

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales.

Control de nivel de un sistema de tanques acoplados
mediante un autómata programable y una pantalla
HMI

Autor: Carlos Calero Gozávez

Tutor: Francisco Salas Gómez

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Control de nivel de un sistema de tanques acoplados mediante un autómatas programable y una pantalla HMI

Autor:

Carlos Calero Gozávez

Tutor:

Francisco Salas Gómez

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería de Sistemas y Automática

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Trabajo Fin de Grado: Control de nivel de un sistema de tanques acoplados mediante un autómata programable y una pantalla HMI

Autor: Carlos Calero Gozávez

Tutor: Francisco Salas Gómez

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2021

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecerles a mis amigos y compañeros de la carrera por su apoyo constante. En especial, a Paco, Marcos, Tallón y Garik, que me han acompañado durante muchas jornadas de estudio.

También quiero agradecer a mi familia su comprensión y paciencia infinitas, durante la montaña rusa de suspensos y aprobados que ha sido la carrera.

A mis compañeros de laboratorio durante este TFG, que han hecho más amenas y llevaderas las horas de trabajo.

A mi tutor del TFG, por su disponibilidad y guía durante este proyecto.

Y a mi tía Concha, por iniciarme desde pequeño en el mundo de la ciencia y resolución de problemas.

Resumen

El mundo de la automatización está cada vez más presente en todos los ámbitos de la vida. Lo encontramos en tareas tan rutinarias como configurar un programa del lavavajillas, poner una alarma en el horno, activar la climatización de nuestro coche e incluso al hacer un pedido de comida en restaurantes.

Todo el mundo se ha visto alcanzado por la revolución tecnológica, desde los jóvenes hasta los más mayores. Por este motivo, es indispensable la elaboración de interfaces intuitivas y sencillas, que permita interactuar con el mundo tecnológico incluso al más inexperto. Es lo que se conoce como HMI o Human Machine Interface.

Estas interfaces llevan desarrollándose desde hace varias décadas. Aunque su origen es discutible, los primeros ejemplos podrían remontarse a los interruptores, o al botón de rebobinar. En la década de los sesenta, con la invención del PLC, cobraron un papel fundamental en la industria. Se convirtió en una herramienta principal que los operarios debían saber manejar, y desde entonces se han seguido desarrollando y mejorando hasta la actualidad.

En este trabajo se programará una pantalla HMI para dirigir el control de un sistema de 4 tanques acoplados. El control lo llevará a cabo un PLC, y consistirá en mantener el nivel de agua de los tanques en la referencia fijada para cada uno. Se podrá configurar qué tanques se desean controlar, eligiendo entre un tanque individual, una columna, o los dos tanques inferiores. La interfaz se programará en una pantalla SIEMENS conectada directamente al PLC, así como en la propia pantalla del ordenador, que permitirá controlar de forma remota la planta. Para ello se hará uso del software TIA Portal y de los elementos facilitados por el Laboratorio del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática, que permitirá el conexionado de los dispositivos.

Finalmente, se elaborará una guía detallada sobre la programación del HMI, implementado tanto en la pantalla táctil de siemens como en el propio ordenador.

Abstract

The world of automation is increasingly present in all areas of life. We find it in such routine tasks as setting up a dishwasher program, setting an alarm in the oven, activating the air conditioning of our car and even when ordering food in restaurants.

Everyone has been reached by the technological revolution, from the young to the old. For this reason, it is essential to develop intuitive and simple interfaces that allow even the most inexperienced to interact with the technological world. It is what is known as HMI or Human Machine Interface.

These interfaces have been developed for several decades. Although its origin is questionable, the first examples could be traced back to the switches, or the rewind button. In the 1960s, with the invention of the PLC, they took on a fundamental role in the industry. It became a major tool that operators should know how to handle, and since then it has been further developed and improved to the present day.

In this work a HMI display will be programmed, to direct the control of a system of 4 coupled tanks. The control will be carried out by a PLC and consists of maintaining the water level of the tanks in the reference set for each one. It will be possible to configure which tanks to control, choosing between an individual tank, a column, or the two lower tanks. The interface will be programmed on a SIEMENS screen directly connected to the PLC, as well as on the computer's own screen, which will allow remote control of the plant. For this purpose, use will be made of the TIA Portal software and the elements provided by the Laboratory of the Department of Systems Engineering and Automatic, which will allow the connection of the devices.

Finally, a detailed guide on the programming of the HMI implemented on both the siemens touch screen and the computer itself will be developed.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xv
Índice de Figuras	xvi
Notación	xviii
1 Introducción	1
1.1. <i>Sistema de tanques acoplados</i>	1
1.2. <i>Motivación</i>	1
1.3. <i>Objetivos</i>	3
2 Componentes del sistema	4
2.1. <i>PLC</i>	4
2.2. <i>Pantalla HMI</i>	6
2.3. <i>Conexionado de los elementos</i>	7
3 Programación del control en TIA Portal	8
3.1. <i>Variables definidas</i>	8
3.2. <i>Bloques de programa</i>	11
3.2.1. <i>Bloque Main</i>	11
3.2.2. <i>Bloque escalado</i>	12
3.2.3. <i>Bloque controladores</i>	13
3.2.4. <i>Bloque rango de control</i>	17
3.3. <i>Gráficas y resultados</i>	20
4 Guía para el manejo de la interfaz hmi	22
4.1. <i>Imagen raíz</i>	22
4.2. <i>Calibración de sensores</i>	22
4.1. <i>Control de un tanque</i>	24
4.2. <i>Control de una columna</i>	27
4.3. <i>Control de tanques inferiores</i>	28
4.4. <i>Esquema de consecución de las pantallas</i>	31
5 Programación del hmi en el ordenador y control remoto	32
5.1. <i>Requisitos de software necesarios</i>	32
5.2. <i>Creación y configuración inicial del sistema PC</i>	32
5.3. <i>Programación y ejecución Runtime del sistema PC</i>	34
5.5. <i>Conexión al servidor y control remoto</i>	35
6 Conclusiones y propuestas de mejora	37
Bibliografía	39
Glosario	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Variables definidas en TIA Portal	8
Tabla 3-2. Configuraciones de control	14

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Sistema Feedback Coupled Tanks 33-230	2
Figura 2-1. PLC	4
Figura 2-2. Módulo auxiliar	4
Figura 2-3. Conexionado de los elementos del sistema	5
Figura 2-4. Módulos adaptadores Planta-PLC	5
Figura 2-5. E/S Analógicas	6
Figura 2-6. Reverso pantalla HMI	6
Figura 2-7. Frontal pantalla HMI	6
Figura 2-8. Estructura con los elementos	7
Figura 3-1. Escalado de señales	13
Figura 3-2. Bloque PID_Compact	14
Figura 3-3. Variables del sistema 2	15
Figura 3-4. Modelo de la planta 2	15
Figura 3-5. Matriz de ganancias relativas en control 2	16
Figura 3-6. Variables del sistema 3	16
Figura 3-7. Modelo de la planta 3	17
Figura 3-8. Matriz de ganancias relativas en control 3	17
Figura 3-9. Rango de operación del control 3	18
Figura 3-10. Curvas interpoladoras	18
Figura 3-11. Cálculo del límite superior del rango de operación	19
Figura 3-12. Visualización control de un tanque	20
Figura 3-13. Visualización control de columna de tanques	20
Figura 3-14. Visualización control de tanques inferiores dentro del rango de control	21
Figura 3-15. Visualización control de tanques inferiores fuera del rango de control	21
Figura 4-1. Imagen raíz	22
Figura 4-2. Calibración de sensores	23
Figura 4-3. Configuración de válvulas para la calibración derecha inferior	23
Figura 4-4. Proceso de calibración del tanque derecho inferior	24
Figura 4-5. Pantalla inicial del control 1	25
Figura 4-6. Configuración de válvulas del control 1	25
Figura 4-7. Configuración de parámetros del PID_1	26
Figura 4-8. Ejecución del control 1	26
Figura 4-9. Visualización del control 1	27
Figura 4-10. Pantalla inicial control 2	27
Figura 4-11. Ejecución del control 2	28

Figura 4-12. Pantalla inicial control 3	29
Figura 4-13. Ejecución del control 3	29
Figura 4-14. Mensaje de aviso fuera de rango	30
Figura 4-15. Incono warning (Posibilidad de control no satisfactorio)	30
Figura 4.14 - Esquema de consecución de pantallas	31
Figura 5.1. Creación de una estación PC	33
Figura 5.2- Adición del módulo de comunicaciones Ethernet	33
Figura 5.3- Configuración del módulo de comunicaciones Ethernet	34
Figura 5-4. Ejecución del Runtime	35
Figura 5-5. Configuración del FireWall de Windows	36
Figura 5-6. Conexión al servidor	36

Notación

y_i	Salida i
u_j	Entrada j
int	Dato entero
real	Dato real
Bool	Dato booleano
λ_{ij}	Componente ij de la matriz RGA

1 INTRODUCCIÓN

En primer lugar, introduciré brevemente el sistema de tanques acoplados con el que trabajaremos así como la motivación y objetivos de este trabajo.

1.1. Sistema de tanques acoplados

Trabajaremos con el equipo feedback coupled tanks de la figura 1-1 ubicado en el laboratorio. Este sistema consta de cuatro tanques acoplados que se llenan mediante dos bombas idénticas, alimentadas a una tensión de entre cero y cinco voltios. La bomba izquierda alimenta a los tanques inferior izquierdo, superior izquierdo y superior derecho, mientras que la bomba derecha alimenta a los tanques inferior derecho, superior derecho y superior izquierdo. Además, el sistema se compone de un total de 11 válvulas manuales, tapones y limitadores de caudal. Estos elementos permiten configurar la planta del sistema permitiendo o bloqueando la alimentación de las bombas a sus respectivos tanques, así como acoplando o desacoplando la descarga de los tanques superiores sobre los inferiores. Por último, encontramos cuatro sensores de nivel (uno por cada tanque) que proporcionarán las señales sobre las que implementar el control.

En este trabajo implementaremos el control para tres escenarios diferentes: un solo tanque, una columna, y los dos tanques inferiores alimentados por los dos superiores. Por este motivo, antes de comenzar a operar el sistema, será necesario configurar las válvulas manuales del sistema atendiendo al escenario de control elegido. Las configuraciones serán las siguientes:

- Control de un tanque: se controlará el tanque inferior derecho. Para ello se abrirán las válvulas D y 4, se cerrarán las E y F y se taponará la descarga del tanque inferior derecho.
- Control de una columna: se controlarán los tanques inferior y superior derechos. Para ello se abrirán las válvulas C, D, 3 y 4, se cerrarán las A, B, E, F y G, se taponará la descarga del tanque superior derecho sobre el inferior derecho y se pondrá un tapón limitador en la descarga del tanque inferior derecho.
- Control de tanques inferiores: se controlarán los dos tanques inferiores. Para ello se abrirán las válvulas A, C, D, F y G, se cerrarán las B, E y 3 y se pondrán tapones limitadores en las dos descargas del tanque superior izquierdo sobre el inferior izquierdo.

1.2 Motivación

Este trabajo viene realizado esencialmente con fines didácticos. Mediante la elaboración de una guía detallada para la programación del HMI, se pretende proveer al alumno de un material de referencia al que pueda recurrir durante su iniciación en el entorno de programación de TIA Portal.

En años anteriores ya se han realizado otros trabajos similares, cómo el llevado a cabo en el TFG “Control de un sistema de regulación de temperatura usando un autómatas programable y una pantalla HMI”, de Antonio Jesús Palomo Cantador. Este material ha servido como punto de partida para programar la interfaz en la pantalla táctil de SIEMENS, con la novedad de que, en este trabajo, además, se implementará la interfaz usando TIA Portal en la propia pantalla del ordenador, y se configurará una conexión internet para el control remoto de la planta.

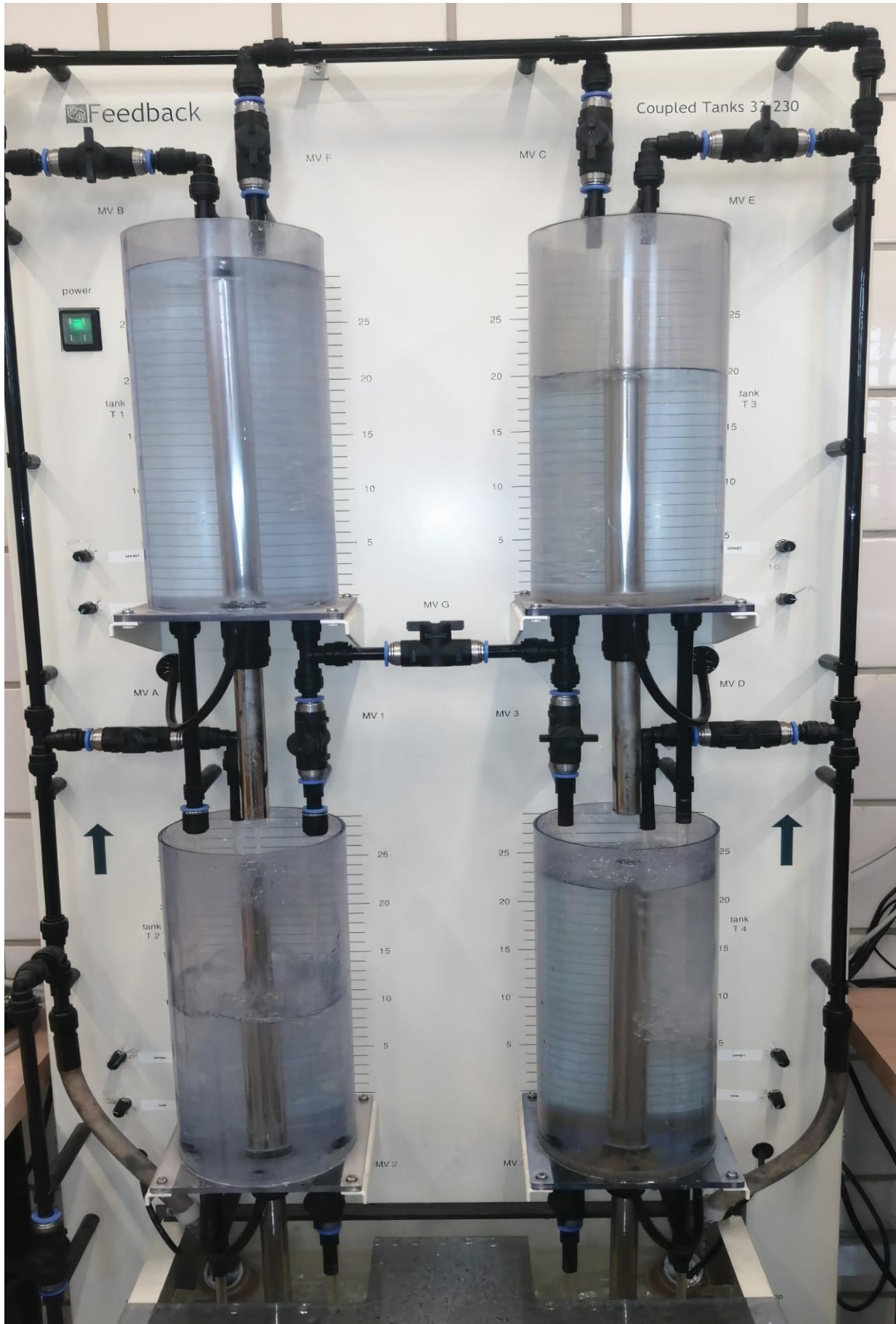


Figura 1-1. Sistema Feedback Coupled Tanks 33-230

1.3 Objetivos

Como he mencionado anteriormente, la meta final será implementar una pantalla de explotación para el control remoto de la planta usando el software TIA Portal y elaborar una guía detallada que sirva como referencia en el futuro. Para conseguir tal propósito, sin embargo, será necesario cumplir una serie de objetivos que se detallan a continuación:

- Establecer las conexiones físicas entre los dispositivos que conforman el sistema.
- Realizar un estudio de la planta e implementar un algoritmo de control para cada uno de los tres escenarios de control definidos.
- Programar el control en TIA Portal.
- Realizar el HMI en la pantalla SIEMENS, a partir del control implementado en TIA Portal.
- Realizar el HMI en la pantalla del ordenador, extrapolando la interfaz ya programada en la pantalla SIEMENS.
- Configurar una conexión Cliente-Servidor para hacerse con el control remoto de la planta.

