

## Tendencias de la gestión de los activos y el mantenimiento predictivo en la industria 4.0: Potencialidades y beneficios

YNZUNZA, Carmen †\*, IZAR, Juan †, LARIOS, Martín †, AGUILAR, Felipe †, BOCARANDO, Jacqueline † y ACOSTA, Yuliana †

†Universidad Tecnológica de Querétaro

†Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Recibido Abril 09, 2017; Aceptado Junio 08, 2017

### Resumen

La Industria 4.0 es una iniciativa tecnológica producto del desarrollo de tecnologías de la información emergentes y otras, como el Internet de las cosas (IoT), el Internet de los Servicios (IoS), el cómputo en la nube, el cómputo móvil, el Big data, los sistemas ciberfísicos, etc., y su integración a las tecnologías de la fabricación, con resultados significativos en la productividad, competitividad y en la cadena de valor. Asimismo, en la gestión de los activos y la producción. Por otro lado, una de las funciones primordiales del mantenimiento es maximizar la disponibilidad de los activos, a través de diversas técnicas, entre ellas algunas predictivas que permitan anticipar las fallas y reducir los tiempos muertos en las instalaciones de manufactura, por lo que, el uso de estas tecnologías para monitorear y determinar el estado de los equipos "en tiempo real" representa un enorme potencial para optimizar el mantenimiento, alargar la vida de los activos y alcanzar un mayor retorno sobre la inversión. De ahí, que el objetivo de este estudio sea explorar las Tendencias hacia el Mantenimiento Predictivo y la Gestión de los Activos en la Industria 4.0, sus potencialidades y beneficios. La contribución principal del mismo es aportar elementos para su conocimiento y aplicación, al igual que presentar una visión general sobre los cambios que resultarán de esta transformación tecnológica. En la realización de este trabajo, se siguió el enfoque planteado por Webster y Watson, (2002) respecto de la revisión de literatura para identificar la investigación más relevante y rigurosa almacenada en bases de datos reconocidas en la Web of Science and Google Scholar. Como resultados principales, se identificaron las potencialidades de la Industria 4.0 para el mantenimiento y la gestión de los activos, las diferencias entre el mantenimiento predictivo tradicional y bajo la industria 4.0; así como los beneficios asociados. Se concluye sobre la importancia de difundir estas tecnologías y sensibilizar a los empresarios sobre la necesidad de adoptar tempranamente las mismas para la mejora no solo del mantenimiento, sino sobre todo para la supervivencia y competitividad de sus organizaciones.

**Industria 4.0, Cuarta Revolución Industrial, Mantenimiento Predictivo**

### Abstract

Industry 4.0 is a technological initiative resulting from the potential that can be achieved through the development of emerging information technologies and others, such as the Internet of Things (IoT), the Internet of Services (IoS), cloud computing, mobile computing, Big Data, cyberphysical systems, etc., and their integration in the manufacturing technologies, with significant results in the value chain, productivity and competitiveness of organizations. On the other hand, it has sought on maintenance through various predictive techniques, anticipate failures and reduce downtime in manufacturing facilities, so the use of these technologies to monitor and determine the state of the equipment "in real time" represents an enormous potential to optimize maintenance, maximize the life of fixed assets and reach a better return on assets investment. Therefore, the objective of this study is to explore the Maintenance Predictive and Asset Management Trends in Industry 4.0, its potentialities and benefits. Its main contribution is to provide elements for its knowledge and application, as well as presenting an overview of the changes that will result from this technological transformation. In this work, we followed the approach proposed by Webster and Watson, (2002) regarding the literature review to identify the most relevant and rigorous research stored in databases recognized in the Web of Science and Google Scholar. As main results, potentials of Industry 4.0 for predictive maintenance and asset management were identified; as well as the changes and benefits that Industry 4.0 will bring to maintenance and assets management. The differences between traditional and Industry 4.0 predictive maintenance techniques were also pointed out; It concludes on the importance of disseminating the knowledge of these technologies and raising the awareness of entrepreneurs about the need to adopt them early, for the improvement not only of maintenance but for the survival and competitiveness of their organizations.

**Industry 4.0, Fourth Revolution, Predictive Maintenance**

**Citación:** YNZUNZA, Carmen, IZAR, Juan, LARIOS, Martín, AGUILAR, Felipe, BOCARANDO, Jacqueline y ACOSTA, Yuliana. Tendencias de la gestión de los activos y el mantenimiento predictivo en la industria 4.0: Potencialidades y beneficios 2017. 4-11: 30-43

\*Correspondencia al Autor:(Correo Electrónico: bynzunza@uteq.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

**Introducción**

El desarrollo tecnológico a lo largo del tiempo ha tenido un impacto significativo en los sistemas de fabricación y por supuesto en el mantenimiento. Primeramente, en la manufactura, con la máquina de vapor y la mecanización de los procesos, luego con la producción en masa, la automatización y la robótica; y más recientemente, con la que ha sido llamada “Industria 4.0” y es considerada como la Cuarta Revolución Industrial. Debido a sus potencialidades y a los beneficios asociados con la integración, innovación y autonomía de los procesos, que es posible lograr a través de ella y sus tecnologías.

Por otra parte, está el mantenimiento, en un inicio meramente reactivo o correctivo, el cual consistía en reparar las fallas conforme se presentaban o llevar a cabo un mantenimiento planeado que garantizará el funcionamiento de los activos productivos.

La detección temprana de una avería o el cambio anticipado de un componente con alto potencial de falla en una máquina, dieron paso al mantenimiento preventivo, el cual se basa en la realización de inspecciones periódicas para anticipar la falla. Esto último, de acuerdo a un programa de mantenimiento y parámetros de operación previamente establecidos.

El monitoreo periódico de estos parámetros propició el desarrollo del mantenimiento predictivo al hacer uso de tecnologías predictivas como la termografía, la alineación láser, el análisis de vibraciones, el balanceo dinámico y el análisis de lubricantes, etc., para diagnosticar el estado real de los equipos de producción y asegurar las intervenciones de mantenimiento antes de que fallas se presenten (Zhen et al, 2010).

