

La Electrónica en la Ingeniería de Mantenimiento

René Lastra Cid

AtlanTTic Research Center for Telecommunication Technologies
Universidade de Vigo
Vigo, España
rلاstra@gti.uvigo.es

Alejandro Pereira Domínguez
Depto. de Diseño en la Ingeniería
Universidade de Vigo España
Vigo, España
apereira@uvigo.es

Miguel Ramón Díaz-Cacho Medina

Depto. de Ingeniería de Sistemas y Automática
Universidade de Vigo
Vigo, España
mcacho@uvigo.es

Jorge Marcos Acevedo
Depto. De Tecnología Electrónica
Universidade de Vigo
Vigo, España
acevedo@uvigo.es

Resumen— En este documento se muestra la actividad llevada a cabo y los resultados de dos proyectos europeos, uno finalizado y otro en marcha, que tienen como objetivo el desarrollo y la implantación de la titulación del Ingeniero de Mantenimiento en dos países del Norte de África, Argelia y Túnez, respectivamente. Como resultado se presentan dos bloques temáticos a incluir en dicha titulación y las asignaturas del Área de Tecnología Electrónica que son necesarias para dar soporte a asignaturas específicas relacionadas con la Ingeniería de Mantenimiento.

Palabras clave— *Fiabilidad, Mantenibilidad, Disponibilidad, Seguridad, Confiabilidad.*

I. INTRODUCCIÓN

Las escuelas técnicas de las universidades forman ingenieros con diferentes perfiles. La formación que se imparte a los alumnos es diversa y abarca distintas tecnologías, según la especialidad y el tipo de ingeniería que cursen. Esta formación está orientada, en gran medida, al diseño de sistemas tecnológicos, pero se pone poco énfasis en cuándo, cómo, porqué puede fallar lo que se diseña y como se puede realizar y gestionar su mantenimiento [1] [2] [3]. El mantenimiento está muy relacionado con la fiabilidad de los componentes del sistema [4] [5], pero además se deben tener en cuenta otros factores como los tiempos de reparación, la gestión de stocks de piezas de repuesto, etc.

Actualmente las máquinas pueden llevar mucha más inteligencia que en el pasado con multitud de sensores con conexión, en muchos casos inalámbrica, que dan la información necesaria para llevar a cabo actividades de diagnóstico y pronóstico de dichas máquinas e instalaciones, a partir del tratamiento de toda esta información. Esto puede ser una ayuda muy importante para las tareas de mantenimiento y, por tanto, afectará a la mantenibilidad de la máquina.

Por otra parte, el desarrollo de la Tecnología Electrónica y en particular el desarrollo de las TICs y las nuevas tecnologías asociadas a la industria 4.0, IoT, BigData, digitalización, Machine Learning, ciberseguridad, etc., debe ayudar al diseño y desarrollo de activos físicos y sistemas fiables, altamente disponibles, fácilmente mantenibles y seguros.

Un Ingeniero de Mantenimiento no es necesario que tenga capacidad de diseño, pero si debe tener la formación necesaria para entender cómo funciona cualquier sistema tecnológico para planificar y gestionar su mantenimiento, determinar el nivel de stocks de piezas de repuesto, etc., que dependerá de la fiabilidad de los componentes, del número de componentes instalados, del tipo de mantenimiento realizado, etc.

En este documento se presentan dos proyectos europeos (Erasmus+ CBHE) en Educación Superior “ANL-Med” (Algerian National Laboratory) y “SM-TMC” (South Mediterranean Tunisian Maintenance Centre of Excellence), llevados a cabo en colaboración entre Universidades Europeas y Universidades Argelinas y Tunecinas, respectivamente, para el desarrollo e implantación de planes de estudio para formar Ingenieros de Mantenimiento en ambos países. Estos proyectos proponen un novedoso marco educativo y formativo para mejorar la empleabilidad de los alumnos y, en última instancia, proporcionar a la sociedad titulados altamente demandados.

En los apartados sucesivos se describen de forma resumida ambos proyectos, así como un conjunto de asignaturas que agrupan el conocimiento básico que un Ingeniero de Mantenimiento debe tener. Esto trae como consecuencia un conjunto de asignaturas de Tecnología electrónica que serán una Tecnología Horizontal y básica para las anteriores.

