



**UNIVERSIDAD EUROPEA DE  
MADRID**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO**

**ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**TRABAJO FIN DE MÁSTER  
MODELIZACIÓN DE UNA DEPURADORA  
DE AGUAS RESIDUALES**

**Alumno: CARLOS ACEBRÓN DELGADO**

**Director: ÁLVARO ROMERAL GALLEGO**

## JULIO 2023

1.	INTRODUCCIÓN .....	3
1.1.	Introducción .....	3
1.2.	Motivación .....	4
1.3.	Objetivos .....	6
1.4.	Alcance .....	7
1.5.	Ventajas e inconvenientes .....	8
2.	DESARROLLO E IMPLEMENTACIONES .....	8
2.1.	Instalación y componentes .....	8
2.2.	Programación del PLC y pasarela de comunicaciones .....	13
2.3.	Sistema Escogido .....	16
2.3.1.	Módem de Remota .....	18
2.3.2.	Módem de Cabecera .....	19
2.4.	Comunicación MQTT .....	21
2.5.	Comunicación ISO .....	22
2.6.	MINDSPHERE .....	23
2.7.	INTOSITE .....	25
3.	PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA .....	28
4.	LÍNEAS FUTURAS Y CONCLUSIONES .....	31
5.	BIBLIOGRAFÍA .....	33

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Introducción

Se trata de un proyecto innovador en el que se modeliza una planta depuradora de aguas residuales mediante la subida de datos a la nube en una plataforma especializada, que permite alojar herramientas para realizar representaciones realistas en 2D o 3D de los elementos de nuestra planta.

Este proyecto especifica los pasos necesarios para transportar la información desde los autómatas de proceso hasta dicha plataforma. El sistema implantado se adapta a una planta concreta siendo imprescindible estudiar su tecnología y necesidades existentes.

Será necesario también introducir dispositivos que encripten la información y doten de seguridad el transporte de los datos. Por otro lado, se deben instalar elementos que permitan publicar los datos utilizando protocolos propios de la industria 4.0.

La utilización de esta plataforma supone un gran avance respecto a la visión tradicional del SCADA, ya que, podemos conocer el estado de nuestra planta desde cualquier lugar con acceso a internet. De una forma segura y con una representación veraz en tiempo real del estado del proceso.

## 1.2. Motivación

El motivo principal de desarrollo de este proyecto es proponer la viabilidad de un nuevo formato de telecontrol en el que se pueda tener todos los datos de las diferentes plantas desde cualquier lugar, esto proporciona grandes ventajas respecto al formato tradicional en que se necesita un SCADA tradicional en un servidor al uso.

Por otro lado, me supone la utilización de protocolos que para mi son nuevos como MQTT y la investigación en como poder realizar todo el proyecto manteniendo los criterios de ciberseguridad sin perder de vista la posible implantación en el mundo real.

En definitiva, es un proyecto que permite modernizar el punto de vista de las empresas para disponer de una mayor cantidad de datos de una manera mucho más sencilla y accesible.

Para este proyecto he estado en colaboración con mi actual empresa, la cual se dedica al sector del agua, tanto para tratamiento de agua potable, transporte, saneamiento y depuración. Posee una gran red de telecontrol, la cuál me ha permitido tener una visión más global de todo el proyecto

En este proyecto, haremos una red de telecontrol diferente y tomaremos como punto de partida una gran empresa que carece de control global de conjunto y quiere implantar un sistema escalable en diferentes fases a todas las plantas que tiene repartidas por la geografía nacional.

Basaremos el proyecto en depuradora de aguas residuales real. No obstante, es escalable para plantas o fábricas de cualquier tipo. Independientemente del tamaño que posean o lo complejas que sean. Y que disponga de cualquier marca, en nuestro caso hemos cogido uno desfavorable en el que la planta está realizada en una familia tecnológica distinta a la del "core".

En nuestro caso, partimos de una depuradora que posee tres autómatas de proceso que comparten variables entre ellos y controlan el correcto funcionamiento de la planta y comunican todos ellos con el SCADA de mantenimiento de la planta.

Con objeto de poder comunicar desde cualquier lugar con la planta, es necesario instalar ciertos dispositivos específicos de comunicaciones. Se ha decidido que se realizará construir un cuadro independiente un cuadro aparte, que no interceda con ninguno de los cuadros de proceso y que disponga de alimentación segura por parte de la planta.

El proyecto instalará un cuarto PLC que recoja los datos de los demás y contenga a su vez una comunicación con el SCADA para poder disponer a su vez de las variables calculadas en el mismo. Dichos autómatas actualmente son de la marca Rockwell del fabricante Allen-Bradley. Siendo necesaria la instalación de una pasarela de datos que los traduzca al lenguaje de programación a nuestra marca SIEMENS.

Se ha desarrollado un esquema eléctrico tipo que permite la inclusión de los equipos y con la aparatenta de protección necesaria. Como se puede apreciar en el esquema la alimentación de todos los equipos es a 24 voltios por motivos de seguridad. Por otro lado, se ha decidido incluir fusibles electrónicos que aportan una protección para la segura alimentación de cada uno de los equipos por separado.

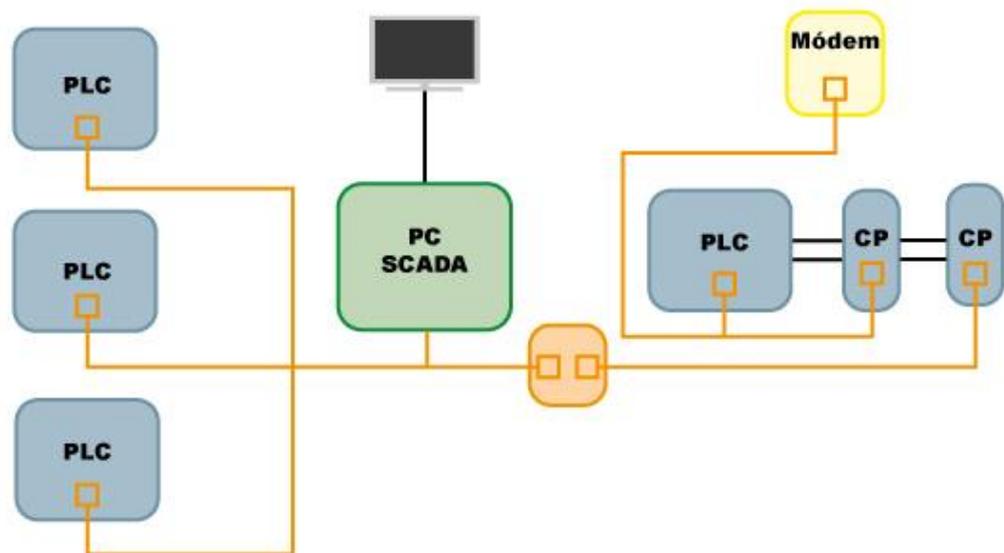


Figura 1: Esquema Red 1

Instalaremos también de un sistema central de control que disponga de un PLC de la marca SIEMENS a la que le añadiremos las tarjetas necesarias para subir los datos hasta nuestra central. Se ha decidido también incluir una CP pasarela de comunicaciones (además de la necesaria para poder llevar los datos) para evitar cambiar de IP a los PLCs de proceso. Esto hace que nuestro sistema sea menos intrusivo y no obligue a hacer paradas de planta o rehacer la topología de red en cada una de las fábricas en las que se implante.

Hemos elegido el sistema de control de esta marca debido a su alta fiabilidad y gran experiencia en el mercado. Además, nos ofrece todos los equipos necesarios y nos permite trabajar con una mayor flexibilidad. Se trata de una marca cuyos equipos suelen ser más costosos pero la ausencia de pasarelas y la gran disponibilidad de programadores que la conocen nos facilita mucho el proyecto en sí.

La principal ventaja reside en que la planta puede disponer de cualquier grado de complejidad y nuestro cuadro de control apenas variaría, ya que dispone de los elementos necesarios para poder comunicar directamente con nuestra central. En caso

de ser otra familia de PLC se podría instalar una pasarela distinta, no obstante, el PLC y módem serían los mismos.

### 1.3. Objetivos

Al ser un proyecto que abarca muchos aspectos se derivan una serie de objetivos o hitos a cumplir en función de la importancia para el desarrollo del propio proyecto. Por un lado, estarían los objetivos generales y por otro los objetivos técnicos específico.

Por tanto, el objetivo principal del proyecto es el desarrollo de un modelo completo de nuestra planta en 3D, a escala real y con datos en tiempo real que permita saber el estado actual de la planta.

El acceso a dicho modelo será mediante comunicación por internet, pudiendo ingresar a la planta desde cualquier parte de una forma cómoda. Por otro lado, es un proyecto una sola planta, pero está enfocado a grandes empresas que posean varias plantas distribuidas por diferentes lugares y necesiten una representación central de los datos a tiempo real.

Este proyecto dará solución a una de las principales problemáticas para los gestores de plantas: conocer el estado de la instalación sin necesidad de estar físicamente en la misma. Además, engloba en una sola plataforma la posibilidad de incluir cuantas plantas sean necesarias.

