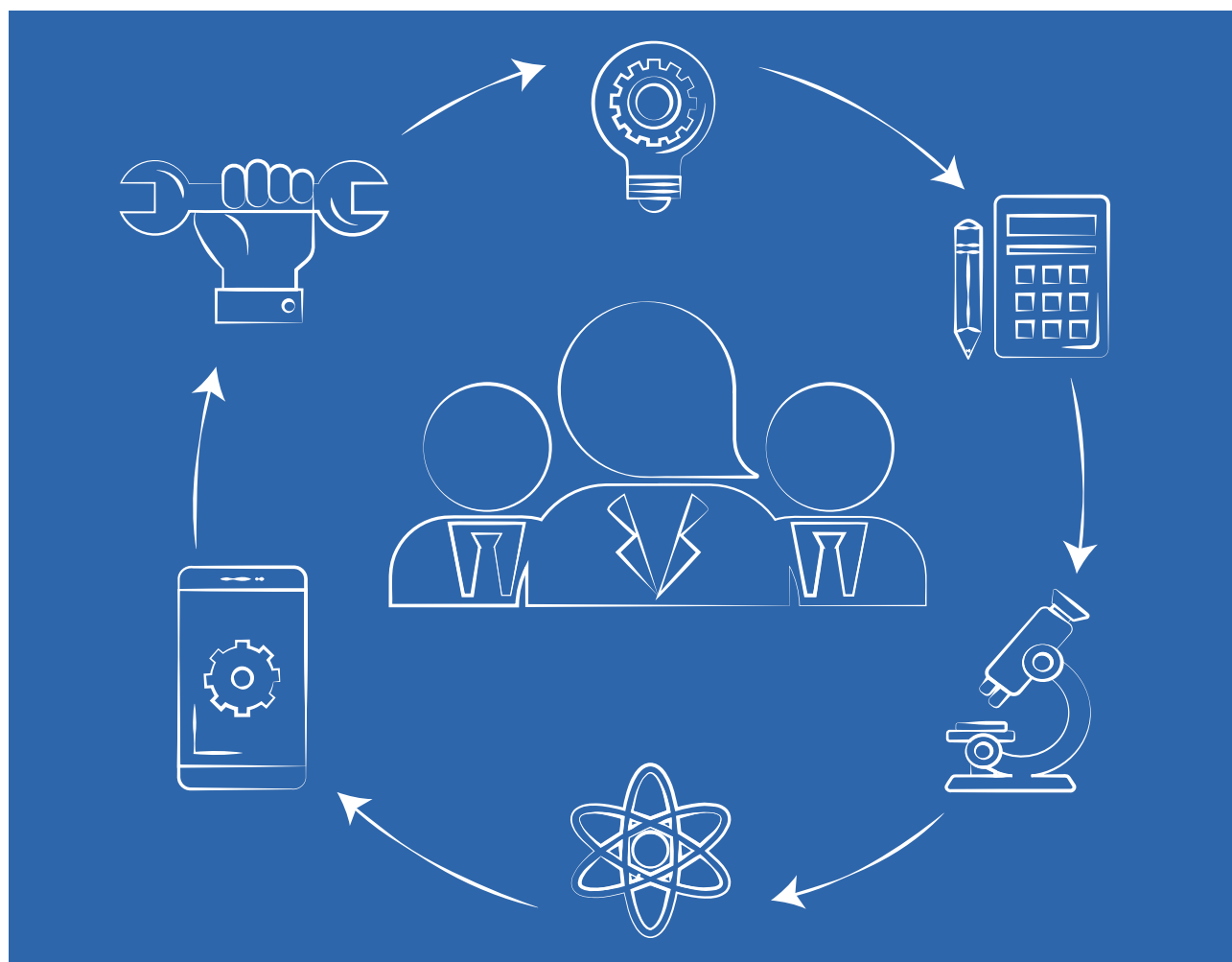




3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme.

Periodicidad trimestral. *Quarterly periodicity.*

Edición 41, Volumen 11, Número 1 (Marzo - Junio 2022).

Edition 41, Volume 11, Issue 1 (March - June 2022).

Tirada nacional e internacional. *National and internacional circulation.*

Artículos revisados por el método de evaluación de pares de doble ciego.

Articles reviewed by the double blind peer evaluation method.

ISSN: 2254 – 4143

Nº de Depósito Legal: A 268 – 2012

DOI: <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2022.v11n1e41>

Edita:

Área de Innovación y Desarrollo, S.L.

Avda. Juan Gil Albert, 1, Alcoy, Alicante (España)

Tel: 965030572

info@3ciencias.com _ www.3ciencias.com



Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos citando la fuente y el autor.

This publication may be reproduced by mentioning the source and the authors.

Copyright © Área de Innovación y Desarrollo, S.L.



CONSEJO EDITORIAL EDITORIAL BOARD

Director	Víctor Gisbert Soler
Editores adjuntos	María J. Vilaplana Aparicio Maria Vela Garcia
Editores asociados	David Juárez Varón F. Javier Cárcel Carrasco

CONSEJO DE REDACCIÓN DRAFTING BOARD

Dr. David Juárez Varón. *Universitat Politècnica de València (España)*
Dra. Úrsula Faura Martínez. *Universidad de Murcia (España)*
Dr. Martín León Santiesteban. *Universidad Autónoma de Occidente (México)*
Dra. Inmaculada Bel Oms. *Universitat de València (España)*
Dr. F. Javier Cárcel Carrasco. *Universitat Politècnica de València (España)*
Dra. Ivonne Burguet Lago. *Universidad de las Ciencias Informáticas (La Habana, Cuba)*
Dr. Alberto Rodríguez Rodríguez. *Universidad Estatal del Sur de Manabí (Ecuador)*

CONSEJO ASESOR ADVISORY BOARD

Dra. Ana Isabel Pérez Molina. *Universitat Politècnica de València (España)*
Dr. Julio C. Pino Tarragó. *Universidad Estatal del Sur de Manabí (Ecuador)*
Dra. Irene Belmonte Martín. *Universidad Miguel Hernández (España)*
Dr. Jorge Francisco Bernal Peralta. *Universidad de Tarapacá (Chile)*
Dra. Mariana Alfaro Cendejas. *Instituto Tecnológico de Monterrey (México)*
Dr. Roberth O. Zambrano Santos. *Instituto Tecnológico Superior de Portoviejo (Ecuador)*
Dra. Nilda Delgado Yanes. *Universidad de las Ciencias Informáticas (La Habana, Cuba)*
Dr. Sebastián Sánchez Castillo. *Universitat de València (España)*
Dra. Sonia P. Ubillús Saltos. *Instituto Tecnológico Superior de Portoviejo (Ecuador)*
Dr. Jorge Alejandro Silva Rodríguez de San Miguel. *Instituto Politécnico Nacional (México)*

CONSEJO EDITORIAL EDITORIAL BOARD

Área financiera	Dr. Juan Ángel Lafuente Luengo <i>Universidad Jaime I (España)</i>
Área textil	Dr. Josep Valdeperas Morell <i>Universitat Politècnica de Catalunya (España)</i>
Ciencias de la Salud	Dra. Mar Arlandis Domingo <i>Hospital San Juan de Alicante (España)</i>
Derecho	Dra. María del Carmen Pastor Sempere <i>Universidad de Alicante (España)</i>
Economía y empresariales	Dr. José Joaquín García Gómez <i>Universidad de Almería (España)</i>
Estadística y Investigación operativa	Dra. Elena Pérez Bernabeu <i>Universitat Politècnica de València (España)</i>
Ingeniería y Tecnología	Dr. David Juárez Varón <i>Universitat Politècnica de València (España)</i>
Organización de empresas y RRHH	Dr. Francisco Llopis Vañó <i>Universidad de Alicante (España)</i>
Sinología	Dr. Gabriel Terol Rojo <i>Universitat de València (España)</i>
Sociología y Ciencias Políticas	Dr. Rodrigo Martínez Béjar <i>Universidad de Murcia (España)</i>
Tecnologías de la Información y la Comunicación	Dr. Manuel Llorca Alcón <i>Universitat Politècnica de València (España)</i>

POLÍTICA EDITORIAL

OBJETIVO EDITORIAL

La Editorial científica 3Ciencias pretende transmitir a la sociedad ideas y proyectos innovadores, plasmados, o bien en artículos originales sometidos a revisión por expertos, o bien en los libros publicados con la más alta calidad científica y técnica.

COBERTURA TEMÁTICA

3C Tecnología es una revista de carácter científico-social en la que se difunden trabajos originales que abarcan la Arquitectura y los diferentes campos de la Ingeniería, como puede ser Ingeniería Mecánica, Industrial, Informática, Eléctrica, Agronómica, Naval, Física, Química, Civil, Electrónica, Forestal, Aeronáutica y de las Telecomunicaciones.

NUESTRO PÚBLICO

- Personal investigador.
- Doctorandos.
- Profesores de universidad.
- Oficinas de transferencia de resultados de investigación (OTRI).
- Empresas que desarrollan labor investigadora y quieran publicar alguno de sus estudios.

AIMS AND SCOPE

PUBLISHING GOAL

3C Ciencias wants to transmit to society innovative projects and ideas. This goal is reached through the publication of original articles which are subject to peer review or through the publication of scientific books.

TEMATIC COVERAGE

3C Tecnología is a scientific-social journal in which original works that cover Architecture and the different fields of Engineering are disseminated, such as Mechanical, Industrial, Computer, Electrical, Agronomic, Naval, Physics, Chemistry, Civil, Electronics, Forestry, Aeronautics and Telecommunications.

OUR TARGET

- Research staff.
- PhD students.
- Professors.
- Research Results Transfer Office.
- Companies that develop research and want to publish some of their works.

NORMAS DE PUBLICACIÓN

3C Tecnología es una revista arbitrada que utiliza el sistema de revisión por pares de doble ciego (*double-blind peer review*), donde expertos externos en la materia sobre la que trata un trabajo lo evalúan, siempre manteniendo el anonimato, tanto de los autores como de los revisores. La revista sigue las normas de publicación de la APA (American Psychological Association) para su indización en las principales bases de datos internacionales.

Cada número de la revista se edita en versión electrónica (e-ISSN: 2254 – 4143), identificándose cada trabajo con su respectivo código DOI (Digital Object Identifier System).

PRESENTACIÓN TRABAJOS

Los artículos se presentarán en tipo de letra Baskerville, cuerpo 11, justificados y sin tabuladores. Han de tener formato Word. La extensión será de no más de 6.000 palabras de texto, incluidas referencias.

Los trabajos deben ser enviados exclusivamente por plataforma de gestión de manuscritos OJS:

<https://ojs.3ciencias.com/>

Toda la información, así como las plantillas a las que deben ceñirse los trabajos se encuentran en:

<https://www.3ciencias.com/revista/informacion-para-autores/>

<https://www.3ciencias.com/normas-de-publicacion/plantillas/>

SUBMISSION GUIDELINES

3C Tecnología is an arbitrated journal that uses the double-blind peer review system, where external experts in the field on which a paper deals evaluate it, always maintaining the anonymity of both the authors and of the reviewers. The journal follows the standards of publication of the APA (American Psychological Association) for indexing in the main international databases.

Each issue of the journal is published in electronic version (e-ISSN: 2254 – 4143), each work being identified with its respective DOI (Digital Object Identifier System) code.

PRESENTATION WORK

The papers will be presented in Baskerville typeface, body 11, justified and without tabs. They must have Word format. The extension will be no more than 6.000 words of text, including references. Papers must be submitted exclusively by OJS manuscript management platform:

<https://ojs.3ciencias.com/>

All the information, as well as the templates to which the works must adhere, can be found at:

<https://www.3ciencias.com/en/journals/infromation-for-authors/>

<https://www.3ciencias.com/en/regulations/templates/>

ESTRUCTURA

Los trabajos originales tenderán a respetar la siguiente estructura: introducción, métodos, resultados, discusión/conclusiones, notas, agradecimientos y referencias bibliográficas.

Es obligatoria la inclusión de referencias, mientras que notas y agradecimientos son opcionales. Se valorará la correcta citación conforme a la 7.^a edición de las normas APA.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

No se acepta material previamente publicado (deben ser trabajos inéditos). En la lista de autores firmantes deben figurar única y exclusivamente aquellas personas que hayan contribuido intelectualmente (autoría). No se aceptan artículos que no cumplan estrictamente las normas.

Normas de publicación: <https://www.3ciencias.com/normas-de-publicacion/instrucciones/>

STRUCTURE

The original works will tend to respect the following structure: introduction, methods, results, discussion/ conclusions, notes, acknowledgments and bibliographical references.

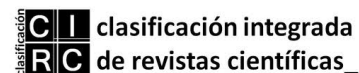
The inclusion of references is mandatory, while notes and acknowledgments are optional. The correct citation will be assessed according to the 7th edition of the APA standards.

ETHICAL RESPONSIBILITIES

Previously published material is not accepted (they must be unpublished works). The list of signatory authors should include only and exclusively those who have contributed intellectually (authorship). Articles that do not strictly comply with the standards are not accepted.

Guidelines for authors: <https://www.3ciencias.com/en/regulations/instructions/>

INDEXACIONES INDEXATIONS



INDEXACIONES INDEXATIONS



/SUMARIO/ /SUMMARY/

Alternativas ecológicas de los materiales tradicionales en la construcción sostenible

Ecological alternatives to traditional materials in sustainable construction

Javier Cárcel-Carrasco, Aurora Martínez-Corral, Jaime Llinares Millán y Jangveer Kaur

17

Análisis de viabilidad de sostenibilidad energética renovable de una planta de residuos no peligrosos

Feasibility analysis of renewable energy sustainability of a non-hazardous waste plant

Consuelo Gómez-Gómez, Javier Cárcel-Carrasco, Aurora Martínez-Corral, Jaime Langa Sanchís y Luis Palmero Iglesias

31

Elementos para el diseño de construcciones industriales sostenibles y con mantenimiento eficiente

Elements for the design of sustainable industrial construction with efficient maintenance

Javier Cárcel-Carrasco, Aurora Martínez-Corral, Jabiola Colmenero-Fonseca y Luis Palmero Iglesias

49

Estudio introductorio de la relación estratégica entre fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia energética

Introductory study of the strategic relationship between reliability, maintainability and energy efficiency

Aurora Martínez-Corral, Javier Cárcel-Carrasco, Ali Rafat Gigasari y Luis Palmero Iglesias

71

Efecto de la mala gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento. Análisis de casos

Effect of poor knowledge management on maintenance engineering Case analysis

Javier Cárcel-Carrasco, Aurora Martínez-Corral, Fidel Salas Vicente, Manuel Pascual Guillamón y José Ramón Albiol Ibáñez

89

/01/

ALTERNATIVAS ECOLÓGICAS DE LOS MATERIALES TRADICIONALES EN LA CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE

ECOLOGICAL ALTERNATIVES TO TRADITIONAL MATERIALS IN SUSTAINABLE CONSTRUCTION

Javier Cárcel-Carrasco

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: fracarcl@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2776-533X>

Aurora Martínez-Corral

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: aumarcor@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8222-0864>

Jaime Llinares Millán

Dept. Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: jllinares@csa.upv.es

Jangveer Kaur

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: jankau@arq.upv.es

Recepción: 18/02/2022 **Aceptación:** 02/03/2022 **Publicación:** 14/03/2022

Citación sugerida:

Cárcel-Carrasco, J., Martínez-Corral, A., Llinares, J., y Kaur, J. (2022). Alternativas ecológicas de los materiales tradicionales en la construcción sostenible. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 11(1), 17-29. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2022.v11n1e41.17-29>

RESUMEN

En el presente artículo se analizan los diferentes materiales del sector con el fin de conseguir una mejora y concienciación hacia una construcción más sostenible. Como foco del artículo se ha estudiado el comportamiento de estos materiales y sus respuestas a las fases de la construcción. Tras realizar el análisis, se ha podido demostrar que la evolución controlada de ciertos materiales como el uso de Clinker o la cementita, mejora significativamente el contexto de la construcción sostenible. Por otro lado, al sustituir el cemento por otros materiales como las cenizas volantes o la escoria se puede mejorar la durabilidad en un 50% lo que supone una cifra elevada relacionada con el punto de vista sostenible, pudiendo así reducir el impacto sobre el medio ambiente.

PALABRAS CLAVE

Sostenibilidad, Construcción, Materiales Ecológicos, Medio Ambiente, Hormigón, Cemento.

ABSTRACT

This article analyzes the different materials of the sector in order to achieve an improvement and awareness towards a more sustainable construction. As the focus of the article, the behavior of these materials and their responses to the phases of construction have been studied. After carrying out the analysis, it has been possible to demonstrate that the controlled evolution of certain materials such as the use of Clinker or cementite, significantly improves the context of sustainable construction. On the other hand, by replacing cement with other materials such as fly ash or slag, durability can be improved by 50%, which is a high figure related to the sustainable point of view, thus reducing the impact on the environment.

KEYWORDS

Sustainability, Construction, Ecological Materials, Environment, Concrete, Cement.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente hay muchas actividades que resultan ser desfavorables para el medio ambiente, sin embargo, las que destacan son del sector industrial, el transporte junto con el sector de la construcción (Weiser *et al.*, 2021), que a través de varios factores termina afectando el medio ambiente de manera negativa. Por otro lado, cabe mencionar la concienciación del medio ambiente en los últimos años, y esto se puede ver al aumentar los estudios dirigidos exclusivamente a factores que afectan el medio ambiente, por lo que se puede decir que la percepción respecto a la construcción tradicional está cambiando hacia un futuro más ecológico y sostenible (Del Rio Merino *et al.*, 2010).

El mundo de la construcción también es conocido por su impacto en el medio ambiente tanto por el proceso de construcción como por los materiales utilizados (Coelho y De Berito, 2012). Este artículo analiza los diversos materiales de construcción y su impacto en el medio ambiente junto con el estudio de cómo mejorar el sistema actual.

En el caso de España, el ámbito de la construcción y la demolición es uno de los motores económicos (Bielsa y Duarte, 2011), es tanto que la economía de este país está ligada a las tendencias del sector de la construcción, lo que se ha comprobado tras la crisis de 2006. Los puntos negativos relacionados con el campo de la construcción se deben a varios factores, siendo el más importante el uso de los materiales utilizados en el mismo y la etapa final de estos (Sandinet *et al.*, 2014). Este último punto se debe principalmente a la fase de la demolición donde los materiales se depositan en su mayoría sin tratar para otros usos. El resultado del impacto desfavorable del sector de la construcción se puede ver en el cambio climático, la deforestación, o la pérdida de la biodiversidad (Comisión Europea, 2021).

Estos efectos sobre el medio ambiente se deben principalmente al uso de materiales junto con la energía utilizada en el proceso. Para reducir estos impactos, es necesario entender el concepto de materiales sostenibles, ya que son los que generan menos impacto ambiental (Miller e Ip, 2013). Al ser materiales, cuyo origen es natural, los convierte en materiales con alto potencial para ser reciclados. Esta virtud hace

que su impacto no sea tan grave como los materiales tradicionales. Los materiales sostenibles también tienen una baja cantidad de energía utilizada tanto en el proceso de extracción como durante toda la vida útil de los mismos (Xundi *et al.*, 2010). Los residuos de energía se encuentran principalmente en materiales que se manejan mucho y tienen poco potencial de reciclaje.

El uso de energía para la extracción de materiales se produce en grandes cantidades. Este punto hace que en algunos casos este tipo de práctica se manifieste de manera insostenible. (Brady y Abdellatif, 2017). En el caso de España, se ha podido ver la evolución de la extracción de materiales a través del Observatorio de Sostenibilidad de España (OBSE, 2021).

