

Gestión del mantenimiento y la industria 4.0

Maintenance management and industry 4.0

HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo^{†*}, MORÁN-BRAVO, Luz del Carmen, GALLARDO-NAVARRO, José Luis y SILVA-JUÁREZ, Alejandro

Universidad Tecnológica de Puebla, División de Mantenimiento Industrial, México

ID 1^{er} Autor: *Gustavo, Herrera-Sánchez* / ORC ID: 0000-0001-5276-5062, Researcher ID Thomson: F-6595-2018, arXiv ID Author: herreraagh, CVU CONACYT ID: 459805

ID 1^{er} Coautor: *Luz del Carmen, Morán-Bravo* / ORC ID: 0000-0002-7096-2075, Researcher ID Thomson: G-2686-2018, arXiv ID Author: XVRU3-JP9XUY, CVU CONACYT ID: 75419

ID 2^{do} Coautor: *José Luis, Gallardo-Navarro* / ORC ID: 0000-0001-7954-4905, Researcher ID Thomson: F-8798-2018, arXiv ID Author: GALLARDO#1, CVU CONACYT ID: 629796

ID 3^{er} Coautor: *Alejandro, Silva-Juárez* / ORC ID: 0000-0001-8473-9803, Researcher ID Thomson: F-6969-2018, arXiv ID Author: alejandrosilva1, CVU CONACYT ID: 637028

DOI: 10.35429/JOIE.2020.15.4.18.28

Recibido Julio 15, 2020; Aceptado Diciembre 30, 2020

Resumen

El estudio tiene como propósito explorar acerca de la gestión del mantenimiento en la industria 4.0 con sus características como la realidad virtual, digitalización de operaciones, conectividad, robotización, datos en la nube, automatización, big data, etc., todo ello para aumentar la productividad en el sistema ciber – físico. La metodología desarrollada es a través de enfoque cualitativo mediante un estudio exploratorio o de acercamiento analizando múltiples realidades subjetivas, derivadas de una minería de datos y búsqueda de bibliográfica. Para la gestión de mantenimiento, parece más adecuado el enfoque de mantenimiento proactivo y el predictivo para alcanzar el nivel 4 de automatización de la norma ISA 95. Con esta reflexión se busca contribuir a identificar los retos que las empresas deben resolver, en este caso en el área de mantenimiento utilizando la terotecnología, ya que esta, tiene un enfoque sistémico que considera los indicadores Efectividad Global del Equipo y CMD (Confiabilidad, Mantenibilidad y Disponibilidad) y las estructuras horizontal y vertical como sistemas en la fábrica digitalizada, siempre teniendo en cuenta al personal como elemento primordial para el éxito.

Industria 4.0, gestión del mantenimiento, Terotecnología

Abstract

The purpose of the study is to explore on maintenance management in Industry 4.0 with its characteristics such as virtual reality, digitization of operations, connectivity, robotization, data in the cloud, automation, big data, etc., all to increase productivity in the cyber - physical system. The methodology developed is through a qualitative approach through an exploratory or approach study analyzing multiple subjective realities, derived from data mining and bibliographic search. For maintenance management, it seems more appropriate the proactive and predictive maintenance approach to achieve standard ISA 95 level 4 automation. This reflection seeks to contribute to identifying the challenges that companies must solve, in this case in the maintenance area using terotechnology, since it has a systemic approach that considers the Overall Equipment Effectiveness and CMD indicators (Reliability, Maintainability and Availability) and the horizontal and vertical structures as systems in the digitized factory, always taking into account personnel as a key element for success.

Industry 4.0, Maintenance management, Terotechnology

Citación: HERRERA-SÁNCHEZ, Gustavo, MORÁN-BRAVO, Luz del Carmen, GALLARDO-NAVARRO, José Luis y SILVA-JUÁREZ, Alejandro. Gestión del mantenimiento y la industria 4.0. Revista de Ingeniería Innovativa. 2020. 4-15:18-28.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: herreraagh@yahoo.com.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

Las revoluciones industriales han traído grandes cambios en las sociedades, en los sistemas productivos, en los sistemas educativos, en los sistemas económicos, en los sistemas ambientales, entre otros. El área de mantenimiento es una consecuencia de las diferentes revoluciones industriales. Desde la primera revolución industrial (Baca U., y otros, 2014) con la máquina de vapor y la producción en masa, con la segunda revolución industrial con su administración integración vertical, la electricidad y sus partes intercambiables, la tercera revolución industrial con el uso de las computadoras y la electrónica, hasta la cuarta revolución industrial con el internet de las cosas, la inteligencia artificial, fabricas inteligentes (Ynzunza, y otros, 2017), entre otros. Últimamente, ya se está hablando de la quinta revolución industrial que tiene que ver con la singularidad tecnológica, ver figura 1.

