



# UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Centro Internacional de Postgrado  
Máster Interuniversitario en Dirección De Proyectos

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

### Implantación del Mantenimiento 4.0 en una empresa del sector industrial

Autor: Nestor Rincón Mallo  
Director: José Valeriano Alvarez Cabal

Fecha: Julio 2021

## Tabla de contenido

1	Objetivos y alcance.....	5
2	La industria 4.0.....	7
2.1	Aproximación histórica.....	7
2.2	Tecnologías implicadas en la industria 4.0.....	8
2.3	Oportunidades de la Industria 4.0 .....	11
2.4	Maquinas Inteligente. ....	13
3	Mantenimiento 4.0 .....	14
3.1	Evolución del mantenimiento .....	14
3.2	Características del Mantenimiento 4.0.....	16
3.3	Estrategias de mantenimiento 4.0 .....	19
4	Elementos del Mantenimiento 4.0.....	22
4.1	Introducción .....	22
4.2	Sensores Inteligentes .....	24
4.2.1	Sensores de movimiento, proximidad y velocidad .....	25
4.2.2	Vibraciones y sensores de par.....	26
4.2.3	Sensores acústicos y ultrasónicos. ....	26
4.2.4	Sensores de presión, galgas extensométricas.....	26
4.2.5	Sensores Ópticos, de luz y sensores de visión infrarroja .....	27
4.2.6	Sensores de temperatura.....	27
4.2.7	Sensores de Caudal, gas y sensores ópticos.....	27
4.2.8	Sensores de flujo magnético Hall, corriente y energía. ....	27
4.2.9	Sensores Virtuales .....	28
4.2.10	Sensores micropartículas, nanopartículas, nucleares.....	28
4.3	Protocolos de comunicación. ....	28
4.3.1	Clasificación de redes de comunicación.....	30
4.3.2	Network en la industria.....	31
4.3.3	Capas de red.....	31
4.3.4	Network.....	31
4.3.5	Capa de aplicación.....	32
4.3.6	Comparativa entre protocolos .....	33
4.4	Blockchain .....	34
4.4.1	Posibles usos de blockchain. ....	35
4.4.2	Aplicaciones en la industria.....	36
4.4.3	Aplicaciones de Blockchain .....	37
4.4.4	<i>Aspectos claves</i> .....	38

4.4.5	Beneficios del Blockchain.....	40
4.5	Big Data.....	41
4.6	Ciclo de vida en análisis de datos.....	43
4.7	Tipos de analíticas en Big Data.....	44
4.8	Lenguajes de programación: Python.....	45
5	Referencias de uso.....	47
5.1	Introducción.....	47
5.2	Referencia de uso: Horno de Arco Eléctrico.....	48
5.2.1	Herramienta de ayuda a la toma de decisiones.....	48
5.2.2	Análisis de fallos.....	48
5.2.3	Implementación de las nuevas herramientas.....	49
5.2.4	Ejemplos de uso.....	49
5.2.5	Conclusiones.....	51
5.3	Referencia de uso: Blockchain.....	51
5.3.1	Estudio de uso para Trazabilidad de algodón orgánico.....	51
5.3.2	Organización de recursos.....	52
5.3.3	Canales.....	53
5.3.4	Servicios a los usuarios.....	53
5.3.5	Nivel operacional.....	54
5.3.6	Vinculación de información.....	55
5.3.7	Caso de uso para garantizar la trazabilidad del algodón orgánico basada en blockchain.....	55
5.3.8	Contrato inteligente.....	56
5.3.9	Prueba de conceptos.....	57
5.3.10	Conclusiones.....	59
5.4	Referencia de uso: Modelos predictivos.....	59
5.4.1	Metodo.....	60
5.4.2	Modelo matemático.....	60
5.4.3	Procedimiento.....	61
5.4.4	Base de estudio.....	62
5.4.5	Conclusiones.....	64
5.5	Referencia de uso: industria del acero.....	65
5.5.1	Niveles de implementación jerárquica.....	65
5.5.2	La plataforma y software.....	67
5.5.3	Ejemplo de uso.....	68
5.5.4	Conclusiones.....	70
5.6	Referencia de uso: Moldeo de plástico.....	70

5.6.1	Gestión de datos para mantenimiento predictivo .....	70
5.6.2	Caso de uso .....	72
5.6.3	Conclusiones.....	74
5.7	Referencia de uso: Renault Portugal.....	75
5.7.1	Mantenimiento predictivo basado en condición (MPC). .....	75
5.7.2	Conceptos de BPM y BPMN y su función en el mantenimiento. ....	76
5.7.3	El caso de estudio de la fábrica de Renault.....	77
5.7.4	Caso 1: Resolución de problemas en el Módulo 1 .....	79
5.7.5	Caso 2: línea de producción de cajas diferenciales.....	80
5.7.6	Conclusiones.....	81
5.8	Referencia de uso: Confeccionado de hilo.....	81
5.8.1	Herramienta de mantenimiento de predicciones basado en Datos .....	81
5.8.2	Procesamiento de datos.....	82
5.8.3	Conclusión .....	85
5.9	Conclusiones.....	85
6	Propuesta de plan de implantación de una estrategia de Mantenimiento 4.0 .....	89
6.1	Plan de implantación.....	89
6.2	Fase 1, Business Case .....	90
6.3	Fase 2 Conectividad.....	91
6.3.1	Infraestructura de red .....	91
6.3.2	Conectividad industrial de Internet de las cosas (IIoT) .....	91
6.3.3	Ciber seguridad. ....	92
6.4	Fase 3 Integración .....	92
6.5	Fase 4 Análisis .....	93
6.6	Fase 5 Inteligencia artificial .....	94
6.7	Fase 6 Escalable.....	95
7	Conclusiones y Líneas de futuro.....	97
8	Referencias.....	99

# 1 Objetivos y alcance

El desarrollo tecnológico ha traído, a velocidad creciente, nuevas capacidades de captura, almacenamiento y procesamiento de información. Cualquier aspecto de la economía se ve afectado por estas tecnologías, y el sector industrial no es una excepción. La industria 4.0 constituye un nuevo paradigma en la que las nuevas formas de fabricación y la gestión integral de la información marcaran un nuevo inicio en muchos sectores. Además de las labores productivas, también el mantenimiento se ve afectado por la disponibilidad de formas más capaces de integrar la información, dando lugar a una aproximación al mantenimiento 4.0

El objetivo principal de este trabajo fin de máster es tener un ahoja de ruta de cómo implantar un modelo de mantenimiento basado en la industria conectada o como se conoce hoy día la industria 4.0. Por lo tanto, repasaremos las técnicas que hoy día existen para mejorar el mantenimiento predictivo con ejemplos de uso reales en la industria para más adelante proponer una serie de criterios de control basados en la fiabilidad de los componentes de nuestra, así como modelos de inteligencia artificial que ayuden a las predicciones y prescripciones baso en eventos anteriores o lo que se conoce como aprendizaje automático.

Actualmente con el desarrollo de nuevas tecnologías y los avances que se han producido en los sensores de control, se producen una cantidad de datos muy importante que es necesario procesar de forma adecuada y como consecuencia es lo que conocemos por Industria 4.0, el uso de Big Data, sensores, robots...etc. Todo esto va encaminado a mejorar la calidad de los productos y eficiencia de los procesos productivos.

Partiendo de esta base y con la finalidad de ofrecer una hoja de ruta para la implantación del mantenimiento 4.0, el trabajo se enfoca como una obtención de información a través del estudio de la bibliografía y de las referencias de casos de aplicación para establecer los criterios y la hoja de ruta para la implantación, tal y como se refleja en la secuencia mostrada en la Ilustración 1.



Ilustración 1 Esquema de desarrollo del trabajo

De acuerdo con este esquema de desarrollo, en el capítulo 2 se realiza una breve descripción del concepto de la industria 4.0, indicando las tecnologías implicadas y las oportunidades que ofrece. En el tercer capítulo se realiza una descripción de cómo se imbrica el mantenimiento 4.0 en la evolución histórica, de cuáles son sus características y de las estrategias a la hora de abordarlo.

Tras estos capítulos de carácter introductorio, el cuarto capítulo es un estado del arte de las diferentes elementos incluidos en el mantenimiento 4.0. El gran número de elementos implicados impide un estudio en profundidad de todos ellos, decidiéndose alcanzar mayor profundidad en los que tienen mayor carácter innovador, como las posibilidades que ofrece el blockchain y el big data.

En la actualidad, ya existen implantaciones de muchos de los aspectos del mantenimiento 4.0 en industrias. De las técnicas y herramientas utilizadas y de los objetivos y proceso de implantación se pueden extraer valiosas enseñanzas. El capítulo 5 detalla 7 diferentes casos de aplicación, los considerados más interesantes del mantenimiento en diversos sectores industriales.

En el capítulo 6 se propone una hoja de ruta para la implantación del mantenimiento 4.0 para el sector industrial, finalizando el trabajo con las conclusiones del mismo.

## 2 La industria 4.0

### 2.1 Aproximación histórica.

Desde la revolución industrial en el siglo XVIII las industrias han sufrido cambios en los procesos de fabricación para adaptarse a las nuevas tecnologías desde el uso de animales, molinos de agua o viento, las turbinas de vapor, maquinas eléctricas, automatismos... hasta lo que hoy día se considera Industria 4.0 que hace el trabajo mucho más sencillo, pero a la vez más complicado de mantener (Glimpse 2017a), así la industria ha logrado procesos de producción más personalizado y más eficiente lo que otorga a las organizaciones nuevos niveles de control sobre los activos generados. Del mismo modo que la industrial, a lo largo de la historia se ha producido una transformación social y económica lo que desarrollo una competencia cada vez más agresiva, fue por tanto que el ser humano transformo la forma de realizar los trabajos de producción en masa en una competición por la optimización de recursos. («A Short History on the Origins of Industrial Reliability» 2020a).

Hasta llegar a la llamada Industria 4.0 las técnicas y avances han ido cambiando a lo largo de los años se determinada como etapas de la industria que como punto de partida la conocida revolución industrial. A la rapidez con la que el avance tecnológico y las diferentes formas de producción han repercutido en la sociedad de forma abrumadora, mejorando la forma de vida y por supuesto económica de la sociedad.

El primer cambio Significativo empieza a principios del siglo XVI hasta el siglo XVIII, al introducir las máquinas de vapor se produjo lo que hoy se llama la **primera revolución industrial** y como consecuencia creo un cambio en la sociedad y el modo de vida, así como en los procesos productivos de las empresas principalmente textiles, haciéndose menos laboriosos y menos recursos lo que genera unos márgenes de veneficio mayores marcando un gran salto al dejar de utilizar la fuerza animal y aprovechar la energía generada por las máquinas, todo ello se ve repercutido en buena medida por los medios de transporte que sufrieron una mejora significativa gracias a la introducción de los motores de vapor en los barcos y las locomotoras, este hecho supuso la mayor transformación económica y social nunca vista hasta la época.

La investigación con nuevos combustibles para optimizar la industria de la época da lugar a lo que se conocería como **segunda revolución industrial** (siglo XIX), con la llegada de la electricidad, el teléfono, el petróleo, la mejora de la producción de acero y el transporte (el avión y el automóvil), aparece lo que se conocerá como líneas de producción en serie, de la mano de Hernry Ford en sus fábricas de Chicago. Es la época en la que se produce un hito histórico en los medios de producción al integrar autómatas mecánicos cadenas de montajes y producción en serie cada vez más internacional y globalizada («Historia de la Industria 4.0- Logicbus S.A de C.V.»).

La **tercera revolución industrial** comienza a principios de los años 60s tras el agotamiento tecnológico europeo consolidado tras la segunda guerra mundial a finales de los 40, en EE. UU. se produce un repunte tecnológico tras el desarrollo de la microelectrónica que permite la producción de chips de silicio en aquel entonces fue un gran salto dado la reducción de los aparatos electrónicos. Gracias a la aparición de los microchips el desarrollo de la computación fue posible y como consecuencia trajo grandes beneficios para las telecomunicaciones, biotecnología, robótica, nuevos materiales...etc. Desde que se introduce o mejora dicha tecnología la humanidad es capaz de automatizar los procesos productivos sin intervención de humana («9908-Texto del artículo-37050-2-10-20150213.pdf»).

En la actualidad estamos viviendo la llamada Cuarta revolución industrial denominada como la Industria 4.0, dicho termino fue introducido por el gobierno alemán en año 2016 al hacer hincapié en la necesidad de automatizar la cadena industria con el uso de sensores, la utilización de las redes inalámbricas y la comunicación 5G. El avance de los nuevos procesadores de bajo

coste junto con la cantidad de sensores que actualmente existen en el mercado y la facilidad con la que hoy día se procesan y almacenan datos junto con el análisis de datos a través de big data es la base de la tecnología que está transformando la industria actual (Sang et al. 2020). Los investigadores determinaron que los avances que internet puede brindar a la humanidad son mayores a los en principio se cree, el aumento de la velocidad de transferencia de información pudiendo descentralizar las empresas y mejorar los procesamientos con un beneficio máximo.

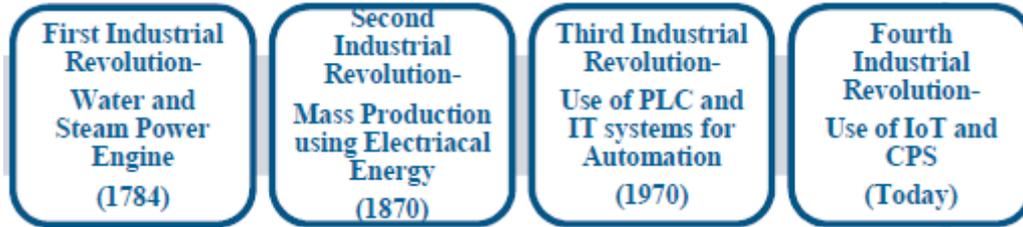


Ilustración 2 4 revolución industrial («Gllimpse - 2017 - 2nd International Conference on Materials Manufact.pdf»)

Efectivamente los procesos industriales hoy día están viviendo un cambio de tendencia, modernizando sus procesos para ser más efectivo y conseguir una producción personalizada mediante la digitalización y la implantación de inteligencia artificial. La industria 4.0 está produciendo un cambio significativo no solo por la digitalización o la inteligencia artificial sino por los llamados sistemas ciber físicos (CPS) que proporciona la integración entre lo físico y lo digital en los procesos de fabricación para tener una mejora continua y enfocar los recursos en evitar pérdidas por fallos incontrolados. Pero no esto es solo el principio, a medida que las investigaciones y el desarrollo de nuevos productos van apareciendo en el mercado se producen nuevas oportunidades como el avance en la tecnología médica, las comunicaciones, medios de transporte más rápidos y eficientes, plantas de producción más rentables. Todo esto está cambiando la forma habitual de trabajo de las personas por ejemplo en la actualidad un operario de mantenimiento no tiene que perder tiempo es buscar donde está la avería o el problema un sistema CPS debería de orientar operario de mantenimiento donde tienen que atacar el problema sin perder tiempo en recopilar datos de proceso («A Short History on the Origins of Industrial Reliability» 2020b).

En este punto la fiabilidad de los equipos producidos ha sido base de estudio para la aplicación de tecnologías y sistemas con el fin de predecir futuras rupturas del sistema teniendo en todo momento controlado el rendimiento, así como el estado de las máquinas y por ende los equipos producidos para adelantarse a cualquier imprevisto, un factor importante para el desarrollo de productos tanto a nivel interno como externo.

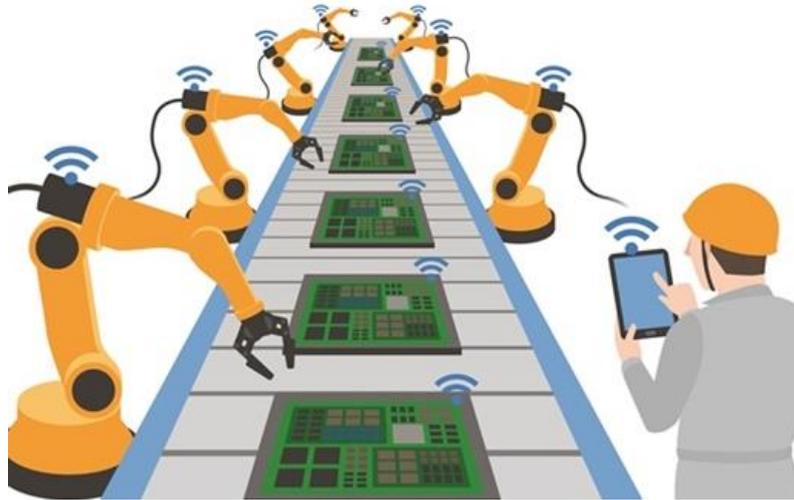
La digitalización de las fábricas está cambiando la forma de producción, distribución y las técnicas de mantenimiento no obstante es un proceso largo que puede durar varias décadas, pero con base en lo expuesto anteriormente se puede decir que ya estamos en la cuarta revolución industrial.

## 2.2 Tecnologías implicadas en la industria 4.0

La cuarta revolución industrial es la automatización a gran escala de la industria tradicional utilizando tecnología conectada inteligente utilizando protocolos de comunicación entre máquinas y por medio de internet de las cosas IoT están conectadas de forma automática con el objetivo de incrementar la producción ya que pueden analizar y auto diagnosticar el proceso y el estado sin falta de la intervención humana.

El objetivo principal de es realizar una conversión/actualización de las máquinas o activos industriales actuales para que estos registren todos sus parámetros y poder realizar un autodiagnóstico para mejorar el rendimiento y optimar las operaciones de mantenimiento. De

esta forma a través de una plataforma industriales es posible monitorizar todos los procesos y registrar sus parámetros en tiempo real del estado de la maquina y del proceso de producción. No obstante, para llegar a un nivel donde se puedan ver las ventajas que la industria 4.0 todavía hace falta mucho trabajo por parte de las empresas con equipos de trabajo bien formados en análisis de datos.



*Ilustración 3 Industria conectada («Así será el II Congreso de Industria Conectada 4.0» 2018)*

La industria 4.0 conecta los sistemas físicos con el mundo digital, de esta forma se monitorean todo tipo de variables y se le da al sistema cierto grado de autonomía que incluye la capacidad para tomar decisiones, esto es lo que ha empujado a las empresas a incorporar procesos de fabricación inteligente donde la intervención del factor humano es mínima (Almada-Lobo 2016). Como se viene diciendo la industria 4.0 transforma los útiles o activos industriales que prácticamente son autónomas y aprenden de sus errores para mejorar los resultados de producción y mantenimiento que siguiendo la tendencia la automatización he instalación de sensores para realizar el intercambio de datos y la facilidad para procesar información será el primer paso para realizar para construir una plataforma inteligente y tener monitorizado el entorno industrial.

La industria 4.0 se basa en varias tecnologías que se describen a continuación: (Glimpse 2017b):

**Análisis y Big Data.**

Una vez recogidos los datos del proceso de diferentes fuentes, se evaluarán los sistemas de gestión convirtiendo la información en decisiones y respaldándola con datos del proceso. Big Data como veremos más adelante se divide en cuatro sectores: Volumen de datos, Variedad de datos, Velocidad de generación de datos y análisis y Valor de datos. Por lo tanto, los datos registrados se utilizarán para registrar las amenazas del sistema pronosticando inconvenientes para que el equipo encuentre soluciones. (Bagheri et al. 2015).

**Robótica.**

El uso de elementos o partes robotizadas con control autónomo es para realizar trabajos con mayor precisión o para trabajar en ambientes no aptos para el ser humano pro generar un riesgo de salud. No obstante, los robots pueden realizar trabajos simultáneos en cadena de forma muy rápida y con una tasa lata de fiabilidad en el proceso algo que para el ser humano sería difícil de cumplir (Bahrin et al. 2016).

**Simulaciones.**

Hoy día crear simulaciones es algo muy común que puede es utilizado para mostrar el resultado de una corrección de parámetros en operaciones de producción, de proceso o mantenimiento,

pero su uso no es solo industrial, también son utilizado en marketing, transporte, consumos de energía... además cuantos más datos tengamos más exactos serán las simulaciones y por tanto los resultados obtenidos. No obstante, hoy día las simulaciones no se basan solo en parámetros, sino que se pueden realizar simulaciones en 3D para virtualizar un entorno y hacer correcciones ante posibles fallos.(Simons, Abé, y Nesar 2017)

### **Sistemas integrados.**

El concepto de sistemas integrados en la industria es tener un control en los procesos y activos de las fábricas para tener información de los diferentes procesos en los que se ve involucrado, los tres mecanismos principales utilizados en la industrial son:

- Integración horizontal, en todo el proceso donde se crea valor en la organización. Representa la disminución de pérdidas sincronizado los procesos.
- Integración vertical, referido a los sistemas de control empezando por los niveles más bajos donde se encuentran los sensores conectados al sistema de control distribuidos DCS, seguido de la planificación y gestión de la calidad, eficiencia, gestión del proceso...etc.
- Gestión del proceso de principio a fin.

Una completa integración implica dar un salto a los sistemas naturales y hacer uso de tecnologías para comunicar, controlar y automatizar todas las dimensiones de la industrial (Stock y Seliger 2016a).

### **Internet de las cosas IoT.**

Es la estandarización de protocolos para tener conectados las máquinas y los activos de forma que a través de los servicios de red tengamos acceso a los parámetros de las máquinas siendo exportables entre ellos para optimizar los procesos y dar respuesta inmediata antes un evento imprevisto haciendo la interacción hombre maquina mucho más fácil. La cadena de valor es sustentada por los sistemas que integran IoT por tanto para que la respuesta sea ágil, la red entre dispositivos y el controlador no puede tener límites.(Calero Valdez et al. 2015)

### **Ciber seguridad y sistemas ciber físicos**

Las conexiones en las organizaciones industriales y que la industria 4.0 trae a las empresas pueden ser susceptibles de sufrir amenazas externas a la seguridad cibernética, aunque cada día los protocolos de comunicación son más seguros es conveniente que las empresas dispongan de un estándar de comunicación protegido ante cualquier injerencia. Los sistemas ciber físicos son sistemas naturales creados por el hombre e integrados en un sistema de comunicación/control, físico la propia maquina y ciber estado analógico de las máquinas. Dependiendo de la utilización de la industria los sistemas ciber físicos son diferentes no es lo mismo un sistema de fabricación en serie que controlar el tráfico de una ciudad en los dos casos serian SCP(Simons, Abé, y Nesar 2017).

### **La Nube**

La Nube (Cloud) es una plataforma de IT que sirve como almacén de información y como consecuencia puente hacia otras técnicas de conexión y comunicación. En la industrial 4.0 el intercambio de datos de diferentes procesos es fundamental para realizar análisis más precisos y lograr hacer correcciones del proceso. Es un compartimento donde se comparte datos de diferentes dispositivos para tener toda la información en el mismo sitio.(Kolberg y Zühlke 2015).

### **Fabricación Aditiva.**

Los sistemas de fabricación aditiva son técnicas de fabricación por adición de material de formando capas hasta alcanzar la pieza previamente diseñada, esto implica que se puede construir diseños únicos en pequeños lotes. La ventaja es la rapidez, precisión y la facilidad con la que esta tecnología fabrica piezas de pequeño tamaño. La fabricación puede ser mediante métodos de deposición fundida, selección fundida por láser y sinterización selectiva por láser.

Cada una de las técnicas ofrecen diferentes características de diseño y calidad, no obstante, la mejora de esta técnica se encuentra en el punto más alto, porque el uso de técnicas de fabricación aditiva en los procesos de fabricación disminuye los ciclos de vida con costes muy inferiores en comparación al uso de otras técnicas.(Witkowski 2017)

### **Realidad Aumentada.**

Los sistemas de realidad aumentada ofrecen infinidad de servicios en diferentes áreas, desde la industria para la selección de piezas, reparación, fabricación o identificación de fallos, en el campo médico, construcción, moda...etc. En la industria se puede utilizar esta técnica para facilitar información a los trabajadores para que realicen sus labores de forma más eficiente ayudando a la toma de decisiones y procedimientos de trabajo. Realidad aumentada es ampliamente utilizada en simulaciones de vuelo, pero hoy día se puede utilizar para enseñar los operarios a reparar máquinas de gran valor económico o en el campo médico para realizar operaciones de gran dificultad(Sang et al. 2020).

## 2.3 Oportunidades de la Industria 4.0

El objetivo de los gobiernos de los países desarrollados es instaurar la industria 4.0 en sus sistemas de fabricación, la idea inicial comenzó con los sistemas de fabricación en serie, pero hoy día se aplica a muchas industrias dado a su nivel de rentabilidad, como la siderurgia, industrias químicas, petroleras, etc. El beneficio fundamental es un aumento de la producción con los mismos recursos, además de una respuesta rápida a la demanda, reducción de desperdicios, aumento de la efectividad de proceso. No obstante, antes de todo lo comentado anteriormente la industria 4.0 debe de cubrir unos mínimos esenciales.

- Sistemas y control heterogéneos (mismos protocolos).
- Interfaz máquina-hombre simple e integrada en el sistema.
- Sistema ágil, respuestas rápidas a fallos de proceso.
- Sistemas de fabricación colaborativas.
- Estructura abierta.
- Aprendizaje continuo basado en datos de control.

Con el fin de conseguir una organización inteligente de producción, lo primero es tener un sistema de suministro inteligente, un mantenimiento inteligente, mano de obra cualificada...etc. Un problema propio de hoy día es que muchas empresas no pueden implementar dichas técnicas por lo que se espera un largo camino para la llegada al llamado modelo de fábricas inteligentes.

Las innovaciones en la industria 4.0 facilitan el desarrollo de nuevos productos crea nuevos sistemas y dispositivos que facilitan la invención de la producción, pero también generan nuevas formas de fallo, nuevas dependencias económicas, sociales, técnicas y estructurales desconocidos hasta hoy día, introducirse en algo nuevo siempre trae consecuencias desconocidos. No obstante, los avances y la implementación de nuevos conceptos como big data o IoT ofrecen nuevas técnicas de análisis y predicción de fallos que utilizaremos para aumentar la fiabilidad en nuestras fábricas(Sang et al. 2020). Las nuevas disciplinas que en las próximas décadas se establecerán en la industria necesitan normas y metodologías de implantación en los procesos productivos que requieren de habilidades para el buen uso de la tecnología entrante que los ingenieros deben de conocer

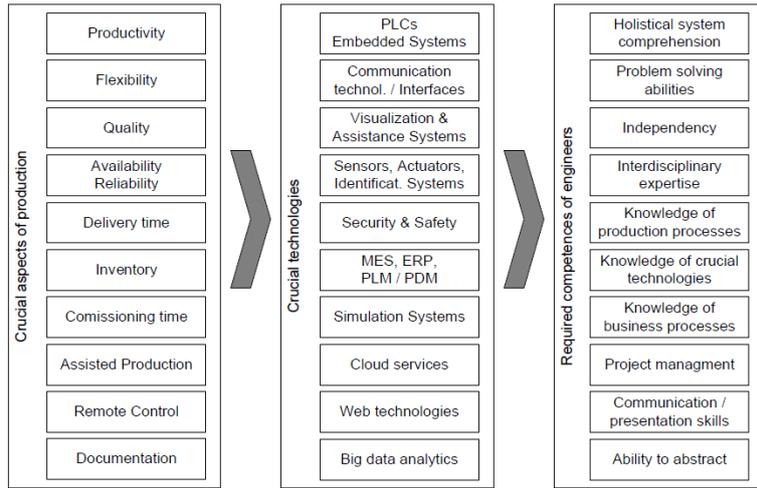


Ilustración 4 Tendencias en la producción, tecnologías y las competencias requeridas. Sang et al. 2020

La industria 4.0 es claramente un beneficio para los procesos industriales, por un lado, conlleva el uso de soluciones y recomendación como soporte a las técnicas de producción y desarrollo de productos nuevos y por otro habilita a la industria a utilizar para el uso de técnicas que favorecen los procesos industriales siendo las zonas de trabajo más estables y fiables mejorando la interfaz hombre máquina, definiendo roles para las maquinas según el tipo de tarea e importancia en la zona de trabajo.

Los protocolos industriales de comunicación junto a la programación deben de evaluar los procedimientos y los cambios producidos en las zonas de trabajo, siendo responsabilidad del operario que está detrás de la interfaz realizar las labores de mantenimiento de forma continua, de este modo se conseguirá una producción más flexible y adaptativa a los cambios que se van produciendo. Para ellos se define que desencadena los cambios y como captamos dichos cambios a través de un software o equipo del sistema de control distribuido (DCS) y equipos de comunicación como los estándares TCP/IP o OPC UA y la manera de representar para ayuda a la detección de la causa raíz (Schmitt et al., 2014).

<b>Smart Operator</b>	Employee gets information about remaining cycle time via augmented reality	Wearable computing systems receive failures and display it in real time to the employee
<b>Smart Product</b>	Smart Product contains information of Kanban to realize an order-oriented production	-
<b>Smart Machine</b>	Machines offer a standardized interface for receiving and sending	Machines send failures directly to Smart Operators and call other systems for fault-repair actions
<b>Smart Planner</b>	IT systems reconfigure production lines and update Kanban according to the new configuration	-

Ilustración 5 Ejemplo roles en la industria 4.0 Schmitt et al., 2014

Como resultado de la adaptación industrial 4.0 las empresas están realizando un cambio en la forma de producir, dejando de lado la producción en masa por la producción personalizada. Así la industria puede ser controlada por software que engloba el sistema de producción introduciendo en tiempo real nuevos productos de forma automática sí que esto sea un problema para la adaptabilidad de la cadena productiva. El objetivo de una Smart Factory es un modelo adaptativo a los cambios de la producción con un control en todo momento del máximo número de parámetros para controlar cambios inesperados o pronosticar sucesos.

## 2.4 Maquinas Inteligente.

El termino Smart Machine es muy usado dentro de un programa de mantenimiento, esto simplemente implica que las maquinas están vinculadas a las plataformas de la industria 4.0 para ofrecer mayor eficiencia, fiabilidad y seguridad en los procesos productivos, los tres principales términos que define una maquina inteligente son: los elementos físicos, los dispositivos inteligentes y la conectividad. Los elementos físicos a través de sensores están conectados con los dispositivos inteligentes, mientras que la conectividad permite enlazar esa información entre los dispositivos inteligentes que monitorizan el proceso con el exterior (proceso).

Desde el punto de vista del mantenimiento, la adaptación de las maquinas a los estándares del mantenimiento 4.0 es uno de los retos más importantes acorde con las necesidades de la industria 4.0 por lo tanto el termino maquina inteligente envuelve en una maquina conectada, eficiente y segura. Dichos dispositivos están conectados directamente con las partes físicas de las maquinas mientras que la conectividad permite el intercambio de información entre los activos industriales el Software de desarrollo industrial dando información de continuo al entorno (Porter y Heppelmann 2014).

De este modo la conectividad y el proceso de información establece nuevas funciones y capacidades a los componentes de las fábricas:

- Online: La Monitorización de los elementos de máquinas establece un control sobre las condiciones de los elementos y operaciones que se están realizando, pudiendo relacionar las operaciones en función de las circunstancias de la máquina.
- Control: Las maquinas pueden ser controladas por algoritmos para mejorar su funcionalidad.
- Optimización: Con un control absoluto de las maquinas, se elimina las paradas por avería y los defectos de calidad.
- Equilibrio: El control, monitorización y la optimización de los procesos hacen que las maquinas puedan ser autónomas reduciendo de forma drástica la intrusión física. Con un correcto Software pueden auto diagnosticar los problemas para que los usuarios realicen los cambios necesarios con el fin de mejorar los procesos y hacerlos más eficaces.

El objetivo de las máquinas inteligentes es incorporar las nuevas tecnologías en el seguimiento y análisis del mantenimiento en la actualidad hay gran variedad de equipos para monitorizar el estado de los equipos, por lo general son sensores no intrusivos, de fácil instalación y sustitución. Pudiendo medir valores eléctricos, vibraciones, temperaturas, presiones, caudales, niveles de corrosión, ruido, ultrasonidos, calidad de aceite...etc. Lo sensores a utilizar depende del tipo de maquina o equipo a controlar y que tipos de fallos se quieren supervisar para monitorizar la condición de las maquinas que representa lo que está sucediendo dentro de la actividad normal sin ningún tipo de interrupción en el funcionamiento normal o ir a pie de obra a inspeccionar la máquina (Alejandro González, José Olazagoitia, y Jordi Vinolas 2018).

## 3 Mantenimiento 4.0

### 3.1 Evolución del mantenimiento

Durante décadas el objetivo de mantenimiento se basaba en reparar las máquinas cuando estas fallaban o tenían síntomas de bajo rendimiento sin analizar las causas y sin llevar un control de la evolución de los fallos, con los años esta filosofía ha cambiado y hoy día el objetivo de un plan de mantenimiento es reducir los tiempos de inactividad producido por fallos inesperados durante los procesos de producción y que estos funcionen adecuadamente sin afectar a la calidad o desarrollo normal, pronosticando con exactitud cuando se producirá un fallo sería la idea fundamental del mantenimiento predictivo.

La predicción de posibles fallos o conocimiento del estado actual de los activos permiten a las organizaciones realizar labores un mantenimiento preventivo a tiempo, antes de que se produzca una rotura y minimizar los costes de almacenamiento de repuestos al tener una predicción más exacta, para ello se necesita tener una pronóstico basadas en técnicas de correlación de datos, en función de un historial de datos obtenidos a través de sensores y múltiples fuentes de información (Márquez y Márquez 2020).

Por lo tanto, acciones de mantenimiento predictivo incluyen tener el control y conocimiento de diferentes tareas como el análisis de vibraciones, aceites, temperaturas de proceso, revisiones, reparaciones...etc. Según las instituciones y normativas en mantenimiento es una combinación de técnicas administrativas, técnicas y de gestión durante el ciclo de vida de un artículo con el objetivo de mantenerlo operativo para que pueda operar con total normalidad. Aunque el desarrollo de las estrategias de mantenimiento se puede realizar de diferentes formas, si tenemos en cuenta los tres paradigmas del mantenimiento que se han mantenido en las organizaciones hasta hoy, el mantenimiento correctivo, Preventivo y Predictivo.

El mantenimiento correctivo se realiza después de que se haya producido la avería, esta política normalmente causa un tiempo de inactividad. Por lo general este tipo de organización está vinculada a falta de previsión y organización

El mantenimiento preventivo en resumidas cuentas podemos decir que trata los componentes o consumibles como elementos a almacenar, remplazándolos o revisándolos periódicamente cuando hay un síntoma de deterioro o no, esto se considera una mala política porque asigna acciones de mantenimiento por un tiempo determinado, independientemente del estado.

El mantenimiento predictivo está relacionado con los diagnósticos a bordo que incluyen detección de fallas y aislamiento de la causa raíz. El mantenimiento predictivo lleva esto un paso más allá al predecir fallas futuras en lugar de diagnosticar las ya existentes así de este modo entramos dentro de la fiabilidad optimizando los procesos productivos sin incrementar el riesgo para el sistema.



Ilustración 6 Estrategias de mantenimiento (Propio)

Si comparamos las políticas de mantenimiento predictivo con otras estrategias rápidamente observamos ventajas notables como:

- Reducir el tiempo de mantenimiento de los equipos.
- Reducen costes al evitar fallas incontroladas.
- Incrementa la disponibilidad de la maquinas.
- Extender la vida útil de los componentes.

Aunque existen gran cantidad de técnicas de mantenimiento en general el mantenimiento predictivo se basa en mejorar los procesos industriales tanto en fiabilidad, como en calidad de los productos fabricados, para ello los equipos de producción utilizan diferentes sensores para control de calidad o rendimiento de los activos para detectar, cuando se produzca una desviación producido por un problema, estas desviaciones pueden estar dentro de los parámetros, pero si la tendencia global es positiva, aunque no esté relacionado con mantenimiento puede indicar indicios de falla prematura.

Correlacionar el control distribuido con el de mantenimiento es una técnica adecuada, por ejemplo, llevar un registro de las inspecciones y parámetros es una práctica activa del mantenimiento predictivo (Moblely 2002).

- Inspecciones visuales.
- Inspecciones audibles.
- Control de caudales.
- Control de temperaturas.
- Control de Presiones.
- Tendencias de producción.
- Control de Vibraciones.
- Control de ultrasonidos.
- Control de corrientes parasitas.
- Control de espesores

En el siglo XXI es imposible buscar una estrategia fiable en labores de mantenimiento sin considerar la tecnología como un aliado entre producción y fiabilidad. La llamada nueva era de mantenimiento recoge información utilizando sensores de control, controles industriales y software de análisis.

Con un software de proceso industrial, los sensores instalados y demás dispositivos electrónicos vigilarémos las zonas o las partes de los dispositivos que son más susceptibles de fallo, para ello en los siguientes temas se presentarán diferentes modelos de análisis de fallo y como evaluarlos, en este sentido elegir una técnica correcta que se adapte a las necesidades para hacer mejores predicciones incrementando la fiabilidad de los procesos y como consecuencia reducir el precio final de los activos industriales es el objetivo final.

El monitoreo de las condiciones de las máquinas es la base del mantenimiento predictivo obteniendo patrones de los parámetros que podemos monitorizar y registrar mediante los sensores que permite a las maquinas estar conectadas a las bases de datos y registrar todas sus acciones en tiempo real para potenciar el mantenimiento (Moblely 2002).

El mantenimiento por condición en tiempo real no sería el adecuado en la actualidad por la alta fiabilidad en los procesos que las empresas demandan con la intención de incentivar técnicas que minimicen los fallos repentinos o no planeados, sin embargo, con el PdM 4.0 solventamos los fallos repentinos con Big Data aprovechando el poder de la inteligencia artificial para aprender patrones de comportamiento de las averías y poder predecir los fallos, esta es la gran diferencia entre PdM 3.0 y 4.0 como se puede apreciar en la imagen siguiente.

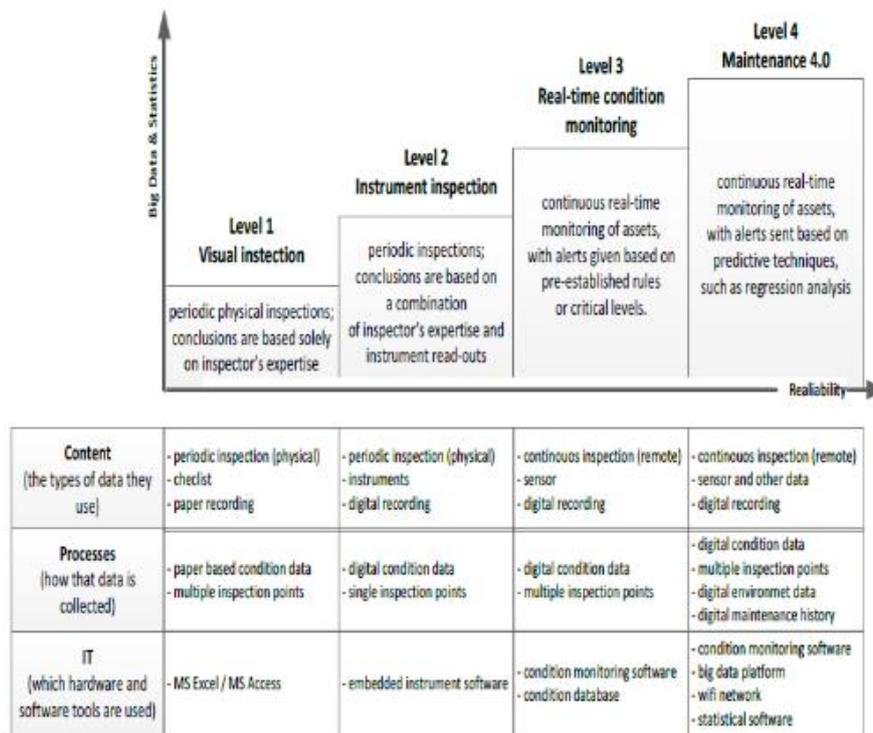


Ilustración 7 Evolución de las estrategias de mantenimiento Mobley 2002

- Pasado → Realización de análisis de incidencias por el histórico de fallos
- Presente → Análisis de las anomalías con herramientas para reconocer índices de fallos y predicciones a corto plazo
- Futuro → Planificación del mantenimiento para prevenir fallos futuros analizando los parámetros y buscando patrones para identificar fallas a largo plazo.

