

d



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Tecnologías habilitadoras para industria 4.0: prueba de concepto

Alumno: Matías Ezequiel Fardín Martí

Tutores: Elisabet Estévez Estévez

Alejandro Sánchez García

Dpto.: Ing. Electrónica y automática

Julio, 2022



Universidad de Jaén
Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Electronica y Automatica

Doña Elisabet Estévez Estévez y Don Alejandro Sánchez García , tutores del Proyecto Fin de Master titulado: Tecnologías habilitadoras para industria 4.0:prueba de concepto, que presenta Matías Ezequiel Farín Martí, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Julio de 2022

El alumno:

Los tutores:

Matías Ezequiel Fardín Martí

Elisabet Estévez
Estévez

Alejandro
Sánchez García

Índice

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ACRÓNIMOS.....	II
RESUMEN	III
ABSTRACT	III
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 MOTIVACIÓN	1
1.2 OBJETIVOS.....	1
1.3 ESTRUCTURA DE LA MEMORIA	2
2 INDUSTRIA 4.0.....	5
2.1 REVOLUCIONES INDUSTRIALES	5
2.2 FÁBRICAS INTELIGENTES.....	6
2.3 PROTOCOLOS DE COMUNICACIONES.....	7
2.3.1 MQTT.....	8
2.3.2 OPC-UA	9
2.3.3 MTProt.....	11
2.4 NODE RED	11
2.5 TECNOLOGÍAS HABILITADORAS.....	12
2.5.1 INTERNET DE LAS COSAS (IoT)	13
2.5.2 CLOUD COMPUTING.....	13
2.5.3 MACHINE LEARNING	13
2.5.4 CIBERSEGURIDAD	13
3 PLATAFORMA PROPUESTA	14
3.1 ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN	14
3.2 SENSOR IoT.....	15
3.3 TRABAJO EN LA NUBE	15
3.4 PLC.....	16
3.5 PLATAFORMA MES	16
3.5.1 CONTROL DE PEDIDOS	17
3.5.2 GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN.....	17
3.5.3 RENDIMIENTO Y ESTADO DE LA MAQUINARIA.....	18
3.5.4 GESTIÓN DE STOCK	18

3.5.5	<i>GESTIÓN DE USUARIOS Y ACCESOS</i>	18
3.6	PLATAFORMA CONCENTRADOR	18
3.6.1	<i>OPC-UA</i>	18
3.6.2	<i>MTPROT</i>	19
3.6.3	<i>SQL</i>	19
3.7	ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DATOS	19
3.7.1	<i>TABLA DE PEDIDOS</i>	20
3.7.2	<i>TABLA DE ESTADO</i>	20
3.7.3	<i>TABLA DE STOCK DE MATRERÍA PRIMA</i>	20
3.7.4	<i>TABLA DE PRODUCTO FINAL</i>	20
3.7.5	<i>TABLA DE PRODUCCIÓN</i>	20
4	EJEMPLO DE USO	21
4.1	ESTACIÓN DE PRODUCCIÓN	21
4.2	SENSOR IoT	21
4.3	TRABAJO EN LA NUBE	22
4.4	PLC	23
4.5	PLATAFORMA MES	23
4.5.1	<i>CONTROL DE PEDIDOS</i>	23
4.5.2	<i>GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN</i>	24
4.5.3	<i>RENDIMIENTO Y ESTADO DE LA MAQUINARIA</i>	25
4.5.4	<i>GESTIÓN DE STOCK</i>	27
4.5.5	<i>GESTIÓN DE USUARIOS Y ACCESOS</i>	28
4.6	PLATAFORMA CONCENTRADOR	29
4.6.1	<i>OPC-UA</i>	30
4.6.2	<i>MTPROT</i>	30
4.6.3	<i>SQL</i>	30
4.7	ALMACENAMIENTO Y GESTIÓN DATOS	31
4.7.1	<i>TABLA DE PEDIDOS</i>	31
4.7.2	<i>TABLA DE ESTADO MAQUINA</i>	31
4.7.3	<i>TABLA DE STOCK DE MATRERÍA PRIMA</i>	32
4.7.4	<i>TABLA DE PRODUCTO FINAL</i>	32
4.7.5	<i>TABLA DE PRODUCCIÓN</i>	32
5	CONCLUSIONES	33

Índice de figuras

Figura 1 Esquema de dispositivos y plataforma	3
Figura 2 Revoluciones industriales.....	5
Figura 3 Smart factory	6
Figura 4 Comunicaciones por MQTT	8
Figura 5 Comparativa entre OPC y OPC UA.....	9
Figura 6 Node red	12
Figura 7 Características de trabajar en la nube	15
Figura 8 Esquema trabajo en la nube.....	22
Figura 9 PLC IoT 2000 Siemens	23
Figura 10 Dashboard control de pedidos	24
Figura 11 Flujograma gestión producción.....	21
Figura 12 Dashborad estado máquina	21
Figura 13 Dashboard stock	21
Figura 14 Control de accesos	28
Figura 15 Flujograma accesos dashboard	29
Figura 16 Tabla pedidos.....	31
Figura 17 Tabla estado máquina.....	32

Acrónimos

Acrónimos	Descripción
OPC-UA	Open Platform Communications - Unified Architecture
IoT	Internet of Things
BBDD	Base de datos
MES	Manufacturing Execution System
MQTT	Message Queuing Telemetry System
PLC	Power Line Communications
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SQL	Structured Query Language
MTProt	Mobile Transport Protocol
IO	Input/Output
AMQP	Advanced Message Queuing Protocol
WAMP	Web Application Messaging Protocol
STOMP	Streaming Text Oriented Messaging Protocol
XMPP	Extensible Messaging and Presence Protocol
BIM	Building Information Modeling

Resumen

En este TFM se transformará una industria 3.0 automatizada y en funcionamiento a una industria 4.0 mediante cambios poco invasivos más aplicados a la conexión de dispositivos, transparencia de procesos y a la toma y gestión de datos.

Esta transformación se llevará a cabo con las instalaciones disponible en la universidad de Jaén, por lo que la industria 3.0 se simulará mediante una estación de laboratorio.

También sería necesario desarrollar una plataforma mediante node red, para realizar la gestión del sistema y la adición de sensores nuevos. Todo esto se explicará más adelante en los siguientes apartados.

La aplicación de este TFM es predominantemente práctica, por lo que no habrá un análisis teórico exhaustivo, si no, aplicaciones reales orientadas a una industria real.

Con este TFM, se espera poder explicar a futuros alumnos las aplicaciones de node red y OPC-UA, como tecnologías aplicadas a la industria 4.0.

Abstract

This TFM will transform an automated and functioning industry 3.0 to an industry 4.0 through less inclusive changes but applied to the connection of devices, transparency of processes and the collection and management of data.

This transformation will be carried out with the facilities available at the University of Jaén, so Industry 3.0 will be simulated by means of a laboratory station.

It would also be necessary to develop a platform through a node network, to manage the system and add new sensors. All this will be explained in the following sections.

The application of this TFM is predominantly practical, so there will not be an exhaustive theoretical analysis, but real applications oriented to a real industry.

With this TFM, it is expected to be able to explain to future students the applications of node network and OPC-UA, as technologies applied to Industry 4.0.

1 Introducción

En este primer apartado se pasará a explicar las distintas motivaciones que llevaron a la elaboración de este TFM, los objetivos que se plantean para la resolución del mismo y se explicará la estructura que va a seguir el proyecto.

Se comenzará explicando las motivaciones que llevaron al desarrollo de este proyecto.

1.1 Motivación

La motivación para la realización de este TFM reside en la implementación de tecnologías como las que se aplican en la industria 4.0 y las Smart Factory, utilizando la digitalización y tratamiento de datos para mejorar todos los procesos internos.

Esta motivación viene fundada por el gran crecimiento que existe en la actualidad en este sector, potenciado por la mejora continua, y otros procesos, que ayudan a la industria a evolucionar. Esta evolución es un ámbito muy importante en el sector industrial, a la vez que muy cotizado, por lo que la elaboración de este TFM, quiere demostrar que, aunque muchas empresas puedan pensar en las famosas frases *“Si funciona ¿para qué cambiar?”* y también *“¿Cuánto cuesta eso?”*, se quiere romper esa barrera del miedo o preocupación de los empresarios a la hora de desarrollar su industria y permitir el progreso, demostrando con un ejemplo práctico los buenos resultados que se pueden obtener.

Esto supone un gran reto a nivel de ingeniería, ya que, aunque los cambios a nivel económico puedan ser bajos, si conlleva un gran desarrollo e implementación por detrás, para conseguir llegar a ese nivel de evolución industrial.

A modo resumen, la motivación principal del TFM es el desarrollo tecnológico y la innovación industrial que busca conseguir una continua mejora y plantea un reto a nivel de ingeniería, aplicando las tecnologías habilitadoras que se conocen de la industria 4.0

1.2 Objetivos

El objetivo de este TFM es conseguir transformar una industria 3.0, ya automatizada y en funcionamiento, en una industria 4.0, mediante cambios poco inclusivos más aplicados a conexión de dispositivos, transparencia en procesos y a la toma y gestión de datos mediante nueva sensórica y diferentes protocolos de comunicación.

Para esto, se pretende desarrollar una plataforma para la gestión de toda la información, añadir sensores IoT nuevos y utilizar los protocolos de comunicación utilizados en la industria 4.0. Todo esto se debe conseguir aplicando tecnologías como Node red, protocolos de comunicaciones variados según el nivel de seguridad y conexión con la nube.

Este objetivo principal se puede fragmentar en pequeños objetivos o hitos a alcanzar, para poder distribuir en metas más fáciles de plantear y organizar. Estos hitos serían los siguientes:

- **Reconocimiento de instalaciones actuales y posibles mejores:** Es necesario conocer el alcance y las limitaciones de la instalación con la que se quiere trabajar, para poder centrarse en los puntos importantes a mejorar.
- **Adquisición y tratamiento de datos:** Existen muchísimos datos que no se trata u obtienen en las industrias 3.0. Esto supone un reto a nivel de comprensión de la utilidad de estos datos y su captación.
- **Aplicación de tecnológicas habilitadoras:** Existen muchas tecnológicas habilitadores para la industria 4.0, pero es necesario seleccionar las más adecuadas para cada caso.
- **Desarrollo de nuevas plataformas:** Uno de los puntos más complejos, ya que requiere un desarrollo totalmente nuevo para la industria a la que se va a aplicar.
- **Implementación del sistema planteado:** Es necesario poder integrar sin demasiado impacto todos los módulos nuevos y plataformas desarrolladas.
- **Obtención de resultados y evaluación:** Comprobar que los resultados obtenidos son los esperados y cumplen con las expectativas planteadas.

Con el cumplimiento de estos 6 hitos principales, se conseguirá alcanzar el objetivo principal del TFM, lo que se verá reflejado a lo largo de la memoria de una forma progresiva.

1.3 Estructura de la memoria

Para poder comprender mejor como se estructura este proyecto, se ha realizado la figura 1, con la intención de explicar mejor las comunicaciones y conexiones que se encuentran dentro de este proyecto.

A continuación de la imagen se explicará más en detalle cómo se introduce esta tecnología en la sociedad y las aplicaciones que se proponen para este proyecto.

