

Modelo de mantenimiento para la era de la Industria 4.0

Miguel A. Luna Pérez

**SEPI ESIME Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, 07170, México
miguel.lunap92@gmail.com**

Graciela Vázquez Álvarez

**SEPI ESIME Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, 07170, México
gravazquez@gmail.com**

Isaías Badillo Piña

**SEPI ESIME Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, 07170, México
ibadillop@ipn.mx**

RESUMEN

El propósito de este artículo es proponer el modelo de mantenimiento predictivo adecuado para la industria 4.0. La industria 4.0 plantea una revolución entre la automatización de los procesos de producción y la explosión de la era digital que se extiende a todas las industrias. En sectores exigentes como la industria del automóvil y maquinaria la necesidad de ganar en eficiencia y productividad atrae mucha atención y temprana adopción.

Desde hace años el mantenimiento predictivo ya funciona con técnicas de medida y análisis mediante sensores para anticipar los fallos potenciales de los equipos productivos. Hoy en día el Industrial Internet of Things (IIoT) incorpora el aprendizaje automático y la tecnología de big data para capturar y comunicar datos de manera constante, alertando rápidamente a las empresas sobre ineficiencias y evitando costosas averías.

Específicamente en la fabricación el IIoT posee un gran potencial en áreas como control de calidad, prácticas sostenibles y ecológicas, trazabilidad de la cadena de suministro y eficiencia global de la cadena de suministro. En la práctica el software de mantenimiento predictivo recolecta los datos que se transfieren analizándolos considerando normas y condiciones predefinidas. Del análisis automático salen grandes volúmenes de datos; aquí entra en juego otra gran tendencia: el Big data.

Cuanto más equipos tiene la fábrica inteligente, mayor cantidad de datos recibirá del software. La capacidad de procesar grandes volúmenes de datos de manera eficiente y segura no siempre es una tarea sencilla. Es por esta razón que resulta esencial utilizar un sistema ERP para la gestión de los recursos empresariales, que reciba, analice y procese la información y los diagnósticos.

ABSTRACT

The purpose of this article is to propose the appropriate predictive maintenance model for Industry 4.0. Industry 4.0 poses a revolution between the automation of production processes and the explosion of the digital age that extends to all industries. In demanding sectors such as the automobile and machinery industry, the need to gain efficiency and productivity attracts a lot of attention and early adoption.

For years predictive maintenance has already worked with measurement and analysis techniques using sensors to anticipate potential failures of production equipment. Today the Industrial Internet of Things (IIoT) incorporates machine learning and big data technology to constantly capture and communicate data, quickly alerting companies to inefficiencies and avoiding costly breakdowns.

Specifically in manufacturing, the IIoT has great potential in areas such as quality control, sustainable and ecological practices, traceability of the supply chain and global efficiency of the supply chain. In practice, predictive maintenance software collects the data that is transferred, analyzing it considering pre-defined rules and conditions. Large volumes of data come out of automatic analysis; Another big trend comes into play here: Big data.

The more computers the smart factory has, the more data it will receive from the software. The ability to process large volumes of data efficiently and safely is not always an easy task. For this reason, it is essential to use an ERP system for the management of business resources, which receives, analyzes and processes information and diagnostics.

Palabras clave: Mantenimiento predictivo, industria 4.0, Big data, automatización, robót, sistemas Lean.

Keywords: Predictive maintenance, industry 4.0, Big data, automation, robotic, Lean systems.

1. INTRODUCCIÓN

La definición de la industria 4.0 es la tendencia a la automatización y el intercambio de los datos en las tecnologías de fabricación mediante tres elementos principales: el Internet de las Cosas, los Sistemas Cibernéticos Físicos y la Computación en la nube.