El análisis de datos por lo general obliga a manejar, procesar y almacenar cantidades enormes de información, junto con la madurez de los medios analíticos de datos y el Big Data se presenta un nuevo modelo de PdM que históricamente se conoce como el 4 nivel que como ya se ha dicho anteriormente el objetivo es predecir fallas futuras de los componentes a través del historial del proceso, el concepto de fiabilidad de los activos empresariales de ha visto mejorado gracias a la implantación de sensores que permiten la comparación con hechos históricos de equipos similares que puedan relacionarse, por lo tanto transforma la información en acciones de mantenimiento recomendadas para aumentar la fiabilidad de las máquinas, siguiendo los hechos históricos de las estrategias de mantenimiento que efectivamente fueron adaptándose según los recursos y las necesidades de las máquinas (Jasiulewicz - Kaczmarek y Gola 2019)..

### 3.2 Características del Mantenimiento 4.0

El Mantenimiento enfocado a la industria 4.0 es una técnica que utiliza herramientas de análisis de datos para detectar anomalías y patrones de fallos en los equipos o procesos industriales para anticiparnos a los posibles errores que se puedan producir. Dicho de otro modo, mantenimiento 4.0 es la aplicación a las industrias 4.0 a las operaciones de mantenimiento y actividades rutinarias de este, el principal objetivo es maximizar los tiempos operativos de producción al optimizar el mantenimiento correctivo no planificado esto permite reducir al mínimo las fallas no previstas de forma exponencial sin aumentar el número de inspecciones rutinarias.

Por norma general una vez que se produzca o localiza una falla lo primero es lanzar una orden de trabajo al equipo e mantenimiento, tras ir a comprobar que ocurre y proceder a investigar las causas para que una vez reparada la avería no vuelva a suceder, se trasladan las piezas a la zona de trabajo y se comienza la reparación bajo unas condiciones de trabajo limitadas por el tiempo de parada de producción, después de la reparación se realizan las pruebas pertinentes y se reanuda la producción.

Por lo general mantenimiento predictivo realiza un control en continuo de las diferentes partes de las maquinas o componentes a través de sensores como acelerómetros, sonda de desplazamiento, sondas de temperatura, sensores ultrasónicos...etc. Para anticiparse a los problemas antes de que ocurran, además de monitorizar en tiempo real que nos protege de un suceso de riesgo inesperado.

En lugar de esperar a que falle el equipo se aplican algoritmos mediante Big Data desde los sensores instalados en las máquinas y equipos para identificar patrones de comportamiento anómalo del equipo y así poder avisar de la evolución de un fallo, por ejemplo, si se desprende un tornillo en el conducto de aire de una turbina, en cuanto se produce un desequilibrio el equipo lo detecta de milésimas de segundo y para la máquina.(Li, Wang, y He 2016)

En mantenimiento predictivo hay tres principales técnicas implicadas que entre si hacen posible la medición, análisis y monitorización de parámetros recogida de los sensores, estas son:

- Internet de las cosas (IoT): Maquinas conectadas, la recolección el tiempo real de sensores como vibraciones, temperatura, tensión, intensidad...etc.
- Analítica Avanzada BigData: Procesamiento de datos
- Inteligencia artificial: Mediante sensores las maquinas pueden entender que está pasando y por tanto realizar acciones que modifiquen el resultado, en definitiva, resolver un problema.

Dentro del mantenimiento 4.0 el uso de la inteligencia artificial para impulsar el análisis es el principal punto de partida para el aprendizaje automático dentro de las estrategias de mantenimiento en la industria 4.0 como una incorporación de tecnologías como IoT Big Data, Sistemas ciber-Physical para hacer referencia a la nueva generación de sistemas integrados en la industria 4.0. La idea fundamental es tener la capacidad para dar el salto entre los sucesos físico de las maquinas al mundo digital, con el cual nos podemos entender mediante infinidad de sensores y elementos de detección.

Los cuatro hechos que incuestionablemente han perfeccionado el mantenimiento ha sido:

- Aprendizaje automático y predicción de fallos, evolucionando hasta tal punto que el programa maneja los stok de almacén con el fin de tener el mínimo material necesario.
- Adaptación de los flujos de trabajo por mediante softwares de proceso.
- Utilización de herramientas de alto valor añadido para las inspecciones de mantenimiento.
- Comunicación, aumentando la facilidad de trasmisión de datos por diferentes vías entre las maquinas

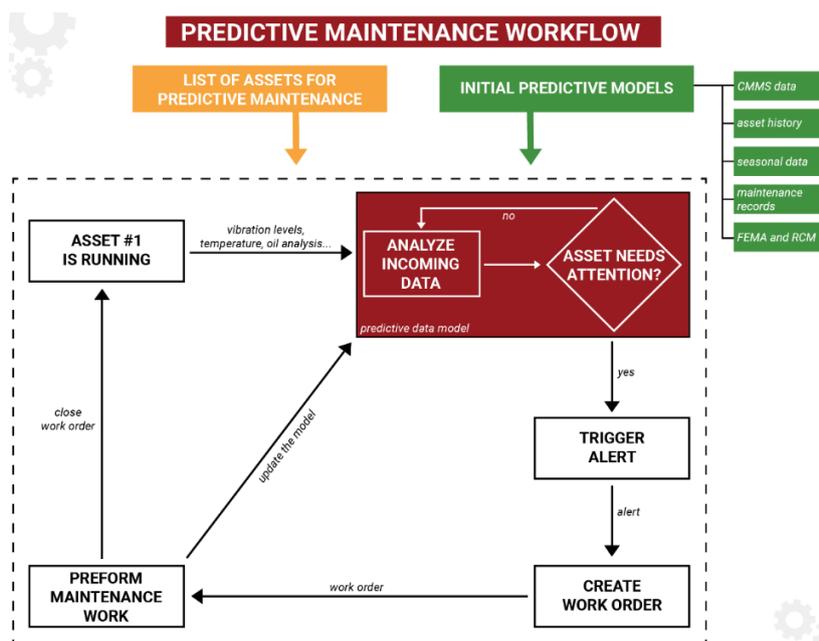


Ilustración 8 Mantenimiento predictivo («A Complete Guide To Predictive Maintenance» )

Por lo tanto, la principal ventaja del mantenimiento 4.0 es ser capaz de establecer tareas de mantenimiento en función de los acontecimientos, para obtener un buen resultado en un programa de PdM hace falta cuatro componentes principales:

1. Instalación de sensores en tiempo real para controlar el estado de las máquinas.
2. Establecer un protocolo de comunicación entre los sensores (máquinas) y personal de mantenimiento Software con un servicio para almacenar gran cantidad de datos, en resumen, un programa de IoT.
3. Modelo de datos basado en análisis predictivo, Big Data.
4. Plataforma de mantenimiento y gestión de activos.

Desde el punto de vista del mantenimiento, las máquinas están englobadas en un sistema autoconsciente que es capaz de evaluar su estado, degradación y realizar decisiones para continuar operando y evitar posibles fallos. Por supuesto para llegar a este punto se debe de utilizar un sistema completo con los cuatro componentes principales como se ha indicado anteriormente. Todo ello significa tener un sistema mecánico que es autoconsciente y capaz de evaluar las condiciones de trabajo actuales, pasadas y futuras, a través de una red de información entre la máquina y su entorno.

El mantenimiento 4.0 no solo entra en las empresas con expectativas de mejorar el mantenimiento rutinario si no que posee más recursos para compensar los modelos de control con la compartición de datos o a la contribución de la producción más sostenible porque maximiza la vida útil de las máquinas, mejora los procesos industriales, ayuda a minimizar el consumo de energía y recursos. La disponibilidad de los todos es accesible mediante una red de datos que ofrece la posibilidad de proporcionar información para la mejora continua con una relación más estrecha entre producción y mantenimiento.

Las técnicas de control y pronóstico del mantenimiento no solo se puede utilizar para mejorar la fiabilidad de los procesos productivos, sino que también podemos evaluar el consumo energético, la eficiencia energética o controlar los fallos que causan altas emisiones contaminantes.

La tecnología conectada puede ayudar a los equipos de mantenimiento a mantener el inventario de material al día y con previsiones más exactas para evitar tener en stock más material den

necesario de esta forma tendría el material necesario en el momento exacto (Rødseth et al., 2017).

El mantenimiento 4.0 ofrece grandes posibilidades de mejora a las organizaciones con una amplia gama de aplicaciones no solo en mantenimiento si no que las nuevas tecnologías pueden ser implementadas para mejorar índices ambientales, sociales y económicos

### 3.3 Estrategias de mantenimiento 4.0

Actualmente el marketing digital ofrece gran cantidad de soluciones de tecnologías emergentes y o en proceso de mejora, no obstante, el salto del mantenimiento 3.0 al 4.0 se va realizando poco a poco mejorando los procesos actuales o añadiendo nuevas tecnologías que por el abaratamiento de costes actualmente es más accesible para las organizaciones. Sin embargo la innovación tecnológica que por norma general se aplica al mantenimiento 4.0 sigue la curva S donde en la primera etapa se describe el tiempo de creación de las nuevas tecnologías o herramientas para aplicar al mantenimiento, después en la segunda etapa es donde se genera un gran salto en la mejora de la tecnología pero todavía no es económicamente factible y en la tercera fase es cuando la maduración de la tecnologías es suficientemente buena y aceptable para introducir y lograr el mayor rendimiento.

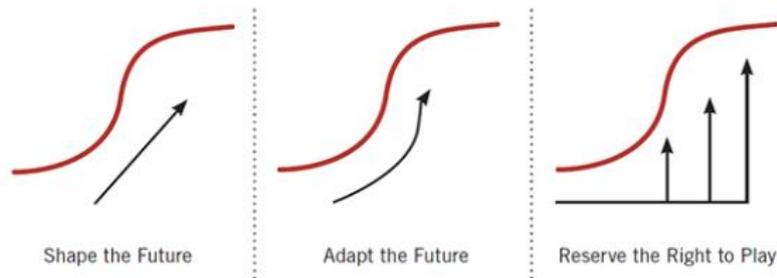


Ilustración 9 Curva S estrategia empresarial nuevas tecnologías (Presenso 2017)

De este modo el mantenimiento debe adaptarse a los procesos y operaciones existentes y futuras en las organizaciones y dependiendo de los sensores que se utilice y de los parámetros que se necesite monitorizar utilizaremos unas técnicas u otras de mantenimiento u otras.: («CBM CONNECT: The Home of Condition Monitoring Education» 2015.):

- **Análisis de lubricantes.**  
Mediante el análisis de aceite en máquinas se puede determinar cambios de comportamiento que se relacionan con el desgaste, sobrecalentamiento, contaminantes... en el aceite con el objetivo de detectar a tiempo los cambios en el fluido existen dos métodos de análisis de aceites, en continuo monitorizando los parámetros:
  - Acidez, Valoración potenciométrica, Cantidad de agua, Contaje de partículas
 A través de una muestra se puede realizar:
  - Ferrografía, Viscosidad, Análisis microbiano, Espectroscopia infrarroja, Sedimentos, además de los parámetros anteriores.
- **Análisis de vibraciones.**  
Un desgaste, daño o inicio de una avería por lo general se refleja en los equipos por medio de las vibraciones con una particularidad que se refleja en el espectro analizado para identificar el componente es función de los armónicos identificados, además se puede identificar desequilibrios, resonancias y fallas estructurales, las técnicas de análisis de vibraciones son:
  - Análisis de choque.
  - Análisis ultrasónico.

- Densidad espectral de potencia.
- Análisis de forma de onda.
- Análisis espectral
- **Análisis de corrientes en motores.**  
El análisis de corrientes o MCA por sus siglas en inglés principalmente realiza un análisis espectral de las corrientes parasitas en los cables de alimentación del motor con una bobina Rogowski, y tras realizar la transformada de Fourier de la señal determinamos la condición del motor y posibles fallos como:
  - Degradación de aislamientos.
  - Desequilibrios.
  - El entre hierro.
  - Circuito de alimentación.
  - Estator.
  - Rotor.
- **Análisis por ultrasonidos.**  
Todos los elementos en movimiento son susceptibles de monitorizar a través de ultrasonidos gracias a que un desgaste o un mal funcionamiento de los componentes mecánicos producen ondas sonoras de alta frecuencia posibles de detectar, e una técnica muy útil junto con el análisis de vibraciones. La medida ultrasónica de genera una alarma temporada de un problema, esta técnica incluye:
  - Emisiones acústicas.
  - Prueba ultrasónica.
  - Inspección de sistemas rotativos.
  - Detección de fugas de gases.
  - Espesor de metales.
- **Inspección con cámaras termográficas.**  
El análisis mediante cámaras termográficas online se utiliza para analizar la variación de temperatura aparente en varios puntos a la vez mediante imágenes infrarrojas el objetivo es controlar los cambios de temperatura en función del tiempo para identificar posibles fallo u operaciones mal realizadas, lubricaciones inadecuadas, desalineaciones o sobrecalentamiento eléctrico suelen ser las averías más comunes. Además, esta tecnología es muy útil para identificar problemas en armarios eléctricos, las técnicas principales de trabajo son:
  - Termografía
  - Control de máquinas eléctricas.
  - Tuberías.
  - Refractarios.
  - Calefactores.
  - Atascos.
- **Análisis de radiación.**  
Es una tecnología utilizada para observar fallos internos en piezas, muy utilizadas para la revisión de piezas de fundición, soldadas o sinterizadas. Es una técnica no destructiva que mide la absorción de la radiación por parte del material a analizar y así se pueden observar en imágenes los defectos internos. Las técnicas actuales son:
  - Radiografía directa.
  - Radiografía por ordenador.
  - Identificación positiva de material.
  - Radiografía de neutrones.
- **Interferometría laser.**

Esta técnica dado un salto a la industria por que ha empezado a ser relativamente económica, por lo general es utilizada para identificar defectos superficiales en materiales, monitorizar desgastes o control de llenado de cintas. Se basa en la diferencia de medida de la longitud de onda generada por un láser y capturado por el interferómetro, en función de los patrones identificados se puede detectar diferentes tipos de fallos, las variantes de esta técnica son:

- Laser ultrasónico.
  - Control de deformaciones.
  - Holografía digital.
- ***Inspección electromagnética.***

Los trabajos realizados durante las inspecciones electromagnéticas en particular son para encontrar distorsiones en los campos magnéticos como resultado de grites, corrosión o zonas susceptibles de rotura. Al inducir un campo magnético dentro de una zona que se quiera analizar se producirán unas corrientes parasitas que en función de la distorsión identifican un daño u otro. El uso que podemos realizar a esta técnica es:

    - Inspección por partículas magnéticas.
    - Corrientes parasitas.
    - Fugas electromagnéticas.
    - Corrientes de Foucault.



trabajo los sistemas de gestión de fábricas desde mediados de 1990 se podría decir que pertenecen a la fábrica inteligente en la que los sistemas ciber-físicos registran y guardan el historial de datos a través de la nube y la comunicación con más sistemas y hacer que las maquinas puedan ser autoconsciente y como consecuencia realizar un mantenimiento autónomo utilizando la información que le llegan de los sensores.

Para lograr tales niveles de autonomía se utiliza un sistema de sensores que registran los estados de componentes de las maquinas lo que da como resultado la capacidad de evaluar las condiciones de trabajo actuales presentes con base en el pasado para generar un resultado de evaluación y pronostico remoto esto genera gran potencial de mantenimiento de la industria 4.0. Generar una estrategia de mantenimiento 4.0 no es fácil, hace falta una técnica basada en una inversión inicial en tecnología, que, por lo general, es nueva en las instalaciones y son poco aceptadas por el gran esfuerzo técnico que necesita para poner en marcha un plan de mantenimiento predictivo basado en la industria 4.0.

Las principales técnicas en las que se basa o se defiende en mantenimiento hoy día es en la alta cantidad de sensores que existen en el mercado y la comunicación con los servicios de procesamiento de datos, por supuesto el procesamiento de datos es un factor muy importante, pero el primer paso que debemos de dar es la unión de lo físico con lo digital lo que hoy día se denominan sistemas ciber-físicos.

El campo de la ingeniería industrial ofrece gran cantidad de sensores multifuncionales adecuados para la producción industrial, los sensores inteligentes pueden reemplazar el vigilante de zona o reemplazar los sensores actuales por sensores que fácilmente se conectan entre ellos y combinan aprendizaje continuo con protección de los equipos (Song et al. 2017).

El mantenimiento es una actividad critica que se basa en la ayuda a la producción, con el objetivo de evitar fallos es las maquinas durante los procesos de producción que puedan provocar efectos adversos en tiempo y forma sobre la producción. Un programa de mantenimiento preventivo PdM es un conjunto de herramientas que se utiliza para predecir fallos en los sistemas y así optimizar los tiempos de producción, las herramientas principales son un conjunto de sensores que realizan un seguimiento continuo de los activos y procesos que permite analizar cuando es efectivo realizar una parada de mantenimiento detectando fallas tempranas gracias a las herramientas de IoT, Big Data y el histórico de eventos aumentando la producción sin desperfectos. No obstante, hay que resalta que las herramientas tienen limitaciones de comunicación, los modelos matemáticos no son del todo exactos y la utilización de sensores en zonas erróneas crea una base de datos confusa no obstante se pueden distinguir tres bloques donde del mantenimiento que por lo general se pueden mejorar en toda industrial.

- Modelos Matemático basado en métodos estadísticos e historial de eventos que requiere de informes actualizados en concordancia con las maquinas a evaluar.
- Análisis de fallos, que identifica los puntos débiles o zonas más susceptibles de fallos donde el conocimiento del estado de dichos componentes reduce la complejidad del mantenimiento.
- Conocimiento basado en datos reales que se pueden utilizar para el aprendizaje automático, inteligencia artificial y modelos estadísticos que ayuden al desarrollo y utilización de las herramientas de la industria 4.0.

El mantenimiento actual está basado en la recopilación de las intervenciones de mantenimiento sobre los equipos de producción que se utiliza para realizar un plan en función de la experiencia con el fin de evitar las fallas más repetitivas y habituales. Sin embargo, el mantenimiento preventivo 4.0 se basa en analizar gran cantidad de datos para dar un diagnostico más exacto

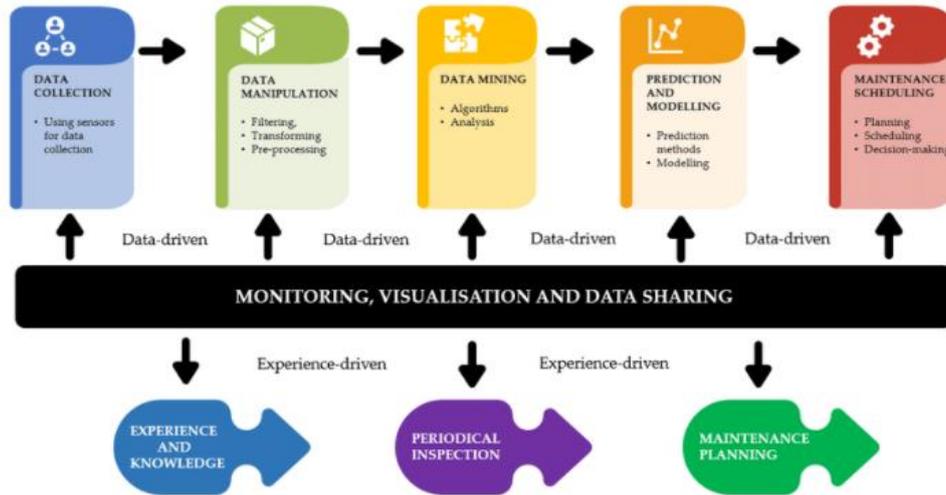


Ilustración 11 Flujo de datos en un plan de mantenimiento predictivo (Pech, Vrchota, y Bednář 2021)

Los cambios en las tecnologías están cambiando drásticamente el concepto de mantenimiento y producción, dejando atrás los procesos tradicionales y basar las actuaciones en el historial de datos.

## 4.2 Sensores Inteligentes

El concepto de fábricas inteligentes se entiende con un control absoluto de los activos de la organización que incluye la Identificación, detección y análisis de datos. El proceso de implementación de los cambios tecnológicos y organizativos están centrados en introducir métodos de aprendizaje que está considerado como una herramienta prometedora para el mantenimiento predictivo (Tan y Koo, s. f.) por esta razón entendemos que los sensores reproducen los procesos naturales transformando los estímulos físicos en señales eléctricas en tiempo real, permitiendo el auto diagnóstico de la maquina y otros dispositivos conectados mediante diferentes protocolos de comunicación. En la actualidad los protocolos de comunicación con más futuro son los sensores inalámbricos como los conocidos Bluetooth o wifi siendo dispositivos multifunción que recogen datos en continuo y son fáciles de integrar en un entorno de alta conductividad. (B. Chen et al. 2018). Los sensores integrados en la producción industrial permiten desarrollar estrategias de específicas de mantenimiento, pero también de calidad y producción siendo parte del IoT monitoreando precipitadamente los dispositivos y lanzando alertas cuando hay una desviación de los parámetros específicos, estas funciones permiten la gestión de las instalaciones. El uso de sensores en la industria 4.0 es el elemento clave para conocer el estado de los sistemas junto con el aprendizaje automático que puede buscar una trazabilidad del comportamiento de las fábricas, permitiendo medir tolerancias desviaciones y por supuesto realizar seguimientos de las maquinas. Históricamente la detección y el análisis de fallos es un tema que repercute a los sensores inteligentes en la imagen 11 se comparan los resultados de tres etapas donde se distinguen la importancia de los sensores en la industria y el mantenimiento (Song et al. 2017)

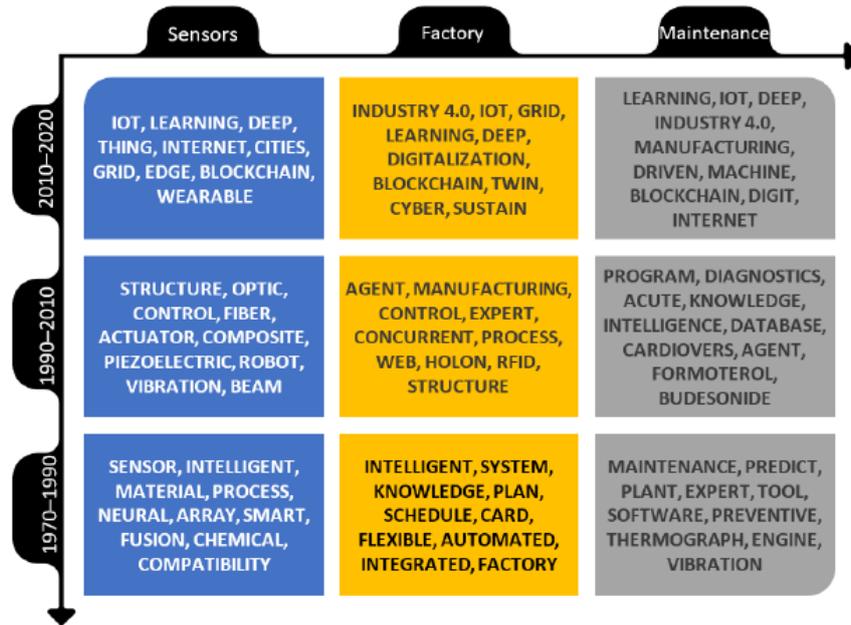


Ilustración 12 Sensores en las 3 últimas etapas del mantenimiento preventivo (Pech, Vrchota, y Bednář 2021)

Durante el primer periodo destaca la planificación, creación de técnicas de organización, conocimiento. En el segundo periodo los llamados sistemas expertos que emula un razonamiento humano basado en eventos y acciones.

#### 4.2.1 Sensores de movimiento, proximidad y velocidad

Los sensores más utilizados actualmente son las sondas de movimiento y de posición para monitorizar la posición de las maquinas en todo momento, existen diferentes tipos de sensores para tal propósito, foto eléctrico, potenciómetro, magnético, capacitivos, ópticos...etc. La detección de los objetos debe de cumplir con unos requisitos mínimo de la industria moderna, como bajo consumo energético, durabilidad, resistencia a ambientes químicos, ideales para la producción en masa. La utilización de los sensores puede ser muy variada, por ejemplo, un giroscopio tiene varias utilidades como el análisis de marcha paro, detección de caídas, reconocimiento de gestos... además si se combinan con un acelerómetro la utilidad puede ser muy variada.

Los sensores de proximidad detectan la presencia de objetos sin contacto, estos pueden ser ópticos, ultrasónicos, capacitivos o inductivos, con el uso de estos sensores se pueden monitorear parámetros físicos en tiempo real, detección de partículas o fluidos. Los velocímetros tienen varios usos por lo general para controlar la velocidad de objetos como ruedas, motores, reductores... Los modelos utilizados pueden ser varios como acelerómetros, velocímetros, tacómetros detección de luz y sensores, radares. Por ejemplo, e la industria textil utilizan sensores de velocidad y vibración para buscar patrones de fallos en los sistemas de hilado (B. Chen et al. 2018).

Los acelerómetros son sensores piezoeléctricos utilizados con gran frecuencia en la industria para medir vibraciones en las maquinas, por lo general para controlar el estado y dar un diagnostico si presenta algún síntoma sin tener que hacer una intervención dentro de la propia máquina, las señales de respuesta dinámica de aceleración ofrecen gran cantidad de información para predecir futuros fallos y desarrollar diagnósticos de fallos online sin tener que ir a la propia maquina a recolectar datos, la tecnología de los equipos aplicada a los equipos industriales se lo que proporciona fiabilidad al mantenimiento inteligente.

#### 4.2.2 Vibraciones y sensores de par.

Los sensores de vibraciones se utilizan generalmente para monitorear las maquinas en busca de problemas potenciales, de detección y diagnóstico de fallos se ha desarrollado a lo largo de los años, por lo tanto, para detectar una posible falla futura se utilizan diversas técnicas, con enfoques analíticos que describiremos en pasos sucesivos, estas técnicas están basados en conocimientos actuales de sistemas mecánicos y eléctricos.

Los procesos de detección de fallas se basan en la información obtenidas del historial del proceso de funcionamiento, en diferentes tipos de motores eléctricos que están presentes en los procesos y equipos que componen la industria. La vibración causada por alguna anomalía de funcionamiento llevara a daños futuros y estas pueden ser debido a un problema mecánico o eléctrico, es decir que la fiabilidad del motor tiene una gran influencia en el funcionamiento del sistema.

Monitoreando y analizando la vibración en diferentes puntos se puede determinar la causa de la vibración y la fuente, para una vez analizada determinar las medidas a adoptar para subsanar el problema o sustituir con antelación y sin sorpresa de avería el elemento defectuoso. (Barbieri et al. 2021)

A continuación se describirán los espectros típicos de vibración y las causas más típicas debidas a:

- Desequilibrio
- excentricidad
- Desalineación.
- Holguras mecánicas.
- Holguras mecánicas
- Rodamientos defectuosos
- Cojinetes de fricción defectuosos.
- Roturas de barras, en motores de inducción.
- Fallas electromagnéticas
- Evaluación del campo.

Los sensores de rotación convierten en señal eléctrica un par de rotación midiendo variables estacionarias o dinámicas por lo general en motores, soplantes, turbinas, generadores... se suelen utilizar para evaluar un cambio en las condiciones normales y detectar posibles fallos. Herramientas muy útiles para adaptarlos a una red de aprendizaje profundo con mecanismos de alarma para el mantenimiento mecánico.

#### 4.2.3 Sensores acústicos y ultrasónicos.

Un grupo de sensores muy importante son los sensores acústicos y ultrasónicos, es posible detectar problemas eléctricos, de rodamientos o engranajes por impacto de los componentes. Los sensores ultrasónicos detectan las ondas ultrasónicas no audibles para detectar problemas y recolectar datos del funcionamiento de los elementos de las maquinas mediante el principio de desplazamiento Doppler. Utilizando patrones de aprendizaje en conjunto con otro tipo de sensores se pueden utilizar para detectar el comportamiento y movimiento de máquinas (Stock y Seliger 2016b)

#### 4.2.4 Sensores de presión, galgas extensométricas.

Los sensores de presión identifican las desviaciones de presión en los componentes de la industrial, pudiendo detectar cambios en el entorno con el objetivo de controlar todos los procesos que se están generando en las instalaciones, los sensores pueden ser piezo eléctricos barométricos, capacitivos, resonantes...etc. Las galgas extensiométricas ayudan a detectar cambio por deformación en materiales y calcular el esfuerzo al que el material está sometido en todo momento, además de contar lo ciclos de carga algo muy útil en mantenimiento para

predecir futuros cambios de componentes según el uso y ahorrar costes al cambiar los consumibles por ciclos y no por tiempo de trabajo. Además, pueden ser utilizados como elemento de seguridad o control al monitorear la presión ejercida sobre los componentes.

#### 4.2.5 Sensores Ópticos, de luz y sensores de visión infrarroja

Otro tipo de sensores ópticos que trabajan con inteligencia artificial y que ayudan a la industria a través de la visión por ordenador son los sensores ópticos, esta tecnología ha crecido bastante en los últimos años gracias al uso que se le da en los vehículos autónomos y la robótica. Los datos visuales se capturan en forma de imagen y después procesar una serie de algoritmos mediante aprendizaje automático puede ser procesada a través del control distribuido de la industria. En la industria 4.0 se utilizar para detectar desgaste mediante sensores tridimensionales que representas nuevas formas para obtener información más exacta de los procesos y reducir la desviación de los fallos. Mediante tecnología de diodos se puede conocer la cantidad de luz ambientan y controlar procesos de pintado y secado, además se pueden utilizar en la industria bioquímica y médica.

#### 4.2.6 Sensores de temperatura.

Por lo general los sensores de temperatura detectan cambios en las condiciones de las maquinas o el estado de procesos industriales. Los detectores obtienen la temperatura directamente del entorno mediante termopares, termistores o indirectamente a través de sensores infrarrojos por medio de una cama termográfica conectados al control distribuido controlan en todo momento la temperatura aparente del entorno.

Otro grupo de sensores consta de sondas que miden la temperatura y la humedad del entorno y en combinación con otros sensores como vibraciones, los avances y usos de nuevos materiales han permitido la creación de una nueva generación con un consumo menor para utilizar en aplicaciones de dispositivos desechables (Salvatore et al. 2017)

#### 4.2.7 Sensores de Caudal, gas y sensores ópticos

Los sensores caudales por flujo magnético ofrecen la posibilidad de controlar el flujo de un líquido que pasa por una tubería mediante detectores magnéticos, ultrasónicos o incluso térmicos con el objetivo de conocer en todo momento los índices de rendimiento. Los sensores capacitivos se pueden utilizar para conteo de partículas en los fluidos como en los aceites, así se controla la cantidad de suciedad en función de la presencia de sustancias o lodos que se detectan en las tuberías. Otra opción es el uso de rayos de luz y una foto diodo como receptor que analiza la luz recibida para contrastar con otro haz de luz como patrón para identificar el caudal que pasa por la tubería y el nivel de contaminación que el fluido tiene.

Los sensores de humedad son utilizados en máquinas industriales como en circuitos hidráulicos y en la industria química por seguridad o para adaptar las mezclas en función de la humedad relativa en los tanques, estos sensores juegan un papel importante en los procesos de producción permitiendo adaptar las mezclas en función del ambiente ya que el porcentaje de humedad esta monitorizado para evitar problemas de calidad en os productos en diferentes condiciones de temperatura. (Farahani, Wagiran, y Hamidon 2014).

Sensores Ópticos para la detección de gases como O<sub>2</sub> CO CO<sub>2</sub> NO<sub>x</sub> ...etc se basan en la detección por espectrometría infrarroja de las especies químicas que determinar los compuestos volátiles del gas en el ambiente muy utilizados como elemento de protección, pero en otras ocasiones son utilizados en aplicaciones industriales para detectar etanol, metanol, benceno y así ajustar las mezclas adecuadas. (Buck et al. 2004)

#### 4.2.8 Sensores de flujo magnético Hall, corriente y energía.

Los sensores de flujo magnético son utilizados para saber la posición velocidad o distancia de un elemento, esto es posible porque el voltaje del sensor cambia según el campo magnético al que está situado, así que detectan la posición en la que se encuentran según el campo magnético.

Los sensores de corriente tienen como propósito medir el consumo de corriente de las máquinas, actualmente son bastante utilizados, pero poco a poco van perdiendo uso ya que se utilizan sensores electrónicos más pequeños y económicos pudiendo medir los parámetros en tiempo real utilizado en la industria aeronáutica, química y nuclear.

#### 4.2.9 Sensores Virtuales

Los sensores Virtuales son aplicaciones avanzadas junto con un software que mejoran el rendimiento de los equipos y ayuda a entender cómo mejorar sus funciones generando patrones de forma automática pudiendo recrear en modo virtual el proceso para entender o mejorar las fases de fabricación, en definitiva, recogen información de los sensores físicos e interpreta lo que está sucediendo.

#### 4.2.10 Sensores micropartículas, nanopartículas, nucleares

Los sensores en este grupo están considerados como sensores más avanzados por que utilizan tecnologías modernas ya que se aplican en industria química o nuclear. Utilizados para medir la cantidad de un gas, la presencia de un tipo específico de partículas o la composición molecular de una sustancia, el funcionamiento de estos sensores se basa en el hecho de que las propiedades electrónicas de las nanopartículas cambian cuando absorben diferentes tipos de moléculas que hace que disminuya o aumente el número de electrones, en definitiva, la presencia de un tipo de moléculas cambia el voltaje. Los sensores con nano partículas de oro o plata se llevan utilizando desde hace mucho tiempo para aplicaciones en la industria química o biológica por lo general están configurados con un transistor y cientos de nano sensores capaces de detectar cambios en las condiciones de trabajo (Méallet-Renault, Denjean, y Pansu 1999)

##### 4.2.10.1 Nano sensores de boro.

Para controlar los contaminantes radiactivos directos o indirectos como resultado de la industria nuclear, se necesitan sensores o dispositivos capaz de detectar este tipo de sustancias y la necesidad de monitorizar para proporcionar una seguridad más estable en los procesos. Los detectores de radiación gamma y de neutrones se dividen en dos grupos, sensores realizados con semi conductores desarrollados por el laboratorio nacional de Berkeley y detectores basados en nano conductores desarrollados por el instituto kurchatov. Los materiales para desarrollar sensores de radiación son el germanio y el silicio dopados con galio, pero hoy día se utilizan sensores basados en semi conductores como el silicio germanio u oxido de Zinc

### 4.3 Protocolos de comunicación.

Mientras que en la Industria 3.0 los componentes de automatización, como los sensores, intercambian datos principalmente dentro del dominio interno de red, en la Industria 4.0 va más allá de los límites establecidos, el objetivo es que las comunicaciones permitan a todos los colaboradores intercambiar información o incluso prestar servicios, como, por ejemplo, acciones "medir temperatura" o "mover un pórtico".

La comunicación debe cumplir dos requisitos fundamentales, funcionalidad y seguridad, esto es debidamente lo que la industria 4.0 necesita, nuevas formas de comunicación funcionales y seguras, sobre todo a nivel técnico, por ejemplo, en un centro de trabajo, la planta, maquinaria y los productos se comunican entre si e intercambian datos de forma constante, no importa si una máquina se está comunicando con su centro en el mismo nivel o con una instalación situada al otro lado del mundo. Sin embargo, esto solo puede funcionar si los mecanismos de comunicación garantizan que los componentes de Industrie 4.0 puedan comunicarse de forma segura e interoperable (Neumann, Poeschmann, y Messerschmidt 2018).

Por lo tanto, la forma en que se plantea la comunicación en la industria se está convirtiendo en un factor crítico, los procesos deben de ser seguros, confiables y las estructuras de protocolo en

los servicios conectados habilitados por las redes, por ejemplo, el mantenimiento preventivo juega un papel clave.

A este respecto, son importantes como se gestionan las nuevas tendencias, como Internet de las cosas (IoT) una tecnología emergente que se posiciona como un entorno fiable para muchas aplicaciones de entornos industriales. Las plataformas IoT, desde el punto de vista de las comunicaciones, consta de una red TCP / IP y protocolos estándar, estos protocolos incluyen principalmente el protocolo avanzado como: (AMQP 1.0), transporte de medida (MQTT), protocolo restringido para aplicaciones (CoAP), protocolo extensible de mensajería (XMPP). Las redes TCP / IP incluyen Wi-Fi, Internet, Intranet, y redes móviles modernas, el uso de una infraestructura y un protocolo de comunicación, depende del campo de aplicación, los requisitos de tiempo y las velocidades de transmisión de datos.

El intercambio de información a través de cualquier método de comunicación requiere que todos los equipos que intervienen en el proceso (transmisores y receptores) que hablen el mismo idioma, es decir que estén de acuerdo común sobre el tipo de señales utilizadas para certificar una transmisión de la información sin problemas, por lo tanto, la normalización de los tipos de señales utilizados se denomina protocolo de comunicaciones, todas las arquitecturas de red (Network) están descritas por la norma ISO / IEC 7498-1: 1994

Además de esto, el desarrollo de la comunicación de máquina a máquina (M2M) se basará en el futuro en conceptos de seguridad reconocidos a nivel mundial. Para ello, los componentes calificados como confiables se les asignan identificadores definidos, de manera que otras plantas o maquinaria de las cadenas de producción y valor puedan identificarlos como adecuados y seguros.

Estos identificadores verifican que los componentes cumplen con los requisitos de comportamiento y que la comunicación puede y debe tener lugar el intercambio de datos (Hansen, Malik, y Bilberg 2017)

Los dispositivos utilizados para la automatización con perfiles normalizados (IEC TR 62390: 2005) que poseen un conjunto de funcionalidades en un ambiente industrial determinado y siguiendo el modelo de esto, el subgrupo de trabajo relativo a comunicación para la I4.0, ha llegado a un punto donde el objetivo es certificar la interoperabilidad de todos los niveles de la industria bajo el perfil IEC TR 62390. Ejemplos de esta interoperabilidad serían:

- Comportamiento dinámico: confianza en los mismos protocolos, perfiles de seguridad.
- Funcionalidad de la aplicación: permisos de un cliente.
- Semántica de parámetros: usuarios y configuración de modelo a seguir.
- Tipos de datos: certificados, tokens de seguridad.
- Acceso a datos: acceso basado en roles (lectura, lectura / escritura, escritura).
- Interfaz de comunicación OPC UA.
- Protocolo de comunicación TLS.

Para los componentes de Industria que están rodeados por sus propias reglas de gestión, ya no es suficiente para igualar la comunicación a nivel de protocolo Imagen 13. También existe la necesidad de acuerdos sobre autorizaciones (claves electrónicas, por ejemplo) y perfiles de seguridad propios.

