



UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA (UOC)
MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA DE DATOS (*Data Science*)

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

ÁREA: 004

xxx Mantenimiento Predictivo xxx
xxx Predicción del fallo de máquinas de producción a partir de
datos de un sistema de sensores. xxx

Autor: Oscar Rojo Martín

Tutor: Lorena Polo Navarro

Profesor: Antonio Lozano Bagén

Donostia-San Sebastián, 4 de diciembre de 2022

Índice general

Índice	3
1. Introducción	3
1.1. Introducción	3
1.2. Contexto y justificación del Trabajo	3
1.3. Objetivos del Trabajo	4
1.4. Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad	4
1.5. Enfoque y método seguido	4
1.6. Planificación del trabajo	5
1.6.1. Detalle planificación	5
2. Estado del Arte	7
2.1. Introducción	7
2.2. Un poco de historia	7
2.3. Qué es el mantenimiento	8
2.4. El mantenimiento predictivo	10
2.4.1. El mantenimiento predictivo en la Industria 4.0	11
2.4.2. Técnicas	11
2.5. Líneas de investigación	12
2.5.1. Resumen	12
2.5.2. A predictive maintenance policy with imperfect monitoring	14

2.5.3. A new paradigm of cloud-based predictive maintenance for intelligent manufacturing	14
2.5.4. Predictive maintenance techniques	15
2.5.5. Continuous time predictive maintenance scheduling for a deteriorating system	15
2.5.6. Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach	16
2.5.7. Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture	16
2.6. La gestión de los datos	17
3. Materiales y Métodos	19
3.1. Requerimientos técnicos	19
4. Resultados	21
4.1. Breve resumen de productos obtenidos	21
4.2. Breve descripción de otros capítulos de la memoria	21
5. Bibliografía	25
Abstract	XI
Resumen	XIII
Listado de Figuras	XV
Listado de Tablas	XVII

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

Como hemos visto y vivido durante el último siglo y medio, las máquinas - en general - durante su proceso de vida tienen periodos en que requieren de reparaciones o de sustitución de piezas por el desgaste de estas. Con la evolución de la tecnología inalámbrica y conectada 4G y 5G cada vez existe una mayor oferta de sensores inteligente, que permiten monitorizar las máquinas y en base a los comportamientos, predecir estos últimos. El TFM que presento va destinado a generar una WEB-APP donde se mostrarán los datos registrados por los sensores recopilados de diferentes maquinarias y se realizarán evaluaciones de machine learning con el fin de predecir anomalías o comportamientos repetitivos en dichas maquinarias.

1.2. Contexto y justificación del Trabajo

Este trabajo trata concebir una herramienta / aplicación web con un enfoque de aprendizaje automático para la detección de anomalías en sistemas de control industrial basados en datos de medición.

El contexto de la elección del presente trabajo se basa en:

- Resido en Donostia - Gipuzkoa.
- Trabajo como Analista de Datos en una pequeña empresa y por ahora el nicho de mercado es la creación de Paneles de Control de carácter económico financiero para las empresas de servicios. Esta web-app puede ser una buena herramienta para poder ofrecer otros servicios a las empresas, en particular, PYMEs radicadas en la provincia que se dedican al sector industrial y no tengan suficiente capacidad económica para contratar estos servicios a grandes empresas de consultoría.

- Como decía antes, la gran cantidad de pequeña empresa que tiene maquinas fresadoras, de corte, semiautomáticas, etc.. y que se beneficiarían de esta tecnología para poder reducir costes y evitar parones no previstos o innecesarios.

1.3. Objetivos del Trabajo

Una web-app que muestre tanto los datos provenientes de los sensores de las máquinas como las predicciones en el caso en que las variables cambien o en caso de no cambiar, predecir las fechas en que se puede producir la anomalía.

1.4. Impacto en sostenibilidad, ético-social y de diversidad

“Actuar de manera honesta, ética, sostenible, socialmente responsable y respetuosa con los derechos humanos y la diversidad, tanto en la práctica académica como en la profesional, y diseñar soluciones para mejorar estas prácticas.”

1.5. Enfoque y método seguido

El método elegido es el siguiente:

- Analizar el origen de los datos.
- Recopilar información.
- Almacenamiento.
- Extracción, Transformación y Carga.
- Analizar los datos.
- Visualización / representación gráfica.
- Generación de modelo predictivo que permita detectar las anomalías, fallos, etc de la maquinaria de donde se recolecta la información.
- Integrar todo ello en una aplicación web para desplegarla en internet y con acceso restringido de usuario y contraseña.

La estrategia es ir avanzando con rapidez ante posibles cambios y la de realizar entregas periódicas del trabajo.

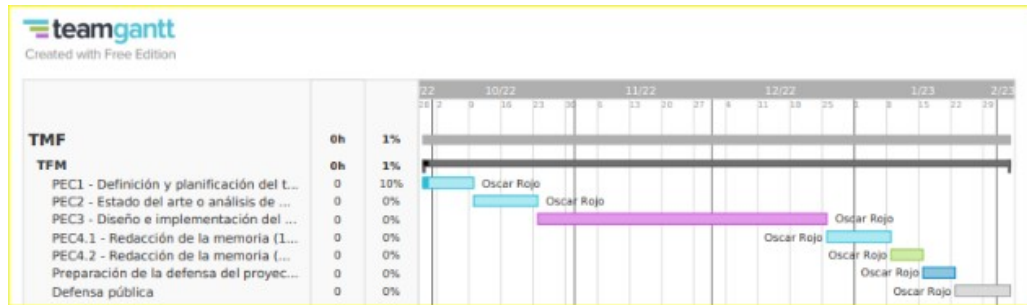


Figura 1.1: Detalle planificación TFM.

