



Formación en confiabilidad para ingenieros. Un reto para el futuro

Jorge Marcos Acevedo
Universidad de Vigo
acevedo@uvigo.es

Elisabeth Viles Díez
Universidad de Navarra

Blas Galván González
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Sebastian Martorell Alsina
Universidad Politécnica de Valencia

Ramiro Álvarez Santos
Universidad Politécnica de Madrid

José Antonio Martín Martínez
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial

Antonio José Fernández Pérez
Iberdrola Ingeniería y Construcción

Resumen

Actualmente la sociedad demanda servicios y productos seguros, fiables y a un precio competitivo. Para ello las empresas deben contar con instalaciones y procesos altamente eficientes que sean diseñados y explotados por técnicos con formación específica en confiabilidad y gestión de activos. En este artículo se presenta el análisis realizado sobre dichas necesidades empresariales, la formación específica que se está impartiendo en las escuelas técnicas en este campo y se establecen una serie de conclusiones encaminadas a mejorar esta formación. Asimismo se incluyen un conjunto de bloques temáticos, que en opinión de los autores, deberían



formar parte de los planes de estudio de las escuelas de ingeniería, para satisfacer las necesidades anteriormente establecidas.

Palabras clave: Confiabilidad, Fiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Seguridad, Temarios formativos, Ingenieros del nuevo EEES

Abstract

Nowadays, society in general continually demands for reliable services and products at a competitive price. To achieve this, companies have to rely on installations and processes that are highly efficient, designed and exploited by technicians with specific training in reliability and assets management, and especially in RAMS parameters. This article presents the analysis carried out on these entrepreneurial needs, the specific training offered by technical schools in the field and establishes a series of conclusions aiming at improving training. It also includes a set of topics that, in the authors' opinion, should be part of the engineering schools curricula to meet the previously identified needs.

Keywords: RAMS parameters, Dependability, Reliability, Availability, Maintainability, Safety, list of topics to teach, Engineers from the new EEES

Résumé

À présent, la société exige que les produits et les services offerts par l'industrie soient sûrs et fiables et, en même temps, placés à des prix concurrentiels. Cela force les entreprises à investir en installations et procédures de production très efficaces, dessinées et exploitées par des techniciens spécifiquement formés à cet effet. Dans cet article, on présente une analyse des besoins des entreprises, les grandes lignes de la formation promue dans ce domaine et des suggestions de blocs thématiques visant son amélioration.

Mots-clés: Paramètres RAMS, liste de thèmes à enseigner, ingénieurs de l'EEES



1. Introducción

La sociedad actual es muy cambiante y los mercados son un reflejo de ésta. La cada vez más acusada tendencia hacia la globalización de la economía provoca, entre otras situaciones, la necesidad de estar atentos al cambio, de aprender y actuar con rapidez, de ser flexibles y polivalentes. La capacidad de adaptación a los cambios es lo que puede garantizar la supervivencia de la empresa en un entorno tan cambiante.

En este contexto las empresas deben de ser capaces de desarrollar y fabricar productos que satisfagan las especificaciones de los consumidores a un precio cada vez más competitivo. Entre los requisitos más exigentes, se encuentra la exigencia de mayores niveles de Confiabilidad: fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad. Algunos de estos conceptos hasta hace unos años se englobaban en uno conocido como "Garantía de funcionamiento". Actualmente se utiliza más la denominación única de "Confiabilidad". Por tanto, el concepto de Confiabilidad aplicado a cualquier dispositivo, contempla también su seguridad de funcionamiento en un período de tiempo determinado y mide la eficacia de su explotación en dicho período. En terminología anglosajona este concepto recibe el nombre de "Dependability" (Reliability, Availability, Maintainability, Safety) o "RAMS" (si bien en algún sector, como el espacial, el término seguridad (S) no se engloba en el término confiabilidad).

