



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOMATIZACIÓN AVANZADA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTES

Autor: Jose Maria Cabrera Millán
Director: José Antonio Rodríguez Mondéjar

Madrid
Junio 2018

Jose Maria
Cabrera
Millán

AUTOMATIZACIÓN AVANZADA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTES



AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Jose Maria Cabrera Millán _____

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: *AUTOMATIZACIÓN AVANZADA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR PIVOTES*, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e

intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 25 de Junio de 2018

ACEPTA

Fdo:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a stylized, cursive script that appears to read 'J. L. L.' or similar, with a long horizontal stroke extending to the right.

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
*“AUTOMATIZACIÓN AVANZADA DE UN SISTEMA DE RIEGO POR
PIVOTES”*

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2017-2018 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Jose Maria Cabrera Millán

Fecha: 25/ 06/ 2018



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: **RODRIGUEZ
MONDEJAR
JOSE
ANTONIO -
29057313X**

Firmado digitalmente por
RODRIGUEZ MONDEJAR JOSE
ANTONIO - 29057313X
Nombre de reconocimiento
(DN): c=ES,
serialNumber=29057313X,
sn=RODRIGUEZ MONDEJAR,
givenName=JOSE ANTONIO,
cn=RODRIGUEZ MONDEJAR
JOSE ANTONIO - 29057313X
Fecha: 2018.06.25 16:52:35
+02'00'

Fecha: 25/ 06/ 2018

Automatización avanzada de un sistema de riego por pivotes

Autor: Jose Maria Cabrera Millán
Director: José Antonio Rodríguez Mondéjar

Universidad Pontificia de Comillas - ICAI

Madrid, España

RESUMEN DEL PROYECTO

Abstracto—En este proyecto se ha desarrollado una solución para automatizar un sistema de riego por pivotes dentro del marco de la agricultura 4.0. El sistema de riego se encuentra localizado en una finca de producción agrícola situada al sur de España. La solución planteada en el proyecto es un prototipo que consta de dos partes. La primera, es una automatización para el control y supervisión del sistema de riego, y la segunda, un sistema de obtención de datos, que, a través de una red de sensores, recoge información de los cultivos y del propio sistema para gestionarlos desde una aplicación en la nube. La automatización se ha desarrollado utilizando el soporte de Siemens *TIA PORTAL V14* con distintos componentes tales como PLCs y HMIs. Por otro lado, el envío de datos a la nube se ha realizado a través de un autómata, utilizando un protocolo de comunicación TCP y con el soporte Cloud proporcionado por IBM (*IBM-Cloud*).

Palabras clave—Sistema de Riego, Pivotes, Riego de precisión, Automatización, Monitorización, Nube, IBM-Cloud, Agricultura 4.0.

I. INTRODUCCIÓN

Este proyecto de fin de máster nace de la propuesta de una empresa agrícola de aplicar al sector las nuevas tecnologías de comunicación en el ámbito de la *agricultura 4.0*. El sector agrícola ha sido históricamente un pilar fundamental en la actividad económica del país, sin embargo, en las últimas décadas, ha sufrido el estancamiento debido a las reticencias al cambio de parte del gremio y a la pérdida de profesionales causada por el éxodo rural. Aun así, en la actualidad, la agricultura representa alrededor de un 5% del Producto Interior Bruto del país, y son muchas empresas nacionales las que mantienen el sector a la vanguardia europea.

El reto de futuro de la agricultura reside en la necesidad de alimentar a la población del planeta y de cuidar, a su vez, de los recursos que este nos ofrece. Las Naciones Unidas estiman que en 2050 la población mundial superará los 9.000 millones de

personas, por tanto, si en 1960 éramos capaces de alimentar a dos personas con la producción de una hectárea de cultivo, en 2050, con esa misma hectárea, debemos ser capaces de alimentar a más de 6 personas. Además, con este incremento de población, el consumo de los recursos terrestres aumentará proporcionalmente. Por tanto, el reto de la agricultura del futuro es el de aumentar la producción de la tierra de cultivo, pero disminuyendo a su vez los recursos necesarios para ello.

Por todas estas razones, ha surgido un nuevo concepto denominado *agricultura 4.0*, que busca incrementar la productividad de las explotaciones agrícolas, al mismo tiempo que reducir los recursos empleados. Para lograr esta sostenibilidad, la agricultura 4.0, plantea incorporar a la agricultura las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TICs), propias de la revolución digital de la sociedad actual, así como, tecnologías vanguardistas tales como el *BigData*, *Internet of Things* o la inteligencia artificial.

Como parte importante de la producción agrícola, los sistemas de riego también se incorporan a este concepto de la agricultura 4.0 con el denominado *riego de precisión*. El objetivo del riego de precisión es, tanto la optimización energética de los sistemas de riego, como la determinación óptima de las necesidades hídricas de la planta. Para ello se unifican los mecanismos de automatización del sistema de riego, con monitorización a través de sensores de los cultivos con el fin de optimizar y mejorar la eficiencia del riego.

En la actualidad, existen empresas del sector que presentan soluciones, tales como la monitorización de los cultivos, que permiten al agricultor evolucionar hacia un riego de precisión. Sin embargo, ninguna de ellas integra la monitorización del cultivo con el control automático del sistema de riego.

Con esta motivación de dirigirse hacia una agricultura moderna

e integrada en el concepto 4.0, una empresa del sector propuso al alumno de ICAI el reto de desarrollar una solución que permitiera tener una visión más completa de las técnicas y gastos necesarios para automatizar y monitorizar un sistema de riego de grandes extensiones. Por ello, se propuso realizar un estudio para convertir un sistema de riego por pivotes de una finca tradicional, en un sistema moderno que aúne la automatización con la monitorización.

El sistema de riego en cuestión se encuentra en la finca “La Reina”, localizada en la provincia de Córdoba (Carretera A-305, km 7) con una extensión de 700 ha. Esta finca cuenta con un sistema de riego que cubre casi el 100% de la extensión de la misma y que está compuesto por diferentes sistemas: aspersión, goteo, pivotes y cobertura. Para este proyecto nos centraremos en el sistema de riego de tres de sus pivotes circulares que abarca unas 162 has. Este sistema de riego por pivotes cuenta con un centro de bombeo que suministra agua a tres pivotes circulares de la finca.

II. OBJETIVOS

El principal objetivo de este proyecto es estudiar y desarrollar una solución para el sistema de riego de la finca que permita al agricultor avanzar hacia una gestión moderna, sostenible y eficiente. Por tanto, los objetivos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- El primer objetivo es proponer una solución para la automatización del funcionamiento de la red de riego de la finca a través de autómatas programables (PLCs). Se automatizarán los sistemas de bombeo y el control de los elementos de riego tales como pivotes. Se implementará una interfaz que permita al operario gestionar y controlar todo el sistema en tiempo real.
- Diseñar y desarrollar una solución que permita adquirir datos de la plantación y del sistema de riego a través de sensores para después enviarlos a una plataforma Cloud que permita una gestión total de esta información.

III. METODOLOGÍA

La metodología a seguir para desarrollar este proyecto es la siguiente:

1. **Estudio de la red del sistema de riego existente.** En esta fase del trabajo, se estudiará a fondo el funcionamiento del sistema de riego de la finca. Para ello, se buscará documentación sobre las características del sistema de bombeo y de los elementos de riego tales como:
 - Características técnicas de las bombas
 - Tipos de tubería utilizados (material, diámetros...)
 - Planos de distribución del sistema

- Caudales de operación
- Hojas técnicas de los pivotes.
- Características de sistemas de filtrado

El estudio del sistema permitirá analizar cuáles son los puntos que se pueden mejorar y que procesos se pueden automatizar.

2. **Definición precisa de los procesos a automatizar.** En esta fase se definirá el problema de la automatización para poder posteriormente programar la lógica de los PLCs. Para ello es necesario definir todas las variables del sistema, y todos los componentes fijos existentes tales como: relés, actuadores, electroválvulas, caudalímetros... También se hará un estudio de normativa para este tipo de instalaciones con el fin de tenerlo en cuenta en la programación.
3. **Programación del autómatas.** En esta fase se desarrollará todo el código interno de los PLCs que permita controlar todas las variables del sistema de riego.
4. **Test de la automatización.** Esta fase tiene como objetivo verificar el funcionamiento y la robustez del programa. Se implementará el sistema, ya sea través de una simulación física con elementos de laboratorio, o con una simulación virtual. En el caso de la simulación virtual, se programará un sistema que simule el comportamiento de las variables de la red de riego. Por último, se verificará que el diseño cumple con las normativas.
5. **Estudio y definición de los parámetros de campo.** En esta fase se estudiarán los diferentes parámetros que son necesarios a la hora de monitorizar la plantación. Para ello se investigará sobre el tema y se les pedirá consejo a algunos expertos en agronomía.
6. **Estudio y definición del sistema de obtención de datos.** En esta fase del proyecto, se estudiarán las diferentes soluciones para la obtención de datos. Es decir, que vías de comunicación se van a elegir entre los sensores de campo y el PLC, se buscarán las debilidades y las posibles fuentes de problemas. Además, se definirá el método de gestión de estos datos para que sean legibles de cara al usuario.
7. **Diseño y desarrollo del sistema de obtención y gestión de datos.** Se desarrollará el sistema definido en el estudio de la fase 6.
8. **Test del sistema de obtención y gestión de datos.** En esta fase se comprobará que el sistema tenga la funcionalidad y robustez deseados.

9. **Prueba conjunta del sistema de automatización y del sistema de obtención y gestión de datos.** Se probará de forma conjunta el funcionamiento del conjunto del este proyecto.
10. **Elaboración de una memoria y conclusiones.** En esta fase se recopilarán todos los informes escritos hasta este punto y se elaborará una memoria detallada de todo el proceso de estudio, sacando al final unas conclusiones.

IV. RESULTADOS

El resultado final de este proyecto ha sido, por un lado, el desarrollo de una solución de automatización que permitiría al agricultor controlar y supervisar el sistema de riego, y por otro, un prototipo de obtención de datos que permitiría monitorizar los cultivos y el sistema de riego en tiempo real desde una plataforma Cloud.

Para lograr este objetivo, primero se ha definido una arquitectura que divide el sistema en varios niveles:

- **Nivel de Campo:** en este nivel se encuentran todos los actuadores, sensores... que permitirán interactuar con el sistema.
- **Nivel de Control:** en este nivel se encuentran los PLCs y las interfaces que permitirán al operario utilizar los elementos del nivel de campo para controlar el sistema de riego.
- **Nivel de supervisión:** en este nivel se encuentran las interfaces, a través de las cuales, el operario puede supervisar en tiempo real el conjunto del sistema.
- **Nivel de Gestión:** en este nivel encontramos la nube como herramienta de gestión, que recibe en tiempo real datos sobre el estado del sistema. En este caso, la información va solo en una dirección (de abajo a arriba) y es el técnico agrícola el encargado de administrar y utilizar esta información para tomar medidas correctoras en el sistema de riego.

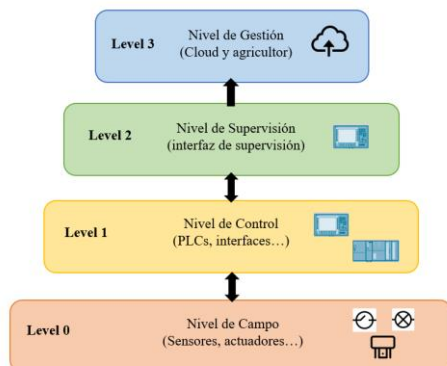


Ilustración 1: Niveles de la arquitectura del sistema

➤ Automatización del sistema de riego

En esta parte se ha dado una solución para los tres primeros niveles de la arquitectura.

En el nivel de campo se han propuesto los componentes necesarios para controlar y supervisar el sistema de bombeo y los pivotes. Para ello, se ha estudiado el funcionamiento completo del sistema y las diferentes variables que se necesitarían controlar. Finalmente, se han propuesto una serie de elementos que interactuarían con el control.

Para el nivel de control, se ha optado por utilizar cuatro autómatas PLCs S7-1500 Siemens interconectados entre sí a través de una conexión PROFINET. Un autómata (PLC Central) estaría situado en el centro de bombeo, controlando el funcionamiento de las bombas que suministran el agua a los pivotes. Los otros tres PLCs (PLC Pivote) se colocarían en cada uno de los pivotes con el objetivo de controlar el funcionamiento de la máquina, y comunicar las ordenes de riego al autómata central.

Para el nivel de supervisión, se ha propuesto utilizar una interfaz táctil SIMATIC HMI de Siemens. Esta interfaz permite al operario controlar y supervisar el funcionamiento de los pivotes de riego, además de supervisar el correspondiente funcionamiento del centro de bombeo.

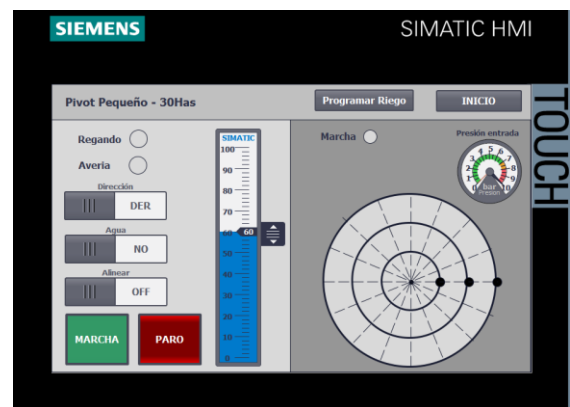


Ilustración 2: Imagen de la interfaz táctil

La programación de los cuatro autómatas y el diseño de la interfaz, se ha llevado a cabo en el laboratorio utilizando los recursos disponibles y el soporte de programación TIA PORTAL V14. Se ha definido una lógica completa del programa utilizando lenguajes KOP, GRAPH y SCL

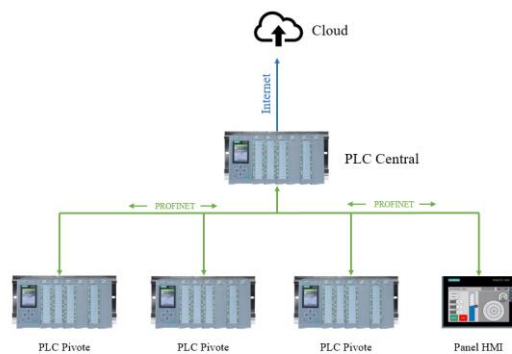


Ilustración 3: Esquema de los elementos del sistema

➤ Comunicación de datos con la nube

Esta parte se centra en el nivel de gestión de la arquitectura. Esta compuesta por el hardware necesario para obtener los datos y el software que permite enviar y visualizar los datos en la plataforma Cloud. El hardware estaría compuesto de un conjunto de sensores que llevarían la información al PLC, después, el propio autómatas sería el encargado de enviar estos datos a la nube. El software cuenta con las conexiones necesarias para enviar los datos a la nube, el tratamiento de estos datos y, finalmente, su supervisión en la plataforma.

Para desarrollar un sistema de obtención de datos útil para el agricultor, se ha realizado primero un estudio para definir los datos relevantes que se deben monitorizar. Se obtendrán, tanto datos propios del sistema (presiones, consumos...) como datos sobre el estado de los cultivos (humedad del suelo, temperatura, evapotranspiración...)

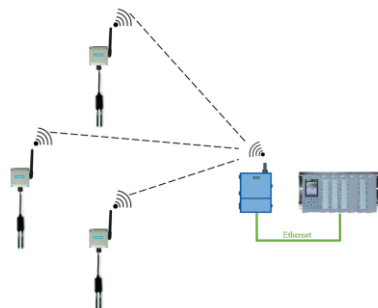


Ilustración 4: Esquema del sistema de obtención de datos de humedad del suelo

Para enviar los datos desde el PLC hasta la nube se ha utilizado el protocolo de comunicación TCP (*Transmission Control Protocol*). Este protocolo cuenta con una librería en TIA PORTAL que permite configurar el autómatas como servidor. Una vez configurado el PLC, se debe lanzar una aplicación que permita acceder a estos datos. Para ello, se ha utilizado *IBM Cloud*.

IBM Cloud permite el despliegue de aplicaciones desarrolladas y programadas por el usuario, sin embargo, en el ámbito de este proyecto, no se ha desarrollado una aplicación completa. Se ha utilizado la plataforma *Watson Internet of Things (WIoT)* como plantilla para visualizar los datos recogidos con los

sensores del sistema y *Cloudant NoSQL DB* como nube de almacenamiento de datos.

Para conectar el PLC, que se ha configurado como servidor, con la plataforma *WIoT* se utilizará el software *Node-RED* recomendado por *IBM*. Este software permite conectarse a servidores, dispositivos o APIs de manera sencilla y utilizando una programación de diagramas de flujo, después, permite enviar esta información a la plataforma *WIoT* en archivos tipo *JSON* (*JavaScript Object Notation*).

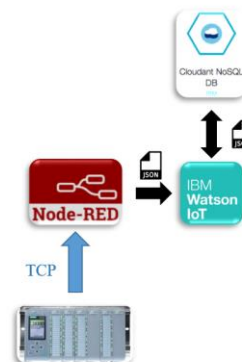


Ilustración 5: Esquema conexión PLC-IBM Cloud

Por tanto, se crea una nueva aplicación con una plantilla de *WIoT* que se llamará *Sistema Riego Pivotes App*. Esta aplicación lleva una *Cloudant NoSQL DB* asociada para almacenar los datos. Con *Node-RED* se desarrolla la programación necesaria para tratar la información y enviarla a la plataforma *WIoT*. Finalmente se configura la plataforma para tener un panel de control que permita ver los diferentes datos que hemos obtenido del sistema.



Ilustración 6: Panel de supervisión del Sistema de Riego por Pivotes

V. CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

Este proyecto me ha permitido comprender con detalle el funcionamiento de un sistema de riego por pivotes para grandes extensiones. Muchas veces, este tipo de sistemas de riego agrícolas se perciben como sistemas sencillos que no precisan de mucha “ciencia” y que no son muy relevantes en el día a día.

Sin embargo, me he dado cuenta, que en este tipo de explotaciones agrícolas extensivas el sistema de riego es una pieza clave para el éxito empresarial. La optimización del funcionamiento de estos sistemas y la capacidad de transformarlos para mejorar el rendimiento puede suponer un gran impacto en los costes de producción de los cultivos.

Además, este proyecto me ha hecho entender que en todos los sectores económicos existe la necesidad de evolucionar hacia un mundo digitalizado. Al igual que en el sector industrial hemos presenciado una nueva revolución industrial denominada industria 4.0, en el sector agrícola se está evolucionando hacia este nuevo concepto denominado agricultura 4.0. Esta nueva tendencia, que incorpora nuevas tecnologías tales como el *BigData* o *Internet of Things*, es fundamental para un desarrollo futuro del sector. Sin embargo, en España el sector agrícola es una actividad comúnmente tradicional y en muchas ocasiones acomodada en las subvenciones europeas. Esto hace que sea difícil introducir estas nuevas tecnologías en el ámbito rural agrícola.

El principal futuro desarrollo que se puede proponer es la implantación real de este proyecto. Para ello, sería necesario un proyecto entero que analizara la instalación necesaria con detalle y precisión, para poder implementar la automatización y el sistema completo de monitorización. Además, también sería necesario un análisis detallado de costes, acompañado de un estudio agronómico que analizara cómo, y en qué medida, se podría incrementar la producción agrícola con las ventajas que nos proporciona esta solución.

Finalmente, para ir más allá con este proyecto, se podría desarrollar más la parte de: “*Comunicación de datos con la nube*”. En este proyecto solo se ha diseñado la conexión del PLC con la nube, y se ha desarrollado un prototipo de plataforma a través de la cual el agricultor podría supervisar en tiempo real el sistema de riego y los cultivos. Sin embargo, podría hacerse un desarrollo completo de una aplicación web pensada, solo y exclusivamente, para la gestión optima de los datos por parte del agricultor. Para ello, sería necesario un gran trabajo de desarrollo web y conocimiento sobre la gestión de bases de datos no relacionales. Además, se podría también cerrar el lazo de control del sistema a través de un intercambio de información con la nube en las dos direcciones. Es decir, que el propio sistema, basándose en los datos recogidos con el sistema de monitorización, sea capaz de tomar acciones correctivas de control que permitan mejorar la eficacia y eficiencia del sistema de riego. Con este posible futuro desarrollo, nos estaríamos dirigiendo hacia una verdadera solución de *Internet of Things* propia del nuevo concepto de agricultura 4.0.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] EuroStats – Statistics Explained. Farm structure statistics.
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Farm_structure_statistics
- [2] Siemens WirelessHART catalogue.
https://www.automation.siemens.com/w1/efiles/instrumentation/catalogs/fi01/fi01_en_extract/FI01_2010_en_kap09_WirelessHART_Auszug.pdf
- [3] Abecera S.L. Documentación técnica Finca La Reina
- [4] Cálculo de la evapotranspiración potencial según la fórmula de Hargreaves. F. Javier Sánchez San Román – Dpto. Geología Univ. Salamanca
http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf
- [5] Evapotranspiración del cultivo – Guía para la determinación de los requerimientos de agua del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma 2006.
<http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/009/x0490s/x0490s02.pdf>
- [6] Siemens SIMATIC Manual Overview.
<https://w3.siemens.com/mcms/industrial-automation-systems-simatic/en/manual-overview/pages/default.aspx>
- [7] Comunicación CPU S7-1200 Vs CPU S7-1200 por TCP. Siemens.
https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/Documents/S7-1200_COM_CPU_CPU.pdf
- [8] IBM Cloud Docs. <https://console.bluemix.net/docs/>
- [9] JavaScript Manuals W3Schools.
https://www.w3schools.com/js/js_versions.asp
- [10] Aportación para la conversión de la minifábrica ICAI en una Smart Factory. Trabajo Fin de Grado. Álvaro González Delgado. Junio 2017.

Advanced automation of a pivot irrigation system

Author: Jose Maria Cabrera Millán
Director: José Antonio Rodríguez Mondéjar

Universidad Pontificia de Comillas - ICAI

Madrid, España

PROJECT ABSTRACT

Abstract— In this project, a solution has been developed to automate a pivot irrigation system within the framework of agriculture 4.0. The irrigation system is in an agricultural production farm located in southern Spain. The solution proposed in the project is a prototype consisting of two parts. The first, is an automation for the control and supervision of the irrigation system, and the second, a data collection system, which, through a network of sensors, collects information on crops and the system itself to manage them from an application in the cloud. The automation has been developed using Siemens TIA PORTAL V14 support with different components such as PLCs and HMIs. On the other hand, the data was sent to the cloud through an automaton, using a TCP communication protocol and with the Cloud support provided by IBM (IBM-Cloud).

Key words— Irrigation system, Pivots, Precision irrigation, Automation, Monitorization, Cloud, IBM-Cloud, Smart Farming.

I. INTRODUCTION

This master thesis has been developed grace to the proposal of an agricultural company for applying to the agricultural sector the new communication technologies in the field of *Smart Farming*. The agricultural sector has historically been a fundamental pillar in the economic activity of the country, however, in recent decades, it has suffered stagnation due to the traditionalism of the union and the loss of professionals caused by the rural exodus. Even so, nowadays, the agricultural sector represents around 5% of the Gross Domestic Product of the country, and many national companies maintain the sector at the forefront of Europe.

The challenge of the future of agriculture lies in the need to feed the population of the planet and to take care, in turn, of the resources it offers us. The United Nations estimates that by 2050 the world population will exceed 9,000 million people, therefore, if in 1960 we were able to feed two people with the

production of one hectare of crop, in 2050, with that same hectare, we should be able to feed more than 6 people. In addition, with this increase in population, the consumption of terrestrial resources will increase proportionally. Therefore, the challenge of the agriculture of the future is to increase the production of farmlands, while decreasing the resources needed to do so.

For all these reasons, a new concept called *Smart Farming* has emerged, which seeks to increase the productivity of agricultural holdings, while reducing the resources used. To achieve this sustainability, Smart Farming proposes incorporating into agriculture the *new Information and Communication Technologies (ICTs)*, typical of the digital revolution of today's society, as well as avant-garde technologies such as *BigData*, *Internet of Things* or artificial intelligence.

As an important part of agricultural production, irrigation systems are also incorporated within this concept of *Smart Farming* with the so-called *precision irrigation*. The objective of *precision irrigation* is, both the energy optimization of the irrigation systems and the optimal determination of the water needs of the plant. To this end, the automation mechanisms of the irrigation system are unified, with monitoring through crop sensors in order to optimize and improve irrigation efficiency.

At present, there are companies in the sector that present solutions, such as crop monitoring, which allow the farmer to evolve towards precision irrigation. However, none of them integrate crop monitoring with automatic control of the irrigation system.

With this motivation to move towards a modern agriculture and integrated into the concept *Smart Farming*, a company in the sector proposed to the student of ICAI the challenge of

developing a solution that would allow to have a more complete vision of the techniques and expenses necessary to automate and monitor a system of irrigation of large extensions. Therefore, it was proposed to carry out a study to convert an irrigation system by pivots of a traditional farm, into a modern system that combines automation with monitoring.

The irrigation system in question is in the "La Reina" farm, located in the province of Córdoba (Carretera A-305, km 7) with an extension of 700 ha. This farm has an irrigation system that covers almost 100% of the extension of the same and is composed of different systems: sprinkler, drip, pivots and coverage. For this project we will focus on the irrigation system of three of its circular pivots that covers about 162 hectares. This system of pivot irrigation has a pumping centre that supplies water to three circular pivots of the farm.

II. OBJECTIVES

The main objective of this project is to study and develop a solution for the irrigation system of the farm that allows the farmer to move towards modern, sustainable and efficient management. Therefore, the objectives can be summarized in the following points:

- The first objective is to propose a solution for the automation of the operation of the irrigation network of the farm through programmable automata (PLCs). Pumping systems and control of irrigation elements such as pivots will be automated. An interface will be implemented that allows the operator to manage and control the entire system in real time.
- Design and develop a solution that allows to acquire data from the plantation and the irrigation system through sensors and then send them to a Cloud platform that allows a total management of this information.

III. METHODOLOGY

The methodology to follow to develop this project is the following:

1. **Study of the existing irrigation system network.** In this phase of the work, the operation of the irrigation system of the farm will be thoroughly studied. To do this, documentation will be sought on the characteristics of the pumping system and irrigation elements such as:
 - Technical characteristics of the pumps
 - Types of pipes used (material, diameters ...)
 - System distribution plans
 - Flows of operation
 - Technical sheets of the pivots.
 - Characteristics of filtering systems

The study of the system will allow to analyse which are the points that can be improved, and which processes can be automated.

2. **Precise definition of the processes to be automated.** In this phase, the automation problem will be defined in order to later program the logic of the PLCs. For this it is necessary to define all the variables of the system, and all the existing fixed components such as: relays, actuators, solenoid valves, flowmeters... There will also be a study of regulations for this type of facilities in order to take it into account in the programming.
3. **PLC programming.** In this phase all the internal code of the PLCs will be developed that allows controlling all the variables of the irrigation system.
4. **Automation test.** This phase aims to verify the operation and robustness of the program. The system will be implemented, either through a physical simulation with laboratory elements, or with a virtual simulation. In the case of virtual simulation, a system that simulates the behaviour of the variables of the irrigation network will be programmed. Finally, it will be verified that the design complies with the regulations.
5. **Study and definition of field parameters.** In this phase we will study the different parameters that are necessary when monitoring the plantation. For this, the subject will be investigated and some experts in agronomy will be asked for advice.
6. **Study and definition of the data collection system.** In this phase of the project, the different solutions for obtaining data will be studied. That is, which communication channels are to be chosen between the field sensors and the PLC, weaknesses and possible sources of problems will be sought. In addition, the method of managing these data will be defined so that they are legible for the user.
7. **Design and development of the data collection and management system.** The system defined in the study of phase 6 will be developed.
8. **Test of the data collection and management system.** In this phase it will be verified that the system has the desired functionality and robustness.
9. **Joint test of the automation system and the data collection and management system.** The operation of the whole of this project will be tested jointly.
10. **Preparation of a report and conclusions.** In this phase, all written reports will be compiled up to this point and a detailed report of the entire study process will be drawn up, drawing conclusions in the end.

IV. RESULTS

The final result of this project has been, on the one hand, the development of an automation solution that would allow the farmer to control and supervise the irrigation system, and on the other, a prototype of obtaining data that would allow to monitor the crops and the system of irrigation in real time from a Cloud platform.

To achieve this goal, an architecture has been defined that divides the system into several levels:

- **Field level:** this level includes all the actuators, sensors ... that will allow interacting with the system.
- **Control level:** in this level there are the PLCs and the interfaces that will allow the operator to use the elements of the field level to control the irrigation system.
- **Level of supervision:** at this level are the interfaces, through which the operator can monitor the whole system in real time.
- **Level of Management:** at this level we find the cloud as a management tool, which receives in real time data on the state of the system. In this case, the information goes only in one direction (from bottom to top) and it is the agricultural technician who is in charge of managing and using this information to take corrective measures in the irrigation system.

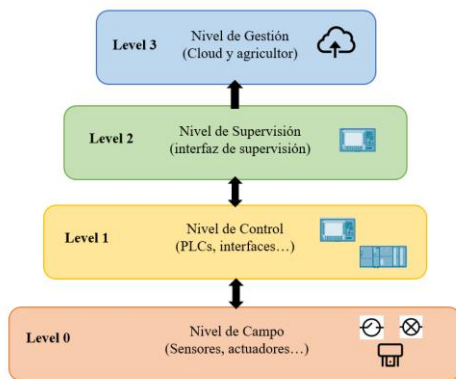


Figure 1: Levels of the system architecture

➤ Automation of the irrigation system

In this part, we can find the solution for the first three levels of the system architecture.

At the field level (level 0), the components necessary to control and supervise the pumping system and the pivots have been proposed. For this, the complete functioning of the system and the different variables that would need to be controlled have been studied. Finally, a series of elements that would interact with the control have been proposed.

For the control level, it was decided to use four PLCs S7-1500 Siemens interconnected through a PROFINET connection. An automaton (*Central PLC*) would be located in the pumping center, controlling the operation of the pumps that supply the water to the pivots. The other three PLCs (*PLC Pivote*) would be placed in each of the pivots in order to control the operation of the machine and to communicate the different orders of irrigation with the central automaton.

For the supervision level, it has been proposed to use a *SIMATIC HMI* touch interface from Siemens. This interface allows the operator to control and supervise the operation of the irrigation pivots, in addition to supervising the corresponding operation of the pumping center.

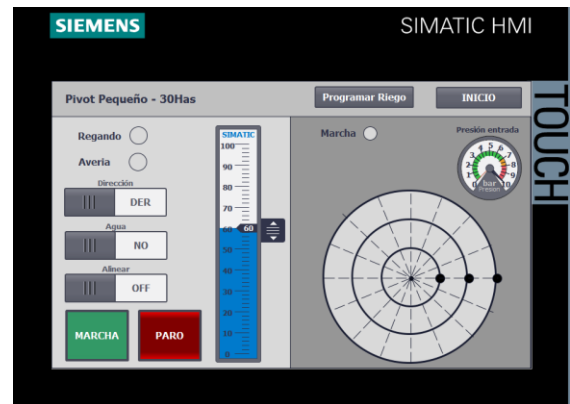


Figure 2: Touch interface

The programming of the four automata and the design of the interface has been carried out in the laboratory using the available resources and the *TIA PORTAL V14* programming support. A complete program logic has been defined using KOP, GRAPH and SCL languages.

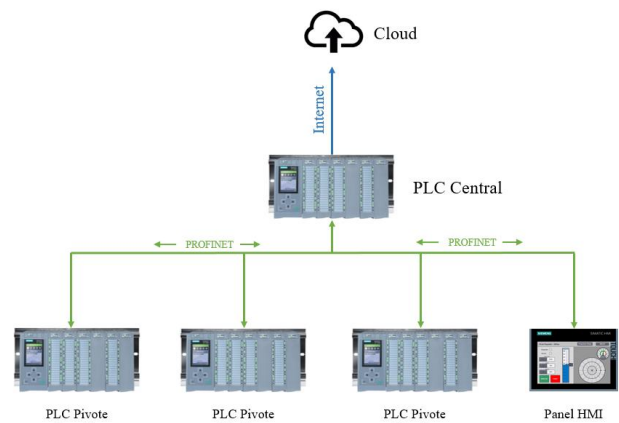


Figure 3: Structure of the different elements

➤ Data communication with the cloud

This part focuses on the management level of the architecture. It is composed of the necessary hardware to obtain the data and the software that allows sending and viewing the data on the Cloud platform. The hardware would be composed of a set of

sensors that would take the information to the PLC, then the PLC itself would be responsible for sending this data to the cloud. The software has the necessary connections to send the data to the cloud, the processing of this data and, finally, its supervision on the platform.

In order to develop a data collection system useful for the farmer, a study was first carried out to define the relevant data that should be monitored. We will obtain both the system's own data (pressures, consumption ...) and data on the state of crops (soil moisture, temperature, evapotranspiration ...)

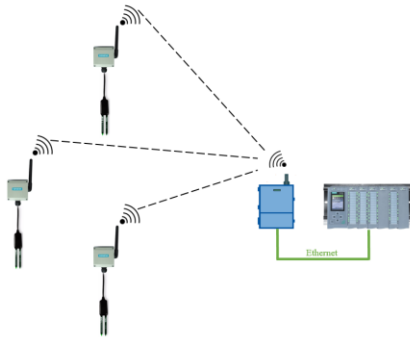


Figure 4: installation schema of soil humidity sensors

The TCP (*Transmission Control Protocol*) communication protocol has been used to send the data from the PLC to the cloud. This protocol has a library in *TIA PORTAL* that allows configuring the PLC as a server. Once the PLC is configured, an application must be launched to access this data. For this, *IBM Cloud* has been used.

IBM Cloud allows the deployment of applications developed and programmed by the user, however, within the scope of this project, a complete application has not been developed. *The Watson Internet of Things (WIoT)* platform has been used as a template to visualize the data collected with the system sensors and *Cloudant NoSQL DB* as a data storage cloud.

To connect the PLC, which has been configured as a server, the *Node-RED* software recommended by IBM will be used with the *WIoT* platform. This software allows to connect to servers, devices or APIs in a simple way and using a programming of flow diagrams, then, it allows to send this information to the *WIoT* platform in *JSON* type files (*JavaScript Object Notation*).

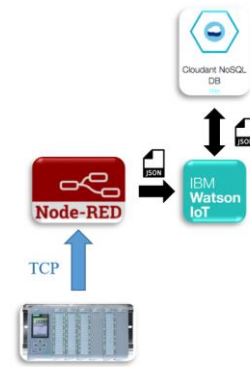


Figure 5: PLC-IBM Cloud connexion

Therefore, a new application is created with a *WIoT* template that will be called *Pivot Irrigation System App*. This application has a *Cloudant NoSQL DB* associated to store the data. With *Node-RED*, the necessary programming is developed to process the information and send it to the *WIoT* platform. Finally, the platform is configured to have a control panel that allows to see the different data that we have obtained from the system.

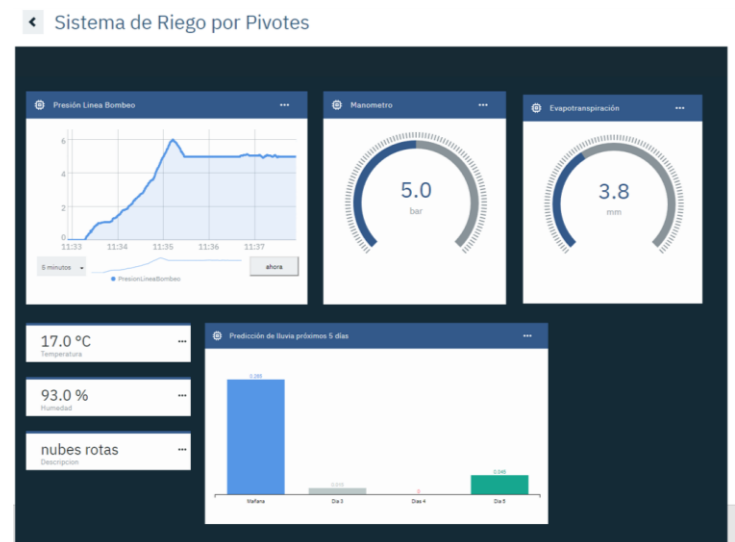


Figure 6: Control panel in WIoTP

V. CONCLUSIONS AND FUTURE DEVELOPMENTS

This project has allowed me to understand in detail the operation of a pivot irrigation system for large areas. Many times, this type of agricultural irrigation systems are perceived as simple systems that do not require much "science" and are not very relevant in day to day. However, I have noticed that in this type of extensive agricultural operations the irrigation system is a key element for business success. The optimization of the functioning of these systems and the ability to transform them to improve the yield can have a great impact on the production costs of the crops.

In addition, this project has made me understand that in all economic sectors there is a need to evolve towards a digitalized world. As in the industrial sector we have witnessed a new

industrial revolution called *industry 4.0*, in the agricultural sector is evolving towards this new concept called *Smart Farming*. This new trend, which incorporates new technologies such as the *BigData* or *Internet of Things*, is fundamental for a future development of the sector. However, in Spain the agricultural sector is a commonly traditional activity and, in many cases, accommodated in European subsidies. This makes it difficult to introduce these new technologies in rural agricultural areas.

The main future development that can be proposed is the real implementation of this project. For this, it would be necessary an entire project that analysed the necessary installation with detail and precision, to be able to implement the automation and the complete monitoring system. In addition, a detailed cost analysis would also be necessary, accompanied by an agronomic study that analysed how, and to what extent, agricultural production could be increased with the advantages provided by this solution.

Finally, to go further with this project, the part of: "*Data communication with the cloud*" could be further developed. In this project, only the connection of the PLC with the cloud has been designed, and a platform prototype has been developed through which the farmer could supervise in real time the irrigation system and the crops. However, a complete development of a web application could be done, only and exclusively for the optimal management of the data by the farmer. For this, it would be necessary a great work of web development and knowledge about the management of non-relational databases. In addition, the control loop of the system could also be closed through an exchange of information with the cloud in both directions. That is to say, that the system itself, based on the data collected with the monitoring system, is capable of taking corrective control actions that allow improving the efficiency of the irrigation system. With this possible future development, we would be heading towards a true Internet of Things solution of the new concept of Smart Farming.

REFERENCES

- [1] EuroStats – Statistics Explained. Farm structure statistics.
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Farm_structure_statistics
- [2] Siemens WirelessHART catalogue.
https://www.automation.siemens.com/w1/efiles/instrumentation/catalogs/fi01/fi01_en_extract/FI01_2010_en_kap09_WirelessHART_Auszug.pdf
- [3] Abecera S.L. Documentación técnica Finca La Reina
- [4] Cálculo de la evapotranspiración potencial según la fórmula de Hargreaves. F. Javier Sánchez San Román – Dpto. Geología Univ. Salamanca
http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf
- [5] Evapotranspiración del cultivo – Guía para la determinación de los requerimientos de agua del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma 2006.
<http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/009/x0490s/x0490s02.pdf>
- [6] Siemens SIMATIC Manual Overview.
<https://w3.siemens.com/mcms/industrial-automation-systems-simatic/en/manual-overview/pages/default.aspx>
- [7] Comunicación CPU S7-1200 Vs CPU S7-1200 por TCP. Siemens.
https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/Documents/S7-1200_COM_CPU_CPU.pdf
- [8] IBM Cloud Docs. <https://console.bluemix.net/docs/>
- [9] JavaScript Manuals W3Schools.
https://www.w3schools.com/js/js_versions.asp
- [10] Aportación para la conversión de la minifábrica ICAI en una Smart Factory. Trabajo Fin de Grado. Álvaro González Delgado. Junio 2017.



Agradecimientos:

A Jose Antonio por el esfuerzo y la dedicación empleados en dirigir este proyecto.

A ABECERA S.L por proponerme este proyecto y por su apoyo recibido.

A mi familia por hacerme más fácil y llevadero el trabajo de estos últimos meses.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

AGRADECIMIENTOS



Índice de la memoria

Parte I	Memoria.....	1
Capítulo 1	Introducción	3
1.1	Estudio de los trabajos existentes / tecnologías existentes	4
1.2	Motivación del proyecto.....	7
1.3	Objetivos.....	8
1.4	Metodología / Solución desarrollada	8
1.5	Recursos / herramientas empleadas.....	10
Capítulo 2	Descripción del sistema	13
2.1	Movimiento del agua	14
2.2	Bombeo de llenado.....	15
2.3	Bombeo de pivotes	16
2.4	Pivotes de riego	17
2.5	Método actual para operar el sistema	18
2.6	Conclusiones.....	19
Capítulo 3	Arquitectura de la solución	21
3.1	Arquitectura global del sistema	21
3.2	Arquitectura sistema de bombeo	24
3.2.1	Componentes.....	25
3.2.2	Esquema de la instalación	27
3.2.3	Nuevo sistema de fertirrigación	29
3.3	Arquitectura sistema de pivotes	32
3.3.1	Componentes.....	32



3.3.2 Esquema de la instalación	33
3.4 Arquitectura sistema de obtención de datos	33
3.4.1 Datos de campo	34
3.4.2 Datos del sistema	38
Capítulo 4 Automatización de pivotes.....	41
4.1 Funcionamiento del pivote.....	41
4.2 Control del pivote	45
4.2.1 Descripción top-down del problema	45
4.2.2 Variables	47
4.2.3 Estructura descriptiva del programa.....	48
4.2.4 Interfaz hombre máquina	61
4.3 Simulación de la máquina.....	68
4.3.1 Bloque de simulación.....	69
4.3.2 Bloques de calculo	71
Capítulo 5 Automatización del sistema de bombeo	77
5.1 Descripción top-down del problema	77
5.2 Variables.....	79
5.3 Estructura descriptiva del programa	80
5.4 Interfaz hombre máquina.....	87
5.5 Funcionamiento conjunto del sistema	91
Capítulo 6 Comunicación de datos con la nube	95
6.1 Estudio de datos relevantes.....	95
6.2 Envío de datos a la nube	98
6.2.1 Configurar PLC como servidor	98
6.2.2 Comunicación PLC – IBM Cloud.....	100
6.2.3 Plataforma Watson Internet of Things (IBM Cloud)	108
Capítulo 7 Conclusiones.....	111
Capítulo 8 Futuros desarrollos	113
Bibliografía	115



Parte II	Estudio de costes y beneficios	117
Capítulo 1	Introducción	119
Capítulo 2	Estimación del coste de los componentes	121
Capítulo 3	Análisis cualitativo del beneficio del sistema	123
Capítulo 4	Conclusiones.....	127
Parte III	Esquemas	¡Error! Marcador no definido.
Parte IV	Tia Portal V14.....	¡Error! Marcador no definido.



Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Uno de los pivotes de la finca en cuestión	4
Ilustración 2: Esquema de un sistema de monitorización de campo (Fuente: Netafim).....	6
Ilustración 3: Esquema de un sistema de riego conectado a la nube.....	7
Ilustración 4: PLC Siemens S7-1500	11
Ilustración 5: Vista aérea de parte de la finca	13
Ilustración 6: Esquema bombeo pivotes.....	16
Ilustración 7: Localización de las operaciones de puesta en marcha para uno de los pivotes	19
Ilustración 8: Niveles de la arquitectura global del sistema.....	22
Ilustración 9: Esquema de conexión de los elementos del sistema	23
Ilustración 10: Distribución física de los elementos sobre el mapa	24
Ilustración 11: Distribución física de componentes en las líneas de bombeo	28
Ilustración 12: Esquema funcionamiento inyector Venturi (Fuente:Irritec)	29
Ilustración 13: Inyector de abono venturi (Fuente:Irritec)	30
Ilustración 14: Esquema del sistema e fertirrigación	31
Ilustración 15: Sensor de humedad del suelo MAS-1	35
Ilustración 16: Adaptador WirelessHART Siemens SITRANS AW200	36
Ilustración 17: Conexión sensor-adaptador (Fuente: Manual Siemens)	37
Ilustración 18: Receptor WirelessHART Siemens IE/WSN-PA LINK	37
Ilustración 19: Arquitectura general del sistema de obtención de datos de humedad	38
Ilustración 20: Multimedidor Siemens Sentron PAC4200.....	39
Ilustración 21: Imagen aérea de pivotes de riego	42



Ilustración 22: MicroSwitch utilizado en los pivotes	43
Ilustración 23: Boceto dimensiones del pivote.....	43
Ilustración 24: Esquema de movimiento del pivote	44
Ilustración 25: Esquema desalineación Torre 3	46
Ilustración 26: Imagen Principal control pivote SIMATIC HMI Siemens	63
Ilustración 27: Imagen Control Manual SIMATIC HMI Siemens.....	64
Ilustración 28: Imagen Control Automático SIMATIC HMI Siemens	65
Ilustración 29: Imagen Programación de Riego SIMATIC HMI Siemens	66
Ilustración 30: Aviso riegos programados Imagen Principal SIMATIC HMI Siemens	67
Ilustración 31: Imagen Gestión de Riegos SIMATIC HMI Siemens.....	68
Ilustración 32: Variables de intercambio entre programa de control y el programa de simulación.....	69
Ilustración 33: Imagen Principal control bombeo SIMATIC HMI Siemens	88
Ilustración 34: Imagen Supervisión Bombeo SIMATIC HMI Siemens	89
Ilustración 35: Imagen Fertirrigación SIMATIC HMI Siemens	90
Ilustración 36: Imagen Mantenimiento SIMATIC HMI Siemens.....	91
Ilustración 37: Esquema de conexión entre PLCs.....	92
Ilustración 38: Bloque TSEND_C en el main del PLC Pivote.....	92
Ilustración 39: Configuración del bloque TSEND_C	93
Ilustración 40: Bloque TRCV_C en el main del PLC Central	93
Ilustración 41 :Configuración del bloque TRCV_C.....	94
Ilustración 42: Bloque de conexión TCON.....	99
Ilustración 43: Configuración bloque TCON	100
Ilustración 44: Bloque de envío de datos TSEND	100
Ilustración 45: Esquema conexión PLC-IBM Cloud	101
Ilustración 46: Configuración del bloque de entrada TCP	102



Ilustración 47: Diagrama de flujo Node-RED para Presión Línea Bombeo	104
Ilustración 48: Diagrama de flujo Node-RED para información meteorológica	105
Ilustración 49: Diagrama de flujo Node-RED para evapotranspiración	107
Ilustración 50: Lista de dispositivos creados WIoTTP	109
Ilustración 51: Panel de supervisión del Sistema de Riego en WIoTTP	109



Índice de tablas

Tabla 1: Características de las tuberías del sistema	14
Tabla 2: Características de las bombas del sistema.....	15
Tabla 3: Características pivotes.....	18
Tabla 4: Componentes de entrada sistema de bombeo.....	25
Tabla 5: Componentes de salida sistema de bombeo	26
Tabla 6: Componentes de entrada pivote	32
Tabla 7: Componentes de salida pivote.....	33
Tabla 8: Características del pivote a automatizar.....	41
Tabla 9: Entradas y salidas físicas del control del pivote.....	47
Tabla 10: Variables interfaz hombre máquina	48
Tabla 11: Entradas y salidas físicas del control del sistema de bombeo	79
Tabla 12: Estimación del coste de los componentes	122
Tabla 13: Estimación costes del software	122
Tabla 14: Periodos tarifarios para un acceso 6.1 (Fuente: Selectra)	123



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

Memoria



Parte I MEMORIA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL



Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

Este proyecto se sitúa en uno de los sectores históricamente más importantes en España, el sector Agrario. Desde la antigua Mesopotamia, el hombre ha desarrollado sistema de riego para hacer llegar el agua a los cultivos. En las últimas décadas, estos sistemas de riego se han desarrollado enormemente y se han convertido en un factor clave para la viabilidad económica de muchas explotaciones agrícolas.

En este caso, el proyecto va dirigido a una de las explotaciones agrícolas más importantes de la provincia de Córdoba. Con una extensión de 700 hectáreas, cuenta con un sistema de riego que abastece de agua el 90% de la superficie. Sus tierras producen cada año miles de toneladas de productos agrícolas de todo tipo: trigo, maíz, colza, cebollas, algodón, espinacas, almendras, aceitunas, espárragos... Hasta ahora, la gestión de esta explotación se ha centrado en la mejora y optimización de las técnicas agrícolas. Sin embargo, en los últimos años, la empresa encargada de su gestión ha visto la necesidad de optimizar y modernizar sus sistemas de riego para así poder mejorar sus márgenes de beneficio teniendo en cuenta siempre los objetivos de una agricultura sostenible.



Ilustración 1: Uno de los pivotes de la finca en cuestión

Concretamente, la finca agrícola cuenta con un sistema de riego por pivotes que cubre aproximadamente 150 hectáreas de cultivos. El objeto de estudio de este trabajo de fin de máster será proponer una solución que permita la automatización y la mejora de este sistema de riego por pivotes.

1.1 ESTUDIO DE LOS TRABAJOS EXISTENTES / TECNOLOGÍAS EXISTENTES

La agricultura ha ido perdiendo importancia en el marco económico de España. Hasta los años 60, este sector era el motor económico del país, sin embargo, en las últimas décadas del siglo XX fue perdiendo peso con respecto al sector industrial y al sector servicios. Actualmente representa en torno al 5% del Producto Interior Bruto de España.



Sin embargo, el reto de la agricultura aparece con el crecimiento de la población. Se estima que en 2025 la población mundial alcance los 9.000 millones de personas. En 1950 era posible alimentar a dos personas al año con una hectárea agrícola en producción, actualmente una hectárea puede alimentar a unas 4 personas y en 2025 debe ser posible alimentar a 6 personas con una sola hectárea. Por otro lado, los recursos terrestres serán cada vez más limitados debido al incremento de la población. Es decir, el reto final de la agricultura es aumentar la producción de la tierra sin aumentar el consumo de recursos tales como el agua.

El agua representa un 70% de la superficie de la Tierra, pero solo un 3% es agua dulce. El 70% del agua dulce se encuentra congelada en los polos, el 30% en pozos subterráneos, ríos, lagos... Hoy en día el agua es un recurso muy preciado y en algunos momentos escaso. Además, las regulaciones sobre su consumo están creciendo en todos los países desarrollados.

Por tanto, para conseguir una producción eficiente optimizando recursos, se está incorporando en la agricultura la Tecnología de la Información y Comunicación (TICs) propias de la revolución digital en la que se encuentra la sociedad en este momento. Así junto con estas tecnologías, el *BigData*, *Internet of Things* y las técnicas de inteligencia artificial han promovido la agricultura 4.0 lo cual supone una nueva era en la agricultura. Estas nuevas tecnologías incorporadas a la agricultura definen lo que se conoce como agricultura de precisión y en el caso del riego como riego de precisión.

El objetivo del riego de precisión es tanto la optimización energética de los sistemas de riego, como la determinación óptima de las necesidades hídricas de la planta. Para ello unifican los mecanismos de automatización del sistema de riego, con monitorización a través de sensores de los cultivos con el fin de optimizar y mejorar la eficiencia del riego.

Grandes empresas del sector, como *Netafim*, han desarrollado sistemas de monitorización para los cultivos. Estos cuentan con una serie de sensores distribuidos por toda el área de cultivo que permiten determinar parámetros como la humedad, capacidad de campo, precipitación... Estos sensores envían la

información a una centralita encargada de gestionar estos datos. Desde allí, el agricultor tiene acceso a información en tiempo real del estado de la planta y puede tomar decisiones de gestión en base a esta. En muchas ocasiones, estos sistemas cuentan con algoritmos muy complejos que avisan al agricultor cuando hay riesgo de que se produzca una enfermedad en el cultivo.

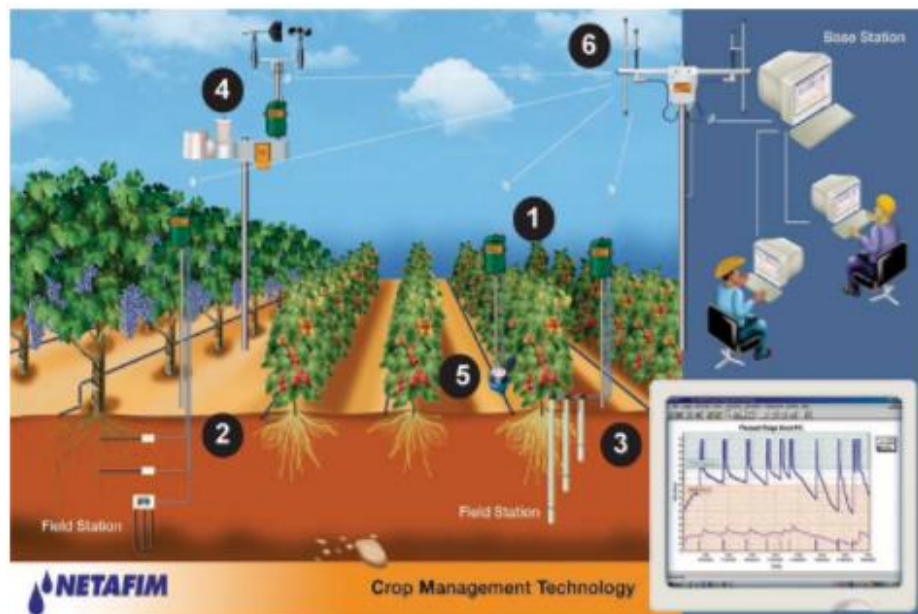


Ilustración 2: Esquema de un sistema de monitorización de campo (Fuente: Netafim)

Por otro lado, empresas encargadas del diseño de sistemas de riego, han desarrollado soluciones que permiten una gestión automática o semi-automática del sistema. Estas soluciones ofrecen al agricultor la posibilidad de controlar su sistema de riego de manera remota y programar sus acciones a través de una interfaz. Actualmente se presentan soluciones que permiten conectar programadores de riego con la nube y gestionarlos a través de una plataforma web.