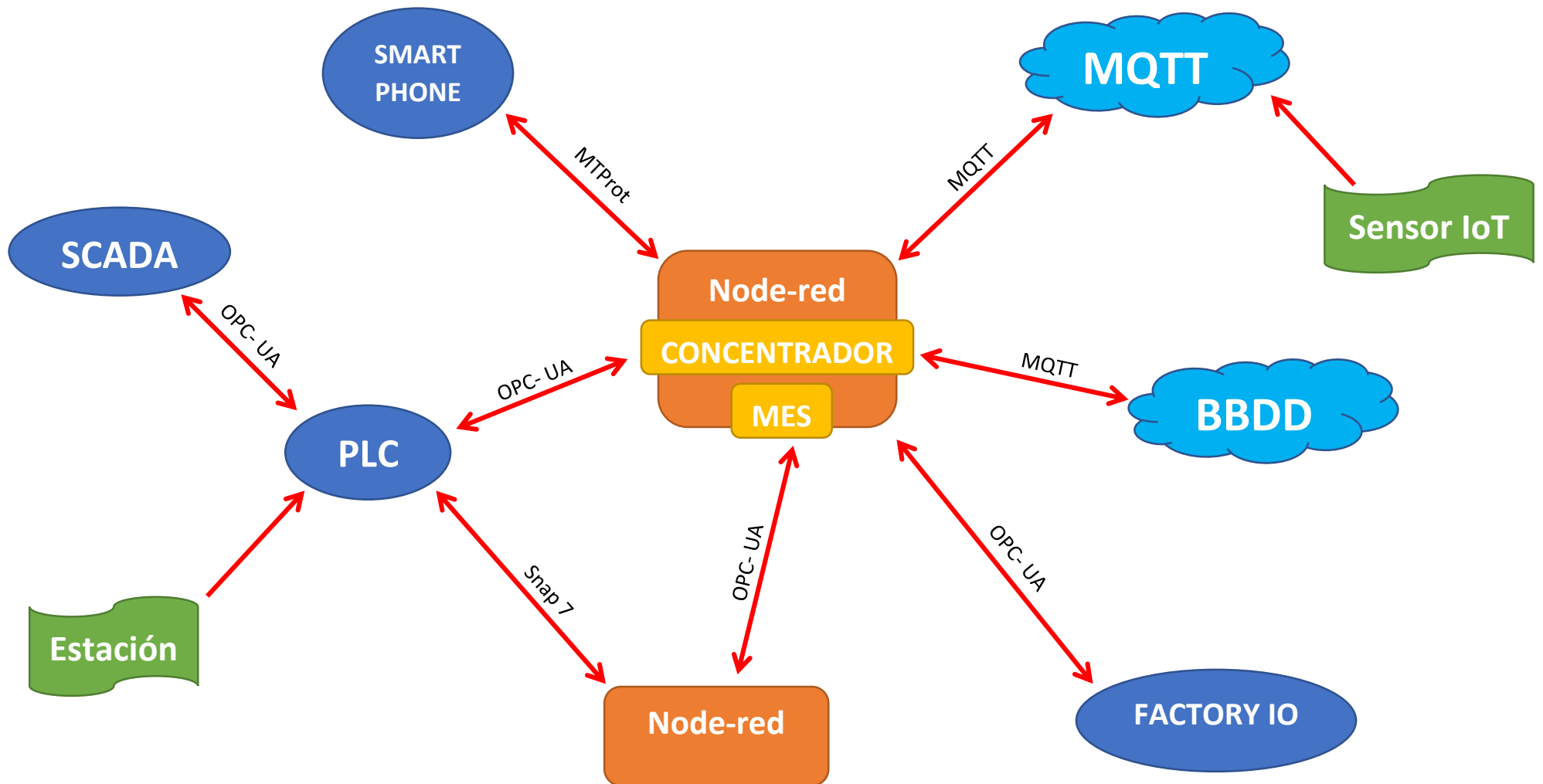


Figura 1. Esquema de dispositivos y plataformas

Como se puede observar en la figura 1, existen varios tipos de módulos intercomunicados entre sí. Aparecen módulos que representan los equipos de la industria 3.0 o equipos comunes que no son necesariamente aplicados a la industria 4.0 y otros módulos que representan el cerebro central del conjunto, albergando las nuevas plataformas desarrolladas en ellos.

Existe un módulo central, con el cual no se pretende representar un sistema centralizado, ya que esto podría generar un problema en el desarrollo, lo que realmente se quiere representar con este módulo central, es como toda la información nueva obtenida mediante la adquisición de datos y toda la gestión de procesos, pasa por esta plataforma, la cual equivaldría al cerebro de este sistema.

Exteriormente aparecen otros módulos más sencillos como pueden ser las comunicaciones con la nube, comunicaciones con dispositivos tanto inteligentes como no inteligentes y otras aplicaciones útiles para el desarrollo de este proyecto.

Esta figura será referenciada más adelante, para explicar más en detalle cada uno de los módulos que se pueden ver y su aplicación real dentro de este proyecto, el cual se estructura en base a los siguientes apartados:

2.Industria 4.0: Repaso informativo de los conocimientos previos necesarios para poder comprender el alcance y el desarrollo de este proyecto

3.Plataforma propuesta: En este apartado se explicará más en detalle las diferentes partes de la Figura 1 que componen este proyecto.

4.Ejemplo de uso: Un apartado similar al anterior, donde se pretende explicar el caso real de estudio utilizado para el desarrollo de los módulos de la Figura 1.

5.Conclusiones: Un apartado resumen de los resultados obtenidos, donde se ve el cumplimiento de los hitos propuestos y el objetivo final, indicando algunos ejemplos de expansión del mismo proyecto

6.Anexos: Un apartado con Anexos informativos de diferentes puntos en los que no se quiere profundizar en los apartados anteriores.

2 Industria 4.0

Para poder comprender correctamente todos los aspectos de este proyecto, es necesario conocer previamente los conceptos teóricos, tecnologías y protocolos aplicados en los siguientes apartados, por lo que se hará referencia a ellos dando una explicación sencilla de los aspectos más importantes a destacar para la ejecución de este TFM.

2.1 Revoluciones Industriales

El concepto de revolución industrial aparece en el siglo XVIII con la primera revolución industrial, esta revolución inicia con la aparición de las máquinas de vapor. Con el descubrimiento de la electricidad y el concepto de línea de montaje pasamos a la segunda revolución industrial en el siglo XIX. Tras estas dos grandes revoluciones, aparece la tecnología de controladores en el siglo XX, lo que provoca la tercera revolución industrial.

Con la generación, recolección y gestión de datos de los procesos que ya se utilizaban en la tercera revolución industrial y la comunicación entre las máquinas para generar procesos autónomos, surge la cuarta revolución industrial.

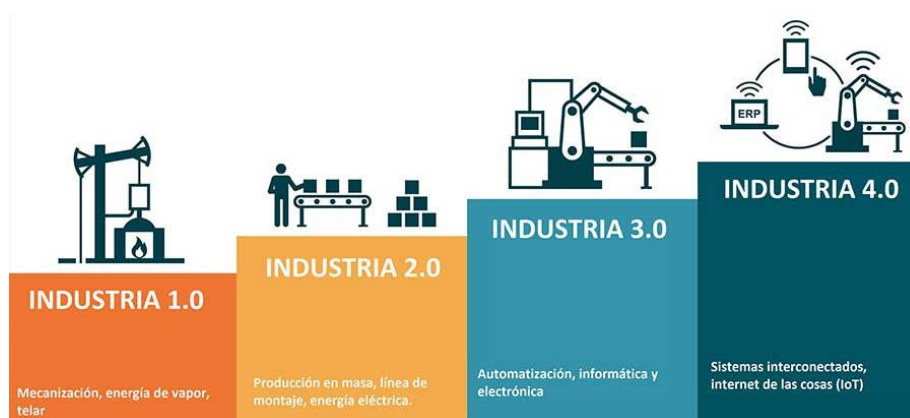


Figura 2. Revoluciones industriales

Este cambio representa un gran avance en la tecnología, ya que permite una mayor autonomía en los procesos y una gran optimización de los mismo, gracias a todos los datos que se obtienen.

En la actualidad existe una convivencia entre la industria 3.0 y la 4.0, ya que el proceso de actualización de la industria requiere una inversión económica y tecnológica que no todas las empresas quieren afrontar, aunque cada vez más se tiende a actualizar los sistemas.

2.2 Fábricas Inteligentes

Gracias a esta cuarta revolución industrial, aparecen las fábricas inteligentes, o lo que se conoce como Smart Factory, que sería una fábrica que se encuentra a un alto nivel de comunicaciones y digitalización.

Al aplicar IoT en las fábricas convencionales, se es capaz de obtener, almacenar y analizar un gran volumen de datos obtenidos de los procesos actuales, lo que permite mejorar notablemente todos los procesos de la fábrica, consiguiendo reducir al mínimo posible tanto los costes de producción como los tiempos. Esto sería uno de los grandes puntos que se pretenden ver en este proyecto y una de las grandes ventajas de las Smart Factory.

Otro de los grandes beneficios de estas Smart Factory es que consiguen reducir en gran medida la intervención humana. Con esto se consigue una autonomía mucho mayor y la posibilidad de adaptarse a los cambios en tiempo real, ya que se observa que cuanto mayor intervención humana existe, más complejidad aparece para realizar cambios en tiempo real. Este gran beneficio también se aplica al proyecto en cuestión, donde de manera más simple que en una Smart Factory, también se verá la reducción de la dependencia humana en las tareas de decisión en la fabricación, lo que permite una gran autonomía del proyecto desarrollado y una mayor versatilidad que si tuviéramos que depender de la toma de decisiones humana. Es necesario aclarar que se pretende reducir la intervención humana, pero no se pretende eliminarla al 100%, ya que siempre será necesario algún personal cualificado, capaz de responder en casos puntuales, con esto se desmiente el mito de que las maquinas quitan el trabajo a las personas, si no que realmente generan nuevas necesidades en el mundo laboral.

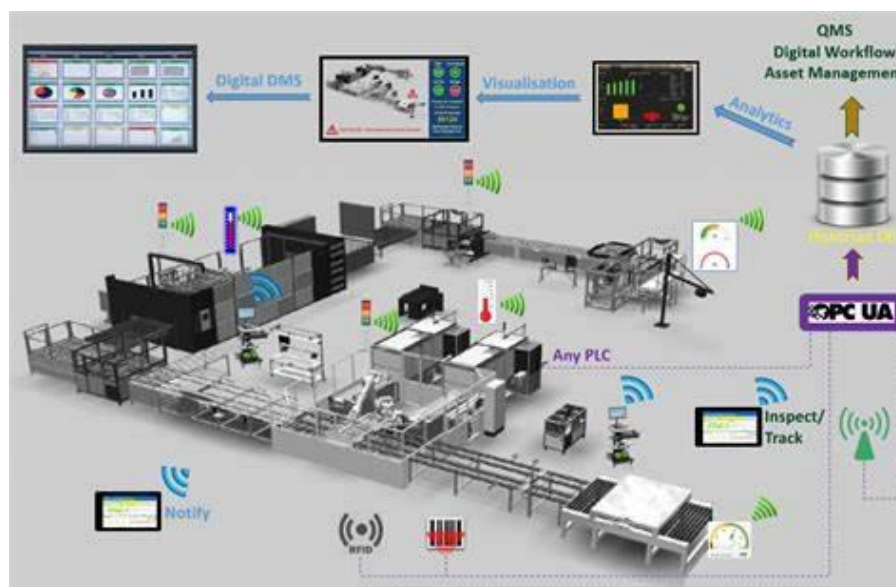


Figura 3. Smart Factory

Para resumir un poco el punto de las Smart Factory, se mencionarán algunas de las ventajas principales que se pretenden reflejar en este proyecto, las cuales son las siguientes:

- Conexión entre elementos físicos y digitales.
- Optimización de todos los recursos.

- Almacenamiento de datos más fiables.
- Flujo bidireccional de los datos entre todos los elementos.
- Rapidez de reacción y gran flexibilidad al ocurrir un imprevisto.

Con los conceptos de las revoluciones industriales y las fábricas inteligentes, se puede comenzar a comprender mejor el alcance del proyecto. La Figura 1 muestra sensorica IoT que es uno de los pilares de la adquisición de datos para poder tener una gestión más autónoma. También tenemos comunicaciones con la nube, lo que suele ser imprescindible en cualquier fabrica inteligente.

Es necesario mencionar que toda fábrica inteligente requiere de una plataforma central o cerebro que se encargue de la gestión de la producción y reduzca el factor humano, en el caso específico de este proyecto, esto se vería en el módulo central de la Figura 1.

Por último, pero no menos importante, se puede observar la densa red de comunicaciones bidireccionales entre los diferentes módulos. En conjunto, todos los puntos mencionados cumplen con el concepto de fabrica inteligente, aunque de un modo más simplificado al tratarse de un TFM.

2.3 Protocolos de comunicaciones

Muchos son los protocolos de comunicaciones que existen y se aplican en las industrias dependiendo del objetivo que se pretenda conseguir, algunos ejemplos de dichos protocolos son:

- **MQTT:** Es un protocolo de red de poco peso, del tipo publicación-suscripción, máquina a máquina.
- **AMQP:** Protocolo de estándar. Las características que definen al protocolo AMQP son la orientación a mensajes, exactitud y seguridad.
- **WAMP:** Protocolo que proporciona un estándar abierto para el intercambio de mensajes en tiempo real entre los componentes de la aplicación y facilitar la creación de arquitecturas ligeramente acopladas basadas en microservicios.
- **STOMP:** Protocolo de transferencia de mensajes de texto simple, diseñado para trabajar con middlewares orientados a mensajes.
- **XMPP:** Protocolo abierto y extensible basado en XML, originalmente ideado para mensajería instantánea.

Los protocolos mencionados anteriormente son muy comunes en las industrias 4.0, aunque en nuestro caso en particular, se tomara como ejemplos MQTT como protocolo IoT, OPC-UA como protocolo ciberseguro y MTProt como protocolo con dispositivos cotidianos.

Estos protocolos se ven reflejados en la Figura 1 mediante las flechas que unen los diferentes módulos.

En los próximos apartados se dará una introducción a estos protocolos mencionados, donde se podrá comprender mejor las características principales de cada uno de ellos y el motivo de la elección de estos respecto a otros.

2.3.1 MQTT

Como primer protocolo de comunicaciones tenemos uno de los más comunes, que es MQTT. Este protocolo es del tipo publicación-suscripción máquina a máquina y hay que indicar que, aunque se trata de un protocolo comúnmente utilizado, no posee la misma seguridad que otros protocolos, aunque es ideal para conexiones con poco ancho de banda o dispositivos con pocos recursos.