2 COMPONENTES DEL SISTEMA

Como ya hemos introducido, nuestro sistema estará constituido por un PLC, una pantalla táctil HMI y el sistema de tanques acoplados feedback coupled tanks 33-230. A continuación, describiremos en detalle cada uno de los componentes.

2.1. PLC

El PLC será el encargado de recibir las señales analógicas del nivel de los tanques, implementar un algoritmo de control PID y proporcionar 2 señales de actuación para las 2 bombas del sistema. Para conseguir tal objetivo, se comunicará con la pantalla táctil donde se hará un mímico de la planta para operar sobre ella. Para llevar a cabo la programación y comunicación de la pantalla y el PLC se empleará el programa TIA Portal.

El modelo del PLC con el que trabajamos es el SIEMENS SIMATIC S71200, en concreto el CPU 1214C AC/DC/Rly, con referencia 6ES7214-1BG40-0XB0. Este PLC consta de un total de 14 entradas digitales, 2 entradas analógicas, 10 salidas digitales y 1 salida analógica. Además, dado que en este proyecto pretendemos controlar 2 bombas, se ha añadido el módulo auxiliar SIEMENS SIMATIC S7-1200 SM 1234 AI/AQ, con referencia 6ES7234-4HE32-0XB0. Este módulo proporcionará 4 entradas y 2 salidas analógicas, por lo que es suficiente para medir el nivel de los 4 tanques y accionar las 2 bombas.

En su conexionado, será alimentado directamente a través de la red, y se comunicará via ethernet con el PC y con la pantalla. Con tal fin, se empleará el Switch XB005 de cinco puertos. Para clarificar el conexionado del PLC con el resto de los elementos se muestra un esquema de éste en la figura 2-3. En rojo vienen representadas las conexiones de alimentación, en negro las de comunicación vía ethernet, y en azul las de comunicación analógicas entre la planta y el PLC.



Figura 2-1. PLC



Figura 2-2. Módulo auxiliar

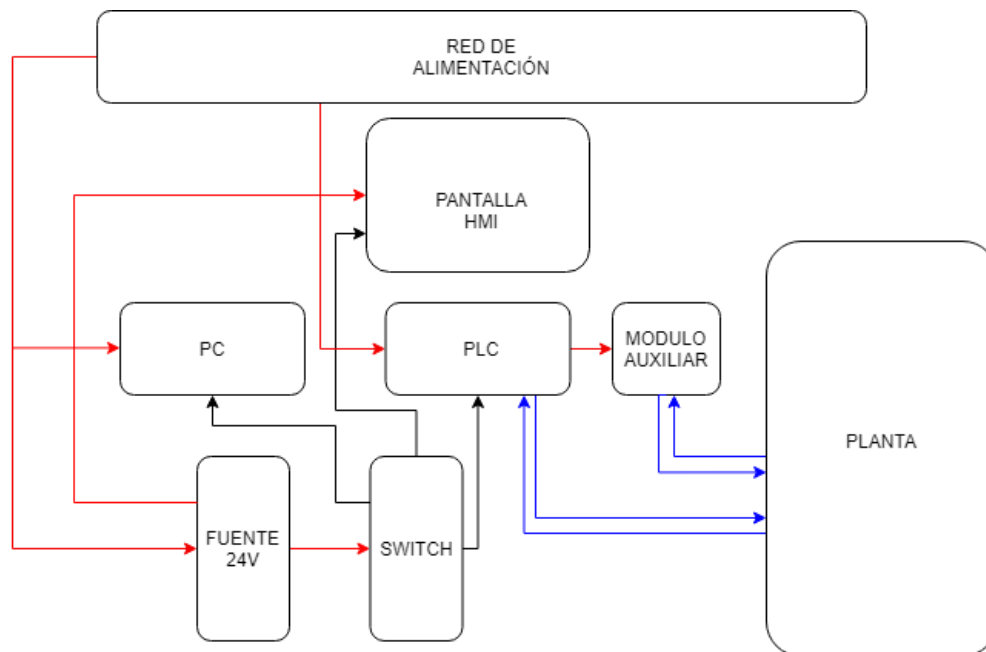


Figura 2-3. Conexión de los elementos del sistema

Para comunicar la planta con el PLC, usaremos 2 módulos adaptadores que han sido diseñados expresamente para este sistema, como se muestra en la figura 2-4. Estos adaptadores decodificarán las señales de los tanques derecho e izquierdo inferiores, con un etiquetado para identificar cada señal. Finalmente, se conectará cada una de las entradas y salidas empleadas en el PLC a dichos módulos, mediante cables banana-macho. En concreto, la configuración adoptada ha sido la siguiente

- %IW64 → Nivel del tanque derecho inferior
- %IW66 → Nivel del tanque derecho superior
- %IW96 → Nivel del tanque izquierdo inferior
- %IW98 → Nivel de tanque izquierdo superior
- %QW96 → Accionamiento bomba derecha
- %QW98 → Accionamiento bomba izquierda



Figura 2-4. Módulos adaptadores Planta-PLC



Figura 2-5. E/S Analógicas

2.2. Pantalla HMI

Para poder operar la planta de manera sencilla se creará una interfaz hombre máquina mediante la pantalla Siemens KTP700 Basic PN - 6AV2123-2GB03-0AX0. Se trata de una pantalla táctil de 7", 800x480 pixeles con 65536 colores, que además consta de 8 botones configurables en la parte inferior.

Como hemos mencionado, se programará usando el programa TIA Portal que permitirá asociar las variables del PLC al HMI. De este modo, podremos acceder a las variables internas del PLC, realizar la lectura de sus sensores y accionar las salidas analógicas.

La pantalla se alimenta a DC 24V por una entrada USB y se conecta al PLC a través de un cable PROFINET.



Figura 2-6. Reverso pantalla HMI



Figura 2-7. Frontal pantalla HMI

2.3. Conexión de los elementos

Para agrupar y facilitar el conexionado de los elementos, se emplea una estructura donde irán acoplados la fuente de alimentación, el PLC con su módulo auxiliar, el Switch y la pantalla HMI como se muestra en la figura 2-8.

En la parte superior de la imagen se observa la pantalla HMI. Debajo de ella encontramos el PLC y su módulo auxiliar. Este módulo será alimentado a 24V a través del propio PLC conectando los bornes L+ y M de ambos. En la esquina inferior izquierda se ubica la fuente de alimentación de 24V, que alimenta al Switch y a la pantalla. Justo a su lado está el Switch, el cual está conectado al router y del que parten tres cables ethernet que se conectan al PLC, a la pantalla y al PC, permitiendo su comunicación.

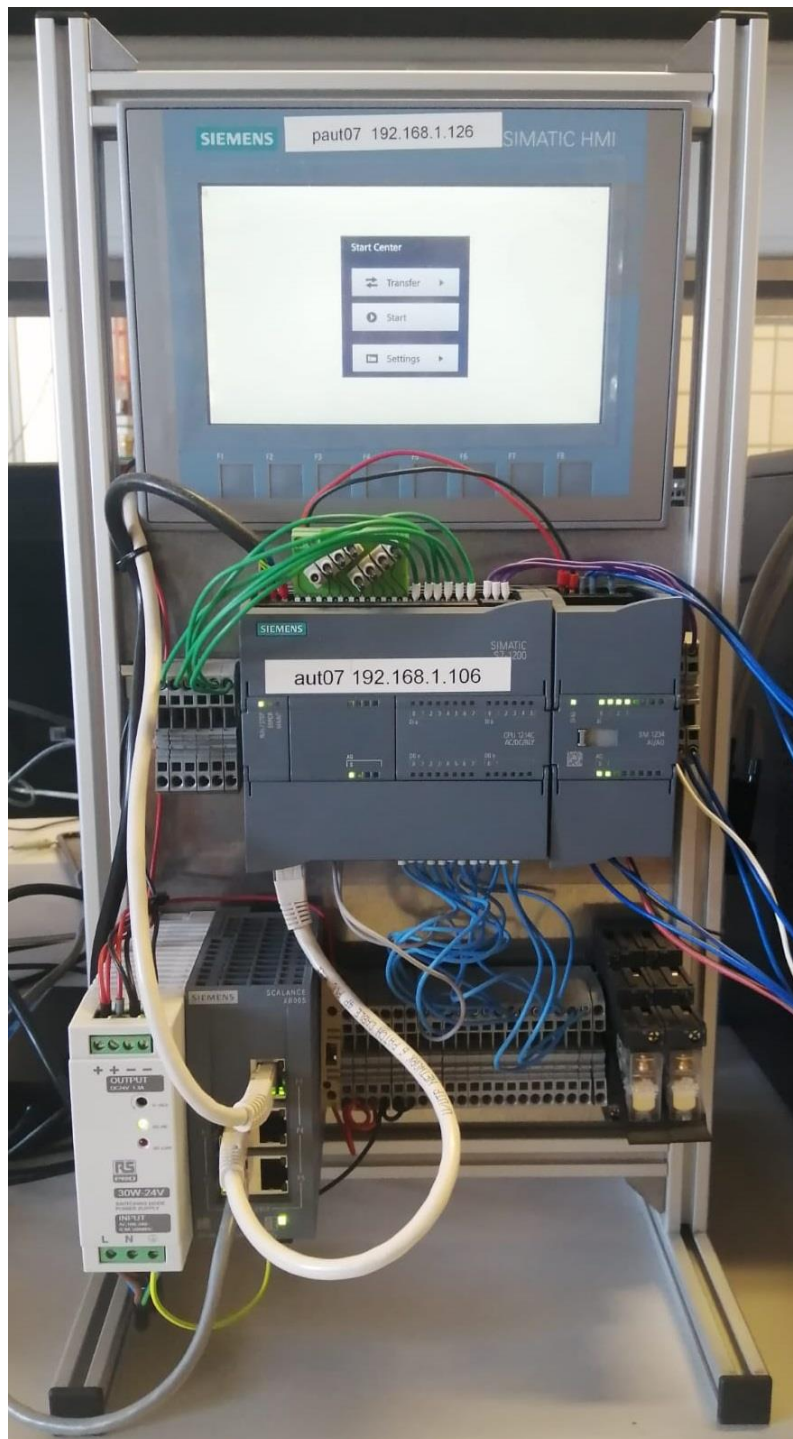


Figura 2-8. Estructura con los elementos

3 PROGRAMACIÓN DEL CONTROL EN TIA PORTAL

En esta sección se explicará cómo se ha realizado la programación del control de forma cualitativa, detallando los bloques de programa empleados, las partes más importantes del código y las variables definidas.

El objetivo de este trabajo no es optimizar el control, por ello bastará con implementar controladores PID que regulen de manera eficiente el sistema.

En el primer escenario de control, programaré un PID para que la bomba derecha mantenga el nivel de consigna en un solo tanque.

En los escenarios dos y tres se buscará mantener la referencia en dos tanques mediante las dos bombas. Se verá que los sistemas resultantes están acoplados, es decir, la actuación de una bomba modificará el nivel de los dos tanques a controlar. Sin embargo, como se detallará más adelante, cada bomba tendrá una influencia prioritaria sobre un tanque, de manera que de forma práctica podremos implementar dos controladores PID independientes para llevar a cabo un control satisfactorio.

3.1 Variables definidas

En el PLC se pueden distinguir dos tipos principales de variables: las marcas del sistema, y las variables de entrada y salida. Las primeras corresponden a las variables internas del propio controlador, para realizar los cálculos intermedios que definen el control. Las segundas, por su parte, se encargarán de realizar las lecturas de nivel de los tanques y de proporcionar la tensión de alimentación de las bombas. Las entradas y salidas se definen cómo variables de tipo entero, mientras que las marcas del sistema pueden crearse de muchos tipos como real, booleano o entero. En la siguiente tabla adjunta, se recogen todas las variables del programa:

Tabla 3-1. Variables definidas en TIA Portal

Nombre de la variable	Tipo de dato	Dirección de memoria del PLC	Descripción
sensor_dcha_inf	Int	%IW64	Lectura analógica de nivel del tanque derecho inferior
sensor_dcha_sup	Int	%IW66	Lectura analógica del nivel del tanque derecho superior
sensor_izda_inf	Int	%IW96	Lectura analógica del nivel del tanque izquierdo inferior
sensor_izda_sup	Int	%IW98	Lectura analógica del nivel del tanque izquierdo superior
SA1_actuacion_dcha	Int	%QW96	Salida analógica para bomba derecha

SA1_actuacion_izda	Int	%QW98	Salida analógica para bomba izquierda
ON_PID1	Bool	%M20.0	Activación del PID 1
ON_PID2	Bool	%M20.2	Activación del PID 2
ON_PID3	Bool	%M20.4	Activación del PID 3
ON_PID4	Bool	%M20.6	Activación del PID 4
ON_PID5	Bool	%M21.1	Activación del PID 5
CONTROL_1	Bool	%M21.3	Activa los PIDs para el control 1
CONTROL_2	Bool	%M21.5	Activa los PIDs para el control 2
CONTROL_3	Bool	%M21.7	Activa los PIDs para el control 3
MANUAL	Bool	%M22.1	Modo manual
MIN_izda_inf	Int	%MW42	Valor del sensor de nivel para tanque izquierdo inferior vacío
MAX_izda_inf	Int	%MW44	Valor del sensor de nivel para tanque izquierdo inferior lleno
MIN_izda_sup	Int	%MW46	Valor del sensor de nivel para tanque izquierdo superior vacío
MAX_izda_sup	Int	%MW48	Valor del sensor de nivel para tanque izquierdo superior lleno
MIN_dcha_inf	Int	%MW50	Valor del sensor de nivel para tanque derecho inferior vacío
MAX_dcha_inf	Int	%MW52	Valor del sensor de nivel para tanque derecho inferior lleno
MIN_dcha_sup	Int	%MW54	Valor del sensor de nivel para tanque derecho superior vacío
MAX_dcha_sup	Int	%MW56	Valor del sensor de nivel para tanque derecho superior lleno
NIVEL_izda_inf	Int	%MW58	Nivel actual del tanque izquierdo inferior en cm
NIVEL_izda_sup	Int	%MW60	Nivel actual del tanque izquierdo superior en cm
NIVEL_dcha_inf	Int	%MW62	Nivel actual del tanque derecho inferior en cm

NIVEL_dcha_sup	Int	%MW64	Nivel actual del tanque derecho superior en cm
sensor_dcha_inf_escalado	Real	%MD100	Valor normalizado del sensor derecho inferior
sensor_dcha_sup_escalado	Real	%MD104	Valor normalizado del sensor derecho superior
sensor_izda_sup_escalado	Real	%MD108	Valor normalizado del sensor izquierdo superior
sensor_izda_inf_escalado	Real	%MD112	Valor normalizado del sensor izquierdo inferior
referencia_dcha_inf	Real	%MD116	Referencia tanque derecho inferior en cm
referencia_izda_inf	Real	%MD120	Referencia tanque izquierdo inferior en cm
referencia_dcha_sup	Real	%MD124	Referencia tanque derecho superior en cm
referencia_izda_sup	Real	%MD128	Referencia tanque izquierda superior en cm
A0	Real	%MD168	Coficiente A0 del polinomio interpolador 1
A1	Real	%MD172	Coficiente A1 del polinomio interpolador 1
A2	Real	%MD176	Coficiente A2 del polinomio interpolador 1
A3	Real	%MD180	Coficiente A3 del polinomio interpolador 1
A4	Real	%MD184	Coficiente A4 del polinomio interpolador 1
A5	Real	%MD188	Coficiente A5 del polinomio interpolador 1
A6	Real	%MD192	Coficiente A6 del polinomio interpolador 1
A7	Real	%MD196	Coficiente A7 del polinomio interpolador 1
B0	Real	%MD200	Coficiente B0 del polinomio interpolador 2
B1	Real	%MD204	Coficiente B1 del polinomio

	interpolador 2		
B2	Real	%MD208	Coefficiente B2 del polinomio interpolador 2
B3	Real	%MD212	Coefficiente B3 del polinomio interpolador 2
LIM_INF	Real	%MD224	Límite inferior exigible al tanque izquierdo para el valor del tanque derecho solicitado
LIM_SUP	Real	%MD228	Límite superior exigible al tanque izquierdo para el valor del tanque derecho solicitado
WARNING	Bool	%M23.1	Aviso referencias fuera del rango de control
PERMISO	Bool	%M23.3	Permite/prohíbe ejecutar control fuera del rango de operación

3.2 Bloques de programa

El software TIA Portal permite trabajar con distintos lenguajes de programación y utilizando cuatro bloques de programa: Bloques de organización (OB), Funciones (FC), Bloques de función (FB) y Bloques de datos globales (DB).