Se analizan las construcciones sostenibles con el fin de mitigar los impactos ambientales que tienen lugar en las ciudades con mayor crecimiento económico y social. Junto con estos crecimientos, también vale la pena señalar el aumento de la contaminación por contaminantes aéreos y la degradación de la capa de ozono junto con otros impactos descritos en este artículo. A continuación, también se realiza el estudio de los materiales con el fin de poder conocer las oportunidades en el sistema actual de la gestión de residuos de construcción y demolición, además de promover y reforzar el uso de materiales verdes o sostenibles para fomentar su uso en construcciones actuales y futuras.

Así, este artículo analiza los materiales más adecuados para crear un ciclo sostenible dentro del campo de la construcción, por lo que comienza describiendo los materiales elegidos y luego analiza los comportamientos de los mismos.

2. METODOLOGÍA

Con el fin de obtener los datos sobre el comportamiento de los diferentes materiales, se han estudiado las diferentes características de los materiales y sus impactos en el medio ambiente en general. Se ha tenido en cuenta tanto la producción como el fin de estos materiales. Sin embargo, para el presente estudio, se

han recopilado datos sobre los puntos relevantes como el consumo de la energía, el impacto en el efecto invernadero y la capa de ozono junto con su potencial para ser reciclados.

Estas características fueron recogidas utilizando bases de datos disponibles en INE (Instituto Nacional de Estadística) (INE, 2021) y Statista (STATISTA, 2021) junto con otras citadas en este trabajo. Con los datos se pretende evaluar y conocer las características técnicas de una variedad de materiales de construcción. Tras analizar estos factores, se pretende hacer llegar los resultados a los agentes implicados en el sector de la construcción y demolición para su posterior difusión a los usuarios. Además, es necesario tener en cuenta la generación de residuos procedentes de la construcción y demolición, ya que, al estar en grandes cantidades, afecta al medio ambiente directa e indirectamente, dependiendo de la composición de los residuos de C&D (Construcción y demolición) y puede ser tóxico en algunos casos (Duan *et al.*, 2019).

3. ANÁLISIS DE LOS MATERIALES

El estudio de materiales es muy útil para conocer también el comportamiento de la energía involucrada en el proceso. Con la extracción de materias primas la energía se desperdicia en grandes cantidades y a esto, hay que sumar el uso de energía una vez que el edificio ya está construido, esta es la razón por la que es necesario conocer ciertos materiales. A continuación, se estudian los materiales con el fin de concluir los resultados dentro del campo de la construcción y demolición. Por lo tanto, de acuerdo con la fabricación de materiales, hay tres tipos de materiales que quedan descritos en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipos de materiales en función de su proceso de fabricación.

Tipos	Descripción	Ejemplos
Naturales	No requiere de tratamiento posterior a la extracción	Corcho, piedra, pared, agregados en general
Transformados	Materiales manipulados para su correcto funcionamiento	Hormigón, plásticos y materiales sintéticos
Mixtos	Materiales de fuente natural que requieren de otros materiales complementarios para ser utilizados	Aglomerados y similares.

Fuente: elaboración propia con datos recogidos de (Hornbostel, 1991).

Los materiales seleccionados en este estudio corresponden a aquellos materiales que tienen un alto potencial para ser sostenibles, sin embargo, en la actualidad, se utilizan masivamente sin considerar el punto ecológico de los mismos. Por lo tanto, los materiales para el análisis son materiales tradicionales que se pueden utilizar en el futuro con un impacto reducido en el medio ambiente. Empezando por el material más utilizado en el sector de la construcción, el hormigón.

Actualmente, el sector de la construcción utiliza el 40% de la energía primaria (Walker; Pavia *et al.*, 2014). Esto también conlleva a altas emisiones de CO₂. En el caso de construcciones o edificios ya construidos, el material más utilizado en este sector es el hormigón ya que gracias a su capacidad mecánica hace que el proceso sea ágil y duradero. El hormigón es un compuesto de varios elementos como cemento, agregados o aditivos químicos con el fin de mejorar su comportamiento y características mecánicas (Alwathaf *et al.*, 2011).

En este trabajo, el análisis se realiza sobre el hormigón sostenible conocido como hormigón de cáñamo-cal o también llamado Hempcrete en inglés. Este tipo de hormigón es un compuesto bio que se realiza con el núcleo de la madera procedente de la planta de cáñamo cuya fibra central, se mezcla con la cal y otros materiales adicionales para preparar el producto final. Tener estas características hace de este material un componente perfecto en el proceso de mejora del campo de la construcción actual mediante la implementación de alternativas sostenibles. Además de sus características sostenibles, es importante conocer el comportamiento térmico de este material ya que tiene un excelente rendimiento con alta capacidad térmica al tener una densidad media y baja conductividad térmica lo que dota al hormigón de una mejor capacidad de aislamiento. En la Figura 1, se puede observar la capacidad mecánica de este material:

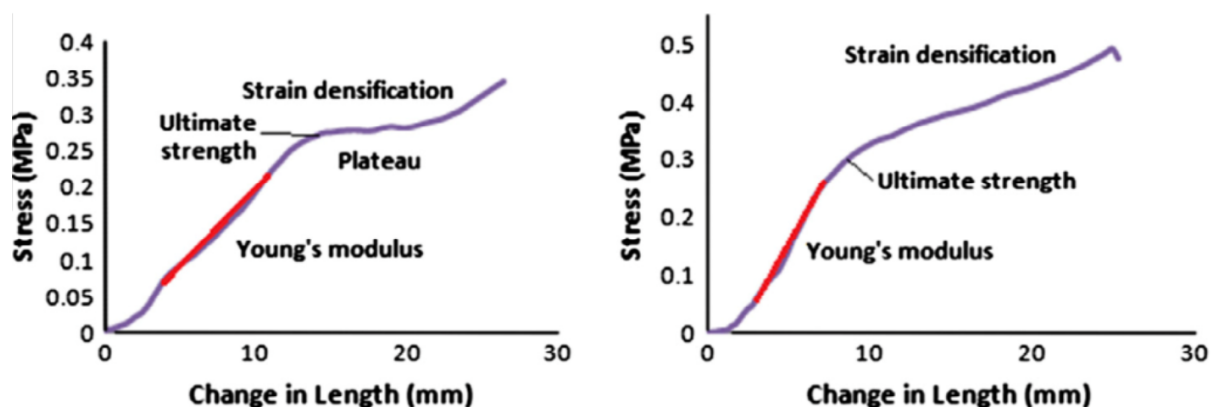


Figura 1. Dos diagramas representativos del comportamiento típico del hormigón de cáñamo-cal bajo una carga axial compresiva. La figura de la izquierda tiene una deformación grande para un pequeño aumento de la tensión que la figura derecha.

El Hormigón de cáñamo-cal (LHC en inglés) tiene propiedades que difieren de las del hormigón convencional. Como es el caso de la resistencia del LHC es menor que los materiales de construcción convencionales. La resistencia a la compresión de este material es inferior a 2 MPa. Esta baja resistencia a la compresión, en combinación con el bajo módulo de Young de LHC indica la característica de este material que no se puede utilizar como muro de carga si se utiliza como compuesto. Para esta aplicación se necesita una mayor rigidez y resistencia a la compresión.

En el caso del hormigón convencional, también cabe destacar la producción de Clinker, ya que al ser uno de los componentes para la producción de cemento hace que sea en mayor parte el elemento responsable de altas emisiones (Sousa y Bogas, 2021). Junto con la producción de Clinker y otros elementos que se representan en la Figura 2:

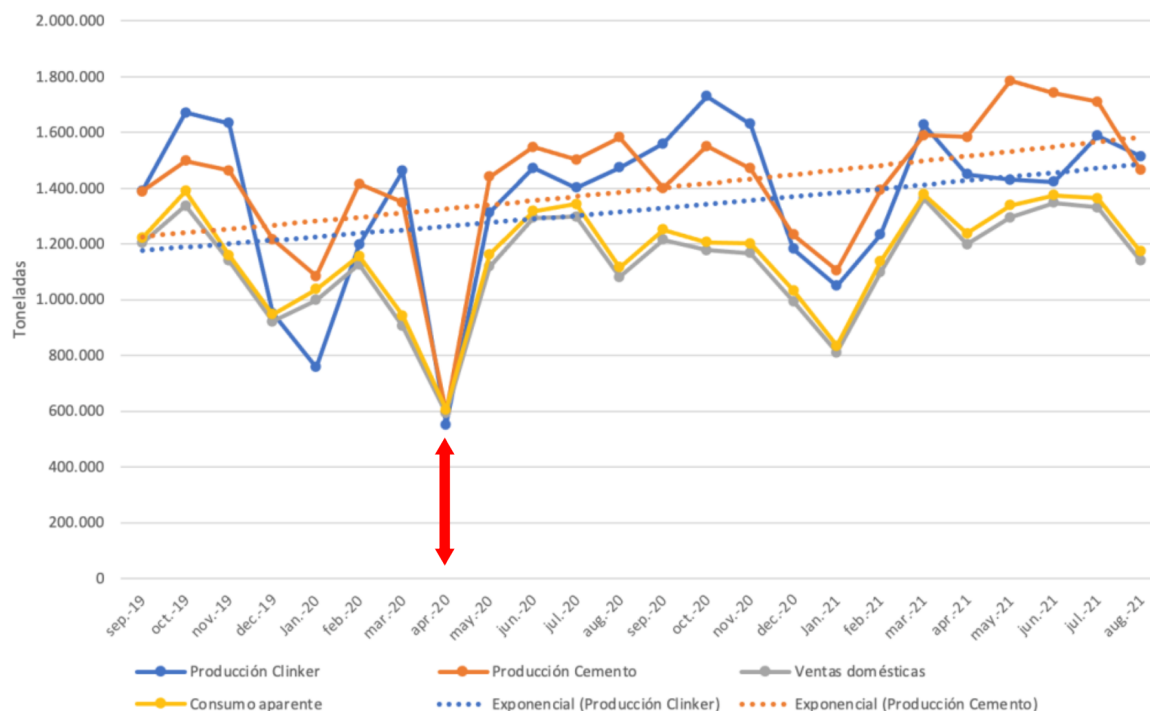


Figura 2. La evolución de la producción de los diferentes materiales junto con el consumo y la venta interna de diversos elementos.
Fuente: elaboración propia a partir de datos recogidos de (Ministerio de comercio, industria y turismo, 2021).

La Figura 2 indica la evolución de la producción de los diferentes materiales junto con el consumo y las ventas internas de diversos elementos. Los principales materiales que se han analizado son el Clinker y el cemento, luego están representados por las toneladas producidas desde septiembre de 2019 hasta agosto de 2021. Con estos datos, se puede hacer una predicción para el futuro de la sostenibilidad en términos del uso del hormigón en los campos de la construcción.

Se puede observar cómo en septiembre la producción de cemento se aproximó a las 1400.000 toneladas, sin embargo, estos valores bajaron con la aparición de la pandemia del COVID-19. La subida se produjo tras la pandemia alcanzando valores máximos en el mes de abril y marzo de 2021. Una tendencia muy

similar se puede observar en la producción de clínker, donde en septiembre de 2019 los valores indican una disminución que bajó en el período de pandemia con más del 50% de reducción en la generación de clínker. Estos valores subieron tras el COVID-19 donde se cobró un incremento, pero siempre con valores inferiores al del año 2019. En cuanto a las ventas internas y el consumo aparente, se puede observar cómo la tendencia de los dos parámetros sigue la misma línea con un patrón muy similar en términos de disminuciones y aumentos. Se puede observar cómo el efecto de la pandemia ha sido evidente tanto en el consumo como en las ventas, por otro lado, cabe mencionar la ligera disminución de estos parámetros en términos del año 2021. En el periodo de estudio de septiembre de 2019 a agosto de 2021, la cifra máxima alcanzada por ventas y consumo ha sido de 1400.000 toneladas y los valores mínimos tras la pandemia han sido de 800.000 toneladas. Sin embargo, en agosto de 2021 se muestra una reducción con las cifras que indican una ligera disminución tanto en el consumo como en las ventas internas.

4. CONCLUSIONES

Tras estudiar el comportamiento de los diferentes materiales a los que se hace referencia en los apartados anteriores, este estudio puede concluirse con varios puntos relevantes. El impacto positivo de los materiales sostenibles es ampliamente conocido tanto social como económicamente. La lenta demanda de estos materiales hace que el mercado actual pierda su enfoque en los materiales de construcción sostenibles, lo que en consecuencia afecta indirectamente al medio ambiente (Arinas, 2019). Si estos materiales se utilizan adecuadamente y con una alta demanda por parte de los usuarios, se puede lograr una mejora en varios aspectos, como el estado del medio ambiente en general, junto con la salud humana. Otro punto a tener en cuenta es el cambio de la mentalidad respecto a la eficiencia de los materiales sostenibles; a través de la transparencia entre los productores y los usuarios finales, puede aumentar la demanda de estos materiales. Por parte de los agentes activos en el sector de la construcción, se les puede exigir que adopten un modelo de economía circular (Arinas, 2019). Después de implementar este modelo en las prácticas actuales, se han visto mejoras, ya que el ciclo de vida de los materiales se trata

como un punto focal, por lo tanto, es un método sostenible. Además de esto, la sostenibilidad se puede lograr incluso en las primeras etapas de la construcción, como la fase de diseño, la ejecución o en la elección de la materialidad para los proyectos. Así pues, el impacto negativo y amplio de esta actividad se puede reducir de varias maneras teniendo en cuenta las diferentes características y comportamiento de los materiales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto Condereff project (Ref. PGI05560-Condereff) Construction & demolition waste management policies for improved resource efficiency. Así mismo, este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del grupo de investigación PREDILAB, dentro de la investigación realizada en la Universidad de Castilla La Mancha y titulada "Metodología y sistemas para la mejora del mantenimiento y la eficiencia energética en la rehabilitación y reutilización del patrimonio industrial. Fase 1 y 2.

REFERENCIAS

- Alwathaf, A. H., Ali, A., Jaafar, M. S., & Algorafi, M. A.** (2011). Stress-strain modelling of reinforced concrete membrane structures. *International Journal of Physical Sciences*, 6(30), 6820-6828.
- Arinas, R. J. S.** (2019). Economía circular: líneas maestras de un concepto jurídico en construcción. *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 10(1).
- Bielsa, J., & Duarte, R.** (2011). Size and linkages of the Spanish construction industry: key sector or deformation of the economy?. *Cambridge Journal of Economics*, 35(2), 317-334.
- Brady, L., & Abdellatif, M.** (2017). Assessment of energy consumption in existing buildings. *Energy and Buildings*, 149, 142-150.

- Coelho, A., & De Brito, J.** (2012). Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. *Waste Management*, 32(3), 532-541.
- Comisión Europea.** (2022). https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_20_886
- del Río Merino, M., Izquierdo, P., & Weis, I. S.** (2010). Sustainable construction: construction and demolition waste reconsidered. *Waste management & research*, 28(2), 118-129.
- Duan, H., Miller, T. R., Liu, G., & Tam, V. W.** (2019). Construction debris becomes growing concern of growing cities. *Waste Management*, 83, 1-5.
- Hornbostel, C.** (1991). *Construction materials: Types, uses and applications*. John Wiley & Sons.
- INE. Instituto Nacional de Estadística.** (2021). https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/categoria.htm?c=Estadistica_P&cid=1254735576757
- Miller, A., & Ip, K.** (2013). Sustainable construction materials. In *Design and management of sustainable built environments* (pp. 341-358). Springer, London.
- Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.** (2021). <https://industria.gob.es/es-es/estadisticas/Documents/Estadistica-Cemento/principales-resultados/estadisticas-cemento-2019.pdf>
- OBSE.** (2021). <https://www.observatoriosostenibilidad.com/documents/2009%20OS.pdf>
- Sandin, G., Peters, G. M., & Svanström, M.** (2014). Life cycle assessment of construction materials: the influence of assumptions in end-of-life modelling. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(4), 723-731.
- Sousa, V., & Bogas, J. A.** (2021). Comparison of energy consumption and carbon emissions from clinker and recycled cement production. *Journal of Cleaner Production*, 306, 127277.
- Statista.** (s.f.). <https://www.statista.com/topics/974/construction/>

- Walker, R., Pavia, S., & Mitchell, R.** (2014). Mechanical properties and durability of hemp-lime concretes. *Construction and Building Materials*, 61, 340-348.
- Wieser, A. A., Scherz, M., Passer, A., & Kreiner, H.** (2021). Challenges of a Healthy Built Environment: Air Pollution in Construction Industry. *Sustainability*, 13(18), 10469.
- Xundi, D., Liyin, S., Saixing, Z., Jorge, O. J., & Xiaoling, Z.** (2010). Relationship between energy consumption and economic development in the construction industry. *Journal of Engineering, Design and Technology*.

/02/

ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE SOSTENIBILIDAD ENERGÉTICA RENOVABLE DE UNA PLANTA DE RESIDUOS NO PELIGROSOS

FEASIBILITY ANALYSIS OF RENEWABLE ENERGY SUSTAINABILITY OF A NON-HAZARDOUS WASTE PLANT

Consuelo Gómez-Gómez

Arquitecto Técnico en SAV, Sociedad de Agricultores de la Vega de Valencia, S.A. Ph.D.

Student in Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: magogo@doctor.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2466-5977>

Javier Cárcel-Carrasco

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: fracarcl@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2776-533X>

Aurora Martínez-Corral

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: aumarcor@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8222-0864>

Jaime Langa Sanchís

Dept. Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: jailansa@csa.upv.es

Luis Palmero Iglesias

Dept. Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: lpalmero@csa.upv.es

Recepción: 18/02/2022 **Aceptación:** 07/03/2022 **Publicación:** 14/03/2022

Citación sugerida:

Gómez-Gómez, C., Cárcel-Carrasco, J., Martínez-Corral, A., Langa, J., y Palmero, L. (2022). Análisis de viabilidad de sostenibilidad energética renovable de una planta de residuos no peligrosos. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 11(1), 31-47. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2022.v11n1e41.31-47>

RESUMEN

En este artículo se plantea un estudio de caso sobre la sostenibilidad energética mediante sistemas energéticos renovables de una planta de residuos no peligrosos. Los sistemas de gestión de la calidad y medioambiente permiten la mejora continua de los procesos en industrias y en empresas de construcción. Partiendo de la ISO 14001 de medioambiente y la búsqueda de objetivos de mejora, se estudia la viabilidad de una instalación fotovoltaica para abastecer una de las infraestructuras auxiliares de la planta de Residuos No Peligrosos (RNP). Se establecen los factores clave que permiten implantarla mejorando todos los aspectos sostenibles de la instalación.

PALABRAS CLAVE

ISO 14001, Infraestructura Auxiliar, Instalación Fotovoltaica, Sistema de Gestión, Sostenibilidad.

ABSTRACT

This article analyzes the different materials of the sector in order to achieve an improvement and awareness towards a more sustainable construction. As the focus of the article, the behavior of these materials and their responses to the phases of construction have been studied. After carrying out the analysis, it has been possible to demonstrate that the controlled evolution of certain materials such as the use of Clinker or cementite, significantly improves the context of sustainable construction. On the other hand, by replacing cement with other materials such as fly ash or slag, durability can be improved by 50%, which is a high figure related to the sustainable point of view, thus reducing the impact on the environment.

KEYWORDS

ISO14001, Auxiliary Infrastructure, Photovoltaic Installation, Management System, Sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen numerosos criterios y herramientas de evaluación de la sostenibilidad en infraestructuras y edificación que abarcan múltiples enfoques como son la evaluación del proyecto y diseño, de la construcción, del comportamiento social, de la demanda energética, de los productos y materiales para la construcción, etc. (Gómez, 2019; Cárcel *et al.*, 2021). Además, es importante ampliar este marco de trabajo desde el enfoque de la gestión durante la vida útil, detectando las mejoras posibles en el proceso de utilización de las infraestructuras y los edificios.

La cultura de mejora continua que los sistemas de gestión proporcionan a las empresas, así como la aparición de incentivos en España han impulsado la búsqueda de nuevos objetivos para elevar el desempeño ambiental de las empresas a través de las energías renovables.