Es necesario aclarar que nuestro proyecto no está orientado al mantenimiento en sí de una planta si no que está enfocado a conocer el estado del proceso de la planta. Es decir, no debe ser una representación que manejen los operarios que se encargan del correcto funcionamiento de la planta si no que será para un gestor de varias plantas que quiera conocer el proceso o explotar los datos.

Para conseguir estos objetivos, es necesario conseguir unos objetivos específicos que se detallarán a continuación:

1. Será necesario recolectar todos los datos de la planta.
2. Transportar dichos datos hasta una central.
3. Que no exista ninguna vulnerabilidad de seguridad en ninguna parte del proceso.
4. Subir los datos a la nube.

#### 1.4. Alcance

Será necesario la instalación de un cuadro eléctrico en la planta que recoja todos los datos e independice posibles errores de los autómatas que contengan proceso, dicho autómata debe estar conectado a los autómatas que posea actualmente y no interferir en la parte que controla el proceso de depuración de agua en ninguno de los escenarios. Es conveniente recordar que se trata de una representación que no pretende el control de la planta, para dicho proceso ya debe existir un SCADA de mantenimiento propio de la planta.

Dicho cuadro debe contener también las comunicaciones con la central de la empresa que abarque el control de las diferentes plantas a las que está destinado nuestro sistema, por tanto, debe contener elementos que doten al sistema de seguridad y permitan realizar conexiones seguras vía GPRS.

En nuestra sede central se instalará un autómata que gestione los datos llegados desde las diferentes plantas y se encargue de subirlos a la nube. Para ello se instalará una tarjeta específica en nuestro PLC. Derivado también es necesario la utilización de un bróker de datos, en nuestro caso un Mosquitto que interprete el protocolo MQTT. Este bróker estará en la “zona desmilitarizada (DMZ)” que tenga acceso a internet mediante un Firewall concreto que nos asegure la imposibilidad de ciberataques.

El Mosquitto subirá los datos a la plataforma MINDSPHERE de la marca SIEMENS que permite la instalación de diversas aplicaciones, en nuestro caso, utilizaremos INTOSITE para la representación de nuestros datos que a su vez estarán conectados a las bases de datos que nos contiene MINDSPHERE.

Este proyecto no pretende, explicar la programación BACK-END existente en la aplicación INTOSITE, si no que se centra en todos los elementos necesarios para poder realizar dicha modelización a nivel industrial de una manera segura y tangible

Por la naturaleza del proyecto y las aplicaciones posibles se entiende que este proyecto debe ser acometido por una gran empresa que busque rendimiento funcional por encima del económico, ya que, gran cantidad de los elementos son pioneros y disponen de un elevado coste.

Además, la complejidad del proyecto reside en la posibilidad de escalarlo a cuantas plantas se quiera. Es decir, si solo quisiéramos la representación de esta depuradora en 3D no sería necesario la instalación de un PLC central, ni el transporte de datos vía telecontrol. Si no que se podrían subir los datos directamente instalando el Mosquitto en la planta. Pero la gran ventaja de este esquema es que se pueden añadir tantas plantas como se quieran sin la modificación de nuestra arquitectura de red.

Por consiguiente, el proyecto va dirigido a grandes empresas que dispongan de diversas plantas a lo largo del país y que se beneficien de la instalación de un sistema de control central que disponga de datos, centralizados y clasificados, de todas ellas a simultáneamente.

### 1.5. Ventajas e inconvenientes

Este sistema posee algunas ventajas e inconvenientes respecto a los sistemas actuales de telecontrol respecto al escogido en nuestro proyecto. Aquí enumeramos algunos de los principales:

Ventajas:

- Escalable a más plantas
- Cómodo para el control de diversas plantas
- Fácil de interpretar
- Dirigido a proceso
- Seguro
- Visualización con imágenes

Inconvenientes:

- Dependencia de un fabricante
- Sistema complejo
- Muchos elementos que pueden hacer fallar el sistema
- No permite escritura (vía INTOSITE)

## 2. DESARROLLO E IMPLEMENTACIONES

### 2.1. Instalación y componentes

En este apartado se enumerarán los componentes incluidos en el proyecto y la explicación del motivo de su elección. No obstante, se explicarán más en detalle la programación de los dispositivos en los apartados posteriores. No se entrará en detalle de los dispositivos de protección eléctrica necesarios.

La elección de dichos dispositivos viene dada por la necesidad de compartir familia de comunicaciones (en este caso SIEMENS) y por sus especificaciones de funcionamiento. Como ya hemos explicado previamente, este proyecto busca el rendimiento funcional y la facilidad de implantación.

Principales elementos del cuadro de comunicaciones. Se describe independientemente el motivo de su inclusión en este proyecto, además de sus características técnicas:

- Módems de Seguridad

Se ha decidido instalar módems con tecnología SIEMENS modelo M876-4 que permiten la inclusión de tarjetas SIM y realización de túneles VPN e inclusión de reglas FIREWALL personalizadas. Se trata del modelo con referencia 6GK5876-4AA00-2BA2 que nos permite la utilización de comunicación via LTE (Long Term Evolution). Coloquialmente es conocido como 4G.



Figura 2: Scalance M876-4

Además, dispone de 4 puertos que sirven como switch lo que nos permite prescindir de un dispositivo extra para dicha función. Este módem posee además salidas y entradas digitales programables que actualmente no disponen de uso pero que se podrían llegar a utilizar en un futuro desarrollo. Los detalles del módulo se pueden consultar en la siguiente hoja de características:

Por otro lado, es necesaria la instalación de al menos una antena en una localización debidamente estudiada que nos permita cobertura de nuestro proveedor de servicios. En nuestro caso, el cuadro se encuentra en el exterior y tiene una fácil instalación en la parte superior del cuadro.



Figura 3: Antena Scalance

- Pasarela de comunicaciones:

Más adelante se detallará la arquitectura real de la planta, pero será necesario la instalación de un equipo que permita lectura de datos en protocolo ROCKWELL y los traduzca a SIEMENS.

En este caso, se ha decidido la inclusión de un módulo SIMATIC PN/PN 6ES7158-3AD10-0XA0. La principal característica es la posibilidad de inclusión de diversos protocolos ethernet a ambos lados de la plataforma (MODBUS, S7, PROFIBUS, DeviceNet...); lo que permitiría la inclusión de diferentes equipos en un futuro. La programación de este equipo se detallará en apartados posteriores.



Figura 4: Pasarela comunicaciones

- PLC

La elección del autómatas viene predefinida por la obligación de utilización de protocolo SINAUT, es decir, para poder utilizar SINAUT necesitamos que sea un PLC SIEMENS de la gama s7-1500.

Dentro de esta gama se escogerá un PLC de potencia media/baja, ya que no se necesitan la mayor parte de las especificaciones del autómatas y se realiza solamente el desarrollo de las comunicaciones y las funciones propias de SINAUT.



Figura 5: PLC 1515 2-PN

Este PLC dispondrá de un módulo de comunicaciones extra que permite la subida de los datos por MQTT directamente contra el PLC de cabecera, este módulo es una CP1545



Figura 6: CP1545

- Bróker

Además, es necesario instalar un Mosquitto que contenga el bróker que suba los datos a MINDSPHERE. Este Mosquitto se instalará en un ordenador; en nuestro caso se instalará en un ordenador industrial de la marca SIEMENS. Al no ser necesario un ordenador demasiado potente se ha escogido el IPC327G que puede instalarse en carril DIN dentro de nuestro propio cuadro.



Figura 7: IPC

- Switch pasarela con internet

El Mosquitto debe tener acceso a internet, para protegernos de posibles ataques se decide instalar un elemento que nos sirve de Firewall; se trata del equivalente al M876-4 pero en su versión por cable: el SC646 modelo 6GK5646-2GS00-2AC2.

Este elemento creará una “Zona DMZ” que nos permite el acceso a internet de forma segura, ya que, permite la comunicación en una sola dirección (de dentro hacia fuera) y permite la conexión de los datos con la plataforma MINDSPHERE



Figura 8: SC 646

Se ha considerado que entre los elementos a instalar no es necesario la inclusión de ninguna pantalla de visualización con objeto de poder abaratar costes, ya que, la visualización del proceso de la planta se integra en el propio SCADA de mantenimiento, Mientras que el PLC de comunicaciones solamente transporta datos y no necesita la representación de estos hasta su plataforma final.

## 2.2. Programación del PLC y pasarela de comunicaciones

Se ha estudiado la posibilidad de no incluir una pasarela de comunicaciones en el cuadro “estándar” de cada una de las estaciones remotas, gracias a la inclusión de librerías TCP abiertas que permiten establecer la comunicación directamente contra dispositivos ROCKWELL, estas librerías “lccf cip client” de programación son de libre acceso.

Establecen una comunicación contra un dispositivo cualquiera que disponga del protocolo cip (en este caso los PLC de la familia ROCKWELL). Esta librería inicia la comunicación al principio del ciclo y la mantiene abierta siempre que el PLC esté corriendo.