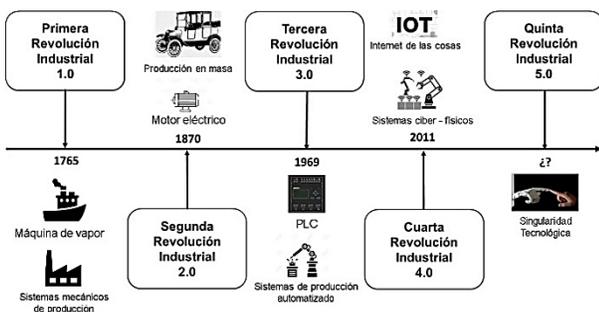


Figura 1 Línea de tiempo de la revolución industrial

Fuente: Elaboración propia

Las revoluciones industriales han tenido como resultados importantes el aumento de la productividad en los sistemas productivos, incremento del nivel de la calidad de los productos y servicios ofrecidos al cliente, mayores beneficios económicos a las empresas, sin embargo, también gran cantidad de recursos que se deben utilizar de manera racional, mayores capitales, una mano de obra con nuevos conocimientos, lo cual genera costos elevados.

Para mantener una alta productividad, uno de los elementos primordiales es un mantenimiento adecuado a los procesos productivo iniciando con el mantenimiento correctivo hasta el mantenimiento predictivo, el cual es un elemento importante para la industria 4.0 (Meraz, Lerma, & Corral, 2019).

Se han realizado diferentes estudios del mantenimiento en relación con la industria 4.0, entonces, surge la pregunta cómo gestionar el mantenimiento industrial en el contexto de la industria 4.0, que debe hacer el profesional del mantenimiento ante este nuevo contexto industrial.

Objetivo

El propósito de este estudio es explorar acerca de la gestión del mantenimiento en la industria 4.0 con sus características como la realidad virtual, digitalización de operaciones, robotización, datos en la nube, automatización, etc.

Metodología

Esta metodología tiene un enfoque cualitativo mediante un estudio exploratorio o de acercamiento (Rojas Soriano, 2010, 40) analizando múltiples realidades subjetivas, derivadas de conceptos de la industria 4.0 y búsqueda de fuentes bibliográfica acerca del tema.

Evolución del mantenimiento

Desde que la humanidad inventó diferentes herramientas para su supervivencia, fue necesario el mantenimiento a éstas. Éste sigue presente desde la primera revolución industrial hasta la cuarta revolución industrial y seguirá en las próximas. Los primeros sistemas formales de mantenimiento correctivo se desarrollaron en Estados Unidos de América a principios del siglo XX (Newbrough, Bracamonte, & Ramond, 1982). En la tabla 1, se observa la evolución del mantenimiento industrial (Mora G., 2006).

Mantenimiento e ingeniería de fabricas			
Etapa	Sucede aproximadamente	Orientación hacia...	Objetivo
1	Antes de 1950	Realizar acciones correctivas	Reparar fallas imprevistas
2	Entre 1950-1959	Aplicar acciones planeadas	Prevenir, predecir y reparar fallas
3	Entre 1960-1980	Establecer tácticas de mantenimiento	Gestionar y operar bajo un sistema organizado
4	Entre 1981-1995	Implementar una estrategia	Medir costos, CMD, comparar, predecir índices, entre otros
5	Entre 1996-2003	Desarrollar habilidades y competencias	Aplicar ciencia y tecnología de punta
6	Entre 2004-2010	Gestión y operación integral de activos	
7	2011 hacia adelante	Gestión de activos mediante nuevas tecnologías digitales: automatización, digitalización, robótica, ERP, entre otros.	

Tabla 1 Evolución del mantenimiento

Fuente: Elaboración propia con base en Mora G. (2006). Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios

Si definimos al mantenimiento como un conjunto de normas y técnicas establecidas para la conservación de la maquinaria e instalaciones de una planta industrial, para que proporcione mejor rendimiento en el mayor tiempo posible (Dounce V., 2014). De esta definición se derivan los siguientes enfoques.

En el mantenimiento industrial se utilizan diferentes enfoques (Seguridad Minera, 2019): el reactivo que entra en acción hasta que se produzca la falla en el activo y teniendo como una de sus principales características un tiempo muerto costoso; el preventivo que planifica sus rutinas en periodos sea necesario o no su aplicación; el predictivo conocido como mantenimiento basado en condición del activo para definir el desgaste o posible falla; el proactivo que utiliza el mantenimiento basado en la condición del equipo para encontrar la fuente de la falla y minimizar su efecto.

Por otra parte, el enfoque sistémico basado en la confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CMD) de los equipos para una adecuada gestión de los activos (Mora, 2013).

La terotecnología, con un enfoque logístico de crear valor en el servicio (Ballou, 2004) involucra el diseño del activo, su construcción, operación y mantenimiento asociado al costo de ciclo de vida para obtener una mayor eficiencia y eficacia teniendo un enfoque de negocios (Flores P., 2015).

En el panorama actual de la industria 4.0, es importante definir cuál enfoque de mantenimiento industrial es el que más coadyuva a los objetivos de esta revolución industrial.