Estas tendencias no suponen únicamente un aumento de la automatización de la producción (cosa que lleva sucediendo desde los años 70 con el desarrollo de la electrónica y las tecnologías de la información), sino una aproximación totalmente disruptiva a la manera en que se produce y entiende la totalidad de la cadena de valor.[1]

La industria 4.0 por lo tanto, es un concepto que une las tecnologías que dieron paso a la tercera revolución industrial (procesos de automatización y nuevas tecnologías de producción) con las tecnologías propias de la era de la información, como el almacenamiento, procesamiento y transmisión masiva de datos.

La unión de estos dos caminos lleva a 4 elementos esenciales de la industria 4.0:

- Los sistemas ciberfísicos.
- El Internet de las Cosas.
- El Big Data.
- El Cloud Computing (o Internet de los servicios).

Así, los Sistemas Ciberfísicos recogen información de procesos en el mundo real a través de sensores. Gracias al Internet de las cosas, estos Sistemas Ciberfísicos se comunican con otros Sistemas Ciberfísicos y con seres humanos, dentro de la propia organización, pero también entre organizaciones, proveedores, clientes, y usuarios, dando lugar a una cadena de valor absolutamente interconectada en forma de tela de araña.[2]

Etapas anteriores a la industria 4.0

- Primera revolución industrial: Surge en 1784 a raíz del primer sistema mecanizado, la máquina de vapor.
- Segunda revolución industrial: Tiene lugar en 1870 cuando se crea la cinta transportadora que dio paso al auge de la producción en serie.
- Tercera revolución industrial: Comenzó en la última década de los 50 gracias a la incorporación de más tecnología electrónica en las fábricas, enfocándose más en la tecnología digital y el software.

Esta nueva industria inteligente busca fábricas 4.0 que gracias a los ordenadores y la automatización equipados con algoritmos de aprendizaje podrán aprender y controlar toda la robótica de una empresa y fábrica sin apenas interacción de operadores humanos, creando lo que se conoce como “Fábrica inteligente“.[3]

Características de la cuarta revolución industrial

Las principales características de esta nueva industria conectada 4.0 se podrían resumir en:

Conexión vertical en forma de red: Los Sistemas Ciberfísicos están interconectados entre ellos y con trabajadores, directivos, desarrolladores, proveedores, clientes y hasta con el propio producto una vez vendido, gracias al Internet de las Cosas y al Internet de los Servicios (Cloud Computing).

Virtualización: El mundo real de la planta es capturado por sensores, creando una imagen virtual de la misma, que está a su vez esta conectada a Modelos de Simulación, Aplicaciones de Análisis Predictivos y Software para la ayuda de toma de decisiones. Todo ello ayudado por el Big Data.

Descentralización: La toma de decisiones es ejecutada por los Sistemas Ciberfísicos, ayudada por Modelos Predictivos y Aplicaciones para la Toma de Decisiones.

Reacción en tiempo real: La captura de la información, su procesado y las decisiones tomadas al respecto se realizan en tiempo real.

Orientación al cliente: La arquitectura de la Industria 4.0 esta diseñada para establecer un feedback directo entre el usuario, el producto y el diseñador del mismo.

Modularidad: En un mercado tan cambiando, una Fábrica Inteligente debe adaptarse a los cambios que se producen en el mercado de forma rápida y eficiente, mientras que hacer un estudio del mercado y un cambio de producción puede llevar mínimo una semana las fabricas inteligentes estan preparadas para adaptarse al cambio de forma rápida y seguir las tendencias del mercado.

Análítica avanzada: Sin duda es una de las partes más valiosas de esta industria 4.0, la capacidad para mejorar y optimizar los programas y procesos de producción es una parte vital dentro de cualquier empresa que quiera mantener un nivel alto de productividad y eficiencia. Los análisis avanzados para tomar decisiones sobre la planificación son de vital importancia en estas fábricas 4.0, consiguiendo una mayor agilidad en la cadena de producción y evitando de esta forma los cuellos de botella.[4]

El mantenimiento industrial es una parte imprescindible del funcionamiento de una empresa. Una avería puede resultar catastrófica para la actividad económica. No solo implica un gran desembolso de dinero. También parará el proceso de producción industrial, con los inconvenientes que eso puede significar para tus clientes. Por ello, un plan meticuloso de mantenimiento industrial es fundamental para que el negocio prospere.