El objetivo de alcanzar un desarrollo industrial sostenible en el contexto social actual, supone un reto sobre las nuevas competencias que deben adquirir los profesionales encargados de diseñar y utilizar productos e instalaciones industriales. Esta problemática en el campo de la Confiabilidad en general y la Fiabilidad en particular ha sido analizada por diversos autores (Kapur, 2002; Kececioglu & Tian, 1998; Mayers & Kurtz, 2000). Hoy en día, en las escuelas de ingeniería se forma a los alumnos en "cómo se hace" pero no "cómo", "cuándo" y "porqué falla lo que se hace", lo que sugiere la necesidad de formación en el campo de la Confiabilidad, tal como ya fue propuesto por algunos profesores de esta materia (Álvarez-Santos, Núñez-Mendoza, Jiménez-Martínez, Rubio-Cifuentes & Marcos-Acevedo,



2003;Álvarez-Santos, Marcos-Acevedo, Fernández-Gómez, Jiménez-Martínez & Núñez-Mendoza, 2004). Al ingeniero que no sepa evaluar la Confiabilidad del producto que ha diseñado y realizado, podríamos decir que le falta capacidad para proyectar y cumplir con las especificaciones de los productos, tal y como actualmente demanda el mercado. En consecuencia, se hace necesario formar a los ingenieros en Confiabilidad (RAMS) y la forma de implementarla, medirla y optimizarla. Existen multitud de publicaciones que tratan esta temática desde diversos puntos de vista y en particular para aplicaciones en ingeniería (Department of Defense, 1988; Creus, 1992; Ramakumar, 1993; Department of Defense, 1995; Kales, 1998; O’Connor, 1998). Si se imparte este conocimiento desde las escuelas de ingeniería, se podrían corregir deficiencias formativas básicas, basadas en el principio de que los productos e instalaciones deben ser diseñadas para que funcionen, en lugar de la formulación alternativa aunque equivalente del problema, de que los productos e instalaciones deben ser diseñadas para que no dejen de funcionar (no fallen), y que si lo hacen (por tanto se admite que pueden fallar), dichos fallos sean subsanables en tiempo y de forma razonable y que no comporten consecuencias negativas para su disponibilidad y seguridad. Por tanto, el diseño debe dirigirse no solo a procurar el funcionamiento sino también a garantizar que se dispone de los mecanismos apropiados para minimizar los efectos adversos del no funcionamiento correcto y en particular en aplicaciones de seguridad (Smith, 2001).

Por otra parte, el nuevo Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) que supone un reto importante para las universidades españolas, también genera oportunidades de cambio que se pueden aprovechar para optimizar la formación que se imparte. Por todo ello, aprovechar el reto que actualmente plantea la adecuación de nuestros planes de estudios al EEES, se presenta como una buena ocasión para incluir la formación en Confiabilidad en las escuelas de ingeniería.

En los apartados siguientes, se justifica la necesidad de esta formación, se analiza la formación en Confiabilidad que se realiza en nuestro entorno y se hace una propuesta sobre los contenidos de Confiabilidad que se deberían dar al nuevo ingeniero para el desarrollo de su actividad profesional.



2. Necesidades de formación en confiabilidad

En un futuro inmediato, y ya de forma habitual en algunos sectores, los ingenieros de cualquier titulación se van a ver en la necesidad de hacer que las empresas en las que trabajan sean capaces de diseñar y fabricar productos que cumplan determinadas especificaciones de confiabilidad, lo que ya viene siendo habitual en algunos sectores como el espacial (Lalli, 1998) y en el futuro será de vital importancia en muchos otros (Mitrou, 2002), por lo que dicho titulados deberán:

- Entender e interpretar claramente las especificaciones de confiabilidad.
- Diseñar productos y procesos con determinadas características técnicas, que además mantengan su funcionalidad durante un determinado período de tiempo (extensión del concepto de Calidad en el tiempo) y en condiciones de trabajo especificadas - Especificaciones de Fiabilidad.
- Garantizar al cliente, o exigir a sus proveedores, que las máquinas y los sistemas atienden adecuadamente su demanda de funcionamiento - Especificaciones de Disponibilidad.
- Diseñar productos tecnológicos que puedan ser reparados y puestos de nuevo en funcionamiento en el menor tiempo posible y con una adecuada optimización de costes - Especificaciones de Mantenibilidad.
- Diseñar sistemas en los que se garantice que el riesgo asociado a la aparición de fallos potenciales no provoque daños en la instalación, a las personas que en ella trabajan o al medio ambiente - Especificaciones de Seguridad.

En muchos casos se hace imprescindible el análisis cualitativo y cuantitativo de la Confiabilidad de los componentes y de los sistemas e instalaciones. Asimismo la cuantificación del coste total a lo largo de su vida útil o LCC (Life Cycle Cost),



donde se engloban los costes de adquisición, de operación, de mantenimiento y el de retirada del producto al final de su vida útil.