Se sabe que un mantenimiento óptimo prolonga la vida de los activos, garantiza su funcionamiento, la seguridad y un mejor desempeño, lo que incide en la confiabilidad y productividad. También, que la falta de una gestión óptima o una actividad de mantenimiento inadecuada pueden causar daños a los activos y al medio ambiente e igualmente poner en riesgo a las personas que los operan, mantienen o laboran en la planta y de igual forma, generar gastos innecesarios. De ahí, que exista un creciente interés por el desarrollo de nuevas técnicas que asistan a la gestión y el quehacer del mantenimiento y contribuyan a un uso más eficiente de los recursos, la reducción de los costos y a incrementar los niveles de producción; aunado a que la efectividad y eficiencia de la función de mantenimiento tiene un papel significativo en el desempeño de la empresa (Macaulay, 1988; Teresko, 1992).

También, es un hecho que las técnicas actuales de mantenimiento (reactivas y correctivas), no satisfacen totalmente las necesidades de los empresarios, debido a la presencia de paros no planeados y al deterioro anticipado de los equipos, por lo que las empresas buscan implementar nuevas estrategias de mantenimiento que les permitan alcanzar mayores niveles desempeño (Telang, 1998; Swanson, 2001).

Bajo esta perspectiva, el uso de técnicas predictivas de mantenimiento se ha incrementado en las últimas décadas debido a la disponibilidad, y accesibilidad de las tecnologías asociadas y a los beneficios que se han atribuido a las mismas relacionados con el tiempo de vida de los activos; la reducción de piezas de reemplazo, los costos de mano de obra, energía entre otros. Asimismo, como resultado del desarrollo de nuevas estrategias de mantenimiento (preventivas y predictivas), (Nguyen et al, 2008; Nabaidaca, 2012).

Hasta ahora, los equipos de mantenimiento predictivo se han utilizado, por ejemplo, para monitorear los rodamientos, medir la vibración, el ruido, la temperatura, etc., con el fin de detectar y anticipar fallas, identificar las condiciones reales de operación y evitar el reemplazo de componentes que todavía tienen una vida útil (Orhan et al, 2006; Debray et al, 2004; Bogard et al, 2002). También, para una gestión más eficiente de los activos, dado que se ha encontrado una conexión entre ésta y el mejoramiento de la eficiencia y rentabilidad, razón por la cual, la gestión del mantenimiento y el monitoreo de los equipos asume un papel importante en la productividad y competitividad de las empresas (Casttejon, et al, 2006).

Aunado al hecho de que los responsables del mantenimiento tienen que decidir, por ejemplo, entre maximizar la vida útil de un componente con riesgo de que la máquina pare, o intentar alargar el tiempo de operación mediante el reemplazo anticipado de piezas mucha veces aún en buen estado, o incluso en algunos casos recurriendo al conocimiento y experiencia previa para anticipar la ocurrencia de falla y actuar proactivamente (Deloitte, 2017).

Desde esta perspectiva, el mantenimiento basado en condición ha sido la estrategia de mantenimiento más efectiva, pero también la de mayor costo.

Sin embargo, a través del uso de tecnologías de la Industria 4.0, como el sensado inteligente, puede mejorarse e igualmente facilitar la integración de nuevas capacidades y servicios de valor agregado en los equipos por parte de los fabricantes (Ferreira, 2016). Bajo este entorno, es posible contar con tecnologías digitales y una nueva generación de activos, en los cuales se han integrado, sensores, sistemas ciberfísicos y capacidades de comunicación que facilitarán el mantenimiento basado en las condiciones reales de uso.

También, que los datos que puedan ser enviados, procesados y almacenados en medios físicos o virtuales. Y que mediante el monitoreo y análisis de estos datos sea posible determinar la probabilidad de falla, predecir el paro y eficientar la gestión del mantenimiento (Deloitte, 2017).

Además, que a través de estas nuevas tecnologías, las empresas puedan tener un mayor conocimiento sobre las operaciones de los equipos, los procesos de gestión y fabricación; para la toma de decisiones y el establecimiento de estrategias de actuación. Por lo cual, el objetivo de investigación es explorar el entorno de la Industria 4.0 y las tecnologías asociadas y evaluar sus implicaciones en la gestión de los activos y el mantenimiento predictivo. Para lo cual, se analizan las investigaciones y publicaciones relacionadas con el campo de la Industria 4.0 y se identifica como soporta ésta el mantenimiento predictivo.

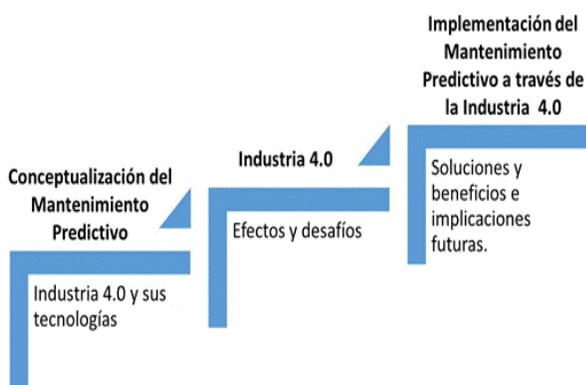
Para lo cual, se plantean las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué es la Industria 4.0? ¿Qué tecnologías se asocian a la Industria 4.0? ¿Cómo se relaciona la Industria 4.0 con la gestión de los activos y el mantenimiento predictivo? y ¿Cuál es su potencial y beneficios futuros?

### **Metodología**

La metodología que se llevó a cabo para esta investigación se describe brevemente a continuación. Primeramente, se hizo la revisión de bibliografía sobre Industria 4.0 siguiendo el enfoque propuesto por Webster y Watson, (2002), el cual consiste en identificar la investigación más relevante y rigurosa almacenada en bases de datos reconocidas para asegurar la calidad y veracidad de los artículos revisados. Se exploraron diversas definiciones sobre Industria 4.0 y las tecnologías asociadas con el fin de conceptualizar la misma.

