



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

Sergio Romero Gómez

Trabajo Fin de Máster

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

CONTROL Y MONITORIZACIÓN EN LA NUBE DE UN PROCESO VIRTUALIZADO DE CARGA DE PÓLVORA EN BIDONES Y POSTERIOR EMPAQUETADO GESTIONADO MEDIANTE ERP

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN INDUSTRIA 4.0

Autor: Sergio Romero Gómez
Director: Antonio Guerrero González
Codirector: ----

Cartagena, septiembre 2023



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Índice

1	Introducción	3
1.1	Antecedentes	3
1.2	Objetivos	4
2	Revisión del estado de la tecnología	5
2.1	Tecnología utilizada	6
3	Proyecto original	6
4	Diseño de la arquitectura de la solución.....	8
4.1	Software utilizado en el proyecto.....	8
5	Desarrollo de control	14
6	Control y supervisión de la planta.....	40
6.1	Ignition	40
6.1.1	OPC UA.....	41
6.1.2	Scada desarrollado en Ignition.	47
6.2	Node-Red	48
6.3	Odoo (ERP).....	58
6.3.1	Integración Ignition-Odoo	59
6.4	Máquinas virtuales en Azure	64
7	Virtualización en Factory IO	67
8	Conclusiones.....	73
9	Bibliografía	74
10	Anexos: Proyecto Minicentrales de Canal Isabel II	75

1 Introducción

En este apartado se realizará una descripción sobre los puntos principales que se van a desarrollar en este proyecto. En primer lugar, los antecedentes, es decir, explicar en qué consiste el trabajo anterior que sirve de base para este, y sobre el que la empresa contratante, LaPólvora S. A., va a necesitar una ampliación. En segundo lugar, se especificarán los objetivos a lograr. Tras esto, se mostrará un ejemplo real que permita comprobar el estado actual de estas tecnologías. En tercer lugar, se describirá la arquitectura diseñada para esta implementación. Tras esto, se mostrará el código desarrollado para el autómata de la instalación y las tecnologías utilizadas para la supervisión y el control de la planta en remoto. Por último, se incidirá en la virtualización de esta instalación como gemelo digital. Se finalizará con las conclusiones extraídas tras la elaboración de este proyecto.

1.1 Antecedentes

El trabajo supone una ampliación del proyecto anterior diseñado para la empresa LaPólvora S. A. ante la necesidad de empaquetar su producto terminado del modo más seguro posible con el fin de distribuirlo a sus correspondientes clientes. Puesto que es imprescindible cumplir con las normativas de seguridad en entornos peligrosos, la compañía contrató a Automatismos S. L. para efectuar todos los protocolos de manera eficiente y realizar el diseño eléctrico y de control (gobernado por un autómata). Debido a la peligrosidad del producto, al tratarse de un material sumamente explosivo, era primordial actuar con especial diligencia en el tratamiento y manipulación de la pólvora. Por este mismo motivo, la disposición de las zonas de trabajo era una las cuestiones esenciales.

Este proyecto consistía, por tanto, en la realización de un proceso de automatización en una línea de dosificación de bidones de pólvora, así como en posterior empaquetado del producto. El objetivo principal era garantizar la protección de los operarios encargados de la manipulación de la mezcla explosiva, para ello, la opción más adecuada fue separar la zona de trabajo de la zona de dosificación, de este modo, se creó un entorno de trabajo seguro y eficiente.

Para llevar a cabo el proyecto, fue necesario diseñar y programar un autómata que se encargara de realizar la función de control; así como la interfaz de las pantallas HMI, desde las que los operarios pudieran controlar los parámetros de configuración del sistema. Además, se desarrolló el modo en el que la programación se interrelacionara con el hardware (equipos eléctricos de la

instalación), la resolución ante los posibles errores reales que surgieran durante el diseño de los planos, de la programación o en la puesta en funcionamiento del autómeta.

1.2 Objetivos

Tras la implementación del proyecto anterior, la instalación de carga de pólvora en bidones está actualmente gobernada por un autómeta de Siemens y posee, además, una pantalla de interfaz HMI, también de Siemens, que los operarios usan para el control de la instalación, las consignas a tratar y el número de bidones a cargar, entre otras configuraciones. Por tanto, podemos dar por solucionada la necesidad de control *in situ* por parte de los operarios.

El objetivo principal del proyecto es lograr el control y supervisión de la instalación desde cualquier parte del mundo, dejando a un lado las limitaciones geográficas, ya que LaPólvora S. A., consciente de las exigencias actuales del mercado, desea disponer de un sistema de SCADA más avanzado que permita actuar desde cualquier lugar. Para conseguir este hito, el sistema de SCADA deberá ser alojado en un centro de datos, más conocido como un servicio de “nube”. Por consiguiente, será en esta “nube” donde coexistan todos los sistemas que el cliente necesita para convertir su instalación en una fábrica 4.0. En la citada nube no solo será alojado el sistema de SCADA, sino también un sistema de supervisión seguro y adaptable como permite la tecnología de Node-Red, que proporcionará una supervisión personalizada de cada uno de los consumibles o productos terminados según la zona de la empresa que se trate.

Por tanto, la zona de proveedor de pólvora tendrá acceso, entre otros datos, al consumo de pólvora para ser más conscientes de las necesidades que tiene la zona de producción. La zona de proveedor de bidones tendrá acceso, entre otros, a los datos de pedidos en tiempo real de cuántos bidones se han solicitado a llenar. Y, por último, la zona de transporte dispondrá de una visión del número de bidones terminados correctamente para su posterior empaquetado y transporte.

Para finalizar, el departamento de ventas de la compañía LaPólvora S. A. necesita tener el control de pedidos desde el sistema ERP para, de esta forma, poder realizar los pedidos del número de bidones y la cantidad dispensada en estos de acuerdo con las peticiones del cliente. Además, cabe destacar que el cliente ha solicitado poder visualizar su instalación de la forma más realista posible mediante un gemelo digital que permita virtualizar el proceso para una revisión más exhaustiva. Tras la implementación del nuevo proyecto, todo quedará, por tanto, perfectamente supervisado y controlado desde cualquier parte del mundo y en tiempo real. De esta manera, las

modificaciones realizadas permitirán que la empresa adapte sus instalaciones a las necesidades imperiosas de la actualidad y estén al corriente en lo que se refiere al paradigma de la industria 4.0.

2 Revisión del estado de la tecnología

En este apartado se detallará, a modo de ejemplo, un trabajo real muy similar al encargado por LaPólvara S. A. en el que se muestra la aplicación de diferentes tecnologías que engloban el paradigma de la industria 4.0. y cómo permiten dar cobertura de agua potable a toda la Comunidad de Madrid.

Este proyecto en concreto ha sido solicitado desde el gobierno de la Comunidad de Madrid a través de la empresa pública Canal Isabel II (a partir de ahora Cill). El trabajo consiste en el control y supervisión de forma remota y en tiempo real de las 3 minicentrales eléctricas principales que proveen de energía las instalaciones acuíferas del canal. Estas minicentrales están separadas entre sí por decenas de kilómetros, no obstante, se desea tener un control minucioso sobre cada una de ellas debido a su relevancia, tanto para los ciudadanos como para el gobierno de la Comunidad.

Estas minicentrales serán, por tanto, supervisadas y controladas desde tres lugares distintos que citaremos, a continuación, por orden de prioridad:

- **Control *in situ*:** se realiza desde la propia minicentral por los operarios que la manejan. Es un control directo por pantalla HMI.
- **Control de Riosequillo:** se realiza desde las oficinas de Riosequillo en un punto no muy lejano de las propias minicentrales. Además, desde este lugar se controlan otras zonas acuíferas. Es un control mediante sistema de SCADA específico de Riosequillo.
- **Centro de control (CDC):** se lleva a cabo desde el sistema de SCADA general cuyas oficinas están alojadas en el parque público de Cill en el centro de la ciudad de Madrid desde donde se realiza el control de todo el sistema de aguas de la Comunidad.

Por tanto, se trata de un proyecto muy complejo en el que se despliegan una serie de tecnologías que permiten, mediante comunicación por fibra óptica y radio frecuencia, el control de las tres instalaciones desde puntos remotos. Por razones de seguridad de información no se tiene acceso al software completo.

2.1 Tecnología utilizada

El proyecto, como se ha indicado en el apartado anterior, se ha realizado utilizando una serie de tecnologías y equipos:

- Siemens CPU 1516
- Siemens HMI Comfort
- SCADA Siemens WinCC 7.5
- ERP (no tenemos acceso a esta información) pero se cree que es Microsoft Dynamics 365
- Sensores lejanos LoRa.
- Comunicaciones físicas Fibra óptica

En resumen, la exploración y análisis de este ejemplo de proyecto de minicentrales a lo largo de este Trabajo de TFM ha resultado fundamental para el desarrollo y la comprensión de los conceptos y enfoques clave en la gestión de proyectos de instalaciones con supervisión y control en remoto. Este caso práctico ha proporcionado una visión valiosa sobre la planificación, implementación y operación de minicentrales, destacando desafíos y soluciones específicas que son aplicables en la industria de la automatización.

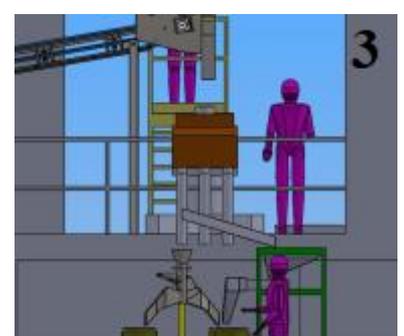
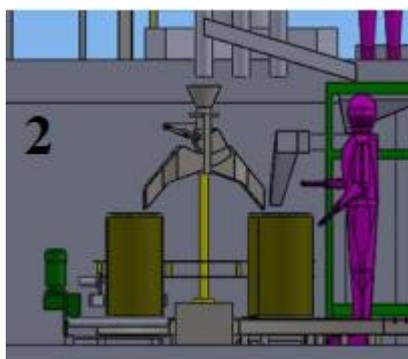
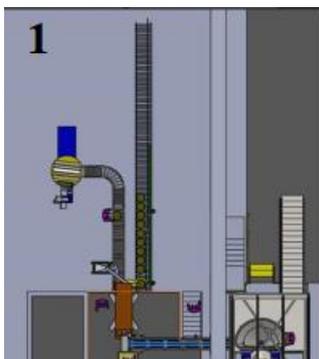
3 Proyecto original

El trabajo de fin de grado “Control y monitorización de un sistema de carga de pólvora en bidones y posterior empaquetado” que sirve de base para la elaboración de este TFM tenía como objetivo principal automatizar una línea de dosificación de bidones de pólvora, así como atender al empaquetado final de la mezcla explosiva. Este proyecto surgió ante la necesidad de establecer un entorno de trabajo seguro para garantizar la protección de los operarios encargados de manejar el producto. Para ello, la solución más eficiente fue separar la zona de dosificación de la zona de trabajo.

El citado TFG está dividido en diferentes apartados y subapartados, tales como: ejemplos similares al diseño que se pretendía conseguir, metodología, equipos y estructuras empleadas para su puesta en marcha, la arquitectura usada para dar comunicación y cobertura a los sistemas de control y supervisión, la descripción del proceso en sí de automatización y, por último, las conclusiones a las que se llegó tras su implementación.

Un aspecto importante del trabajo es la descripción de la planta y de los equipos que en ella se incluyen. La planta se divide en cuatro zonas: la primera se corresponde con el lugar de trabajo de los operarios, y es donde se produce el aporte de bidones, el pesaje y el posterior empaquetado en palés; en la segunda es donde se cargan los bidones de pólvora; la tercera está destinada al armario eléctrico; y la última es donde se encuentran las cintas de transporte, que sirven para separar el lugar de trabajo de los empleados del lugar en el que se carga el material explosivo. Por lo que respecta a los equipos destacan:

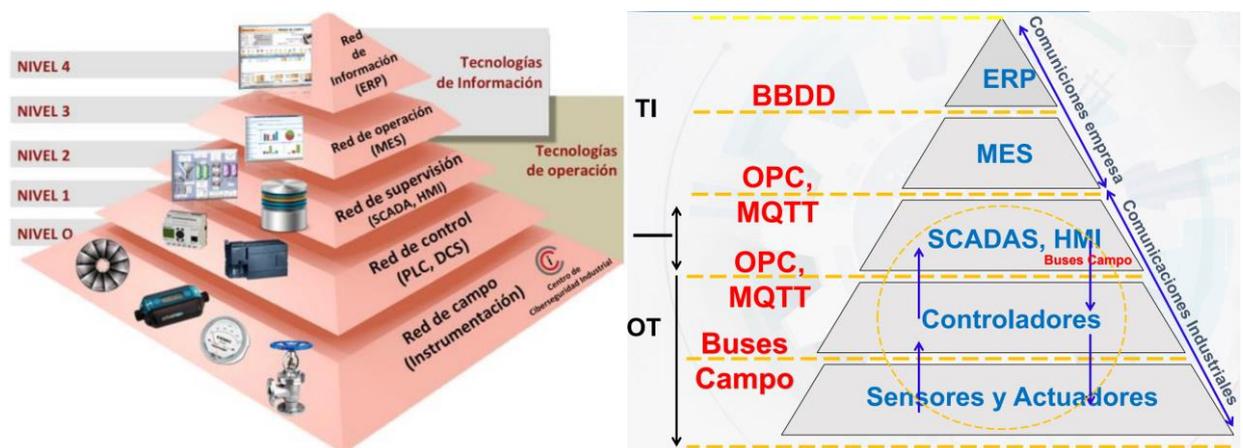
Motorización de las cintas de transporte de los bidones.
Cinta transportadora de rodillos en curva (180º), no motorizada (Imagen 1)
Sistema de pesaje con transportador de rodillos motorizados (capacidad para 1 bidón)
Sistema de llenado. (Imagen 2)
Tolva independiente para el ajuste fino.
Cintas de entrada y salida de bidones en la zona de trabajo.
Cinta transportadora en curva (90º), no motorizada.



En la bibliografía se podrá encontrar el trabajo de fin de grado completo.

4 Diseño de la arquitectura de la solución

En este punto se expondrá de una forma más minuciosa y explícita toda la ingeniería de detalle que se ha desarrollado para abordar la problemática que proyecto presenta. Si bien es cierto que en el proyecto original se centra, sobre todo, en los dos primeros peldaños de la pirámide de automatización y parte del tercero, en el trabajo que nos ocupa se llegará a la cumbre de esta figura geométrica. El objetivo principal será desarrollar las tecnologías de SCADA y ERP. También es necesario tener en cuenta la implementación de todos estos sistemas en un servicio de nube.



Para este caso se ha creído conveniente hacer uso de tecnologías de comunicación industriales como son las redes OPC UA y Modbus, se trata de un sistema de comunicación universal y red de campo, respectivamente. Además, se ha programado el PLC Groov Epic para la comunicación mediante estas redes con el gemelo digital Factory IO y el sistema de SCADA Ignition.

Puesto que el programa es confidencial de la empresa LaPólvara S. A. se ha creado una simplificación programada para el autómatas Groov Epic y, de esta manera, poder aprovechar mejor todos los contenidos vistos a lo largo del máster. Finalmente, la comunicación con el ERP será llevada a cabo mediante el software de Ignition.

4.1 Software utilizado en el proyecto

Antes de nada, se va a explicar en que consiste cada uno de los softwares o servicios que se han utilizado en este proyecto.

PAC Control:

El software "PAC Control" se refiere a un programa utilizado en el contexto de sistemas de automatización industrial, específicamente en sistemas de control programable (PAC, por sus siglas en inglés: Programmable Automation Controller). Este tipo de software se utiliza para programar y controlar dispositivos y equipos en un entorno industrial.

En términos simples, PAC Control es una herramienta que permite a los ingenieros y técnicos crear programas de control personalizados para supervisar y regular máquinas, procesos y sistemas en una planta industrial. Estos programas pueden incluir lógica de control, secuencias de operación y la gestión de entradas y salidas.

El software PAC Control suele ofrecer una interfaz gráfica que facilita la creación y modificación de programas de control, lo que permite a los usuarios diseñar lógica de control de una manera intuitiva. Los programas se cargan en controladores PAC, que son hardware especializado diseñado para ejecutar estas instrucciones y controlar dispositivos como motores, válvulas, sensores y otros equipos industriales.

En resumen, PAC Control es una herramienta esencial en la automatización industrial que permite la creación de programas de control personalizados para operar y supervisar procesos en entornos industriales. Esta tecnología es fundamental para optimizar la eficiencia, la precisión y la confiabilidad en una variedad de aplicaciones industriales.

Ignition:

Ignition es una plataforma de software muy versátil utilizada en el ámbito de la automatización industrial y la supervisión de procesos. Se destaca por su capacidad para conectar, supervisar y controlar una amplia variedad de sistemas y dispositivos en entornos industriales y comerciales. Lo que hace que Ignition sea especial es su enfoque en la conectividad y la flexibilidad. Puede integrarse con una amplia gama de dispositivos y sistemas, desde máquinas industriales y sensores hasta bases de datos y sistemas de control. Esto permite a las organizaciones recopilar datos en tiempo real, visualizarlos y tomar decisiones informadas.

Una característica distintiva de Ignition es su capacidad para crear aplicaciones personalizadas de supervisión y control. Esto significa que los usuarios pueden diseñar interfaces gráficas a medida que se adaptan a las necesidades específicas de su industria o empresa. Estas aplicaciones pueden ejecutarse en diferentes tipos de dispositivos, como computadoras, tabletas y teléfonos móviles.

Ignition también es conocido por su escalabilidad. Puede utilizarse en proyectos pequeños o implementarse en plantas de gran envergadura. Además, se ejecuta en una variedad de sistemas operativos, lo que brinda flexibilidad a los usuarios.

En resumen, Ignition es una plataforma de software poderosa y versátil que facilita la supervisión y el control de procesos industriales, proporcionando una conectividad sólida y la capacidad de crear aplicaciones personalizadas. Es una herramienta esencial en la automatización industrial y la gestión de datos en tiempo real.

Node-Red:

Node-RED es un entorno de programación visual de código abierto que se utiliza para la creación de flujos de datos y la automatización de tareas en el ámbito de la Internet de las Cosas (IoT) y la automatización industrial. Este software se destaca por su enfoque en la conectividad y la automatización de procesos.

En Node-RED, los usuarios crean flujos de trabajo mediante la interconexión de "nodos", que son pequeñas unidades de código que realizan tareas específicas. Estos nodos pueden representar sensores, dispositivos, servicios web, bases de datos o cualquier elemento que pueda ser controlado o monitoreado. Los usuarios pueden arrastrar y soltar nodos en un lienzo visual y conectarlos para definir la lógica de flujo de datos.

La fortaleza de Node-RED radica en su capacidad para integrar diferentes sistemas y tecnologías de manera efectiva. Permite la recopilación de datos de diversas fuentes, su procesamiento y la toma de decisiones basada en estos datos. Esto es especialmente valioso en el campo de la automatización, donde puede utilizarse para crear aplicaciones de control personalizadas y sistemas de supervisión.

Node-RED es conocido por su facilidad de uso, lo que lo hace accesible para personas con o sin experiencia en programación. Esto ha llevado a su adopción en una amplia gama de aplicaciones, desde la creación de soluciones de IoT hasta la automatización de flujos de trabajo empresariales.

En resumen, Node-RED es una plataforma de programación visual que permite la creación de flujos de datos y automatización de tareas de manera intuitiva. Facilita la interconexión de sistemas y la toma de decisiones basada en datos, lo que lo convierte en una herramienta valiosa en el campo de la IoT, la automatización y la gestión de procesos.

Azure

Azure es una plataforma de servicios en la nube desarrollada por Microsoft. En esencia, proporciona una amplia gama de recursos y servicios informáticos, incluyendo servidores, bases de datos, almacenamiento, herramientas de desarrollo y mucho más, que pueden ser utilizados por individuos, empresas y organizaciones para alojar aplicaciones, almacenar datos y ejecutar tareas informáticas sin la necesidad de infraestructura física local.

Azure permite a las personas y las empresas acceder a recursos informáticos escalables y flexibles a través de Internet. Los usuarios pueden aprovisionar y desaprovisionar recursos a medida que los necesitan, lo que les brinda un alto grado de agilidad y control en sus operaciones informáticas. Además, Azure ofrece una amplia gama de servicios especializados, como servicios de aprendizaje automático, análisis de datos, Internet de las Cosas (IoT) y más, lo que facilita la creación y la gestión de aplicaciones avanzadas y soluciones tecnológicas.

La nube de Azure se basa en centros de datos distribuidos en todo el mundo, lo que garantiza la disponibilidad, la redundancia y la seguridad de los datos y las aplicaciones alojados en la plataforma. Microsoft se encarga de mantener la infraestructura, lo que permite a los usuarios centrarse en el desarrollo de sus aplicaciones y en la innovación.

En resumen, Azure es una plataforma de servicios en la nube versátil y escalable que ofrece una amplia gama de recursos informáticos y herramientas para desarrolladores y organizaciones. Facilita la creación y la gestión de aplicaciones, el almacenamiento y el análisis de datos, y ofrece soluciones para una variedad de necesidades tecnológicas.

Odoo:

Odoo es un software de planificación de recursos empresariales (ERP) de código abierto y una suite de aplicaciones empresariales que ayuda a las empresas a gestionar una amplia gama de procesos y actividades comerciales. En esencia, Odoo proporciona un conjunto completo de herramientas para la gestión y la automatización de diferentes aspectos de una empresa, desde la contabilidad y la gestión de inventarios hasta la administración de proyectos y la relación con los clientes.

Lo que hace que Odoo sea particularmente atractivo es su naturaleza modular. Ofrece una variedad de aplicaciones que abarcan áreas como ventas, compras, recursos humanos,

fabricación, CRM, comercio electrónico y más. Los usuarios pueden seleccionar y personalizar las aplicaciones que mejor se adapten a sus necesidades específicas, lo que hace que Odoo sea adecuado para empresas de diversos tamaños y sectores.

Odoo se caracteriza por su interfaz de usuario amigable y su capacidad de adaptarse a las operaciones comerciales de manera flexible. Los usuarios pueden realizar un seguimiento de los procesos, automatizar tareas repetitivas y acceder a información importante en tiempo real. Además, al ser de código abierto, Odoo permite a los desarrolladores personalizar y extender sus funcionalidades según las necesidades específicas de una empresa.

En resumen, Odoo es una solución de software empresarial versátil que proporciona un conjunto integral de herramientas para gestionar y automatizar una amplia gama de operaciones comerciales. Su enfoque modular y su capacidad de personalización lo hacen adecuado para empresas que buscan mejorar la eficiencia y la eficacia en la gestión de recursos y procesos.