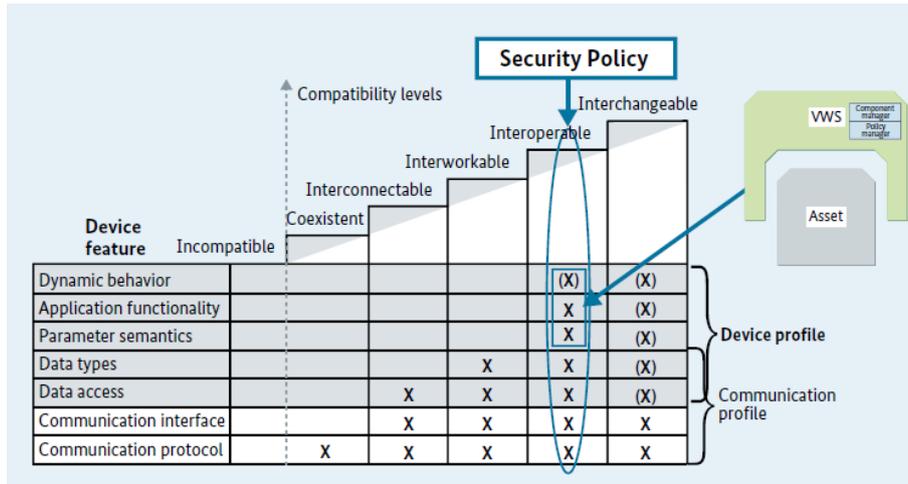


Ilustración 13 Protocolos para la industria (Jaloudi 2019)

Para describir una comunicación presente en Industrie 4.0, se debe considerar un futuro con una fuente de comunicaciones de Industrie 4.0 imagen 13 que no se limita uno por uno a las capas inferiores del modelo de capas OSI. En cambio, se debe prestar más atención a todas las interacciones y contenidos intercambiados Imagen 12.

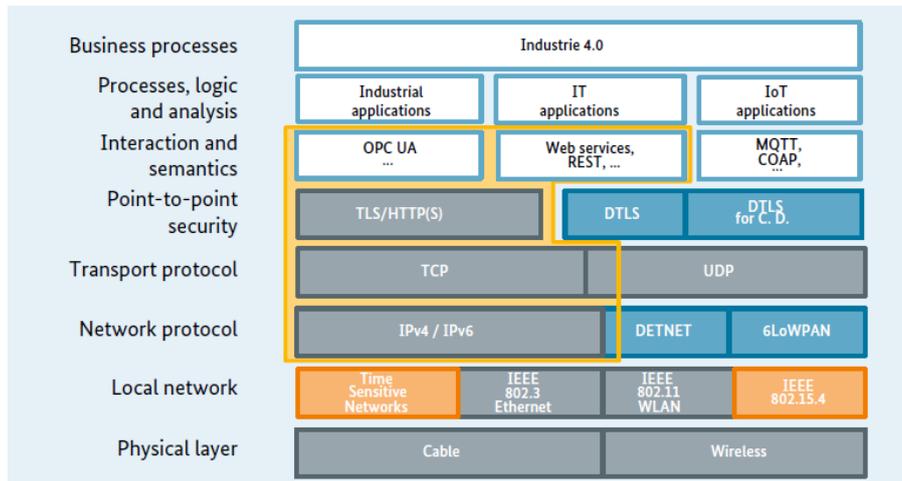


Ilustración 14 Aplicaciones industriales 4.0(Robinson, 2014.)

#### 4.3.1 Clasificación de redes de comunicación

Hay varias formas de clasificar las redes de uso industriales, en este caso se va a realizar por tipo de industria y según las aplicaciones de uso de las industrias y organismos de normalización.

Por tipo de aplicación en la industria:

- Control de procesos
- Manipulación de materiales
- Control de movimiento
- Automatización discreta

Por tipo de datos que transportan:

- Datos expresados en bits o cadenas de bits
- Datos escalares que representan valores de unidades de ingeniería(sensores)
- Intercambios generales de bases de datos

Según el nivel de automatización:

- Nivel del sensor
- Nivel de campo
- Nivel de control
- Nivel de información

Por lo general ninguna de estas categorizaciones es muy adecuada para la industria actual, sin embargo, existen redes diseñadas para envío de datos de manera eficiente datos de la automatización industrial que suele utilizar las siguientes clasificaciones:

- Datos de sensores discretos
- Bus de campo de control de procesos
- Redes a nivel de control
- Redes de tecnología de la información (IT)

#### 4.3.2 Network en la industria

En el contexto de la industria 4.0 es una terminología emergente con entornos que emplean información y comunicación (TIC), incluido el IoT plataformas, manteniendo los requisitos de la industria. Sin embargo, la mayoría de los sistemas industriales y similares a SCADA (control de supervisión y adquisición de datos) emplean protocolos de comunicación patentados que conducen a sistemas industriales cerrados. Por lo tanto, los usuarios están limitados a un solo proveedor, los costos son altos y la interoperabilidad en grandes ocasiones no se cumple. A continuación, se describen las redes más habituales para la industria.

#### 4.3.3 Capas de red

La capa de red es el principal protocolo de comunicación, el Protocolo de Internet (IP), conecta dispositivos individuales con capacidad de IP, esto permite direccionar o llegar a los dispositivos en toda la red de la compañía, para imponer restricciones a estas conexiones, se implementan, por ejemplo, listas de control de acceso, cortafuegos y puertas de enlace.

Las estrategias de protección se pueden ejecutar con la ayuda de tecnologías y dispositivos como se describe en ISO / IEC 62443, aun así los dispositivos se agrupan en grupos funcionales (por ejemplo, los dispositivos de la planta) donde se admite el enlace entre sí mismos de forma sencilla y al mismo tiempo, se impide la comunicación con otros dispositivos, como por ejemplo un ordenador ajeno a la compañía e incluso si está en la misma empresa pero no es un componente corporativo(Bangemann et al. 2016).

Además, se pueden vincular varias redes seguras a través de redes inseguras con la ayuda de tecnologías de red privada virtual (VPN), de este modo ciertos dispositivos fuera de una planta se pueden conectar con una instalación central de una empresa.

Aquí también, las relaciones de comunicación individuales deben segmentarse (a través de firewalls y pasarelas, por ejemplo). Los datos también se pueden recopilar en la capa de red que son relevantes para una operación segura.

#### 4.3.4 Network

Las redes de automatización industrial no suelen utilizar una capa de presentación específica, por lo general la funcionalidad de estas aplicaciones se integran en una capa específica cuando es necesario. Las tres funciones que debe de cumplir son:

- Transcribir
- Comprimir
- Encriptar

Debido a que los ordenadores situados en cada extremo de la conexión de comunicaciones pueden ser bastante diferentes, cualquier diferencia en formatos de datos y codificación de caracteres se resuelven en la capa de presentación. Antiguamente esta función esta específica

para la traducción entre la codificación de caracteres ASCII y EBCDIC según la definición de IBM para todos sus mainframes.

Las transmisiones de datos por norma general se comprimen durante el proceso de comunicaciones para ahorrar ancho de banda y optimizar la red, pero en este caso la compresión dinámica utilizada por estándares de comunicaciones depende del sensor, aunque hay que decir que hoy día se está dejando de lado dicha particularidad que de los anchos de banda actuales son suficientemente grandes.

#### 4.3.5 Capa de aplicación

La capa de aplicación es la capa superior de la pila de comunicaciones pero no es el software, en este caso se utiliza para las aplicaciones de comunicación de los sensores industriales, aunque muchas veces las aplicaciones utilizan funciones de sistema operativo que, a su vez, sí que utiliza algunos de los servicios proporcionados por la capa de aplicación (Afanasev et al. 2017).

A continuación, se muestran los siguientes protocolos de comunicación que utilizan la capa de aplicación:

- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport).
- MQTT-SN ((MQTT for sensor networks).
- HTTPS (Hypertext Transfer Protocol).
- CoAp (Constrained Application Protocol).
- UDP (User Datagram Protocol).
- MODBUS.

##### *MQTT*

La tecnología MQTT utiliza un servidor central habitualmente llamado "Broker", que permite a los usuarios conectarse a un dispositivo o ver publicaciones. Los clientes están conectados permanentemente al servidor, las reglas se pueden definir libremente o de forma muy sencilla como se haría con una URL de navegador. Los datos enviados por un conector específico solo pueden ser vistos o recibidos por clientes con privilegios.

##### *MQTT-SN*

MQTT-SN es una versión lite del protocolo MQTT que utiliza una cantidad de datos relativamente pequeña para ello, utiliza una identificación que representa solo una variable. Esto hace posible mantener los paquetes de datos pequeños y optimizar el uso de datos. Una puerta de enlace MQTT-SN traduce los paquetes MQTT-SN de forma eficaz a MQTT y viceversa.

##### *HTTPS*

HTTP es un protocolo de respuesta de solicitud utilizado por los usuarios para solicitar datos de un servidor. La aplicación más conocida sería un navegador que solicita un sitio web desde un servidor. HTTPS usa la misma sintaxis que http simple, sin embargo, agrega una capa de cifrado ssl / tls al comunicar entre cliente y servidor.

##### *CoAp*

Es un protocolo que fue diseñado para uso entre maquinas, su funcionamiento es para utilizar recursos mínimos tanto dentro de la red a la que está conectado como en el dispositivo que genera y envía los datos. Este protocolo se traduce de forma sencilla en DESCANSO.

##### *UDP*

UDP es un protocolo de capas que opera sin conexión, aparte de su contraparte TCP, no hace uso del intercambio y verificación de datos. Esto significa que la aplicación que utiliza el protocolo UDP es responsable de la verificación y reconocimiento de datos.

##### *MODBUS*

El MODBUS TCP es un protocolo de comunicación industrial orientado a bytes, estándar abierto de facto, utilizado para el cambio de datos entre sistemas integrados, fue diseñado inicialmente para su uso con sus controladores lógicos programables. El protocolo define una estructura y formato de mensaje, y establece cómo registrará cada esclavo mensajes enviados a él y cómo debe decodificar la información contenida en el mensaje. Estos componentes permiten la interconexión de dispositivos Modbus de diferentes fuentes sin necesidad de escribir controladores de software especializados para cada componente. Este es un beneficio significativo para el usuario final y es una de las razones por las que Modbus ha tenido tanto auge y renombre. Por lo tanto, MODBUS TCP utiliza el dispositivo de sondeo, a diferencia del basado en eventos (Beran, Fiedler, y Zezulka 2010).

#### *OPC UA*

El OPC UA es un protocolo de comunicación para la automatización industrial establecido por la Fundación OPC. es una interfaz de software normalizada abierta en los niveles de más altos de comunicación en los sistemas de control de producción (VDMA, 2017; Burke, 2017). El objetivo de la Fundación para OPC UA era proporcionar un camino a seguir desde el modelo de comunicaciones que era exclusivo de Microsoft Windows COM / DCOM, para el intercambio de sus propios procesos. Actualmente OPC se aplica en otras tecnologías, como en la automatización de edificios (domótica), la fabricación industrial, control de procesos y muchas otras, actualmente no está destinado únicamente para sistema operativo Microsoft Windows, sino que permite incluir otras tecnologías de transporte de datos, como .NET Framework, XML de Microsoft, e incluso el formato TCP codificado en binario (Matrikon, 2017).

Por otro lado, el OPC UA dispone de las siguientes características: (Burke, 2017):

- Centrarse en comunicarse con la industria
- Abierto: disponible de forma gratuita e implementable sin restricciones ni tarifas.
- Multiplataforma: no está vinculado a un sistema operativo o lenguaje de programación.
- Arquitectura orientada a servicios (SOA).
- Seguridad robusta.

Actualmente son más de 40 las colaboraciones con la Fundación OPC con las industrias clave como, farmacéutica, petróleo y gas, domótica, robótica industrial, seguridad, fabricación y el control de procesos (Marcon et al., 2017; Afanasev et al., 2017; Jadlovská et al. 2016, Konecny et al. 2016 y Bangemann et al. 2016).

#### 4.3.6 Comparativa entre protocolos

En esta parte, se muestran las principales diferencias entre los diferentes protocolos de comunicación vistos hasta ahora (HTTP, CoAP, MQTT, AMQP, XMPP y MODBUS). En efecto, la Tabla 14 se resume estas diferencias entre diferentes aspectos de la comunicación que contiene, infraestructura, arquitectura, mecanismo, modelo, patrón de comunicación, metodología y paradigma de transmisión.

Estos protocolos utilizan una arquitectura de comunicación cliente servidor, como por ejemplo HTTP que usa el modelo de envío respuesta y es un protocolo orientado a documentos, mientras que MQTT usa el modelo de publicación-suscripción y está orientado a mensajes, por lo tanto, MQTT es protocolo para el envío y consulta de paquetes de datos mientras que HTTP es uno a uno a CoAP utiliza una infraestructura específica, 6LoWPAN (IEEE 802.15.4), que emplea IPv6 como capa de red. Tanto MQTT como HTTP son modelos más económicos y su infraestructura de comunicación está disponible para una alta gama de dispositivos, con acceso a Internet o Intranet en modo alámbrico (Ethernet — IEEE 802.3) o modo inalámbrico (Wifi — IEEE 802.11), que puede emplear IPv4 o IPv6 en la red («rami40-an-introduction.pdf» 2017.).

Feature	HTTP	CoAP	MQTT	MODBUS TCP
infrastructure	Ethernet, Wi-Fi	6LoWPAN	Ethernet, Wi-Fi	Ethernet, Wi-Fi
network layer	IPv4 or IPv6	IPv6	IPv4 or IPv6	IPv4 or IPv6
transport layer	TCP	UDP	TCP	TCP
transport port	80, 443	5683	1883, 8883	502, 802
model	synchronous	asynchronous	asynchronous	synchronous
pattern	request—response	both	publish—subscribe	request—response
mechanism	one-to-one	one-to-one	one-to-many	one-to-one
methodology	document-oriented	document-oriented	message-oriented	byte-oriented
paradigm	long polling-based	polling-based	event-based	polling-based
quality level	one level	two: CON or NON	three: QoS 0, 1, 2	one level
standard	IETF (RFC7230)	IETF (RFC7252)	ISO/IEC, OASIS	modbus.org
encoding	ASCII text	RESTful (Binary)	UTF-8 (Binary)	Binary
security	SSL, TLS	DTLS	SSL, TLS	TLS

Ilustración 15 Tabla comparativa de protocolos (Jaloudi 2019)

En aplicaciones industriales basadas en IPv6 que utilizan CoAP usan dos patrones de comunicación, publicación-suscripción y solicitud-respuesta. El modelo de mensajería CoAP se basa en el intercambio de mensajes entre puntos finales y utiliza un encabezado binario corto de longitud fija que puede ir seguido de una opción binaria compacta y una carga útil.

En comparación con HTTP, como se muestra en la tabla 14, CoAP se ejecuta el UDP sin conexión en la capa de transporte, mientras que, en la capa de red, CoAP usa IPv6 o 6LoWPAN. El contenido del mensaje (carga útil) en HTTP puede variar según el tipo de datos transferidos, designados tipo de contenido, que puede ser texto sin formato, HTML, XML, imagen GIF, aplicación PDF o audio. Para el intercambio de datos mediante HTTP, se utiliza XML, que maneja texto sin formato detallado para resolver problemas de interoperabilidad.

Sin embargo, para CoAP, se utiliza el intercambio XML, aunque el modelo más eficiente sería con archivos, que codifica documentos XML detallados en formato binario, si se considera la interoperabilidad. Esto es normalmente utilizado para dispositivos restringidos para aumentar el rendimiento y disminuir la energía consumida. Por eso, CoAP es adecuado para dispositivos restringidos en redes de sensores inalámbricos basados en IoT que emplean IPv6 infraestructura.

Existen gran cantidad de protocolos, por lo general fundados en sucesos que son de gran interés para transferir datos como notificaciones o estados para completar que son compatibles con MODBUS, de este modo aprovecharemos la bueno de varios modelos de comunicación.

MODBUS está basado en sondeos, de solicitud respuesta, por dicha razón es muy útil para aplicaciones industriales pudiendo instituir un entorno eficiente, ya sea de forma independiente o en junto con un protocolo basado en eventos para cubrir el mecanismo de publicación suscripción. Como ya se ha dicho antes MQTT es capaz de perfeccionar las tipologías de MODBUS TCP a través de su modelo asíncrono, basado en eventos y patrón de publicación suscripción y como sucesivamente tenemos la opción HTTP que usa un mecanismo de solicitud respuesta.

#### 4.4 Blockchain

El blockchain es una cadena de bloques o de transacciones que se realizan a través de la red o, dicho de otra manera, es una serie de registros de datos que son gestionados por una red de ordenadores que se unen criptográficamente, estos grupos de ordenadores no son propiedad de una sola entidad, de este modo, podemos decir que es como un libro de contabilidad abierto que se utiliza para registrar transacciones ya sean financieras, de datos, archivos... formando una cadena formada por unidades individuales llamadas bloques.

Cada bloque consta de un único código llamado 'hash', cada hash también contiene el hash del bloque anterior de la cadena vinculándose entre sí, de una manera determinada, para formar una cadena de bloques. Podemos decir que es una forma sencilla de pasar investigación de A a B de forma totalmente automatizada, de manera segura y descentralizada.

Una de las partes implicadas en la transacción inicia el proceso creando un bloqueo, este bloque es verificado por miles o cientos de ordenadores y si el bloque es correcto se agrega a una cadena que se almacena a través de la red.

Para simplificar, se puede decir que es una cadena de bloques que contienen información, cada bloque registra todas las transacciones recientes y una vez completadas, pasa a la cadena de bloques como una base de datos permanente generando un nuevo bloque.

Así Blockchain está en constante crecimiento porque mantiene un registro permanente de todas las transacciones que han tenido lugar de manera segura respetando la cronológica, por otro lado es un método de mantenimiento de registros y cumplimiento de contratos que permite a las organizaciones optimizar los flujos de trabajo compartidos, como las cadenas de suministro y seguimiento de activos y servicios en un libro de registro compartido.

Las ventajas que ofrece dicha tecnología son bastante obvias, en el lado opuesto, los inconvenientes son muy pocos, la mayoría de ellos están vinculados a dificultades tecnológicas, regulativas o de escalabilidad que se espera sean derrumbados con el paso del tiempo.

#### 4.4.1 Posibles usos de blockchain.

Los beneficios que se pueden obtener de la utilización del blockchain son diferentes según en el sector que se aplique, en este apartado nos centraremos en el uso en el sector industrial, no obstante. A continuación, se exponen diferentes propuestas de uso donde sería útil su utilización.

- Monedas digitales: Tienen el potencial de influir en las operaciones bancarias en a escala global. Se están creando cada vez más nuevas monedas digitales. Ellos apuntan para operar en aplicaciones específicas, tales como:
  - Comercio de energía
  - Transacciones bancarias o datos
- Toma de decisiones: Blockchain ha evolucionado a partir de sistemas organizativos antiguos, estos sistemas utilizaban métodos convencionales y dependían de una autoridad centralizada, ahora el nuevo paradigma, de la cadena de bloques otorga capacidad a sus usuarios de toma de decisiones. Esto da como resultado la eliminación de intermediarios y las tarifas de transacción.
- Seguridad del sistema: los propios usuarios pueden tomar el control de la seguridad sin la participación de una autoridad centralizada.
- Validez de la transacción: Blockchain ha sacado a la luz una forma en la que los usuarios pueden decidir sobre la validez de una transacción. Esto elimina la necesidad de utilizar ordenadores y grandes cantidades de energía para trabajar en los algoritmos actuales.
- Blockchain Público: En una cadena pública, todos pueden descargar una copia de la cadena de bloques, escribir transacciones en la red, participa en el consenso, todos los usuarios tienen los mismos derechos.
- Blockchain Privado: Esto ocurre cuando se aplican algunas restricciones a ciertos usuarios, como consecuencia aparecen ciertas restricciones:
  - Está controlado por una sola entidad
  - Puede afectar el acceso de lectura, el acceso de escritura
  - Solo un usuario puede realizar el proceso de validación de transacciones
  - La empresa opera los servidores necesarios, decide quién tiene acceso y es responsable de lograr el consenso.

- Las cadenas de bloques consumen grandes cantidades de energía, como consecuencia del número de transacciones por segundo, puede no ser viable para todos los propósitos.
- Las empresas pueden utilizar cadenas de bloques privadas para realizar pruebas piloto, antes de ejecutar una migración importante de sus actividades a una cadena de bloques pública.
- Blockchain compartido
  - Aunque suelen aplicar restricciones a parte de sus usuarios, su gobernanza está dividido entre dos o más grupos.
  - Las cadenas compartidas pueden estar más cerca de una cadena pública o privada, pero tienen en común las siguientes características:
    - La aceptación de un nodo es controlada por todos los usuarios.
    - La codificación y el conjunto de reglas de codificación es el mismo

#### 4.4.2 Aplicaciones en la industria.

Una red de blockchain crea valor al autenticar información digital. Esto puede tener varias aplicaciones como, por ejemplo:

- Almacenamiento de archivos.
- Auditoría de la cadena de suministro.
- Conozca a su cliente.
- El comercio de acciones.
- Gestión de identidad.
- Contratos inteligentes.
- Recaudación de fondos.

##### *Almacenamiento de datos.*

El almacenamiento de archivos está descentralizado, esto asegura que los datos no se puedan perder, ni estar bajo la custodia de una entidad, debido al uso del sistema de archivos (IPFS) que asegura:

- Se conceptualiza cómo podría funcionar una web distribuida
- Elimina las relaciones centralizadas cliente-servidor
- Acelera la transferencia de archivos y los tiempos de transmisión.
- Es una mejora en el sistema de entrega de contenido existente que actualmente está sobrecargado.

##### *Controles en la cadena de suministros.*

Blockchain tiene el potencial de mejorar el sistema de auditoría en la cadena de suministro, por ejemplo, es posible verificar:

- La autenticidad de los productos que las empresas utilizan puede ser verificado.
- El día de fabricación o el centro de trabajo donde se fabricó un artículo o pieza puede mejorar la transparencia.
- El control de la cadena de suministro se puede realizar para una amplia gama de productos.

##### *Control de identidad*

Una característica muy importante es que una entidad o cliente tenga la capacidad de verificar su identidad en la red para realizar transacciones financieras, de compra o adquisición de productos, por lo tanto, necesitamos entender la siguiente:

- Los actuales protocolos de seguridad relacionados con el comercio electrónico no son exactamente perfectos.
- El libro de registro de ofrecer métodos mejorados para autenticar la identidad.
- Un documento personal se puede digitalizar.
- La empresa que realizan transacciones online debe tener unos protocolos de seguridad verificados.
- Una solución de verificación de identidad online, precisa de la cooperación entre entidades privadas y el gobierno para que llegue de forma global a todos los países.

No obstante, actualmente existe una solución que se ha aplicado al comercio electrónico que se basa en el certificado SSL para transacciones seguras en Internet.

#### *Contratos Inteligentes*

Es posible realizar la codificación de contratos simples, estos contratos se pueden ejecutar cuando se cumplen ciertas condiciones. Actualmente es posible hacer lo siguiente:

- Programar la firma de contratos para realizar funciones simples.
- El pago de un activo se podría realizar con el uso de la tecnología Blockchain.
- Podría ser muy útil en proyectos en Ágil.

Los contratos inteligentes son fragmentos de código, que se pueden almacenar en una cadena de bloques y se pueden utilizar para realizar operaciones complejas, como un software autoejecutable; pero sólo se puede realizar bajo unas condiciones, para publicar un contrato inteligente.

- El contrato debe estar codificado
- El resultado debe ser definido
- El resultado se añade a la cadena de bloques cuando se ejecuta el contrato
- Debe decidirse qué condiciones deben cumplirse para desencadenar la finalización.
- Una vez publicado el contrato, cada ejecución en cada nodo del sistema logrará un acuerdo individual de sus resultados.
- La red se actualizará y mostrará un registro de los resultados de esa ejecución
- Los resultados se almacenarán en la cadena de bloques.
- Una vez añadidos a la cadena de bloques es imposible modificar.

#### 4.4.3 Aplicaciones de Blockchain

La tecnología Blockchain ya ha interrumpido el sector financiero, pero poco a poco se está expandiendo a otros sectores gracias a su beneficio.

Se puede utilizar en múltiples industrias, como:

- Servicios financieros
- Cuidado de la salud
- Gobiernos
- Viajes y hospitalidad
- Venta minorista

#### *Servicios financieros*

La tecnología Blockchain ya se ha implementado de manera innovadora en el sector de financieros, modificando las transacciones siguientes.

- Simplifica el proceso asociado con la gestión de activos y pagos
- Tramites comerciales automatizado y visible.
- Todos los participantes tienen acceso a los mismos datos sobre una transacción.

- Se elimina la necesidad de intermediarios.
- Asegura la transparencia.
- Existe una gestión eficaz de los datos transaccionales.

### *Gobiernos*

La tecnología Blockchain puede transformar las operaciones gubernamentales de la siguiente forma:

- Realizar transacciones de datos de forma segura.
- Permite una mejor gestión de los datos entre diferentes departamentos a través de vinculación y uso compartido adecuados.
- Mejora la transparencia.
- Mejora el control sobre las transacciones.
- Sistema fácilmente auditable.

### *Viajes*

Blockchain puede fundar cambios sustanciales en sector turístico, esto puede ser debido a que mejoraría drásticamente las siguientes operaciones:

- Transacciones de dinero
- Almacenar documentos importantes como pasaportes, datos de seguros y otros documentos.
- Reservas de viajes y hoteles.
- Seguro de viaje
- Puntos de fidelidad y recompensa, etc.

#### *4.4.4 Aspectos claves*

Hay tres aspectos que es necesario considerar al mencionar las ventajas del uso de blockchain que son:

- Descentralización
- Transparencia
- Algoritmo de cifrado

### *Descentralización*

Antes de intentar comprender las ventajas de un sistema de descentralización, veamos cómo funcionan los servicios centralizados.

Las características básicas de los servicios centralizados son:

- Una entidad centralizada almacena todos los datos.
- Uno tiene que acudir a los datos de esta entidad para obtener lo que quiera.
- El ejemplo más común son los bancos, almacenan el dinero de todos los clientes en un punto y la única forma en que puedes recuperar tu dinero es yendo al banco.
- Cuando uno hace una consulta en Google, lo que está haciendo es enviar la consulta a el servidor que luego se pone en contacto con ellos con la información requerida.

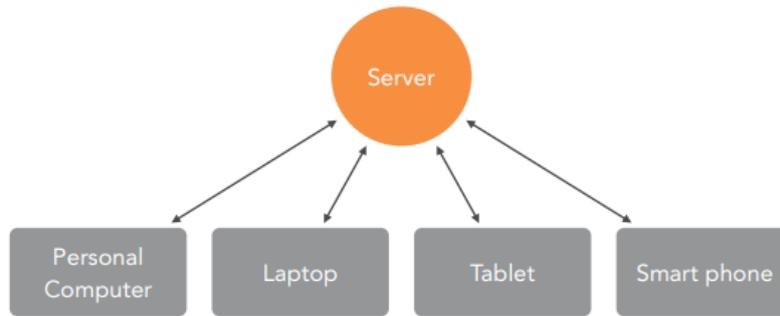


Ilustración 16 Blockchain (Bodkhe et al. 2016)

Aunque los sistemas centralizados son muy usados y ágiles, poseen ciertas debilidades:

- Existe una oficina central que dicta a otras entidades.
- Solo los usuarios con permisos pueden acceder al historial de transacciones o confirmar nuevas transacciones.
- Todos los datos se almacenan en un solo lugar, es un objetivo fácil para posibles ataques.
- Siempre que el software debe actualizarse, detiene todo el sistema.
- Si la entidad centralizada apaga el sistema por cualquier motivo, nadie será poder acceder a cualquier información.
- Si la entidad se corrompe, todos los datos dentro de la cadena de bloques serán comprometida.

Las ventajas de un sistema descentralizado, son:

- No existe una autoridad para dictar los términos.
- La información no es almacenada por una solo un usuario, todos los usuarios poseen la información o parte.
- Puede haber transacciones entre usuarios directamente sin la participación de un tercero.
- Esta es la ideología principal detrás de Bitcoins. Uno puede transferir dinero a cualquier persona sin tener que pasar por un banco
- Todos los usuarios pueden acceder al historial de transacciones o confirmar nuevas transacciones.

### *Transparencia*

Si bien se dice que blockchain brinda privacidad, también se afirma que garantiza la transparencia. La idea de transparencia se encuentra en el libro de registro cuyo funcionamiento se explica a continuación.

La verdadera identidad de una persona se oculta mediante un algoritmo cifrado, que por lo general está representada por su dirección pública. Por ejemplo, si uno quiere buscar la transacción de una persona, en el libro de registros no verán "Nestor realizo una compra y transfirió ". Lo que se verá será ser algo como esto: "1BCVT1frEGYuyg76 por Mv6ZJL transferido". Por lo tanto, aunque la identidad real de la persona esté oculta y por lo tanto, segura, se puede ver en la transacción de otra persona.

Así, obliga, en gran medida, a las distintas entidades de la red a no mentir en sus transacciones. Esto es particularmente relevante desde el punto de vista de las relaciones comerciales. Debido a este tipo de transparencia, también es posible que si la cadena de bloques fuera integrada en la cadena de suministro tendrá un enorme beneficio para las empresas.

### *Algoritmo cifrado.*

El concepto de algoritmo cifrado asegura que una vez que se ha introducido un dato en la cadena de bloques, no se puede modificar, esto es importante por las siguientes razones:

Es muy valioso para las instituciones, con control de registros.

Las cuentas o transacciones de una empresa no pueden ser modificados a posteriori, como consecuencia la malversación de fondos se puede cortar de raíz. Esto se logra haciendo lo siguiente:

- Esto sucede porque blockchain usa la función hash criptográfica.
- En el contexto de criptomonedas como Bitcoin, las transacciones se toman como entrada y ejecutar a través de un algoritmo hash que da una salida.
- La cadena de bloques es una lista vinculada, contiene datos y un número hash.
- El número hash está relacionado con su bloque anterior, creando así una cadena.
- Un pequeño ajuste hace que las cadenas de bloques sean extremadamente fiables.

Un ejemplo:

- Un hacker ataca el bloque 5.
- Intentan cambiar los datos.
- Un ligero cambio en los datos cambiará el hash.
- Cualquier pequeño cambio realizado en el bloque 5 cambiará el hash almacenado en el bloque 4.
- Esto cambiará los datos y el hash del bloque 4.
- Esto resultará en cambios en el bloque 3 y así sucesivamente.
- Esto cambiará completamente la cadena, lo cual es imposible.
- Así es como blockchain logra la fiabilidad.

#### 4.4.5 Beneficios del Blockchain.

El uso de Blockchain aporta una amplia gama de propuestas de valor para las empresas, ya que tienen el potencial de eliminar las limitaciones actualmente que existe la realizar ciertas operaciones como, por ejemplo:

- Reducción de tiempo.
  - Proceso de verificación
  - Liquidación de reclamaciones
  - Autorización
- Descentralizado.
  - No existe un usuario que posea las transacciones.
  - Existen reglas estándar que rigen el intercambio de información por parte de los bloques.
  - Todas las transacciones tienen que ser validadas.
  - Todas las transacciones válidas se agregan una a una.
- Fiabilidad.
  - Se verifica la identidad de cada participante
  - Existe un procedimiento para eliminar registros dobles
  - Reducción de costes por transacciones.
- Seguridad.
  - Uso de criptografía avanzada.
  - Se garantiza que la información esté bloqueada dentro de la cadena.
  - Registros contables de forma distribuidos.
  - Cada participante tiene una copia de la cadena original.

- Las transacciones a través de blockchain no quiere decir que se van a compartir datos ya que estos están cifrados
- Crea un registro de transacciones cifrando la información de identificación.
- Transacciones cifradas
  - Registra transacciones en orden cronológico
  - Se certifica que las operaciones son inalterables
  - Cuando se agrega un nuevo bloque, no se puede eliminar ni modificar.
- Colaborativo
  - Cada usuario puede realizar transacciones con otros directamente, no se necesitan intermediarios.

#### 4.5 Big Data.

El termino Big Data viene a ser una cantidad enorme de datos continuo en el tiempo con tendencia a crecer que necesita ser tratados y por su rapidez y complejidad con los medios tradiciones es imposible de procesar. Aunque el almacenamiento de datos e información no es algo nuevo el tratamiento de los datos en continuo y a gran velocidad si lo es, por dicha razón a principios del año 2000 el termino Big Data gana fuerza en la industria.

El uso de Big Data aparece como consecuencia del control de datos provenientes de procesos industriales, mantenimiento, búsqueda de patrones, análisis ... es común que las empresas de diferentes industrias empiezan a innovar para aumentar el valor industrial y por la alta competencia que hoy día existe, crear valor es una forma de crecer y buscar nuevas oportunidades.

Una empresa eficiente en sus procesos es el resultado de recopilar grandes cantidades de datos de todas las fuentes de información que la rodean y tratarlos para anticiparse a los problemas y analizar la conducta para ser capaz de identificarlo antes de que sucedan, ya sean relativos a calidad, mantenimiento, proceso de fabricación, optimización la cantidad de activos en almacén, energía... y calcular unos niveles de seguridad aceptables.

La gran cantidad de datos utilizados en la industria 4.0 que reciben de los sistemas tanto de producción como de mantenimiento o calidad deben de tratarse y relacionarse con el objetivo de ofrecer patrones de calidad y fiabilidad en la producción de equipos las señales pueden ser de temperatura, vibraciones, ultrasonidos de imagen...etc. Deben de analizarse, evaluarse para su posterior utilización, el objetivo es mostrar los datos de forma sencilla para el ser humano. La evolución en el tratamiento de dato en la industria ha evolucionado de forma muy rápida como se muestra en la imagen 5.

Hoy día existen gran cantidad de métodos para tratamiento de datos como las redes neuronales, o aprendizaje profundo se realizan el servidor bien de nuestro dominio o externos en la nube que juega un papel fundamental en el desarrollo de la industria del futuro don de los sistemas computarizan los datos y los almacenan a la espera de ser tratados. Gracias a ello la capacidad de predicción de fallos ha mejorado hasta llegado el punto en el que los fallos se pueden simular para evaluar sus consecuencias, adema son es solo eso, sino que podemos utilizar aprendizaje profundo para que el sistema cree un sistema de alarmas adaptado a sus cualidades (Angeli y Gil 2015).

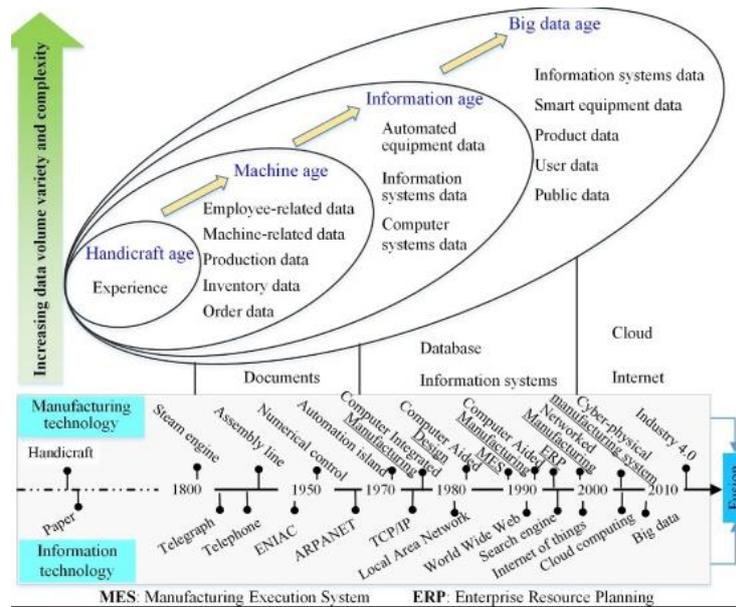


Ilustración 17 Evolución de los sistemas (Farsi y Zio 2019).

Las 5Vs del Big Data hacen referencia a la definición de la información que procesas, un alto Volumen de datos, el 90% de los datos en todo el mundo fueron creados en los últimos 3 años, alta Velocidad, las nuevas tecnologías como la conectividad 5G han ayudado de forma exponencial al proceso de datos con alta Variedad de información en todo tipo de campos desde el científico, hasta el transporte urbano. Además, si añadimos Veracidad basada en la definición de los datos como consecuencia del abaratamiento y mejora de los sensores para crear Valor a las empresas.

- **Volumen.**  
 Cuando hablamos de volumen nos referimos a la cantidad de datos almacenados hoy día es muy común escuchar terabytes, en unos días serán petabytes o exabyte lo que ayuda a tener un historial de datos donde hacer estudios.
- **Velocidad.**  
 Velocidad no es solo el ancho de banda si no, velocidad para procesar, analizar y almacenar datos, actualmente existe software que nos muestran datos en tiempo real algo muy significativo en la industria.
- **Variedad.**  
 Variedad significa, manejar diferentes tipos de datos de fuentes diferentes con formas de procesamiento diferentes, aun así, en la actualidad existen gran cantidad de software que permiten trabajar con datos numéricos, escalares, imágenes videos...etc. que necesitan un procesamiento diferente.
- **Veracidad.**  
 Veracidad en los datos significa calidad en los datos obtenidos ya que estos van a ser tratados y un error en los datos madre pueden ofrecer predicciones erróneas por lo tanto fiabilidad en el proceso de recolección de datos es un requisito fundamental para identificar patrones.
- **Valor.**  
 El conocimiento obtenido al procesar datos debe de retornar como un valor añadido para la organización o como pruebas para innovar en los procesos y operaciones de producción.

## 4.6 Ciclo de vida en análisis de datos

Siguiendo los estándares internacionales la ISO 12207 referente a los procesos de ciclo de vida de Software y adquisición de datos a través de Big Data recomienda un modelo basado en 6 pasos que algunos autores han recomendado en 8 modificando el paso 4 y 5, No obstante, estos son los 6 recomendados:

1. Business case.
2. Compresión de datos.
3. Preparación de los datos.
4. Planificar el proceso.
5. Evaluación.
6. Monitorizar y evaluar.

La creación de un estándar en los procesos de análisis de datos viene como referente del modelo desarrollado por IBM que en 2014 nombra las disciplinas CDO (chief data officer) como un patrón a seguir en el análisis de datos.

- **Bussines Case.**

Lo primero que debemos hacer es comprender o entender que problemas hay en la cadena de suministro para resolver, en definitiva, donde podemos obtener más beneficios o menos perdidas.

- **Compresión de datos.**

Identificar la fuente de datos que vamos a analizar y que parámetros modificar o mejorar para obtener la tendencia deseada. Puede haber múltiples recursos de datos.

- **Planificación del proceso.**

Prepara el proceso de digitalización, como vamos a realizar el puente físico-maquina (ordenador) y que sensores utilizaremos para transformar la información en datos que podamos manejar. Identificar técnicas métodos y parámetros que utilizaremos en la creación de nuestro control. En este punto es donde se van a utilizar lenguajes de programación como Python o java donde implementaremos la programación que creada en la fase de anterior.

- **Evaluación.**

Una vez puesto en marcha, evaluar los datos y los resultados con el objetivo de determinar si se ha obtenido los datos planeados o hay que modificar parámetros y unidades de medida.

- **Monitorización y evaluación.**

Una vez creado y validadas las técnicas que vamos a utilizar en el paso anterior, crearemos nuestro propio modelo para las técnicas calculadas en nuestra cadena de valor. Una vez puesto en marcha el sistema y probado, se identificará las partes a ser mejoradas para alcanzar los valores de optimización requeridos.