Para la realización de este trabajo, bastará con definir cuatro bloques de organización, a los que he denominado: main, escalado, controladores y rango de operación. Los bloques de organización tienen una ejecución cíclica que varía según el tipo de OB escogido. En mi caso trabajaré con los OB de tipo Program Cycle para el main, el escalado y el rango de operación, y con el Cyclic interrupt para el bloque de controladores. Los de tipo Program cycle se ejecutarán cíclicamente y de manera continuada, mientras no sean interrumpidos. El de tipo Cyclic interrupt, se ejecutará en intervalos periódicos de 100 ms, independientemente de la ejecución cíclica del programa. Por último, el bloque main está programado en el lenguaje de alto nivel de Siemens, SCL, y los otros tres bloques en el lenguaje de contactos KOP.

A continuación, pasaré a explicar la programación llevada a cabo para cada uno.

3.2.1 Bloque Main

En este bloque se definen los distintos modos de operación, así como la jerarquía a la hora de ser ejecutados. Tendremos dos modos principales, manual y automático.

El modo manual deshabilitará el uso de los controladores, lo que permitirá introducir por pantalla la potencia de accionamiento que se desee suministrar en cada bomba.

El modo automático, calculará mediante el uso de controladores PID la potencia a suministrar para mantener el nivel del tanque en la consigna previamente seleccionada. Dentro de este bloque hemos definido tres modos de control: control 1, control 2 y control 3, que habilitarán la ejecución de los PID definidos para los escenarios 1, 2 ó 3, según proceda. Además, para ejecutar el control 3 se comprobará que las referencias introducidas se encuentren dentro del rango físico de operación del sistema. Este rango se ha definido en el bloque rango de control, como se verá más adelante. Eventualmente, podrá ejecutarse el control aún estando fuera del rango si la variable PERMISO es activada.

Bloque Main

```

IF "MANUAL" = 0 THEN //Se ejecuta el control automático

    IF "CONTROL_1" = 1 THEN
        "ON_PID1" := 1;
    END_IF;

    IF "CONTROL_2" = 1 THEN
        "ON_PID2" := 1;
        "ON_PID3" := 1;
    END_IF;

    IF "CONTROL_3" = 1 THEN
        //Comprobación de referencias seleccionadas dentro del rango
de operación
        IF "referencia_izda_inf" > "LIM_INF" AND "referencia_izda_inf"
< "LIM_SUP" AND "referencia_izda_inf" > 6 AND "referencia_dcha_inf" > 6
OR "PERMISO" = 1 THEN
            "ON_PID4" := 1;
            "ON_PID5" := 1;
        ELSE//Se activa un aviso informando que estamos fuera del rango
de operación
            "WARNING" := 1;
        END_IF;
    END_IF;

ELSE //Se ejecuta el modo manual
    "ON_PID1" := 0;
    "ON_PID2" := 0;
    "ON_PID3" := 0;
    "ON_PID4" := 0;
    "ON_PID5" := 0;
END_IF;

```

3.2.2 Bloque escalado

En este bloque se adaptarán las señales de las entradas analógicas al PLC, para poder definir las variables adecuadas que permitan realizar el control.

Las variables analógicas del PLC están configuradas como un número entero que varía entre -27648 y 27648. Los valores extremos se corresponden respectivamente con unos niveles de tensión de -10 y +10 voltios.

En el caso que nos ocupa, interesa conocer la altura del tanque en centímetros, para cada valor que nos proporcione el sensor. Para ello realizaremos el escalado con los bloques NORM_X y SCALE_X, introduciendo como límites la altura mínima y máxima del tanque (0 y 25cm) con sus respectivos valores de tipo entero proporcionados por el sensor en esos niveles.

Al conocer la medición de los sensores en centímetros, podremos implementar el control comparando la referencia seleccionada con el valor de la lectura.

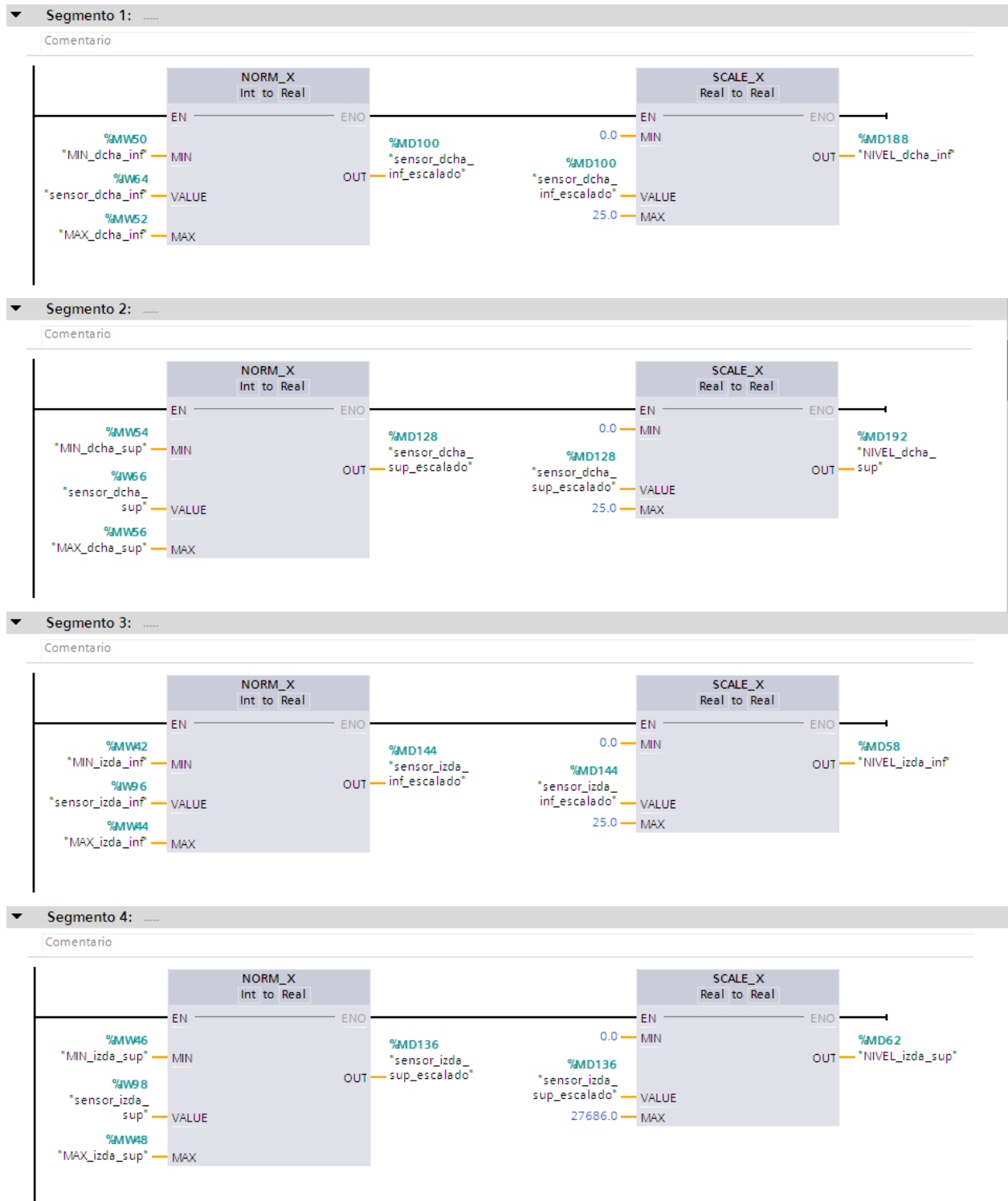


Figura 3-1. Escalado de señales

3.2.3 Bloque controladores

En este ultimo bloque, se definirán los cinco controladores PID que se encargarán de realizar el control en cada uno de los escenarios. Para su implementación se ha usado el bloque PID Compact definido por TIA Portal. A continuación, expongo las entradas y salidas de este bloque, las variables a las que se han asociado y el funcionamiento general del mismo:

- Entradas:
 - EN: habilita la ejecución del PID

- Setpoint: punto de referencia del controlador
- Input: entrada analógica al controlador escalada
- Salidas
 - Output_PER: salida analógica del controlador

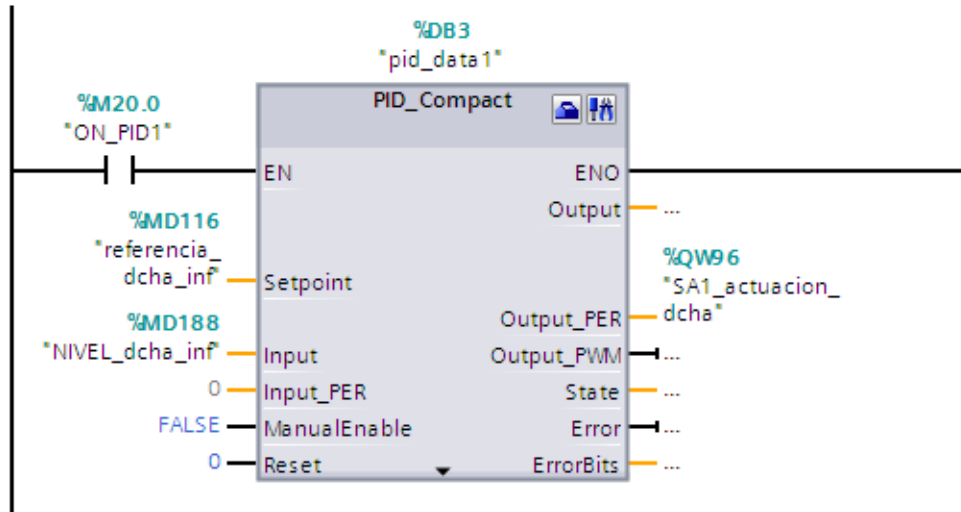


Figura 3-2. Bloque PID_Compact

Puede apreciarse que la entrada al controlador se ha definido cómo la variable escalada “NIVEL_dcha_inf”, de manera que se pueda comparar directamente con la referencia introducida en centímetros. La salida, por el contrario, está definida cómo variable de tipo %QW, es decir, cómo salida analógica del PLC para actuar directamente en las bombas. Por último, la variable booleana ON_PID1, permite la ejecución de este controlador cuando esté activada.

Para poder operar en todos los escenarios de control, se definirán cinco bloques PID_Compact que leerán y actuarán sobre las variables pertinentes. En la siguiente tabla, se clarifica el control en el que se ve involucrado cada controlador, indicando la bomba que acciona y el tanque donde realiza la lectura de nivel:

Tabla 3-2. Configuraciones de control

	Escenario de control	Bomba	Tanque
PID 1	1	Derecha	Derecho inferior
PID 2	2	Derecha	Derecho inferior
PID 3	2	Izquierda	Derecho superior
PID 4	3	Izquierda	Izquierdo inferior
PID 5	3	Derecha	Derecho inferior

A continuación, expongo los criterios adoptados para la configuración de los parámetros de cada controlador.

3.2.3.1 Control 1

Para diseñar los parámetros del primer controlador, inicialmente opté por definir un modelo de la planta y obtener los valores de forma analítica por cancelación de polos. Sin embargo, el controlador resultante no era capaz de realizar un control efectivo. Esto es un problema frecuente en el modelado de sistemas, y una práctica común

para solucionarlo consiste en a la obtención de parámetros manualmente, empleando el siguiente procedimiento:

- 1- Aumentar la ganancia proporcional hasta que el sistema llegue a la referencia marcada con sobreoscilaciones moderadas.
- 2- Aumentar el tiempo de integración hasta que el sistema deje de oscilar en torno a la referencia, manteniendo un valor constante y eliminando el error en régimen permanente.
- 3- Opcionalmente puede manipularse el tiempo derivativo para mejorar la respuesta del transitorio.

Este último punto carece de sentido para este sistema, puesto que posee una dinámica muy lenta. Al realizar un cambio en la referencia, inmediatamente la ganancia proporcional hace que la salida de las bombas sature entregando su máxima potencia. Aún así, le llevará unos pocos segundos (en el mejor de los casos para cambios de referencia pequeños de dos o tres centímetros) alcanzar la nueva consigna. Por ello, la mejor opción para minimizar el tiempo de respuesta será emplear un controlador de ganancia proporcional elevada que sature la salida desde el inicio. La acción integral será necesaria para eliminar el error de régimen permanente, y la derivativa la descartaremos.

3.2.3.2 Control 2

Cómo ya mencionamos anteriormente, el sistema resultante es un sistema multivariable conformado por las dos entradas y salidas siguientes:

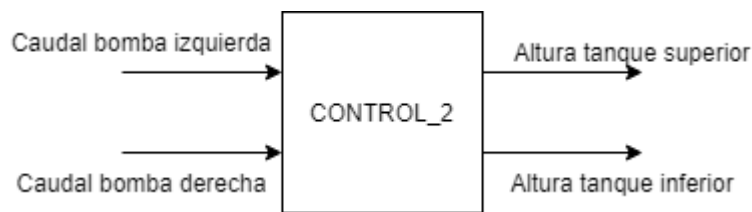


Figura 3-3. Variables del sistema 2

Además, para la mayor clarificación de la relación entre variables, se presenta la siguiente figura representativa del sistema:

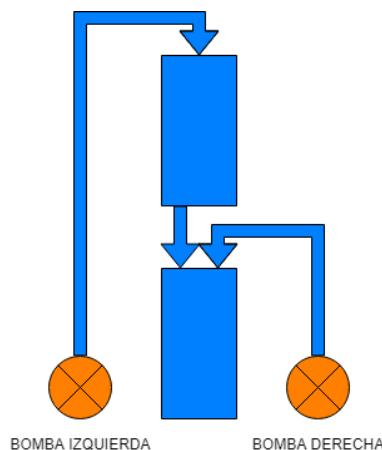


Figura 3-4. Modelo de la planta 2

Cómo puede apreciarse, la actuación de la bomba izquierda tiene una repercusión indirecta sobre el tanque inferior, al descargar el tanque superior sobre éste. Para estudiar el grado de interacción de cada bomba sobre cada tanque, emplearemos el método de las ganancias relativas RGA. Los pasos para la ejecución de este algoritmo son:

- 1. Cálculo de la matriz de ganancias en bucle abierto (K).

- 2. Cálculo de la matriz de ganancias en bucle cerrado (M).
- 3. Cálculo de la matriz de ganancias relativas (RGA) como el producto $K \times M$.

Para el cálculo de la matriz M no es necesario tomar las medidas de las ganancias en bucle cerrado, y podemos calcularla a partir de las ganancias en bucle abierto según la expresión: $M = (K^{-1})^T$.

Una vez calculada la matriz RGA, podemos analizar el grado de interacción de las variables y realizar el emparejamiento de éstas teniendo en cuenta el siguiente criterio:

Llamando λ_{ij} a la componente ij de la matriz RGA, se verifica:

- Si $\lambda_{ij} = 0 \rightarrow$ La ganancia K_{ij} es nula, y por tanto hay que evitar el emparejamiento (y_i, u_j) .
- Si $0 < \lambda_{ij} < 1 \rightarrow$ La ganancia de y_i con u_j se incrementa cuando el resto de los lazos están cerrados. El control puede volverse oscilatorio e incluso inestable, cuanto más se aleje de uno. Por defecto descartaremos el emparejamiento (y_i, u_j) si $\lambda_{ij} < 0.5$.
- Si $\lambda_{ij} = 1 \rightarrow$ No hay interacción. El emparejamiento (y_i, u_j) es óptimo.
- Si $\lambda_{ij} > 1 \rightarrow$ La ganancia de y_i con u_j disminuye cuando el resto de los lazos están cerrados. El control puede ser lento.
- Si $\lambda_{ij} = \infty \rightarrow$ Ganancia en bucle cerrado es nula. El control es imposible.
- Si $\lambda_{ij} < 0 \rightarrow$ La ganancia estática en bucle cerrado cambia de signo y por tanto puede llevar a la inestabilidad. Hay que evitar siempre este emparejamiento.