De igual manera, se hicieron algunas aproximaciones sobre el estado actual de éstas y se analizó la relación de la Industria 4.0 con el mantenimiento predictivo. Específicamente, cómo a través de esta plataforma tecnológica soportada por la automatización, los sensores, sistemas ciberfísicos y el Internet de las cosas (IoT) es posible contar con máquinas inteligentes capaces de comunicarse, monitorearse y automantenerse. También, el Internet de los Servicios, ha hecho posible la prestación de servicios inteligentes de fácil costo y acceso que facilitan el procesamiento, análisis y almacenamiento de los grandes volúmenes de datos generados de los equipos y en la planta.

Los temas referenciados fueron ampliamente estudiados y explorados considerando sus potencialidades y beneficios. Con base en el análisis realizado en el apartado de resultados se presentan algunos esquemas que sintetizan los componentes de la Industria 4.0 y del Mantenimiento Predictivo. Asimismo, se elaboraron algunos cuadros comparativos donde se plasman las características de las máquinas inteligentes; y las diferencias y beneficios del mantenimiento predictivo con métodos tradicionales y bajo el entorno de la Industria 4.0. La Figura 1 esquematiza la metodología realizada para la formulación del presente trabajo.



**Figura 1** Aproximación metodológica

Fuente: *Elaboración propia*

## Resultados

Los hallazgos encontrados se presentan a continuación. En los mismos, se detalla la conceptualización existente en la literatura revisada sobre la Gestión de Activos y el Mantenimiento Predictivo. En un segundo momento, se exhibe el soporte teórico y tecnológico sobre el que se sustenta la Industria 4.0. y, finalmente, se expone el impacto que tendrá la Industria 4.0 en el Mantenimiento Predictivo enfatizando las diferencias existentes entre las técnicas tradicionales y bajo la Industria 4.0 para el mantenimiento predictivo y la gestión de activos.

### La gestión activos y el mantenimiento predictivo

Respecto de la gestión de activos, se encuentra que es una tarea compleja que comprende, además, de las acciones para dirigir a la gente y que los activos sean mantenidos, la gestión de los sistemas de control, aunado al establecimiento de estrategias para realizar estas actividades en coordinación con el área de producción (Gouws y Trevelyan, 2006), con el objetivo único de optimizar el rendimiento de los activos, minimizar su costo y brindar mejores servicios. Y, un proceso de gestión apropiado, que además de otras actividades vinculadas con la producción, incluye el mantenimiento y reparación, así como el proceso para la disposición de los activos dañados, obsoletos o innecesarios; el registro y la emisión de reportes sobre el estado de los activos, al igual que el monitoreo y evaluación de los mismos para futuras decisiones de inversión (Baez, 2004).

El proceso incide en la disponibilidad de los activos y asegura a la empresa un mayor retorno sobre la inversión, dado que su mayor valor está en maximizar el uso de los activos, prevenir gastos innecesarios y proveer una capacitación adecuada para la realización óptima de las actividades de mantenimiento.

Bajo esta perspectiva, en la gestión de activos, los sistemas de información asumen un rol predominante, ya que por ejemplo, para la implementación de un programa de mantenimiento basado en condición o predictivo, se requiere que los datos sean colectados, procesados y analizados para la toma de decisiones relacionadas con el establecimiento de políticas eficientes de mantenimiento (Jardine, et al., 2005).

Por lo anterior, se considera fundamental, la integración de tecnologías al proceso, como los sistemas informáticos y el desarrollo de bases de datos que garanticen que los datos estén disponibles y sean confiables.

Al mismo tiempo, a través de estas herramientas de software se facilita la automatización del proceso y el acceso a datos de valor acerca de los activos gestionados (Baez 2004) para la planeación de las actividades de mantenimiento periódicas y el establecimiento de acciones que anticipen el riesgo de daños potenciales, como resultado de un diagnóstico, historial o patrón de comportamiento que antecede a una probable condición de falla.

Los sistemas de información para la gestión del mantenimiento (MMS) o para la planeación de los recursos empresariales (ERP) son recursos importantes para la gestión y junto con otras tecnologías como las de sensado (inteligente) y análisis de datos (en la nube), cada vez más poderosas y accesibles, potencializan el que cada vez más empresas implementen programas de mantenimiento basados en condición o predictivos, soportando todo ello, en estas nuevas tecnologías, en una toma de decisiones óptima y en una planeación efectiva de los recursos humanos y materiales (Jardine et al, 2005).

Así, el mantenimiento predictivo es considerado como una técnica que permite monitorear y evaluar la operación de los equipos mediante la detección de “síntomas”, como la vibración, el calentamiento, ruido, cambios en la presión, etc., que comúnmente se presentan durante la operación (Saranga, 2002).

Su objetivo es incrementar la disponibilidad de los equipos de proceso, prolongar la vida útil, asegurar la seguridad y la reducción de los costos de mantenimiento (Saranga, 2002; Carnero, 2005; Savsar, 2006). Este tipo de mantenimiento enfatiza la función del estado real de los componentes de la máquina a través de un diagnóstico correcto; y busca que la ejecución de las operaciones de mantenimiento se lleve a cabo de forma oportuna antes de que el equipo se deteriore, durante la operación de producción ahorrando así tiempo y dinero (Castejon, et al, 2006; Zhen, 2006).

Las técnicas de diagnóstico y las herramientas necesarias para la aplicación de un programa de mantenimiento predictivo se seleccionan de acuerdo a criterios específicos y su uso ha facilitado la toma de decisiones para la gestión del mantenimiento y ha favorecido al desarrollo de técnicas de predicción (Carnero, 2005; Savsar, 2006). En éstas, es posible tomar en cuenta los diferentes tipos de equipos para los procesos de la planta, las recomendaciones de los fabricantes y la experiencia de los usuarios con equipos similares (Mobley, 1990; Shikary et al, 2010). También, se halla que el mantenimiento predictivo, con frecuencia hace referencia al mantenimiento basado en condición (CBM), el cual es posible gracias a la toma de mediciones “externas” con equipo portátil, las que son procesadas posteriormente con algún software especializado; mientras que la evaluación de la condición de los equipos en tiempo real, hace uso de sensores embebidos (Velmurugan and Dhingra, 2015).