No obstante, si se pierde la comunicación o se apaga algún PLC de proceso dicha comunicación permanece abierta y por tanto el autómatas no es capaz de diagnosticar dicho problema. Esto implica que si se pierde la comunicación obliga al PLC a pararse para reiniciar la comunicación SIEMENS-ROCKWELL y al estar hablando de plantas que

pueden no tener personal 24h o que pueden estar alejadas de la central hemos descartado esta opción.

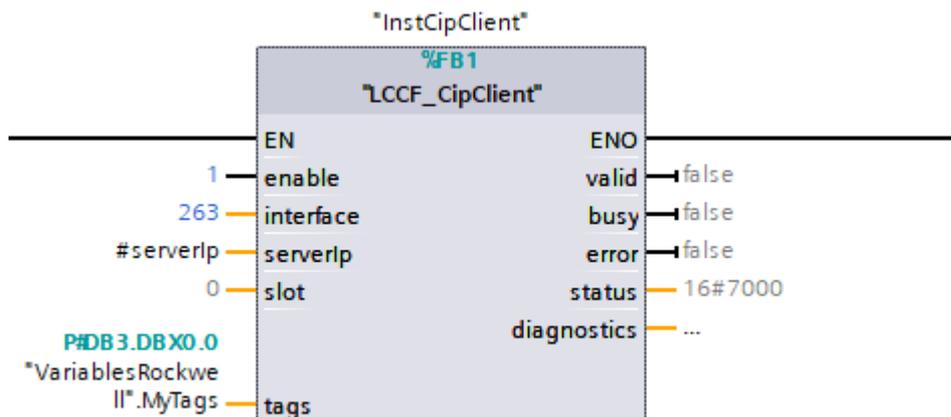


Figura 9: Ejemplo uso librería

Finalmente se instalará la pasarela de comunicaciones que requiere la programación interna de las variables que se van a comunicar y el volcado de HW para integrar en el proceso, no obstante, solamente necesitará una parada. Quedando el HW del PLC de la siguiente manera:



Figura 10: Ejemplo HW

Por otro lado, nuestra arquitectura de red sería bastante sencilla al solamente incluir la pasarela desde el lado de SIEMENS. En este sentido la inclusión de la pasarela nos permite tener una red independiente entre el proceso y las comunicaciones de manera que no tengamos que incluir ningún elemento en la planta depuradora.

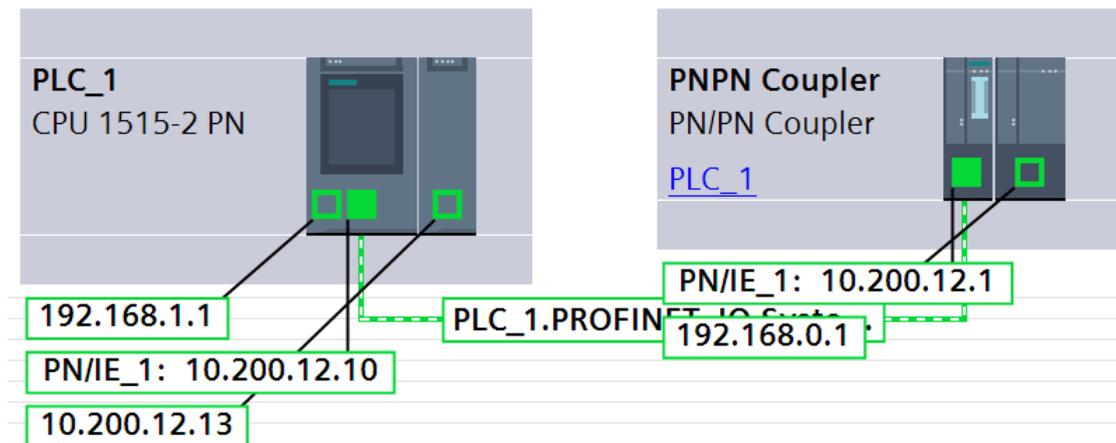


Figura 11: Ejemplo HW

La inclusión del elemento nos facilita mucho la programación del autómatas que será una simple asignación de datos entre la pasarela y el bloque de datos que posteriormente nuestra CP1545 se encargará de subir hasta nuestra central de datos

```
151 "Datos"."D087.VD[34].IXValClosed" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[150].value);
152 "Datos"."D087.An[47].OFValEU" := DWORD_TO_REAL("VariablesRockwell".MyTags[151].value);
153 "Datos"."D087.VD[35].IXValOpen" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[152].value);
154 "Datos"."D087.VD[35].IXValClosed" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[153].value);
155 "Datos"."D087.VD[36].IXValOpen" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[154].value);
156 "Datos"."D087.VD[36].IXValClosed" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[155].value);
157 "Datos"."D087.Mo[48].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[156].value);
158 "Datos"."D087.Mo[49].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[157].value);
159 "Datos"."D087.Mo[50].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[158].value);
160 "Datos"."D087.Mo[51].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[159].value);
161 "Datos"."D087.Mo[52].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[160].value);
162 "Datos"."D087.An[56].OFValEU" := DWORD_TO_REAL("VariablesRockwell".MyTags[161].value);
163 "Datos"."D087.An[57].OFValEU" := DWORD_TO_REAL("VariablesRockwell".MyTags[162].value);
164 "Datos"."D087.An[58].OFValEU" := DWORD_TO_REAL("VariablesRockwell".MyTags[163].value);
165 "Datos"."D087.An[59].OFValEU" := DWORD_TO_REAL("VariablesRockwell".MyTags[164].value);
166 "Datos"."D087.Mo[60].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[165].value);
167 "Datos"."D087.An[68].OFValEU" := DWORD_TO_REAL("VariablesRockwell".MyTags[166].value);
168 "Datos"."D087.Mo[61].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[167].value);
169 "Datos"."D087.Mo[63].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[168].value);
170 "Datos"."D087.Mo[64].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[169].value);
171 "Datos"."D087.Mo[66].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[170].value);
172 "Datos"."D087.An[69].OFValEU" := DWORD_TO_REAL("VariablesRockwell".MyTags[171].value);
173 "Datos"."D087.Mo[67].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[172].value);
174 "Datos"."D087.Mo[68].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[173].value);
175 "Datos"."D087.Mo[69].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[174].value);
176 "Datos"."D087.Mo[70].IXValRunConf" := DWORD_TO_BOOL("VariablesRockwell".MyTags[175].value);
177 "Datos"."D087.An[74].OFValEU" := DWORD_TO_REAL("VariablesRockwell".MyTags[176].value);
178 "Datos"."D087.An[75].OFValEU" := DWORD_TO_REAL("VariablesRockwell".MyTags[177].value);
179 "Datos"."D087.An[76].OFValEU" := DWORD_TO_REAL("VariablesRockwell".MyTags[178].value);
```

Figura 12: Ejemplo asignación de datos en SCL

Por último, será necesario programar la pasarela en sí que comunica directamente dos variables. Para programar se puede realizar vía servidor web o

directamente desde el software de programación TIA PORTAL

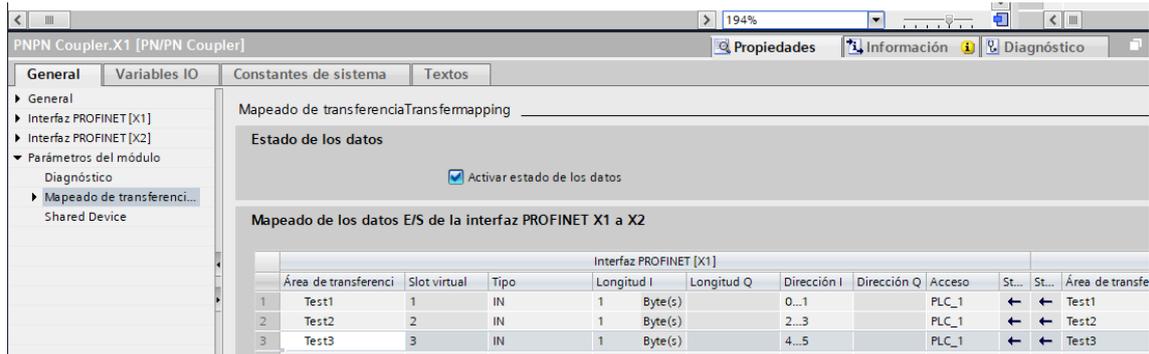


Figura 13: Ejemplo pasarela

Es importante detallar que en los PLC de la planta es necesario incluir la pasarela dentro de la red para que pueda comunicar.

### 2.3. Sistema Escogido

En el caso de ser una gran empresa que dispusiera de una gran red de fibra óptica propia que pudiera ser utilizada para el transporte de datos se hubiera optado por la utilización de esta con Routers de seguridad como por ejemplo el SC646. Dado que el número de empresas que dispone de este tipo de infraestructura es muy pequeño y no es fácilmente adaptable hemos escogido la utilización de Módem que permiten la fácil implementación de estaciones remotas.

Otra ventaja es que el protocolo escogido MQTT no necesita un gran ancho de banda para la conexión entre estaciones y que la forma de encriptar los datos por IPSEC VPN tampoco necesita de tecnología LTE para funcionar, por tanto, con cobertura GPRS o incluso UMTS es posible conectar remotas.