Según Martí Casadesús (2009) “se puede definir la estandarización o normalización de forma genérica como la actividad encaminada a poner orden en aplicaciones repetitivas que se desarrollan en el ámbito de la industria, la tecnología, la ciencia y la economía”. Este artículo trata de mostrar como la aplicación de los sistemas de gestión puede mejorar el ASPECTO ECONÓMICO Y AMBIENTAL en el funcionamiento y mantenimiento de infraestructuras auxiliares en un caso concreto.

1.1. SISTEMAS DE GESTIÓN

Existen multitud de normas o estándares entre los que destacan los dirigidos a sistematizar la gestión en beneficio de las organizaciones. Las normas de sistemas de gestión, en inglés Management Systems Standards (MMS) son una herramienta realizada por comités técnicos internacionales especializados y en colaboración con agentes expertos en las áreas de actuación, cuyo objetivo es proporcionar un marco común para la mejora de la gestión de las organizaciones que las implantan.

Los documentos creados por ISO son estándares de uso para cualquier organización independientemente de su tamaño. Los sistemas de gestión están redactados con una aplicación y finalidad (ISO 9001 para calidad, ISO 14001 para medioambiente, etc.) y se pueden utilizar en diferentes sectores como la administración, las industrias y servicios, aunque existen los que se han redactado para sectores específicos (ISO 29001 para industrias petrolíferas, petroquímicas y de gas natural).

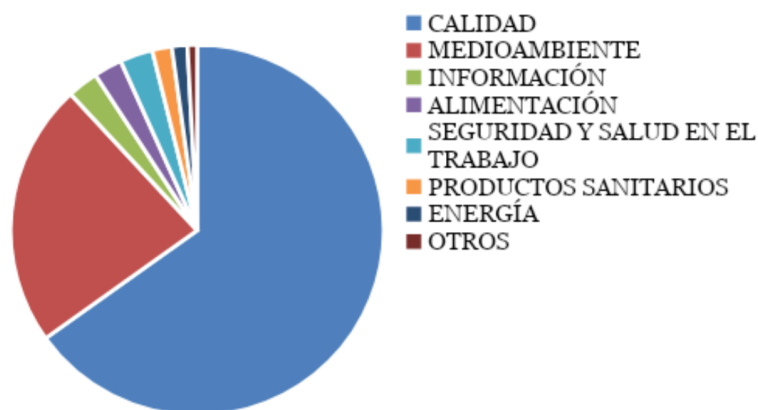


Figura 1. Áreas de los Sistemas de Gestión.

Fuente: elaboración propia a partir <https://www.iso.org/the-iso-survey.html>, 2021).

La norma ISO 14001 permite a las organizaciones tener un marco de referencia para proteger el medio ambiente. Utiliza el enfoque basado en el riesgo con un sistema de actuación Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA) para lograr la mejora del desempeño ambiental, el cumplimiento de los requisitos legales y el logro de los objetivos ambientales.

Los sistemas de gestión de calidad, medioambiente y prevención destacan por su amplia implantación en las organizaciones (Bernardo 2009) y han demostrado su utilidad en las organizaciones en las empresas y administraciones.

SAV dispone desde hace más de 10 años las certificaciones ISO 9001, 14001 y 45001 que suponen una mejora permanente y aseguran una gestión de la calidad total en sus productos y servicios. La

experiencia adquirida en la redacción y consecución de objetivos medioambientales, así como la necesidad de establecer nuevos objetivos año a año, plantea un reto cada vez más difícil de conseguir. Sin embargo, la irrupción de las energías renovables proporciona un nuevo marco de actuación como el caso que se presenta a continuación.

2. ESTUDIO ECONÓMICO DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTROS DE OPERACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS AUXILIARES

S.A. Sociedad de Agricultores de la Vega (SAV) lleva a cabo la construcción y explotación de la planta de RNP situada en el término municipal de Dos Aguas, en la que se disponen de diferentes infraestructuras auxiliares.



Figura 2. Planta de eliminación de RNP y edificio de control.

Fuente: SAV, 2021.

El edificio del personal de control requiere diversos suministros de operación las 24 horas del día como son: red de internet, teléfono, agua potable, electricidad. Debido a la falta de puntos de conexión a la red eléctrica en las inmediaciones el suministro eléctrico en la explotación de necesita el alquiler de grupos electrógenos. Tanto la construcción, como la explotación y el mantenimiento de la planta está condicionado por su ubicación, sin los suministros de operación “normales” y situada a más de 50 km. de la mayoría de las sedes de las empresas subcontratistas.

Inicialmente, para obtener el suministro eléctrico del edificio de control, se estudiaron varias posibilidades:

- Alquiler de grupos electrógenos a largo plazo
- Alquiler de grupos electrógenos con opción a compra
- Compra de grupos electrógenos y precios cerrados de mantenimiento a largo plazo

Sin embargo, con la aparición de la Resolución de 10 de mayo de 2021, de la Presidencia del Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE), por la que se convocan ayudas destinadas al fomento de instalaciones de autoconsumo de energía eléctrica, con cargo al presupuesto del ejercicio de 2021. (DOGV nº 9084 de 14/05/2021), se plantea la puesta en marcha de una instalación fotovoltaica en el edificio de control. Se realiza un estudio económico de la instalación fotovoltaica previo a la redacción del proyecto y solicitud de ayudas, que se estiman en un 25%, en comparación con los grupos electrógenos cuyos resultados se resumen a continuación.

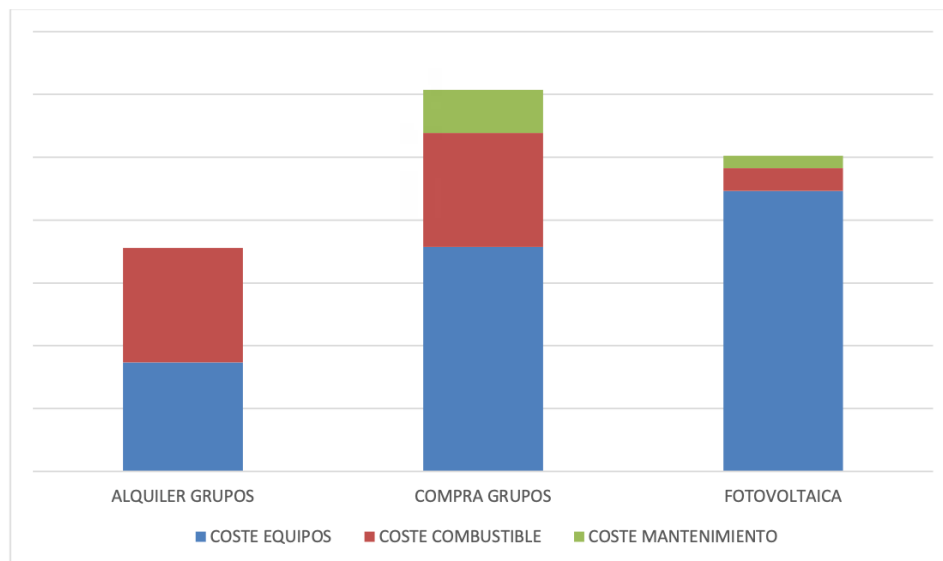


Gráfico 1. Estudio económico suministro eléctrico a un año.

Fuente: SAV, 2021.

Como se observa en el gráfico 1, el alquiler de grupos frente a la compra de estos tiene un coste menor y que sin embargo el coste de combustible es menor en la compra de grupos, debido principalmente a que los alquilados son usados y los comprados son nuevos y su rendimiento es mayor. Sin embargo, el coste en mantenimiento, en los equipos propios no es 0. Por otro lado, se observa que el coste de la instalación fotovoltaica es más del doble que el alquiler de grupos y algo más elevado que la compra de estos, y destaca el bajo coste de combustible (asociado a un grupo de emergencia que debe llevar la instalación) y el bajo coste de mantenimiento.

Es por tanto a primera vista más rentable el alquiler de grupos, ¿pero ¿cuál es su coste medioambiental? ¿y si se prolonga el uso de la edificación en el tiempo? En el caso de estudio, el edificio de control se va a utilizar hasta la colmatación de la planta e incluso, aun colmatándose, se todos los equipos se pueden reutilizar en una nueva ubicación, sean los grupos o sea la instalación fotovoltaica. Se realiza un

cálculo aproximado de los costes teniendo en cuenta una vida útil mínima de tres años, que posiblemente aumente en el futuro.

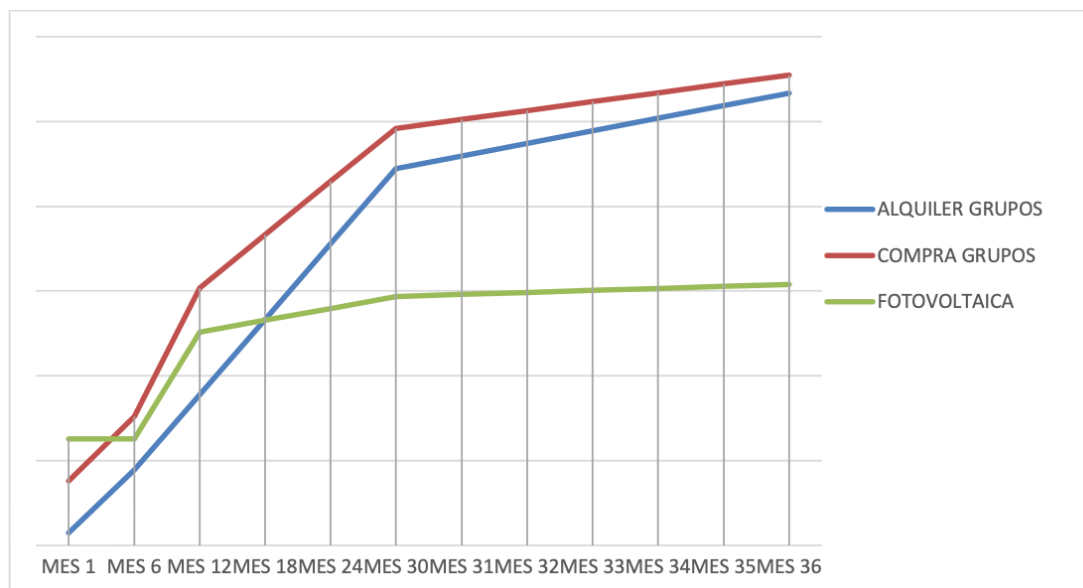


Gráfico 2. Estudio económico a 3 años.

Fuente: SAV, 2021.

Teniendo en cuenta la estimación de vida útil de la edificación por un mínimo de tres años, el estudio económico resultante demuestra que el coste a 3 años de la instalación fotovoltaica es menor que el resto, quedando el alquiler y la compra de grupos casi igualados en costes muy por encima de la fotovoltaica. En el gráfico 2 se observa además como en el mes 18, la instalación fotovoltaica empieza a ser rentable frente al alquiler.

3. ESTUDIO AMBIENTAL DE INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA PARA SUMINISTROS DE OPERACIÓN DE INFRAESTRUCTURAS AUXILIARES

Una de las principales amenazas según el análisis DAFO de la planta, es el excesivo consumo de combustible. El sistema de gestión medioambiental requiere la redacción de unos objetivos de mejora para las amenazas por lo que además de los beneficios económicos de la instalación fotovoltaica, se pretende estudiar sus beneficios ambientales, consiguiendo así cumplir otro de los aspectos de la sostenibilidad.

Para ello, utilizamos la metodología que se encuentra en las directrices de ISO 14001, que consiste en establecer los objetivos enfocados a los procesos de mayor riesgo. Los tres pasos principales se aprecian en la siguiente Figura 3.



Figura 3. Procedimiento para el estudio de mejora ambiental.

Fuente: ISO 14001, 2021.

3.1. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO

El objetivo se debe redactar de forma que defina de manera inequívoca cuál es su objetivo ambiental y que de su interpretación se puedan establecer las metas para conseguirlo. En la figura 4 se muestra un ejemplo de la web creada para la gestión y desarrollo de los sistemas.

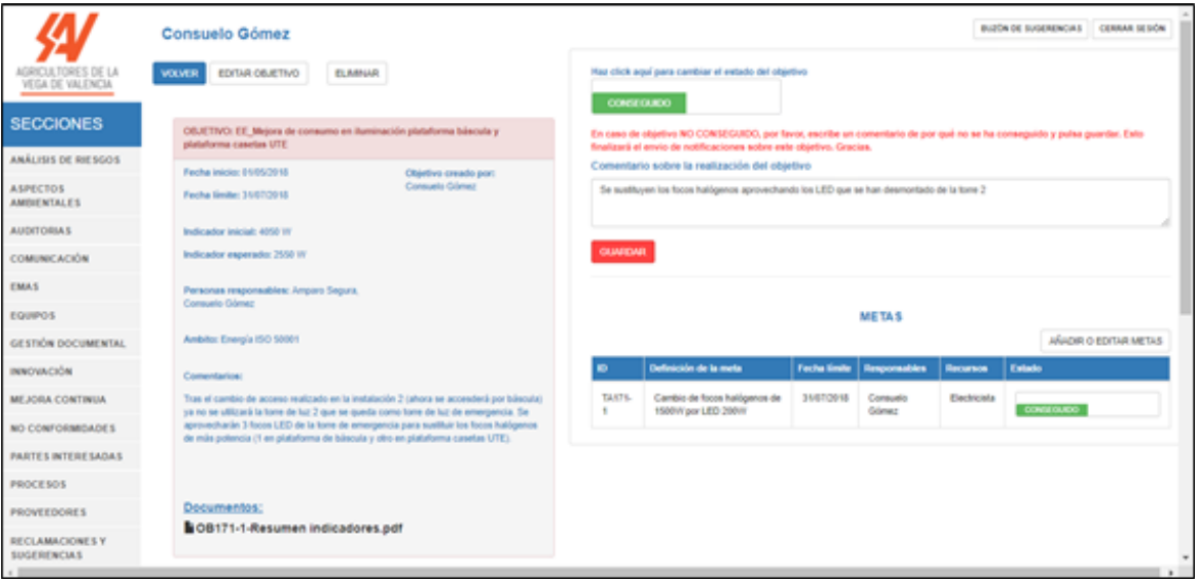


Figura 4. Vista de la aplicación destinada al seguimiento del Sistema Integrado de Gestión (SIG).

Fuente: SAV, 2021.

En el caso de estudio, el título de objetivo y la descripción son:

Acción planteada (OB280): Reducción de un 3% de consumo gasoil en edificio de control y pesaje (báscula) –Planta de eliminación de RNP Instalación 2. En la Instalación 2 se utilizan dos grupos electrógenos de alquiler (uno de emergencia) para el suministro de electricidad en el edificio de control y pesaje, que comprende la báscula, el sistema de control, la iluminación exterior y los equipos de las estancias de operadores y de dirección. Estos grupos se colocan inicialmente según la potencia indicada por el instalador. El objetivo es ajustar la potencia de los grupos y cambiarlos por unos nuevos de menor consumo para reducir un 3% el consumo de gasoil.

3.2. ESTABLECER INDICADORES

Los indicadores se definen con la colaboración del personal de la planta y los técnicos que conocen los procesos y controlan los datos de donde se extraerán los indicadores. Serán fácilmente medibles y se debe establecer el indicador base o inicial (datos reales) para planificar el indicador esperado (dato teórico según el objetivo redactado).

En el caso de estudio, los indicadores son:

Indicador inicial: 1,93 l/h consumo de combustible en litros/hora en el año 2020

Indicador esperado: 1,87 l/h consumo de combustible en litros/hora en el año 2021 (3% menos que el indicador inicial)

El indicador inicial es un dato real. Para el cálculo de este caso concreto se han extraído los litros de combustible de los documentos de descarga de combustible en el depósito de 500 litros del edificio de control durante el año 2020. Las horas totales registradas en los grupos electrógenos se obtienen de los partes diarios del personal y de los partes de revisión de las empresas de alquiler. Se establece un factor de emisión para cada litro de combustible (gasoil) que consumen los grupos electrógenos, según Ecología. Net (2018) se ha establecido una media de 2,61 kg CO₂ por cada litro de combustible.

3.3. ESTABLECER METAS Y CONTROL

Se establecen una o varias metas que permitan conseguir el objetivo global, de forma que se controlen todos los pasos a seguir para la consecución favorable del objetivo de reducción de 3% de consumo de combustible en el edificio de control. Las metas deberán definirse como acciones concretas dentro del objetivo y se establecerán los plazos y recursos necesarios para su realización y control.

En el caso de estudio, las metas y su resultado son:

Meta 1: Monitorización de la potencia eléctrica consumida en el edificio de control

RECURSOS: Electricista.

PLAZO: fecha límite 31/10/2020.

RESULTADO: CONSEGUIDO. Se coloca un aparato de medida de potencias consumidas en el cuadro general de distribución y se obtienen los datos en excel.

Meta 2: Análisis de datos obtenidos

RECURSOS: Empresas de alquiler y venta de grupos electrógenos.

PLAZO: fecha límite 30/11/2020.

RESULTADO: CONSEGUIDO. Se envían los datos a empresas de alquiler y venta de grupos electrógenos y se solicita un estudio de mejora de consumos.

Meta 3: Cambio de grupos electrógenos por otros de menor consumo

RECURSOS: Cambio de grupos por parte de la empresa de alquiler o venta.

PLAZO: fecha límite 31/12/2020.

RESULTADO: CONSEGUIDO. Se colocan grupos de menor potencia (pasan a ser en lugar de 45 kvas, grupos de 35 kvas) y con menor consumo teórico a la hora. Se colocan de alquiler para poder realizar el cambio en la fecha prevista.

Meta 4: Control semestral del indicador esperado

RECURSOS: Albaranes, documentos de descarga, partes de revisión y partes diarios.

PLAZO: fecha límite 07/07/2021.

RESULTADO: CONSEGUIDO. El resultado conseguido es mejor incluso que el esperado como se observa en la tabla siguiente.

Tabla 1. Indicadores del objetivo medioambiental.

INDICADORES L/H	Indicador inicial (año 2020)	Indicador esperado 1er semestre 2021	Indicador obtenido 1er semestre 2021
Reducción de consumo gasoil L/H	2,31	2,24	1,93

Fuente: SAV, 2021.

Meta 5: Control final del indicador esperado

RECURSOS: Albaranes, documentos de descarga, partes de revisión y partes diarios.

PLAZO: fecha límite 15/01/2022.

RESULTADO: NO CONSEGUIDO. Durante el segundo semestre, esta meta ya no será válida, debido a que, durante el proceso de estudio económico de la mejor opción para suministro eléctrico, se decide apostar por las energías renovables y se ha instalado planta fotovoltaica para autoconsumo que se pone en marcha a partir del 01/07/2021.

3.4. DEFINICIÓN DE UN NUEVO OBJETIVO

En el caso de estudio, el título del nuevo objetivo y la descripción son:

Acción planteada (OB281) Reducción del 70 % del consumo gasoil en edificio de control y pesaje (báscula) – Planta de eliminación de RNP Instalación 2. En la Instalación 2 se utilizan dos grupos electrógenos de alquiler (uno de emergencia) para el suministro de electricidad en el edificio de control y pesaje, que comprende la báscula, el sistema de control, la iluminación exterior y los equipos de las estancias de operadores y de dirección. Estos grupos se sustituirán por una instalación fotovoltaica que constará de 40 placas solares, 3 baterías y un grupo de emergencia para carga de baterías durante la noche.

4. CONCLUSIONES

Las empresas que tienen una cultura arraigada en sistemas de gestión valoran positivamente la irrupción en el mercado de las energías renovables y, aunque la inversión es alta en comparación con los equipos tradicionales, hay que analizar cada caso de forma individual ya que se pueden establecer objetivos de mejora muy ambiciosos.