La industria 4.0 no está exenta de esta necesidad. Pero, al ser una maquinaria más compleja, el mantenimiento industrial de la industria 4.0 tiene sus particularidades.

El mantenimiento industrial

Se llama mantenimiento industrial a todas aquellas acciones destinadas a alargar la vida útil y el buen funcionamiento de la

maquinaria implicada en el proceso de producción. Existen varios tipos de mantenimiento industrial:

El mantenimiento correctivo: es aquel que debe hacerse de urgencia porque ya ha aparecido una avería en la maquinaria. En otras palabras, una reparación.

El mantenimiento preventivo: consiste en una intervención constante de la maquinaria antes de que esta dé problemas. Por ejemplo, sustitución de una pieza vulnerable al desgaste. Antes de que esa pieza falle, se sustituye por otra para evitar llegar a una situación de avería.[5]

Mantenimiento en uso: es aquel que hacen los trabajadores de baja cualificación que trabajan con el equipo. En esta categoría entrarían una revisión superficial o tareas de limpieza.

El mantenimiento de cero horas: consiste en la sustitución de todas las partes de la maquinaria que hayan estado sujetas al desgaste hasta dejarla como nueva. En otras palabras, como si tuviera cero horas de funcionamiento.

El mantenimiento predictivo: es el más complejo de todos los tipos de mantenimiento industrial. Mediante mediciones de todos los parámetros de la maquinaria (temperatura, consumo de energía, etc.) se hace un control informatizado del estado de los sistemas. Cuando estos parámetros cambian, el sistema predice cuándo fallará la máquina y cuándo sería el momento óptimo para realizar una reparación o sustitución de piezas antes de que se llegue a la avería.[6]

Mantenimiento predictivo en la industria 4.0



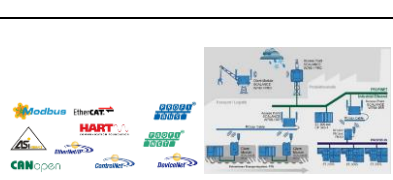
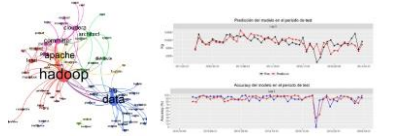




La industria 4.0 se basa en que la maquinaria ya está conectada a internet. Es decir: cada parte del proceso de producción industrial se intercomunica con las otras partes para adaptarse a las circunstancias y conseguir en todo momento el máximo rendimiento. Esto quiere decir que no es necesario hacer intervenciones en la maquinaria para poder tomar mediciones de esos parámetros físicos. Las máquinas ya se los comunican entre sí. Y esto es lo que aprovechamos para el mantenimiento industrial de la industria 4.0.

Por lo tanto, el tipo de mantenimiento industrial más adecuado para las fábricas inteligentes es precisamente el mantenimiento predictivo. Gracias a un software de análisis, tendrás en todo momento los datos del estado de tu maquinaria. El sistema informático te ayudará a predecir cuándo una máquina está acusando el desgaste de la actividad industrial. También te ayudará a decidir cuándo es el momento idóneo para hacer una reparación o sustitución antes de que se produzca una avería que ponga en riesgo el buen funcionamiento de tu fábrica. Y, además, gracias a las particularidades de la industria 4.0, el resto de tu maquinaria podrá adaptarse a la circunstancia y conseguir el máximo rendimiento mientras esa parte del proceso de producción está en reparación.[7]

2. METODO PROPUESTO

El procedimiento propuesto está compuesto de 3 niveles que deben seguirse para llevar a cabo un correcto mantenimiento predictivo, a su vez cada nivel está compuesto por fases que toda industria que pretenda ser catalogada como 4.0 debe considerar. Véase tabla 1

Tabla 1. Procedimiento Propuesto (ManPre 4.0)

Nivel A Operativo	Fase 1 Sensores	
	Fase 2 Datos	
Nivel B Técnico	Fase 3 Conectividad	
	Fase 4 Analítica	
Nivel C Tecnológico	Fase 5 Monitoreo	
	Fase 6 Reporteador	
	Fase 7 Toma de decisión	
	Fase 8 Ejecución	

Nivel Operativo.