Ilustración 18 ciclo de vida (Beng 2018)

## 4.7 Tipos de analíticas en Big Data.

Con la utilización de las nuevas tecnologías como el Big Data ha nacido diferentes estrategias para realizar un análisis de datos, pero el objetivo final sigue siendo el mismo, análisis de datos con diferentes técnicas que mejoren las estrategias empresariales. No obstante, no se puede considerar como una estrategia cada estrategia analítica puede brindar diferentes beneficios. Los cuatro tipos de análisis que destacan con el uso de Big Data son, analítica descriptiva, diagnóstica, predictiva y prescriptiva que pueden ayudar a las compañías en el análisis y predicción de fallos con diferentes visiones según el camino a utilizar y los tipos de datos recolectados para clasificar las fallas y problemas de la organización (Watson, 2017.).

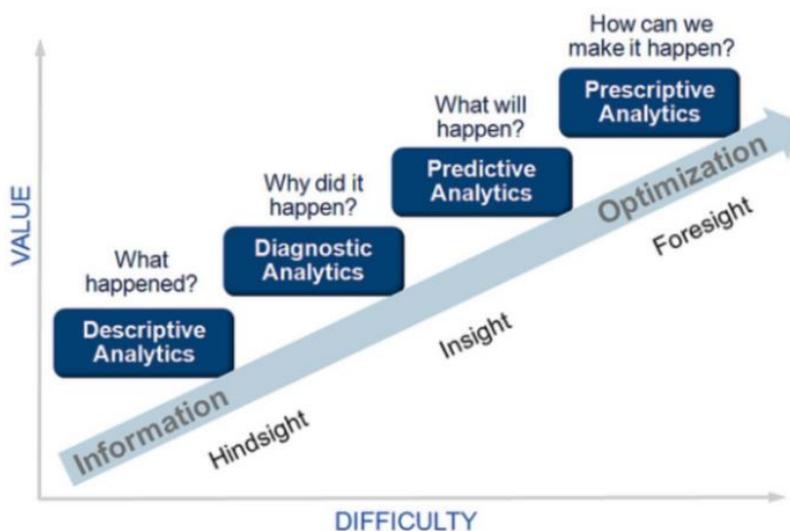


Ilustración 19 Fases del Big Data («Data Science and Big Data Analytics.pdf», 2015.)

### Analítica descriptiva.

Una forma para describir que nos referimos con analítica descriptiva es responder a la pregunta ¿Qué sucedió?, ¿Por qué ha pasado? El objetivo es analizar los datos en tiempo real y guardar un historial de datos para ayudar a realizar evaluaciones más exactas de lo que ha pasado en un periodo de tiempo determinado. Alrededor del 85% de las organizaciones utilizan Big Data para analítica descriptiva, basado en una base de datos para hacer una descripción o entender el porqué de un evento o proceso, en análisis se basa en promedios, valores picos que destacan del resto o repetitivos fáciles de encontrar con aritmética básica.

### Analítica predictiva.

El siguiente paso para reducir los fallos o eventos desfavorables es saber que va a pasar o más bien ¿Qué podría pasar?, analítica predictiva examina el historial de datos en busca de patrones o tendencias y modelos estadísticos que ayuden a predecir de forma más exacta acontecimientos desfavorables para la organización. Analítica predictiva puede predecir que va a pasar en un futuro próximo basado en datos probabilísticos obtenidos del historial de la máquina con un cierto margen de error, pero nunca nos dirá que va a pasar con un 100% de probabilidad, los cálculos son asentados en algoritmos predictivos basado en probabilidades. Sin embargo, es una buena herramienta para corregir los trabajos realizados en el día a día y interponerse a futuros fallos.

- **Analítica predictiva se pueden clasificar en 5 técnicas:**

1. Guía de predicción.
2. Análisis de las causas.
3. Recolección de datos.
4. Pronostico automático.
5. Identificar patrones y crear alertas.

Análisis predictivo es utilizado por múltiples organizaciones como Google, Amazon para identificar patrones de consumo de los clientes, para predecir stock de almacenes o incluso hacer ofertas y anuncios personalizados con recomendaciones y ofertas. Sin embargo, las organizaciones que más utilizan las predicciones son las instituciones financieras para analizar el comportamiento de la bolsa y probabilidades de rendimiento.

**Analítica prescriptiva.**

Un método basado en analítica prescriptiva está basado en el historial de datos, que ayuda a entender los problemas que surgen y en función de las predicciones se realizaran acciones dependiendo de los resultados que se quieren, por lo tanto, trata de responder a la pregunta ¿Qué deberíamos hacer?

Análisis prescriptivo es el siguiente paso después de análisis predictivo, por que advierte de las consecuencias de un posible cambio de tendencia después de una modificación, es un concepto de prueba y error simulado en función de las metas que se quiere conseguir, de este modo puede ayudarnos a entender lo que está pasando en la instalación y hacer mejores decisiones para mejorar los resultados.

**Análisis de diagnóstico.**

Se refiere al análisis que está detrás de los datos, digamos que una vez guardados los datos y observados las predicciones, detrás de todas las predicciones hay una serie de algoritmos que crean el diagnostico. En este sentido el diagnostico nos ayuda identificar anomalías y comprobar donde está el fallo y responder a la pregunta ¿Por qué sucedió?, en relación con el mantenimiento predictivo se pueden identificar que sensores son mejores que otros o si están en un lugar adecuado donde realizan el análisis.

**Conclusión.**

La analítica depende de la cantidad de datos que tengamos y la capacidad de análisis de los equipos instalados, así como la correcta utilización de los sensores. Para tener unas predicciones con fundamento se necesita tener un historial de donde apoyar los conocimientos y para ello hace falta un equipo cualificado y tiempo de análisis previo, quizás esa es la razón por lo que hay gran cantidad de empresas solo realizan una analítica descriptiva.

4.8 Lenguajes de programación: Python

Python es un lenguaje de alto nivel de programación desarrollado en los años 90s que se caracteriza por ser un lenguaje de código abierto, interpretado, dinámico y multiplataforma. Posee una estructura de datos de alto nivel con escritura y enlace dinámico, que lo hace rápido y atractivo para desarrollar aplicaciones o usarlo para conectar componentes existentes. Es un lenguaje simple y fácil de aprender por lo que reduce el tiempo de programación así mismo Python admite programas modulares y la oportunidad de reutilizar código. Como característica se puede destacar que no hace falta compilar el programa porque una entrada incorrecta no producirá un fallo de segmentación, pero si genera una excepción. Para depurar el nivel de programación permite reconocimientos locales y globales paso a paso por cada línea. Además, existe la posibilidad de realizar un ciclo de depuración de errores en modo prueba rápido y simple.

La clave del éxito está en que es una herramienta fácil de utilizar, de código abierto esto quiere decir que cualquier empresa que desarrolle nuevas tecnologías lo utilizara básicamente por ahorro de costes y tiempo, como ya se ha dicho antes es un lenguaje de programación que se puede integrar con otros estilos de programación como C++, este punto les da flexibilidad a sus usuarios porque no ofrece limitaciones (Lutz 2001)

Python puede manejar grande cantidad de datos y realizar cálculos a gran escala ya que se pueden extraer y procesar con el uso de editores como Spyder, Pycharm que poseen bibliotecas que hacen más fáciles trabajar con esta plataforma, las aplicaciones más representativas son:

- Manejar estructuras complicado de datos.
- Operaciones de Algebra.
- Estructura de datos en bloques.
- Calculo con Matlab.
- Realización de ecuaciones
- Integración.
- Transformada de Fourier.
- Fácil de interpretar.
- Útil para hacer algoritmos propios.
- Posibilidad de implementación herramientas de aprendizaje automático.
- Estrategias basas en lógica difusa

## 5 Referencias de uso

### 5.1 Introducción

Para entender los conceptos vistos hasta ahora a continuación se presentan 7 ejemplos de uso de la I4.0 sin entrar en detalle en los aspectos técnicos, si no en la finalidad y los beneficios que puede generar la implantación de las aplicaciones vistas hasta ahora, para realizar una exposición practica de los ejemplos en todos ellos se seguirá una estructura similar en la imagen 19 se esquematiza el modelo utilizado para la búsqueda de casos de uso.

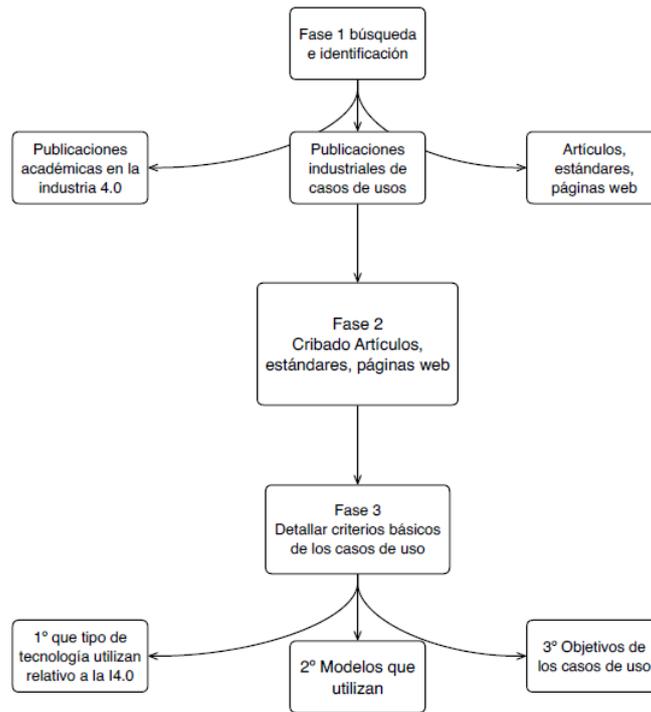


Ilustración 20 modelo de uso para búsqueda de información propio

Como primer paso se desarrolla una pequeña descripción del caso a tratar con las problemáticas actuales y el la intención que se espera, seguidamente se resumirá la tecnología a utilizar en cada ejemplo y como ha sido el proceso de implantación, el cribado de datos o los modelos de aprendizaje que se han utilizado además de los departamentos que entran en juego y los tipos de datos que utilizan en los ejemplos y por ultimo los resultados de la implantación de las nuevas tecnologías, tanto los beneficios como los inconvenientes.

Para la elección de los ejemplos se ha buscado aplicaciones que no tengan tecnologías de uso en común con el objetivo de aplicar el mayor número de métodos posibles y extender los casos de uso a los más posibles, como resumen a continuación se exponen los casos que se van a tratar:

- Horno eléctrico
- Blockchain.
- Modelo predictivo
- Laminación en frio
- Moldeo de plástico
- Fabricación cajas de cambio
- Confección de hilo

Cabe destacar el caso de uso de laminación en frío donde utilizan un modelo de arquitectura denominado Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) desarrollado por fabricantes eléctricos y electrónicos de Alemania para proporcionar una hoja de ruta a la industria con el propósito de desarrollar un modelo común estructurado y con estándares comunes de comunicación («RAMI 4.0 - ISA 2021.»).

## 5.2 Referencia de uso: Horno de Arco Eléctrico.

### 5.2.1 Herramienta de ayuda a la toma de decisiones

Para conocer el estado real de las operaciones durante el proceso de producción de acero y tener una visión general de las posibles desviaciones de las condiciones óptimas de funcionamiento es primordial llevar un control y diagnóstico del estado de todos los activos, para ello hace falta examinar gran cantidad de datos y sus posibles desviaciones.

En el horno de arco eléctrico para la fabricación de acero situado en Tenaris Dalmine (Italia) se desarrolló una herramienta de ayuda a la toma de decisiones basada en el monitorio de las condiciones activas. El proceso se centra en la recopilación de datos, no solo de la sensorica sino también del trabajo y el conocimiento adquiridos por los operadores de proceso y mantenimiento. El objetivo buscado es dar un nuevo enfoque a los programas de mantenimiento predictivo (Deloux, Castanier, y Berenguer 2018).

La herramienta permite detectar fallas iniciales mediante el monitoreo de los paneles del horno y el entorno, permitiendo mejorar las operaciones al evitar tiempos de inactividad. La herramienta debe considerarse un ejemplo de mantenimiento inteligente y su implementación refleja un camino hacia la construcción de sistemas monitorizados.

### 5.2.2 Análisis de fallos

La técnica utilizada como base de la herramienta es el árbol de análisis de fallos que permite una presentación gráfica de la ruta lógica que conecta el evento no deseado. Se sigue una metodología jerárquica que primero conecta el evento principal con los eventos que se pretenden claramente como sus causas fundamentales. Dichos eventos (eventos intermedios) están a su vez relacionados con otros sucesos que son las causas iniciales. Por lo tanto, para cada escenario crítico relacionado con un evento principal, se identifican los parámetros medibles clave, es decir, el objetivo es definir un grupo de variables clave en una fase relevante para la posteriormente implantar equipos de detección de estado y valoración del sistema. Debido a que se trata de la industria siderúrgica, los sensores trabajan en unas condiciones extremas y por tanto se necesita recopilar toda la información posible para identificar las zonas más idóneas para la colocación de los sensores (Fumagalli et al. 2016).

Una vez reconocidas las variables clave y completado el estudio de aptitud, la herramienta de monitoreo debe diseñarse con algoritmos específicos para evaluar en qué estado de funcionamiento está el horno. En este caso de uso mostrado se monitorizaron dos grupos, por un lado, el Control del agua de refrigeración de los paneles y por otro control del agua de refrigeración del refractario.

Para el evento principal que se considera más relevante (control del agua de refrigeración de los paneles) se desarrolló una herramienta para la detección de estado del agua llamada (SD) y de evaluación del circuito llamada HA, para ello se han establecido las siguientes características

- Se define un nivel de alarma con un objetivo y un gráfico de proceso para tener controlados los parámetros medibles.
- Todos los puntos definidos como críticos se muestran en gráfico de control.
- El nivel de alarma es ajustado en función de los parámetros de producción y el número de horas de los equipos, es decir a más horas de uso de los equipos estos serán más sensibles a daños por lo que las alarmas deberán estar a niveles inferiores.

Con respecto al control del agua refrigerada del refractario del fondo se establece que, con base a los datos históricos, durante los ciclos de calentamiento para el calentamiento del hierro, así se define la característica de un indicador que varía en el tiempo, de esta manera, se conocen los valores esperados siendo posible construir un gráfico de control (Espíndola et al. 2013).

### 5.2.3 Implementación de las nuevas herramientas

Los modelos de evaluación y detección del estado de ciertos parámetros serán diseñados de forma que se implementen en la herramienta de mantenimiento, por otro lado, la salida debe mostrarse al operador de proceso (Djurdjanovic, Lee, y Ni 2019). El esquema general de las señales se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

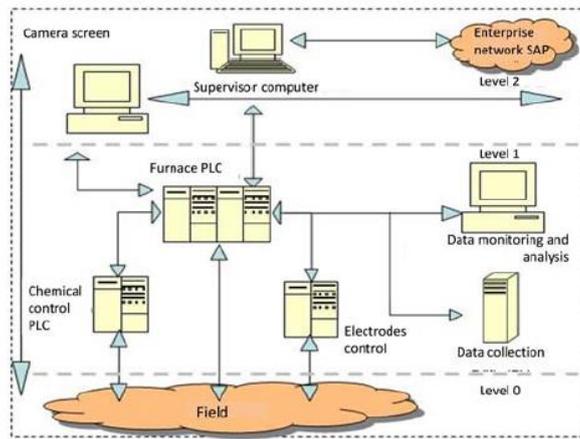


Ilustración 21 Arquitectura señales Caso Horno Electrico (Fumagalli et al. 2016)

### 5.2.4 Ejemplos de uso

A continuación, se presentan 3 casos reales de los sistemas propuestos. El primer caso, se desarrolló durante la fase de puesta en marcha de un horno eléctrico Nº 17 tras una parada de mantenimiento y vez iniciado el recalentamiento, se realizaron pruebas para identificar presencia de agua en el fondo del horno. Durante el inicio de la curva de calentamiento en los días iniciales se observa que ciertas variables del proceso que presentan ciertas características anómalas. Las pruebas fueron cotejadas con las realizadas en el horno Nº16 días anteriores donde los valores de la variable clave durante el ciclo se conservaron por debajo de los valores esperados). Esto es debido a la presencia de agua en el fondo del horno 17, hasta que toda el agua se vaporiza y la variable clave alcanza el valor de referencia, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestras los valores de diferentes hornos junto con la curva de referencia.

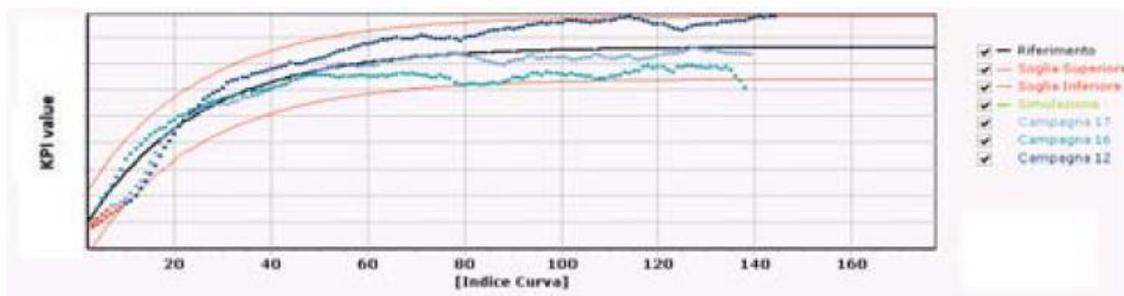
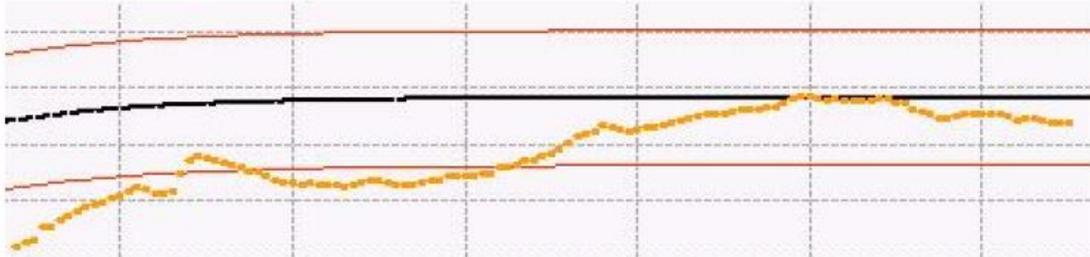


Ilustración 22 Herramienta de detección de estado de solera. (Fumagalli et al. 2016)

En el segundo tema, durante una inspección planificada, se identificaron dos agujeros de pequeñas dimensiones en uno de los paneles refractarios por lo tanto se comprueban las gráficas de los días anteriores en busca de anomalías en las variables. En este caso se observó, como puede verse en la Figura16 que la variable crítica estado de detección (SD) obtuvo valores relativamente altos



semanas antes a la inspección y que después de un tiempo los valores vuelven estar dentro de los parámetros normales, esto es debido a que probablemente los agujeros se obstruyeron con escoria y esto evito que el agua continuase fugando.

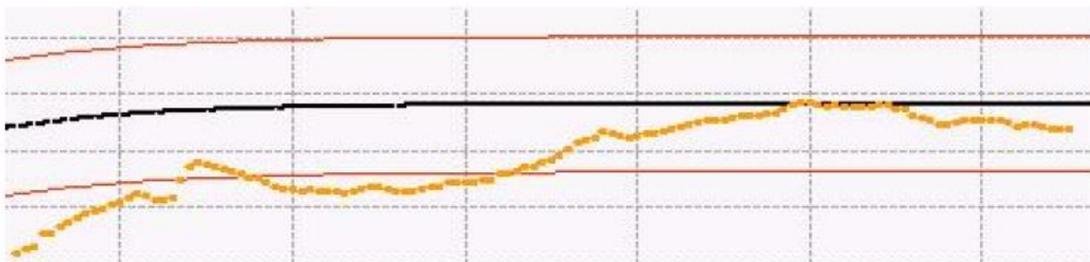


Ilustración 23 Foto ampliada de la herramienta de detección SD (Fumagalli et al. 2016)

Para entender mejor la problemática, se realiza una inspección del comportamiento a través de otros parámetros pertenecientes a la herramienta SD para los paneles refractarios para el mismo, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un sumatorio de registros de eventos críticos (algunas variables clave mayores que el límite superior) en los días previos a la inspección. Esto demuestra que el refractario estaba en una fase de desgaste cercano al límite y las partes más débiles probablemente han terminado deteriorándose con lo que se han producido agujeros.

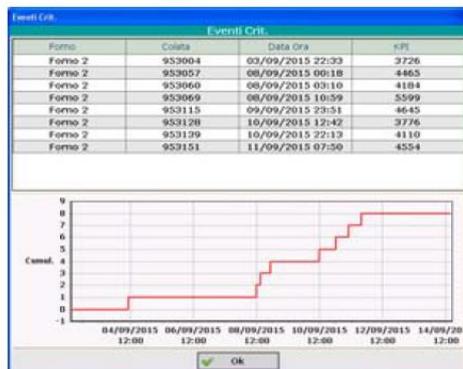


Ilustración 24 Sumatorio de registros de eventos críticos (Fumagalli et al. 2016)

El tercer caso es referente al agua de refrigeración de los paneles refractarios. En este caso hay una diferencia bastante grande entre el valor teórico y el real. La **¡Error! No se encuentra el**

**origen de la referencia.** muestra la herramienta que se ha utilizado para evaluar el estado del horno donde se grafican todos los valores y se compara con la línea ideal que sería que sería una campana de Gauss (línea roja) y la línea de referencia que sería la línea negra.



Ilustración 25 Panel de visualización de la herramienta (Fumagalli et al. 2016)

Como la tasa de superposición de áreas es baja y la diferencia entre el promedio de las variables es mayor que los respectivos umbrales de alarma, el sistema se encuentra en nivel de alarma y como pertenece al cuarto cuadrante de la matriz de riesgo, diremos que es un nivel de alerta 4, en este caso nos encontramos en el peor escenario en el que el proceso real es diferente del proceso de referencia y la característica real se mueve hacia la derecha, esto representa una desviación que conduce a una mayor degradación.

En otras palabras, parece que se está acelerando el proceso de degradación de los paneles refractarios comparado con las condiciones normales de funcionamiento. En este escenario habría que ser consciente de que el mantenimiento/inspecciones habituales no es suficiente por lo tanto se recomienda realizar inspecciones más periódicas para prevenir cualquier daño.

### 5.2.5 Conclusiones

El hecho de tener una estructura de control ha ayudado a la determinar que puntos o elementos del ciclo industrial a controlar ya que se realizaron acciones en función del historial, junto a varios parámetros de los dispositivos de proceso de la infraestructura preexistente, así como la importancia de las cuestiones de seguridad en la operación de un activo de este tipo, representaron buenas razones para invertir en la herramienta como solución para la empresa, aportando innovación para el mantenimiento.

Aunque los procesos industriales se encuentren bajo una circunstancias de trabajo extremas en el ejemplo anterior muestra cómo se pueden utilizar diferentes tipos de sensores para monitorizar las condiciones de los equipos, en este contexto el uso de la industria 4.0 está más que justificada viendo la cantidad de beneficios que trae, aunque en un principio se tenga que incurrir en coste de materiales y posiblemente de software, este coste está realmente amortizado si tras un buen análisis de los sistemas se establecen alarmas que logren predecir las averías y por tanto programar las paradas de producción.

En un principio la industria 4.0 está enfocada al mantenimiento y por ende a elementos mecánicos, pero la ayuda a la producción no es solo elementos mecánicos en sí, si no que su utilización es muy variable, solo requiere de la necesidad de un estudio previo para establecer alarmas y configuración de equipos

### 5.3 Referencia de uso: Blockchain

#### 5.3.1 Estudio de uso para Trazabilidad de algodón orgánico

Las cadenas de bloques diseñadas para aplicaciones empresariales o de suministro son cadenas de bloques privadas y por tanto bastante diferentes de las cadenas de bloques públicas, por ejemplo si la comparamos con la red pública como la del bitcoin, blockchain para uso en una cadena de suministro debe tener privacidad y acceso restringido, solo podrán tener acceso los socios autorizados e identificables, además, puede haber un requisito en diferentes niveles de visibilidad y accesibilidad para cada socio.

A nivel del sistema, la cadena de bloques registra y protege los datos fundamentales para garantizar la trazabilidad, sin embargo, dependiendo del nivel de acceso es posible que cada stakeholder posea acceso a un definido grupo de información. De este modo se pretende garantizaría una confianza entre los integrantes, transparencia y visibilidad que puede permitir una fácil implementación de las reglas y políticas gubernamentales. De manera similar, cada stakeholder puede mantener sus ventajas competitivas sin revelar toda la información y estrategias empresariales. Por ejemplo, los datos de los costes de los productos de los proveedores pueden ser accesibles solo para el comprador y no para otros socios de la cadena de suministro. No obstante, la cadena de bloques debe registrar todos los datos y transacciones para que sea auditable y verificable (Gupta, 2018), esto ayudaría a resolver conflictos y hacer responsables a los stakeholder de la cadena de suministro, orientándolos hacia prácticas éticas (Kshetri 2018).

#### 5.3.2 Organización de recursos.

Según lo expuesto en el apartado anterior las cadenas de suministro de la marca de moda o proveedores considerados a priori minoristas que generalmente inician la demanda del mercado y son los que realizan pedidos a los proveedores, por lo tanto, cada minorista vende una variedad o tipo de productos que por lo general proviene de varios fabricantes a través de sus plataformas o tiendas físicas, productos que cambian según la temporada y las tendencias, para satisfacer la demanda.

De forma similar, un fabricante de ropa adquiere materias primas de diferentes sitios, por lo tanto, en un escenario buscar una trazabilidad de la cadena de suministro, si esta cadena la centramos en blockchain, cada socio puede estar conectado a múltiples canales, donde cada canal puede tener un libro de registro compartido y uno o varios contratos. La imagen 20 muestra la transformación de la cadena de suministro de T&C moda que se muestra en la imagen 19 en una red de cadena de bloques distribuida.

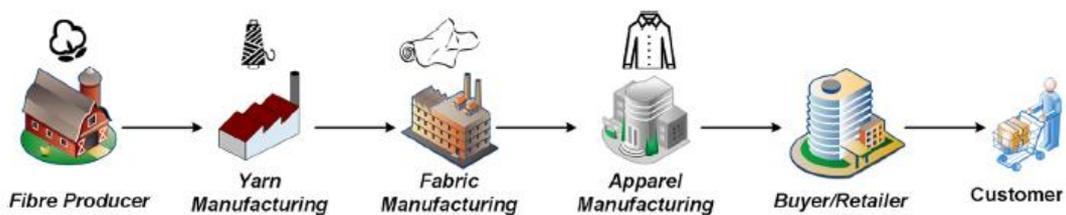


Ilustración 26 Línea de distribución (Ahmed y Khan, 2020.)

En esta propuesta, se ha considerado a los minoristas de la marca de ropa T&C, que generalmente actúa como el proveedor local, el minorista interactúa con diferentes grupos de proveedores que conecta con cada proveedor del grupo que consiste en un subgrupo de suministro creando una red de proveedores que va desde el fabricante de telas hasta la unidad de fabricación de ropa, incluyendo socios logísticos, auditores y agencias de certificación, aunque se pueden realizar una red privada y personalizada para cumplir con los requisitos de

los socios comerciales y al mismo tiempo, mantener la privacidad y la transparencia en la red (Longo et al. 2019).

Con base en la misma lógica, aquí se propone un sistema de trazabilidad utilizando en blockchain, para ello hay que configurar la estructura de red de suministro y manejar las reglas de interacción con los socios. A continuación, se muestran los componentes principales de la red de trazabilidad basada en blockchain a nivel organizacional.

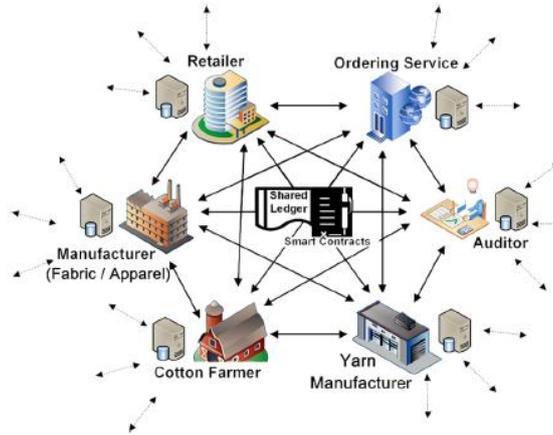


Ilustración 27 Red de información descentralizada (Ahmed y Khan, 2020.)

### 5.3.3 Canales

Son subdivisiones de la red que se utilizan para el fraccionamiento de datos, cada canal tiene su blockchain de transacciones independiente que se almacena en un libro de registro común que se administra por uno o más contratos inteligentes, por ejemplo, un grupo de proveedores ascendentes que se ocupan de un producto pueden conectarse a un canal o un conjunto de canales, cada uno para realizar diferentes tipos de transacciones. Así todas las transacciones relacionadas con el material y la producción de un clúster podrían ejecutarse a través de un canal y las transacciones financieras pueden ejecutarse a través de otro canal. Esto facilitaría la privacidad de los datos y subdividiría la red en múltiples subredes, cada una con sus propios libros de contabilidad compartidos y contratos inteligentes.

- Stakeholder

Los pares son sistemas de procesamiento que albergan el contrato inteligente y los llamados libros de contabilidad para facilitar la generación y validación de transacciones en función de sus roles. Son diferentes nodos que están conectados entre sí para formar la red determinado por sus roles, así solo los socios principales de la cadena de suministro deberán albergar sistemas de pares, porque implica realizar una inversión y mantenimiento del sistema. El resto de socios puede acceder al libro de cuentas a través de una aplicación, por ejemplo, los proveedores con una contribución limitada en la cadena de suministro pueden ejecutar una aplicación en un dispositivo para acceder a la cadena de bloques, los pares pueden seleccionarse según el mecanismo de consenso para validar y respaldar una transacción.

- Aplicaciones

Las aplicaciones son una interfaz de software fácil de usar que se puede utilizar para hacer registros en blockchain, las solicitudes tienen como objetivo leer o agregar transacciones, validar transacciones para agregar en el libro de registro compartido, así cada socio puede ejecutar la aplicación en varios dispositivos con diferentes reglas de acceso.

- Servicio de pedidos

Su tarea principal es recopilar un conjunto de transacciones que agregan los socios de la cadena de suministro, organizarlas en una secuencia lógica, registrarlas en un bloque y transmitir el

bloque para el proceso de validación. Después de la validación, el servicio de pedidos agregaría el bloque validado al libro de registro compartido.

#### 5.3.4 Servicios a los usuarios

En una red blockchain privada para la cadena de suministro y los servicios a los usuarios finales puede proporcionar claves público-privadas que son únicos para los socios participantes. La figura 4 muestra una representación simplificada del modelo propuesto para la cadena de suministro de T&C moda, este consiste en dos canales para dos socios que realizan transacciones entre sí en un canal cualquiera 1 o 2, esta comunicación se administra por unas reglas determinadas del canal y de red propios. En la representación existen varios sistemas de pares, por ejemplo, P1a y P1b para el canal 1 y P2a y P2b para el canal 2 asociados con cada canal que pueden tener un solo contrato y libro de registro (por ejemplo, P1a que aloja S1 y L1), o múltiples contratos y libros de registro (por ejemplo, PC que aloja S1 y L1 y S2 y L2). Las aplicaciones que pueden acceder al Canal 1, A2a y A2b son las aplicaciones que acceden al Canal 2, mientras que la aplicación de CA puede acceder a ambos canales. En el inicio de la imagen tenemos Acus, que es una aplicación para que el cliente pueda leer los datos relacionados con la trazabilidad del producto para verificar el origen, la marca y la procedencia del producto. (S.Weghofer, M.Mertl, X.Yao, S.Strambu)

#### 5.3.5 Nivel operacional

Para diseñar un modelo de trazabilidad basado en blockchain, es importante analizar cómo funciona el proceso en sí, de esta forma el análisis debe de estar alineado con la cadena de suministro que involucra múltiples operaciones por diferentes contratos, por ejemplo, la ropa de vestir forma parte del núcleo de una cadena de suministro de T&C moda y la trazabilidad se refiere a la gestión de datos de la ropa en sí, desde la producción de la tela hasta la confección final de producto, por lo tanto, a nivel operacional debe demostrar las actividades de recopilación de material, organización e intercambio de datos de trazabilidad en diferentes niveles de la cadena de suministro.

Este proceso se repetido varias veces por varios socios de la cadena hasta que el producto final se llega al minorista, como resultado, se genera una gran cantidad de información en cada etapa de la cadena de suministro que requiere procedimientos adecuados de recopilación y gestión.

Como resultado, toda la información puede registrarse, pero solo la información esencial debe compartirse en el libro de registro. Por lo tanto, la implementación de la trazabilidad basada en blockchain requeriría de una planificación e identificación anticipadas de la información de trazabilidad que puede compartirse en el libro de registro mediante la construcción de acuerdos entre los socios (Agrawal & Pal, 2019).

Del mismo modo, también es importante recoger y compartir los datos necesarios para cumplir con las regulaciones locales y los requisitos de las agencias de certificación, por lo tanto, se propuso compartir la información relativa a la trazabilidad en cuatro conjuntos: información privada, pública, segura y vinculante.

- Información privada

La información privada que se puede compartir consiste en un conjunto de informaciones útiles para los procesos de transformación de materiales como, especificaciones de productos, diseño y detalles. Esta información, cuando se comparte de forma segura con los socios de la cadena de suministro, puede mejorar la visibilidad y reducir los riesgos.

- Información pública

A diferencia de la información privada la información pública que se puede compartir con el cliente y con terceros, normalmente estos datos son datos esenciales que se deben de registrar en todas las etapas de la transformación del producto para cumplir con acreditaciones o regulaciones de las autoridades.

- Información para registrar.

Es información codificada a la que solo puede acceder un socio autorizado dentro del canal de comunicación, a diferencia de la información privada que se puede compartir a la que puede acceder cualquier socio B2B, la información protegida es sensible y confidencial.

#### 5.3.6 Vinculación de información.

Vincular la información para tener un control de la trazabilidad de los productos es crucial para el funcionamiento de la cadena de bloques, la información que se valida en cada transacción, como ya se ha indicado queda en el libro de registro que se comparte según las especificaciones del contrato, por lo tanto, dispondrá de cuatro campos que son:

- A. ID de trazabilidad o ID de lote: es un código de identificación único que diferencia cada unidad de trazabilidad de otras similares, además facilita el rastreo de lotes de activos incluso después de que se hayan dividido, mezclado o recombinado. Estos ID se pueden generar a través de una función basada en el tiempo para garantizar su singularidad.
- B. Registro público, se asigna para identificar a los interesados de la cadena de suministro, es un elemento crucial para rastrear y verificar cualquier tipo de reclamación.
- C. Firma de la transacción, es una combinación de la clave privada y la identificación o dirección única del socio autorizado que ha iniciado la transacción.
- D. Valor del activo, es la cantidad que se negocia para la cadena de suministro, cada socio tiene acceso a la cadena de suministro a través de aplicaciones y agregar transacciones, incluido el valor del activo que le gustaría negociar.

#### 5.3.7 Caso de uso para garantizar la trazabilidad del algodón orgánico basada en blockchain

La cadena de bloques está diseñada para un canal que conecta un grupo de socios de la cadena de suministro que comercializan algodón orgánico o productos a base de algodón orgánico. La cadena de suministro comienza con el fabricante de algodón y pasa por diferentes etapas de la cadena de suministro hasta que el minorista obtiene el producto con una composición de algodón 100% orgánico. El ejemplo demuestra la aplicación del uso de blockchain para rastrear transacciones y recopilar información. La siguiente sección explica los componentes principales de la cadena de bloques de ejemplo (Shi et al. 2020).

Los Participante en la cadena de suministro y sus roles se muestra a continuación, así mantenemos todos las transacciones entre intermediarios junto al material que intercambias bajo control, no pudiendo introducir material externo ni realizar transacciones con terceros porque solo los proveedores habituales tienen acceso a la plataforma

- Proveedor de algodón orgánico  
El Proveedor de algodón orgánico es un proveedor certificado de algodón orgánico, es el único socio en la cadena de suministro que tiene la autoridad para materia prima en la cadena de suministro y las transacciones correspondientes en el libro de registro de blockchain, mientras que otros socios solo pueden transferir la materia prima de algodón orgánico en diferentes formatos. Cada transacción contiene la información de los dos socios asociados y la cantidad de algodón orgánico que se transfirió entre los participantes.
- Fabricante de hilo  
Representa una fábrica de hilo que compra la fibra de algodón orgánico y fabrica hilos a partir de ella, además este proveedor divide la producción en dos lotes y los transfiere al fabricante de la tela. A cada lote se le asigna una identificación de trazabilidad única

que incluye la identificación de trazabilidad anterior de la fibra de algodón proporcionada.

- Fabricante de telas  
Es una fábrica que recibe un hilo de algodón orgánico, actualizado físicamente mediante una transacción en blockchain, para posteriormente transforma los hilos en tejidos.
- Fabricante de ropa  
El fabricante recibe una cierta masa de tela de algodón orgánico en forma de rollos y los convierte en un producto terminado y les asigna un nuevo ID de trazabilidad.
- Minorista (Tienda)  
La tienda recibe el producto orgánico terminado y listo para vender, en este punto, pueden conectarse con la red blockchain y acceder al libro de registro compartido, así el cliente puede rastrear a todos los procesos involucrados en la cadena de suministro.

### 5.3.8 Contrato inteligente

En el ejemplo, utiliza el concepto de balance de material para realizar un seguimiento del algodón orgánico generado y transferido a la cadena de suministro. Es una lógica muy utilizada para la conservación del material en un sistema físico, que establece que la masa no puede desaparecer y tampoco puede crearse espontáneamente. Por lo tanto, el balance de masa contabiliza el material que entra y sale junto con la masa actual acumulada en el sistema. De esta forma, cada transacción será validado según el balance de material para verificar el algodón orgánico que permanece en la cadena de suministro, de este modo el sistema sabe si el que realiza la transferencia realmente posee la masa de algodón orgánico que comercializa (Mandolla et al. 2019).

#### A. Permiso

Como se indicó anteriormente, en la cadena de bloques privada, cada socio tiene una identificación única, además, se genera un par de claves públicas y privadas para la autenticación de las transacciones en la cadena de suministro en la red, cuando se realiza una transacción, un proveedor ingresará su identificación asignada a una contraseña y la identificación del destinatario.

#### B. Consenso

El programa de blockchain se ejecuta en un solo sistema par genera todas las transacciones, el segundo los valida en el libro de registros compartido, una vez validada las transacciones se escriben en un bloque que contiene la identificación del bloque más un hash del bloque anterior.

#### C. Transacción

La cadena de bloques señala un escenario simple de compra y venta de algodón orgánico del proveedor de fibra al minorista en orden secuencial de producción, es decir, simulando el flujo de material en una cadena de suministro de T&C moda. En la práctica, pueden existir múltiples socios en cada etapa de la cadena de suministro que están conectados en la red blockchain a través de diferentes canales, como se explicó anteriormente.

De manera similar, un intermediario de la cadena de suministro puede adquirir materia prima de varios proveedores y posteriormente, transferir estos activos a varios compradores, como se muestra en la figura 6. Se puede observar que pueden tener varios proveedores en cada etapa de la cadena de suministro, con tanto intercambio entre ellos como sea posible. No obstante, para facilitar la comprensión se explicará un canal y cuatro conjuntos de transacciones que se registran en el libro compartido. Con el fin de explicar el proceso, por lo tanto el primero socio de la cadena de suministro realiza una transacción utilizando la interfaz “Comercio de algodón orgánico” como se muestra en la figura 7, para verifica y registra como un bloque en la cadena de bloques(Guercini y Runfola 2009).