Factory IO:

Factory IO es un software diseñado para simular y emular entornos de automatización industrial. En esencia, ofrece una representación virtual de una planta de fabricación, donde los usuarios pueden crear y probar escenarios de control y automatización antes de implementarlos en un entorno real. Factory IO es una herramienta útil para ingenieros, técnicos y profesionales que trabajan en el diseño y la optimización de sistemas de control industrial. La principal característica de Factory IO es su capacidad para recrear de manera precisa una variedad de dispositivos y maquinaria industrial, como sensores, actuadores, cintas transportadoras y robots, en un entorno de simulación en 3D. Los usuarios pueden diseñar y probar lógicas de control, secuencias de producción y sistemas de automatización antes de implementarlos en la planta real. Esto permite identificar posibles problemas, mejorar la eficiencia y reducir el tiempo de inactividad en la producción.

Factory IO es una herramienta versátil que se utiliza en la formación y la capacitación de personal, en pruebas de sistemas de control y en el diseño de sistemas de automatización. Ofrece una interfaz gráfica intuitiva que permite a los usuarios arrastrar y soltar componentes para configurar su planta virtual y probar diferentes escenarios sin riesgos financieros ni operativos.

En resumen, Factory IO es un software de simulación que proporciona a los profesionales de la automatización industrial una plataforma para diseñar, probar y optimizar sistemas de control antes de su implementación en el mundo real. Facilita la toma de decisiones informadas y la formación efectiva en un entorno virtual, lo que mejora la eficiencia y la seguridad en las operaciones industriales.

Prosys OPC UA

Prosys OPC UA es un software utilizado en el ámbito de la automatización industrial y la conectividad de sistemas para facilitar la comunicación y el intercambio de datos entre dispositivos y sistemas heterogéneos. OPC UA (Unified Architecture) es un estándar de comunicación ampliamente aceptado en la industria que promueve la interoperabilidad y la seguridad en la transmisión de información.

Prosys OPC UA es una implementación de este estándar, lo que significa que es un software diseñado para ayudar a las empresas a establecer conexiones sólidas y seguras entre diferentes dispositivos, sistemas de control, bases de datos y aplicaciones en un entorno industrial. Facilita la transferencia de datos en tiempo real y bidireccional, lo que permite a los usuarios supervisar, controlar y recopilar información de manera eficiente.

Una de las ventajas de Prosys OPC UA es su capacidad para adaptarse a una variedad de protocolos y sistemas, lo que lo convierte en una solución versátil. Puede utilizarse para conectar equipos que operan en diferentes plataformas y con diferentes tecnologías, lo que mejora la conectividad y la interoperabilidad en una planta industrial.

En resumen, Prosys OPC UA es un software que se utiliza para implementar el estándar OPC UA y facilitar la comunicación segura y eficiente entre dispositivos y sistemas en el entorno industrial. Su versatilidad y su enfoque en la interoperabilidad lo hacen valioso para asegurar una conectividad fluida en operaciones industriales complejas.

Como se ha expuesto al inicio de este apartado, todo el sistema se centra en la nube de Azure (la cual se detallará más adelante), en la que se alojan dos máquinas virtuales de Windows. Estas disponen de una configuración en redundancia que hará de este un sistema mucho más robusto frente a posibles fallos o caídas de alguno de los servidores y, más importante todavía, frente a tasas muy altas de peticiones por parte de los clientes. Esto permitirá que las máquinas

se “repartan” el trabajo entre ellas y, de ese modo, reduzcan la saturación de trabajo. Además, se puede apreciar que se disponen en centros de datos distintos para, en caso de venirse abajo un centro de datos, poder seguir trabajando con el restante sin tener que detener el proceso. Lo descrito se lleva a cabo mediante una puerta de enlace que, como su nombre indica, se trata de un punto de entrada que conecta dos o más máquinas virtuales y reparte el trabajo de acceso a ellas y, además, lo realiza de una forma muy segura. Para entender mejor el trabajo que esta puerta de enlace desempeña se expondrá el siguiente ejemplo:

Supongamos que desde las oficinas de Murcia de LaPólvora S. A. se accede al sistema de Scada. Las personas encargadas se conectarán a uno de los servidores de Ignition como puede ser, por ejemplo, la máquina virtual MV1. A través de esta puerta de enlace y, al mismo tiempo, desde las oficinas de Madrid, el gerente de la empresa que ha viajado a Madrid por un asunto de negocios desea también conectarse al Scada para poder exponer ante la junta de accionistas el progreso de la venta de bidones de pólvora. Este se conectará, asimismo, mediante la puerta de enlace, sin embargo, esta ya no le conectará con la MV1 sino con la MV2, es decir, se reparte el tráfico de acceso a las MVs conectadas en redundancia.

Por otro lado, en cada una de estas máquinas estarán instalados los softwares de Ignition, Node-Red, Factory IO y Odo. Estos permitirán, como se ha comentado anteriormente, que cualquier persona o departamento de LaPólvora S. A. pueda controlar o supervisar diversos aspectos de la instalación.

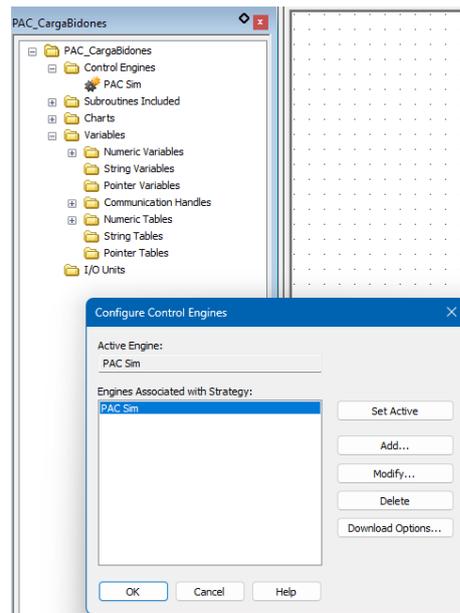
5 Desarrollo de control

El código de la instalación de empaquetado de pólvora en bidones se ha desarrollado de nuevo con el fin de adaptarlo al contenido adquirido durante el máster y a las necesidades actuales de la empresa. Se ha llevado a cabo mediante la programación del autómatas Groov Epic. En este apartado se analizará el programa y con el desarrollo del apartado 6 “virtualización en Factory IO” se explicarán los motivos por los que se ha tenido que reprogramar la instalación.

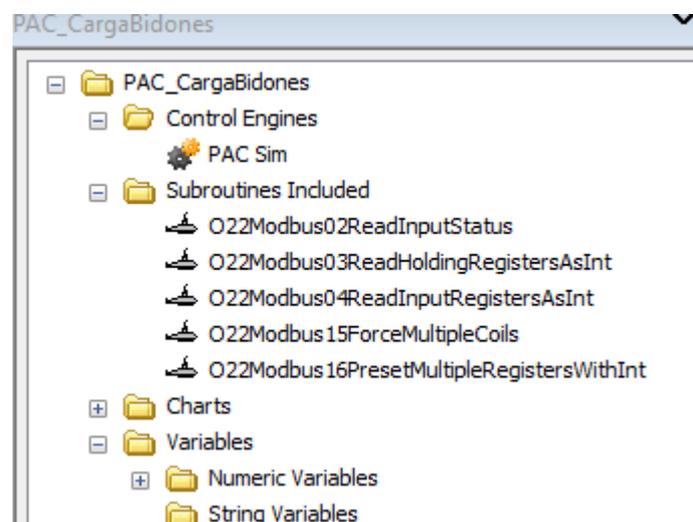
Antes de comenzar es preciso indicar que los autómatas de Siemens y el Groov Epic son muy distintos. Mientras el primero fue programado, principalmente, en lenguajes de programación como AWL y KOP que fueron explicados en el trabajo anterior (TFG), este nuevo autómatas se programa con un lenguaje de programación basado en diagramas de flujo mediante la herramienta PAC Control.

A continuación, se mostrará brevemente el código desarrollado para la instalación de empaquetado de pólvora:

-En primer lugar, es preciso saber cómo se desarrolla un programa en PAC Control. Para ello, se debe configurar el autómata que vamos a programar. Esto se realizará en la carpeta Control Engines del árbol de proyecto, como se indica en la imagen siguiente:

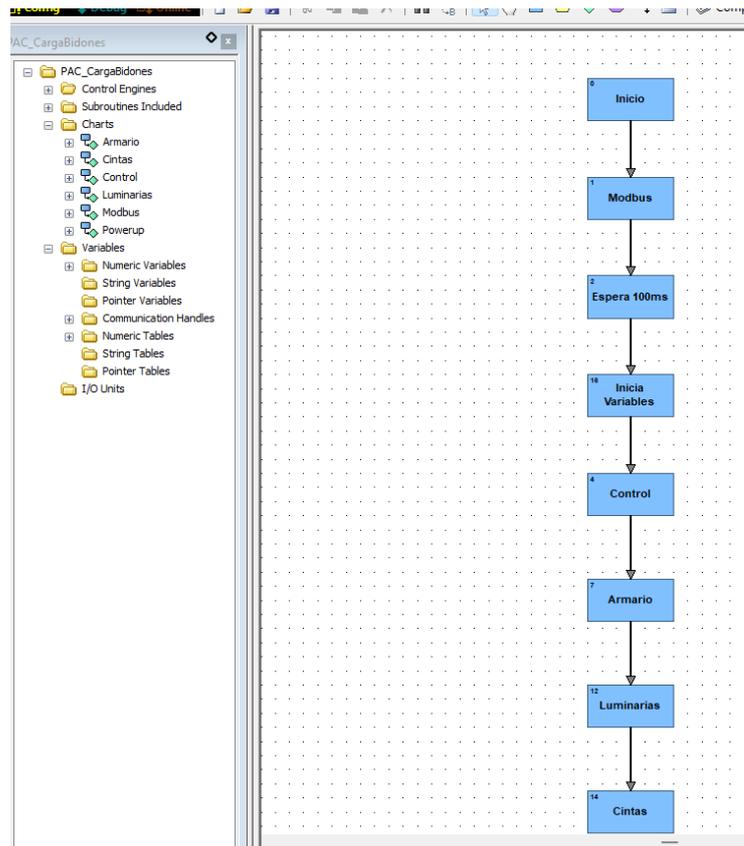


Aquí se seleccionará un simulador del PLC Epic, denominado PAC Sim. Tras esto, es necesario incluir todas subrutinas de comunicación Modbus, para comunicar con Factory IO (que mostrará más adelante).

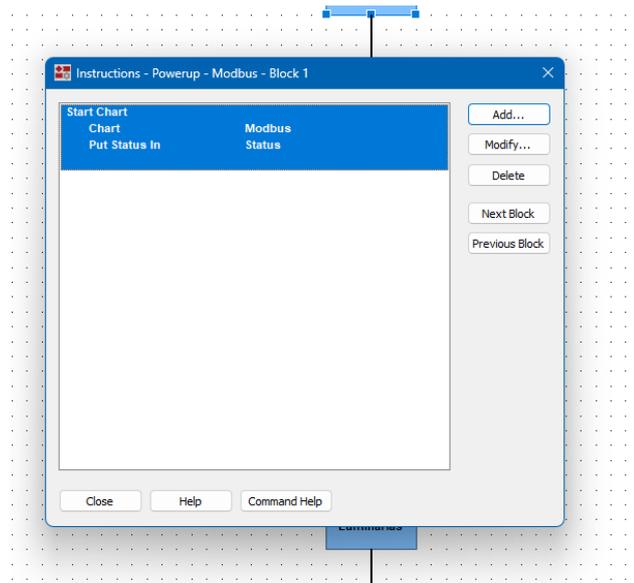


-En segundo lugar, se encuentran las subrutinas proporcionadas por el propio fabricante de Groov Epic Opto22. Son necesarias para simular la red de campo que tendríamos en la instalación en la realidad que en este caso se va a “simular” o recrear con Factory IO.

Tras esto, se crearán todos los charts o gráficos necesarios para hacer funcionar la instalación, que son los que se muestra a continuación:

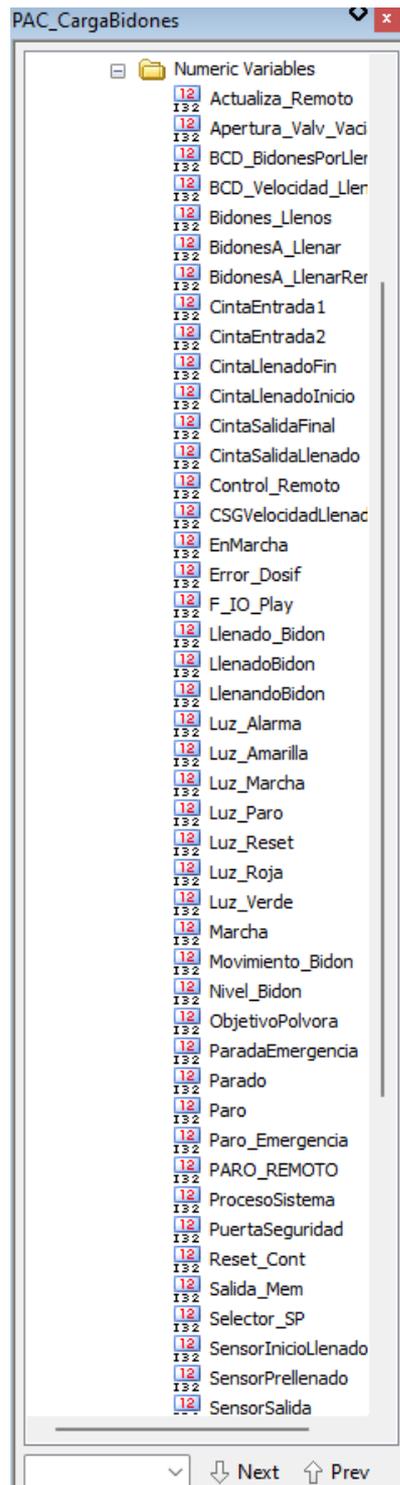


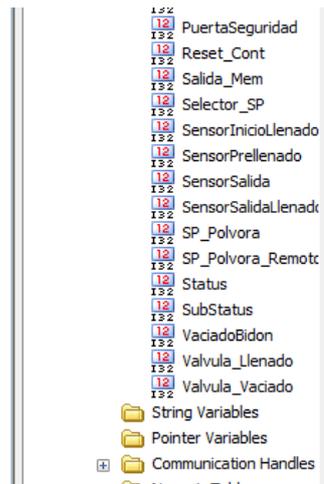
-En tercer lugar, se crearán un total de 5 gráficos además de un chart principal denominado Powerup, que es el principal y, como se indica en la parte derecha de la imagen, es donde se mandan a ejecutar todos los demás charts. En cada uno de ellos se ejecuta la función Start Chart que es la encargada de iniciar la ejecución del chart al que hace referencia. Como se muestra en la imagen siguiente este bloque de función manda a ejecutar al chart de “Modbus”:



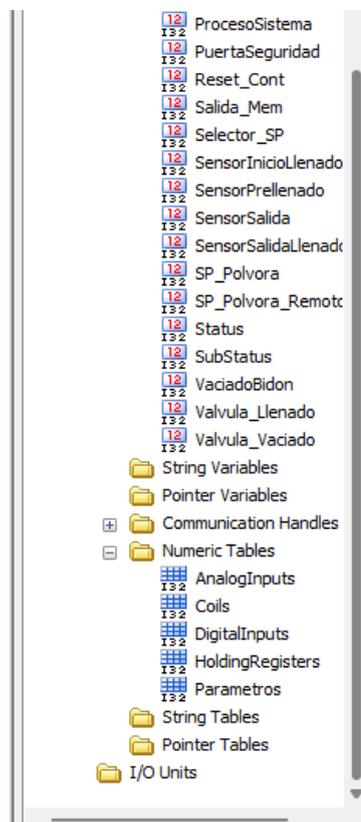
El resto de los bloques desempeñan la misma función de ejecutar sus respectivos charts.

-En cuarto lugar, se observan las variables utilizadas en el programa dentro de la carpeta variables:





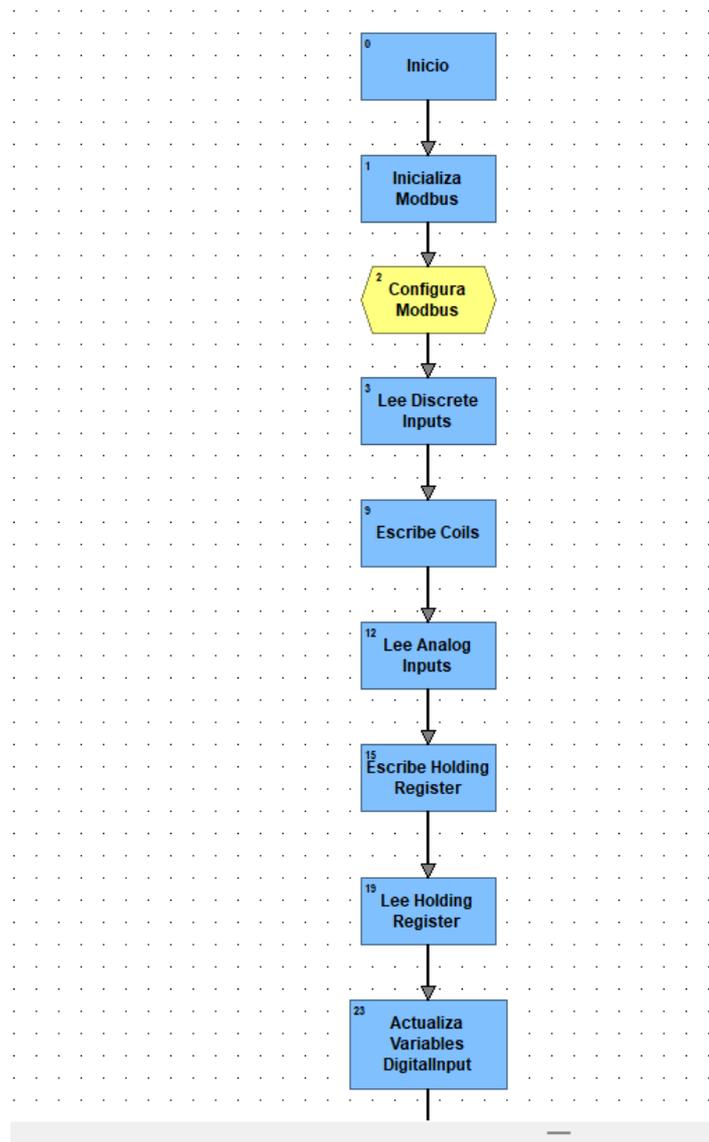
Algunas de estas se han utilizado como entradas y salidas digitales o analógicas de la comunicación Modbus, otras son variables internas para configurar ciertos comportamientos de la programación y otras han sido usadas como prueba y ya no se están ocupando. Por último, dentro del árbol de proyecto, se encuentran las tablas de comunicación Modbus. Estas hacen referencia a cada una de las señales que pueden transmitir toda configuración Modbus TCP IP.



-Por último, tal como se muestra en la imagen anterior, aparecen las siguientes tablas:

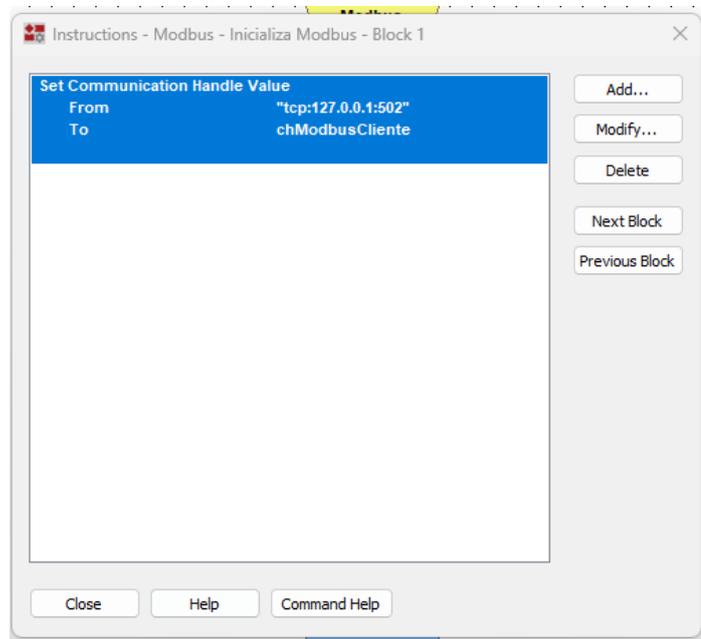
- **AnalogInputs** que son las señales de entrada analógicas.
- **Coils** que determinan las salidas digitales.
- **DigitalInputs** que representan a las entradas digitales.
- **HoldingRegisters** estas hacen referencia a las salidas analógicas de nuestra instalación.

A continuación, se observa el chart de Modbus que es el encargado de realizar la configuración de la red de comunicación Modbus:

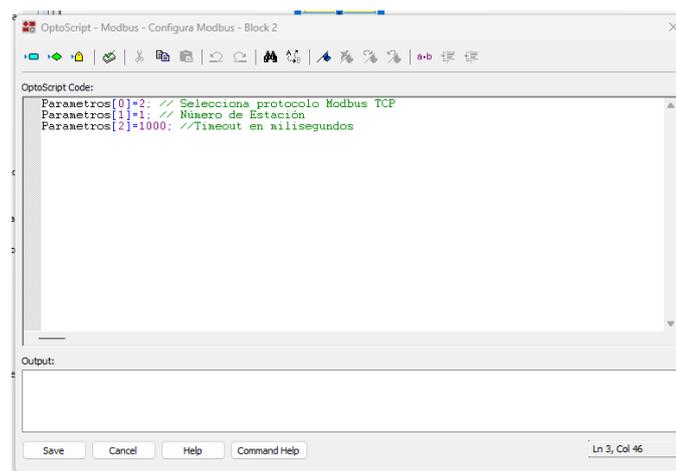


Como todo chart empieza por el bloque vacío Inicio que no se puede borrar ni puede realizar ninguna acción. Según la documentación oficial de Opto22, simplemente debe estar.