Los costes derivados de la explotación de las instalaciones se pueden optimizar si se prevén, en la fase de diseño, las posibles incidencias que puedan ocurrir. Por ello el departamento de ingeniería deberá disponer de técnicos expertos en Confiabilidad y en la aplicación de distintos métodos de análisis de confiabilidad, tales como Diagrama de bloques (RBD), Árbol de fallos (FTA), Análisis Modal de Fallos Efectos y Criticidades (AMFEC) y Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM).

3. Encuesta realizada a profesionales

3.1. Objetivo y estructura de la encuesta

Con el objeto de constatar el uso y aplicación real de técnicas relacionadas con la confiabilidad en las organizaciones españolas y de evaluar la necesidad de una mayor formación en este campo, se diseñó y llevó a cabo una encuesta durante el año 2008. La encuesta se realizó vía Internet con el objeto de facilitar la respuesta a los encuestados, (<http://www.confiabilidad.com/noticias.php?language=es>). La encuesta constaba de 24 preguntas, de las que 4 estaban relacionadas con el tipo de empresa, 14 con el conocimiento y el uso de la confiabilidad en dicha empresa y 6 relacionadas con la formación recibida y la requerida por su entorno de trabajo. La divulgación se hizo¹, fundamentalmente, a través de los miembros del Comité de Confiabilidad de la Asociación Española para la Calidad.

3.2. Análisis descriptivo de la encuesta

Se recogieron un total de 75 respuestas de otros tantos profesionales de distintos sectores y empresas de distinto tamaño (Figura 1).

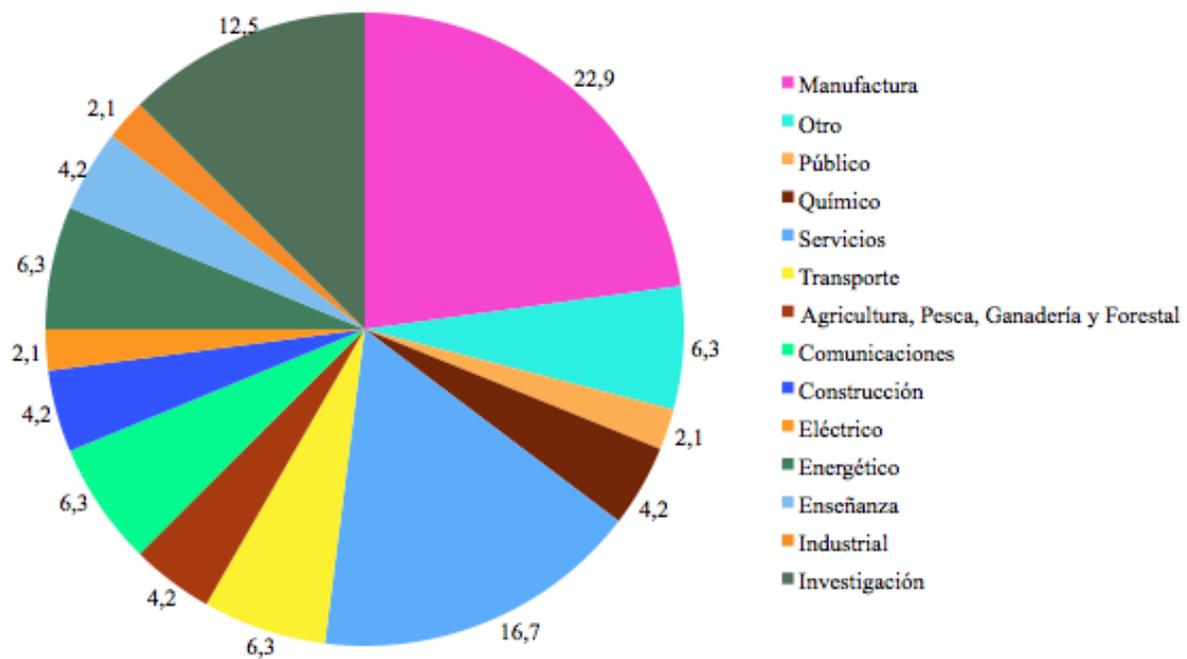


Figura 1- Sectores profesionales encuestados

3.3. Grado de conocimientos y usos de las técnicas de confiabilidad

Al ser una encuesta diseñada con el objeto de extraer información de los foros donde realmente existe inquietud y conocimiento del tema, no debe sorprender la gran importancia que los encuestados han dado, en general, al conocimiento de los temas de confiabilidad. Más de un 70% de los encuestados puntúa todos los temas planteados con una valoración de entre 7 y 10. El gráfico tipo red de la Figura 2 permite visualizar cuales son los aspectos concretos de este conocimiento a los que cada sector da más importancia. Los temas propuestos han sido:

1. Conocimientos básicos de estadística y fiabilidad
2. Fiabilidad de componentes
3. Fiabilidad de sistemas
4. Fiabilidad de Software
5. Ensayos de fiabilidad y análisis de fallos
6. Mantenimiento

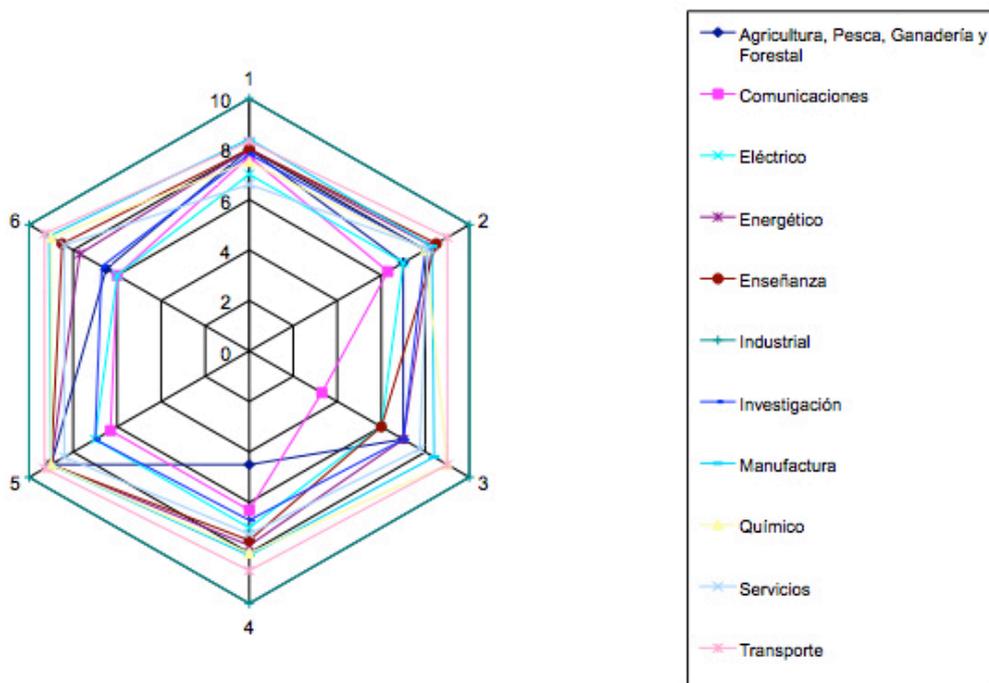


Figura 2- Gráfico radar de la importancia del conocimiento y uso de distintos temas relacionados con la Confiabilidad

Con respecto al uso de criterios, requisitos y/o técnicas de fiabilidad y aplicación de distintas técnicas de mantenimiento, se han obtenido los siguientes datos:



- El 61% de los encuestados establece, siempre o a menudo, requisitos de confiabilidad para la adquisición de dispositivos (productos o equipos), frente al 39% que lo hace ocasionalmente o nunca.
- El 58% de los encuestados utiliza, siempre o a menudo, criterios de confiabilidad para el diseño de sus propios productos, frente al 42% que lo hace ocasionalmente o nunca.
- Además, un 48% de los encuestados realizan en su organización estudios o pruebas de confiabilidad sobre los productos que fabrican. El 52% restante se reparte casi equitativamente entre el “No se realizan” y “No se aplica”.
- Esto puede estar relacionado con el hecho de que el 55% de los encuestados reconoce no disponer de un proceso de retorno de la experiencia operativa que le permita evaluar realmente la Confiabilidad de sus productos o dispositivos.
- Un 93% de los encuestados afirma creer que los requisitos de confiabilidad de los productos van a ser cada vez más exigentes en su sector.
- En cuanto al uso de normativas para establecer o responder a criterios de confiabilidad, el 77% de los encuestados afirma usarlas aunque lógicamente éstas dependen del sector. Del análisis de las respuestas recibidas se deduce que están igualmente repartidas las organizaciones que hacen uso de las normas CEI/UNE, las que utilizan las normas americanas MIL y las que hacen uso de sus propias normativas.
- Entre las herramientas o métodos que utilizan para analizar la confiabilidad de dispositivos, las más destacadas han sido: la realización de cálculos medios de tiempos de vida, tales como MTBF, MTTR, etc. (31%); seguido de AMFES (27%) y análisis de riesgos (21%). La realización de análisis más complejos como Diagramas de Markov o Redes de Petri solo los utilizan un 3% de los encuestados.