Los datos que se generan sobre el mantenimiento se utilizan para detectar las fallas y conocer la condición de los equipos, principalmente para estimar la efectividad global de los equipos (OEE) con el objetivo de reducir desperdicios y mejorar la gestión de la producción. Actualmente, muchos programas de mantenimiento predictivo aplican métodos novedosos para el monitoreo y diagnóstico de los equipos, por ejemplo, la termografía para detectar calentamientos.

Entre las ventajas del mantenimiento predictivo se señalan: la reducción del número de paros no programados, lo cual comprende la interrupción de la producción y altos costos de mantenimiento; la disminución de los intervalos entre las acciones de mantenimiento y la prolongación del tiempo de vida de los equipos resultado de la detección y corrección de las fallas (Nabadaica et al., 2012). Sin embargo, también se sabe que el uso de estas técnicas predictivas “externas” requiere: además de una fuerte inversión en los equipos, un alto nivel de especialización y competencia por parte de los técnicos de mantenimiento y en algunos casos esto incluye el conocimiento sobre el manejo de otras herramientas “manuales” y estadísticas; por ejemplo, para graficar patrones de comportamiento, etc. En consecuencia, los sistemas de información y análisis han venido a apoyar el proceso de gestión y facilitar el que las organizaciones puedan contar con información oportuna sobre el estado de sus activos, las condiciones de falla, los costos, mano de obra y otros, lo que sin duda alguna ha contribuido a la gestión de los activos y la implementación de estrategias para optimizar su uso.

### Industria 4.0

Con relación a Industria 4.0, se encuentra que el concepto fue acuñado en Alemania en 2011 para hacer referencia a una política económica basada en estrategias de alta tecnología (Mosconi, 2015).

La Industria 4.0 representa un enfoque novedoso para la creación de nuevos productos y procesos a través de fábricas inteligentes, totalmente integradas en redes de trabajo a lo largo de la cadena de valor, que dan lugar a nuevas formas de colaboración, donde el internet de las cosas, de la gente y de los servicios forman parte de la estructura de soporte para la construcción de las actividades de valor agregado que permiten a las empresas responder y adaptarse rápidamente a los cambios del entorno (Kagerman et al, 2014).

La industria 4.0 describe una producción orientada a los sistemas ciberfísicos (CPS) que integran las instalaciones de producción, los sistemas de almacenamiento y logística, así como al establecimiento de redes de trabajo para la construcción otras capacidades (Riedl et al., 2014; Zhang et al, 2014; Frazzon 2013).

Esta iniciativa está marcada por la automatización de los procesos, la digitalización de los sistemas de información y producción, el uso de las tecnologías de la electrónica, las tecnologías de la información emergentes y por las capacidades de interacción e intercambio de información (entre máquinas y humanos) para el monitoreo y control de los procesos (Sommer, 2015; Lasi, et al., 2014; Ning y Liu, 2015; Cooper y James, 2009; Almada, 2016; Schlechtendahl et al., 2015). Igualmente, por el desarrollo de tecnologías para la simulación, la impresión 3D, la ingeniería inversa, etc. (Sommer, 2015).

Aunque, la Industria 4.0 está aún en desarrollo, ha sido conceptualizada por algunos, como una maquinaria física y dispositivos con sensores y software que trabaja en red, que puede ser utilizada para predecir, controlar y planear mejor los negocios y los resultados organizacionales (Consortium II, 2013).

O como un nivel de la cadena de valor y gestión de la organización a través el ciclo de vida de los productos o un término empleado para hacer referencia al uso de las tecnologías digitales en la fabricación (Henning et al., 2013; Hermann, et al., 2015). La idea nuclear en torno a ella, es el uso de tecnologías de la información emergentes para implementar el internet de las cosas y de los servicios para que los procesos de negocio e ingeniería estén totalmente integrados y la producción opere de forma flexible, eficiente y sustentable con una alta calidad y a un bajo costo (Wang, et al, 2016).

La visión de la Industria 4.0 es el surgimiento de fábricas inteligentes caracterizadas por redes de trabajo inteligentes, movilidad, flexibilidad, integración de clientes y nuevos modelos de negocios (Jazdi, 2014). Entre las tecnologías asociadas a la misma, se refieren la simulación de los procesos de producción, la fabricación aditiva, los sistemas de integración horizontal y vertical, la ciberseguridad, la realidad aumentada, el computo en la nube, los robots autónomos y por supuesto, el internet industrial de las cosas, el Big Data y Analytics (Rüßmann, et al, 2016). También, se señalan las tecnologías sociales, los sistemas ciberfísicos, los dispositivos móviles, las plataformas tecnológicas y los servicios en línea (Fundación Coteq, 2015; Deloitte AG, 2014; Council of Advisors on Science and Technology Report, 2010).

No obstante, que no existe un consenso al respecto, el internet de las cosas, el cómputo móvil, el cómputo en la nube y el Big data parecen ser las tecnologías más importantes, ya que de ellas depende que la capacidad de cómputo sea escalable; que los servicios que se presten puedan ser accesados globalmente vía Internet y que se cuente con las plataformas de soporte para la creación de nuevos procesos, productos y modelos de negocio (Schmidt et al, 2015).

A través del IoT los CPS pueden interactuar entre sí y con los humanos en tiempo real; el internet de los servicios (IoS) facilita el ofertar éstos y que puedan ser utilizados por todos los que interactúan dentro de la cadena de valor (Hermann, 2016). Mientras, que el Big data, el cómputo en la nube y la inteligencia artificial son facilitadores de la Industria 4.0 y junto con la automatización industrial forman parte de las tecnologías que están transformando totalmente la manufactura; contribuyen a su mejoramiento (Kagermann, 2014; Wang et al., 2016).