Tras esto, se llega al bloque “Inicializa Modbus” que es el encargado de configurar la dirección del servidor Modbus que más adelante se configurará en Factory IO. Se muestra en la siguiente imagen:

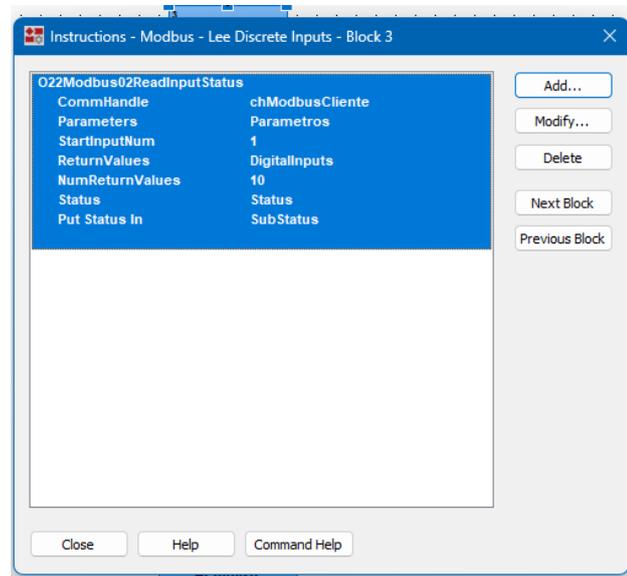


Después, mediante el uso de un bloque de Script (bloque amarillo), será necesario configurar los parámetros de ajuste de una red Modbus como se observa en la siguiente imagen:

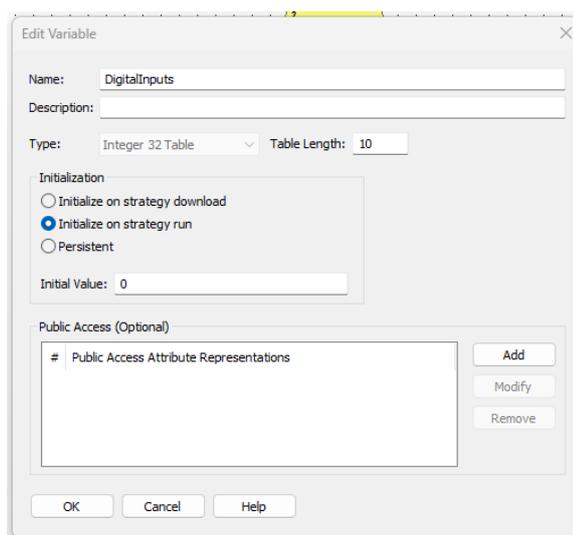


Llegados a este punto, se ejecutan las subrutinas de la comunicación de Modbus las cuales cargarán las señales recibidas por la red en cada una de las tablas mencionadas anteriormente.

En la imagen que se muestra a continuación se puede observar el bloque que ejecuta la subrutina de lectura de entradas digitales.

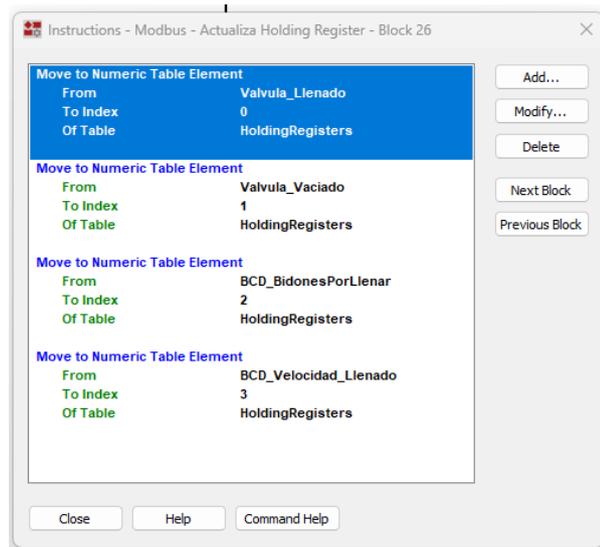


En este bloque se declara que, en configuración, como cliente Modbus, se recogen las primeras 10 señales digitales de entrada y estas las cargamos en la tabla de DigitalInputs, vista anteriormente. Sobre esta, más adelante, se exportarán los valores a las respectivas variables numéricas. No hay que olvidar configurar el tamaño de la tabla de forma que pueda albergar todas las señales.

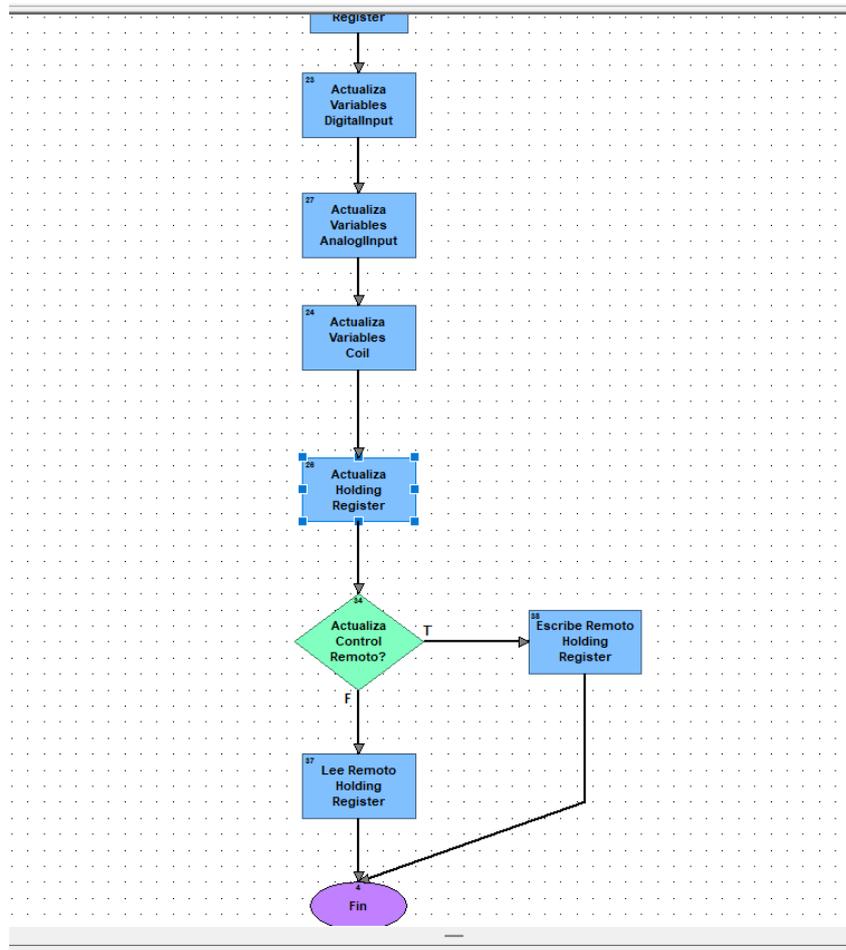


Como se indica en la imagen anterior, se ha dotado a esta tabla de una longitud de 10 registros. Aunque, en realidad, puede ser mayor de diez, pero nunca menor, ya que, de esta manera, no se podrían visualizar todas las entradas digitales. El mismo caso ocurre para las tablas de salidas digitales y señales analógicas.

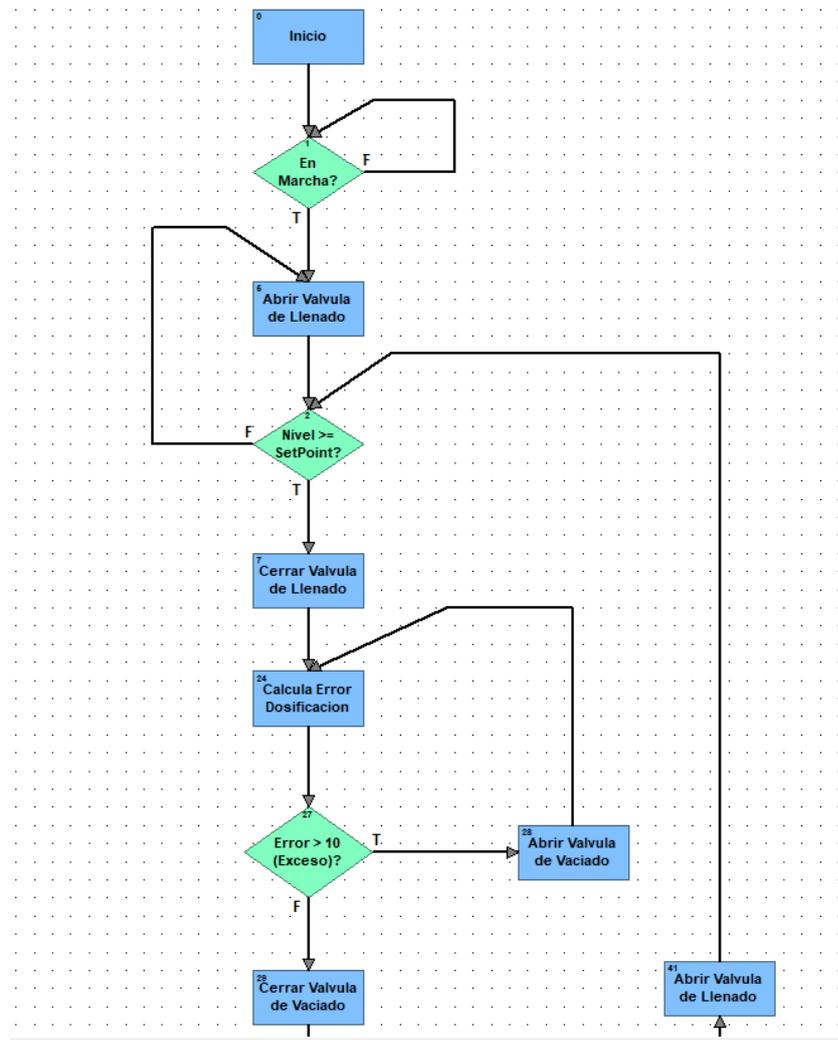
Una vez completadas todas las tablas es el momento de exportar o mover los valores de estas tablas a sus respectivas variables como se muestra en la siguiente imagen:



En este bloque, haciendo uso de la función mover elemento a tabla numérica, se traspasan el valor de estas cuatro variables analógicas a la tabla HoldingRegisters que hace referencia a las salidas analógicas de nuestra instalación. Se repetirá este proceso para cada una de las tablas.

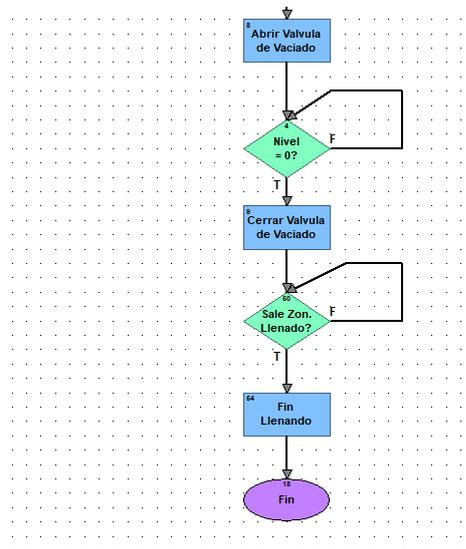


Finalmente, el gráfico se cierra con el bloque Fin que devuelve el programa al inicio del chart. El siguiente paso lleva al chart más importante de todo el programa, el chart de Control, ya que es el encargado de controlar el proceso de carga de un bidón que, como se observa en el punto 6, se representa por medio de un tanque de agua.



Como se indica en la imagen, el programa pregunta constantemente si la instalación está en marcha mediante un bloque de decisión y estará continuamente preguntando hasta que se inicie la marcha. Tras esto, abrirá la válvula de llenado para empezar a llenar el bidón de pólvora. Mediante otro bloque de decisión observará si se ha alcanzado la consigna de litros configurada para este bidón. Si este nivel del bidón es igual o superior a la consigna se cerrará la válvula de llenado y realizará el cálculo del error como se muestra a continuación:

Como se muestra en la imagen anterior si este error es superior a 10 litros abrirá la válvula de vaciado y recalculará el error, pero si es menor, la cerrará. Tras esto, y para poder simular que se llena el siguiente bidón, se vaciará el depósito y no será hasta que este llegue a cero cuando se cierre la válvula de vaciado.

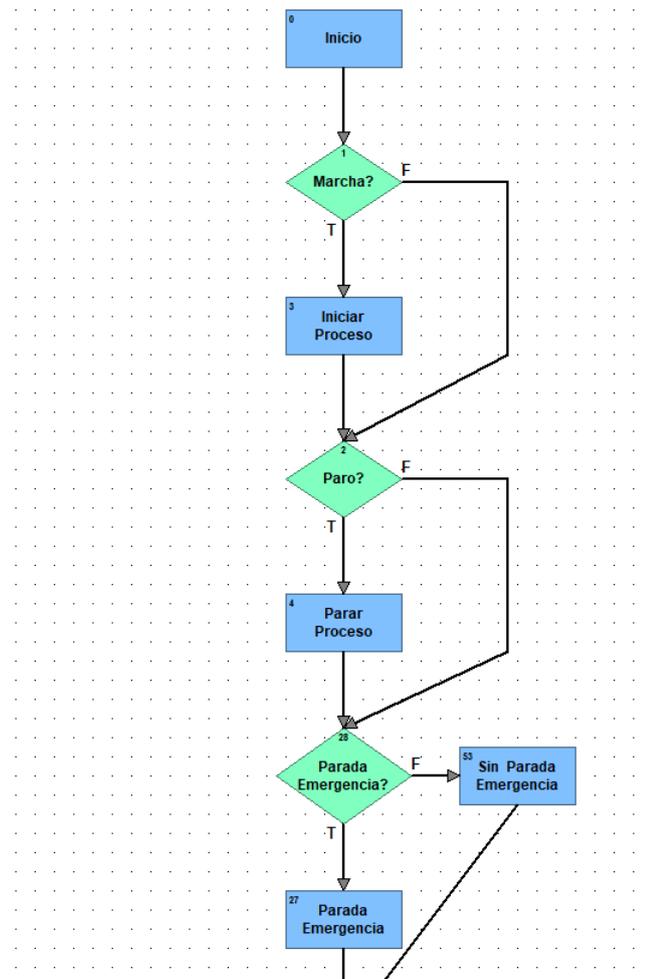


Además, como se observa en la imagen anterior, se activará el proceso de vaciado de bidón que moverá la cinta hasta sacar el bidón de la zona de llenado. Una vez este esté fuera se dará por finalizado el proceso de llenado y se volverá al bloque de Inicio del chart.

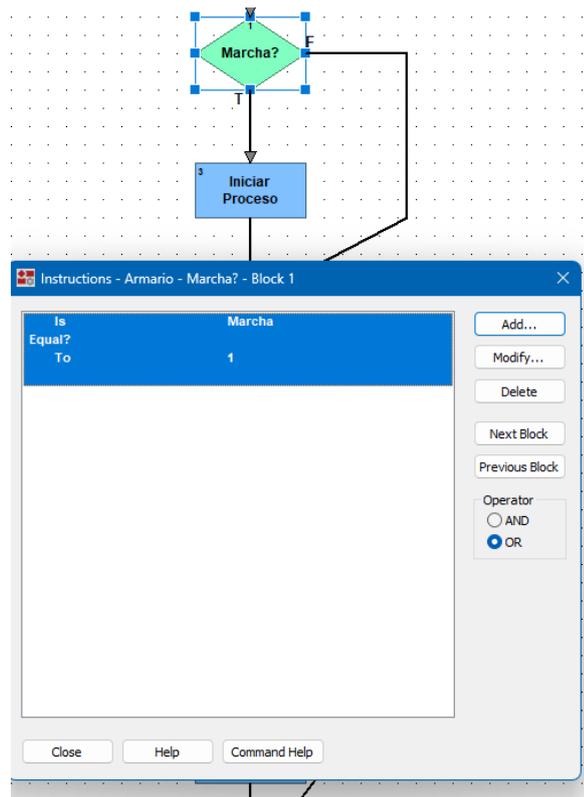
Seguidamente, se muestra el chart denominado Armario que, como bien indica su nombre, es el encargado de controlar los sensores y actuadores del armario eléctrico:



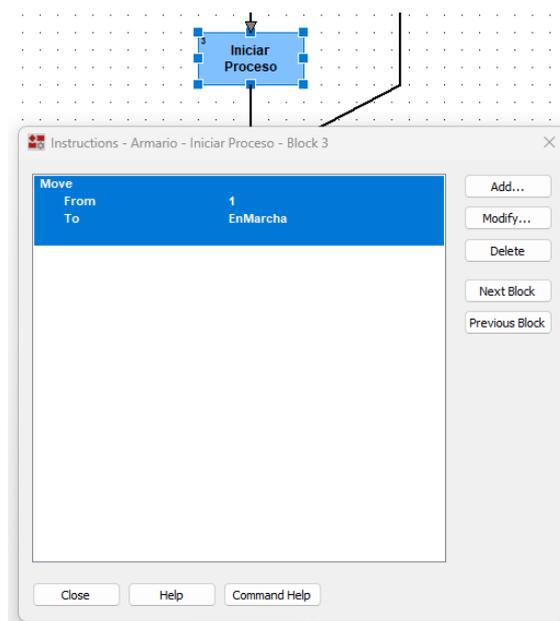
Este armario es un conjunto de pulsadores, luminarias (aunque estas tienen su propio chart), potenciómetros y displays de 7 segmentos.



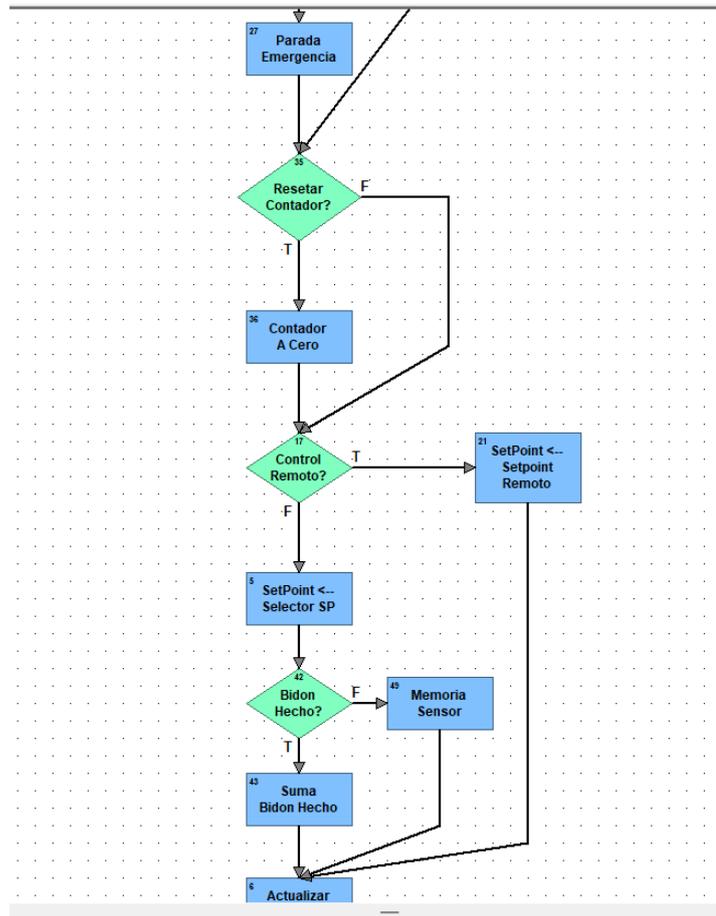
Por tanto, mediante el uso de bloques de decisión se realizarán las operaciones oportunas según el manejo de estos componentes del armario eléctrico. Por ejemplo, qué pasaría si el operario pulsa el botón de marcha.



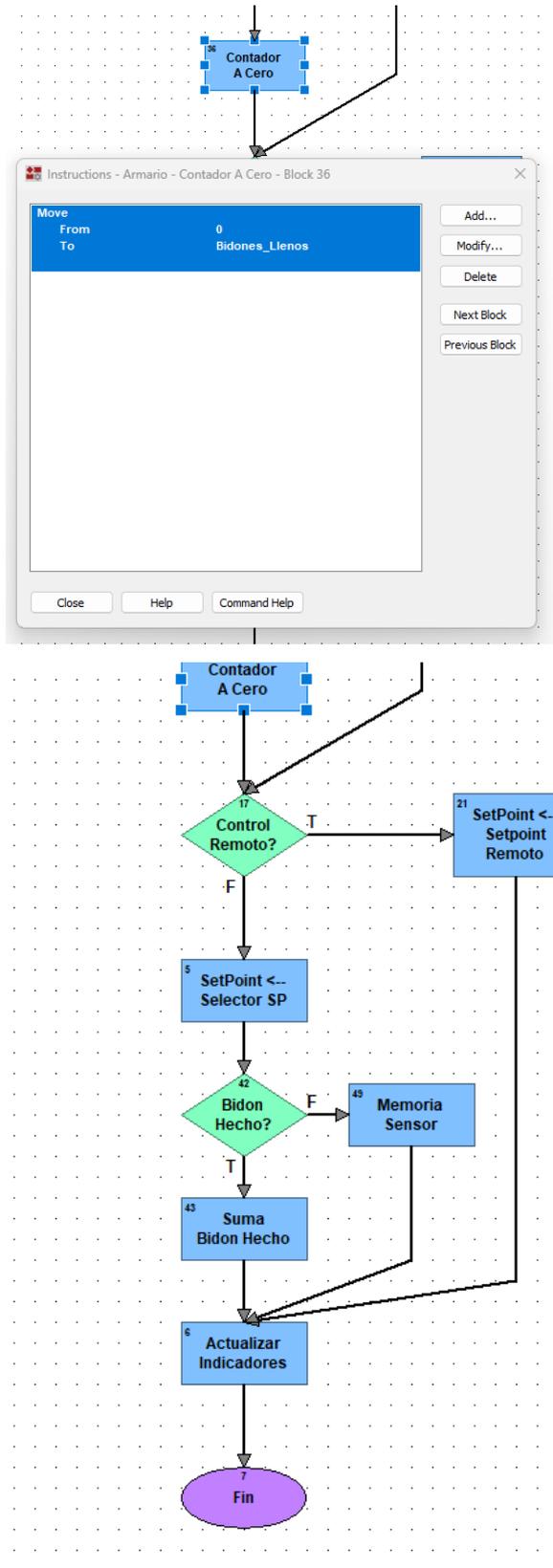
Como se puede ver en la imagen anterior, si el pulsador de marcha es igual a 1, es decir, si alguien ha accionado el pulsador de marcha, el sistema se “encenderá”. Tal como aparece en la imagen siguiente:



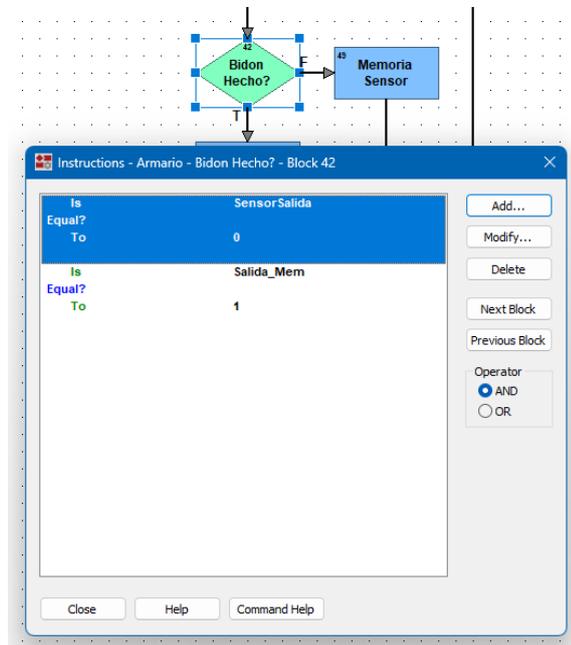
Este bloque pondrá el sistema en marcha. Estas mismas acciones serán llevadas a cabo para los pulsadores de paro y la seta de parada de emergencia, solo que se debe tener en cuenta que estos dos son normalmente negados y, por tanto, se deberá preguntar si es igual a 0, en lugar de 1.