Para este escenario de control la matriz RGA resultante queda tal que:

$$RGA_2 = \begin{Bmatrix} 1.105 & -0.105 \\ -0.105 & 1.105 \end{Bmatrix}$$

Figura 3-5. Matriz de ganancias relativas en control 2

Se observa que λ_{11} y λ_{22} son prácticamente iguales a uno, luego el grado de dependencia es ínfimo. El emparejamiento de variables será por tanto tanque superior controlado por bomba izquierda, y tanque inferior por bomba derecha.

3.2.3.3 Control 3

Cómo ya mencionamos anteriormente, el sistema resultante es un sistema multivariable conformado por las dos entradas y salidas siguientes:

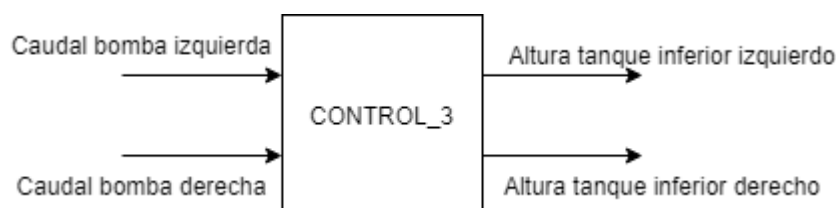


Figura 3-6. Variables del sistema 3

Además, para la mayor clarificación de la relación entre variables, se presenta la siguiente figura representativa del sistema:

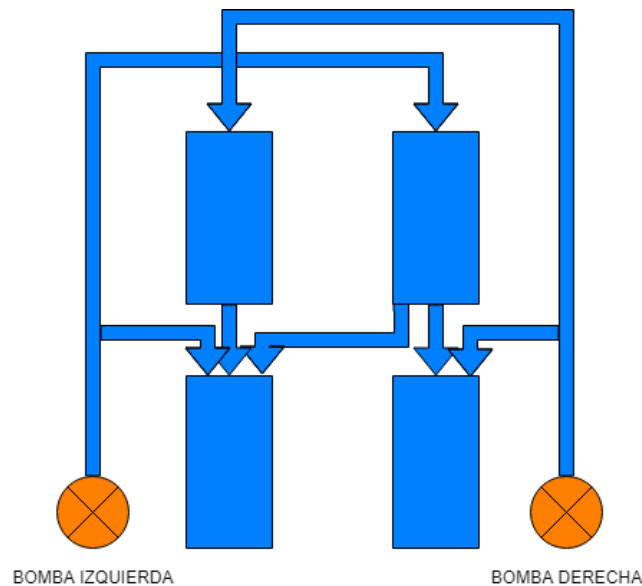


Figura 3-7. Modelo de la planta 3

Razonando del mismo modo que para el control dos, calculamos la matriz de ganancias relativas RGA para poder evaluar la interacción de las variables. Al igual que en el caso anterior, se aprecia una interacción despreciable entre la bomba izquierda con el tanque derecho y entre la bomba derecha con el tanque izquierdo (es decir, las ganancias cruzadas). Las ganancias RGA_{11} y RGA_{22} son prácticamente unitarias, luego concluimos el control mediante los emparejamientos: bomba izquierda-tanque izquierdo y bomba derecha-tanque derecho.

$$RGA_3 = \begin{Bmatrix} 1.0606 & -0.0606 \\ -0.0606 & 1.0606 \end{Bmatrix}$$

Figura 3-8. Matriz de ganancias relativas en control 3

Al igual que en el control 2, obtenemos λ_{11} y λ_{22} prácticamente iguales a uno, luego el emparejamiento de variables será tanque izquierdo controlado por bomba izquierda, y tanque derecho por bomba derecha.

Aunque de esta manera garanticemos un control eficaz, hay que tener en cuenta que para algunas consignas no será posible controlar el sistema. Esto se debe a los propios límites físicos del sistema, resultantes de la configuración de válvulas adoptadas. Por ello, es importante definir este rango de control de manera que el operario pueda operar la planta conociendo estas limitaciones. Para tal fin se ha programado el último bloque rango de control.

3.2.4 Bloque rango de control

En este bloque se definirán las dos curvas que conforman el rango de control y se calcularán los límites inferior y superior exigibles al tanque izquierdo. Es decir, dada una referencia para el tanque derecho, se determinarán las alturas máxima y mínima exigibles al tanque izquierdo. En el bloque main, como ya se explicó, se compararán las referencias introducidas con estos límites para saber si estamos dentro o fuera del rango.

Antes de programar el bloque en TIA Portal, el primer paso será obtener la ecuación de las curvas que definen el rango. Para ello, se ha procedido a mantener una bomba a su potencia máxima, y en la otra se ha implementado un PID variando su referencia de 0-25 cm con escalones de un centímetro. De este modo, cada vez que se alcanza

la referencia en el tanque controlado, obtenemos el nivel mínimo que se le puede exigir al otro tanque. Realizando la misma operación con el papel de las bombas intercambiado, obtenemos los puntos que definen ambas curvas del intervalo de operación. Por último, para poder comprobar si una referencia cualquiera (no solo los puntos registrados en este proceso) se encuentra dentro del rango, se ha procedido a calcular los polinomios que mejor se ajustan a cada nube de puntos. Para ello he utilizado el comando polyfit de Matlab, creando sendos polinomios de grado tres y siete, como se muestran en la figura 3-10.

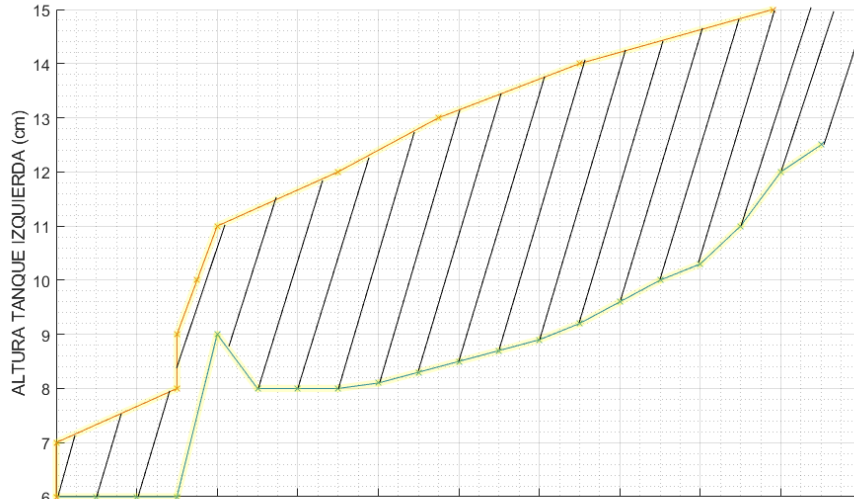


Figura 3-9. Rango de operación del control 3

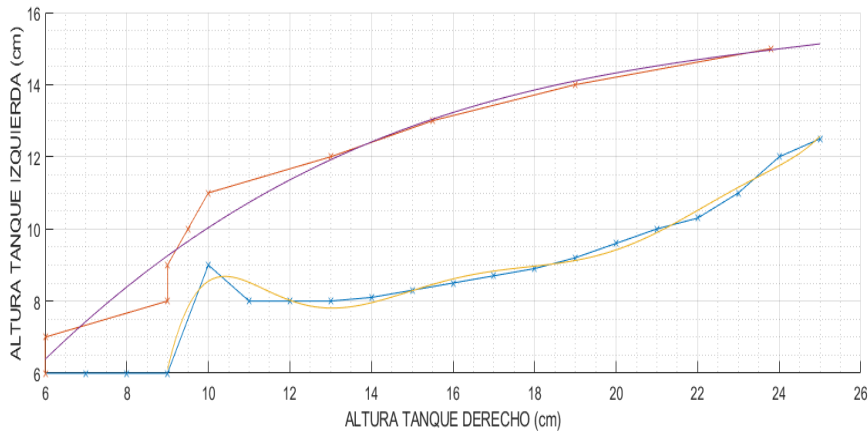


Figura 3-10. Curvas interpoladoras

Una vez obtenidas las ecuaciones de los polinomios, podemos definirlos en TIA Portal a través de los operadores matemáticos que ofrece el programa. Con los bloques EXPT, MULT y CALCULATE obtenemos directamente el valor de la curva para la referencia dada. Para ello, en primer lugar, se eleva la referencia introducida a los distintos grados del polinomio mediante el bloque EXPT. Seguidamente, se multiplica cada término obtenido por su respectivo coeficiente que lo acompaña en la ecuación de la curva usando el bloque MULT (recordamos que los coeficientes han sido obtenidos previamente con el comando polyfit de Matlab). Finalmente, se suman todos los términos obtenidos definiendo la función suma en el bloque CALCULATE. El resultado será el límite superior/inferior para la referencia dada.

En la siguiente figura, se muestra la sección 2 de este bloque, donde se calcula el límite superior. Para el límite inferior el procedimiento es análogo, pero trabajando con ocho coeficientes, al ser un polinomio de grado siete.

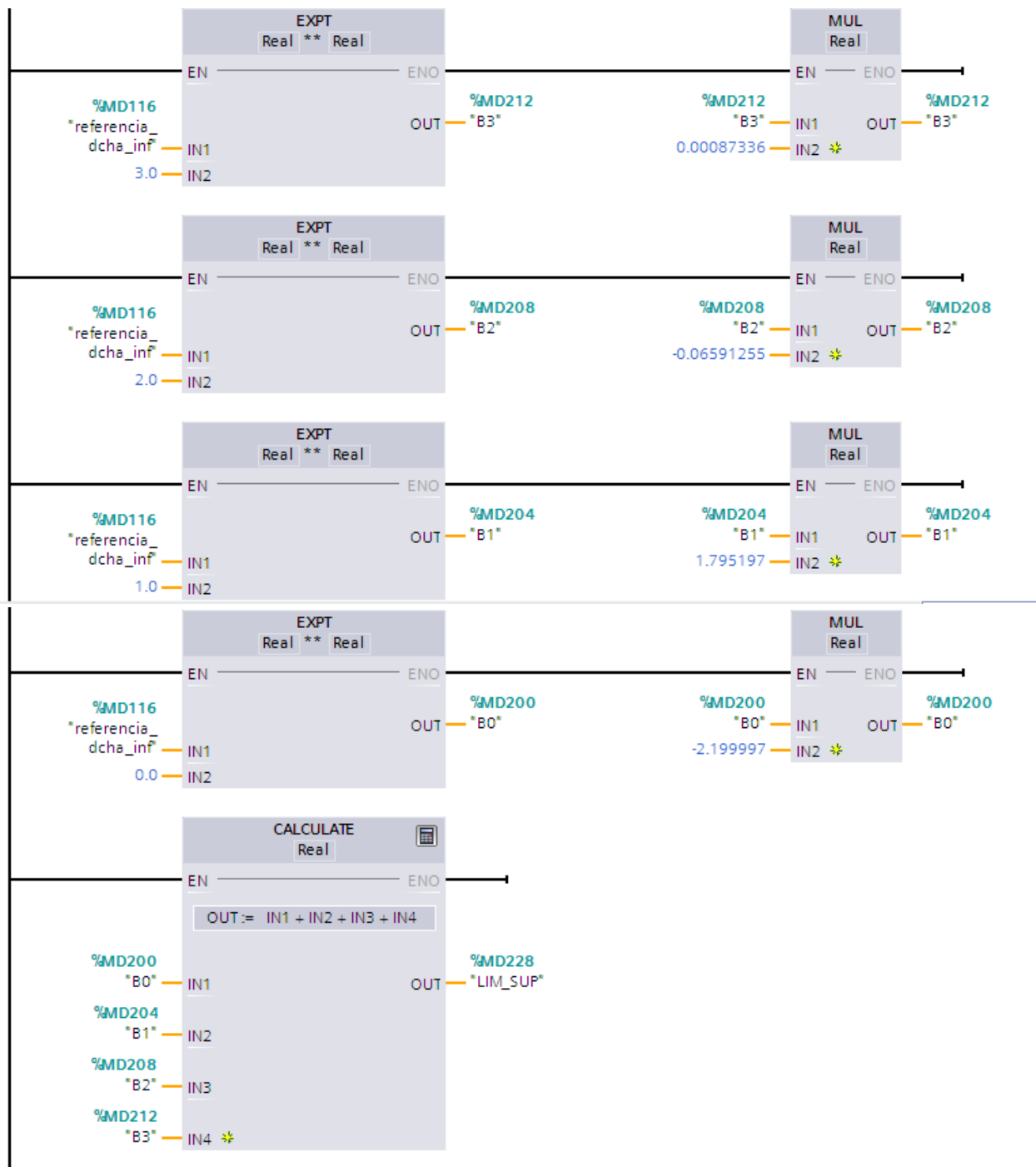


Figura 3-11. Cálculo del límite superior del rango de operación

3.3 Gráficas y resultados

En este apartado se muestran las imágenes para cada escenario de control. En las tres primeras se puede comprobar que el control es satisfactorio. En la cuarta, se representa el escenario de control 3 para unas referencias fuera del rango. En este caso se observa que el control comienza adecuadamente pero no termina de converger sumando un error en régimen permanente notable.



Figura 3-12. Visualización control de un tanque

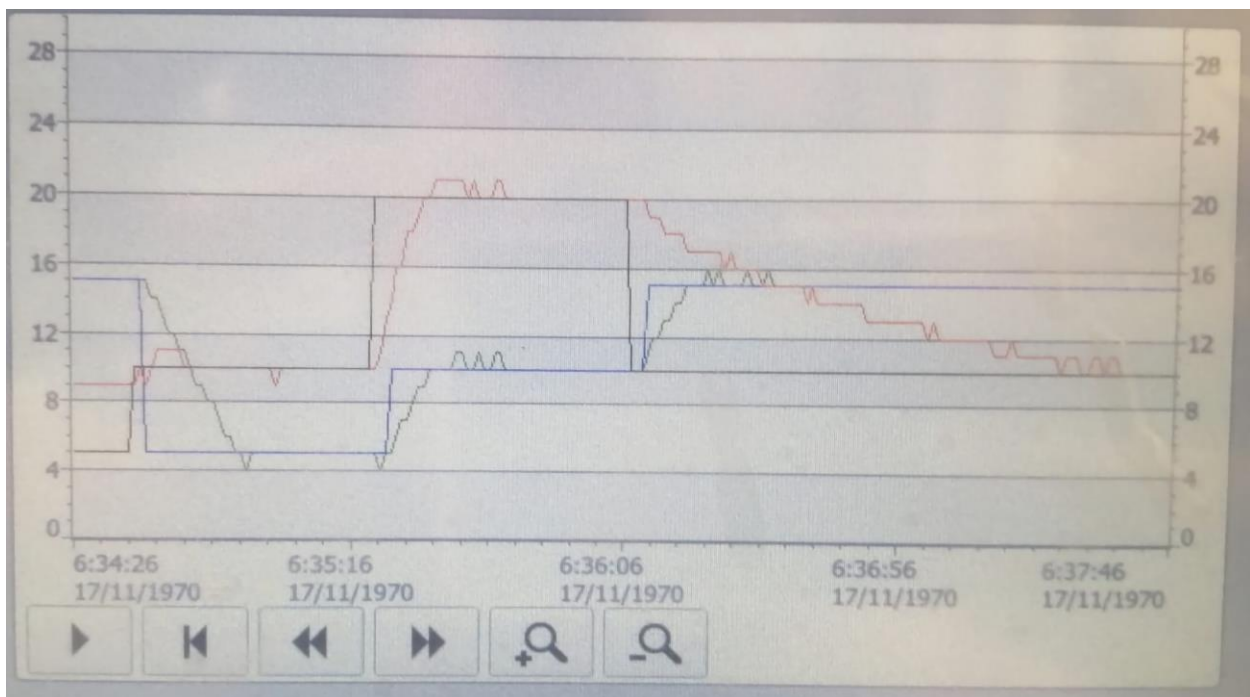


Figura 3-13. Visualización control de columna de tanques



Figura 3-14. Visualización control de tanques inferiores dentro del rango de control