II. PROYECTOS EUROPEOS (ERASMUS+CBHE PROJECTS)

Estos proyectos se desarrollan en colaboración entre Universidades Europeas y del Norte de África, además de diversas entidades colaboradoras, básicamente en los países africanos. Ambos proyectos han recibido la calificación de excelente por el equipo evaluador. Son los siguientes:

A. *European Project ANL-Med (Algerian National Laboratory for Maintenance Education)*

- Project No 586035-EPP-1-DZ-EPPKA2-CBHE-JP
- Subvención total solicitada a la Unión Europea (1.156.965,00 €)
- Periodo de ejecución: 01/10/2017-31/12/2021
- Entidades participantes: **Argelia:** USTHB (Université des sciences et de la technologie Houari-Boumédiène), UMFC (Université Frères Mentouri Constantine I), UBMA (Université Badji Mokhtar de Annaba), UMBB (Université M'Hamed Bougara de Boumerdes), SNVI (National Company of Industrial Vehicles), GERMAN (Société des Matériels de Gerbage et de Manutention), CTMC (Centre Technique Métal Construction), CRTI (Centre de Recherche en Technologies Industrielles); **Suecia:** KTH (Royal Institute of Technology); **España:** UVIGO (Universidade de Vigo); **Italia:** UNIVPM (Università Politecnica delle Marche); **Grecia:** IED

(Institute of Entrepreneurship Development); **Rumania:** UDJG (Universitatea Dunarea de Jos din Galati); **Bélgica:** EFNMS (European Federation of National Maintenance Societies).

B. European Project SM-TMC (South Mediterranean Tunisian Maintenance Centre of Excellence)

- Project No. 618718-EPP-1-2020-1-TN EPPKA2- CBHE-JP.
- Subvención total solicitada a la Unión Europea (789.302.00 €).
- Periodo de ejecución: 15/01/2021-10/01/2024
- Entidades participantes: **Túnez:** USFAX (Universidad de Sfax), UNIVGB (Universidad de Gabes), UCAR (Universidad de Cartago), UJEN (Jendouba University), SOCOMENIN (Manufacturing Construction & Maintenance Division), UPMI (The Union of Small and Medium Industries of Tunisia), CCIT (Chambre de Commerce et d'Industrie de Tunis). **UTICA** (Tunisian Union of Industry, Commerce and Handicrafts). **Francia:** ULYON (Universite Lyon 3 Jean Moulin). **España:** UVIGO (Universidade de Vigo). **Rumania:** UDJG (Universitatea Dunarea de Jos din Galati). **Bélgica:** EWF (European Federation for Welding). **Suecia:** PLAS (Plasmatrix Materials).

Ambos proyectos están cofinanciados por la acción de Desarrollo de Capacidades en la Educación Superior bajo el programa Erasmus + de la Unión Europea (UE), una acción que tiene como objetivo "apoyar la modernización, accesibilidad e internacionalización de la educación superior en los países asociados".

El proyecto ANL-Med está liderado por la Universidad de Ciencia y Tecnología HOUARI BOUMEDIENE (Argelia). El proyecto SM-TMC está liderado por la Universidad de Sfax (Túnez). Ambos proyectos establecen, entre otros, un marco para la Educación Superior en Ingeniería de Mantenimiento para dotar a los estudiantes de competencias en las distintas tecnologías industriales, (Electricidad, electrónica, mecánica, informática, comunicaciones, etc.) para abordar las tareas de mantenimiento y, en particular, el Mantenimiento 4.0. Los proyectos comenzaron con la realización de una encuesta de análisis de necesidades en la que participaron instituciones de educación superior, tanto del Norte de África como Europeas y otras entidades directamente relacionadas con la industria en Túnez y Argelia, para analizar el estado de los programas educativos sobre la enseñanza de la ingeniería de mantenimiento. Se identificaron cuestiones relacionadas con el desarrollo de los planes de estudios, como las crecientes necesidades de formación de profesores con un alto grado de conocimientos especializados y habilidades para llevar a cabo un plan de estudios de ingeniería de mantenimiento creativo e interdisciplinario. Además, las universidades no mantienen vínculos estrechos con la industria para impulsar la competencia práctica de sus graduados.