Es aquel donde interviene el ser humano de él depende la correcta instalación de los sensores y dispositivos que tendrán conexión a un procesador para adquirir información. Este nivel está compuesto de una sola fase.

Fase 1 Sensores: Son aquellos que se encargan de mandar las señales permisivas, arranque y paro de los equipos, es en esta fase donde también se toman en cuenta dispositivos como válvulas, motores y variadores, de los cuales también se pueden obtener señales a monitorear.

Nivel Técnico

Es aquí donde se requiere de mano de obra calificada con la intención de poder tener una conexión a procesadores en donde se tiene la lógica de funcionamiento y obtención de datos. Este nivel está compuesto por 2 fases:

Fase 2 Datos: Esta fase es donde una vez teniendo todos los dispositivos conectados a un procesador se procede a guardar en memoria de este el historial del comportamiento.

Fase 3 Conectividad: Una vez establecida la conexión con los procesadores se debe establecer la conexión entre procesadores para monitoreo de variables críticas, es también aquí donde se requiere de un switch capa 3 con la intención de que las variables de proceso sean llevadas a nivel de monitoreo en oficina.

Nivel Tecnológico

Este nivel es donde se realizará de manera novedosa la propuesta en este artículo, ya que en la actualidad la metodología de mantenimiento predictivo solo tiene dos niveles.

En este nivel se propone hacer uso de las tecnologías que forman parte de la industria 4.0, como es Big data, simulación y robótica colaborativa, las fases que la conforman son:

Fase 4 Analítica: Esta fase es la encargada de almacenar toda la información entregada por los diferentes dispositivos instalados en campo para después darle un tratamiento a los datos.

Esto se realizará de cuatro métodos matemáticos que se identifican de la siguiente forma:

Analítica Predictiva

Está basada en métodos matemáticos avanzados que incluyen análisis estadísticos, minería de datos, modelados predictivos, aprendizaje de una máquina, entre otros. Su función consiste en pronosticar eventos que ocurrirán en el futuro gracias al desarrollo de un modelo de predicción. Las aplicaciones más importantes de la analítica predictiva son:

- Predicción de fallos y alarmas.
- Estimación de demanda.
- Predicción de resultados de procesos según los valores de las variables (p.ej. modelo de detección de anomalías en la calidad de un producto).

En cuanto a la analítica predictiva se identifican 4 tipos de familias de algoritmos: [11]

- Algoritmos de clasificación y predicción: Quest, Chaid, C.5.0, lista de decisión, regresión lineal, etc.
- Algoritmos de asociación: a priori, carma, reglas de asociación, etc.
- Algoritmos de segmentación: K-medias, Kohonen, TwoStep, etc.
- Algoritmos de automodelado: Autoclasificador, Autonumérico, Autocluster, etc.

Analítica descriptiva

Su función consiste en describir, diagnosticar y descubrir qué tendencias y patrones están ocurriendo en un proceso determinado a partir del estudio de datos históricos o en tiempo real. Las aplicaciones más importantes de la analítica descriptiva son:

- Visualización en tiempo real de datos.
- Visualización avanzada de información (p.ej. Creación de tablas comparativas con flexibilidad de variables y generación de reportes Ad hoc).

- Estadística descriptiva de procesos y detección por medio de PCA (p.ej. detección de anomalías en la producción).