También, a que las empresas pueden contar con procesos totalmente automatizados e interconectados, los cuales facilitan el flujo de información, la descentralización de la manufactura, la creación de procesos de manufactura avanzada, la toma de decisiones y un enfoque hacia las competencias nucleares que agregan valor a las organizaciones (Bloom, et al., 2012; Chryssolouris, et al., 2009), incidiendo en la innovación de productos y procesos; la creación de fábricas inteligentes y el surgimiento de nuevos modelos de negocio (Lasi et al., 2014).

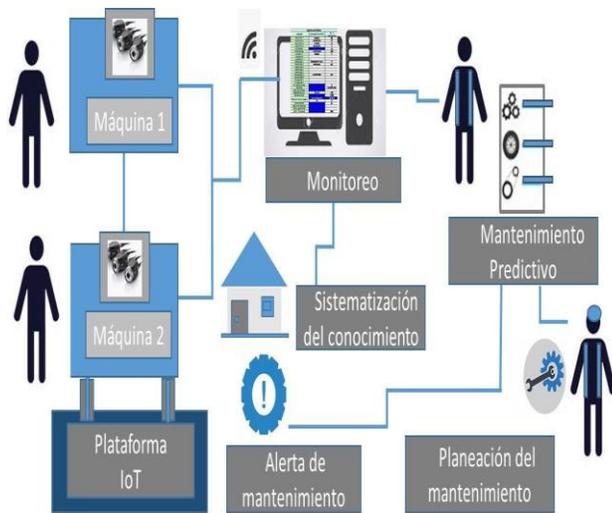
En el entorno de la Industria 4.0, las fábricas son inteligentes, están conscientes del contexto, son soportadas por sistemas ciberfísicos y el Internet de las Cosas, cuentan con altos niveles de automatización y optimización para asistir a la gente y máquinas en la ejecución de las diversas tareas relacionadas con la manufactura (Schlick, 2014; Romero.2016; Lucke et al, 2008) y otras como el mantenimiento.

Estas fábricas, también están integradas por máquinas inteligentes, con mecanismos de aprendizaje capaces de interactuar con su medio ambiente de forma autónoma; predecir y corregir situaciones probables de falla, es decir autodiagnosticarse, autogestionarse y automantenerse (Jain et al., 2007).

**Mantenimiento predictivo en la Industria 4.0**

Los sistemas ciberfísicos, sensores y microprocesadores que las componen, al igual que las tecnologías de inteligencia artificial para el análisis de grandes volúmenes de datos y sistemas de monitoreo (Wang, 2016; Dutton, 2014) facilitan el diagnóstico de degradación y probabilidad de falla (Hashemian, 2011) así como, la planeación del mantenimiento en función de las condiciones reales de uso de los equipos, lo que evitará las paradas de producción imprevistas y redundará en una mayor productividad.

Dicho de otro modo, en las fábricas inteligentes, las máquinas y sus dispositivos simplificarán el monitoreo continuo de la condición de los equipos durante la operación y el uso de estos datos para la predicción y gestión del mantenimiento. Tomando en cuenta, estos antecedentes, en la Figura 2 se esquematiza el entorno y componentes bajo los que yace la Industria 4.0 y su vínculo con el mantenimiento.



**Figura 2** El Entorno de la Industria 4.0 y el mantenimiento

*Fuente: Elaboración propia*

Una de las áreas más prominentes de aplicación para las tecnologías del IoT es la industria inteligente, donde los sistemas de producción, las máquinas e instalaciones de producción están interconectadas y son referidas bajo el termino Industria 4.0 (Wortmann & Fluchter, 2015), la cual considera la integración de un amplio rango de tecnologías de la información y comunicación en la forma de hardware y software (Wortmann & Fluchter, 2015). Una característica importante de la fábrica inteligente, es la integración vertical y los sistemas de fabricación en red para la producción inteligente. También, lo es el desarrollo de dispositivos inteligentes (capaces configurarse y optimizarse) que permiten el flujo de comunicación entre máquinas, humanos y productos; al igual que el procesamiento y análisis de datos, favoreciendo así una producción más flexible y eficiente (Wang et al., 2016; (Lee et al., 2014).

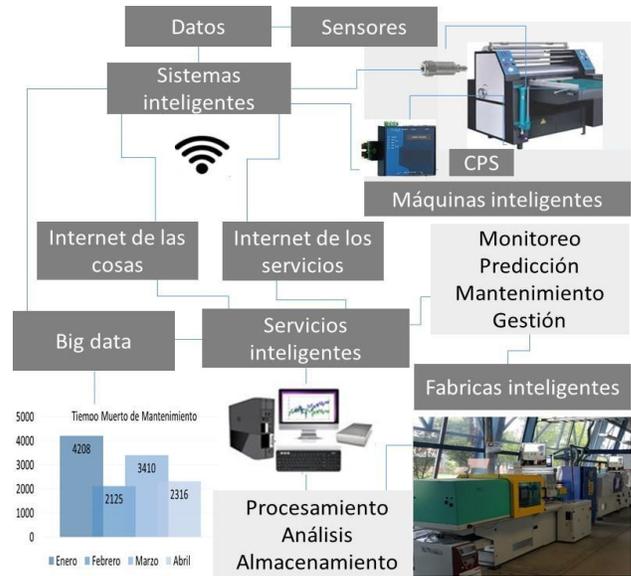
Las tecnologías IoT permiten también que los dispositivos puedan ser accedidos a nivel global y que las máquinas sean controlables vía remota (Kartlum, 2011). Bajo esta perspectiva, los sistemas ciberfísicos fortalecen la implementación de programas de mantenimiento predictivo, ya que hacen facilitar el que se pueda contar con información en tiempo real y capacidades predictivas (Lee y Bagheri, 2015). Igualmente, los dispositivos y sensores inteligentes han sido el medio idóneo para monitorear los activos productivos, los cuales en combinación con otras herramientas para la gestión del mantenimiento asistido por computadora y sistemas inteligentes para la predicción de fallas han hecho posible el anticipar los paros de producción para que los componentes de una máquina puedan ser reparados o reemplazados. Sin duda alguna, el desarrollo de sensores inteligentes ha facilitado la colección de los diferentes tipos de datos.