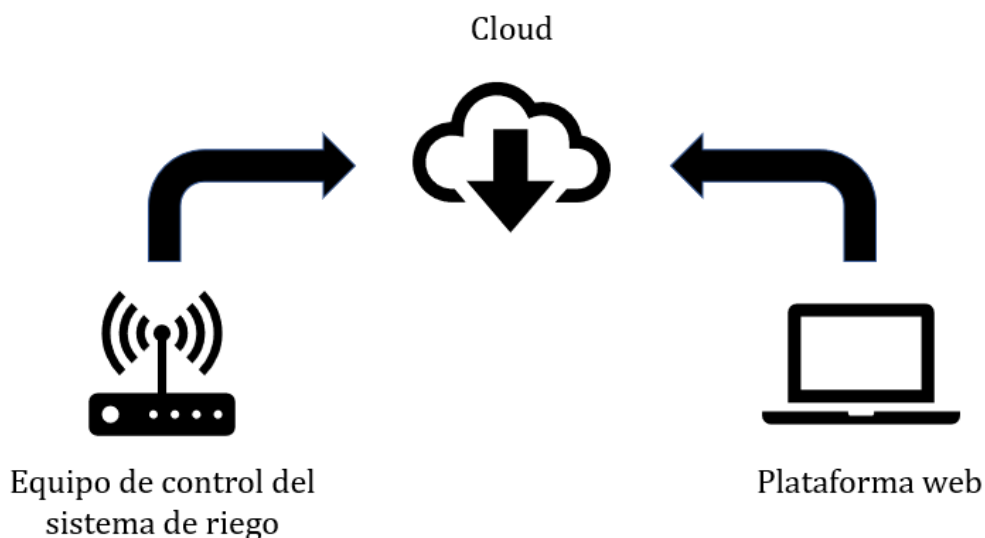


Ilustración 3: Esquema de un sistema de riego conectado a la nube

Sin embargo, el desarrollo de sistemas que integren la monitorización del campo con el control del sistema de riego no está muy extendido. Es decir, un sistema capaz de gestionar tanto el control de la red de riego como la monitorización del estado del cultivo y de la propia red, para así tener una visión más precisa a la hora de dotar de agua a la planta. Con este tipo de sistemas se conseguiría un riego más personalizado (según las necesidades del cultivo) y optimizado, que permitiría obtener mejores rendimientos tanto en los cultivos como en el gasto energético de la red de riego.

1.2 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Después de exponer el estado de la cuestión, las motivaciones del proyecto llegan por su propio peso. Como se ha explicado anteriormente, existe una necesidad en la agricultura moderna de optimizar los sistemas de riego con el fin de mejorar el rendimiento del cultivo y reducir el gasto energético. Además, la importancia de no malgastar el agua hace también necesario replantearse las técnicas tradicionales de riego.



Por ello, se quiere realizar un estudio para convertir una red de riego real de una finca tradicional en un sistema moderno que aúne la automatización con la monitorización, y conseguir así mejorar los márgenes de producción.

En este caso, el lazo de control entre la automatización y la monitorización del sistema se cerrará con el agricultor, que, a través de la información obtenida, toma decisiones sobre la manera de gestionar el sistema de riego.

1.3 OBJETIVOS

Los objetivos de este proyecto se pueden resumir en los siguientes puntos:

- El primer objetivo es proponer una solución para la automatización del funcionamiento de la red de riego de la finca a través de autómatas programables (PLCs). Se automatizarán los sistemas de bombeo y el control de los elementos de riego tales como pivotes. Se implementará una interfaz que permita al operario gestionar y controlar todo el sistema en tiempo real.
- Diseñar y desarrollar una solución que permita adquirir datos de la plantación y del sistema de riego a través de sensores para después enviarlos a una plataforma *Cloud* que permita una gestión total de esta información.

1.4 METODOLOGÍA / SOLUCIÓN DESARROLLADA

En este apartado se explicará cómo se va a abordar el problema, que técnicas y que procedimientos se utilizarán. Para ello se elaborará un cronograma general con el plan de trabajo a seguir para cumplir con los objetivos de trabajo deseados.

El cronograma es el siguiente:

1. **Estudio de la red del sistema de riego existente.** En esta fase del trabajo, se estudiará a fondo el funcionamiento del sistema de riego de la finca. Para ello, se buscará documentación sobre las características del sistema de bombeo y de los elementos de riego tales como:



- Características técnicas de las bombas
- Tipos de tubería utilizados (material, diámetros...)
- Planos de distribución del sistema
- Caudales de operación
- Hojas técnicas de los pivotes.
- Características de sistemas de filtrado

El estudio del sistema permitirá analizar cuáles son los puntos que se pueden mejorar y que procesos se pueden automatizar.

2. **Definición precisa de los procesos a automatizar.** En esta fase se definirá el problema de la automatización para poder posteriormente programar la lógica de los PLCs. Para ello es necesario definir todas las variables del sistema, y todos los componentes fijos existentes tales como: relés, actuadores, electroválvulas, caudalímetros... También se hará un estudio de normativa para este tipo de instalaciones con el fin de tenerlo en cuenta en la programación.
3. **Programación del autómatas.** En esta fase se desarrollará todo el código interno de los PLCs que permita controlar todas las variables del sistema de riego.
4. **Test de la automatización.** Esta fase tiene como objetivo verificar el funcionamiento y la robustez del programa. Se implementará el sistema, ya sea través de una simulación física con elementos de laboratorio, o con una simulación virtual. En el caso de la simulación virtual, se programará un sistema que simule el comportamiento de las variables de la red de riego. Por último, se verificará que el diseño cumple con las normativas.
5. **Estudio y definición de los parámetros de campo.** En esta fase se estudiarán los diferentes parámetros que son necesarios a la hora de monitorizar la plantación. Para ello se investigará sobre el tema y se les pedirá consejo a algunos expertos en agronomía.
6. **Estudio y definición del sistema de obtención de datos.** En esta fase del proyecto, se estudiarán las diferentes soluciones para la obtención de datos. Es decir, que vías de comunicación se van a elegir entre los sensores de campo y el PLC, se buscarán las debilidades y las posibles fuentes de problemas. Además, se definirá el método de gestión de estos datos para que sean legibles de cara al usuario.



7. **Diseño y desarrollo del sistema de obtención y gestión de datos.** Se desarrollará el sistema definido en el estudio de la fase 6.
8. **Test del sistema de obtención y gestión de datos.** En esta fase se comprobará que el sistema tenga la funcionalidad y robustez deseados.
9. **Prueba conjunta del sistema de automatización y del sistema de obtención y gestión de datos.** Se probará de forma conjunta el funcionamiento del conjunto del este proyecto.
10. **Elaboración de una memoria y conclusiones.** En esta fase se recopilarán todos los informes escritos hasta este punto y se elaborará una memoria detallada de todo el proceso de estudio, sacando al final unas conclusiones.

1.5 RECURSOS / HERRAMIENTAS EMPLEADAS

En este apartado se expondrán los recursos y herramientas necesarios para realizar este proyecto. Para ello, vamos a diferenciar entre herramientas de software y herramientas de hardware.

De la parte de software se utilizarán herramientas para la programación de autómatas programables. Utilizando lenguajes de programación de gráfico funcional secuencial (Grafcet), de Diagrama de bloques funcionales (FBD), Diagrama de contactos (LD) y SCL. Estos, son lenguajes normalizados por la IEC que tienen diferencias según cada uno de los fabricantes. En este caso la interfaz disponible para programar PLCs es el TIA Portal V14, un programa desarrollado por Siemens para comunicarse con sus autómatas programables.



Ilustración 4: PLC Siemens S7-1500

De la parte de hardware, se utilizarán autómatas programables físicos (PLC) marca Siemens disponible en el laboratorio de automatización de la universidad. Además, se utilizarán diferentes elementos físicos tales como relés, contactores, pulsadores o motores que ayuden a simular los accionamientos.

También se utilizarán programas informáticos de apoyo tales como *AutoCad* para la gestión de los planos de la red de riego, *Microsoft Excel* para realizar los cálculos pertinentes y *Visio* para los esquemas gráficos.

Para el desarrollo de la plataforma en la nube, se utilizará *IBM Cloud* que permite la implementación de prototipos en la nube de manera intuitiva y gratuita.

Las pruebas de los sistemas diseñados se llevarán a cabo en el laboratorio, utilizando toda la paramenta citada anteriormente.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL



Capítulo 2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El objetivo de este capítulo es la descripción completa y detallada del sistema sobre el cual se realizará el estudio. Además, se definirá el alcance del proyecto en los diferentes aspectos de estudio.

Este proyecto se sitúa en la finca “La Reina”, localizada en la provincia de Córdoba (Carretera A-305, km 7) con una extensión de 700 ha. Esta finca cuenta con un sistema de riego que cubre casi el 100% de la extensión de la misma y que está compuesto por diferentes sistemas: aspersión, goteo, pivotes y cobertura. Para este proyecto nos centraremos en el sistema de riego de tres de sus pivotes circulares que abarca unas 162 has.



Ilustración 5: Vista aérea de parte de la finca



2.1 MOVIMIENTO DEL AGUA

Los pivotes se abastecen de agua a través de un sistema de tuberías compuesto por varias **bombas**, una **piscina** y un **decantador**.

El **decantador** cuenta con una capacidad de 10000 m³ y se abastece directamente desde el Río Guadalquivir a través de un sistema de aspiración que no es de interés en este estudio.

La **piscina**, con una capacidad de 1200 m³ se abastece desde el decantador con la ayuda de una bomba a la que denominaremos bomba de llenado. Esta bomba impulsa el agua a través de una tubería a la que denominaremos tubería de impulsión.

Cada uno de los tres pivotes circulares se abastece directamente de la piscina utilizando una bomba y una tubería individual. A estas bombas y tuberías las denominaremos de la siguiente manera:

- **Bomba grande y tubería grande** (pivote grande)
- **Bomba mediana y tubería mediana** (pivote mediano)
- **Bomba pequeña y tubería pequeña** (pivote pequeño)

En las siguientes tablas se recogen las características de las tuberías y las bombas citadas anteriormente:

	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Material
Tubería de llenado	278	400	PVC
Tubería grande	110+801	400/300	Fibrocemento
Tubería mediana	470	200	Fibrocemento
Tubería pequeña	301	150	Fibrocemento

Tabla 1: Características de las tuberías del sistema

	Marca	RPM	Caudal (m ³ /h)	Presión salida (bar)
Bomba llenado	Emica	1000	-	-
Bomba grande	Worthington	2900	300	3,8
Bomba mediana	Worthington	2900	178	4,5



Bomba pequeña	Saer	2900	97,3	3,2
---------------	------	------	------	-----

Tabla 2: Características de las bombas del sistema

2.2 BOMBEO DE LLENADO

En este apartado se explicará de forma más detallada el sistema de bombeo para el transporte de agua desde el decantador hasta la piscina. El sistema cuenta con una tubería de llenado que une la piscina con el decantador, y una bomba de impulsión para hacer fluir el agua.

La bomba se encuentra situada en las inmediaciones del decantador y está alimentada por un motor trifásico con las siguientes características:

- Motor 110CV $\cos \varphi = 0.9$

La bomba tiene dos modos de funcionamiento:

- Manual: el operario puede apagar y encender la bomba de forma manual según las necesidades del sistema.
- Automático: la bomba comienza a funcionar hasta que la piscina se encuentre llena. El nivel de la piscina se determina a través de una sonda de nivel que, a través de un automatismo, detiene la bomba cuando la piscina está llena. Este automatismo está definido de forma cableada.

Esta bomba no cuenta con ningún tipo de variador de velocidad, es decir, funciona a una presión y a un caudal constante.

El tramo de tubería próximo al decantador donde se encuentra instalada la bomba, es de acero con un diámetro de 400 milímetros.

Los mandos de control de esta bomba se encuentran próximos al decantador situados dentro de un armario compacto.

2.3 BOMBEO DE PIVOTES

El centro de bombeo de los pivotes se encuentra localizado próximo a la piscina. Como se ha explicado anteriormente, cada uno de los pivotes tiene un sistema de bombeo independiente que lo alimenta.

Cada una de las bombas (grande, mediana y pequeña) están alimentadas por motores trifásicos con las siguientes características:

- Bomba grande: MOTOR Indeterminado
- Bomba mediana: MOTOR Indeterminado
- Bomba pequeña: MOTOR Alconza 22kW $\cos\phi=0.89$

En la siguiente imagen podemos ver un esquema de la disposición de los diferentes elementos en el centro de bombeo de los pivotes.

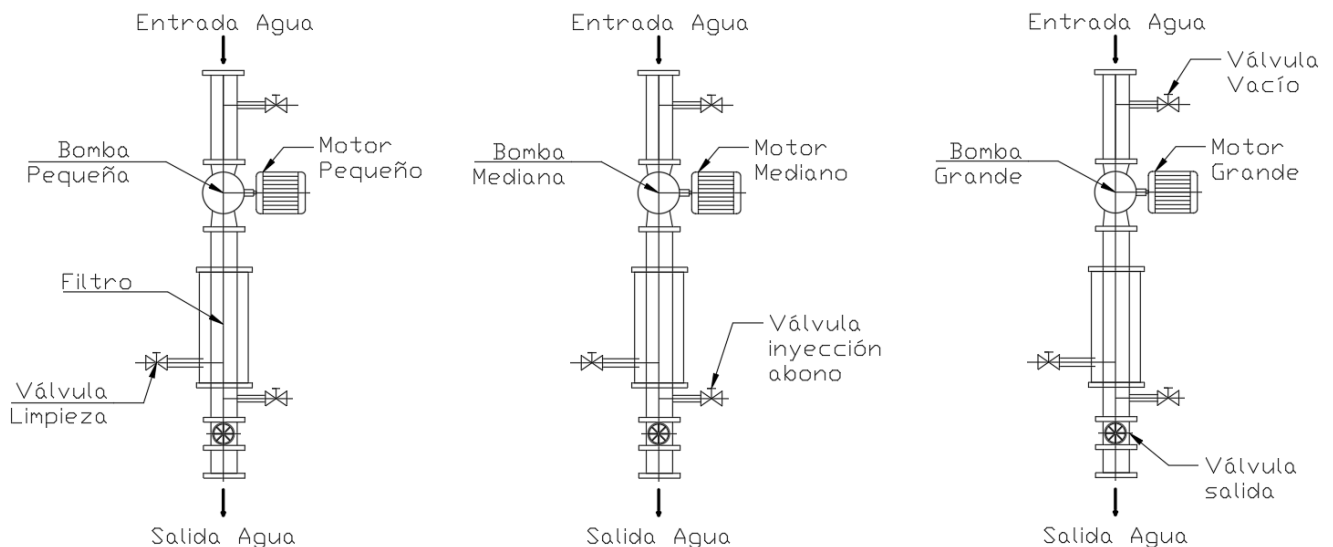


Ilustración 6: Esquema bombeo pivotes

En el esquema anterior podemos ver diferentes elementos que son relevantes en el funcionamiento del sistema. Son los siguientes:

- **Filtros:** cada uno de los pivotes cuenta con un filtro para mantener limpia el agua del riego. La limpieza de los filtros se realiza de forma automática a través de una válvula de limpieza. Cada una de las válvulas cuenta con un

accionador (Regaber 24V 50Hz 5,5W) que, al detectar una diferencia de presión grande entre la entrada y salida del filtro, abre la válvula realizándose así la limpieza del filtro.

- **Bomba de vacío:** esta bomba es la encargada de llenar de agua las tuberías del sistema para eliminar de esta forma cualquier bolsa de aire que impida el correcto funcionamiento de las bombas.
- **Bomba de inyección:** la bomba de inyección es la encargada de inyectar el abono líquido a cada uno de los pivotes según las necesidades de fertirrigación. Este sistema de inyección es completamente manual.

Cada una de las bombas citadas anteriormente, funcionan a presión y caudal constante, no tienen ningún variador que regule su funcionamiento. Se ponen en funcionamiento manualmente. Los mandos de las bombas se encuentran en un cuadro situado en la misma estación de bombeo.

2.4 PIVOTES DE RIEGO

Los tres pivotes circulares son del mismo fabricante “*Western Pivots*”, y cuentan todos con el mismo panel de control que se encuentra en la cabeza del pivote. En la imagen podemos ver el panel de control con los diferentes mandos disponibles:





Estas máquinas funcionan con su propio automatismo cableado desarrollado por el fabricante. Como no se ha podido tener acceso a la arquitectura completa de los pivotes, dentro del marco de este proyecto, se automatizarán estas máquinas con autómatas propios. Se sustituirá el automatismo cableado por uno programado que mejore las prestaciones del sistema. Para ello, se estudiará el funcionamiento detallado de los pivotes y se desarrollará una solución que permita su automatización.

	Nº de torres	Longitud (m)	Superficie (Has)	Caudal (m3/h)
Pivot Pequeño	6	248	21,4	97,3
Pivot Mediano	8	395	52,6	178
Pivot Grande	10	528,7	87,8	299,2

Tabla 3: Características pivotes

2.5 MÉTODO ACTUAL PARA OPERAR EL SISTEMA

Para comprender mejor el funcionamiento del sistema, se van a explicar los diferentes pasos que, actualmente, un operario tiene que seguir para controlar el sistema y poder regar.

Para poner en marcha el riego de cualquiera de los tres pivotes, hay que seguir los siguientes pasos:

1. Poner en automático la bomba de llenado para asegurar el nivel de la piscina. Para este estudio se considera que en el decantador siempre hay agua disponible, en caso de que no fuera así, el sistema se detendría.
2. Desplazarse hasta la torre del pivote para programar la dirección de avance y el porcentaje de riego.
3. Realizar vacío a la tubería que proporciona agua al pivote. El operario se debe desplazar hasta la caseta de bombeo de los pivotes y encender la bomba de vacío para eliminar el aire que puedan tener los conductos de bombeo

4. Arrancar la bomba del pivote (grande, mediana, pequeña) que es la encargada de suministrarle agua al mismo. A partir de este momento, el agua comenzará a salir por las boquillas del pivote.
5. Una vez la presión del sistema llegue al nivel adecuado, se acciona el interruptor que da corriente al pivote. En este momento el pivote comienza a avanzar.
6. Accionar el interruptor de seguridad. El sistema de seguridad desconecta la corriente del pivote si hay algún tipo de sobre presión o sobre tensión.

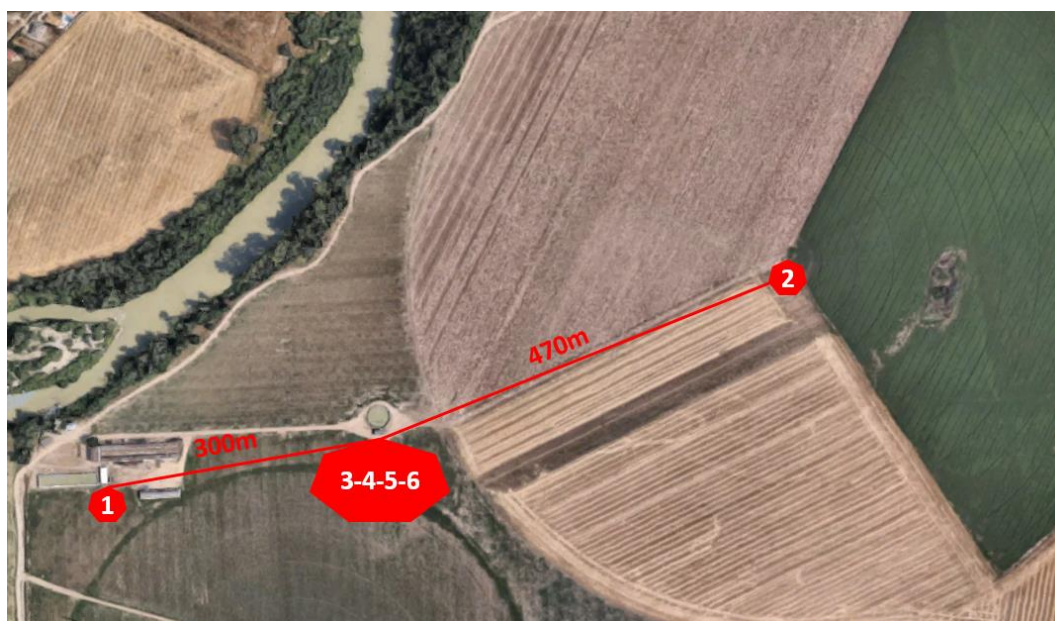


Ilustración 7: Localización de las operaciones de puesta en marcha para uno de los pivotes

2.6 CONCLUSIONES

Como conclusión principal sobre el estado actual del sistema se puede decir que, aunque se cuente con unos pivotes nuevos de buenas prestaciones y que permitirían un riego eficiente y versátil, los sistemas de bombeo están bastante anticuados y no permiten que el conjunto del sistema funcione de manera adecuada.

Además, no existe un control conjunto del sistema que permita al operario regar los cultivos de forma rápida y optimizando el tiempo. Como se ha visto en el apartado anterior, actualmente el operario de riego tiene que seguir numerosos



pasos para comenzar a regar una parcela. Esto hace que se pierda mucho tiempo a lo largo del día, no permitiendo así llegar a cumplir de manera adecuada el horario de riego diario.

Hay que destacar que, la rapidez de riego es una característica muy importante en este tipo de sistemas. En Córdoba en los meses de verano, se llegan a unas temperaturas muy altas y los niveles de evaporación en los cultivos son muy elevados, esto hace que la aportación de agua sea necesaria casi diariamente. Además, en estos meses de verano existen diferentes periodos donde el precio de la energía es más barato o más caro según la hora del día y el mes, esto hace que un sistema de riego rápido sea clave para disminuir los costes de producción.

Actualmente, para una tarea sencilla como la de poner en riego uno de los pivotes, el operario tarda 20-30 minutos en realizar todas las operaciones. Esto es debido a que el operario tiene que desplazarse entre los distintos centros de bombeo y los pivotes, y a que los procesos de arranque, parada, abonado...son manuales. Si se automatizara este proceso y se centralizase el control del sistema, se podría reducir considerablemente el tiempo de operación entre riegos y, por tanto, los costes del sistema.

Por todo esto, se puede concluir, que la automatización del sistema para conseguir un control integral del mismo permitiría al agricultor reducir los tiempos de operación y disminuir la energía consumida, reduciendo así costes de producción.



Capítulo 3 ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN

Como se ha podido observar en el capítulo anterior (*Descripción del sistema*) el sistema de riego actual de la finca está anticuado y no tiene un funcionamiento eficiente. Por ello se ha concluido que la automatización del sistema puede ser una buena solución para mejorar el mismo.

Por ello, en este capítulo se definirá la solución propuesta para la mejora del sistema, así como la arquitectura diseñada para su correcto funcionamiento. Se precisarán las características de los componentes necesarios para poder automatizar el sistema, así como su disposición física en el mismo.

Primero, se explicará la arquitectura global con los diferentes autómatas que se van a utilizar. Luego, se detallarán las soluciones propuestas tanto para el sistema de bombeo como para los pivotes.

3.1 ARQUITECTURA GLOBAL DEL SISTEMA

Para entender mejor la arquitectura global del sistema, se pueden diferenciar diferentes niveles. Empezando desde el más bajo:

- **Nivel de Campo:** en este nivel se encuentran todos los actuadores, sensores... que permitirán interactuar con el sistema.
- **Nivel de Control:** en este nivel se encuentran los PLCs y las interfaces que permitirán al operario utilizar los elementos del nivel de campo para controlar el sistema de riego.
- **Nivel de supervisión:** en este nivel se encuentran las interfaces, a través de las cuales, el operario puede supervisar en tiempo real el conjunto del sistema.
- **Nivel de Gestión:** en este nivel encontramos la nube como herramienta de gestión, que recibe en tiempo real datos sobre el estado del sistema. En este caso, la información va solo en una dirección (de abajo a arriba) y es el técnico agrícola el encargado de

administrar y utilizar esta información para tomar medidas correctoras en el sistema de riego.

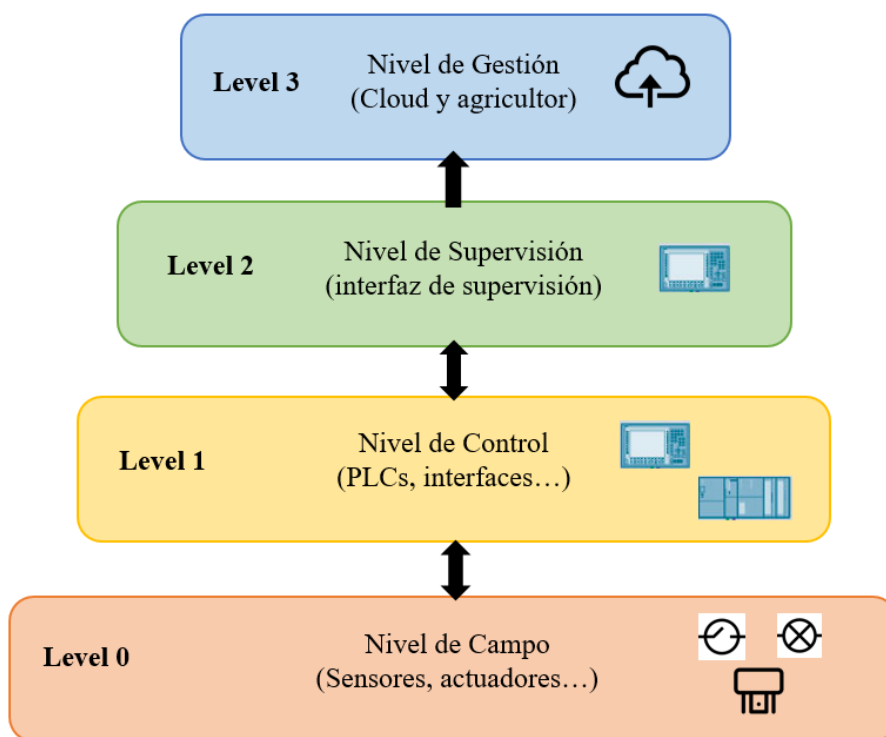


Ilustración 8: Niveles de la arquitectura global del sistema

Como solución al control global del sistema, se ha optado por utilizar cuatro autómatas interconectados entre sí. Uno en la caseta de bombeo y otro en cada uno de los tres pivotes. La razón principal de elegir esta arquitectura es que se consigue un control local independiente, evitando así que el sistema quede totalmente parado en caso de avería del autómata. La otra solución posible, sería la de utilizar un solo autómata centralizado que controlara tanto el bombeo como los pivotes. Los autómatas elegidos son PLCs S7-1500 Siemens, la elección de este modelo es por motivos prácticos, ya que es el modelo disponible en el laboratorio.

Se utilizará PROFINET como estándar de comunicación entre los autómatas. Este tipo de comunicación puede ser inalámbrica, pero aprovechando la línea de alimentación eléctrica de los pivotes, se realizará cableada.

Además, se dispondrá de una interfaz táctil *SIMATIC HMI* Siemens que permitirán al operario controlar y supervisar el funcionamiento del sistema de riego. Este panel servirá para el control y supervisión de cada uno de los pivotes, además de, supervisar el centro de bombeo y controlar el sistema de abonado. El panel se encontrará dispuesto físicamente en el centro de bombeo de la explotación, donde se instalará el centro de mandos. Como se verá en los capítulos 4 y 5, se han diseñado dos paneles HMI, uno para el control y supervisión de los pivotes, y otro para el control y supervisión del centro de bombeo y del sistema de fertirrigación. Por tanto, en el centro de control, se podrá instalar, o bien un panel más grande desde donde poder acceder a todas las interfaces, o dos paneles separados. Esta segunda opción permitiría seguir controlando el sistema en caso de avería de uno de los paneles, ya que desde el otro se podría acceder al control del panel averiado.

Finalmente, tenemos la conexión del sistema con la nube. Esta conexión se hará a través del autómatas situado en el centro de bombeo, este PLC recibirá la información proveniente de sensores físicos conectados al propio autómatas o al resto de PLCs del sistema. Es necesaria una conexión a Internet para poder comunicar el PLC con la nube.

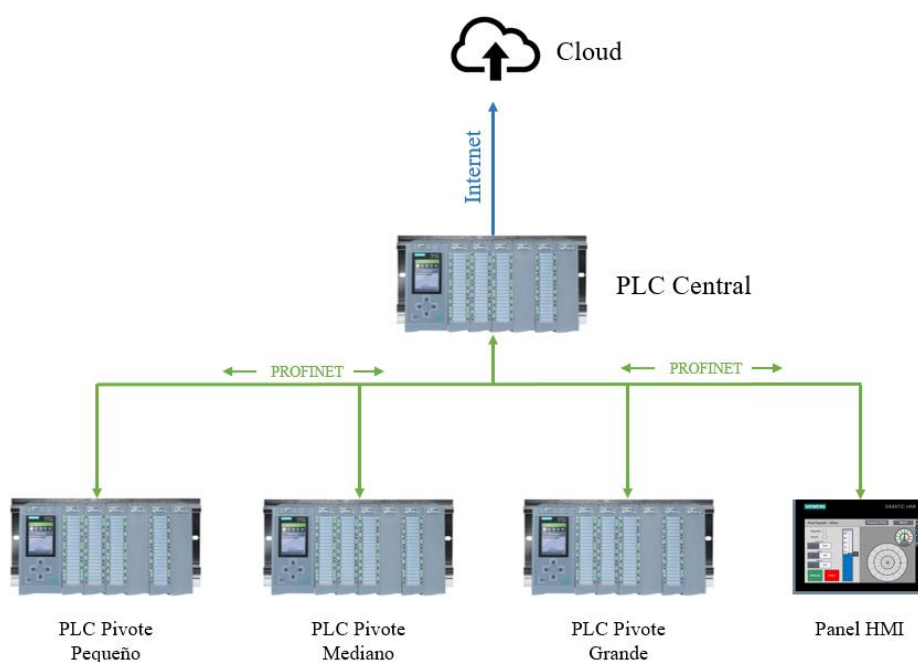


Ilustración 9: Esquema de conexión de los elementos del sistema

En la siguiente imagen se puede ver la distribución física de los autómatas y del panel HMI.



Ilustración 10: Distribución física de los elementos sobre el mapa

3.2 ARQUITECTURA SISTEMA DE BOMBEO

Como se ha explicado en el apartado anterior, el sistema de bombeo va a ser controlado y monitorizado utilizando un autómata. Este autómata va a estar conectado a diferentes componentes del sistema con el fin de controlar y supervisar el funcionamiento del mismo. Para la nueva arquitectura se va a utilizar la instalación existente añadiendo componentes y realizando cambios que permitan mejorar el funcionamiento del sistema de bombeo.



3.2.1 COMPONENTES

Dentro de los componentes necesarios para la automatización del sistema, se puede diferenciar entre los componentes que mandan señales de entrada al PLC y los componentes que mandan señales de salida. En las siguientes tablas se puede ver el listado de componentes que irán instalados en el sistema de bombeo.

Entrada	Nombre Esquema	Componente Real	Tipo Dato
Boya Nivel Piscina Alto	BL1	Switch Boya Nivel	Bool
Boya Nivel Piscina Bajo	BL2	Switch Boya Nivel	Bool
Seta Emergencia	S1	Seta Emergencia Estándar	Bool
Contador Bomba Pequeña	BC1	Multimedidor Siemens Sentron PAC4200	Real
Contador Bomba Mediana	BC2	Multimedidor Siemens Sentron PAC4200	Real
Contador Bomba Grande	BC3	Multimedidor Siemens Sentron PAC4200	Real
Sensor de Presión Bomba Pequeña	BP1	Sensor Capacitivo (1-10 bar) 24V	Real
Sensor de Presión Bomba Mediana	BP2	Sensor Capacitivo (1-10 bar) 24V	Real
Sensor de Presión Bomba Grande	BP3	Sensor Capacitivo (1-10 bar) 24V	Real
Sensor Nivel Tanque Abono 1	BN1	Sonda Ultrasónica	Real
Sensor Nivel Tanque Abono 2	BN2	Sonda Ultrasónica	Real
Sensor Nivel Tanque Abono 3	BN3	Sonda Ultrasónica	Real
Sensor Radiación	BR1	Medidor de Radiación solar - Pinarómetro	Real

Tabla 4: Componentes de entrada sistema de bombeo



Salida	Nombre Esquema	Componente Real	Tipo Dato
Electroválvula Principal Bomba Pequeña	KS1	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Principal Bomba Mediana	KS2	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Principal Bomba Grande	KS3	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Vacío Bomba Pequeña	KS4	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Vacío Bomba Mediana	KS5	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Vacío Bomba Grande	KS6	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Abono Pivot Pequeño	KS7	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Abono Pivot Mediano	KS8	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Abono Pivot Grande	KS9	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Tanque Abono 1	KS10	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Tanque Abono 2	KS11	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Tanque Abono 3	KS12	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Filtro 1	KS13	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Filtro 2	KS14	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Electroválvula Filtro 3	KS15	Válvula hidráulica de diafragma - Solenoide	Bool
Relé Motor Pequeño	KM1	Relé	Bool
Relé Motor Mediano	KM2	Relé	Bool
Relé Motor Grande	KM3	Relé	Bool
Relé Bomba Vacío	KM4	Relé	Bool

Tabla 5: Componentes de salida sistema de bombeo

Para determinar el nivel de la piscina se utilizarán boyas de nivel situadas en el nivel alto y en el nivel bajo de la piscina. Estas boyas son contactos básicos que se accionan por la flotabilidad de las mismas, es una opción muy barata y fácil de remplazar. Por otro lado, los sensores de nivel de los tanques de abono son sondas ultrasonicas, ya que se necesita una lectura más precisa del nivel de abono.



Para determinar la presión en cada una de las tuberías de salida del centro de bombeo, se utilizarán sensores capacitivos de tensión. Estos sensores necesitan una alimentación de 24V y obtienen medidas en un rango de 0 a 16 bares. Estos sensores se instalan roscándolos en un orificio normalizado de la tubería de salida.

Para el accionamiento remoto de las válvulas se utilizarán válvulas hidráulicas de diafragma, accionadas mediante solenoides de tres vías. En este tipo de válvulas los solenoides están, normalmente, alimentados en rangos de 9-24V y suponen una ventaja de coste frente a las válvulas mecanizadas. Además, este tipo de válvulas son frecuentemente utilizadas en sistemas de riego debido al rango de presiones. (1-10 bares).

3.2.2 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

Como se ha explicado en el apartado 3.1, el “*PLC Central*” estará situado en el centro de bombeo junto con los paneles HMI. Se recomienda que, tanto autómatas y como paneles HMI se instalen en un espacio contiguo a la estación de bombeo y bien ventilado, para evitar así problemas de corrosión y debidos a la humedad ambiente provocada por la condensación en las tuberías. Por tanto, el PLC, los paneles y los cuadros eléctricos de la instalación, se dispondrán de forma aislada al resto de elementos del sistema de bombeo: motores, tuberías, válvulas...

La conexión entre el PLC y los diferentes componentes será cableada para asegurar la rigidez del sistema y reducir costes. En el siguiente esquema podemos ver donde se sitúan físicamente algunos de los componentes citados en las tablas anteriores. Componentes tales como, contadores y relés, irán situados en los cuadros eléctricos. El sensor de radiación se dispondrá en el tejado del centro de bombeo, para poder captar la radiación de forma más precisa.

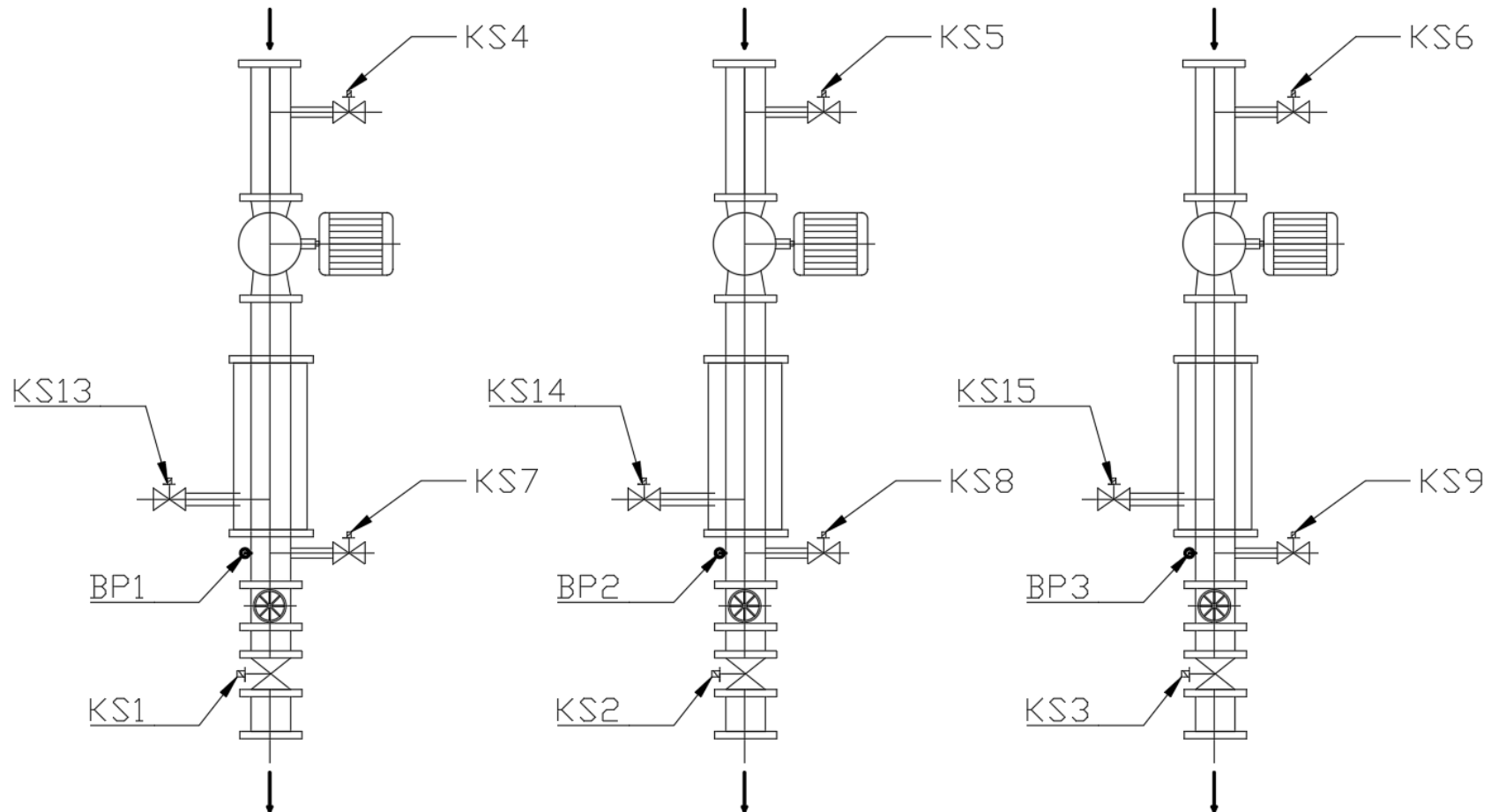


Ilustración 11: Distribución física de componentes en las líneas de bombeo

3.2.3 NUEVO SISTEMA DE FERTIRRIGACIÓN

Como se ha explicado en el capítulo 2, el sistema de riego original cuenta con una bomba inyectora que es la encargada de inyectar el abono líquido en cada una de las líneas de bombeo. Esta bomba inyectora funciona de manera completamente manual, y es el operario el que debe cambiar su conexión con las líneas y con los tanques de abono según sus necesidades.

Este sistema de abonado es anticuado y poco ergonómico, por ello, se propone una nueva solución que permita un control directo y ahorre tiempo y energía.

El sistema propuesto cuenta con la instalación en el exterior de tres tanques de abono que se irán rellenando según las necesidades, estos tanques de abono irán conectados a cada una de las líneas a través de un sistema de inyección “venturi”.

El sistema de inyección “Venturi” permite inyectar el abono en la tubería utilizando el efecto Venturi y sin necesidad de ningún tipo de bomba de inyección. Los inyectores venturi aprovechan una diferencia de presión entre dos puntos de una tubería para hacer circular un flujo de agua por el inyector y provocar un efecto de succión que introduce el fertilizante líquido en el sistema.

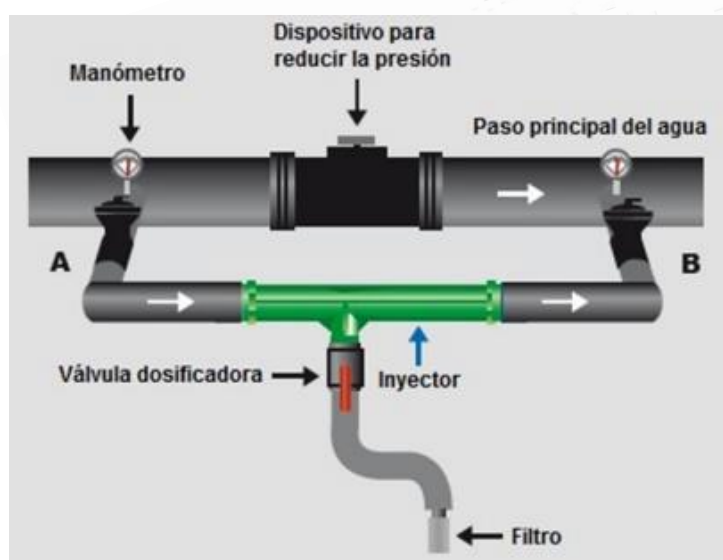


Ilustración 12: Esquema funcionamiento inyector Venturi (Fuente:Irritec)



En este caso, en lugar de instalar un dispositivo de reducción de presión, se aprovechará la diferencia de presión que se crea a ambos lados del filtro de partículas de la línea de bombeo. Por tanto, los puntos A y B de la imagen estarán situados a ambos extremos del filtro.

Estos inyectores venturi son baratos y fáciles de instalar. Sin embargo, es preciso determinar el tamaño del mismo según la dosis de abono que se quiera inyectar y los tiempos de abonados deseados.



Ilustración 13: Inyector de abono venturi (Fuente:Irritec)

En la siguiente ilustración se puede ver el esquema de la instalación de los depósitos con los inyectores venturi con algunos componentes citados en la tabla.

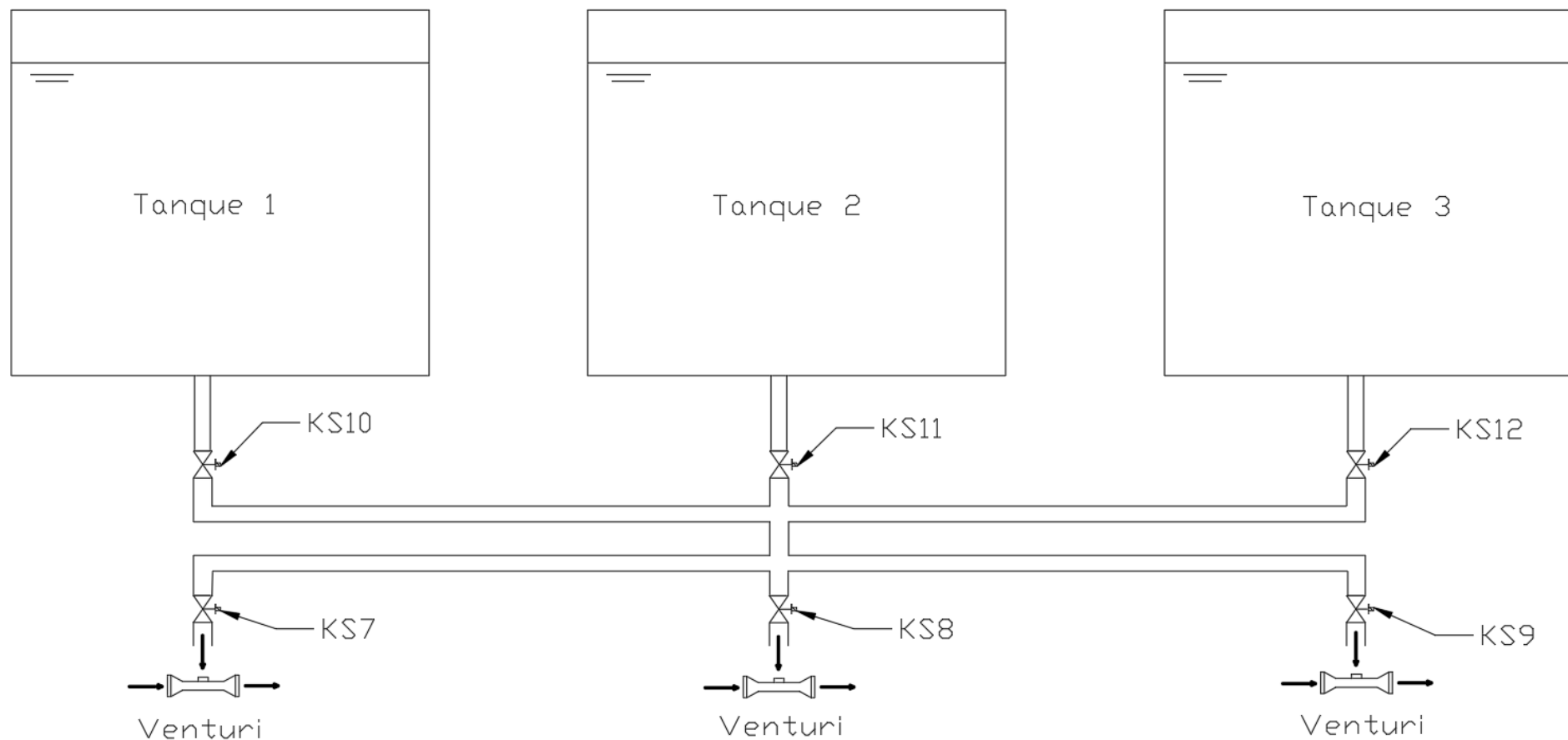


Ilustración 14: Esquema del sistema e fertirrigación



3.3 ARQUITECTURA SISTEMA DE PIVOTES

La arquitectura de los tres pivotes de la finca va a ser la misma, simplemente varía el número de entradas y salidas según el tamaño de la máquina (número de torres). El sistema cuenta con un autómata situado en la cabeza del pivote (“PLC Pivote”) que va conectado a diferentes componentes que permiten que la máquina funcione correctamente.

3.3.1 COMPONENTES

Dentro de los componentes necesarios para la automatización del sistema, se puede diferenciar entre los componentes que mandan señales de entrada al PLC y los componentes que mandan señales de salida. En las siguientes tablas se puede ver el listado de componentes que irán instalados en un pivote de tres torres.

Entrada	Nombre Esquema	Componente Real	Tipo
MicroSwitch Alineación Derecha T1	BG1	Final de carrera	Bool
MicroSwitch Alineación Izquierda T1	BG2	Final de carrera	Bool
MicroSwitch Posición Centro T1	BG3	Final de carrera	Bool
MicroSwitch Alineación Derecha T2	BG4	Final de carrera	Bool
MicroSwitch Alineación Izquierda T2	BG5	Final de carrera	Bool
MicroSwitch Posición Centro T2	BG6	Final de carrera	Bool
Sensor Presión Entrada Pivote	BP1	Sensor Capacitivo (1-10 bar) 24V	Real
Seta Emergencia	S1	Seta Emergencia Estándar	Bool

Tabla 6: Componentes de entrada pivote



Salida	Nombre Esquema	Componente Real	Tipo
Relé Motor Torre 1 Derecha	KM1	Relé	Bool
Relé Motor Torre 1 Izquierda	KM2	Relé	Bool
Relé Motor Torre 2 Derecha	KM3	Relé	Bool
Relé Motor Torre 2 Izquierda	KM4	Relé	Bool
Relé Motor Torre 3 Derecha	KM5	Relé	Bool
Relé Motor Torre 3 Izquierda	KM6	Relé	Bool

Tabla 7: Componentes de salida pivote

Los *MicroSwitch* definirán la posición de las torres con respecto a la siguiente. Después la lógica del programa se encargará de utilizar esta información para hacer funcionar la máquina. El funcionamiento del pivote se define con detalle en el Capítulo 4.

El sensor de presión se colocará en la torre central del pivote, en la tubería de entrada. Este sensor permitirá determinar que la presión es la adecuada para el pivote funcione de manera óptima.

3.3.2 ESQUEMA DE LA INSTALACIÓN

El PLC junto con la paramenta de alimentación y el control antiguo del pivote, se situarán en la torre central del pivote (torre fija) dentro de un armario con las protecciones necesarias.

Cada una de las torres, contará con una caja en la parte superior donde se alojarán los *MicroSwitch* y los relés que accionan el motor de la torre. La conexión, entre los componentes y el autómata, será cableada. El cable se dispone adherido a la tubería e introducido en una funda metálica.

3.4 ARQUITECTURA SISTEMA DE OBTENCIÓN DE DATOS

Este sistema de obtención de datos cuenta con una red de sensores distribuida por todo el sistema de riego, estos sensores cogen la información



relevante y la envían al PLC Central. Este autómata es el encargado de mandar la información a la nube para que el agricultor pueda tener acceso a ella en tiempo real.

Los datos que se van a monitorizar son de dos tipos: los datos de campo y los datos del sistema. La elección de estos parámetros se explica en el Capítulo 6 en el Apartado 6.1

3.4.1 DATOS DE CAMPO

Los datos de campo permiten al agricultor ver el estado de los cultivos y saber si el sistema de riego está funcionando adecuadamente. En este proyecto, se instalarán sensores de humedad en las parcelas, estos sensores irán enterrados y proporcionarán información sobre los niveles de humedad del suelo en distintos momentos del proceso de riego. Además, se dispondrá un sensor en el exterior para medir la radiación solar en el entorno geográfico de la finca.

Las tres parcelas circulares de los pivotes se dividen en cuatro sectores iguales, cada uno de estos sectores contará con un conjunto de sensores que darán un nivel de humedad medio. En cada uno de los sectores se colocarán 2 sensores de humedad enterrados que se comunicarán, de manera inalámbrica, con el PLC del pivote. En total, cada uno de los pivotes dispondrá de 8 sensores de humedad.

Es importante saber que, el número de sensores que se necesitan puede variar según diversos factores como: el tipo de cultivo, tipo de suelo, geografía...; se necesitaría un estudio agronómico, que no entraría en el alcance de este proyecto, para determinar el número con precisión. Por lo tanto, en este caso, se ha optado por instalar la opción más común: 8 sensores por pivote.

Es necesario que la comunicación entre los sensores y el PLC se haga de manera inalámbrica debido a razones prácticas en una explotación agrícola. Para evitar interferencias con las tareas agrícolas, esta red de sensores se colocará después de la siembra y se recogerá antes de la recolección.

Para realizar la conexión inalámbrica, se utilizarán componentes que utilizan conexión *WirelessHART* (*Wireless Highway Addressable Remote Transducer Protocol*). Este tipo de conexión es una tecnología inalámbrica que se utiliza para redes de sensores analógicos y digitales, tiene aplicaciones tanto en pequeños sistemas automatizados como en grandes aplicaciones industriales. La característica más ventajosa de estos elementos es que pueden conectarse fácilmente con sensores analógicos 4-20mA. Empresas muy importantes del sector como *Siemens* y *ABB*, desarrollan componentes que utilizan este tipo de comunicación; en este proyecto se van a utilizar componentes Siemens debido que son fácilmente compatible con los PLCs de la misma marca.

Por tanto, para conseguir que los datos de humedad de la parcela lleguen al PLC de manera inalámbrica, se necesitan tres componentes:

- **Sensor de humedad de suelo 4-20 mA:** Estos sensores capacitivos determinan el contenido de agua en suelo midiendo la permisividad dieléctrica a través de dos lengüetas que se pinchan en la tierra a una cierta profundidad. Son utilizados normalmente con PLCs o pequeños controladores de riego, se pueden encontrar fácilmente con diferentes prestaciones y precios muy asequibles.



Ilustración 15: Sensor de humedad del suelo MAS-1

- **Adaptador WirelessHART Siemens SITRANS AW200:** Este adaptador es el encargado de convertir la información del sensor y transmitirla vía WirelessHART.

Este componente cuenta con una batería de litio-cloruro de tionilo con una duración de hasta 5 años según los ciclos de envío de información. Esta batería permite alimentar tanto al propio adaptador, como al sensor de humedad que irá conectado. Además, en campo abierto tiene un alcance de unos 250 metros, compatible con la aplicación de este proyecto.

Los ciclos de envío de información se pueden ajustar muy fácilmente desde el receptor. En aplicaciones agrícolas, como son los sistemas de riego, con tener información del sensor cada 10 minutos es suficiente.



Ilustración 16: Adaptador WirelessHART Siemens SITRANS AW200

La instalación del dispositivo en el campo sería muy sencilla. Una estaca clavada en la tierra soportaría el adaptador a la altura adecuada, el sensor se conectaría al dispositivo y se clavaría en el suelo a una profundidad adecuada. La conexión del sensor con el adaptador viene especificada en el manual técnico del componente.

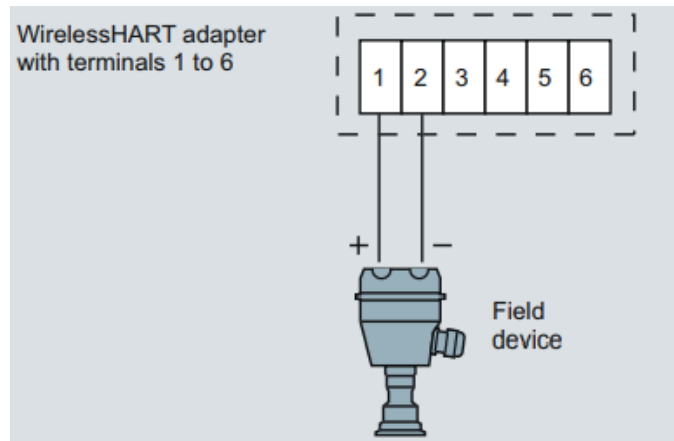


Ilustración 17: Conexión sensor-adaptador (Fuente: Manual Siemens)

- **Receptor Siemens IE/WSN-PA LINK:** Este receptor es el encargado de recibir la información de los adaptadores WirelessHART y comunicarla al PLC (puede recibir información de hasta cien dispositivos WirelessHART). La comunicación con el autómatas se realiza vía Ethernet, además cuenta con bloques funcionales predefinidos por Siemens para programar fácilmente la comunicación con los adaptadores.



Ilustración 18: Receptor WirelessHART Siemens IE/WSN-PA LINK

Por tanto, la arquitectura final del sistema de obtención de datos contaría con un receptor *IE/WSN-PA LINK* para cada uno de los pivotes, que irá colocado junto con el PLC en el centro de la máquina. Después, se tendrá un adaptador *SITRANS AW200* por cada uno de los sensores instalados en las parcelas circulares. En la siguiente imagen se puede ver un esquema general de la arquitectura del sistema de obtención de datos de humedad del suelo de la plantación.