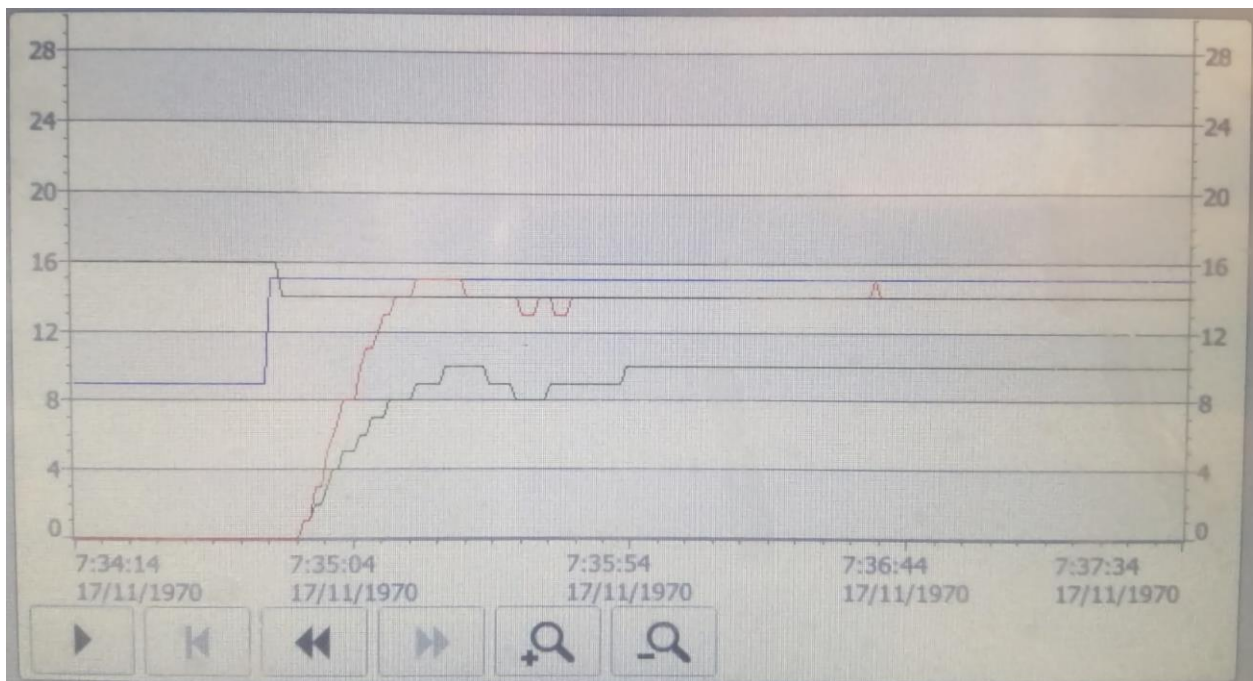


Figura 3-15. Visualización control de tanques inferiores fuera del rango de control

4 GUÍA PARA EL MANEJO DE LA INTERFAZ HMI

En este capítulo se expondrá una guía de usuario para el manejo de la pantalla HMI de SIEMENS. Su función será la de servir de material de consulta al usuario para entender las distintas herramientas de control que ofrece la interfaz y poder operar la planta correctamente. El procedimiento de programación de las pantallas no se detallará puesto que ya ha sido abordado en profundidad en otros TFGs.

4.1 Imagen raíz

Esta es la primera imagen que aparece al iniciar la pantalla. En ella se ilustra una imagen de la planta, y se definen cuatro botones para acceder a los tres escenarios de control y a la calibración de los sensores.

Antes de iniciar algún control, se debe proceder a la calibración de los sensores.



Figura 4-1. Imagen raíz

4.2 Calibración de sensores

En el sistema hay un total de cuatro sensores de nivel, uno por cada tanque. Previamente al proceso de calibración de cada uno, se mostrará una imagen de la planta con la configuración que deben tener las válvulas para poder continuar. Una vez asegurada esta configuración, se puede iniciar el proceso de calibración, que consta de tres pasos, detallados a continuación a modo de ejemplo para el tanque inferior derecho:

1. Guardar el valor de la lectura del sensor para el tanque vacío en la variable MIN_dcha_inf. Para ello se pulsará el botón Actualizar cuando el tanque esté vacío.
2. Llenar el tanque hasta su máxima altura (25cm). Esto se hará accionando manualmente la bomba con los botones “ON” y “OFF”.
3. Guardar el valor de la lectura del sensor para el tanque lleno en la variable MAX_dcha_inf. Para ello se pulsará el botón actualizar cuando el tanque esté lleno.



Figura 4-2. Calibración de sensores



Figura 4-3. Configuración de válvulas para la calibración derecha inferior

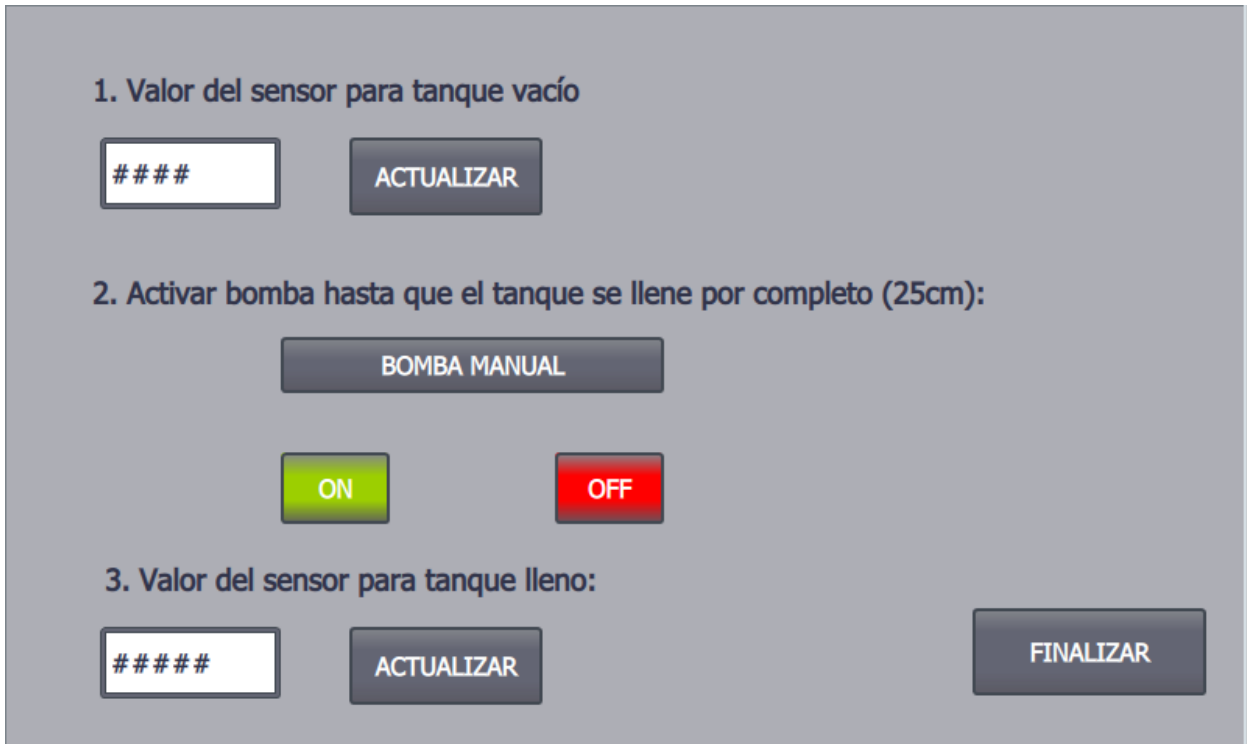


Figura 4-4. Proceso de calibración del tanque derecho inferior

4.1 Control de un tanque

Accedemos a él tras pulsar el botón “CONTROL DE UN TANQUE” de la imagen raíz. Se desplegará una nueva pantalla con tres botones para la configuración inicial de válvulas, el ajuste de parámetros del controlador PID y para la implementación del control. Al igual que en el proceso de calibración, se deberá asegurar en primer lugar la configuración de las válvulas.

El botón “Parámetros PID” mostrará una pantalla en la que se podrá modificar los valores de la ganancia proporcional, el tiempo de integración y el tiempo derivativo. Además, permitirá validar el funcionamiento del controlador introduciendo por pantalla un valor de referencia y mostrando a su lado una gráfica con el seguimiento de la señal y su consigna.

El botón “CONTROL” habilita la pantalla de control, que permitirá realizar tanto el control automático como un control manual. Para operar en modo manual se pulsará el botón “MODO MANUAL”, y a continuación se modificará la tensión de alimentación de las bombas mediante las flechas de incremento y decremento, o introduciendo directamente su valor por pantalla. Hay que tener en cuenta que las bombas trabajan en un rango de tensión de 0-5 voltios, mientras que la salida del PLC de 0-10 voltios. Este rango, traducido a la variable de tipo entero con la que trabaja la salida del PLC (0-27648), implica que para valores superiores a $27648/2$, es decir, 13824, la acción de la bomba satura al haber excedido los cinco voltios.

Para operar en modo automático se pulsará el botón “MODO AUTOMÁTICO”, y a continuación se introducirá por pantalla la referencia que se quiera seguir. Además, el botón “VISUALIZACIÓN” desplegará una gráfica con la referencia fijada y su seguimiento en centímetros.