Mientras que, las tecnologías de comunicación inalámbricas han sido una solución viable, efectiva y de bajo costo para el intercambio de información (Austerlitz, 2003; Kirianaki, et al., 2002).

Es gracias a estos desarrollos tecnológicos, que las empresas pueden tener hoy un mayor acceso a la información para la toma de decisiones, emitir reportes de los incidentes en tiempo real; analizar los datos recolectados, por ejemplo para conocer el estado de los motores, determinar su nivel de degradación y planear las tareas de mantenimiento o el reemplazo de los activos. También, han favorecido las actividades de diagnóstico y predicción, mediante el desarrollo de tecnologías y modelos para el procesamiento, análisis de datos y la toma de decisiones, haciendo uso, tanto de datos históricos sobre la instalación, los paros; las causas y acciones de mantenimiento (reparaciones mayores menores o mayores), así como otros relacionados con el tiempo de vida de los componentes, las condiciones de uso y manutención de los equipos. En virtud de ello, es manifiesto el creciente interés de los gerentes (de mantenimiento) de recurrir cada vez más al uso de sistemas de mantenimiento soportados en el uso sensores inteligentes y software de evaluación de datos para anticipar el mantenimiento, reducir los tiempos muertos y los costos asociados.

La inclusión de este conjunto novedoso de tecnologías de sensado, monitoreo de condición, análisis predictivo y sistemas de distribución también han favorecido, el que se puede llevar a cabo y proveer asistencia técnica remota basada en el monitoreo continuo y al mismo tiempo contar con soporte de mantenimiento a distancia (Ferrero, et al, 2016). A la par de otras tecnologías de la información emergentes como lo son el internet de las cosas y de los servicios que están incidiendo fuertemente en la generación y prestación de servicios en la nube asociados con el mantenimiento y otros.

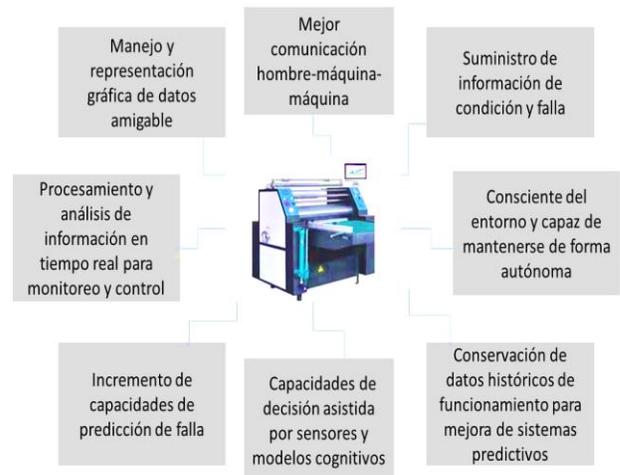
La Figura 3 resume los componentes principales de la Industria 4.0. que soportan las fábricas inteligentes.



**Figura 3** Componentes de la Industria 4.0 en la fábrica inteligente

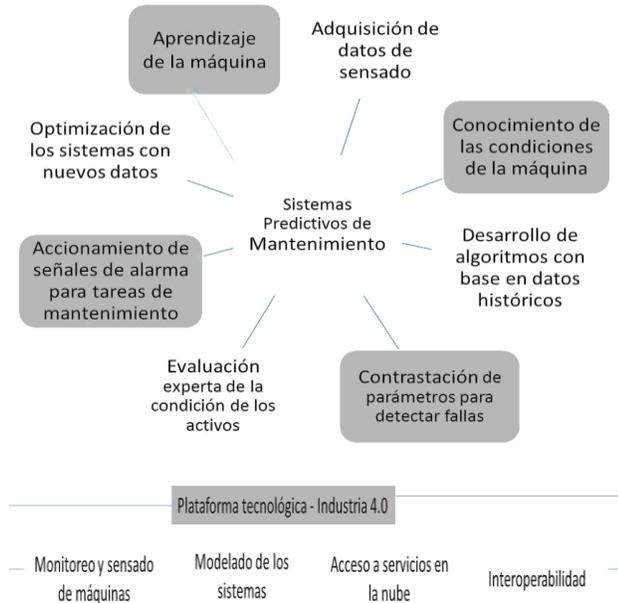
Fuente: *Elaboración propia*

Bajo estas consideraciones y respaldado en el análisis de las mismas, en las Figuras 4 y 5 se detalla el impacto que se considera tiene la Industria 4.0 en las llamadas máquinas inteligentes y en los sistemas predictivos de mantenimiento.



**Figura 4** El impacto de la Industria 4.0 en las máquinas

Fuente: *Elaboración propia*



**Figura 5** El impacto de los sistemas predictivos en el mantenimiento

Fuente: Elaboración propia con base en Ferreira, 2016

La Tabla 1 exhibe algunas de las principales diferencias encontradas entre las técnicas de mantenimiento predictivo tradicionales y en la Industria 4.0. Mientras que, en la Tabla 2 se muestran algunos de las potencialidades y beneficios que se generarán para el mantenimiento y la empresa a través de la Industria 4.0.

Mantenimiento tradicional	Mantenimiento en la Industria 4.0
Diagnóstico y monitoreo basado en condición.	Monitoreo predictivo soportado en sistemas conscientes del contexto, autónomos y con capacidades para compararse, autodiagnosticarse y automantenerse.
Inspección periódica y toma de múltiples mediciones para determinar la probabilidad de falla.	Determinación de probabilidad de falla con base en historial, diagnóstico y mantenimiento basado en condición.
Experiencia de los trabajadores de mantenimiento para aplicar técnicas predictivas	Sistematización del conocimiento y aprendizaje para la realización de análisis predictivos.