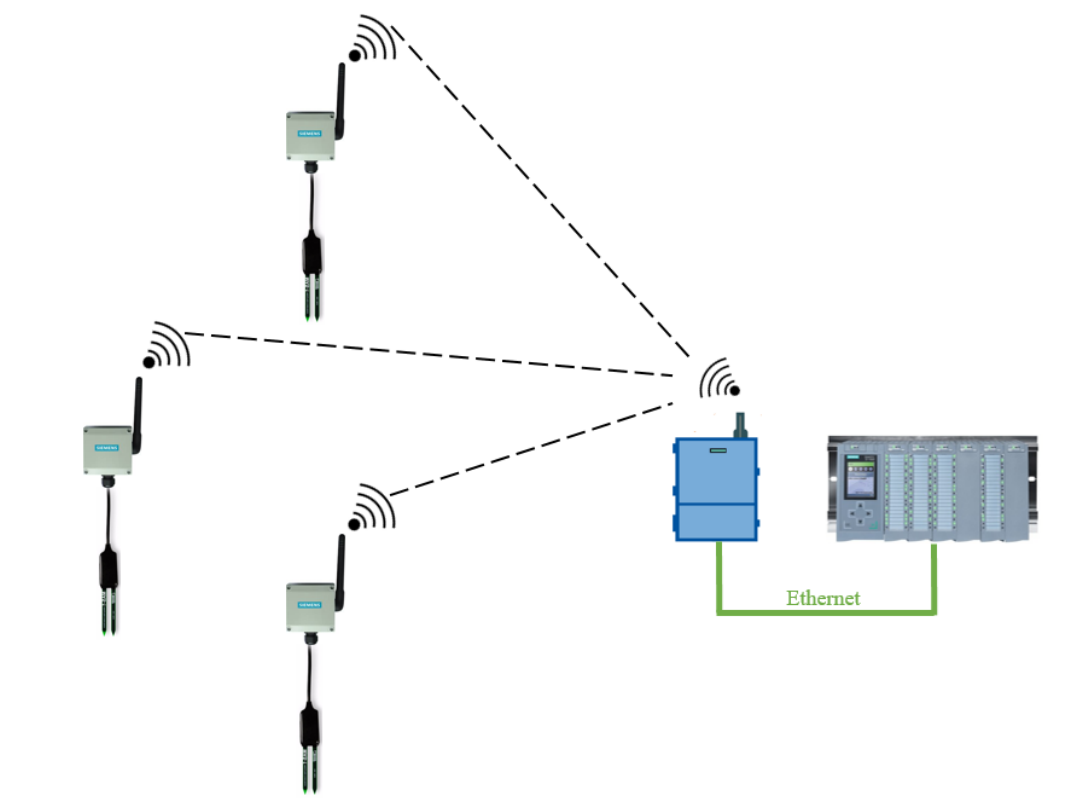


Ilustración 19: Arquitectura general del sistema de obtención de datos de humedad

3.4.2 DATOS DEL SISTEMA

Por otra parte, se tienen los datos propios del sistema de riego. Observando estos datos del sistema, el agricultor puede tener información en tiempo real que le permite controlar el buen funcionamiento del mismo. Estos datos del sistema son los siguientes:

- **Niveles de presión de cada una de las líneas de bombeo.** Para ello se va a utilizar la información de los mismos sensores definidos en el Apartado 3.2.1, que van colocados a la salida de cada una de las tres líneas.
- **Consumo eléctrico de los motores.** Para medir el consumo energético de cada uno de los motores que alimentan las bombas. Se propone utilizar multimedidores *Siemens Sentron PAC4200*, debido a que permiten comunicarse fácilmente con los autómatas Siemens.



Ilustración 20: Multimetro Siemens Sentron PAC4200

- **Presión en la cabeza de los pivotes.** Se utilizarán los sensores situados en la torre central de los pivotes en la entrada de la tubería.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL



Capítulo 4 AUTOMATIZACIÓN DE PIVOTES

Una vez se ha definido la arquitectura del nuevo sistema, se expondrá en este capítulo la solución desarrollada para la automatización de los pivotes de riego.

El funcionamiento de cada uno de los tres pivotes del sistema es el mismo, por tanto, se va a desarrollar una solución para la automatización de un pivote de tres tramos. Esta solución se puede extrapolar a cada uno de los autómatas de los pivotes, ajustando el número de tramos y el número de torres.

Primero, para situar al lector en el problema, se explicará el funcionamiento general de un pivote de riego. Luego, se explicará el programa de automatización diseñado para el pivote con las características de la tabla. Por último, con el fin de poder observar el funcionamiento del control, se ha desarrollado un programa que simula el comportamiento del pivote bajo el control de programa de automatización.

	Longitud (m)	Velocidad Torre (m/min)
Tramo 1	30	3
Tramo 2	30	2
Tramo 3	30	1

Tabla 8: Características del pivote a automatizar

4.1 FUNCIONAMIENTO DEL PIVOTE

Un pivote es un dispositivo mecánico que permite el riego de una parcela circular. Cuenta con diferentes tramos articulados entre sí que avanzan trazando un círculo alrededor de la torre central del pivote. Este tipo de sistemas permite el riego de grandes superficies de manera rápida y versátil.



Ilustración 21: Imagen aérea de pivotes de riego

Cada uno de los tramos están compuestos por una tubería que conduce el agua desde el centro del pivote hasta el extremo. En la parte superior de cada tramo, se encuentran los aspersores, por donde el agua sale para regar el cultivo.

Entre cada uno de los tramos, el pivote se apoya en el suelo a través de la torre, una estructura metálica con forma triangular que tiene dos ruedas. Cada torre cuenta con un motor eléctrico que da tracción a las dos ruedas y permite el avance de esta. El motor da tracción a las ruedas a través de reductores mecánicos. Estos motores son trifásicos y tienen un movimiento a velocidad constante.

Para conseguir un avance conjunto de la máquina, la torre final es la que manda el movimiento. En la intersección de cada uno de los tramos encontramos tres *MicroSwitch* que actúan como relés para accionar el motor de avance de la torre para un ángulo dado. De esos tres *MicroSwitch*, dos se utilizan para marcar desalineación en los dos sentidos de giro (izquierda y derecha) y otro para indicar que el tramo está alineado. La torre final comienza el movimiento, cuando el *MicroSwitch* de la siguiente torre detecta un ángulo determinado pone en marcha el motor para alinear el pivote con la torre final.

La velocidad de giro de la máquina está regulada por un temporizador de velocidad que permite seleccionar un porcentaje del 0% al 100%. Este valor representa el porcentaje en un minuto de funcionamiento en el cual la torre final

está funcionando. Por ejemplo, si el temporizador de velocidad se ajusta al 50%, la torre final va a estar funcionado 30 segundos cada minuto. De esta manera, la cantidad de agua suministrada a la tierra es inversamente proporcional al porcentaje de velocidad. Ya que, la cantidad de agua que sale por los aspersores es la misma, lo que cambia es la velocidad del pivote.

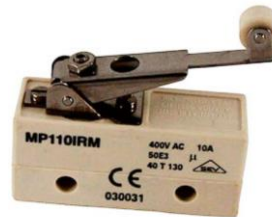


Ilustración 22: MicroSwitch utilizado en los pivotes

Por tanto, por cada torre tendremos un valor de entrada en el autómata procedente de cada uno de los MicroSwitch que marcará un 1 o 0 según se haya pasado o no el ángulo definido, y un valor de salida para mandar el funcionamiento o el paro del motor de la torre. En la torre final solo tendremos salida para el motor.

➤ Movimiento del pivote

En este caso de estudio, el pivote cuenta con tres tramos, de 30 metros cada uno, que se mueven de manera solidaria con cada una de las torres. El último tramo se mueve solidario a la torre 3, el tramo central solidario a la torre 2 y el primer tramo solidario a la torre 1.

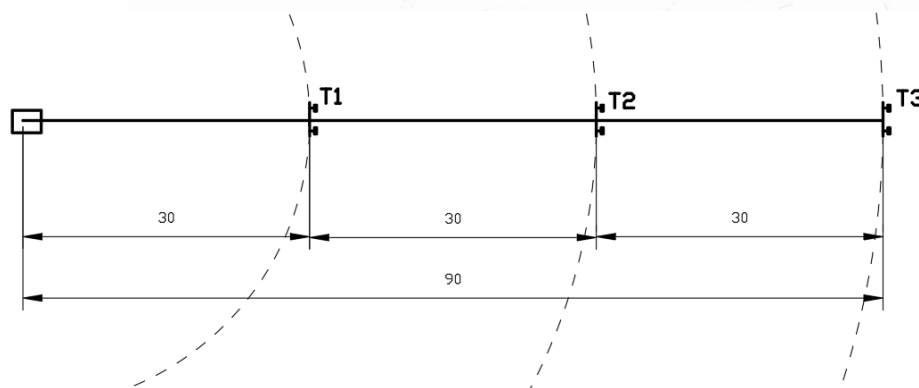


Ilustración 23: Boceto dimensiones del pivote.

En este caso se tienen seis MicroSwitch en todo el pivote, tres en la torre 2 y tres en la torre 1. Se tienen dos en cada torre para marcar tanto desalineación hacia la derecha como hacia la izquierda y otro para indicar que el tramo está completamente alineado (posición central).

La torre 3 comienza a moverse, cuando el MicroSwitch de la torre 2 detecta que se ha superado el ángulo, comienza a moverse la torre 2. Seguidamente, cuando el MicroSwitch de la torre 1 detecta la desalineación comienza a moverse. De esta manera se consigue que el pivote describa un movimiento circular alrededor del centro del mismo.

En el siguiente esquema se puede ver cómo avanza primero la torre 3 y en un cierto ángulo comienza a avanzar la torre 2 hasta alinear el tramo. Después, la torre 1 comienza a avanzar para conseguir alinear lo tres tramos.

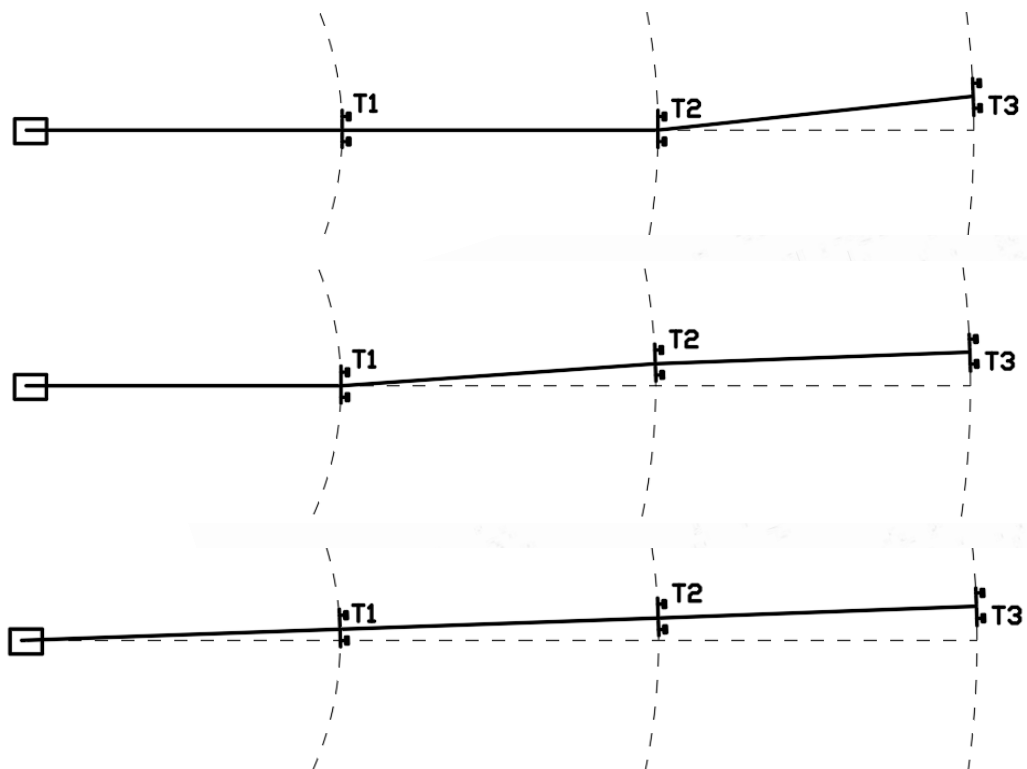


Ilustración 24: Esquema de movimiento del pivote



Es importante que el sistema funcione correctamente ya que si, por ejemplo, la torre 3 se desalinea con un ángulo demasiado grande, dejará de describir una circunferencia alrededor de la base del pivote y se saldría de su trayectoria.

4.2 CONTROL DEL PIVOTE

El control de pivote permitirá la automatización del funcionamiento de la máquina y el control de la misma por parte del operario. Primero se va a describir el problema junto con las variables del mismo, luego se describirá la programación del autómatas y finalmente el control del mismo a través de una interfaz táctil.

4.2.1 DESCRIPCIÓN TOP-DOWN DEL PROBLEMA

Como se ha explicado anteriormente en el apartado 4.1, es necesario controlar el movimiento de cada una de las torres del pivote para lograr un movimiento final que describa una circunferencia alrededor del centro del mismo.

El operario de la plantación, debe poder configurar el funcionamiento del pivote a través de una interfaz. Debe poder configurar:

- La velocidad de giro del pivote
- El sentido de avance (izquierda o derecha)
- La alimentación de agua de la máquina (regar o no)
- Alineación de la máquina

Además, a través de esta interfaz el operario debe poder dar la orden de puesta en marcha o paro del pivote. Debe poder configurar el pivote y programar el riego para una hora determinada del día.

Una vez el operario haya configurado la máquina y haya dado la orden de marcha, el programa del autómatas debe poder controlar el movimiento de la torre para que describa el círculo deseado.



La velocidad de giro de la maquina se expresa en porcentaje y puede variar del 0 al 100 por ciento. Esta velocidad de giro determina la velocidad de avance de la torre final (torre 3), que es la que manda el movimiento del resto de torres. Este valor de velocidad expresa el porcentaje de cada minuto en el cual la torre final del pivote va a estar avanzando. Por tanto, la programación debe permitir cambiar el tiempo en el que la señal de marcha del motor de la torre 3 tiene un valor lógico verdadero.

Como se ha explicado anteriormente, el pivote de estudio cuenta con seis MicroSwitch que dan valor 0 o 1 según el estado de alineación de los tramos de la máquina. La torre 3 avanza a la velocidad definida por el operario, cuando se detecta que se ha sobrepasado cierto ángulo (MicroSwitch a valor 1), la torre 2 comienza a moverse a mayor velocidad hasta reducir ese ángulo a cero. La torre 1 hace lo mismo con respecto a la torre 2, si se detecta que el ángulo se ha sobrepasado avanza hasta alinearse de nuevo con la torre 2. En la siguiente ilustración se observa los valores de todos los MicroSwitch para el caso en el que la torre 3 está desalineada hacia la izquierda.

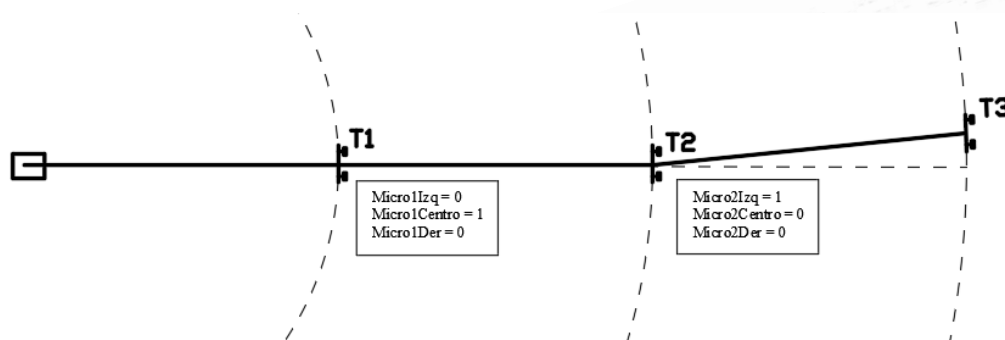


Ilustración 25: Esquema desalineación Torre 3

Además, el operario debe poder seleccionar si la maquina avanza hacia la izquierda o hacia la derecha. Por ello, en cada torre del pivote el motor puede avanzar en un sentido u otro.

Cuando el operario configure la alimentación de agua para el pivote, se debe enviar una señal al autómeta de la estación de bombeo, que iniciará el proceso de



arranque de la bomba correspondiente que alimenta el pivote. Esta parte de la automatización se definirá en el capítulo 5.

Debido a las adversidades del terreno o a posibles fallos en la mecánica de la máquina, puede darse la situación de que el pivote quede desalineado en uno o varios tramos. El operario debe contar con la opción de alinearlo de forma automática a través de una orden en la interfaz. Para ello, el autómatas leerá el estado de desalineación de cada tramo y los moverá de manera simultánea para alinearlos con el primer tramo (tramo de referencia).

Finalmente, por motivos de seguridad y para el mantenimiento de la máquina, el operario debe poder acceder a un control manual del pivote a través de una interfaz. Este control debe permitir al trabajador mover cada una de las torres en los dos sentidos de manera manual.

4.2.2 VARIABLES

Para definir las variables del problema, vamos a diferenciar entre las salidas y entradas físicas que llegan al PLC, y las variables que maneja el operario desde la interfaz.

Entradas/Salidas Físicas			
Nombre	Tipo de dato	Dirección	Descripción
piMicroCentroT2	Bool	%I0.0	MicroSwitch de alineación central torre 2
piMicroCentroT1	Bool	%I0.1	MicroSwitch de alineación central torre 1
piMicroT2Izq	Bool	%I0.2	MicroSwitch desalineación izquierda torre 2
piMicroT2Der	Bool	%I0.3	MicroSwitch desalineación derecha torre 2
piMicroT1Izq	Bool	%I0.4	MicroSwitch desalineación izquierda torre 1
piMicroT1Der	Bool	%I0.5	MicroSwitch desalineación derecha torre 1
piParoEmergencia	Bool	%I0.6	Seta de emergencia
poMotorTorre3D	Bool	%Q0.0	Motor torre 3 avance derecha
poMotorTorre2D	Bool	%Q0.1	Motor torre 2 avance derecha
poMotorTorre1D	Bool	%Q0.2	Motor torre 1 avance derecha
poMotorTorre3I	Bool	%Q0.3	Motor torre 3 avance izquierda
poMotorTorre2I	Bool	%Q0.4	Motor torre 2 avance izquierda
poMotorTorre1I	Bool	%Q0.5	Motor torre 1 avance izquierda

Tabla 9: Entradas y salidas físicas del control del pivote



Variables HMI			
Nombre	Tipo de dato	Dirección	Descripción
mParoPivotP	Bool	%M1.0	Orden de paro del pivote
mMarchaPivotP	Bool	%M1.1	Orden de marcha del pivote
mIzqDer	Bool	%M1.3	Elección del sentido de giro
mAlinear	Bool	%M1.4	Orden de alinear pivote
mVelocidad	Time	%MD2	Velocidad de giro del pivote
mMoverT1IZQ	Bool	%M1.5	Mover torre 1 hacia la izquierda
mMoverT1DER	Bool	%M1.6	Mover torre 1 hacia la derecha
mMoverT2IZQ	Bool	%M1.7	Mover torre 2 hacia la izquierda
mMoverT2DER	Bool	%M2.0	Mover torre 2 hacia la derecha
mMoverT3IZQ	Bool	%M2.1	Mover torre 3 hacia la izquierda
mMoverT3DER	Bool	%M2.2	Mover torre 3 hacia la derecha
mControlManual	Bool	%M2.3	Activar Control Manual
mControlAutomatico	Bool	%M2.4	Activar Control Automático
mPrincipal	Bool	%M2.5	Activar ventana principal
mParoEmergencia	Bool	%M3.0	Paro de emergencia del pivote
mRearme	Bool	%M3.1	Orden de rearme
mVelocidadProg	Time	%MD102	Velocidad del pivote programada
mIzqDerProg	Bool	%M3.5	Sentido de giro programado
mAguaProg	Bool	%M3.6	Alimentación agua programada
mDiaProg	USInt	%MB84	Día programado para riego
mMesProg	USInt	%MB85	Mes programado para riego
mHoraProg	USInt	%MB87	Hora programada para riego
mMinProg	USInt	%MB88	Min programado para riego
mAnguloProg	Real	%MD106	Angulo programado para riego

Tabla 10: Variables interfaz hombre máquina

4.2.3 ESTRUCTURA DESCRIPTIVA DEL PROGRAMA

Para definir la lógica del programa de control del pivote, se ha optado por utilizar programación “GRAPH” apoyada por distintos bloques en “SCL” y “KOP”.

La lógica del programa parte de un grafcet principal que manda sobre diferentes grafcet inferiores. En total se tienen 4 bloques FB:

- **Grafcet Principal**, que determina la lógica global.
- **Grafcet Control Automático**, que determina el funcionamiento automático del pivote.

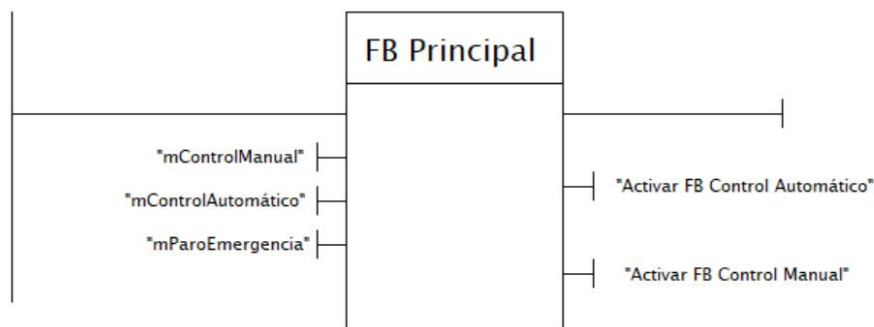


- **Grafcet Control Manual**, que determina el funcionamiento manual del pivote.
- **Grafcet de Simulación**, que simula el comportamiento físico del pivote (Apartado 4.3). Este bloque no forma parte del programa de control, pero permite simular el funcionamiento del pivote.

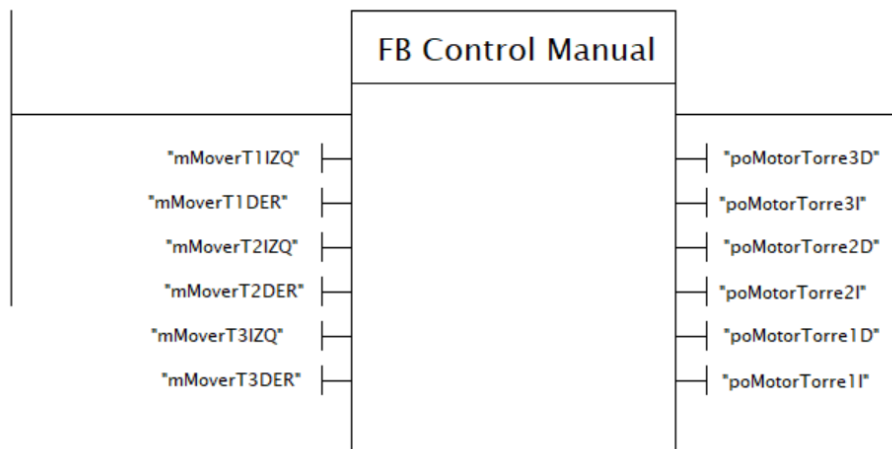
Para comprender mejor la estructura lógica del programa, se expondrán los bloques y los grafcets de manera sencilla e intuitiva. En los anexos puede encontrar toda la información detallada. Primero se explicará la estructura del bloque OB principal “*OB Main*”, y luego los diferentes bloques que lo conforman.

Programa principal “OB Main”

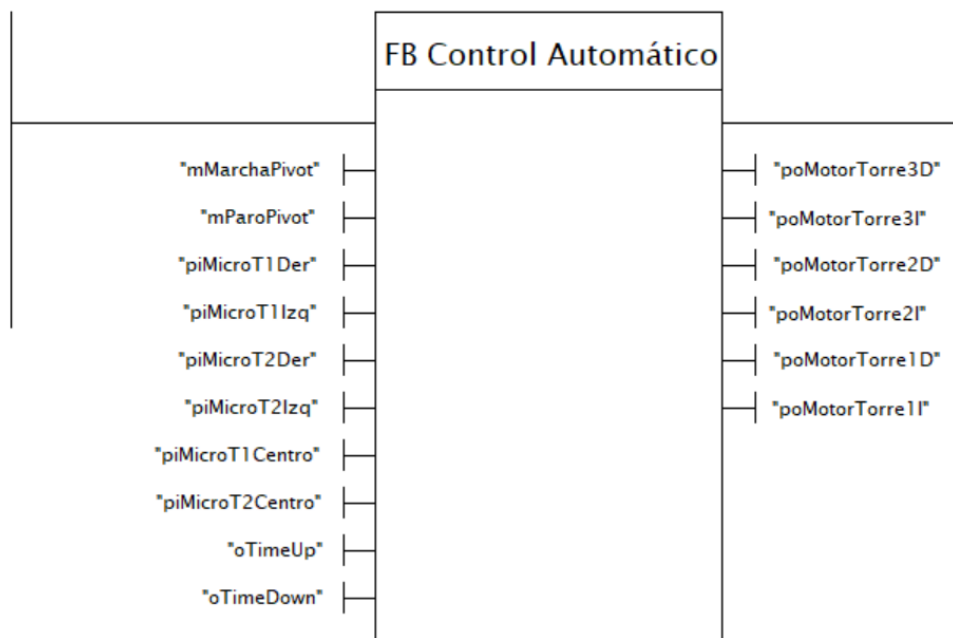
- **Segmento 1:** Contiene el bloque FB principal. Este bloque es el encargado de activar los diferentes bloques del programa que están subordinados al principal. Como entradas principales cuenta con las ordenes que el operario introduce a través del HMI para acceder a cada uno de los controles.



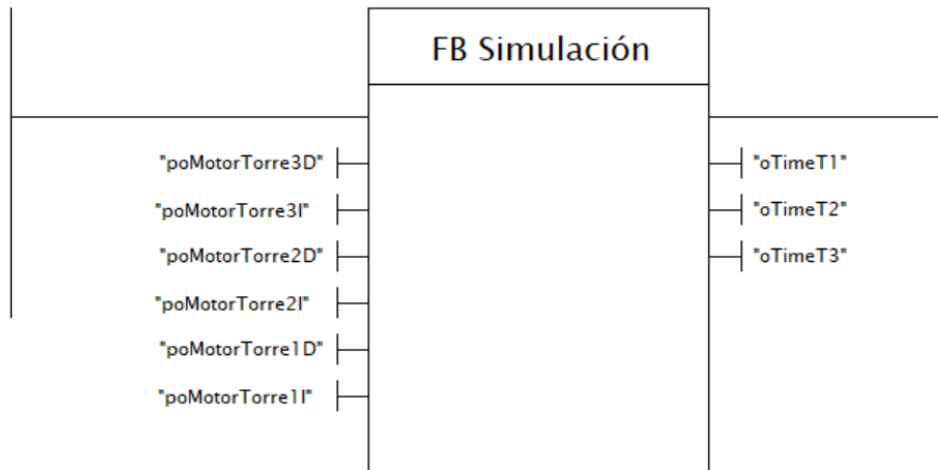
- **Segmento 2:** Compuesto por el bloque FB del Control Manual del pivote. Este bloque contiene la lógica que permite al operario controlar manualmente la máquina de riego. Por tanto, las entradas son las órdenes del operario de mover cada una de las torres en ambos sentidos, y las salidas los motores de las mismas torres.



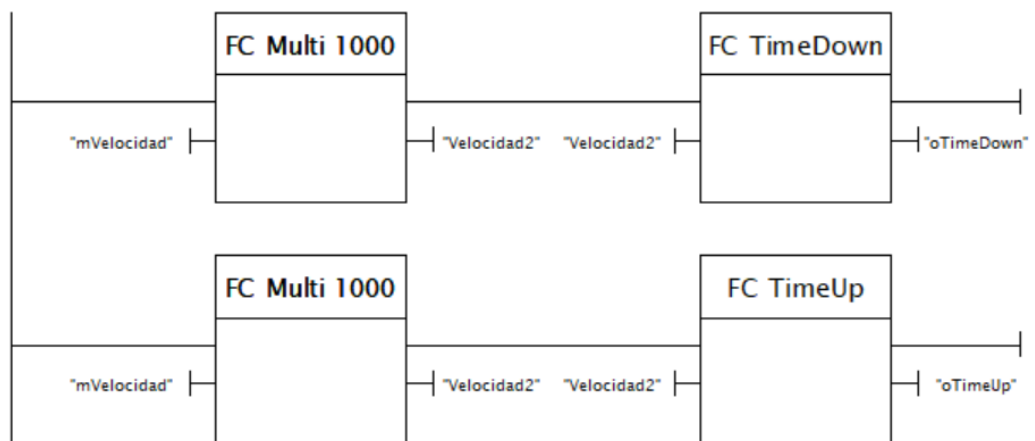
- **Segmento 3:** Compuesto por el bloque FB del Control Automático del pivote. Este bloque contiene la lógica que permite el funcionamiento automático del pivote. Como principales entradas tiene las ordenes de marcha y paro, y las lecturas de los MicroSwitch del pivote. Como salidas principales, cuenta con los motores de cada torre.



- **Segmento 4:** Contiene el bloque FB de simulación. Este bloque es el encargado de simular el avance de las torres cuando el pivote se encuentra en funcionamiento. Este bloque se explicará con detalle en siguientes apartados. Como entradas principales tiene las salidas físicas de los motores de las torres, y como salida tiene el avance de las torres traducido en tiempo.



- **Segmento 5:** Este segmento contiene diferentes bloques FC que permiten calcular el tiempo de funcionamiento de la torre 3 (*TimeUp*) y el tiempo de paro (*TimeDown*). Como se ha explicado antes, la torre 3 es la que manda el movimiento, por tanto, la velocidad marcada por el operario es el porcentaje de tiempo que la torre 3 va a estar en marcha cada minuto que pase. Por ejemplo, si el operario marca “mVelocidad := 60%” tendríamos los siguientes valores: “TimeUp := 36s” “TimeDown := 24s”. Estos valores de tiempo se pasan al bloque “FB Control Automático” para determinar el tiempo de funcionamiento de la torre 3 cuando el pivote está funcionando.





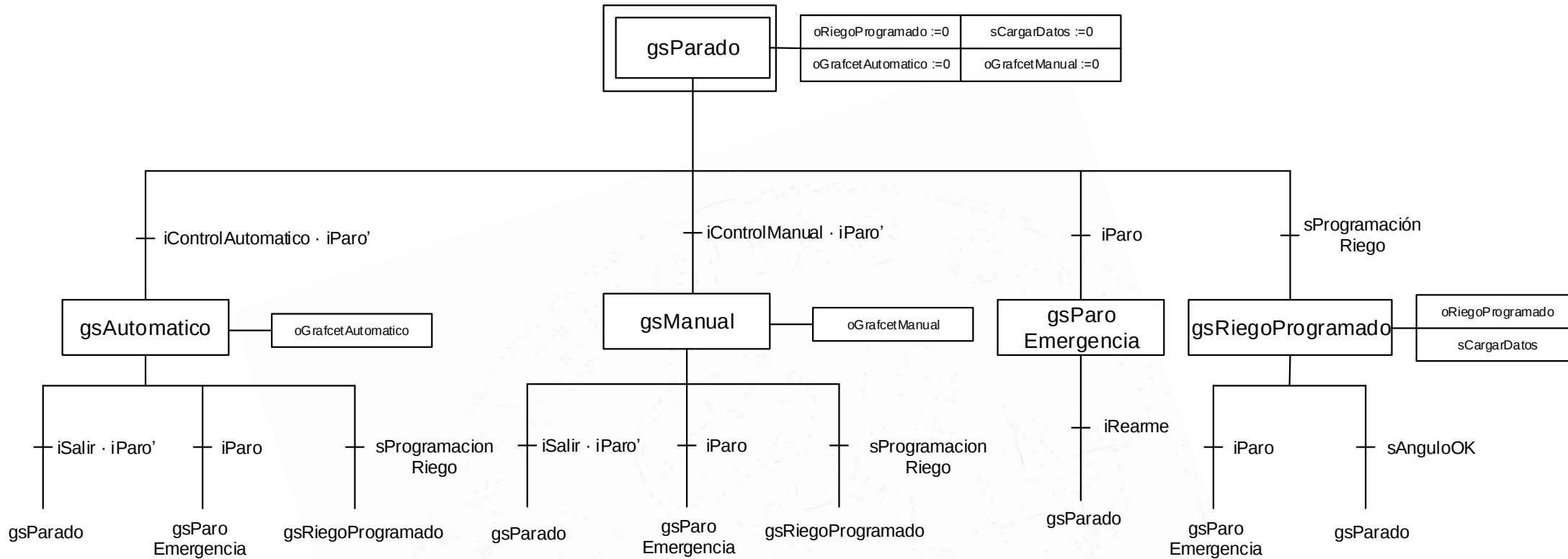
Bloque FB Principal

Este bloque controla todos los demás bloques del “Main”. Según el tipo de control que seleccione el operario a través de la interfaz, la lógica activará el bloque “*FB Control Manual*” o el bloque “*FB Control Automático*”. En caso de que se pulse la seta de emergencia, el programa quedará en un estado de avería esperando una orden de rearme por parte del operario.

Además, si el operario programa un riego para una hora o fecha determinada, la lógica del programa interrumpirá cualquier acción y dará paso a este riego programado. El riego programado activa el control automático, pero utiliza los datos de configuración seleccionados anteriormente por el operario.

- **Grafcet principal**

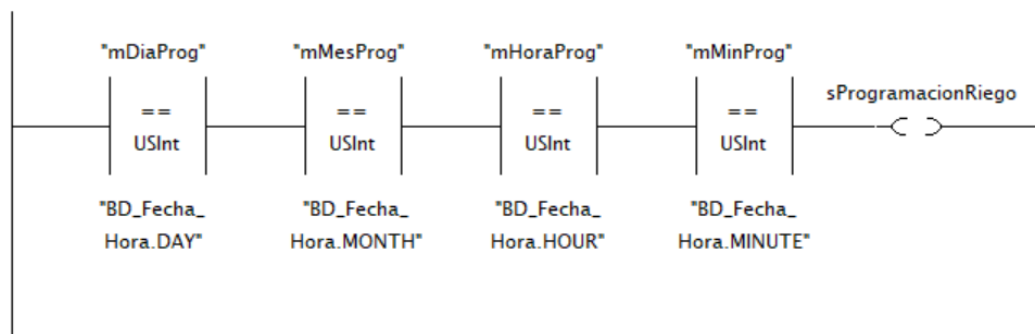
Como se puede ver en el grafcet, se tiene una etapa principal donde el pivote permanece parado y a la espera de alguna orden por parte del operario para pasar a una de las cuatro etapas posibles. Cada una de estas etapas activará el grafcet subordinado correspondiente.



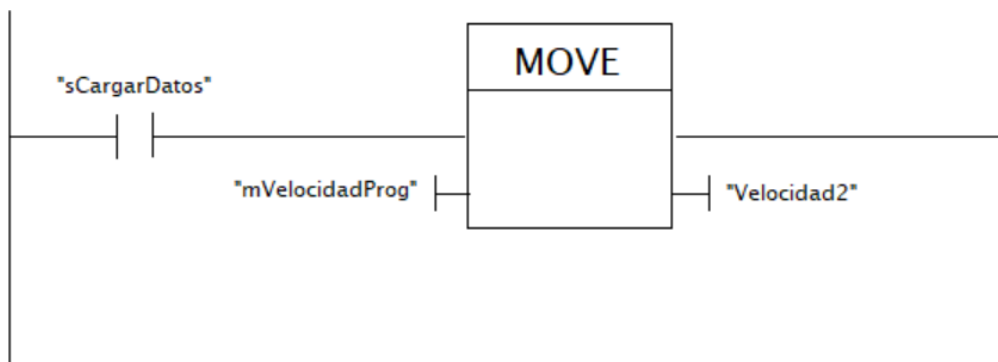


- **Instrucciones permanentes anteriores**

La primera instrucción de este bloque principal tiene como función determinar el momento en el cual la fecha y la hora seleccionadas por el operario para programar el riego, coinciden con la fecha y la hora actuales. Por ello se comparan cada uno de los valores con puertas comparadoras colocadas en serie que activan una variable estática. Esta variable es la encargada de activar la etapa “*gsRiegoProgramado*”.



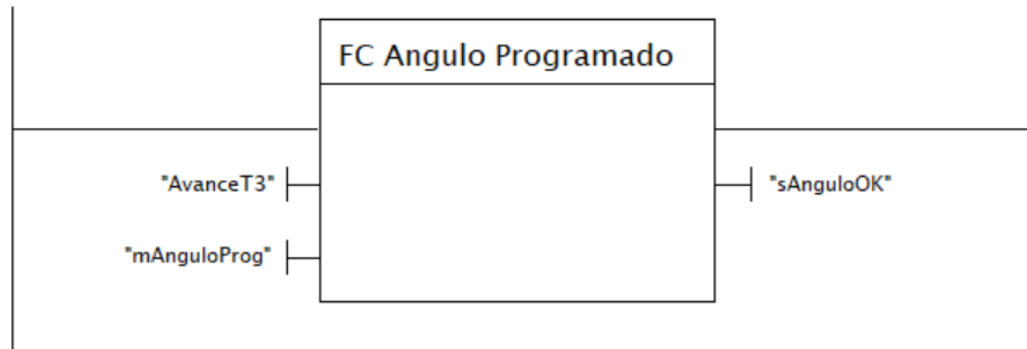
Luego, una vez la primera instrucción haya detectado que la fecha y la hora coinciden y se ha pasado a la etapa de riego programado, hay que cargar los datos por el operario en el programa. Por ello, el segundo segmento utiliza un bloque MOVE para cargar el valor de velocidad seleccionado y poder arrancar así el riego.



Finalmente, hay que determinar el momento en el que el riego programado debe pararse, para ello, el operario ha seleccionado un ángulo previamente que indica que porción del sector circular quiere regar. Este último segmento utiliza el bloque “*FC Angulo Programado*”, que da un valor TRUE en salida cuando el ángulo de avance coincide con el ángulo programado. Este valor de salida TRUE,



hace que se pase de la etapa “gsRiegoProgramado” a la etapa principal del programa.



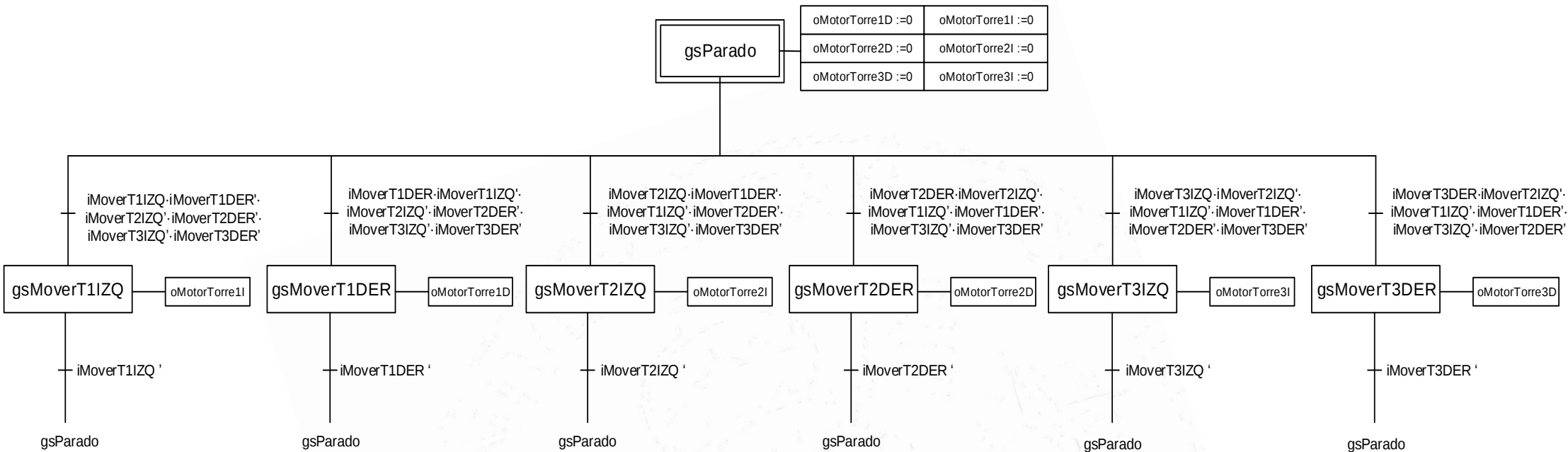
Bloque FB Control Manual

Este bloque define la lógica del control manual y es activado por el grafcet principal de manera subordinada. Aquí el operario puede seleccionar manualmente el movimiento de todas las torres del pivote en ambos sentidos. Por ejemplo, mientras se mantenga la orden de avance de la torre 2 hacia la izquierda (*iMoverT2IZQ*) el grafcet permanecerá en la etapa “*gsMoverT2IZQ*”, y activará la salida del motor de esa misma torre en el sentido izquierdo. Cuando se deje de enviar la orden de movimiento, el grafcet volverá al estado principal “*gsParado*” apagando todos los motores y quedando a la espera de una nueva orden.

Este grafcet no tiene un estado de para de emergencia, ya que está subordinado al principal y en el caso que se pulse la seta de emergencia se desactivará automáticamente este bloque hasta que se haya realizado el rearme del sistema.

Este bloque no cuenta con ninguna instrucción permanente.

- **Grafcet Control Manual**





Bloque FB Control Automático

Se podría decir que este bloque contiene la lógica más compleja de todo el programa, ya que es el encargado de controlar automáticamente el movimiento completo del pivote. Este control permite a la máquina avanzar a la velocidad programada por el operario y poder así regar la parcela. Este graficet se puede dividir en dos partes. La primera, el control automático de la máquina, y la segunda, la función de alinear la máquina. En los graficet adjuntados a continuación podemos ver la diferenciación de estas dos partes.

En la parte de control automático, el pivote está a la espera de recibir una orden de marcha, ya sea inmediata o programada anteriormente por el operario. Cuando recibe esta orden de marcha se activa el movimiento de la torre 3 a través de la etapa “*gsTorre3*”, pasado un instante el programa sale de esta etapa y pasa a dos ramas simultáneamente. Estas ramas son iguales en lógica, sin embargo, cada una es la encargada de controlar respectivamente la torre 1 y 2 del pivote. Por ejemplo, para la torre 2 se tiene un estado de espera “*gsEsperaTorre2*” en el que se permanece hasta que uno de los MicroSwitch de la torre detecta una desalineación hacia izquierda o derecha, moviéndose así a la etapa de “*gsMarchaTorre2*”. Esta etapa activa el motor en un sentido u otro según el MicroSwitch que esté activado, y cuando se detecta que la torre 2 vuelve a estar alineada (*iMicroCentroT2 := 1*) se vuelve a pasar a la etapa de espera. De esta manera se consigue un movimiento de avance conjunto del pivote.

En cualquier momento el operario puede dar la orden de parar el pivote, en ese caso, la lógica del programa llevaría al graficet al estado de “*gsParada*” a la espera de recibir alguna orden.

En la otra parte del graficet, encontramos la función de alinear el pivote. Esta parte de la lógica permite alinear el pivote de manera automática y dejarlo listo para su uso. Cuando el operario da la orden de alinear el pivote, el graficet pasa a la etapa de “*gsAlinear*”, allí permanece unos segundos y a continuación activa dos ramas simultáneamente. Cada una de las ramas se encarga de alinear las torres 2 y 3 con respecto al primer tramo del pivote. La razón de alinear las torres 2 y 3

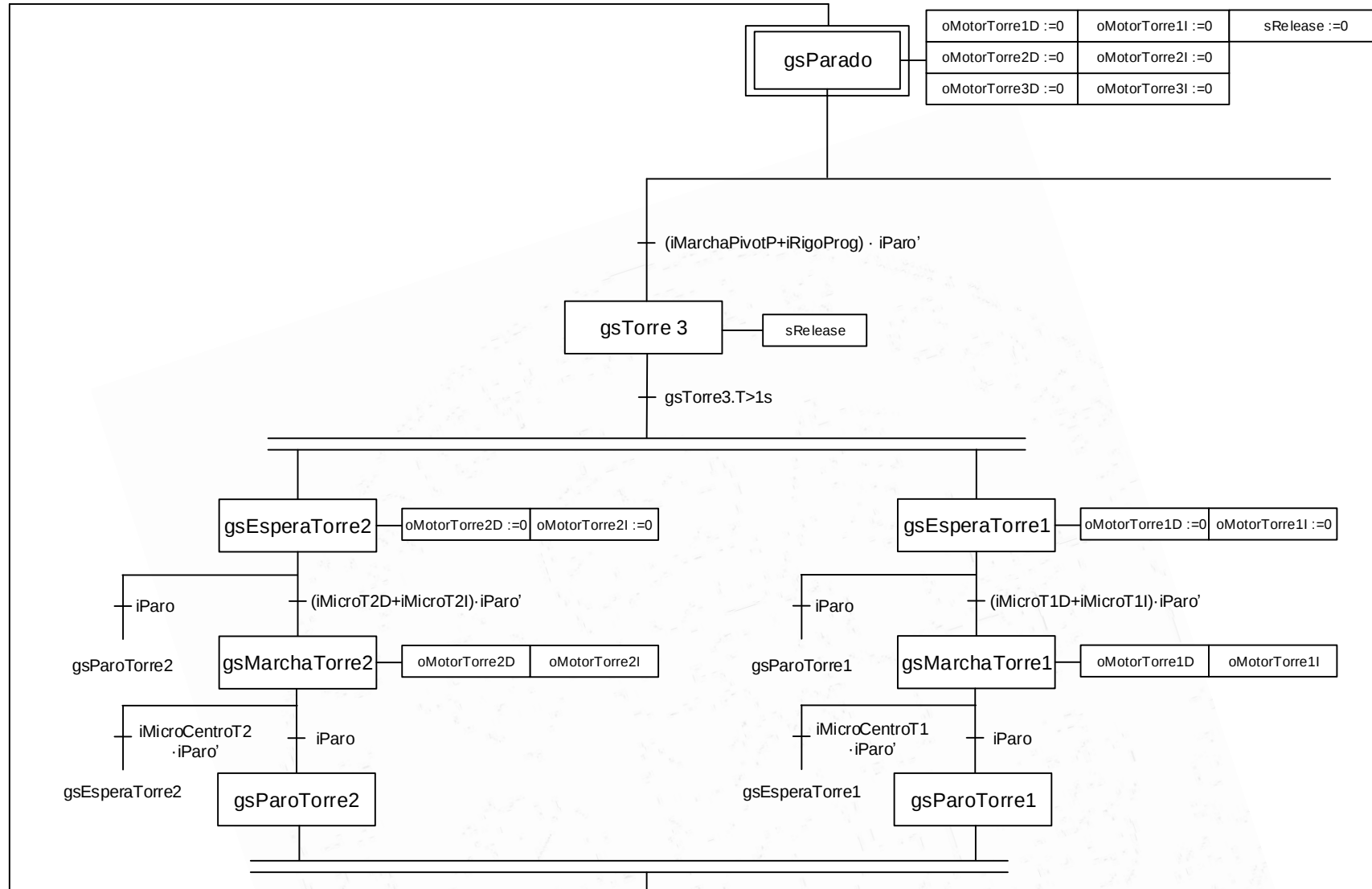


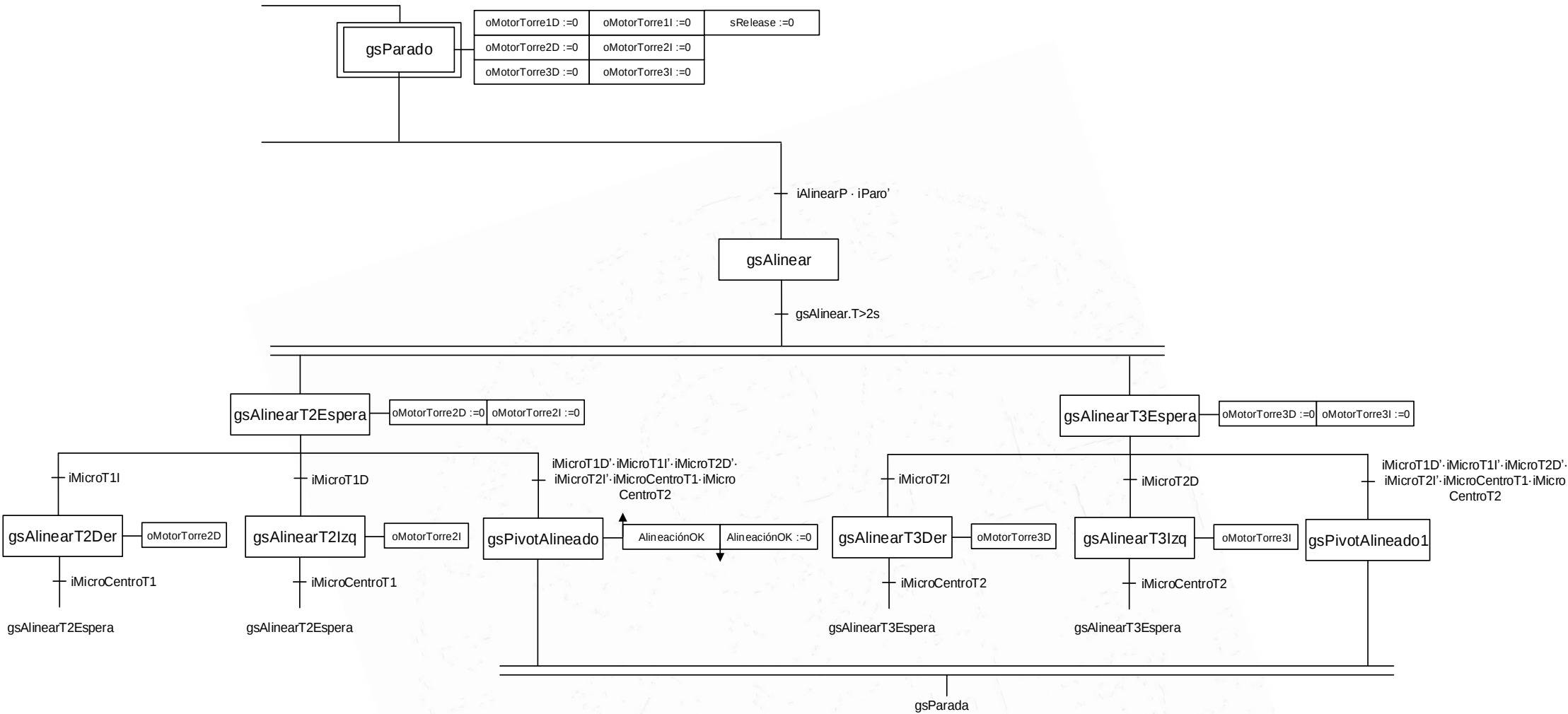
simultáneamente es para evitar que se produzcan esfuerzos en las articulaciones de la máquina.

- **Grafcet Control Automático**



Automatización de pivotes



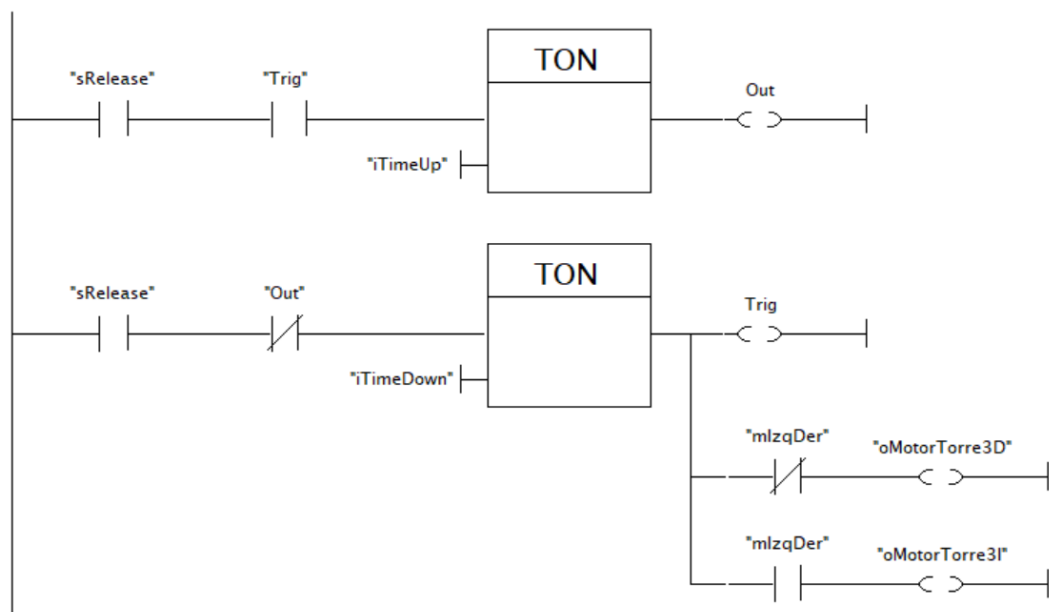




- **Instrucciones permanentes anteriores**

Este bloque solo cuenta con una instrucción permanente, pero esta es fundamental para el funcionamiento del mismo. Con este segmento se consigue que la torre 3 del pivote se mueva con la velocidad seleccionada por el operario, en el “OB main” se han calculado los tiempos en los que la torre 3 tiene que estar funcionando o parada durante cada minuto (“oTimeUp” “oTimeDown”).

Por tanto, con esta instrucción se consigue que el motor de la torre 3 reciba una señal cuadrada que le orden funcionar o pararse con la frecuencia adecuada. Está señal cuadrada se consigue con dos bloques TON y jugando con la alternancia de dos variables estáticas “Out” y “Trig”. El sentido de giro del motor viene determinado por la orden de derecha o izquierda proporcionada por el operario.



4.2.4 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

Una vez se ha explicado la estructura lógica del programa, se expondrá la solución elegida para la interfaz que permite al operario controlar el pivote. Por ello, se ha optado por elegir paneles táctiles que, por un lado, permitan dar las



diferentes órdenes necesarias a la máquina y, por otro, permitan supervisar el buen funcionamiento del sistema.

Los paneles elegidos son *SIMATIC HMI* de Siemens. La principal razón de su elección es la disponibilidad de los mismos en el laboratorio de la universidad, lo que ha hecho posible el trabajo en el laboratorio.

La interfaz de control y supervisión diseñada para el pivote de riego cuenta con cuatro imágenes diferentes:

- Imagen Principal
- Imagen Control Manual
- Imagen Control Automático
- Imagen Programación de Riego
- Imagen Gestión de Riegos

A continuación, se van a mostrar cada una de las pantallas diseñadas con cada uno de los elementos que contienen.

➤ **Imagen Principal**

Esta imagen es la imagen de inicio del control del pivote, en ella el usuario puede seleccionar el tipo de control que desea ejercer sobre la máquina. En este punto nos encontraríamos en la etapa “*gsParado*” del graficet principal.

Al pulsar en el pulsador de “*Automático*” se activa la entrada “*mControlAutomático*” y el graficet principal pasa a la etapa “*gsAutomático*”. Además, se activa “*Imagen Control Automático*”.

Por el contrario, si se pulsa el pulsador “*Manual*” se activa la entrada “*mControlManual*” y el graficet principal pasa a la etapa “*gsManual*”. Se activaría, consecuentemente, “*Imagen Control Manual*”.