Figura 4-5. Pantalla inicial del control 1

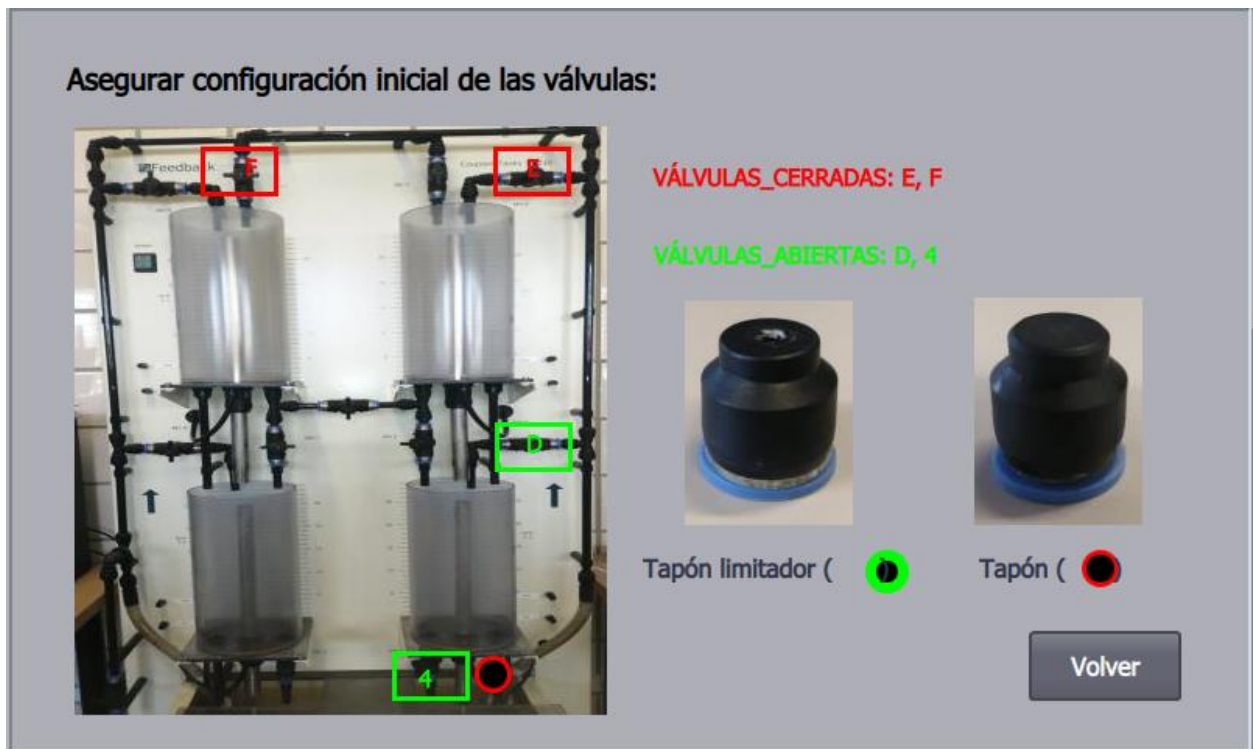


Figura 4-6. Configuración de válvulas del control 1

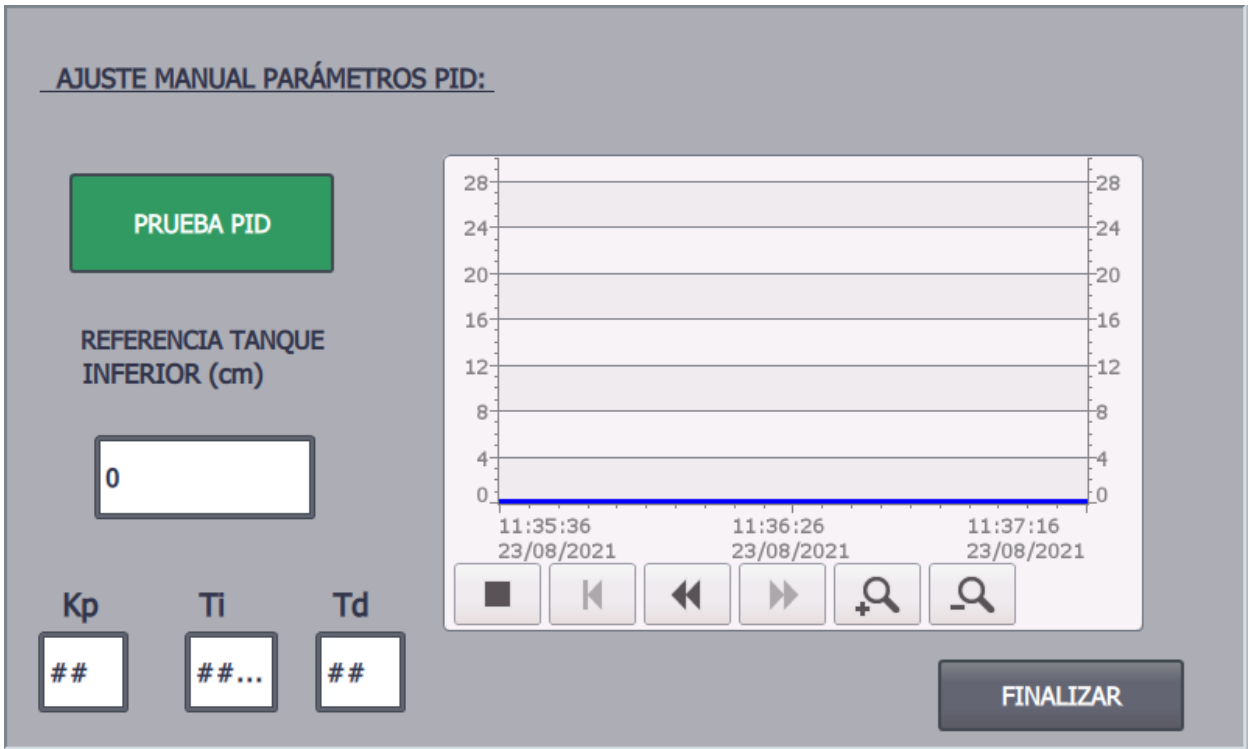


Figura 4-7. Configuración de parámetros del PID_1

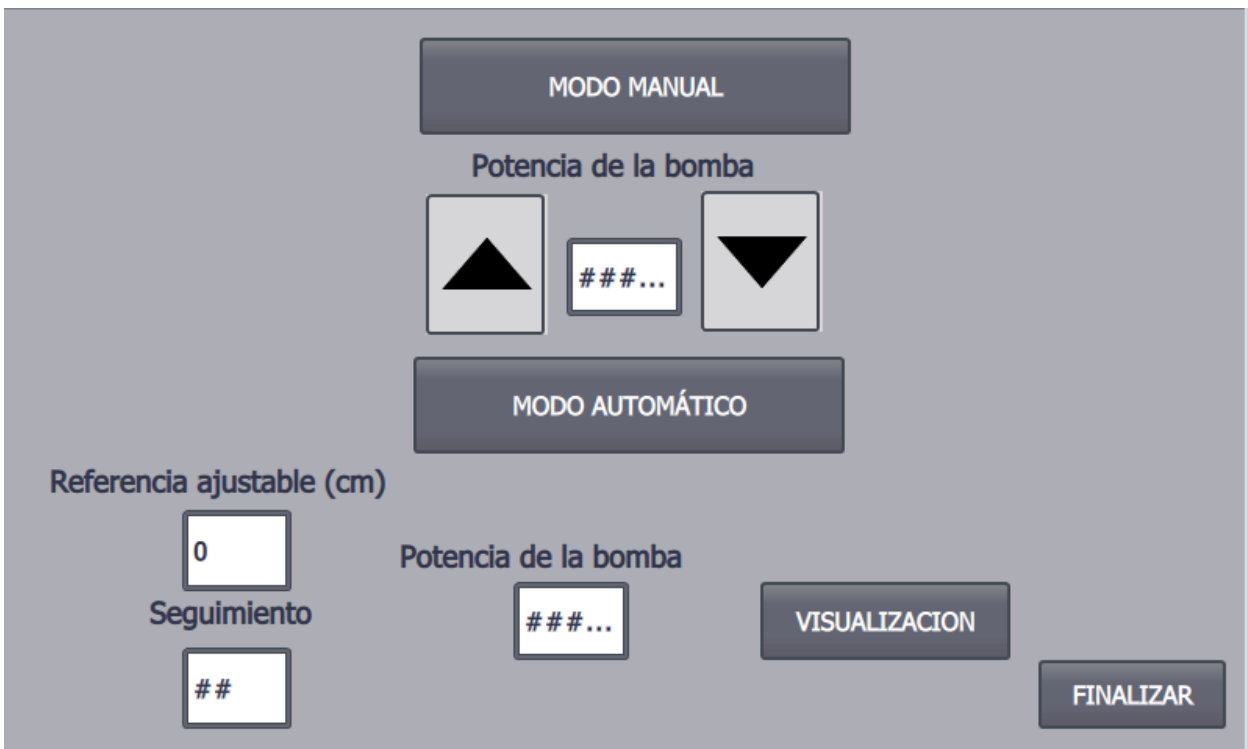


Figura 4-8. Ejecución del control 1

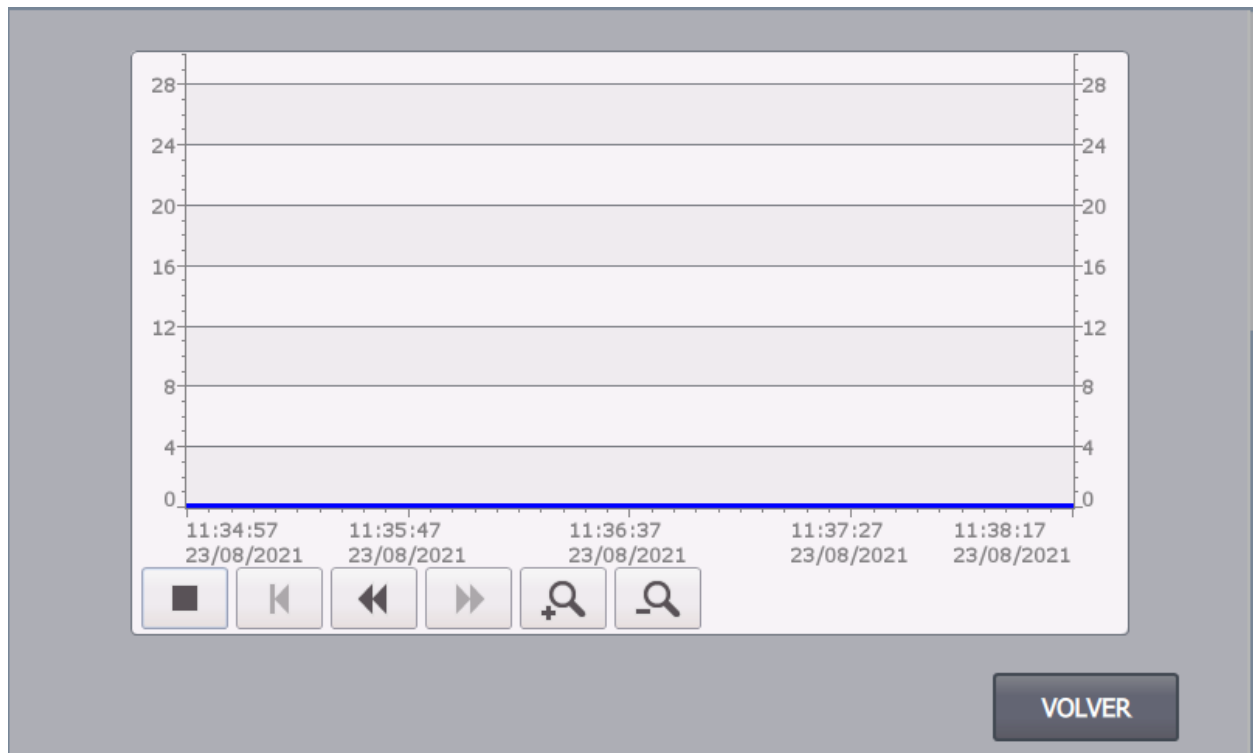


Figura 4-9. Visualización del control 1

4.2 Control de una columna

Accedemos a él tras pulsar el botón “CONTROL DE UNA COLUMNA” de la imagen raíz. Se desplegará una nueva pantalla con cuatro botones para la configuración inicial de válvulas, el ajuste de parámetros de los dos controladores PID y para la implementación del control. Al igual que en el proceso de calibración, se deberá asegurar en primer lugar la configuración de las válvulas.

La interfaz será idéntica a la del control 1, sólo que ahora el modo automático incorporará dos entradas para seleccionar las referencias de los dos tanques a controlar.



Figura 4-10. Pantalla inicial control 2

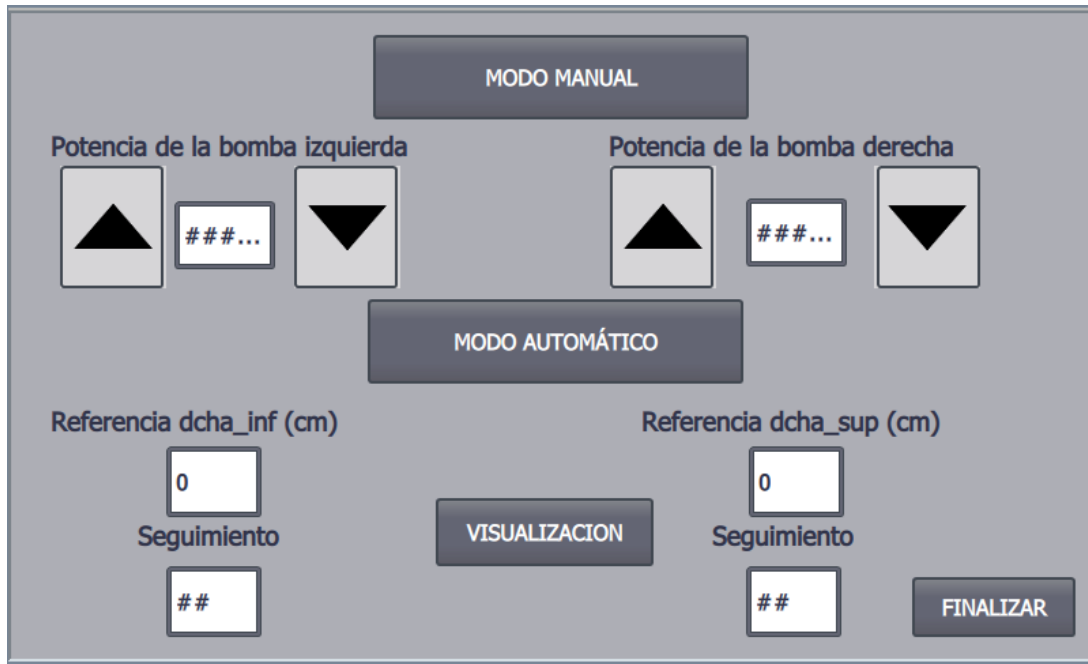


Figura 4-11. Ejecución del control 2

4.3 Control de tanques inferiores

Accedemos a él tras pulsar el botón “CONTROL DE TANQUES CRUZADOS” de la imagen raíz. Se desplegará una nueva pantalla con cuatro botones para la configuración inicial de válvulas, el ajuste de parámetros de los dos controladores PID y para la implementación del control. Al igual que en el proceso de calibración, se deberá asegurar en primer lugar la configuración de las válvulas.

La interfaz será idéntica a la del control dos, pero ahora además aborda el tema del rango de funcionamiento mencionado con anterioridad en el apartado 3.2.3.3. *control 3*. Accionando el botón “RANGO DE CONTROL”, se desplegará una imagen con las curvas que definen dicho rango, para que el operario pueda elegir de manera coherente dos referencias dentro del rango. Si las referencias introducidas se encuentran fuera del rango, se mostrará un aviso informando de este suceso, y se le dará al operario la opción de introducir dos nuevas referencias, o de continuar con el control. En caso de que se seleccione continuar con el control, se encenderá una advertencia en la pantalla, que se quitará cuando se introduzcan nuevas referencias dentro del rango.



Figura 4-12. Pantalla inicial control 3

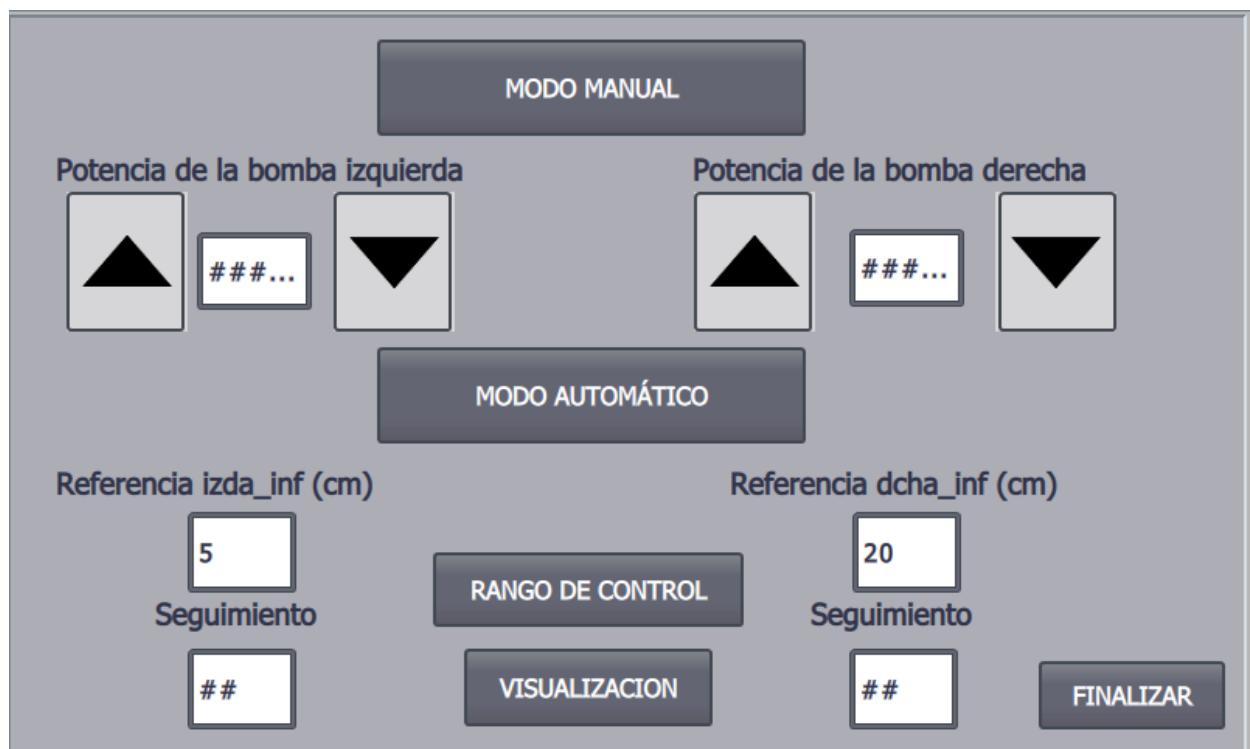


Figura 4-13. Ejecución del control 3

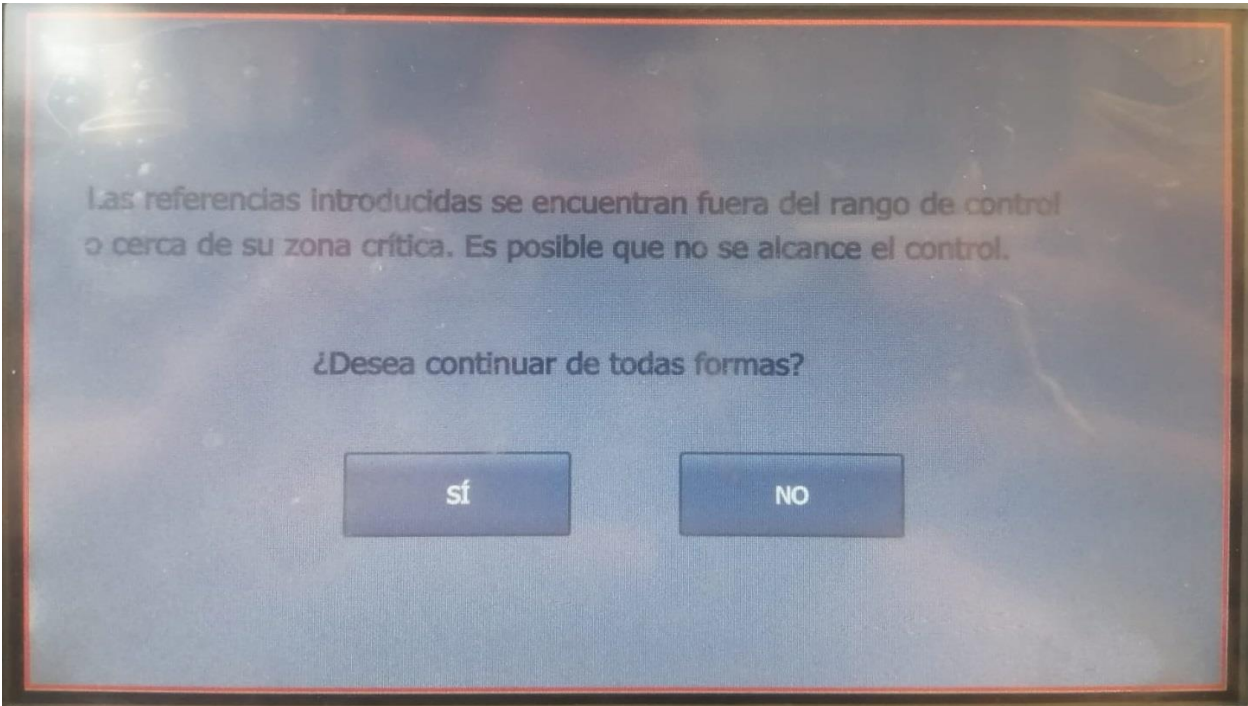


Figura 4-14. Mensaje de aviso fuera de rango

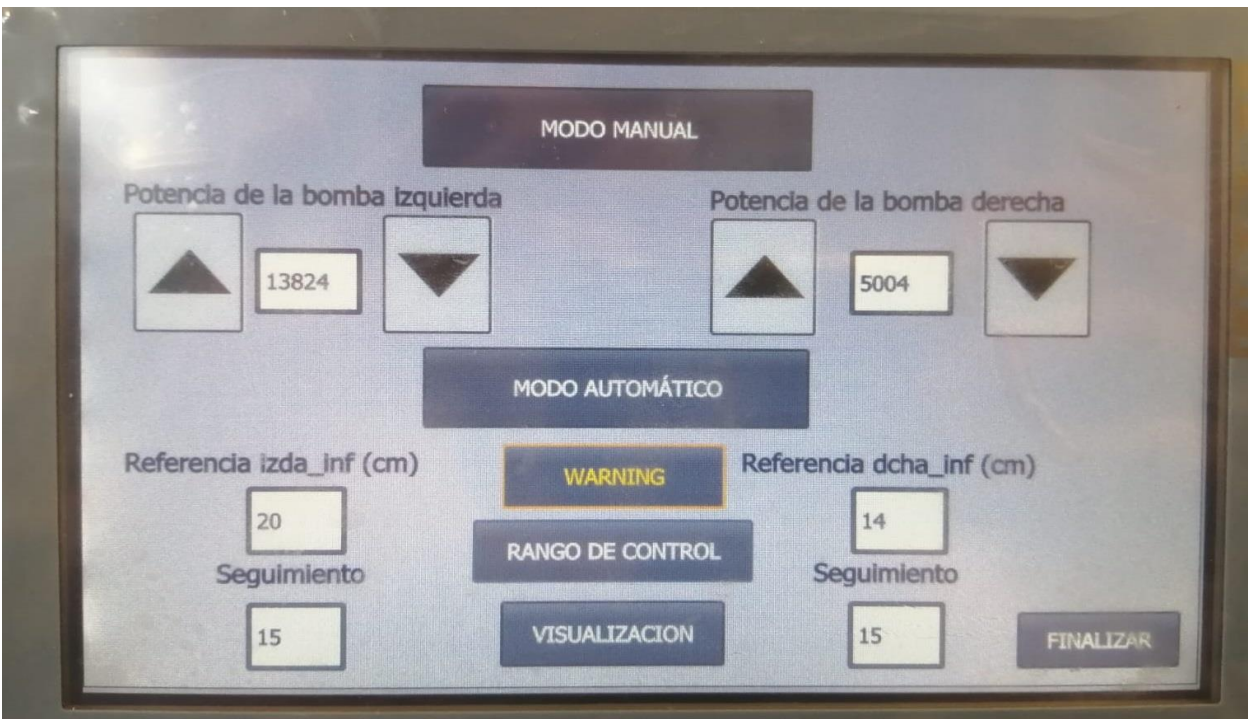


Figura 4-15. Incono warning (Posibilidad de control no satisfactorio)