La interfaz recopila la identificación del remitente, la clave privada y la identificación del destinatario que actúa como una dirección y está vinculada con la clave pública del destinatario. Al principio, se verifica si el remitente es válido y si posee los activos necesarios para las transacciones, por lo tanto, si se cumplen ambas condiciones, la transacción se escribe en la cadena de bloques y los materiales transferidos se actualizan en consecuencia en las cuentas de los respectivos interlocutores de la cadena de suministro. En la imagen 29, se muestra la transacción realizada entre el proveedor de algodón orgánico y un fabricante de hilo, donde el remitente en este caso el proveedor de algodón orgánico ingresa su identificación única y clave privada, junto con la identificación única del destinatario, el fabricante de hilo junto con a la cantidad requerida.

Como se explicó anteriormente solo el fabricante de algodón tiene permiso para agregar algodón orgánico al libro de registros o y en la cadena física de suministro, de este modo, como se muestra en la imagen 28, el fabricante primario utiliza su clave pública o privada para genera el bloque 0, agregando 200 unidades de algodón orgánico en la cuenta del libro compartido, seguido, este bloque se somete a un hash y actúa como un punto de partida de la cadena de bloques.

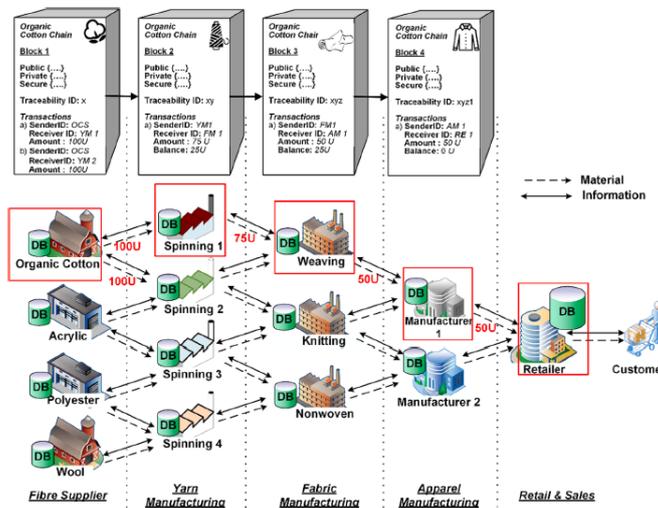


Ilustración 28 Cadena de suministro completo en diferentes escenarios (Ahmed y Khan, 2020.)

Sender Unique ID:	<input type="text" value="OrganicCottonSupplierTurkey000000"/>
Sender Private Key:	<input type="text" value="30802025e02010002812100a2d6daa399aa236dcb768552136ddf4596f2ccb9e99db988a0036389708442"/>
Recipient Unique ID:	<input type="text" value="YarnManufacturerTurkey000000"/>
Amount to Send:	<input type="text" value="100U"/>
<input type="button" value="Transfer"/>	

Ilustración 29 Desarrollo de transacciones (Ahmed y Khan, 2020.)

### 5.3.9 Prueba de conceptos

Para obtener una idea relacionada con el rendimiento y la aplicabilidad, se ejecutaron algunas ejecuciones en modo simulación con el programa de desarrollo, para reducir las complejidades, la simulación se ejecutó en un solo nodo de blockchain mientras cambiaba los parámetros que podían replicar la transacción y la validación de múltiples nodos. Se entiende bien por la literatura que el desarrollo de un gran banco de pruebas (que incorpore todas las características propuestas, la interacción de los socios y la estructura del canal) para simular y

evaluar el rendimiento de estudios, requeriría grandes esfuerzos (Alzahrani & Bulusu, 2020). De hecho, los pocos modelos o equipos de simulación disponibles actualmente no tienen funciones para incorporar todos los aspectos propuestos y requerirían transformaciones sustanciales.

La cadena de bloques lanza un contrato inteligente que garantiza la validez de la transacción, primero la firma se verifica y luego el saldo de la cantidad de materia prima incluido en la transacción, así la cadena de bloques se simuló variando los siguientes parámetros. Primero, el nivel de dificultad, con el fin de evaluar la duración promedio de tiempo para predecir el hash objetivo (Rivest, Shamir, y Adleman 1978).

El minorista puede rastrear todas las transacciones posteriores en la cadena de bloques accediendo a las entradas del libro de registro compartido y validar la autenticidad del algodón en el producto orgánico. En la Imagen 29 se muestra una instantánea de la interfaz web que muestra todas las transacciones que ocurrieron en el escenario de ejemplo en función del tiempo. La figura muestra los detalles relacionados con cada transacción con la identificación única de los comerciantes, la cantidad negociada y el nodo validador con el momento de la transacción. Esto permitiría una trazabilidad segura en la cadena de suministro con una confianza basada en la tecnología. En la imagen 30 se presenta una instantánea de la cadena de bloques completa que muestra las transacciones y los datos del bloque a medida que ocurren.

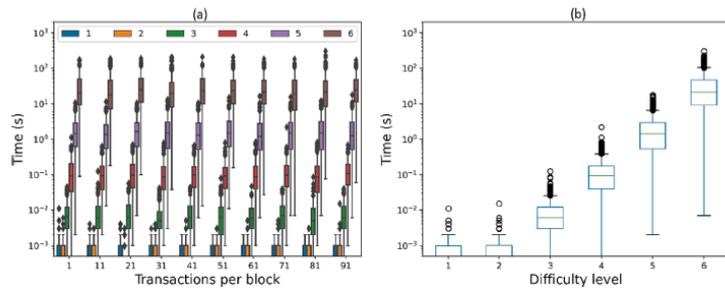


Ilustración 30 Incremento de las transacciones (Ahmed y Khan, 2020.)

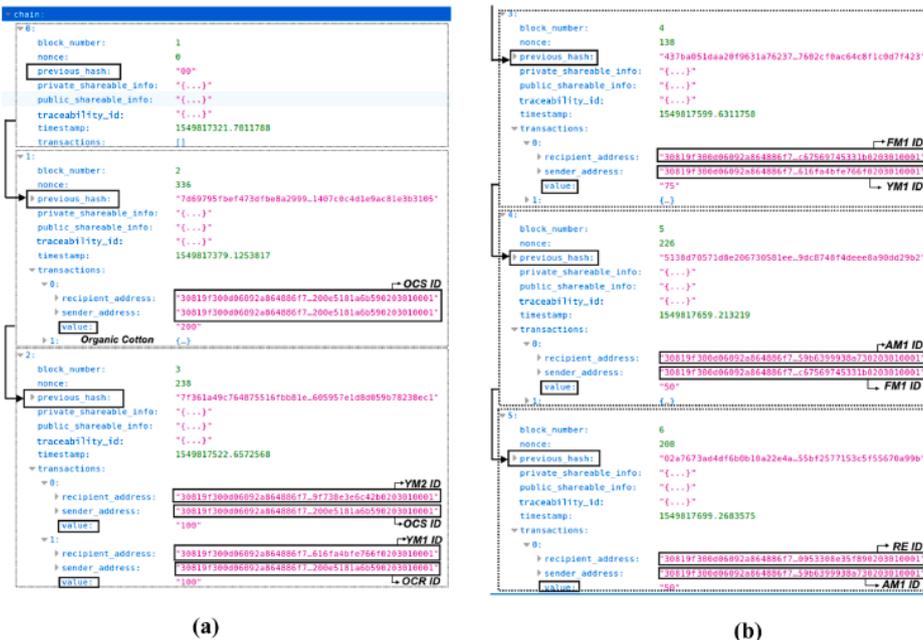


Ilustración 31 trazabilidad del algodón orgánico (Ahmed y Khan, 2020.)

### 5.3.10 Conclusiones

El Blockchain funciona como un registro distribuido sin una autoridad central que permite crear un libro de registro descentralizado de transacciones que se pueden verificar y rastrear, debido a estas características, se ha explorado su uso para varias aplicaciones principalmente en el sector financiero. Sin embargo, se ha considerado un cambio en términos de extrapolar las funciones a nuevas aplicaciones en el contexto de la cadena de suministro, en particular para crear transparencia y trazabilidad (Lohmer & Lasch, 2020).

En este contexto se presentó un programa de trazabilidad basado en blockchain para la cadena de suministro textil de marca de ropa con varios ejemplos, el marco propuesto se ilustra operativamente para la trazabilidad del algodón orgánico a través del mecanismo de validación por balance de material. Los resultados de la simulación realizada en diferentes escenarios formulados, u como consecuencia se detectó que se forma un retraso en la formación de bloques cuando:

- A. Aumenta la complejidad del nodo
- B. Aumenta el número de transacciones por bloque.

En primer lugar, el trabajo realizado en el documento proporciona pruebas basadas en evidencia de los aspectos críticos de la integración blockchain, que necesita realizar un mantenimiento y un trabajo rutinario que actualmente es difícil de llevar a cabo, en segundo lugar, la cadena de bloques del ejemplo demuestra la complejidad en diferentes niveles en el momento que aumenta el tamaño del bloque. Cuando se trata de las implicaciones prácticas la aplicación demuestra que desarrollar una cadena de bloques para productos de algodón orgánico y probarla en varios escenarios puede ser un aporte importante para varios integrantes de cadenas de bloques en curso. Los resultados de la simulación pueden ser un punto de partida interesantes para evaluar la viabilidad de blockchain en diferentes escenarios. En este contexto desde el punto de vista de las agencias de certificación cabe la posibilidad de explorar y poner en funcionamiento cadenas de suministro donde existe sistemas de trazabilidad basados en blockchain, así se pueden utilizar para garantizar el cumplimiento a través de contratos inteligentes.

### 5.4 Referencia de uso: Modelos predictivos.

La planificación y programación del mantenimiento es una de las partes más importantes de los procesos industriales, debido a la importancia que genera la disponibilidad de los activos y la alta inversión que requiere este tipo de sistema. En este caso se muestran un ejemplo de uso en que compara diferente metodología de mantenimiento predictivo para un caso real en la industria automotriz, para relacionar los datos que generan los equipos monitorizados y relacionarlos con los programas de mantenimiento, fiabilidad y calidad del producto.

El primer paso es realizar una recopilación de datos de forma masiva para posteriormente tratarlos con métodos matemáticos de optimización, para una vez ejecutados realizar una predicción de la vida útil restante (RUL por sus siglas en ingles) de las piezas de las máquina mediante método de red neuronal artificial teniendo en cuenta los datos de los sensores.

Con los datos obtenidos del programa RUL de predicción de funcionamiento de las máquinas, más las ratios de costes y parámetros de proceso son suficientes para integrarlos en un modelo matemático y lograr un cronograma de producción óptimo para minimizar los gastos de mantenimiento, si los exigencias de la producción cambian los parámetros del modelo se reajustan para lograr una nueva solución de la planificación y programación del mantenimiento (Curcurù, Galante, y Lombardo 2010).

Este estudio nace gracias a la necesidad de moverse hacia una producción personalizada para entrar en un mercado con alta competitividad, en este sentido un sistema IMS (Intelligent Manufacturing Systems) es la respuesta más exitosa para abordar los desafíos actuales, porque realiza integraciones de valores en todas las direcciones, entre diferentes componentes del sistema de fabricación y partes de la cadena de suministro (Ahmad y Kamaruddin 2012).

#### 5.4.1 Metodo

En este caso se utiliza un método de redes neuronales artificiales (ANN) para la predicción de la vida útil restante (RUL) de los componentes mediante el uso de los datos de los sensores colocado en las máquinas, además de otros parámetros que han sido utilizados para integrar en un modelo matemático, que nos dará la programación de mantenimiento de los componentes que pueden ser un sistema de apoyo a la toma de decisiones.

Se han estudiado diferentes técnicas de recopilación de datos a través de sensores de vibración, temperatura, presión de aire y nivel de ruido en los equipos de las líneas de producción, además de controlar los valores de tensión e intensidad y utilizar termografía infrarroja para equipos eléctricos, aunque existen diferentes dependencias entre componentes, se han seguido estudios anteriores sobre mantenimiento de componentes múltiples y dependencias de producción para reajustar el mantenimiento mediante análisis de costes (Chiu, Cheng, y Huang 2017a).

#### 5.4.2 Modelo matemático.

El modelo matemático propuesto minimiza los costes de mantenimiento para los consumibles de las máquinas, en función de los siguientes parámetros:

Los consumibles de las maquinas tienen unas horas de funcionamiento detalladas por el fabricante, entonces si un componente se cambia antes de llegar a su vida útil la función matemática penalizara económicamente el sistema por no usar la pieza por las horas de vida que le queden. Por otro lado, existe la posibilidad de realizar un mantenimiento al resto de piezas de la maquina mientras se cambia una pieza y en este caso el sistema se ve compensado por el ahorro de tiempo a largo plazo para el grupo de máquinas afectado.

Para controlar los datos económicos se define una tabla dinámica para llevar un control de los gastos de reparación de cada pieza en cada período, existiendo una penalización por el coste del tiempo de inactividad si el período de mantenimiento se programa antes de terminar su vida útil, ya que, en los sistemas de fabricación, el costo del tiempo por inactividad de las líneas de producción es muy importantes. Por el contrario, si se decide alargar la vida útil de los componentes más allá de su fecha de vencimiento el sistema también penalizara, al considerar un riesgo de fallo y asigna el coste de reparación en el hipotético caso de la pieza falle en horas de parada (Silva et al. 2020).

Para el modelo matemático utilizado se han utilizado los siguientes índices, parámetros y variables de decisión se presentan a continuación:

Índices:

- Numero de partes que intervienen en el proceso.
- Numero de máquinas que intervienen en el proceso.
- Numero de ciclos de trabajo.

Parámetros:

- Coste de compra de repuesto.
- Coste de cambio de la pieza.
- Coste de reparación de las piezas reparables.
- Coste del tiempo de ajuste de la línea
- Coste de tiempo de inactividad de la maquina por ciclos de producción.

- Último periodo de mantenimiento
- Número de piezas cambiadas después de la última reparación.
- Tiempo de espera para realizar el mantenimiento.
- Vida útil restante de la pieza.
- Fecha actual

VARIABLES DE DECISIÓN.

- Periodo de mantenimiento del componente.
- Programación de mantenimiento del componente (Si/No).
- La pieza tiene que ser reparada.
- La pieza tiene que ser renovada.
- La pieza está programada para realizar mantenimiento después de fallar.
- La máquina está programada para realizar mantenimiento después de fallar.
- Numero de partes que está en la programación dentro del periodo

Como resultado la función nos daría un resultado en euros de las siguientes características

- Coste de renovación o reparación
- Pérdidas económicas cuando ejecutamos el mantenimiento antes de su tiempo esperado.
- Coste del tiempo de inactividad cuando la máquina está parada.
- Coste de instalación del equipo
- Ahorro de costes de configuración del equipo para futuros mantenimientos.

El período de mantenimiento de cada pieza debe ser igual o mayor que el período actual para no repercutir en costes, además, el período de mantenimiento de cada pieza podría ser como máximo de dos ciclos de su tiempo esperado de mantenimiento, no obstante, cada pieza debe ser utilizado al menos más de las mitas de su tiempo esperado de mantenimiento para que el programa no penalice.

Por último, con las hipótesis alcanzadas por las funciones matemáticas y los parámetros del sistema de monitorizado para realizar una aproximación en función de la condición real de la máquina se ha utilizado un Software de análisis llamado GAMS®, una vez resuelto el modelo de optimización, un valor en formato tiempo para la programación de mantenimiento de los elementos de las máquinas, que se utiliza como apoyo para la toma de decisiones.

#### 5.4.3 Procedimiento.

Tomamos datos online de todos los sensores instalado en la línea de producción, estos datos son transferidos a la plataforma donde se realiza una predicción de la vida útil en función del estado real de los dispositivos, tras resolver el modelo de optimización, tenemos un resultado para la programación de mantenimiento de los componentes de la línea de producción que se utilizan como apoyo de decisiones en la organización de mantenimiento. Todo el proceso se ha representado en la en la imagen 32, además se han planteado algunos escenarios, que se mostraran a continuación. (Einabadi-2019)

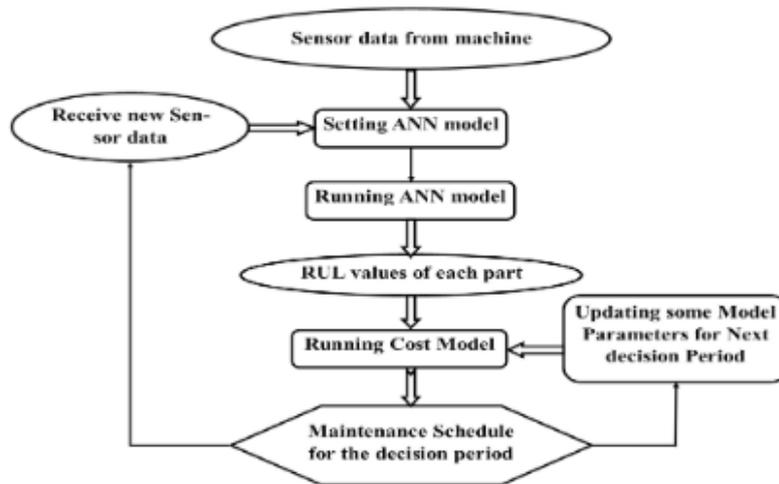


Ilustración 32 Árbol de decisión (Chiu, Cheng, y Huang 2017b)

**Escenario A**

Se pasan 28 ciclos de producción y la tendencia de degradación de las piezas producidas es constante ciclo a ciclo.

**Escenario B**

Después de pasar 28 ciclos de producción, en el 50% de las piezas medidas aleatoriamente se observan que se degradan ciclo a ciclo, el 20% de las piezas se degradan menos en contra de la degradación producida y el 30% se degrada exponencialmente.

**Escenario C**

En este caso han pasado 50 ciclos de producción y durante este ciclo se ha realizado alguna reparación o cambio de alguna pieza de la línea de producción, las piezas producidas se degradan progresivamente ciclo a ciclo.

**Escenario D**

Por último, han pasado 50 ciclos de producción y durante este ciclo se ha realizado alguna reparación o cambio de alguna pieza de la línea de producción, pero en este caso el 70% de las piezas se degradan constantemente ciclo a ciclo, el 15% de las piezas se degradan menos que la degradación constante y el 15% se degrada más que la degradación constante.

**5.4.4 Base de estudio.**

Se han considerado 24 piezas de 5 grupos de máquinas de la línea de producción de Fiat como caso de estudio. Los datos derivados por los sensores son de temperatura, vibración y consumo de energía de las máquinas se presuponen características de entrada junto con el modelo matemático explicado anteriormente que se muestran en la imagen 26, por ejemplo, la pieza denominada Nº14 se debe de cambiar después de 44 ciclos de producción y la pieza denominada Nº10 se debe de reparar después de 52 ciclos de trabajo y así sucesivamente.

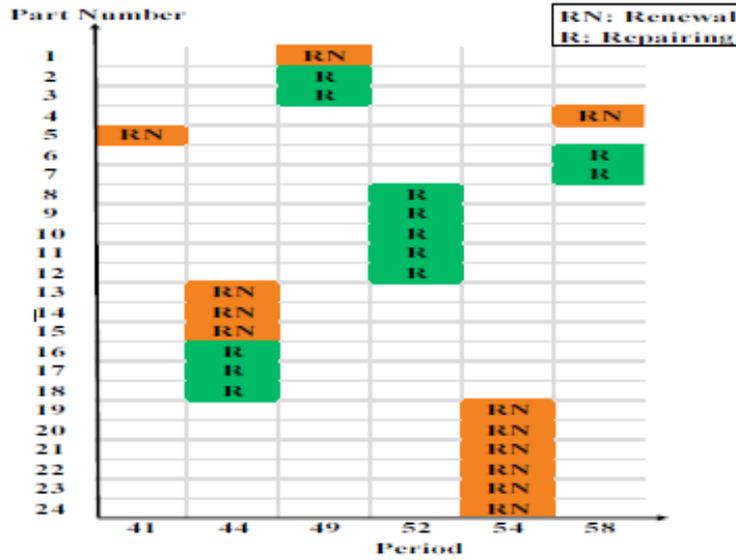


Ilustración 33 Optimo programa de mantenimiento (Chiu, Cheng, y Huang 2017b)

Todos los planes de mantenimiento están proyectados dentro de su período de vida útil para evitar penalizaciones, de modo que todas las variables introducidas en el modelo matemático tengan el mismo valor de entrada, así los costes por tiempo de inactividad se consideran nulos.

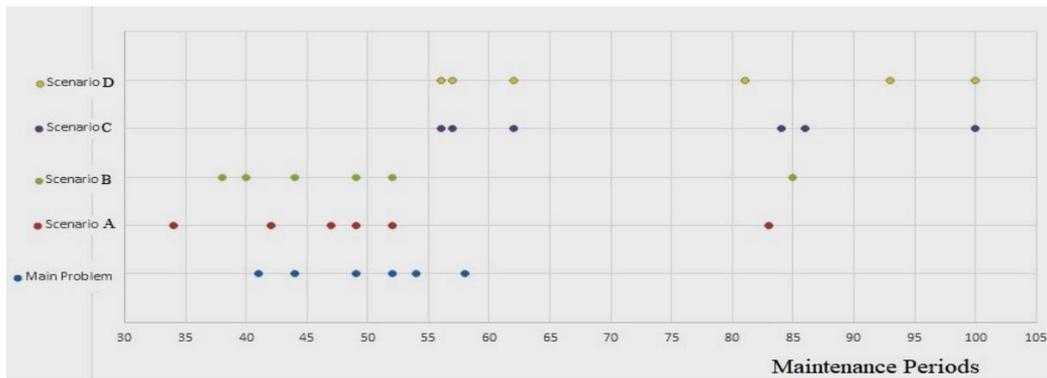


Ilustración 34 Intervenciones de Mantenimiento para mantener los requisitos de los escenarios. (Chiu, Cheng, y Huang 2017b)

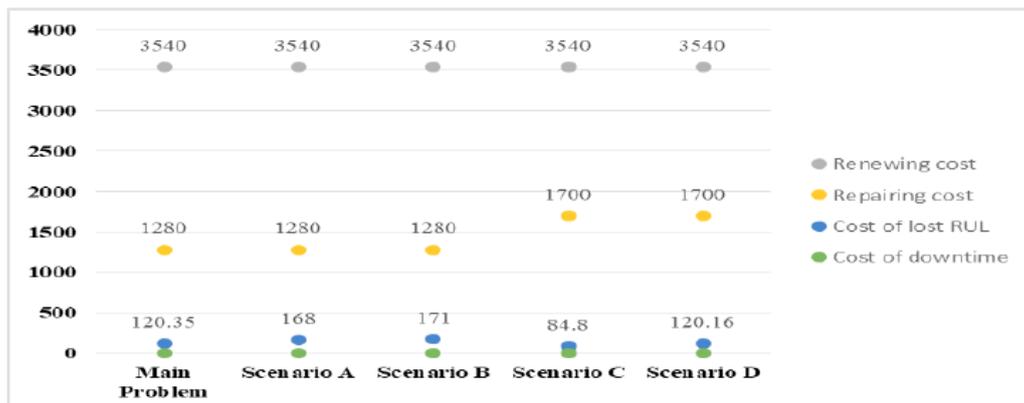


Ilustración 35 Costes de renovación, reparación en diferentes escenarios (Chiu, Cheng, y Huang 2017b)

*Comparación del escenario A con B:*

Como se ve en la imagen 2 la primera intervención de mantenimiento según el modelo matemático y los sensores online que la línea de producción tiene, comenzaría en el ciclo 41 con mientras que según los escenarios establecidos por unos requisitos de calidad la primera intervención se debe realizar en el modelo A, en este sentido el requerimiento de mantenimiento ha empezado antes, sin embargo, para otros escenarios las intervenciones de mantenimiento pasaron a ser más tarde

La importancia es que, de acuerdo con el cambio de parámetros, se logra la programación diferente con un coste mínimo ajustando la planificación de mantenimiento como se puede observar en la imagen 4. En vista que realizando cambios de mantenimiento repercute de forma directa a la producción y ratio de fiabilidad, el cual se ha incrementado en los escenarios A y B. Como resultado, esto muestra la robustez del modelo de mantenimiento, minimiza el coste por rechazo de piezas, por lo que al cambiar los períodos de mantenimiento logramos ajustar los ratios de desgaste de las piezas producidas manteniendo el coste de mantenimiento.

*Comparación de los escenarios C con D:*

Después de realizar 55 ciclos de producción, algunas piezas se mantienen dentro de los márgenes óptimos, pero el número de piezas producidas no reparables aumentan hasta que se produce la primera intervención en las maquinas por parte de mantenimiento, el resultado muestra que el coste de reparación se ha incrementado desde el nuevo plan de mantenimiento. Existe una gran diferencia en el coste de piezas producidas sin rechazo y el ahorro de costos de instalación. En el escenario C, estos dos costos se han agravado debido al aumento en el número de piezas rechazadas y por tanto el programa penalizara el modelo de mantenimiento, por lo tanto, se confirma que estos dos escenarios no son los óptimos ya que el ahorro de costes en el mantenimiento repercute en la calidad de las piezas producidas, lo cual es evidente.

**5.4.5 Conclusiones**

Se realiza un programa de mantenimiento a través de un modelo matemático con múltiples variables, como horas de mantenimiento, horas de uso de repuesto datos de sensores...etc. Al resolver el modelo propuesto se obtiene la programación de mantenimiento óptima como una solución para evitar un grande coste por tiempo de inactividad, además para ajustar aún más las intervenciones de mantenimiento el modelo distingue entre los componentes de las máquinas para incrementar el ahorro de costes por repuesto, instalación y máquina.

Con el fin de analizar cómo afecta a la producción el resultado del modelo y a la máquina, se presuponen 4 escenarios en función de la calidad de las piezas producidas, como consecuencia se observa que para mantener un rechazo aceptable hace falta realizar intervenciones antes de la programación indicada por el modelo. Lo más importante es que dichas intervenciones extra no encarecen los ratios de mantenimiento, pero si repercute de manera importante en la producción por lo que se requiere ajustar el modelo matemático a los requisitos de calidad, no obstante hay que añadir que la propuesta del modelo es un punto intermedio que se ajusta bastante a la realidad aunque hay que recordad que la planificación del mantenimiento está fuertemente vinculada con la política de reabastecimiento y a la planificación de la producción., posiblemente no se hayan considerado todos los parámetros o algunos hechos, por lo que el modelo propuesto sirve de apoyo a la toma de decisiones.

Un ejemplo podría ser la disponibilidad de la máquina para mantenimiento todo el tiempo, lo cual no se considera en el modelo de optimización al hacer una parada programada, pero es posible que agregando una nueva restricción podamos evitar dicha limitación.

Otro punto interesante puede ser la integración de nuevas herramientas de aprendizaje automático y aplicarlas en la predicción a través de información operativa de la máquina, big data y encontrar modelos con más precisión esto puede ayudar a obtener mejores resultados

## 5.5 Referencia de uso: industria del acero.

La cuarta revolución industrial se caracteriza por la utilización del internet de las cosas (IoT) en la industria, que habilita a las fábricas con sistemas de fabricación inteligentes. El tema clave de cualquier diseño y progreso de sistemas en el contexto de la Industria 4.0 es la implementación adecuada de la guía de referencia industrial arquitectónico (RAMI) en varias operaciones de fabricación. Dado que actualmente el mantenimiento se consolida cada vez más una función empresarial estratégica que contribuye a mejorar la fiabilidad y rentabilidad, se ha desarrollado el mantenimiento predictivo como una nueva palanca de gestión del mantenimiento. A continuación, se presenta un diseño de una red de mantenimiento predictivo según RAMI para la ejecución de una plataforma de mantenimiento (Thoben, Wiesner, y Wuest, s. f.).

La utilización de una plataforma como RAMI para la creación de una red de mantenimiento predictivo para el análisis de los activos de una factoría es necesaria para agrupar conceptos y tecnologías que actualmente se encuentran en desarrollo para establecer un modelo común y así aprovechar el potencial que promete cada aplicación y sistemas industriales en el marco de la Industria 4.0. Aunque el ejemplo de la Industria 4.0 aún está evolucionando el enfoque se centra en crear una plataforma RAMI para gestionar las operaciones de mantenimiento y de forma unificada y ordenada basada en una arquitectura compatible con RAMI, esto nos permite la integración de futuros procesos de mantenimiento con otras aplicaciones y proceso de fabricación basada en el paradigma de la Industria 4.0.

### 5.5.1 Niveles de implementación jerárquica.

Una arquitectura de mantenimiento predictivo dentro del concepto de la I4.0 es aplicable a nivel de componente, máquina o proceso de producción. En este sentido, se puede implementar en máquinas y sistemas inteligentes flexibles capaces de interactuar y comunicarse a través de los niveles jerárquicos de una red, por lo tanto, la correcta implementación de los componentes de la industria conectada (procesos de mantenimiento predictivo integrados) precisa de la adecuación de protocolos adecuados para crear sinergias de comunicación en el presente y futuro.

#### *Nivel de máquinas.*

Este nivel representa los eventos físicos reales, como los equipos de producción, donde los usuarios (producción y mantenimiento) forman parte, por lo tanto, el mantenimiento predictivo activo revisa los equipos de producción con la participación de los usuarios (producción). El equipo de producción posee herramientas de análisis del sistema de producción que pueden servir de apoyo al mantenimiento por lo que sería adecuado implementar estos datos de producción en la herramienta RAMI (Bousdekis et al. 2019a).

#### *Nivel de integración.*

Este Nivel proporciona información sobre los activos de forma que los datos están disponibles para el procesamiento mediante la conexión de elementos y parte del proceso. La integración de las fuentes de información es fundamental para garantizar la fiabilidad y controlar el funcionamiento del sistema de seguimiento. Este nivel incluye sensores instalados en el equipo y los sistemas de producción, además incluye las interfaces hombre-máquina de los PLC o SCADA.

#### *Nivel de comunicación.*

Este Nivel proporciona la estandarización de la comunicación mediante un formato de datos uniforme y se ocupa la transmisión de datos de los sistemas físicos a los equipos de procesamiento de información incluye IoT Gateway, Legacy Data Uplifting y Event Broker. De esta forma, una plataforma de mantenimiento predictivo recopila los datos de las fuentes de información para su posterior procesamiento (Guillén López et al. 2016).

*Nivel de información.*

El nivel de información realiza el preprocesamiento de eventos y ejecuta las reglas relacionadas con eventos para la interpretación de la información, asegura la integridad y la transformación de los datos para alimentar la capa funcional. Por lo tanto, incluye el preprocesamiento de datos, registro y almacenamiento de una base de datos de la plataforma de mantenimiento, junto a los datos de la serie temporal referente a las mediciones en tiempo real. De esta manera, los datos requeridos se extraen y combinan en para alimentar otros niveles.

*Nivel funcional.*

Esta capa permite la descripción formal de funciones, donde crear las variables he integrar las funciones y parámetros como por ejemplo tiempo de ejecución número de tomas de muestras por un tiempo determinado...etc. Además del entorno de ejecución, establecimiento de alarmas o acciones a realizar ante un evento determinado («MIMOSA OSA-CBM – MIMOSA» s. f.). En este nivel tienen lugar las siguientes funciones, que se ejecutan sobre la base de los datos de la capa anterior:

➤ Definición del sistema:

La definición de todos los aspectos relacionados con el sistema de producción, causas y modos de fallos, junto a las acciones reactivas y proactivas más adecuadas, así como la especificación de los conceptos que afectan a los sistemas monitorizados. Los datos obtenidos para este apartado se derivan de un análisis de modos de fallo y criticidad (FEMECA).

➤ Evaluación de riesgos:

La criticidad de los activos que forman parte del proceso de fabricación se obtiene como resultado de un análisis de riesgo o criticidad como FEMECA

➤ Análisis de datos por bloques:

Algoritmos avanzados de análisis de datos basados en historial y operaciones ejecutadas con análisis de informes relacionados con la actividad de mantenimiento. Generar modelos y reglas en segundo plano que se utilizan en las funciones de análisis de datos para mejorar el algoritmo en la toma de decisiones a largo plazo.

➤ Análisis de datos en línea:

El análisis descriptivo y predictivo se realiza en función del flujo de datos generados por sensores durante el proceso productivo, por lo general el resultado se divide en dos resultados pronostico y diagnóstico.

- Diagnóstico, es el resultado de los algoritmos implicados para la detección de anomalías a corto plazo.
- Pronostico, de acuerdo con la definición del sistema el análisis incluye algoritmos para la predicción de fallas futuras, a largo plazo.

➤ Toma de decisiones:

Análisis predictivo que incluye un algoritmo propio para la toma de decisiones apoyado en dos acciones. La primera son acciones preventivas para evitar que el problema se extienda y la segunda proactiva intentar repara o atenuar la falla, previa aprobación de mantenimiento.

*Nivel empresarial.*

El objetivo del nivel empresarial es asegura la integridad de las funciones que agregan valor y permite controlar los modelos de gestión en los que se obtiene los mejores resultados, para ello hay que tener en cuenta las políticas y restricciones del sistema a través de las interrelaciones del mantenimiento predictivo con otras operaciones de fabricación. Además, el nivel empresarial intenta crear un vínculo entre los diferentes procesos, no solo entre producción y mantenimiento si no con que itera entre operaciones comerciales, de logística, gestión de

calidad, planificación de la producción...et, a través de la información adecuada que el usuario establece en el sistema (Peng, Dong, y Zuo 2010).

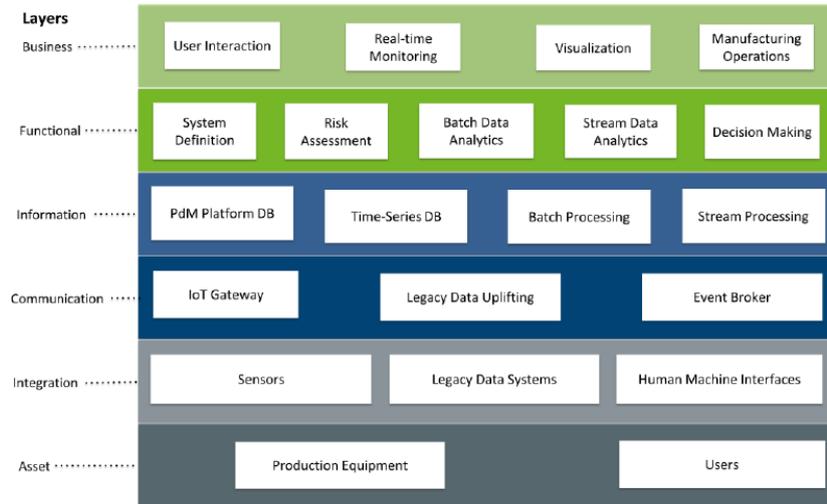


Ilustración 36 Arquitectura programa mantenimiento predictivo (Bousdekis et al. 2019b)

### 5.5.2 La plataforma y software

La arquitectura de mantenimiento predictivo en función a los estándares RAMI se implementó como una plataforma de mantenimiento electrónico, en la imagen 2 se muestra un esquema de la estructura de la plataforma de mantenimiento que muestra las principales interacciones entre los componentes a través de la definición de los procesos de integración y comunicación. La estructura técnica consta de tres niveles: nivel de presentación, nivel lógico y nivel de datos (Ray Zhong et al. 2017).

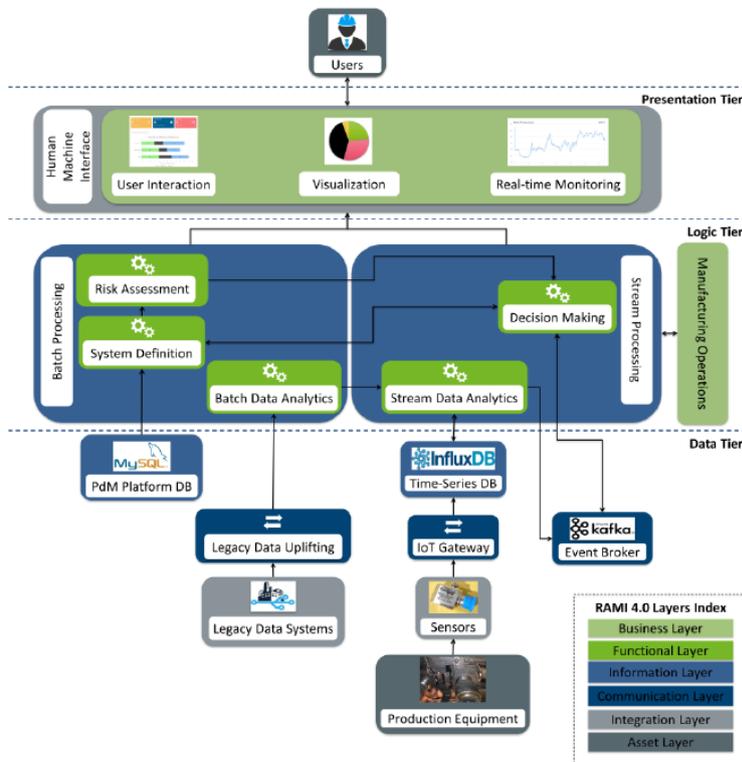


Ilustración 37 Arquitectura del programa (Bousdekis et al. 2019b)

*Nivel de presentación.*

Este es implementado a través de una interfaz gráfica (GUI) que incluye un menú que consta de los siguientes elementos: Resumen de análisis de datos, análisis de datos equipo, hipótesis de fallos, evaluación de riesgos, definición del proceso, para ello se realiza un seguimiento en tiempo real y se visualiza los resultados.

*Nivel lógico.*

En este nivel se implementas las funcionalidades para el mantenimiento predictivo en la Industria 4.0 La definición del sistema y la evaluación de riesgos se actualiza en función de las aportaciones de los técnicos, mientras que el análisis de datos se realiza en función del histórico de eventos.

*Nivel de datos.*

Todos los datos recogidos se registran en una plataforma que es el lugar donde son tratados, por lo tanto, se dividen en dos bloques. En primer lugar, se registran los datos de los sensores donde su tratamiento se basa en series temporales (InfluxDB), en segundo lugar, está representada por lo datos registrado en la base de datos MySQL que facilita el tratamiento al ser una plataforma abierta.

5.5.3 Ejemplo de uso.

La fabricación de acero es un proceso industrial complejo que requiere de la utilización de gran cantidad de equipos, por lo tanto, los defectos no detectados en las primeras etapas del proceso de fabricación tienen un impacto económico en los posteriores ciclos de transformaciones. El caso que se examina es el proceso de laminación en frío de M. J. Maillis S.A. el proceso se basa en reducir la sección transversal o espesor de una lámina metálica a través de la deformación provocada por un par de rodillos metálicos que giran en direcciones opuestas denominado caja de laminación con el material por debajo de su temperatura de recristalización (Ray Zhong et al. 2017).

En las líneas de producción se utiliza laminadores en frío para producir productos laminados con las tolerancias en el espesor la más ajustada posible con un excelente acabado superficial.

Como entrada en el proceso de fabricación tenemos una bobina de acero de 4 toneladas de peso y un espesor de 2 mm, para obtener como producto finalizados bobinas de acero en un rango de espesores entre 1,5mm hasta 0,4mm. La caja de laminado consta de varios componentes siendo los más relevantes:

- Los rodillos de trabajo, este par de rodillos son los que realizan el trabajo de reducción y por tanto los que más carga soportan, el material pasa a través del espacio que queda entre ellos modificando el espesor de la chapa hasta el deseado.
- Los rodillos de respaldo, este par de rodillos (un rodillo de respaldo para cada rodillo de trabajo) transmite el movimiento al rodillo de trabajo y soportan parte de la carga.
- La unidad de motor se encarga de hacer girar los rodillos de respaldo.