Estos proyectos proponen un novedoso marco educativo y formativo para formar Ingenieros de Mantenimiento, por ser una titulación altamente demandada por el sector empresarial. Esta titulación no es demasiado habitual, tampoco en Europa, aunque si existen

algunas titulaciones tanto en Europa como en España [6] [7] [8]. El plan de estudios, además de los conocimientos básicos de las tecnologías industriales en general, debe incluir formación específica para mantenimiento (herramientas específicas de mantenimiento, gestión de stocks de piezas de repuesto, etc.). Según la encuesta realizada recientemente por la AEM (Asociación Española de Mantenimiento) [9], la formación en mantenimiento se considera necesaria y además se cree que se incrementará en los próximos años. En dicha encuesta, realizada en el 2020, han participado 1671 encuestados de 420 empresas y se obtienen entre otros, los siguientes resultados:

- Casi el 90% de los encuestados creen que la plantilla de mantenimiento se mantendrá o se incrementará en los próximos años.
- También, prácticamente el mismo porcentaje (90%) cree que en los próximos años se incrementará la contratación de técnicos de mantenimiento.

Por otra parte, y como ya se ha comentado, la industria necesita técnicos que estén cualificados para mantenimiento y esto es lo que ha hecho que organizaciones como la AEM certifiquen a técnicos como profesionales gestores de mantenimiento y a técnicos como profesionales supervisores de mantenimiento, que son las certificaciones denominadas AEM-AFNMS [10]. Esta certificación aumenta su prestigio día a día por la falta de profesionales con formación reglada y específica en el ámbito del mantenimiento, y las organizaciones requieren técnicos de mantenimiento con conocimientos, habilidades y experiencia mínima para dar confianza a dicha organización, además de ofrecer, en muchos casos, una ventaja competitiva en el mercado. Además, esto adquiere especial importancia en las organizaciones que no solamente ofrecen el producto a sus clientes, sino, el mantenimiento del activo durante todo el ciclo de vida del producto.

De acuerdo con el párrafo anterior, la implantación de titulaciones demandadas por la industria supone mejorar la empleabilidad de los alumnos que las cursen, que también es uno de los objetivos de los proyectos, que además contemplan la movilidad de alumnos y profesores que favorezcan el intercambio y la internacionalización de la formación en mantenimiento, en este caso, mediante los diversos convenios de reconocimiento [11]. Además, se deben tener en cuenta los nuevos retos que debe asumir el profesorado de ingeniería [12].

III. PAPEL DE LA TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA EN EL MANTENIMIENTO ACTUAL

En el campo de la ingeniería de mantenimiento la Tecnología Electrónica juega un papel fundamental, y más aún lo hará en el futuro inmediato. En el desarrollo del primer proyecto europeo (ANL Med) se han establecido un conjunto de bloques temáticos que cualquier ingeniero de mantenimiento debe conocer [4], pero además aparecen un conjunto de temas relacionados con la Tecnología Electrónica y las TICs que también deben ser conocidos por cualquier Ingeniero de Mantenimiento.

La figura 1 muestra un sistema general formado por una máquina o un proceso industrial, en la que existen un gran conjunto de sensores que pueden monitorizar todas las variables, no solo relacionadas con el control del proceso, sino también las variables que miden el estado de salud de

la máquina, lo que permite establecer un completo proceso de mantenimiento preventivo basado en la condición, o mantenimiento predictivo. Para ello hay que obtener la información mediante los sensores correspondientes y posteriormente hacer el adecuado tratamiento de esta.

Una vez elegida la o las variables que nos pueden diagnosticar el estado de salud de la máquina, se monitorizan y se pueden establecer los niveles de alarma que nos indican el momento en que se debe intervenir para volver la máquina a su estado de operación. Toda esta estructura de operación se puede exponer gráficamente como se indica en la figura 1, lo que podría consistir en un sistema de mantenimiento 4.0. Actualmente toda la información procedente de los sensores puede ser enviada y tratada en la nube o incluso puede ser tratada en la propia máquina dotando a esta de inteligencia a base de sistemas electrónicos incorporados a la misma. En cualquier caso, es posible establecer un sistema de diagnóstico y pronóstico que permita conocer en tiempo real el estado de salud de la máquina o proceso para predecir el tiempo de vida que cabe esperar de sus componentes y poder realizar las intervenciones de mantenimiento en el momento más oportuno.