1.6. Planificación del trabajo

Este trabajo se realizará bajo la planificación realizada mediante un diagrama de Gantt a través de la aplicación <https://app.teamgantt.com/projects/gantt?ids=3246752>

1.6.1. Detalle planificación

La planificación a realizar durante el periodo de la PEC2 y PEC3 son las siguientes:

- PEC1 - Definición y planificación del trabajo final Fase que tiene como objetivo el de definir cuál es la temática del TFM, el objetivo del mismo, justificar su relevancia, definir los objetivos principales y la planificación temporal del proyecto.
- PEC2 - Estado del arte o análisis del mercado del proyecto Recopilación de información. En este proceso me enfocaré en entablar 3 entrevistas con:
 - Sales Manager de la principal planta de una multinacional dedicada a la fabricación de componentes para automoción, producción de transmisiones y juntas para camiones.
 - Propietario y gerente de una calderería cuyo principal producto son los depósitos de combustibles para una multinacional dedicada al carrozado de autobuses.
 - Propietario y gerente de una empresa de Mecanizados de Alta Precisión.

El objetivo de estas entrevistas es el de consultar si poseen un sistema de captación de datos provenientes de sistemas de sensores en sus máquinas, su funcionamiento, recogida y almacenamiento de datos, y si es posible acceder a ellos.

- PEC3 - Diseño e implementación del trabajo Programar y desarrollar la web-app utilizando Python como lenguaje de programación y la librería principal Django uno de los

frameworks de servidores web más populares, para configurar un entorno de desarrollo y crear aplicaciones web. Para llegar al final a ponerlo en producción en AWS.

- PEC4 - Redacción de la memoria. Subdividido en 2 partes, Aquí se deberá mostrar tanto todo el trabajo realizado en anteriores bloques como la información recopilada.
- Preparación de la defensa del proyecto. Mediante la creación de un vídeo de presentación del Trabajo de Fin de Máster.
- Defensa del proyecto. Delante de un tribunal evaluador, se realizará la defensa del TFM. Esta defensa síncrona constará de una presentación-resumen y de la respuestas a las consultas realizadas por el tribunal evaluador.

Capítulo 2

Estado del Arte

2.1. Introducción

El mantenimiento predictivo (MP) es una técnica que emplea el análisis basado en datos para detectar condiciones de trabajo anómalas y predecir los riesgos de fallos futuros de los activos. A pesar de su amplia aplicación en las industrias manufacturera y del petróleo y el gas, la aplicación del Mantenimiento predictivo en instalaciones de infraestructura, en el sector de PYMEs industriales en Gipuzkoa, es escasa de acuerdo a las consultas realizadas a diferentes empresarios del sector industrial en el territorio. En este sentido destaco:

1. Utilizan los sensores instalados en la maquinaria para controlar el output, el producto (calidad, resistencia, etc)
2. Varios empresarios no les interesa esta tecnología de MP, ya que creen que les supone un esfuerzo muy grande en personal, en tiempo y en coste (no inversión).
3. Directamente quitan o desconectan todos los sensores conectados a las máquinas.

La llegada de las TICs y de la IA ofrece una gran oportunidad para mejorar la práctica del mantenimiento de infraestructuras mediante la integración de técnicas de MP.

2.2. Un poco de historia

La Revolución industrial constituyó uno de los periodos más decisivos de la trayectoria de la Humanidad. Las principales áreas a las que se dirigió la revolución industrial fueron la tecnológica, la socioeconómica y la cultural, cambiando el mundo tal y como es hoy, nuestra forma de vivir y la organización social, política y económica actual. Destacamos los siguientes cambios:

1. Utilización de nuevos materiales, principalmente el hierro y el acero;
2. Uso de nuevas fuentes de energía, como el carbón, la máquina de vapor, la electricidad, el petróleo y los motores de combustión interna motores de combustión interna;
3. La invención de nuevas máquinas para la industria textil (por ejemplo, la rueda de torsión);
4. La organización de la producción en el sistema tipo fábrica que conocemos hoy y la división del del trabajo;
5. Desarrollo de los transportes y medios de comunicación como: locomotoras de vapor, barcos de vapor barcos de vapor, aviones, telégrafo, radio;
6. Aplicación de los principios científicos en la industrialización.

Todos los cambios tecnológicos han contribuido en gran medida a la utilización de los recursos naturales y han permitido la producción en masa de bienes. Hoy en día, el mantenimiento es una cuestión de suma importancia en el entorno industrial y no hace más que mejorar el entorno de trabajo los rendimientos y la rentabilidad.

2.3. Qué es el mantenimiento

El objetivo o elemento principal de las empresas son los **productos**. Por ello es necesario un plan de gestión de productos que garantiza el buen desarrollo y la organización de todas las etapas, recursos y medios implicados en el proceso de producción El mantenimiento presente desde la fase de diseño de un producto, debe garantizar el buen funcionamiento del producto en función de su vida útil. dentro de las cinco fases en el ciclo de vida de un producto: idea, definición, realización, uso y reciclaje. Fases comprendidas en 3 categorías:

1. La fase incipiente: idea, definición, realización;
2. La fase intermedia: uso;
3. Fase final: reciclaje.

La fase intermedia es la que más tiempo dura, ya que el producto está en fase de uso, por lo que es necesario mantenerlo para que funcione en parámetros óptimos. El concepto de mantenimiento está definido por la norma UNE-EN 13306:2018: es la **Combinación de todas las acciones técnicas, administrativas y de gestión realizadas durante el ciclo de vida de un**

Table 1. Reactive and proactive maintenance advantages and disadvantages.

	Advantages	Disadvantages
Reactive maintenance	Low initial costs Easy to implement	Unscheduled stops High associated costs (work over schedule, delivery urgency, manufacturing urgency) Poorly optimized resources
Proactive maintenance	Increased system reliability Minimizing logistical stops Reduction of non-scheduled stops Lowers costs (optimizing parts, optimizing work) Maintenance planning Optimization of logistic support	High initial set-up costs The cost reduction is not immediate Not reliable for all equipment

Figura 2.1: Análisis comparativo de las ventajas e inconvenientes del mantenimiento reactivo y proactivo.

elemento, destinadas a conservarlo o a devolverlo a un estado en el que pueda desempeñar la función requerida.