En este caso el factor clave y determinante para la instalación de la planta fotovoltaica es la VIDA ÚTIL restante de la planta de Residuos No Peligrosos (suficiente para poder amortizar la inversión) así como su UBICACIÓN que determina la imposibilidad de conexión a la red eléctrica. Otros factores positivos en este caso es la FACILIDAD DE MONTAJE Y DESMONTAJE de la instalación con la posibilidad de ser trasladada a otra ubicación, así como la mejora sustancial en la emisión de CO₂ y ruidos al entorno natural.

El Sistema de Gestión Medioambiental ISO 14001 impulsa la SOSTENIBILIDAD gracias a la consecución de unos objetivos medibles y una planificación ordenada de los mismos, contribuyendo de forma sustancial a la implantación de energías renovables en gran variedad de usos e infraestructuras. Las energías renovables suponen para la empresa un AHORRO ECONÓMICO Y AMBIENTAL, pero, además, una mejora para la SOCIEDAD.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto Condereff project (Ref. PGI05560-Condereff) Construction & demolition waste management policies for improved resource efficiency. Así mismo, este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del grupo de investigación PREDILAB, dentro de la investigación realizada en la Universidad de Castilla La Mancha y titulada "Metodología y sistemas para la mejora del mantenimiento y la eficiencia energética en la rehabilitación y reutilización del patrimonio industrial. Fase 1 y 2.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amendola, L.** (2003). *Modelos mixtos en la gestión del mantenimiento*. Departamento de Proyectos de Ingeniería e Innovación, Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Bernardo, M., Casadesus, M., Karapetrovic, S., & Heras, I.** (2009). How integrated are environmental, quality and other standardized management systems? An empirical study. *Journal of cleaner production*, 17(8), 742-750.
- Cárcel-Carrasco, J., Peñalvo-López, E., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F.** (2021). An Overview about the Current Situation on C&D Waste Management in Italy: Achievements and Challenges. *Buildings*, 11(7), 284.
- ECOLOGÍA.NET.** (2018). <https://www.econologia.net/Las-emisiones-de-co2-litros-de-combustible-de-gasolina-o-diesel-GPL/>
- Fa, M. C., Saizarbitoria, I. H., & Karapetrovic, S.** (2009). Sistemas de gestión estandarizados: ¿existen sinergias?. *Revista europea de dirección y economía de la empresa*, 18(2), 161-174.
- Gómez, C. G., & Cárcel-Carrasco, F. J.** (2019). Análisis de normas para la gestión sostenible en edificación. *3c Empresa: Investigación y Pensamiento Crítico*, 8(4), 13-49.
- IVACE.** (2021). <https://www.ivace.es/index.php/es/ayudas/energia/fomento-de-las-instalaciones-de-autoconsumo-de-energia-electrica/54849-ayudas-destinadas-al-fomento-de-instalaciones-de-autoconsumo-electrico-para-empresas-y-entidades-2021>
- UNE-EN ISO 9001 (ISO 9001:2015).** *Sistemas de gestión de la calidad. Requisitos.*
- UNE-EN ISO 14001 (ISO 14001:2015).** *Sistemas de gestión ambiental. Requisitos con orientación para su uso.*

/03/

ELEMENTOS PARA EL DISEÑO DE CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES SOSTENIBLES Y CON MANTENIMIENTO EFICIENTE

ELEMENTS FOR THE DESIGN OF SUSTAINABLE INDUSTRIAL CONSTRUCTION WITH EFFICIENT MAINTENANCE

Javier Cárcel-Carrasco

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: fracarcl@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2776-533X>

Aurora Martínez-Corral

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: aumarcor@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8222-0864>

Fabiola Colmenero-Fonseca

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: fcolmenerof@outlook.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1901-2725>

Luis Palmero Iglesias

Dept. Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: lpalmero@csa.upv.es

Recepción: 18/02/2022 **Aceptación:** 09/03/2022 **Publicación:** 14/03/2022

Citación sugerida:

Cárcel-Carrasco, J., Martínez-Corral, A., Colmenero-Fonseca, F., y Palmero, L. (2022). Elementos para el diseño de construcciones industriales sostenibles y con mantenimiento eficiente. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 11(1), 49-69. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2022.v11n1e41.49-69>

RESUMEN

En el diseño de una nueva planta o construcción industrial, afectará de manera crónica las decisiones tomadas en el primer momento (fiabilidad de las instalaciones y equipamiento, reducción tiempos paradas, eficiencia energética, acciones medioambientales). En este artículo se presenta un estudio de caso de una planta industrial donde el diseño está basado en la mejora de la fiabilidad, mantenimiento y explotación eficiente, así como la eficiencia energética y el respeto medio-ambiental, donde los procesos y decisiones.

PALABRAS CLAVE

Construcción industrial, Mantenimiento industrial, Eficiencia energética, Gestión medioambiental.

ABSTRACT

In the design of a new plant or industrial construction, it will chronically affect the decisions made at the outset (reliability of facilities and equipment, reduction of downtime, energy efficiency, environmental actions). This article presents a case study of an industrial plant where the design is based on improving reliability, maintenance and efficient operation, as well as energy efficiency and respect for the environment, where key processes and decisions affect largely to the sustainability of large industrial constructions.

KEYWORDS

Industrial construction, Industrial maintenance, Energy efficiency, Environmental management.

1. INTRODUCCIÓN

El planteamiento de un nuevo proyecto de una construcción o planta industrial, debe tener como fin, marcar las condiciones físicas y económicas para la consecución del producto requerido (Bailey *et al.*, 2008; Chee *et al.*, 2012). Es vital el conseguir un alto componente de disponibilidad, misión que debe ser seguida por las operaciones de mantenimiento (Cárcel *et al.*, 2013, 2013a, 2020). Que el mantenimiento industrial es una actividad estratégica dentro de los órganos tácticos de las empresas, es ampliamente aceptado por todos los órganos de gestión empresarial, aunque en muchas ocasiones olvidado o relegado a una segunda posición, o como un “coste económico” a asumir por los órganos de dirección (Cárcel *et al.*, 2021, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d; 2021e).

Toda planta industrial debería ser la fusión perfecta entre el Hombre y la Máquina, trabajando, así como uno, donde la función principal del hombre es la obtención del mayor rendimiento de las Máquinas e instalaciones, y con cultura corporativa hacia el mantenimiento, desarrollando los adecuados planes de mantenimiento, con adecuada eficiencia y reducción de costos (Sols, 2000).

La distribución de la planta se orienta normalmente al proceso o al producto, teniendo además un buen criterio de distribución.

Para la obtención de un buen proceso productivo se deben aplicar métodos de ingeniería, con una evaluación constante para ver la reacción del personal con respecto a la aplicación del mismo (González, 2005; Sánchez *et al.*, 2021).

Las afirmaciones sobre Desarrollo Sustentable hablan de acciones que debemos "tomar en cuenta" (Medio ambiente) como un reto hacia la protección de nuestro entorno, pero de esto surge una pregunta ¿Por qué afirmamos como un nuevo reto algo que debió ser obvio?.

La conciencia ecológica busca establecer un vínculo entre el medio ambiente y el individuo, cuyo propósito es que este último procure el bienestar y equilibrio entre ambas partes, ya que finalmente este

será el más beneficiado, y en el caso de una conciencia medio-ambiental de una empresa, el conseguir la optimización con el respeto ecológico en sus propias plantas industriales.

Es por lo anterior que la tendencia industrial actual se ha esforzado en lograr que las instalaciones de producción sean cada vez más eficientes, con la máxima disponibilidad posible, distribuyendo a los departamentos de tal manera que influyan positivamente en la forma en la que la planta opera.

1.1. ANÁLISIS DE PRINCIPIOS BÁSICOS

Los objetivos comúnmente más relevantes que se buscan con la distribución de planta son:

- Determinación del equipo, instalaciones y las herramientas para llevar a cabo el proceso productivo.
- Diseño del layout de la planta.
- Distribución de departamentos.
- Disposición de Maquinaria e instalaciones.
- Garantizar la seguridad de los trabajadores.
- Estimación de los costos de inversión por conceptos del equipo y materia prima.

La planta puede ser distribuida de acuerdo a las necesidades de la misma integrando la fiabilidad y la disponibilidad requerida, teniendo como resultado diferentes tipos de distribución, como lo son la distribución orientada al producto, al proyecto, al proceso, la distribución para oficinas, almacenes o las híbridas (Cárcel *et al.*, 2022). Sin embargo, las empresas deben implementar distribuciones flexibles, es decir, aquellas que les permitan una adaptación a cambios tecnológico y productivos, capaces de incorporar las características de las distribuciones básicas. Finalmente, lo importante en una distribución es que esta satisfaga las necesidades básicas de una empresa, que son el flujo continuo de información y de materiales, ambos de una manera sencilla y fácil.

Teniendo en cuenta las consideraciones generales para el adecuado proyecto del proceso productivo, y una filosofía de calidad total basada en los círculos de Deming (Figura 1), donde se apuntaron como principios fundamentales del diseño e implantación de sus instalaciones los siguientes:

- Diseño basado en la fiabilidad.
 - Sistemas redundantes para evitar paradas en producción.
 - Posibilidad de actuaciones rápidas ante averías (Sustitución de componentes).
- Diseño basado en la Mantenibilidad.
 - Mantenimiento eficiente y económico.
 - Espacios para mantenimiento adecuados.
 - Mejores técnicas organizativas de mantenimiento (TPM, RCM).
 - Personal de mantenimiento implicado y motivado.
- Diseño basado en la eficiencia energética y energías alternativas.
- Diseño basado en el respeto medio ambiental.
- Diseño basado en la información y la gestión del conocimiento.

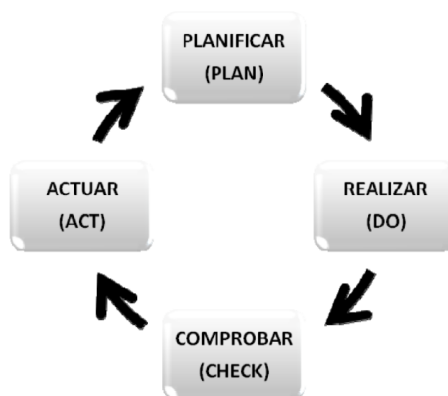


Figura 1. Circulo de mejora continua de Deming.

Fuente: elaboración propia.

2. LAS INSTALACIONES Y LOS PROCESOS EN EL DISEÑO Y EJECUCIÓN

En la industria los parámetros de calidad necesarios son amplios y en continua superación, con continua evaluación de la demanda energética. Es lógico que, en el planteamiento del diseño de una nueva factoría, dichos valores quieran estar implícitos desde un inicio. Una fase del comienzo del éxito es amplificar la sinergia entre los grupos intervinientes: Ingeniería, empresas instaladoras y montadoras, y sobre todo, el propio conocimiento de la organización (que son los que de verdad saben que quieren, necesitan, y cómo operan), y que fomentan la colaboración y optimizan la cadena de suministro en la ejecución, permitiendo una mejora en la comunicación e intercambio de información.

En base a ello, se partió con el diseño del propio polígono industrial donde estarían ubicadas las factorías, el entorno de respeto medio-ambiental requerido, y las pautas de suministro energético y de fluidos, basado en la fiabilidad total en la calidad del suministro.

La segunda fase consistió en el propio diseño de las factorías y sus instalaciones con los criterios basados en el apartado anterior, en un entorno de fiabilidad total, mantenibilidad y operación ágil y estructurada,

respeto medio-ambiental y máxima eficiencia energética, así como la consideración de los mecanismos para la captación de la información útil y con ello la adecuada gestión del conocimiento.

2.1. EL DISEÑO BASADO EN LA FIABILIDAD

La fiabilidad es el recurso fundamental para conseguir la optimización de los equipos productivos e instalaciones y minimizar el número y tipo de fallos que puedan producir el paro en la producción.

Se partió, con los criterios siguientes en referencia a la energía eléctrica, que conllevo al desarrollo de los proyectos de distribución eléctrica:

- Suministros redundantes desde la propia subestación, con disponibilidad de potencia hasta 35.000 kW.
- Posibilidad de suministro alternativo desde distintas subestaciones, evaluando el costo y la fiabilidad, con un modelo optimizado optimo a las exigencias del servicio.
- Centros de entrega redundantes en la propia urbanización.
- Sistemas telemandados remotos de control y conmutación de redes, automáticos, para la utilización ante acciones críticas.

De igual manera dentro de la propia distribución interior de la factoría, algunas de las decisiones importantes para el aumento de dicha fiabilidad en el conjunto de las instalaciones y servicios fueron las siguientes:

a) Aumento de la fiabilidad eléctrica:

Con una potencia instalada superior a los 25000 Kw, la distribución interior está formada por 16 transformadores secos de 1250 kVA cada uno, centralizados en tres centros de transformación

independientes, con un diseño basado en los centros de gravedad de las cargas. Algunas de las características generales tomadas son:

- Sistemas redundantes en las instalaciones eléctricas de media tensión (20 kV), tanto a nivel de líneas como transformadores de potencia, como la redundancia en las redes principales de BT (400/230V).
- Sustitución de los cables de potencia de BT por canalizaciones electrificadas prefabricadas, con el fin de reducir la probabilidad de fallo por dichos componentes y capacidad de carga en un momento dado.
- Cuadros eléctricos de potencia tipo OKKEN, con interruptores de potencia extraíbles, con el fin de prever de una manera rápida y eficaz, posibles sustituciones sin afectar a la producción.
- Sistemas de alimentación ininterrumpida mediante SAIs dinámicos (Volantes de inercia).
- Sistema de monitorizado y control de la distribución eléctrica. Control de las instalaciones de iluminación.

b) Aumento de la fiabilidad térmica, frío industrial y distribución de agua:

- Sistemas térmicos (agua y vapor)

Con una potencia térmica instalada para servicio de agua cliente y producción de vapor de 15200 kW, formada por 4 calderas con regulación de necesidades térmicas, da servicio a las necesidades de agua caliente y vapor para las actividades de producción, con un diseño basado en la optimización energética y necesidades puntuales.

- Sistemas redundantes distribución de agua

Sistemas de impulsión de agua sanitaria, de limpieza, osmotizada, formada por 2 plantas de ósmosis, con control informatizado centralizado, y sistemas con regulador por variador para conseguir presiones

constante y alto nivel de eficiencia energética. Además de la redundancia en los sistemas de bombeo, se ha ejecutado sistemas anillados en la distribución, con múltiples válvulas de bypass (posibilidad de otras vías de suministro, maniobras y mantenimiento).

- Sistemas de frío industrial

Sistema combinado de refrigeración industrial mediante compresores de amoníaco y de CO₂, con ciclo de eficiencia energética con recuperación de calor. Con una potencia frigorífica instalada de 17660 kW, formada por 11 compresores con regulación automática de necesidades frigoríficas, da servicio a las necesidades de producción y almacenamiento de cámaras frigoríficas, con un diseño basado en la optimización energética y necesidades puntuales. Con capacidad de reserva para sustituciones, paradas y acciones de mantenimiento.

2.2. EL DISEÑO BASADO EN LA MANTENIBILIDAD

Uno de los pilares básicos de la disponibilidad es la mantenibilidad. Es por ello que fue uno de los criterios fundamentales en el diseño de la planta industrial: Conseguir los requerimientos necesarios para un mantenimiento eficiente, ágil, y económico para la máxima disponibilidad operacional, con los mejores modelos y herramientas para la evaluación de su costo.

Las opciones para ello fueron:

- La normalización y homogenización del mayor número de equipos y componentes utilizados en las instalaciones industriales.
- La aplicación de tácticas de mantenimiento, basadas desde la base con un TPM (Mantenimiento productivo total) en los niveles de producción, con la incorporación de mecánicos productivos, hasta los requisitos de un mantenimiento basado en la fiabilidad (RCM) utilizado en los equipos e instalaciones más avanzadas y críticas, con incorporación de técnicas de gestión del conocimiento

como elementos de auto-aprendizaje y decisión, para la reducción de tiempos de actuación ante averías o fallos cíclicos y no cíclicos (Figura 2).



Figura 2. Principios de mantenimiento de factorías eficientes.

Fuente: elaboración propia.

- El diseño de las salas técnicas, patinillos y posibles zonas de actuación de mantenimiento, con criterios de espacio suficiente, y acceso practicable en cualquier momento, que posibilite con facilidad y agilidad posibles sustituciones y maniobras comunes de mantenimiento. Este aspecto, normalmente olvidado en los diseños, es vital para la futura operación, rentabilidad en operación y eficiencia en las actividades ante fallos o mantenimientos rutinarios.

2.3. EL DISEÑO BASADO EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS ALTERNATIVAS

Una determinación fundamental del presidente de la compañía y apoyada por la dirección general de la empresa y el director de ingeniería, fue el diseño basado en la máxima eficiencia energética y el uso de energías alternativas, uno de los aspectos tácticos y económicos que deben estar presente en todas las organizaciones de mantenimiento.

De entre los muchos criterios utilizados y ejecutados, se podrían destacar:

- Control centralizado e informatizado, de la instalación eléctrica y control instantáneo de consumos generales y locales, con implantación de sistemas de medición en todas las líneas generales en los cuadros diseñados.
- Control informatizado de los sistemas de iluminación de toda la factoría y su sectorización a distancia, y de manera local mediante sectorizaciones parciales (sólo en marcha con tarjeta acceso). Todo el sistema de iluminación interior fluorescente dispone de sistema de regulación de flujo, para mayor optimización en uso y mayor vida operativa de las lámparas.
- Implantación en diseño y ejecución de variadores de velocidad con control electrónico en sistemas de bombeo y distribución de fluidos, con el fin de optimizar la eficiencia energética, regulación fina de presiones y caudales, menor desgaste del equipamiento y por consiguiente reducción de los costes de mantenimiento y aumento de la vida útil.
- En los sistemas de refrigeración industrial, uno de los recursos principales de la factoría, con el fin de aumentar la eficiencia energética y fiabilidad del sistema, se instaló un sistema combinado de refrigeración industrial mediante compresores de amoníaco y de CO₂, con ciclo de eficiencia energética con recuperación de calor. Con la recuperación de calor se consigue aprovechar la descarga de los compresores de amoníaco que es de 70°C y pasarla por un intercambiador de amoníaco/agua, que por seguridad se vuelve a pasar por otro intercambiador agua/agua, consiguiendo que esa energía residual sea aprovechada para que el agua que nos llega de la

red de distribución a 15° (por ejemplo) se caliente a unos 30°, este aumento de 15°, además de conseguir ahorro energético, ayuda a la condensación del amoníaco ahorrando energía en las torres de condensación. Así mismo todos los compresores están dotados de variadores electrónicos de velocidad para optimizar sus prestaciones y maximizar la eficiencia energética.

- En la apuesta por la utilización de energías alternativas, se procedió al diseño de una instalación fotovoltaica integrada en la zona industrial con potencia dentro de la factoría de 1.200 KW (400 kW en suelo y 800 kW sobre techos). Esto confiere un aporte fundamental de energía solar, además de conseguir otros aspectos tales como uniformidad en la autonomía de la energía eléctrica suministrada (Estabiliza las caídas de tensión y la calidad de la energía eléctrica proveniente de las subestaciones).

2.4. EL DISEÑO BASADO EN EL RESPETO MEDIO AMBIENTAL

Otros de los principios fundamentales, marcados por la dirección de ingeniería, fue el respeto medio-ambiental (Cárcel *et al.*, 2021e), no sólo en lo realmente obligatorio por normativas sectoriales, sino el adoptar las mayores medidas adicionales (Martínez Corral *et al.*, 2022), que hicieran del proyecto una factoría totalmente respetuosa con el medio-ambiente. Algunas de las medidas adoptadas:

- Una primera fase fue el conseguir una Autorización Ambiental Integrada del complejo industrial, construyendo una depuradora de última generación, con capacidad de tratamiento de 2000m³/día y una carga de 66.700 habitantes equivalentes (h.e.).