- El 87% de los encuestados dice que en sus empresas se establece mantenimiento correctivo y preventivo.
- La implementación de un sistema TPM, o la aplicación de la metodología RCM en las instalaciones de las organizaciones encuestadas, no llega al 10% en ninguno de los dos casos.
- Un 31% de los encuestados ni siquiera conocen la existencia del TPM y casi al 40% desconoce la metodología RCM.

3.4. Formación recibida por los encuestados en técnicas de confiabilidad

Un 84% de los encuestados afirma haber necesitado alguna vez conocimientos de fiabilidad para el desarrollo de su actividad profesional. Sin embargo, prácticamente el mismo porcentaje reconoce no haber recibido esta formación durante sus estudios universitarios. Y aunque un 63% de ellos reconoce haber participado en cursos de formación en temas específicos, alrededor del 90% de los encuestados desearía recibir formación específica sobre confiabilidad.

Además, el 60% de los encuestados conoce la formación que reciben los ingenieros actualmente en estos temas (bien porque son formadores o están vinculados a la universidad, bien porque tienen a su cargo la formación de personal de nuevo ingreso) y el 70% de ellos califica de escasa o inexistente la formación que se imparte en las escuelas técnicas.

4. La realidad de la formación actual en confiabilidad

Para disponer de la información relativa a las metodologías, herramientas o conceptos relacionados con la confiabilidad y que actualmente se enseña en las escuelas de ingenieros españolas, se procedió a buscar dicha información en las páginas web disponibles de distintas escuelas técnicas. Esta actividad se desarrolló a lo largo de los meses de Junio y Julio de 2008. Los planes de estudio revisados han



sido aquellos cuyos temarios estaban incluidos en la información de las asignaturas que los integraban.

4.1. Análisis descriptivo de los temarios

En total se revisaron 123 planes de estudio pertenecientes a 28 universidades distintas (un 25,2% de ellas privadas) y de 26 titulaciones diferentes de ingeniería. El estudio se centró en revisar los planes de estudio de las ramas de la ingeniería industrial, automática-electrónica, telecomunicaciones, organización industrial, diseño industrial e informática, fundamentalmente. Esta selección se hizo por ser éstas las ingenierías que parecen estar más cerca del uso y aplicación de las técnicas de confiabilidad, a las que se refiere este artículo.

A modo de resumen, se desea reseñar que a fecha de Junio 2008, sólo el 5,7% de los planes revisados se corresponden con las nuevas titulaciones (grados) propuestas por el Acuerdo de Bolonia. El resto de los planes se corresponden con las titulaciones de planes de estudio anteriores. En este sentido, los planes revisados se han clasificado de la siguiente manera: el 49,6% de ellos son planes de ingenierías superiores, el 13,8% se refieren a ingenierías de segundo ciclo, y el 30,9% a ingenierías técnicas. Los porcentajes globales referidos al conjunto de las titulaciones quedan reflejados en la Figura 3.