Industria 4.0

Como un elemento disruptivo para incrementar la productividad surge la industria 4.0 y con beneficios (Martínez, De Juanes, Hernández, & Pérez, 2019) como incremento en la calidad de los productos y servicios, mayor flexibilidad, operaciones normalizadas, mejora continua, incremento en la competitividad, nuevas oportunidades del mercado, nuevos perfiles de puestos de trabajo, nuevos modelos de negocios, entre otros.

La industria 4.0 tiene como tecnologías (Basco, Beliz, Coatz, & Garnero, 2018) sistemas ciber – físicos de integración, máquinas y robots, internet de las cosas (IoT), impresión 3D, big data y análisis de macro datos, computación en la nube, simulación de entornos virtuales, inteligencia artificial, ciberseguridad, y realidad aumentada, entre las principales.

Para que todo esto sea posible, la digitalización y conectividad, de personas y objetos, son los componentes disruptivos para establecer la conexión máquina – máquina (M2M), peer – peer (P2P), máquina – persona (M2P), máquina – producto y producto – persona mediante teléfonos celulares inteligentes, computadoras, sensores, wearables, entre otros, ver figura 2.

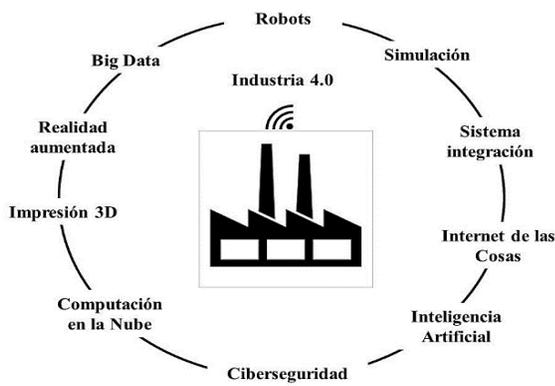


Figura 2 Industria 4.0 y sus tecnologías
 Fuente: Adaptación de AMETIC

Las fábricas inteligentes requieren de: la gestión del diseño de productos y sistemas productivos; la digitalización de la producción y del ciclo de vida del producto y de los activos; las comunicaciones y la ciberseguridad; nuevos modelos de organización y de gestión. Con estos elementos se estará integrando un sistema ciber – físico (Lizarraga, 2018), que se define como un mecanismo dotado de capacidades de computación y de comunicación que los convierten en objetos inteligentes con capacidad para cooperar entre ellos formando ecosistemas distribuidos y autónomos con la finalidad de aumentar la productividad y ser competitivos en un mundo global.

Las plantas del futuro o fabricas 4.0 desarrollan los siguientes temas: la gestión del diseño de productos y sistemas productivos; la digitalización de la producción y todo el ciclo de vida del producto; las comunicaciones industriales y su ciberseguridad; un nuevo modelo de organización y de gestión (Martínez, De Juanes, Hernández, & Pérez, 2019). Todo lo anterior mediante la big data en la computación en la nube y la ciberseguridad, en consecuencia, con la realidad aumentada y realidad virtual e internet de las cosas, la impresión 3D que da pie a fabricar lo que la empresa necesite en tiempo y forma, ver figura 3.

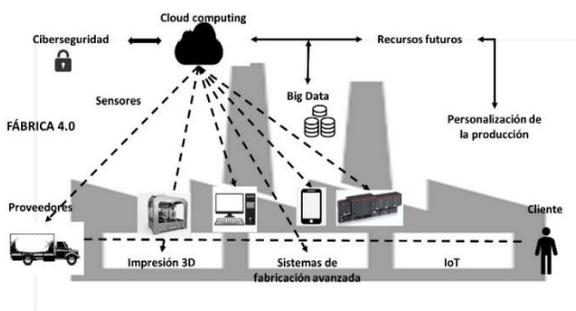


Figura 3 La fábrica del futuro 4.0
 Fuente: Adaptación de MOOC Industria 4.0

Por otro lado, la fábrica del futuro 4.0 debe alcanzar un nivel de automatización de nivel 4 de acuerdo con la norma ISA – 95 (Salinas, 2017) para el desarrollo de las interfaces entre la Planificación de los Recursos de la Empresa (ERP) y los Sistemas de Ejecución de Manufactura (MES) y la Manufactura Integrada por Computadora (CIM), ver figura 4.



Figura 4 Los niveles de automatización
 Fuente: Adaptación de Norma ISA - 95

Este nivel 4 de automatización permite que por medio de un ERP se planifique todos los recursos necesarios de semanas a días, en el nivel 3 mediante un MES se planifiquen, optimicen y administren los planes de la planta en horas, en el nivel 2 la automatización, control de procesos avanzados en minutos, en el nivel 1 análisis estadístico y rectificación del control básico en segundos, en el nivel 0 medición y detección, monitoreo en tiempo real. En los diferentes niveles se manejan los datos pertinentes a cada uno de ellos, por ejemplo, en el nivel 4 métricas de la empresa, tales como ventas, finanzas, recursos humanos, entre otros KPI's.