Para mayor aprovechamiento de las aguas residuales, esta una vez depurada en óptimas condiciones, es subida mediante unas estaciones de bombeo a un lago artificial que se tiene en la zona de la entrada al polígono, desde esa agua, además de hacer una función ornamental, es utilizada para la utilización de riego de toda la jardinería del complejo industrial.

- Aprovechamiento aguas pluviales, del interior de la factoría, con autorización de Confederación Hidrográfica del Júcar. Para ello se construyó una red de recogida de pluviales, habilitándose un pozo de bombeo y tres depósitos de 1000m³ cada uno para almacenar el agua de lluvia. Dichos depósitos tienen un sistema de control y ajuste de hipoclorito para mantener el agua en condiciones óptimas. Los usos fundamentales de esa agua son:
 1. Producción de agua descalcificada para la refrigeración de los condensadores evaporativos (torres de refrigeración)
 2. Suministro de agua para baldeos y limpieza de exteriores, y riego de la jardinería interior de la parcela
 3. Limpieza de placas solares.
 4. Abastecimiento a la fuente ornamental existente en la parcela
- Instalación industrial, libre de baterías para los sistemas de alimentación ininterrumpida, que son del tipo dinámico con volantes de inercia.
- Todos los transformadores se han considerado de tipo seco, para evitar el tratamiento y toxicidad de los aceites.

2.5. EL DISEÑO BASADO EN LA INFORMACIÓN Y LA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

La información y datos es esencia vital para la funcionalidad óptima de los servicios de mantenimiento. En instalaciones complejas, se precisa la recolección de datos, con el fin de adecuar los programas de mantenimiento (Figura 3), control y operación de instalaciones y seguimiento de paradas o fallos.

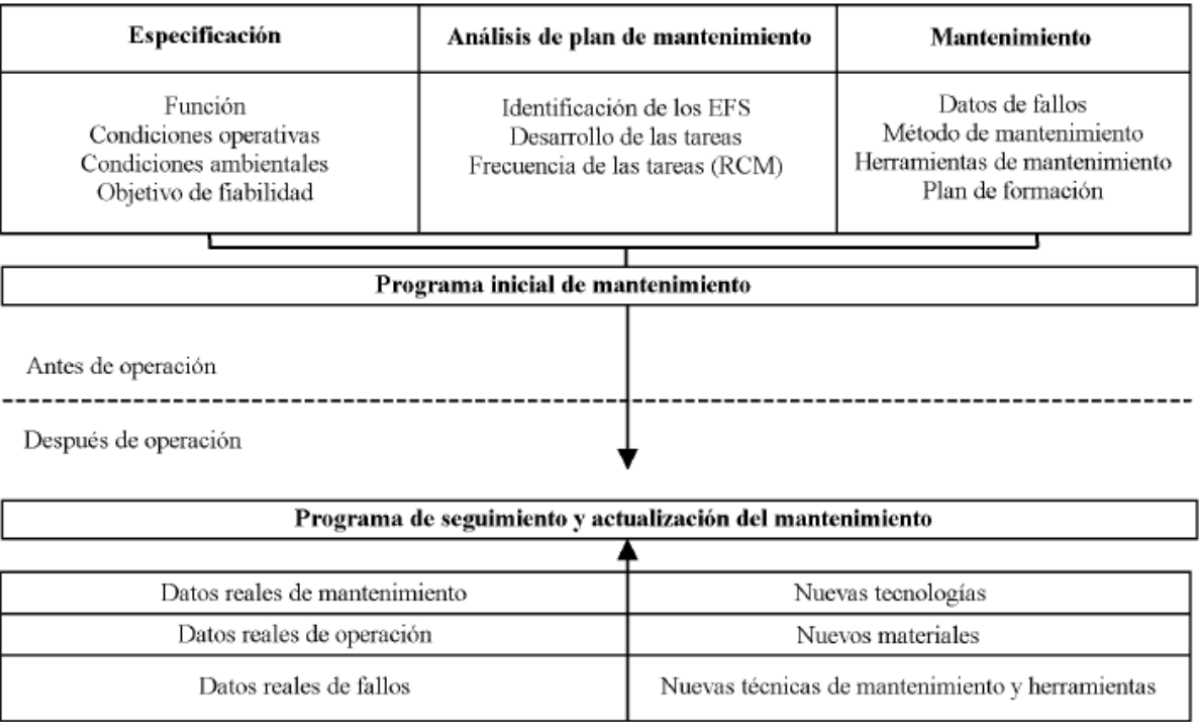


Figura 3. Evolución de un programa dinámico de mantenimiento RCM, e información requerida.
Fuente: UNE-EN200001-3-11, 2003.

Es por ello incidir, desde la propia definición del proyecto, una tendencia en las actividades de mantenimiento para la adaptación de los procesos de gestión del conocimiento, integrado básicamente, por la generación, la codificación, la transferencia y la utilización del conocimiento, dado que por el propio desempeño de dicha actividad táctica, puede considerarse este, en un enfoque kantiano en el cual interactúan personas, instalaciones y entorno (figura 4), en el cual deben ser estudiadas todas las variables en conjunto.

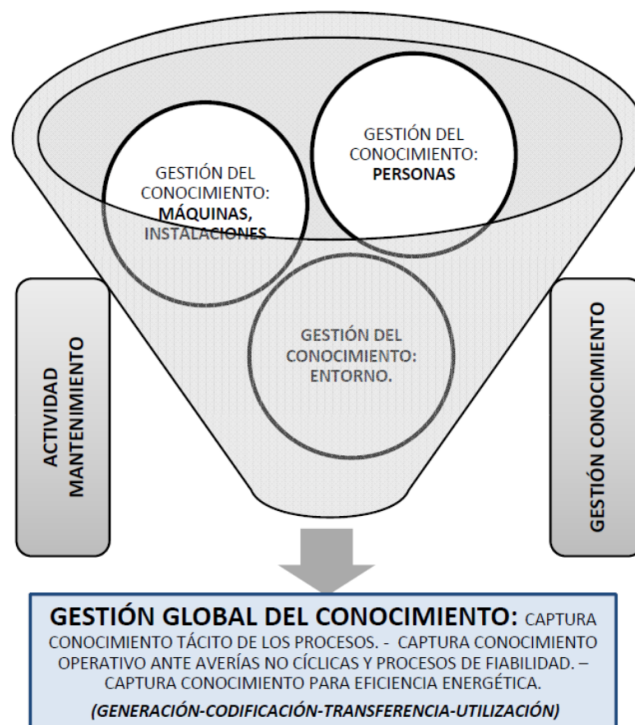


Figura 4. Enfoque kantiano de la actividad de mantenimiento.

Fuente: elaboración propia.

Consecuencia de ello y como fase fundamental es la captación adecuada de información, para un posterior procesamiento y tratamiento, generador del conocimiento propio en la organización y herramienta fundamental de mantenimiento, integrando la información útil y estratégica del servicio, mejorando la cadena del servicio a prestar.

Se ha desarrollado e implementado un modelo de gestión del conocimiento para la actividad de mantenimiento, con la captación del conocimiento tácito estratégico de los técnicos y operarios, así como la captura y gestión de información técnica de las instalaciones y equipamiento, para el control, visualización, obtención de datos operativos y registro de fallos, que permite tener controlado todos los

parámetros fundamentales de las instalaciones y equipos, que optimizan el control de la fiabilidad de las instalaciones, la previsión de los programas de mantenimiento, así como un control y optimización de la eficiencia energética, demostrando que la aplicación de modelos de gestión del conocimiento dentro de los departamento de mantenimiento de la empresa, permite optimizar los procesos y mejorar la disponibilidad del servicio y mejores resultados económicos para la empresa.

Dentro de las actividades internas de la empresa industrial, el mantenimiento necesita conocimientos técnicos profundos, alta experiencia en su personal y tradicionalmente ha sido la estructura dentro de la empresa donde existe mayor componente de conocimiento tácito. Dado que sus funciones afectan directamente a la fiabilidad de los sistemas e instalaciones, eliminación de paradas no deseadas y actuación ante procesos críticos, se ve la necesidad de la adecuada gestión de dicha información/conocimiento dado que puede tener un gran valor estratégico para la empresa.

3. CONCLUSIONES

Se han descrito los principios generales de una implantación de nueva planta industrial, donde decisiones y consideraciones tomadas en un primer momento por la concienciación y decisión de una dirección general, con criterios de calidad, eficiencia y miras a medio plazo, han conseguido una implantación industrial que marca un referente en la industria alimentaria.

Basados en unos principios fundamentales tales como Diseño basado en la fiabilidad, Mantenibilidad, eficiencia energética y energías alternativas, el respeto medio ambiental y el diseño basado en la información y la gestión del conocimiento, se ha conseguido, una industria, que cumpliendo todas las expectativas de producción (requisito fundamental en cualquier planta industrial), ha ido un paso más, cumpliendo las condiciones de mantenibilidad eficaz en el futuro, junto con un respeto ecológico.

La sinergia con los órganos intervinientes en la ejecución de la planta industrial unido a la determinación y el compromiso de la dirección de ingeniería de la propia empresa, han sido determinantes para

conseguir, a un nivel de inversión y costes adecuados, conseguir una planta con capacidad de mejora y rentabilidad económica, control de la información y el conocimiento, para las funciones futuras de explotación y mantenimiento que se deben cumplir.

Dado que el conocimiento es la base de la competitividad de la industria en el siglo XXI, se tiene un compromiso con la investigación y desarrollo en las áreas técnicas de mantenimiento (algo poco común en la industria en general).

En el caso argumentado, se ha conseguido una planta industrial donde los sistemas técnicos de gestión de mantenimiento buscan superar metas de productividad, mejorando la implantación y las políticas basadas en los cálculos de la fiabilidad de diseño, buscando la eficacia global atendiendo a la operativa, desarrollando una filosofía de la utilidad y la necesidad, tanto a nivel de procesos (de gestión u operativos) como de conocimiento sustantivo, presente en el comportamiento humano. Se unen los principios del mantenimiento, con el factor energético (tanto de equipamiento e infraestructuras como del conjunto del sistema), con el fin de monitorizar el ratio de eficiencia energética, reducir los costes de mantenimiento, incrementar la fiabilidad técnica en los sistemas estratégicos de la industria y aumentar el ciclo de vida del equipamiento, con el respeto medio-ambiental. La construcción industrial tratada en el presente caso ha recibido numerosos premios a la excelencia.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto CONDAP "Habilidades digitales para mentores en el lugar de trabajo en aprendizajes del sector de la construcción" financiado por la Comisión Europea dentro de la Acción Clave 2: Cooperación para la innovación e intercambio de buenas prácticas, número de referencia 2018-1-UK01-KA202-048122. Así mismo, este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del grupo de investigación PREDILAB, dentro de la investigación realizada en la Universidad de Castilla La Mancha y titulada "Metodología y sistemas para la mejora del mantenimiento y la eficiencia energética en la rehabilitación y reutilización del patrimonio industrial. Fase 1 y 2.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bailey, K., & Francis, M.** (2008). Managing information flows for improved value chain performance. *International Journal of Production Economics*, 111(1), 2-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.11.017>
- Chee, A., & Bañares, R.** (2012). A knowledge representation model for the optimisation of electricity generation mixes. *Applied Energy*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.077>
- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F.** (2022). Composition of some metallic fragments found in food that are undetectable by magnetic or eddy currents equipment: A case study. *LWT*, 153, 112358.
- Cárcel, F.J., & Roldán, C.** (2013). Principios básicos de la Gestión del Conocimiento y su aplicación a la empresa industrial en sus actividades tácticas de mantenimiento y explotación operativa: Un estudio cualitativo. *Intangible capital*, 9(1), 91-125. <http://dx.doi.org/10.3926/ic.341>
- Cárcel-Carrasco, J., & Gómez-Gómez, C.** (2021). Qualitative analysis of the perception of company managers in knowledge management in the maintenance activity in the era of industry 4.0. *Processes*, 9(1), 121.
- Cárcel-Carrasco, J., & Cárcel-Carrasco, J. A.** (2021a). Analysis for the Knowledge Management Application in Maintenance Engineering: Perception from Maintenance Technicians. *Applied Sciences*, 11(2), 703.
- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Langa-Sanchis, J.** (2021b). Analysis of the effect of COVID-19 on air pollution: perspective of the Spanish case. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 36880-36893.
- Cárcel-Carrasco, J., Cárcel-Carrasco, J. A., & Peñalvo-López, E.** (2020). Factors in the relationship between maintenance engineering and knowledge management. *Applied Sciences*, 10(8), 2810.

- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F.** (2021c). Analysis on the Effect of the Mobility of Combustion Vehicles in the Environment of Cities and the Improvement in Air Pollution in Europe: A Vision for the Awareness of Citizens and Policy Makers. *Land*, 10(2), 184.
- Cárcel-Carrasco, J., Peñalvo-López, E., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F.** (2021d). An Overview about the Current Situation on C&D Waste Management in Italy: Achievements and Challenges. *Buildings*, 11(7), 284.
- Cárcel-Carrasco, J., Peñalvo-López, E., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F.** (2021e). An Overview about the Current Situation on C&D Waste Management in Italy: Achievements and Challenges. *Buildings*, 11(7), 284.
- Cárcel-Carrasco, F. J., Roldán-Porta, C., & Grau-Carrión, J.** (2013a). La sinergia entre el diseño de planta industrial y mantenimiento-explotación eficiente. Un ejemplo de éxito: El caso Martínez Loriente SA. *DYNA: Ingeniería e Industria*, 88(6), 286-291.
- Eti, M.C., Ogaji, S., & Probert, S.** (2006). Impact of corporate culture on plant maintenance in the Nigerian electric-power industry. *Applied Energy*, 83, 299–310.
- González, F.J.** (2005). *Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado*. Fundación confemetal. Madrid.
- Martínez-Corral, A., Cárcel-Carrasco, J., Carnero, M. C., & Aparicio-Fernández, C.** (2022). Analysis for the Heritage Consideration of Historic Spanish Railway Stations (1848–1929). *Buildings*, 12(2), 206.
- Sánchez-Rodríguez, J. M., Cárcel-Carrasco, J., & Pascual-Guillamón, M.** (2021). Análisis del avance de la corrosión en redes de tierra de protección eléctrica. *DYNA-Ingeniería e Industria*, 96(5).
- Sols, A.** (2006). *Fiabilidad, Mantenibilidad, Efectividad, un enfoque sistémico*. Comillas. 2000. Madrid.

/04/

ESTUDIO INTRODUCTORIO DE LA RELACIÓN ESTRATÉGICA ENTRE FIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

INTRODUCTORY STUDY OF THE STRATEGIC RELATIONSHIP BETWEEN RELIABILITY, MAINTAINABILITY AND ENERGY EFFICIENCY

Aurora Martínez-Corral

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: aumarcor@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8222-0864>

Javier Cárcel-Carrasco

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: fracarcl@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2776-533X>

Fabiola Colmenero-Fonseca

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: fcolmenerof@outlook.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1901-2725>

Ali Rafat Gigasari

Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: arafgig@doctor.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5262-4574>

Luis Palmero Iglesias

Dept. Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: lpalmero@csa.upv.es

Recepción: 18/02/2022 **Aceptación:** 09/03/2022 **Publicación:** 14/03/2022

Citación sugerida:

Martínez-Corral, A., Cárcel-Carrasco, J., Colmenero-Fonseca, F., Rafat, A., y Palmero, L. (2022). Estudio introductorio de la relación estratégica entre fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia energética. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 11(1), 71-87. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2022.v11n1e41.71-87>

RESUMEN

Es vital conseguir la disponibilidad adecuada para la consecución de los procesos productivos o de servicios, garantizando la fiabilidad de las instalaciones o maquinaria. Muchas veces el aspecto “eficiencia energética”, se estudia de una manera separada considerándolo principalmente como un factor económico que redundaría en la explotación de grandes instalaciones constructivas. Los factores fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia energética, están íntimamente relacionados, y deben ser estudiados de manera conjunta para la optimización operativa de la planta industrial o edificio de servicios. Este artículo, trata de plasmar las relaciones entre los tres factores, como interactúan entre ellos, y las mejoras que pueden redundar sobre las infraestructuras.

PALABRAS CLAVE

Eficiencia energética, Mantenimiento industrial, Fiabilidad.

ABSTRACT

It is vital to achieve adequate availability for the achievement of production processes or services, guaranteeing the reliability of facilities or machinery. Many times the "energy efficiency" aspect is studied in a separate way considering it mainly as an economic factor that results in the exploitation of large construction facilities. The factors reliability, maintainability and energy efficiency are closely related, and must be studied together for the operational optimization of the industrial plant or service building. This article tries to capture the relationships between the three factors, how they interact with each other, and the improvements that can result in infrastructures.

KEYWORDS

Energy efficiency, Industrial maintenance, Reliability.

1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento para conseguir la disponibilidad requerida, parece en numerosas ocasiones llevar caminos paralelos que no interactúan con la fiabilidad operativa global y con la eficiencia energética, que suele estudiarse como procesos desligados. Sin embargo, cuando se hace un análisis conjunto, se derivan las relaciones entre ellos (Eti *et al.*, 2007), que hace una interacción mutua relacional, cuantificándose en una mejora de la eficiencia de todos los procesos, y por sinergia, una mejora en los resultados financieros de la empresa (reducción de fallos que producen pérdidas colaterales, mejora y reducción de los tiempos de mantenimiento, y un menor consumo energético).

El concepto de fiabilidad implica el funcionamiento de un sistema o equipo en las condiciones requeridas, y que depende de forma directa del MTBF (tiempo medio entre fallos). Con la utilización de modelos de gestión del conocimiento, que ayuden a captar la información relevante (Sing, 2008) y el conocimiento en base a la experiencia de los operarios, la fiabilidad operativa debe incrementarse por diversas razones ligadas a la mejora de la actividad de mantenimiento.

Con un adecuado estudio de las acciones a realizar que redunden conjuntamente sobre la fiabilidad, la eficiencia energética y las propuestas de acciones de mantenimiento (figura 1), el MTBF se incrementa, lo que incide directamente en un aumento de la fiabilidad operativa (Cárcel *et al.*, 2020; Cárcel *et al.*, 2021; 2021a, 2021b).

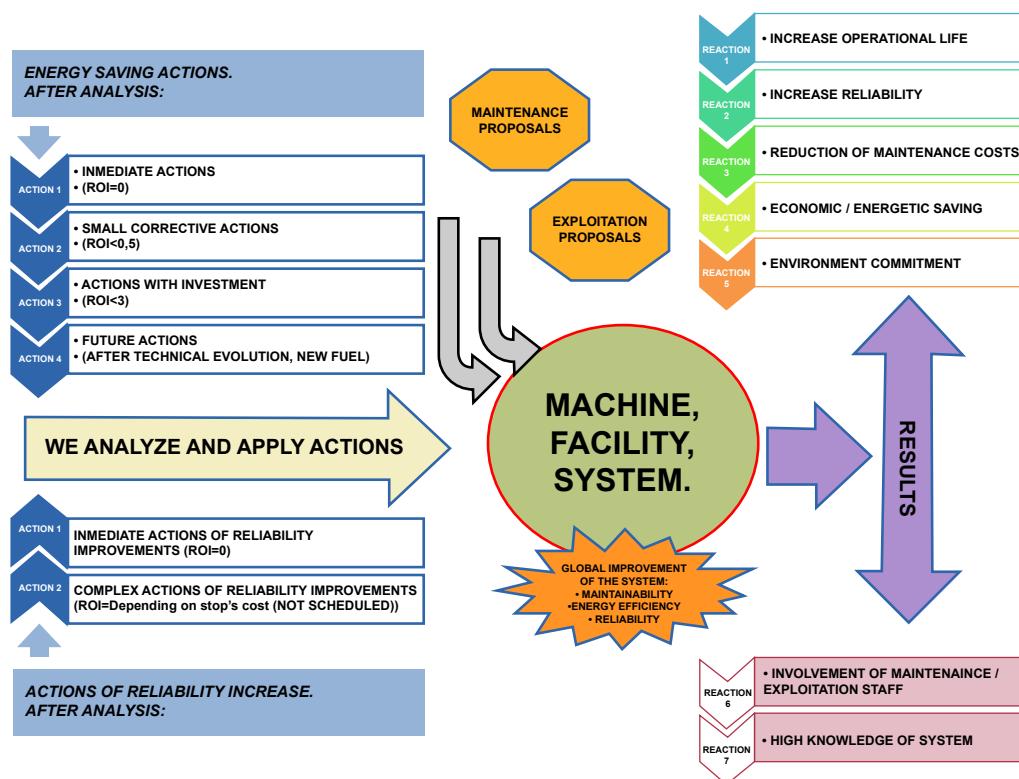


Figura 1. Ciclo de acciones conjuntas orientadas a la mejora operativa de una instalación o sistema.