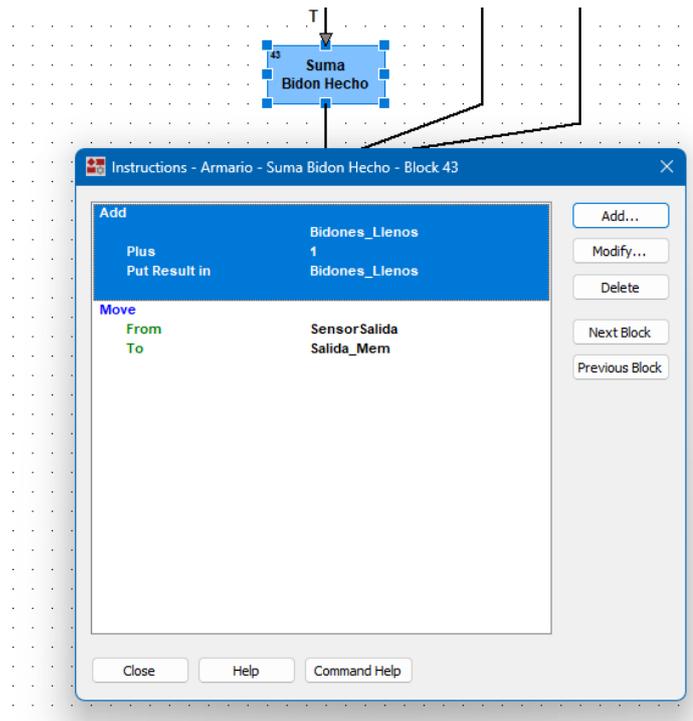
En la imagen anterior se muestra que lo mismo se aplica para el pulsador de Reset, el cual pone a cero el número de bidones llenos cuando es accionado.



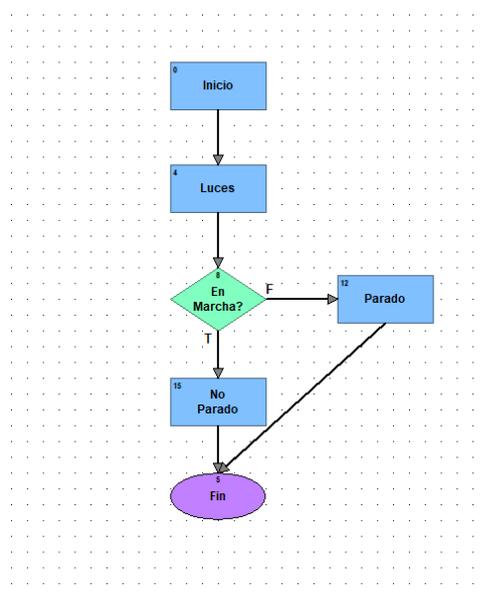
El bloque de control remoto ha sido usado para pruebas y, actualmente, no tiene función. No obstante, es preciso incidir en el bloque de decisión de bidón hecho el cual hace un flanco negativo del sensor de salida de la instalación:

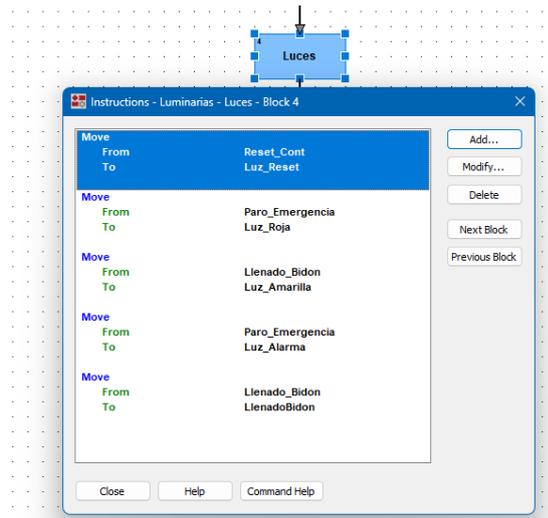


Esto es necesario para que únicamente sume una unidad en la variable “Bidones_Llenos” una vez que el bidón haya dejado el sensor o, lo que es lo mismo, este sensor pase de valer 1 al valer 0. Como se aprecia en la siguiente imagen, después hay que actualizar el valor de la variable “Salida_Mem”, que hace de memoria del valor anterior, para detectar dicho flanco negativo, esto se realizará en cualquiera de los supuestos. Para ello, el valor de la variable Salida_Mem se igualará al valor del “SensorSalida”.

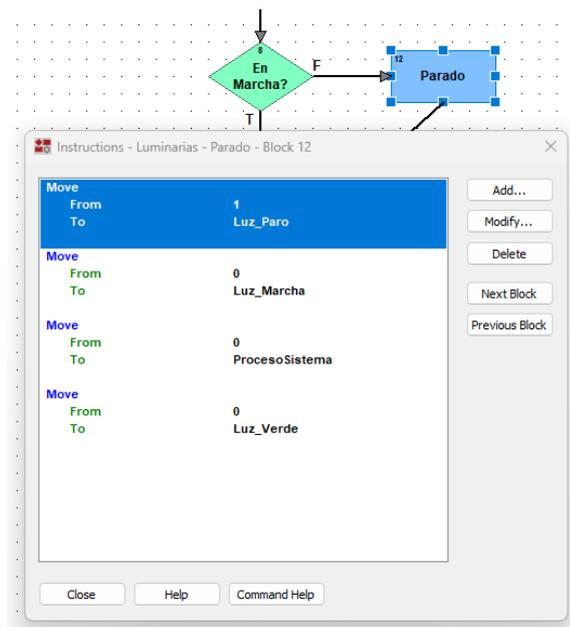


Tras esto, se atiende al chart de Luminarias que se encarga de todos los indicadores luminosos de la instalación. El primer bloque es el denominado como “bloque Luces” el cual activa y/o desactiva cada uno de los indicadores según las variables necesarias. Se puede ver en las dos imágenes siguientes:

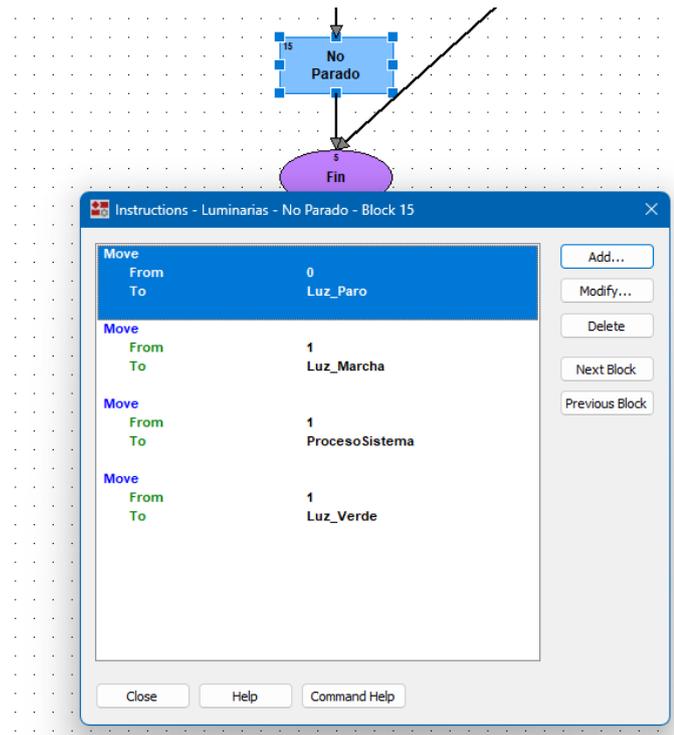




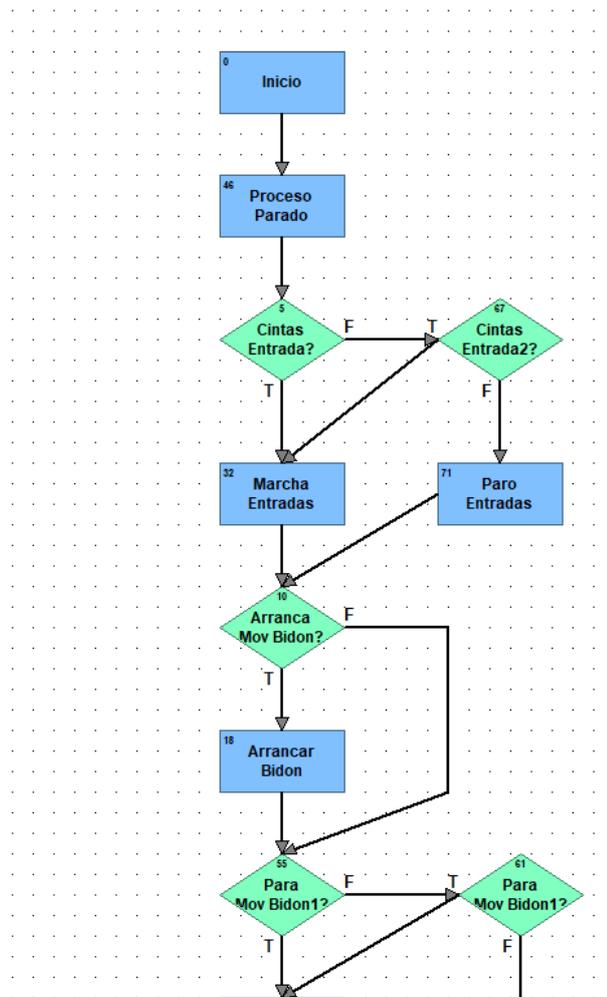
En este se observa, entre otros, el control de la luz de alarma, la roja, la de LlenandoBidón etc. Tras esto, aparece un bloque de decisión que pregunta si la instalación está en marcha. En caso negativo, se realizan las siguientes acciones:

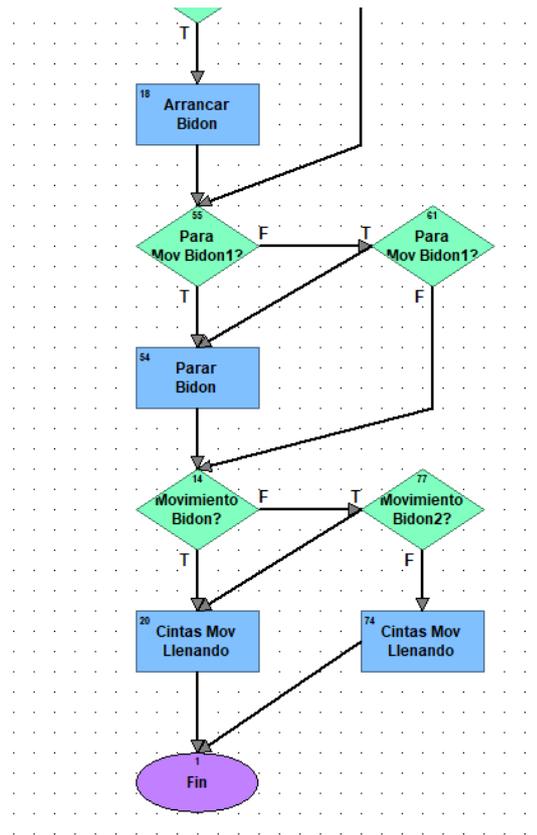


Mientras que, en caso afirmativo, se realizan estas otras acciones:

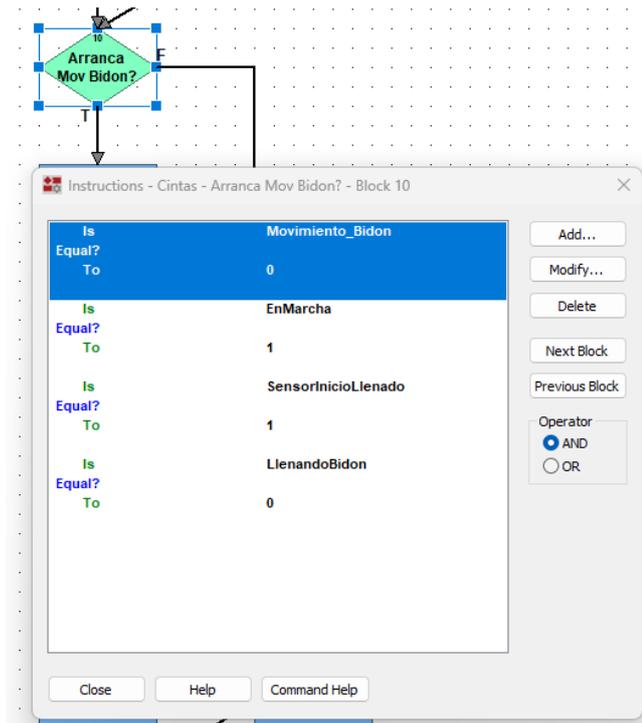


De esta manera, en función de si el sistema está en marcha o no, la luz de paro, por ejemplo, estará activada o apagada. De la misma manera, la luz de paro cuya lógica será complementaria. El último chart es el denominado “Cintas”. Este chart es el encargado de controlar todas las cintas transportadoras de bidones de toda la instalación de empaquetado:

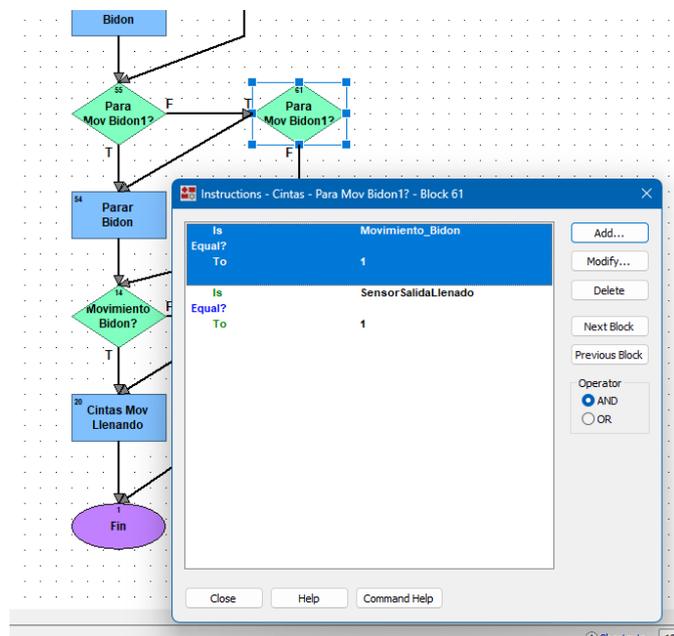




Cuando el proceso está parado todas las cintas se desactivan. No obstante, si se pone en marcha la instalación se activan las cintas de entrada y se paran si se desactiva la instalación. Lo mismo ocurre para el movimiento de las cintas de llenado de bidón, su lógica es más compleja y por ello ha debido dividirse en 2 partes: por un lado, arrancar movimiento bidón que depende de las siguientes señales:



Y, por otro lado, parar el movimiento bidón que dependen las siguientes variables:



Y con esto termina el código de la instalación de empaquetado de bidones.

6 Control y supervisión de la planta

6.1 Ignition

La supervisión y control de la planta de empaquetado de bidones de pólvora ha sido un desafío constante para la empresa LaPólvora S. A. En sus inicios, esta tarea se llevaba a cabo de manera exclusivamente *in situ*, lo que limitaba la capacidad de respuesta y la eficiencia de la operación. Sin embargo, con el avance de la tecnología de industria 4.0, la introducción de soluciones como Ignition y la infraestructura en la nube de Azure, se ha logrado una transformación significativa en la forma en que se monitorea y controla esta planta.

El Desafío Inicial: Supervisión *In Situ*.

Como se ha comentado, hasta hace poco tiempo la supervisión y control de esta planta de empaquetado de bidones de pólvora se realizaba en el propio lugar. Esto significaba que los operadores y técnicos debían estar físicamente presentes en la planta para monitorear y controlar los procesos de producción. Si surgía algún problema o se requería ajustar algún parámetro, la respuesta era lenta y costosa, ya que implicaba movilizar personal y recursos hacia el lugar de producción.

Además, la seguridad era una preocupación constante dado el riesgo inherente de trabajar con materiales explosivos. La necesidad de mantener un alto nivel de seguridad para el personal y la planta en general agregaba complejidad al proceso de supervisión *in situ*.

La Revolución de Ignition y Azure Cloud

La introducción de Ignition, una potente plataforma de supervisión y control industrial ha revolucionado la forma en que se opera en todo tipo de instalaciones. Ignition permite la integración de sistemas de control, adquisición de datos y visualización en una única plataforma, lo que simplifica en gran medida la supervisión y el control de procesos.

Pero la verdadera transformación ocurrió cuando se combinó Ignition con la infraestructura en la nube de Azure. Azure Cloud proporciona un entorno altamente seguro y escalable que permite el acceso remoto a los sistemas de control de la planta desde cualquier lugar del mundo. Esto significa que los operadores y técnicos ya no están limitados por su ubicación física, y se puede supervisar y controlar la planta de manera efectiva desde una ubicación remota.

Logros y Beneficios de la Integración.

1. **Acceso Remoto:** Los usuarios autorizados pueden supervisar y controlar la planta desde cualquier lugar con acceso a Internet, lo que mejora la flexibilidad y la capacidad de respuesta.
2. **Seguridad Mejorada:** Azure Cloud ofrece una seguridad de primer nivel, lo que garantiza la protección de datos críticos y la prevención de amenazas cibernéticas.
3. **Escalabilidad:** La infraestructura en la nube permite escalar fácilmente la capacidad de supervisión y control para adaptarse a las necesidades cambiantes de la planta.
4. **Conexión de Múltiples Clientes:** Ignition permite la conexión de múltiples clientes, lo que facilita la colaboración y la toma de decisiones conjuntas.
5. **Reducción de Costos:** Al eliminar la necesidad de una presencia física constante por parte de otros departamentos que juegan un papel crucial en el proceso de la instalación, en la planta se reducen los costos de operación y mantenimiento.

Por tanto, se puede concluir que la combinación de Ignition y la infraestructura en la nube de Azure ha transformado por completo la supervisión y control de esta planta. Lo que antes era una tarea restringida únicamente a la presencia física en la planta ahora se ha convertido en una operación con supervisión y control remoto altamente eficiente y segura. Esta evolución ha mejorado la capacidad de respuesta, la seguridad y la eficiencia en la producción de explosivos, sentando las bases para un futuro más prometedor en la industria de la fabricación de materiales peligrosos.

6.1.1 OPC UA

Antes de comenzar, es necesario conocer correctamente en qué consiste la tecnología OPC UA y cuál es su papel dentro de nuestra solución.

OPC UA (Unified Architecture) es un estándar de comunicación en el ámbito industrial utilizado para intercambiar datos y permitir la interoperabilidad entre diferentes dispositivos y sistemas en el entorno de automatización y control. OPC UA se ha convertido en una tecnología clave en la Industria 4.0 debido a su capacidad para conectar dispositivos de manera segura y eficiente, independientemente de su fabricante o ubicación física.

A continuación, se explicará cómo OPC UA sirve como puente entre un PLC (Controlador Lógico Programable) y un sistema de Scada (Supervisory Control and Data Acquisition) como Ignition:

PLC (Controlador Lógico Programable, Groov Epic):

Un PLC es un dispositivo utilizado en entornos industriales para controlar máquinas y procesos. Recopila datos de sensores, realiza lógica de control y envía señales a actuadores para automatizar procesos.

Sistema de Scada (Ignition):

Un sistema de Scada es una plataforma de software que se utiliza para supervisar, controlar y visualizar procesos industriales. Proporciona una interfaz gráfica para que los operadores monitoreen y controlen sistemas en tiempo real.

OPC UA como puente:

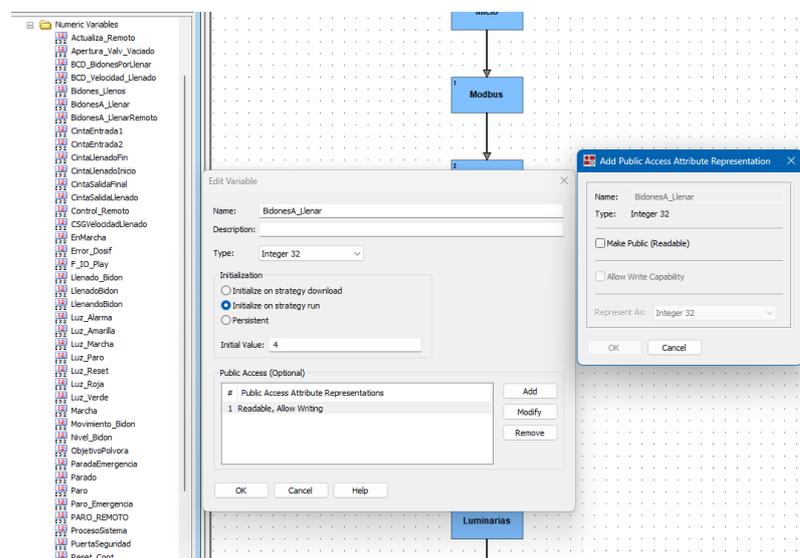
- **Estándar de comunicación Universal:** OPC UA proporciona un estándar de comunicación universal que permite que los PLCs (autómatas) y los sistemas de Scada se comuniquen de manera efectiva, independientemente de la marca o modelo del dispositivo.
- **Interoperabilidad:** OPC UA garantiza que los datos se puedan intercambiar de manera coherente y fiable entre el PLC y el sistema de Scada. Esto es fundamental para recopilar datos de sensores, enviar comandos de control y recibir información de estado.
- **Seguridad Avanzada:** OPC UA incorpora una sólida capa de seguridad que protege la integridad y confidencialidad de los datos transmitidos. Esto es especialmente importante en entornos industriales críticos donde la seguridad es prioritaria.
- **Acceso Remoto:** OPC UA permite el acceso remoto a dispositivos y sistemas, lo que significa que los operadores y técnicos pueden supervisar y controlar máquinas y procesos desde ubicaciones remotas, mejorando la eficiencia y la capacidad de respuesta.
- **Gestión de Datos:** OPC UA no solo se limita a la comunicación en tiempo real, sino que también permite la transferencia de datos históricos y de configuración. Esto es esencial para el análisis de datos y la gestión de la planta.