Los procesos son diversos e involucran a diferentes elementos en una fábrica, que se deben integrar, entonces, el concepto de integración alineado a la industria 4.0 se divide en integración horizontal e integración vertical. El primero se refiere a toda cadena productiva: desde proveedores hasta clientes. El segundo, integra las funciones a ser desarrolladas dentro de la fábrica.

Otro aspecto importante en la industria 4.0 es el sistema ciber – físico que busca la integración vertical y horizontal en la cadena de valor (Neri, 2019), como se mencionó anteriormente, con la comunicación máquina – máquina (M2M), máquina – internet, máquina – persona (M2P), entre otras.

La integración horizontal son las actividades primarias como operación, ventas, logística, etc., se tienen que optimizar y coordinar en tiempo real para que la cadena de valor sea óptima. En consecuencia, las actividades secundarias, en las cuales se incluye al mantenimiento, también deben ser optimizadas y coordinadas en tiempo real que es la integración vertical de la cadena de valor, véase figura 5.

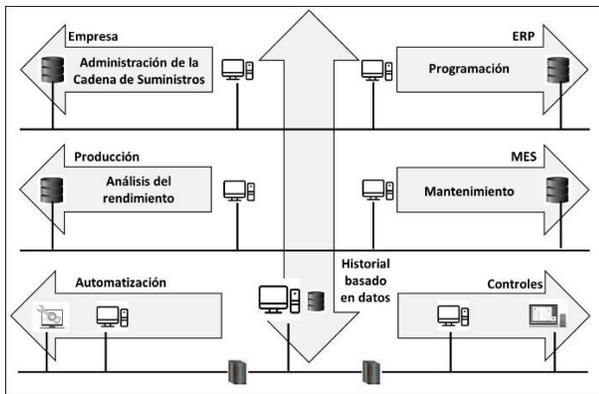


Figura 5 Integración horizontal y vertical Industria 4.0
Fuente: Adaptación de MOOC Industria 4.0

De la integración horizontal entre producción y mantenimiento, la incidencia en la fase de diseño del sistema ciber – físico es primordial en la puesta en marcha, pero también va a tener gran impacto en la fase de implementación, éste sistema permitirá intercambiar datos en todo momento con el sistema real, lo que permitirá obtener información relevante, que mejorará los modelos empleados en sucesivos desarrollos, pero sobre todo mejorar tareas propias de la implementación como la gestión automatizada del mantenimiento (Martínez, De Juanes, Hernández, & Pérez, 2019), y el aumento de eficiencia a todos los niveles del sistema real en operación y derivado de esto, aumento en la productividad de la fábrica digital 4.0.

El mantenimiento en las industrias 4.0 es una parte fundamental de un sistema integrado adaptándose a los objetivos de aumentar la eficiencia y eficacia de los recursos, por ende, aumento de la productividad. El mantenimiento predictivo trabaja con circuitos lógicos programables (PLC) para la medición y análisis de datos mediante sensores para anticipar los fallos potenciales de los equipos productivos.

Con el Internet de las Cosas (IIoT) se incorpora el aprendizaje automático y la tecnología de big data para la comunicación de datos constantemente, advirtiendo rápidamente a las empresas sobre ineficiencias y evitando costosas fallas (Navas, 2015). Es la tendencia actual y futura del mantenimiento en la industria 4.0 (Segovía, 2019).

Gestión del mantenimiento

La función de mantenimiento es incrementar la confiabilidad de los sistemas de producción por medio de actividades, tales como planeación, organización, control y ejecución de métodos de conservación de los equipos, y sus funciones van más allá de las reparaciones.

Otro factor que ha acompañado a las revoluciones industriales es la gestión de las áreas de las empresas. La gestión empresarial se refiere a la toma de decisiones (Hernández, 2011) con los conceptos claves de: planificar, organizar, dirigir y controlar. Entonces, el concepto de gestión se relaciona con la dirección de empresas, aplicada a un sistema técnico y social cuya función básica es crear bienes o servicios que contribuyan a elevar el nivel de la humanidad a través de trabajadores manuales y del conocimiento, según Peter Drucker (Rivera, 2006).

En mantenimiento es necesario reconocer dos aspectos básicos: gestión y operación. El primero concerniente al manejo de los recursos, a su planificación y su control, mientras que el segundo se refiere a la relación física del servicio de mantenimiento. Para implementar este proceso sistémico se requiere establecer una organización que permita gestionar el sistema de mantenimiento, de tal forma que se pueda tener una planificación detallada y específica de las rutas y actividades del mantenimiento por realizar en las máquinas críticas.

La misión principal de mantenimiento es garantizar que las máquinas y equipos de la empresa estén disponibles cuando lo requiera el cliente o usuario. Con la mayor confiabilidad en el tiempo solicitado para la operación.