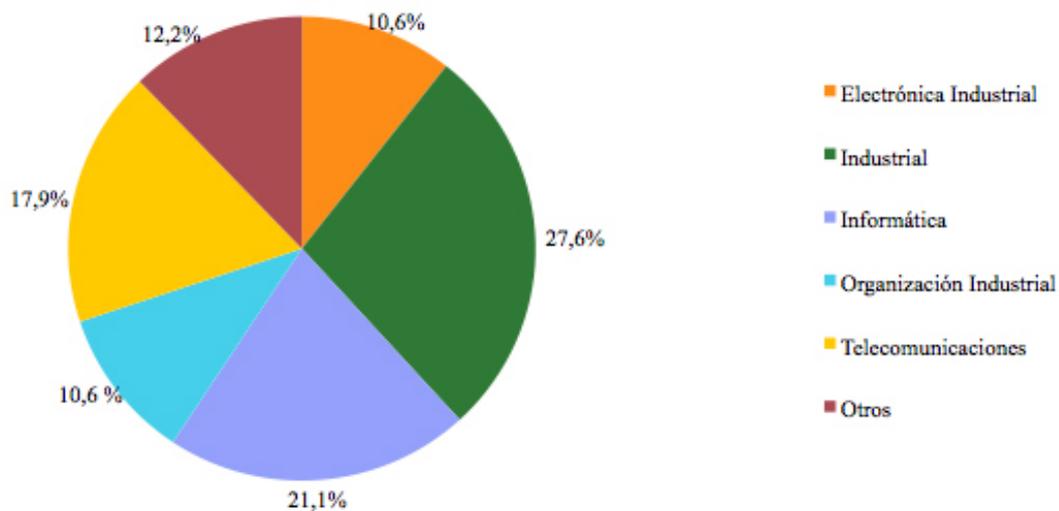


Figura 3- Distribución general de las ramas ingenieriles revisadas para todas las titulaciones

La revisión de estos 123 planes de estudio distintos, ha proporcionado la siguiente información:

- Sólo el 52,8% de los planes revisados contienen asignaturas que total o parcialmente tratan conceptos, herramientas y/o metodologías relacionadas con la confiabilidad. El 21,1% de estas asignaturas cubren totalmente una de las subáreas de la Confiabilidad (fiabilidad, disponibilidad, mantenibilidad y seguridad). El 38,5% son de fiabilidad, otro 50% de seguridad y sólo hay un 11,5% de asignaturas exclusivamente centradas en el mantenimiento-disponibilidad. Además, el 77% de estas asignaturas son de carácter opcional, lo que impide conocer verdaderamente, si los ingenieros de las diversas titulaciones llegan a ver estos temas. Solo tienen carácter troncal u obligatorio las asignaturas de seguridad, que corresponden en su totalidad a las ingenierías informáticas y de telecomunicaciones, y que están



centradas fundamentalmente en el tema de la seguridad en tecnologías de la información.

- En el 31,7% de planes restantes, los conceptos relacionados con la confiabilidad se incluyen en uno, o a lo sumo dos, temas de otro tipo de asignaturas (fundamentalmente asignaturas de estadística y de metodologías de diseño). En este caso, el 92,3% de las asignaturas sobre estadística tratan el tema de la fiabilidad y en estos casos la optatividad baja al 33%.

- Si además se desglosan las asignaturas por titulaciones, se observa que los temas de mantenimiento-disponibilidad lo tratan en ingeniería industrial y los temas de seguridad solo los ingenieros informáticos. Esto vuelve a recalcar el hecho de que la seguridad se vislumbra importante en las tecnologías de la información, pero no tanto en otros ámbitos ni con el enfoque relativo al estudio de los riesgos personales o materiales asociados a los fallos de los equipos. De la Figura 4 se deduce que los ingenieros de organización son los únicos que reciben de manera obligatoria algunos conceptos sobre fiabilidad.