El mantenimiento de los equipos ha evolucionado a lo largo del tiempo, desde el mantenimiento que se realizaba sólo cuando los elementos sufrían daños hasta los métodos modernos, el mantenimiento proactivo y el predictivo, siendo este último el más popular en la actualidad. El mantenimiento realizado sólo en caso de daños o fallos, ha demostrado que es un método ineficiente por fallos en el sistema. Esto derivó en el mantenimiento programado (revisión total si hay problemas) y su consecuente problema de sustituir elementos sin haber llegado a su vida útil. Por ejemplo: **La Correa de distribución del coche, esta tiene programada su sustitución con 100.000 km, pero el nº de km recorridos sin que se rompa puede ser superior a los 135.000 km. el problema es que se rompa... pero eso es otra historia**

El siguiente paso fue el mantenimiento predictivo. Según **A state of the art of predictive maintenance techniques** las tareas de mantenimiento se pueden clasificar en:

1. Mantenimiento reactivo: el sistema se utiliza hasta que se producen averías. Cuando se produce una avería, los Cuando se produce una avería, se sustituyen los elementos dañados para restablecer la capacidad de funcionamiento del sistema.
2. Mantenimiento proactivo - las acciones de mantenimiento se planifican o tienen lugar como resultado de los indicadores de seguimiento. La planificación puede realizarse mediante sensores que anuncian las primeras fases de una avería. Este tipo de mantenimiento tiene como objetivo mantener la funcionalidad del sistema.

Independientemente del tipo de mantenimiento que se aplique, el objetivo de estas actividades es reducir al máximo las paradas causadas por las averías. Para poder minimizar las

paradas, es necesario entender los modos y mecanismos de los fallos.

Debemos de tener en cuenta que la los procesos industriales se llevan a cabo con sistemas eléctricos y mecánicos.

2.4. El mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo es un concepto enmarcado como un enfoque de mantenimiento proactivo.

Una de las técnicas más utilizadas es el **mantenimiento predictivo condicional**, el cual se realiza observando ciertos parámetros o ciertos componentes del sistema. En él, el estado del sistema se presenta en tiempo real, en función de los parámetros seguidos, siendo algunos de los más importantes:

- **Análisis de vibraciones:** es el método más eficiente para detectar problemas en los equipos que realizan movimientos rotativos.
- **Análisis acústico:** puede detectar o monitorizar grietas en tuberías o conductos;
- **Análisis de aceites de lubricación:** se analizan las partículas encontradas en los aceites utilizados para determinar el grado de desgaste de los componentes se analizan.
- **Análisis de partículas en el entorno de trabajo:** método generalmente utilizado en equipos que trabajan en un entorno fluido.
- **Análisis de corrosión:** e realizan mediciones de ultrasonido para determinar la corrosión en diferentes estructuras.
- **Análisis térmico:** se utiliza especialmente en el caso de sistemas mecánicos y eléctricos para detectar sobrecalentamiento en general.
- **Análisis de rendimiento:** una técnica eficaz para determinar los problemas de funcionamiento del sistema.

Utilizando alguno o algunos de los métodos indicados, se desarrollan soluciones de mantenimiento para equipos y sistemas sistemas. Suponiendo que 30 % de los costes de mantenimiento se deben a una mala planificación del mantenimiento, con costes añadidos en el proceso de producción, el mantenimiento predictivo es un método interesante en la industria, donde las paradas pueden causar grandes pérdidas.

2.4.1. El mantenimiento predictivo en la Industria 4.0

En estos momentos en que la industria se enfrenta a dificultades debido al desarrollo de la tecnología, la disminución de los recursos naturales, la incidencia de guerras y desastres naturales y al mismo tiempo cuestiones sociales como la globalización y el aumento de la edad de jubilación de la mano de obra, que producen efectos económicos. Además los consumidores de hoy en día quieren una variedad y una alta calidad de los productos, así como una calidad servicios de calidad durante su uso.

La visión de la Industria 4.0 viene con un impacto masivo en la forma actual de trabajar en la industria caracterizada por un nuevo modelo de interacción socio-tecnológica: **Nuevas fábricas inteligentes**.

La industria 4.0 la define el artículo **The concept Industry 4.0** como que *representa básicamente una sinergia entre el Internet de las Cosas, el Internet de los Servicios y por supuesto, el proceso industrial.* y estos se pueden aprovechar para desarrollar una estrategia de mantenimiento predictivo utilizando las tecnologías mencionadas, siendo esto alcanzable con reducidos recursos materiales y recursos humanos. La Industria 4.0 está dando forma a los procesos de fabricación y mantenimiento y a los que se producen de la interacción máquina-hombre.

2.4.2. Técnicas

Las podemos dividir en tres técnicas básicas:

- Mantenimiento usando los sensores ya instalados.
- Mantenimiento basado en sensores de prueba.
- Mantenimiento basado en la técnica de señales de prueba.

Todas tienen como objetivo proporcionar una mejora en el análisis de fallos, aunque representan enfoques diferentes. Las dos primeras técnicas pueden considerarse **pasivas** y la tercera **activa**, cuya aplicación tiene en cuenta las respuestas del bucle y las pruebas en tiempo real.