Con las velocidades requeridas, en las condiciones técnicas y tecnológicas exigida previamente por el demandante, para producir bienes y servicios que satisfagan sus necesidades, deseos o requerimientos. En los niveles de calidad, cantidad y tiempos solicitados, en el momento oportuno al menor costo posible y con los mejores índices de productividad, desperdicios, rechazos, productos conformes, costo de producción, costo de mantenimiento y con ello, contribuir a elevar la competitividad de la empresa para optimizar su rentabilidad.

Como resultado de la gestión de mantenimiento, se origina el Plan Maestro de Mantenimiento (PMM), con el cual se planifican y programan rutinas de mantenimiento preventivo a las máquinas críticas del sistema productivo. Para esto, se requiere establecer niveles de criticidad en las máquinas y equipos, diseñar y aplicar rutinas de mantenimiento preventivo y predictivo, planificar y organizar los recursos necesarios de acuerdo con el presupuesto asignado y necesidades del plan maestro de producción (PMP).

Es importante señalar que las rutinas de mantenimiento preventivo y predictivo del PMM requieren fuentes de información como: las instrucciones del fabricante; instrucciones genéricas y experiencia de los técnicos del área; análisis de fallas que se pretenden evitar (García, 2020).

Para el control del PMM, los indicadores de mantenimiento son el instrumento de medición y mejora. Estos miden la utilización de los recursos de manera racional y el logro de objetivos: disponibilidad, tiempo medio entre fallas (TMEF), tiempo medio para reparar la falla (TMPR), tiempo medio para fallar (TMPF) mantenibilidad, confiabilidad, gestión de órdenes de trabajo (OT), costos, tipos de mantenimiento aplicado, inventarios de refacciones y suministros, capacitación, principalmente. Todo es buscando un equilibrio entre los beneficios esperados y costo del mantenimiento.

Un indicador que involucra a producción y mantenimiento es la Efectividad Global de Equipos, OEE, por sus siglas en inglés (Overall Equipment Effectiveness), que representa la capacidad real para producir sin defectos, el rendimiento del proceso y la disponibilidad de los equipos y necesita de información diaria del proceso que sea veraz, oportuna y verificable, su cálculo es mediante la siguiente ecuación:

$$EEO = D * R * C \tag{1}$$

Donde:

D = disponibilidad de la maquinaria

R = Rendimiento de producción

C = calidad

Los resultados del EEO se muestran en la tabla 2. Actualmente, es complicado para una empresa estar en el nivel de excelente

EEO, %	Variación	Descripción
0-64	Deficiente	Se producen importantes pérdidas económicas. Muy baja competitividad.
65-74	Regular	Es aceptable solo si se está en proceso de mejora, pérdidas económicas y baja competitividad.
75-84	Aceptable	Debe continuar la mejora para alcanzar la excelencia, ligeras pérdidas económicas y competitividad aceptable.
95-94	Bueno	Esta en valores de una empresa de clase mundial, buena competitividad.
95-100	Excelente	Empresa de clase mundial, alta competitividad.

Tabla 2 Valores de EEO
Fuente: Adaptación de FullFact.com

El OEE es una métrica de valoración comparativa, que permite ser utilizado para evaluar los diferentes componentes del proceso de producción y mantenimiento, más aún, es un indicador apropiado al momento de medir los avances reales en 5S, Lean Manufacturing, Kaizen, TPM y Six Sigma (Salazar, 2019).

Discusión

El mantenimiento industrial en las industrias 4.0 debe ser diferente a cómo se está realizando en la actualidad en la mayoría de las empresas debido al enfoque correctivo y preventivo en las PYMES y enfoque preventivo y predictivo en las grandes empresas. Debe generarse un cambio en las técnicas de mantenimiento y en las actitudes y aptitudes de los técnicos.

Iniciaremos la discusión con las nuevas estructuras de la industria 4.0 que son vertical y horizontal. Producción y mantenimiento siempre han sido socios en los sistemas productivos, puede ser que haya cierto antagonismo entre estas áreas, sin embargo, su labor depende una de otra, si una obtiene buenos resultados, la otra en consecuencia también. Entonces, es prioritario que su trabajo sea colaborativo integrando el PMM con el PMP, tanto en el ERP como en el MES. De esta forma el aprendizaje entre ambas áreas será relevante y enfocado hacia el logro de la industria 4.0.

En este sentido, el recurso humano para mantenimiento debe tener características, habilidades y conocimientos acerca del dominio de estas tecnologías disruptivas más los conocimientos propios del área de mantenimiento. Los lenguajes de programación, machine learning, internet industrial de las cosas (IIoT), análisis de datos, estadística industrial, comunicación virtual, son algunos de los temas que deben conocer y dominar.