En caso de querer algunos de los servicios que posteriormente explicaremos si que sería necesario mayor velocidad y ancho de banda, por tanto, se recomienda la instalación de antenas que mejoren la cobertura para poder utilizar LTE.

Estas estaciones deberán de disponer de una SIM con conexión a internet, para ello, podemos utilizar cualquiera de las compañías telefónicas, por ejemplo: Movistar, Orange, Vodafone... En el caso de disponer de una red muy grande de remotas se puede utilizar un APN propio, el cual la compañía nos proporciona y nos permite tener un punto de acceso a internet "privado".

En nuestro caso el PIN/PUK de la tarjeta no es importante ya que los módems escogidos (M876-4) son que permiten tanto creación de VLAN como el uso de túneles VPN. Esto es importante puesto que nos permiten tanto la creación de subredes en caso de que existan varias remotas en un solo módem o de que nuestra red de planta sea lo suficientemente grande como para que se ocupen las 255 IP de una subred.

Por otro lado, el transporte de datos hacia la maestra se hace mediante túneles IPSEC, esta tecnología basada en el protocolo de internet (IP) codifica los datos en el

origen y lo descodifica en el destino. Dicho protocolo se basa en un intercambio de claves que deben conocer ambos extremos del túnel que encripta el basado en el Internet Key Exchange de esta manera podemos utilizar un servidor de servicios comercial habitual para poder realizar nuestra infraestructura de manera segura.

Este protocolo es uno de los que está listado en el Real Decreto 479/2020 que establece las normativas de especialización de ciberseguridad en el entorno de la tecnología de la información y la industria.

En cuanto a la topología Maestro-Remoto quedaría con el siguiente esquema:

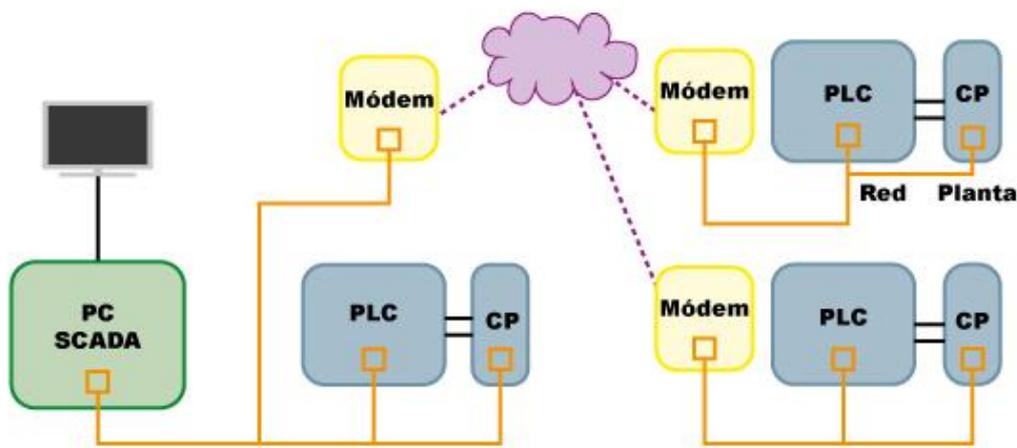


Figura 14: Esquema Red 2

La idea final es acotar un sistema parecido al que podemos apreciar en la imagen con un ordenador maestro que recoge los datos de cada uno de los PLCs remotos que podemos apreciar, en este caso se han representado únicamente 2 pero se podría extender a N estaciones.

El proyecto se centra en la integración de una de las remotas en el sistema y su posterior visualización en INTOSITE, no obstante, una de las principales ventajas es la obtención de todo un sistema de mantenimiento que se puede beneficiar.

En el gráfico podemos apreciar la implementación de un SCADA de mantenimiento que puede acceder a todos los PLCs concentradores de proceso, tanto para acceder vía INTOSITE como para poder escribir de forma remota. De hecho, en caso de decidir instalar el software de mantenimiento y gracias a situar los PLCs en red de planta podríamos llegar a operar directamente en los propios autómatas de

proceso o conectarnos al SCADA de planta para poder conocer el estado de los elementos.

Si no implementamos las ventajas de MINDSPHERE, hasta ahora se trataría de un sistema de telecontrol habitual en el que las tareas de mantenimiento se realizan de forma centralizada desde un puesto en las oficinas centrales que controla el estado de las remotas. No obstante, gracias a la implementación en la nube, se puede acceder a toda esta información desde cualquier punto que permita una conexión a internet, ya sea desde ordenador u otro dispositivo.

### 2.3.1. Módem de Remota

Los módems se configuran por servidor web mediante un usuario y contraseña seguros que deben ser previamente conocidos por la persona que acceda.



Figura 15: Ejemplo LOGIN

Como nos explica el Real Decreto es importante limitar el tráfico de escritura en la estación, por tanto, además de los túneles VPN, cada uno de los módems tiene configurada de manera interna un firewall. Se debe configurar una norma por cada servicio que se permita. Por tanto, los puertos que quedan expuestos son únicamente los que nosotros configuremos y de la manera en la que configuremos.

Existen algunos servicios predefinidos para IPv4 de los más comunes que podemos encontrar, en nuestro caso hemos escogido los siguientes por utilidad:

- PING: Para poder diagnosticar de forma sencilla la conexión entre el módem de la remota y la estación.
- HTTPS: Para poder disponer de un ordenador central que pueda diagnosticar vía web el módem. Utiliza el puerto 443.
- SSH: Que permite el acceso mediante línea de comandos al dispositivo. Utiliza el puerto 22

- DHCP: En caso de que queramos conocer alguna configuración relacionada con la máscara de red o la puerta de enlace predeterminada. Utiliza el puerto 67.
- IPSEC VPN: Para permitir el tráfico de los túneles. Utiliza el puerto 500.
- SNMP: Protocolo que permite el diagnóstico de los propios equipos. Utiliza el puerto 161.

Por otro lado, existe la posibilidad de configurar más servicios personalizados, algunos de los cuales aprovecharemos para activar:

- VNC: Se trata del protocolo que se suele utilizar para el control de HMI de forma remota, es necesario habilitar el puerto 5900, se trata de un servicio que requiere un ancho de banda bastante grande y que dependiendo de la cobertura puede llegar a ser difícil de llevar a cabo.
- MQTT: Se trata del protocolo principal del IOT, explicaremos sus ventajas más adelante. Utiliza el puerto 8893
- S7: Es la mensajería más común entre los PLC de la marca Siemens. Se habilita por si fuera necesario el tráfico entre varios autómatas. Utiliza el puerto 102

Una vez configurados los servicios se debe definir la dirección del tráfico desde dónde se debe de acceder a dichos servicios. En este caso, solo permitiremos conexiones de lectura, es decir desde las remotas hacia las maestras. Excepto los mensajes que vengan por el puerto 102 para la escritura via ISOOnTCP que explicaremos más adelante.



Protocol	Action	IPsec	VLAN	Source IP	Destination IP	Port	Service	Priority	Direction
<input type="checkbox"/> IPv4	Accept	IPsec (all)	vlan1 (INT)	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	ping	info	2	all
<input type="checkbox"/> IPv4	Accept	IPsec (all)	vlan1 (INT)	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	HMI	info	3	all

Figura 16: Ejemplo Configuración PING y HMI

Es importante que no se olvide configurar que no se deben aceptar ninguna conexión que no venga por los mencionados servicios anteriormente



Protocol	Action	IPsec	VLAN	Source IP	Destination IP	Port	Service	Priority	Direction
<input type="checkbox"/> IPv4	Drop	IPsec (all)	vlan1 (INT)	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	all	none	24	all
<input type="checkbox"/> IPv4	Drop	vlan1 (INT)	IPsec (all)	0.0.0.0/0	0.0.0.0/0	all	none	25	all

Figura 17: DROP Conexiones

### 2.3.2. Módem de Cabecera

El módem de cabecera tendrá una configuración muy similar a los de las estaciones remotas, no obstante, dispondrán de una todos los túneles IPSEC pre-

creados con el objetivo de que cuando queramos introducir una nueva estación no sea necesario volver a configurar este módem.

Name	Authentication	CA Certificate	Local Certificate	Local ID	Remote Certificate	Remote ID	PSK	PSK Confirmation
ESTACION-001	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-002	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-003	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-004	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-005	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-006	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-007	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-008	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-009	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-010	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-011	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-012	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-013	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-014	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-015	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-016	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-017	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-018	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-019	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-020	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-021	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-022	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-023	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-024	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-025	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-026	PSK	-	-		-		*****	*****
ESTACION-027	PSK	-	-		-		*****	*****

Figura 18: Ejemplo conexiones IPSEC

Para una mayor sincronización de los equipos este módem hará de servidor horario NTP mientras que los demás Router serán clientes que actualizarán su hora de este módem. Además, este Router tendrá su boca externa conectada a internet y por tanto, podrá conectarse a cualquier servidor de hora global, como por ejemplo: [time.windows.com](http://time.windows.com)

Un servicio que cabe destacar del que prescindimos es SINEMA RC que permite la conexión entre Server y clientes de manera segura puesto que permite la integración de usuarios nominativos y doble factor de autenticación. No obstante, está pensado para dar acceso a personal ajeno a nuestras instalaciones, ya sea, para tareas de mantenimiento o para nuevas implementaciones. Hemos considerado que el acceso a nuestros equipos se hará siempre por personal propio manteniendo así el Know-How de la red internamente. Además, la implementación de SINEMA RC nos obliga a tener un servidor propio para el mantenimiento y una licencia que encarecería el proyecto, y por supuesto, personal para mantener correctamente implementado dicho servicio.