Analítica prescriptiva

Su función consiste en definir qué acciones tomar para obtener los mejores resultados en un proceso. Se apoya en modelos predictivos, simulación de escenarios, reglas localizadas y técnicas de optimización para poder transformar datos en recomendación de acciones para llegar a un resultado deseado. Este nivel de analítica es el más completo y robusto. Se sirve de técnicas como procesamiento de eventos complejos, redes neuronales, aprendizaje heurístico, “machine learning”, entre otras.

Esta área, además, tiene un potencial de crecimiento enorme (21% incremento del CAGR entre 2016-2021).

Las aplicaciones más importantes de la analítica prescriptiva son:

- Creación de escenarios para la recomendación de acciones.
- Identificación de mejores resultados de manera autónoma.
- Actualización proactiva de las recomendaciones de acciones debido a variación de sucesos.

Fase 5 Monitoreo: Una vez detectados los datos más relevantes, serán capaces visualizar tendencias estadísticas para fines de observar los datos históricos.

Fase 6 Reporteador: Es aquí donde tomando en cuenta esos datos críticos se obtendrá un reporte a detalle donde indique la parte dañada y su tiempo que resta antes de paro para su solución.

Los reportes de la información obtenida también pueden sufrir cierta digitalización. Hace menos de 10 años que se pasó de los informes pdf a plataformas de gestión en la red que brindan información del estado de los activos mediante iconografías para su fácil revisión. La evolución lógica de estos procedimientos era integrarlos en las plataformas MES(Manufacturing Execution System, por sus siglas en ingles), Sistema de mantenimiento y seguimiento de inventario. y ERP(Enterprice Resource Planing, por sus siglas en ingles), Sistema de planificación de recursos empresariales, ahora será una realidad tenerlos en estas plataformas.

Fase 7 Toma de decisiones: Obteniendo los datos más relevantes, críticos e historial de comportamiento se podrá dar un tratamiento mas especializado con la intención de tener predicciones de comportamientos futuros.

Fase 8 Ejecución: con todo esto el jefe de mantenimiento tendrá un amplio panorama sobre que acción ejecutar sin necesidad de tener una amplia experiencia de campo.

3. PROCESOS DE DESARROLLO

Para la primer parte de esta investigación se analizó el modelo de fusión de datos

Este modelo consta de una actividad formada por cuatro estados cíclicos que se desarrollan en el siguiente orden:

- Detección y procesamiento de la señal: la información se colecta y pre-procesa.
- Extracción de patrones: con la información pre procesada, se extraen los patrones y se fusionan para crear los contextos necesarios.
- Decisión: los contextos son procesados y se establecen las acciones a seguir.
- Etapa de actuación: se elige el plan a seguir.

En la Figura 1, se muestra un diseño de modelo de mantenimiento predictivo en Industria 4.0; en ella se muestran las diferentes etapas que lo constituyen.

Basándose en el modelo, se inicia con un proceso de recolección de datos no estructurados, a partir de redes de sensores; luego mediante la aplicación de técnicas y algoritmos de fusión de datos se extraerán patrones.

La aplicación de este modelo permitió la creación de la Metodología de mantenimiento predictivo 4.0 para asegurar procesos de producción aquí propuesta.



Figura 1. Diseño de modelo de mantenimiento predictivo

4. RESULTADOS

Este es un tema con una gran importancia en la industria, el cual, está en crecimiento por lo que este trabajo busca dar una propuesta de cómo se llevará a cabo la planificación del mantenimiento predictivo en la nueva Industria 4.0.

Todo esto se traduce en más eficiencia y menos costos, los factores esenciales a la hora de reforzar la competitividad e incluso a la hora de sobrevivir en mercados en los que la demanda del consumidor es cada vez más compleja, gracias al aumento de los productos hechos a la medida de los requisitos de cada persona.