En esta industria 4.0, la digitalización es el elemento disruptivo del trabajo, quienes mejor se adapten a este entorno laboral cambiante serán quienes adopten una mentalidad de flexibilidad, innovación y conocimiento. Para el año 2020, el 45 por ciento de la población activa serán trabajadores del conocimiento, como resultado de la revolución digital (Guerrero, 2017). Esto origina a los knowmads, nómadas del conocimiento, término acuñado por Moravec para los trabajadores nómadas del conocimiento y la innovación:

“persona caracterizada por ser innovadora, imaginativa, creativa, capaz de trabajar en colaboración con casi cualquier persona, en cualquier momento y lugar, (Moravec & Cobo, 2011).”

Además de eso, el enfoque de mantenimiento proactivo es la investigación de las causas raíces que llevan al fallo, para aumentar la fiabilidad a través de la reingeniería de los activos, y la reducción de la gestión del mantenimiento a través de la reingeniería de activos, métodos, procesos y sistemas a su alcance (Tavares, 2010). El enfoque de Mantenimiento predictivo se refiere a los servicios de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componentes de equipos críticos por medio de análisis de síntomas o estimación mediante evaluación estadística, supervisión del funcionamiento y determinación del punto exacto del cambio (Dounce V., 2014). Se considera que estos enfoques son apropiados para la fábrica inteligente.

La industria 4.0 debería adoptar los enfoques de mantenimiento proactivo y la terotecnología, ya que esta última, se fundamenta en el enfoque sistémico y además, está relacionada con las especificaciones, el diseño para la confiabilidad y mantenibilidad de equipos, maquinaria, edificios y estructuras, a la puesta en marcha de máquinas, a la conservación y servicio, a las modificaciones, a las ampliaciones y al reemplazo de los equipos; así como a la retroalimentación de información sobre el diseño, desempeño y costos de maquinaria, es decir, todo el costo de ciclo de vida del activo (Mora, 2013).

La terotecnología también involucra los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (CDM) y el costo de ciclo de vida del activo y algunas normas internacionales que coadyuvan a su implementación como la Norma Británica BS 3811 y la norma ISO 50000, Gestión de Activos.

Las tecnologías que se utilizan para lograr el nivel 4 de automatización de acuerdo con la ISA 95, implica el dominio, los conocimientos y la aplicación de las tecnologías de la industria 4.0, por parte de los técnicos de mantenimiento. El área de mantenimiento por lo menos debería estar en el nivel 3 de automatización, MES.

La integración vertical y horizontal van a recolectar gran cantidad de datos, big data, en tiempo real y estarán depositados en la nube, cloud computing, su análisis, interpretación y toma de decisiones, que se espera que este proceso de toma de decisiones sea automático y llevado a cabo por robots colaborativos, llamados cobots.

Entre las tecnologías de la industria 4.0 la realidad virtual y realidad aumentada nos dan un ejemplo muy interesante que ya se empieza a utilizar en la actualidad es el empleo del sistema ciber – físico para la gestión del mantenimiento preventivo. La realidad aumentada es una tecnología que permite superponer datos o imágenes físicas, con datos del modelo del gemelo digital, el cruce de datos en este momento se usa simplemente a modo de diagnóstico, pero en un futuro muy cercano servirá para sentar la base de actuación en la resolución de problemas, o incluso automatizar la toma de decisiones sobre medidas para mejorar la eficiencia en los procesos de mantenimiento (Martínez, De Juanes, Hernández, & Pérez, 2019).

Por otro lado, la integración horizontal al nivel más bajo del modelo de Industria 4.0, va a depender fuertemente del desarrollo y la implantación de estándares de comunicación de máquina a máquina (M2M). El propósito de esto es compilar datos para su procesamiento y evaluación. En este punto, OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) ya se ha utilizado y será aún más común en el futuro como una arquitectura general para garantizar el intercambio de información necesario entre los fabricantes y, para garantizar la interoperabilidad de los diversos componentes (Montoya, 2019). Esto indica que se deberán fortalecer los protocolos de comunicación para el big data, comunicación en la nube, ERP, MES, entre otros.

La implantación de estándares abiertos como OPC UA, así como el desarrollo de nuevos estándares pensados específicamente para soportar la Internet Industrial de las Cosas (IIoT), van a contribuir de manera decisiva a recoger y compartir los datos de la planta de manera ordenada y eficaz, permitiendo su posterior integración vertical, para análisis y procesamiento.

Es de especial interés toda esta comunicación M2M para la gestión del mantenimiento en la industria 4.0. Por lo tanto, la ciber seguridad también es un factor clave para mantener seguros los datos y evitar corrupciones o robo de datos.

Las actividades de producción y mantenimiento son evaluadas de diferentes formas, como se mencionó líneas arriba. De acuerdo con el indicador OEE, las empresas solo deben producir (Ferrer, 2018) piezas de acuerdo con los requerimientos de calidad, lo más rápido posible y sin tiempo de inactividad, entonces el valor del indicador clave (KPI) es 100%, que es lo que se aspira en la industria 4.0. En el mercado existen varias empresas que ofrecen Smart OEE, OEE inteligente, como Sistemas OEE con clientes como Florette, Dantza, Tasubinsa, entre otros (Sistemas OEE, 2020) que han mostrado resultados alentadores.