Otro de los servicios que hemos desestimado es el escritorio remoto sobre los servidores de los SCADA de planta, debido a que se entiende que las planta tipo EDAR deben ser lo suficientemente grandes como para tener personal que las atienda 24h y el objeto de este la lectura general del proceso.

La implantación de los servicios y de las configuraciones previamente habladas nos permite tener una serie de ventajas que detallaremos a continuación:

- Fácil implementación de nuevas remotas, ya que, la configuración de todos los equipos es la misma con la simple diferencia del cambio de IP interna del módem de las remotas.

- Conexión segura de manera interna creando una zona DMZ que aísla el tráfico de internet y posibles ciberataques.
- Sincronización horaria de todos los equipos permitiendo una conexión en tiempo real.
- Posibilidad de comunicación entre Remotas mediante IPSec-VPN y entre los PLC mediante el protocolo s7
- Servidor de mantenimiento que puede llegar hasta las redes internas de planta y cargar programas, utilizar VNC sobre los HMI.

## 2.4. Comunicación MQTT

El protocolo escogido para transportar los datos será MQTT, este protocolo es altamente utilizado para dispositivos basados en el Internet of Things (IOT). Se ha escogido este protocolo porque se trata de un modelo de comunicación publicador/subscriptor que permite la inclusión de nuevos equipos de una manera muy sencilla por encima de los típicos modelos cliente/servidor que comunican directamente entre sí.

Para implementar MQTT es necesario un tercer componente denominado agente de mensajes que controla la comunicación entre los clientes y los servidores. En nuestro caso será un ordenador en el que se instala un Open-Source bróker: MOSQUITTO.

Nuestro ordenador utiliza NODERED para poder realizar dicho control. Se trata de una herramienta de programación gráfica bastante sencilla de utilizar que permite comunicar hardware y servicios de una manera muy rápida y sencilla. Puede instalarse en ordenadores con cualquier sistema operativo y permite una interpretación muy sencilla de los datos.



Figura 19: Ejemplo conexiones NODE-RED

En nuestro caso conectaremos con el PLC de planta que llevará sus datos al conector que convierte en el formato interpretable por MindSPHERE y posteriormente se suben directamente. En caso de que el no este correcto se envía un mensaje de error. Este conector permite el tratamiento de datos, por ejemplo, dividir entre una variable o convertir a digitales/analógicas.

El conector es descargable de la página de oficial de Siemens y es configurable para la cantidad de datos que queramos y el formato de estos. Se puede también

escoger el tipo de mensaje que te debe dar en caso de fallo de comunicación. Por el tipo de protocolo escogido (MQTT) el formato fecha siempre la comunicación y por tanto, se dispone siempre de la fecha en el momento de la recepción de los datos.

El conector que sube los datos también es fácilmente descargable de la página de Siemens y lo único que contiene es un enlace a la URL de Mindsphere:

<https://southgate.eu1.mindsphere.io>

Al ser un protocolo publicador/subscriptor se pueden instalar algunos softwares que permiten conocer el correcto funcionamiento de nuestra forma de comunicaciones en este punto. En nuestro caso utilizaremos MQTT Explorer que permite conectarte ante un servidor de MQTT y saber que TOPICS le están llegando.

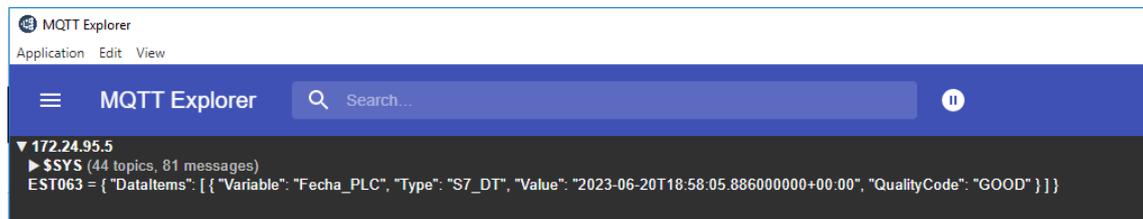


Figura 20: Ejemplo MQTT-Explorer

Se ha escogido por encima de otros protocolos basados gracias a que requiere unos recursos bastante pequeños para poder optimizar el ancho de banda en la red y mandar una mayor cantidad de mensajes.

Además, permite diferentes niveles de configuración con el fin de garantizar la fiabilidad: como máximo una vez (0), al menos una vez (1) y exactamente una vez (2) permite a su vez la encriptación vía IPSEC y es fácilmente escalable a otros dispositivos.

La implementación en nuestro sistema se hace mediante la utilización de un procesador de comunicaciones en nuestro PLC de las remotas que comunica a su vez con otro instalado en las maestras. Nuestro bróker leerá directamente del PLC Esclavo. Esto nos permite prescindir de una maestra al uso y utilizar directamente comunicación contra los PLCs instalados en planta.

Otra ventaja de la utilización de MQTT es la posible implantación de otros equipos configurables en este protocolo que no sean directamente autómatas y posean microcontroladores, un ejemplo podrían ser contadores de energía compatibles o similar.

## 2.5. Comunicación ISO

Sin embargo, un inconveniente que tiene MQTT es la dificultad para escribir sobre las variables de proceso.

Para ello vamos a mantener la instalación de una PLC maestro de comunicaciones que permita la escritura de datos vía ISOonTCP. A pesar de no ser el

objetivo principal del proyecto se mantiene dicha implementación en vías de posibles futuras líneas de investigación

La escritura de datos en una planta vía remota es bastante compleja y supone una gran cantidad de riesgos tanto para las máquinas como para los humanos, por tanto, se debe de limitar a mensajería muy concreta, prácticamente de emergencia, para parar procesos o enviar consignas críticas.

La ventaja de ISOonTCP es que el mensaje debe escribirse en ambos lados de la comunicación de manera que te aseguras de que al PLC de la remota no puede llegar ningún mensaje que no esté controlado. Para un mayor control se utilizará una vez trigger que comunicará cada 30 segundos, esto nos permite un mayor control sobre la mensajería.

## 2.6. MINDSPHERE

MindSphere es el sistema operativo abierto de siemens que permite la recolección y procesado de una gran cantidad de recursos.

Al ser de una marca concreta nos surgen varias ventajas e inconvenientes:

- Pros:
  - No necesitamos de servidores propios de almacenamiento. Lo que abarata los costes iniciales del proyecto, además no debemos estar preocupados por la seguridad de estos
  - Plataforma abierta. numerosas opciones para el intercambio de datos utilizando las API abiertas de Siemens y la accesibilidad nativa a la nube
  - Escalabilidad. Permite interconexión con Amazon Web Service y Microsoft Azure.
  - Permite la inclusión de datos procedentes de todo tipo de equipos. En nuestro caso llegan vía MQTT, pero podrían ser de cualquier otro protocolo, por ejemplo OPC.
  - La principal ventaja es que puedes acceder a dichos datos a través de la nube, lo que permite acceder a los datos desde cualquier punto de forma segura mediante un enlace de LOGIN en los servidores de SIEMENS.
- Contras:
  - Al no ser ingeniería propia te obliga a estar formado y conocer el formato de trabajo de la marca fabricante.
  - Te obliga a pagar una suscripción mensual basado en el número de datos.
  - Es una tecnología nueva. A pesar de estar 100% probada no está muy extendida y en caso de necesitar algún tipo de ayuda técnica solamente es proporcionada por SIEMENS o alguno de sus Partners Asociados.

A pesar de que a nadie le gusta estar basado en un software propietario creemos que la ventaja de poder acceder a los datos de forma segura desde cualquier punto permite una gran accesibilidad para los responsables de las plantas.

Además, posibilidad de desarrollar aplicaciones propias en MINDSphere permite la creación de una futura línea de investigación que permita otros formatos de presentación de datos o de estudio de datos históricos.

Algunas de las aplicaciones que SIEMENS incluye en MINDSphere están orientadas a diferentes usos, por ejemplo existen aplicaciones directamente pre-programadas para la visualización y el control de datos energéticos. En nuestro caso usaremos INTOSITE para la representación de nuestras plantas.