Con la aplicación de la metodología propuesta se prevee lo siguiente:

- Planificación y programación automática de las acciones
- Aumento en eficiencia y productividad global
- Aumento de la rentabilidad de la maquinaria
- Mejora de la fiabilidad y disponibilidad global de los equipos
- Menos pérdidas de materia prima por paradas no planificadas y rearranques
- Reducción de la mano de obra Reducción de accidentes y el aumento de la seguridad
- Mejora en la satisfacción del cliente
- Menor coste de seguros industriales reduciendo el riesgo para la compañía aseguradora

5. CONCLUSIONES

Sin duda el mantenimiento predictivo ya no es una moda sino una realidad, numerosas empresas sobre todo del sector industrial y de manufacturación están definiendo sus estrategias para obtener resultados específicos.

Esto abre otros debates como los perfiles profesionales que son necesarios para desarrollar estos proyectos, que rendimiento o rentabilidad se quiere conseguir y, sobre todo, cómo utilizar todo esto para transformar nuestro modelo de negocio y por ende el sector donde se trabaje.

El abanico de posibilidades que se abren es casi inmanejable, muy alentador también, pero este nuevo reto no tiene que hacernos olvidar que numerosas empresas todavía están en fase de digitalización por lo que entrar en la industria 4.0 requiere completar muchas etapas con anterioridad.

Al aplicar las tecnologías y metodologías de la Industria 4.0 surgen nuevos modelos de negocio, que necesitan ser gestionados de manera distinta y en los que la gestión de las personas tiene un papel primordial, puesto que se pasa a requerir de profesionales cada vez más cualificados y multidisciplinares.

6. REFERENCIAS

- [1] Bauer, W., Horváth, P.: **Industrie 4.0 - Volkswirtschaftliches Potenzial für Deutschland. Controlling**, 1997 IEEE International Conference on Intelligent Processing Systems, pp. 1–6 (1997).
- [2] Shrouf, F., Ordieres, J., Miragliotta, G.: **Smart factories in Industry 4.0: a review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm. In: IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, 2015–January, pp. 697–701 (2014).
- [3] Wan, J., Tang, S., Shu, Z., Li, D., Wang, S., Imran, M., Vasilakos, A.: **Software-defined industrial internet of things in the context of Industry 4.0**. IEEE Sens. J. 1, 7373–7380 (2016).
- [4] Bizer, Ch., Boncz, P., Brodie, M.L., Erling, O.: **The Meaningful Use of Big Data: Four Perspectives – Four Challenges**. SIGMOD Records 40(4), 2011 (2011).
- [5] Herrman, M., Pentek, T., Otto, B.: **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. Working Paper 01/205, Technische Universität Dortmund.
- [6] IBM Software: **Managing Big Data for smart grids and smart meters**. Whitepaper (2012).
- [7] M. Ben-Daya, A. Raouf, **Handbook of Maintenance Management and Engineering**. ISBN 1848824726. Edit. Springer. 2009.
- [8] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. **Industria conectada 4.0. La transformación digital de la industria española**. Informe preliminar (2015)
- [9] Germany trade & invest. **Industrie 4.0. Smart manufacturing for the future** (2014) Galicia: industria axenda da competitividade industrial (2015)
- [10] Ivanov, D., Dolgui, A., Sokolov, B., Werner, F.: **A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0**. Int. J. Prod. Res. 7543, 1–17 (2016).
- [11] Ballesteros Robles F. **La gestión optimizada de la planificación del mantenimiento. La estrategia predictiva en el mantenimiento industrial**. Springer. (2016)
- [12] Spendla L., Kebisek M., Tanuska P., Hrcka L., **El mantenimiento para la era de la industria 4.0. Concept of predictive maintenance of production systems in accordance with industry 4.0**, IEEE. (2017).
- [13] Ackoff, R. y Gharajedaghi, J. (1996). **Reflections on systems and their models**. System Research.
- [14] Ludwig von Bertalanffy, **Teoría General de los Sistemas, Fundamento, desarrollo, aplicaciones**.