En resumen, OPC UA es una tecnología que actúa, en este caso, como un puente seguro y eficiente entre un PLC y un sistema de Scada como Ignition. Facilita la comunicación, la

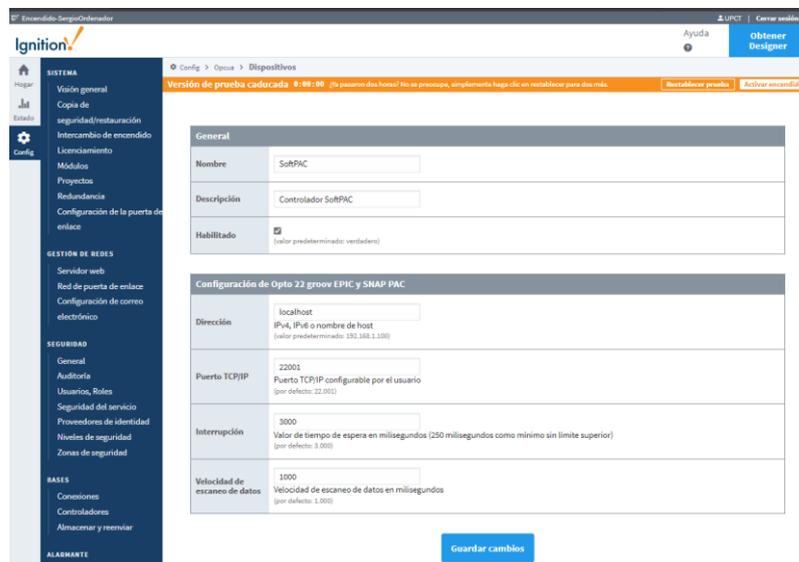
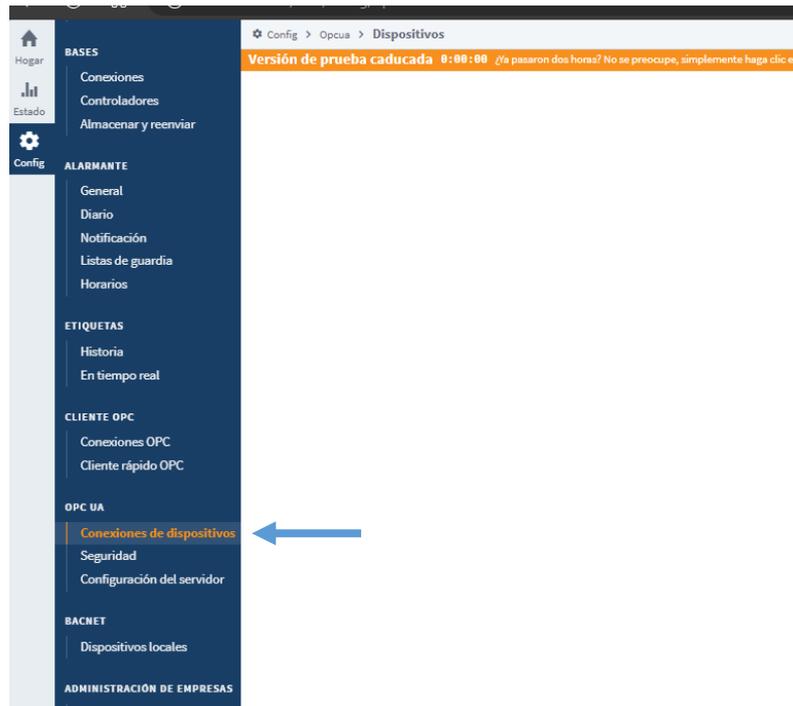
interoperabilidad y el acceso remoto, permitiendo que los sistemas de control industrial funcionen de manera más efectiva, y desempeñando un papel esencial en la automatización y la supervisión en entornos industriales avanzados.

Por consiguiente, para habilitar la correcta comunicación entre Ignition y el resto de dispositivos PLC, se ha tomado la decisión de implementar Groov Epic como cliente OPC UA. Esto se debe a que Groov Epic ofrece una sólida plataforma que cumple con los estándares OPC UA, asegurando una interoperabilidad fluida y una seguridad avanzada en la infraestructura de automatización, lo que respalda la búsqueda de una supervisión y control industrial más firme y eficaz.

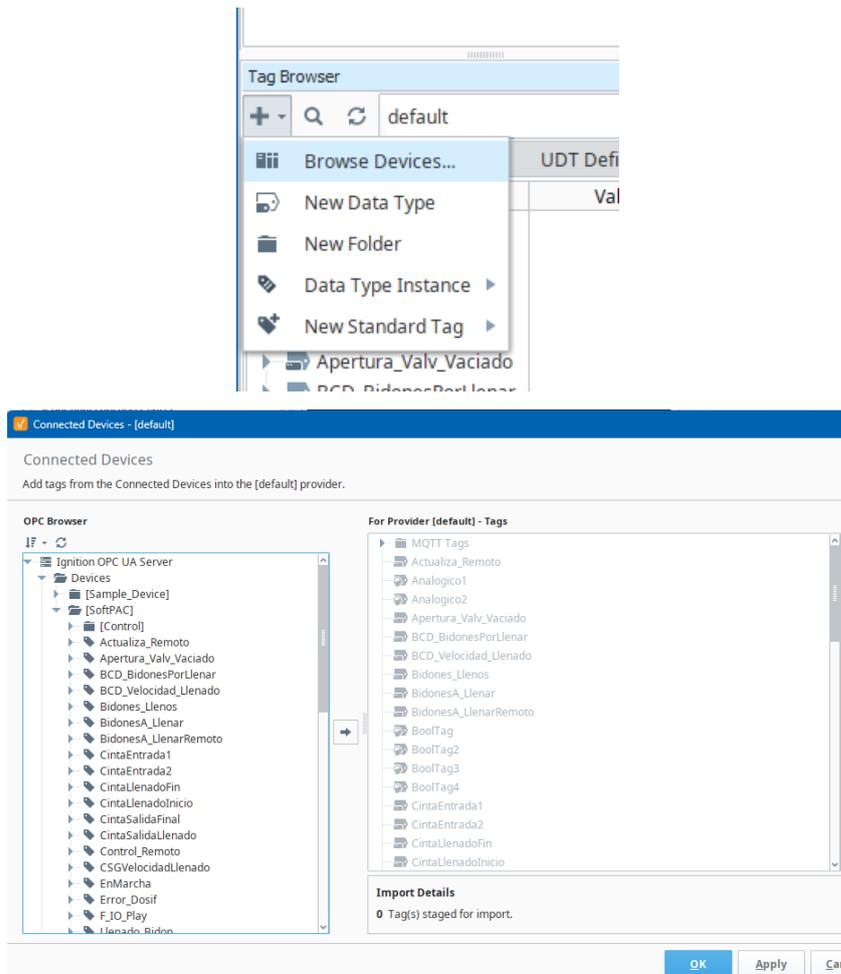
Para ello, se deben configurar las variables de Groov Epic como accesibles por OPC UA, tal y como se muestra en la imagen siguiente:



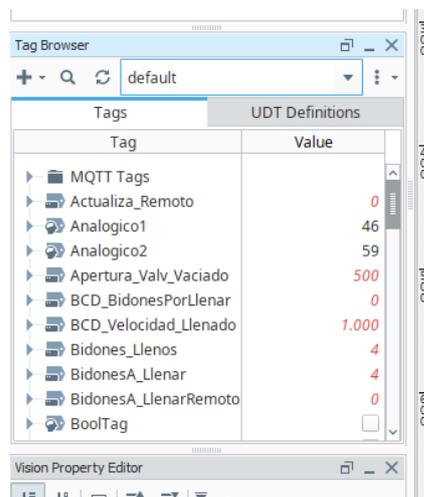
Hay que hacer legibles y/o editables todas aquellas variables que sean necesarias para tener acceso desde Ignition. Hecho esto únicamente habrá que configurar la conexión en Ignition hasta el servidor de Groov Epic:



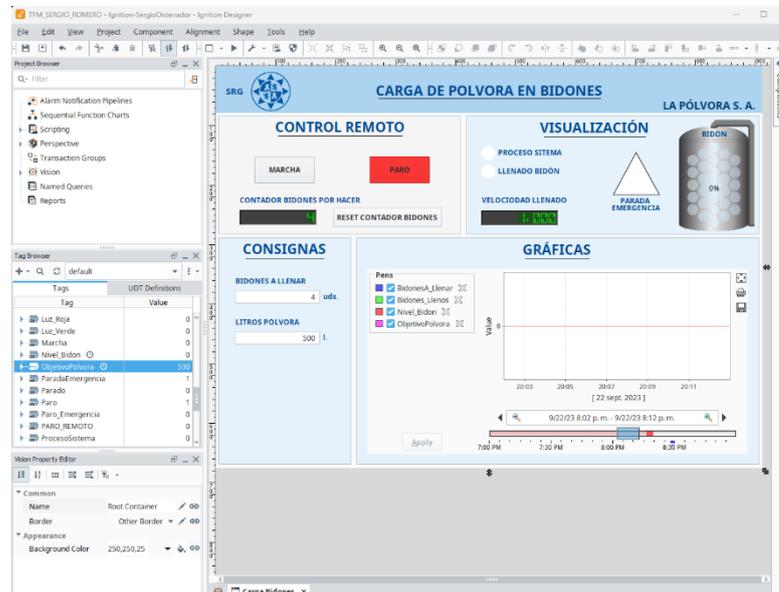
De esta manera ya se puede acceder a estas variables públicas desde el editor de Ignition, como se puede ver en esta imagen:



Ahora es posible visualizar todas estas variables en el navegador de variables como se muestra a continuación:

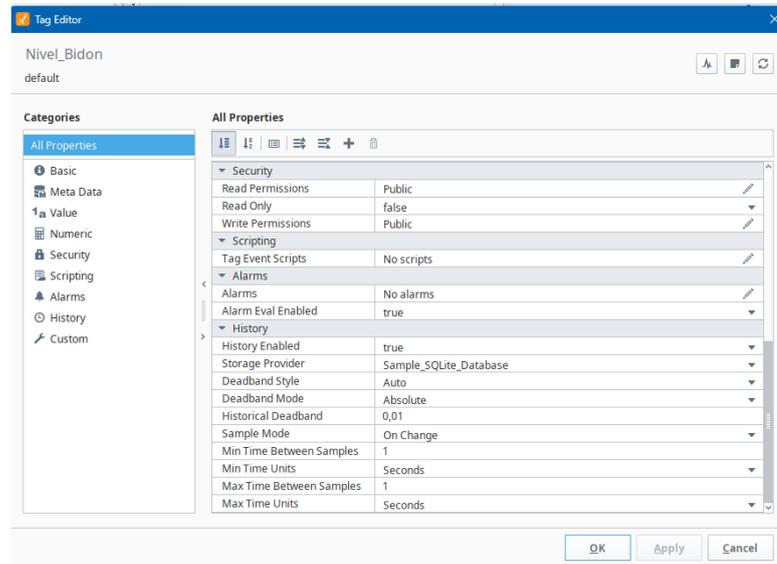


Por lo que respecta al desarrollo del entorno gráfico del sistema de Scada en el editor de Ignition, como se puede apreciar en la imagen, se ha dividido esta interfaz en cuatro partes bien diferenciadas:



1. Control remoto: permite un control directo de la planta de empaquetado, salvo el potenciómetro de velocidad de llenado (que el cliente solicitó que únicamente se pudiera configurar de forma presencial) existe un control directo del resto de pulsadores. Este permite iniciar o parar el llenado de bidones e, incluso, resetear el número de bidones listos.
2. Visualización: muestra una visión detallada del estado de la instalación en tiempo real. Se pueden visualizar, entre otros, el nivel actual de llenado del bidón.
3. Consignas: en este apartado es posible configurar desde cualquier parte del mundo el número de bidones que se van a llenar de pólvora, así como la cantidad de pólvora en cada uno de ellos (la unidad de litros ha sido una adaptación al tamaño del depósito en Factory IO, la capacidad máxima de un bidón en la realidad es de unos 70 kilogramos).
4. Gráficas: permite visualizar todas las consignas que están siendo “historizadas”, es decir, cuyo valor se va guardando a lo largo del tiempo.

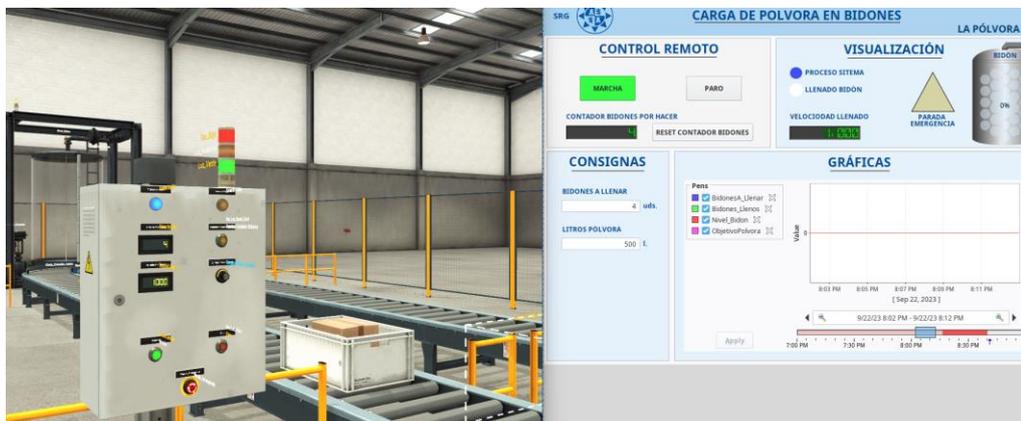
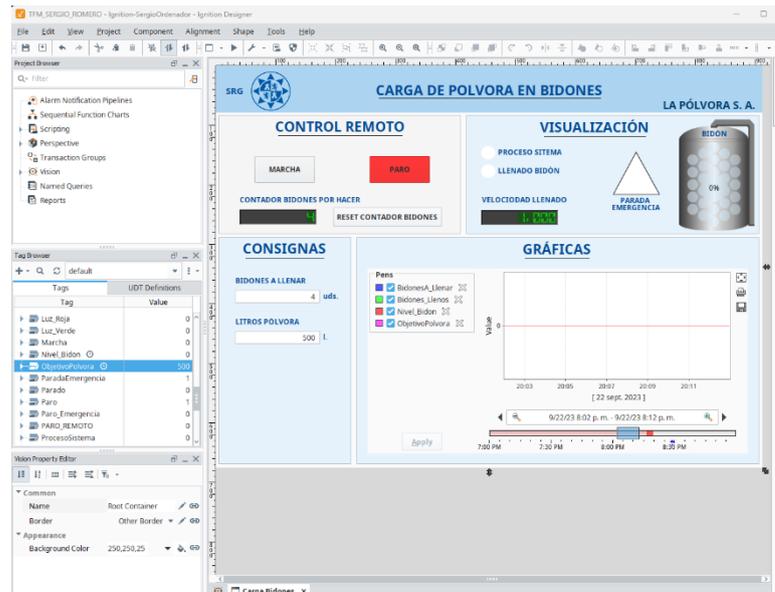
Para poder crear un histórico de alguna variable (generalmente las analógicas o no binarias) se debe realizar la siguiente configuración en las propiedades de dicha variable:



Dentro del editor de la variable, en el último apartado “History”, se habilitará esta opción y se seleccionará como proveedor de almacenamiento la base de datos SQLite. Hecho esto ya se almacenarán, en tiempo real y de forma periódica, los diferentes valores que ofrece esta variable en el tiempo.

6.1.2 Scada desarrollado en Ignition.

Ahora podrán acceder varios clientes de forma simultánea desde cualquier punto del mundo mediante la herramienta “Visión Client Launcher” que, como bien indica su nombre, es un cliente que se conecta a un servidor de Ignition que, en este caso, se hallará instalado en dos máquinas virtuales de Azure.



En la imagen anterior se puede ver la información de la planta en tiempo real, por ejemplo, que el sistema está en marcha y algún operario ha pulsado la seta de emergencia. Esta información se muestra tanto en Ignition como en la luz roja del armario eléctrico en Factory IO.

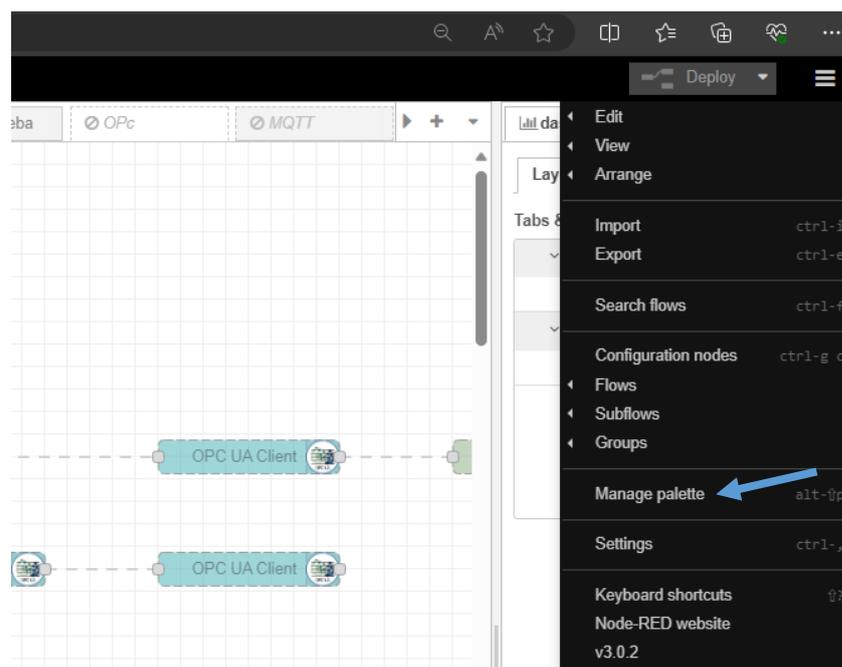
6.2 Node-Red

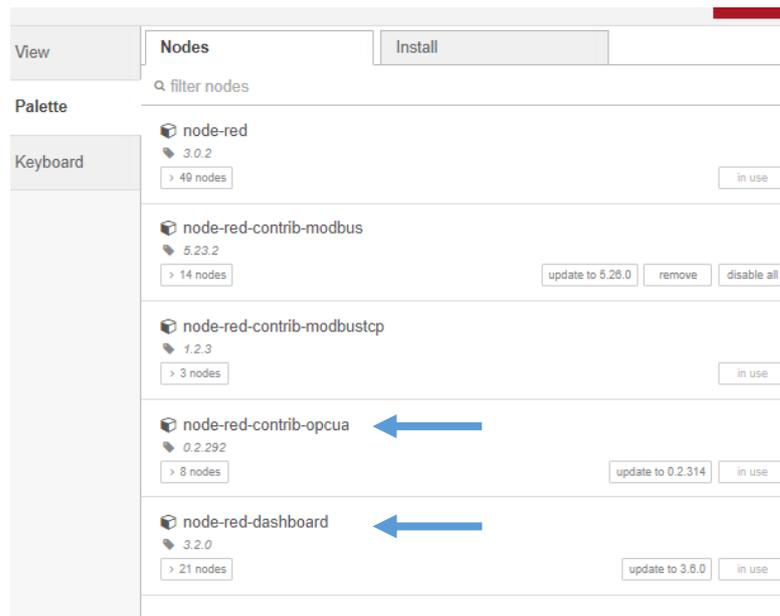
Dentro del entorno industrial, se ha implementado una solución altamente eficiente para la supervisión y control del proceso de llenado de pólvora mediante la utilización de Node-RED en conjunto con la tecnología OPC UA. Node-RED se ha convertido en una herramienta clave para conectar de manera fluida y segura con las variables de PLCs, lo que permite acceder a datos en tiempo real y transformarlos en dashboards informativos.

En particular, siguiendo el ejemplo de la introducción, se han diseñado **tres** dashboards distintos, cada uno adaptado a las necesidades específicas de los diferentes departamentos. El primero de ellos está destinado al departamento encargado de la fabricación de pólvora, proporcionando una visión detallada de los procesos y variables relevantes para esta área. El segundo, dashboard, se orienta hacia el departamento responsable de la fabricación de bidones de pólvora, ofreciendo información clave sobre el estado de producción y cantidad de los bidones a producir. Por último, el tercer dashboard se ha desarrollado orientado para el departamento de transporte, encargado de la recolección de bidones llenos, con datos que informan de la cantidad de bidones llenos y los que están por llenar.

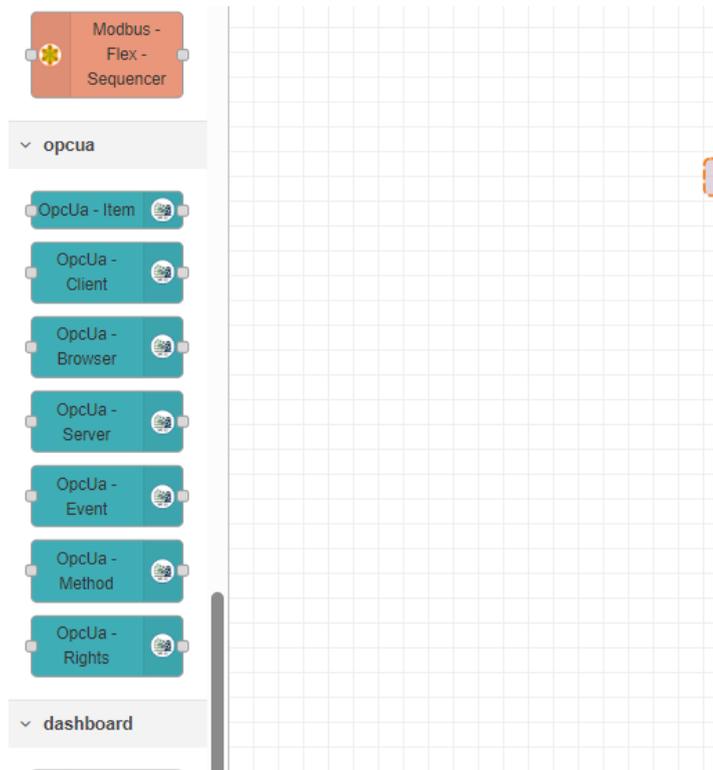
La implementación de Node-RED y OPC UA no solo ha mejorado la conectividad y el acceso a datos críticos, sino que también ha optimizado la toma de decisiones en tiempo real, lo que se traduce en un aumento significativo de la eficiencia y la calidad de los procesos industriales. También en lo que respecta a la comunicación interdepartamental de la empresa. Esta solución tecnológica respalda el compromiso continuo con la excelencia en la gestión de los departamentos y la seguridad de los productos propios del cliente LaPólvora S. A.

El primer paso es descargar e instalar el paquete de Dashboard y OPC UA para realizar los paneles de información y comunicación con el servidor OPC UA, respectivamente. Para ello, dentro de Node-red, hay que seleccionar la opción de “Manage palette” que hay en el menú.





Una vez aquí, se instalan los paquetes que se indican en la imagen anterior.

