

# Metodología de mantenimiento predictivo 4.0 para asegurar procesos de producción

Miguel A. Luna Pérez

SEPI ESIME Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional  
Ciudad de México, 07170, México

Graciela Vázquez Álvarez

SEPI ESIME Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional  
Ciudad de México, 07170, México

## RESUMEN

El propósito de este artículo es proponer el diseño de una metodología de mantenimiento predictivo para la industria 4.0. Esta industria implica una nueva revolución industrial que combina técnicas avanzadas de producción y operaciones mediante tecnologías inteligentes que se integrarán en las organizaciones, las personas y los activos. Se aplica el enfoque sistémico y sus modelos.

De una forma simple, se puede decir que se trata de una industria donde las máquinas de producción están digitalizadas, interconectadas, y manejan e interrelacionan cantidades ingentes de datos (conocidos como Big Data), para aprovechar mejor sus funcionalidades y ser así más efectivas y eficientes.

El mantenimiento industrial ha sufrido una gran evolución en los últimos años. Las nuevas tecnologías permiten a las empresas industriales adelantarse a los problemas y optimizar procesos y rendimientos productivos.

El impulso de la cuarta revolución industrial gracias a los avances del Internet de las cosas (IoT), la automatización y la robótica, tecnologías que, junto con los análisis y los sistemas de Big Data, constituyen elementos clave en esta nueva era.

En la industria, existen fábricas inteligentes con mantenimiento automatizado y la eficiencia está mejorando de forma considerable. La idea es llevar “más inteligencia” al área de mantenimiento, basadas en la información que les llega en tiempo real, ayudándose de datos esenciales que antes pasaban desapercibidos o “demoraban” en llegar.

## ABSTRACT

The purpose of this article is to propose the design of a predictive maintenance methodology for industry 4.0. This industry implies a new industrial revolution that combines advanced production techniques and operations through intelligent technologies that will be integrated into organizations, people and assets. The systemic approach and its models are applied.

In a simple way, it can be said that it is an industry where production machines are digitized, interconnected, and handle and interrelate huge amounts of data (known as Big Data), to take better advantage of their functionalities and thus be more effective and efficient.

Industrial maintenance has undergone a great evolution in recent years. The new technologies allow industrial companies to anticipate problems and optimize production processes and yields.

The impetus of the fourth industrial revolution thanks to advances in the Internet of Things (IoT), automation and robotics, technologies that, together with Big Data analysis and systems, are key elements in this new era.

In the industry, there are intelligent factories with automated maintenance and the efficiency is improving considerably. The idea is to bring “more intelligence” to the maintenance area, based on the information that arrives in real time, using essential data that previously went unnoticed or “delayed” in arriving.

**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

En el pasado han ocurrido tres revoluciones industriales; en la primera, se introdujeron equipos impulsados por vapor para la producción mecánica; en la segunda, la producción se vio impulsada por energía eléctrica, dando paso a la producción en masa y se introdujo el concepto de división de tareas; mientras que en la tercera —en la que nos encontramos actualmente—, se utiliza la electrónica e informática para la producción automatizada. [1]

A pesar de su reciente surgimiento, la industria 4.0 puede considerarse como la cuarta revolución industrial, en la que las formas de producción hacen uso de sistemas físicos cibernéticos para crear una industria más flexible y de carácter reconfigurable, es decir, que la estructura de una fábrica se pueda modificar para poder producir diferentes productos.

“Un sueño que se tiene en la industria es que podamos tener todo personalizado, que nosotros podamos mandar a fabricar algo desde una aplicación y tenerlo como lo deseamos, ¿Por qué viene esta personalización? Porque tenemos cierta diferenciación entre nosotros”, dijo el maestro Sosa Cruz. [2]

Dentro de esta nueva industria actúan nueve tipos de avances tecnológicos recientes: el big data y análisis de datos, los robots autónomos, la simulación de procesos en computadora, sistemas de integración, internet de las cosas aplicado a la industria, ciberseguridad, almacenamiento de información en la nube, impresión 3D o manufactura aditiva y la realidad aumentada.

Estos nueve elementos trabajan en conjunto para analizar los datos y variables de una fábrica y de la elaboración de sus productos, logrando optimizar aún más los procesos de fabricación, lo cual se traduce en una producción de bienes de alta calidad de forma rápida y a un costo reducido.[4]

#### **Mantenimiento 4.0**

El mantenimiento toma un papel preponderante en esta cuarta revolución industrial, en la medida en que casa perfectamente con los principios de anticipación, eficiencia y eficacia de la “fábrica inteligente”.

El mantenimiento preventivo es un mantenimiento que se diferencia del ya conocido mantenimiento correctivo (que repara las máquinas una vez producido el fallo)

Los fallos que se predicen con el mantenimiento preventivo evitan las paradas de la maquinaria por fallos, con lo que las pérdidas económicas causadas por estas paradas imprevistas de la producción se prevén, y se garantiza no solo el flujo continuo de la producción, sino el flujo de la economía. [7]

El mantenimiento predictivo es el conjunto de acciones y técnicas aplicadas para detectar los posibles fallos y/o defectos que se puedan generar en las máquinas en las etapas incipientes de su proceso.

Las ventajas de este mantenimiento son básicamente tres:

**Planificación y programación de las acciones.** Al ser predictivo, el fallo se detecta con suficiente antelación, con lo que se favorece que el mantenimiento correctivo se realice con más calidad. Las predicciones pueden llevarse a cabo en las paradas técnicas del servicio, con lo que no se pierde operatividad ni volumen de producción.

**Es una técnica on-condition.** Es decir, la mayoría de técnicas de mantenimiento predictivo se llevan a cabo con la maquinaria a pleno rendimiento (on condition).

