



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE UN CONTROLADOR PID CON COMUNICACIÓN
INALÁMBRICA PARA UNA PLANTA DE 3 TANQUES”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL**

NOMBRES Y APELLIDOS

IVETTE JOHANA PAZMIÑO CASTRO

NANCY FABIOLA RODRIGUEZ PERALTA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2017

AGRADECIMIENTO

En especial al Msc. Franklin Kuonquí y Msc, Carolina Godoy por su paciencia y apoyo incondicional para que este proyecto de tesis salga adelante, por depositar su confianza en nosotras y demostrar que con perseverancia se pueden lograr los objetivos.

También a todas las personas que de alguna manera colaboraron y ayudaron de forma desinteresada en su realización, de todo corazón gracias.

DEDICATORIA

A mi pequeña familia, mi esposo y mi hijo que me han apoyado en cada paso a mi preparación profesional, me han dado ánimos y la fortaleza para seguir preparándome día a día. Mi motorcito que con un abrazo y un beso me ha subido el ánimo y así tenga solo 2 años me enseña a amar de una manera incondicional, esto va por ti mi pequeño Santi espero siempre estés orgullosa de mí.

A mis padres, por ayudarme a culminar esta gran etapa de mi vida, enseñarme a luchar, a ser perseverante, a darme la mano cuando más lo he necesitado, soy la mujer que soy ahora por ustedes, gracias por tanto amor.

A mis hermanos, a los cuales amo mucho y siempre quiero que se sientan orgullosa de mí.

A mis abuelitos, que siempre sean eternos, a mi Marujita que sé que me cuida desde arriba.

A mis suegros, que me han dado ánimos para seguir adelante y me han ayudado en cada paso que he dado, gracias por quererme como una hija más y abrirme las puertas de su casa.

A la Batiseñal que me han ayudado en todo momento y siempre han confiado en mí.

Va por ti hijo mío.

Ivette Pazmiño Castro.

DEDICATORIA

A Dios, el que me ha dado fortaleza y coraje para continuar cuando he estado a punto de caer, por cada gracia que ha convertido en bendición porque sólo Él conoce mis necesidades y por ello este momento especial de mi vida es realidad.

A mi madre, NANCY PERALTA que ha velado por mí durante este largo camino, me ha impulsado a seguir adelante con sus consejos, amor y ahínco a terminar mi carrera profesional; ella es una mujer ejemplar.

A mi padre, VICTOR RODRIGUEZ le dedico todo mi esfuerzo en reconocimiento a todo el sacrificio que tuvo que realizar para solventar los gastos de mis estudios, que a partir de este logro se convierte en orgullo y satisfacción de saber que todo valió la pena.

A mi abuelita, DELFINA VALLEJO que estuvo siempre pendiente a lo largo de mi carrera, sus consejos fueron el motor para seguir adelante ya que siempre destaco la importancia de ser una persona profesional.

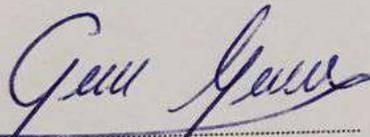
A mis profesores, por transmitir su sabiduría en el desarrollo de mi formación profesional

A JONATHAN JORDÁN, por ser incondicional conmigo y ser parte de esta aventura en mi preparación universitaria ya que cada peldaño que ha pasado lo he superado con el apoyo emocional que me ha brindado hasta la actualidad.

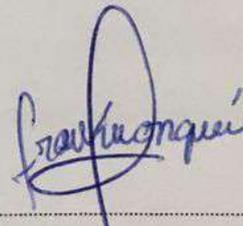
A todos ustedes, con mucho cariño

Nancy Rodríguez Peralta

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



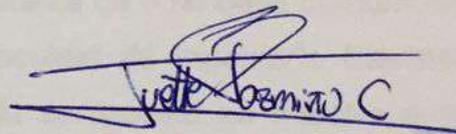
Carolina Godoy, MSc.
PROFESOR EVALUADOR



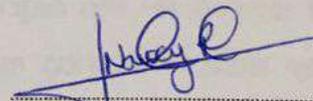
Franklin Kuonquí, MSc.
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Ivette Johana Pazmiño Castro



Nancy Fabiola Rodríguez Peralta

RESUMEN

La planta de 3 tanques comunicantes ha sido de ayuda para el entendimiento práctico de los sistemas de control, pero en pleno siglo XXI es inaceptable que no se encuentre implementada la tecnología de control inalámbrico y remoto. Tener este tipo de control moderniza la planta y da un enfoque industrial a las aplicaciones del control automático. Esta tecnología da versatilidad a la planta de modo que se podrían incluso realizar aplicaciones móviles de control y monitoreo para la planta en un futuro.

En el capítulo 1, se especifica el objetivo principal al implementar un sistema inalámbrico que permita maniobrar y controlar la planta de 3 tanques comunicantes del Laboratorio de Control Automático de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC) de la ESPOL el cual pueda ser puesto en marcha a nivel industrial.

En el capítulo 2, se describe la planta en su funcionamiento, partes tanto mecánicas como eléctricas y sus requerimientos para puesta en marcha. Se explica el tipo de controlador usado en esta planta, que en un principio era un control PID pero al realizar los cálculos pertinentes se decidió usar un control PI para satisfacer las necesidades del proyecto.