La imagen 31a representa la fase de laminado, la imagen 31b representa un esquema del proceso de fabricación en la caja de laminación, mientras que la figura 31c muestra los rodillos de trabajo y apoyo de la caja laminadora.

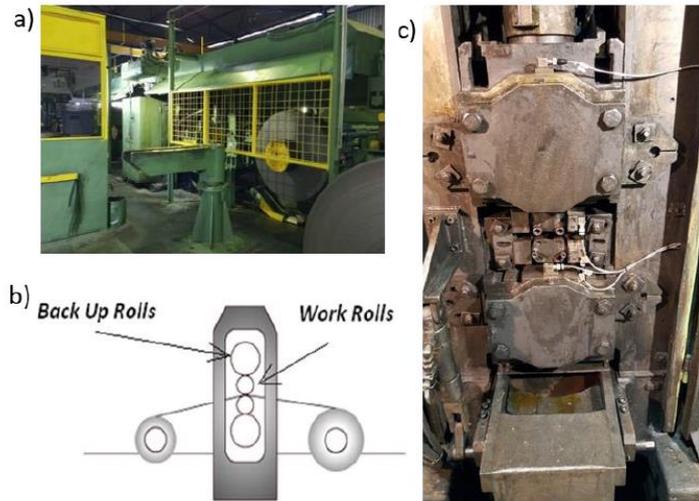


Ilustración 38 Representación del modelo de producción (Bousdekis et al. 2019b)

Durante el proceso de laminación, todos los rodillos están lubricados con aceite de refrigeración para reducir el calor y la fricción a la laminación, los sensores se instalarán según se indican en la imagen 32. Todos los datos se registran en la plataforma MVX para luego transmitir los datos a través de Modbus TCP/IP a un PLC Siemens S7 y estos son presentados desde el PLC al control distribuido, por lo tanto, también existe la opción de acoplar módulos externos que tienen acceso al PLC a través de la red.

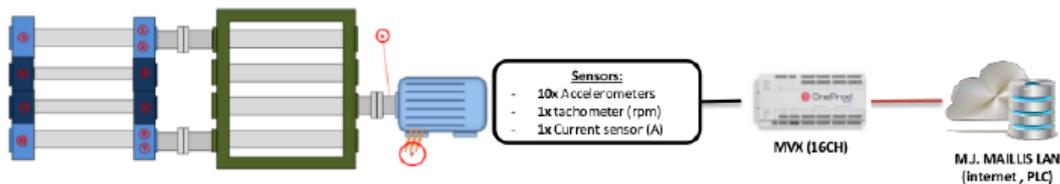


Ilustración 39 Infraestructura de recopilación de datos (Bousdekis et al. 2019b)

La frecuencia de muestreo se puede configurar, pero, generalmente depende de las variables de velocidad de producción, una vez registrada la toma, los datos son procesados a través del software de mantenimiento, donde 10 acelerómetros recopilan de vibraciones, mientras que un tacómetro mide la velocidad del motor y un sensor de corriente mide la tensión del motor. Los integradores de los acelerómetros miden registran cuatro variables relacionadas con la vibración (aceleración, velocidad, pico-pico y tendencia), el tacómetro en rpm y el sensor de intensidad en amperios.

A continuación, se describe un caso real aplicado al mantenimiento predictivo en el tren de laminación en frío de M. J. Maillis S.A.

Durante el proceso de fabricación, la plataforma de mantenimiento realiza un control en tiempo real de los parámetros configurados, como por ejemplo, vibración, temperatura...etc. además los datos que recopila son transmitidos por un canal de comunicación al PLC y al módulo de análisis de mantenimiento que incorpora la funcionalidad de Stream Data Analytics para la detección de anomalías y diagnóstico realizado con algoritmos como Long Short-Term Memory (LSTM), así como predicciones de posibles fallos, pronóstico, por ejemplo, vida útil restante o probabilidad de fallo. La predicción sobre la rotura del rodillo se basa en función de la de la toma de decisiones que recomienda acciones proactivas, por ejemplo, reducir la velocidad, aumentar el flujo de aceite o realizar una parada de mantenimiento junto con sus tiempos óptimos. Para

que el programa realiza dichas funciones hace falta la implementación de un método de decisión, como el Proceso de Decisión de Markov (MDP) que, tras la aprobación por parte del usuario de las acciones recomendadas son insertarlas en el plan de mantenimiento junto a las acciones preventivas planificadas(Ray Zhong et al. 2017).

Los modelos utilizados en las funcionalidades de Stream Data Analytics, junto a la toma de decisiones se actualizan sobre la base de datos de Batch Data Analytics tan pronto como se recopilan nuevos datos.

#### 5.5.4 Conclusiones

El tema clave de cualquier diseño y desarrollo de sistemas en el contexto de la Industria 4.0 es la implementación adecuada de un plan de mantenimiento y la definición de submodelos apropiados para las operaciones de fabricación, ya que mantenimiento predictivo es un habilitador importante para la Industria 4.0. Sin embargo, hasta ahora, no se ha considerado en el marco de la industria 4.0 para dar como resultado una plataforma de mantenimiento predictivo unificada.

En este artículo se diseña una arquitectura de software de mantenimiento predictivo según varias variables. Sobre esta base, desarrollamos la plataforma UPTIME y la aplicamos a un escenario de fabricación real de la industria del acero. Con respecto al trabajo futuro, nuestro objetivo es seguir desarrollando algoritmos avanzados para todos los pasos antes mencionados del mantenimiento predictivo. Además, evaluaremos los resultados en tres escenarios de fabricación de la industria del acero, la industria de los electrodomésticos y la industria de la aviación.

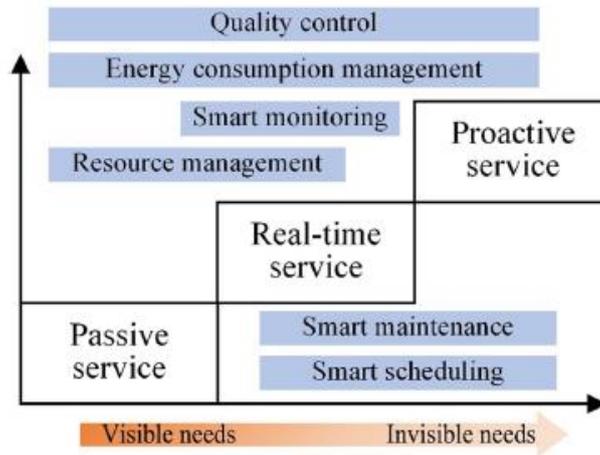
### 5.6 Referencia de uso: Moldeo de plástico

#### 5.6.1 Gestión de datos para mantenimiento predictivo

Debido al amplio uso de dispositivos digitales que hay en uso para convertir los activos de las fábricas en sistemas ciber-físicos, se generan gran cantidad de datos que se utilizan para dar asistencia al sistema en diferentes aspectos, esto es básicamente lo que convierte una línea de producción en inteligente SPL (por sus siglas en ingles). Dicho esto, se propone un método basado en el análisis y procesado de datos de forma sencilla para ayudar a la toma de decisiones durante la realización del mantenimiento. A continuación, se presentará un caso donde se toma un pronóstico de consumo de energía y se realiza diagnóstico de fallas basado en datos de consumo de energía de líneas de producción de compuestos de moldeo epoxi.

Se puede extraer información valiosa no solo de los sensores sino de todas las variables que intervienen en el ciclo productivo, para pronosticar los requisitos de mantenimiento y proporcionar servicios proactivos, por ejemplo, fallas de máquinas, suministros insuficientes y alto consumo de energía. Los datos obtenidos de la cadena de producción pueden respaldar eficazmente los servicios proactivos y mejorar así lo pronósticos que tradicionalmente se realizan utilizando datos históricos, los datos fusionados incluyen los datos históricos del hardware y software, así como los datos en tiempo real del estado y los cambios en las líneas de producción (Chen 2013).

Con base en el monitoreo en tiempo real de diferentes parámetros, se podrían lograr un servicio proactivo de forma sencilla que, incluida la gestión del consumo de energía, diferentes parámetros de mantenimiento y resultados del control de calidad como se muestra en la imagen 33. Por lo tanto, realizando un pronóstico de consumo con base a los promedios de periodos anteriores se puede detectar un consumo de energía anormal que es el reflejo del estado de funcionamiento de los elementos en un SPL.



Ilustración

Ilustración 40 Técnicas proactivas de mantenimiento (Bousdekis et al. 2019b)

Además, un programa de mantenimiento inteligente es actualmente la forma más eficiente de lograr un mantenimiento óptimo, en lugar de depender de otras técnicas más caras como el mantenimiento preventivo y el mantenimiento reactivo. El control de calidad se encarna en la detección y predicción de la calidad de los materiales, semiproductos y productos producidos en la planta. Del mismo modo, se podría implementar una programación inteligente debido a la simulación de procesos predictivos y en tiempo real (Zhang et al. 2021).

En procesos industriales complejos, existe un gran volumen de datos, así el uso y procesamiento eficientes de estos datos pueden construir un sistema de producción inteligente (SLP). A continuación, se propone un método basado en datos para realizar el SPL que se divide en cuatro pasos como se muestra en la Ilustración 41.

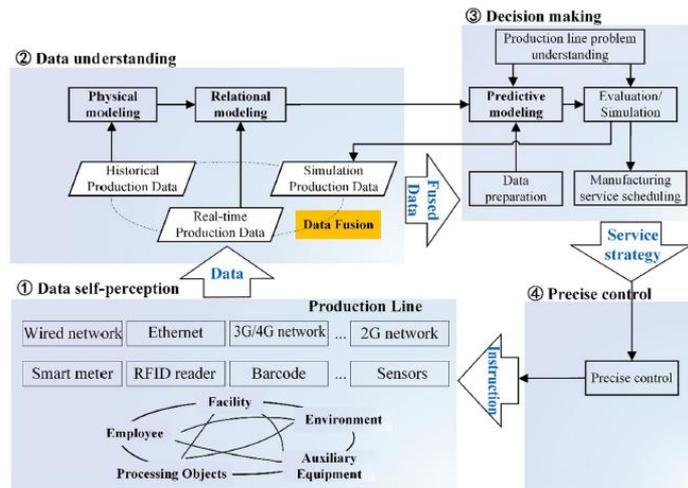


Ilustración 41 Flujo de datos (Bousdekis et al. 2019b)

La toma de datos se realiza sobre los datos que interactúan entre el espacio físico y el ciberespacio, como datos de procesos industriales con las características de volumen y velocidad de producción en base a las unidades interconectadas que incluyen micro/nano sensores, PLC y medidores inteligentes, así se pueden recopilar varios tipos de datos y así evitar la recopilación de datos inexacta, poco fiable que generalmente ocurre mediante el método tradicional introducción de datos de forma manual (Huseyin Bilgic, Conker, y Yavuz 2021).

El tratamiento de datos se realizará en base a los datos históricos de producción, experiencia registrada junto con los sensores que registran en tiempo real en el paso 1, de este modo se

construirían modelos que reflejen el estado de trabajo. Tres tipos de datos, incluidos los datos de simulación, los datos en tiempo real y los datos históricos, se integran y procesan mediante una serie de métodos de fusión de datos, como el preprocesamiento de datos, la identificación de modelos y el análisis de correlación.

Con el objetivo de eliminar futuros problemas, es necesario elaborar estrategias que ayuden o beneficien la fabricación para guiar los resultados de la compañía. De acuerdo con la necesidad de producción, se desarrollan modelos para analizar las relaciones internas entre ítems a través de la evolución dinámica y el análisis de correlación, así se podrían descifrar modelos predictivos con indicadores de rendimiento de SPL (por ejemplo, ciclo de producción, utilización del equipo, tasa de calificación del producto y consumo de energía), al comparar los datos medidos y los modelos predictivos, se puede establecer patrones de comportamiento para optimizar la estrategia de fabricación.

De acuerdo con la estrategia y requerimientos de producción, se dará instrucciones a un SPL para reorientar la producción, sin embargo, no se pueden evitar perturbaciones durante el proceso de trabajo como incertidumbre en la demanda, variabilidad del entorno de producción, retrasos, cambios de pedidos, fallas de equipos, conflictos de equipos o conflictos laborales. La Imagen 35 muestra el diagrama de flujo de control de un SPL basado en datos de acuerdo con los planes de producción, y tal como está configurado podemos decir que es un mecanismo de control de forma que a través de la combinación de diferentes parámetros de control, retroalimentación y pronóstico.

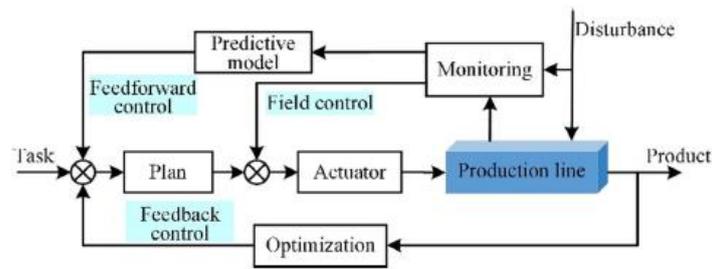


Ilustración 42 Diagrama de flujo de proceso (Bousdekis et al. 2019b)

### 5.6.2 Caso de uso

Como ejemplo de uso de datos y como estos pueden ser tratados para innumerables usos, en el siguiente caso se busca un patrón de fallo en función de la tensión de red de una línea de producción de moldeo de plásticos por extrusión equipada con un gran número de dispositivos digitales y sensores es capaz de crear enormes cantidades de datos (R. Zhong et al. 2017).

El desarrollo de las líneas de producción se divide en tres etapas:

- Línea de producción automática.
- Línea de producción digital.
- Línea de producción inteligente.

Las líneas de producción automáticas están equipadas con equipos de control y sistemas de transferencia de datos capaces de completar los procesos programados automáticamente sin intervención de ningún operario. Los datos recopilados de estas líneas suelen utilizarse para mejorar la productividad, disminuir el tiempo de cambio de matrices, y adecuar la producción a requerimientos de la producción. Los datos se generan a partir de los equipos automáticos que incluye el equipo de control numérico (CNC)

La red de sensores y los dispositivos digitales que se están utilizando en la fabricación, nos advierten, por ejemplo, información de la instalación, estado de producción, y temperatura en

tiempo real de líneas de producción. En un segundo bloque de datos que denominados datos dinámicos porque provienen de dispositivos inteligentes, por ejemplo, robots industriales, máquinas inteligentes o máquinas automatizadas con dispositivos de comunicación y sensores que se comunican utilizando protocolos ZigBee y Wi-Fi. El resultado de la iteración entre múltiples tipos de datos de una línea de producción inteligente sirve de gran apoyo para la toma de decisiones. El caso se centra en el área de extrusión y soldadura de material epoxi de la línea de producción de compuestos (EMC), el proceso se muestra en la imagen 36 compuestas por máquinas de extrusión, máquina de unión de alambre y máquina de corte...etc.

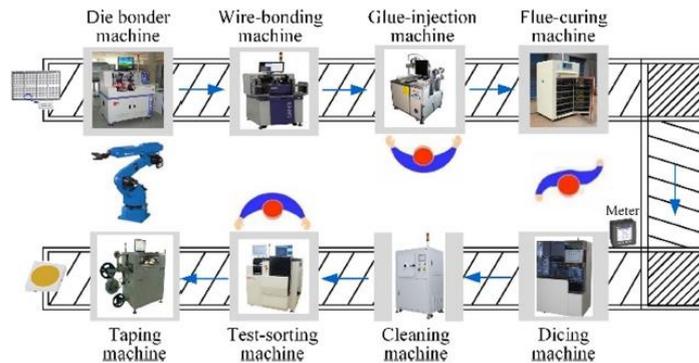


Ilustración 43 Disposición de maquinas (Bousdekis et al. 2019b)

En un principio los datos son utilizados se utilizan para optimizar el proceso para reducir el consumo eléctrico del entorno de fabricación y para lograr una producción más sostenible, reduciendo el consumo de energía utilizada en el proceso. Pero en este estudio, el análisis de datos se centra en buscar un patrón de fallos entre la fluctuación de la energía y consumo que generalmente son causados por problema de la red y en otras ocasiones por cambio de producto a laminar (material) o fallos anómalos que generan un comportamiento anormal.

En primer lugar, se configura un sistema de adquisición de datos, contadores inteligentes como Schneider PM5350 que pueden recopilar el consumo de energía que reflejan el estado de funcionamiento de una máquina cortadora. Una vez que la adquisición de datos está configurada, se recopilarán mediante diferentes protocolos que incluyen Modbus TCP / IP, OPC y Modbus. Al conjunto de datos obtenidos se realiza preprocesamiento para eliminar errores de ruido o duplicidad de señales, para finalmente obtener los datos finales mediante la normalización, descomposición de datos y reordenamiento con interpolación, regresión y análisis de agrupamiento.

Con los datos de funcionamiento, sensores y de consumo se pueden crear patrones de comportamiento basado en el histórico dato, que tras su análisis se observa que las perturbaciones energéticas son la principal razón de fallas en los equipos y posible mal funcionamiento, caídas de voltaje, aumentos de voltaje, interrupciones, armónicos, picos de tensión y fluctuaciones de tensión contribuyó con el 80% de las causas.

Cada tipo de perturbación genera múltiples muestras en diferentes fases y ruidos en un dominio de frecuencia y las características digitales en un dominio de tiempo. Tomando como ejemplo los datos de energía diarios, los servicios entregar la información requerida sobre el consumo de energía estadísticas y pronósticos. Como el estado de trabajo de la máquina de cortar en cubitos se ve fácilmente afectada por muchas perturbaciones, la tendencia de los datos de consumo de energía es lineal y características no lineales, en la imagen 37 se representan en azul los valores observados y en naranja la predicción

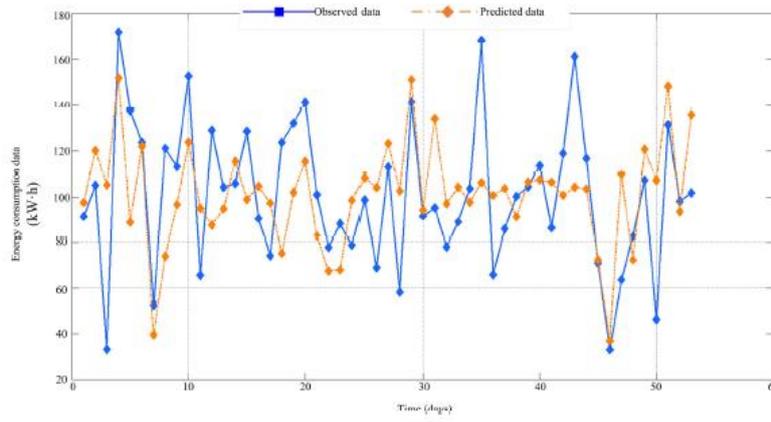


Ilustración 44 Datos de proceso (Bousdekis et al. 2019b)

Una vez obtenidos los datos, simulamos nuestra arquitectura real usando un software en línea para obtener la estimación de energía según el tiempo acumulado de uso junto a la red del de sensores que se encuentra en diferentes puntos de las máquinas. El control de ejecución del programa es directamente según el estado de los sensores, así el software proporcionara una estimación en tiempo real del consumo de energía actual. Durante la simulación utilizaremos las dos plataformas para evitar errores en el estudio, aunque la red de comunicación va a ser la misma un solo enrutador y 5 sensores de los cuales 3 sensores son de temperatura (controlarán la temperatura de forma continua y transmitir los datos al nodo central) un sensor para monitorear las vibraciones y un sensor para recopilar todos los datos de otros 4 nodos. La compilación del programa es se ejecuta correctamente para ambas plataformas mostrando los resultados del consumo de energía y el ciclo de trabajo en el que se encuentran.

El diagnóstico de fallas se realiza mediante la construcción de una simulación según el histórico de los datos u los fallos obtenidos además de combinar funciones como un filtro de potencia activa que es eficaz para controlar los armónicos de potencia debido a sus buenas prestaciones de compensación y de acuerdo con el historial dar un diagnóstico de fallas, así se alertará la advertencia de mal funcionamiento.

### 5.6.3 Conclusiones

Un sistema de producción controlado con sensores inteligente es fundamental para aumentar la fiabilidad de las empresas manufactureras y así realizar una producción eficiente inteligente, aunque manejar gran cantidad de datos en un principio parece algo muy complicado, con un mapeo de los parámetros básicos y un historial de respaldo es suficiente para comenzar una investigación y responder obtener conclusiones razonables de la causa raíz de un problema. Este estudio pretende dar un enfoque orientado a la fiabilidad con el uso de sensores comunes y con un buen historial de datos que en cierta medida es la base fundamental así podemos predecir fallas futuras.

## 5.7 Referencia de uso: Renault Portugal.

Se expondrá la evolución de la Industria 4.0 en la industria automotriz, explorando su contribución en el mantenimiento para mostrar los conceptos de mantenimiento predictivo (PdM), mantenimiento basado en condiciones (MPC) y sus aplicaciones para aumentar el conocimiento de por qué y cómo estas concepciones están cambiando la industria automotriz con el caso de estudio en la planta de Renault, que está desarrollando e efectuando los conceptos mencionados anteriormente.

### 5.7.1 Mantenimiento predictivo basado en condición (MPC).

Los avances en la automatización y la integración de la mecatrónica en las máquinas industriales han permitido obtener información en tiempo real del estado y funcionamiento, a través de sensores MPC es un programa de mantenimiento que recomienda decisiones de mantenimiento basadas en la información recopilada a través del monitoreo de condición. Consta de tres pasos principales: recolección de datos, proceso de datos y toma de decisiones de mantenimiento (Lee, Kao, y Yang 2014).

Como ya se ha visto, los sensores han promovido tipos de mantenimiento predictivo, monitoreando parámetros significativos de operación, esta monitorización se puede realizar según un calendario predefinido o según un determinado número de unidades de uso del equipo, usado de referencia para acciones futuras.

Los avances en la automatización e integración de la mecatrónica en las máquinas industriales permiten obtener información en tiempo real sobre su estado y funcionamiento, concretamente a través de sensores. MPC es un programa de mantenimiento que recomienda decisiones de mantenimiento basadas en la investigación recopilada a través del control de las condición. Consta de tres pasos principales: adquisición de datos, procesamiento de datos y toma de decisiones de mantenimiento (Llopis-Albert, Rubio, y Valero 2021).

En los últimos años, se han desarrollado varias técnicas para monitorizar y controlar los parámetros de equipos, como el análisis de vibraciones, temperaturas, presiones, ultrasonidos, corrientes y voltajes. El mantenimiento predictivo puede basarse en la monitorización continua de determinados parámetros de una máquina o de todo el proceso para que su estado actual se monitorice en tiempo real y se pueda predecir su estado operativo futuro.

Un programa de PdM tiene como objetivo monitorear y analizar la evolución del estado de degradación de una máquina, siendo posible identificar, de forma anticipada, la necesidad de intervenciones de mantenimiento ante posibles averías por lo tanto, las acciones de mantenimiento se ejecutan solo cuando es necesario para mantener el estado operativo del equipo este proceso cuenta con la ayuda de equipos predictivas basadas en datos históricos y factores de integridad del proceso de producción, esta práctica de mantenimiento optimiza un escenario de compensación, maximizando el ciclo de vida de los componentes de las máquinas y maximizando el tiempo de actividad (Figura 41a).

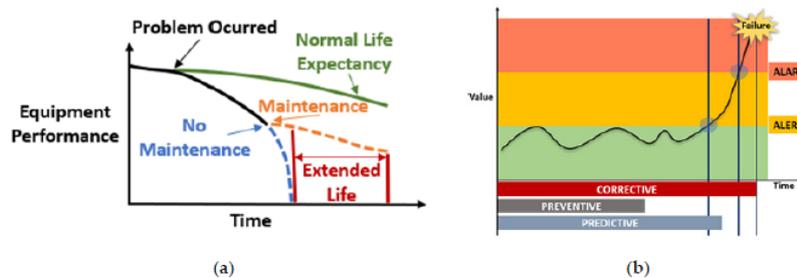


Ilustración 45 Factores de mantenimiento (Schwendemann, Amjad, y Sikora 2021)

También recalcamos el hecho de que no existe un acuerdo universal para las definiciones de MPC y PdM. En algunos asuntos, se utiliza MPC como una medida a corto plazo, mientras que un programa PdM se instaure a largo plazo teniendo en cuenta las condiciones futuras del activo, con el fin de aprovechar al máximo su ciclo de vida y los consumibles de las máquinas. (Figura 3b). Además una adecuada integración del mantenimiento predictivo puede conducir a una reducción significativa de los costos operativos, que en principio es uno de los principales objetivos de I4.0, incluyendo, por ejemplo: cronograma de acciones de mantenimiento, con el objetivo de reducir de paros inesperados, tiempo de inactividad de las máquinas, creación de un historial de datos y eventos para cada equipo, eliminación de la sustitución innecesaria de componentes etc.

Un problema importante en la organización de los técnicos de producción en la industria automotriz está relacionado con el tiempo de inactividad no planificado, asociado al envejecimiento del equipo. De este modo la adopción de MPC y PdM es fundamental en esta industria porque permite detectar defectos, predecir fallas, aumentando así el rendimiento (Yin, Steckle, y Li 2018).

### 5.7.2 Conceptos de BPM y BPMN y su función en el mantenimiento.

BPM (business process Management) se ha transformado en una reseña del mantenimiento durante los últimos años, porque adopta múltiples técnicas y herramientas de servicio e ingeniería para optimizar los procesos productivos, de este modo BPM puede ser atractivo para evaluar los procesos de las organizaciones para que exista una mejora continua y un acrecentamiento en la productividad y capacidad de una empresa (Kannengiesser y Müller 2018).

El intercambio entre organizaciones de los procesos comerciales también se ha transformado en una tarea difícil a que diferentes organizaciones no evolucionan a la vez y al uso de varios estándares en el modelado y ejecución de los procesos comerciales, por lo tanto, para intentar superar este problema, muchas organizaciones han optado por organizar sus procesos utilizando BPMN (business process model and notation) que es un lenguaje estándar de representación gráfica de los procesos.

Los procesos productivos en el sector del automóvil suelen ser complejos y difíciles de describir y por lo tanto, son más susceptibles a errores, de esta forma las empresas han intentado describir sus procesos a través de diagramas, que les permiten transmitir con mayor facilidad la información asociada a los procesos, así como descubrir errores en los procesos.

Al utilizar un modelo de proceso BPMN, es viable simbolizar las vías de la producción y los componentes, aprobarlo y garantizar su trayectoria, como resultado, esta práctica puede ser un activo y una práctica interesante para los procesos comerciales. Por otro lado, el BPM puede ser un enfoque valioso para modelar procesos en I4.0 y, en particular, en mantenimiento predictivo basado en condiciones, de este modo es fundamental estandarizar los procesos que permitan a las distintas partes describir y comunicar sus necesidades, problemas y relaciones, aunque requiere un esfuerzo de comunicación entre los interesados (Adsule, Kulkarni, y Tewari 2020).

En el caso de PdM, los problemas planteados generalmente están relacionados con la falta de información o exceso de información, conflicto de evidencia existente, ambigüedad de información y medición de ciertos parámetros. El BPMN puede ser un enfoque beneficioso en el dominio I4.0, ya que los procesos bien definidos ayudarán a limitar la incertidumbre en el proceso a la hora de la toma de decisiones, eliminar las actividades que no aportan valor y también administrar los recursos de manera más coherente.

### 5.7.3 El caso de estudio de la fábrica de Renault

A continuación, se relata la investigación y conclusiones de los proyectos de mantenimiento de una conocida fábrica de Renault en Portugal mediante el uso de varias técnicas de recolección de datos, que van desde entrevistas semiestructuradas con los oficiales de mantenimiento hasta observación de proceso y análisis de documentos, buscamos comprender cómo se llevaron a cabo los últimos proyectos de mantenimiento.

Para corroborar los datos recopilados de las entrevistas y visitas a diferentes talleres se realizaron fotos videos y se recopiló datos de proceso que ayudan al mantenimiento, además de las conversaciones informales que ocurrieron a lo largo de la investigación. Esta fuente de recolección de datos permitió aclarar cuestiones que se plantearon durante la fase de entrevista. Por último, los instrumentos oficiales (por ejemplo, informes FMEA) vinculados con el proyecto permitieron una mejor asimilación del proceso general y las tecnologías agrupadas. Las fuentes secundarias permitieron aumentar la confianza de la investigación, ya que contribuyeron a reconocer los datos logrados durante las diferentes fases.

El proceso repasado incluye una parte del propósito de fabricación de la caja de cambios JT4, en concreto la fabricación de uno de sus componentes, el cárter del mecanismo JT4 (MC). Esta estructura es un contenedor metálico de una sola pieza que protege y encaja en otros componentes, como se puede observar en la Figura 4.



*Ilustración 46 Carter Caja de cambios (Schwendemann, Amjad, y Sikora 2021)*

El paso inicial de la investigación fue alcanzar el proceso de fabricación del mecanismo del cárter, cuya línea se designa módulo 1 (M1). Renault compra las piezas sin troquelar a un proveedor exterior, anticipadamente la empresa administradora del transporte deposita las piezas en el área de acopio de la línea de producción, para ellos manipulan vehículos de guiado automático (AGV). El especialista responsable de la puesta en marcha la línea de producción M1 debe de solicitar las piezas para proporcionar la línea a través del Método de Gestión de Encargos de Renault (RSGP) y aprobar la llegada de los vagones registrados por la rotulo designada GALIA.

Luego, las piezas se expiden a la zona de fabricación, donde se realiza el mecanizado de la pieza, seguido las piezas terminadas pasan por zona de lavado para eliminar impurezas y residuos de las operaciones de mecanizado. Hay dos puestos de control al final de la línea para verificar la calidad, control dimensional y rugosidad. Si cumple, el operador cierra los contenedores de producto completado, que luego son transportados nuevamente vía AGV al almacén de producto terminado correspondiente. De lo contrario, el MC se envía a la zona de cribado de productos no conformes, donde son analizadas las causas (Ghobakhloo 2018).

En la fábrica existen 10 centros de mecanizado para la fabricación del cárter, de los cuales seis son equipos GROB y los seis restantes son equipos DMG 63H (Figura 5), los dos modelos realizan el mismo mecanizado del MC, estas máquinas tienen una capacidad instalada de 500.000 piezas/año, sin embargo, con la llegada del proyecto de caja de cambios JT4, se espera que la

producción crezca hasta 650.000 piezas por año, por lo tanto, el aumento de producción en un paso crítico para Renault, ya que es la única empresa del Grupo Renault que produce este modelo de caja de cambios.

#### 5.7.3.1 *Reto 1: Mejorar la gestión de mantenimiento para incrementar la productividad y reducir sin aumentar costes.*

Renault es consciente desde hace mucho tiempo que lograr altos niveles de productividad es fundamental y por lo tanto, no se pueden permitir fallos de calidad del producto y retrasos en la entrega. En este contexto, el mantenimiento de los equipos juega un papel cada vez más importante porque si las máquinas están optimizadas y funcionando sin incidencias Renault está más cerca de cumplir sus objetivos de fabricación y por tanto su compromiso con clientes.

Sin embargo, esta es una tarea difícil de lograr, en particular, cuando se utilizan los conceptos de mantenimiento correctivo y preventivo. Dado el excesivo número de inspecciones periódicas, paradas de no planeadas y tiempos de inactividad de los equipos, que comprometen el rendimiento, Renault decidió, con la ayuda de I4.0, introducir los conceptos de PdM y MPC en sus instalaciones (Kannengiesser y Müller 2018).

Así, Renault pasó a una fase de experiencia, utilizando, entre otras, la línea MC JT4, es decir, las máquinas ya mencionadas precedentemente, como zona de pruebas, dado que esta investigación fue precursora en el grupo junto con nuevas prácticas de mantenimiento que fueron utilizados en Renault, además se identificó la necesidad de crear un modo operativo estándar, haciendo referencia a las actividades de mantenimiento para cada proceso.

En este sentido, buscamos desarrollar una comparación más intuitiva entre el mantenimiento preventivo por condición o predictivo, con el objetivo de promover una mejor comunicación del proceso de mantenimiento, por lo tanto, el desafío propuesto fue introducir la notación BPMN que especialmente ayudó a comparar visualmente las discrepancias entre el proceso de mantenimiento preventivo y MPC. Los cambios fueron evidentes en la medida en que se pudo constatar que los equipos de mantenimiento utilizaron prácticas de verificación continua de los equipos de producción, es decir, a través de inspecciones sistemáticas, que prolongaron el horario laboral, aun así a mayoría de estas acciones fueron innecesarias e implicaron altos costos operativos, por otro lado el mantenimiento predictivo y basado en condiciones automatizó el proceso mediante un sistema de monitoreo y un sistema de control denominado "Smart Observer".

Para ilustrar las ventajas de MPC, se presentan dos casos de uso, el primer caso, el módulo 1 de producción 1 requirió de una inversión inicial en sensores y una red de comunicación, para incorporación de tecnologías predictivas, esto permitió una detectar una falla repentina antes de que sucediera y por tanto, evitó una parada inesperada de las máquinas durante más de 1 día, lo que supuso un retorno de más de la mitad de la inversión inicial, así, fue posible reconocer que el uso de prácticas MPC en la industria automotriz, además de reducir los tiempos de entrega, mejoran los estándares de calidad y fiabilidad para aumentar la competitividad. El segundo caso es muy similar al primero; sin embargo, el porcentaje de ahorro es mucho mayor, que fue alrededor del 200% de la inversión inicial.

#### 5.7.3.2 *Técnicas de mantenimiento basadas en condiciones en Renault*

En el concepto MPC, se pueden controlar varios parámetros mediante la monitorización, es decir, MPC implica tomar decisiones sobre el mantenimiento o la reparación en función de las condiciones reales de deterioro de los componentes. Las técnicas predictivas más avanzadas e impactantes en el sector industrial hasta la fecha son el análisis de vibraciones, ultrasonido, termografía, corrientes, presión e inspección visual (Schwendemann, Amjad, y Sikora 2021).

En el caso que nos ocupa, concretamente en M1, se comenzó implementando técnicas de medición de presión y temperatura, la técnica de presión se implementó en el sistema hidráulico

de las 12 máquinas de fabricación para detectar anomalías en la bomba de aceite o circuito hidráulico. En cuanto al análisis de temperatura, se implementó en tres áreas diferenciadas: refrigeración, donde las fallas pueden ser causadas por fugas, mala ventilación y bajas temperaturas, también en el circuito hidráulica, donde las anomalías pueden estar asociadas a la deferencia viscosidad del aceite o en cuadros eléctricos.

La implementación de estas técnicas en Renault Cacia refuerza las teorías aplicadas a MPC es práctico de realizar, especialmente en la industria automotriz. Sin embargo, requiere cada vez más un mayor uso de diversas disciplinas en el campo del mantenimiento.

### 5.7.3.3 *Mantenimiento basado en condiciones y prácticas de mantenimiento predictivo en Renault Cacia*

Un programa de mantenimiento predictivo (PdM) esencial en una empresa, además tiene como objetivo complementar el propósito de CBM ayudando en la toma de decisiones con respecto a las acciones de reparación de equipos.

El sistema de monitorización está compuesto por sensores, que recopilan en continuo datos de cada aparato, estos datos se remiten a un servidor central donde el software Smart Observer analiza y muestra los consecuencias a través de paneles, que permiten una representación gráfica de los parámetros de los sensores, de esta forma, se espera eliminar las inspecciones periódicas, característica principal del mantenimiento preventivo y se utilizan esos recursos para otros labores de mantenimiento ampliando el ciclo de vida de los componentes.

Con este sistema, también es posible detectar fallas tempranamente mediante la identificación temprana de anomalías, lo que resulta en beneficioso para la producción, con lo visto hasta ahora podríamos decir que esta experiencia de automatización y digitalización de actividades de mantenimiento, da como consecuencia una mayor rapidez y eficiencia activa con respecto a las acciones de mantenimiento, ya que ahora el mantenimiento se realiza solo cuando un componente en particular alcanza un estado que conducirá a su falla.

No obstante, para definir correctamente límites de los valores medidos de las máquinas en funcionamiento (Alarmas), fue el principal desafío de Renault en el proceso de automatizar el mantenimiento, ya que cada máquina es única y debe operar dentro de un rango específico de valores, lo que significa que sus límites funcionales también serán únicos. De hecho, esto ocurre en la mayoría de las empresas de la industria automotriz, tienen máquinas con diferentes detalles, lo que aumenta el grado de complejidad del análisis.

El equipo Renault definió límites de alerta y alarma, es decir, cuando se excede de un valor prefijado, el sistema dará notificación de alerta, si esta anomalía no se resuelve y continúa desarrollando, desencadena una alarma considerada como grave. Por norma general tan pronto como se produce la primera notificación, los empleados de mantenimiento deben emprender a identificar qué problema ha surgido, subsanándolo si se puede sin reemplazar un componente de la máquina, si no hay que programar una parada de producción.

### 5.7.4 Caso 1: Resolución de problemas en el Módulo 1

Siendo consciente de que la maquinaria industrial y en este caso la de Renault está sujeta a un alto desgaste, las máquinas deberán someterse a varias operaciones de mantenimiento. Un ejemplo de este caso de estudio está relacionado con la ocurrencia de una anomalía en el cuadro eléctrico durante el mes de noviembre de 2019. El grupo de mantenimiento primero recibió una notificación de alerta en las seis máquinas DMG de M1, donde pudieron ver que tenían valores altos de temperatura. Después de una exhaustiva inspección se encontró que la ventilación era inadecuada, dando valores de temperatura más altos de los límites permitidos (Figura 6), este problema se confirmó en las máquinas restantes, lo que provocó la sustitución de los ventiladores externos en las seis máquinas DMG.

Los gráficos anteriores (Figura 6a, b) muestran el estado de las máquinas antes y después de la operación de mantenimiento, en la Figura 6a se puede observar que algunas de las líneas, que representan la temperatura, están por encima de los 40 C. A partir de este momento, el equipo de mantenimiento percato de que algo estaba mal en las máquinas de M1. En la Figura 6b, es evidente que las medidas implementadas permitieron hacer correcciones a tiempo, es decir, reemplazo de ventiladores, antes de causar daños significativos a las máquinas industriales Renault.

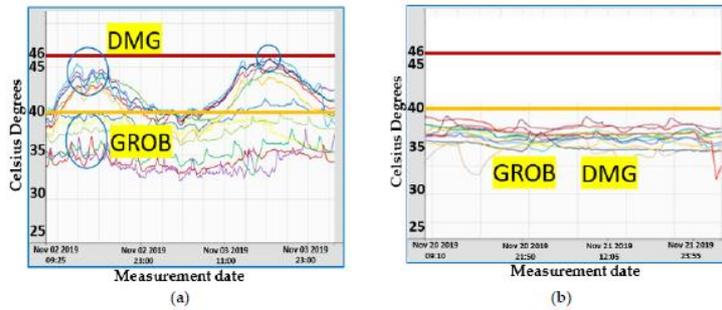


Ilustración 47 Control temperatura máquinas (Schwendemann, Amjad, y Sikora 2021)

### 5.7.5 Caso 2: línea de producción de cajas diferenciales

El segundo caso que presentamos es referente a una anomalía detectada en la línea de mecanizado de la caja diferencial (Figura 7), que también es uno de los componentes de la caja de cambios JT4 (Figura 7a). La línea de producción donde se fabrica la caja de cambios JT4 cuenta con un total de seis máquinas. Renault decidió instalar sensores de vibración y temperatura en el 4º maquina, que tenía un largo historial de averías. Tras la instalación de los sensores, se detectó una anomalía en una de las máquinas (Figura 7b), que provocada por vibraciones no deseadas y como consecuencia el acabado superficial no era el adecuado en las cajas producidas.