Ilustración 26: Imagen Principal control pivote SIMATIC HMI Siemens

➤ Imagen Control Manual

En esta imagen, el operario puede controlar manualmente cada una de las torres del pivote en ambos sentidos. Por ejemplo, si el usuario mantiene pulsado el pulsador “IZQ” de la torre 2, se activaría “mMoverT2IZQ” y en el graficet de Control Manual se pasaría a la etapa “gsMoverT2IZQ” activándose el motor de la torre 2 en el sentido izquierdo. Una vez el operario deje de pulsar, la torre se detendrá y se pasará a la etapa “gsParado”.

Además, en esta imagen el usuario tiene un gráfico que le permite observar cómo se mueven cada una de las torres según se vaya ordenando el movimiento. Recordemos que este modo manual solo se utiliza para tareas de mantenimiento y conservación, nunca para regar.

Pulsando en “INICIO” el usuario vuelve a la “Imagen Principal”.

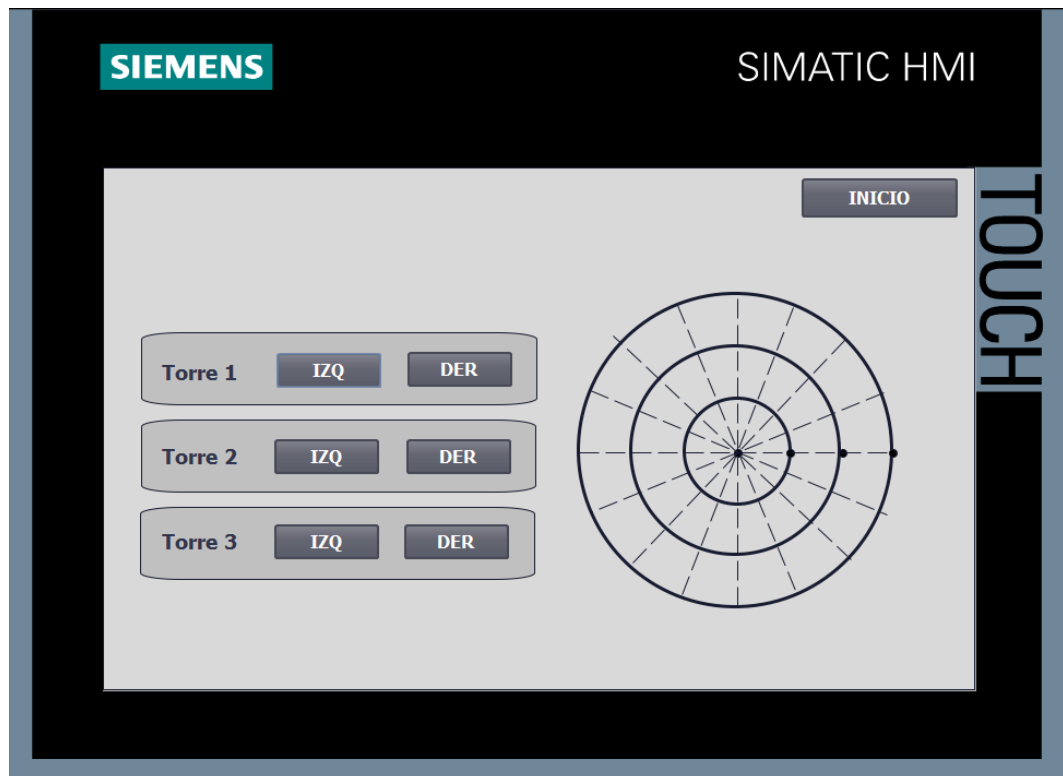


Ilustración 27: Imagen Control Manual SIMATIC HMI Siemens

➤ Imagen Control Automático

En esta imagen el operario puede configurar el pivote para hacerlo funcionar. Entre los elementos del panel podemos ver una serie de interruptores y pulsadores que permiten configurar el pivote antes de su puesta en marcha. Con el interruptor “Dirección” el usuario puede seleccionar el sentido de giro (“mIzqDer”), con el interruptor “Agua” se puede seleccionar si se alimenta o no el pivote con agua y con el deslizador vertical se puede seleccionar la velocidad de avance del pivote (“mVelocidad”).

Una vez configurado el pivote, el operario debe accionar el pulsador “Marcha” para que la máquina empiece a funcionar (“mMarchaPivotP”). Cuando se quiera parar el avance del pivote, el usuario debe accionar el pulsador “Paro” (“mParoPivotP”).

El interruptor “Alinear” permite al usuario ordenar la alineación del pivote. Una vez se haya completado, se desplegará en la pantalla un aviso informativo de que ha finalizado el proceso de alineado.

Arriba a la derecha se puede observar dos pulsadores. El pulsador “Programar Riego” permite acceder a la “Imagen Programar Riego” y el pulsador “Inicio” acceder a la “Imagen Principal”.

Como elementos de supervisión, se pueden encontrar un manómetro que indica la presión de alimentación de agua, dos pilotos que indican avería y riego, y finalmente un esquema que permite ver el avance real de cada una de las torres de pivote.

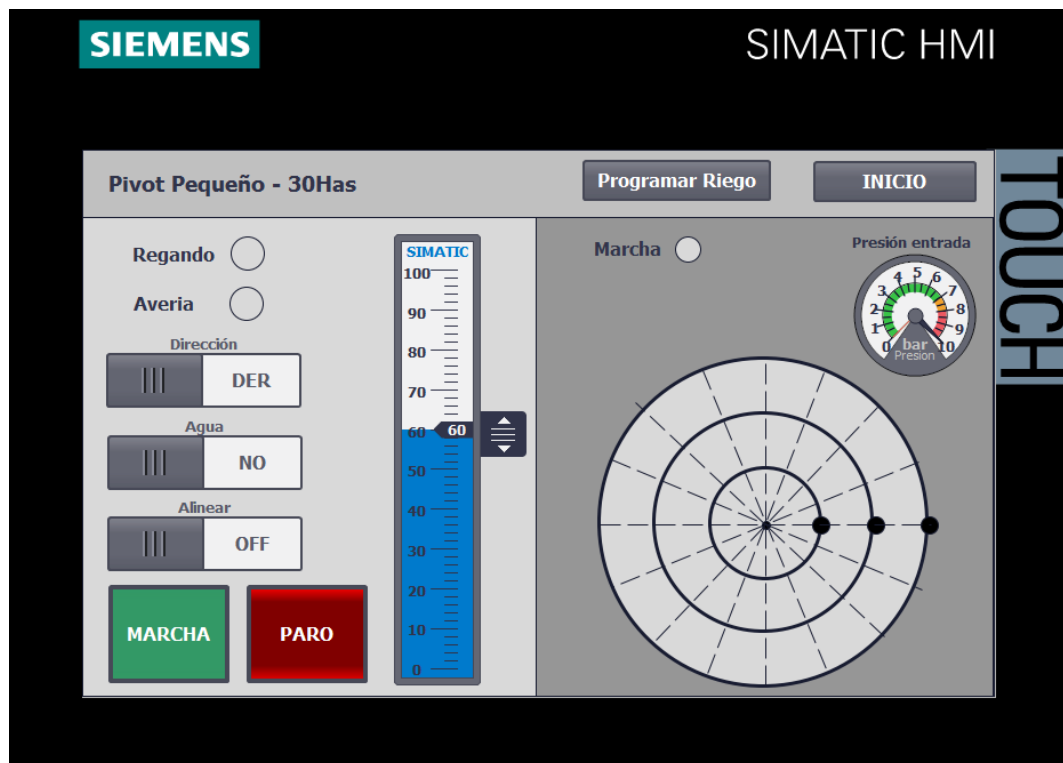


Ilustración 28: Imagen Control Automático SIMATIC HMI Siemens

➤ Imagen Programación de Riego

En esta pantalla el operario puede configurar el pivote para un riego y programar la fecha hora en la que se producirá. Para ello se cuenta con cuatro



desplegables “Día” “Mes” “Hora” y “Min” que permiten seleccionar cada una de estas variables “mDiaProg” “mMesProg” “mHoraProg” y “mMinProg”.

Con el deslizador vertical se selecciona la velocidad del pivote (“mVelocidadProg”) y con los dos interruptores se selecciona el sentido de giro (“mIzqDerProg”) y la alimentación con agua (“mAguaProg”). Finalmente, el desplegable “Angulo” permite elegir el ángulo de giro (“mAnguloProg”) al que se desea que finalice el riego programado.

Para guardar la configuración del nuevo riego programado, el operario debe accionar el pulsador “Guardar Programación”. Al guardar la programación, el riego quedará registrado. Se pueden guardar hasta cuatro riegos programados. Para indicar al operario que hay riegos programados, se desplegará en la “Imagen Principal” una ventana informativa que permite acceder a través del pulsado “Gestionar” a la “Imagen Gestión de Riegos”.

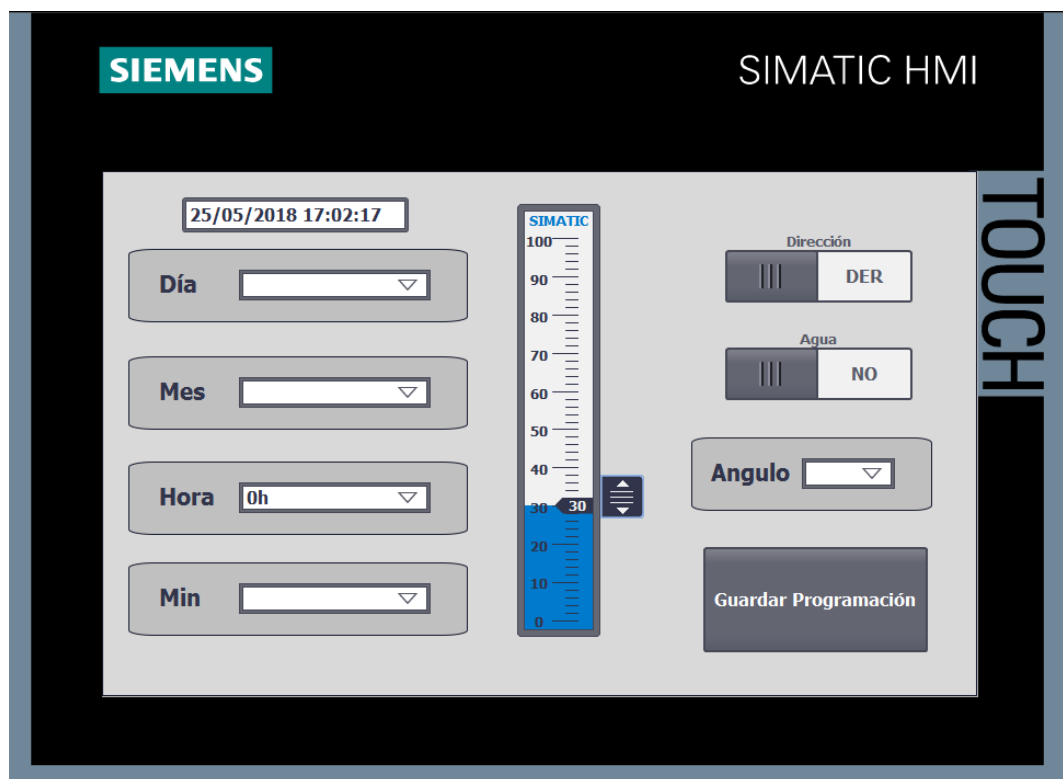


Ilustración 29: Imagen Programación de Riego SIMATIC HMI Siemens

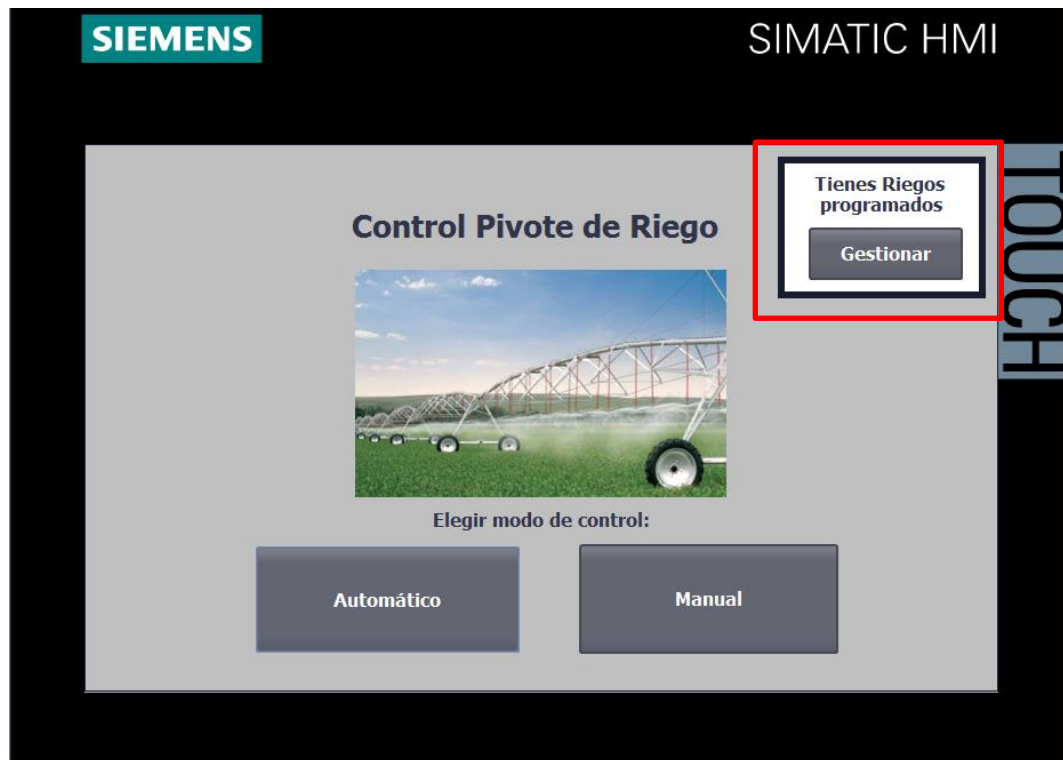


Ilustración 30: Aviso riegos programados Imagen Principal SIMATIC HMI Siemens

➤ Imagen Gestión de Riegos

En esta imagen, el operario poder visualizar en las diferentes ventanas todos los riegos programados previstos con la información respectiva de cada riego. Pulsando “*Modificar*”, el operario puede cambiar la configuración del riego programado y guardar de nuevo. Luego, pulsando “*Borrar*”, el operario borrará el registro del riego programado.

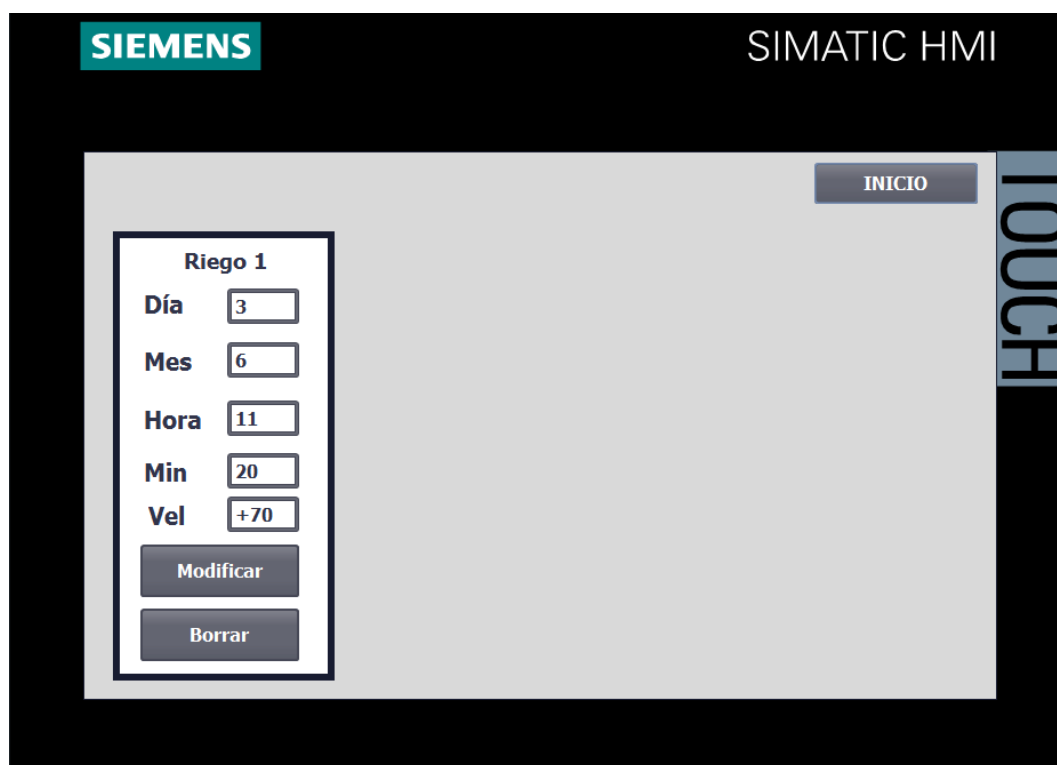


Ilustración 31: Imagen Gestión de Riegos SIMATIC HMI Siemens

4.3 SIMULACIÓN DE LA MÁQUINA

Durante el desarrollo de este proyecto ha sido imposible disponer de un pivote real para probar el funcionamiento del autómata programado. Por tanto, se ha optado por diseñar, dentro del programa, un bloque que simule el comportamiento del pivote. Este programa de simulación es independiente del programa de control de la máquina, pero se ejecuta dentro del mismo PLC. Además del bloque “FB Simulación”, se han añadido varios segmentos en el “OB Main” para hacer cálculos con variables.

Como se ha explicado en el apartado 4.2.3, el bloque de simulación recibe como entradas las salidas que ponen en marcha los motores de cada una de las torres del pivote, y como salida devuelve tres tiempos que simulan el avance de cada torre.

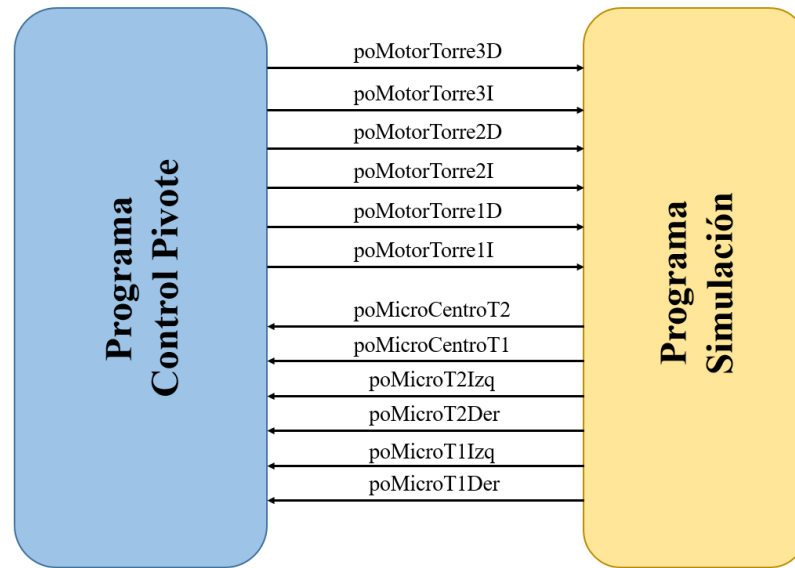


Ilustración 32: Variables de intercambio entre programa de control y el programa de simulación

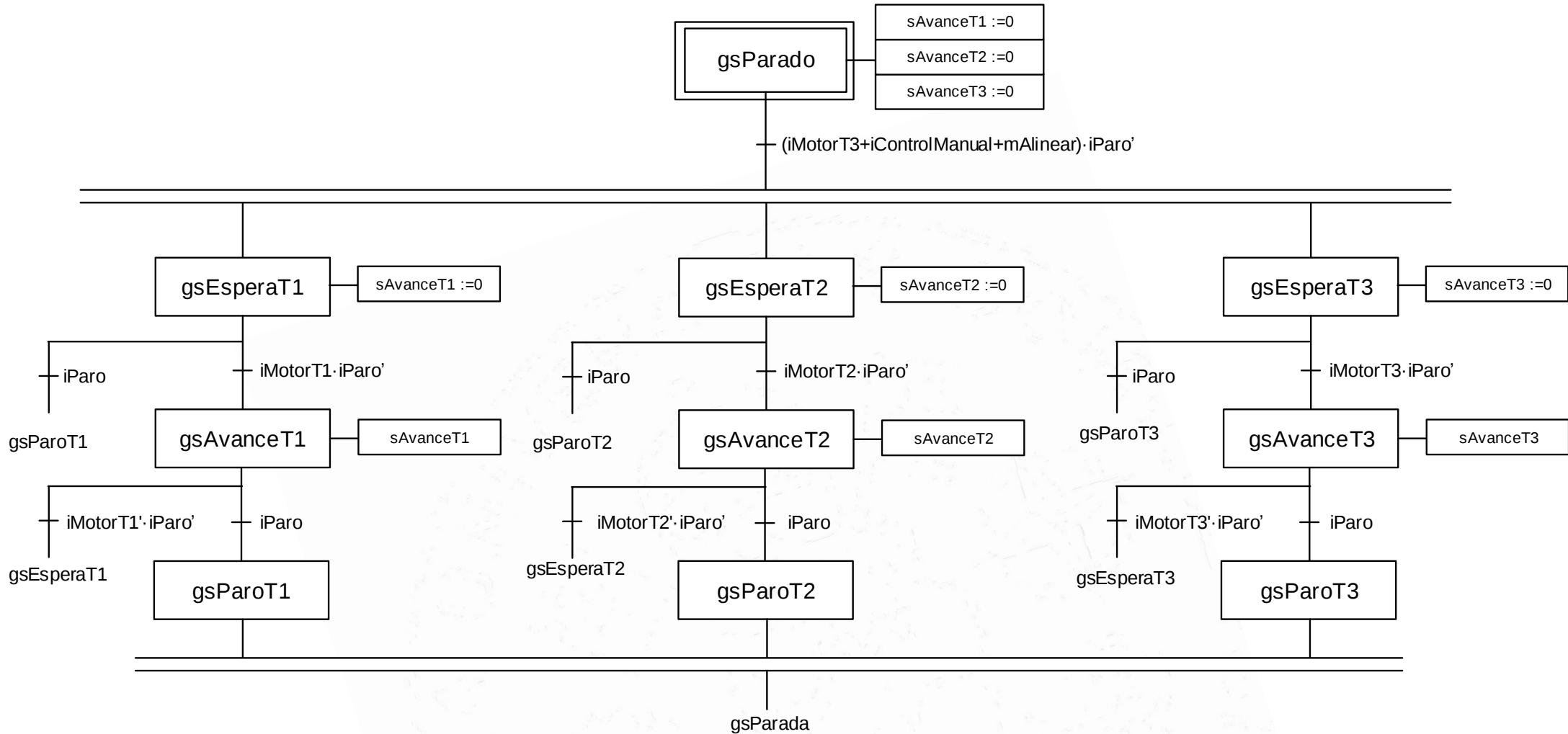
Para comprender mejor esta simulación se va a explicar primero la lógica interna del bloque y luego los segmentos de cálculo en el “OB Main”.

4.3.1 BLOQUE DE SIMULACIÓN

- **Grafcet Simulación**

El grafcet de simulación está en la etapa de “gsParado” a la espera de que el pivote se ponga en marcha. Cuando recibe la señal del motor de la torre 2 (“iMotorT3”), cuando recibe la señal del control manual (“iControlManual”) o cuando recibe la señal de la función alinear (“mAlinear”), se activan tres ramas de forma simultánea.

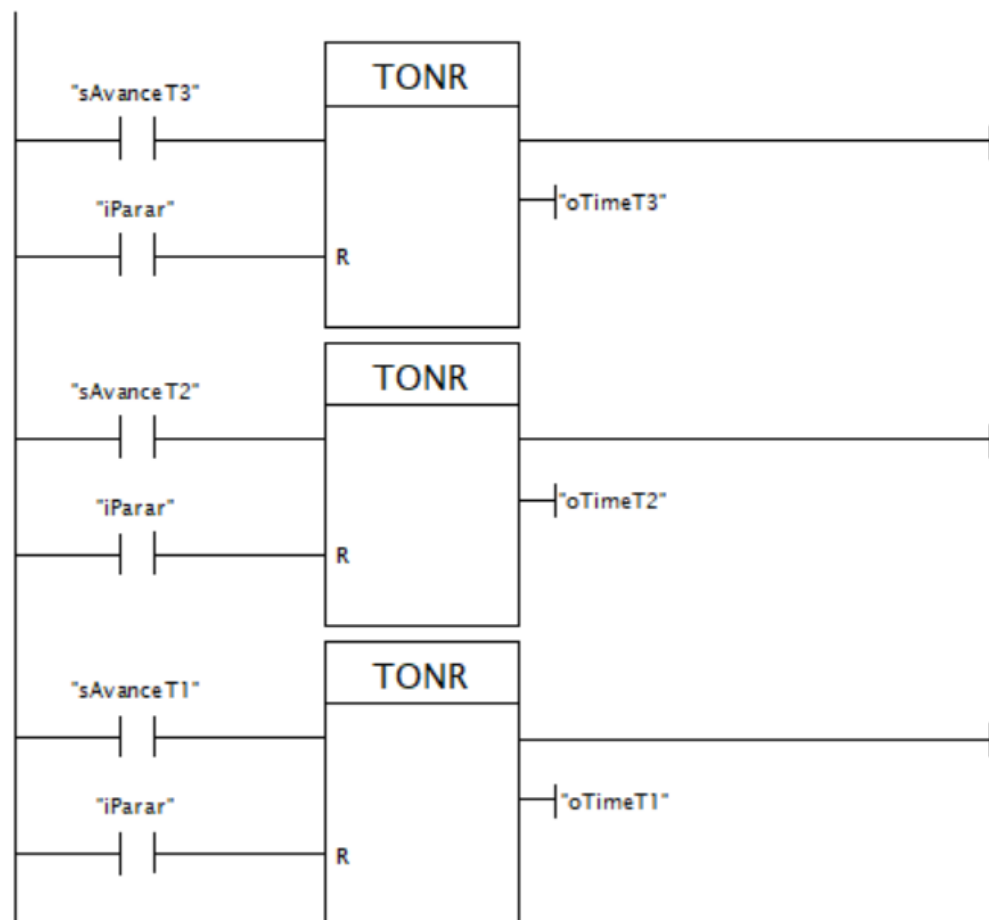
Cada una de estas ramas representa el funcionamiento de cada una de las tres torres. Todas están en estado de espera hasta que reciben la señal de que el motor de la torre está funcionando, en ese momento pasan a la siguiente etapa y ponen a 1 la variable estática correspondiente. (“sAvanceT1”, “sAvanceT2” y “sAvanceT3”). Estas tres variables son fundamentales para determinar el tiempo que están funcionando cada una de las torres. Este tiempo será calculado en las instrucciones permanentes anteriores del bloque.





- **Instrucciones Permanentes anteriores**

Con el graficet de simulación se ha conseguido tener una variable estática que nos indica que torre está funcionando en cada momento. El siguiente paso es contabilizar el tiempo que cada uno de los motores está funcionando. Para ello se ha introducido un segmento con tres temporizadores acumuladores TONR que se activan con las variables estáticas “sAvanceT1”, “sAvanceT2” y “sAvanceT3”, y se reinician cada vez que se para la máquina.



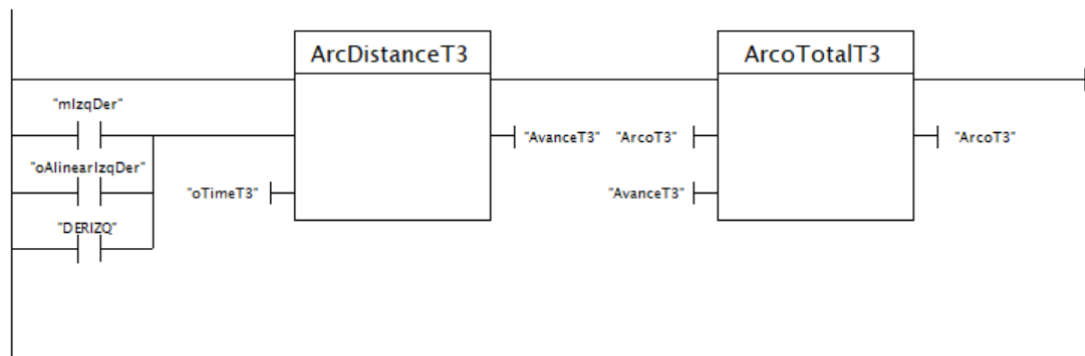
4.3.2 BLOQUES DE CALCULO

Con el bloque de simulación, se ha conseguido obtener tres variables de tiempo que indican el tiempo que están funcionando cada una de las torres. Por



tanto, se tiene que traducir este tiempo en avance de las torres, para ello se han introducido tres segmentos, uno para cada torre, que permiten obtener el avance en metros a partir de la variable tiempo.

Por ejemplo, a continuación, se puede ver el segmento correspondiente a la torre 3. En el primer bloque se calcula el avance en metros de la torre (“AvanceT3”), que será positivo si avanza hacia la derecha y negativo en caso contrario. Esta variable solo muestra el avance cuando el pivote está funcionando, una vez la máquina se para, la variable se pone a cero. Por tanto, en el último bloque se acumula en la variable “ArcoT3” el arco total que se ha desplazado la torre. Si se realiza un primer movimiento hacia la derecha de 90 metros de arco y a continuación se para la máquina y se realiza otro hacia la izquierda de 40 metros, el valor final sería “ArcoT3 := 50”



➤ Programación bloque “FC ArcDistanceT3”

```
#ArcDistanceT3 := DINT_TO_REAL((#oTimeT3/60)*3)/1000;  
IF (#izq = TRUE) THEN  
  #ArcDistanceT3 := - #ArcDistanceT3;  
END_IF;
```

➤ Programación bloque “FC ArcoTotalT3”

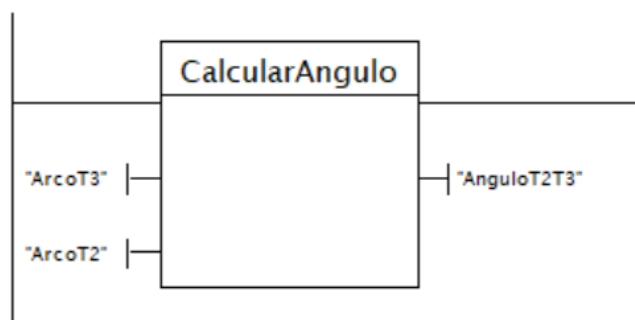
```
IF (#AvanceT3 = 0) THEN  
  #ArcoTotalT3 := #ArcoT3;  
  "SumaArcoT3" := #ArcoT3;  
ELSE  
  IF (#AvanceT3 < #ArcoT3) THEN  
    #ArcoTotalT3 := "SumaArcoT3" + #AvanceT3;  
  ELSE  
    IF (#AvanceT3 > 0) THEN
```



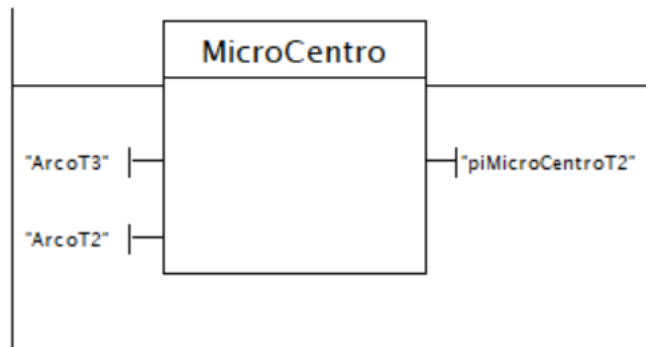
```
#ArcoTotalT3 := "SumaArcoT3" + #AvanceT3;  
ELSE  
#ArcoTotalT3 := #AvanceT3;  
END_IF;  
END_IF;  
END_IF;
```

Una vez calculado el avance circular de cada una de las torres, se tienen que calcular los ángulos que forman entre si cada uno de los tramos. Con esta información de ángulos, se pueden simular los estados de los MicroSwitch de cada una de las torres. Por tanto, se ha introducido dos bloques que permiten calcular los ángulos entre el tramo 1 y 2 (“*AnguloT1T2*”) y entre el tramo 2 y 3 (“*AnguloT2T3*”).

A continuación, se puede ver el segmento que calcula el ángulo entre el tramo 2 y 3. Para ello, se introducen como entradas los valores totales de los arcos de las torres 2 y 3, y con una simple fórmula se calcula el ángulo correspondiente.



Luego, para poder simular el estado de los MicroSwitch centrales que indican que los tramos están alineados (“*iMicroCentroT1*” y “*iMicroCentroT2*”), se ha introducido un nuevo segmento. Este segmento que se ve a continuación tiene como entradas los valores totales de los arcos de las torres 2 y 3, y como salida una variable booleana que tiene valor TRUE cuando los dos tramos están alineados. Este bloque es el mismo para la simulación del estado de ambos micros.



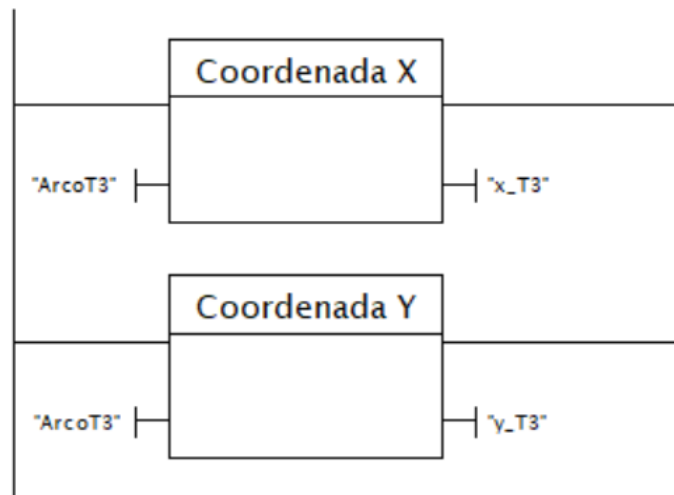
➤ Programación bloque “FC MicroCentro”

```
IF (ABS (#ArcoT3) > ABS (#ArcoT2)) THEN
    #DifArco := ABS (#ArcoT3) - ABS (2 * #ArcoT2);
ELSE
    #DifArco := ABS (2 * #ArcoT2) - ABS (#ArcoT3);
END_IF;

IF (#DifArco < 0.05) THEN
    #MicroCentro := TRUE;
ELSE
    #MicroCentro := FALSE;
END_IF;
```

Finalmente, para poder visualizar el movimiento de cada una de las torres en la pantalla táctil de la interfaz (*SIMATIC HMI Siemens*) se han introducidos círculos en la imagen que simulan cada una de las torres, y se le ha agregado a cada uno un movimiento directo. Para ello, se han traducido los valores totales de avance los arcos de cada torre, a dos coordenadas x e y.

A continuación, se puede ver el segmento que calcula las coordenadas x e y de la torre 3. Como entrada reciben el valor de avance circular de la torre 3 (“ArcoT3”), con este valor se calcula el ángulo theta con respecto al centro del pivote y se traducen las coordenadas polares a cartesianas.



Con todo esto se ha conseguido simular el comportamiento del pivote para poder comprobar que el programa de control del autómatas funciona correctamente. En el panel *SIMATIC HMI* se ha conseguido representar el movimiento de cada una de las torres según las órdenes del operario y las acciones del control. Esto permite tener una representación visual del buen funcionamiento del programa para poder asegurar que la solución aportada funciona correctamente.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL



Capítulo 5 AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO

En este capítulo, se van a exponer la solución desarrollada para la automatización del sistema de bombeo que suministra agua a los pivotes. Se definirá la lógica central del programa, y se darán detalles sobre el desarrollo del mismo y sobre el diseño de la interfaz.

Finalmente, en el último apartado de este capítulo se va a explicar el funcionamiento conjunto del sistema. Es decir, se darán detalles de cómo los PLCs de los pivotes se comunican con el centro de bombeo y la lógica conjunta del sistema.

5.1 DESCRIPCIÓN TOP-DOWN DEL PROBLEMA

Como se ha explicado anteriormente en el Capítulo 2, el sistema de bombeo es el encargado de suministrar agua a cada uno de los pivotes. Por ello, existen tres líneas de bombeo independientes que alimentan a cada uno de los pivotes de la finca. Estas líneas de bombeo deben arrancar en el momento que se pone en marcha el pivote correspondiente, pero, hay que recordar que el pivote puede avanzar en modo seco (sin regar), por tanto, hay que tener en cuenta la configuración que el operario ha dado al pivote antes de ponerlo en marcha. Por ejemplo, la línea de bombeo del pivote pequeño, solo se arrancará si el operario ha configurado el pivote pequeño en modo “Agua” y ha dado la orden de marcha del mismo.

Cuando se pone en marcha cualquiera de las líneas de bombeo, se siguen una serie de acciones en cadena:

- Primero se activa la bomba de vacío para que la tubería principal esté llena de agua y asegurar así que la bomba arranque siempre en carga.



- Una vez realizado el vacío, se arranca la bomba principal manteniendo la válvula de salida cerrada hasta que se alcance la presión de operación. Cuando se alcanza dicha presión, se abre la válvula para alimentar el pivote y comenzar a regar.
- Una vez finalizado el riego, el operario da la señal de parada. En ese momento, se abren las válvulas de limpieza para desatascar el filtro. Cuando la limpieza se ha realizado, se para la bomba principal y se esperan unos segundos a que la presión se reduzca y se cierra la válvula principal.

Todo este proceso de arranque y parado del bombeo debe ser supervisado a través de una interfaz y se debe realizar de manera automática. En la interfaz, el operario debe poder ver las bombas que están funcionando y el movimiento del agua a través de las tuberías. También, el operario debe poder observar parámetros sobre el funcionamiento de las bombas, tales como: presión, voltaje, intensidad y potencia.

Luego, el operario debe tener acceso a un modo de funcionamiento que le permita realizar tareas de mantenimiento. En este modo, se podrán activar y desactivar manualmente los diferentes elementos del centro de bombeo. Cuando el sistema se encuentre en este modo, no se podrán poner en marcha el bombeo de ninguno de los pivotes.

Además de suministrar agua a los pivotes, en el centro de bombeo se encuentra el sistema de fertirrigación. Como se ha explicado en el Apartado 3.2.3, el sistema cuenta con diferentes tanques que alimentan de abono líquido a las líneas de bombeo. El operario debe poder seleccionar a través de la interfaz el tipo de abono a inyectar y la línea en la que se inyecta.

Finalmente, se debe asegurar que la piscina que suministra agua al centro de bombeo tenga un nivel alto. Para ello, dos boyas de nivel (nivel alto y nivel bajo) deben arrancar la bomba de llenado. Como se explicó en el Capítulo 2, esta bomba de llenado conduce el agua desde el decantador hasta la piscina de los pivotes.



5.2 VARIABLES

El autómata recibirá como entradas físicas la información de los diferentes sensores dispuestos en la instalación. Las salidas del autómata serán las diferentes electroválvulas y los motores para activar las bombas.

Cabe destacar que las ordenes de arranque y paro para las diferentes líneas de bombeo, no son entradas físicas (excepto la parada de emergencia), estas órdenes vienen transmitidas por cada uno de los PLC situados en los pivotes de riego.

Entradas/Salidas Físicas			
Nombre	Tipo de dato	Dirección	Descripción
poValVacioP	Bool	%Q0.0	Solenoides válvula de vacío bomba pequeña
poValVacioM	Bool	%Q0.1	Solenoides válvula de vacío bomba mediana
poValVacioG	Bool	%Q0.2	Solenoides válvula de vacío bomba grande
poValPrincipalP	Bool	%Q0.3	Solenoides válvula principal bomba pequeña
poValPrincipalM	Bool	%Q0.4	Solenoides válvula principal bomba mediana
poValPrincipalG	Bool	%Q0.5	Solenoides válvula principal bomba grande
poValFiltroP	Bool	%Q0.6	Solenoides válvula limpieza filtro de bomba pequeña
poValFiltroM	Bool	%Q0.7	Solenoides válvula limpieza filtro de bomba mediana
poValFiltroG	Bool	%Q1.0	Solenoides válvula limpieza filtro de bomba grande
poBombaVacio	Bool	%Q1.1	Relé bomba vacío
poBombaP	Bool	%Q1.2	Relé bomba pequeña
poBombaM	Bool	%Q1.3	Relé bomba mediana
poBombaG	Bool	%Q1.4	Relé bomba grande
poValAbonoP	Bool	%Q1.5	Solenoides válvula de abono bomba pequeña
poValAbonoM	Bool	%Q1.6	Solenoides válvula de abono bomba mediana
poValAbonoG	Bool	%Q1.7	Solenoides válvula de abono bomba grande
piNivelPiscinaAlto	Bool	%I1.1	Boya nivel de piscina alto
piNivelPiscinaBajo	Bool	%I1.2	Boya nivel de piscina bajo
piParoEmergencia	Bool	%I1.6	Seta de emergencia
piPotenciaBombaP	Real	%ID2	Contador bomba pequeña
piPotenciaBombaM	Real	%ID6	Contador bomba mediana
piPotenciaBombaG	Real	%ID10	Contador bomba grande
piPresionP	Real	%ID14	Sensor de presión bomba pequeña
piPresionM	Real	%ID18	Sensor de presión bomba mediana
piPresionG	Real	%ID22	Sensor de presión bomba grande

Tabla 11: Entradas y salidas físicas del control del sistema de bombeo



5.3 ESTRUCTURA DESCRIPTIVA DEL PROGRAMA

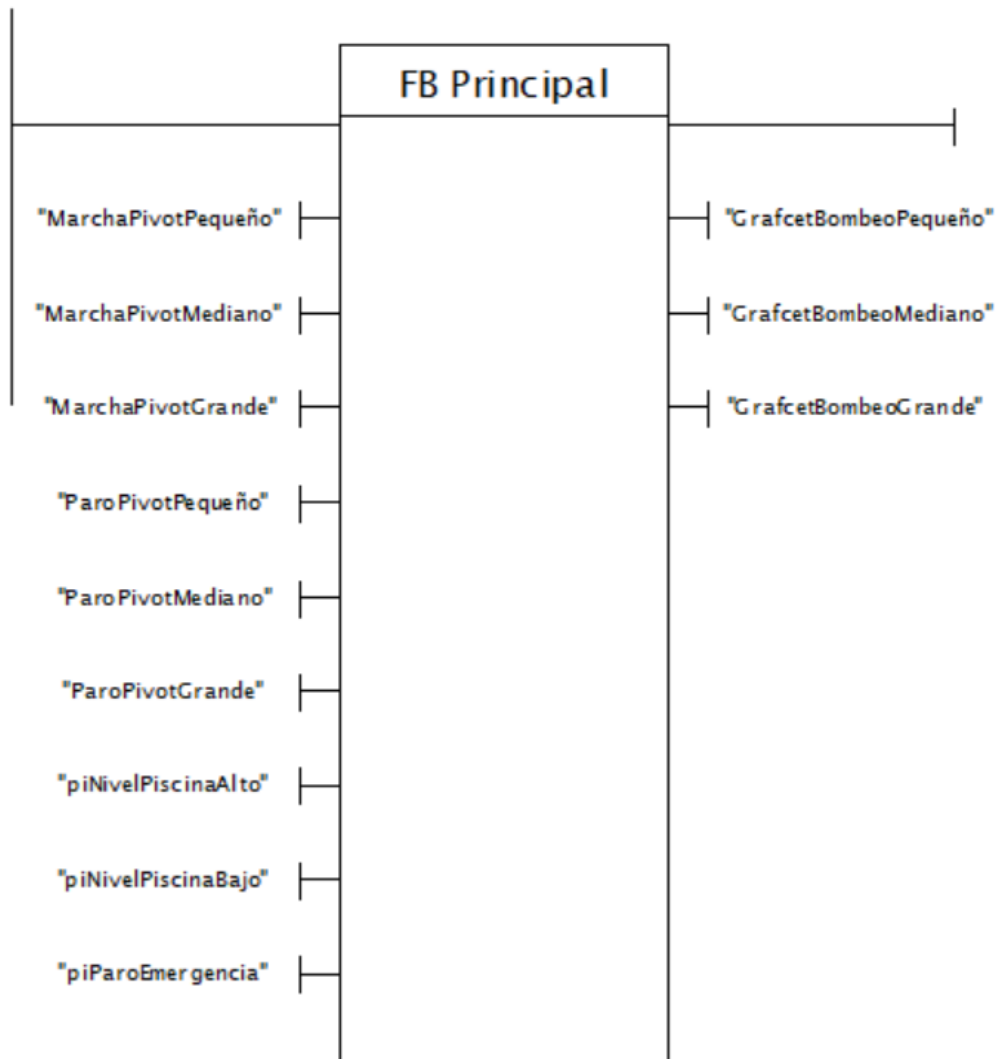
La lógica del programa la controla un grafcet principal que manda órdenes a grafcet subordinados. En se tienen los siguientes grafcets:

- **Grafcet Principal.** Determina la lógica global del sistema
- **Grafcet Bombeo Pequeño.** Determina el funcionamiento de la línea de bombeo que alimenta al pivote pequeño.
- **Grafcet Bombeo Mediano.** Determina el funcionamiento de la línea de bombeo que alimenta al pivote mediano.
- **Grafet Bombeo Grande.** Determina el funcionamiento de la línea de bombeo que alimenta al pivote grande.

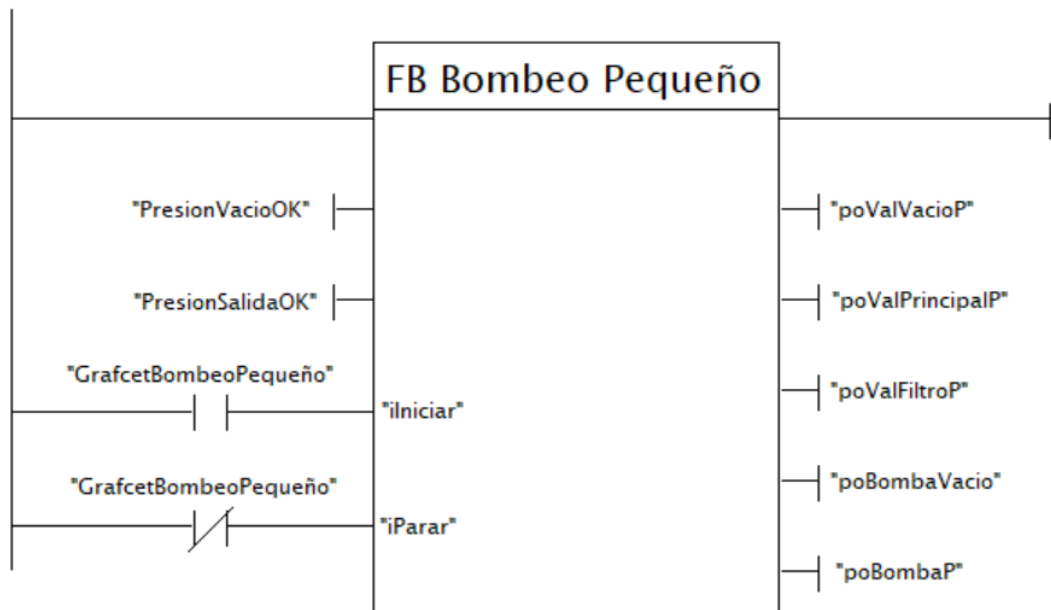
Al igual que se hizo para describir la lógica de control de los pivotes, se explicará uno a uno, de manera descriptiva, los diferentes bloques que componen el “OB main”. En los anexos se puede encontrar toda la información detallada.

Programa principal “OB Main”

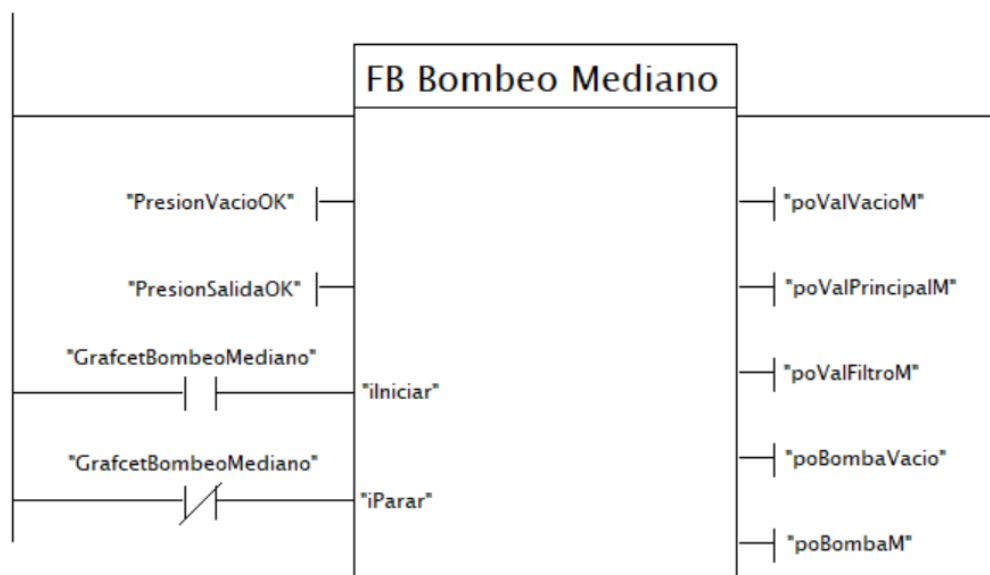
- **Segmento 1:** Contiene el bloque “FB Principal”. Este bloque es el encargado de activar cada uno de los bloques subordinados. Como salida se tienen variables booleanas para activar y desactivar los bloques.



- **Segmento 2:** Este segmento contiene el bloque “*FB Bombeo Pequeño*”. Este bloque tiene la lógica que controla el proceso de arranque y de parado de la línea de bombeo que alimenta el pivote pequeño. Como entradas tenemos el estado de presión, según el sensor, y la variable que activa el bloque. Como salidas tenemos los diferentes componentes de la línea de bombeo: válvulas, bomba...



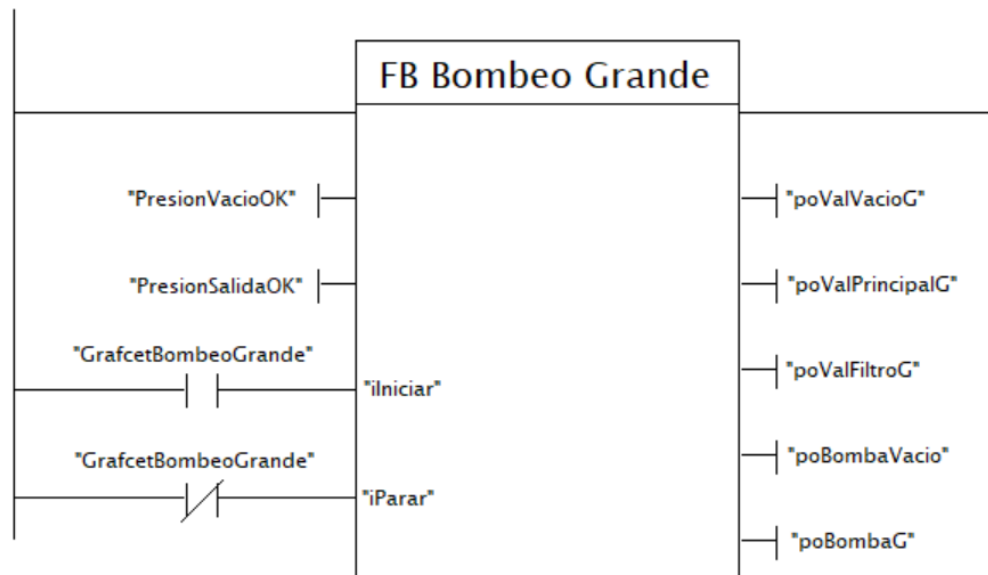
- **Segmento 3:** Este segmento contiene el bloque *"FB Bombeo Mediano"*. Este bloque tiene la lógica que controla el proceso de arranque y de parado de la línea de bombeo que alimenta el pivote mediano. Como entradas tenemos el estado de presión, según el sensor, y la variable que activa el bloque. Como salidas tenemos los diferentes componentes de la línea de bombeo: válvulas, bomba...



- **Segmento 4:** Este segmento contiene el bloque *"FB Bombeo Grande"*. Este bloque tiene la lógica que controla el proceso de arranque y de parado de la



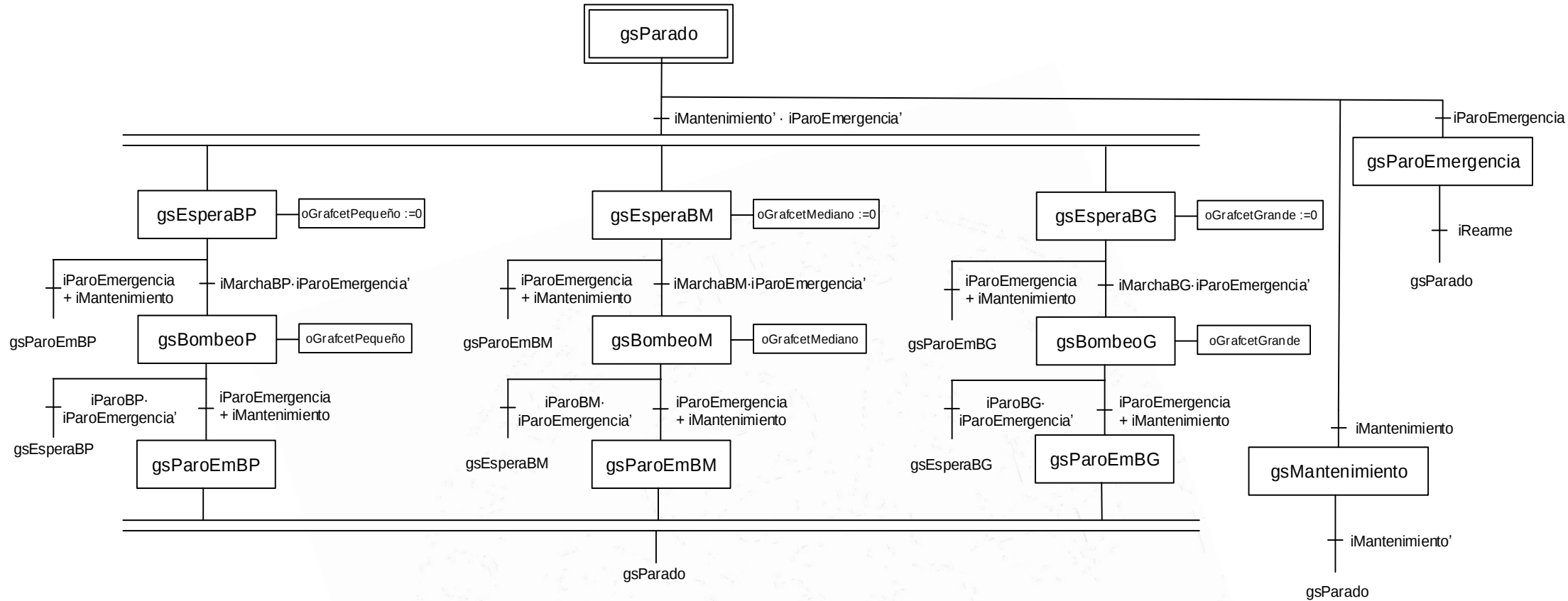
línea de bombeo que alimenta el pivote grande. Como entradas tenemos el estado de presión, según el sensor, y la variable que activa el bloque. Como salidas tenemos los diferentes componentes de la línea de bombeo: válvulas, bomba...