4.4 Esquema de consecución de las pantallas

Para tener una visión general del comportamiento del HMI, se ha realizado un esquema donde se muestran todas las pantallas que lo componen, así como los botones que deben accionarse para desplazarnos por ellas. El nombre de las pantallas se encuentra enmarcado en rectángulos, y el de los botones junto a la flecha de la imagen que activa.

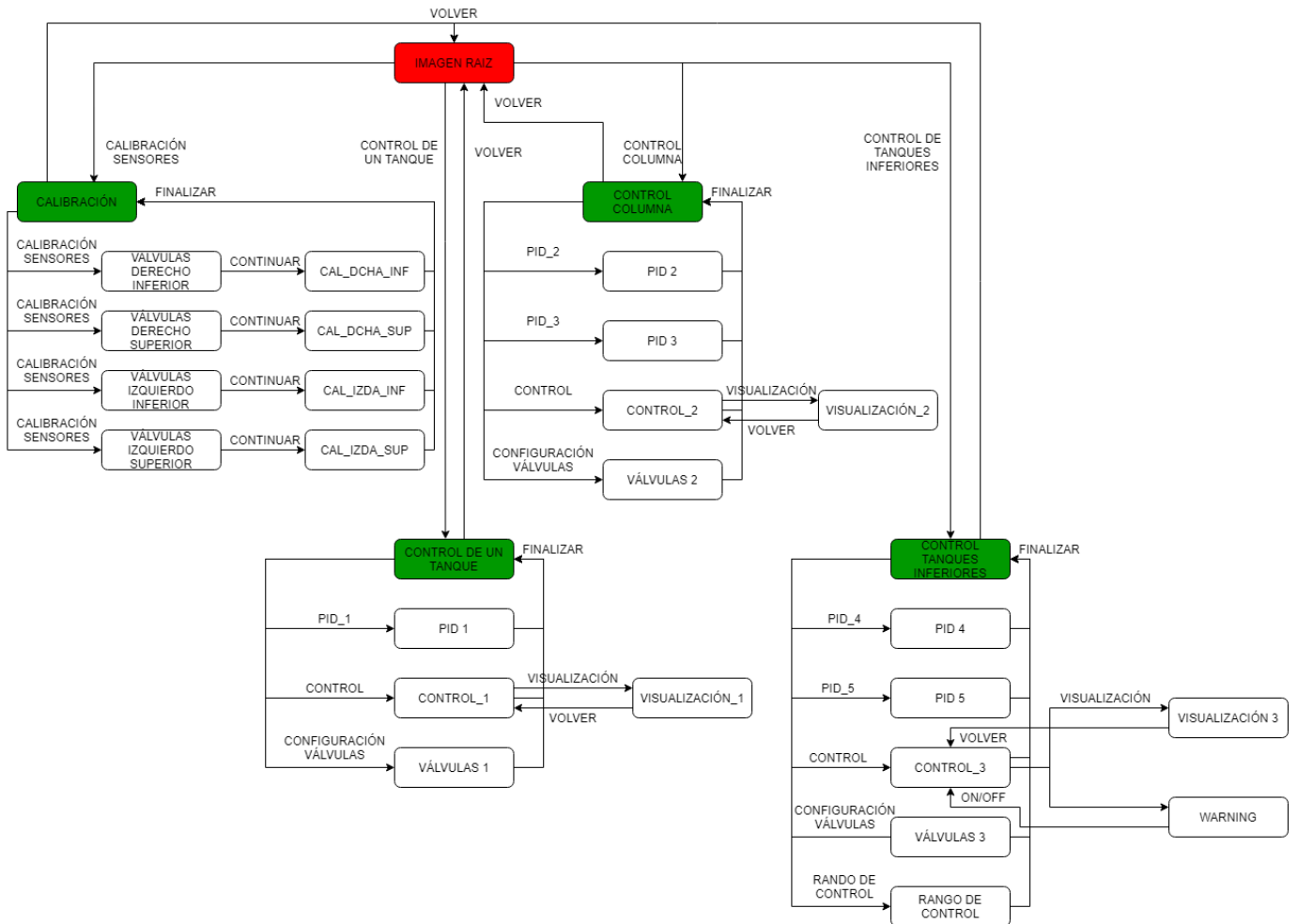


Figura 4.16 - Esquema de consecución de pantallas

5 PROGRAMACIÓN DEL HMI EN EL ORDENADOR Y CONTROL REMOTO

Como paso final del trabajo, se implementará en un ordenador del laboratorio la misma interfaz hmi realizada en la pantalla de Siemens, y se indicarán los pasos a seguir para establecer el control remoto. Este ordenador desempeñará el papel de servidor, y el resto de los ordenadores que quieran hacerse con el control remoto serán los clientes. Éstos podrán solicitar permisos para la ejecución del proyecto de forma remota, obteniendo autorización mediante la introducción de una contraseña. De esta manera, los clientes podrán llevar a cabo el control remoto de la instalación siempre que el servidor esté disponible.

5.1 Requisitos de software necesarios

Antes de empezar, es necesario tener instaladas las siguientes licencias:

- WinCC RT Advanced: para la programación de un sistema PC y habilitar la ejecución en RT (Run Time)
- WinCC Basic: para la programación del panel táctil de SIEMENS
- STEP 7 Basic: para la programación de PLCs SIMATIC- S7

5.2 Creación y configuración inicial del sistema PC

El primer paso será añadir el nuevo dispositivo al proyecto. Para ello se irá a la pestaña “Agregar dispositivo” del árbol del proyecto y se seleccionará “Sistemas PC” en la pantalla emergente. A continuación, se elegirá el dispositivo “WinCC RT Advanced” disponible en el apartado “SIMATIC HMI Application”.

Ahora aparecerá el nuevo dispositivo en la ventana “dispositivos y redes” del árbol del proyecto. Sin embargo, todavía no tiene una conexión establecida con el PLC. Para lograr la comunicación, se irá al “catálogo de hardware” disponible en la ventana “dispositivos y redes” y se abrirán los “módulos de comunicación”. De entre todos los disponibles, elegiremos el módulo “IE general” ubicado en la carpeta “PROFINET/Ethernet”, haciendo clic con el ratón y arrastrándolo hasta nuestro sistema PC.

Una vez disponible la conexión ethernet del servidor, se conectará con la subred PN/IE_1. Para ello se abrirá la pestaña de propiedades del módulo añadido y se entrará en “Direcciones ethernet”. En la sección de subred se elegirá “PN/IE_1”, y en la dirección IP se introducirá la del propio ordenador. Ésta la podremos encontrar introduciendo el comando ipconfig en el Símbolo del sistema.