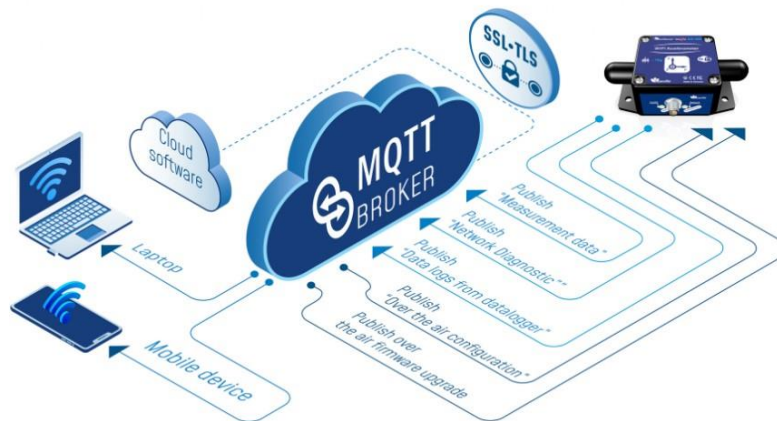


Figura 4. Comunicaciones por MQTT

La forma de trabajar de este protocolo es tener un servidor, que normalmente se encuentra en la nube, donde se almacena la información, y un cliente, el cual puede tanto publicar información en los diferentes topic que existan en el servidor como suscribirse a un topic para obtener la información. Un ejemplo de ello podría ser un sensor de temperatura que se encuentra constantemente publicando una temperatura sobre un topic definido en el servidor, y otro cliente que puede ser un PC, está mostrando ese valor de temperatura en nuestras casas.

En el caso de la Figura 1, se puede ver la aparición de este protocolo uniendo los nodos que trabajan en la nube, con los nodos de node red, ya que como se mencionó antes, es un protocolo muy útil para la publicación de datos que no requieran un nivel de ciberseguridad alto y en equipos que posean poco ancho de banda.

Dentro de las opciones de broker MQTT, existen un gran número de ellos, con diferentes características, para poder seleccionar el mejor en función de las características necesarias para cada proyecto.

Algunos de los brokers más utilizados del tipo open source son los siguientes:

- **Mosquitto:** Broker MQTT más conocido en el sector doméstico. Es Open Source desarrollado por la fundación Eclipse. Está programado en C, y es multiplataforma. Es ligero y adecuado para uso en servidores de baja potencia.
- **Mosca:** Es Open Source para Node.js, desarrollado en Javascript. Puede ser empleado como aplicación independiente o embebido en cualquier proyecto de Node.js.

- **Aedes:** Servidor broker MQTT Open Source para Node.js diseñado para ser un reemplazo de Mosca.
- **HBMQTT:** Broker MQTT Open Source escrito en Python que funciona sobre asyncio.
- **EMQTT:** Servidor Open Source, desarrollado en Erlang/OTP, está diseñado para aplicaciones con grandes exigencias en escalabilidad.
- **RabbitMQ:** Broker popular de mensajería AMQP Open Source, que también permite emplear el protocolo MQTT a través de un adaptador.
- **HiveMQ CE:** Broker Open Source basado en Java.
- **ActiveMQ:** Broker de mensajería JMS (Java Message Script) Open Source desarrollado por Apache.
- **Moquette:** Broker MQTT Open Source escrito en Java desarrollado por Eclipse, que destaca por su ligereza.
- **MQTTnet:** Un broker Open Source para .NET.

2.3.2 OPC-UA

OPC-UA es un protocolo muy utilizado en la industria que se ha vuelto muy famoso por su seguridad y la compatibilidad con los distintos sistemas. Este protocolo surge para unificar el anterior protocolo OPC

La gran diferencia que existe entre OPC y OPC-UA es lo que reflejan esas dos últimas siglas UA (Unified architecture)

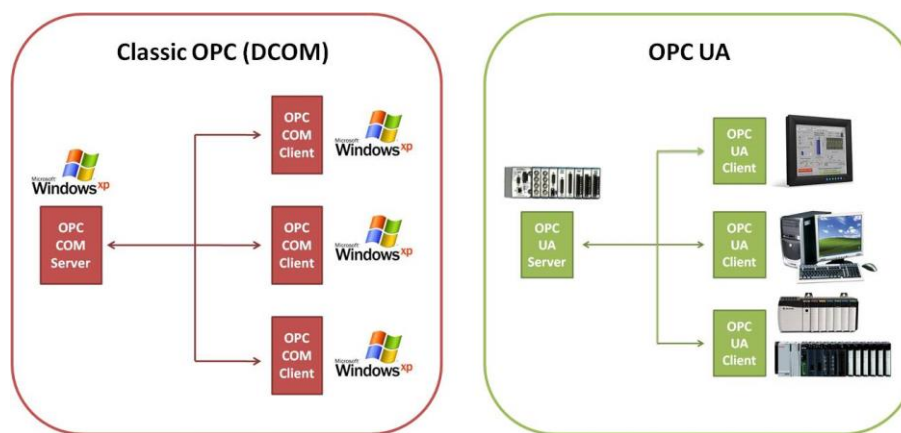


Figura 5. Comparativa entre OPC y OPC UA

El objetivo principal de este protocolo es mejorar la interoperabilidad entre los diferentes tipos de hardware y software que existen para la automatización y conseguir una convergencia entre tecnologías diferentes.

Su predecesor OPC, solo permitía la comunicación servidor cliente entre dispositivos de similares características (equipos con Windows), mientras que OPC-UA permite un abanico mucho más amplio de comunicaciones, al no estar limitado por el tipo de dispositivo al que se aplique, al utilizar una arquitectura unificada. Con esta arquitectura unificada, se puede utilizar en dispositivos con diferentes sistemas operativos y hasta dentro de quipos como son PLC, que con su predecesor no era posible, ya que solo permitía su utilización en máquinas.

Además de la posibilidad de conectar diferentes tipos de dispositivos, como se comenta anteriormente, otra diferencia importante entre OPC UA y su predecesor OPC sería su nivel de ciberseguridad, ya que OPC UA permite el cifrado de datos en su origen, con lo que garantiza unas comunicaciones ciberseguras, a diferencia de otros protocolos, que dependen del cortafuegos que se utilice y el cual no cifra las comunicaciones hasta pasar por él.

Este protocolo de comunicaciones presenta una arquitectura orientada a servicios basada en SOA, por lo que tendríamos servidores y clientes.

Este tipo de protocolo presenta una serie de ventajas las cuales hacen de este uno de los protocolos estrella para las comunicaciones industriales, algunas de estas ventajas respecto a otros protocolos de comunicación son las siguientes:

- **Escalabilidad:** Escalable e independiente de la plataforma. Se puede admitir en servidores de gama alta y en sensores de gama baja. Utiliza perfiles detectables para incluir pequeñas plataformas integradas como servidores en un sistema OPC UA.
- **Un espacio de direcciones flexible:** Se organiza en torno al concepto de un objeto. Los objetos son entidades que constan de variables y métodos que proporcionan una forma estándar para que los servidores transfieran información a los clientes.
- **Codificaciones y transportes:** Se utilizan transportes y codificaciones estándar para garantizar que la conectividad se pueda lograr fácilmente tanto en el entorno integrado como en el empresarial.
- **Seguridad:** Sofisticado modelo de seguridad que garantiza la autenticación de clientes y servidores, la autenticación de usuarios y la integridad de su comunicación.
- **Interoperabilidad certificada:** Se certifican los perfiles de modo para que se pueda garantizar la conectividad entre un cliente y un servidor utilizando un perfil definido.
- **Modelo de información:** Se diseñado para conectar objetos de tal manera que la verdadera información pueda ser compartida entre clientes y servidores.
- **Sofisticada gestión de alarmas y eventos:** Proporciona un mecanismo altamente configurable para proporcionar alarmas y notificaciones de eventos a los clientes interesados.

No existe un servidor OPC UA estándar. Gracias a su gran adaptabilidad, se puede generar un servidor en casi cualquier dispositivo. Algunos servidores pueden alojar solo un par de datos y otros pueden tener miles. También existe la posibilidad de regular entre el nivel de seguridad y el rendimiento de los mismo. Estos servidores pueden ser totalmente configurables, o tener unas características fijas que no se pueden modificar, en función de la aplicación.

2.3.3 MTProt

Por último, aparece MTProt un protocolo que no está directamente relacionado con la industria 4.0, pero que es muy utilizado en el mundo laboral, y puede ser muy útil para mejorar la comunicación con dispositivos comunes que cualquier persona puede tener. Es un protocolo de comunicaciones utilizado por la aplicación Telegram que puede ser utilizada en cualquier dispositivo tipo Smart phone o similar.

Hay que tener en cuenta, que, aunque es un protocolo ciberseguro, no estaría al mismo nivel que OPC UA, ya que es un protocolo de encriptación utilizado en aplicaciones de mensajería móvil. Este protocolo encripta los mensajes antes de ser enviados y los desencripta al ser recibidos, lo que asegura que, aunque el mensaje sea interceptado, no se tendrá acceso a la información.

Algunas de las características más relevantes de este protocolo serían las siguientes:

- **Sistema de Bots:** Se pueden configurar Bots personalizados, o hacer referencia a Bots existentes para recibir respuestas automáticas.
- **Uso de comandos:** Con la utilización de los Bots, se pueden configurar comandos para realizar acciones en función de su configuración, ya sea enviar un mensaje, o una señal a otro dispositivo.
- **Administración de grupos:** Como otros protocolos de comunicación aplicados a mensajería, permite la gestión de grupos. A estos grupos, se puede sumar la interacción con Bots para la obtención de datos estadísticos.

Estas características, hacen de MTProt un protocolo muy útil en el ámbito laboral, gracias a su capacidad de adquisición de datos, gestión automática mediante Bots y su posibilidad de recibir tanto mensajes como comandos.

Estos serían los protocolos de comunicación utilizados en la Figura 1.

2.4 NODE RED

Node red es la plataforma principal en la que se basa este proyecto y el motivo de ello es que proporciona una abstracción de los protocolos de comunicación, lo que permite trabajar con esta herramienta a cualquier persona sin necesidad de tener un nivel de conocimientos de estos demasiado alto. El otro punto principal es que además de permite abstraerse de softwares de pago por licencia comerciales, al tratarse de una plataforma open source.

Node red es una herramienta de desarrollo open source que, a diferencia de otras herramientas, utiliza una programación visual mediante nodos predefinidos para conectar diferentes tipos de dispositivos.

Gracias a esta programación visual mediante nodos, se consigue un aprendizaje rápido. Posee una gran cantidad de nodos, los cuales reducen la necesidad de conocimientos de programación al mínimo.

La forma de programación de node red consiste en una combinación de nodos los cuales permiten editar su código en caso de ser necesario, o simplemente indicar valores de entrada y salida. Estas conexiones se separan dentro de la aplicación de node red mediante las pestañas, también conocidas como “Flow”.

Gracias a ser una tecnología open source, permite a cualquier usuario programar un nodo para que el resto de la comunidad pueda utilizarlo, existiendo una gran cantidad de nodos que se pueden utilizar, como por ejemplo nodos de protocolos de comunicación, operaciones lógicas, conexiones con plataformas web y muchas más funciones.

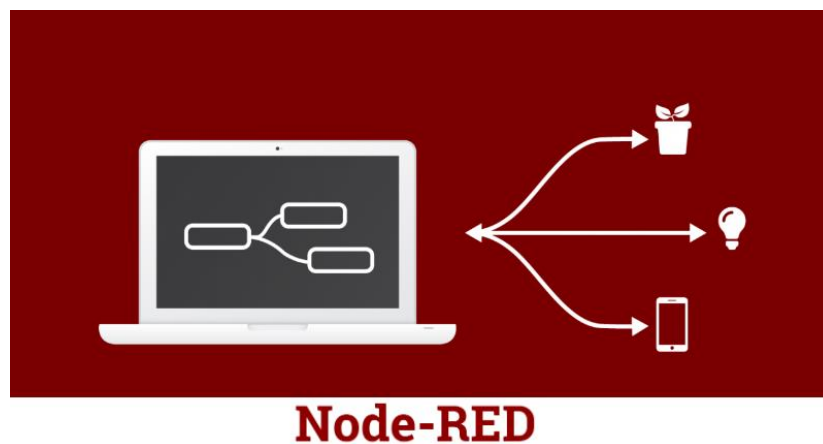


Figura 6. Node red

Esta herramienta está basada en Node.js por lo que permite ser instalada en casi cualquier equipo con un nivel de computación bajo, proporcionando una potencia suficiente y escalable en función de las capacidades del dispositivo en el cual se instale. Algunos ejemplos de dispositivos validos serian un ordenador doméstico, un PLC (algunos modelos), la nube y otra serie de dispositivos computacionales.

Con las grandes utilidades que tiene Node red, se pueden implementar muchas plataformas de desarrollo personalizado y aplicados a cada situación en particular, permitiendo una adaptabilidad y versatilidad necesarias en cada situación.