Actualmente, el área de mantenimiento debe tener herramientas que permitan que sus procesos sistematizados estén integrados, para suministrar información confiable y oportuna para el desarrollo de la gestión y la toma de decisiones acertadas. Existen software para la gestión del PMM conocidos como Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO) o CMMS (Computerized Maintenance Management System).

El sistema debe trabajar con datos compartidos e interrelacionados, lo que permite que la información fluya en las estructuras horizontal y vertical en tiempo real. Los datos ingresados y almacenados en la base de datos una sola vez deben estar disponibles para cualquier usuario que tenga acceso al sistema. Hay software como EEO Toolkit 8 Entry de la empresa FullFact que su producto tiene características esenciales para la industria 4.0 como data confiable, escalabilidad, fácil integración con ERP, CMMS, Control Estadístico del Proceso, entre otras. Este tipo de software son la tendencia integrarse a los MES y ERP.

Los indicadores CMD deben ser integrados a los GMAO y como consecuencia, a los MES y ERP. Por ejemplo, el caso análisis de indicadores de gestión CMD en el desarrollo de software de mantenimiento para vehículos livianos (Cuaical, Buenaño, & Moreno, 2019), es una evidencia de la integración de los datos de la maquinaria para evaluar y mejorar su operación y como resultado aumentar su productividad.

Finalmente, la gestión del mantenimiento tendrá un cambio radical en su forma de trabajar, las grandes y medianas empresas tienen los recursos para convertirse a corto y mediano plazo en industria 4.0 asimilando los conocimientos y tecnologías de esta con una clara visión de los beneficios de la industria 4.0. Mientras que las MIPES tienen un gran reto para migrar de su enfoque correctivo – preventivo a un enfoque proactivo.

Agradecimiento

Este estudio en gran parte se debe al apoyo de la División de Mantenimiento de la Universidad Tecnológica de Puebla para el Cuerpo Académico Calidad y Productividad.

Conclusiones

Si partimos de del estudio realizado por el Foro Económico Mundial, el 88% de las organizaciones aún no entienden las implicaciones de la Industria 4.0 para sus modelos de negocio (Arrieta, 2017), entonces, aún hay un camino largo para recorrer para la gran mayoría de las empresas y la gestión del mantenimiento también.

Sin embargo, desde nuestro punto de vista, el futuro la gestión del mantenimiento es a través de los enfoques predictivo y proactivo, el uso de GMAO para generar PMM inteligentes en las estructuras vertical y horizontal, la comunicación M2M. Ya también se habla de los GMAO 4.0 o inteligentes por medio de interfaces. Las interfaces entre los diferentes sistemas de información en toda la estructura de la fábrica inteligente deberán ser eficientes y eficaces para que la comunicación fluya de manera adecuada.

Por otro parte, es importante el personal de mantenimiento por que ellos serán los decisores en las acciones a desarrollar en el sistema de mantenimiento, deben ser trabajadores de conocimiento y knowmad, pues esta visión de nómada del conocimiento e innovación, los llevaran a conservar y mantener el servicio de la maquinaria. Además, hay que considerar a los robots colaborativos, como trabajadores manuales y de conocimiento.

El enfoque técnico – económico de la terotecnología que involucra desde el diseño del activo hasta su reemplazo, es decir, el costo de ciclo de vida del activo hace adecuado su incrustación en la industria 4.0 para tener un mantenimiento de clase mundial.

Por último, la industria 5.0 con sus características de singularidad tecnológica y donde el ser humano es el elemento principal y el robot, el colaborador. Lo único cierto, es que como en todo lo único segura es el cambio en las empresas.

Referencias

- Arrieta, E. (8 de Noviembre de 2017). *Diez empresas que lideran la industria 4.0*. Obtenido de Expansión. Economía Digital: <https://www.expansion.com/economia-digital/innovacion/2017/11/08/59f8a85922601d1b458b4618.html>
- Baca U., G., Cruz, M., Cristobal, M. A., Baca C., G., Gutiérrez, J. C., Pacheco, A., . . . Obregón, M. (2014). *Introducción a la Ingeniería Industrial*. México: Grupo Editorial Patria.
- Ballou, R. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. México: Pearson Educación.
- Basco, A. I., Beliz, G., Coatz, D., & Garneró, P. (2018). *Industria 4.0 Fabricando el Futuro*. Buenos Aires: Banco Interamericano de Desarrollo.
- Cuaical, B., Buenaño, L. F., & Moreno, L. (2019). Análisis de indicadores de gestión CMD en el desarrollo de software de mantenimiento para vehículos livianos. *Revista Científica FIPCAEC Vol. 4 Núm. 4, ISSN 2588-090X*, 145-170.