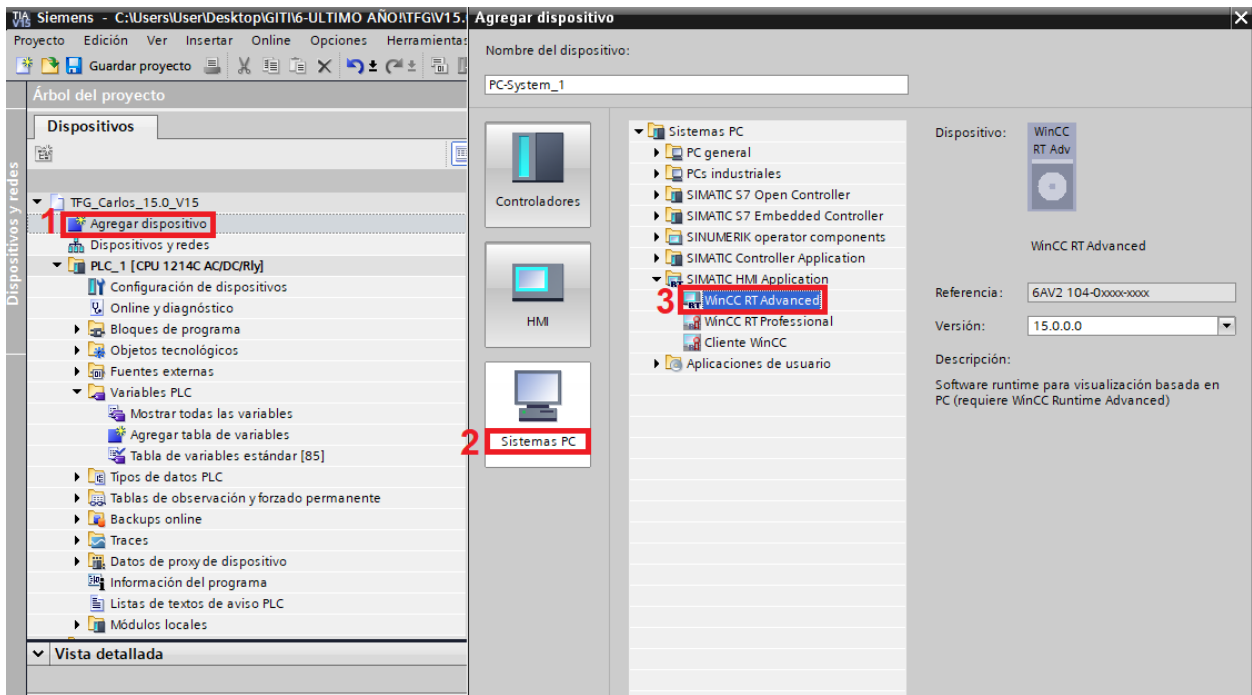


Figura 5.1. Creación de una estación PC

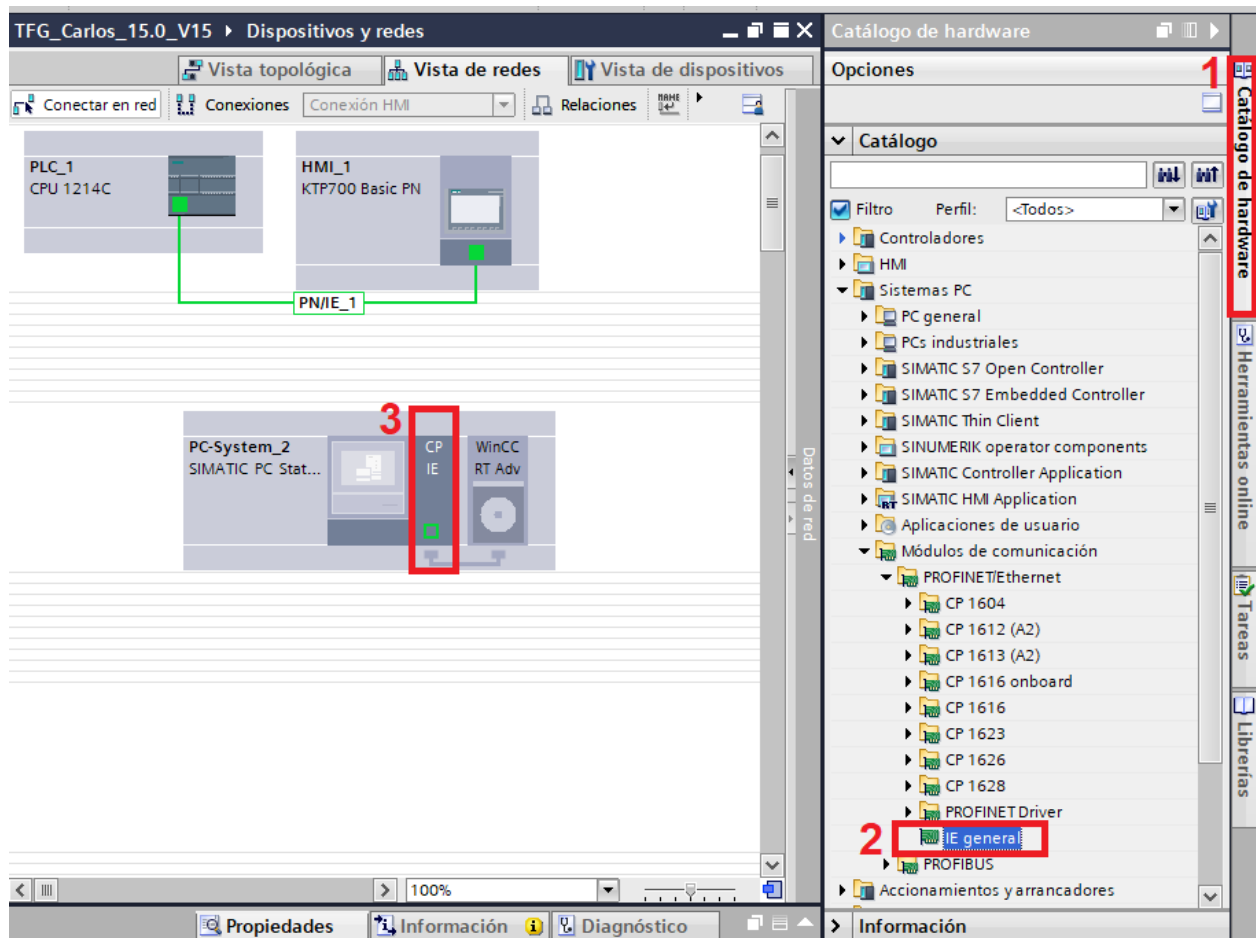


Figura 5.2.- Adición del módulo de comunicaciones Ethernet

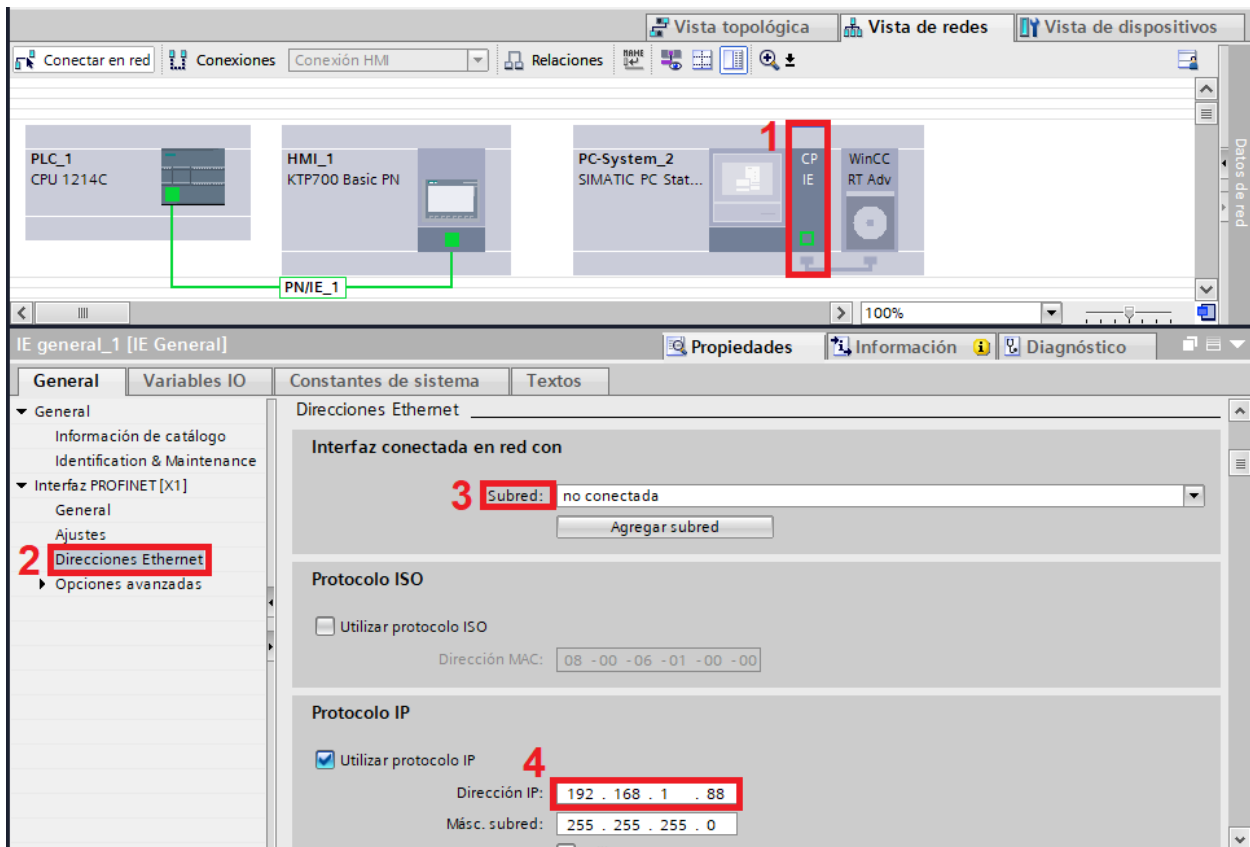


Figura 5.3- Configuración del módulo de comunicaciones Ethernet

5.3 Programación y ejecución Runtime del sistema PC

El procedimiento de programación del HMI en el ordenador es idéntico al seguido en la programación de la interfaz en el panel de SIEMENS. Ambos dispositivos tienen el mismo entorno de programación con las mismas funciones disponibles. Además, en el caso que nos ocupa, donde queremos diseñar la misma interfaz, pero ahora en el ordenador, bastará con copiar las variables e imágenes definidas para el panel.

En primer lugar, se copiarán todas las imágenes definidas para el panel de SIEMENS, y se pegarán en la sección de imágenes del sistema PC. A continuación, se copiarán también las variables definidas en la tabla de variables estándar del panel. Estas variables son procesadas por el PLC, y el modo de acceso a las mismas puede ser simbólico (introduciendo el nombre de la variable del PLC con la que se corresponde) o absoluto (introduciendo la dirección de memoria de la variable del PLC).

Finalmente, una vez definidos el método de conexión del sistema PC, las imágenes y las variables de su interfaz, se procede a cargar el programa en el dispositivo y ejecutar el modo runtime en el PC. Para ello se seguirán los pasos detallados a continuación:

1. Pulsar el botón “iniciar runtime en el PC” ubicado en la barra de herramientas. Se abrirá el start center del WinCC Runtime Advanced mostrando cuatro opciones: transferir, iniciar, opciones y salir.
2. Seleccionar la opción transferir. El software quedará a la espera de que se le cargue un programa.
3. Cargar el programa del sistema PC.
4. Seleccionar la opción Iniciar del start center.

Ahora ya queda disponible la pantalla de explotación en nuestro PC para controlar el sistema.

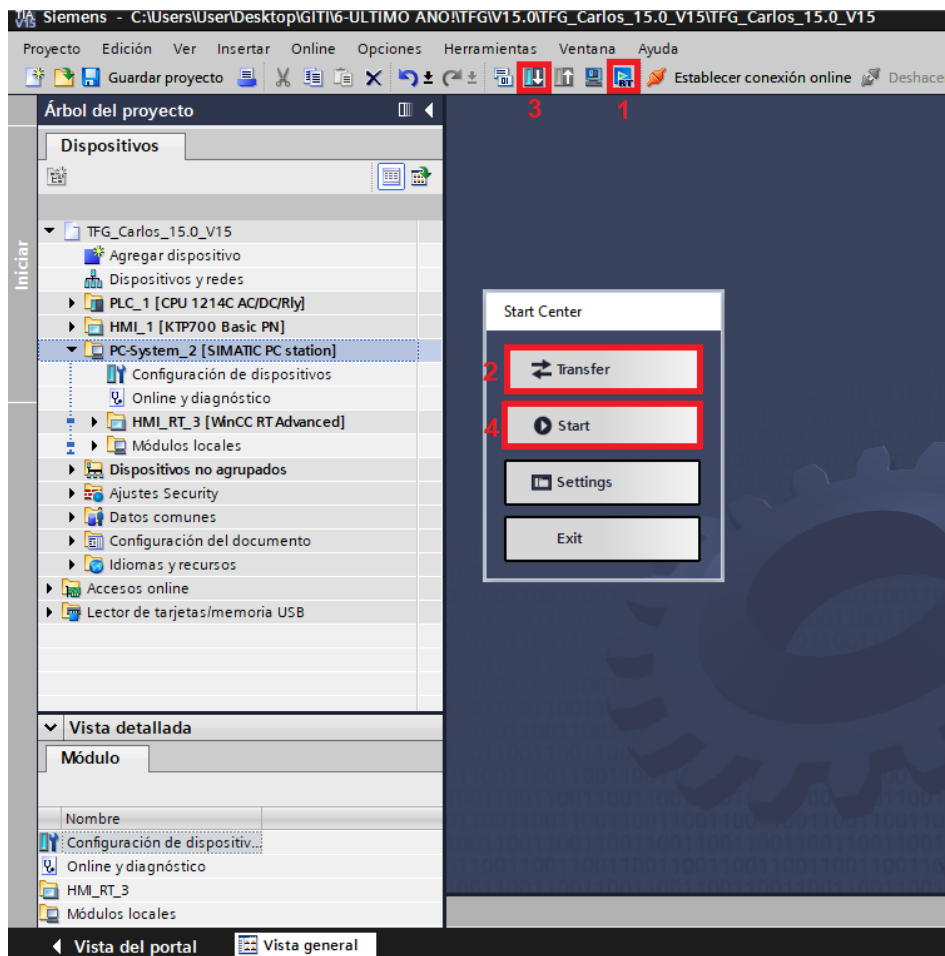


Figura 5-4. Ejecución del Runtime

5.5 Conexión al servidor y control remoto

Para hacerse con el control remoto del servidor existen algunos programas de descarga gratuita como Anydesk o Teamviewer. Sin embargo, en este proyecto se usarán los softwares Sm@rtClient y Sm@rtServer de SIEMENS que vienen instalados por defecto en el paquete del WinCC Runtime Advanced.

Una vez iniciado el Runtime en el PC, el servidor web quedará habilitado y configuraremos su acceso abriendo Sm@rtServer. Para proteger frente accesos no autorizados, se podrán definir dos contraseñas, una para acceso en modo lectura al servidor y otra para otorgar permisos de escritura y operar sobre la interfaz HMI.

El siguiente paso será abrir Sm@rtClient desde el ordenador con el que queramos conectarnos al servidor. Antes de continuar, es aconsejable verificar que la comunicación entre ambos equipos esté disponible. Para ello se usará el comando PING en el Símbolo del Sistema, el cual envía cuatro mensajes de un equipo a otro, comprobando que lleguen y sean recibidos y leídos sin problemas. En caso de error, deberemos acceder al FireWall de Windows para habilitar la comunicación del equipo a través del servidor de SIEMENS. Una vez abierto el FireWall, no iremos a la configuración avanzada y seleccionaremos “reglas de entrada”. Se desplegará una lista de programas, entre los que se buscará el de nombre “Server Build”. Se deberán habilitar los grupos que se muestran en la figura 5-5. Tras comprobar la comunicación, abriremos el Sm@rtClient, desplegándose una pantalla donde deberemos introducir la dirección IP del servidor y las contraseñas previamente configuradas.

Después de este paso, el cliente se habrá hecho con el control remoto y tendrá acceso a la interfaz de explotación de la planta del sistema, alcanzándose el último propósito de este proyecto.

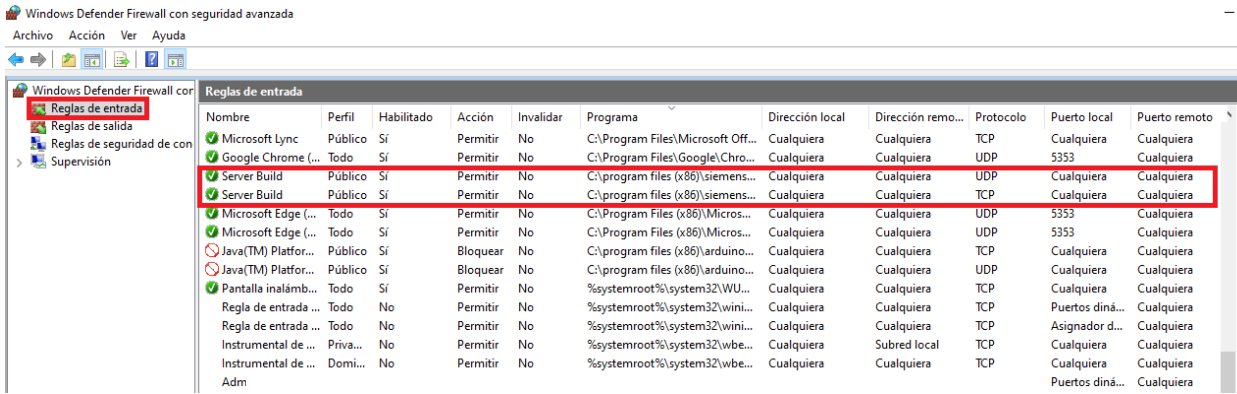


Figura 5-5. Configuración del FireWall de Windows

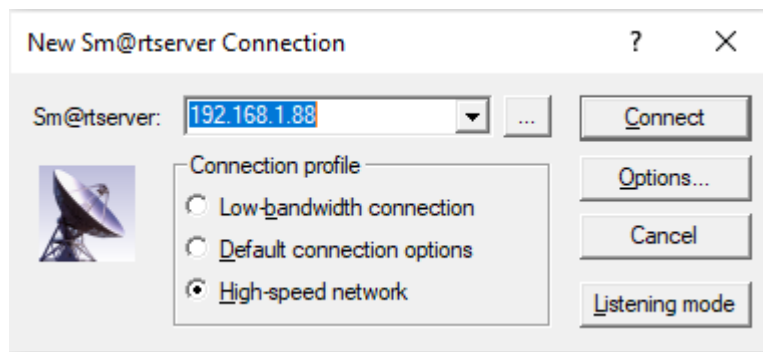


Figura 5-6. Conexión al servidor

6 CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA

Los resultados de este trabajo han sido muy satisfactorios, consiguiéndose alcanzar todos los objetivos propuestos: conexión física de los equipos, programación del control, creación de la interfaz y configuración del control remoto.

Por otro lado, he encontrado una serie de problemas inesperados que he debido ir resolviendo para continuar con el flujo del trabajo. En la siguiente lista los expongo junto con las soluciones adoptadas:

- Error de Hardware al compilar el proyecto en TIA Portal. El módulo auxiliar para comunicaciones analógicas no estaba alimentado correctamente en tensión. Se resolvió alimentándolo a 24V a través del propio PLC, conectando los bornes L+ y M de ambos.
- Calibración de los sensores de nivel. Otros alumnos del grupo de robótica trabajaban también con el sistema de tanques acoplados y en el proceso de calibración modificaban el offset y la ganancia del sensor. Estas modificaciones invalidaban las lecturas del sensor para mi proyecto. Para evitar estar modificando el offset y la ganancia diariamente tras el trabajo de los otros grupos, el proceso de calibración lo he llevado a cabo tomando las medidas máximas y mínimas del sensor para los valores de ganancia y offset que ya estaban. De esta manera sacrifiqué algo de precisión en la medida, ya que no se abarcaba todo el rango disponible en la lectura analógica del PLC (0-27648), pero se aceleraba notablemente el proceso de calibración y sin perturbar a los alumnos de robótica. Además, la precisión fue más que suficiente para lograr un control excelente.
- Limitaciones físicas del sistema. Mi control inicial para el escenario tres funcionaba muy bien para algunas referencias, pero otras nunca se alcanzaban. Finalmente concluí que era debido a las propias limitaciones en potencia de las bombas y a la configuración de válvulas adoptada. Para delimitar este rango de control tuve que idear el procedimiento descrito en el apartado “3.2.3.3 Control 3”, haciendo uso de Matlab para obtener los polinomios interpoladores que definieron dicho rango.
- Definición de los polinomios interpoladores en TIA Portal. El uso de funciones matemáticas está muy limitado en TIA Portal. En concreto, no dispone de una función para el cálculo de potencias, por lo que estas se han calculado multiplicando los valores por sí mismos repetidas veces, mediante el bloque de multiplicación.
- Programación de la interfaz en el sistema PC y ejecución en RT. No se podía llevar a cabo con las licencias instaladas en el laboratorio. Fue necesario instalar el software de pago WinCC Runtime Advanced, para el que afortunadamente la escuela tenía varias unidades disponibles.
- Problema de conexión para el control remoto entre equipos pertenecientes a distintas redes locales. El control remoto se consiguió vía ethernet a través de otros ordenadores del laboratorio. Sin embargo, la conexión vía internet empleando la herramienta de SIEMENS no se pudo establecer, por estar conectados los dispositivos a distintas redes locales. Este problema queda fuera de los objetivos de este proyecto por lo que lo dejado cómo propuesta de mejora.

Para terminar, expongo algunas propuestas de mejora con vistas a progresar en trabajos futuros.

- Descargar la librería mathlib de SIEMENS para el caso de querer programar funciones matemáticas más avanzadas y de forma más ordenada en el proyecto.
- Desarrollar una VPN (Virtual Private Network) para poder trabajar con equipos remotos dentro de una misma red local virtual, y de este modo poder conectar cualquier dispositivo vía internet. Alternativamente, usar otro software como Anydesk, en lugar de la herramienta Sm@rtClient de SIEMENS, que permite crear túneles TCP eludiendo las restricciones de proxy y firewall.
- Probar a resolver un problema de control más complejo, configurando las válvulas de los tanques para obtener un sistema multivariable de mayor interacción.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Palomo Cantador, A.J. (2019). *Control de un sistema de regulación de temperatura usando un autómatas programable y una pantalla HMI*. (Trabajo Fin de Grado Inédito). Depósito de investigación Universidad de Sevilla.
- [2] Aström, K. J., Hägglund, T., Dormido, S., & Guzmán Sánchez, J. L. (2009). *Control PID avanzado*. Pearson-Prentice Hall.
- [3] SIEMENS (2018). *Controlador programable S7-1200. Manual de sistema*. Industry Online Support

Otras autoridades

%QW: salida analógica del PLC	14
DB: bloque de datos	11
FB: bloque de función	11
FC: funciones	11
HMI: Human Machine Interface	xi
K: Matriz de ganancias en bucle abierto	15
M: Matriz de ganancias en bucle cerrado	16
OB: Bloque de objetos	11
PID: Proporcional Integral Derivativo	4
PLC: Controlador Lógico Programable	xi
RGA: Matriz de ganancias relativas	16
Símbolo del sistema: ventana de comandos del sistema (cmd)	32