2.5 Tecnologías habilitadoras

Dentro de la industria 4.0, podemos encontrar varias tecnologías habilitadoras, las cuales permiten evolucionar a un nuevo nivel de desarrollo. A continuación, se mencionan estas tecnológicas:

- Cloud computing
- Fabricación aditiva

- Internet de las cosas (IoT)
- Inteligencia artificial, big data y analítica
- Robótica colaborativa
- Realidad aumentada y virtual
- Simulación BIM
- Ciberseguridad
- Blockchain
- Transformación digital inteligente

De todas estas tecnologías, las utilizadas en este proyecto son IoT, Cloud computing, Machine learning y Ciberseguridad.

2.5.1 INTERNET DE LAS COSAS (IoT)

Con esta nueva tecnología, se puede obtener muchos más datos, al añadir más sensores y comunicaciones a la maquinaria, lo que contribuye a esa adquisición de datos anteriormente comentada.

2.5.2 CLOUD COMPUTING

Debido al gran volumen de datos obtenidos por los dispositivos IoT, se requiere una gran potencia de computación para poder gestionar estos datos, además de un espacio suficiente para poder almacenarlos, es por esto que la computación en la nube es uno de los elementos principales de la industria 4.0.

2.5.3 MACHINE LEARNING

Para el correcto aprovechamiento de los datos obtenidos, es necesario aplicar la tecnología de Machine learning, ya que esta tecnología nos permitirá progresar y optimizar los procesos de fabricación en función de esos datos obtenidos.

2.5.4 CIBERSEGURIDAD

Para cualquier empresa con un gran volumen de datos y conexiones externas como pueden ser a la nube o a servidores fuera de sus instalaciones, el factor de la ciberseguridad es muy importante, ya que, con este modelo de comunicación y gestión de datos, la información de las empresas se podría ver expuesta si no se gestiona correctamente.

3 Plataforma propuesta

Con todos los conocimientos mínimos teóricos explicados en el apartado anterior, necesarios para comprender el alcance de este TFM, se pasará a explicar la plataforma propuesta para el cumplimiento de los objetivos marcados en el apartado 1.1 Objetivos.

En este apartado se explicarán los siguientes puntos:

- **Estación de producción:** Sistema que se encarga de realizar la producción.
- **Sensor IoT:** Sensorica que proporcionan información adicional y necesaria para la fábrica inteligente.
- **Cloud computing:** Trabajo realizado en la nube.
- **PLC:** Controlador lógico programable que gestiona la producción.
- **Plataforma MES:** Plataforma de gestión de la producción y derivados.
- **Plataforma Concentrador:** Plataforma de adquisición de datos y conversión.
- **Almacenamiento y gestión de datos:** Método de almacenamiento y tratamiento que se hace de los datos.

3.1 Estación de producción

Para poder trabajar sobre una industria 3.0, es necesario tener los requisitos mínimos por los cuales se entiende una industria 3.0, que es una línea de producción con un cierto nivel de automatización. En nuestro caso, haciendo referencia a la Figura 1, se tendría el módulo de estación, el cual sería nuestra cadena de producción automatizada.

Para el caso de este TFM, se considera que ya existe una cadena de producción totalmente funcional y sin errores, la cual tienen una dependencia normal del recuso humano, como cualquier industria 3.0, funcionando mediante la lógica programada en un PLC.

Se supone que esta cadena de producción tiene la capacidad de adaptación a la fabricación de diferentes productos, pero de base, no tiene la capacidad de gestión autónoma de la producción, o de cambio ante cualquier incidencia, por lo que requiere del factor humano para actuación en caso de cualquier incidente.

Partiendo de esta situación definida, se añaden comunicaciones y sensores para la obtención de información relevante del estado de la maquinaria, para poder adaptar la producción en función de cualquier inconveniente externo que pueda ocurrir sobre la maquinaria, como podría ser el fallo de una de ellas, productos atascados en la cadena, etc.

Con la comprensión completa de la cadena de producción (virtudes y defectos), conseguimos entender mejor los puntos necesarios a reforzar para poder llegar a la industria 4.0 y así cumplir el hito 1 del aparatado de objetivos

3.2 Sensor IoT

Como se comentó en el apartado anterior, es necesario añadir sensores IoT que permitan el control del estado de la producción y la maquinaria. Mediante estos sensores se obtienen una nueva información, que, aunque es posible que se estuviera obteniendo anteriormente de otra manera, con este dispositivo se asegura tener un control sobre dichos datos recabados.

En el caso concreto de este proyecto, por dar un ejemplo de utilización de sensor IoT, se pretendió controlar la presión neumática del sistema mediante un sensor de presión, para poder asegurar que la maquinaria podría funcionar correctamente.

Este sensor se comunicará con un servidor en la nube mediante MQTT para transmitir esta información y poder aplicar los datos de presión a la producción. Con esto se consigue parar la fabricación en caso de encontrar sobrepresión o falta de ella. Gracias a esto, se es consiente de unos datos los cuales, pueden afectar gravemente al proceso de producción. lo que conlleva cumplir el hito 2 del apartado de objetivos.

3.3 Trabajo en la nube

El trabajar en la nube es una práctica actualmente muy extendida, ya que facilita el almacenamiento de los datos, la organización y la forma de compartirlos. Esto se podría traducir a que no es necesario tener físicamente un dispositivo con algún tipo de aplicación instalada que se encargue de estas tareas. Para estas comunicaciones se utiliza lenguaje SQL.

Algunas de las ventajas de trabajar en la nube son las siguientes:

- Mejora la comunicación y organización interna y externa de la empresa.
- Permite trabajar a varias personas simultáneamente.
- La reducción de costes, ya que no se requieren licencias o equipos físicos, además de permitir pagar solo por las aplicaciones a utilizar.
- Sincronización de los datos, lo que quiere reflejar unos datos constantemente actualizados.
- Seguridad de almacenamiento de datos, ya que no elimina la necesidad de mantenimientos o copias de seguridad.

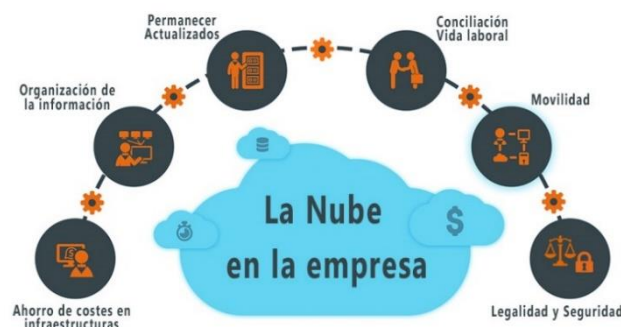


Figura 7. Características de trabajar en la nube

También sería necesario añadir que, con la situación de pandemia que se ha tenido debido al COVID, el trabajar en la nube ha sido necesario para poder desempeñar correctamente el teletrabajo.

En el caso de la plataforma propuesta, el trabajo en la nube consiste en el almacenamiento de los datos obtenidos, tanto por el nuevo sensor, como por la misma producción. De esta forma se consigue una gestión mucho más rápida y accesible que si trabajáramos en un servidor local.

Dentro de la aplicación del trabajo en la nube, se encuentran dos servidores. Un primer servidor que será el encargado de almacenar todos los datos que el MES necesita para trabajar, y otro servidor que será el utilizado para almacenar los datos externos a la producción, los cuales son útiles para conocer el estado de la maquinaria.

En referencia al primer servidor en la nube, se tiene que plantear una base de datos para poder almacenar toda la información obtenida por la producción para poder ordenarlos correctamente y utilizarlos en la gestión de la misma, ya que, si no, no se estarían cumpliendo con los estándares de la industria 4.0.

Con esta aplicación, el uso de protocolos ciberseguros y otras aplicaciones, se cumpliría el hito 3 del apartado de objetivos.

3.4 PLC

Para permitir el control de la cadena de producción, es necesario tener un controlador programable que se encargue de dar las órdenes a los actuadores en función de los inputs recibidos. En el caso particular del proyecto, el PLC será programado, como parte de los conocimientos aplicados en su desarrollo, aunque se puede suponer programado de base, ya que el caso del que se parte es una industria 3.0, es decir una cadena con ya automatizada.

El PLC se encarga de enviar señales eléctricas a las actuadoras de la cadena de producción, para conseguir un funcionamiento u otro, en función del estado en el que se encuentre y la acción que se quiera realizar.

Estos dispositivos también disponen de módulos de entrada, los cuales reciben mediante señal cableada el estado de los diferentes sensores utilizados en la cadena.

3.5 Plataforma MES

La plataforma MES es una plataforma desarrollada desde cero para el caso concreto de este proyecto. Esta plataforma es el cerebro de toda la gestión, lo que no significa que todo esto se concentre en un solo dispositivo o una sola localización, ya que puede estar distribuido en diferentes equipos y diferentes localizaciones gracias a su facilidad de comunicación

El funcionamiento concreto de este equipo sería el siguiente:

- Recibe una orden de pedido, ya sea de cliente o interna.
- Transforma todos los datos obtenidos al formato específico de este proyecto.
- Comunicar esa orden con la base de datos para su almacenamiento.
- En función de los datos de la base de datos, organiza una nueva lista de producción, la cual se gestionará agrupando los pedidos del mismo tipo y urgencia, para después ordenarla por prioridades.
- Cuando ha terminado de ordenar por prioridades, envía esa información a otra tabla dentro de la base de datos y también indica al PLC que producto tiene que fabricar.
- Por último, se encarga de gestionar los pedidos resultantes para volver a almacenar los datos en la base de datos.

Este proceso mencionado anteriormente es como gestionaría el sistema MES la producción, aunque ésta no es la única función de este sistema, también se encarga de la gestión de usuarios y accesos.

Este sistema es el que se encarga de realizar la traducción entre protocolos y lenguajes de comunicación, ya que recibe y envía información por 3 métodos diferentes:

- OPC-UA
- SQL
- MTProt

Como se puede ver en la Figura 1.

Las funciones que anteriormente se comentan se pueden resumir en el siguiente apartado.

3.5.1 CONTROL DE PEDIDOS

Mediante la información de pedidos que se introduce en el sistema, esta parte de la plataforma MES es capaz de gestionar y almacenar la información relativa a cada pedido, para su siguiente tratamiento en producción cuando sea necesario.

Con este sub apartado del MES, se consigue un control total de la previsión de la producción esperada y se facilita la visualización de esta información.

3.5.2 GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Con la lista de pedidos almacenados, se ordena por prioridad, siendo la prioridad más alta la del mismo día y decrementando en función de los días de margen que existen hasta la fecha de finalización.

Esta parte comprueba si existe un producto duplicado con la misma prioridad, aunque sea de clientes diferentes y para ahorrar tiempos por cambio de producto, se hacen en continuo. En caso de no coincidir el tipo de producto, se ordenan primeramente por la prioridad seleccionada.

3.5.3 RENDIMIENTO Y ESTADO DE LA MAQUINARIA

Este rendimiento se calcula en función del tiempo en producción de la maquinaria, en comparación con el tiempo total. Este tiempo de producción se puede ver interrumpido por varios motivos como lo son alarmas de presión, parada de emergencia por operario (seta de emergencia) o parada por fin de producción.

También existen indicadores de estado de la maquinaria, los cuales notifican mediante señales luminosas, señales sonoras y mensajes emergentes el cambio de estado de la maquinaria.

3.5.4 GESTIÓN DE STOCK

Con este subapartado, se puede tener un control del stock de materia prima de la que se dispone, para poder ajustar la producción en función del stock real.

También presenta una opción de seleccionar reposición de materia prima de forma automática o manual, permitiendo al sistema realizar un pedido de compra de materia prima en caso de llegar al stock mínimo, o de hacer el pedido de forma manual.

3.5.5 GESTIÓN DE USUARIOS Y ACCESOS

Este subapartado es el que permite los diferentes accesos a la información y permisos de edición que existen sobre la información que se gestiona en los apartados anteriores.

Con esto, se pretende limitar los accesos a información o edición de la misma a personal no autorizado para ello.

3.6 Plataforma Concentrador

La plataforma del concentrador es la segunda plataforma más grande que se aplica en este proyecto.

Esta plataforma es la responsable de recibir y transformar toda la información por los diferentes canales, para poder enviarla a los dispositivos o plataformas que sea necesario.

En el caso específico de esta aplicación, este sistema recibe información de 3 puntos diferentes y con 3 protocolos o lenguajes de comunicación diferente.

Con esta plataforma y la plataforma del MES mencionada en el apartado 3.5 se cumple el hito 4 del apartado de objetivos

A continuación, se comentan los protocolos de comunicación utilizados.

3.6.1 OPC-UA

A través de este protocolo de comunicaciones, se puede recibir y enviar información al PLC y a otros sistemas o dispositivos basados en Node red. La información transmitida por este

protocolo es información más delicada y referente a la producción, por lo que se requiere un nivel de seguridad más alto. Un ejemplo de la información transmitida, sería las ordenes de producción.

3.6.2 MTPROT

Este lenguaje de comunicaciones se utiliza para transmitir información desde la plataforma de node red a la aplicación Telegram, la cual es utilizada en el sector industrial. Con esta comunicación se permite recibir avisos de falta de material, maquinaria parada, o cualquier otra alarma necesaria para mantener la información.