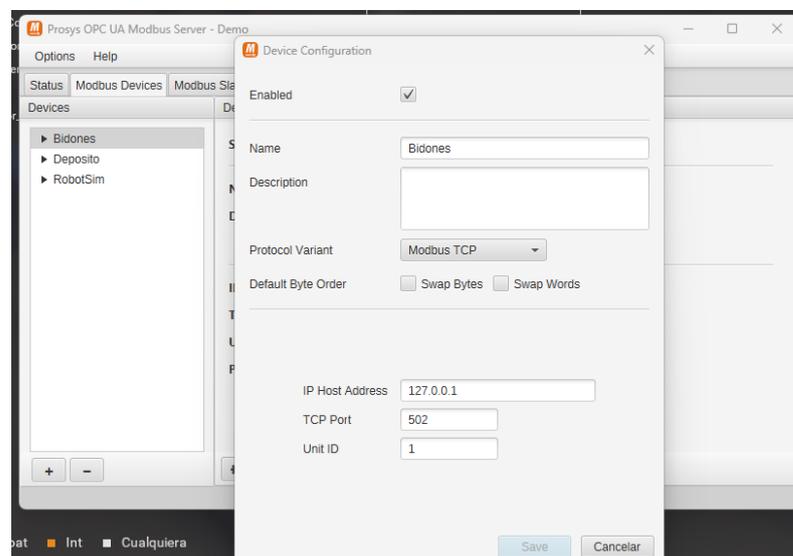


Por otro lado, haciendo uso de la herramienta de Prosys, que se trata de un gestor de OPC UA, se iniciará el servidor OPC UA Modbus Server.



Se crea entonces un nuevo dispositivo de Modbus, en la pestaña “Modbus Device” como se aprecia en la imagen siguiente:

NOTA: esta dirección de conexión sería distinta si este software estuviera alojado en las máquinas virtuales de Azure, ya que, en vez de este ordenador, mostraría una IP pública. Pero no fue posible realizar la captura de imagen y los créditos de Azure ya no están disponibles.

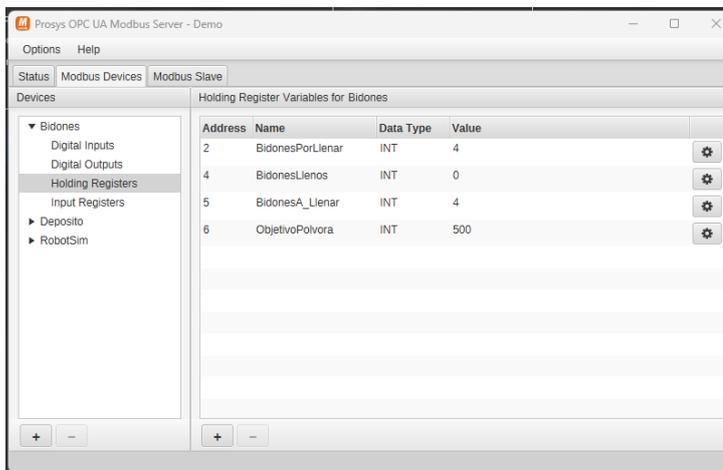
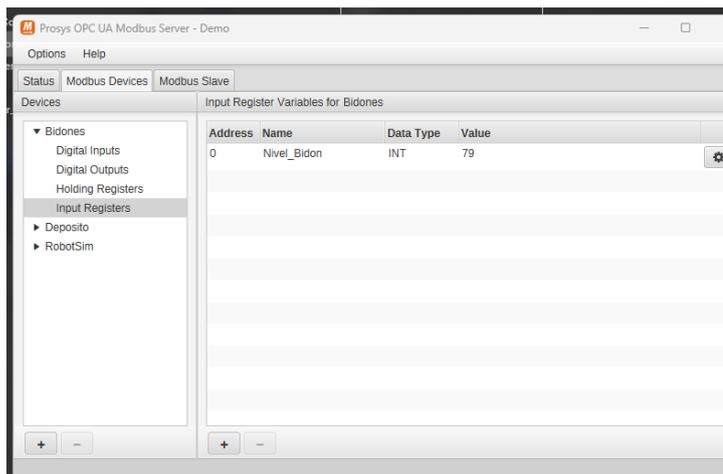
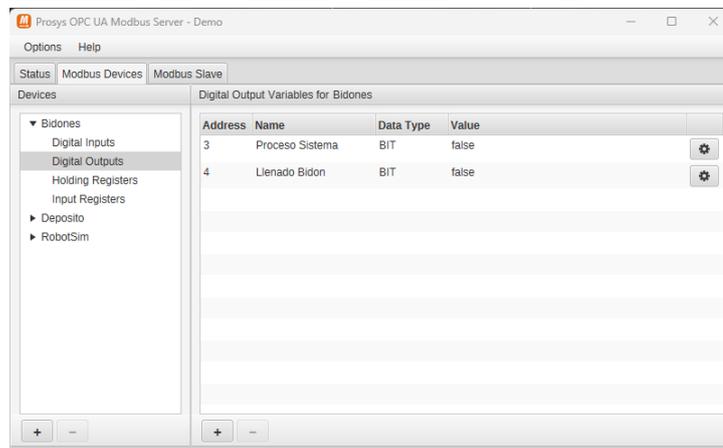


Después hay que añadir todas las señales que se quieran exportar a Node-red, que son las siguientes:

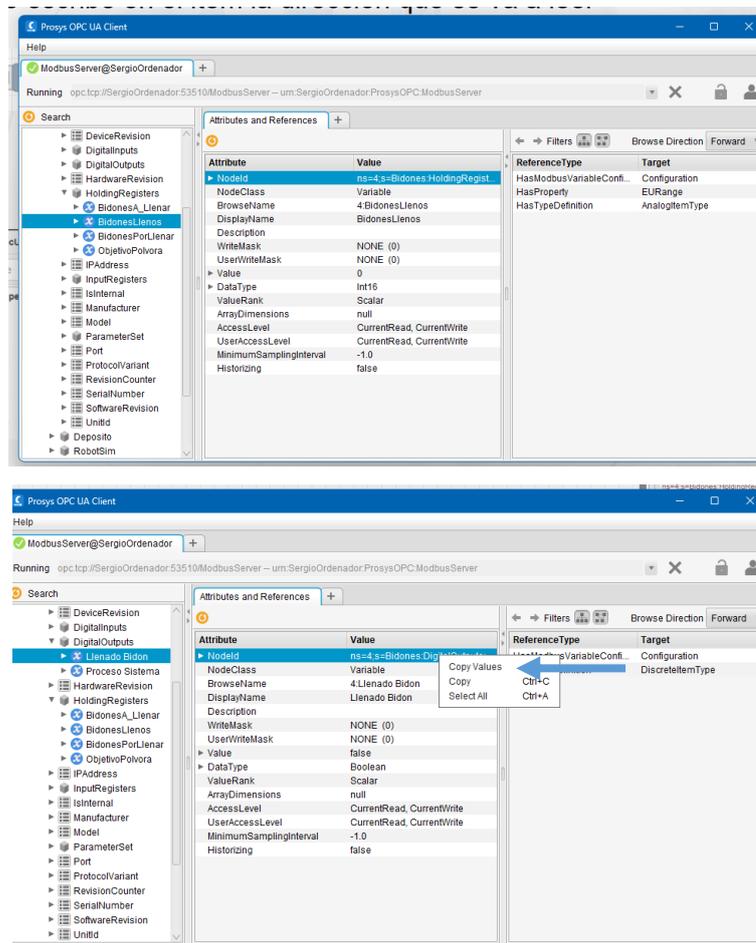
- Digital Outputs (Coils): Proceso Sistema y Llenado Bidón.
- Inputs Registers: Nivel Bidón.

- Holding Registers: Bidones Por Llenar, Bidones Llenos, Bidones A Llenar y Objetivo Pólvora.

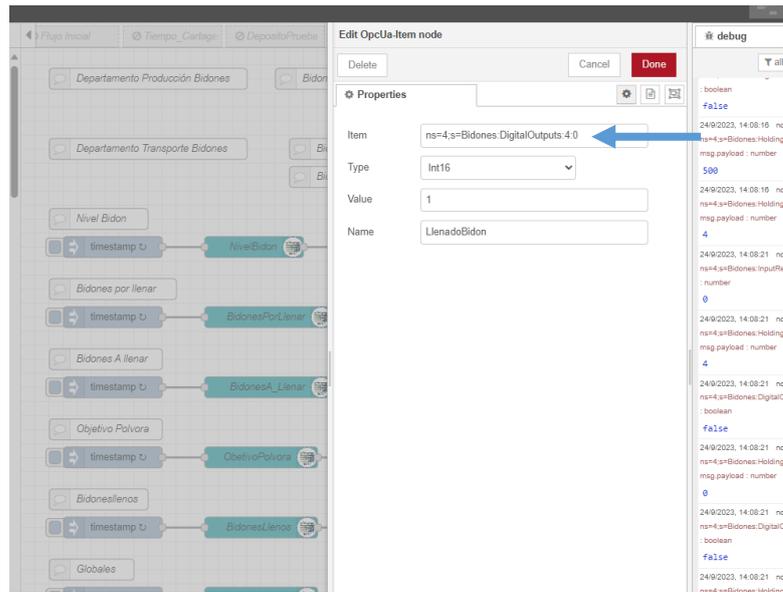
Es conveniente prestar atención para poner la dirección correcta de cada una de estas señales tal y como aparecen en Factory IO, que citará más adelante.



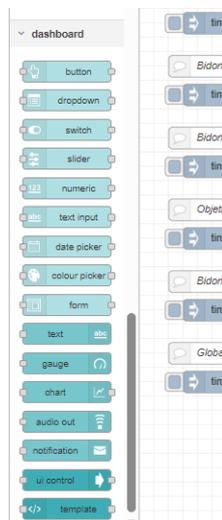
El siguiente paso es conectarse como clientes de OPC UA con el software de Prosys “OPC UA Client” esto es necesario ya que hay que acceder a cada una de estas señales para copiar el valor del campo “NodeId”. Es este campo el que más tarde se usará en Node-red para configurar la señal a la que se pretenda acceder.

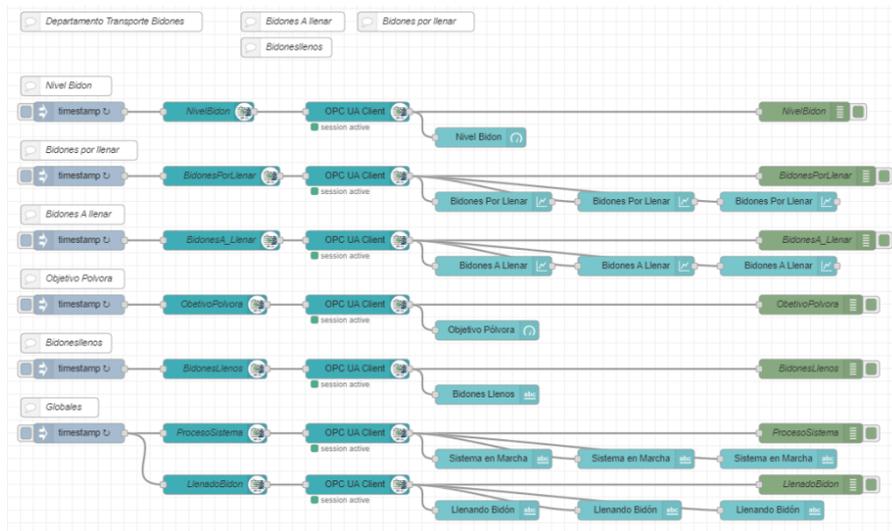


Primero, haciendo uso del nodo de comentarios que proporciona Node-red, se ha establecido a qué información tendrá acceso cada uno de los departamentos, como se muestra a continuación:

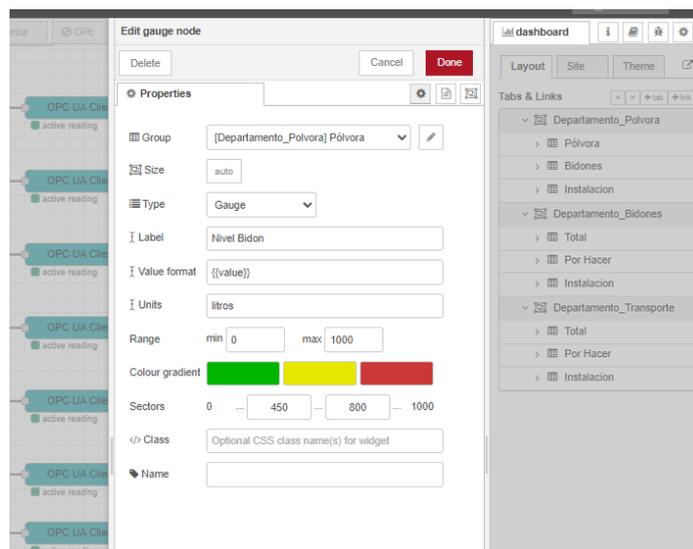


Una vez concluido lo anterior, se repetirá el proceso para todas las variables de cada departamento. Además, se añadirán los nodos de Dashboard para visualizar de una manera grafica la información.

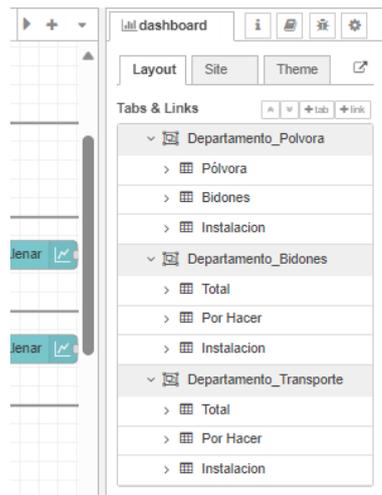




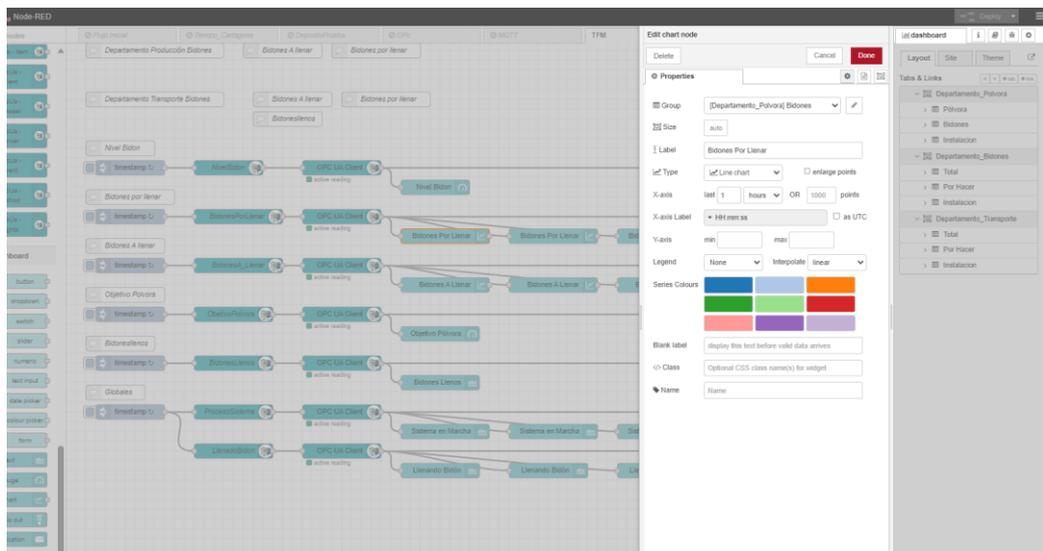
Como se puede apreciar en la imagen anterior, se ha hecho uso de tres tipos de elementos gráficos: chart (gráfico), text y gauge. En la imagen siguiente se observa, a modo de ejemplo, la configuración de uno de los nodos de gauge.



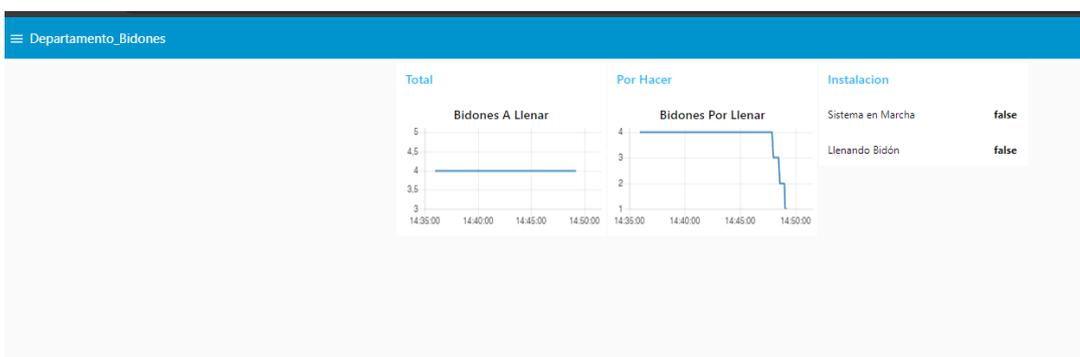
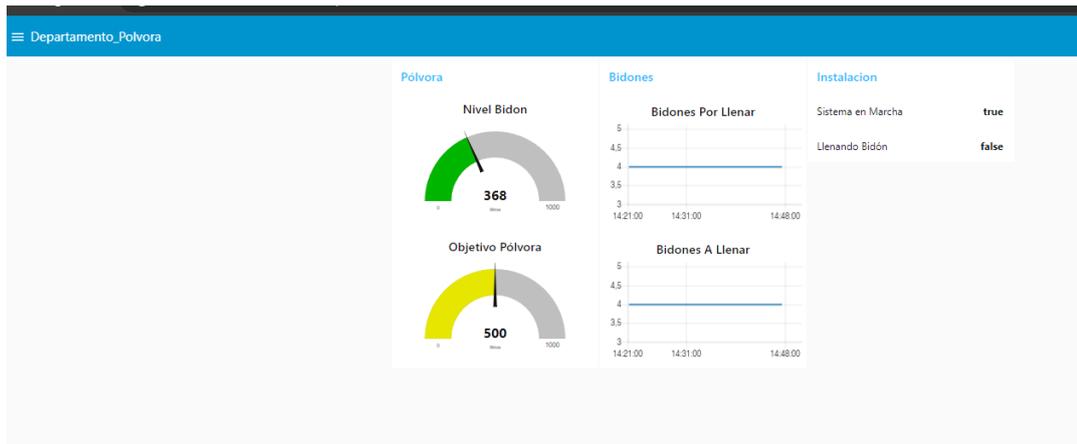
Se indica que en el campo “Group” se ha añadido este elemento a la sección Pólvora del “Departamento de Pólvora”. Se deberá hacer esto para todos los elementos gráficos de todos los departamentos. También hay que crear tres paneles, cada uno será para un departamento distinto y en cada uno habrá tres secciones:



En la siguiente imagen se muestra la configuración de un elemento de tipo chart.



A continuación, se muestra cómo se ve cada uno de estos paneles mostrando la información en tiempo real. Este hito no es solo práctico y útil para cada uno de estos departamentos, sino que, además, al estar alojados en la nube se puede dar acceso a cualquier persona que se requiera en cualquier lugar del mundo.



6.3 Odoo (ERP)

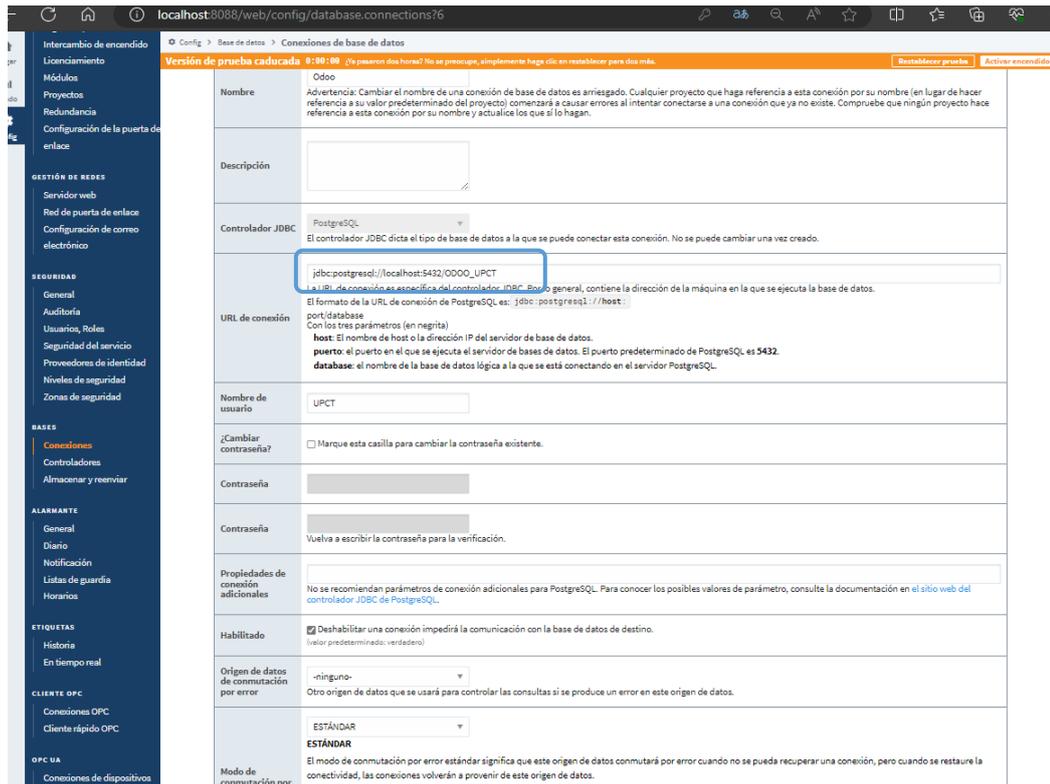
En este punto se mostrará como Odoo e Ignition pueden trabajar en conjunto de manera efectiva. Esta integración entre Odoo y Ignition permite la transferencia de información vital desde el sistema de planificación empresarial del primero hacia el segundo, lo que incluye la capacidad de enviar órdenes de fabricación directamente desde Odoo. Esto optimiza significativamente el proceso de fabricación al eliminar la necesidad de entrada manual de datos, reduciendo, de este modo, errores y garantizando una mayor eficiencia en la producción.

Por tanto, la combinación de Odoo, un completo ERP, con Ignition, una potente plataforma de automatización industrial ofrece una solución perfecta para empresas que desean gestionar sus operaciones de fabricación de manera más eficaz y automatizada. Esta integración permite una comunicación fluida entre ambos sistemas, lo que se traduce en una gestión más eficiente de las órdenes de fabricación y una optimización general de los procesos de fabricación.