Fuente: elaboración propia

2. FIABILIDAD, MANTENIBILIDAD, EFICIENCIA ENERGÉTICA, Y SU RELACIÓN EN BASE A LA INFORMACIÓN Y EL CONOCIMIENTO.

Sin entrar en normas UNE sobre confiabilidad, equipos, fiabilidad, etc., que afectan directamente a la funcionalidad de las técnicas de mantenimiento, las normas generales que inciden sobre la información y datos que afectan a la actividad de mantenimiento, se podrían indicar las UNE-EN 13306, UNE-EN 13460, UNE-EN 15341, UNE-EN 200001-3-11, UNE-EN 20464, UNE-EN 60706-2.

Con ello se pretende alcanzar lo que tradicionalmente se ha denominado como garantía de funcionamiento, concepto dependiente de cuatro magnitudes inter-relacionadas:

- Fiabilidad: probabilidad que el sistema no se averíe durante $[0, t]$.
- Mantenibilidad: probabilidad que el sistema sea reparado durante $[0, t]$.
- Disponibilidad: probabilidad que el sistema funcione en el instante t .
- Seguridad: probabilidad de evitar un suceso catastrófico.

Y en los últimos años, tras la relevancia económica del factor energético para los servicios a prestar, ha tomado especial interés el factor eficiencia energética:

- Eficiencia energética: Relación entre la cantidad de energía requerida para la realización de las actividades de una organización, sus equipos, sus sistemas, sus productos y sus servicios y la cantidad de energía real usada (UNE 216501:2009).

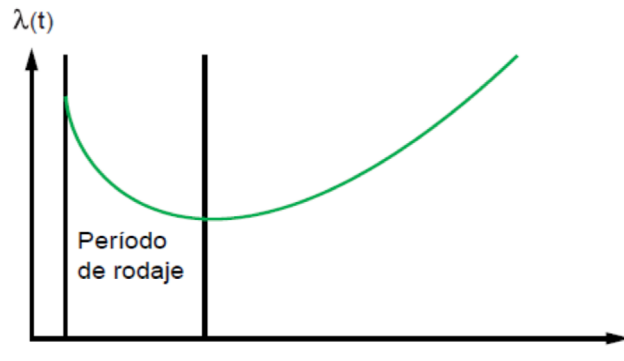
Las auditorías energéticas sirven para detectar las operaciones dentro de los procesos que pueden contribuir al ahorro y la eficiencia de la energía primaria consumida, así como para optimizar la demanda energética de la instalación, y son una buena base del conocimiento de todas las instalaciones y equipos que ayudan a tomar decisiones con respecto a la mejora de la fiabilidad así como el mantenimiento óptimo.

La relación de todos estos parámetros fundamentales en referencia a cómo afecta su adecuada extracción del conocimiento que afecta a la organización, se podría extraer observando su propia definición:

Fiabilidad: es la probabilidad de que una entidad pueda cumplir una función requerida, en las condiciones determinadas, durante un intervalo de tiempo $[t1, t2]$; y se expresa por: $R(t1, t2)$. Está íntimamente unida a la tasa de fallo de dicho sistema o instalación. El conocimiento de los diferentes fallos operativos y la acumulación y compartición de las experiencias operativas de los operarios, fomenta la prevención y

actuación ante el fallo, reduciendo en gran medida los fallos cíclicos y los tiempos de reposición, que afectan directamente a la producción de la empresa.

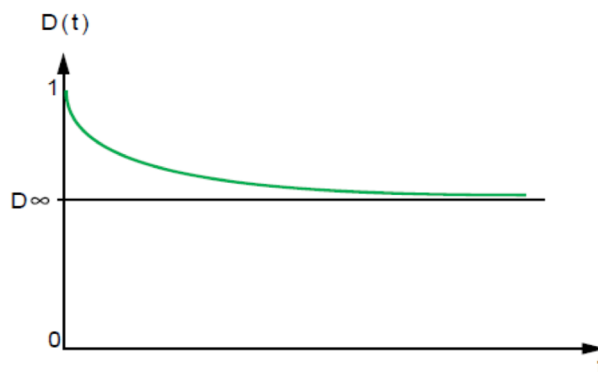
Tasa de fallo: $\lambda(t)$: La tasa de fallo en el instante t , mide la probabilidad que ocurra un suceso intempestivamente en el intervalo $[t, t+\lambda t]$ (gráfica 1). Representa el número de sucesos (fallos) por unidad de tiempo. Su inverso es el tiempo medio entre fallos.



Gráfica 1. Curva de fiabilidad con desgaste.

Fuente: (Cabau, 2000).

La disponibilidad: es la probabilidad que una entidad pueda cumplir una función requerida, en las condiciones determinadas, en un instante dado t , suponiendo que el suministro de los medios externos necesarios está asegurado. Se representa por: $D(t)$ (gráfica 2). Esta definición es igual a la de la fiabilidad pero con la diferencia fundamental en el aspecto temporal, una se refiere a un período de tiempo y la otra a un instante dado. En un sistema reparable, el funcionamiento al instante t no supone, forzosamente el funcionamiento durante $[0, t]$. Esta es la diferencia fundamental con respecto la fiabilidad. La disponibilidad tiende a un valor límite, que es por definición la disponibilidad asintótica. Este valor límite es una punta de tiempo que corresponde aproximadamente, al tiempo de reparación. La fiabilidad participa entonces en la disponibilidad por la aptitud a ser reparado rápidamente, esto es también importante, es la mantenibilidad.



Gráfica 2. Disponibilidad en función del tiempo.

Fuente: (Cabau, 2000).

La mantenibilidad: es la probabilidad de que una operación dada de mantenimiento pueda ser realizada en un intervalo tiempo dado $[t_1, t_2]$, que se expresa por: $M(t_1, t_2)$. La mantenibilidad es a la reparación como la fiabilidad es al fallo. Se define con las mismas hipótesis que para $R(t)$ la mantenibilidad $M(t)$.

Tasa de reparación: $\mu(t)$: La tasa de reparación en el instante t , mide la probabilidad que una entidad sea reparada en el intervalo $[t, t + \mu t]$, n° de reparaciones por unidad de tiempo. Puesto que es constante, la expresión de la mantenibilidad es una ley exponencial: $M(t) = \exp(-\mu t)$. Su inverso es el tiempo medio por reparación.

Mantenimiento: Actuaciones -procesos y operaciones tendentes a la conservación de una entidad o sistema.

Todos estos parámetros influyen en los tiempos medios utilizados como indicadores en mantenimiento y que inciden sobre la eficiencia del servicio (figura 2). La misión es aumentar el MTTF o MTFF (Mean Time To First Failure, tiempo medio de buen funcionamiento antes del primer fallo), el MTBF (Mean Time Between Failure, tiempo medio entre dos fallos de un sistema reparable), el MUT (Mean Up Time, tiempo medio de buen funcionamiento después de una reparación). De igual manera se pretende reducir

los diferentes tiempos operativos de las acciones de reparación como el MTTR (Mean Time To Repair, tiempo medio de reparación).

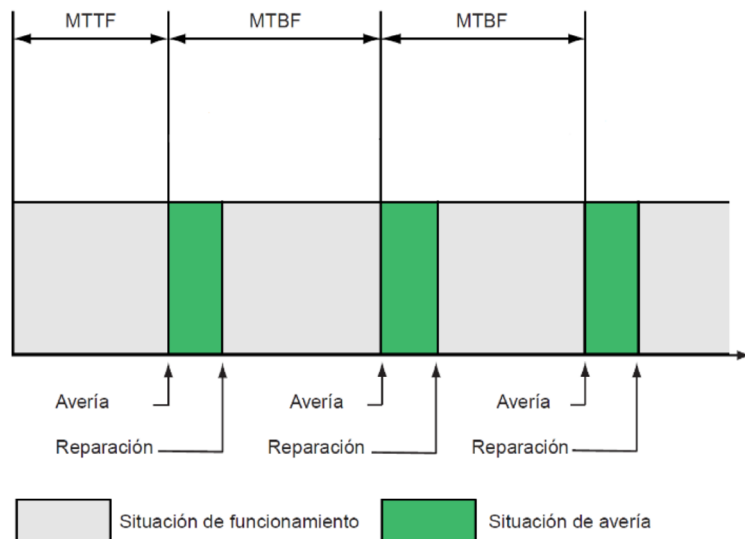


Figura 2. Diagrama de tiempos medios de un sistema que no precisa interrupción del funcionamiento para el mantenimiento preventivo.

Fuente: (Cabau, 2000).

Esencialmente hay dos tipos de mantenimiento: preventivo y correctivo, y para cada uno de éstos hay numerosos procedimientos específicos. En el mantenimiento preventivo, el objetivo es incurrir en gastos modestos de servicio del equipo, con el fin de evitar fallos potencialmente caros durante su funcionamiento (Eti *et al.*, 2006a, 2006b; Badia *et al.*, 2006; Aghezzaf *et al.*, 2007). Normalmente, el equipo deja de funcionar durante el mantenimiento preventivo, y el efecto físico de las actividades de mantenimiento es paliar los efectos del funcionamiento previo. En contraste, el mantenimiento correctivo (o reparación) es la respuesta al fallo del equipo con el fin de devolverlo a un estado de funcionamiento. Para ambas clases de mantenimiento, puede asumirse que existen varios tipos de estructuras de coste y varios tipos de patrones de comportamiento de los equipos. Es importante notar que el modelado y análisis de los

procedimientos de mantenimiento de equipos requieren a menudo considerar el sistema completo en vez de sus componentes individuales.

Por consiguiente, en base a la información y el conocimiento sobre el proceso y la cadena de fallo, permite la detección y el diagnóstico del fallo; procesos que, a su vez, permiten obtener el conocimiento necesario sobre el fallo, para proceder a su solución a través de la actuación de mantenimiento.

En la fase de observación de los síntomas y manifestaciones del fallo se trata de percibir información, a través de la observación sensorial directa, de la experiencia, de los conocimientos teóricos previos, de la información registrada, y de la medición o verificación a través de pruebas y ensayos. El análisis de esa información permite la identificación previa y con cierta inmediatez del fallo. Se perciben ya algunos accidentes del fallo; como, por ejemplo, lugar, posición o elemento que soporta el fallo.

En la fase de detección se obtienen comprobaciones pertinentes y contrastables sobre el fallo, que se completan en las dos fases siguientes: en la de delimitación se determinan básicamente los límites en el cumplimiento de la especificación y el proceso de fallo, en la de descripción se investigan las circunstancias del fallo (qué, dónde, cuándo, etc.).

Aunque podrían generarse dificultades conceptuales y de captación de la información, la consideración de determinados estados intermedios, desde funcionar adecuadamente a estar averiados (como sería el caso de tener que producir a baja capacidad, o con un consumo energético excesivo, o con alguna deficiencia de calidad) (Cárcel *et al.*, 2022), puede mejorar sensiblemente el conocimiento del comportamiento del equipo en base a la experiencia sobre variados escenarios. Esto ha de añadir necesariamente un conocimiento específico valioso sobre los diferentes modos de fallo.

Hay que tener en cuenta que todas las actuaciones deben redundar en la mejora de los sistemas de mantenimiento de la industria, que tras el estudio de diversas actuaciones, nos indiquen el beneficio energético de su ejecución así como el aumento de la fiabilidad de los sistemas e instalaciones. Debe ser un sistema abierto que integre a todos los estamentos de la empresa, con retroalimentación de

propuestas basadas en la experiencia por parte de los servicios de explotación y mantenimiento de la industria. La puesta en marcha de dichas acciones vendrá como consecuencia del retorno de la inversión detectado (ROI), o el valor intrínseco que dicha medida pueda tener como consecuencia del aumento de la fiabilidad, con reducción de cortes no programados.

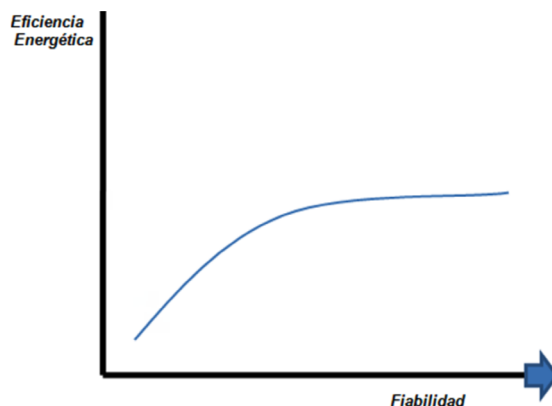
En la observación de las relaciones ante acciones de fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia energética, se observa que cualquier acción o mejora de este tipo afecta entre ellas, pudiéndose extraer curvas relacionales que afectan a la Eficiencia energética, mantenibilidad y fiabilidad.

3. RELACIONES INFLUYENTES ANTE ACCIONES OPERATIVAS.

a) Ante acciones consistentes en aumentar la fiabilidad del sistema:

Ante la realización de acciones consistentes en aumentar la fiabilidad del sistema (gráfica 3), como regla general, y sobre todo si se trata de máquinas dinámicas, ante pequeñas acciones de aumento de la fiabilidad lleva normalmente consigo el aumento de la eficiencia energética.

Llega un punto, que para un grado muy alto de fiabilidad, no crece o se satura el proceso de ahorro energético.

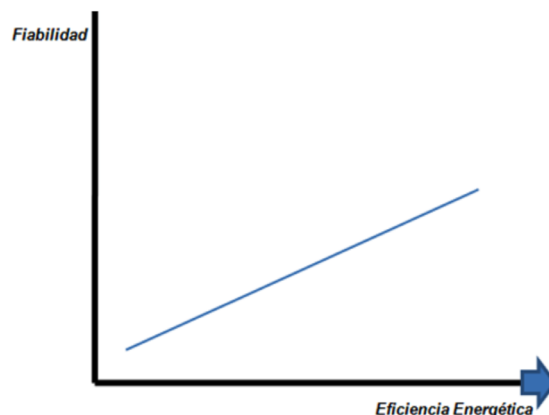


Gráfica 3. Curva ante acciones de fiabilidad.

Fuente: elaboración propia.

b) Ante acciones consistentes en aumentar la eficiencia energética del sistema:

De los comentarios y observación de la realización de acciones de eficiencia energética (gráfica 4), como regla general, el aumento de la fiabilidad es progresivo, dado que normalmente este ahorro viene definido por un uso incorrecto, una mejora térmica, etc, que redundan automáticamente en un menor desgaste y como consecuencia una menor probabilidad de averías.

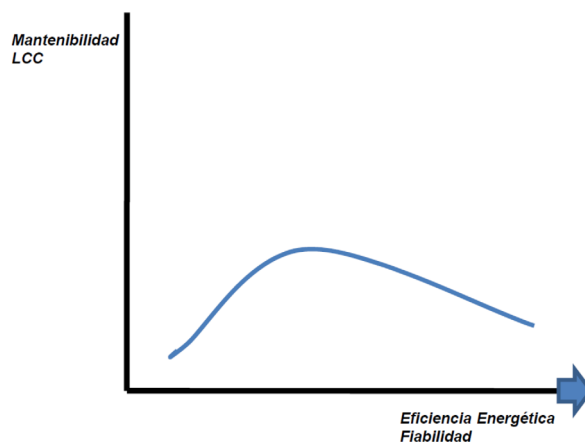


Gráfica 4. Curva ante acciones de eficiencia energética.

Fuente: elaboración propia.

c) Mantenibilidad ante acciones consistentes en aumentar la eficiencia energética o fiabilidad del sistema:

Cuando se realizan enfocadas a la mantenibilidad (gráfica 5), se produce un aumento en el ahorro en mantenimiento así como el aumento de la vida útil del equipamiento. Puede llegar un punto de inflexión si se requiere un gran aumento en la fiabilidad conlleve un aumento del equipamiento, con lo que sería preciso mayor número de horas en mantenimiento (este sería el caso cuando la fiabilidad del sistema quiere que sea máxima ante instalaciones críticas).



Gráfica 5. Curva relación con mantenibilidad.

Fuente: elaboración propia.

De una manera sucinta, se puede decir que con un conocimiento profundo de los equipos, e indagando en las relaciones y acciones para conseguir una adecuada eficiencia energética, fiabilidad y mantenibilidad;

- Mejora del conocimiento por parte de los servicios de mantenimiento de la eficiencia energética del proceso.
- Se conocerán, futuras acciones de ahorro, propuestas por los equipos de mantenimiento y sugerencias de fabricantes de la maquinaria o sector.
- Se producirá una reducción de los tiempos utilizados en mantenimiento, siendo una variable añadida de ahorro.
- Se consigue una mayor concienciación de los equipos humanos de mantenimiento.
- Dichas acciones llevan añadidas una sensibilización con la visión del respeto al medio ambiente (ahorro en la emisión de CO₂, como consecuencia del ahorro energético).

- A consecuencia de la acción de eficiencia energética, se consigue un uso más racional de la instalación, reduciéndose por ello la tasa de fallo del equipamiento y con ello el aumento de la fiabilidad de la instalación que se considera crítica.
- Al realizar el estudio energético se ha aumentado el nivel de conocimiento de la instalación, pudiéndose monitorizar otras variables que interceden en la fiabilidad final de la instalación (instalación eléctrica, fluidos, valvulería, etc.).
- Dicha relación de aumento de la fiabilidad es extrapolada al resto de la organización (en especial hacia los departamentos de explotación), consiguiéndose una mejora estratégica de la función de los servicios de mantenimiento con relación al resto de la industria.

4. CONCLUSIONES

Es importante extender el conocimiento en las acciones de mantenimiento, en base a las acciones estratégicas fundamentales tales como la fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia energética:

- Al aunar el conocimiento de las acciones estratégicas se potencian las relaciones entre la fiabilidad, mantenibilidad y eficiencia energética, que aumentan la eficiencia de toda la organización.
- Se pueden reducir los costes de mantenimiento sin degradación de la fiabilidad.
- La mejora de la eficiencia energética, redundando en mejorar la mantenibilidad de las instalaciones y la fiabilidad de los procesos, con reducción de fallos.
- Se puede mejorar la seguridad y la disponibilidad de las instalaciones (poniendo más atención a las frecuencias y a los elementos a mantener).
- Se puede aumentar el ciclo de vida de los equipos e instalaciones, como consecuencia del menor desgaste y la observación continuada en la utilización óptima.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto CONDAP "Habilidades digitales para mentores en el lugar de trabajo en aprendizajes del sector de la construcción" financiado por la Comisión Europea dentro de la Acción Clave 2: Cooperación para la innovación e intercambio de buenas prácticas, número de referencia 2018-1-UK01-KA202-048122. Así mismo, este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del grupo de investigación PREDILAB, dentro de la investigación realizada en la Universidad de Castilla La Mancha y titulada "Metodología y sistemas para la mejora del mantenimiento y la eficiencia energética en la rehabilitación y reutilización del patrimonio industrial. Fase 1 y 2.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghezzaf, E.H., Jamali, M.A., & Ait-Kadi, D.** (2007), An integrated production and preventive maintenance planning model. *European Journal of Operational Research*, 181, 679-685.
- Badia, F.G., Berrade, M.D., & Campos, C.A.** (2002). Optimal inspection and preventive maintenance of units with revealed and unrevealed failures. *Reliability Engineering and System Safety*, 78(1), 157-63.
- Cabau, E.** (2000). *Introducción a la concepción de la garantía de funcionamiento*. Cuaderno Técnico Schneider nº 144. Barcelona.
- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F.** (2022). Composition of some metallic fragments found in food that are undetectable by magnetic or eddy currents equipment: A case study. *LWT*, 153, 112358.
- Cárcel-Carrasco, J., & Gómez-Gómez, C.** (2021). Qualitative analysis of the perception of company managers in knowledge management in the maintenance activity in the era of industry 4.0. *Processes*, 9(1), 121.