**Es un mantenimiento proactivo.** A diferencia del correctivo, se predice lo que puede pasar, con lo que se pone remedio antes de tiempo, respetando el work-flow de la empresa y ofreciendo una mayor calidad en el servicio.

Los desarrollos tecnológicos de la Industria 4.0 permiten hacer posible la integración total de la cadena de valor desde el cliente que podrá intervenir en el diseño del producto hasta el servicio pos venta a través de sistemas tecnológicos, lo suficientemente versátiles e inteligentes. Sin embargo la pregunta es la siguiente: ¿cómo se estructurará el trabajo en este tipo de industrias?.

Definitivamente un trabajador en este entorno es una persona altamente calificada en mecatrónica, informática y telecomunicaciones. No será un operador común. Será un técnico muy preparado que asumirá las labores de operación y coordinación. [3]

Los equipos productivos estarán repletos de ciber componentes con capacidad de auto aprender, tomar decisiones y actuar en base a la información procedente de la nube. Serán muy fiables debido al desarrollo de la tecnología de materiales, sistemas de autodiagnóstico y muy elevada precisión en su fabricación. Al estar dotados los ciber componentes de capacidad de comunicación con la nube, estos generarán gran cantidad de información sobre su funcionamiento, en forma similar como son monitoreados todos los signos vitales de un astronauta cuando viaja al espacio.

Las grandes bases de datos permitirán tratar en tiempo real los problemas de la maquinaria y a través de las tendencias de los datos a largo plazo guardados en la nube, se podrá descifrar comportamientos inesperados de los componentes. El trabajo de mantenimiento se fundamentará en el tratamiento avanzado de gran cantidad de datos. Los modelos de optimización de tiempos de remplazo y tiempos de inspección con métodos de investigación operacional y optimización estadística, será un trabajo cotidiano realizado por expertos de ingeniería de mantenimiento. En este entorno serán muy útiles las paradas productivas, término en que las personas encargadas de la operación de los equipos, se toman para realizar las tareas fundamentales de mantenimiento tales como inspección, limpieza, lubricación y ajustes, necesarios aunque se trate de un conjunto de ciber componentes. [6]

La tecnología no es todo. Estos sistemas altamente sofisticados nunca alejarán al hombre del trabajo de coordinación entre personas, la cual se realiza a través de procesos de conversación.

Este es el punto clave para que estos sistemas tecnológicos funciones con niveles elevados de eficiencia. En forma similar como los sistemas Lean requieren de un espacio cultural de coordinación con otras personas, la Industria 4.0 no podrá realizar la coordinación a través de máquinas. Será necesario el hombre y los procesos de conversación. La forma como se diseñen las conversaciones será fundamental para lograr los más elevados resultados con la tecnología. Por lo tanto, la estructura de gobierno en este tipo de industrias estará dependiendo de nuevos modelos de gestión soportados con procesos de diálogo y conversación. [5]

En la conversación no solo existe información que se transfiere, son las formas como se pide o solicita algo, las emociones existentes en el momento en que se pide y escucha, como también, la postura del cuerpo de la persona que hace el pedido o la que acepta o rechaza la solicitud.

Este tipo de habilidades de conversación para fortalecer las nuevas formas de trabajo y el liderazgo de los responsables, aún

no se ha desarrollado y mucho menos, no se está practicando en las organizaciones industriales. Es necesario no deshumanizar los sistemas de gestión en este tipo de entornos tecnológicos, de lo contrario, puede ocurrir lo que les sucede a numerosas empresas que están tratando de implantar sistemas Lean, pero sin alma, sin considerar a las personas, la cultura de empresa, las emociones de los individuos y empleando sistemas de gestión de mando y control característicos de la Primera Revolución Industrial.

La gestión de fábricas 4.0 deberá ser radicalmente distinta. La autonomía, elevado desarrollo del talento, salarios extraordinarios y una organización que retenga a estas personas será un requisito fundamental para que este tipo de tecnología funcionen correctamente. No se pueden introducir cambios tecnológicos de semejante magnitud sin considerar el proceso de transformación y renovación de la organización, cultura y sistemas de gestión operacional. [8]

## 2. OBJETIVOS.

### General

Diseñar una metodología de mantenimiento predictivo para la industria 4.0 mediante el monitoreo en tiempo real de los componentes, empleando las herramientas que implican el uso de la industria inteligente.

### Objetivos Específicos

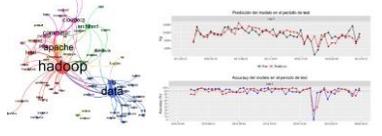
- Definir los niveles y fases a seguir de la metodología de mantenimiento predictivo para la industria 4.0
- Describir las herramientas necesarias en cada fase de la metodología.
- Construir una metodología que se adecue al comportamiento de la Industria 4.0 utilizando las herramientas que la conforman.

## 3. METODOLOGÍA Y PROCESOS DE DESARROLLO

La metodología propuesta en el desarrollo de esta investigación es de carácter sistémico, en la que se definen los niveles y fases a seguir para posteriormente describir las diferentes herramientas requeridas para el uso de los servicios, todo esto para que se adecue al comportamiento de la industria 4.0, cuyo orden obedece a la forma en que se encontró deben ser utilizadas.

La metodología propuesta está compuesta 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. Metodología Propuesta (ManPre 4.0)

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

### Nivel Operativo.

Es aquel donde interviene el ser humano de el depende la correcta instalación de los sensores y dispositivos que tendrán conexión a un procesador para adquirir información. Este nivel esta 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 esta 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(Enterprise Resource Planning, 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.

## 4. 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

## 5. 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

## 6. 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. ¿Podemos decir ya que el mantenimiento predictivo está en fase hype para los gurús tecnológicos?

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 trabaja.

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.

## 7. 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.**