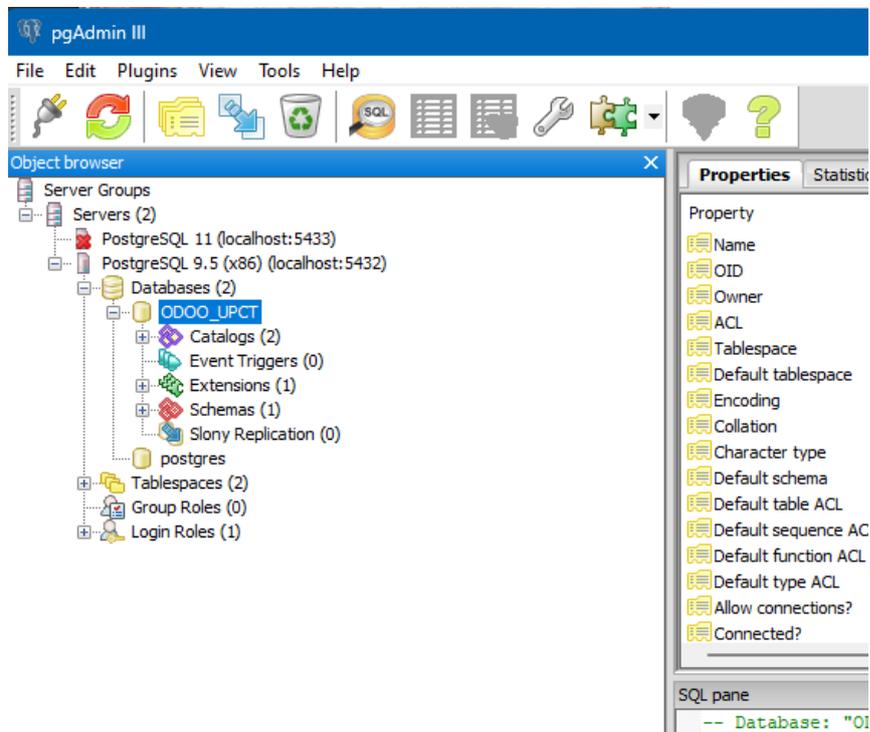
En este caso, el departamento de ventas de la empresa LaPólvora S. A. podrá realizar ordenes de producción directamente desde un software de negocios como Odoo. En concreto, este departamento podrá establecer en cada una de sus “ventas” la cantidad de bidones a producir, así como los litros de pólvora que llevarán cada uno de estos. Como ya se ha mostrado, estas consignas también pueden modificarse desde el Scada de Ignition. La ventaja que supone es que al departamento de ventas se le elimina la necesidad de abandonar su software de gestión de negocio como es Odoo, dada la alta integración de estos dos grandes sistemas.

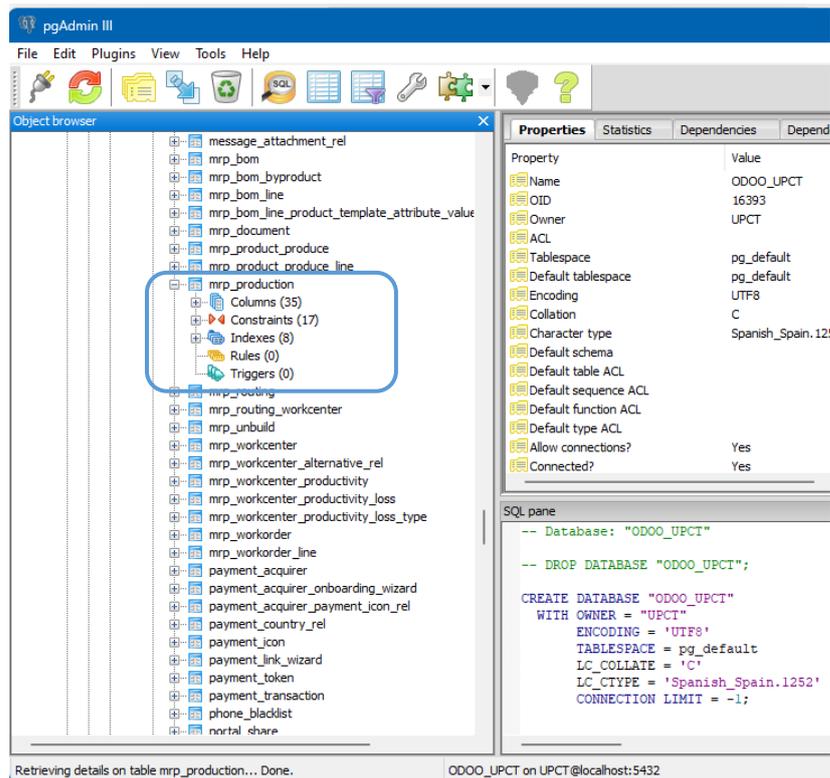
6.3.1 Integración Ignition-Odoo

Para conseguir esta integración primero hay que configurar la conexión de Ignition con Odoo, como se muestra en la imagen siguiente. En primer lugar, hay que colocar correctamente la dirección de la base de datos en PostgreSQL, así como el nombre de usuario y contraseña.

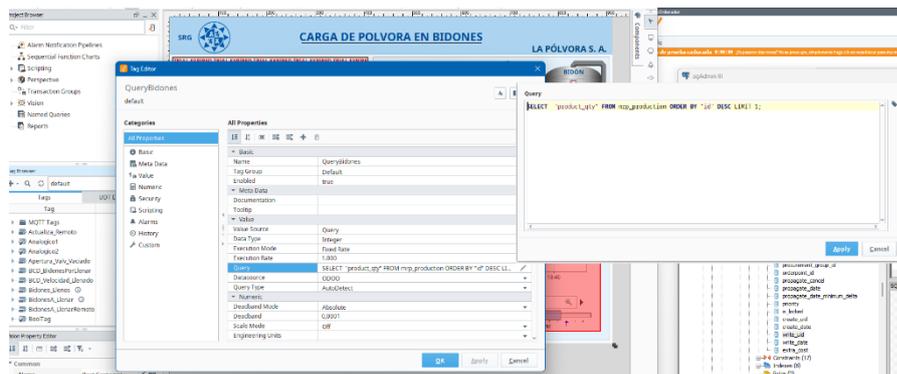


Se puede verificar esta base datos con el software de PostgreSQL:

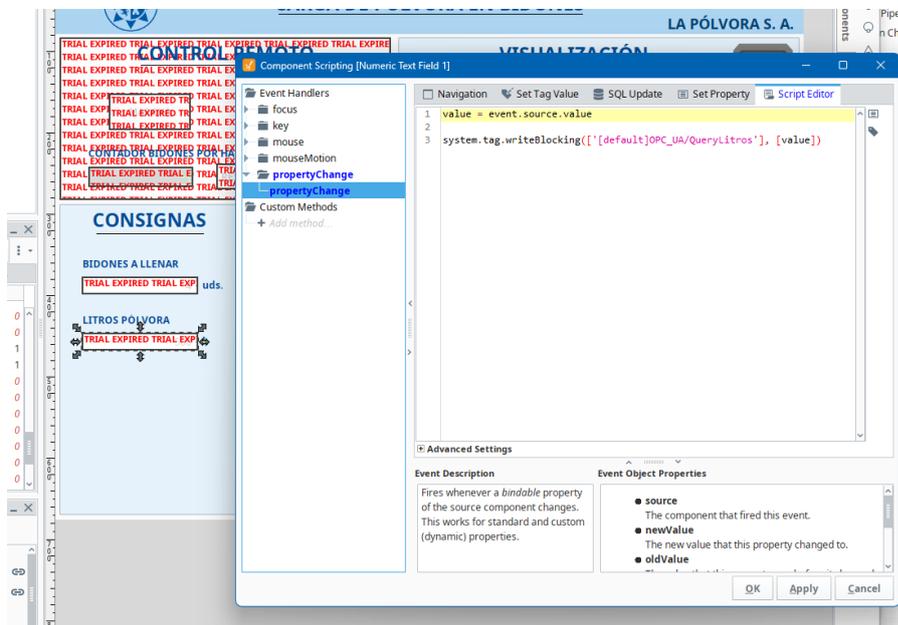
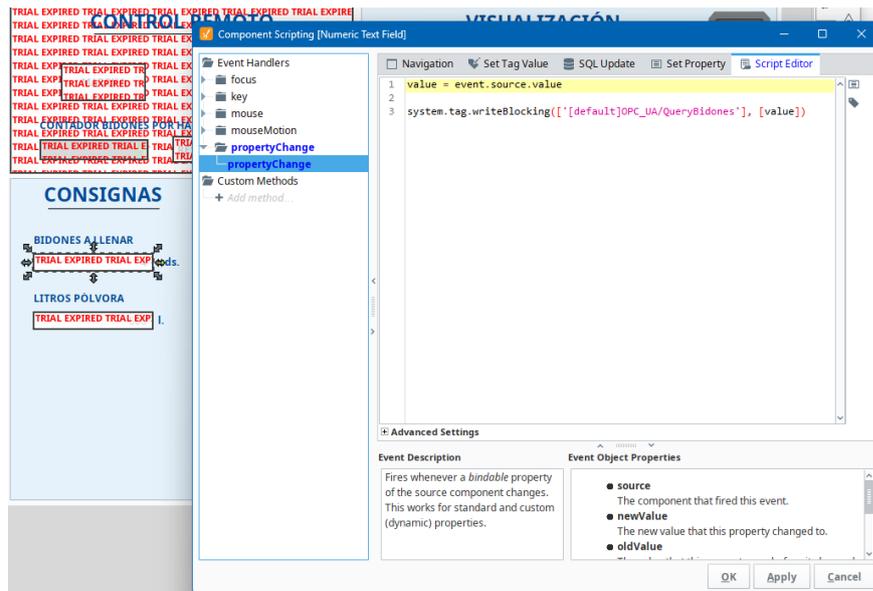




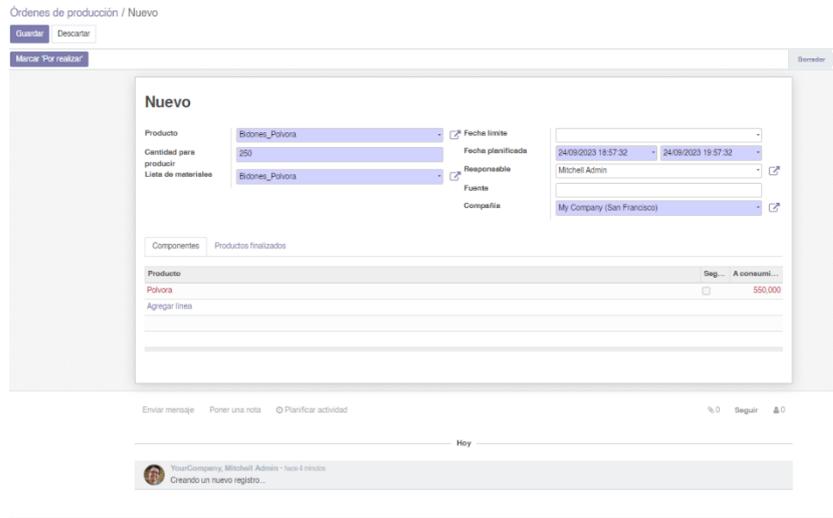
En segundo lugar y, una vez ubicada la tabla de PostgreSQL donde se establecen las órdenes de producción, se configura en Ignition las variables de conexión, que son QueryBidones y QueryLitros.



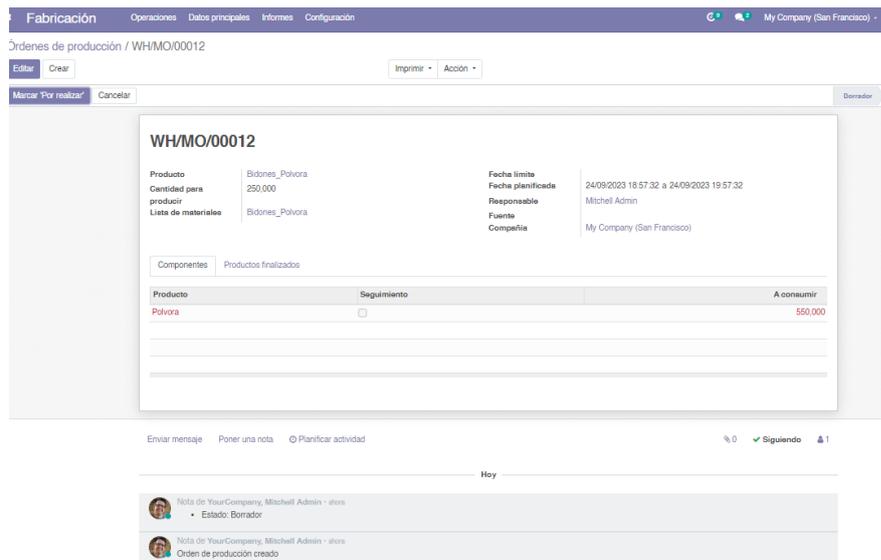
Tras esto, es el momento de configurar ambos campos de consignas con los siguientes códigos que modificaran su valor a la orden de producción.



Ahora desde Odoe ya es posible crear las ordenes de trabajo y, además, se puede ver cómo estas se muestran de forma automática en Ignition. Para ello, hay que crear una nueva orden de producción, como se muestra a continuación:

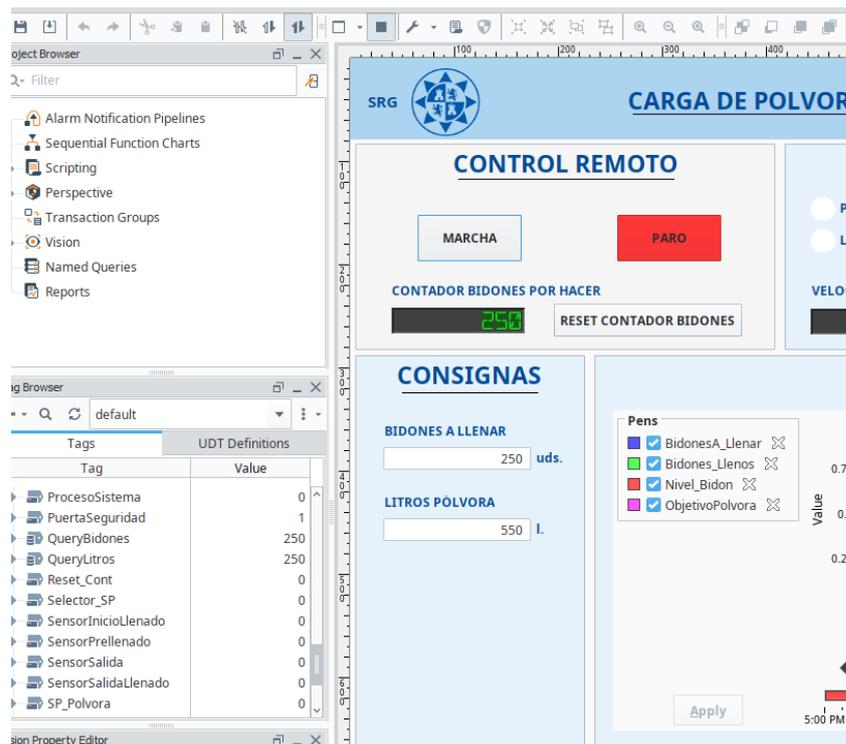


En la imagen anterior se muestra la creación de una orden de producción de 250 bidones con una cantidad de 550 litros cada uno.



En este punto, se confirma la orden de producción y ya aparece reflejada en la tabla:

Referencia	Fecha planificada	Producto	Fuente	Disponibilidad de material	Cantidad	Estado	Compañía
<input type="checkbox"/> WH/MO/00012	24/09/2023 18:57:32	Bidones_Polvora		En espera	250,000	Para cerrar	My Company (San Francisco)
<input type="checkbox"/> WH/MO/00011	29/06/2023 19:21:00	Liquid_UPCT		En espera	1,000	Para cerrar	My Company (San Francisco)
<input type="checkbox"/> WH/MO/00010	29/06/2023 18:17:42	Liquid_UPCT		En espera	1,000	Para cerrar	My Company (San Francisco)
<input type="checkbox"/> WH/MO/00009	29/06/2023 18:14:34	Liquid_UPCT		En espera	1,000	Para cerrar	My Company (San Francisco)
<input type="checkbox"/> WH/MO/00008	27/06/2023 19:24:12	Liquid_UPCT			1,000	Borrador	My Company (San Francisco)



En la imagen se observa que ya aparecen actualizadas las consignas de 250 unidades y 550 litros.

6.4 Máquinas virtuales en Azure

En un entorno cada vez más digitalizado la creación de máquinas virtuales (VM) en la nube se ha vuelto una práctica común para muchas empresas y organizaciones. Microsoft Azure, uno de los principales proveedores de servicios en la nube, ofrece una plataforma robusta para alojar y administrar estas MVs (máquinas virtuales). En este escenario, se plantea la necesidad de implementar dos máquinas virtuales en Azure que estén conectadas a través de una puerta de enlace que desempeñará un papel crucial en la gestión y regulación del tráfico entrante entre ambas MVs.

Configuración de Máquinas Virtuales en Azure:

Creación de Máquinas Virtuales: En primer lugar, se procederá a la creación de dos máquinas virtuales en Azure. Estas MVs pueden ser configuradas según las necesidades específicas de la empresa, incluyendo el sistema operativo, la potencia de procesamiento y la memoria. Una de

las ventajas de Azure es la flexibilidad en cuanto a la elección del sistema operativo, lo que permite adaptar las MVs a las aplicaciones y cargas de trabajo deseadas.

Creación de la Puerta de Enlace:

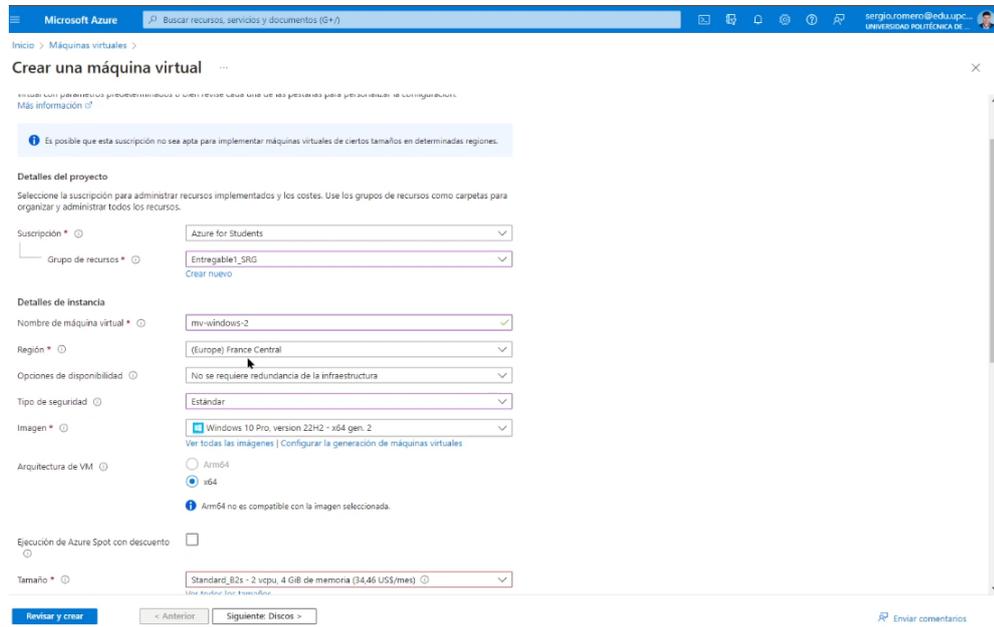
1. **Configuración de la Puerta de Enlace:** La puerta de enlace, en este contexto, será una instancia de equilibrio de carga que actúe como un intermediario para regular y distribuir el tráfico entrante entre las dos máquinas virtuales. Para esto, se utilizará un recurso de Equilibrio de Carga de Azure.
2. **Configuración de Equilibrio de Carga:** El recurso de Equilibrio de Carga se configurará para distribuir el tráfico de manera equitativa entre las dos máquinas virtuales. Esto asegura que ambas MVs compartan la carga de tráfico entrante de manera justa, lo que es crucial para mantener la disponibilidad y el rendimiento del sistema. Esto ocurre, sobre todo, cuando múltiples clientes tratan de conectar con los servicios alojados en estas MVs.

Acceso a la Puerta de Enlace mediante Azure Bastion:

1. **Conexión mediante Azure Bastion:** Para acceder a la puerta de enlace que regula el tráfico entre las dos VMs, se utilizará Azure Bastion, una solución altamente segura y eficiente. Azure Bastion permite una conexión remota segura a las máquinas virtuales en Azure sin exponer direcciones IP públicas. Proporciona una capa adicional de seguridad al proceso de conexión.
2. **Seguridad de la Conexión:** Azure Bastion emplea tecnologías avanzadas de autenticación, cifrado y autenticación multifactor para garantizar la seguridad de la conexión remota. Esta solución es considerada una de las más seguras para administrar máquinas virtuales en Azure.

En resumen, la creación de dos máquinas virtuales en la nube de Azure, conectadas a través de una puerta de enlace que regule y distribuya el tráfico entrante de manera equitativa, es una estrategia eficaz para optimizar la operación de aplicaciones y servicios en la nube. La conexión a la puerta de enlace mediante Azure Bastion garantiza una comunicación segura y eficiente sin exponer direcciones IP directas, lo que refuerza la seguridad en el entorno. Este enfoque es una

solución sólida para empresas que buscan aprovechar la escalabilidad y la seguridad de la nube en sus operaciones.



En la imagen anterior se puede observar la implementación de una de las dos máquinas virtuales. Es necesario aclarar que ambas máquinas son iguales, pero mientras que una estará alojada en Francia Central (como se ve en la imagen) la otra estará en Europa este, de esta forma si cae uno de los centros de datos el sistema seguirá plenamente operativo. Esto dotará a la instalación de una seguridad más eficiente y robusta frente a fallos.

En consecuencia, en cada una de estas máquinas virtuales, se ha instalado una serie de software crítico para el funcionamiento y la conectividad avanzada en la Industria 4.0.: Ignition, Odo, Node-Red y Prosys OPC UA Modbus Server, instalados para habilitar la comunicación eficiente y estandarizada.

El conjunto de estas aplicaciones permite una redundancia activa, lo que asegura que la operación continúe sin problemas incluso en caso de fallo en una de las máquinas virtuales. Esta configuración avanzada no solo mejora la confiabilidad, sino que también habilita la accesibilidad global, permitiendo el acceso desde cualquier punto del planeta. Esta implementación de alta tecnología marca el máximo estándar de la Industria 4.0 donde, hoy en día, la eficiencia, la

conectividad avanzada y la disponibilidad constante son cruciales para el éxito en el mercado globalizado.