Uso de equipos predictivos externos para la generación de datos sobre el estado de los activos	Máquinas integradas con sensores inteligentes y sistemas embebidos capaces de generar datos sobre el estado de los activos.
Determinación de la probabilidad de falla con base en el diagnóstico y monitoreo continuo.	Uso de modelos y técnicas de inteligencia artificial para determinar la probabilidad de falla.
Conocimiento y manejo de técnicas y herramientas estadísticas complejas para el análisis de las mediciones y predicciones de falla	Sistemas en línea capaces de procesar y analizar los datos y hacer predicciones de falla.
Toma de mediciones para procesamiento posterior con ayuda de software.	Procesamiento de las mediciones en tiempo real a través de sistemas inteligentes.
Inspección física como técnica de monitoreo.	Monitoreo a distancia a través de la virtualización de los procesos.

**Tabla 1** Diferencias en el mantenimiento predictivo bajo un sistema tradicional y en la Industria 4.0

Fuente: Elaboración propia

Mantenimiento	Empresa
Incremento del desempeño de los activos	Mayor eficiencia de producción
Reducción de tiempos muertos por paros y fallas	Disponibilidad de los activos para producción
Mejor planificación del mantenimiento	Aumento de la eficiencia global de los activos
Maximización del uso de los activos	Incremento del retorno sobre la inversión de los activos
Mejor interacción hombre-máquina	Mejoramiento de la seguridad, comunicación y productividad
Reemplazo de componentes cuando es necesario	Uso más eficiente de los recursos
Mejoramiento de las capacidades predictivas	Optimización de la gestión del mantenimiento
Análisis avanzado de datos en tiempo real	Mejora la toma de decisiones y la intervención del mantenimiento
Monitoreo, rastreabilidad y control de los activos	Gestión de activos más eficiente
Uso de servicios en la nube	Menor inversión en hardware y software
Aumento en la vida útil de los equipos	Mayor disponibilidad de información para la toma de decisiones

**Tabla 2** Beneficios y Potencialidades para el Mantenimiento y la Empresa en la Industria 4.0

Fuente: Elaboración propia con base en Deloitte, 2017

**Discusión y conclusiones**

Los hallazgos presentados evidencian la existencia de un vínculo positivo entre el mantenimiento y la Industria 4.0. La adopción de estas tecnologías aporta soluciones a muchas de las problemáticas que enfrentan las empresas en el área de mantenimiento relacionadas con la inversión en equipos predictivos, las necesidades de capacitación del recurso humano para el manejo y aplicación de técnicas predictivas; la asignación de recursos para las tareas de inspección; los tiempos de paro producto del mantenimiento y la adquisición de componentes críticos en ocasiones innecesarios, etc.

De igual forma, resuelve los problemas asociadas con la modelación estadística para el análisis de datos de mantenimiento con fines de predicción, etc. y la necesidad de información oportuna para una gestión óptima y el reemplazo de los activos.

Por otro lado, la adopción de estas tecnologías evidencia que el adoptar la Industria 4.0 trae enormes beneficios a las empresas no solo en la manufactura sino en el desempeño de los activos, la prolongación de su vida útil y el retorno sobre la inversión de los activos. A la par de aquellos asociados con la productividad, la toma de decisiones y el desempeño organizacional.

Tanto la fabricación como el mantenimiento se mejoran significativamente a través de las tecnologías asociadas a la Industria 4.0. Por lo que, es de esperar, que conforme avance el desarrollo tecnológico de los sistemas ciberfísicos, sensores inteligentes, controladores y otros relacionados, aunado a nuevas aplicaciones de las tecnologías de la información y comunicación en la fabricación y el mantenimiento se multiplicarán las potencialidades y alcances de la Industria 4.0.

Asimismo, el surgimiento de nuevos servicios vinculados a la Industria 4.0, como aquellos para el manejo y análisis de grandes volúmenes de los datos alojados en la nube, que permitan monitorear los equipos desde cualquier parte del mundo y contribuyen a mejorar la actuación del mantenimiento.

Sin embargo, aún y cuando se cuenten con todos estos y otros beneficios, un aspecto importante a considerar estará relacionado con la capacidad de los fabricantes para desarrollar sistemas que consideren los niveles de desgaste de los equipos con base distintas condiciones de operación, probables fallas y actividades de mantenimiento; asimismo, esquemas de retroalimentación y monitoreo que permitan optimizar el aprendizaje, la predicción y el diagnóstico.

Se concluye con la importancia que tiene el desarrollo de las tecnologías de información emergentes como el Internet de las Cosas y de los servicios para la digitalización de los procesos de producción, la interconexión de máquinas, la analítica avanzada, el monitoreo basado en condición y por supuesto el aprendizaje de las máquinas. También, la necesidad de incluir los requerimientos de ciberseguridad en la interconexión de los sistemas informáticos.

Al igual que, el incremento en la competencias del personal de las empresas para trabajar con sistemas electrónicos inteligentes y el manejo de grandes volúmenes de datos. Como áreas futuras de investigación está profundizar en el conocimiento de los modelos de predicción y sistemas de aprendizaje basados en inteligencia artificial y manejo de grandes volúmenes de datos usando técnicas de analítica avanzada.

Ello permitiría encontrar correlación de variables "insospechadas" (por ejemplo, grados de desgaste de una máquina contra altitud sobre el nivel del mar o materiales de fabricación vs. partículas de polvo suspendidas en el aire, entre otras muchas) que generen aprendizaje impactante en la predictibilidad del mantenimiento.