- Cárcel-Carrasco, J., & Cárcel-Carrasco, J. A.** (2021a). Analysis for the Knowledge Management Application in Maintenance Engineering: Perception from Maintenance Technicians. *Applied Sciences*, 11(2), 703.
- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Langa-Sanchis, J.** (2021b). Analysis of the effect of COVID-19 on air pollution: perspective of the Spanish case. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 36880-36893.
- Cárcel-Carrasco, J., Cárcel-Carrasco, J. A., & Peñalvo-López, E.** (2020). Factors in the relationship between maintenance engineering and knowledge management. *Applied Sciences*, 10(8), 2810.
- Eti, M.C., Ogaji, S., & Probert, S.** (2006a). Reducing the cost of preventive maintenance (PM) through adopting a proactive reliability-focused culture. *Applied Energy*, 83(2006), 1235–1248.
- Eti, M.C., Ogaji, S., & Probert, S.** (2006b). Development and implementation of preventive-maintenance practices in Nigerian industries. *Applied Energy*, 83(2006), 1163–1179.
- Eti, M.C., Ogaji, S., & Probert, S.** (2007). Integrating reliability, availability, maintainability and supportability with risk analysis for improved operation of the Afam thermal power-station. *Applied Energy*, 84(2007), 202–221.
- Sing, S.** (2008). Role of leadership in knowledge management: A study. *Journal of Knowledge Management*, 12(4), 3-15. <https://doi.org/10.1108/13673270810884219>
- UNE 216501.** (2009). *Sistema de gestión energética*. Requisitos. Aenor, Mayo 2009.
- UNE-EN 13306.** (2010). *Mantenimiento: Terminología de mantenimiento*. Aenor, Marzo 2011.
- UNE-EN 13460.** (2009). *Terminología de mantenimiento*. Aenor, Diciembre 2009.
- UNE-EN 15341.** (2007). *Indicadores clave de rendimiento del mantenimiento*. Aenor, Septiembre 2008.

UNE-EN 200001-3-11. (2003). *Gestión de la confiabilidad: Parte 3-11: Guía de aplicación Mantenimiento centrado en la fiabilidad*. Aenor, Octubre 2003.

UNE-EN 20464. (2002). *Planificación del mantenimiento y de la logística de mantenimiento*. Aenor, Abril 2002.

UNE-EN 20654-4. (2002). *Guía de mantenibilidad de equipos: Parte 4-8: Planificación del mantenimiento y de la logística de mantenimiento*. Aenor, Abril 2002.

UNE-EN 60706-2. (2006). *Requisitos y estudios de mantenibilidad durante la fase de diseño y desarrollo*. Aenor, Mayo 2009.

/05/

EFFECTO DE LA MALA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA INGENIERÍA DEL MANTENIMIENTO. ANÁLISIS DE CASOS

EFFECT OF POOR KNOWLEDGE MANAGEMENT ON MAINTENANCE ENGINEERING. CASE ANALYSIS

Javier Cárcel-Carrasco

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: fracarcl@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2776-533X>

Aurora Martínez-Corral

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: aumarcor@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8222-0864>

Fidel Salas Vicente

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: fisavi@doctor.upv.es

Manuel Pascual Guillamón

ITM Instituto Tecnología de Materiales. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: mpascual@mcm.upv.es

José Ramón Albiol Ibáñez

Dept. Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. Valencia, (España).

E-mail: joalib1@csa.upv.es ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3049-9693>

Recepción: 18/02/2022 **Aceptación:** 11/03/2022 **Publicación:** 14/03/2022

Citación sugerida:

Cárcel-Carrasco, J., Martínez-Corral, A., Salas, F., Pascual, M., y Albiol, J. R. (2022). Efecto de la mala gestión del conocimiento en la ingeniería del mantenimiento. Análisis de casos. *3C Tecnología. Glosas de innovación aplicadas a la pyme*, 11(1), 89-107. <https://doi.org/10.17993/3ctecno/2022.v11n1e41.89-107>

RESUMEN

La actividad del mantenimiento tiene una gran transcendencia en la operativa, fiabilidad y resultados económicos de grandes Construcciones e infraestructuras. Sin embargo, existe un elemento que influye en la mejora operativa y reducción del tiempo de reposición o actuación ante el fallo en las acciones tácticas del mantenimiento: El conocimiento tácito. En este artículo, mediante un estudio de casos, se ha podido aproximar, que dicho factor puede influir, en valores elevados, que repercuten en la eficiencia técnica y económica de grandes infraestructuras.

PALABRAS CLAVE

Mantenimiento industrial, Factor humano, Gestión del conocimiento, Conocimiento tácito, Proceso del fallo.

ABSTRACT

Maintenance activity is of great importance in the operations, reliability and economic results of large constructions and infrastructures. However, there is an element that influences operational improvement and reduction of replacement time or action in the event of failure in tactical maintenance actions: Tacit knowledge. In this article, through a case study, it has been possible to approximate that this factor can influence, in high values, that affect the technical and economic efficiency of large infrastructures.

KEYWORDS

Industrial maintenance, Human factor, Knowledge management, Tacit knowledge, Failure process.

1. INTRODUCCIÓN

El mantenimiento para conseguir la disponibilidad requerida, parece en numerosas ocasiones llevar caminos paralelos que no interactúan con la fiabilidad operativa global y con la eficiencia energética, que suele estudiarse como procesos desligados. Sin embargo, cuando se hace un análisis conjunto, se derivan las relaciones entre ellos (Aghezzaf *et al.*, 2007), que hace una interacción mutua relacional, cuantificándose en una mejora de la eficiencia de todos los procesos, y por sinergia, una mejora en los resultados financieros de la empresa (reducción de fallos que producen pérdidas colaterales, mejora y reducción de los tiempos de mantenimiento, y un menor consumo energético).

La importancia de las técnicas de mantenimiento ha crecido constantemente en los últimos años (Badía *et al.*, 2003), ya que el mundo empresarial es consciente de que para ser competitivos es necesario no sólo introducir mejoras e innovaciones en sus productos, servicios y procesos productivos, sino que también, la disponibilidad de los equipos ha de ser óptima y esto sólo se consigue mediante un mantenimiento adecuado.

La gestión efectiva del mantenimiento supone, en consecuencia, una de las actividades cruciales de la mayor parte de las empresas con activos físicos. Son por ello lógicos los esfuerzos orientados a optimizar su funcionamiento, involucrando para tal fin tanto a medios humanos como técnicos, y con los modelos y estrategias más adecuadas a cada empresa (Martínez *et al.*, 2022).

Aún así, el ingeniero y los técnicos de planta siguen detectando muchos problemas y defectos de los sistemas, modelos, técnicas y procedimientos implementados, muy especialmente los relativos a una fluida transmisión de la experiencia y de los conocimientos, unas veces olvidados, otras retenidos por los especialistas y, en todo caso, insuficientemente formalizados o “protocolizados”. El conocimiento que podemos adquirir acerca del comportamiento de un sistema físico se fundamenta principalmente en la adquisición y valoración de dos tipos de información, cuantitativa (por instrumentos de medición) y cualitativa (adquirida por humanos).

Una tal definición operativa de Mantenimiento Industrial podría ser el conjunto de técnicas que tienen por objeto conseguir una utilización óptima de los activos productivos, manteniéndolos en el estado que requiere una producción eficiente.

Pueden extraerse de esta definición los siguientes elementos:

- estado requerido
- exigencias de disponibilidad o conservación de ese estado
- conjunto de técnicas y procedimientos orientados a esa conservación.
- actividad de reemplazo, reparación o modificación de unidades, componentes, conjuntos, equipos o sistemas de una planta industrial.

Se observa, cómo ya en la misma naturaleza del mantenimiento aparecen elementos ligados al conocimiento, ya que la técnica puede ser definida como la forma o manera de realizar una actividad, implicando, en consecuencia, la presencia de capital intelectual incorporado o no a los activos industriales o al personal. La especial acción o actividad del mantenimiento exige técnicas o conocimientos muy específicos y contingentes, de alto valor estratégico, que implican complejidad y elevados esfuerzos en su registro, transmisión y aplicación (Cárcel *et al.*, 2013).

En cuanto a la expresión de su meta: la consecución de requerimientos de disponibilidad en equipos e instalaciones, implica la ubicación de las actividades de mantenimiento en escenarios de elevada contingencia e incertidumbre, dónde contenidos informativos muy dinámicos, perecederos y específicos, y sus procedimientos de aplicación, se revelan como imprescindibles para una marcha eficiente de la planta. En otro caso, el mantenimiento de la planta debería responder de elevados costes de intervención, basados en una búsqueda repetitiva e inconsistente de información en las fases de detección, diagnóstico, prevención y reparación del fallo.

Por último, la actividad de mantenimiento requiere conocimientos muy específicos y variados; destacando el de diferentes y, en muchas ocasiones, novedosas tecnologías. Su optimización es compleja y la toma de decisiones se desenvuelve en un ambiente de incertidumbre (Cárcel *et al.*, 2022, 2021, 2021a, 2021b, 2021c, 2021d; 2021e).

El objetivo básico de la función de mantenimiento puede expresarse como la gestión optimizada de los activos físicos. Esta optimización debe obviamente orientarse a la consecución de los objetivos empresariales, algunos de los cuales se reflejan a continuación, clasificados en varios epígrafes:

- Económicos: mayor rentabilidad y beneficio, menores costes de fallo, mayor ahorro empresarial, menor inversión en inmovilizado o en circulante, etc.
- Laborales: condiciones adecuadas de trabajo, de seguridad e higiene, etc.
- Técnicos: disponibilidad y durabilidad de los equipos, máquinas e instalaciones, operativa en explotación.
- Sociales: ausencia de contaminación, ahorro de energía, etc.

A partir de unos objetivos bien definidos, se plantea la planificación y control de la actividad de mantenimiento orientada, así, a alcanzar esos objetivos. Esto pasa por el control o dominio del comportamiento de los sistemas, equipos o instalaciones de la planta y por una gestión adecuada de esos activos; entendiéndose por tal, una actuación que optimice tanto el valor real de los activos como su funcionamiento.

La función de mantenimiento cumple, en consecuencia, con dos grandes objetivos: en primer lugar, conservar el estado de los activos, en segundo, mejorar sus niveles de disponibilidad al más bajo coste.

Algunos de los problemas más frecuentes y críticos, en relación al conocimiento tácito y la gestión del conocimiento, con los que los especialistas y técnicos de mantenimiento se encuentran son:

- Cambios de personal de la plantilla.
- Poca experiencia de los operarios.
- Falta de información de medidas a tomar y pasos a seguir ante ciertas averías o incidencias.
- Dependencia del conocimiento y experiencia tácita de los operarios.
- Históricos de avería y análisis de causas imperfectos.
- Desorganización de la información acerca de las instalaciones.
- Carencia de sistemas de aprendizaje y reciclaje del personal.

Los problemas derivados de los cambios de personal en la plantilla de mantenimiento se traducen en pérdidas económicas debido al desconocimiento por parte del operario de: las instalaciones existentes, fallos típicos y medidas a adoptar ante los mismos, tiempo de rodaje y adaptación a la forma y sistemas de trabajo, etc. La escasa experiencia del operario obliga a otros a abandonar sus tareas para poder enseñarle las ubicaciones, tipos de instalaciones, modo de trabajo, etc., con la consiguiente pérdida de productividad y rendimiento que ello conlleva.

El artículo introduce en la función del mantenimiento y su relación con el conocimiento tácito, se analiza con posterioridad los efectos de la transmisión del conocimiento, para pasar a analizar un estudio de casos que se producen con asiduidad en el desempeño del mantenimiento industrial, finalizando con las conclusiones del artículo.

2. CONSECUENCIAS DE LA MALA GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN EL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL. ANÁLISIS DE CASOS

Sin entrar en normas UNE sobre confiabilidad, equipos, fiabilidad, etc., que afectan directamente a la funcionalidad de las técnicas de mantenimiento, las normas generales que inciden sobre la información

y datos que afectan a la actividad de mantenimiento, se podrían indicar las UNE-EN 13306, UNE-EN 13460, UNE-EN 15341, UNE-EN 200001-3-11, UNE-EN 20464, UNE-EN 60706-2.

En base a entender la problemática de una manera simple, se ha realizado un estudio de casos (extraídos de las experiencias en base a 15 entrevistas realizadas a personal técnico de mantenimiento de diversas empresas en la comunidad valenciana, 4 empresas de servicios industriales y terciarios, y 1 empresa de distribución de energía eléctrica), que aunque evidentes, y que se suelen producir con relativa frecuencia en el conjunto de las empresas industriales o de servicios, hacen mostrar la escasa o nula gestión del conocimiento en el desempeño del mantenimiento industrial, y donde se observa de manera incipiente el peso del conocimiento tácito, y que afecta a la cadena del proceso colaborativo en relación al conocimiento entre los órganos intervinientes:

- a) Fallo esporádico de un sistema de protección y acoplamiento de baja tensión en una instalación industrial (Figura 4):

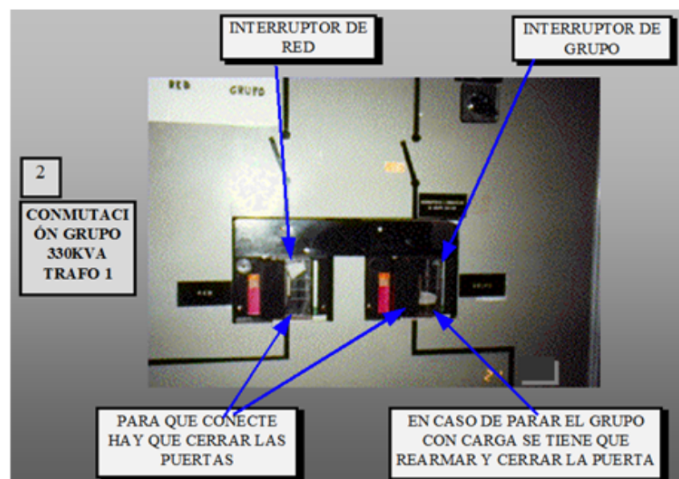
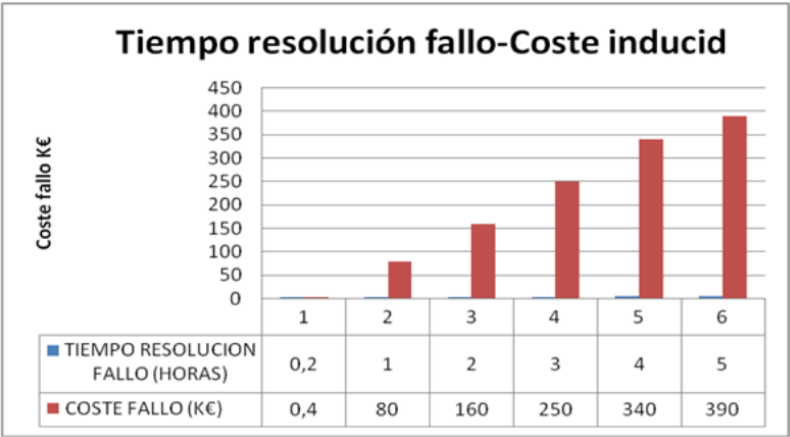


Figura 1. Detalle de Interruptor de potencia y acoplamiento en BT.

Fuente: elaboración propia.

En este caso se produce un disparo intempestivo de un acoplamiento de potencia en baja tensión, que no se tenía constancia anteriormente de haberse producido. El personal de mantenimiento que acude a su reposición, no consigue rearmarlo (por desconocer el manejo intrínseco de dicho material), se hacen todo tipo de pruebas aguas abajo sin conseguirlo y se intenta buscar la documentación de operación del elemento (Dicha documentación almacenada entre miles de hojas de información). Se tarda en reponer en un periodo de 2,5 horas, ocasionando pérdidas por no producción de 190.000 €. Tal y como se ve en la figura 1, con el conocimiento básico del elemento, su tiempo de reposición debería haber sido de escasos 5 minutos. El personal que operó la avería, no transcribió de manera fehaciente dicho registro, con lo que pasados más de dos años de esa avería, se vuelve a repetir, no estando ninguno de los miembros de mantenimiento que actuó la vez anterior, dando como consecuencia que el nuevo personal que actuó, volvió a resolverla en un tiempo superior a las 3 horas, teniendo como consecuencia unas pérdidas equivalentes a la vez anterior. En la tabla 1, se muestra una relación de la repercusión económica según el tiempo en fallo sobre el gasto soportado por no producción de la empresa de este ejemplo a).

Tabla 1. Relación tiempo fallo-coste del ejemplo a).



Fuente: elaboración propia a partir datos de la empresa.

a) Mantenimiento preventivo y maniobras en grupo electrógeno de emergencia de 705 KVAs (Figura 2):

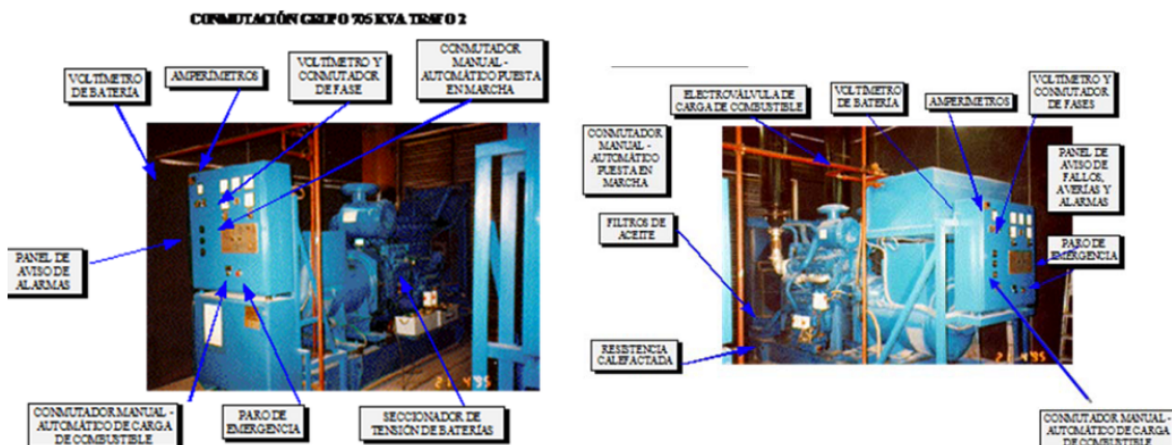
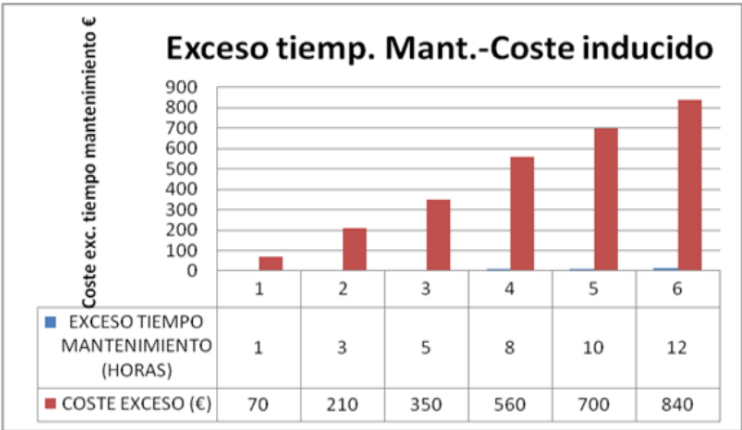


Figura 2. Detalle de Grupo electrógeno 705 KVAs.