Bloque “FB Principal”

Este grafcet principal cuenta con tres ramas que se activan simultáneamente, cada una de las ramas representa una línea de bombeo para cada uno de los pivotes (líneas de bombeo pequeña, mediana y grande). Cada una de estas tres ramas se encuentran activas en el estado “*gsEsperaBX*” hasta que el operario de la orden “*iMarchaBX*” de arrancar, en ese instante se pasará al estado de “*gsBombeoX*” activando el grafcet de la línea de bombeo correspondiente.

En caso de emergencia se interrumpirá el grafcet en cualquiera de sus etapas, y se pasará a un estado de parada de emergencia (“*gsParoEmergencia*”) esperando al rearme.





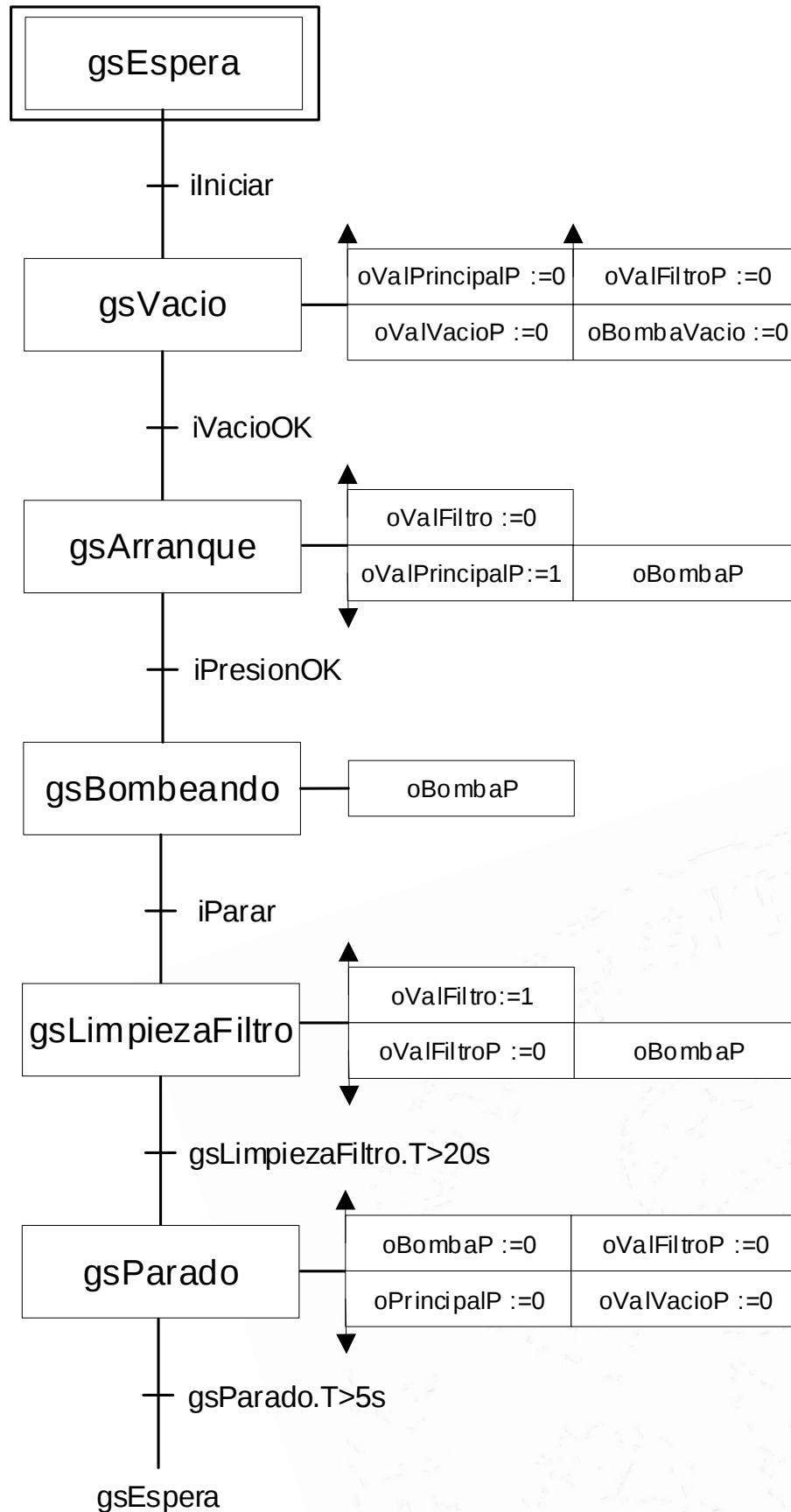
Bloque “FB Bombeo Pequeño”

La estructura de este graficet es la misma para cada uno de los bloques de los diferentes bombeos. Cuando en el graficet principal se recibe la orden de iniciar el graficet del bombeo pequeño (estado “*gsBombeoP*” en el graficet principal), el graficet de este bloque pasa del estado “*gsEspera*” a “*gsVacio*”. En el estado “*gsVacio*” se inicia el proceso de arranque de la línea realizando el vacío a la tubería.

Una vez se ha realizado el vacío y la tubería se encuentra a la presión adecuada, se arranca la bomba principal (“*oBombaP := 1*”) con la válvula de salida cerrada, para así poder incrementar la presión de la tubería. Cuando la presión de salida es la adecuada, se abre la válvula de salida (“*oValPrincipalP := 1*”) y se pasa a la siguiente etapa “*gsBombeando*”. En esta etapa la línea de bombeo funciona con normalidad a la espera de recibir la orden de parada.

Cuando se recibe la orden de parada, el graficet principal vuelve al estado “*gsEsperaBP*”, y el graficet del bombeo pequeño comienza el proceso de parado. Se pasa al estado “*gsLimpiezaFiltro*” donde, manteniendo la bomba en funcionamiento, se abre la válvula de limpieza durante 20 segundos para poder limpiar el filtro de partículas.

Una vez se ha limpiado el filtro, se pasa a la etapa “*gsParado*”, que detiene la bomba (“*oBombaP := 0*”) y espera cinco segundos a que la presión baje y poder cerrar así la válvula de salida (“*oValPrincipalP := 0*”). Finalmente vuelve a la etapa de “*gsEspera*”, esperando una nueva orden de arranque.





5.4 INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA

Una vez se ha explicado la estructura lógica del programa, se expondrá la solución elegida para la interfaz que permite al operario controlar y supervisar el sistema de bombeo. Por ello, se ha optado por elegir paneles táctiles que, por un lado, permitan dar las diferentes órdenes necesarias a la máquina y, por otro, permitan supervisar el buen funcionamiento del sistema.

Como ya se ha comentado en el capítulo anterior, los paneles elegidos son *SIMATIC HMI* de Siemens. La principal razón de su elección es la disponibilidad de los mismos en el laboratorio de la universidad, lo que ha hecho posible el trabajo en el laboratorio.

La interfaz de control y supervisión diseñada para el sistema de bombeo, cuenta con cuatro imágenes diferentes:

- Imagen Principal
- Imagen Supervisión Bombeo
- Imagen Fertirrigación
- Imagen Mantenimiento

A continuación, se van a mostrar cada una de las pantallas diseñadas con cada uno de los elementos que contienen.

➤ Imagen Principal

Esta pantalla es un simple menú de navegación, a través del cual, el operario puede acceder a las diferentes pantallas de la interfaz. Como se puede observar en la imagen, cuenta con tres pulsadores que permiten acceder a cada una de las imágenes: “*Supervisión bombeo*”, “*Fertirrigación*” y “*Mantenimiento*”.



Ilustración 33: Imagen Principal control bombeo SIMATIC HMI Siemens

➤ Imagen Supervisión Bombeo

Al pulsar sobre “Supervisión bombeo” en la pantalla principal, se accede a esta pantalla.

Esta pantalla solo tiene función de supervisión, en ella podemos observar todos los elementos de cada una de las líneas de bombeo. Las bombas y las tuberías se colorean de verde y azul respectivamente cuando están funcionando o tienen agua. Además, podemos ver en tiempo real el valor de la presión de salida leído por los sensores en cada una de las tres líneas de bombeo.

En la parte inferior de la pantalla, tenemos los manómetros de cada una de las líneas, además de, información relevante sobre los motores que alimentan las bombas.

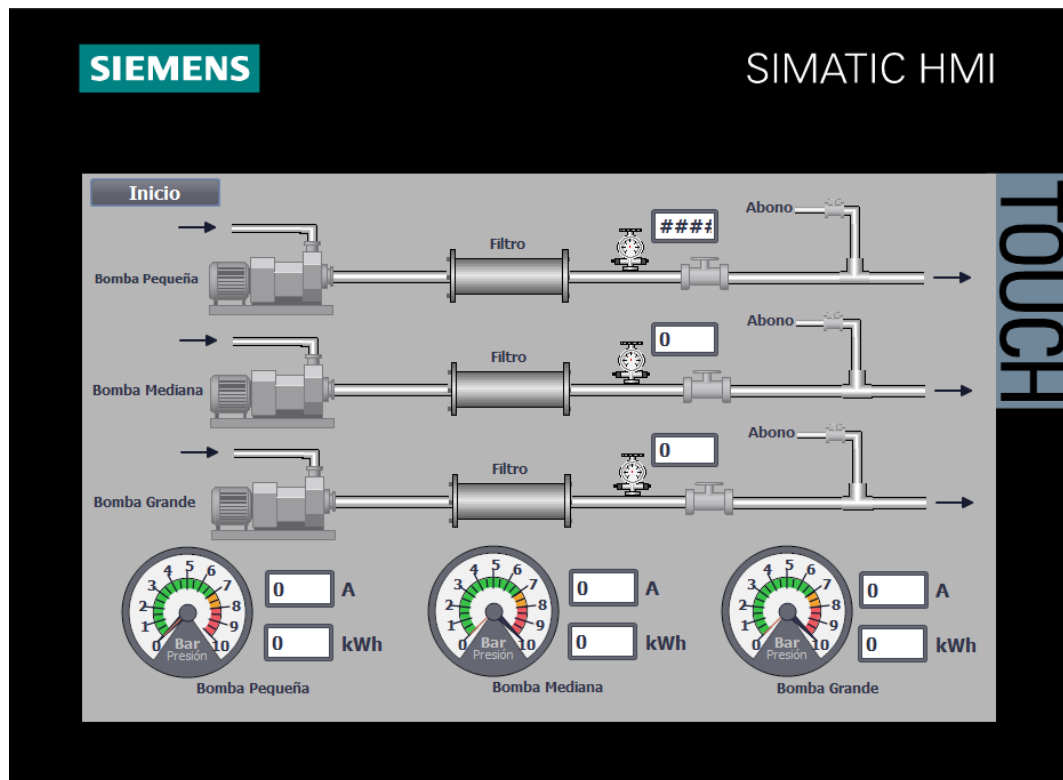


Ilustración 34: Imagen Supervisión Bombeo SIMATIC HMI Siemens

➤ Imagen Fertirrigación

Al pulsar sobre “Fertirrigación” en la pantalla principal, se accede a la imagen “Fertirrigación”. En esta imagen se encuentra el control manual del sistema de inyección de abono. Se pueden ver los tres tanques de abono con sus respectivos indicadores de nivel.

Con los interruptores, se pueden accionar las distintas electroválvulas del sistema de inyección para poder seleccionar el tipo de abono y la línea de bombeo en la que se quiere inyectar. Al accionar estas electroválvulas, en el panel, se resalta en azul el flujo que sigue el abono antes de ser inyectado.

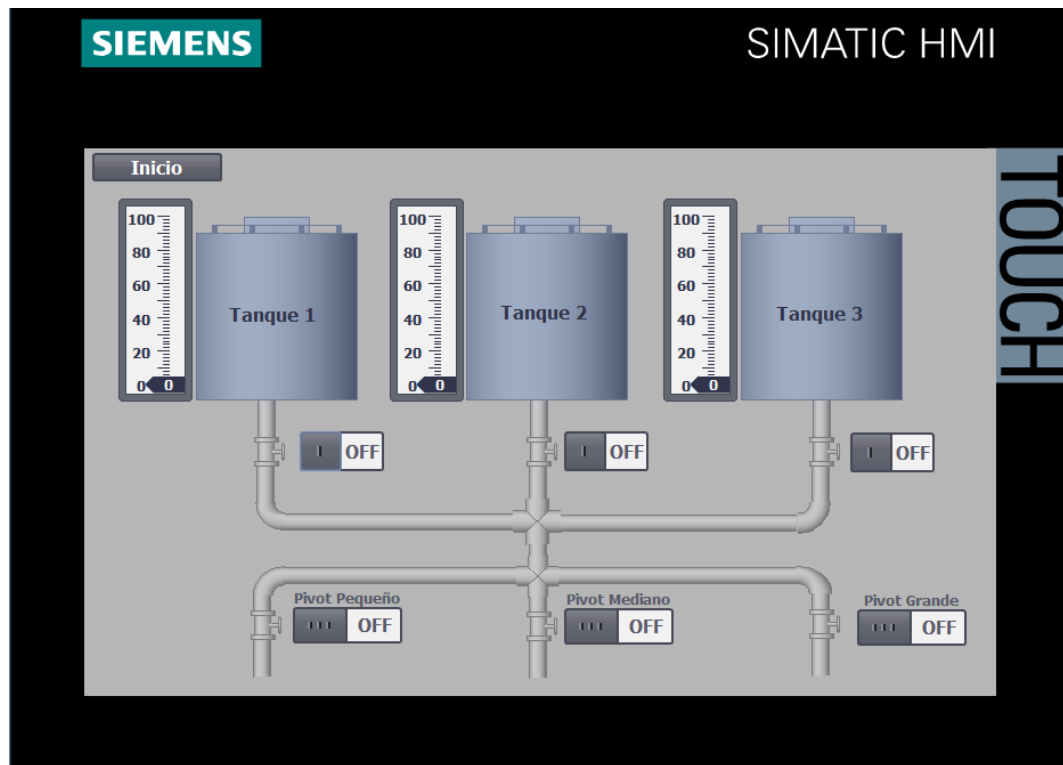


Ilustración 35: Imagen Fertirrigación SIMATIC HMI Siemens

➤ Imagen Mantenimiento

Al pulsar sobre “Mantenimiento” en la pantalla principal, se accede a esta imagen. Esta pantalla permite un control manual de los diferentes elementos del sistema de bombeo, para poder realizar tareas de mantenimiento en el sistema.

En la pantalla se pueden acceder al control de cada una de las tres líneas, y a través de interruptores accionar cada uno de sus elementos. Además, se proporciona también información sobre el estado de la presión a través de unos indicadores de aguja (manómetros).

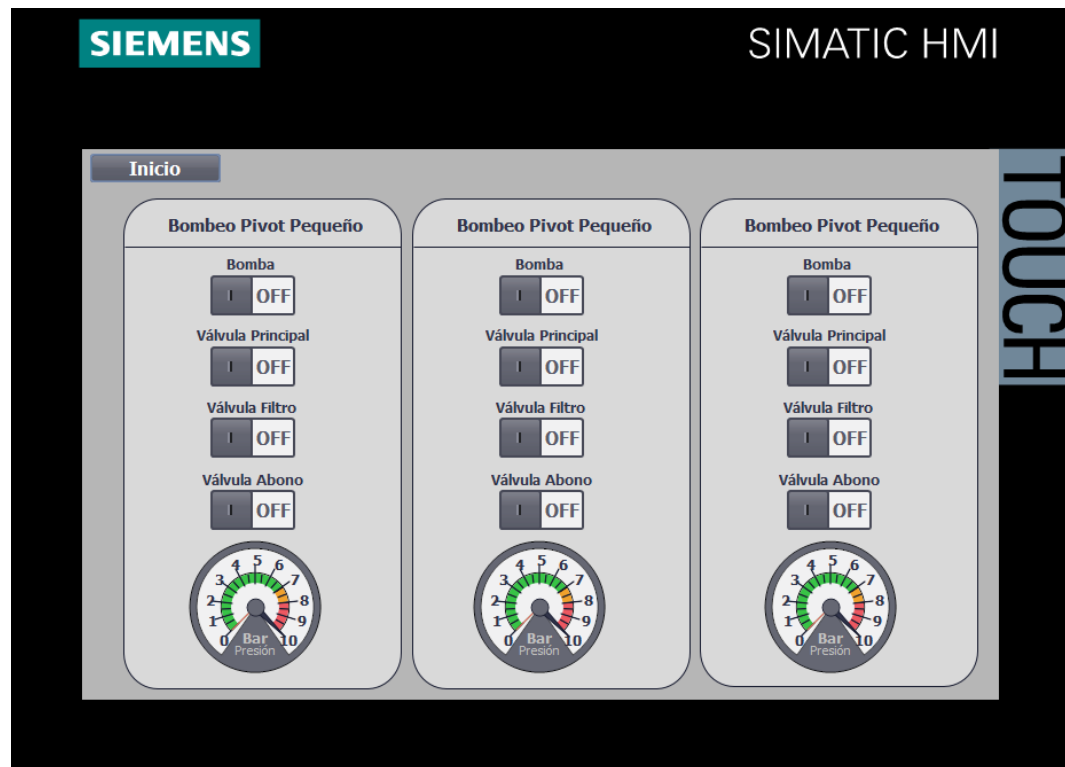


Ilustración 36: Imagen Mantenimiento SIMATIC HMI Siemens

5.5 FUNCIONAMIENTO CONJUNTO DEL SISTEMA

Una vez completada la automatización tanto de los pivotes como del sistema de bombeo, se deben definir las pautas para que todos los autómatas funcionen conjuntamente. Hay que recordar que, como se ha visto en el capítulo 3, en nuestro sistema contamos con cuatro autómatas, tres situados en cada uno de los pivotes y uno en el centro de bombeo.

Los autómatas de los pivotes “PLC Pivote” deben mandar la información de marcha, paro y movimiento con agua al autómata central “PLC Central” para que este ponga en marcha la línea de bombeo correspondiente.

Para simular el comportamiento conjunto de los autómatas, se han utilizado dos PLCs del laboratorio, uno que simula el “*PLC Central*” y otro que simula el “*PLC Pivote*”. Ambos intercambian información utilizando la red PROFINET que los conecta entre sí. En la siguiente imagen podemos ver el esquema de conexión entre los PLCs.

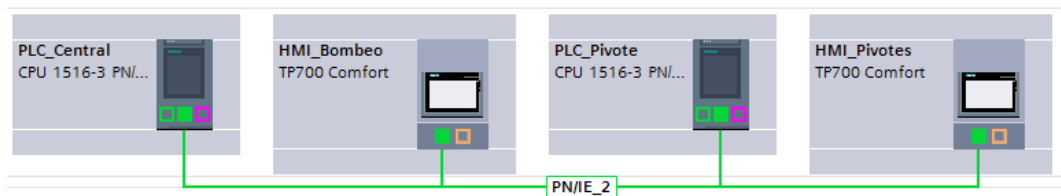


Ilustración 37: Esquema de conexión entre PLCs

En este caso, la información se envía desde el “*PLC Pivote*” al “*PLC Central*” en forma de byte que contiene tres variables booleanas: *mParoPivot*, *mMarchaPivot*, *mAgua*. El byte donde se almacenan estas tres variables lo hemos denominado “*TO_SEND*”. Por lo tanto, introducimos en el main del “*PLC Pivote*” un bloque TSEND_C, que permite enviar un byte utilizando la conexión PROFINET. Este bloque TSEND_C debemos configurarlo de tal manera que quede definido cual va a ser el PLC interlocutor y la vía por la cual se va a enviar la información.

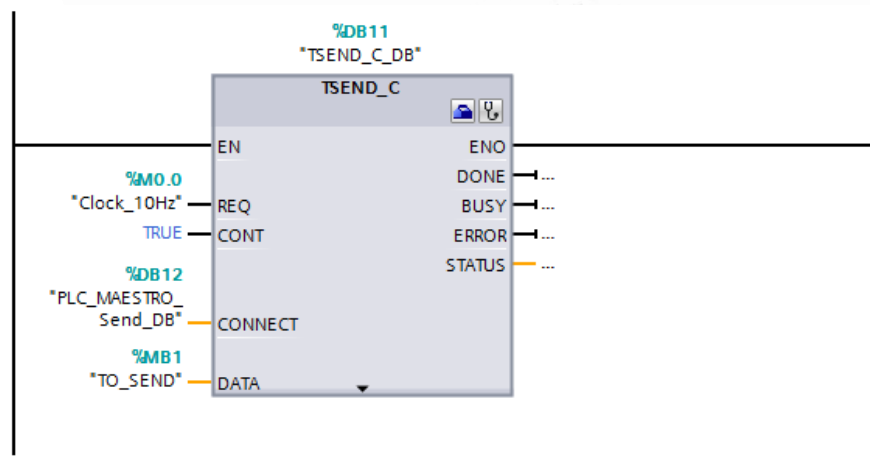


Ilustración 38: Bloque TSEND_C en el main del PLC Pivote

Local	Interlocutor
Punto final: PLC_Pivote [CPU 1516-3 PN/DP]	PLC_Central [CPU 1516-3 PN/DP]
Interfaz: PLC_Central, Interfaz PROFINET_1 [X1]	PLC_Pivote, Interfaz PROFINET_1 [X1]
Subred: PN/IE_2	PN/IE_2
Dirección: 192.168.56.12	192.168.56.11
Tipo de conexión: TCP	
Modo de configuración: Utilizar bloque de programa	
ID de conexión (dec): 1	1
Datos de conexión: PLC_MAESTRO_Send_DB	PLC_11_Receive_DB
☒ Establecimiento activo de la conexión	☐ Establecimiento activo de la conexión

Ilustración 39: Configuración del bloque TSEND_C

Luego, para que el “PLC Central” reciba la información, es necesario introducir en su main un bloque TRCV_C que permita recibir la información enviada por el otro PLC. Esta información se almacenará en el byte TO_RECEIVE para acceder desde la lógica del programa. Al igual que el bloque TSEND_C, hay que configurar este bloque para determinar que PLC envía la información y a través de qué red. En las siguientes imágenes se pueden ver las configuraciones.

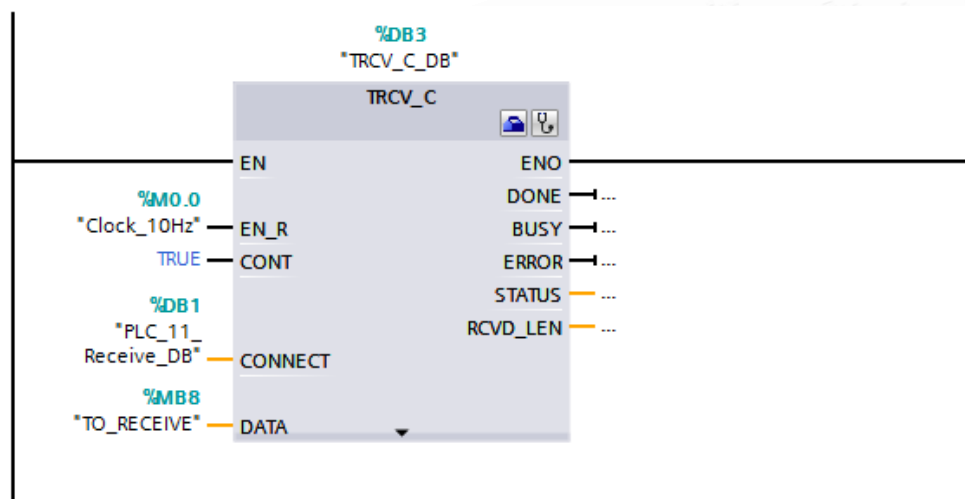


Ilustración 40: Bloque TRCV_C en el main del PLC Central



The screenshot displays the configuration interface for the TRCV_C block, divided into two main sections: Local and Interlocutor. Each section contains a series of configuration parameters for a PLC connection.

Local	Interlocutor
Punto final: PLC_Central [CPU 1516-3 PN/DP]	PLC_Pivote [CPU 1516-3 PN/DP]
Interfaz: PLC_Pivote, Interfaz PROFINET_1[X1]	PLC_Central, Interfaz PROFINET_1[X1]
Subred: PN/IE_2	PN/IE_2
Dirección: 192.168.56.11	192.168.56.12
Tipo de conexión: TCP	
Modo de configuración: Utilizar bloque de programa	
ID de conexión (dec): 1	1
Datos de conexión: PLC_11_Receive_DB	PLC_MAESTRO_Send_DB
☐ Establecimiento activo de la conexión	☒ Establecimiento activo de la conexión

Ilustración 41 :Configuración del bloque TRCV_C

En el laboratorio se ha comprobado que la comunicación entre los PLCs funciona correctamente, y que con la orden de marcha proveniente del “PLC Pivote”, se arranca sin problema la línea de bombeo correspondiente.



Capítulo 6 COMUNICACIÓN DE DATOS CON LA NUBE

Como se explicó en el capítulo introductorio de esta memoria, la segunda parte de este proyecto es la parametrización y obtención de datos del sistema. Esta fase del proyecto es clave para desarrollar un sistema que avance hacia las exigencias de la agricultura 4.0.

Con este sistema el agricultor debe poder, no solo controlar el sistema de forma automática, sino también conocer el rendimiento y la eficiencia del mismo a través de datos clave que le ayuden en la toma de decisiones. Esta información permite al agricultor saber, por un lado, que su sistema está funcionando correctamente o, por el contrario, hacer los cambios pertinentes para conseguir ser más eficiente en su uso.

Por ello, primero, se van a definir los parámetros relevantes que pueden ser de utilidad para el agricultor. Y luego, se va a diseñar un sistema que permita, a través del PLC, obtener estos datos y mandarlos a la nube para poder gestionarlos desde ahí.

6.1 ESTUDIO DE DATOS RELEVANTES

Antes de diseñar la comunicación del PLC con la nube, es necesario pensar acerca de cuáles son los datos más interesantes para el agricultor. Diferenciamos entre los datos de campo (datos exteriores al sistema de riego) y los datos propios del sistema de riego.

➤ Datos de campo

Los datos de campo permiten al agricultor conocer el estado de sus cultivos en todo momento, y poder así tomar decisiones correctivas en la forma de operar la



plantación. Así pues, en un sistema de riego como el planteado, uno de los parámetros más relevantes es la humedad del suelo.

La humedad se mide como el porcentaje de agua que hay contenido en una unidad volumétrica de suelo. Este dato permite conocer si la aplicación, llevada a cabo con el sistema de riego, es la correcta según las características del suelo y las necesidades de la planta. Además, según el tipo de cultivo, las raíces se encuentran situadas a cierta profundidad y, aunque en la superficie el suelo este completamente seco debido a la evapotranspiración, al nivel de profundidad de las raíces, el valor de humedad es el correcto. Luego, el nivel de humedad en el suelo permite identificar si los aspersores del pivote están aplicando el agua de manera esperada y con las aplicaciones hídricas determinadas por el fabricante.

Por tanto, conociendo los niveles de humedad del suelo, el agricultor puede, por un lado, ahorrar agua si determina que el suelo se encuentra en el nivel de humedad óptimo y no necesita ser regado, o por otro, mejorar la producción del cultivo regándolo justo en los momentos de necesidad. Además, puede verificar y corregir el funcionamiento del pivote.

Por otro lado, una información clave para el agricultor, son los datos meteorológicos de la finca tales como: pluviometría, temperatura, humedad ambiente... Por ejemplo, si la pluviometría de un día supera la demanda de agua del cultivo, no sería necesario realizar ningún riego.

Por último, otra variable clave para la gestión del riego, es la evapotranspiración del cultivo. La evapotranspiración del cultivo se define como la pérdida de humedad directa del suelo debido a la evaporación atmosférica y a la transpiración del cultivo. Este dato permite al agricultor conocer la rapidez a la que se está evaporando el agua contenida en el suelo del cultivo, y poder decidir así si regar con más o menos frecuencia. Para calcular la evapotranspiración del cultivo (ET_c) es necesario multiplicar la evapotranspiración potencial (ET_o) por un coeficiente k_c que viene determinado por el tipo de cultivo. (Ver fórmula [1])

$$ET_c = k_c ET_o \quad [1]$$



Dónde la evapotranspiración potencial según la fórmula de Hargreaves se calcula de la siguiente forma, dónde R_s es la radiación solar incidente y t_{med} la temperatura media.

$$ET_o = 0,0135(t_{med} + 17,78)R_s \quad [2]$$

➤ Datos del sistema

Los datos del sistema son las diferentes variables del mismo que permiten controlar y verificar que el sistema de riego funciona correctamente y de forma óptima. En un sistema de riego por pivotes, los niveles de presión son factores clave para asegurar un buen funcionamiento. Los pivotes están diseñados con unas dotaciones de agua determinadas según las características de la finca y de los cultivos, y para que estos caudales sean adecuados, solo hay dos variables que influyen directamente: la presión de las tuberías y el diámetro.

Si el sistema se encuentra en buen estado, el diámetro de las tuberías debe ser constante, sin embargo, la presión en los distintos puntos del sistema de tubería varía dependiendo de varios factores. Por ello, se determinarán dos presiones:

- Presión a la salida de la bomba para asegurar un buen funcionamiento del motor y del rodete.
- Presión en el centro del pivote para asegurar que el nivel de presión se ajusta al determinado por el fabricante.

Además, en sistemas de riego de estas dimensiones, el consumo energético de los motores de las bombas supone el principal desembolso económico para el agricultor. Por ello, conociendo la energía eléctrica consumida por cada una de las bombas el agricultor puede conocer el desembolso económico que está repercutiendo directamente sobre un cultivo. Este dato le permitirá tomar decisiones de riego desde el punto de vista económico, además de saber si la energía que está consumiendo se encuentra dentro de los rangos determinados por los distintos periodos de las tarifas evitando así sobrecargos por parte de la comercializadora.



Durante el desarrollo de este proyecto, se desarrollará en el laboratorio un prototipo que permita la visualización de algunos de estos datos desde una aplicación web en la nube.

6.2 ENVÍO DE DATOS A LA NUBE

Una vez definidos los datos que se quieren medir, hay que diseñar la conexión necesaria para que el agricultor pueda tener acceso a esos datos en tiempo real y desde cualquier parte.

Como se ha explicado en el capítulo 3, los datos se enviarán a la nube a través del *PLC Central* situado en la estación de bombeo.

Como soporte Cloud se ha optado por utilizar la plataforma IBM-Cloud debido principalmente a dos motivos: periodo de prueba gratuito con un límite de memoria razonable, y la disponibilidad de documentación acerca del funcionamiento de la misma.

6.2.1 CONFIGURAR PLC COMO SERVIDOR

El primer paso para conectar el PLC con IBM-Cloud es configurar el autómata como un servidor. El PLC S7-1500 cuenta con distintas configuraciones que permiten comunicar datos a través de protocolos tales como OPC-UA o TCP. En este caso, se ha optado por utilizar el protocolo TCP, debido a que IBM cuenta con librerías predeterminadas para este tipo de comunicación. El protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*) es un sistema de comunicación que permite enviar corrientes de datos a través de las capas de transmisión de Internet.

Para configurar el autómata¹ como servidor, hay que cambiar algunas características del PLC a través del TIA PORTAL V14:

1. Activar el servidor web en el módulo y permitir el acceso vía HTTPS
2. Definir los puertos de comunicación y direcciones IP. En este caso, se han configurado la IP determinada por la universidad para este PLC (172.20.0.20) y los puertos de comunicación seguros definidos por la universidad (4840)
3. Introducir bloque de conexión TCON para activar la conexión TCP del autómata.

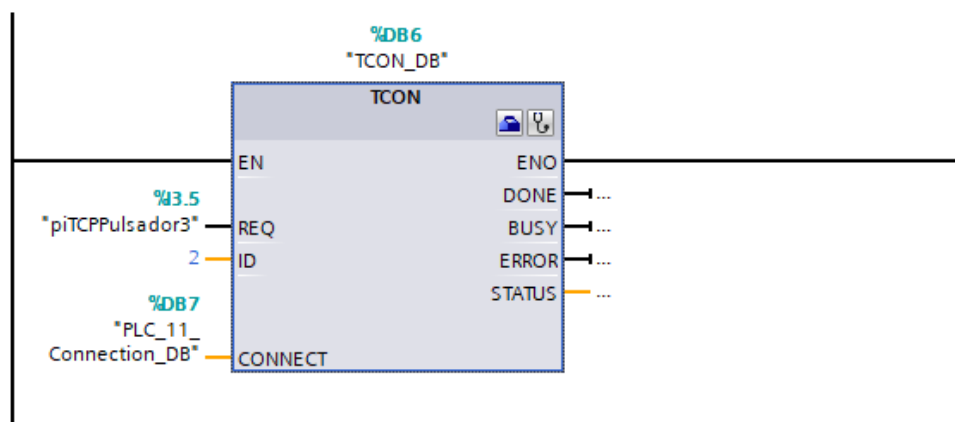


Ilustración 42: Bloque de conexión TCON

Este bloque hay que configurarlo de manera que se utilice la interfaz PROFINET_2 [X2] para la comunicación, la dirección IP y el tipo de conexión (en este caso TCP). Además, se debe definir un ID para esta conexión (2) y un bloque de datos DB (PLC_11_Connection_DB). Por último, hay que establecer al interlocutor como la parte activa de la comunicación, ya que, va a ser la nube la que va a hacer las peticiones de información al PLC. En la siguiente imagen se puede ver la configuración seleccionada en TIA PORTAL V14.

¹ Para configurar el PLC como servidor, se ha utilizado como documento de apoyo: MANUAL DE ACTIVACIÓN DEL SERVIDOR OPC UA DE UN PLC S7-1500, Alvaro Javier González Delgado, 2017.

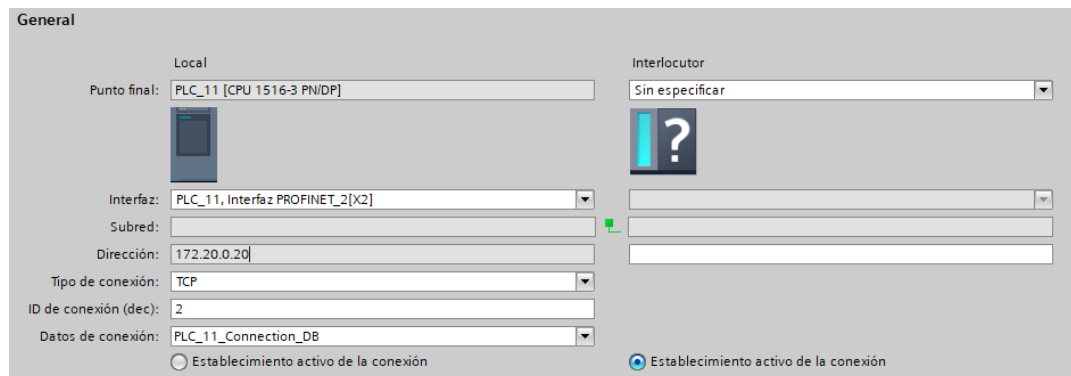


Ilustración 43: Configuración bloque TCON

4. Introducir bloque TSEND. Este bloque es el encargado de enviar los datos al servidor. Hay que configurar el bloque para determinar cada cuantos ciclos de tiempo se envían los datos y que conexión se utiliza para enviarlos ($ID = 2$). En la siguiente imagen se puede observar el bloque TSEND con las distintas configuraciones citadas. En este caso, solo se estaba transfiriendo la variable (“PresionWord”) para pruebas en el laboratorio.

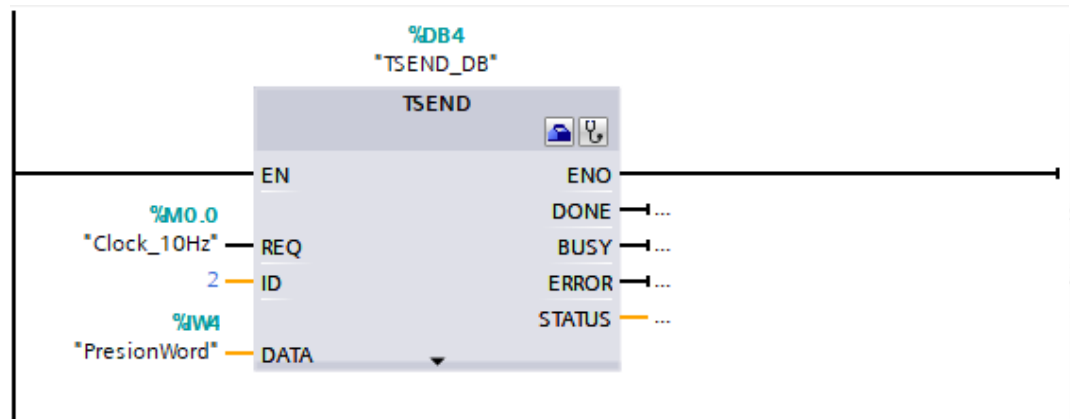


Ilustración 44: Bloque de envío de datos TSEND

5. Introducir bloque de desconexión TDISCON para suprimir la comunicación con el PLC.

6.2.2 COMUNICACIÓN PLC – IBM CLOUD

Una vez configurado el PLC, se tiene que lanzar una aplicación que permita gestionar los datos desde IBM-Cloud. Para ello, lo primero, es crear una cuenta en IBM y acceder al panel de control desde donde se creará la aplicación.

IBM-Cloud permite el despliegue de aplicaciones desarrolladas y programadas por el usuario, sin embargo, en el ámbito de este proyecto, no se va a desarrollar la aplicación completa. Se utilizará la plataforma Watson Internet of Things (WIoT) como plantilla para visualizar los datos recogidos con los sensores del sistema y Cloudant NoSQL DB como nube de almacenamiento de datos

Para conectar el PLC, que se ha configurado como servidor, con la plataforma WIoTP se utilizará el software Node-RED recomendado por IBM. Este software permite conectarse a servidores, dispositivos o APIs de manera sencilla y utilizando una programación de diagramas de flujo, después, permite enviar esta información a la plataforma WIoTP en archivos tipo JSON (JavaScript Object Notation).

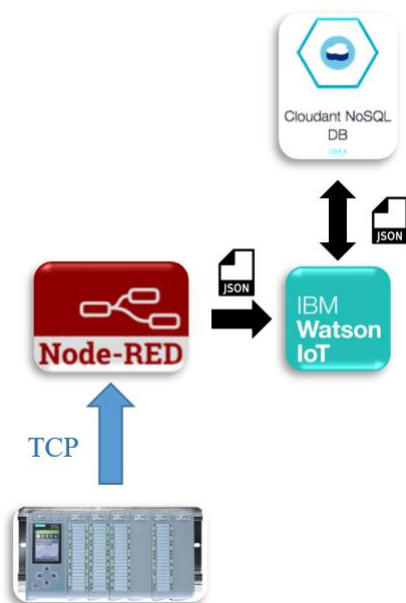


Ilustración 45: Esquema conexión PLC-IBM Cloud

Por tanto, se crea una nueva aplicación con una plantilla de WIoTP que se llamará *Sistema Riego Pivotes App*. Al crear esta aplicación se crea automáticamente la nube Cloudant NoSQL DB en la que se almacenará la información y el acceso a Node-RED para definir la información que llega a la aplicación. A continuación, se va a explicar la programación en diagrama de flujos

y JavaScript realizada en Node-RED para poder acceder a la información desde la aplicación creada.

➤ Presión Línea Bombeo Node_RED

Para obtener la información que envía el PLC como servidor, se utiliza un bloque de entrada TCP que se conecta a el puerto remoto. En este bloque especificamos la dirección IP del servidor y los puertos de conexión. En nuestro caso, el PLC está conectado a la red de la universidad con la IP=172.20.0.20, pero los dispositivos externos a la universidad tienen que acceder a través de la IP del router con los puertos establecidos IP=130.206.64.25:4840.

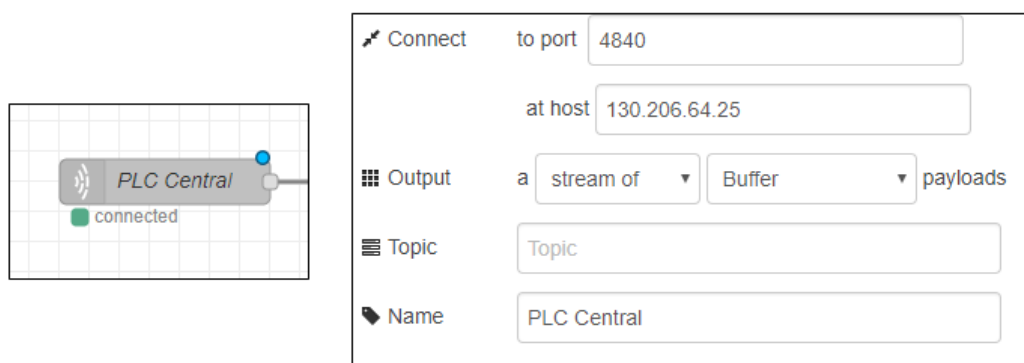


Ilustración 46: Configuración del bloque de entrada TCP

La información recibida por PLC a través del bloque TCP está contenida en un buffer compuesto por dos números hexadecimales, es decir, si por ejemplo el valor de la presión es de 5.7 bar, el bloque TCP lo dará codificado como [0x16, 0x97]. Por tanto, se debe normalizar esta información para obtener finalmente un mensaje JSON que contenga el valor de la presión en un formato correcto que se pueda leer. Para ello, se ha introducido un bloque de función denominado “Normalizar Datos” que, a través de un código en JavaScript, cambia el formato del mensaje y lo convierte en JSON. A continuación se muestra la programación de este bloque.



```
//Definimos tres variables de presión
var Presion;
var Presion2;
var Presion3;

Presion = msg.payload; //Información recibida del bloque anterior

Presion2 = parseFloat(Presion[0]<<8)+parseFloat(Presion[1]);
//Unimos los dos hexadecimales y los convertimos cambiamos formato

Presion3 = Presion2/1000; //Dividimos entre 1000 para obtener la
escala correcta

//Creamos objeto JSON con la variable Presion3
msg2 = new Object();
msg2 = {
    payload: JSON.stringify(
        {
            d:{
                "PresionLineaBombero" : Presion3,
            }
        }
    )
};
return msg2;
```

Por ejemplo, se obtendría un mensaje JSON con el siguiente formato:

```
{
  "d":{
    "PresionLineaBombero":4.976
  }
}
```

Finalmente, una vez se ha ajustado el formato y se ha convertido a JSON, conectamos la información a la plataforma WIoT. Para ello se utiliza un bloque “IBM IoT” configurado con las características del dispositivo “PLCCentral” creado en la plataforma Watson (Ver siguiente apartado). A continuación, se puede ver el diagrama completo que permite obtener la información sobre la presión de la línea de bombeo del sistema de riego.

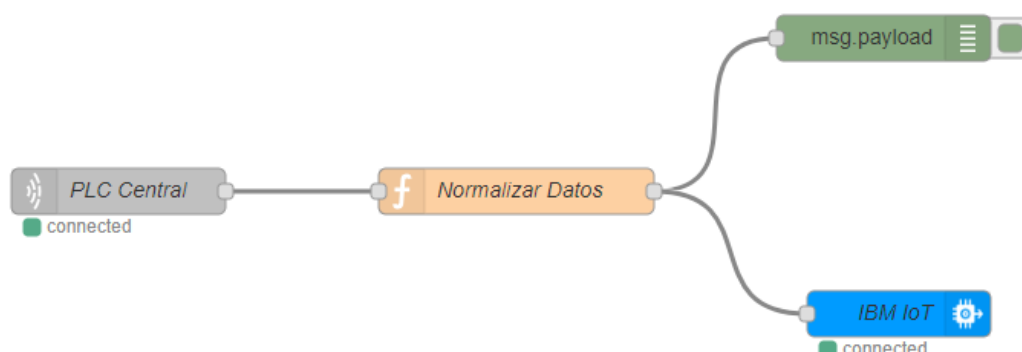


Ilustración 47: Diagrama de flujo Node-RED para Presión Línea Bombeo

➤ Información meteorológica Node-RED

Para obtener la información meteorológica de la finca sería necesario instalar una estación meteorológica en la misma, sin embargo, esta solución sería difícil de desarrollar y podría ser objeto de estudio para un nuevo proyecto. Por ello, se va a utilizar información proveniente de la API de una conocida web internacional: www.openweathermap.org.

Primero, introducimos un bloque que permite acceder a la API de *OpenWeatherMap*, este bloque necesita una clave de acceso. Para obtener esta clave es necesario registrarse en la web y hacer una petición de clave. Una vez tengamos esa clave, introduciendo las coordenadas de la finca, el bloque nos daría un objeto con 17 registros que contienen toda la información meteorológica actual. Esta información se actualiza cada cierto tiempo con nuevos registros.

A continuación, se introduce un nuevo bloque funcional que, a través de un código JavaScript, permite normalizar los datos recibidos y convertirlos en un mensaje JSON. El siguiente código muestra cómo obtener información actual de presión, humedad y temperatura, y cargarla toda en un mensaje JSON:

```
//Definimos las 4 variables  
var Weather;  
var Temperature;  
var Humidity;  
var Description;
```



```
Weather = msg.payload; //Cargamos toda la información en la
variable Weather

//Accedemos a cada uno de los datos
Temperature = Weather['tempc'] ;
Humidity = Weather['humidity'] ;
Description = Weather['detail'] ;

//Creamos un nuevo mensaje JSON (msg3) que devolverá la funcion
msg3 = new Object() ;
msg3 = {
  payload: JSON.stringify(
    {
      d:{
        "Temperatura" : Temperature,
        "Humedad" : Humidity,
        "Descripcion" : Description,
      }
    }
  )
};
return msg3;
```

Por ejemplo, se obtendría un mensaje JSON con el siguiente formato:

```
{
  "d":{
    "Temperatura":19,
    "Humedad":63,
    "Descripcion":"algo de nubes"
  }
}
```

Finalmente, cerramos el flujo de bloques con un nuevo bloque “IoT IBM” que pasa la información al dispositivo Watson “EstacionMeteo” (Ver apartado siguiente).

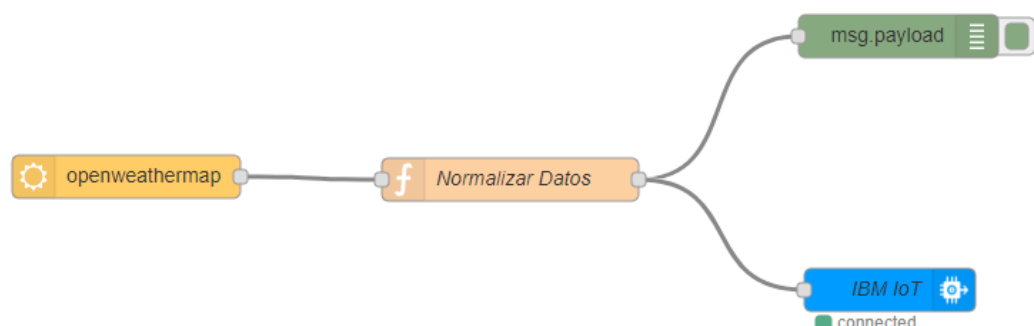


Ilustración 48: Diagrama de flujo Node-RED para información meteorológica



Aprovechando este bloque “Opeweathermap”, se puede configurar un nuevo bloque para que envíe la predicción meteorológica de los próximos 5 días. Esta información se envía en modo de objeto con 40 registros que contienen los diferentes datos meteorológicos previstos, cada tres horas, los próximos cinco días. De toda esta información, solo interesa saber la predicción de lluvia acumulada en cada uno de los cinco días siguientes, para ello, se introduce otro bloque funcional con el siguiente código:

```
//Creamos las variables
var ForeCast = msg.payload;
var Rain =new Array(40);
var Time =new Array(40);
var SumaRain =new Array(5);
var Dias =new Array(5);

//Recorremos el objeto ForeCast y guardamos los datos de lluvia y
fecha/hora
for(i=0;i<40;i++){
    Rain [i] = ForeCast[i].rain['3h'];
    Time [i] = parseInt(ForeCast[i].dt_txt.slice(8,10));
    if(Rain[i] == null){
        Rain[i]=0;
    }
}

//Sumamos la lluvia total en cada uno de los días
var r=0;
var suma=0;
for(j=1;j<Time.length;j++){
    if(Time[j-1]==Time[j]){
        suma=suma+Rain[j];
        SumaRain[r]=suma;
    }else{
        Dias[r]= 'Dia'+ ' ' + Time[j];
        suma=0;
        r++;
    }
}

//Cremos un nuevo mensaje JSON (msg4) que devolverá la funcion
msg4 = new Object();
msg4 = {
    payload: JSON.stringify(
        {
            d:{
                "SumaLluvia" :SumaRain,
                "Dias" :Dias,
            }
        }
    )
};
```



```
return msg4;
```

Por ejemplo, se obtendría un mensaje JSON con el siguiente formato:

```
{
  "d": {
    "SumaLluvia": [0,0.14250000000000002,0,0,0,0],
    "Dias": ["Dia 10", "Dia 11", "Dia 12", "Dia 13", "Dia 14"]
  }
}
```

➤ Evapotranspiración Node_RED

Para calcular un valor de evapotranspiración y poder mostrarlo en la aplicación WIoT, se va a utilizar los datos de temperatura proporcionados por la API de *OpenWeatherMap*, y el nivel de radiación medido por el sensor y enviado a través del *PLCCentral*.

Por ello, se tienen que conectar los bloques de entrada de “OpenWeatherMap” y de “PLCCentral” a un bloque funcional que permita calcular el valor de evapotranspiración y convertirlo en un formato JSON. Primero, se normalizan los datos por separado, luego, usando una función “join” se unen los mensajes de radiación y de temperatura. Finalmente, se añade el bloque funcional “Calcular Evapotrans” que permite procesar la información y aplicar la fórmula para calcular la evapotranspiración. A continuación, se puede ver el diagrama de flujo completo, y el código del bloque funcional “Calcular Evapotrans”.

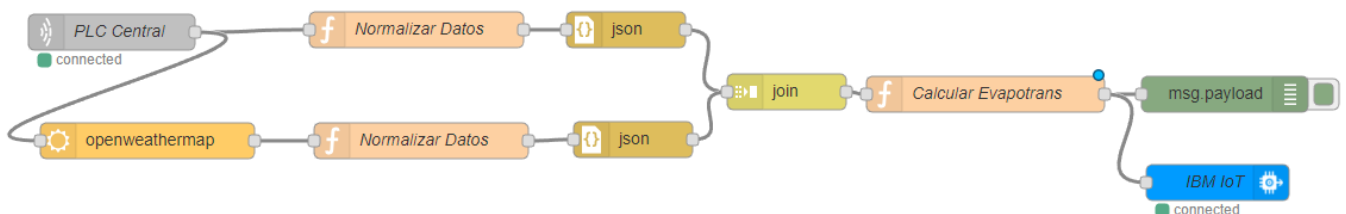


Ilustración 49: Diagrama de flujo Node-RED para evapotranspiración

```
//Creamos las variables
```



```
var message;  
var Radiation;  
var Temperature;  
var ETo;  
var ETc;  
var kc = 1.5;  
  
//Cargamos la información y extraemos la radiacion y la  
temperatura  
message = msg.payload;  
Radiation = message[0].d.Radiacion;  
Temperature = message[1].d.Temperatura;  
  
//Aplicamos la fórmula de evapotranspiracion  
ETo = 0.0135*(Temperature+17.78)*Radiation;  
ETc = kc*ETo;  
  
//Se crea un mensaje (msg6) en formato JSON  
msg6 = new Object();  
msg6 = {  
  payload: JSON.stringify(  
    {  
      d:{  
        "Evapotranspiracion" : ETc,  
      }  
    }  
  )  
};  
return msg6;
```

6.2.3 PLATAFORMA WATSON INTERNET OF THINGS (IBM CLOUD)

Una vez definida toda la programación en Node-RED, hay que establecer la comunicación con la plataforma Watson Internet of Things de IBM. Recordemos que esta plataforma recibe la información procedente de Node-RED a través de mensajes JSON a través de los bloques predefinidos “IBM IoT”. Pero, para poder recibir esta información hay que crear una serie de dispositivos dentro de la plataforma.

Los dos dispositivos virtuales que van a recibir la información en WIoT son, por un lado, el *PLCCentral* que recibe toda la información de los sensores del



sistema de riego, y por otro, la estación meteorológica que recibe toda la información de la *API OpenWeatherMap*.

☐	ID de dispositivo ▾	Tipo de dispositivo ▾	ID de clase ▾	Fecha adición
2 resultados				
☐	11	PLCCentral	Dispositivo	8 de jun. de 2018 12:52
☐	12	EstacionMeteo	Dispositivo	8 de jun. de 2018 16:58

Ilustración 50: Lista de dispositivos creados WIoTTP

Cada ciclo de envío de datos, estos dos dispositivos virtuales reciben los datos a través de Node-RED y los almacenan directamente en la nube. Luego, añadiendo tarjetas al panel de control, se puede observar el comportamiento de estas variables en tiempo real. Estas tarjetas deben configurarse para que puedan mostrar de forma correcta el contenido de los mensajes JSON que reciben los dispositivos.