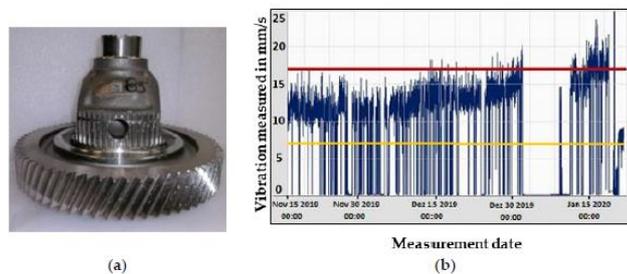


Ilustración 48 Piñón caja diferencial (Schwendemann, Amjad, y Sikora 2021)

El equipo de mantenimiento recibió el aviso del departamento de calidad por lo que se puso a revisar historiales y se pudo observar que el equipo estaba operando a valores por encima del límite de alerta establecido de 7,5 mm/s.

Basándose en casos similares, resueltos en Renault, el equipo estimó que la probabilidad de fallo por rotura del eje de las máquinas era poco probable, a pesar de registrarse valores de vibración por encima del límite de alarma de 17,5 mm/s. Según la estimación del equipo, la máquina podría funcionar durante unos seis meses hasta el final de su ciclo de vida sin comprometer la calidad de funcionamiento del equipo. La ventaja de la identificación prematura de la anomalía permitió a Renault tener la oportunidad de pedir el material de recambio y programar el mejor día para realizar la parada de mantenimiento en el equipo. En este caso el resultado es doble, si bien no hubo pérdida de productividad y se maximizó el uso del mecanismo, Renault redujo sus costos operativos. Esta acción de mantenimiento permitió un retorno de cerca del 200% de la inversión inicial.

Tras estos prometedores resultados, Renault proyecta una expansión considerable en el uso de prácticas MPC en sus equipos, teniendo en cuenta el éxito evidenciado hasta la fecha. Adicionalmente, Renault solicitó la selección de equipos críticos con ratios de baja fiabilidad y altos costes operativos, para continuar con la expansión de la monitorización.

#### 5.7.6 Conclusiones

En la sección de conclusiones cabe destacar las contribuciones que en la práctica y en general, se pudo constatar que los gastos incurridos en el sistema de monitoreo como el expuesto en este apartado M1 fueron rentables en un período de tiempo muy corto. Si los errores no hubiesen detectado a tiempo, lo más probable es que provoquen la falla total del sistema, lo que provocaría un tiempo de inactividad más prolongado y, en consecuencia, una pérdida de producción, situaciones que ya se han ocurrido donde se han incurrido en cuantiosas pérdidas por la inactividad de las maquinas a causa de averías repentinas.

### 5.8 Referencia de uso: Confeccionado de hilo.

#### 5.8.1 Herramienta de mantenimiento de predicciones basado en Datos

Un sistema de pronóstico y gestión del mantenimiento es una estrategia de mantenimiento que utiliza la información para realizar un diagnóstico previo de los equipos, este sistema en comparación con la arquitectura tradicional posee ciertas ventajas e inconvenientes que se describirán a continuación, el programa propuesto basado en el marco sistemas de producción ciber físico CPPS (por sus siglas en inglés) se ha simplificado en tres capas: comunicación, cálculo y control (como se ve en la imagen 45). Sin embargo, las funciones correspondientes y sus capacidades de interacción e integración siguen siendo las mismas (Hermann, Pentek, y Otto 2015).

- La capa de comunicación es un componente de aceptación y envió, así como una unidad de almacenamiento para el intercambio de datos entre equipos y capas superiores.
- La capa de cálculo es una capa central que combina datos de todos los entornos para completar el mapeo digital de las maquinas, para ello es necesario realizar operaciones de datos para lograr modelos precisos para realizar mejores decisiones de mantenimiento predictivo.
- La capa de control es el núcleo de un sistema de mantenimiento predictivo, que comprende la unidad de monitoreo de condición, una unidad de evaluación del estado y una unidad de predicción de fallas. La función principal de esta capa es combinar los recursos de mantenimiento con la información de predicción de fallas generada en la capa de cálculo y hacer la estrategia de programación bajo la condición de restricciones múltiples, además, esta capa también facilita a los usuarios información de visualización.

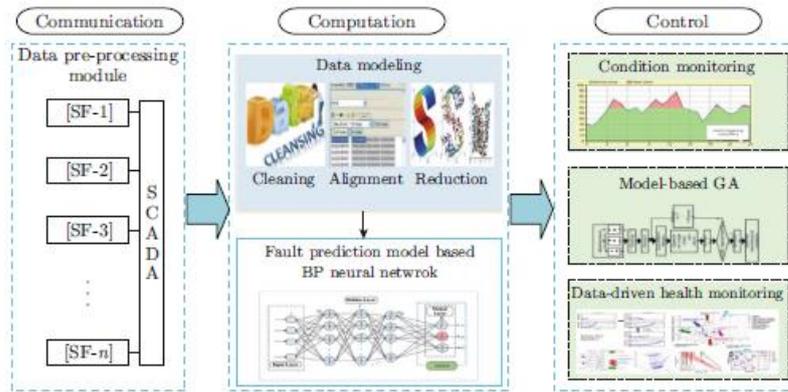


Ilustración 49 Distribución de las 3 capas (Diker et al. 2018)

5.8.2 Procesamiento de datos

El proceso de confección de hilo, lo podríamos describir como el trabajo de cambiar la fibra de un estado desorganizado a una disposición ordenada a lo largo de la dirección longitudinal, el proceso industrial es continuo y multiproceso con alta velocidad de funcionamiento. El proceso de fabricación está controlado por un dispositivo inteligente de llamado CPS donde se integra el trabajo realizado por las personas, máquinas, hasta los materiales utilizados, métodos y el proceso productivo involucrado en la producción de la planta de producción (Guillén et al. 2016).

El histórico de datos obtenido, se registra en la nube donde se procesan almacenan y analizan los datos del proceso productivo como se observa en la imagen 46, no obstante, hay que tener en cuenta que la petición de producción está en continuo crecimiento, lo que repercute en que en un futuro no muy lejano aumentará el número de equipos de producción y como resultado el número de sensores inteligentes, detectores, sistemas integrados, etc....

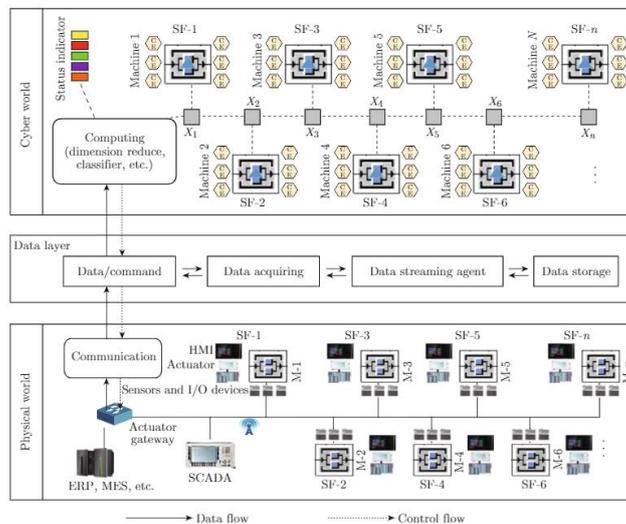


Ilustración 50 Red de datos (Diker et al. 2018)

Es una técnica que involucra múltiples conjuntos de equipos y consta de varias operaciones como, estiramiento, planchado o incluso bobinado de telas, por lo tanto, existen diferentes formas o técnicas para realizar los procesos de confección, por giro de anillos, muela de hilar, por volante giratorio y el hilado de fibras. Entre estas, la tecnología de hilado más utilizada es por medio de la máquina de hilar por anillos, durante el proceso de fabricación de fibras textiles son varios los factores que afectan a la calidad de la producción, en este caso a la eficiencia de

la máquina del proceso productivo referentes a la velocidad de hilado, la fase de tensionado, el diámetro de la fibra, el grosor del hilo y la carga.

El primer paso en el desarrollo de un sistema de monitoreo del estado es identificar los componentes críticos, así como su impacto en el rendimiento del sistema y conocer la consecuencia del costo del tiempo de inactividad. Una estrategia de mantenimiento no eficiente puede reducir la capacidad de elaboración total de una planta entre un 12% y un 25%. La aplicación de análisis predictivo utilizando técnicas de aprendizaje automático, tanto cuantitativa como cualitativamente, puede hacerse un esfuerzo para identificar los modos de falla y mitigar el tiempo de inactividad (Monostori 2014).

El procesamiento y control de datos se utiliza para adaptar la producción a los requisitos del sistema y demanda, este sentido la interacción entre las máquinas (espacio físico) en la imagen 47 se indican los punto para realizar la recopilación de datos que se logra a través del IoT industrial y herramientas de comunicación, todo ello en base al diseño, proceso, fabricación, eficiencia de producción y la calidad del producto realizado, además de realiza un seguimiento para a su vez reducir costes de producción y en otros aspectos como mantener un stock no mayor de 15% (Diker et al. 2018).

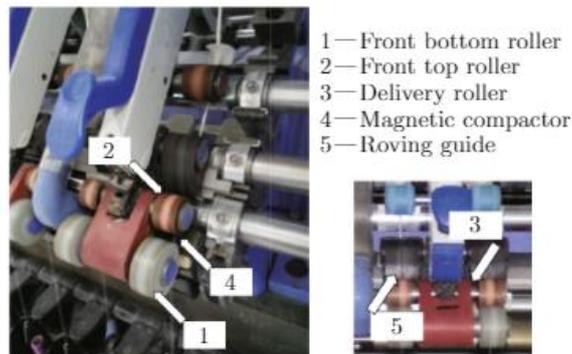


Ilustración 51 Máquina de hilado (Diker et al. 2018)

En la industria textil de hilado por anillos compactos es un trabajo muy laborioso y los requisitos de procesamiento de tareas son extremos, es decir la tarea debe realizarse con rapidez, sin interrupciones o de lo contrario, el proceso se detendrá lo que traerá enormes pérdidas(Diez-Olivan et al. 2018).

El sistema de control distribuido de la fábrica de hilos utilizó varios sistemas de monitorización todos ellos conectados a una plataforma común, el número de máquinas vigiladas asciende a 22 por lo general son todas iguales modelo JWF1562, cada una de ellas consta de 1008 husillos giratorios, lo que dificulta el análisis por la gran cantidad de datos, además los parámetros a controlar no son solo los componentes críticos, sino que también proporciona estado de las operaciones, la Imagen 48 contiene las variables de proceso a controlar, nominales y cuantitativas, que incluye: velocidad del husillo (VS), número de fibras (CR), nivel de torsión (TL), número de recorrido del anillo (NT) y número de hilos.

Parameters	Specification
Spindle speed/(r · min <sup>-1</sup> )	5 100—16 500
VS/tex	182—714
CR/(turns · m <sup>-1</sup> )	450—1 000
TL	19—30
NT/tex	10—56
Machine frame number	1—22
Twist direction	S, Z
Spinning	Singled yarn, doubled yarn

Ilustración 52 Variables de proceso (Diker et al. 2018)

Una vez recolectados los datos estos, en la imagen 49 se muestra los diez ejes con peores datos de fiabilidad, mediante algoritmos de aprendizaje automático. La Imagen 47 muestra la vista completa de hilatura mecánica compacta, estos 10 ejes se estudian los acontecimientos anormales para implementar una estrategia de análisis mediante algoritmos de aprendizaje automático (GA), para posteriormente realizar una calificación de la demanda de repuestos y servicios de mantenimiento para mejorar la calidad de producción.

Top 10 worst spindles	Ingot No.	No. of broken yarns	Weak twist No.	Accumulated broken yarn time/min	Accumulated weak twist time/min	Accumulated abnormal ingots/h
1st	Right55	122	19	1 749.60	25.43	29.58
2nd	Left111	105	1	5 920.55	5.45	98.77
3rd	Right29	103	3	2 286.18	1.93	38.14
4th	Left380	95	0	1 273.72	0	21.23
5th	Left352	89	0	1 026.03	0	17.10
6th	Right345	83	0	1 459.92	0	24.33
7th	Right18	83	39	2 241.08	14.08	37.59
8th	Left170	74	0	851.83	0	14.20
9th	Right216	72	0	1 699.28	0	28.32
10th	Left155	67	0	805.02	0	13.42

Ilustración 53 Lista de los 10 peores ejes (Diker et al. 2018)

GA es un tipo de algoritmo de optimización, que se utiliza para encontrar el máximo y el mínimo de una función al introducir los valores de todos los sensores que intervienen durante el proceso, dichos datos son de gran ayuda porque además muestra la probabilidad de fallo en función de los valores obtenidos.

Este ejemplo demuestra cómo GA desarrolla hacia soluciones aptas comparando con modelos convencionales en los que solo intervienen datos de proceso o de mantenimiento

Como resultado la imagen 50 representan en azul el coste estimado en pérdidas de horas de producción al utilizar un programa de mantenimiento ordinario y en verde el coste de la al introducir un método de mantenimiento mediante algoritmos de aprendizaje automático donde intervienen más variables.

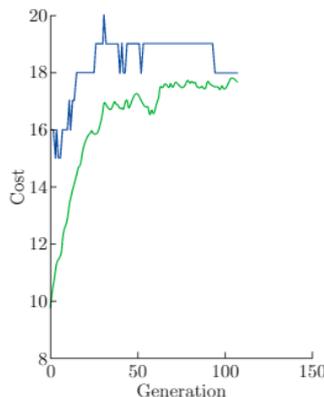


Ilustración 54 coste en mantenimiento antes y después (Diker et al. 2018)

### 5.8.3 Conclusión

Este caso se centra en los problemas del diagnóstico de fallas y problemas de categorización de los problemas productos, de este modo se ha propuesto un procesamiento de datos basado un sistema de aprendizaje automático, que funcionó como un sistema inteligente de mantenimiento y programación para la evaluación del estado de la planta. Además, se desarrolla un método genérico para diseñar una red de sensores inalámbricos basada en múltiples elementos informáticos para monitorear el entorno de fabricación accediendo variados datos, aunque el tratamiento de datos y proceso de ha realizado con un sistema GA, los resultados se basan en un historial lo que permite más ejecuciones totales con alta velocidad en menos tiempo (Bouktif et al. 2018).

Los resultados mostraron que lo más importante para el análisis fueron el historial de datos y no tanto la cantidad de sensores, pero esto último se puede aprovechar para pronosticar anomalías, perturbaciones y fallas al proporcionar monitoreo basado en condiciones, la red de sensores está diseñado para localizar las fallas de los componentes definidos en los husillos giratorios actuales mediante el uso de agentes inteligentes durante las operaciones a través de la red utilizando más factores como materiales temperatura humedad...etc.

Este sistema inteligente facilita a las empresas la necesidad de la analítica predictiva, además de prescriptiva, evitando averías en las etapas iniciales antes de tiempo y aumentar la eficiencia de producción al disminuir el costo de mantenimiento. Los trabajos de investigación futuros se centrarán en el pronóstico industrial desde una perspectiva de datos e investigarán los efectos mediante la aplicación de análisis predictivos utilizando técnicas de aprendizaje automático para identificar los modos de falla y mitigar el tiempo de inactividad.

### 5.9 Conclusiones

A lo largo de este presentación se han repasado diferentes tecnologías que la industrial 4.0 traerá en los próximos años y que se utilizarán de ayuda para desarrollar mejoras en las aplicaciones del mantenimiento, como tal las nuevas estrategias de mantenimiento de deben de adaptarse a las nuevas tecnologías, no solo para mejorar la fiabilidad en las fábricas si no para hacer frente a los nuevos retos económicos. Después de hacer una revisión a los casos de estudio se llega a la conclusión que para la instauración un programa mantenimiento para dar servicio a la I4.0 se puede realizar en 6 pasos.

No obstante, todos los casos de uso tienen tres características en común que se proponen de gran importancia para la actualización del mantenimiento en una fábrica altamente digitalizada e integrada que permitirá tomar decisiones basadas en información en tiempo real y así mejorar las actividades de planificación y control.

Control en tiempo real.

- El acceso a información en tiempo real permite la proyección a futuro y el control continuo de las operaciones de fabricación, una característica que tienen en común los casos de uso y por tanto requiere de modelos conceptuales de planificación y control, aunque el control en tiempo real se aplica hoy en día a nivel de máquina y línea de producción los niveles de organización, incluida la programación dentro de los sistemas no estaban definidos como estratégico y los datos en la mayoría de ejemplos no eran tratados desestimando así el potencial que tienen la monitorización en continuo.

Integración de sistemas informáticos.

- La integración en ambos sentidos es la cualidad principal de la I4.0, por lo que una integración apropiada desde los sistemas de producción, hasta los sistemas de

mantenimiento facilitará una gestión holística e integrada de la información, que puede mejorar de forma exponencial las predicciones de mantenimiento. La integración de los sistemas aplicados al mantenimiento y la digitalización de la producción en el contexto de la logística de mantenimiento supondrá que la dirección del flujo de materiales de repuesto a través de la fábrica se realice con el apoyo de los sistemas informáticos de apoyo al mantenimiento con el propósito de tener stock mínimo. Esta parte necesita que se implementen los sistemas requeridos, como la integración de sistemas de IT necesaria para beneficiarse íntegramente de los beneficios potenciales de la I4.0, lo cual requiere de un esfuerzo extra, pero como se ha visto en los casos de uso la recuperación de la inversión se recupera en un corto plazo de tiempo.

Gestión de datos en Cloud.

- La gestión y manejo de datos en la nube permite la transición a la fabricación basada en servicios, distinguida como fabricación en la nube, los recursos y capacidades de fabricación se pueden vincular a través de la operatividad en la nube así enfocar los servicios a la producción en función de los recursos de mantenimiento. El sistema puede analizar los requisitos y proponer unos regímenes de producción en función de la fiabilidad esperada, para el ciclo de vida de las máquinas. Esta conexión entre todos los recursos de fabricación y mantenimiento en una red específica brinda la capacidad de utilizar mejor todos los recursos para obtener el resultado deseado. Como se ha visto en los casos de uso existe la posibilidad de forma sencilla de vincular los datos en una plataforma.

Un punto para destacar es el nivel de actualización referente a la I4.0 para ello se va a mostrar la tabla 1 donde se identifica las tecnologías utilizadas, aunque hay que destacar que todos los ejemplos se basan en pruebas de concepto con intenciones de adaptar el resto de las instalaciones con los resultados obtenidos

	Horno de arco eléctrico	Trazabilidad con Blockchain	Laminación en frío	Renault Fabricación cajas de cambio	Confección de hilo
Inteligencia artificial	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Big Data	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio
Realidad Aumentada y artificial	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
Sensores	Medio	Bajo	Medio	Alto	Alto
Auto ID	Medio	Bajo	Medio	Medio	Medio
Tecnología de redes	Bajo	Alto	Medio	Medio	Medio
Monitorización en continuo	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Integración de sistemas IT	Medio	Medio	Medio	Medio	Medio
Computarización en la nube	Medio	Alto	Alto	Alto	Medio
Robots Industriales	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Impresoras 3D	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Bajo
Guiado autónomo de vehículos	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Medio

Tabla 1 Nivel de I4.0 (Fuente: Elaboración Propia)

No obstante, el concepto de identificación automática se considera un habilitador clave para la supervisión y el control en tiempo real, lo que, en consecuencia, puede ser difícil de implementar para algunos sectores industriales donde la variedad de productos es alta. Aunque la muestra analizada solo contiene cuatro empresas, los resultados indican que existe una relación entre la repetitividad de la producción, y la aplicabilidad percibida de la Industria 4.0 por parte de las empresas.

Aunque existen casos en que los centros de trabajo son diferentes a los expuestos y por tanto la recopilación de datos pueden ser difíciles de implementar, no obstante, existen alternativas para monitorizar los flujos de procesos en la mayoría de las industria y por lo general los beneficios de la implementación de tecnologías de Industria 4.0 relacionadas con el mantenimiento y la interconectividad para mejorar la producción está más que justificado, en comparación con los métodos tradicionales como se ha demostrado en los ejemplos de uso expuestos.

De las cuatro empresas incluidas el caso de Renault, se caracterizada por un diseño de producción en serie de productos con una estrategia mantenimiento y repuestos bien definida, aunque, por otro lado, posee una baja complejidad en la estructura del producto y de flujo de materiales, teniendo el nivel más alto de repetitividad de producción.

El ejemplo RAMI 4.0 aplicado a laminación en frío es también la empresa que más puede aprovechar el potencial para beneficiarse de la Industria 4.0 y parece que es más activa en su búsqueda. Ven beneficios potenciales muy altos de la implementación de tecnologías de mantenimiento 4.0 relacionadas con la identificación de fallos prematuros y la interconectividad con los procesos productivos para mejorar la fiabilidad de fabricación.

En comparación, con el horno de arco eléctrico que tienen un ambiente de trabajo extremos, las estrategias de mantenimiento y la adaptación de los procesos productivos en línea con la tecnología 4.0, son más lentos, pero aun así se afirman que los beneficios potenciales de la Industria 4.0 son medios/alto, pero precisa de un gran esfuerzo para estar en línea con los demás ejemplos expuestos.

Por último, la empresa de confección de hilo es la que tienen un nivel de repetición de productividad más alto, pero tiene cierta dificultad en adaptar las maquinas por la gran cantidad de componentes que utilizan en el proceso productivo, no obstante, la plataforma de mantenimiento y modelo matemático de fallos que utilizan está adaptada a las necesidades de producción con expectativas de extender la monitorización a más máquinas para alcanzar un nivel de producción de la Industria 4.0.

En este documento ha discutido y presentado ejemplos de uso de las aplicaciones de la Industria 4.0 no solo para mantenimiento si no para la fabricación en diferentes entornos de producción y como la tecnología blockchain puede ayudar en la industria. La muestra de casos investigados en empresas reales con datos reales indica que las empresas con bajo grado de repetitividad de producción, alta complejidad de flujo de material y alto grado de producción son las menos adecuadas para una transición a la Industria 4.0 en términos de mantenimiento y fabricación. Además, estas empresas parecen estar menos concienciadas con la Industria 4.0, como por ejemplo los dos casos en la industria del acero, por otro lado las empresas con un mayor grado de repetitividad de producción, menor complejidad de flujo de material y menor grado de producción parecen, en comparación, estar menos desafiadas por el entorno de producción como se puede observar en los ejemplos de Renault y Confección de hilo, además de estar investigando más activamente las posibilidades que pueden ofrecer las tecnologías de la Industria 4.0

Por otro lado, es curioso que se ha identificado una hoja de ruta general o un conjunto de pautas para avanzar hacia la Industria 4.0, además, los hallazgos en los diferentes casos sugieren que una hoja de ruta dependerá de las características del entorno de producción de cada empresa específica. Especialmente las características del entorno de producción que afectan la

repetitividad de la producción tendrán implicaciones en la aplicabilidad de la Industria 4.0 en el contexto del mantenimiento aplicado a la fabricación. Por lo tanto, se podría decir que existe un enfoque (único) cuando se trata de adaptar centros de trabajo a la Industria 4.0, aunque es necesario un enfoque específico llamado *búshines case* por parte de las organizaciones para aprovechar las oportunidades y los beneficios potenciales de la Industria 4.0.

La realización de un estudio sobre más de una empresa enfocado en el mantenimiento limita el nivel de detalle y análisis que las empresas poseen en la industria 4.0, no obstante, esta es una limitación del estudio que está orientado al mantenimiento y, por lo tanto, se han descuidado otros aspectos relacionados con la Industria 4.0 en general.

## 6 Propuesta de plan de implantación de una estrategia de Mantenimiento 4.0

### 6.1 Plan de implantación

La llamada cuarta revolución industrial es la transformación de los centros de producción industrial en fabricación inteligente gracias al progreso de las tecnologías digitales que marcan la tendencia de la Industria 4.0 son calificados como el impulso que transformará la industria y permitirá dicha transformación. Por lo tanto, el mantenimiento aplicado a la Industria 4.0 deben estar alineado e integrado de manera efectiva para crear valor y proporcionar información valiosa basada, de este modo la adaptación de modelos de mantenimiento adaptados a la fabricación inteligente precisa de una hoja de ruta para guiar a las organizaciones de fabricación en su adopción («Advanced Technologies for Industry» 2019.).

El objetivo es proponer una estrategia para la implementación de las técnicas de mantenimiento adaptado a la fabricación inteligente y establecer una hoja de ruta simple, que respalde la transición a fábricas inteligentes sostenibles.

A continuación, se presenta un programa de implementación basado en seis fases, en cada de ellas, se introducen tecnologías con estrategias claves para la industria y se compara con los casos de uso expuestos anteriormente como casos de aplicaciones industriales para ayudar a una adopción exitosa. La propuesta puede servir como una herramienta práctica en futuros actualizaciones de mantenimiento en la industria y seguir avanzando hacia una adaptación de los centros de trabajo a los nuevos requerimientos del mercado. En ella se establecen 6 fases las cuales 3 de ellas se dividen en subetapas en las que destacan ciertos puntos a considerar, detallado en la siguiente figura:



Ilustración 55 Pasos en la implantación del mantenimiento 4.0 Propia

El primer paso es analizar la estrategia que la planta precisa según su nivel tecnológico y que esta esté las políticas de la compañía, en segundo lugar, nos centraremos en desarrollar una infraestructura para la conectividad de todos los equipos de forma segura, en tercer camino a seguir es la fase de unificación de los métodos, así como, afinidad entre softwares y protocolos. Las fases siguientes son de análisis y métodos analíticos para utilizar los que mejor se adapten al modelo productivo y por la última fase es la de innovación para continuar implementado nuevas tecnologías que de ballan desarrollando y que ayuden a realizar un mantenimiento adecuado («Accenture-Pov-Manufacturing-Digital-Final.pdf» 2017.).

## 6.2 Fase 1, Business Case

Las empresas han empezado a adoptar mejoras que la I4.0 trae en conceptos de fabricación y fiabilidad ya que ofrece una mejora de la eficiencia, ahorro de costos y mayor capacidad de respuesta a las demandas del mercado. Para lograr el objetivo de las producciones inteligentes y por lo tanto dar ayuda a los requerimientos de los nuevos conceptos de fabricación, los modelos propuestos sugieren la creación de una estrategia para ayudar a las empresas a mejorar los ratios de eficiencia.

En primer lugar, debe existir una estrategia organizativa con una visión clara, estableciendo metas y objetivos que mejor se adapte al modelo de negocio de la organización, esto se logra priorizando los cambios en los áreas en las que se tendrá mayor provecho para recuperación de la inversión a medio plazo, por lo tanto la transformación digital debe ser una inversión estratégica, probablemente escrita en el documento de la empresa, para garantizar una inversión informada y obtener confianza en el ROI.

Hoy en día el desafío de la industria es que los objetivos empresariales no están en el nivel requerido para ofrecer una estrategia óptima para la adopción de tecnología más rápida debido a la falta de ejemplos disponibles o estudios de casos en los que dirigir las estrategias empresariales. («Industry 4.0: White Paper - Bosch Rexroth Ltd. | Bosch Rexroth Great Britain» 2019.)

Cada empresa puede tener un punto de partida diferente y unos objetivos de transformación digital personalizado. Es importante identificar un punto de partida específico, comprender dónde se el flujo de valor en la organización para reducir costes por fallos repentinos y evitar las tareas de mantenimiento no programadas.

- Identificar el flujo de valor de la empresa, en este sentido podríamos decir que son todas las maquinas o herramientas que interviene en la fabricación del producto desde que entra la materia prima hasta que sale el producto.
- Establecer herramientas de medición para controlar el flujo de las operaciones no solo en una variable si no en varias evitando que tenga relación una con la otra, tanto en producción como en mantenimiento.
- Realizar una planificación, con el objetivo de reducir costes en las operaciones de mantenimiento y mejorar la satisfacción al consumidor, que los clientes sean conocedores de las inversiones realizadas para aumentar la fiabilidad de los productos. Los proyectos de I4.0 son complicados ya que tocan muchas áreas interdisciplinarias, por lo que se debe evaluar el nivel de preparación técnica, madurez y habilidades de la empresa para identificar el apoyo que sea necesario.
- Construir experiencias y documentar todos los pasos realizados, realizar pruebas de concepto con tecnologías nuevas para la organización que posibilite la puesta en marcha del resto de los elementos
- Designar un responsable, con habilidades multidisciplinarias y comunicación cruzada entre diferentes departamentos que a menudo trabajan de forma independiente.

Las organizaciones que estén dentro del mismo sector industrial pueden compartir estrategias y objetivos similares, por ejemplo, los impulsos comunes de la industria son aumentar la productividad a medida que crece la peticiones, reducir el costo de fabricación aumentar para la competitividad ofreciendo una estrategia óptima para la adopción de tecnología más rápida debido a la falta de ejemplos disponibles o estudios de casos en los que dirigir las estrategias empresariales

Liderazgo

Business  
Case

Colaboración

### 6.3 Fase 2 Conectividad

La fase de conectividad es la etapa más importante porque es la base para que el resto de las etapas se desenrollen, en este punto se consideran clave tres tecnologías que por un lado protegen los intereses de la organización y por otro vincula todos los datos en un punto específico.(Connected Futures 20:22:48 UTC)

#### 6.3.1 Infraestructura de red

Para establecer una base estable para la realización del mantenimiento 4.0 se debe de buscar una solución que permita el avance y el aumento de las capacidades de infraestructura de red, ser el punto de partida. Por lo tanto, la infraestructura debería depender del volumen de datos, flujo comunicación y las cabidas de proceso necesario para un servidor dedicado.

Aunque lo ideal es tener una infraestructura de red para proyectos de la I4.0, como, un servidor local, una infraestructura en la nube o ambos. Por supuesto, hay ventajas y limitaciones en cada una de las opciones como coste, mantenimiento, flexibilidad y seguridad. Todo esto debe considerarse para adaptarse mejor las capacidades y a la carga de trabajo actual y futura.

#### 6.3.2 Conectividad industrial de Internet de las cosas (IIoT)

Los datos online que se manejan en el sector industrial son enormes con una propensión positiva, por lo tanto, para tratar estos datos, los activos materiales y las maniobras de producción deben estar conectados. Se podría definir un sistema IIoT como una colección de datos en tiempo real de elementos de control y monitorización que recopilan, almacenan y procesan datos con el fin de facilitar información, desencadenar eventos y acciones aconsejadas a tomar. Aunque ha habido gran interés por estandarizar las arquitecturas para la conectividad en la I4.0 en aplicaciones industriales todavía existen protocolos únicos que no facilitan la interoperabilidad, por dicha razón se encomienda utilizar arquitecturas de referencia como (IIC), (RAMI4.0), (ISO) que facilitan la utilización de aplicaciones industriales, también existes. En la figura 51 se muestra un sistema de capas que se comunican sin interferir por ejemplo con la lógica de automatización, aunque existen múltiples opciones y todo depende de la capacidad y las necesidades de la aplicación.

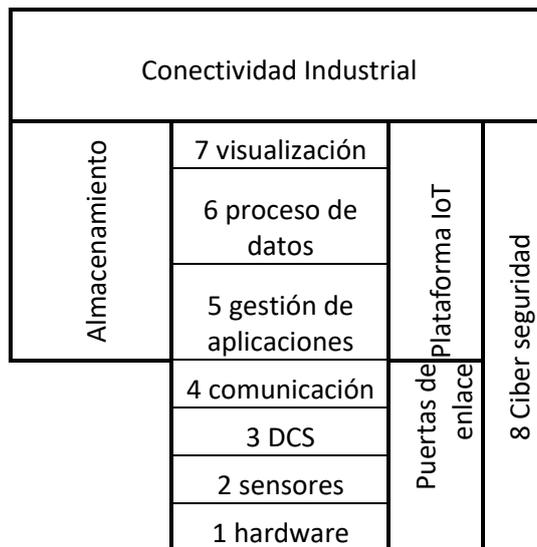


Ilustración 56 sistema de capas Propia

- La capa 1 representa el hardware central, donde están los datos sin procesar.
- La capa 2 es donde están los sensores que miden parámetros de interés.
- La capa 3 consta de hardware y software que controla la funcionalidad de los sensores para realizar un procesado de datos. Normalmente consta de PLC, DCS o SCADA.
- La capa 4 comunicación es donde se produce el transporte de datos y permite las comunicaciones entre componentes constan de múltiples estándares y protocolos como (ethernet, WiFi LoRa, MQTT, OPC...)
- La capa 5 consta de las aplicaciones para comunicar y gestionar el entorno.
- La capa 6 está asociada al procesamiento de datos y tratamiento para convertirlos en información relevante
- La capa 7 es la de visualización donde se representarán los datos tratados de forma representativa para facilitar la operatividad por parte de mantenimiento.
- La capa 8 es la referente a ciber seguridad y engloba todas las demás capas para hacerlas seguras y evitar una interferencia en el procesamiento de datos de persona ajeno a la organización.

Las capas 2, 3 y 4 pueden combinar en un dispositivo denominado Puerta de enlace combinando tanto hardware como software con dispositivos habilitados para Internet que permiten la comunicación y la transferencia de datos a una plataforma digital.

### 6.3.3 Ciber seguridad.

La ciber seguridad es uno de los desafíos para las industrias conectadas y la que genera gran cantidad de barreras para las aplicaciones I4.0. Por lo tanto para construir una táctica correcta de ciber seguridad lo primero que se debe hacer es identificar los riesgos ya que las medidas de seguridad se pueden definir en función de los perfiles de riesgo de los dispositivos conectados, una vez reconocidos los riesgos, se pueden implementar estrategias de seguridad, que van desde el diseño de una edificación de conectividad segura en cada capa a generar una subestructura única para ciertos módulos en anillo cerrado (Burton et al. 2021).

## 6.4 Fase 3 Integración

La fase 3 es la que corresponde a la integración de sistemas IT que a menudo operan de manera independiente, la integración de IT es la base principal de la arquitectura de una red de mantenimiento 4.0, para ello existen modelos de producción inteligente donde destaca ciertos requisitos de unificación como objetivo unir todas las capas de operación dentro de la plataforma de fabricación, manteniendo la cadena de valor internamente. La integración horizontal, tiene como objetivo conectar redes de sistemas ciber físicos y de proceso de las en las instalaciones y en la cadena de abastecimiento, por otro lado, la integración en ambas direcciones analiza en detalle como estimada esencial para la integración de datos y sistemas entre IT, con el fin de proporcionar agilidad en la búsqueda de patrones.

Aunque estos sistemas se han creado para resolver un conjunto concluyente de inconvenientes, por lo general funcionan de forma autónoma y tienen dificultades para obtener datos en todas las alturas operación que no pueden escalar ni sostenerse con la creciente complejidad de las necesidades de I4.0 («Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) - An Introduction» 2021.)

No obstante, existe varios problemas que nos podemos encontrar en la capa de integración, estos son:

- Interoperabilidad, realizar conexión de datos con sensores o maquinas que utilizan protocolos específicos de una casa de suministro.

- Seguridad de datos, problemas de privacidad con fuentes externas ya que ciertas maquinas o productos recopilan datos en plataformas externas de terceros
- Escalabilidad, infraestructura de TI fácilmente extrapolable a otros sistemas de IT ya sea en la nube o en volúmenes de datos físicos
- Adoptar aplicaciones de IT rentables, con suficiente capacidad para manejar la integración de datos, así como ofrecer una representación de análisis de datos análisis de datos.

Aunque el mercado de tecnología IT, ya está facilitando soluciones para superar las complicaciones de la unificación y solucionar los desafíos de la interoperabilidad utilizando sistemas abiertos a múltiples estándares y protocolos de comunicación en la imagen 51se muestra una lista de las principales plataformas IT para la industria 4.0.

Platform Name	Company	General Features
Watson IoT	IBM	IIoT-C, DA, AI
Nexceed (PPM)	BOSCH	IIoT-C, DA
Kinetic	Cisco	IIoT-C, DA
WISE-PasS	Advantech	IIoT-C, DA, AI, CB
Cumulocity IoT	Software AG	IIoT-C, DA, CB
AWS IoT	Amazon Web Services	IIoT-C, DA, AI, CB
Predix	GE Digital	IIoT-C, DA, AI, CB, DT
Azure IoT	Microsoft	IIoT-C, DA, AI, CB
SMas	Datahone	IIoT-C, DA, MOM, MES, CB
FactoryWiz	FactoryWiz	IIoT-C, DA, MOM, MES
machineMetrics	MachineMetrics	IIoT-C, DA, MOM, MES, AI, CB
ForcamForce	FORCAM	IIoT-C, DA, MOM
keyprod	Keyprod	IIoT-C, DA, MOM, MES
Smooth Monitor AX	Yamazaki Mazak	IIoT-C, DA
Panorama E2	CODRA	IIoT-C, DA
Lumada	Hitachi	IIoT-C, DA, AI, CB
KepServer	PTC	IIoT-C, Software Bridge
OPCrouter	Inray industrie software	IIoT-C, Software Bridge

(IIoT-C: IIoT Connectivity; DA: Data Analytics; AI: Artificial Intelligence; MOM: Manufacturing Operation Management application, MES: Manufacturing Execution System application; CB: Cloud Based only, AR: Augmented Reality application, DT: Digital Twin Application.

Ilustración 57 Plataforma IT (Manufacturer) 2021.)

### 6.5 Fase 4 Análisis

La fase 4 está asociada al análisis de datos, por lo tanto, Big Data es la herramienta principal de uso en esta fase por el gran volumen de datos a procesar, pero para ello los datos deben de ser clasificados como de manera estructurada, resumidos, procesados y especialmente analizados de una manera que los convierte en información procesable.

El análisis de datos crea valor al proporcionar un enfoque de diagnóstico predictivo para permitir la resolución de dificultades de origen y orientación para reducir las desvíos futuras que puedan causar un problema. Big Data se clasifica de tres maneras:

- Datos estructurados, que provienen de bases de datos y equipos
- Datos, series de tiempo en continuo cambio y basados en eventos
- Datos no estructurados, datos e información no relevante

Las dificultades que nos podemos encontrar al manejar gran cantidad de datos son la complejidad de la gestión de datos, el volumen, la velocidad de la red y el ancho de banda para procesar una cantidad tan grande de datos. Por ello para reducir la complejidad del control y limitaciones del ancho de banda, los datos deben extraerse, filtrarlos y marcar una hora específica de envío y procesamiento (Froiz-Míguez et al. 2020).

La visión tradicional de los procesos analíticos se divide en cuatro tipos: descriptiva, diagnóstica, predictiva y perspectiva.

La analítica descriptiva es un conjunto de métricas que describen el evento, que se denominan indicadores clave de rendimiento de las operaciones

El diagnóstico, el predictivo y la prescriptivo son análisis que descubren preguntas como por qué sucedieron las cosas, qué sucedería como resultado y qué medidas tomar en tales casos. Los análisis descriptivos, de análisis y predictivos se utilizan extensamente como herramientas analíticas en la industria impulsar mejoras operativas.