La topología final a modo de resumen quedaría de la siguiente manera:

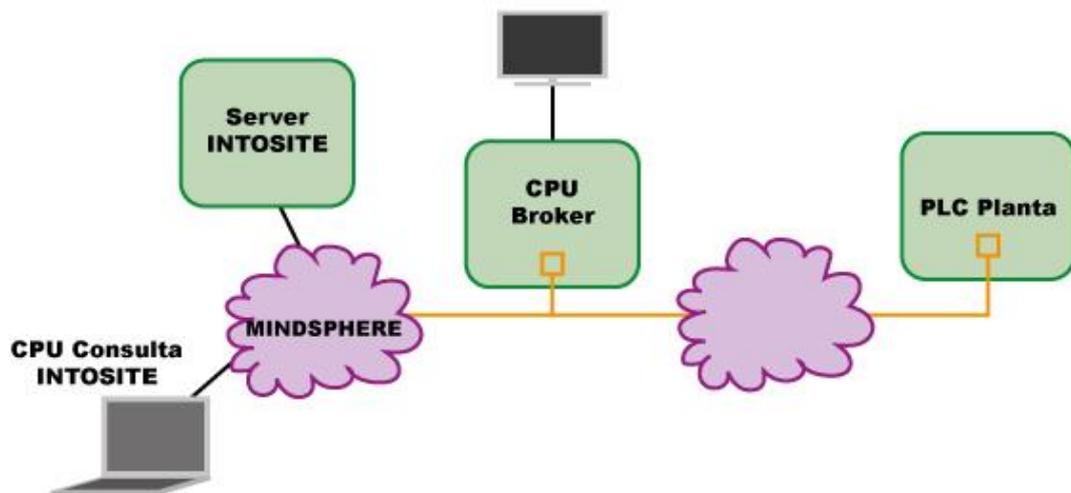


Figura 21: Esquema Red 3

Como se puede apreciar cualquier ordenador con acceso a MINDSPHERE podría consultar INTOSITE y conocer el estado de nuestras plantas. Cabe decir que es necesario loggarse en el sistema de Siemens y que se permite realizar un sistema de usuarios en el que se pueda acceder solamente a algunas aplicaciones de MINDSPHERE.

## 2.7. INTOSITE

Se trata de una aplicación web basada en MINDSphere y desarrollada utilizando infraestructura de Google Earth. Intosite tiene una visión global geolocalizar las plantas dentro de un territorio.

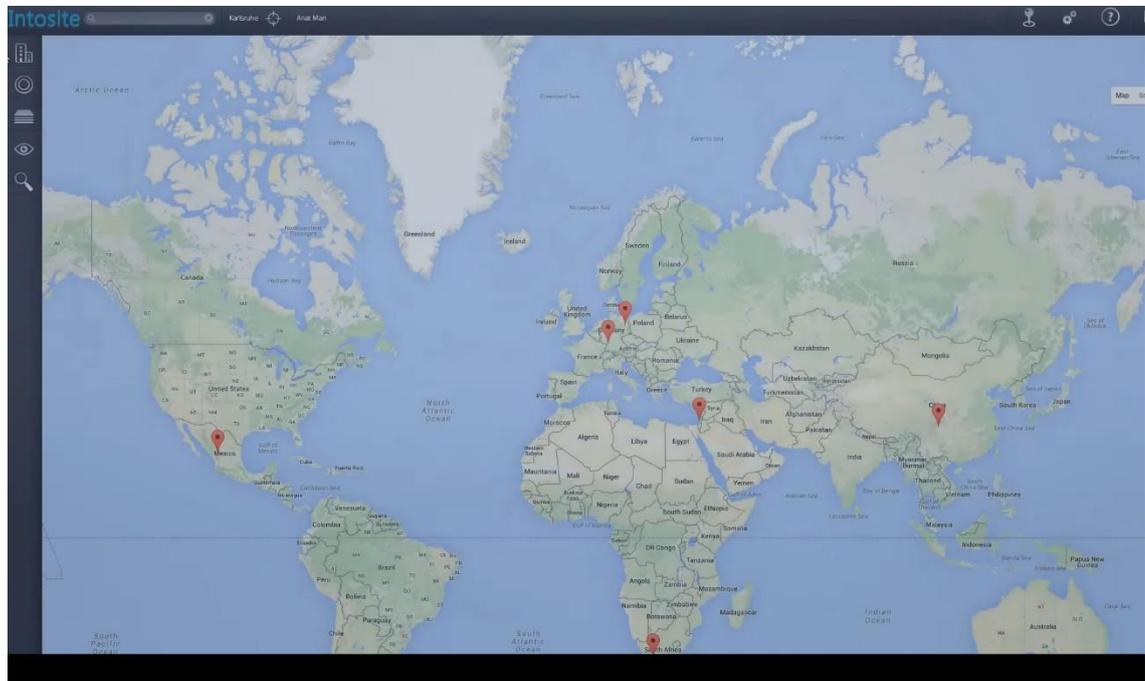


Figura 22: Ejemplo Intosite

Pero lo principal es que permite la inclusión de un modelo fiel de nuestra planta en 3D mediante dicha tecnología incluyendo diferentes vistas de nuestra planta e incluyendo los elementos más interesantes de nuestra planta con datos en directo y datos históricos.

Para ello, es necesario un escaneo 3D de la depuradora como una representación lo más fiel posible de la planta. Se puede representar de cualquier formato, en nuestro caso, nos hemos centrado en la muestra de las posibles tecnologías que se pueden llegar a representar.

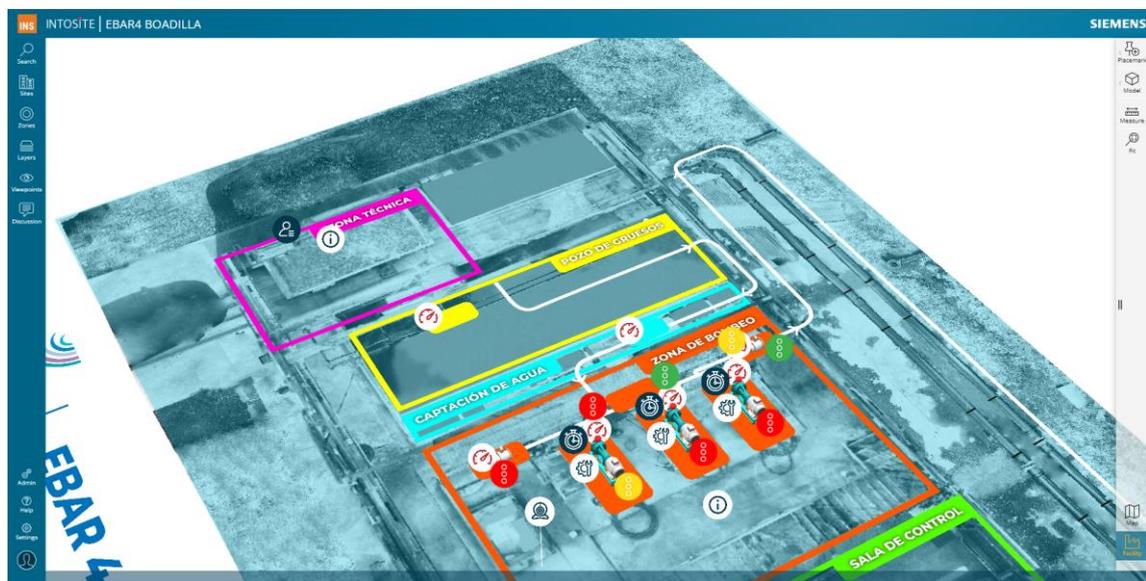


Figura 23: Ejemplo EBAR

Algunas de las posibilidades de este formato es desplazarte entre los CCM/Salas de la planta, esto permite una mayor facilidad de situación de las averías y una representación gráfica más cercana a la realidad de la depuradora de lo que se puede obtener mediante un SCADA tradicional.

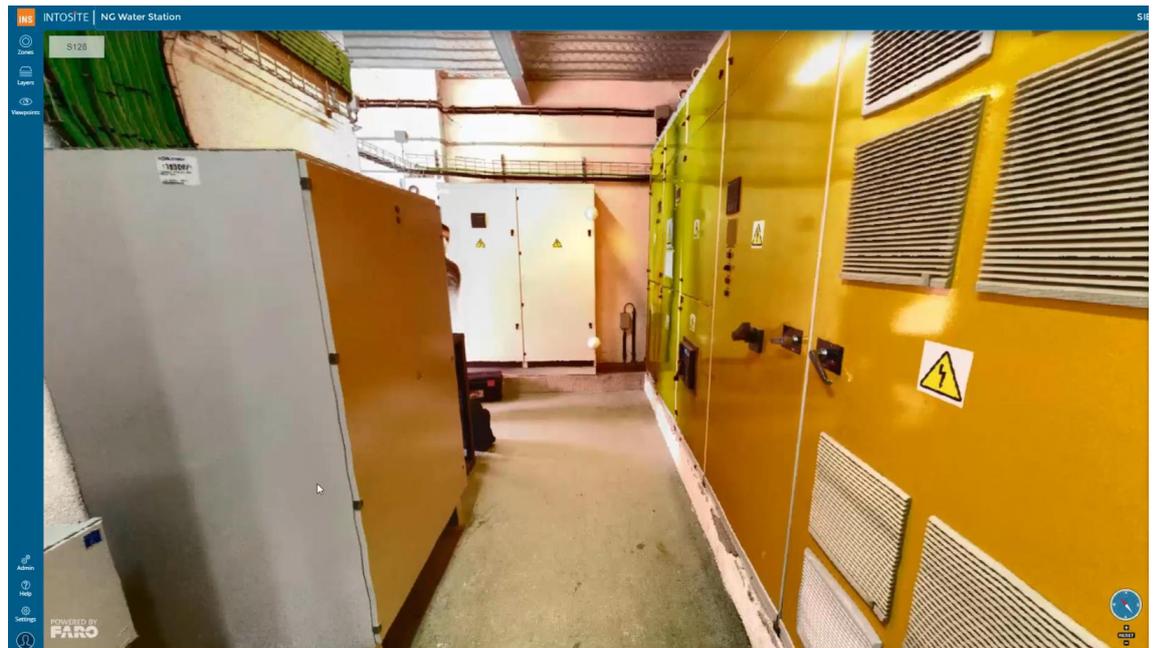


Figura 24: Ejemplo CCM

Esta representación gráfica está basada en capas de representación que pueden escogerse visibilidad y formato de estas.