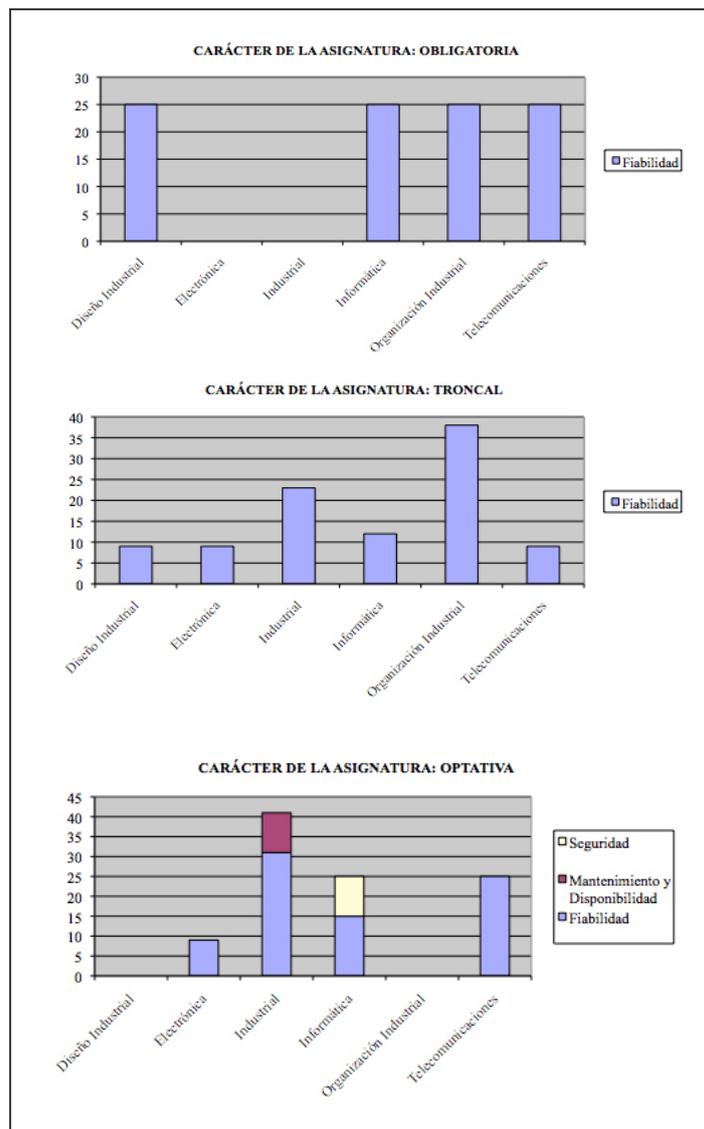


Figura 4- Carácter de las asignaturas que contienen subáreas de confiabilidad distribuidas por ramas de la ingeniería



Propuesta sobre contenidos

Una vez analizado el entorno y justificado la necesidad de que los nuevos graduados en ingeniería debieran tener la oportunidad de conocer, en mayor o menor profundidad, los conceptos relacionados con la confiabilidad de productos o sistemas, los autores de este artículo proponen, en base a su experiencia docente y laboral, un conjunto de bloques temáticos que recogen el contenido que podría formar parte del curriculum de los nuevos graduados en las distintas ingenierías. La tabla I muestra los bloques temáticos, así como el contenido y los descriptores de los mismos.

Tabla I- Bloques temáticos

BLOQUES	CONTENIDO	DESCRIPTORES
1	Introducción a la confiabilidad	Desarrollo histórico de la confiabilidad. Conceptos básicos y terminología de la confiabilidad. Tareas necesarias en confiabilidad
	Estadística aplicada a la confiabilidad	Funciones estadísticas útiles: Normal, Lognormal, Exponencial, Gamma, Weibull, χ^2 , Hipergeométrica, Binomial y Poisson. Funciones de Riesgo. Niveles de confianza.
2	Fiabilidad	Conceptos y parámetros básicos. Predicción de tasas de fallo de componentes. Normas y manuales de datos. Fiabilidad de sistemas. Utilización de herramientas software específicas.
3	Mantenibilidad	Conceptos y parámetros básicos. Sistemas reparables y no reparables. Mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo. RCM. Dimensionamiento de stocks de repuestos.
4	Disponibilidad	Conceptos y parámetros básicos. Disponibilidad de sistemas.
5	Seguridad	Conceptos relacionados con la seguridad y el riesgo. Análisis de riesgos. Previsión de la seguridad. Sistemas seguros ante averías. Normativas aplicables.



6	Herramientas para análisis de confiabilidad	PARETO, AMFEC, FTA, Modelos de MARKOV.
7	Ensayos	Ensayos acelerados, Ensayos temperatura-humedad, ensayos de vibraciones, ensayos de compatibilidad electromagnética. Ensayos RGT y RDT.
8	Organización de la confiabilidad	Metodologías para la implantación de la confiabilidad en distintos campos. Etapas, tipos y métodos de control. Normativas existentes.
9	Gestión de activos: Gestión de la confiabilidad	Especificación y gestión de la confiabilidad
10	Fiabilidad del software	Modelos aplicables. Metodología de desarrollo de software. Modelos de cálculo. Normas aplicables.