El control online es la base del mantenimiento 4.0 para seguir la condición de los activos en la fábrica como, por ejemplo, la máquina de fabricación y realizar estudios de los cambios del estado normal, el beneficio, etc. para detectar cambios significativos una vez que se producen. No obstante, los registros históricos de los eventos recopiladas a lo largo del tiempo de varias aparatos en la línea de fabricación permiten realizar estudio relativos y por tanto, controlar los modos de fallo, comparando con estado de trabajo en condiciones normales para identificar tendencias y conductas análogos con el proceso de fabricación.

## 6.6 Fase 5 Inteligencia artificial

Esta fase está asociada con el análisis de datos avanzado y los equipos que se utilizan para proporcionar nuevas respuestas a las cuestiones planteadas desde la etapa de análisis de datos para añadir valor real e imprevisto a la industria. Se fundamenta en el uso de Big Data, analítica predictiva fundada en aspectos analíticos de inteligencia artificial, por lo tanto, la Inteligencia artificial es la capacidad de un ordenador para especular y aprender por sí misma. Los microdatos, los algoritmos inteligentes y los sistemas informáticos acometen el proceso de IA para mejorar las pronósticos a través de la toma de decisiones.

Los factores clave que impulsan la implementación de un sistema de inteligencia artificial en el mantenimiento son:

- Mejorar datos económicos.
- Transformar operaciones.
- Realizar predicciones más exactas y fiables.
- Aumentar la fiabilidad en las plantas.

El mantenimiento predictivo de máquinas y equipos es uno de los servicios clave fundados, que tiene el poder de reducir los costes de reparación en un 12% («Accenture-Pov-Manufacturing-Digital-Final.pdf» 2017). Los algoritmos de aprendizaje basados en inteligencia artificial detectan tendencias en los datos para detectar alertas tempranas e indicaciones de posibles fallas y averías, esto permite programar el mantenimiento de forma conveniente en lugar de realizar un mantenimiento periódico de forma rutinaria, lo que permite un enfoque proactivo en lugar de un mantenimiento correctivo.

También pueden programar para que actúen de forma automática para solucionar problemas haciendo que las máquinas se ajusten a sí mismas para optimizar la calidad o la eficiencia energética durante las operaciones(Baire et al. 2019).

Los casos de IA en la I4.0 incluyen:

- Mejoras en la inspección de calidad mediante el procesamiento de imágenes y técnicas de reconocimiento para la optimización del proceso
- Monitoreo y control de la seguridad utilizando modelos de autoaprendizaje basados en inteligencia artificial
- Programación de la producción, combinada con herramientas de optimización matemática para planificar, programar y optimizar las paradas de mantenimiento

Una vez visto en que nos puede ayudar la IA, ahora el siguiente paso es elegir una aplicación analítica adecuada para satisfacer el caso de negocio, por ejemplo, mantenimiento predictivo de máquinas considerando la mejor forma de construir e implementar la aplicación, respondiendo a las siguientes preguntas

- Qué tipo de herramientas analíticas necesito para construir la aplicación (software, plataforma de mantenimiento)
- Tipo de Big Data que necesito según los tipos de datos (estructurados, no estructurados, series de tiempo)
- La ubicación del historial y la cantidad de datos a transmitir
- Los métodos de análisis que se utilizarán para identificación de fallos, como aprendizaje automático, aprendizaje profundo...
- Los requisitos técnicos hace falta en la organización para construir la aplicación.
- Coste de ejecución (desarrollo interno o subcontratación).
- Disponer de una plataforma de análisis, alerta, visualización y notificación para permitir que los técnicos tomen decisiones y emprendan acciones basadas en la información producida.
- Retroalimentación continua con un control de configuración permanente para optimizar la aplicación de IA, a las acciones preventivas y a las decisiones que se toman.

El principal desafío en esta etapa está asociado con los datos, la disponibilidad de datos, la calidad de los datos, la conectividad y la infraestructura de datos que se necesita adoptar.

## 6.7 Fase 6 Escalable

En esta fase se prevé una acción dispuesta y ágil para aumentar la escalabilidad y el alcance de la aplicación dentro de cada etapa para ir adaptándose a posibles cambios de tecnologías. La Figura muestra una descripción general de las diferentes elecciones que se plantean para escalar a sucesivas fases.

La escalabilidad puede deberá de ser en ambas direcciones para mostrar las diferentes oportunidades aprovechables para el mantenimiento con el objetivo de asistir el creciente potencial en la fabricación inteligente («Horizontal and Vertical Integration in Industry 4.0» 2019).

Esto se puede lograr agregando estrategias enfocadas en la mejora e iniciando proyectos afines con la optimización de procesadores y instrucciones dentro de la producción, por ejemplo La Calidad orientada hacia la tecnología 4.0 es un ejemplo de un tema estratégico asociado con la digitalización y la automatización de las actividades de gestión de la calidad para alinearse con la estrategia de Industria 4.0, o el control online de las condiciones ambientales ambiental es otro ejemplo de cómo escalar el uso de dispositivos conectados a IIoT en la planta para mejorar.

Otro ejemplo puede ser aumentar los terminales conectados como resultado de agregar dispositivos y aplicaciones conectados a IIoT en toda la fábrica y vinculándolos con la arquitectura de fábrica inteligente, para lograr más información sobre los procesos y operaciones que están alineados con la estrategia y objetivos de mantenimiento.

Además, la infraestructura de IT se puede escalar mejorando el control de datos interno o motivado por una migración completa para hacer frente a la creciente conjunto de datos y los exigencias informáticas para las aplicaciones de la Industria 4.0

La actualización de la infraestructura de red se puede lograr mejorando la comunicación de la planta, la capacidad de la red y el rendimiento mediante el uso de tecnologías de comunicación inalámbrica emergentes como 5G, Wi-Fi, LTE, ZigBee, LoRa y LoRaWAN para una implementación rápida.

La ciberseguridad también se mejorar con el uso blockchain para mejorar la trazabilidad de los procesos y la seguridad de los datos obtenidos. Blockchain es una colección de tecnologías de base de datos de mantenimiento de registros que almacena información en una cadena utilizando algoritmos de seguridad cibernética y digitales.

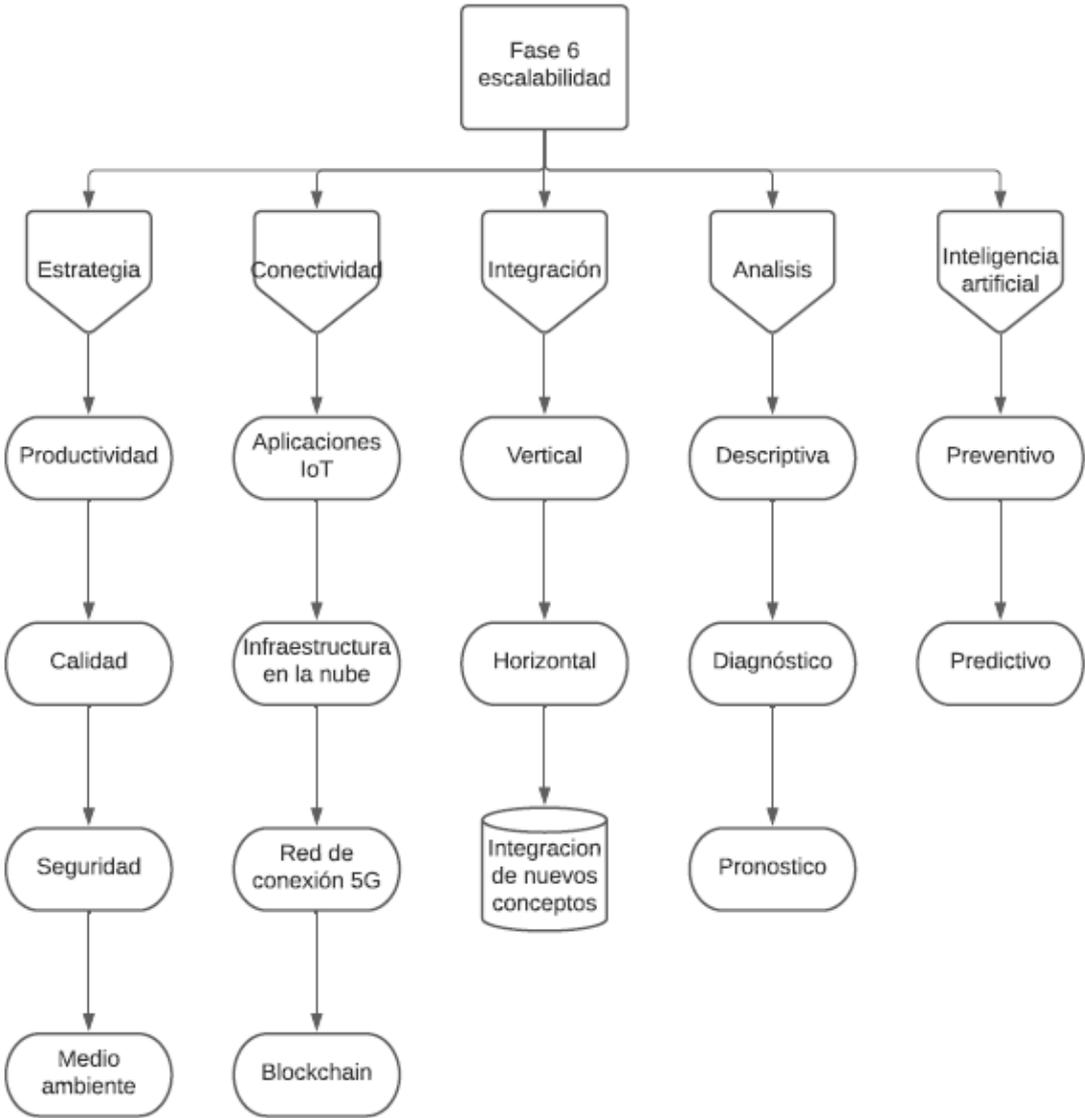


Ilustración 58 Fase 6 (Fuente: Elaboración propia)

## 7 Conclusiones y Líneas de futuro

La cuarta revolución industrial se presenta como una oportunidad para la transformación digital en la industria, porque ofrece acciones a desarrollar para generar mayor fortaleza, flexibilidad de producción y fiabilidad en la industria. Para ello, tenemos que saber que están haciendo los elementos o máquinas de las plantas industriales de la organización, por lo tanto, hay que conectar el mundo físico con el digital para facilitar una mejor visibilidad en la toma de decisiones.

Todos los elementos de una planta deberían estar conectados e integrados para adquirir información detallada sobre el proceso de fabricación, con lo dicho podríamos afirmar que la fabricación inteligente junto a un mantenimiento idóneo requiere de una hoja de ruta para guiar su adopción junto a un plan donde se especifique los objetivos con diferentes alternativas, los riesgos que suponen la implantación de un modelo de mantenimiento 4.0 y como se va a llevar a cabo el proyecto

En este documento se ha realizado una revisión de los procesos y objetivos conceptuales relacionados con las tendencias tecnológicas de la Industria con sugerencias para la adopción de un programa de mantenimiento en la Industria 4.0 trabajo que se divide en seis fases. No obstante para realizar dicho programa se han revisado 7 casos de estudio de implantación de programas de mantenimiento en la I4.0, de los cuales se ha obtenido buenos resultados, por ejemplo todos tienen en común que se necesita tener una plataforma donde se integren todos los datos de proceso para después realizar los análisis de datos con inteligencia artificial y un modo fácil de representar los datos, además de tener una plataforma de almacenamiento de datos históricos ya sea en un servidor propio o en la nube donde tengamos acceso a todos los eventos que han sucedido a lo largo del tiempo y por ultimo y la más importante es el control de las condiciones en tiempo real todos los procesos que deben estar monitorizado quedando registrados en la nube para que estos datos puedan ser tratados en los sistemas informáticos.

No obstante, en la propuesta va más lejos recomendando que se seleccionen modelos de conectividad que sean extrapolables a otras plataformas, para no depender de un fabricante y de los productos que se conecten a una plataforma con el objetivo de evitar estos problemas se proponen plataformas abiertas donde las funciones se pueden integrar sin ningún inconveniente.

El ejemplo de uso de un software de mantenimiento predictivo hay sido muy interesante porque detalla cómo debe de ser un sistema totalmente integrable identificando las capas y como se debe de estructurar, en comparación con el resto de los ejemplos RAMI4.0 ofrece una estructura detallada que es ideal para la I4.0.

Aunque Blockchain no está propuesto en las 6 etapas, el ejemplo de estudio fue muy interesante por las aplicaciones que tiene, por ejemplo, es sugestivo su uso para la aceptación de contratos inteligentes, sobre todo cuando estamos trabajando en entorno ágil project donde la rapidez y la eliminación de tiempo muerto es muy importante, además de dejar un registro de todas las transacciones he incluso del flujo de material es muy fácil y sencillo de auditar. Por otro lado, la trazabilidad de los elementos de las piezas es muy útil cuando estamos trabajando en entornos que precisan certificaciones como el aeronáutico o nuclear, no obstante, esta tecnología tiene sus limitaciones.

La guía propuesta proporciona una estrategia de para implantar un modelo de mantenimiento con características comunes de modelos y estrategias e iniciativas de similares.

El programa de trabajo se divide en seis, estas son:

- Business Case.
- Conectividad.
- Integración.
- Análisis.
- Inteligencia Artificial.
- Escalable.

Cada fase se describe en forma de bloques todo lo necesario para lograr la puesta en marcha de un plan de mantenimiento en la I4.0, dentro de cada fase las sub-rutas se presentan como categorías relevantes que aconsejan medidas a tomar para las implementaciones exitosas del programa, no obstante, se destacan las aplicaciones industriales y los casos de uso que muestran las oportunidades disponibles y el potencial que podría obtenerse del mantenimiento inteligente.

No obstante, se revisan otras tecnologías avanzadas que permitirían en un futuro la mejora del estado actual, así la propuesta sirve como una guía simple y como una estratégica de fabricación con su proceso de adopción de la Industria 4.0 y transformación digital. Este trabajo es beneficioso para eliminar el miedo a la utilización de tecnologías avanzadas dentro de la industria, especialmente para los centros de trabajo que se encuentran en un pedido de mantenimiento muy bajo, así el propósito es impulsar a las empresas a aprovechar la oportunidad de embarcarse rápidamente en la Industria 4.0 con el fin de mejorar todas las áreas del proceso de fabricación para lograr competitividad.

**En cuanto a futuras** investigaciones sería muy interesante hacer una revisión de los métodos de control medioambiental enfocados en la industria conectada, pues dentro de un ecosistema de sensores y máquinas conectadas con diagnósticos automáticos, se podría añadir sistema para detectar por ejemplo fugas de fluidos al medio ambiente por mínimas que estas sean, sistema de control de gases en lugares más pequeñas y no por áreas, he incluso es uso de drones para el control de partículas en suspensión.

Todo ello controlado desde una unidad central donde se obtengan datos del proceso productivo y mantenimiento con el objetivo de correlacionar eventos con problemas de producción o mantenimiento a través de inteligencia artificial.

Este es sin duda beneficio que traería esta técnica para realizar procesos más éticos de auditorías mediante, además con el uso de blockchain en las empresas y las administraciones se podría registrar todos los sucesos, así como el control de adquisición de materiales peligrosos o incluso en control de residuos.

Con lo presente se ha podido describir los objetivos iniciales que pueden servir de utilidad para futuros trabajos, no obstante, la utilidad de realizar una guía o hoja de ruta es para establecer de forma clara y sencilla los beneficios que la I4.0 puede tener en las organizaciones, eso sí siempre alineado con la estrategia empresarial

## 8 Referencias

- «9908-Texto del artículo-37050-2-10-20150213.pdf». s. f.
- «A Complete Guide To Predictive Maintenance». s. f. Limble. Accedido 6 de mayo de 2021. <https://limblecmms.com/predictive-maintenance/>.
- «A Short History on the Origins of Industrial Reliability». 2020a. *S. J. Kelly* (blog). 20 de noviembre de 2020. <https://sjkelly.org/2020/11/19/a-short-history-on-the-origins-of-industrial-reliability/>.
- «———». 2020b. *S. J. Kelly* (blog). 20 de noviembre de 2020. <https://sjkelly.org/2020/11/19/a-short-history-on-the-origins-of-industrial-reliability/>.
- «Accenture-Pov-Manufacturing-Digital-Final.pdf». s. f. Accedido 14 de julio de 2021a. [https://www.accenture.com/t20180327T080053Z\\_\\_w\\_/us-en/\\_acnmedia/PDF-74/Accenture-Pov-Manufacturing-Digital-Final.pdf#zoom=50](https://www.accenture.com/t20180327T080053Z__w_/us-en/_acnmedia/PDF-74/Accenture-Pov-Manufacturing-Digital-Final.pdf#zoom=50).
- «———». s. f. Accedido 16 de julio de 2021b. [https://www.accenture.com/t20180327T080053Z\\_\\_w\\_/us-en/\\_acnmedia/PDF-74/Accenture-Pov-Manufacturing-Digital-Final.pdf#zoom=50](https://www.accenture.com/t20180327T080053Z__w_/us-en/_acnmedia/PDF-74/Accenture-Pov-Manufacturing-Digital-Final.pdf#zoom=50).
- Adsule, Aniket, Makarand Kulkarni, y Asim Tewari. 2020. «Reinforcement Learning for Optimal Policy Learning in Condition-Based Maintenance». *IET Collaborative Intelligent Manufacturing* 2 (4): 182-88. <https://doi.org/10.1049/iet-cim.2020.0022>.
- «Advanced Technologies for Industry». s. f. Accedido 14 de julio de 2021. <https://ati.ec.europa.eu/>.
- Afanasev, Maxim Ya., Yuri V. Fedosov, Anastasiya A. Krylova, y Sergey A. Shorokhov. 2017. «Modular Industrial Equipment in Cyber-Physical Production System: Architecture and Integration». En *2017 21st Conference of Open Innovations Association (FRUCT)*, 1-9. Helsinki: IEEE. <https://doi.org/10.23919/FRUCT.2017.8250158>.
- Ahmad, Rosmaini, y Shahrul Kamaruddin. 2012. «An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application». *Computers & Industrial Engineering* 63 (1): 135-49. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2012.02.002>.
- Ahmed, Sabbir, y Razib Hayat Khan. s. f. «Blockchain and Industry 4.0», 23.
- Alejandro González, José Olazagoitia, y Jordi Vinolas. 2018. «A Low-Cost Data Acquisition System for Automobile Dynamics Applications». *Sensors* 18 (2): 366. <https://doi.org/10.3390/s18020366>.
- Almada-Lobo, Francisco. 2016. «The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES)». *Journal of Innovation Management* 3 (enero): 16-21. [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_003.004\\_0003](https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003).
- Angeli, Chrissanthi, y David Gil. 2015. «Big Data and Data Science: What Should We Teach?», 11.
- «Así será el II Congreso de Industria Conectada 4.0». 2018. *Blogthinkbig.com* (blog). 31 de agosto de 2018. <https://blogthinkbig.com/congreso-industria-conectada-4-0>.
- B. Chen, J. Wan, L. Shu, P. Li, M. Mukherjee, y B. Yin. 2018. «Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges». *IEEE Access* 6: 6505-19. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2783682>.

- Bagheri, Behrad, Shanhu Yang, Hung-An Kao, y Jay Lee. 2015. «Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment». *IFAC-PapersOnLine* 48 (diciembre): 1622-27. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.318>.
- Bahrin, M., M. Othman, Nor Azli, y Muhamad Farihin Talib. 2016. «INDUSTRY 4.0: A REVIEW ON INDUSTRIAL AUTOMATION AND ROBOTIC». En . <https://doi.org/10.11113/JT.V78.9285>.
- Baire, Matteo, Andrea Melis, Matteo Bruno Lodi, Chiara Dachena, Alessandro Fanti, Simona Farris, Tonino Pisanu, y Giuseppe Mazzeola. 2019. «WSN Hardware for Automotive Applications: Preliminary Results for the Case of Public Transportation». *Electronics* 8 (12): 1483. <https://doi.org/10.3390/electronics8121483>.
- Bangemann, Thomas, Matthias Riedl, Mario Thron, y Christian Diedrich. 2016. «Integration of Classical Components Into Industrial Cyber-Physical Systems». *Proceedings of the IEEE* 104 (mayo): 947-59. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2510981>.
- Barbieri, Matteo, Khan T. P. Nguyen, Roberto Diversi, Kamal Medjaher, y Andrea Tilli. 2021. «RUL Prediction for Automatic Machines: A Mixed Edge-Cloud Solution Based on Model-of-Signals and Particle Filtering Techniques». *Journal of Intelligent Manufacturing* 32 (5): 1421-40. <https://doi.org/10.1007/s10845-020-01696-6>.
- Beng, Daren Chesworth. 2018. «Industry 4.0 Techniques as a Maintenance Strategy (A Review Paper)». <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18116.32644>.
- Beran, Jan, Petr Fiedler, y F. Zezulka. 2010. «Virtual Automation Networks». *Industrial Electronics Magazine, IEEE* 4 (octubre): 20-27. <https://doi.org/10.1109/MIE.2010.937930>.
- Bodkhe, Umesh, Sudeep Tanwar, Karan Parekh, Pimal Khanpara, Sudhanshu Tyagi, Neeraj Kumar, y Mamoun Alazab. 2016. «Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review». *IEEE Access* 4: 37.
- Bouktif, Salah, Ali Fiaz, Ali Ouni, y Mohamed Serhani. 2018. «Optimal Deep Learning LSTM Model for Electric Load Forecasting using Feature Selection and Genetic Algorithm: Comparison with Machine Learning Approaches †». *Energies* 11 (junio): 1636. <https://doi.org/10.3390/en11071636>.
- Bousdekis, Alexandros, Katerina Lepenioti, Dimitrios Ntalaperas, Danai Vergeti, Dimitris Apostolou, y Vasilis Boursinos. 2019a. «A RAMI 4.0 View of Predictive Maintenance: Software Architecture, Platform and Case Study in Steel Industry». En *Advanced Information Systems Engineering Workshops*, editado por Henderik A. Proper y Janis Stirna, 349:95-106. Lecture Notes in Business Information Processing. Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20948-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20948-3_9).
- . 2019b. «A RAMI 4.0 View of Predictive Maintenance: Software Architecture, Platform and Case Study in Steel Industry». En *Advanced Information Systems Engineering Workshops*, editado por Henderik A. Proper y Janis Stirna, 95-106. Lecture Notes in Business Information Processing. Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20948-3\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20948-3_9).

- Buck, R. P., E. Lindner, W. Kutner, y György Inzelt. 2004. «Piezoelectric chemical sensors (IUPAC Technical Report)». *Pure and Applied Chemistry* 76 (6): 1139-60. <https://doi.org/10.1351/pac200476061139>.
- Burton, Saheli, Leonie Tanczer, Srinidhi Vasudevan, Stephen Hailes, y Madeline Carr. 2021. *The UK Code of Practice for Consumer IoT Security: where we are and what next*. <https://doi.org/10.14324/000.rp.10117734>.
- Calero Valdez, André, Philipp Brauner, Anne Kathrin Schaar, Andreas Holzinger, y Martina Ziefle. 2015. *Reducing Complexity with Simplicity - Usability Methods for Industry 4.0*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4253.6809>.
- «CBM CONNECT: The Home of Condition Monitoring Education». s. f. Accedido 6 de mayo de 2021. <https://www.cbmconnect.com/>.
- Chen, Toly. 2013. «A Systematic Cycle Time Reduction Procedure for Enhancing the Competitiveness and Sustainability of a Semiconductor Manufacturer». *Sustainability* 5 (noviembre): 4637-52. <https://doi.org/10.3390/su5114637>.
- Chiu, Yu-Chen, Fan-Tien Cheng, y Hsien-Cheng Huang. 2017a. «Developing a factory-wide intelligent predictive maintenance system based on Industry 4.0». *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, agosto, 1-10. <https://doi.org/10.1080/02533839.2017.1362357>.
- . 2017b. «Developing a factory-wide intelligent predictive maintenance system based on Industry 4.0». *Journal of the Chinese Institute of Engineers* 40 (7): 562-71. <https://doi.org/10.1080/02533839.2017.1362357>.
- Connected Futures. 20:22:48 UTC. «Connected Futures Cisco Research: IoT Value: Challenges, Breakthrough...». <https://www.slideshare.net/CiscoBusinessInsights/journey-to-iot-value-76163389>.
- Curcurù, Giuseppe, Giacomo Galante, y Alberto Lombardo. 2010. «A predictive maintenance policy with imperfect monitoring». *Reliability Engineering & System Safety* 95 (septiembre): 989-97. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2010.04.010>.
- «Data Science and Big Data Analytics.pdf». s. f.
- Deloux, Estelle, Bruno Castanier, y Christophe Berenguer. 2008. «Maintenance policy for deteriorating system evolving in a stressful environment». *Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part O-journal of Risk and Reliability* 222 (diciembre): 613-22. <https://doi.org/10.1243/1748006XJRR148>.
- Diez-Olivan, Alberto, Javier Del Ser, Diego Galar, y Basilio Sierra. 2018. «Data Fusion and Machine Learning for Industrial Prognosis: Trends and Perspectives towards Industry 4.0». *Information Fusion* 50 (octubre). <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2018.10.005>.
- Diker, Aykut, Derya Avci, Engin Avci, y Mehmet Gedikpinar. 2018. «A New Technique for ECG Signal Classification Genetic Algorithm Wavelet Kernel Extreme Learning Machine». *Optik* 180 (noviembre). <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.11.065>.
- Djurdjanovic, Dragan, Jay Lee, y Jun Ni. 2003. «Watchdog Agent—an infotronics-based prognostics approach for product performance degradation assessment and prediction». *Intelligent Maintenance Systems* 17 (3): 109-25. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2004.07.005>.

- «Einabadi-2019-Dynamic-predictive-maintenance-in-i.pdf». s. f.
- Espíndola, Danúbia, Luca Fumagalli, Marco Garetti, Carlos Pereira, Silvia Botelho, y Renato Henriques. 2013. «A model-based approach for data integration to improve maintenance management by mixed reality». *Computers in Industry* 64 (mayo): 376-91. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.01.002>.
- Farahani, Hamid, Rahman Wagiran, y Mohd Nizar Hamidon. 2014. «Humidity Sensors Principle, Mechanism, and Fabrication Technologies: A Comprehensive Review». *Sensors (Basel, Switzerland)* 14 (5): 7881-7939. <https://doi.org/10.3390/s140507881>.
- Farsi, Mohammad Ali, y Enrico Zio. 2019. «Industry 4.0: Some Challenges and Opportunities for Reliability Engineering». *International Journal of Reliability, Risk and Safety: Theory and Application* 2 (1): 23-34. <https://doi.org/10.30699/IJRRS.2.1.4>.
- Froiz-Míguez, Iván, Peio Lopez-Iturri, Paula Fraga-Lamas, Mikel Celaya-Echarri, Óscar Blanco-Novoa, Leyre Azpilicueta, Francisco Falcone, y Tiago M. Fernández-Caramés. 2020. «Design, Implementation, and Empirical Validation of an IoT Smart Irrigation System for Fog Computing Applications Based on LoRa and LoRaWAN Sensor Nodes». *Sensors* 20 (23): 6865. <https://doi.org/10.3390/s20236865>.
- Fumagalli, Luca, Marco Macchi, Cristian Colace, Maurizio Rondi, y Alessandro Alfieri. 2016. «A Smart Maintenance tool for a safe Electric Arc Furnace». *12th IFAC Workshop on Intelligent Manufacturing Systems IMS 2016* 49 (31): 19-24. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.12.155>.
- «GGIimmppssee - 2017 - 2nd International Conference on Materials Manufact.pdf». s. f.
- GGIimmppssee, AA. 2017a. «2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering». *Procedia Manufacturing*, 6.
- . 2017b. «2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering 2nd International Conference on Materials Manufacturing and Design Engineering». *Procedia Manufacturing*, 6.
- Ghobakhloo, Morteza. 2018. «The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0». *Journal of Manufacturing Technology Management* 29 (6): 910-36. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0057>.
- Guercini, Simone, y Andrea Runfola. 2009. «The integration between marketing and purchasing in the traceability process». *Organizing and Integrating Marketing and Purchasing in Business Markets* 38 (8): 883-91. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2009.03.016>.
- Guillén, A., A. Crespo, J. Gómez, y Maria Dolores Sanz. 2016. «A framework for effective management of condition based maintenance programs in the context of industrial development of E-Maintenance strategies». *Comput. Ind.* 82: 170-85.
- Guillén López, Antonio Jesús, Adolfo Crespo Márquez, Juan Francisco Gómez Fernández, y María Dolores Sanz. 2016. «A Framework for Effective Management of Condition Based Maintenance Programs in the Context of Industrial Development of E-Maintenance Strategies». <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.07.003>.

- Hansen, David Grube, A. A. Malik, y A. Bilberg. 2017. «Generic Challenges and Automation Solutions in Manufacturing SMEs». En .
- Hermann, Mario, Tobias Pentek, y Boris Otto. 2015. *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.29269.22248>.
- «Historia de la Industria 4.0- Logicbus S.A de C.V.» s. f. Accedido 7 de mayo de 2021. <https://www.logicbus.com.mx/historia-industria-4.0.php>.
- «Horizontal and Vertical Integration in Industry 4.0». 2019. *Manufacturing Business Technology*. abril de 2019. <https://www.mbtmag.com/business-intelligence/article/13251083/horizontal-and-vertical-integration-in-industry-40>.
- Huseyin Bilgic, Hasan, Caglar Conker, y Hakan Yavuz. 2021. «Fuzzy Logic–Based Decision Support System for Selection of Optimum Input Shaping Techniques in Point-to-Point Motion Systems». *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering* 235 (6): 795-808. <https://doi.org/10.1177/0959651820965705>.
- «Industry 4.0: White Paper - Bosch Rexroth Ltd. | Bosch Rexroth Great Britain». s. f. Accedido 14 de julio de 2021. <https://www.boschrexroth.com/en/gb/trends-and-topics/industry-4-0/industry-4-0-white-paper/industry-4-0-white-paper-1>.
- Jaloudi, Samer. 2019. «Communication Protocols of an Industrial Internet of Things Environment: A Comparative Study». *Future Internet*, 18.
- Jasiulewicz - Kaczmarek, Małgorzata, y Arkadiusz Gola. 2019. «Maintenance 4.0 Technologies for Sustainable Manufacturing - an Overview». *IFAC-PapersOnLine* 52 (10): 91-96. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.005>.
- Kannengiesser, Udo, y Harald Müller. 2018. «Industry 4.0 Standardisation: Where Does S-BPM Fit?» En *Proceedings of the 10th International Conference on Subject-Oriented Business Process Management*. S-BPM One '18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3178248.3178255>.
- Kolberg, Dennis, y Detlef Zühlke. 2015. «Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies». *15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing* 48 (3): 1870-75. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>.
- Kshetri, Nir. 2018. «1 Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives». *International Journal of Information Management* 39 (abril): 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005>.
- Lee, Jay, Hung-An Kao, y Shanhu Yang. 2014. «Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment». *Product Services Systems and Value Creation. Proceedings of the 6th CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems* 16 (enero): 3-8. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001>.
- Li, Zhe, Kesheng Wang, y Yafei He. 2016. «Industry 4.0 - Potentials for Predictive Maintenance». En *Proceedings of the 6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*. Manchester, UK: Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/iwama-16.2016.8>.
- Llopis-Albert, Carlos, Francisco Rubio, y Francisco Valero. 2021. «Impact of digital transformation on the automotive industry». *Technological Forecasting and Social Change* 162 (enero): 120343. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120343>.

- Longo, Francesco, Letizia Nicoletti, Antonio Padovano, Gianfranco d'Atri, y Marco Forte. 2019. «Blockchain-enabled supply chain: An experimental study». *Computers & Industrial Engineering* 136 (octubre): 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.026>.
- Lutz, Mark. 2001. *Programming Python*. O'Reilly Media, Inc.
- Mandolla, Claudio, Antonio Messeni Petruzzelli, Gianluca Percoco, y Andrea Urbinati. 2019. «Building a digital twin for additive manufacturing through the exploitation of blockchain: A case analysis of the aircraft industry». *Computers in Industry* 109 (agosto): 134-52. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2019.04.011>.
- Manufacturer), Hennik Group (publisher of The. s. f. «6 Degrees- Roadmap to Industry 4.0». Accedido 14 de julio de 2021. <https://info.themanufacturer.com/roadmap-to-industry-40>.
- Márquez, Carlos Parra, y Adolfo Crespo Márquez. 2020. «Serie técnica: Reliability, Maintenance and Asset Management Nota técnica # 1: (MGMC-GA-INT-001-19) Introducción al Modelo Integral de Gestión del Mantenimiento y de la Confiabilidad alineado con el enfoque de la norma: UNE 16646 (Mantenimiento en la Gestión de Activos Físicos) Editado por». <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13046.63049>.
- Méallet-Renault, R, P Denjean, y R.B Pansu. 1999. «Polymer beads as nano-sensors». *Sensors and Actuators B: Chemical* 59 (2): 108-12. [https://doi.org/10.1016/S0925-4005\(99\)00205-1](https://doi.org/10.1016/S0925-4005(99)00205-1).
- «MIMOSA OSA-CBM – MIMOSA». s.f. Accedido 10 de julio de 2021. <https://www.mimosa.org/mimosa-osa-cbm/>.
- Mobley, R. Keith. 2002. *An Introduction to Predictive Maintenance*. Elsevier.
- Molenda, Paul, Andreas Jugenheimer, Christopher Haefner, Oliver Oechsle, y Rahul Karat. 2019. «Methodology for the Visualization, Analysis and Assessment of Information Processes in Manufacturing Companies». *Procedia CIRP* 84: 5-10. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.291>.
- Monostori, László. 2014. «Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges». *Variety Management in Manufacturing* 17 (enero): 9-13. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.115>.
- Neumann, Peter, Axel Poeschmann, y Ralf Messerschmidt. 2008. «Architectural Concept of Virtual Automation Networks». *IFAC Proceedings Volumes* 41 (2): 13964-69. <https://doi.org/10.3182/20080706-5-KR-1001.02364>.
- Pech, Martin, Jaroslav Vrchota, y Jiří Bednář. 2021. «Predictive Maintenance and Intelligent Sensors in Smart Factory: Review», 40.
- Peng, Ying, Ming Dong, y Ming Jian Zuo. 2010. «Current status of machine prognostics in condition-based maintenance: a review». *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 50 (1): 297-313. <https://doi.org/10.1007/s00170-009-2482-0>.
- Porter, M., y J. Heppelmann. 2014. «How Smart, Connected Products Are Transforming Competition». *Harvard Business Review* 92: 18.
- Presenso, Eitan Vesely and Deddy Lavid (Ben lulu). s. f. «The 7 Guiding Principles of a Maintenance 4.0 Strategy». Plant Services. Accedido 18 de mayo de 2021. <https://www.plantservices.com/articles/2019/the-7-guiding-principles-of-a-maintenance-4-0-strategy/>.

- «RAMI 4.0 - ISA». s. f. Isa.Org. Accedido 15 de julio de 2021. <https://www.isa.org/intech-home/2019/march-april/features/rami-4-0-reference-architectural-model-for-industr>.
- «rami40-an-introduction.pdf». s. f. Accedido 11 de julio de 2021. [https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=7](https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.pdf?__blob=publicationFile&v=7).
- «Reference Architectural Model Industrie 4.0 (RAMI4.0) - An Introduction». s. f. Accedido 14 de julio de 2021. <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/rami40-an-introduction.html>.
- Rivest, R. L., A. Shamir, y L. Adleman. 1978. «A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems». *Commun. ACM* 21 (2): 120-26. <https://doi.org/10.1145/359340.359342>.
- Robinson, Renee. s. f. «Communicating with Technology», 87.
- Salvatore, Giovanni A., Jenny Sülzle, Filippo Dalla Valle, Giuseppe Cantarella, Francesco Robotti, Petar Jokic, Stefan Knobelspies, et al. 2017. «Biodegradable and Highly Deformable Temperature Sensors for the Internet of Things». *Advanced Functional Materials* 27 (35): 1702390. <https://doi.org/10.1002/adfm.201702390>.
- Sang, Go Muan, Lai Xu, Paul de Vrieze, Yuewei Bai, y Fangyu Pan. 2020. «Predictive Maintenance in Industry 4.0». En *Proceedings of the 10th International Conference on Information Systems and Technologies*, 1-11. Lecce Italy: ACM. <https://doi.org/10.1145/3447568.3448537>.
- Schwendemann, Sebastian, Zubair Amjad, y Axel Sikora. 2021. «A survey of machine-learning techniques for condition monitoring and predictive maintenance of bearings in grinding machines». *Computers in Industry* 125 (febrero): 103380. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103380>.
- Shi, Youqun, Zihao Lu, Ran Tao, Ying Liu, y Zhaohui Zhang. 2020. «A Trading Model Based on Legal Contracts Using Smart Contract Templates». En *Blockchain and Trustworthy Systems*, editado por Zibin Zheng, Hong-Ning Dai, Mingdong Tang, y Xiangping Chen, 446-60. Singapore: Springer Singapore.
- Silva, Carlos Eduardo, Ramon Narcizo, Rodolfo Cardoso, Luiza Gonçalves, y Yohana Carvalho. 2020. «Industry 4.0: Proposing a Framework». *Society and Business Review* 8 (junio): 250-67. <https://doi.org/10.14738/abr.86.8541>.
- Simons, Stephan, Patrick Abé, y Stephan Naser. 2017. «Learning in the AutFab – The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt». *Procedia Manufacturing* 9: 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.023>.
- Song, Gangbing, Weijie Li, Bo Wang, y Siu Chun Michael Ho. 2017. «A Review of Rock Bolt Monitoring Using Smart Sensors». *Sensors (Basel, Switzerland)* 17 (4). <https://doi.org/10.3390/s17040776>.
- Stock, T., y G. Seliger. 2016a. «Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0». *13th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Decoupling Growth from Resource Use* 40 (enero): 536-41. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>.
- . 2016b. «Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0». *13th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Decoupling Growth from Resource Use* 40 (enero): 536-41. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>.

- S.Weghofer,M.Mertl,X.Yao,S.Strambu. s. f. «UNIDO OPENDATA PLATFORM». Accedido 10 de julio de 2021. <https://open.unido.org/projects/EG/projects/160068>.
- Tan, Jasper, y Simon G M Koo. s. f. «A Survey of Technologies in Internet of Things», 6.
- Thoben, Klaus-Dieter, Stefan Wiesner, y Thorsten Wuest. s. f. «“Industrie 4.0” and Smart Manufacturing – A Review of Research Issues and Application Examples», 12.
- Watson, Hugh J. s. f. «Tutorial: Big Data Analytics: Concepts, Technologies, and Applications», 25.
- Witkowski, Krzysztof. 2017. «Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 – Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management». *Procedia Engineering* 182 (diciembre): 763-69. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197>.
- Yin, Yong, Kathryn E. Stecke, y Dongni Li. 2018. «The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0». *International Journal of Production Research* 56 (1-2): 848-61. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>.
- Zhang, Cheng, Amir Fathollahi-Fard, Jianyong Li, Guangdong Tian, y Tongzhu Zhang. 2021. «Disassembly Sequence Planning for Intelligent Manufacturing Using Social Engineering Optimizer». *Symmetry* 13 (abril): 663. <https://doi.org/10.3390/sym13040663>.
- Zhong, R., C. Xu, Chao Chen, y George Q. Huang. 2017. «Big Data Analytics for Physical Internet-based intelligent manufacturing shop floors». *International Journal of Production Research* 55: 2610-21.
- Zhong, Ray, Xun Xu, Eberhard Klotz, y Stephen Newman. 2017. «Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review». *Engineering* 3 (octubre): 616-30. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>.