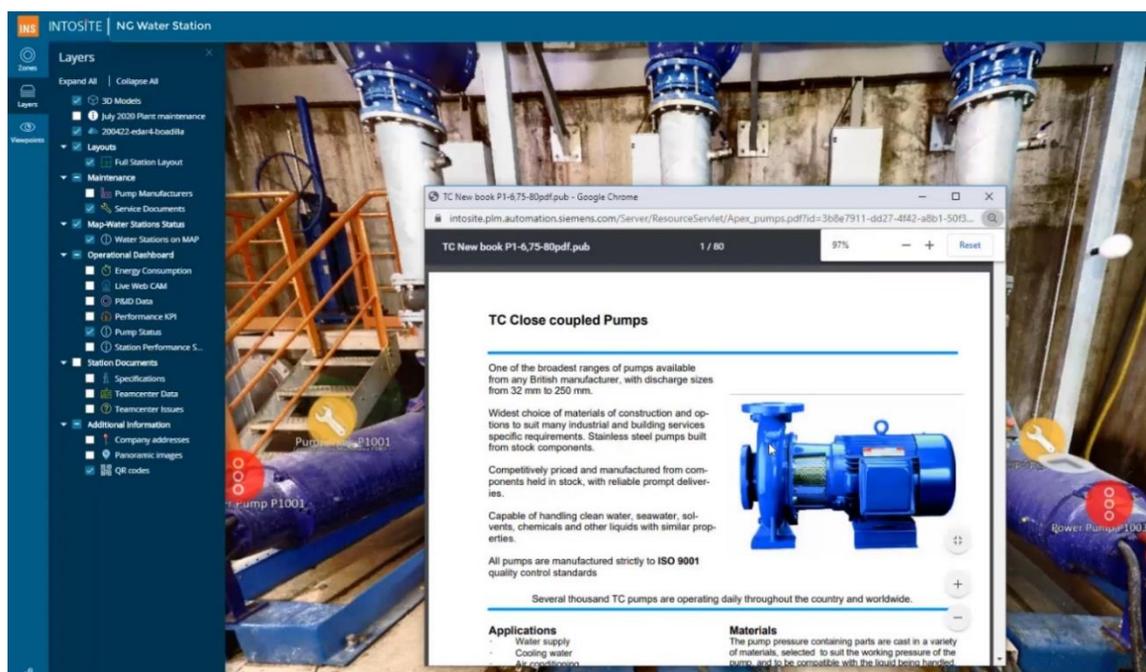


Figura 25: Hoja Características

Se puede incluir desde el valor actual de la bomba (marcha paro) al valor histórico, horas de funcionamiento... Además, se puede incluir de manera sencilla la hoja de características o el consumo eléctrico de un equipo concreto. Permite la inclusión de gráficas comparativas fácilmente exportables a nuestros equipos.

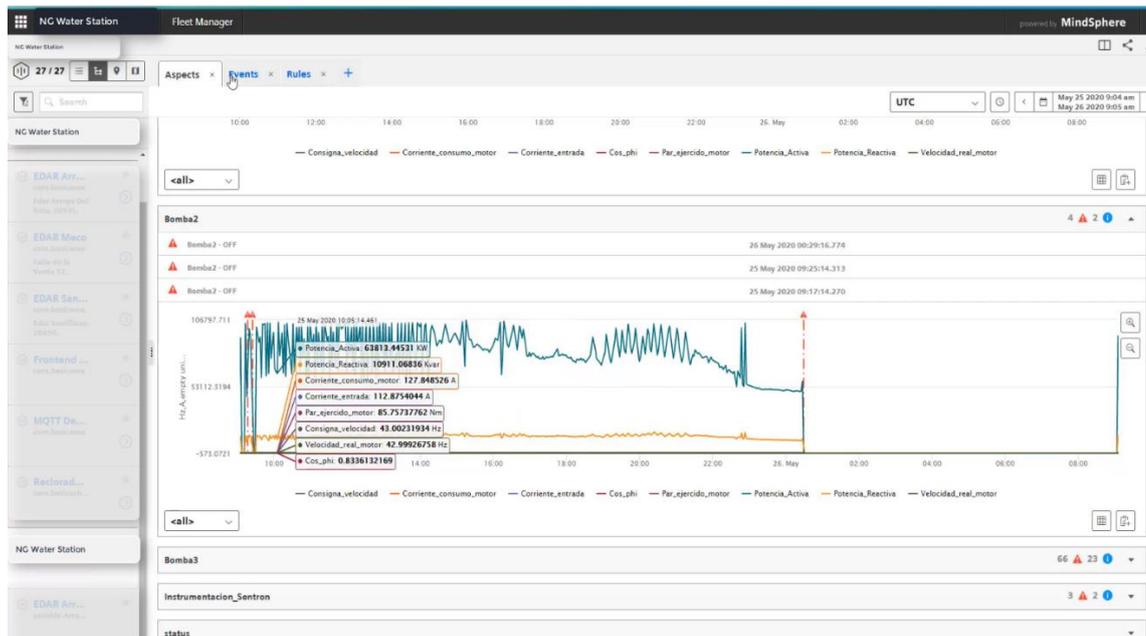


Figura 26: Gráficas

Cabe recordar que el principal valor de esta herramienta es la posibilidad de acceder a los datos desde cualquier lugar de forma sencilla y con cualquier equipo.

La principal desventaja reside en que no sustituye a un SCADA tradicional puesto que no está preparado para la escritura de datos de forma convencional ni para el tratamiento de la cantidad de datos de los que puede disponer una gran planta si no que está pensado para conocer el estado actual de una planta en su conjunto y de sus elementos más representativos.

Por poner un ejemplo: No debe contener el estado de todos los presostatos/caudalímetros de la planta, sin embargo, si debe disponer de los principales: entrada de agua bruta, salida de planta, elevación de pozo... O de los motores que más consumo tengan de la planta.

Dispone además de un valor añadido y es la calidad visual de las imágenes que permite una representación gráfica limpia que acerque la planta a los posibles visitantes. Permite navegar por el interior de la planta sin necesidad de estar físicamente allí

### 3. PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

El proyecto es de una duración media-baja de implantación en la que se debe tener en cuenta desde la fabricación del cuadro a la integración en una red de control más grande.

Este cronograma está muy afectado por el tiempo de suministro de los elementos necesarios en el cuadro y que depende del estado actual del mercado. Por otro lado, se puede aprovechar dicho tiempo para definir los datos que queremos

modelar, así como avanzar en los programas de PLC, pasarelas y Switch, así como en elementos de modelado genéricos, tales como, diseñado de la obra de la planta en 3D, diseño de los elementos (bombas, caudalímetros...) situación de dichos elementos...

Por un lado, debemos realizar el cronograma de la creación de un cuadro central en el que se recojan los datos y la integración del bróker dentro del mismo cuadro que hará de “Maestro”.

