
- [19] PAC-ENAC-EC, 2014. Entidad Nacional de Acreditación, 2014. Procedimiento de Acreditación de Entidades de Certificación. PAC-ENAC-EC Rev. 5 Julio 2014. España.[disponible en <https://www.enac.es/>]
- [20] Boisot, M., & Griffiths, D. (1999). Possession is nine tenths of the law: managing a firm's knowledge base in a regime of weak appropriability. *International Journal of Technology Management*, 17(6), 662-676.
- [21] De los Ríos, I., Díaz-Puente, J. M., & Almela, J. M. (2010). Impacto de la certificación IPMA: efecto en la empleabilidad desde los agentes implicados.. XIV Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Madrid (pp. 0274-0291).
- [22] Cabarcos, A. L., & Rodríguez, P. V. (2002). ¿Puede certificarse el comportamiento ético? SA8000. *Investigaciones europeas de dirección y economía de la empresa*, 8(2), 133-148.
- [23] UNE-EN 16646. Mantenimiento. Mantenimiento dentro de la gestión de activos. AENOR. 2015



Partner del Congreso



Patronos AEC 2017

AENOR

 **altitude**

 **brains**
INTERNATIONAL SECURITY




iberCaja

Johnson & Johnson

THALES

TRIGO
The quality network 