Fuente: elaboración propia.

Ante la entrada en la empresa de un nuevo técnico de mantenimiento, se produce un tiempo de acoplamiento para tener la misma pericia y desempeño en los mantenimientos preventivos y operación de los equipos, que el resto del personal con antigüedad en varios años. Esta transmisión del conocimiento se produce por el resto de compañeros de mayor antigüedad de la organización, siendo durante esa etapa de formación un coste asumido por la empresa. Dicho tiempo de acoplamiento oscilaba en este caso de aproximadamente 14 meses, para ser completamente operativo y autónomo en las actividades normales de la empresa donde desempeña su función, siendo un gasto que puede oscilar en función del nivel salarial del personal, así como otros gastos inducidos por esa falta de operatividad, y aumento de tiempo de resolución ante averías o maniobras.

Tabla 2. Relación tiempo fallo-coste del ejemplo b).



Fuente: elaboración propia a partir datos de la empresa.

En la tabla anterior (tabla 2), se indican los costes por el tiempo de acoplamiento del personal de nuevo ingreso en la empresa. Estos costes además de ser una carga improductiva en la empresa, suponen un lastre para el resto de los miembros de la organización durante dichos periodos de acoplamiento. Estos costes, muchas veces no analizados por las empresas, tienen un carácter elevado en empresas donde el ciclo de renovación de personal es importante.

b) Maniobras en redes de distribución de energía eléctrica a 20 KV, ante averías o disparo de líneas.

En empresas distribuidoras de energía eléctrica, tradicionalmente, y dado la gran dispersión territorial que pueden tener las redes de distribución eléctrica de una zona, las reposiciones o maniobras operativas de líneas, son realizadas por personal ya acoplado a dicha zona de trabajo. El problema reside, que aunque los elementos de maniobra (figura 3) y operación son pocos en comparación a una instalación industrial, debido a la dispersión de dichos elementos a nivel territorial, que se deben conocer donde están situados, de qué manera llegar hasta allí (muchas veces a través de caminos o zonas que no están reflejados en planimetrías tradicionales), y que hacen que el nuevo personal asignado a esa zona tenga

un tiempo de acoplamiento importante, la dificultad para utilizar personal con experiencia de otra zona, y como consecuencia directa un aumento de tiempo para las reposiciones de servicio, disminución de la fiabilidad operativa (en ocasiones sólo el desconocimiento del camino de entrada para el acceso a la maniobra de un seccionador conlleva retraso de horas en la reposición de servicio) y un coste económico para la empresa distribuidora, no sólo por el tiempo de acoplamiento del nuevo personal (puede oscilar en más de 24 meses), sino por la energía no comercializada por dicha falta de operatividad.

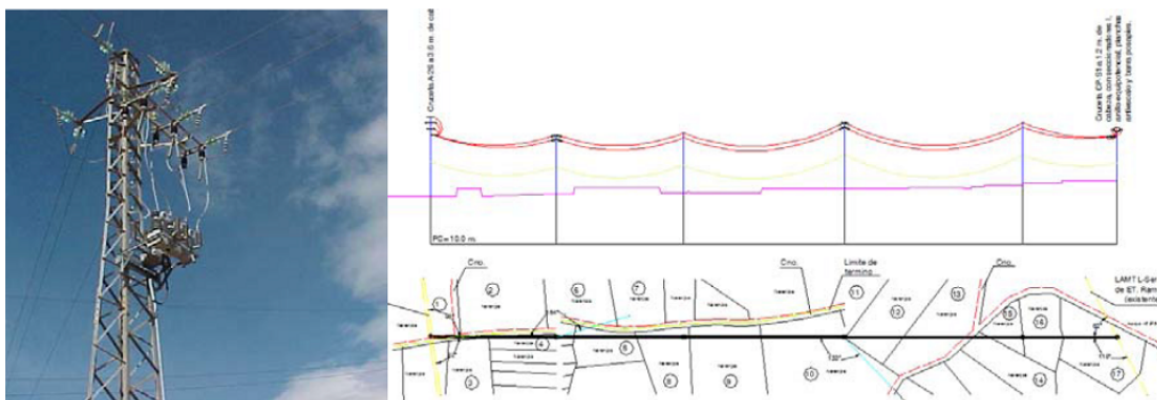


Figura 3. Elemento maniobra red 20 KV y plano distribución de red.

Fuente: elaboración propia

- c) Disminución de la eficiencia energética en sistemas de refrigeración industrial por desconocimiento de la información operativa de todo el sistema:

El estudio de la mejor política de uso y eficiencia de la energía es vital para la empresa y sus procesos. Con relativa frecuencia, en equipos críticos y que utilizan intensivamente energía para partes importantes del proceso de la empresa, se realiza un mantenimiento preventivo correcto, pero debido a la dispersión de la información, la falta de análisis inicial y la propia inercia de trabajo de los servicios de mantenimiento, hace que no se estudien en profundidad las acciones de eficiencia energética que se pueden introducir en el elemento, y las relaciones de eficiencia que se pueden tener en cuenta de los elementos aislados en función al sistema global. Muchas de esas acciones o propuestas pueden ser captadas por los propios

técnicos de mantenimiento que operan en la empresa, pero son mal transmitidas u olvidadas por los órganos de mando del departamento de mantenimiento. Se observa en estas actividades un defecto en la transmisión y aplicación del conocimiento para conseguir una mejora de la eficiencia energética. Estas acciones de eficiencia energética en una instalación de refrigeración industrial (Figura 4, Tabla 3), no sólo dependen de un elemento aislado (compresor), sino que se debe observar la influencia de combinar velocidad con volumen de corredera y presión de aspiración, entre otros factores. En este ejemplo, acciones de análisis y mejora del conocimiento de dichas instalaciones, produjeron ahorros energéticos por la actuación de uno sólo de los compresores (tabla 3) de 180.000 KWhe, y de manera global en todo el sistema de 380.000 KWhe anuales, así como una mejora en el conocimiento por parte del personal de mantenimiento, y como consecuencia una mejora de la fiabilidad y mantenibilidad de los equipos.

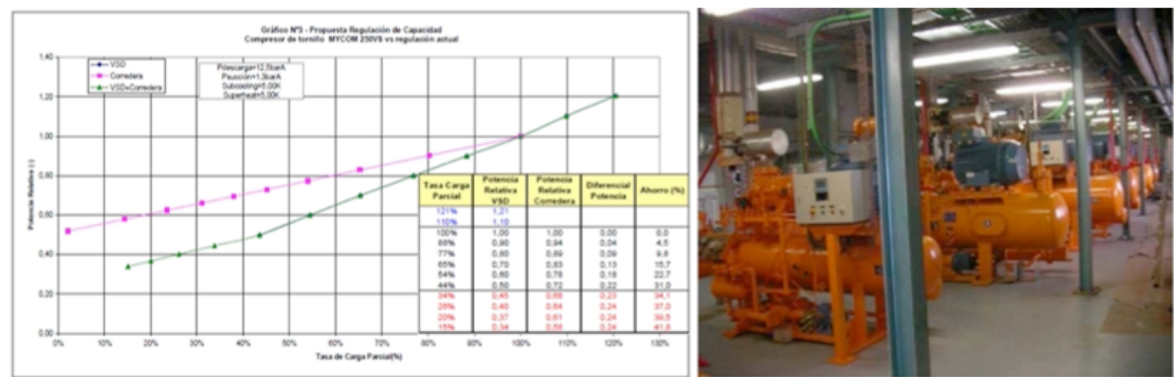


Figura 4. Gráfica operación compresor e imagen de grupos frigoríficos.

Fuente: elaboración propia a partir datos de la empresa.

Tabla 3. Tabla operación compresor en función de su capacidad y ahorro energético estimado.

COMP. A9		Pot Abs (kW)	Pot frigorif (kW)	COP (sin VSD)	Pot Abs (kW)	COP (VSD)	Ahorro específico	Ahorro estimado (kWh)
Capacidad (%)	Tiempo							
95-100	13,53%	270,10	403,9	1,50	278,20	1,45	2,00%	6.404
90-95	4,98%	259,00	354,9	1,37	248,84	1,43	-3,92%	-4.429
85-90	4,31%	251,80	323,5	1,28	230,30	1,40	-8,54%	-8.125
80-85	3,89%	245,40	294,8	1,20	213,31	1,38	-13,08%	-10.929
75-80	3,40%	239,50	268,4	1,12	197,55	1,36	-17,52%	-12.513
70-75	2,86%	234,00	243,9	1,04	182,82	1,33	-21,87%	-12.809
65-70	2,44%	229,00	221,1	0,97	169,23	1,31	-26,10%	-12.765
60-65	2,84%	224,30	199,5	0,89	156,04	1,28	-30,43%	-16.979
55-60	2,84%	207,60	164,0	0,79	136,06	1,21	-34,46%	-17.787
50-55	7,07%	204,70	152,1	0,74	131,84	1,15	-35,59%	-45.119
45-50	0,71%	191,10	95,0	0,50	111,54	0,87	-42,86%	-49.471
40-45	0,75%							
35-40	0,74%							
30-35	0,86%							
25-30	0,86%							
20-25	0,87%							
15-20	0,84%							
10-15	1,27%	0,00	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0
0-10	44,95%							

Fuente: elaboración propia a partir datos de la empresa.

d) Conducción operativa de instalaciones en un entorno de grandes dimensiones:

En entornos de grandes dimensiones como pueden ser un gran centro comercial, un parque de ocio o temático, hoteles, grandes industrias, etc., ante la operación de las instalaciones (puesta en marcha de sistemas de climatización, rearmado de interruptores de protección ante disparos fortuitos, etc), normalmente estas operaciones que consisten en operar un elemento que se encuentra en una zona diferente a la zona que queremos restablecer o poner en servicio (figura 5), maniobras que en sí son sencillas, suponen un tiempo importante cuando el personal que debe hacer dicha maniobra (aun teniendo experiencia como técnico de mantenimiento), desconoce donde se encuentra dicho cuadro eléctrico, o la procedencia del cuadro aguas arriba del elemento a reponer (Está en otra zona, o se encuentra dentro de un patinillo técnico no identificado, o la válvula de maniobra está en una zona poco accesible y se ha manipulado en pocas ocasiones). Esta pérdida de operatividad (más evidente en entornos en los que el personal de mantenimiento suele estar subcontratado y suele variar la plantilla con relativa frecuencia), se muestra durante los primeros meses de acoplamiento de personal (Disminuye

cuando acumulan el conocimiento tácito por la experiencia en el sitio), suponen una pérdida importante para la empresa, no sólo por la falta de operatividad hasta el acoplamiento del personal, sino debido a la repercusión del tipo de fallo (mayor tiempo en reponer el servicio), y repercusión sobre el producto producido o servicio a prestar.

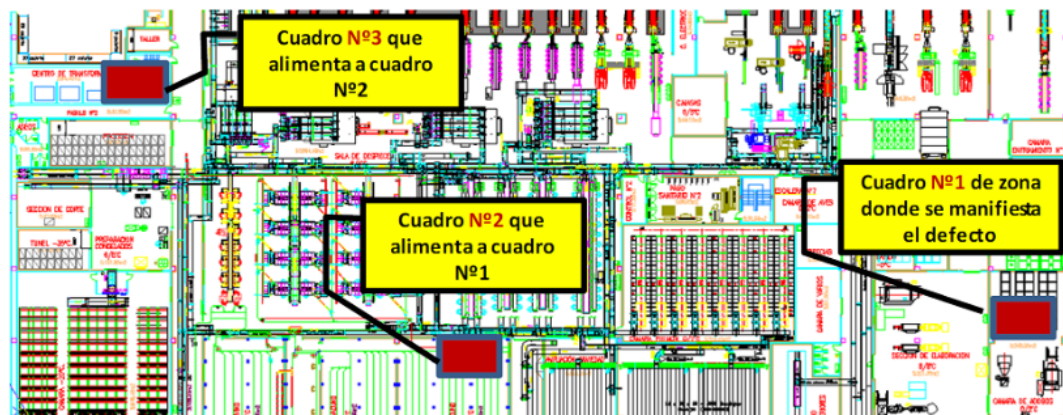


Figura 5. Cuadros eléctricos en una red radial en entornos de grandes superficies.

Fuente: elaboración propia.

Del análisis de casos expuestos se pueden inducir una serie de hipótesis, que planteen el desarrollo de investigaciones futuras:

- H1: La inadecuada gestión del conocimiento, en especial el tácito, induce como consecuencia un elevado tiempo de acoplamiento operativo del nuevo personal de mantenimiento.
- H2: La inadecuada gestión del conocimiento, en especial el tácito, induce como consecuencia un elevado tiempo de respuesta operativa ante fallos o maniobras de las instalaciones o equipos de la empresa.
- H3: La inadecuada gestión del conocimiento, en especial el tácito, induce como consecuencia un empeoramiento en la eficiencia energética de los sistemas de la empresa.

- H4: La inadecuada gestión del conocimiento, en especial el tácito, induce como consecuencia una disminución en la eficiencia en la mantenibilidad de los activos tangibles de la empresa.
- H5: La adecuada Gestión del Conocimiento por parte de la organización de mantenimiento, puede influir de manera positiva sobre la operatividad de la empresa y unión de equipos de trabajo.

En consecuencia, el futuro de una organización de mantenimiento estará condicionado según la idoneidad y pertinencia del conocimiento que las entidades de éste obtengan, generen, apliquen, apropien, difundan y exploten al resolver sus diversas problemáticas que constituyen las barreras para alcanzar su mayor eficiencia operativa, y disminución de la tasa de conocimiento tácito, presente en mayor medida entre el personal afecto a los servicios de mantenimiento, transformándolo en explícito.

4. CONCLUSIONES

Tras la descripción de un análisis de casos captados entre personal de mantenimiento de cinco empresas, donde se describen ejemplos claros de la repercusión del mantenimiento y su relación con el conocimiento que afectan a la eficiencia del servicio (y por tanto de la empresa), las principales contribuciones que se presentan en este artículo, en relación a la actividad de mantenimiento industrial, y su repercusión en el desempeño técnico y económico de la empresa en donde actúa dicho departamento, es visualizar y permitir entender la problemática del nivel de conocimiento tácito en las organizaciones de mantenimiento de las empresas, que se podrían resumir entre las siguientes:

- Es asumido tradicionalmente que dentro del personal de mantenimiento, el desempeño está basado en su propia experiencia, y conlleva un fuerte conocimiento tácito, difícil de explicitar por las empresas.
- La inadecuada transferencia del conocimiento, produce situaciones de ineficiencia, que afecta directamente sobre las acciones estratégicas de esas grandes infraestructuras.

- Ante renovaciones o sustitución de personal en las áreas de mantenimiento, se produce una ruptura de la línea del conocimiento, que produce mayores tiempos de acoplamiento y de actuación ante situaciones críticas. Este tiempo de acoplamiento puede variar según la complejidad de las empresas o instalaciones, y conlleva una pérdida económica para la empresa.
- Se debe estudiar la mejora del mecanismo de gestión del conocimiento en esta área técnica, como una herramienta estratégica de la empresa, visualizando y valorando la repercusión económica y de mejora de la eficiencia que ello produciría.
- Mediante este estudio de casos y ejemplos, permite a otros investigadores del área económica y del conocimiento, pero sin profundos conocimientos de ingeniería, entender y visualizar el problema fundamental y orientarlo desde una visión no sólo centrada en la ingeniería industrial.

La principal limitación de este estudio radica en que todos los miembros de las empresas entrevistados, tienen su área de trabajo en la Comunidad valenciana (España). El resultado podría ser extensible tanto a nivel nacional como internacional, dado que algunas de las empresas analizadas tienen presencia nacional como internacional.

Sería también conveniente continuar con la línea de investigación, realizando un análisis más profundo mediante técnicas de investigación cualitativas, teniendo en cuenta la relación de la gestión del conocimiento, en especial con sus misiones tácticas fundamentales.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del proyecto CONDAP "Habilidades digitales para mentores en el lugar de trabajo en aprendizajes del sector de la construcción" financiado por la Comisión Europea dentro de la Acción Clave 2: Cooperación para la innovación e intercambio de buenas prácticas, número de referencia 2018-1-UK01-KA202-048122. Así mismo, este trabajo se ha llevado a cabo en el marco del grupo de investigación PREDILAB, dentro de la investigación realizada en la Universidad de Castilla La

Mancha y titulada "Metodología y sistemas para la mejora del mantenimiento y la eficiencia energética en la rehabilitación y reutilización del patrimonio industrial. Fase 1 y 2.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghezzaf, E.H., Jamali, M.A., & Ait-Kadi, D.** (2007). An integrated production and preventive maintenance planning model. *European Journal of Operational Research*, 181, 679-685.
- Badia, F.G., Berrade, M.D., & Campos, C.A.** (2002). Optimal inspection and preventive maintenance of units with revealed and unrevealed failures. *Reliability Engineering and System Safety*, 78(1), 157-63.
- Cárcel, F.J., & Roldán, C.** (2013). Principios básicos de la Gestión del Conocimiento y su aplicación a la empresa industrial en sus actividades tácticas de mantenimiento y explotación operativa: Un estudio cualitativo. *Intangible capital*, 9(1), 91-125. <http://dx.doi.org/10.3926/ic.341>
- Cárcel-Carrasco, J., & Gómez-Gómez, C.** (2021). Qualitative analysis of the perception of company managers in knowledge management in the maintenance activity in the era of industry 4.0. *Processes*, 9(1), 121.
- Cárcel-Carrasco, J., & Cárcel-Carrasco, J. A.** (2021a). Analysis for the Knowledge Management Application in Maintenance Engineering: Perception from Maintenance Technicians. *Applied Sciences*, 11(2), 703.
- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Langa-Sanchis, J.** (2021b). Analysis of the effect of COVID-19 on air pollution: perspective of the Spanish case. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(27), 36880-36893.
- Cárcel-Carrasco, J., Cárcel-Carrasco, J. A., & Peñalvo-López, E.** (2020). Factors in the relationship between maintenance engineering and knowledge management. *Applied Sciences*, 10(8), 2810.

- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F.** (2021c). Analysis on the Effect of the Mobility of Combustion Vehicles in the Environment of Cities and the Improvement in Air Pollution in Europe: A Vision for the Awareness of Citizens and Policy Makers. *Land*, 10(2), 184.
- Cárcel-Carrasco, J., Peñalvo-López, E., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F.** (2021d). An Overview about the Current Situation on C&D Waste Management in Italy: Achievements and Challenges. *Buildings*, 11(7), 284.
- Cárcel-Carrasco, J., Peñalvo-López, E., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F.** (2021e). An Overview about the Current Situation on C&D Waste Management in Italy: Achievements and Challenges. *Buildings*, 11(7), 284.
- Cárcel-Carrasco, F. J., Roldán-Porta, C., & Grau-Carrión, J.** (2013a). La sinergia entre el diseño de planta industrial y mantenimiento-explotación eficiente. Un ejemplo de éxito: El caso Martínez Lorient SA. *DYNA: Ingeniería e Industria*, 88(6), 286-291.
- Cárcel-Carrasco, J., Pascual-Guillamón, M., & Salas-Vicente, F.** (2022). Composition of some metallic fragments found in food that are undetectable by magnetic or eddy currents equipment: A case study. *LWT*, 153, 112358.
- Martínez-Corral, A., Cárcel-Carrasco, J., Carnero, M. C., & Aparicio-Fernández, C.** (2022). Analysis for the Heritage Consideration of Historic Spanish Railway Stations (1848–1929). *Buildings*, 12(2), 206.