Supondremos la utilización de una red de comunicaciones más grande que nos suministrará un proveedor comercial (por ej: Orange o Movistar) que nos permita con una tarjeta SIM conectar entre sí los Módem. El cronograma quedaría de la siguiente manera:

Hito	Descripción	Tiempo	Tiempo Total
Petición de materiales	Los más costosos deberían ser los Módem de comunicaciones, el PLC maestro y el IPC.	100 días	100 días
Realización del cuadro eléctrico	Realización del cuadro con los elementos necesarios.	3 días	103 días
Programación de equipos	Programación necesaria del SW-646 para comunicar con internet y programación de CP1545 y subida de datos en el bróker con las pruebas de puesta en marcha	10 días	103 días ( se solapa)
Instalación del cuadro	Instalación del cuadro en nuestra sede central	2 días	107 días
Desarrollo del interfaz	Creación de los dibujos que posteriormente utilizaremos en nuestras plantas y la ingeniería base de los datos que mostraremos posteriormente en INTOSITE	50 días	117 días (se solapa)

Por otro lado, es necesario realizar un cuadro por cada una de las plantas remotas que existirán en nuestra red, estos trabajos se pueden realizar a la vez de la instalación del cuadro central, por tanto, el tiempo total debería rondar los 115 días:

Hito	Descripción	Tiempo	Tiempo Total
Petición de materiales	Los más costosos deberían ser los Módem de comunicaciones, el PLC esclavo y las pasarelas de comunicaciones.	90 días	90 días
Realización del cuadro eléctrico	Realización del cuadro con los elementos necesarios.	2 días	92 días
Instalación del cuadro	Instalación del cuadro e integración con la red de planta, así como las pruebas de puesta en marcha.	2 días	94 días

Comunicación con los elementos de planta	Programación y puesta en marcha del PLC para comunicar con los elementos necesarios de planta	2 días	96 días
Comunicación con la central de la empresa	Comprobación del correcto envío de datos a la central y programación de los túneles de información seguros	1 día	97 días
Subida de datos	Comprobación de la subida de datos vía MQTT desde nuestro PLC central a la nube. MINDSPHERE	1 día	98 días
Desarrollo del interfaz	Creación del modelado de la planta en la plataforma INTOSITE, incluyendo visitas a la planta y toda la documentación necesaria	15 días	98 días (este tiempo se solapa)
Inclusión de los datos en la plataforma	Inclusión de los datos subidos en el modelado de la planta, incluyendo toda la documentación y los elementos definidos	7 días	105 días
Comprobación del estado	Realización de un control exhaustivo del cumplimiento de las normas de ciberseguridad y veracidad de los datos	7 días	112 días

En cuanto al presupuesto, al igual que el cronograma debemos tener en cuenta que se trata de una estimación que puede variar ampliamente según el estado actual del mercado de suministros. En cuanto a la realización se ha tomado por defecto el precio PVP marcado por el fabricante y se ha realizado la diferencia entre las horas de trabajo de un técnico electricista y un programador de PLC/equipos de comunicaciones.

También se debe diferenciar entre el coste del cuadro “Maestro” que contenga los datos de las estaciones y suba los datos al Bróker y los cuadros de las estaciones remotas.

Hito	Descripción	Coste	Coste Total
Cuadro Eléctrico	Módem 874-6	800 €	800 €
	PLC 1515-2	2.915 €	3.715 €
	CP1545	1.957 €	5.672 €
	IPC327G	2.156 €	7.828 €
	SC646	1.500 €	9.328 €
	Aparamenta de protección	200 €	9.528 €
	Mano Obra (3d *8h/día* 25€/h)	600 €	10.128 €
	Caja y placa de montaje	150 €	10.278 €
Programación de equipos	Mano Obra (10d *8h/día* 50€/h)	4.000 €	14.278 €
Desarrollo del interfaz	Mano Obra (45d *8h/día* 50€/h)	20.000 €	34.278 €

Hito	Descripción	Coste	Coste Total
Cuadro Eléctrico	Módem 874-6	800 €	800 €
	PLC 1515-2	2.915 €	3.715 €
	CP1545	1.957 €	5.672 €
	Pasarela Comunicaciones	1.826 €	7.498 €
	Aparamenta de protección	200 €	7.698 €
	Mano Obra (5d *8h/día* 25€/h)	1.000 €	8.698 €
	Caja y placa de montaje	150 €	8.848 €
Programación de equipos	Mano Obra (4d *8h/día* 50€/h)	1.600 €	10.448 €
Desarrollo del interfaz	Mano Obra (29d *8h/día* 50€/h)	11.600 €	22.048 €

Por tanto, el coste total del “core” completo sería de en torno a 35.000€ y cada una de las plantas que debiera de instalarse sería de en torno a 22.000€ esto nos hace un total de 52.000€ +22.000€ por cada planta que queramos integrar y un total de unos 4 meses por cada una de las plantas que queramos añadir.

#### 4. LÍNEAS FUTURAS Y CONCLUSIONES

Existen varias posibilidades de ampliación de este proyecto, la primera de ellas es la evidente escalabilidad del proyecto, de forma que puede implementarse fácilmente en un número elevado de plantas simplemente instalando un cuadro remoto e implementando el proyecto en INTOSITE.

También existe la posibilidad de incluir una estación de mantenimiento al uso desde la que se conecta con todos los ordenadores remotos, así como con los PLCs de proceso que estén en red. La forma en la que se ha pensado el esquema permite la inclusión de escritura de consignas, de forma que puede escalarse a una posible futura aplicación que incluya modos de funcionamiento.

Por otro lado, MINDSphere es una tecnología relativamente nueva y todavía no se han desarrollado todas las aplicaciones que se pueden llegar a tener y por tanto, se puede ampliar el funcionamiento, de hecho, se están desarrollando aplicaciones que permiten mantener un gemelo digital que simula el funcionamiento de nuestra planta. En este sentido las aplicaciones son casi infinitas.

En nuestro caso creo que se han cumplido bastante bien los objetivos, puesto que el principal de ellos era la creación de un modelo completo operativo y en tiempo real de una depuradora, esto se ha conseguido de una manera en la que se puede escalar a varias plantas y presentar un proyecto viable a largo plazo en el que todas las diferentes plantas distribuidas por un territorio pertenezcan a dicha red.

Se ha conseguido establecer dicha red mediante la utilización de protocolos de comunicaciones seguros y modernos que permiten una comunicación fiable que permite la conexión por internet.

Este proyecto me ha resultado un reto personal puesto que en mi día a día me dedico a la programación de autómatas y la realización completa de un modelo de telecontrol diferente a los que proponen las diferentes marcas me ha resultado un gran rompecabezas.

Por un lado, incluye un pensamiento íntegro del modelo y un diseño que cumpla con todas las expectativas que pueda tener una empresa real buscando la sencillez en la ejecución. Creo que se trata de un proyecto cuya realización es factible, un presupuesto no muy elevado y cuyos beneficios son bastante evidentes.

En el tema técnico me ha obligado a documentarme y aprender sobre el uso de protocolos de comunicaciones tanto de IoT como de seguridad. También me ha servido para iniciarme en el uso de Node-RED y las aplicaciones propietarias.

A pesar de ser un proyecto atractivo una de sus principales debilidades es depender de forma tan drástica de una marca, esto nos obliga tanto a pagar una "suscripción" mensual que varía por número de variables y a estar ligados tecnológicamente hablando a dicho fabricante de por vida.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Hojas características:

- SCALANCE:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ww/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatsheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3DMall%26mlfbs%3D6GK5876-4AA00-2BA2%26language%3Des>
- Antena:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ww/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatsheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3Dmall%26mlfbs%3D6NH9860-1AA00%26language%3Des>
- Pasarela:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ww/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatsheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3Dmall%26mlfbs%3D6ES7158-3AD10-0XA0%26language%3Des>
- TIM:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ww/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatsheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3Dmall%26mlfbs%3D6GK7543-1MX00-0XE0%26language%3Des>
- PLC:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/ww/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatsheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3Dmall%26mlfbs%3D6ES7515-2AM02-0AB0%26language%3Des>
- CP1545:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatsheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3Dmall%26mlfbs%3D6GK7545-1GX00-0XE0%26language%3Des>
- IPC:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10436629?activeTab=productinformation&regionUrl=WW>
- SC646:  
<https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatsheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3Dmall%26mlfbs%3D6GK5646-2GS00-2AC2%26language%3Des>

MQTT: <https://aws.amazon.com/es/what-is/mqtt/>  
<https://mqtt.org/>

IPSEC: <https://aws.amazon.com/es/what-is/ipsec/#:~:text=IPSec%20es%20un%20conjunto%20de,el%20protocolo%20sea%20m%C3%A1s%20seguro.>

Índice imágenes:

Figura 2: Scalance M876-4

[https://www.automation.siemens.com/bilddb/interfaces/InterfaceImageDB.aspx/GetImageVariant?objectkey=G\\_IK10\\_XX\\_92061&imagevariantid=16&lang=&interfaceuserid=MALL](https://www.automation.siemens.com/bilddb/interfaces/InterfaceImageDB.aspx/GetImageVariant?objectkey=G_IK10_XX_92061&imagevariantid=16&lang=&interfaceuserid=MALL)

Figura 3: Antena Scalance M876-4

[https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/116/jpg/P\\_IK10\\_XX\\_00921i.jpg](https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/116/jpg/P_IK10_XX_00921i.jpg)

Figura 4: Pasarela comunicaciones

[https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/116/jpg/P\\_ST70\\_XX\\_07710i.jpg](https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/116/jpg/P_ST70_XX_07710i.jpg)

Figura 5: PLC 1515 2-PN

[https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/116/jpg/P\\_IK10\\_XX\\_02253i.jpg](https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/116/jpg/P_IK10_XX_02253i.jpg)

Figura 6: CP1545

[https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/116/jpg/P\\_ST70\\_XX\\_08549i.jpg](https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/116/jpg/P_ST70_XX_08549i.jpg)

Figura 7: IPC

<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/pc-based/simatic-box-ipc.html#SIMATICIPC327G>

Figura 8: SC 646

[https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/116/jpg/P\\_IK10\\_XX\\_02332i.jpg](https://mall.industry.siemens.com/collaterals/files/116/jpg/P_IK10_XX_02332i.jpg)