- Dounce V., E. (2014). *La productividad en el mantenimiento industrial*. México: Grupo Editorial Patria.
- Ferrer, J. M. (3 de Diciembre de 2018). *De la industria digital a la industria 4.0*. Obtenido de 480: <https://cuatroochenta.com/de-la-industria-digital-a-la-industria-4-0/>
- Flores P., A. (2015). Terotecnología: Generadora de riqueza y fiabilidad en la industria-experiencia en la industria. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería, Vol.2 No.5 ISSN-En línea: 2410-3454, 273-279*.
- García, S. (3 de Mayo de 2020). *Formas de elaborar un plan de mantenimiento*. Obtenido de Renovetec: <http://mantenimiento.renovetec.com/plan-de-mantenimiento>
- Guerrero, M. (4 de Septiembre de 2017). *Trabajadores del conocimiento en la industria 4.0*. Obtenido de Kaizen, mejora continua: <https://manuelguerrerocano.com/trabajadores-de-conocimiento/>
- Hernández, H. (2011). La gestión empresarial, un enfoque del siglo XX, desde las teorías administrativas científica, funcional, burocrática y de relaciones humanas. *Escenarios • Vol. 9, No. 1, Enero-Junio*, 35-51.
- Lizarraga, J. (2018). *Introducción a la Industria 4.0. Conceptos básicos y ejemplos prácticos*. Vitoria Gasteiz: Mondragon Unibertsitatea.
- mantenimiento, L. p. (2014). *Dounce Villanueva, Enrique*. México: Grupo Editorial Patria.
- Martínez, M. L., De Juanes, J., Hernández, J. C., & Pérez, J. M. (2019). *MOOC - Industria 4.0. Nosotros y las tecnologías para la industria del futuro*. Madrid: Miriadax Universidad Politécnica de Madrid.
- Meraz, M., Lerma, C., & Corral, G. (2019). La Industria 4.0 en el Mantenimiento Industrial. *Revista de Ingeniería Industrial. Vol.3 No.7 ISSN 2523-0344, 17-24*.
- Montoya, D. (10 de Julio de 2019). *La comunicación M2M revolucionará la industria*. Obtenido de Logística. Revista Énfasis: <http://www.logisticamx.enfasis.com/articulos/83912-la-comunicacion-m2m-revolucionara-la-industria>
- Mora G., A. (2006). *Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios: enfoque sistémico kantiano*. Antioquia, Colombia: AMG.
- Mora, A. (2013). *Mantenimiento. Planeación, ejecución y control*. México: Alfaomega.
- Moravec, J., & Cobo, C. (2011). *Aprendizaje invisible. hacia una nueva ecología de la educación*. Barcelona: Transmedia XXI.
- Navas, M. (Abril de 2015). *El internet industrial de las cosas*. Obtenido de National Instruments: https://www.redeweb.com/ficheros/articulos/ni_1628283324.pdf
- Neri, J. (18 de Agosto de 2019). *Integración vertical y horizontal de sistemas en la industria*. Obtenido de IMEPI: <https://imepi.com.mx/industria-4-0-integracion-vertical-horizontal/>
- Newbrough, E., Bracamonte, M., & Ramond, A. (1982). *Administración del mantenimiento industrial: organización, motivación, y control en el mantenimiento industrial*. México: Diana.
- Rivera, J. (2006). Management y Liderazgo en Peter Drucker. *Capital Humano, N° 195, 38-44*.
- Rojas Soriano, R. (2010, 40). *Guía para realizar investigaciones sociales. Primera tirada octava impresión*. México: Plaza y Valdés, S.A. de C.V.
- Salazar, B. (4 de Noviembre de 2019). *Eficiencia Global de los Equipos (EEO)*. Obtenido de Ingeniería Industrial Online.com: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-mantenimiento/eficiencia-global-de-los-equipos-oe/>

Salinas, J. L. (26 de Septiembre de 2017). *Estándar ISA 95: Integración de los Sistemas de Control Empresarial*. Obtenido de InTech México Automatización: <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2017/09/26/estandar-isa-95-integracion-de-los-sistemas-de-control-empresarial/>

Segovía, J. (19 de Agosto de 2019). *Mantenimiento e Industria 4.0*. Obtenido de EADIC: <https://www.eadic.com/mantenimiento-e-industria-4-0/>

Seguridad Minera. (19 de Febrero de 2019). *Seguridad Minera*. Obtenido de <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/cuatro-enfoques-basicos-de-mantenimiento/>

Sistemas OEE. (5 de Mayo de 2020). *Casos de éxito*. Obtenido de Sistemas OEE: <https://www.sistemasoe.com/clientes/#casos-de-exito>

Tavares, L. (2010). *Administración moderna del amntenimiento*. Brasil: Novo Polo Publicações.

Ynzunza, C., Izar, J., Larios, M., Aguilar, F., Bocarando, J., & Acosta, Y. (2017). Implicaciones de la industria 4.0 en el trabajo y la competencia del capital humano. *Revista de Tecnología e Innovación Marzo 2017 Vol.4 No.10 5-13*ISSN-2410-3993, 5-13.

.