También existe la opción de enviar comandos de arranque o parada a la maquinaria.

3.6.3 SQL

Este lenguaje se utiliza para transmitir y leer información desde las diferentes tablas que se encuentran en la base de datos de la nube. Mediante este lenguaje el concentrador es capaz de consultar la información archivada de producción o pedidos y también editarla, de esta manera se mantienen los datos seguros y sin necesidad de copias de seguridad, tanto de la producción como del estado de la maquina o del stock de material.

Con este lenguaje de programación es con el que podemos utilizar las bases de datos que aplican para este proyecto.

Para la aplicación de este proyecto, dentro de los servidores en la nube tenemos dos servidores. Un primer servidor que será el encargado de almacenar todos los datos que el MES necesita para trabajar, y otro servidor que será el utilizado para almacenar los datos externos a la producción, los cuales son útiles para conocer el estado de la maquinaria.

En referencia al primer servidor en la nube, se tiene que plantear una base de datos para poder almacenar todos los datos obtenidos por la producción para poder ordenarlos correctamente y ser utilizados en la gestión de la misma, ya que, si no, no se estaría cumpliendo con los estándares de la industria 4.0.

3.7 Almacenamiento y gestión datos

Debido a la gran cantidad de datos que se van a gestionar para la producción en este proyecto, es necesario tener una serie de campos donde se almacenen estos datos y se tenga un fácil acceso a esta información, por lo que se genera una base de datos con las siguientes tablas:

- Tabla de pedidos.
- Tabla de estados.
- Tabla de stock de materia prima.
- Tabla de producto final.
- Tabla de producción.

3.7.1 TABLA DE PEDIDOS

Se utiliza para guardar los pedidos que se han de añadir a la producción y organizarla en función de la prioridad. Esta tabla tiene los campos de Orden, Prioridad, Fecha entrega, Fecha pedido, Cantidad y Tipo.

3.7.2 TABLA DE ESTADO

Empleada para llevar un control del funcionamiento de la estación, con ello se puede sacar la eficiencia de la producción, comprobando los tiempos de parada manual, parada de emergencia y producción.

Esta tabla tiene los campos de Orden, Estado y Fecha.

3.7.3 TABLA DE STOCK DE MATERIA PRIMA

Utilizada para controlar el stock de materia prima. Dentro de esta tabla se tienen los campos de Tipo y Cantidad.

Esta tabla tiene 2 filas fijas donde se incrementa o decrementa el stock de materia prima. El decremento tiene que ir en paralelo a la producción.

3.7.4 TABLA DE PRODUCTO FINAL

Permite el control del stock del producto final. Dentro de esta tabla se tienen los campos de Tipo y Cantidad.

Esta tabla tiene 4 filas fijas donde se incrementa o decrementa el stock de materia final.

3.7.5 TABLA DE PRODUCCIÓN

Debe agrupar los pedidos que tengan misma prioridad y mismo tipo, para que la producción pueda considerar un total, y no detenerse en función de cada pedido. Adicionalmente debe tener una columna que indique estado.

4 Ejemplo de uso

Todos los dispositivos y plataformas mencionadas anteriormente se tienen que implementar en un sistema real para poder demostrar que los conocimientos teóricos explicados, son realmente funcionales y demuestran una actualización a la industria 4.0 real y con un bajo coste.

Para esta demostración, se han seleccionada una serie de dispositivos hardware donde se han instalado las diferentes plataformas mencionadas y se configuraran en función del caso práctico aplicado.

Para reflejar mejor el caso práctico con respecto a la plataforma propuesta, se seguirá el mismo guion que en el apartado anterior:

- **Estación de producción:** Sistema que se encarga de realizar la producción.
- **Sensor IoT:** Sensorica que proporcionan información adicional y necesaria para la fábrica inteligente.
- **Cloud computing:** Trabajo realizado en la nube.
- **PLC:** Controlador lógico programable que gestiona la producción.
- **Plataforma MES:** Plataforma de gestión de la producción y derivados.
- **Plataforma Concentrador:** Plataforma de adquisición de datos y conversión.
- **Almacenamiento y gestión de datos:** Método de almacenamiento y tratamiento que se hace de los datos.

Al finalizar todos los campos de este apartado, se cumpliría el hito 5 del apartado de objetivos.

4.1 Estación de producción

En el caso práctico de la aplicación de este proyecto, se ha seleccionado una estación del laboratorio de automática de la universidad de Jaén.

Esta estación está preparada para proyectos educativos y consiste en un conjunto de pistones accionados de manera neumática para la inserción de un eje metálico o plástico, mediante 7 puntos de acción.

Al no ser de gran importancia el funcionamiento de esta estación para lo referente a este proyecto, se dejará la información de la misma en el Anexo I.

4.2 Sensor IoT

Para este caso práctico se va a crear un sensor IoT utilizando un microprocesador ESP32 conectado a un sensor de presión, el cual transmitirá la información el microprocesador y a su vez, este transmitirá mediante MQTT la información a un servidor de Mosquitto ubicado en la nube.

Aquí aparece al servidor en la nube Mosquitto actuando como servidor/publicador y el ESP32 actuando como cliente suscriptor, el cual publica un valor en el topic de temperatura.

4.3 Trabajo en la nube

Esta tecnología se refleja en los dos servidores que se montan en la nube, el primero servidor Mosquitto que se menciona anteriormente, el cual se comunica con el sensor IoT y a su vez también con el MES, el cual actúa como cliente/suscriptor.

Por simplificar la aplicación, no se realizan cálculos en la nube, ya que llevaría mucho más desarrollo, y podría acabar en otro proyecto totalmente completo. Por la finalidad de este proyecto, solo se utiliza a modo de almacenamiento y acceso.

Esta comunicación se podría ver reflejada con la siguiente figura.

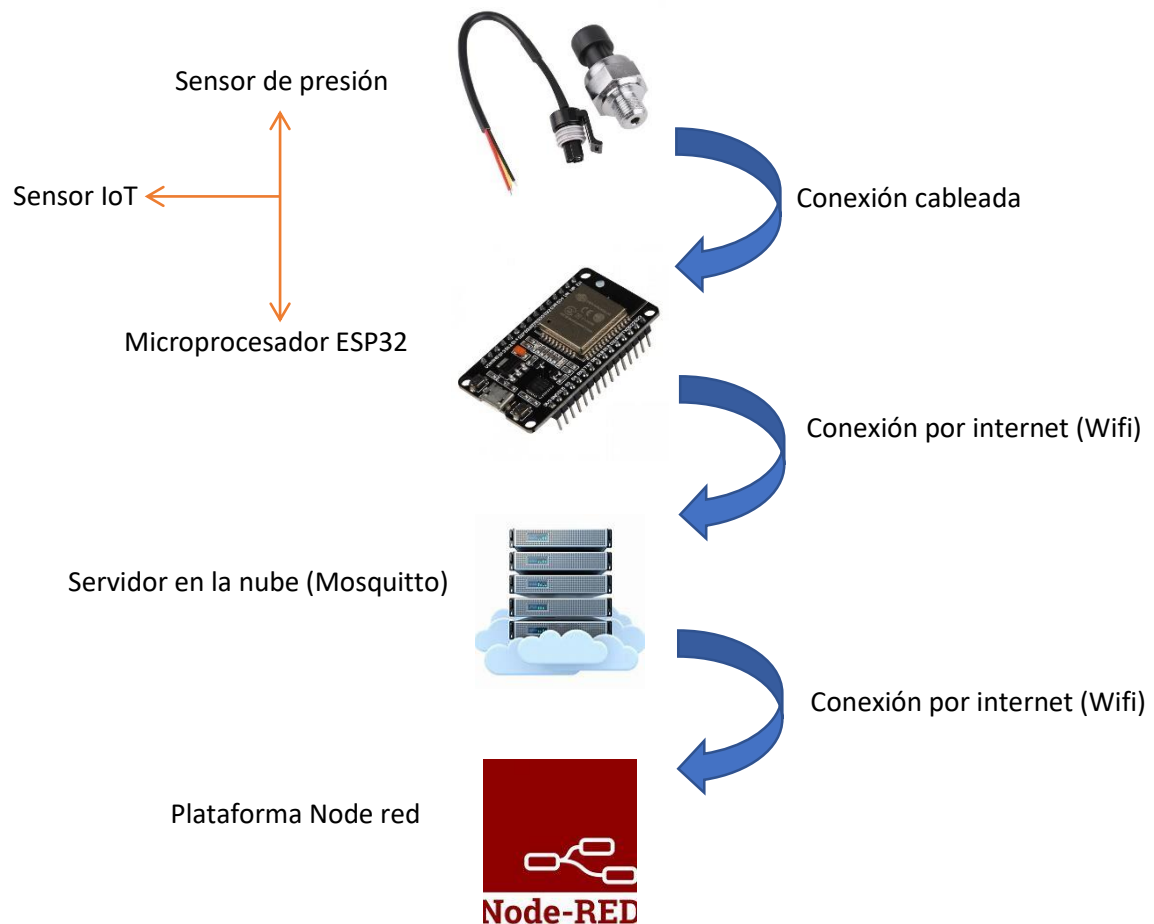


Figura 8. Esquema trabajo en la nube

4.4 PLC

Para el caso en particular, se ha seleccionado un PLC Simatic IoT2000 el cual se utiliza a modo pasarela para establecer las comunicaciones con el resto de plataformas y dispositivos, gracias a su potencias y facilidad de comunicación, al poder ejecutar node red y poder crear tanto un cliente como un servidor OPC-UA.



Figura 9. PLC IoT 2000 Siemens

Dentro de este dispositivo se encontrará el grueso del proyecto, ya que tendrá los sistemas o plataformas encargados de casi toda la gestión del proyecto, que como se mencionaba al explicar la Figura 1, sería el MES y el Concentrador.

Este PLC a su vez se conectará mediante cableado a un PLC 1200 el cual es el responsable de dar las señales de movimiento a los diferentes actuadores.

4.5 Plataforma MES

La plataforma mes, ya fue explicada en el apartado 3.5, por lo que ahora, se pretenden explicar los mismos apartados haciendo referencia al caso final.

4.5.1 CONTROL DE PEDIDOS

Mediante un simple dashboard donde se solicita la información de los pedidos, se gestiona el almacenamiento de los mismos, para poder organizarlos y agruparlos más adelante, en función de la prioridad y el tipo.

Este dashboard está preparado para poder introducir la información de manera sencilla y evitar el error humano de falta de datos, por lo que no permite añadir pedidos a ningún usuario si no se completa toda la información.

En este mismo dashboard podemos ver una tabla con la lista de pedidos ordenada por orden de solicitud, para poder consultar el listado actual y la opción de borrar esa misma tabla.

A continuación, se muestra una imagen del dashboard que se utiliza para el control de pedidos.

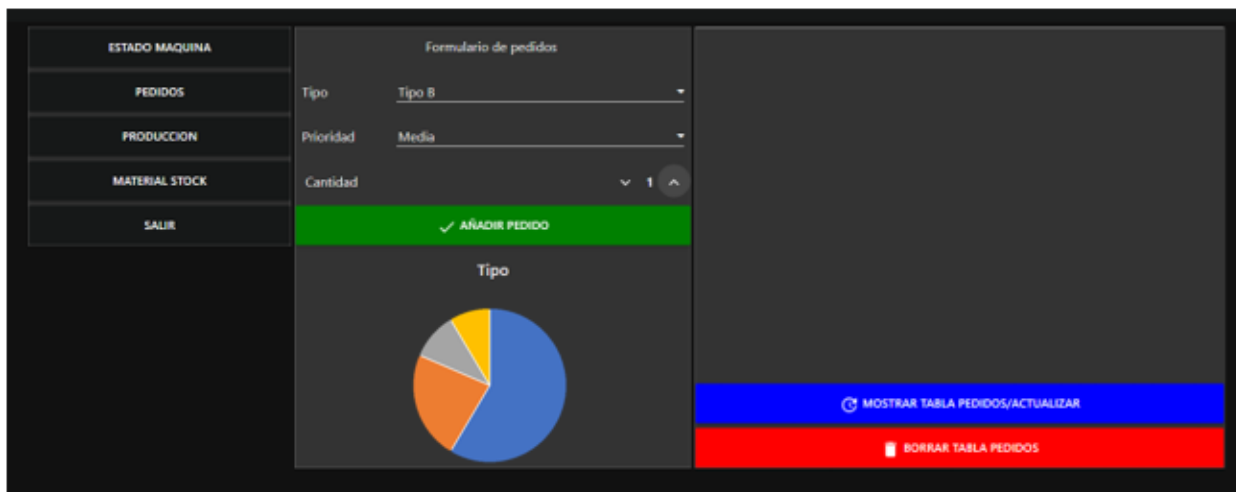


Figura 10. Dashboard control de pedidos

En este dashboard se pueden ver 3 bloques principales. El primero del lado izquierdo es el que permite navegar entre las diferentes paginas de la aplicación, esto es común a todos los dashboard.