< Sistema de Riego por Pivotes

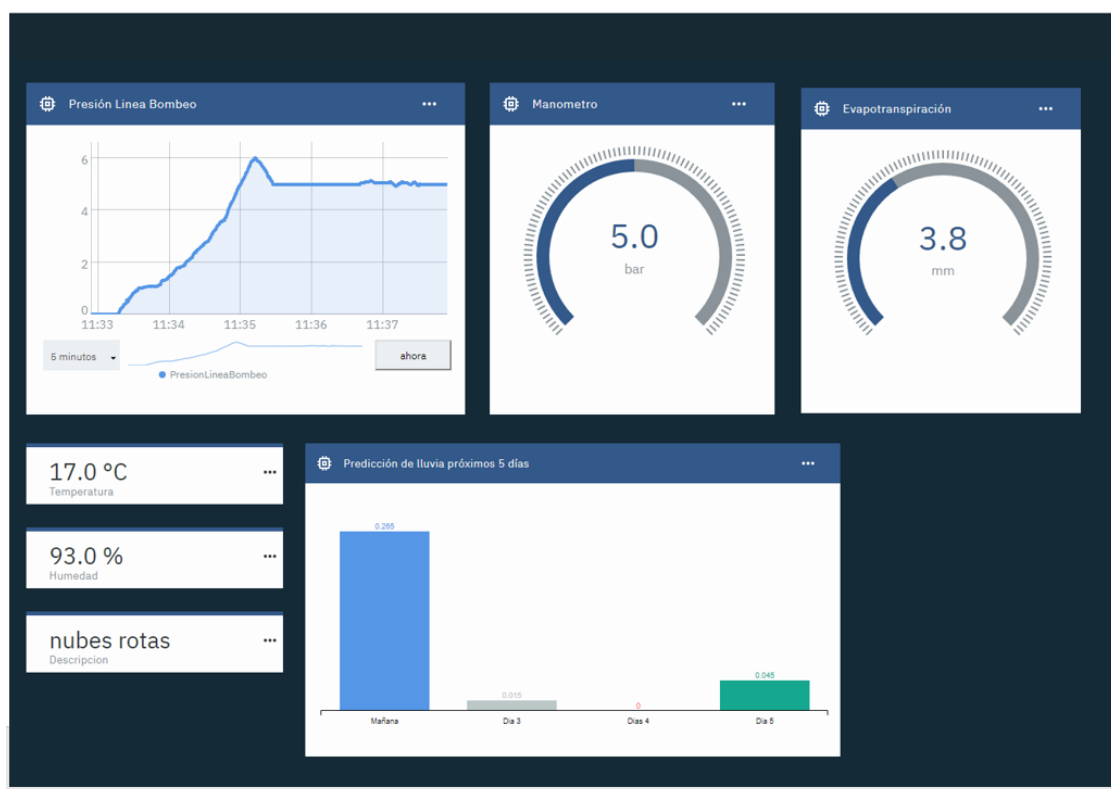


Ilustración 51: Panel de supervisión del Sistema de Riego en WIoTTP



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL



Capítulo 7 CONCLUSIONES

Una vez se ha diseñado y desarrollado la solución de automatización para el sistema de riego por pivotes, es imprescindible sacar en claro las conclusiones más importantes con el fin de comprender mejor el conjunto del proyecto.

Primero, este proyecto me ha permitido comprender con detalle el funcionamiento de un sistema de riego por pivotes para grandes extensiones. Muchas veces, este tipo de sistemas de riego agrícolas se perciben como sistemas sencillos que no precisan de mucha “ciencia” y que no son muy relevantes en el día a día. Sin embargo, me he dado cuenta, que en este tipo de explotaciones agrícolas extensivas el sistema de riego es una pieza clave para el éxito empresarial. La optimización del funcionamiento de estos sistemas y la capacidad de transformarlos para mejorar el rendimiento puede suponer un gran impacto en los costes de producción de los cultivos.

Por ejemplo, la finca en cuestión tiene un gasto energético aproximado de unos 100 mil euros anuales en este sistema de riego por pivotes. Automatizando el sistema y aplicando nuevas tecnologías de información, se conseguiría mejorar la gestión conjunta del mismo y la flexibilidad a la hora de operar el sistema. De este modo, si conseguimos optimizar recursos hídricos y ser más rápidos a la hora de llevar a cabo los planes de riego podríamos, tanto, reducir el consumo real del sistema, como, consumir la energía eléctrica en los periodos valle dónde las tarifas eléctricas son más baratas. Reduciendo el gasto energético de la finca en un 10% se podría reducir el coste por hectárea hasta en 70 euros.

Luego, la realización del proyecto me ha permitido comprender que en todos los sectores económicos existe la necesidad de evolucionar hacia un mundo digitalizado. Al igual que en el sector industrial hemos presenciado una nueva revolución industrial denominada industria 4.0, en el sector agrícola se está evolucionando hacia este nuevo concepto denominado agricultura 4.0. Esta nueva tendencia, que incorpora nuevas tecnologías tales como el *BigData* o *Internet of*



Things, es fundamental para un desarrollo futuro del sector. La agricultura del futuro tiene el reto de alimentar a la creciente población mundial sin suponer un impacto medioambiental, es decir, el objetivo será aumentar la producción de alimentos reduciendo al mismo tiempo el consumo de recursos naturales. Sin embargo, en España el sector agrícola es una actividad comúnmente tradicional y en muchas ocasiones acomodada en las subvenciones europeas. Esto hace que sea difícil introducir estas nuevas tecnologías en el ámbito rural agrícola.

Finalmente, puedo decir que, con la realización de este proyecto, me he dado cuenta de la importancia de la automatización, no solo en el ámbito industrial, sino en el resto de los sectores económicos. Aun así, es imprescindible analizar con detalle la viabilidad de un proyecto de automatización. En este caso, se ha propuesto una solución tecnológica que puede funcionar para realizar las tareas de riego, sin embargo, sería preciso un estudio a fondo del sistema, los beneficios y costes, antes de implantar la idea. Muchas veces, los agricultores, son reacios a invertir en este tipo de proyectos, ya que, en la agricultura, es difícil determinar con precisión los beneficios que estos repercutirían en su plantación, ya que hay muchas variables que son imposibles de controlar. Sin embargo, en la actualidad, encontramos empresas agrícolas que han invertido, tanto, en nuevas tecnologías de automatización y control, como en sistemas de autoabastecimiento energético (energía fotovoltaica).



Capítulo 8 FUTUROS DESARROLLOS

El primer y principal futuro desarrollo que se puede proponer es la implantación real de este proyecto. Para ello, sería necesario un proyecto entero que analizara la instalación necesaria con detalle y precisión, para poder implementar la automatización y el sistema completo de monitorización. Este proyecto, solo se ha centrado en desarrollar una propuesta con prototipos que han sido probados en laboratorio, para la implantación real del mismo, haría falta probar el funcionamiento con componentes reales, ya que, entrarían en juego problemas hidráulicos, mecánicos, eléctricos...

Luego, otro futuro desarrollo interesante, sería la realización de un plan de viabilidad económica para la instalación del sistema. Para ello, sería necesario un análisis detallado de costes, acompañado de un estudio agronómico que analizara cómo, y en qué medida, se podría incrementar la producción agrícola con las ventajas que nos proporciona esta solución. Para este proyecto, se ha realizado un estudio de costes que ayuda a tener una estimación del precio de la solución propuesta y un análisis cualitativo de las ventajas económicas que el agricultor puede encontrar aplicando la solución.

Finalmente, para ir más allá con este proyecto, se podría desarrollar más la parte de: “*Comunicación de datos con la nube*” (Capítulo 6). En este proyecto solo se ha diseñado la conexión del PLC con la nube, y se ha desarrollado un prototipo de plataforma a través de la cual el agricultor podría supervisar en tiempo real el sistema de riego y los cultivos. Sin embargo, podría hacerse un desarrollo completo de una aplicación web pensada, solo y exclusivamente, para la gestión óptima de los datos por parte del agricultor. Para ello, sería necesario un gran trabajo de desarrollo web y conocimiento sobre la gestión de bases de datos no relacionales. Además, se podría también cerrar el lazo de control del sistema a través de un intercambio de información con la nube en las dos direcciones. Es decir, que el propio sistema, basándose en los datos recogidos con el sistema de monitorización, sea capaz de tomar acciones correctivas de control que permitan mejorar la eficacia



y eficiencia del sistema de riego. Con este posible futuro desarrollo, nos estaríamos dirigiendo hacia una verdadera solución de *Internet of Things* propia del nuevo concepto de agricultura 4.0.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] EuroStats – Statistics Explained. Farm structure statistics.
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Farm_structure_statistics
- [2] Siemens WirelessHART catalogue.
https://www.automation.siemens.com/w1/efiles/instrumentation/catalogs/fi01/fi01_en_extract/FI01_2010_en_kap09_WirelessHART_Auszug.pdf
- [3] Abecera S.L. Documentación técnica Finca La Reina
- [4] Cálculo de la evapotranspiración potencial según la fórmula de Hargreaves. F. Javier Sánchez San Román – Dpto. Geología Univ. Salamanca
http://hidrologia.usal.es/practicas/ET/ET_Hargreaves.pdf
- [5] Evapotranspiración del cultivo – Guía para la determinación de los requerimientos de agua del cultivo. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma 2006.
<http://www.fao.org/tempref/docrep/fao/009/x0490s/x0490s02.pdf>
- [6] Siemens SIMATIC Manual Overview. <https://w3.siemens.com/mcms/industrial-automation-systems-simatic/en/manual-overview/pages/default.aspx>
- [7] Comunicación CPU S7-1200 Vs CPU S7-1200 por TCP. Siemens.
https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/Documents/S7-1200_COM_CPU_CPU.pdf
- [8] IBM Cloud Docs. <https://console.bluemix.net/docs/>
- [9] JavaScript Manuals W3Schools. https://www.w3schools.com/js/js_versions.asp
- [10] Aportación para la conversión de la minifábrica ICAI en una Smart Factory. Trabajo Fin de Grado. Álvaro González Delgado. Junio 2017.





Parte II ESTUDIO DE COSTES Y BENEFICIOS



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

ESTUDIO DE COSTES



Capítulo 1 INTRODUCCIÓN

En esta tercera parte del proyecto, se pretende hacer un estudio de costes sobre la solución planteada en la memoria. Como se ha explicado en apartados anteriores, este proyecto no tiene como objetivo la implementación real de la automatización del sistema de riego, sino, proponer una solución tecnológica que mejore el funcionamiento del sistema y sirva como primer paso para reflexionar sobre la posibilidad de renovar el sistema de riego de la finca.

Como no se va a llevar a cabo la implantación real de este proyecto, es difícil hacer una estimación precisa del coste real de una instalación de estas características, en la que se incluyan: componentes, gastos de instalación, mano de obra... Sin embargo, para comprender mejor el nivel de inversión y los beneficios que puede reportar al agricultor un sistema con estas características, primero, se realizará una estimación del precio total de todos los componentes necesarios, y luego, se hará un análisis cualitativo sobre los beneficios que puede tener esta solución implantada.

Para concluir esta introducción, decir que, lo que se ha hecho a continuación es una estimación de precios partiendo de los componentes descritos en la memoria, con un precio aproximado de los mismos. Además, hay componentes que ya están en el sistema original, y por tanto se podrían reciclar para implementar la solución.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

ESTUDIO DE COSTES



Capítulo 2 ESTIMACIÓN DEL COSTE DE LOS COMPONENTES

En la siguiente tabla se recogen los precios estimados de todos los componentes necesarios para conformar la arquitectura del nuevo sistema de riego automatizado.

Componente	Unid.	Precio	Total
Componentes Centro Bombeo			
Autómata programable Siemens S7-1500	1	1.000,00 €	1.000,00 €
Siemens SIMATIC HMI TP1200 COMFORT 12"	1	1.200,00 €	1.200,00 €
Switch Boya Nivel	2	8,00 €	16,00 €
Multímetro Siemmes Sentron pac4200	3	1.500,00 €	4.500,00 €
Sensor de Presión capacitivo (1-10bar)	3	120,00 €	360,00 €
Sonda de Nivel ultrasónica	3	150,00 €	450,00 €
Sensor de Radiación	1	250,00 €	250,00 €
Válvula hidráulica de diafragma pequeña	12	70,00 €	840,00 €
Válvula hidráulica de diafragma grande	3	250,00 €	750,00 €
Solenóide de tres vías	15	30,00 €	450,00 €
Seta Emergencia	2	20,00 €	40,00 €
Tanque de Abono (600L)	3	250,00 €	750,00 €
Tuberías PVC - sistema de inyección de abono	1	30,00 €	30,00 €
Inyector Venturi	3	60,00 €	180,00 €
Relés	4	15,00 €	60,00 €
Total			10.876,00 €

Componentes Pivote Pequeño (6 Torres)			
Autómata programable Siemens S7-1500	1	1.000,00 €	1.000,00 €
Seta Emergencia	1	20,00 €	20,00 €
Sensor de Presión capacitivo (1-10bar)	12	120,00 €	1.440,00 €
Relés	12	15,00 €	180,00 €
Total			2.640,00 €

Componentes Pivote Mediano (8 Torres)			
Autómata programable Siemens S7-1500	1	1.000,00 €	1.000,00 €
Seta Emergencia	1	20,00 €	20,00 €
Sensor de Presión capacitivo (1-10bar)	16	120,00 €	1.920,00 €
Relés	16	15,00 €	240,00 €
Total			3.180,00 €



Componentes Pivote Mediano (10 Torres)

Autómata programable Siemens S7-1500	1	1.000,00 €	1.000,00 €
Seta Emergencia	1	20,00 €	20,00 €
Sensor de Presión capacitivo (1-10bar)	20	120,00 €	2.400,00 €
Relés	20	15,00 €	300,00 €
Total			3.720,00 €

Sistema de obtención de datos

Sensor de humedad de suelo	24	30,00 €	720,00 €
Adaptador WirelessHART Siemens SITRANS	24	250,00 €	6.000,00 €
Receptor Siemens IE/WSN-PA LINK	3	1.000,00 €	3.000,00 €
Total			9.720,00 €

TOTAL COMPONENTES			30.136,00 €
--------------------------	--	--	--------------------

Tabla 12: Estimación del coste de los componentes

Vemos que la inversión en el hardware para implantar el sistema sería de alrededor 30 mil euros. Sin embargo, también habría que tener en cuenta el coste derivado del software necesario, que proviene mayormente de la herramienta de supervisión de datos en la nube. En este proyecto solo se ha realizado un prototipo para la plataforma de gestión de datos desde la nube, pero en una implementación real, sería necesario el desarrollo completo de la plataforma en el soporte de IBM. Además, se deberían pagar las cuotas por movimiento de datos y por el almacenamiento de los mismos. En la siguiente tabla podemos ver una estimación de precios.

Motivo	Precio
Desarrollo y diseño de la aplicación web	8.000,00 €
Almacenamiento en la nube - IBM	0,7522 €/GB of data storage
Movimiento de datos con dispositivos	0,000965 € EUR/Megabyte Exchanged
Diseño y programación de la automatización	5.000,00 €

Tabla 13: Estimación costes del software



Capítulo 3 ANÁLISIS CUALITATIVO DEL BENEFICIO DEL SISTEMA

Los beneficios que tiene para el agricultor la automatización y monitorización del sistema de riego por pivotes de la finca son varios:

➤ Rapidez de operación

El principal beneficio, para este sistema de riego en particular, es la rapidez de operación que proporciona un sistema automatizado. Con el estado actual del sistema, el operario de riego tarda unos 20-30 minutos en realizar operaciones de arranque y parada del riego, esto hace que se pierda mucho tiempo en las jornadas de trabajo y que sea más difícil cumplir con la planificación.

La finca, por sus características de consumo, tiene una tarifa energética de acceso 6.1. Este tipo de tarifa cuenta con distintos periodos donde el precio de la energía tiene distintos valores. En cada uno de estos periodos, se contrata una potencia máxima de consumo que, en caso de sobrepasarse incurriría en un sobrecoste importante. Por tanto, la gestión de la finca planifica el riego en función de las necesidades hídricas de los cultivos, los precios en los periodos y las potencias contratadas.

Horas	0-8	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Enero	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Febrero	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2
Marzo	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4
Abril	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
Mayo	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
1-15 Junio	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
16-30 Junio	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Julio	P6	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2
Agosto	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
Septiembre	P6	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4
Octubre	P6	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5	P5
Noviembre	P6	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P4	P3	P3	P3	P3	P3	P3	P4	P4
Diciembre	P6	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P2	P2	P2

Tabla 14: Periodos tarifarios para un acceso 6.1 (Fuente: Selectra)



Por ello, una vez la planificación diaria se ha realizado, es esencial cumplir los horarios para, tanto cubrir las necesidades hídricas de las plantas, como para ajustarse a los periodos donde la energía es más barata y evitar cargos por sobrepasar la potencia contratada.

Con un sistema completamente automatizado, donde las operaciones de arranque y parada de riego se hacen desde un mismo centro de control y a través de una interfaz táctil, se puede reducir el tiempo de operación de 20-30 min a unos 5-6 min. Con lo cual, se tendría un sistema mucho más rápido de operar que permitiría cumplir la planificación, e incluso reducir las horas de operación.

Es importante resaltar que el importe energético representa el principal coste de producción de la finca, llegando casi a los 170 €/has. Por ello, la rapidez de operación del sistema para aprovechar los periodos baratos y evitar sobrecostes, es esencial para disminuir el gasto por hectárea.

➤ Mejora de la producción

Al mejorar la rapidez de operación reduciendo los tiempos entre riegos, se puede regar el cultivo en el momento justo. Desde un punto de vista agronómico, la planta mejora su producción si satisface sus necesidades de agua en el momento preciso en el que las necesita. Si no se riega el cultivo a tiempo, las plantas sufren un estrés hídrico que se verá repercutido en su desarrollo y por tanto en su producción final. Por ello, se puede concluir que, al tener un sistema con unos tiempos de operación más reducidos, se puede aumentar la producción de los cultivos.

Por otra parte, tener un sistema de monitorización que te indique los niveles de humedad del suelo y la evapotranspiración del cultivo, permite al agricultor tomar decisiones de cuando regar y cuando no de forma más precisa. Por ejemplo, el agricultor a simple vista observa que el suelo está seco y decide regar, sin embargo, al analizar los datos del sistema observa que los niveles de humedad son los adecuados para el cultivo y que no es necesario regar por ahora. De esta manera la gestión agronómica es más precisa y la producción del cultivo aumentará.



➤ **Ahorro de recursos**

Como hemos dicho antes, teniendo monitorizados los cultivos solo riegas en el momento preciso y te ajustas mejor a las necesidades de la planta. Esto ayuda a utilizar solamente el agua necesaria para maximizar la producción de los cultivos, y de este modo, se consigue ahorrar en el consumo hídrico del sistema. Este ahorro tiene beneficios tanto para el agricultor, que deja de pagar el consumo de agua, como para el medio ambiente, ya que se consigue una producción más sostenible.

Por otro lado, como es obvio, una disminución en el consumo de agua supondría también una disminución en el consumo energético, ya que no haría falta disponer de la energía necesaria para bombear dicha agua y mover los pivotes.

Por último, aunque no está relacionado con el ahorro de recursos, también es importante resaltar la siguiente ventaja. Objetivamente, la agricultura es un negocio basado en la explotación de la tierra. El agricultor hace una inversión en la tierra cuando siembra el cultivo, y espera poder sacar beneficios de esa inversión vendiendo la cosecha. Por ello, es importante para el agricultor tener información precisa sobre el nivel de inversión que está teniendo en todo momento en sus diferentes cultivos. Con los contadores eléctricos, propuestos en este proyecto, el agricultor puede conocer en todo momento el nivel de gasto que supone regar la parcela. Basándose en esta información de márgenes de producción el agricultor puede tomar ciertas decisiones importantes de gestión.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

ESTUDIO DE COSTES



Capítulo 4 CONCLUSIONES

Como se ha explicado con anterioridad, los costes que se reflejan en esta parte del proyecto son solo estimaciones, y faltarían incluir otro tipo de costes como infraestructura, mano de obra... Además, en un sistema con estas características, también surgirían costes indirectos o a más largo plazo. Por ejemplo, para el mantenimiento y optimización de la plataforma web, haría falta contratar a un desarrollador en la plantilla, o una empresa que se encargara de ello.

En este estudio de costes podemos observar que la inversión en componentes supone alrededor de 30 mil euros, pero si tuviéramos en cuenta el precio de software y otros costes asociados, la inversión podría rondar entre 50-70 mil euros. Para una extensión como la del sistema de riego en cuestión, (162 hectáreas), una inversión de 70 mil euros supondría unos 430 € por hectárea. Esta inversión es fácil de recuperar en un año de producción estándar. Sin embargo, como hemos visto en el capítulo 3, operando el sistema de forma adecuada, aprovechando las prestaciones de la tecnología instalada, se podría aumentar la producción y reducir los costes asociados al riego (170€/has). Con esto podemos ver, que, desde un punto de vista cualitativo, la solución propuesta en este proyecto puede ser interesante para el agricultor.

Sin embargo, desde mi punto de vista, la principal dificultad para el agricultor es la implementación del proyecto. Una empresa que se dedica profesionalmente a la producción agrícola no suele tener medios ni conocimientos suficientes para implementar, por sí sola, un sistema de automatización y monitorización. Por ello, yo creo, que este tipo de soluciones debería desarrollarlas un tercero. Aquí surge, la interesante idea de crear una empresa de ingeniería que proporcione este tipo de servicios a grandes empresas agrícolas. Esta nueva empresa sería la encargada del desarrollo técnico del proyecto y la correspondiente puesta en marcha del mismo. Además, sería posible desarrollar una única plataforma web que podría ser utilizada por todos los agricultores que contratasen sus servicios.



UNIVERSIDAD PONTIFICIA COMILLAS
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO INDUSTRIAL

ESTUDIO DE COSTES



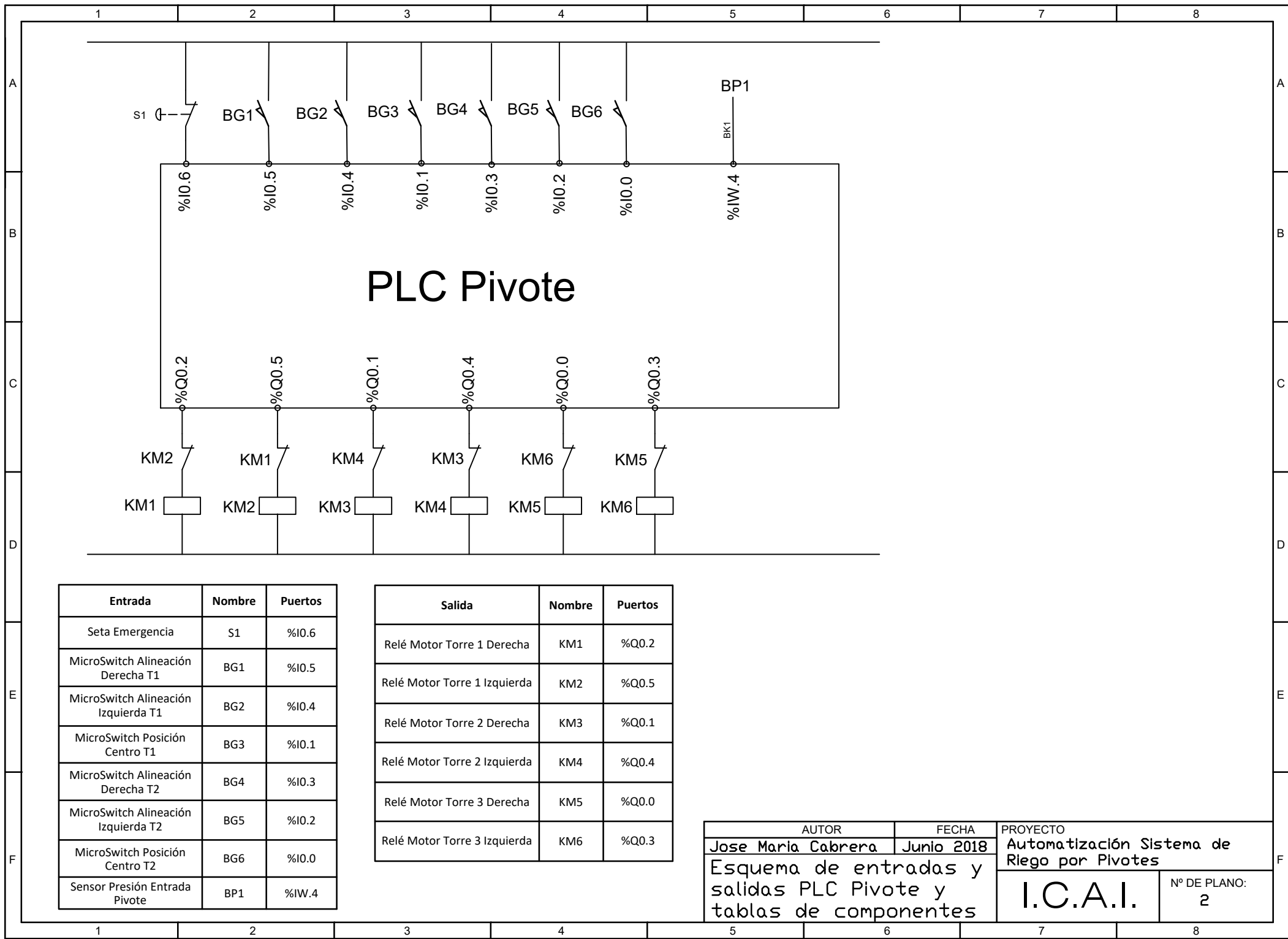
Parte III ESQUEMAS

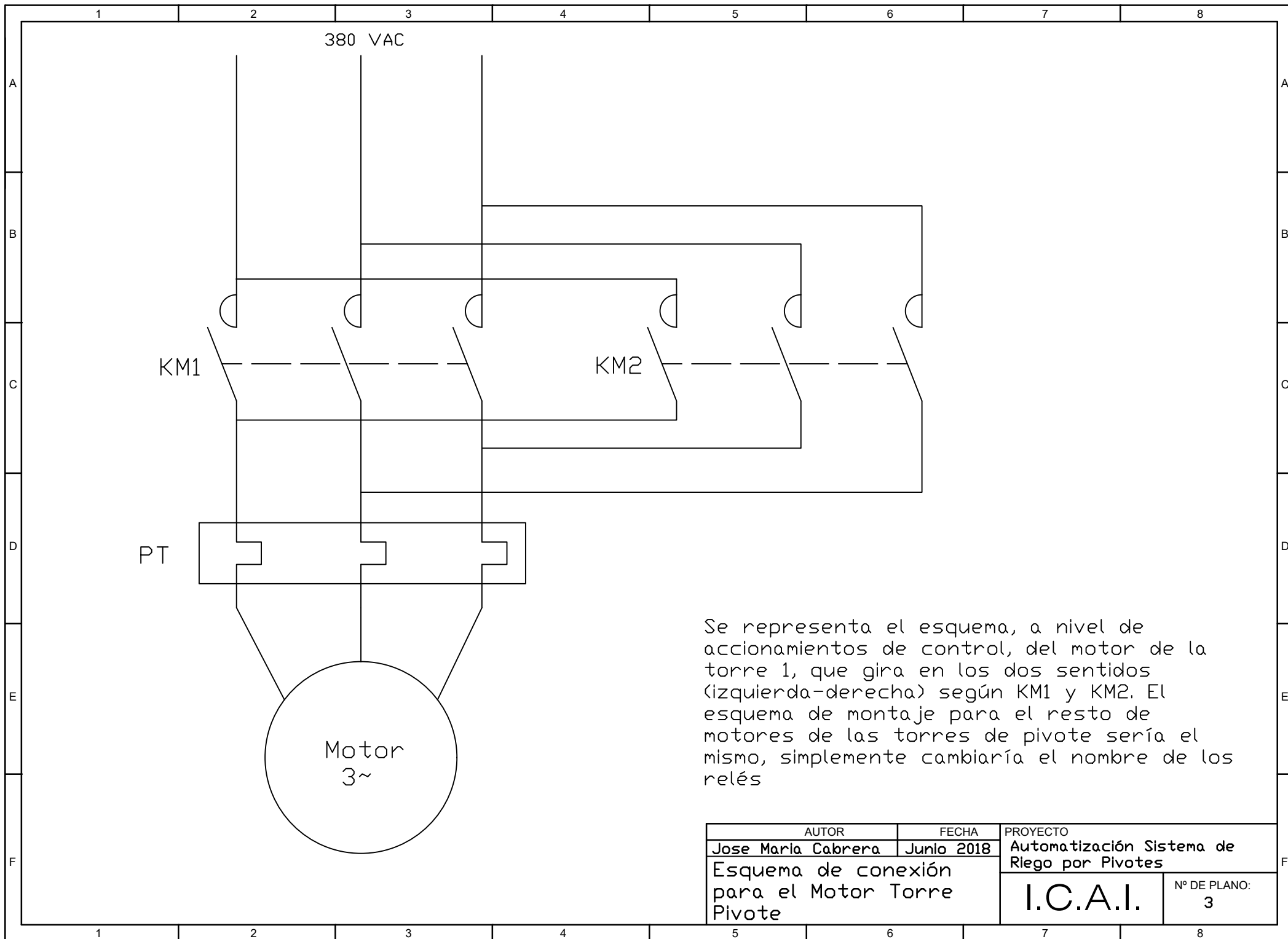
PLC Central

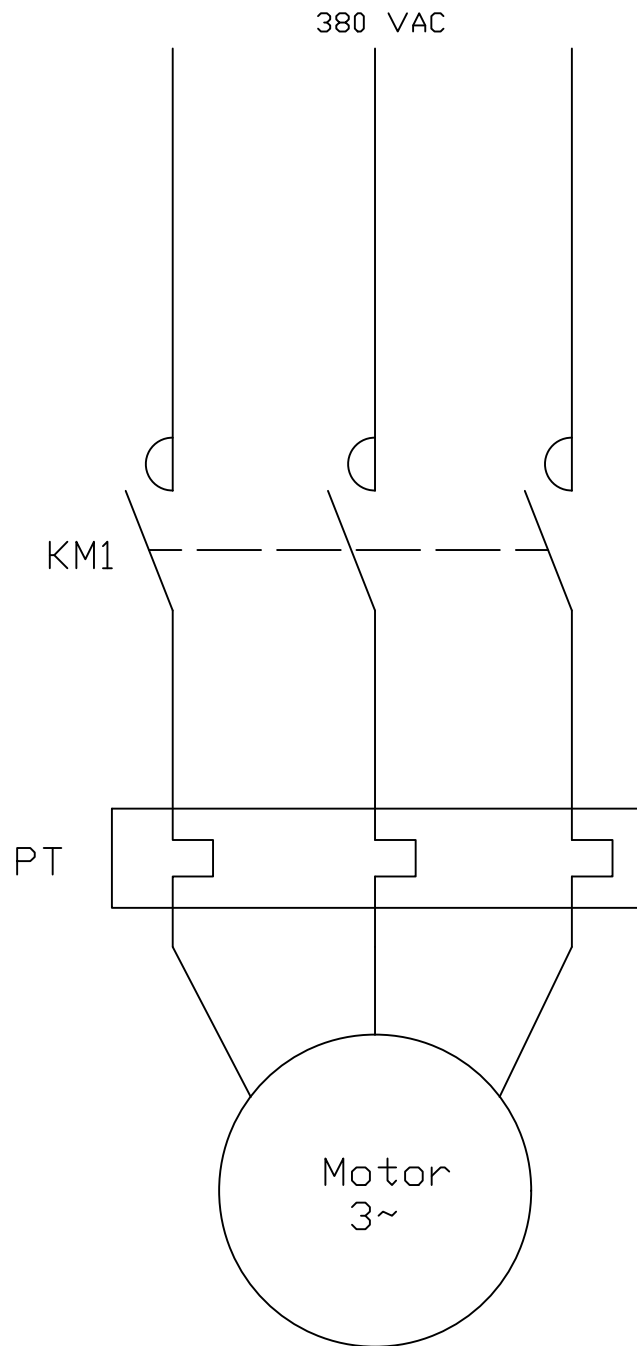
Salida	Nombre Esquema	Puerto
Electrovalvula Principal Bomba Pequeña	KS1	%Q0.3
Electrovalvula Principal Bomba Mediana	KS2	%Q0.4
Electrovalvula Principal Bomba Grande	KS3	%Q0.5
Electrovalvula Vacio Bomba Pequeña	KS4	%Q0.0
Electrovalvula Vacio Bomba Mediana	KS5	%Q0.1
Electrovalvula Vacio Bomba Grande	KS6	%Q0.2
Electrovalvula Abono Pivot Pequeño	KS7	%Q1.5
Electrovalvula Abono Pivot Mediano	KS8	%Q1.6
Electrovalvula Abono Pivot Grande	KS9	%Q1.7
Electrovalvula Tanque Abono 1	KS10	%Q2.0
Electrovalvula Tanque Abono 2	KS11	%Q2.1
Electrovalvula Tanque Abono 3	KS12	%Q2.2
Electrovalvula Filtro 1	KS13	%Q0.6
Electrovalvula Filtro 2	KS14	%Q0.7
Electrovalvula Filtro 3	KS15	%Q1.0
Relé Motor Pequeño	KM1	%Q1.2
Relé Motor Mediano	KM2	%Q1.3
Relé Motor Grande	KM3	%Q1.4
Relé Bomba Vacío	KM4	%Q1.1

Entrada	Nombre Esquema	Puertos
Seta de Emergencia	S1	%I1.6
Boya Nivel Piscina Alto	BL1	%I1.1
Boya Nivel Piscina Bajo	BL2	%I1.2
Contador Bomba Pequeña	BC1	%IW.4
Contador Bomba Mediana	BC2	%IW.6
Contador Bomba Grande	BC3	%IW.8
Sensor de Presión Bomba Pequeña	BP1	%IW.10
Sensor de Presión Bomba Mediana	BP2	%IW.12
Sensor de Presión Bomba Grande	BP3	%IW.14
Sensor Nivel Tanque Abono 1	BN1	%IW.16
Sensor Nivel Tanque Abono 2	BN2	%IW.18
Sensor Nivel Tanque Abono 3	BN3	%IW.20
Sensor Radiación	BR1	%IW.22

AUTOR	FECHA	PROYECTO	
Jose Maria Cabrera	Junio 2018	Automatización Sistema de Riego por Pivotes	
Esquema de entradas y salidas PLC Central y tablas de componentes		I.C.A.I.	Nº DE PLANO: 1



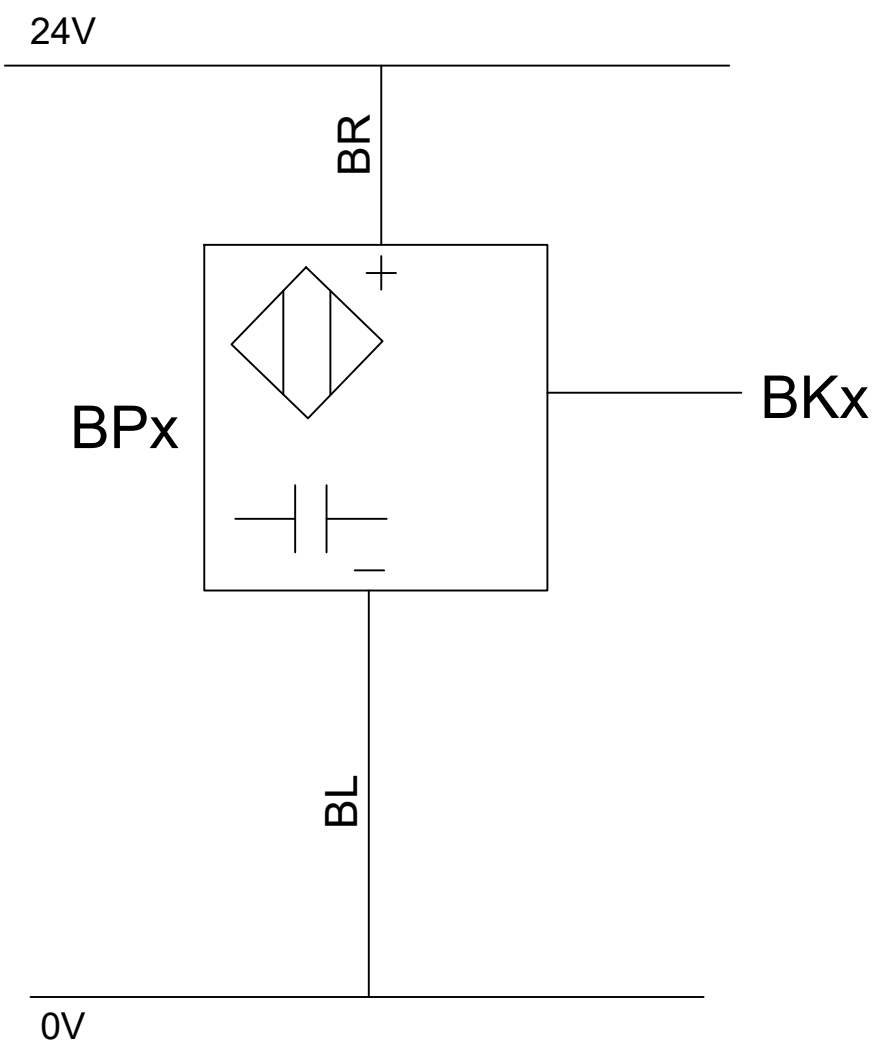




En este esquema no se hace referencia a la instalación eléctrica del motor ni a las protecciones físicas necesarias

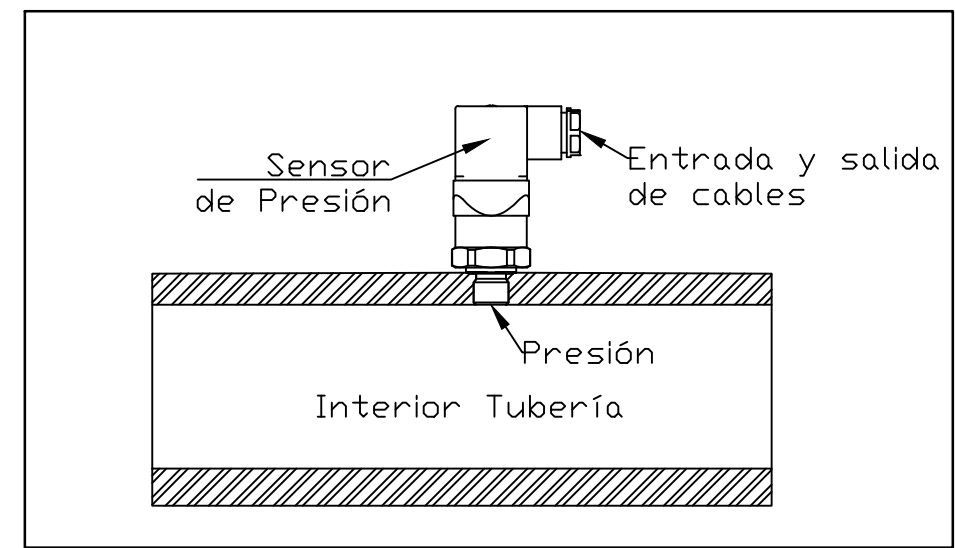
Se representa el esquema, a nivel de accionamientos de control, para el motor del bombeo pequeño. El esquema de montaje para el resto de motores de las líneas de bombeo sería el mismo, simplemente cambiaría el nombre de los relés (KM2 y KM3).

AUTOR	FECHA	PROYECTO	
Jose Maria Cabrera	Junio 2018	Automatización Sistema de Riego por Pivotes	
Esquema de conexión para el Motor de la Bomba		I.C.A.I.	Nº DE PLANO: 4



Este mismo esquema se aplica para cada uno de los sensores capacitivos utilizados en el sistema. Da una señal analógica BKx

Detalle instalación del sensor



AUTOR	FECHA	PROYECTO	
Jose Maria Cabrera	Junio 2018	Automatización Sistema de Riego por Pivotes	
Esquema de conexión para sensores de presión capacitivos		I.C.A.I.	Nº DE PLANO: 5

24V

BR

BNx

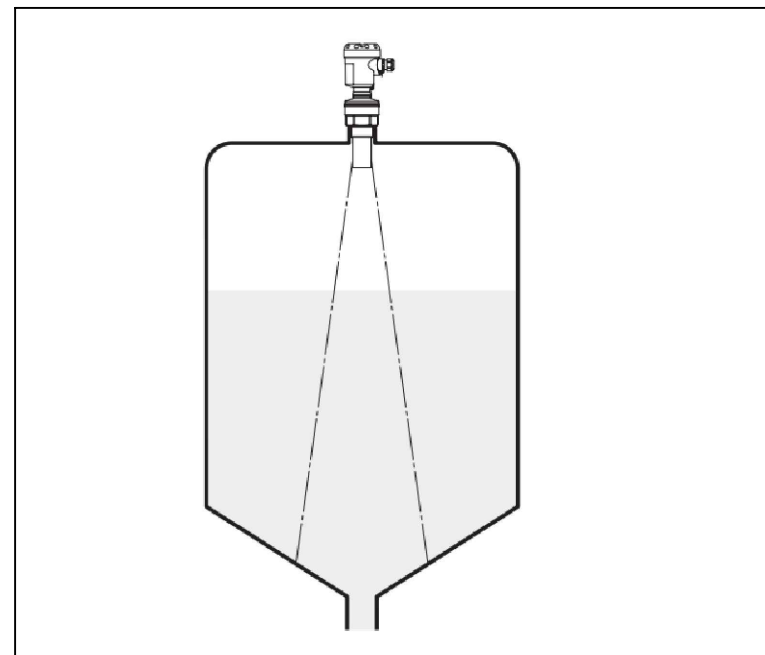
BUX

BL

0V

Este mismo esquema se aplica para cada uno de las sondas de nivel capacitivas utilizadas en los tres tanques de abono. Da una señal analógica BUX

Detalle del montaje del sensor sobre el tanque



AUTOR	FECHA	PROYECTO	
Jose Maria Cabrera	Junio 2018	Automatización Sistema de Riego por Pivotes	
Esquema de conexión para las sondas de nivel capacitivas		I.C.A.I.	Nº DE PLANO: 6

1 2 3 4 5 6 7 8

A

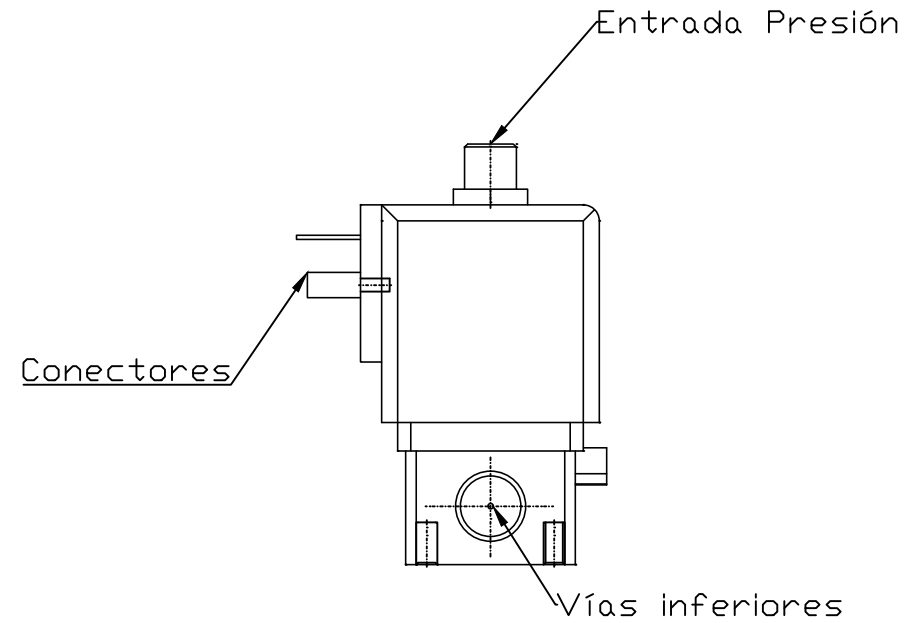
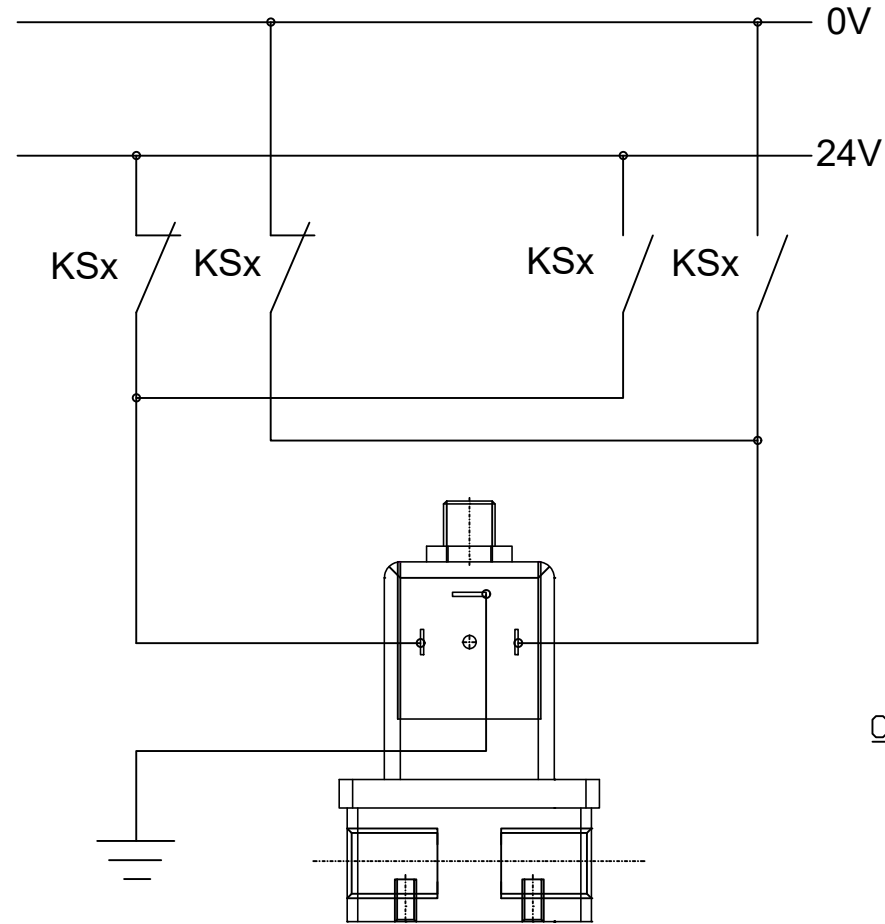
B

C

D

E

F



Este es un esquema de conexión general de un solenoide de tres vías 24V. Este esquema es el mismo para todos los solenoides de la instalación (KSx)

AUTOR	FECHA	PROYECTO	
Jose Maria Cabrera	Junio 2018	Automatización Sistema de Riego por Pivotes	
Esquema de conexión para los solenoides de las electroválvulas		I.C.A.I.	Nº DE PLANO: 7

1 3 4 5 6 7 8



Parte IV TIA PORTAL V14

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Main [OB1]

Main Propiedades

General

Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB
Idioma	KOP	Numeración	Automático		

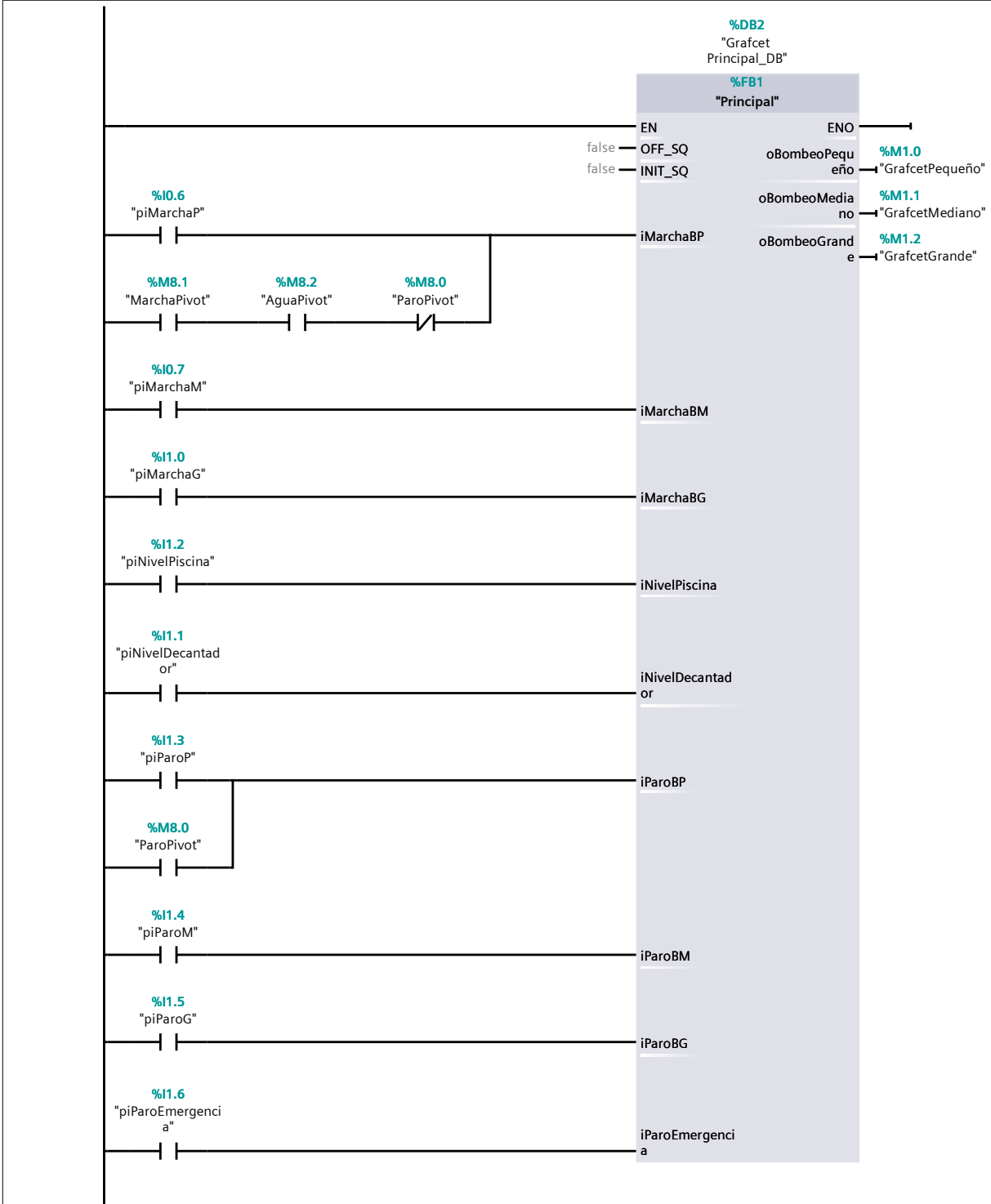
Información

Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor	Jose_Maria_Cabrera	Comentario	
Familia		Versión	0.1	ID personalizada	

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Supervisión	Comentario
▼ Input				
Initial_Call	Bool			Initial call of this OB
Remanence	Bool			=True, if remanent data are available
Temp				
Constant				

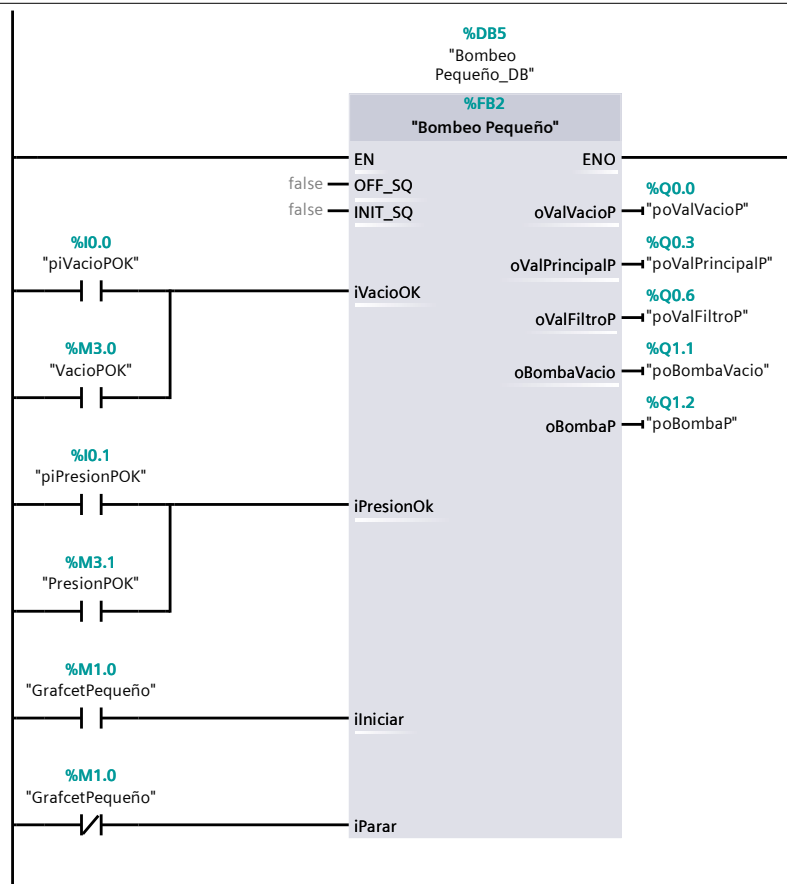
Segmento 1: Bloque Principal

Contiene el bloque "FB Principal". Este bloque es el encargado de activar cada uno de los bloques subordinados. Como salida se tienen variables booleanas para activar y desactivar los bloques.



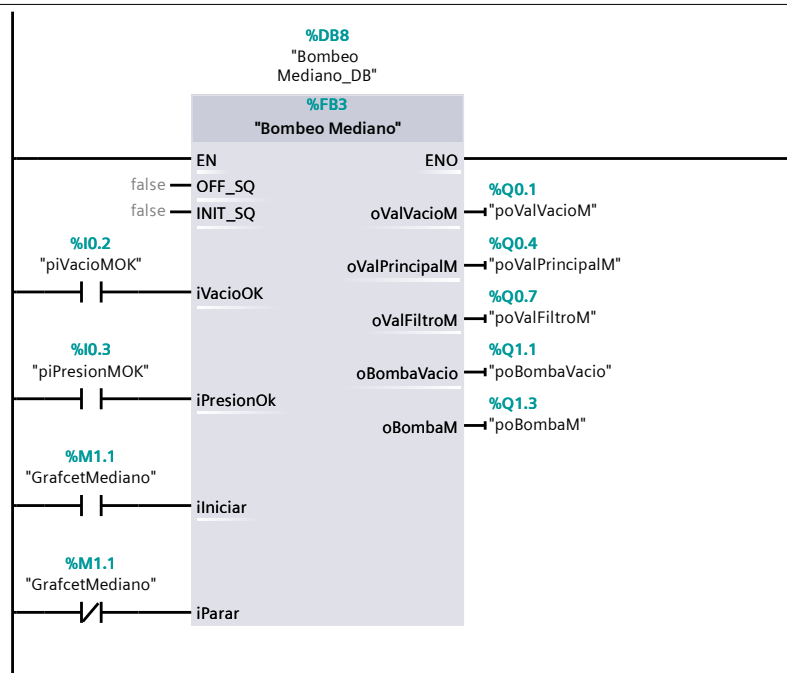
Segmento 2: Bloque bombeo Pequeño

Este segmento contiene el bloque “FB Bombeo Pequeño”. Este bloque tiene la lógica que controla el proceso de arranque y de paro de la línea de bombeo que alimenta el pivote pequeño. Como entradas tenemos el estado de presión, según el sensor, y la variable que activa el bloque. Como salidas tenemos los diferentes componentes de la línea de bombeo: válvulas, bomba...