Titulo	Autores	Año
A new paradigm of cloud-based predictive maintenance for intelligent manufacturing	Wang, J., Zhang, L., Duan, L.	2015
Continuous time predictive maintenance scheduling for a deteriorating system	L. Dieulle, C. Berenguer, A. Grall and M. Roussignol	2001
Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture	Cachada, Ana and Barbosa, Jose and Leitão, Paulo and Gcraldcs, Carla A.S. and Deusdado, Leonel and Costa, Jacinta and Teixeira, Carlos and Teixeira, João and Moreira, António H.J. and Moreira, Pedro Miguel and Romero, Luís	2018
A predictive maintenance policy with imperfect monitoring	Giuseppe Curcurù, Giacomo Galante, Alberto Lombardo	2010
Predictive maintenance techniques	Bin Lu; David B. Durocher; Peter Stemper	2009
Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach	Ullah I, Yang F, Khan R, Liu L, Yang H, Gao B, Sun K.	2017

2.5. Líneas de investigación

2.5.1. Resumen

Título	Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach					
	A new paradigm of cloud-based predictive maintenance for intelligent manufacturing	Continuous time predictive maintenance scheduling for a deteriorating system	Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture	A predictive maintenance policy with imperfect monitoring	Predictive maintenance techniques	
Autores	Wang, J., Zhang, L., Duan, L.	L. Dieulle, C. Berenguer, A. Grall and M. Roussignol	Cachada, Ana and Barbosa, Jose and Leitão, Paulo and Grcaldcs, Carla A.S. and Deusdado, Leonel and Costa, Jacinta and Teixeira, Carlos and Teixeira, João and Moreira, António H.J. and Moreira, Pedro Miguel and Romero, Luís	GiuseppeCurcurùGiacomoGalanteAlbertoLombardo	Bin Lu; David B. Durocher; Peter Stemper	Ullah I, Yang F, Khan R, Liu L, Yang H, Gao B, Sun K.
Año	2015	2001	2018	2010	2009	2017
Resumen	Se genera un nodo de detección y computación en la nube de bajo coste, un middleware de agente móvil y bibliotecas numéricas de código abierto. El intercambio de información y la interacción se logran mediante un agente móvil que distribuye los algoritmos de análisis al nodo de detección y computación en la nube para procesar localmente los datos y compartir los resultados del análisis. El "agente móvil" mejora la flexibilidad y adaptabilidad del sistema, reduce la transmisión de datos en bruto y responde instantáneamente a los cambios dinámicos de las operaciones y tareas.	Se desarrolla un modelo matemático para el coste del sistema mantenido utilizando la teoría de los procesos de renovación. Los experimentos numéricos muestran que la tasa de coste de mantenimiento en un horizonte infinito puede minimizarse mediante una optimización conjunta del umbral de reposición y los tiempos de inspección aperiódica, y que la estructura de mantenimiento propuesta rinde más que las políticas clásicas de mantenimiento preventivo, que pueden tratarse como casos particulares.	El artículo describe la arquitectura de un sistema de mantenimiento inteligente y predictivo, alineado con los principios de la Industria 4.0, que considera el análisis avanzado y en línea de los datos recogidos para la detección temprana de la ocurrencia de posibles fallos de la máquina, y apoya a los técnicos durante las intervenciones de mantenimiento proporcionando un soporte de decisión inteligente guiado.	Adopta un modelo estocástico para el proceso de degradación e hipotetizando el uso de un sistema de monitorización imperfecto, el procedimiento actualiza, mediante un enfoque bayesiano, la información a-priori, utilizando los datos procedentes del sistema de monitorización.	Aquí se analiza la importancia del Mantenimiento Predictivo para las aplicaciones de procesos industriales e investiga tecnologías emergentes, como la evaluación de la eficiencia energética en línea y la supervisión continua del estado. También se discuten dos métodos para la detección de fallos en los rodamientos y la estimación de la eficiencia energética.	Se aborda un mecanismo de prevención subestaciones eléctricas utilizando un enfoque de visión por ordenador aprovechando las imágenes térmicas infrarrojas, para prevenir problemas de contacto, cargas irregulares, grietas en el aislamiento, relés defectuosos, uniones de terminales y otros problemas similares, aumentan la temperatura interna de los instrumentos eléctricos.
Algoritmo	Se seleccionan cinco características estadísticas, tres de frecuencia y los coeficientes del modelo autorregresivo de la envolvente de la corriente del motor para diagnosticar fallos motor. SVM(Support vector machine)	Modelo matemático para el coste del sistema mantenido utilizando la teoría de los procesos de renovación	Neural Networks, Bayesian Belief Network, Fuzzy Logic Prediction	Markovian degradation process	Algoritmo matemático. No específica	Perceptrón multicapa (MLP) para clasificar las condiciones térmicas de los componentes de las subestaciones eléctricas en clases "defectuosas" y "no defectuosas". Las redes neuronales artificiales (ANN) se utilizan para la clasificación de un defecto en diferentes materiales.
Variables, Parámetros	Se extraen 600 conjuntos de vectores de características correspondientes a seis motores diferentes. Cada vector consta de 23 características: 5 estadísticas, 3 dominio de la frecuencia y 15 coeficientes AR.	Variables de decisión de mantenimiento: el umbral de sustitución preventiva y el programa de inspección basado en el estado del sistema.	Tipo de defecto, Día y hora, ID, Presión, Temperatura, Humedad, Vibraciones, Ruido Operacional		Velocidad, Ruido, Vibración, Desajustes	150 imágenes térmicas de diferentes equipos eléctricos.
Caso de Aplicación	Se utilizan seis motores de inducción con diferentes modos de fallo en un sistema de prueba de motores para imitar los procesos de fabricación distribuidos.		Máquina de prensado		Industria Papelera. La planta de envasado de cartón de Weyerhaeuser en Manitowoc (Wisconsin, EE.UU.) supervisa tres motores de inducción críticos: un motor de soplado de 75 CV, un motor de bomba hidráulica de 50 CV y un motor de compresor de 200 CV.	Subestaciones eléctricas

Figura 2.2: Tabla resumen.

2.5.2. A predictive maintenance policy with imperfect monitoring

El método de mantenimiento predictivo que se ejecuta con un sistema de monitorización sujeto a errores. Para la generación de datos, se considera un sistema sujeto a degradación continua que se modela mediante cadenas de Markov, que permite realizar una simulación eficaz para seguir la evolución del proyecto principal: Correlacionar la eficacia de los equipos de análisis y adquisición de datos con la reducción de costes en el mantenimiento predictivo en comparación con otros métodos de mantenimiento.

Su valoración depende de la calidad de los sensores y del coste de reparación de los daños. Cuando se modifican los parámetros de simulación y disminuye la calidad de los sensores utilizados para la adquisición, la eficacia del mantenimiento predictivo disminuye considerablemente, situándose por debajo del mantenimiento preventivo.