7. Conclusiones

El trabajo realizado permite extraer las siguientes conclusiones:

- 1) La ingeniería de Confiabilidad resulta ser muy importante en las organizaciones y se necesita una mayor formación en este campo, tanto en forma de cursos de formación postgrado para profesionales, como el establecimiento de una formación básica en los estudios de grado.
- 2) Sólo en la mitad de los 123 planes de estudio analizados se han identificado asignaturas relacionadas con la confiabilidad y además, la mitad de ellas son optativas (lo que no asegura que el ingeniero graduado las haya cursado). Actualmente esto hace que las empresas deben formar a los nuevos ingenieros en Confiabilidad mediante cursos internos o externos.
- 3) La temática relacionada con la seguridad solamente se trata en asignaturas de informática, mientras que en muchos casos la temática de Confiabilidad se



trata en algún tema de otras asignaturas como calidad, estadística e ingeniería del software.

4) Se pone de relieve la poca dedicación que actualmente se dedica a la Confiabilidad en las escuelas de ingeniería, lo que constituye una clara deficiencia en la formación de sus titulados. Además, esto también conlleva un cambio de mentalidad del ingeniero de diseño, que deberá acostumbrarse a diseñar teniendo en cuenta las especificaciones puramente técnicas y las de Confiabilidad, simultáneamente.

5) Con la creación de los nuevos grados, dentro del marco de Bolonia, se abre la oportunidad de ofrecer nuevos bloques temáticos, con el interés constado en la industria y sociedad sobre su utilidad. De esta manera cualquiera de los bloques propuestos, individualmente o combinados, deberían llegar a formar parte del curriculum del ingeniero, todos ellos convenientemente adaptados a las diferentes especialidades de ingeniería (mecánica, electrónica, diseño industrial, telecomunicación, informática, espacial, aeronáutica, organización,....).

NOTAS

¹ Observando los cauces de divulgación resulta evidente darse cuenta que el público objetivo era el del profesional que de una u otra manera es conocedor del tema y por tanto podía aportar con su experiencia información sobre la necesidad de uso de los temas abordados y la aplicación actual en la empresa de estos temas.

Bibliografía

Álvarez-Santos, R., Marcos-Acevedo, J., Fernández-Gómez, S., Jiménez-Martínez, F. J. y Núñez-Mendoza, N. (2004). Formación en ingeniería de confiabilidad. Trabajo presentado en el Simposio Internacional sobre nuevos métodos y nuevos planes de estudio de ingeniería en una nueva Europa, Octubre, Valladolid.



Álvarez-Santos, R., Núñez-Mendoza, N., Jiménez-Martínez, F. J., Rubio-Cifuentes, G. y Marcos-Acevedo, J. (2003). Formación en Confiabilidad. Propuesta de un plan de estudios. *Mundo electrónico*, 346, 44-49.

Creus, A. (1992). *Fiabilidad y Seguridad*. Barcelona: Marcombo.

Department of Defense. (1988). *MIL HDBK-338B. Electronic Reliability Design*. Washington, DC: Department of Defense.

Department of Defense. (1995). *MIL HDBK-217F, Notice 2. Reliability Prediction of Electronic Equipment Handbook*. Washington, DC: Department of Defense.

Kales, P. (1998). *Reliability. For Technology, Engineering and Management*. New Jersey: Prentice_Hall.

Kapur, K. C. (2002). The Future of Reliability Engineering as a Profession. *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, January, Seattle.

Kececioglu, D. & Tian X. (1998). Reliability Education: A Historical Perspective. *IEEE Transactions on Reliability*, 47(3), 390-398.

Lalli, V. R. (1998). Space-System Reliability: A Historical Perspective. *IEEE Transactions on Reliability*, 47(3), 355-360.

Mayers, A. W. & Kurtz S. K. (2000). Teaching Reliability Engineering to Working Engineers. *30th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*. October, Kansas City.

Mitrou, T. (2002). Reliability – Looking Ahead. *Proceedings of the Annual Reliability and Maintainability Symposium*, January, Seattle.



O'Connor, P. (1998). *Practical Reliability Engineering*. Third Edition Revised. New York: John Wiley & Sons.

Ramakumar, R. (1993). *Engineering reliability. Fundamentals and applications*. New Jersey: Prentice Hall.

Smith, D. J. (2001). *Reliability, Maintainability and Risk*. Sixth Edition. Oxford: Butterworth Heinemann.