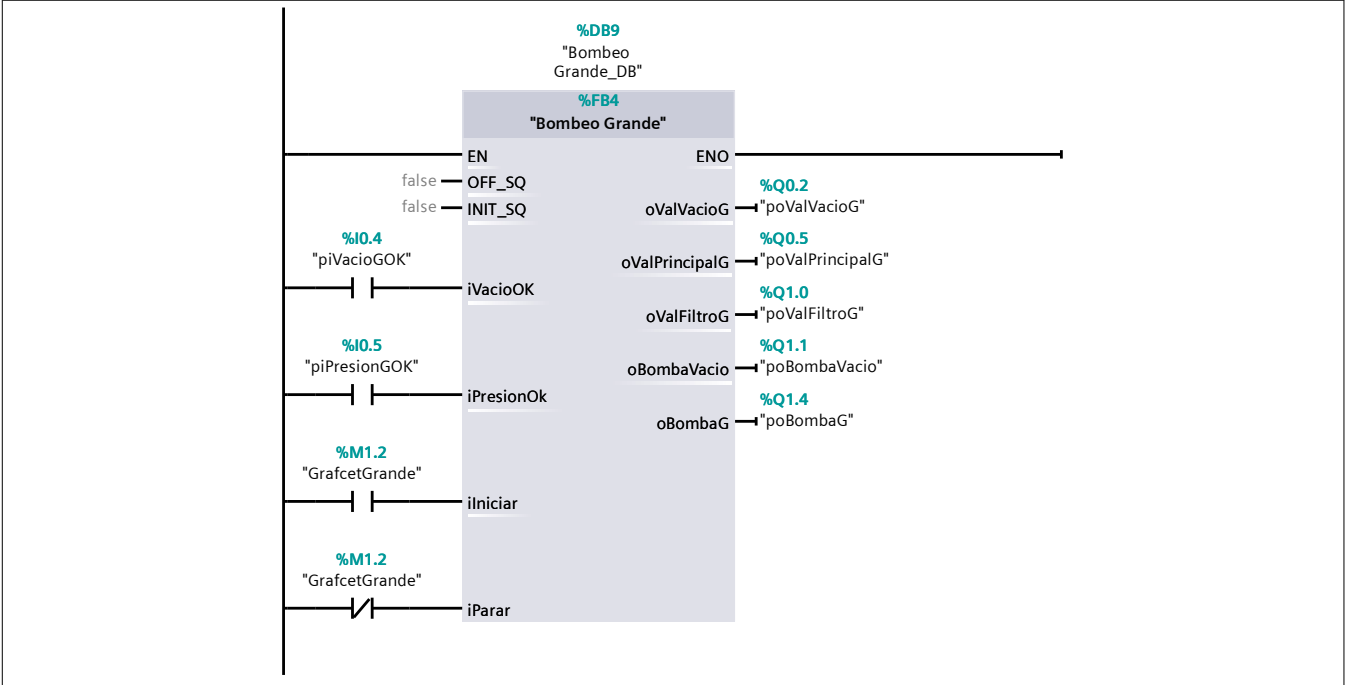
Segmento 3: Bombeo Mediano

Este segmento contiene el bloque "FB Bombeo Mediano". Este bloque tiene la lógica que controla el proceso de arranque y de parado de la línea de bombeo que alimenta el pivote mediano. Como entradas tenemos el estado de presión, según el sensor, y la variable que activa el bloque. Como salidas tenemos los diferentes componentes de la línea de bombeo: válvulas, bomba...



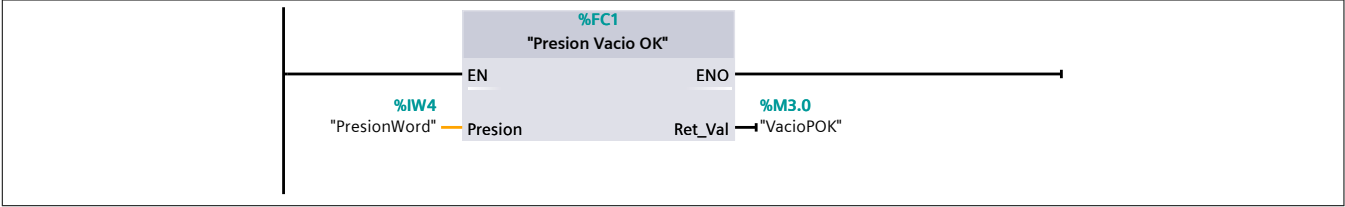
Segmento 4: Bombeo Grande

Este segmento contiene el bloque "FB Bombeo Grande". Este bloque tiene la lógica que controla el proceso de arranque y de paro de la línea de bombeo que alimenta el pivote grande. Como entradas tenemos el estado de presión, según el sensor, y la variable que activa el bloque. Como salidas tenemos los diferentes componentes de la línea de bombeo: válvulas, bomba...



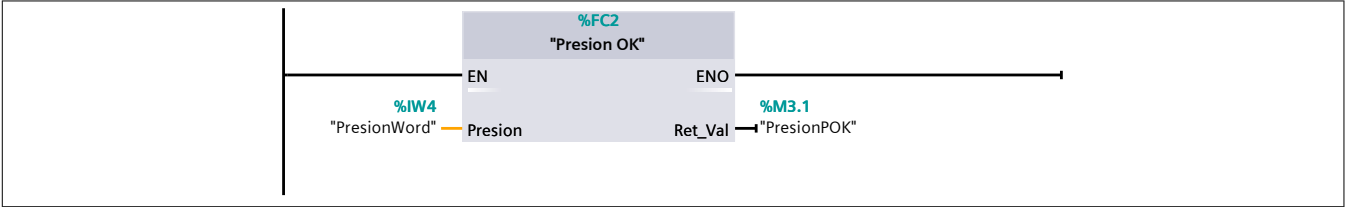
Segmento 5: Vacio OK_ Bombeo Pequeño

Este bloque de cálculo compara los diferentes rangos de la presión y activa la salida cuando se ha superado 1 bar



Segmento 6: Presión OK_ Bombeo Pequeño

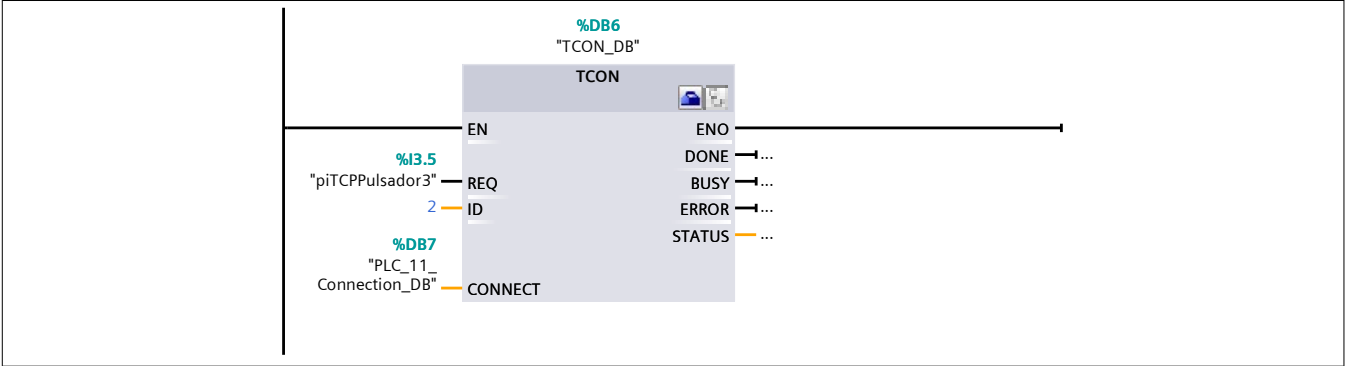
Este bloque de cálculo compara los diferentes rangos de la presión y activa la salida cuando se ha superado 5 bar



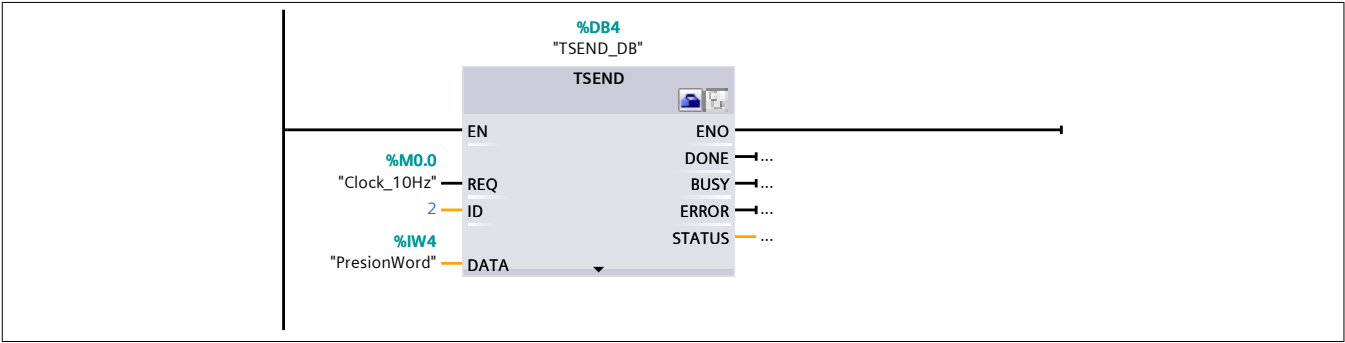
Segmento 7: Comunicación con otro PLC

Este segmento contiene el bloque encargado de comunicarse con el resto de PLCs del sistema

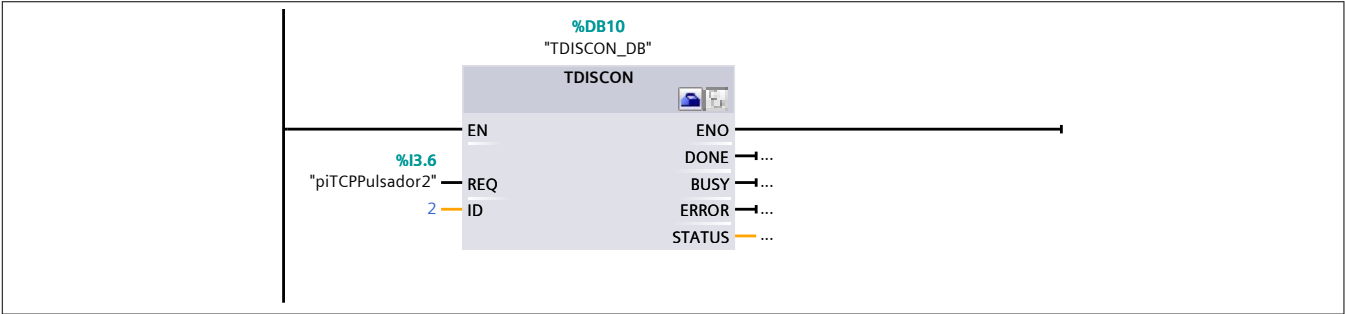
Este bloque conecta la comunicación TCP



Este bloque envía los datos vía TCP a la nube



Este bloque desactiva la conexión TCP con la nube



Totally Integrated Automation Portal

Principal [FB1]

Principal Propiedades

General

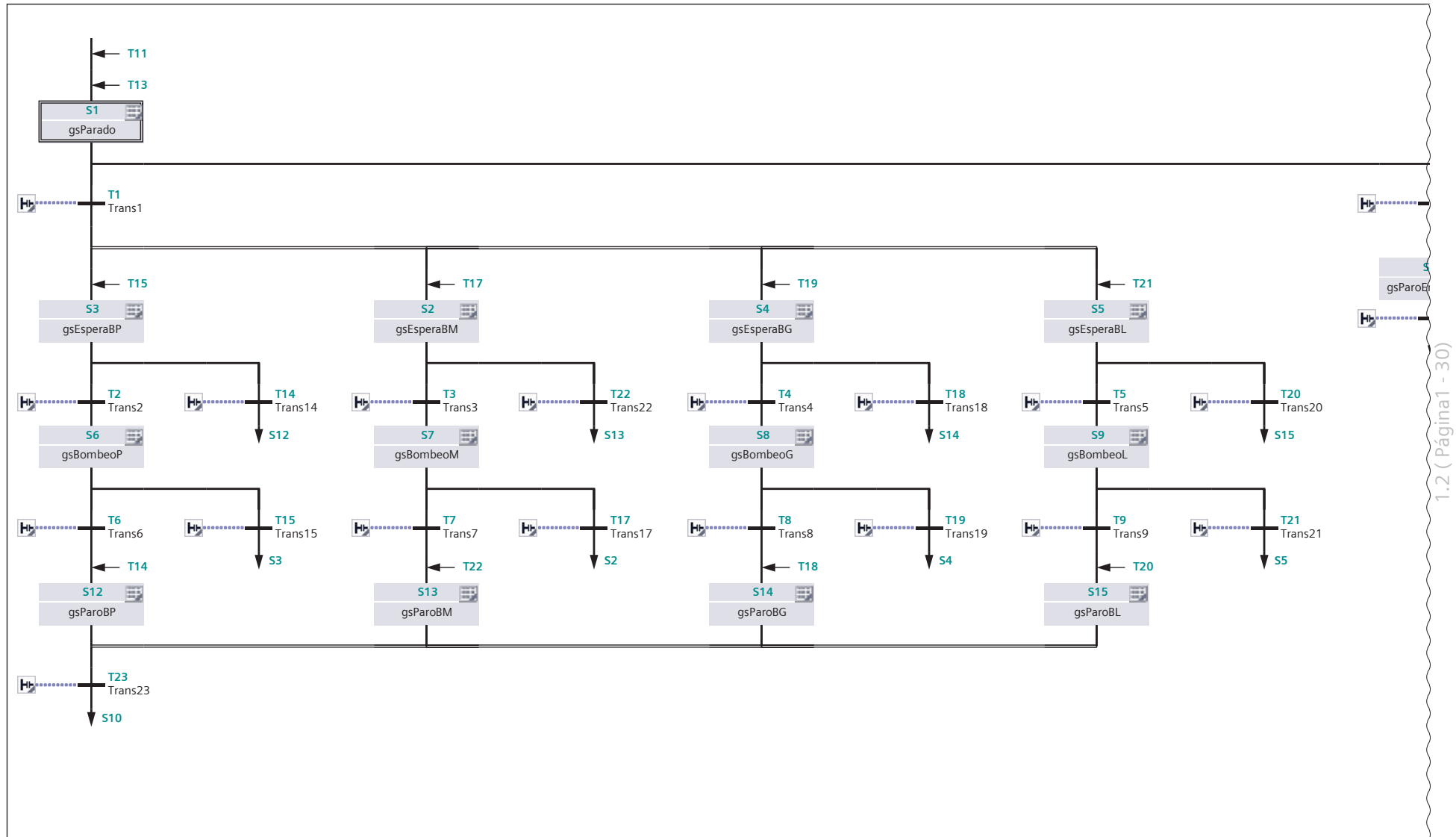
Nombre	Principal	Número	1	Tipo	FB	Idioma	GRAPH
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

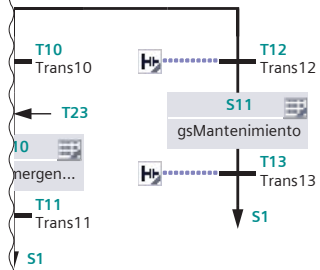
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia
▼ Input			
OFF_SQ	Bool	false	No remanente
INIT_SQ	Bool	false	No remanente
iMarchaBP	Bool	false	No remanente
iMarchaBM	Bool	false	No remanente
iMarchaBG	Bool	false	No remanente
iNivelPiscina	Bool	false	No remanente
iNivelDecantador	Bool	false	No remanente
iParoBP	Bool	false	No remanente
iParoBM	Bool	false	No remanente
iParoBG	Bool	false	No remanente
iParoEmergencia	Bool	false	No remanente
▼ Output			
oBombeoPequeño	Bool	false	No remanente
oBombeoMediano	Bool	false	No remanente
oBombeoGrande	Bool	false	No remanente
InOut			
▼ Static			
▼ RT_DATA	G7_RTDataPlus_V3		No remanente
VERSION	String[10]	'V3.0'	No remanente
S_DISPLAY	Int	0	No remanente

1: (1.1 / 1.2)



1: (1.2 / 1.2)

1.1 (Página 1 - 29)



Totally Integrated Automation Portal																																							
Bombeo Pequeño [FB2] Bombeo Pequeño Propiedades General <table><tr><td>Nombre</td><td>Bombeo Pequeño</td><td>Número</td><td>2</td><td>Tipo</td><td>FB</td><td>Idioma</td><td>GRAPH</td></tr><tr><td>Numeración</td><td>Automático</td><td colspan="6"></td></tr></table> Información <table><tr><td>Título</td><td></td><td>Autor</td><td></td><td>Comentario</td><td></td><td>Familia</td><td></td></tr><tr><td>Versión</td><td>0.1</td><td>ID personalizada</td><td></td><td colspan="4"></td></tr></table>								Nombre	Bombeo Pequeño	Número	2	Tipo	FB	Idioma	GRAPH	Numeración	Automático							Título		Autor		Comentario		Familia		Versión	0.1	ID personalizada					
Nombre	Bombeo Pequeño	Número	2	Tipo	FB	Idioma	GRAPH																																
Numeración	Automático																																						
Título		Autor		Comentario		Familia																																	
Versión	0.1	ID personalizada																																					
Nombre		Tipo de datos		Valor predet.		Remanencia																																	
▼ Input																																							
OFF_SQ		Bool		false		No remanente																																	
INIT_SQ		Bool		false		No remanente																																	
iVacioOK		Bool		false		No remanente																																	
iPresionOk		Bool		false		No remanente																																	
ilniciar		Bool		false		No remanente																																	
iParar		Bool		false		No remanente																																	
▼ Output																																							
oValVacioP		Bool		false		No remanente																																	
oValPrincipalP		Bool		false		No remanente																																	
oValFiltroP		Bool		false		No remanente																																	
oBombaVacio		Bool		false		No remanente																																	
oBombaP		Bool		false		No remanente																																	
InOut																																							
▼ Static																																							
▼ RT_DATA		G7_RTDataPlus_V3				No remanente																																	
VERSION		String[10]		'V3.0'		No remanente																																	
S_DISPLAY		Int		0		No remanente																																	
S_SEL_OLD		Int		0		No remanente																																	
S_DISPIDX		USInt		255		No remanente																																	
T_DISPIDX		USInt		255		No remanente																																	

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

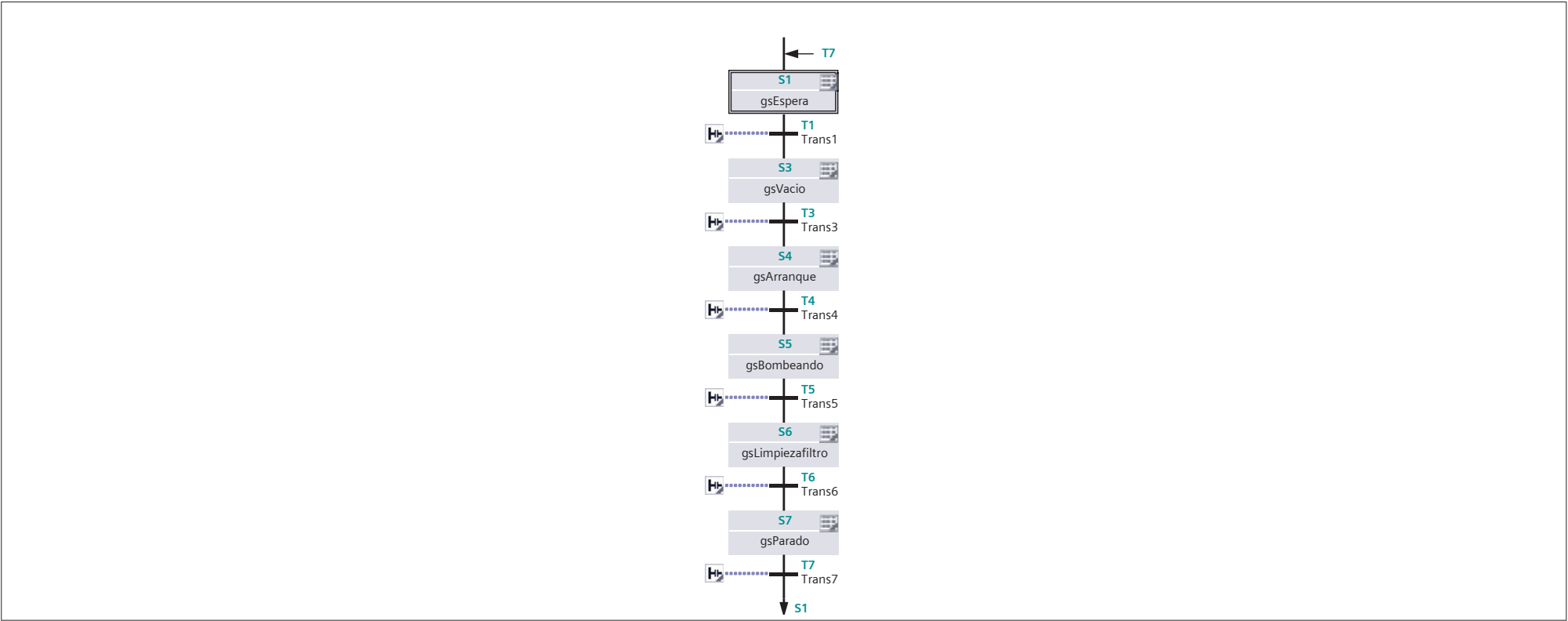
Categoría	Criterio de habilitación de la categoría	Discriminador
Categoría 8		0

Categoría para enclavamientos y supervisiones	Error	Categoría para advertencias GRAPH:	Advertencia
---	-------	------------------------------------	-------------

Instrucciones permanentes anteriores

Cadenas (1)

1:



Totally Integrated Automation Portal																																							
Bombeo Mediano [FB3] Bombeo Mediano Propiedades General <table><tr><td>Nombre</td><td>Bombeo Mediano</td><td>Número</td><td>3</td><td>Tipo</td><td>FB</td><td>Idioma</td><td>GRAPH</td></tr><tr><td>Numeración</td><td>Automático</td><td colspan="6"></td></tr></table> Información <table><tr><td>Título</td><td></td><td>Autor</td><td></td><td>Comentario</td><td></td><td>Familia</td><td></td></tr><tr><td>Versión</td><td>0.1</td><td>ID personalizada</td><td></td><td colspan="4"></td></tr></table>								Nombre	Bombeo Mediano	Número	3	Tipo	FB	Idioma	GRAPH	Numeración	Automático							Título		Autor		Comentario		Familia		Versión	0.1	ID personalizada					
Nombre	Bombeo Mediano	Número	3	Tipo	FB	Idioma	GRAPH																																
Numeración	Automático																																						
Título		Autor		Comentario		Familia																																	
Versión	0.1	ID personalizada																																					
Nombre		Tipo de datos		Valor predet.		Remanencia																																	
▼ Input																																							
OFF_SQ		Bool		false		No remanente																																	
INIT_SQ		Bool		false		No remanente																																	
iVacioOK		Bool		false		No remanente																																	
iPresionOk		Bool		false		No remanente																																	
iIniciar		Bool		false		No remanente																																	
iParar		Bool		false		No remanente																																	
▼ Output																																							
oValVacioM		Bool		false		No remanente																																	
oValPrincipalM		Bool		false		No remanente																																	
oValFiltroM		Bool		false		No remanente																																	
oBombaVacio		Bool		false		No remanente																																	
oBombaM		Bool		false		No remanente																																	
InOut																																							
▼ Static																																							
▼ RT_DATA		G7_RTDataPlus_V3				No remanente																																	
VERSION		String[10]		'V3.0'		No remanente																																	
S_DISPLAY		Int		0		No remanente																																	
S_SEL_OLD		Int		0		No remanente																																	
S_DISPIDX		USInt		255		No remanente																																	
T_DISPIDX		USInt		255		No remanente																																	

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

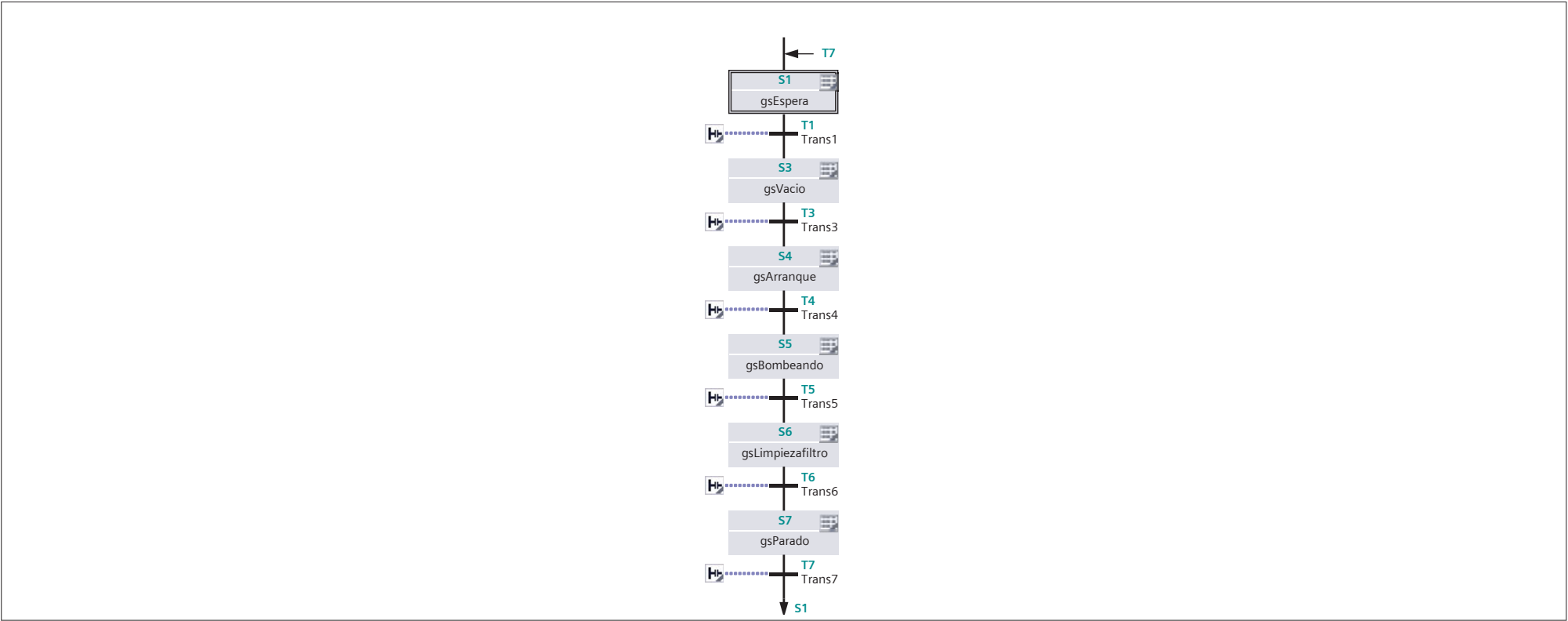
Categoría	Criterio de habilitación de la categoría	Discriminador
Categoría 8		0

Categoría para enclavamientos y supervisiones	Error	Categoría para advertencias GRAPH:	Advertencia
---	-------	------------------------------------	-------------

Instrucciones permanentes anteriores

Cadenas (1)

1:



Totally Integrated Automation Portal

Bombeo Grande [FB4]

Bombeo Grande Propiedades

General

Nombre	Bombeo Grande	Número	4	Tipo	FB	Idioma	GRAPH
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia
▼ Input			
OFF_SQ	Bool	false	No remanente
INIT_SQ	Bool	false	No remanente
iVacioOK	Bool	false	No remanente
iPresionOk	Bool	false	No remanente
ilniciar	Bool	false	No remanente
iParar	Bool	false	No remanente
▼ Output			
oValVacioG	Bool	false	No remanente
oValPrincipalG	Bool	false	No remanente
oValFiltroG	Bool	false	No remanente
oBombaVacio	Bool	false	No remanente
oBombaG	Bool	false	No remanente
InOut			
▼ Static			
▼ RT_DATA	G7_RTDataPlus_V3		No remanente
VERSION	String[10]	'V3.0'	No remanente
S_DISPLAY	Int	0	No remanente
S_SEL_OLD	Int	0	No remanente
S_DISPIDX	USInt	255	No remanente
T_DISPIDX	USInt	255	No remanente

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

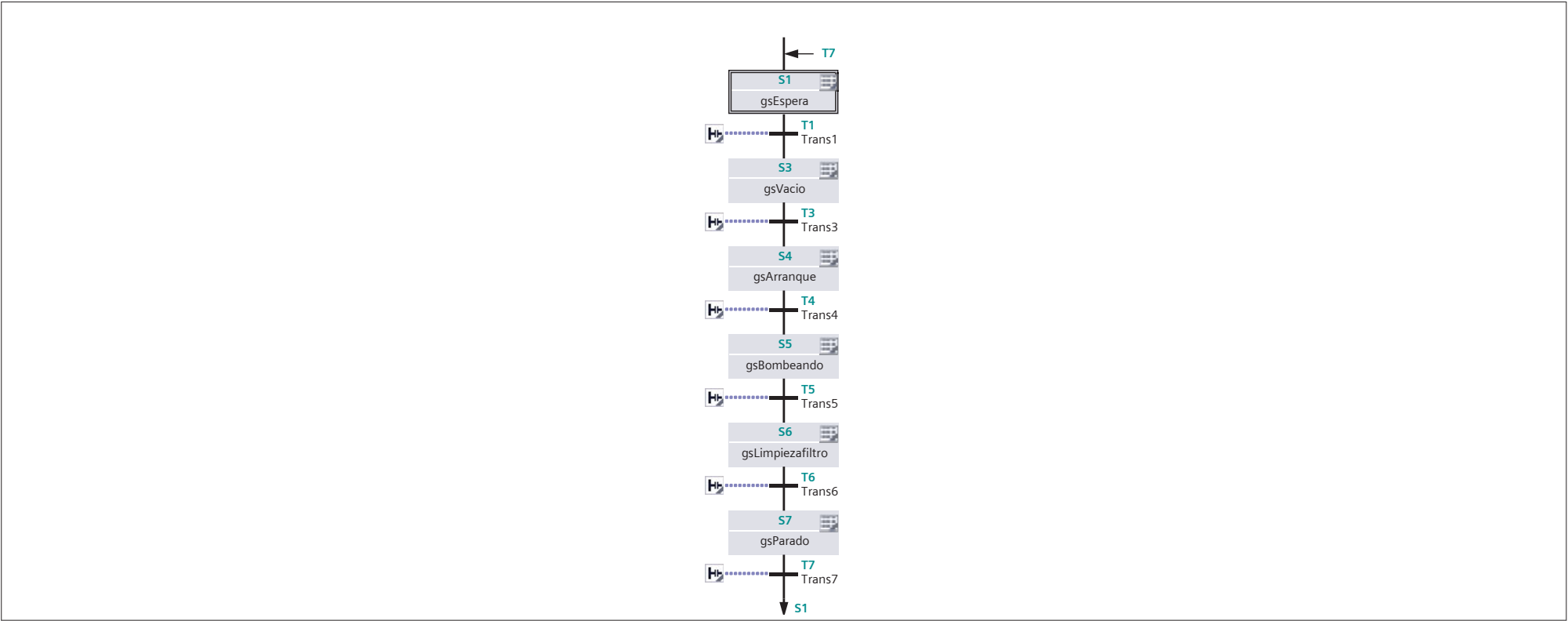
Categoría	Criterio de habilitación de la categoría	Discriminador
Categoría 8		0

Categoría para enclavamientos y supervisiones	Error	Categoría para advertencias GRAPH:	Advertencia
---	-------	------------------------------------	-------------

Instrucciones permanentes anteriores

Cadenas (1)

1:



Totally Integrated Automation Portal

Presion OK [FC2]

Presion OK Propiedades

General

Nombre	Presion OK	Número	2	Tipo	FC	Idioma	SCL
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
Presion	Word	
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
Presion OK	Bool	

```
0001 "PresionReal" := INT_TO_REAL(WORD_TO_INT(#Presion)) / 1000;
0002 IF "PresionReal" > 5 THEN
0003     #"Presion OK" := TRUE;
0004 ELSE
0005     #"Presion OK" := FALSE;
0006 END_IF;
```

Totally Integrated Automation Portal

Presion Vacio OK [FC1]

Presion Vacio OK Propiedades

General

Nombre	Presion Vacio OK	Número	1	Tipo	FC	Idioma	SCL
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
Presion	Word	
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
Presion Vacio OK	Bool	

```
0001 "PresionReal" := INT_TO_REAL(WORD_TO_INT(#Presion))/1000;
0002 IF "PresionReal">1 THEN
0003     #"Presion Vacio OK" := TRUE;
0004 ELSE
0005     #"Presion Vacio OK" := FALSE;
0006 END_IF;
0007
```

Variables PLC / Tabla de variables estándar [124]

Variables PLC

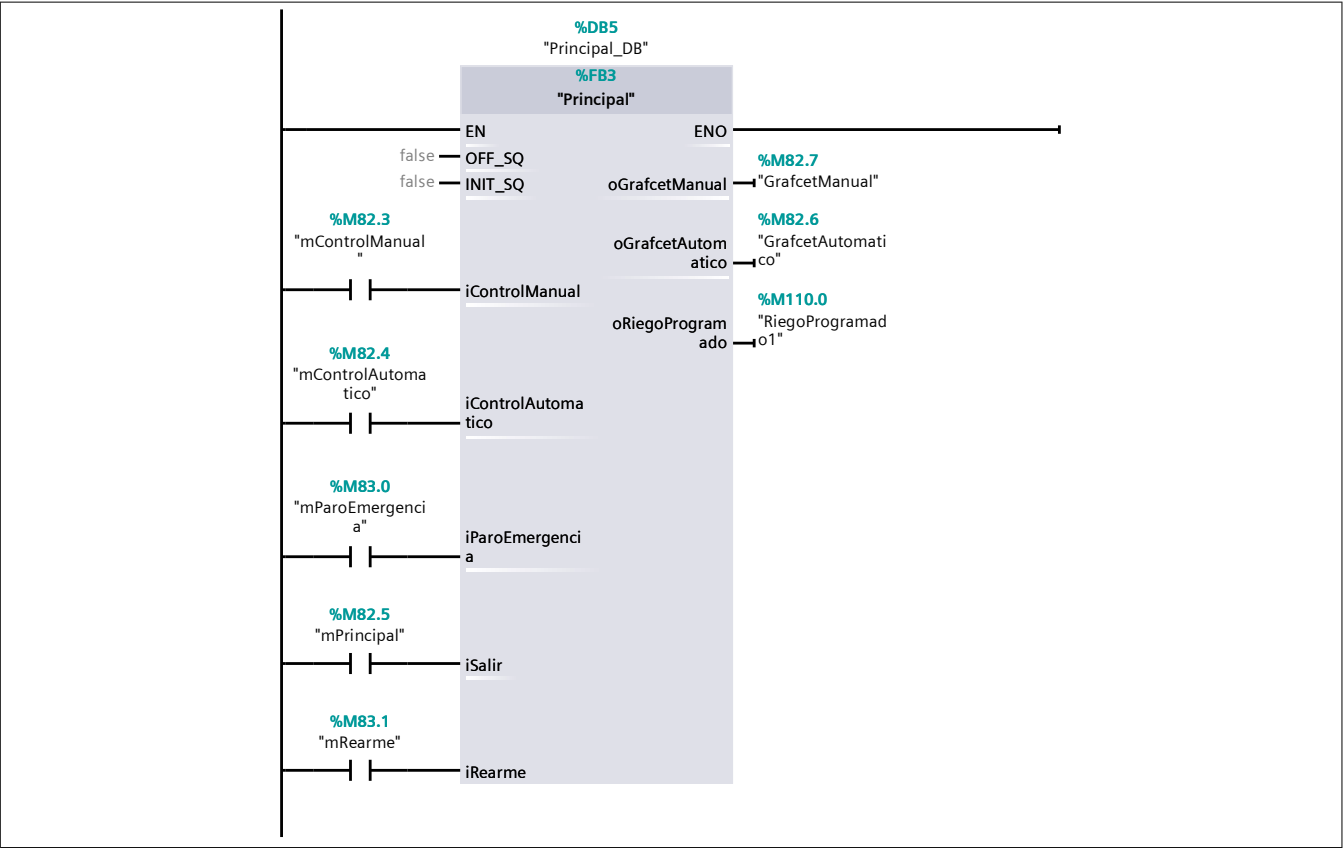
Variables PLC				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia
	Clock_Byte	Byte	%MB0	False
	Clock_10Hz	Bool	%M0.0	False
	Clock_5Hz	Bool	%M0.1	False
	Clock_2.5Hz	Bool	%M0.2	False
	Clock_2Hz	Bool	%M0.3	False
	Clock_1.25Hz	Bool	%M0.4	False
	Clock_1Hz	Bool	%M0.5	False
	Clock_0.625Hz	Bool	%M0.6	False
	Clock_0.5Hz	Bool	%M0.7	False
	GrafcetPequeño	Bool	%M1.0	False
	GrafcetMediano	Bool	%M1.1	False
	GrafcetGrande	Bool	%M1.2	False
	poValVacioP	Bool	%Q0.0	False
	poValVacioM	Bool	%Q0.1	False
	poValVacioG	Bool	%Q0.2	False
	poValPrincipalP	Bool	%Q0.3	False
	poValPrincipalM	Bool	%Q0.4	False
	poValPrincipalG	Bool	%Q0.5	False
	poValFiltroP	Bool	%Q0.6	False
	poValFiltroM	Bool	%Q0.7	False
	poValFiltroG	Bool	%Q1.0	False
	poBombaVacio	Bool	%Q1.1	False
	poBombaP	Bool	%Q1.2	False
	poBombaM	Bool	%Q1.3	False
	poBombaG	Bool	%Q1.4	False
	piVacioPOK	Bool	%I0.0	False
	piPresionPOK	Bool	%I0.1	False
	piVacioMOK	Bool	%I0.2	False
	piPresionMOK	Bool	%I0.3	False
	piVacioGOK	Bool	%I0.4	False
	piPresionGOK	Bool	%I0.5	False
	piMarchaP	Bool	%I0.6	False
	piMarchaM	Bool	%I0.7	False
	piMarchaG	Bool	%I1.0	False
	piNivelDecantador	Bool	%I1.1	False
	piNivelPiscina	Bool	%I1.2	False
	piParoP	Bool	%I1.3	False

Main [OB1]

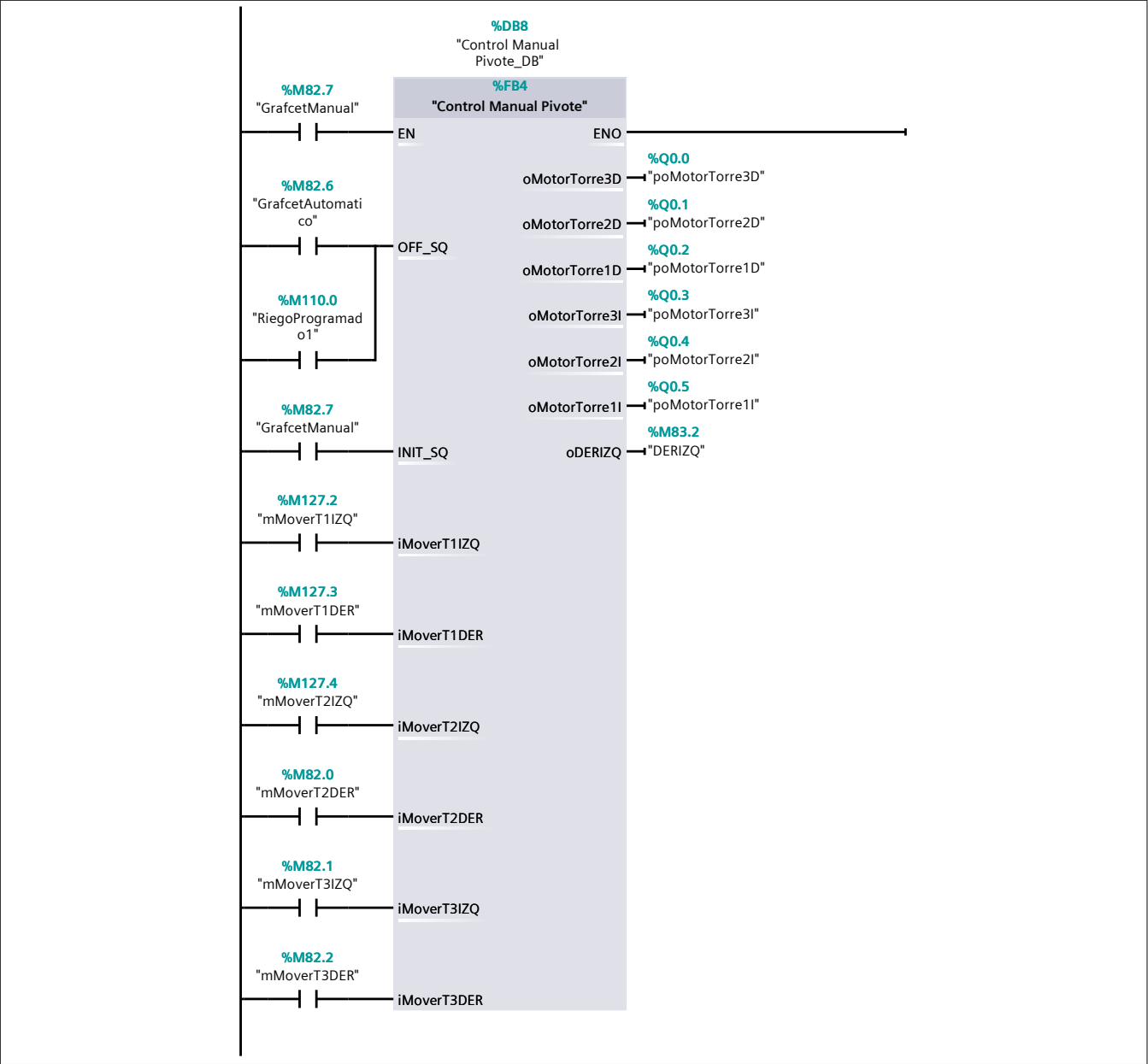
Main Propiedades					
General					
Nombre	Main	Número	1	Tipo	OB
Idioma	KOP	Numeración	Automático		
Información					
Título	"Main Program Sweep (Cycle)"	Autor		Comentario	
Familia		Versión	0.1	ID personalizada	

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
Initial_Call	Bool	
Remanence	Bool	
▼ Temp		
tArcoT3	Real	
Constant		

Segmento 1: Principal

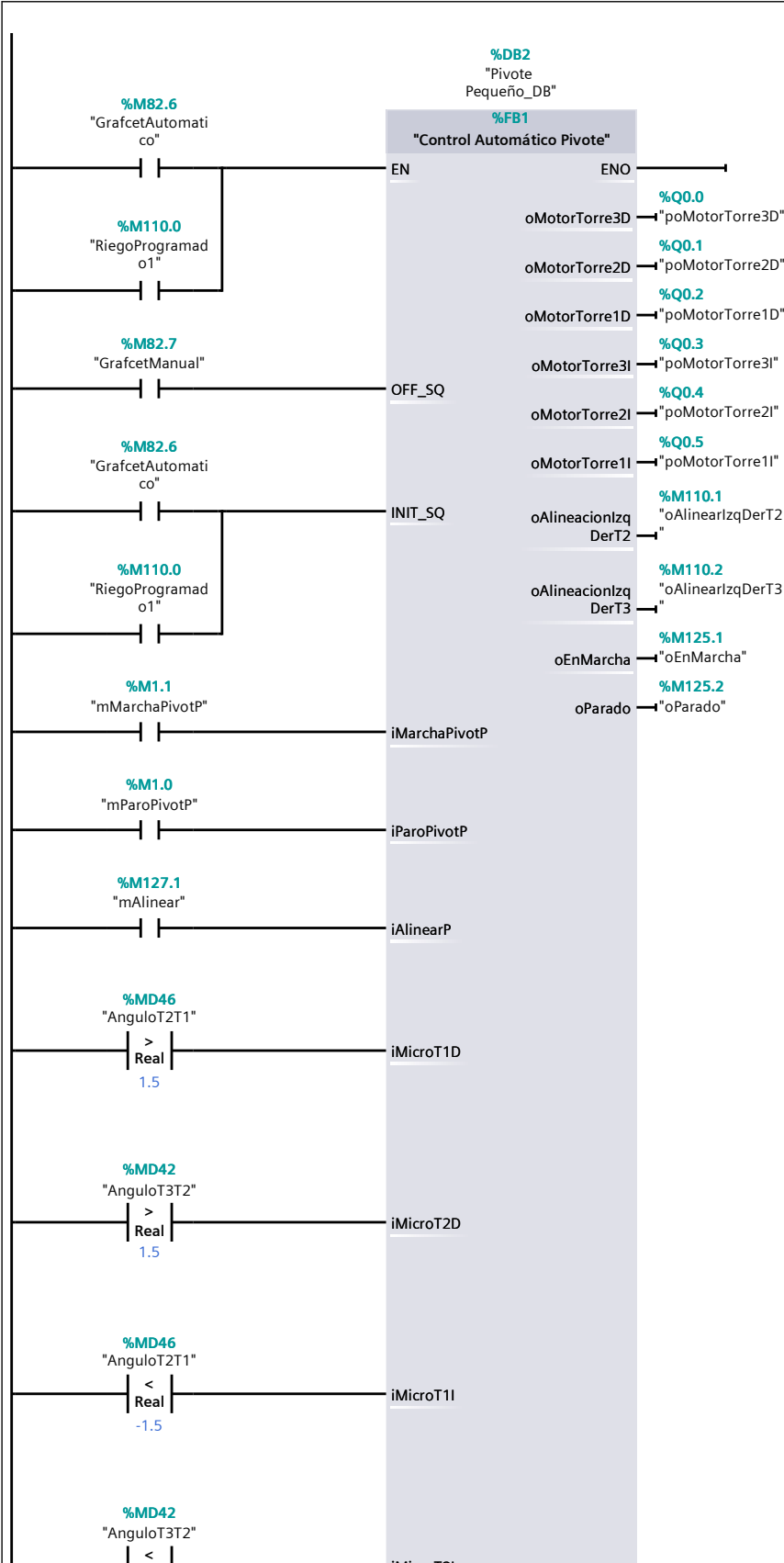


Segmento 2: Control Manual



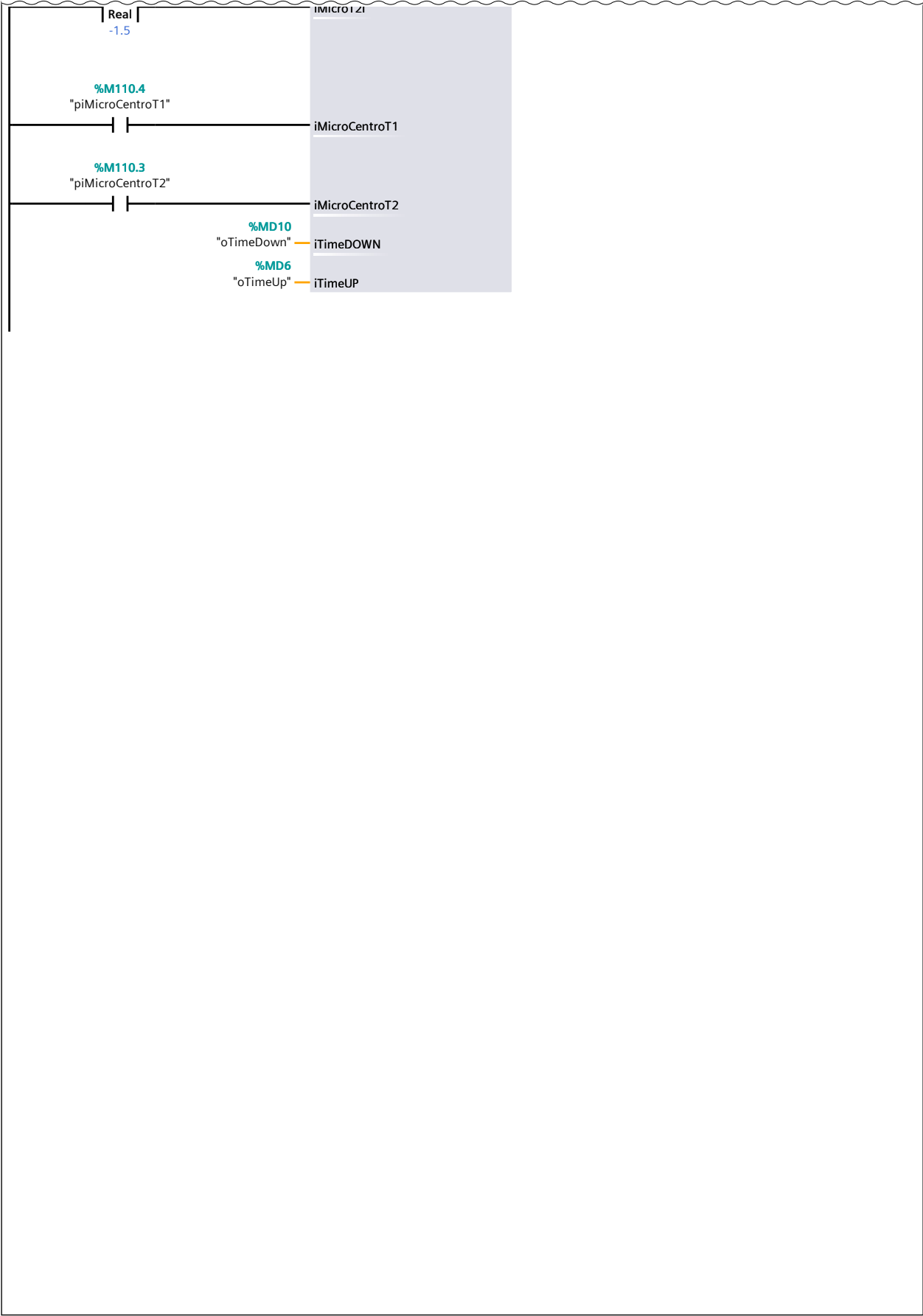
Segmento 3: Control pivote

Segmento 3: Control pivote (1.1 / 2.1)



Segmento 3: Control pivote (2.1 / 2.1)

1.1 (Página1 - 3)