Los resultados de esta simulación refuerzan la idea de adoptar sistemas de mantenimiento predictivo, que mejoran los costes de mantenimiento, incluso cuando se toma el coste de los equipos de análisis (siempre que los sensores y los sistemas de adquisición proporcionen datos cualitativos).

2.5.3. A new paradigm of cloud-based predictive maintenance for intelligent manufacturing

Aquí se proponen un sistema de mantenimiento predictivo basado en un nuevo sistema de control, en una nueva arquitectura en la nube que utiliza un cliente móvil en lugar de la clásica arquitectura servidor-cliente, con el que se pretende incrementar la flexibilidad/adaptabilidad del sistema, reducir el volumen de datos brutos que se transmiten y mejorar el tiempo de respuesta a los cambios dinámicos que se producen en los sistemas monitorizados.

Inconvenientes: la planificación automática del mantenimiento, la gestión de la energía, la gestión de análisis y transmisión de datos, almacenamiento de datos, implementación de sistemas a gran escala. Para abordar algunas de estos problemas, como se menciona desde el principio, esta solución propone el uso de agentes móviles para distribuir tareas en la nube.

El **agente móvil** es un método derivado del estudio IA que pretende dividir las tareas y su ejecución en paralelo. Los agentes están representados por programas de software que migran dentro de la red. Las principales características de un agente móvil son la autonomía, la inteligencia y la adaptabilidad, siendo adecuado para sistemas Cloud. Esto reduce la cantidad de datos transmitidos y permite la modificación y adaptación de los algoritmos que se ejecutan en los equipos, aumentando así su versatilidad.

Para ello se utilizaron seis motores de corriente alterna, cinco de ellos con diferentes defectos. Con el uso de agentes móviles, se envían programas de software para que se ejecuten y adquieran

diferentes parámetros, según la metodología de mantenimiento predictivo. Luego, los datos se procesan con algoritmos específicos, consiguiendo una característica del equipo monitorizado. Los resultados confirmaron la eficacia del sistema y proporcionaron datos relevantes sobre el estado de los motores analizados en comparación con el motor estándar.

2.5.4. Predictive maintenance techniques

Consideran como principal el rendimiento de los motores eléctricos y los fallos en los rodamientos, siendo éstos los problemas más comunes. Estudio basado en dos casos prácticos realizados en un motor de soplador de 75 hp y en un motor de compresor de aire de 200 hp en una planta activa. De ambos experimentos se obtuvieron resultados y conclusiones que confirman una desalineación en el eje del motor del soplador y una pérdida de rendimiento y una degradación para el motor del compresor debido a pequeños periodos de sobrecarga.

2.5.5. Continuous time predictive maintenance scheduling for a deteriorating system

Los investigadores proponen un método utilizando sistemas que están sometidos a un deterioro continuo, para tratar:

- La creación de una estructura para aplicar el mantenimiento predictivo condicional, y la determinación de un modelo matemático de análisis de costes a partir de la aparición de los fallos.
- Demostrar que los costes de mantenimiento a largo plazo pueden reducirse sustancialmente, utilizando dicho enfoque.

Utiliza un modelo aleatorio para simular el deterioro continuo del sistema. Puede simular un envejecimiento en el caso de los modelos mecánicos, la evolución de los productos defectuosos en el caso de una línea de producción, el nivel de corrosión / erosión en el caso de las estructuras. El modelo elegido ofrece una rentabilidad teniendo en cuenta el tiempo necesario para realizar el mantenimiento durante un periodo indefinido. El objetivo es realizar una estimación mínima de los costes teniendo en cuenta el nivel de desgaste y el momento adecuado para detener la máquina. Como el mantenimiento basado en la monitorización continua de los parámetros tiene un mejor rendimiento que otros métodos de mantenimiento, el modelo matemático presentado debe ser capaz de prevenir aleatorios. La solución se perfila en torno a dos ideas principales:

- Determinar el método de mantenimiento del sistema en cuestión, en función de la evolución de los daños.

- Determinar y establecer los datos para la siguiente inspección. Las simulaciones realizadas ofrecen una amplia gama de soluciones para determinar el modo de mantenimiento o la utilización del equipo hasta un fallo inminente para obtener el resultado deseado: la eficiencia de los costes de mantenimiento.

2.5.6. Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach

Los autores proponen una solución de mantenimiento predictivo mediante la **termografía**¹ utilizando una cámara termográfica de infrarrojos y utilizando técnicas de ML (Machine Learning). Este tipo de anomalía se produce principalmente en los equipos de energía, donde los contactos imperfectos, la corrosión, el aislamiento imperfecto, etc. provocan el sobrecalentamiento del equipo.

Es método permite monitorizar el equipo en funcionamiento. El análisis se realiza sobre un total de 150 fotos, en las que se determinan unos 300 puntos de interés. Mediante Machine Learning los puntos de interés se clasifican como defectos o funcionamiento en parámetros. Utilizando la cámara de infrarrojos, como en el deterioro de los equipos eléctricos el principal efecto del envejecimiento de los cables está representado por un aumento de la resistencia, el análisis termográfico puede ofrecer información relevante para la implementación de las prácticas de mantenimiento predictivo.

2.5.7. Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture

Aquí se proponen una innovadora estructura de mantenimiento predictivo mantenimiento predictivo basado en la arquitectura OSA-CBM (Open System Architecture for Condition Based Monitoring)². donde describe la arquitectura de un sistema de mantenimiento inteligente y predictivo, alineado con los principios de la Industria 4.0, que considera el análisis avanzado y en línea de los datos recogidos para la detección más temprana de la ocurrencia de posibles fallos de la máquina y apoya a los técnicos durante las intervenciones de mantenimiento proporcionando un soporte de decisión inteligentemente guiado.

Esta estructura consta de seis pasos:

1. Adquisición de datos: proporciona el acceso a los datos digitalizados del sensor o transductores digitalizados y registra estos datos.