En la parte central aparece el segundo bloque, que se divide en 2 grupos, el grupo superior que es donde se rellena el formulario para poder realizar una solicitud de pedido, teniendo que rellenarse los campos de Tipo, Prioridad y Cantidad, para que se habilite el botón verde de “Añadir pedido”. Estos campos, vienen con valores por defecto para que la persona que quiera realizar un pedido, no pueda introducir valores erróneos en el sistema, siendo limitados los campos Tipo a las opciones A, B, C y D, el campo prioridad a Alta, Media y Baja, y por ultimo el campo de cantidad a números enteros positivos. En el grupo inferior, se representan las cantidades que existen en la lista de pedidos de cada tipo, para tener una visualización rápida de los tipos prioritarios.

Por último, aparece un tercer bloque en la parte derecha, que es donde se mostraría la tabla de pedidos, la cual se iría aumentando por cada pedido nuevo que se añada a la base de datos. También se han añadido un par de botones, para actualizar la visualización de la tabla y otro para borrarla

4.5.2 GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN

Los datos de producción se pueden visualizar en la tabla que aparece en este mismo dashboard y al igual que en el apartado anterior, se dispone de un botón de borrado.

Este sería el proceso que se sigue para pasar de la solicitud de pedidos a la gestión de producción, para cumplir con las fechas previstas.

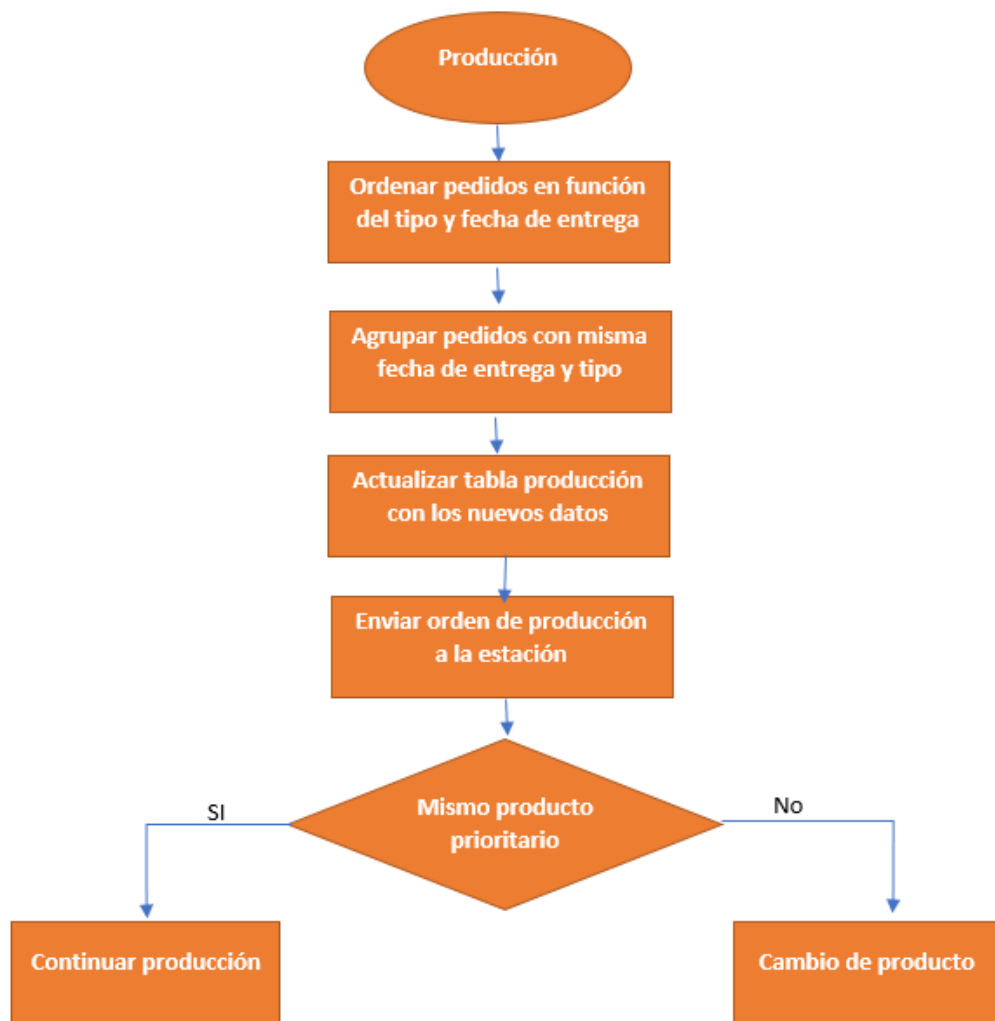


Figura 11. Flujograma gestión producción

4.5.3 RENDIMIENTO Y ESTADO DE LA MAQUINARIA

Para facilitar la gestión de la maquinaria, se ha preparado un botón tipo multi opción, el cual permite modificar el estado en el que se encuentra la maquina directamente desde el dashboard, de esta forma se puede cambiar el estado tanto de manera física en la instalación, como de manera remota mediante el dashboard y este cambio se vería reflejado en ambos escenarios.

Este dashboard también dispone de una visualización de tabla al igual que los 2 anteriores.

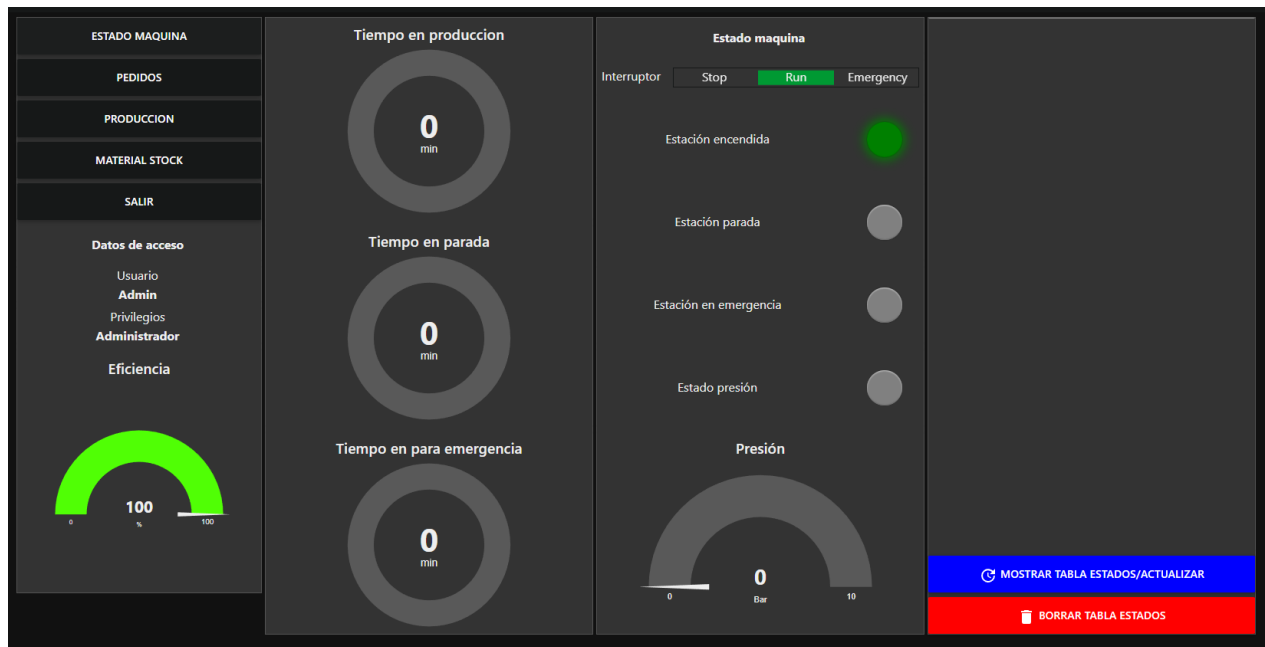


Figura 12. Dashboard estado maquina

En la figura 12 se puede ver un conjunto de 4 bloques que forman el dashboard de la gestión de estado de la maquinaria. Un primer bloque del lado izquierdo, que sería las diferentes opciones que se tienen para cambiar de pestaña, acompañado de una información del usuario y permisos que se están utilizando en cada momento. Y por último unos indicadores en forma de medio rosco del rendimiento de la maquinaria.

En el lado izquierdo de los 2 bloques centrales, se puede apreciar 3 indicadores de tipo rosco, los cuales indicarán la cantidad de minutos que se encuentra la máquina en los 3 estados posibles (Producción, Parada y Parada de emergencia).

En la parte central se puede ver del lado derecho un bloque central el cual nos permite mediante un botón multifunción cambiar manualmente el estado de la maquinaria, pasando de producción, a parada y a parada de emergencia. Este cambio se verá reflejado en los leds de la parte inferior, los cuales indicarán el estado de la maquinaria. Ante el cambio de estado, recibiremos una señal auditiva, a la vez que aparecerá una ventana emergente con la misma información. En la parte inferior de este mismo bloque, se puede ver un medidor analógico de medio rosco, el cual indica los valores de presión que se tienen en la tubería neumática, estos valores son los obtenidos por el sensor IoT. En caso de presión baja, cambiara el estado de la maquinaria a "Parada" y en el caso de sobrepresión, cambiara el estado a "Parada de emergencia".

En el último conjunto del lado derecho, tendremos una tabla con un histórico de los cambios de estado que ha sufrido la maquinaria, de esta manera se podrá consultar los momentos en los que se ha producido una parada del tipo que sea, o el momento en el que ha comenzado la producción, junto con unos botones para actualizar la tabla y otro para borrar sus datos.

4.5.4 GESTIÓN DE STOCK

Esta pestaña permite visualizar el stock tanto de materia prima, en este caso ejes de plástico o metálicos y el stock del producto final.

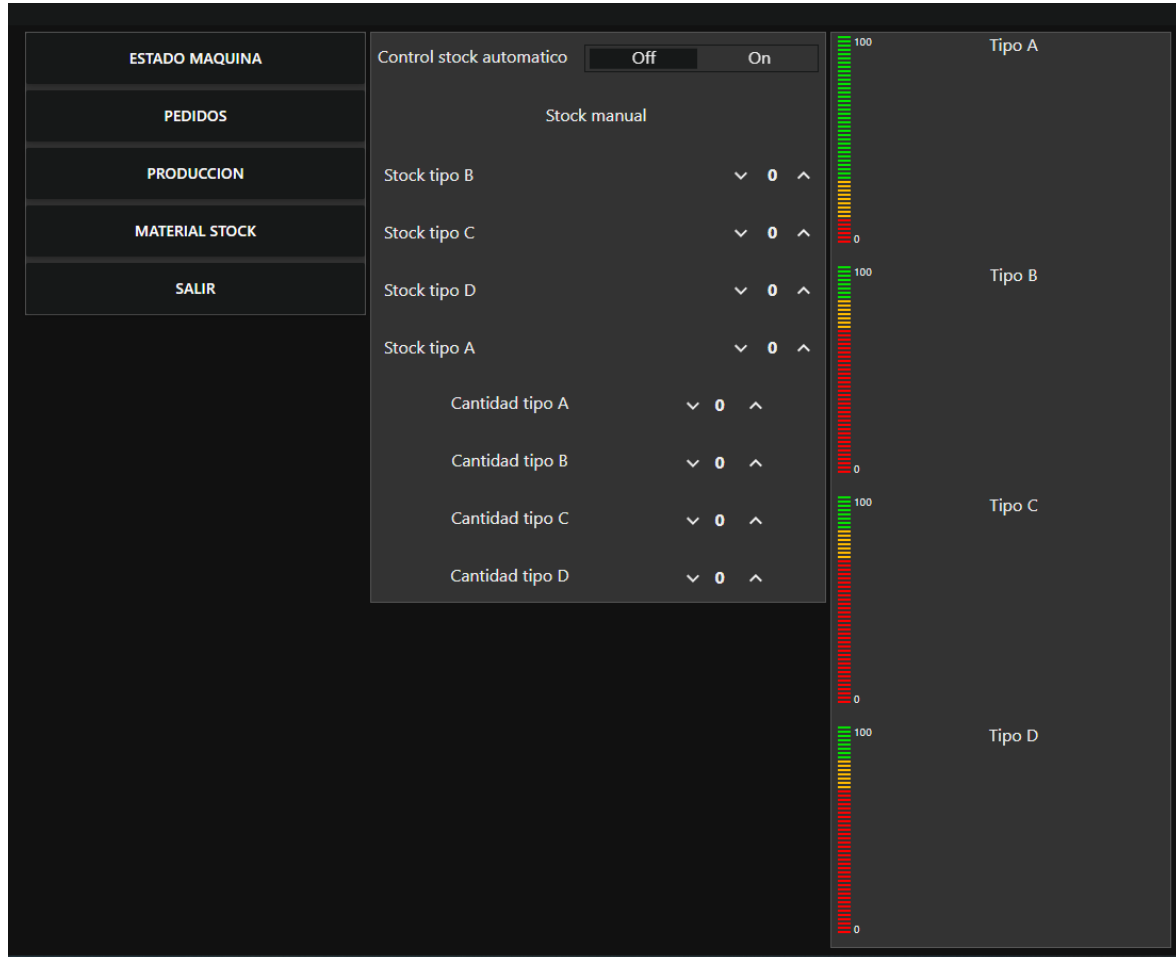


Figura 13. Dashboard Stock

Este dashboard se componen de 3 bloques. Un primer bloque a la izquierda de cambio de pestaña, como ya se explicó en apartados anteriores.