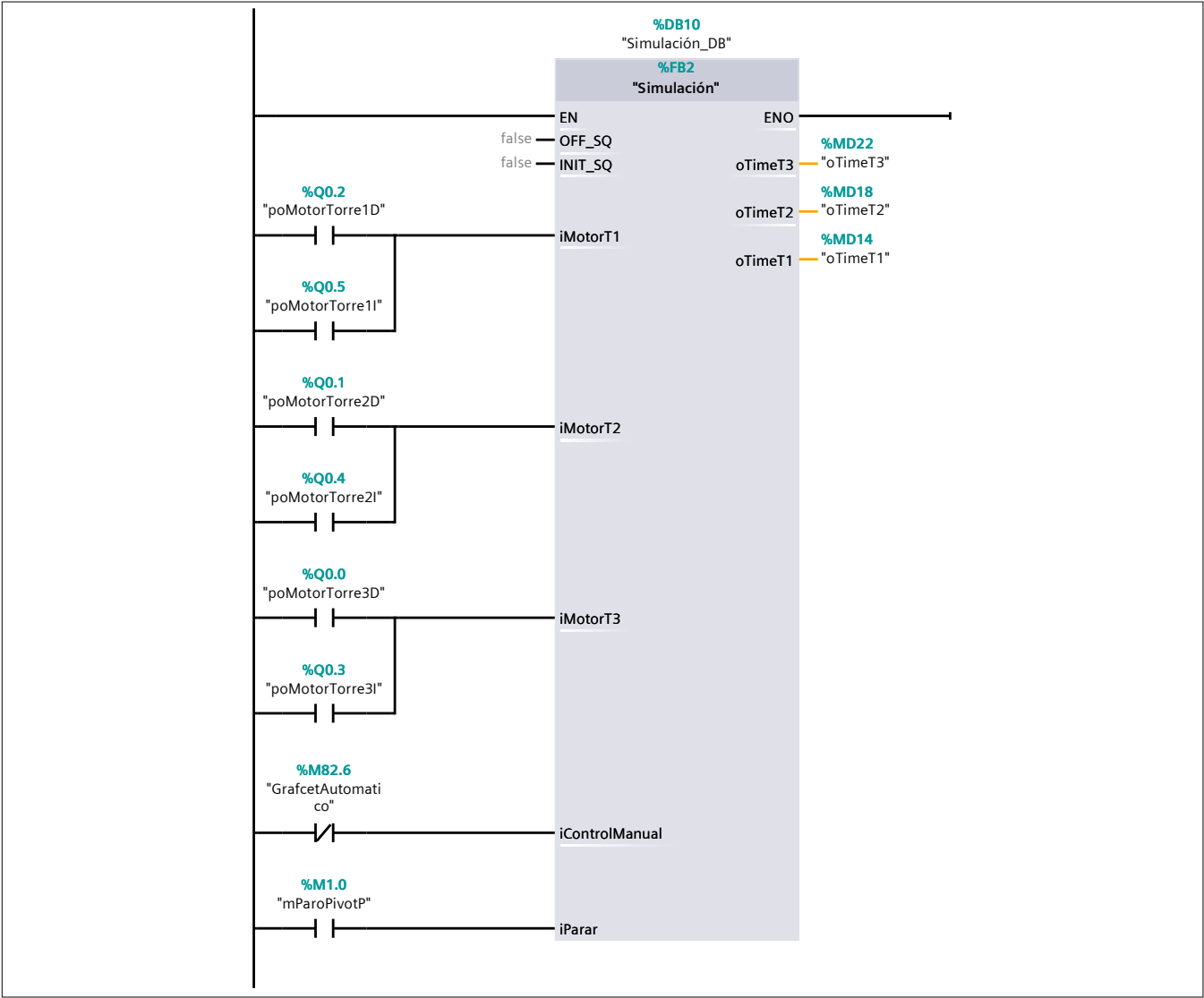
Segmento 4: TimeDown



Segmento 5: TimeUp

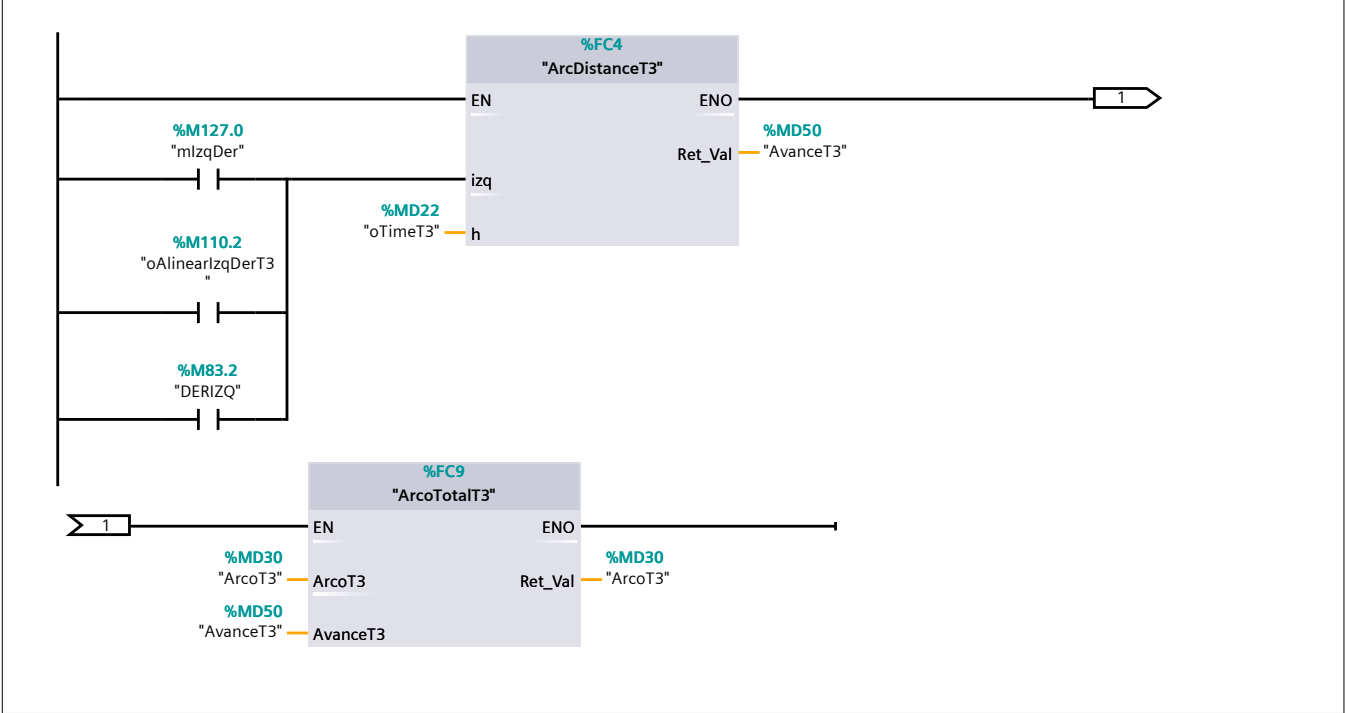


Segmento 6: Bloque Simulación



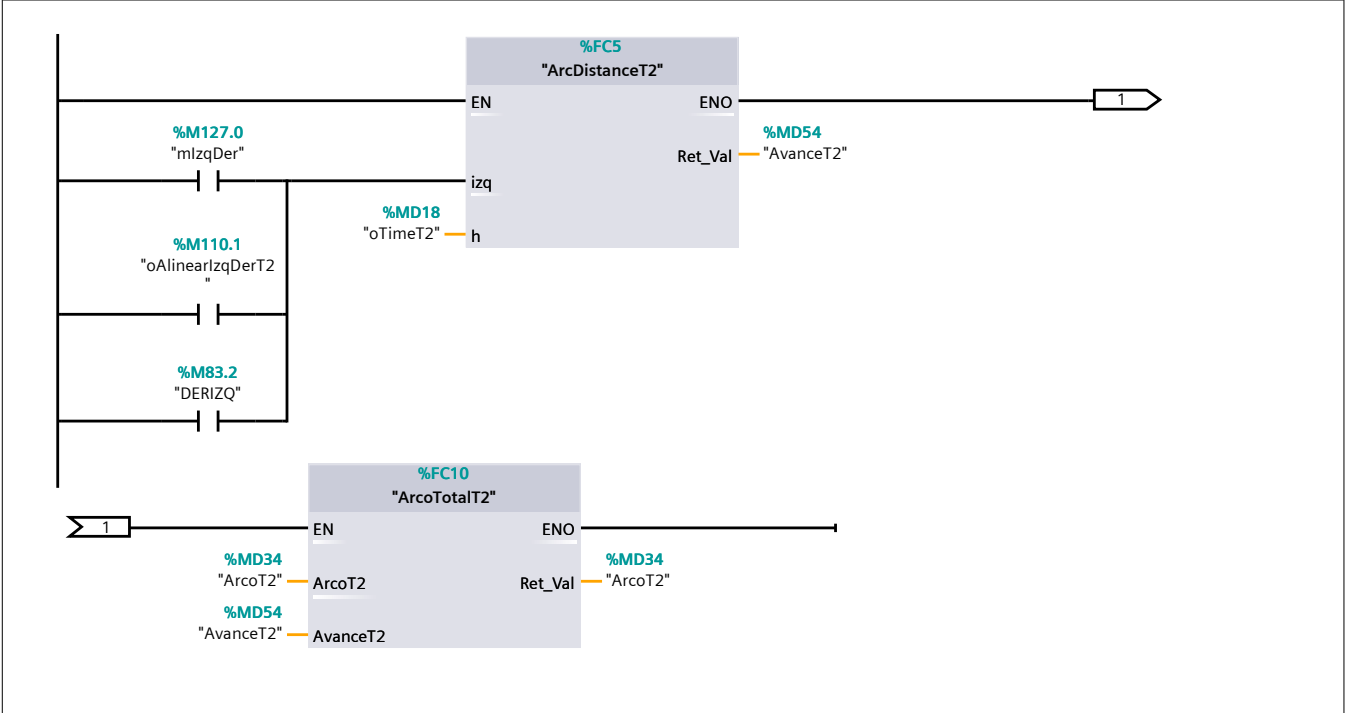
Segmento 7: ArcoT3

Segmento 7: ArcoT3



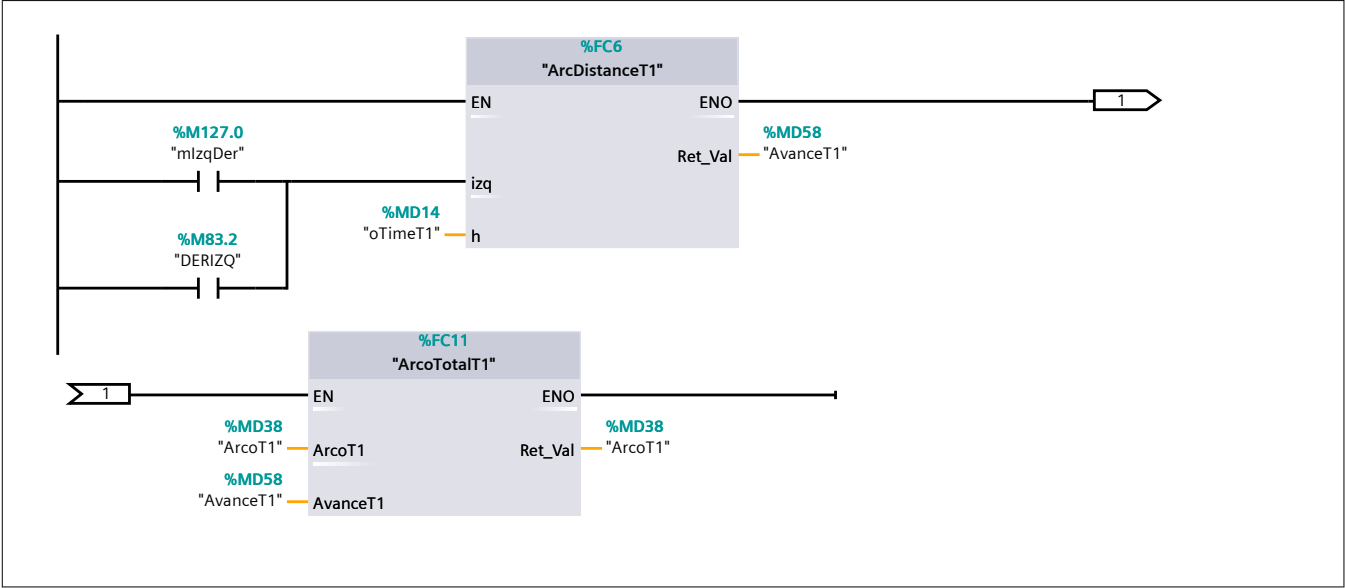
Segmento 8: ArcoT2

Segmento 8: ArcoT2

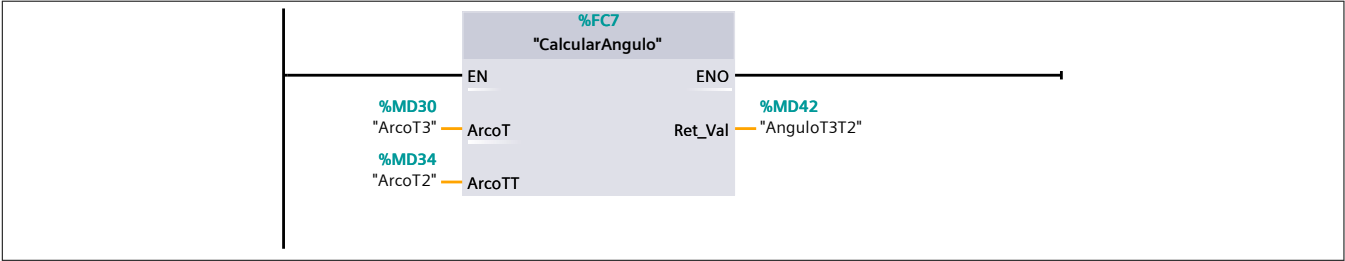


Segmento 9: ArcoT1

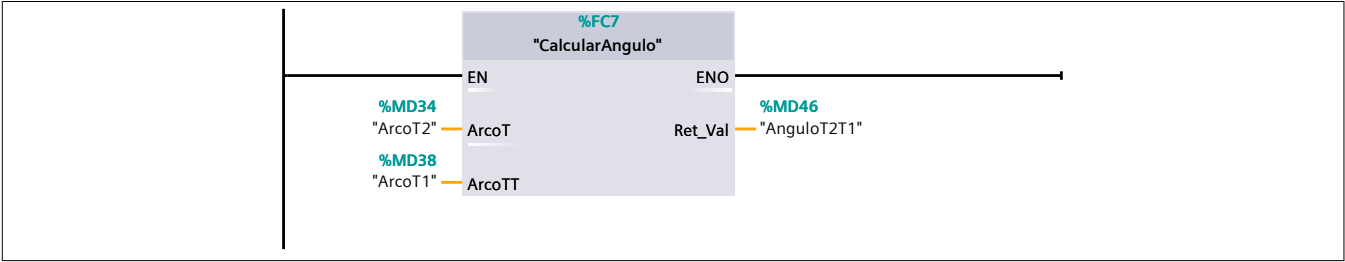
Segmento 9: ArcoT1



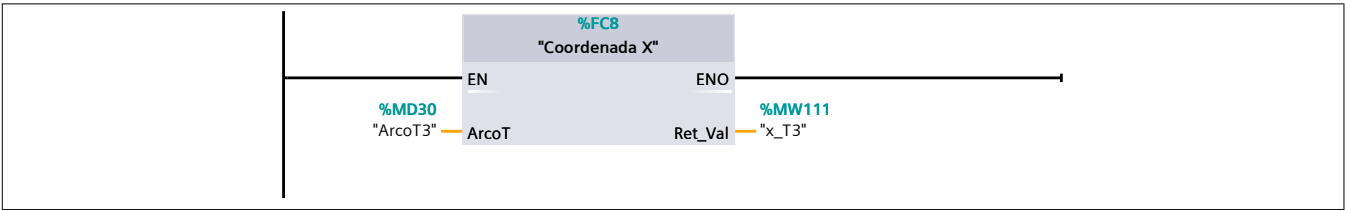
Segmento 10: Angulo1



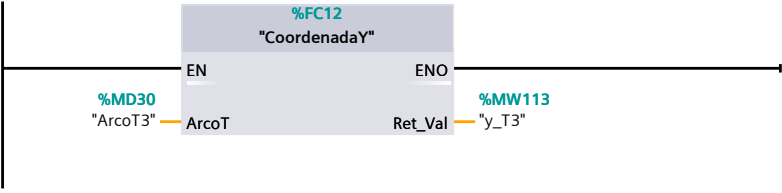
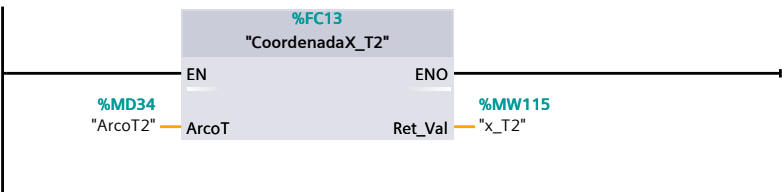
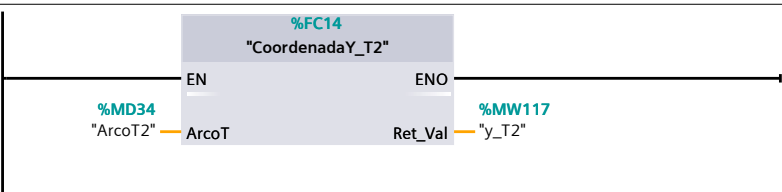
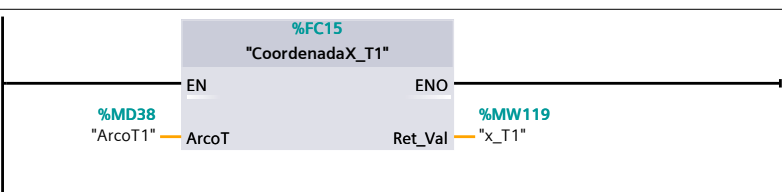
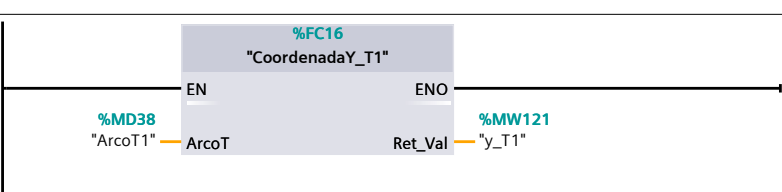
Segmento 11: Angulo2



Segmento 12: X_T3



Segmento 13: Y_T3

Totally Integrated Automation Portal		
		
Segmento 14: X_T2		
		
Segmento 15: Y_T2		
		
Segmento 16: x_T1		
		
Segmento 17: Y_T1		
		
Segmento 18: MicroCentroT2		

Totally Integrated Automation Portal		
Segmento 19: MicroCentroT1		
Segmento 20: Leer Reloj		
Segmento 21: Conexión PLC		
Segmento 22: Borrar Riego Guardado 1		

Totally Integrated Automation Portal

Principal [FB3]

Principal Propiedades

General

Nombre	Principal	Número	3	Tipo	FB	Idioma	GRAPH
Numeración	Automático						

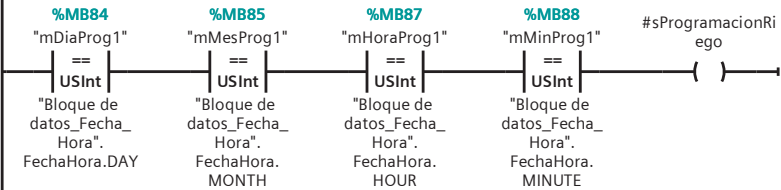
Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

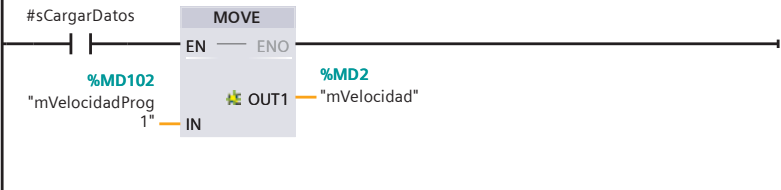
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia
▼ Input			
OFF_SQ	Bool	false	No remanente
INIT_SQ	Bool	false	No remanente
iControlManual	Bool	false	No remanente
iControlAutomatico	Bool	false	No remanente
iParoEmergencia	Bool	false	No remanente
iSalir	Bool	false	No remanente
iRearme	Bool	false	No remanente
▼ Output			
oGrafcetManual	Bool	false	No remanente
oGrafcetAutomatico	Bool	false	No remanente
oRiegoProgramado	Bool	false	No remanente
InOut			
▼ Static			
sProgramacionRiego	Bool	false	No remanente
sCargarDatos	Bool	false	No remanente
sAnguloOK	Bool	false	No remanente
▼ RT_DATA	G7_RTDataPlus_V3		No remanente
VERSION	String[10]	'V3.0'	No remanente
S_DISPLAY	Int	0	No remanente
S_SEL_OLD	Int	0	No remanente

Instrucciones permanentes anteriores

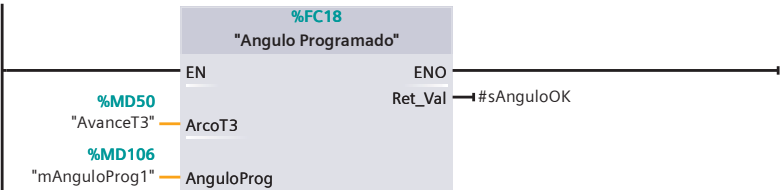
1:Riego Programado



2:Cargas Datos

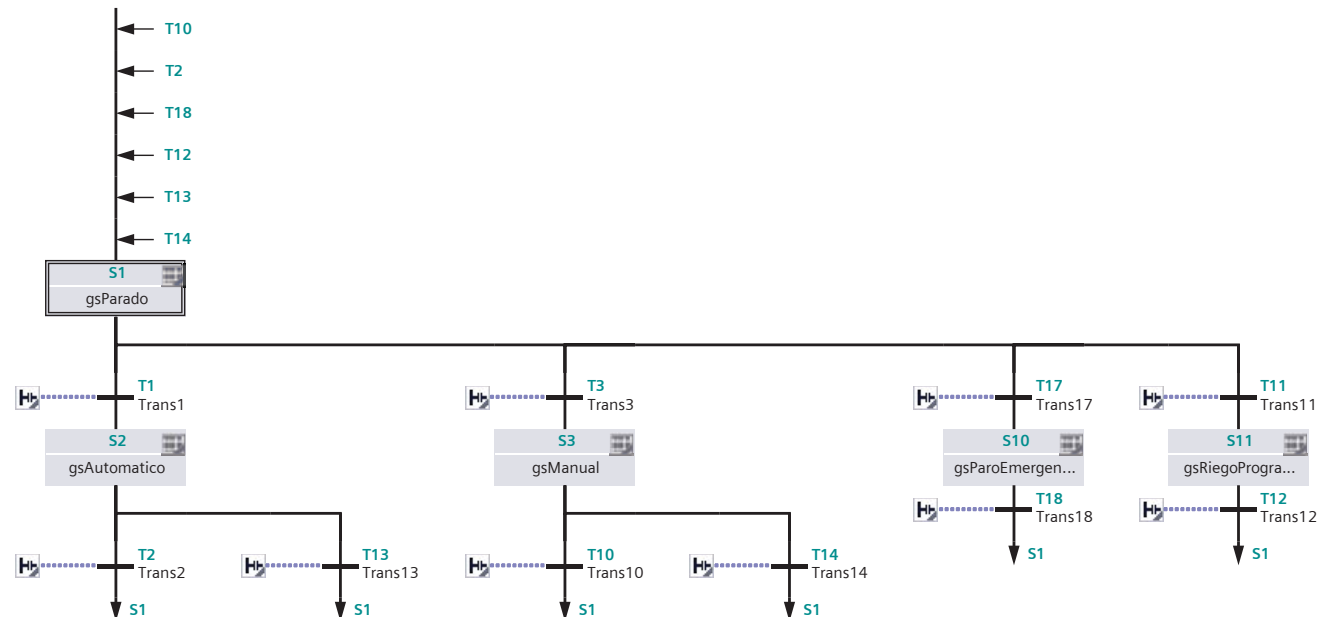


3:Angulo Final Programado



Cadenas (1)

1:



S1 - [Etapa inicial]:gsParado

Interlock -(c)-:

Aviso de Interlock

Texto del aviso

Totally Integrated Automation Portal

Control Manual Pivote [FB4]

Control Manual Pivote Propiedades

General

Nombre	Control Manual Pivote	Número	4	Tipo	FB	Idioma	GRAPH
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia
▼ Input			
OFF_SQ	Bool	false	No remanente
INIT_SQ	Bool	false	No remanente
iMoverT1IZQ	Bool	false	No remanente
iMoverT1DER	Bool	false	No remanente
iMoverT2IZQ	Bool	false	No remanente
iMoverT2DER	Bool	false	No remanente
iMoverT3IZQ	Bool	false	No remanente
iMoverT3DER	Bool	false	No remanente
▼ Output			
oMotorTorre3D	Bool	false	No remanente
oMotorTorre2D	Bool	false	No remanente
oMotorTorre1D	Bool	false	No remanente
oMotorTorre3I	Bool	false	No remanente
oMotorTorre2I	Bool	false	No remanente
oMotorTorre1I	Bool	false	No remanente
oDERIZQ	Bool	false	No remanente
InOut			
▼ Static			
▼ RT_DATA	G7_RTDataPlus_V3		No remanente
VERSION	String[10]	'V3.0'	No remanente

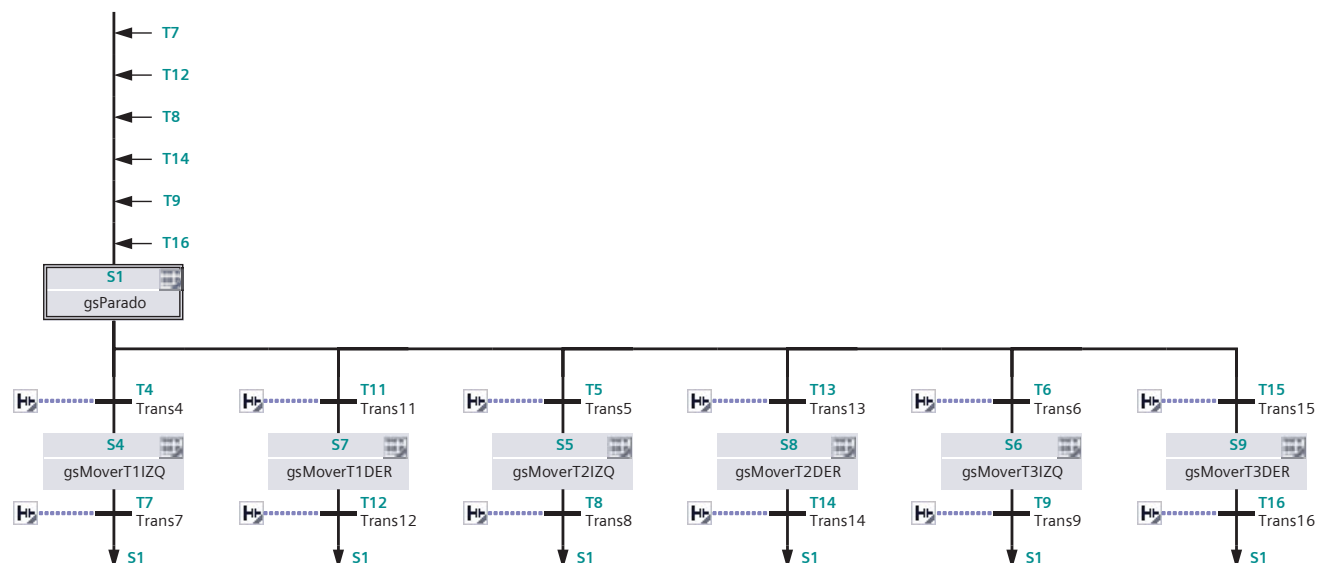
Instrucciones permanentes anteriores

1:

--	--

Cadenas (1)

1:

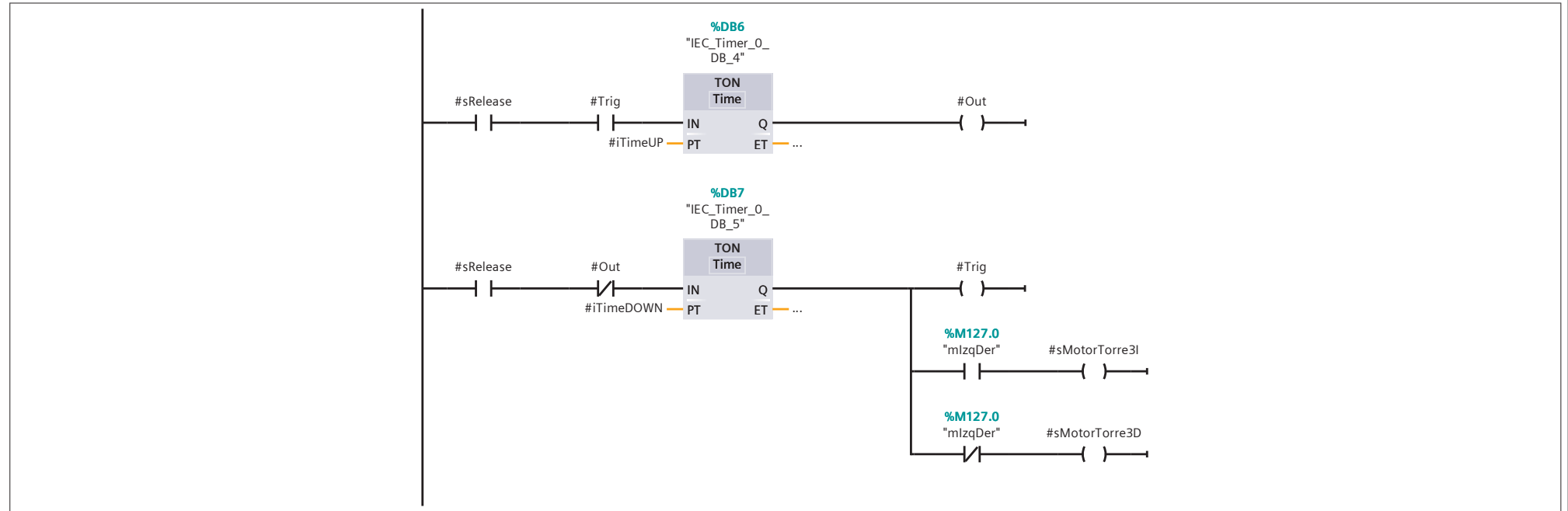


S1 - [Etapa inicial]:gsParado

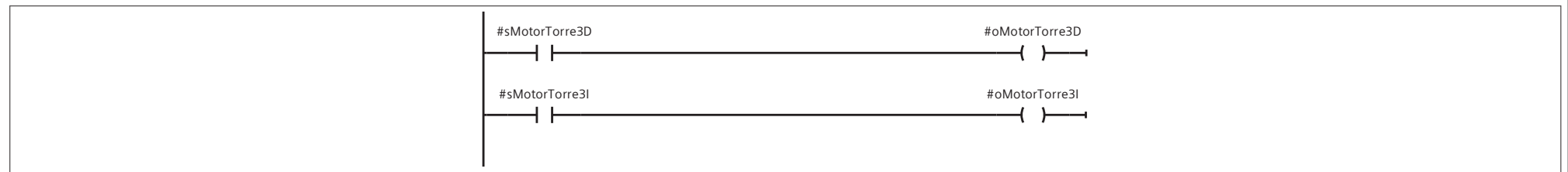
Totally Integrated Automation Portal																																																																																																																																			
Control Automático Pivote [FB1] Control Automático Pivote Propiedades General <table><tr><td>Nombre</td><td>Control Automático Pivote</td><td>Número</td><td>1</td><td>Tipo</td><td>FB</td><td>Idioma</td><td>GRAPH</td></tr><tr><td>Numeración</td><td>Automático</td><td colspan="6"></td></tr></table> Información <table><tr><td>Título</td><td></td><td>Autor</td><td></td><td>Comentario</td><td></td><td>Familia</td><td></td></tr><tr><td>Versión</td><td>0.1</td><td>ID personalizada</td><td></td><td colspan="4"></td></tr></table> <table><thead><tr><th>Nombre</th><th>Tipo de datos</th><th>Valor predet.</th><th>Remanencia</th></tr></thead><tbody><tr><td>▼ Input</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>OFF_SQ</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>INIT_SQ</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iMarchaPivotP</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iParoPivotP</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iAlinearP</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iMicroT1D</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iMicroT2D</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iMicroT1I</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iMicroT2I</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iMicroCentroT1</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iMicroCentroT2</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iTimeDOWN</td><td>Time</td><td>T#0ms</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>iTimeUP</td><td>Time</td><td>T#0ms</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>▼ Output</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>oMotorTorre3D</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>oMotorTorre2D</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>oMotorTorre1D</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>oMotorTorre3I</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>oMotorTorre2I</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>oMotorTorre1I</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr><tr><td>oAlineacionIzqDerT2</td><td>Bool</td><td>false</td><td>No remanente</td></tr></tbody></table>								Nombre	Control Automático Pivote	Número	1	Tipo	FB	Idioma	GRAPH	Numeración	Automático							Título		Autor		Comentario		Familia		Versión	0.1	ID personalizada						Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia	▼ Input				OFF_SQ	Bool	false	No remanente	INIT_SQ	Bool	false	No remanente	iMarchaPivotP	Bool	false	No remanente	iParoPivotP	Bool	false	No remanente	iAlinearP	Bool	false	No remanente	iMicroT1D	Bool	false	No remanente	iMicroT2D	Bool	false	No remanente	iMicroT1I	Bool	false	No remanente	iMicroT2I	Bool	false	No remanente	iMicroCentroT1	Bool	false	No remanente	iMicroCentroT2	Bool	false	No remanente	iTimeDOWN	Time	T#0ms	No remanente	iTimeUP	Time	T#0ms	No remanente	▼ Output				oMotorTorre3D	Bool	false	No remanente	oMotorTorre2D	Bool	false	No remanente	oMotorTorre1D	Bool	false	No remanente	oMotorTorre3I	Bool	false	No remanente	oMotorTorre2I	Bool	false	No remanente	oMotorTorre1I	Bool	false	No remanente	oAlineacionIzqDerT2	Bool	false	No remanente
Nombre	Control Automático Pivote	Número	1	Tipo	FB	Idioma	GRAPH																																																																																																																												
Numeración	Automático																																																																																																																																		
Título		Autor		Comentario		Familia																																																																																																																													
Versión	0.1	ID personalizada																																																																																																																																	
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia																																																																																																																																
▼ Input																																																																																																																																			
OFF_SQ	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
INIT_SQ	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
iMarchaPivotP	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
iParoPivotP	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
iAlinearP	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
iMicroT1D	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
iMicroT2D	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
iMicroT1I	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
iMicroT2I	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
iMicroCentroT1	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
iMicroCentroT2	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
iTimeDOWN	Time	T#0ms	No remanente																																																																																																																																
iTimeUP	Time	T#0ms	No remanente																																																																																																																																
▼ Output																																																																																																																																			
oMotorTorre3D	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
oMotorTorre2D	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
oMotorTorre1D	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
oMotorTorre3I	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
oMotorTorre2I	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
oMotorTorre1I	Bool	false	No remanente																																																																																																																																
oAlineacionIzqDerT2	Bool	false	No remanente																																																																																																																																

Instrucciones permanentes anteriores

1:

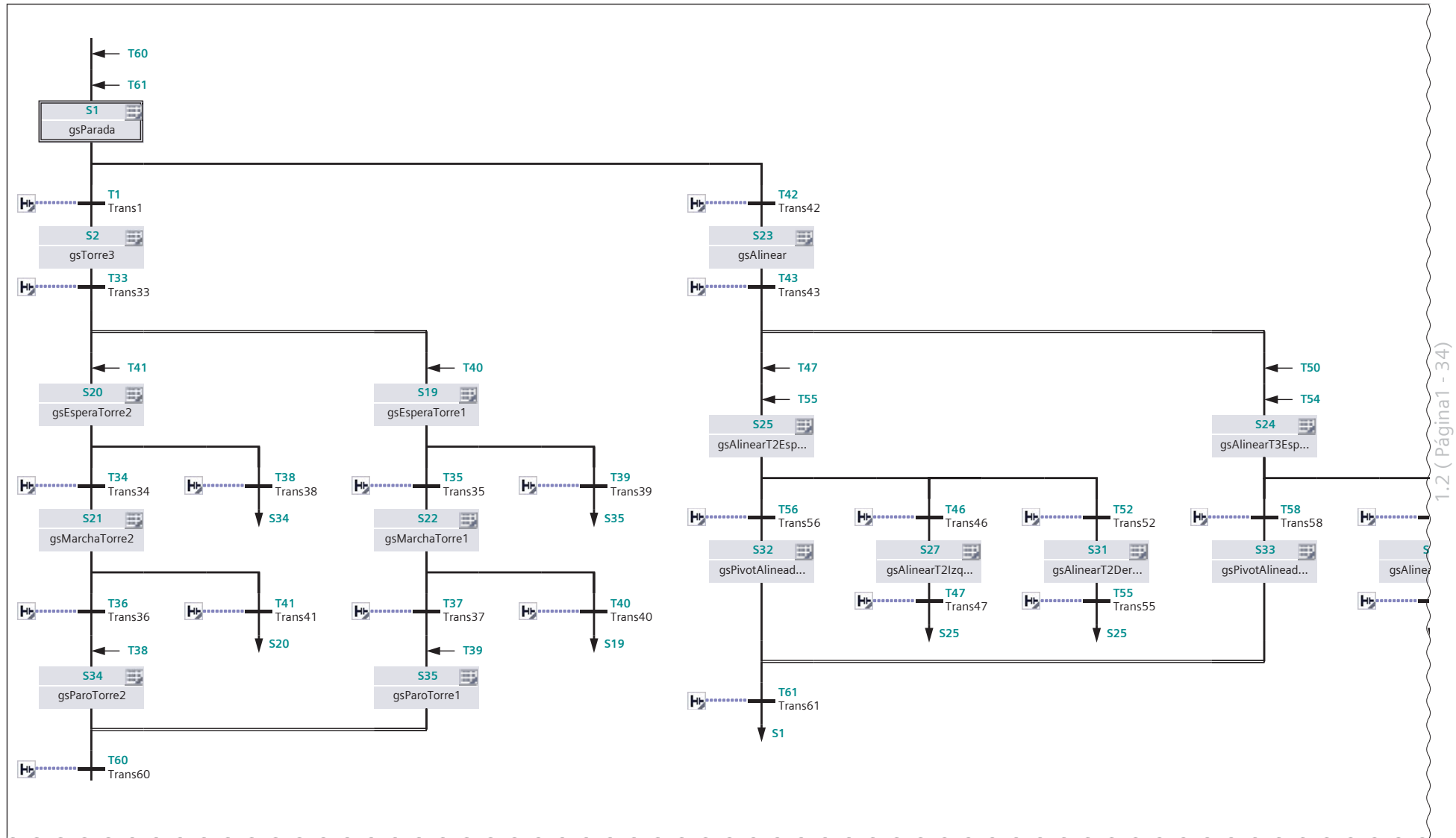


2:



Totally Integrated Automation Portal		
3:		
Cadenas (1) 1:		

1: (1.1 / 2.2)

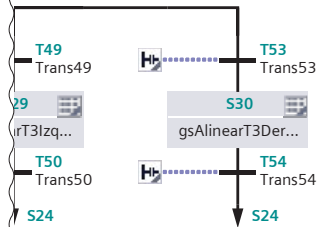


1.2 (Página1 - 34)

2.1 (Página1 - 35)

1: (1.2 / 2.2)

1.1 (Página1 - 33)



2.2 (Página1 - 36)

Totally Integrated Automation Portal

Simulación [FB2]

Simulación Propiedades

General

Nombre	Simulación	Número	2	Tipo	FB	Idioma	GRAPH
Numeración	Automático						

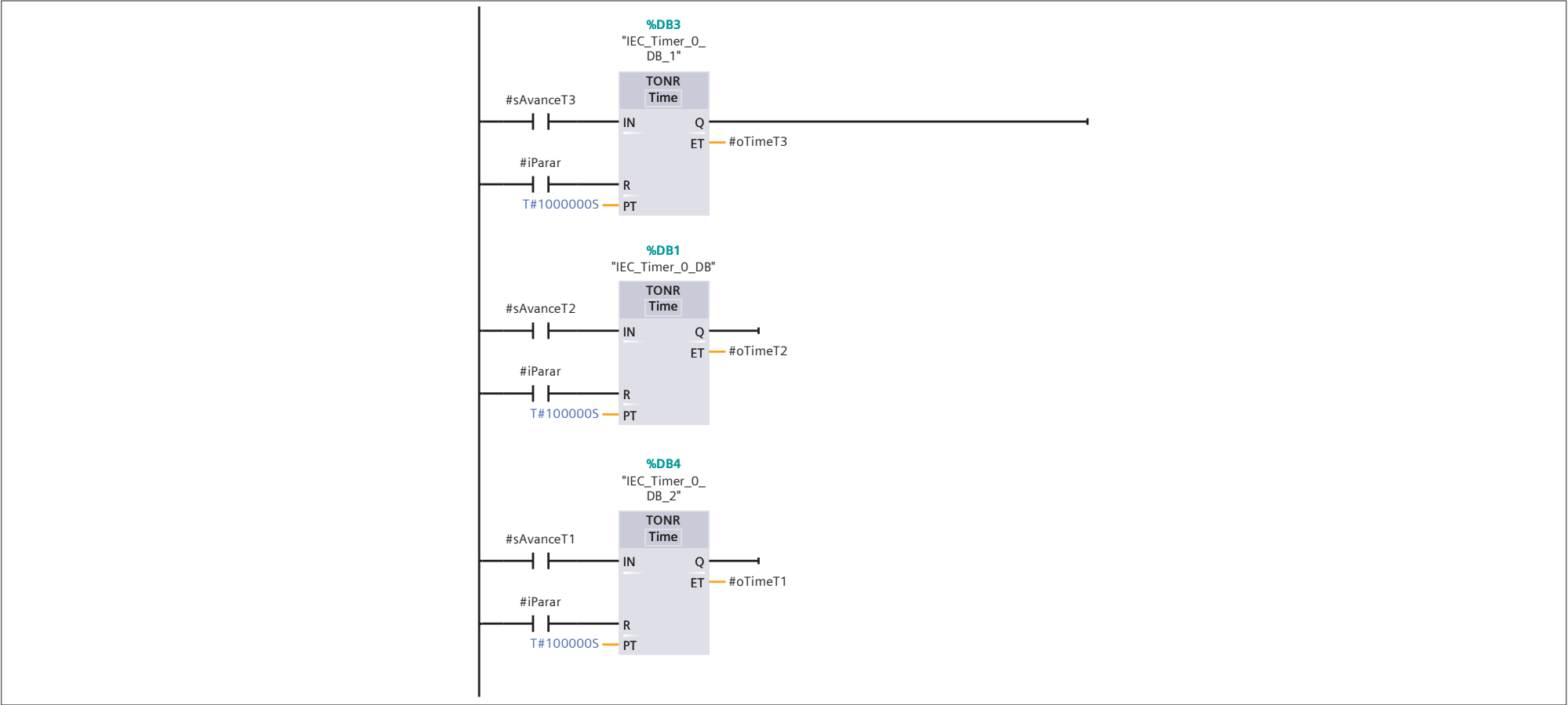
Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	Remanencia
▼ Input			
OFF_SQ	Bool	false	No remanente
INIT_SQ	Bool	false	No remanente
iMotorT1	Bool	false	No remanente
iMotorT2	Bool	false	No remanente
iMotorT3	Bool	false	No remanente
iControlManual	Bool	false	No remanente
iParar	Bool	false	No remanente
▼ Output			
oTimeT3	Time	T#0ms	No remanente
oTimeT2	Time	T#0ms	No remanente
oTimeT1	Time	T#0ms	No remanente
InOut			
▼ Static			
sAvanceT1	Bool	false	No remanente
sAvanceT2	Bool	false	No remanente
sAvanceT3	Bool	false	No remanente
▼ RT_DATA	G7_RTDataPlus_V3		No remanente
VERSION	String[10]	'V3.0'	No remanente
S_DISPLAY	Int	0	No remanente
S_SEL_OLD	Int	0	No remanente

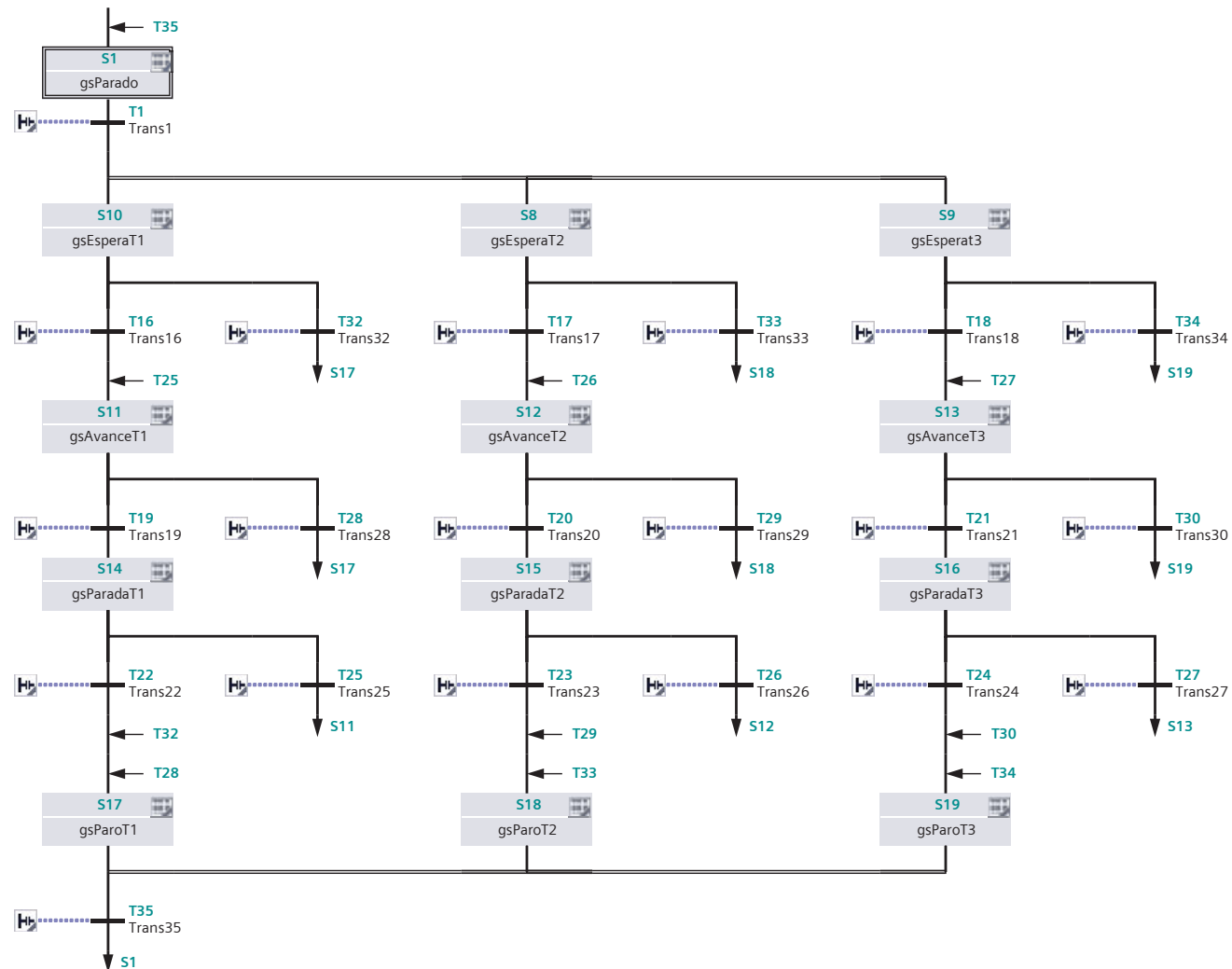
Instrucciones permanentes anteriores

1:



Cadenas (1)

1:



S1 - [Etapa inicial]:gsParado

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

Angulo Programado [FC18]

Angulo Programado Propiedades

General

Nombre	Angulo Programado	Número	18	Tipo	FC	Idioma	SCL
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
ArcoT3	Real	
AnguloProg	Real	
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
Angulo Programado	Bool	

```
0001 IF ((180*#ArcoT3)/(90*3.14)> #AnguloProg ) THEN
0002   #"Angulo Programado" := TRUE;
0003 ELSE
0004   #"Angulo Programado" := FALSE;
0005 END_IF;
0006
```

Totally Integrated Automation Portal

ArcDistanceT1 [FC6]

ArcDistanceT1 Propiedades

General

Nombre	ArcDistanceT1	Número	6	Tipo	FC	Idioma	SCL
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
izq	Bool	
h	Time	
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
ArcDistanceT1	Real	

```
0001 #ArcDistanceT1 := DINT_TO_REAL((#h/60)*5)/1000;
0002 IF (#izq = TRUE) THEN
0003   #ArcDistanceT1 := - #ArcDistanceT1;
0004 END_IF;
0005
```

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

ArcoTotalT1 [FC11]

ArcoTotalT1 Propiedades

General

Nombre	ArcoTotalT1	Número	11	Tipo	FC	Idioma	SCL
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
ArcoT1	Real	
AvanceT1	Real	
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
ArcoTotalT1	Real	

```
0001 IF (#AvanceT1 = 0) THEN
0002   #ArcoTotalT1 := #ArcoT1;
0003   "SumaArcoT1" := #ArcoT1;
0004 ELSE
0005   IF (#AvanceT1 < #ArcoT1) THEN
0006     #ArcoTotalT1 := "SumaArcoT1" + #AvanceT1;
0007   ELSE
0008     IF (#AvanceT1 > 0) THEN
0009       #ArcoTotalT1 := "SumaArcoT1" + #AvanceT1;
0010     ELSE
0011       #ArcoTotalT1 := #AvanceT1;
0012     END_IF;
0013   END_IF;
```

Totally Integrated Automation Portal		
0014 END_IF;		

Totally Integrated Automation Portal

CalcularAngulo [FC7]

CalcularAngulo Propiedades

General

Nombre	CalcularAngulo	Número	7	Tipo	FC	Idioma	SCL
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
ArcoT	Real	
ArcoTT	Real	
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
CalcularAngulo	Real	

0001

#CalcularAngulo := (180 * (#ArcoT - (#ArcoTT * 2)) / (30 * 3.1416));

Totally Integrated Automation Portal

Coordenada X [FC8]

Coordenada X Propiedades

General

Nombre	Coordenada X	Número	8	Tipo	FC	Idioma	SCL
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
ArcoT	Real	
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
Coordenada X	Int	

0001

"Theta3" := (#ArcoT) / (90);

0002

#"Coordenada X" := REAL_TO_INT(143 * COS("Theta3"));

Totally Integrated Automation Portal

CoordenadaY [FC12]

CoordenadaY Propiedades

General

Nombre	CoordenadaY	Número	12	Tipo	FC	Idioma	SCL
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
ArcoT	Real	
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
CoordenadaY	Int	

0001 # "CoordenadaY" := REAL_TO_INT(140 * SIN("Theta3")) ;

Totally Integrated Automation Portal		
--------------------------------------	--	--

MicroCentro [FC17]

MicroCentro Propiedades

General

Nombre	MicroCentro	Número	17	Tipo	FC	Idioma	SCL
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
ArcoT	Real	
ArcoTT	Real	
Output		
InOut		
▼ Temp		
DifArco	Real	
Constant		
▼ Return		
MicroCentro	Bool	

```
0001 IF (ABS(#ArcoT)>ABS(#ArcoTT)) THEN
0002     #DifArco := ABS(#ArcoT) - ABS(2 * #ArcoTT);
0003 ELSE
0004     #DifArco := ABS(2*#ArcoTT) - ABS(#ArcoT);
0005 END_IF;
0006
0007 IF (#DifArco < 0.05) THEN
0008     #MicroCentro := TRUE;
0009 ELSE
0010     #MicroCentro := FALSE;
0011 END_IF;
```

Totally Integrated Automation Portal		
0012		

Totally Integrated Automation Portal

TimeDown [FC2]

TimeDown Propiedades

General

Nombre	TimeDown	Número	2	Tipo	FC	Idioma	SCL
Numeración	Automático						

Información

Título		Autor		Comentario		Familia	
Versión	0.1	ID personalizada					

Nombre	Tipo de datos	Valor predet.
▼ Input		
y	Time	
Output		
InOut		
▼ Temp		
Sesenta	Time	
Constant		
▼ Return		
TimeDown	Time	

0001

 #Sesenta := T#60S;

0002

 #TimeDown := #Sesenta - ((#y/100)*60);

Totally Integrated Automation Portal																																																																		
TimeUp [FC1] TimeUp Propiedades General <table><tr><td>Nombre</td><td>TimeUp</td><td>Número</td><td>1</td><td>Tipo</td><td>FC</td><td>Idioma</td><td>SCL</td></tr><tr><td>Numeración</td><td>Automático</td><td colspan="6"></td></tr></table> Información <table><tr><td>Título</td><td></td><td>Autor</td><td></td><td>Comentario</td><td></td><td>Familia</td><td></td></tr><tr><td>Versión</td><td>0.1</td><td>ID personalizada</td><td></td><td colspan="4"></td></tr></table> <table><thead><tr><th>Nombre</th><th>Tipo de datos</th><th>Valor predet.</th></tr></thead><tbody><tr><td>▼ Input</td><td></td><td></td></tr><tr><td> x</td><td>Time</td><td></td></tr><tr><td> Output</td><td></td><td></td></tr><tr><td> InOut</td><td></td><td></td></tr><tr><td> Temp</td><td></td><td></td></tr><tr><td> Constant</td><td></td><td></td></tr><tr><td>▼ Return</td><td></td><td></td></tr><tr><td> TimeUp</td><td>Time</td><td></td></tr></tbody></table> 0001 #TimeUp := (#x / 100) * 60;								Nombre	TimeUp	Número	1	Tipo	FC	Idioma	SCL	Numeración	Automático							Título		Autor		Comentario		Familia		Versión	0.1	ID personalizada						Nombre	Tipo de datos	Valor predet.	▼ Input			x	Time		Output			InOut			Temp			Constant			▼ Return			TimeUp	Time	
Nombre	TimeUp	Número	1	Tipo	FC	Idioma	SCL																																																											
Numeración	Automático																																																																	
Título		Autor		Comentario		Familia																																																												
Versión	0.1	ID personalizada																																																																
Nombre	Tipo de datos	Valor predet.																																																																
▼ Input																																																																		
x	Time																																																																	
Output																																																																		
InOut																																																																		
Temp																																																																		
Constant																																																																		
▼ Return																																																																		
TimeUp	Time																																																																	

Variables PLC / Tabla de variables estándar [135]

Variables PLC

Variables PLC				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia
	Clock_Byte	Byte	%MB0	False
	Clock_10Hz	Bool	%M0.0	False
	Clock_5Hz	Bool	%M0.1	False
	Clock_2.5Hz	Bool	%M0.2	False
	Clock_2Hz	Bool	%M0.3	False
	Clock_1.25Hz	Bool	%M0.4	False
	Clock_1Hz	Bool	%M0.5	False
	Clock_0.625Hz	Bool	%M0.6	False
	Clock_0.5Hz	Bool	%M0.7	False
	mParoPivotP	Bool	%M1.0	False
	mMarchaPivotP	Bool	%M1.1	False
	piMicroCentroT2	Bool	%M110.3	False
	piMicroCentroT1	Bool	%M110.4	False
	mlzqDer	Bool	%M127.0	False
	mAlinear	Bool	%M127.1	False
	poMotorTorre3D	Bool	%Q0.0	False
	poMotorTorre2D	Bool	%Q0.1	False
	poMotorTorre1D	Bool	%Q0.2	False
	poMotorTorre3I	Bool	%Q0.3	False
	poMotorTorre2I	Bool	%Q0.4	False
	poMotorTorre1I	Bool	%Q0.5	False
	mVelocidad	Time	%MD2	False
	oTimeUp	Time	%MD6	False
	oTimeDown	Time	%MD10	False
	oTimeT1	Time	%MD14	False
	oTimeT2	Time	%MD18	False
	oTimeT3	Time	%MD22	False
	Velocidad2	Time	%MD26	False
	ArcoT3	Real	%MD30	False
	ArcoT2	Real	%MD34	False
	ArcoT1	Real	%MD38	False
	AnguloT3T2	Real	%MD42	False
	AnguloT2T1	Real	%MD46	False
	AvanceT3	Real	%MD50	False
	AvanceT2	Real	%MD54	False
	AvanceT1	Real	%MD58	False
	SumaArcoT3	Real	%MD62	False

Totally Integrated Automation Portal				
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Remanencia
	SumaArcoT2	Real	%MD66	False
	SumaArcoT1	Real	%MD70	False
	DifArcoT3T2	Real	%MD74	False
	DifArcoT2T1	Real	%MD78	False
	x_T3	Int	%MW111	False
	y_T3	Int	%MW113	False
	Theta3	Real	%MD90	False
	Theta2	Real	%MD94	False
	Theta1	Real	%MD98	False
	x_T2	Int	%MW115	False
	y_T2	Int	%MW117	False
	x_T1	Int	%MW119	False
	y_T1	Int	%MW121	False
	oAlinearIzqDerT2	Bool	%M110.1	False
	oAlinearIzqDerT3	Bool	%M110.2	False
	mMoverT1IZQ	Bool	%M127.2	False
	mMoverT1DER	Bool	%M127.3	False
	mMoverT2IZQ	Bool	%M127.4	False
	mMoverT2DER	Bool	%M82.0	False
	mMoverT3IZQ	Bool	%M82.1	False
	mMoverT3DER	Bool	%M82.2	False
	mControlManual	Bool	%M82.3	False
	mControlAutomatico	Bool	%M82.4	False
	mPrincipal	Bool	%M82.5	False
	GrafcetAutomatico	Bool	%M82.6	False
	GrafcetManual	Bool	%M82.7	False
	mParoEmergencia	Bool	%M83.0	False
	mRearme	Bool	%M83.1	False
	DERIZQ	Bool	%M83.2	False
	AlineacionOK	Bool	%M83.3	False
	mVelocidadProg1	Time	%MD102	False
	mlzqDerProg1	Bool	%M83.5	False
	mAguaProg1	Bool	%M1.2	False
	mDiaProg1	USInt	%MB84	False
	mMesProg1	USInt	%MB85	False
	mAñoProg1	USInt	%MB86	False
	mHoraProg1	USInt	%MB87	False
	mMinProg1	USInt	%MB88	False
	RiegoProgramado1	Bool	%M110.0	False
	mAnguloProg1	Real	%MD106	False
	TagHora	Int	%MW123	False
	TO_SEND	Byte	%MB1	False