¹["https://es.wikipedia.org/wiki/Termografia"](https://es.wikipedia.org/wiki/Termografia)

²<https://www.mimosa.org/mimosa-osa-cbm/>

2. Manipulación de datos: puede realizar transformaciones de señales de uno o varios canales y aplicar algoritmos especializados de extracción de características a los datos recopilados.
3. Detección de estados: realiza la supervisión de las condiciones comparando las características con los valores esperados o los límites operativos y devolviendo indicadores de condiciones y/o alarmas. límites operativos y devolviendo indicadores de estado y/o alarmas.
4. Evaluación de la salud: determina si la salud del sistema está está sufriendo una degradación teniendo en cuenta las tendencias en el historial de salud, el estado operativo y el historial de mantenimiento. de salud, el estado operativo y el historial de mantenimiento.
5. Evaluación de pronóstico: proyecta el estado de salud actual estado de salud actual del activo teniendo en cuenta una estimación de los perfiles de uso futuros.
6. Generación de consejos: proporciona recomendaciones relacionadas con de mantenimiento y modificación de la configuración del activo, teniendo en cuenta configuración del activo, teniendo en cuenta el historial operativo, los perfiles de perfiles de misión actuales y futuros y las limitaciones de recursos.

2.6. La gestión de los datos

Con el avance de la Industria 4.0, la implantación del mantenimiento predictivo cambia en comparación con el clásico, sobre todo en el campo de la gestión de los datos, debido al exponencial incremento en el número de datos que se generan.

Los procesos de gestión de datos tienen como objetivo proporcionar un procedimiento estándar para el análisis de datos con el fin de evaluar y proponer una solución basada en los datos analizados.

Destacamos algunos de los procesos de datos disponibles más importantes: Por supuesto, hay muchos procesos de datos disponibles, cada uno de los cuales se adapta a una necesidad de gestión de datos diferente; algunos de los más importantes son:

- El modelo de proceso Cross Industry Standard Process for data Mining (CRISP-DM)³.
- El modelo de proceso Sample, Explore, Modify, Model and Access (SEMMA)⁴
- La metodología Team Data Science Process (TDSP)⁵.

³https://es.wikipedia.org/wiki/Cross_Industry_Standard_Process_for_Data_Mining

⁴<https://en.wikipedia.org/wiki/SEMMA>

⁵<https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/data-science-process/overview>

Todos estos métodos representan un enfoque novedoso en términos de técnicas de mantenimiento predictivo, convirtiéndose en el estándar en las técnicas de mantenimiento debido a la multitud de beneficios.

Con los nuevos avances tecnológicos y el movimiento de la Industria 4.0, las fábricas , las maquinarias empezaron a ser más avanzadas y más conectadas. Esto abrió el camino a la **monitoreización de parámetros en tiempo real**, que es el pilar fundacional en el mantenimiento predictivo.

La rapidez y facilidad con la que ahora se adquieren y envían los datos es algo que hay que aprovechar. Con las nuevas innovaciones, como el Internet de las cosas y el Internet de los servicios, aparecen nuevos retos, siendo la gestión y el procesamiento de datos uno de ellos.

Capítulo 3

Materiales y Métodos

3.1. Requerimientos técnicos

Las herramientas tanto de software como de hardware que utilizaré en este proyecto son las siguientes:

- Sistema Operativo: Linux. Versión Ubuntu 22.04.
- IDE: Visual Studio Code.
- Lenguaje de programación: Python, Html, CSS.
- Control de versiones: Github.
- Alojamiento: AWS.
- Navegador web: Brave.
- Procesador de textos Latex: Overleaf.
- Procesador de textos Doc: Google Docs

Capítulo 4

Resultados

4.1. Breve resumen de productos obtenidos

El producto a obtener con este TFM es una web-app destinada a mostrar los datos recogidos por diferentes sensores instalados en maquinaria para conocer su comportamiento. También poder generar un algoritmo de Machine-Learning para la predicción de anomalías y comportamientos de dichas máquinas.

4.2. Breve descripción de otros capítulos de la memoria

Mostramos un posible diseño de la web-app.



Figura 4.1: Pantalla inicial.

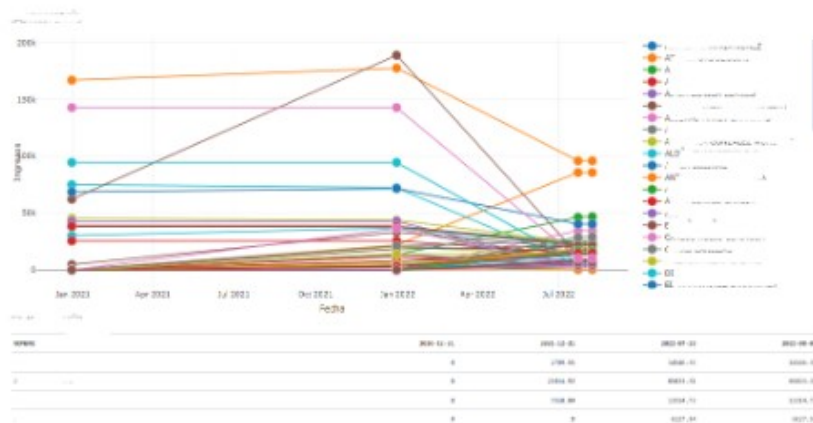


Figura 4.2: Modelo gráfico de datos registrados por los sensores.