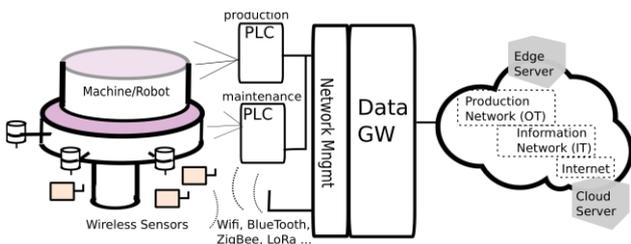


Fig. 1. Estructura de mantenimiento 4.0

Por otra parte, y además de las aplicaciones del tipo de las indicadas, existen otras similares, pero para instalaciones peligrosas, es decir instalaciones de riesgo, en las que hay que garantizar la seguridad de la instalación porque un fallo en la misma puede producir daños a la propia instalación, a las personas o al medio ambiente. Por ello, además de los sistemas electrónicos de control del proceso o de la máquina debe de existir otro (debería ser independiente del anterior) que constantemente esté supervisando las variables que se consideran críticas. En cuanto una de estas variables se salga del margen considerado seguro, el sistema electrónico de seguridad debe asumir el control y llevar la instalación al estado seguro, que normalmente es la parada. Son instalaciones de este tipo, las calderas de vapor, el sector energético y transporte de combustible, muchas industrias químicas, muchas máquinas herramientas, el transporte de personas en general, etc. En estos casos el sistema electrónico de seguridad debe garantizar la seguridad de la instalación, lo que significa que debe ser seguro ante sus propios fallos (fail-safe system), lo que se traduce en que debe detectar sus propios fallos y actuar en consecuencia, lo que puede suponer llevar la instalación al estado seguro, no porque hubiese una situación de peligro sino porque el sistema electrónico de seguridad no está en condiciones de ejecutar las funciones de seguridad, en caso de que fuese necesario. Estos sistemas responden a la estructura de la figura 2, que es similar a la de un sistema electrónico de control convencional, con la particularidad de que tanto los sensores como el propio sistema de control suelen tener estructuras redundantes, con una elevada cobertura del diagnóstico para poder detectar sus

propios fallos y proporcionar un elevado nivel de seguridad. El sistema en su conjunto debe ser seguro, pero como está compuesto de sensores, actuadores y sistema electrónico de control, todos estos elementos deben tener individualmente la categoría de seguridad requerida en función del riesgo de la instalación. El conjunto entero se suele denominar SIS (Safety Instrumented System-Sistema Instrumentado de Seguridad), figura 2.

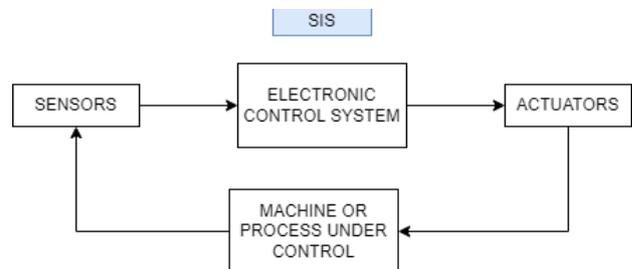


Fig. 2. SIS (Safety Instrumented System)

Todos los sistemas de control, tanto de proceso, como de seguridad, incluyendo sensores, actuadores y unidades de control, deben tener un mantenimiento adecuado y además en condiciones de seguridad. Por ello la dotación de inteligencia a las máquinas a base de incluir sensores, el tratamiento de dicha información, así como la comunicación de esta y su gestión, exigen de amplios conocimientos relacionados con asignaturas de Tecnología Electrónica. Estas materias deben formar parte de la formación de cualquier Ingeniero de Mantenimiento. Pero además todos los sistemas de control estarán conectados a distintas redes de comunicaciones con otros sistemas de gestión de nivel superior. Por tanto, todos ellos son susceptibles de sufrir ciberataques, lo que supone que la formación en ciberseguridad también resultará fundamental para estos titulados. En este sentido el término "Security for Safety", cada vez adquiere mayor relevancia.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

El Proyecto ANL-Med (Algerian National Laboratory for Maintenance Education), además incluía el montaje de un Laboratorio Central de Mantenimiento en Argelia. De igual forma el SM-TMC también tiene previsto el montaje de un Centro de Excelencia en Mantenimiento en Túnez.