Un segundo bloque donde existe la posibilidad de alternar entre la gestión de stock manual o la gestión automática mediante un botón de ON/OFF. Para el caso particular de este caso de uso, se ha decidido simular el pedido automático en forma de mensaje mediante el Bot de Telegram, en cuanto se considere que se ha bajado de un stock mínimo, mientras que el pedido manual seria realizado por el personal, cuando se crea conveniente, y se tendrá que introducir de forma manual la cantidad de material nuevo. En este bloque central, se puede ver el stock de cada tipo de producto y en la parte inferior se podría introducir la cantidad de pedido a realizar de forma manual.

Por último, en el tercer bloque del lado derecho se dispone de unos indicadores en forma de barra de colores, para facilitar la comprensión de las cantidades de stock.

4.5.5 GESTIÓN DE USUARIOS Y ACCESOS

Este pequeño dashboard es la pestaña principal donde se solicita usuario y contraseña para poder acceder a cualquier de los dashboard que se mencionan anteriormente.

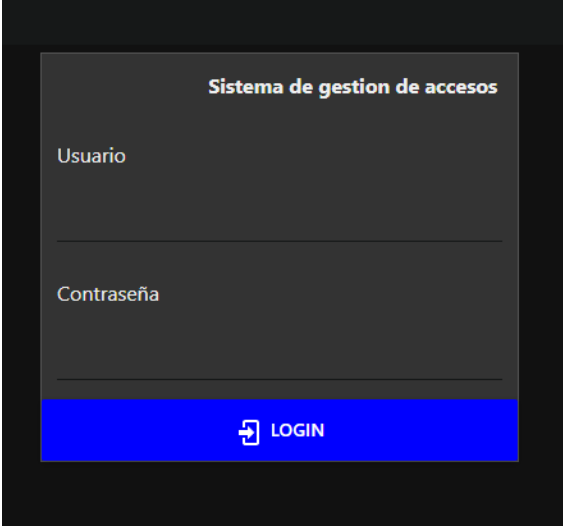
The image shows a login interface for a system titled "Sistema de gestion de accesos". It consists of a dark gray rectangular box with a white border. Inside, there are two text input fields. The first field is labeled "Usuario" and the second is labeled "Contraseña". Below these fields is a blue rectangular button with the word "LOGIN" in white capital letters and a small white icon of a key. The entire interface is set against a black background.

Figura 13. Control de acceso

En este recuadro se ha de introducir el usuario y la contraseña con la que se desea acceder a la plataforma, generando un mensaje emergente en caso de error en el usuario o en la contraseña.

Los usuarios generados para este caso de uso son los siguientes:

- **Producción:** Usuario genérico para que los operarios puedan realizar las tareas necesarias.
- **Mantenimiento:** Usuario para dar acceso a los dashboard necesario para comprobar el estado de la maquinaria y poder actuar en consecuencia.
- **Cliente:** Usuario que simula los permisos que tendría un cliente externo para acceder a la plataforma y realizar pedidos.
- **Admin:** Usuario maestro con acceso total a la plataforma.

Dependiendo del nivel de permisos que tenga cada usuario, se podrá acceder a alguno o a todos los dashboard antes mencionados. A modo de ejemplo, el usuario Cliente solo tendría accesos a realizar pedidos, mientras que los usuarios Producción y Mantenimiento tendrán más accesos. Además de estos usuarios, existe un usuario con total libertad, siendo este el de "Admin".

En función del usuario seleccionado, el desplegable de pestañas que aparecerá en todos los dashboard habilitará o deshabilitará los botones de cambio de pestaña.

El siguiente flujograma muestra la distribución según el usuario a utiliza:

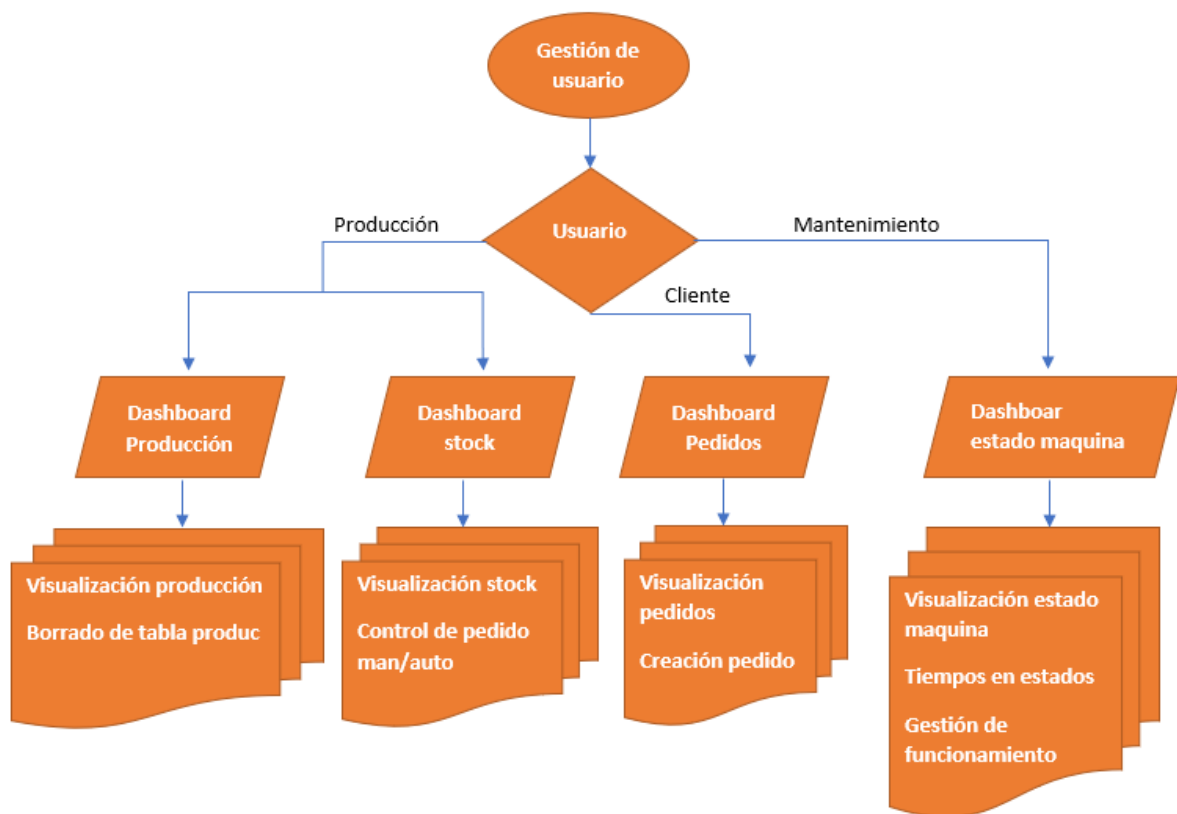


Figura 15. Flujograma accesos dashboard

Se debe tener en cuenta, que el usuario “Admin” tendría acceso total y libre, por lo que no se ha incluido en el anterior flujograma.

4.6 Plataforma Concentrador

Concretamente en este caso de uso, la plataforma Concentrador se encarga de recibir todos los datos enviados por el PLC de la producción, es decir, recibe el estado de la cadena de producción (tipo de pieza, posición, etc.) y la gestiona junto con la información de los diferentes pedidos que se tengan en ese momento, para que el MES puede tener toda la información y realizar las gestiones necesarias en cada momento.

Esta plataforma recibe y envía información en 3 protocolos diferentes:

- SQL para enviar y recibir información de la base de datos donde se almacena toda la información sobre el estado de la producción y similares.
- Nodo MQTT para comunicarse con el servidor mosquito y poder leer los valores de presión publicados.
- MTProt para enviar mensajería instantánea a un Smart phone, indicando información general del estado de la producción (paradas, recepción de comandos, etc.).

- Módulos de OPC-UA cliente y servidor, para definir un servidor dentro de la misma plataforma y un cliente para poder leer y escribir nuevos valores en cada variable, como por ejemplo el producto a realizar en cada momento.

4.6.1 OPC-UA

En el ejemplo de uso, se utiliza este lenguaje para enviar toda la información que se considera susceptible a nivel de seguridad, ya que este es el protocolo con mayor nivel de seguridad.

La información transmitida mediante este protocolo es:

- Productos a fabricar, ejes en una posición u otra y de metal o plástico, para el caso concreto, hemos decidido llamarlo productos A, B, C y D.
- La información de cada pedido en particular para recibirlo de la plataforma de solicitudes, enviando la información de cantidad, tipo y demás datos necesarios para poder organizarlo en función de su prioridad.
- El número de piezas que se tienen de materia prima, es decir cuántos ejes de plástico y cuantos ejes de metal quedan en almacén.

4.6.2 MTPROT

Este lenguaje se utiliza para enviar mensajes instantáneos, más concretamente para este proyecto, se ha preparado un Bot en la aplicación de Telegram, el cual tiene preprogramado mensajes de producción parada, producción parada de emergencia y falta de stock, para ser enviados en función del estado de algunas variables del sistema.

Además de esta opción, se han predefinido 3 comandos básicos, para poder gestionar el estado de la cadena, siendo estos “Arrancar”, “Parar” y “Parada de emergencia”. Si enviamos alguno de estos mensajes al Bot de Telegram, este enviara un comando de realizar la acción que le hemos indicado.

4.6.3 SQL

En el caso particular de la aplicación práctica de este proyecto, se utilizan los comandos de SQL:

- **SELECT** para seleccionar una tabla de la base de datos y poder leer los valores de cada tabla.
- **DELETE** para borrar los datos de una tabla. Esta opción se pone para poder borrar las tablas cuando se llenen de demasiada información antigua.
- **ORDER** para ordenar una lista de información, por ejemplo, para pasar de la tabla de pedidos a la de producción.

Este lenguaje conecta al concentrador con el servidor en la nube donde se almacenan los datos referentes a la producción, que, en este caso, se utiliza un servidor de la universidad de Jaén.

4.7 Almacenamiento y gestión datos

Para la gestión particular de este caso de uso, es necesario almacenar los campos que pueda introducir el cliente, y poder reconvertirlo a una lista de producción en función del material base y el material resultante, para ello se utilizan las tablas de almacenamiento de datos.

4.7.1 TABLA DE PEDIDOS

Esta tabla tiene los campos de Orden, Prioridad, Fecha entrega, Fecha pedido, Cantidad y Tipo. Todos estos datos se almacenan en una variable tipo char, siendo los valores validos de estos campos en concreto para este ejemplo de uso, los siguientes:

- **Orden:** Un numero automático que incremente en uno por cada pedido.
- **Prioridad:** Una variable que se selecció entre las opciones Alta, Media y baja.
- **Fecha de entrega:** En función de la opción seleccionada en prioridad, el sistema calcula la suma de 1, 2 o 3 días respecto a la fecha actual, para dar una fecha de entrega.
- **Fecha pedido:** Se utiliza la fecha del momento en el que se recibe la información.
- **Cantidad:** Es un valor numérico que se puede introducir desde 1 hasta infinito.
- **Tipo:** Se puede selecció entre 4 opciones anteriormente comentadas A, B, C y D.

A continuación, se muestra un ejemplo de esta tabla.

Orden	Prioridad	Fecha de entreg	Fecha pedid	Cantidad	Tipo
3	Alta	14/07/2022	13/07/2022	5	A
2	Baja	18/07/2022	15/07/2022	2	D
1	Media	17/07/2022	15/07/2022	4	C

Figura 15. Tabla pedidos

4.7.2 TABLA DE ESTADO MAQUINA

Los campos utilizados son Orden, Estado y Fecha. Al igual que en la tabla anterior, todos los valores se pasan como char y el campo Orden utiliza un contador que se aplica en Node-Red.

La variable estado tiene 3 posibles opciones, “Producción”, “Parado” y “Parada de emergencia”, mientras que el campo fecha registra la fecha y hora del momento en el que se realiza un cambio de estado.

La siguiente tabla seria un ejemplo de la aplicada en este apartado.

Orden	Estado	Fecha
3	Parada de emergencia	14-7-22 2:50 PM
2	Producción	14-7-22 2:30 AM
1	Parada	14-7-22 2:25 AM

Figura 16. Tabla estado maquina

4.7.3 TABLA DE STOCK DE MATRERÍA PRIMA

Se utiliza para controlar el stock de materia prima. Dentro de esta tabla tenemos los campos de Tipo y Cantidad. Estos 2 campos son tipo char y se calculan en Node-red.

El campo Tipo tiene las opciones de plástico o metal, mientras que el campo cantidad es un campo numérico que incrementa en función del stock introducido.