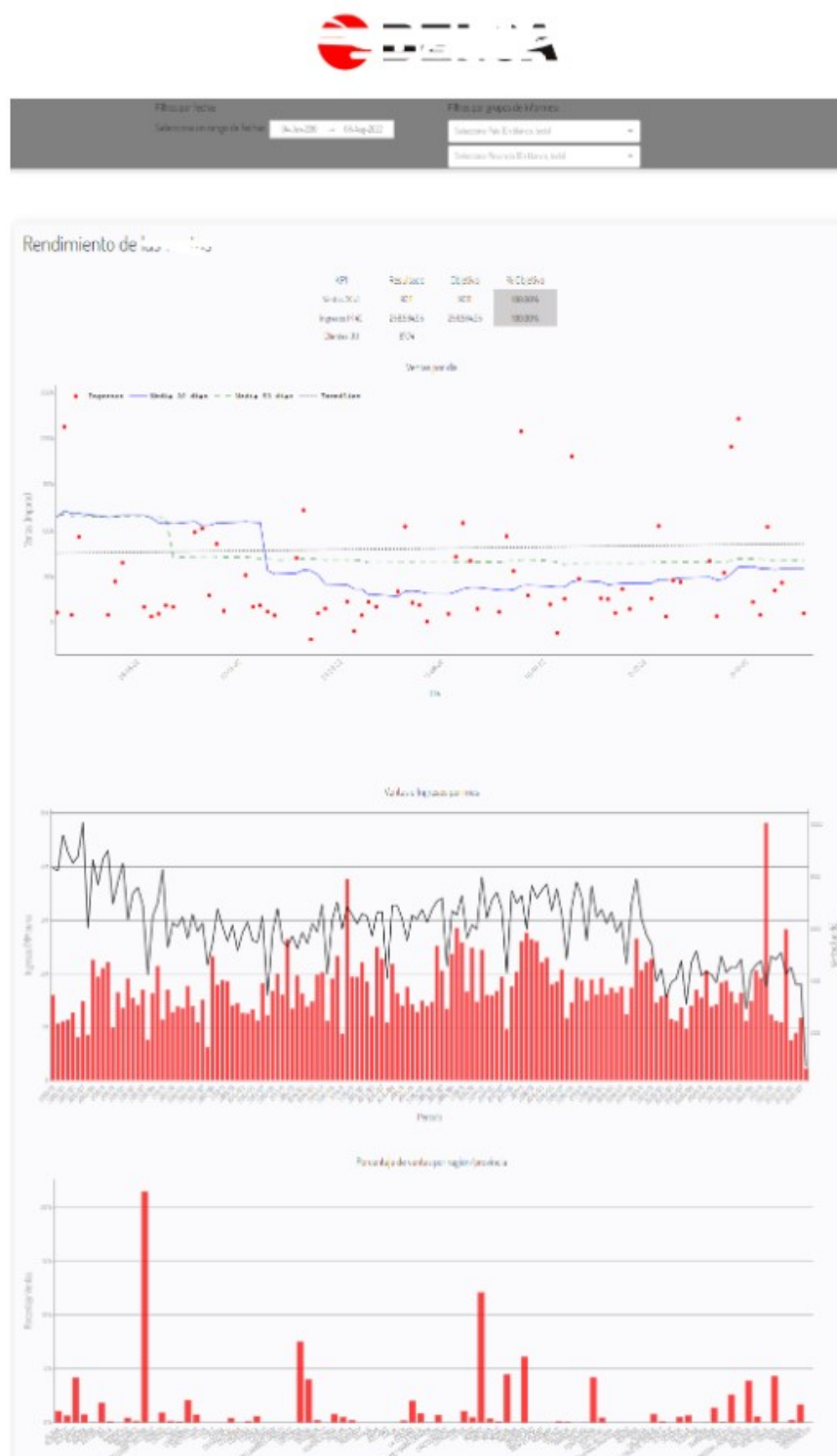


Figura 4.3: Modelo datos registrados por sensores.

Capítulo 5

Bibliografía

- Hashemian, H. M., & Bean, W. C. (2011). State-of-the-Art Predictive Maintenance Techniques*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 60(10), 3480–3492. doi:10.1109/TIM.2009.2036347
- Coanda, P., Avram, M., & Constantin, V. (2020). A state of the art of predictive maintenance techniques. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 997, 012039. doi:10.1088/1757-899X/997/1/012039
- Vij, A., Vijendra, S., Jain, A., Bajaj, S., Bassi, A., & Sharma, A. (2020). IoT and Machine Learning Approaches for Automation of Farm Irrigation System. Procedia Computer Science, 167, 1250–1257. doi:10.1016/j.procs.2020.03.440
- Las tecnologías de la Industria 4.0 mejoran la economía circular.. UPV/EHU. Recovered from <https://www.ehu.eus/es/-/industria-4-0-economia-circular>
- Mokhtari, S., Abbaspour, A., Yen, K. K., & Sargolzaei, A. (2021a). A Machine Learning Approach for Anomaly Detection in Industrial Control Systems Based on Measurement Data. Electronics, 10(4), 407. doi:10.3390/electronics10040407
- Olson, D., & Delen, D. (2008). Advanced Data Mining Techniques. doi:10.1007/978-3-540-76917-0
- Ghavami, P. K. (2019). Big data analytics methods: analytics techniques in data mining, deep learning and natural language processing. De Gruyter.
- Lee, J., Kao, H.-A., & Yang, S. (2014). Service Innovation and Smart Analytics for Industry 4.0 and Big Data Environment. Procedia CIRP, 16, 3–8. doi:10.1016/j.procir.2014.02.001