En cada uno de los proyectos europeos participaban y/o participan Universidades y otras organizaciones del Norte de África y Universidades Europeas, colaborando conjuntamente para elaborar el plan de estudios, con sus contenidos, así como la metodología de implantación de estos. Uno de los resultados obtenidos fueron los bloques temáticos relacionados con la Tecnología Electrónica, que formarán parte de dicho plan de estudios y que son el contenido más importante de este trabajo, así como la justificación de estos.

La tabla I muestra el conjunto de asignaturas específicas que se considera que un Ingeniero de Mantenimiento debería haber cursado. La tabla II muestra las asignaturas de Tecnología Electrónica que se consideran necesarias para dar soporte a las asignaturas específicas de mantenimiento de la tabla I.

En ambos proyectos europeos se pretende formar Ingenieros de Mantenimiento mediante un curso de 60 ECTS. En la solicitud del proyecto ANL-Med el conjunto de 60 ECTS

se distribuye en bloques temáticos según se indica en la tabla III, mientras que en la del SM-TMC la distribución responde a la que se indica en la tabla IV.

El objetivo general es conseguir que todos los contenidos de Tecnología Electrónica que aparecen en la Tabla II y que no hayan formado parte del plan de estudios previos del alumno, se incluyan dentro de alguno de los bloques temáticos de las tablas III y IV, para los proyectos ANL-Med y SM-TMC, respectivamente.

TABLE I. ASIGNATURAS ESPECÍFICAS DE MANTENIMIENTO

Diagnosis y Prognosis
Gestión del Mantenimiento
Ingeniería de Mantenimiento
Monitorización de la condición
Diseño para Mantenimiento
Mantenimiento de Sistemas electrónicos (Correctivo y Preventivo)
Equipamiento y sistemas de Prognosis
Mantenimiento 4.0
Mantenimiento Predictivo
Gemelos Digitales
Mantenimiento de sistemas eléctrico-electrónicos
Requisitos del Mantenimiento Correctivo/Preventivo
Análisis de causa raíz
Lubricación y su control
Herramientas de Mantenibilidad (AMFEC, FTA)
Herramientas de Mantenimiento (RCM, TPM)

TABLE II. ASIGNATURAS DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

Electrónica Básica (Análoga y Digital)
Electrónica Digital y Microcontroladores
Instrumentación Electrónica
Electrónica de Potencia
Sensores y acondicionamiento de señal
Medidas con Ultrasonidos
Medidas de Vibraciones
Medida Termográfica de Temperatura
Automatización Industrial
Informática Industrial
Mecatrónica
Fiabilidad de componentes, circuitos y sistemas electrónicos
Electronics Systems for Safety Applications
Modelado y Simulación
Sistemas Electrónicos para Comunicaciones
Regulación Automática

TABLE III. BLOQUES TEMÁTICOS PROYECTO ANL-MED

Bloques temáticos	ECTS
Statistics and reliability	10
Sensors and instrumentation	4
Asset integrity	10
Equipment testing	6
Manufacturing, industrial applications	10
Master thesis in enterprises	20
TOTAL	60

TABLE IV. BLOQUES TEMÁTICOS PROYECTO SM-TMC

Bloques temáticos	ECTS
Fundamentals of Maintenance Engineering:	8
- Applying basic probability and statistics concepts to characterize process variation	
- Statistical Process Control (SPC) foundations and applications	
- Introduction to the Theory and Practice of Maintenance	
- Maintenance strategies: Reactive Maintenance	