4.7.4 TABLA DE PRODUCTO FINAL

Reflejar los paquetes de producto final, es decir, serían la información que tendríamos de un almacén al final de la producción

4.7.5 TABLA DE PRODUCCIÓN

Mediante el comando SELECT y ORDEN la misma tabla de pedidos y los agrupo según la misma fecha y el mismo tipo, es decir seleccionara todos los productos tipo A y los agrupara en función de su fecha de entrega, para dar como resultado una versión más resumida de la tabla de pedidos, donde tendremos la cantidad de producto que hay que producir por lote

5 Conclusiones

Tras todo el desarrollo y análisis de este proyecto, se pueden obtener varias conclusiones de gran importancia.

Por una parte, tenemos la gran cantidad de aplicaciones que puede OPC-UA, el cual permite utilizar todas las comunicaciones antes mencionadas y muchísimas más, ya que permite la conexión entre muchos tipos de dispositivos, pudiendo permitir la independencia de una plataforma de node red o cualquier otra intermedia para leer unas señales de un PLC.

Es necesario tener en cuenta que se necesita unos requisitos mínimos de características de PLC y Tia Portal para conseguir comunicaciones mediante OPC-UA, pero con estas características no muy complejas de tener en un entorno industrial, se pueden conseguir comunicaciones de muchísimos equipos diferentes como puede ser Factory IO, el cual se podría añadir a este proyecto para la utilización de gemelos digitales simulando un almacén o cualquier otra parte de la instalación.

También hay que destacar la versatilidad que ofrece node red, ya que, al tratarse de un sistema de programación visual basado en nodo, se pueden conseguir muchísimos tipos de comunicación y acciones diferentes, ya que al igual que en este caso se utilizaron PLC de Siemens para el desarrollo del proyecto, se podrían utilizar otras marcas.

Además de permitir la conexión de diferentes marcas de PLC, también permite una configuración personalizada para cada caso, pudiendo conectar con diferentes bases de datos, utilizando todo tipo de protocolo de comunicación y hasta pudiendo realizar una aproximación a SCADA de forma manual, mediante los nodos de dashboard, sin mencionar que dispone de nodos de conexión con SCADA.

Es importante destacar, que en el caso de este proyecto en concreto se ha delimitado la gestión de producción a unas reglas simples, para demostrar las posibilidades a desarrollar, pero se podrían crear sistemas tan complejos como uno sea capaz de imaginar, teniendo varias reglas de gestión de producción en función de la materia prima, tiempos de ejecución en caso de tener productos diferentes, consiguiendo desarrollar con una plataforma open source un sistema MES igual o más potente que otros sistemas comerciales.

En el caso del proyecto, se utilizaron PLC de Siemens, pero esto no es una restricción al gestionarse con una plataforma tan versátil, ya que se puede eliminar cualquier tipo de dependencia de marcas o softwares con licencias de alto coste.

Respecto al funcionamiento de la estación, se quiso emular una producción lo más real posible, aunque un poco más limitada, lo cual podría ser potenciado hasta conseguir el nivel necesario para cada situación.

En conclusión, con este TFM se pretende demostrar el potencial tanto a nivel computacional, como de comunicaciones y de versatilidad que tiene un sistema montado con node red y protocolos de comunicación OPC-UA y MQTT, viendo unos resultados más que satisfactorios y con un precio mucho más reducido o nulo que cualquier sistema comercial que puede ofrecer una empresa con un plan de licencias o suscripciones.

Además de toda la información anteriormente mencionada, se han dejado de aplicar algunas opciones que no son demasiado complejas, pero se podría añadir más sensores IoT para tener más información relevante al estado de la máquina, como por ejemplo sensores de temperatura que determinen si la maquina pueda tener algún defecto que conlleve un sobrecalentamiento.

También se podría añadir una conexión con alguna aplicación externa, para simular un almacén, y así añadir al proyecto un gemelo digital y todas las opciones que se consideren viables para una mejora del procedimiento industrial, consiguiendo llegar cada vez más al estándar de fabrica inteligente.

Con esta evaluación de los resultados finales, se cumpliría el ultimo hito de la lista de objetivos, el hito 5.

Anexo I Funcionamiento estación de producción

En el caso concreto de esta aplicación, el PLC contiene el código programado para el correcto funcionamiento de la estación, mediante la aplicación de Tia Portal.

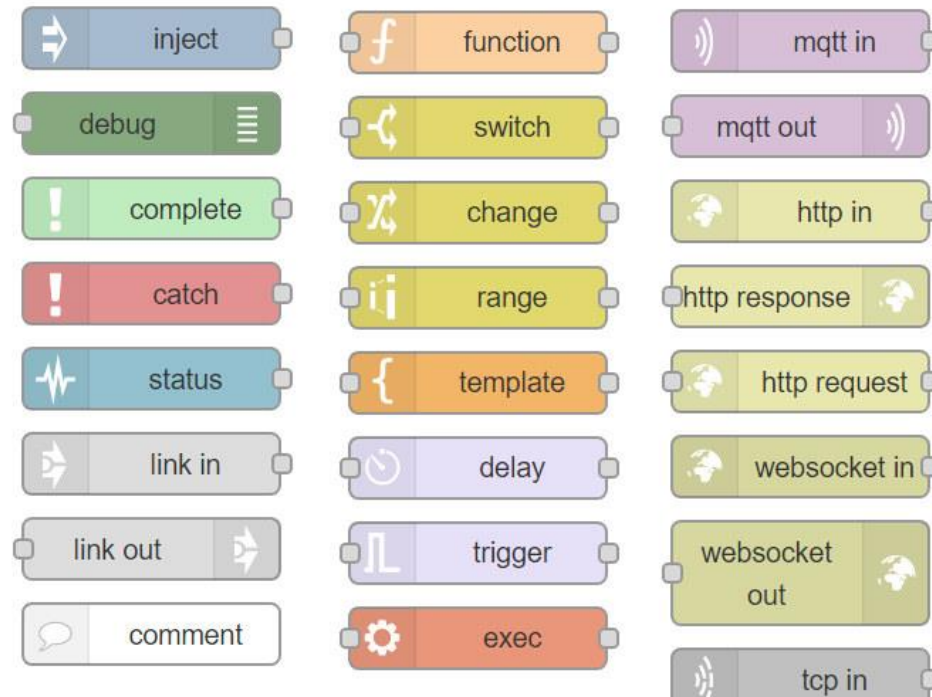
Este código permite el funcionamiento de las diferentes acciones que puede realizar esta estación de manera simultánea. Las acciones que realiza esta estación para pasar de la materia prima al producto final son las siguientes:

- **Inserción de ejes:** Un almacén de ejes es accionado por un pistón doble que permite la inserción de un eje por gravedad.
- **Comprobación de altura:** Mediante un pistón con un final de carrera, se realiza una comprobación de altura del eje, lo que indicara la posición del eje, ya que debido a la geometría del mismo eje y de la base donde se manipula, las alturas cambian en función de la posición. Esta primera comprobación diferencia entre 2 de los 4 posibles resultados finales.
- **Giro:** En caso de ser necesario, unas pinzas levantarán y girarán la pieza para colocarla en la posición correcta según el producto final a conseguir.
- **Comprobación material metálico:** La pieza pasará por debajo de un sensor inductivo, el cual enviará una señal en caso de detectar un eje metálico.
- **Detección de pieza:** En este punto la pieza pasará por debajo de un sensor capacitivo, el cual enviará una señal en caso de detectar un eje sea cual sea su material. Con esta acción y la acción anterior, se puede deducir el material del eje, la condición que terminará de definir el tipo de producto final.
- **Rechazo:** En caso de que el resultado final no sea el esperado, unas pinzas retirarán el producto de la línea.
- **Ensamblaje:** En caso de pasar la acción de rechazo y no haber cambios en la dirección de la producción, es decir un cambio de producto por urgencia, el producto final será retirado de la estación para montarlo en una cinta la cual comunicaría con otras estaciones.

Mediante todos los datos de posición y material obtenidos por la estación, se puede conocer el producto final, esto será comprobado por la plataforma montada en node red, para evitar la creación de más variables en el PLC, y al tener una mejor capacidad de computación.

Anexo II Node red, nodos utilizados

Node red dispone de una serie de nodos básicos que aparecen por defecto al instalar la aplicación web, estos nodos son los siguientes:



Para el desarrollo de las aplicaciones en la plataforma Node red, ha sido necesario la instalación de diversos nodos que no se encuentran por defecto en la aplicación. Estos nodos se pueden descargar fácilmente desde la misma aplicación web.

Para la descarga de nuevos nodos, es necesario acceder desde la aplicación web, seleccionar la opción de las 3 rallas horizontales, que se encuentra en la esquina superior derecha de la pantalla, la cual abrirá un desplegable con varias opciones, entre las cuales se debe seleccionar “Manage palette” y se desplegara una lista de los nodos actualmente instalados y otra lista para buscar nodos que se pueden descargar.

Para este proyecto en particular, se ha utilizado la siguiente lista de nodos.

node-red-contrib-liquid 0.0.1 > 1 node remove disable all	node-red-contrib-spreadsheet-in 0.6.0 > 4 nodes remove disable all
node-red-contrib-loop 1.0.1 > 1 node remove disable all	node-red-contrib-stackhero-mysql 1.0.5 > 2 nodes in use
node-red-contrib-opcua 0.2.238 > 7 nodes update to 0.2.280 in use	node-red-contrib-telegrambot 10.0.7 > 6 nodes update to 11.3.0 in use
node-red-contrib-pid 1.1.7 > 1 node remove disable all	node-red-contrib-ui-actions 0.1.8 > 5 nodes remove disable all
node-red-contrib-pid-autotune 1.2.2 > 2 nodes update to 1.3.0 remove disable all	node-red-contrib-ui-areyousure 0.1.0 > 1 node remove disable all
node-red-contrib-pid-controller 0.1.4 > 2 nodes remove disable all	node-red-contrib-ui-artless-gauge 0.3.11 > 1 node remove disable all
node-red-contrib-s7 3.0.0 > 4 nodes update to 3.1.0 remove disable all	node-red-contrib-ui-button_state 0.2.2 > 1 node remove disable all
node-red-contrib-simpletime 2.10.0 > 1 node update to 2.10.4 in use	node-red-contrib-ui-countdown-timer-switch 1.4.0 > 1 node remove disable all
node-red 2.0.6 > 47 nodes in use	node-red-contrib-ui-heatmap 2.2.0 > 1 node update to 2.2.1 remove disable all
node-red-contrib-boolean-logic 0.0.3 > 3 nodes remove disable all	node-red-contrib-ui-iro-color-picker 0.1.6 > 1 node remove disable all
node-red-contrib-boolean-logic-ultimate 1.0.34 > 9 nodes update to 1.0.53 remove disable all	node-red-contrib-ui-joystick 1.0.0 > 1 node remove disable all
node-red-contrib-dashboard-bar-chart-data 0.9.7 > 1 node update to 0.9.8 remove disable all	node-red-contrib-ui-led 0.4.11 > 1 node in use
node-red-contrib-excel 0.0.3 > 1 node remove disable all	node-red-contrib-ui-level 0.1.46 > 1 node in use
node-red-contrib-excelsheets 1.1.0 > 1 node update to 1.1.1 remove disable all	node-red-contrib-ui-media 1.2.0 > 1 node remove disable all
node-red-contrib-hostip 0.0.3 > 1 node in use	node-red-contrib-ui-multistate-switch 1.2.2 > 1 node update to 1.2.3 in use
node-red-contrib-iiot-opcua 3.12.1 > 18 nodes update to 4.0.1 in use	node-red-contrib-ui-state-trail 0.4.3 > 1 node update to 0.4.4 remove disable all

node-red-contrib-ui-statechart 0.1.4 > 1 node remove disable all	
node-red-contrib-ui-svg 2.3.0 > 1 node update to 2.3.1 remove disable all	
node-red-contrib-ui-sys-loft 0.1.1 > 2 nodes remove disable all	
node-red-contrib-ui-time-scheduler 1.16.2 > 1 node update to 1.17.1 remove disable all	
node-red-contrib-ui-timeline 1.0.2 > 1 node remove disable all	
node-red-contrib-ui-timelines-chart 0.1.4 > 1 node update to 0.1.8 remove disable all	
node-red-contrib-uibuilder 4.1.4 > 1 node update to 5.0.2 remove disable all	
node-red-dashboard 3.1.2 > 21 nodes update to 3.1.7 in use	
	node-red-node-ui-iframe 0.2.1 > 1 node remove disable all
	node-red-node-ui-lineargauge 0.3.6 > 1 node remove disable all
	node-red-node-ui-list 0.3.6 > 1 node remove disable all
	node-red-node-ui-microphone 0.3.1 > 1 node remove disable all
	node-red-node-ui-table 0.3.11 > 1 node update to 0.3.12 in use
	node-red-node-ui-webcam 0.3.0 > 1 node update to 0.4.0 remove disable all
	ubidots-nodered 2.0.2 > 2 nodes remove disable all