## Referencias

- Austerlitz, H. (2003). *Data Acquisition Techniques using PCs*. Academic Press.
- Baez, M. (2004). *New fixed assets management process design for Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra (PUCMM)*. Thesis. Rochester Institute of Technology. Accessed from <http://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1540&context=these>.
- Bloom, N., Sadun, R., & Van Reenen, J. (2012). Americans do I.T. better: US multinationals and the productivity miracle. *American Economic Review*, 102, 167-201.
- Bogard, F., Debray, K., Guo, Y.Q. (2002). Determination of optimum sensor positions for defect detection on revolving machines by a Finite Element vibration analysis, *Int J Solids Struct*, 39 (12) 2002, p. 3159-3173.
- Carnero, M.C. (2005). Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program. A case study, *Decision Support Systems*, 38 (4), 539 - 555.
- Chryssolouris, G., Mavrikios, D., Papakostas, N., Mourtzis, D., Michalos, N. y Georgoulas, K. (2009), *Digital manufacturing: history, perspectives, and Outlook*. *Proc. IMech. E.*, 223 (5), 451-462.
- Coleman, Ch., Damadaran, S. y Deuel, D. (2017). *Predictive maintenance and smart Factory*. Deloitte.
- Debray, K., Bogard, F., Guo, Y. Q. (2004). Numerical vibration analysis on defect detection in revolving machines using two bearing models. *Archive of Applied Mechanics*, 74 (1 – 2), 45 - 58.
- Dutton, H. (2014). *Putting things to work: Social and policy challenges for the internet of things*. *Info*, 16, 1-21.
- Ferreiro, S., Konde, E., Fernández, S. y Prado, A. (2016). *Industry 4.0: Predictive Intelligent Maintenance for Production Equipment*. European Conference of the Prognostics and Health Management Society, 1-8.
- Gouws L., Trevelyan J. (2006) *Research on Influences on Maintenance Management Effectiveness*. In: Mathew J., Kennedy J., Ma L., Tan A., Anderson D. (eds) *Engineering Asset Management*. Springer, London.
- H. M. Hashemian, H. y Bean, W. (2011). State-of-the-Art Predictive Maintenance Techniques. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, 60 (10), 3480-3492.
- Hermann, M., Pentek, T. y Otto, B. (2016). Design principles for Industrie 4.0 scenarios. 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) IEEE, 3928-3937.
- Jain, L., Quteishat, A., y Peng, Ch. (2007). *Intelligent Machines: An Introduction*, *Studies in Computational Intelligence*. SCI, Springer, 70, 1-9.
- Jardine, A., Lin, D. y Banjevic, D., (2006). Review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 20 (7), 1483-1510.
- Jazdi, N. (2014). Cyber physical systems in the context of Industry 4.0. *IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, 1-4.

- Kagermann, H. (2014). Chancen von Industrie 4.0 nutzen. In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B. Vogel-Heuser, eds. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien und Migration*, 603–614.
- Kirianaki, N., Yurish, S., Shpak, N. y Deynega, V. (2002). *Data Acquisition and Signal Processing for Smart Sensors*. Wiley, Chichester, West Sussex, England.
- Lasi, H., Fettke, P., Feld, T; and Hoffmann, M. (2014). *Industry 4.0. Business & Information Systems Engineering*, 6 (4), 239-242.
- Lee, J. y Bagheri, B. (2015). *Cyber-Physical Systems in Future Maintenance*. In 9th WCEAM Research Papers, 299-305.
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2014a). Recent advances and trends of cyberphysical systems and big data analytics in industrial informatics. In *International Conference on Industrial Informatics (INDIN)*, 1-6.
- Mazioud, A., Durastanti, J.F., Ibos, L., Surugue, E., Candau, Y. (2004). *Detection of rolling bearing degradation using infrared thermography*, Laboratoire CERTES (EA 3481) IUT of Sénart, Lieusaint, France.
- Mobley, K. R., *Introduction to Predictive Maintenance*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- Nabadaica, D., Nedeff, V. y Bibire, L. (2012). Theoretical study about the influence of predictive maintenance on process equipment lifetime. *Journal of Engineering Studies and Research*, 18 (2), 57-65.
- Nguyen, D.Q., Brammer, C., Bagajewicz M. (2008). New tool for the evaluation of the scheduling of preventive maintenance for chemical process plants, *Industrial & engineering chemical research*, 47 (6), 1910 - 1924.
- Orhan, S., Akturk, N., Celik, V. (2006). *Vibration monitoring for defect diagnosis of rolling element bearings as a predictive maintenance tool: Comprehensive case studies*, *NDT&E International*, 39 (4), 293-298.
- Romero, D., y Vernadat, F. (2016). *Enterprise information systems state of the art: past, present and future trends*. *Comput. Ind.*, 79, 3-13.
- Saranga, H. (2002). *Relevant condition-parameter strategy for an effective condition-based maintenance*, *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 8 (1), 92 - 105.
- Savsar, M. (2006). *Effects of maintenance policies on the productivity of flexible manufacturing cells*, *Omega. International Journal of Manufacturing Research*, 334 (3), 274 - 282.
- Schlick, J., Stephan, P., Loskill, M. y Lappe, D. (2014): *Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung* In: Bauernhansl, T., M. ten Hompel and B Vogel-Heuser, eds 2014. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik Anwendung. Technologien und Migration*, 57-84.
- Shikari, B., Sadiwala, C.M., Dwivedi, R. (2004). *Automation in condition based maintenance using vibration analysis*, Department of Mechanical Engineering, Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India.
- Swanson, L. (2001), *Linking maintenance strategies to performance*. *International Journal of Production Economics*, 70, 237-244.
- Teodorescu, N. (2008). *Mentenanță generală în domeniul ingineriei mecanice*, Editura AGIR, București
- Velmurugan, R. S. and Dhingra, T. (2015), *Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function*. *International Journal of Operations & Production Management*, 35 (12), 1622-1661.

Wang, S., Wan, J., Li, D., y Zhang, C. (2016). Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 1-10.

Webster, J. y Watson, R. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. *MIS Q.*, 26 (2), 18-23.

Wortmann, F., & Flüchter, K. (2015). Internet of things. *Business & Information Systems Engineering*, 57(3), 221-224.

Zhen, Z., Fu-li, W., Ming-xing, J., Shu, W., (2010). Predictive maintenance policy based on process data, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 103 (2), 137 - 143.