7 Virtualización en Factory IO

La industria moderna se ha adentrado en una era donde la simulación y la virtualización de procesos se han vuelto fundamentales para la optimización de la producción y la gestión de recursos. En este contexto, se ha decidido implementar Factory IO como un "gemelo digital" para replicar y virtualizar la instalación de llenado de bidones de pólvora. Esta solución revolucionaria promete proporcionar un seguimiento y control más preciso y natural de un proceso que requiere una atención meticulosa y altos estándares de seguridad.

Factory IO, una plataforma de simulación avanzada, consigue emular con precisión cada aspecto del proceso de llenado de bidones en un entorno virtual. Esto incluye la manipulación de los bidones, la medición de la cantidad de pólvora, el control de las válvulas, la monitorización de los niveles y cualquier otro detalle esencial. Esta replicación fiel del proceso físico en el mundo virtual permite a los operadores y supervisores realizar un seguimiento en tiempo real de cada etapa del llenado, lo que contribuye a una toma de decisiones mejor informada.

La ventaja principal de utilizar Factory IO radica en su capacidad para proporcionar una representación visual y gráfica del proceso en acción. Esto no solo facilita que la supervisión y el control sean precisos, sino que también permite la identificación rápida de posibles problemas o ineficiencias. Además, esta tecnología ofrece la flexibilidad de simular diversas situaciones y escenarios, lo que es esencial para el entrenamiento de operadores y para la toma de decisiones estratégicas en la optimización del proceso de llenado de bidones de pólvora.

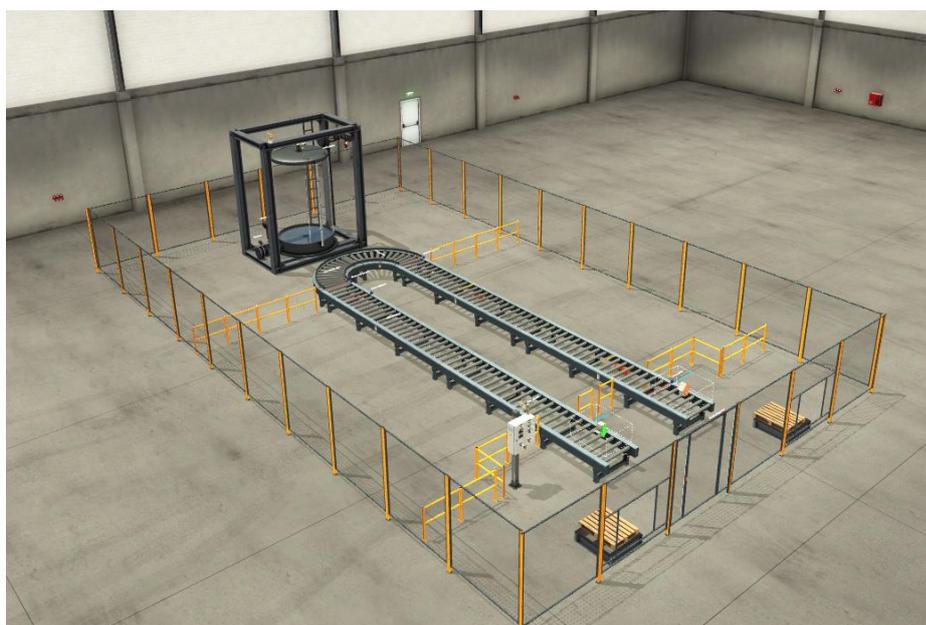
Al virtualizar esta instalación con Factory IO se da un paso importante hacia la eficiencia, la seguridad y la precisión en la gestión de este proceso crítico. La simulación y el seguimiento en tiempo real, que ofrecen una representación natural del llenado de bidones de pólvora, son elementos esenciales para la industria moderna en la búsqueda de la excelencia en la producción y la gestión de recursos.

A continuación, se muestra una imagen del armario eléctrico de Factory IO.





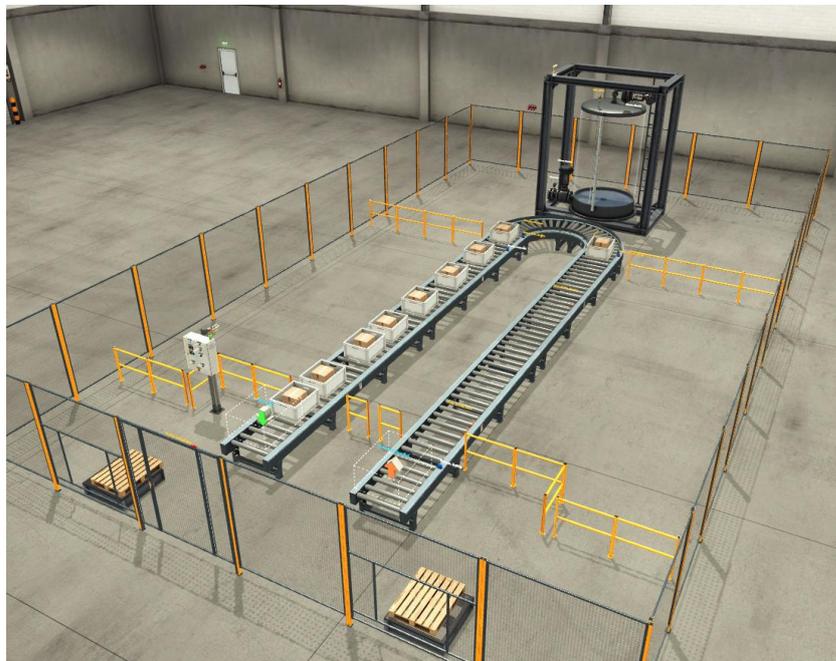
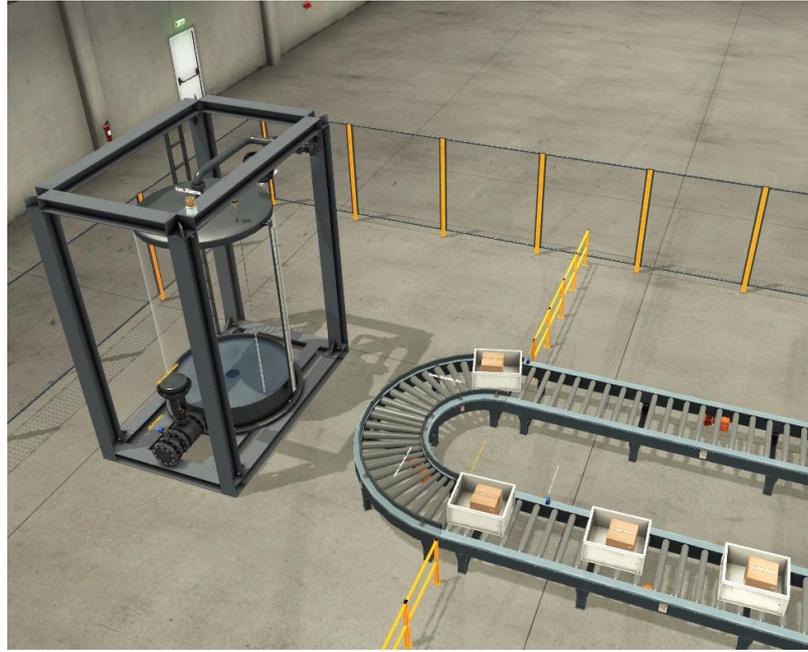
En la siguiente imagen se observa la instalación donde se pueden apreciar los puntos de entrada y salida de los bidones vacíos y llenos, respectivamente.



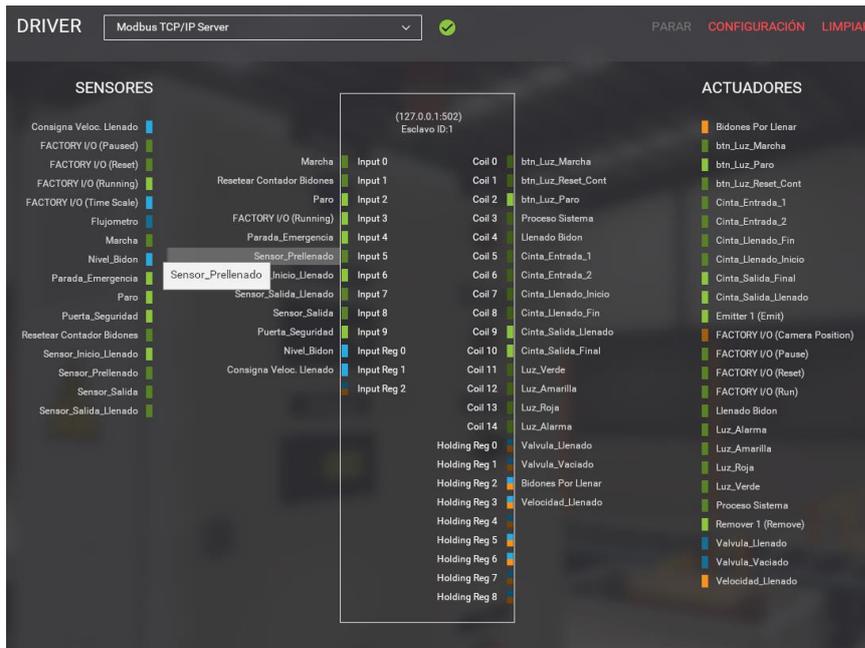
También se puede ver la zona segura de trabajo de los operarios que permanecen alejados de la zona de llenado que se encuentra en el fondo de la sala.



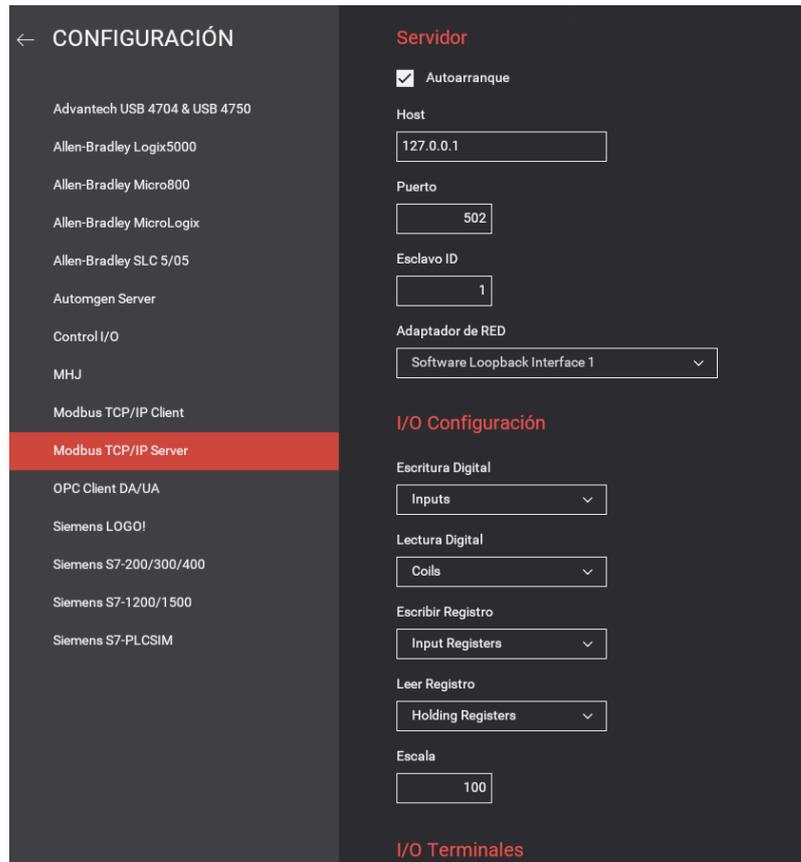
En las siguientes imágenes se muestra en tiempo real la instalación en pleno proceso de trabajo. Esta simulación realista elimina la necesidad de ir a planta a verificar el trabajo gracias a la cantidad de detalles y a que todo se supervisa en tiempo real.

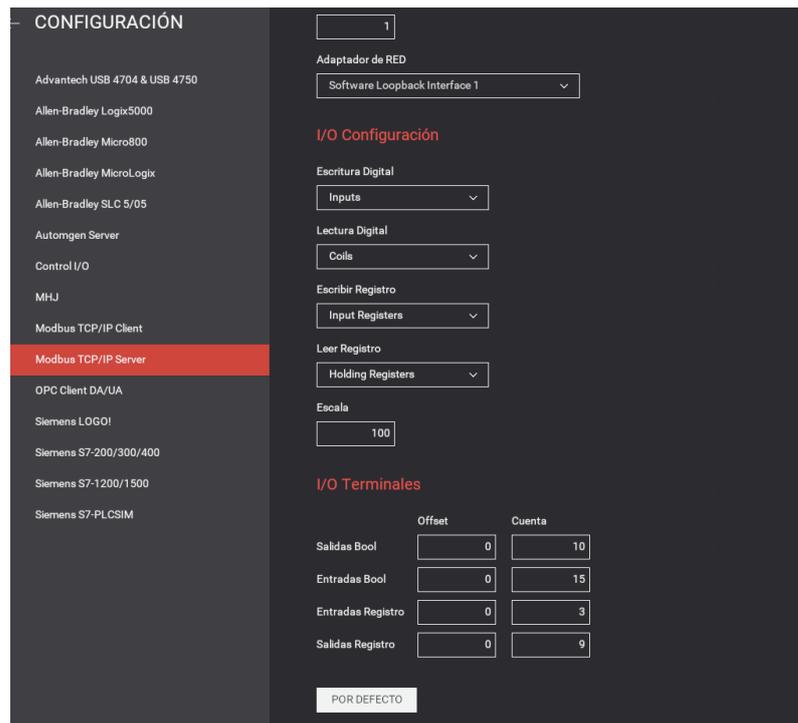


Por otro lado, se debe configurar el “driver” de Servidor de Modbus, que proporciona Factory IO, en otras palabras, este software permite simular la misma red de campo que se está utilizando en la instalación real. Esta configuración se realizará de manera que permite la comunicación de todos los sensores y actuadores de la instalación en este gemelo digital, tal y como se muestra a continuación:



En la configuración se establecen los siguientes parámetros:





8 Conclusiones

El desarrollo de este Trabajo de Fin de Máster (TFM) ha sido un viaje emocionante hacia el corazón de la Industria 4.0, donde la innovación y la digitalización están redefiniendo la forma en la que las empresas abordan la gestión de procesos y la optimización de la producción. La implementación de un sistema SCADA en Ignition para supervisar y controlar de forma remota esta planta de llenado de bidones, junto con el uso de Node-Red para la supervisión de los departamentos relacionados, y Odoo para la gestión de las órdenes de producción, ha sido un desafío significativo.

A lo largo de este proyecto, se han superado obstáculos técnicos y desafíos conceptuales. La integración de estas soluciones tecnológicas, la configuración en la nube de Azure, y la coordinación de múltiples sistemas, han requerido una planificación meticulosa y una ejecución precisa. La necesidad de garantizar la seguridad de los datos, la disponibilidad y la escalabilidad en la nube ha sido un factor crítico en el éxito de esta implementación.

Sin embargo, el resultado ha sido gratamente satisfactorio. El sistema SCADA en Ignition ha demostrado ser una herramienta versátil y poderosa para supervisar y controlar los procesos de llenado de bidones de manera remota, brindando un control preciso y un seguimiento en tiempo

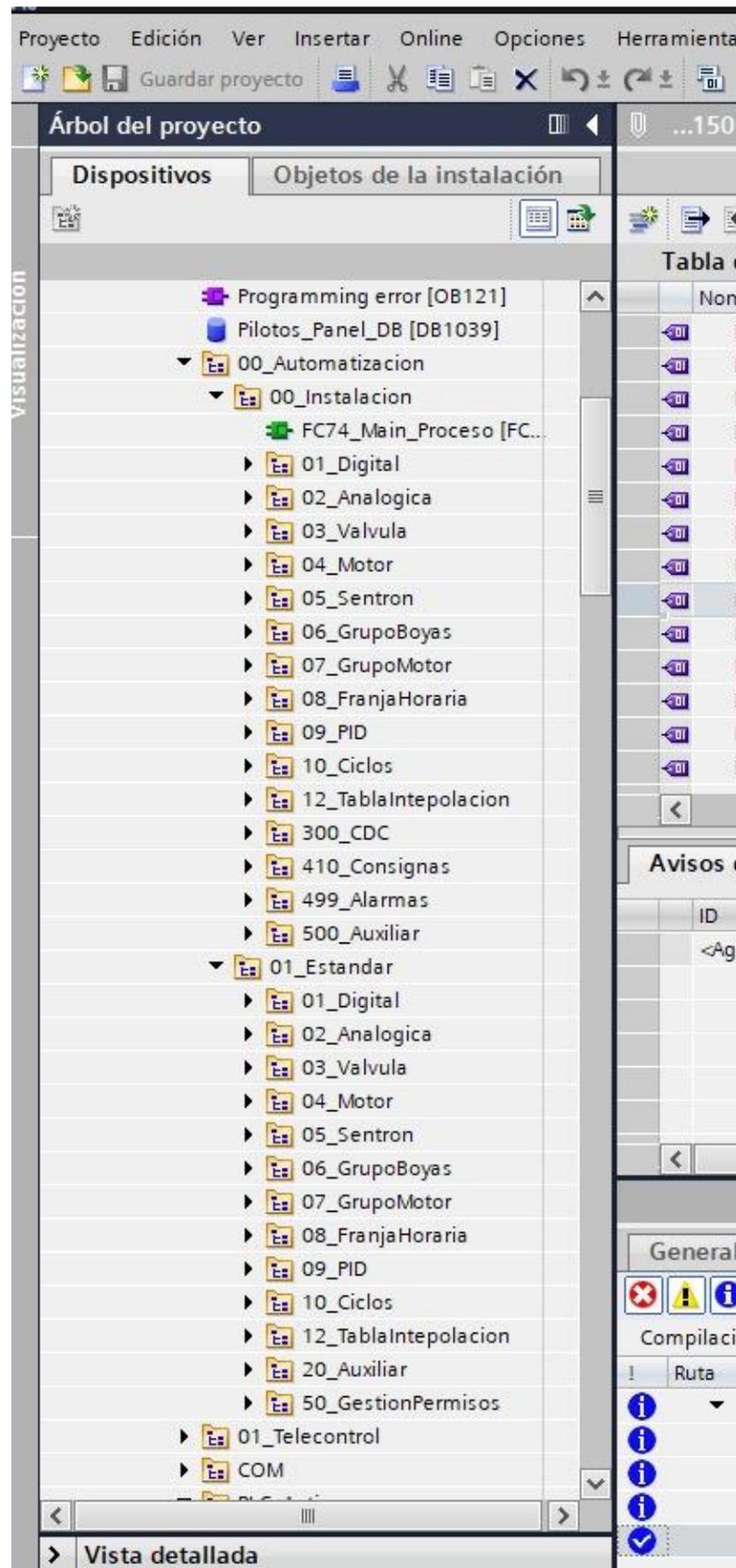
real. Node-Red ha proporcionado una interfaz amigable y eficiente para supervisar y gestionar los departamentos relacionados, lo que ha mejorado la comunicación y la toma de decisiones. La utilización de Odoon para la gestión de órdenes de producción ha optimizado el flujo de trabajo y ha permitido una mayor eficiencia en la planificación y ejecución de las tareas. La combinación de estas herramientas en un entorno de nube de Azure ha proporcionado la flexibilidad y la escalabilidad necesarias para adaptarse a las cambiantes demandas de la empresa. Este proyecto ha sido un testimonio de la creciente importancia de la Industria 4.0, donde la digitalización y la automatización ya no son una opción, sino la norma en la mayoría de las empresas competitivas. El conocimiento adquirido y las habilidades desarrolladas a lo largo de este TFM me preparan para enfrentar los desafíos de un mundo industrial en constante evolución y para contribuir al éxito continuo de las empresas en la era de la Industria 4.0. Las lecciones aprendidas y los logros alcanzados en esta experiencia serán determinantes a medida que avanzo en mi carrera profesional en este emocionante campo.

9 Bibliografía

Trabajo de fin de grado ser Sergio Romero Gómez:

[TFG SergioRomero Gómez](#)

10 Anexos: Proyecto Minicentrales de Canal Isabel II



The screenshot displays the SIMATIC Manager interface. On the left, the 'Árbol del proyecto' (Project Tree) shows the hierarchy for 'EST111_v10'. The central pane is titled 'Tabla de variables estándar' and contains a table with columns for 'Nombre', 'Nombre del PLC', and 'Variable PLC'. Below this table are sections for 'Avisos de bit' and 'Avisos analógicos'. On the right, a power distribution diagram is visible, showing a 20 kV busbar connected to various components like 'Acometida Central', 'Serv. Aux. SIE', and 'Línea Embalces 20kV'. The bottom status bar shows 'Compilación finalizada (errores: 0; advertencias: 0)'.

Nombre	Nombre del PLC	Variable PLC
ED_Map_INTERRUPTOR52AABIE...	ión_3 20111_FES151	ED_Map.INTERRUPTORS2...
ED_Map_INTERRUPTOR52CABIE...	ión_3 20111_FES151	ED_Map.INTERRUPTORS2...
ED_Map_INTERRUPTOR52CERR...	ión_3 20111_FES151	ED_Map.INTERRUPTORS2...
ED_Map_INTERRUPTOR52P_PUE...	ión_3 20111_FES151	ED_Map.INTERRUPTORS2...
ED_Map_INTERRUPTOR52P_PUE...	ión_3 20111_FES151	ED_Map.INTERRUPTORS2...
ED_Map_MaIntens_20kV_Presa	ión_3 20111_FES151	ED_Map.MaIntens_20k...
ED_Map_MaIntensNeutro22k...	ión_3 20111_FES151	ED_Map.MaIntensNeutr...
ED_Map_MaIntensNeutro66k...	ión_3 20111_FES151	ED_Map.MaIntensNeutr...
ED_Map_MaIntensTrafo22kv	ión_3 20111_FES151	ED_Map.MaIntensTra...
ED_Map_MaIntensTrafo	ión_3 20111_FES151	ED_Map.MaIntensTra...
ED_Map_MaTensHomop022...	ión_3 20111_FES151	ED_Map.MaTensHomop...
ED_Map_MaTens3Sporc_Barr...	ión_3 20111_FES151	ED_Map.MaTens3Sporc...
ED_Map_MaTens3Sporc_LG	ión_3 20111_FES151	ED_Map.MaTens3Sporc...
ED_Map_MaTens8Sporc_LG	ión_3 20111_FES151	ED_Map.MaTens8Sporc...

The screenshot shows the SIMATIC Manager interface with a power distribution diagram. The diagram features two main busbars: 'PUENTES VIEJAS' (20/6 kV) and 'GANDULLAS (BD.)' (66 kV). Each busbar is connected to a 'Receptor/Chador' (S2PV and S2HE) and includes several monitoring points (e.g., 59, 81, 27A, 27BD, 67N, 98). The interface also shows a 'Mini Control Subestación' window with numerical readouts for 'Tensión', 'P. Activa', 'P. Reactiva', and 'FP'. The bottom status bar indicates '020_SINOPTICO'.