- Preventive Maintenance and Predictive Maintenance	
Practical Maintenance	22
- Maintenance Best Practices	
- Maintenance repair and operations	
- Maintenance Engineer's Toolbox	
- Tribology	
- Vibration Monitoring and Analysis	
- Failure Modes and Effects Analysis	
- Maintenance of Mechanical Equipment	
TMC-Project Scenarios	8
Technical Language	2
Master thesis in enterprises	20
TOTAL	60

V. CONCLUSIONES

Se han presentado dos proyectos europeos que tienen el objetivo de formar Ingenieros de Mantenimiento con un Máster de 60 ECTS. Este Máster se impartirá a alumnos que previamente han cursado una ingeniería.

Según la titulación previa realizada, el alumno tendrá que cursar distintas asignaturas para recibir las competencias que necesita, como es por ejemplo el caso de Tecnología Electrónica.

El equipo de investigación de cada proyecto debe establecer el formato definitivo y elaborar los contenidos de cada asignatura. También está prevista la elaboración de cursos específicos para el profesorado e incluso para industria del entorno.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo recibido para la realización de las muchas actividades que han dado lugar a este trabajo, a los siguientes proyectos de investigación:

- Proyecto Europeo: Argelian National Laboratory for Maintenance Education. Project No. 586035-EPP-1- 2017-1-DZ-EPPKA2-CBHE-JP.
- Proyecto Europeo: South Mediterranean Tunisian Maintenance Centre of Excellence/SM-TMC.

REFERENCES

- [1] Zonta, T., da Costa, C. A., da Rosa Righi, R., de Lima, M. J., da Trindade, E. S., & Li, G. P., «Predictive maintenance in the Industry 4.0: A systematic literature review.» Computers & Industrial Engineering, pp. 0360-8352, <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106889>. 2020.
- [2] Smith, D. J., «Reliability, maintainability and risk: practical methods for engineers.» Elsevier, pp. Smith, D. J. (2021). Reliability, maintainability, and risk: practical methods for engineers. Butterworth-Heinemann.
- [3] Acevedo, J. M., Díez, E. V., González, B. G., Alsina, S. M., Santos, R. Á., & Martínez, J. A. M., «Formación en confiabilidad para ingenieros. Un reto para el futuro.» CIDTFF, pp. Indagatio Didactica, 2(1), 43-61., 2010.
- [4] Marcos-Acevedo, J., Diaz-Cacho, M., Sanchez-Real, J., & Chikh, S., «Training in Maintenance Engineering. Curricula Proposal.» IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), pp. (pp. 331-335), (2018, December).
- [5] Acevedo, J. M., Martín, J. A., & Galvan, B., «Fiabilidad de componentes electrónicos: La nueva RIAC-HDBK-217Plus.» Mundo electrónico, pp. (390), 46-51, 2007.
- [6] https://polytechnique.cm/ENSP/Cours/cours_maintenance_fiabilite_4_GIM.pdf. Accessed 09/03/2022.

- [7] https://cfp.us.es/azteca/docCalidad/triptico/T%C3%ADtulos%20Propios/TP_6421_2021375.pdf. Accessed 09/03/2022.
- [8] https://www.itmasterd.es/master-en-mantenimiento-industrial?piloto=426&gclid=CjwKCAjwj6SEBhAOEiwAvFRuKIm6VoL1iWFRYPWN-6XFhq0N1Nn8jQ6x1XVVGt5DMurJVp5Ii6c6RoCkyMQAvD_BwE. Acceso 09/03/2022.
- [9] AEM (Asociación Española de Mantenimiento). El mantenimiento en España. Encuesta sobre la evolución y situación del Mantenimiento en España. Samarcanda, 2021. ISBN: 9788418720031.
- [10] <https://aem.es/certificaciones>. Accessed 09/03/2022.
- [11] IEA (International Engineering Alliance). Graduate Attributes and Professional Competencies. Version 3: 21 June 2013. This document is available through the IEA website: <http://www.ieagrements.org>.
- [12] Woods D.R., Felder, R.M., Rugarcia, A. and Stice, J.E., (2000). The future of engineering education. Developing Critical Skills. Chem. Engr. Education, 34(2), 108-117.