- Mongkolchaichana, S., Phruksaphanrat, B., & Panjavongroj, S. (2021). Prioritization of Sustainable Supply Chain Management Practices in an Automotive Elastomer Manufacturer in Thailand Sustainable supply chain management Multiple attribute decision making Logarithmic fuzzy preference programming Prioritization A case study. *Advances in Science Technology and Engineering Systems Journal*, 6, 1079–1090.
- Ji, C., Li, Y. U., Qiu, D., Jin, Y., Xu, Y., Awada, U., ... Qu, W. (2013). Big data processing: Big challenges. *Journal of Interconnection Networks*, 13. doi:10.1142/S0219265912500090
- Cachada, A., Barbosa, J., Leitño, P., Gcraldcs, C. A. S., Deusdado, L., Costa, J., ... Romero, L. (2018, September). Maintenance 4.0: Intelligent and Predictive Maintenance System Architecture. 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 1, 139–146. doi:10.1109/ETFA.2018.8502489
- Dieulle, L., Berenguer, C., Grall, A., & Roussignol, M. (2001, January). Continuous time predictive maintenance scheduling for a deteriorating system. *Annual Reliability and Maintainability Symposium. 2001 Proceedings. International Symposium on Product Quality and Integrity (Cat. No.01CH37179)*, 150–155. doi:10.1109/RAMS.2001.902458
- Curcurù, G., Galante, G., & Lombardo, A. (2010). A predictive maintenance policy with imperfect monitoring. *Reliability Engineering & System Safety*, 95(9), 989–997. doi:10.1016/j.res.2010.04.010
- Ullah, I., Yang, F., Khan, R., Liu, L., Yang, H., Gao, B., & Sun, K. (2017). Predictive Maintenance of Power Substation Equipment by Infrared Thermography Using a Machine-Learning Approach. *Energies*, 10(12), 1987. doi:10.3390/en10121987
- Bartodziej, C. J. (2017). The concept Industry 4.0. At C. J. Bartodziej (Ed.), *The Concept Industry 4.0: An Empirical Analysis of Technologies and Applications in Production Logistics* (pag. 27–50). doi:10.1007/978-3-658-16502-4_3
- Petrasch, R., & Hentschke, R. (2016). Process Modeling for Industry 4.0 Applications Towards an Industry 4.0 Process Modeling Language and Method. doi:10.1109/JCSSE.2016.7748885
- Park, C., Moon, D. H., Do, N., & Bae, S. (2016). A predictive maintenance approach based on real-time internal parameter monitoring. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 85. doi:10.1007/s00170-015-7981-6
- Coandă, P., Avram, M., & Constantin, V. (2020). A state of the art of predictive maintenance techniques. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 997(1), 012039. doi:10.1088/1757-899X/997/1/012039

- Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance - 1st Edition.. Recovered from <https://www.elsevier.com/books/practical-machinery-vibration-analysis-and-predictive-maintenance/scheffer/978-0-7506-6275-8>
- UNE-EN 13306:2018 Mantenimiento. Terminología del mantenimiento.. Recovered from <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0060338>
- N_industria-4-0-economia-circular - Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa - UPV/EHU. Recovered from https://www.ehu.eus/es/web/gipuzkoako-ingeniaritza-eskola/-/n_industria-4-0-economia-circular
- Bansal, S. (2021, November). Machine Predictive Maintenance Classification.
- Mokhtari, S., Abbaspour, A., Yen, K. K., & Sargolzaei, A. (2021b). A machine learning approach for anomaly detection in industrial control systems based on measurement data. Electronics (Basel), 10(4), 407.

Créditos/Copyright

Copyright © 2022 Oscar Rojo Martín.

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

Se concede permiso para copiar, distribuir y/o modificar este documento bajo los términos de la Licencia de Documentación Libre de GNU, Versión 1.3 o cualquier versión posterior publicada por la Fundación para el Software Libre; sin secciones invariables, sin textos de portada y sin textos de contraportada. Se incluye una copia de la licencia en la sección titulada "Licencia de Documentación Libre GNU".



GNU Free Documentation License.

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	Mantenimiento Predictivo
Nombre del autor:	Oscar Rojo Martín
Nombre del colaborador/a docente:	Lorena Polo Navarro
Nombre del PRA:	Antonio Lozano Bagén
Fecha de entrega (mm/aaaa):	01/2023
Titulación o programa:	Máster Ciencia de Datos
Área del Trabajo Final:	Área 4 - Data Science en el ámbito industrial
Idioma del trabajo:	Español
Palabras clave	Industria, Sensores, Predicción

Dedicatoria/Cita

Este trabajo se lo dedico a todos los empresarios que desde principios del siglo pasado han contribuido a este territorio a ser uno de los más importantes de España en materia de riqueza, educación y bienestar.

“La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo.”
- Nelsón Mandela (1918-2013)

Agradecimientos

Te elijo para ser mi esposa, para hacer la vida de la mano, codo con codo. Te elijo para amar, con todo mi ser, incondicionalmente. Te elijo al principio y al final de cada día. Y te elegiría en cien vidas, en cien mundos, en cualquier versión de la realidad que te encontrara, y te elegiría.

¡Gracias **Lei!**

Y como no, mis otras 3 chicas: ”**Arritxu, Emma y Maya**”

Abstract

The importance of industrial activity is one of the main characteristics of the economy of Gipuzkoa, a densely populated territory with a high level of economic and social development and a high level of income per capita. Industrial activity is highly specialized in sectors that work with metal, such as iron and steel, parts and components, metal products, capital goods, machine tools, and transport material. All these sectors have a wide range of machinery. This work aims at processing, visualizing, and generating a predictive model from the available multiple sensors. Machine Learning models will be applied and the results will be displayed in a Dashboard for consultation.

Keywords: Industry, Sensors, Prediction, Master Final Project

Resumen

La importancia de la actividad industrial es una de las características principales de la economía de Gipuzkoa, un territorio densamente poblado, con un alto nivel de desarrollo económico y social y un nivel de renta per capital. La actividad industrial se encuentra muy especializada en sectores que trabajan el metal, como son siderometalurgia, piezas y componentes, productos metálicos, bienes de equipo, máquina herramienta y material de transporte. Todos estos sectores cuentan con una amplia gama de maquinaria. Este trabajo está destinado a tratar, visualizar y generar un modelo predictivo provenientes de los múltiples sensores con los que cuentan actualmente. Se intentarán aplicar modelos de Machine Learning y los resultados se mostrarán en un Panel de Mandos para su consulta.

Palabras clave: Industria, Sensores, Predicción, Trabajo de Final de Máster

Índice de figuras

1.1. Detalle planificación TFM.	5
2.1. Análisis comparativo de las ventajas e inconvenientes del mantenimiento reactivo y proactivo.	9
2.2. Tabla resumen.	13
4.1. Pantalla inicial.	22
4.2. Modelo gráfico de datos registrados por los sensores.	22
4.3. Modelo datos registrados por sensores.	23

Índice de cuadros