En el capítulo 3, se analizan los protocolos de comunicación con el sistema inalámbrico, que en este caso los dispositivos fueron el SCALANCE W774 y el SCALANCE W734. Para la comunicación de la planta con el sistema inalámbrico se usó el PLC S7-1200 de marca SIEMENS, con el cual también se realizó el control PI de la planta y presenta varias aplicaciones industriales. De acuerdo con los requerimientos de estos dispositivos se necesitaron implementar convertidores de corriente a voltaje para cumplir con el tipo de entrada y salida de cada uno.

En el capítulo 4, se diseña una interfaz gráfica de usuario que será el SCADA de la planta para complementar el sistema de control, la cual es sometida a varias pruebas para evitar que se colapse el sistema. Luego de varias pruebas el proyecto mostró integridad y consistencia con lo que se logró modernizar la planta.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA.....	III
DEDICATORIA.....	IV
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	V
DECLARACIÓN EXPRESA	VI
RESUMEN	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
LISTA DE FIGURAS	XI
CAPÍTULO 1	1
1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Planteamiento del Problema	1
1.2 Objetivo General.....	1
1.3 Objetivos Específicos.	1
1.4 Justificación	2
1.5 Alcance del Proyecto	3
CAPÍTULO 2	4
2. ESTADO DEL ARTE	4
2.1 Antecedentes	4
2.2 Marco Teórico	5
2.2.1 Descripción de la planta	5
2.2.2 Controlador PID	6
2.2.3 Comunicación inalámbrica	7
2.2.4 OPC	9

2.2.5 Sistema de automatización	11
2.2.6 Software de programación	15
CAPITULO 3	17
3. METODOLOGÍA DEL TRABAJO	17
3.1 Identificación del sistema y diseño del controlador	17
3.1.1 Calibración de los sensores	17
3.1.2 Determinación de la relación Caudal vs Voltaje	18
3.1.3 Estimación de los parámetros del sistema.....	21
3.1.4 Modelamiento del sistema.....	22
3.1.5 Modelamiento del sistema lineal	27
3.1.6 Diseño del controlador PID.....	28
3.2 Automatización y comunicación inalámbrica	30
3.2.1 Programación del PLCS7_1200	30
3.2.2 Elaboración del sistema SCADA.....	31
3.2.3 Configuración para la comunicación inalámbrica	32
CAPÍTULO 4	36
4 RESULTADOS	36
4.1 Configuración del PLCS7_1200	36
4.2 Evaluación de resultados del controlador PID	38
4.2.1 Resultados de los parámetros del bloque PID_Compact de TIA PORTAL	44
4.3 Evaluación de resultados de la programación para el PLCS7_1200.....	45
4.4 Evaluación de resultados del sistema SCADA	55
4.5 Configuración de la comunicación inalámbrica.....	57
4.5.1 Scalance W774 (Access Point Principal).....	57
4.5.2 Scalance W734 (Cliente).....	57

4.5.3 Análisis de Red.....	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Sistema de la planta de 3 tanques comunicantes [1].	5
Figura 2.2: Esquemático de la planta de 3 tanques comunicantes con comunicación inalámbrica.	7
Figura 2.3: Partes del SCALANCE W [3].	8
Figura 3.1: Regresión lineal del sensor del tanque 1.	18
Figura 3.2: Regresión lineal del sensor del tanque 2.	18
Figura 3.3: Esquemático para el modelado de la planta.	19
Figura 3.4: Regresión lineal caudal vs voltaje aplicado al variador de frecuencia.	21
Figura 3.5: Diagrama de bloques del modelo no lineal.	26
Figura 3.6: Trayectoria de las raíces en lazo abierto.	28
Figura 3.7: Diagrama de bloques del sistema no lineal en lazo cerrado.	29
Figura 3.8: Simatic PC Station – TIA PORTAL.	31
Figura 3.9: Esquemático a usar.	32
Figura 3.10: Nombre y Asignación de la Dirección IP.	32
Figura 3.11: Modo del Wireless.	33
Figura 3.12: Asignación y Banda de transmisión a usar.	33
Figura 3.13: Topología de Comunicación Inalámbrica TIA PORTAL.	34
Figura 3.14: Información de los Bytes transmitidos y recibidos.	34
Figura 4.1: Circuito convertidor de corriente a voltaje simulado en PROTEUS.	36
Figura 4.2: Diseño de la placa del circuito convertidor de corriente a voltaje.	37
Figura 4.3: Simulado del sistema en lazo abierto ante una entrada escalón.	38
Figura 4.4: Simulado del sistema con la acción integral (I).	39
Figura 4.5: Respuesta del sistema con la acción integral y proporcional (PI).	40
Figura 4.6: Respuesta del sistema ante una entrada escalón con un controlador (PI).	41
Figura 4.7: Simulado del sistema con la acción proporcional integral derivativa (PID).	42
Figura 4.8: Simulación del sistema en lazo abierto.	43
Figura 4.9: Simulación del sistema en lazo cerrado con controlador (PI).	43

Figura 4.10: Programación para el sistema de arranque (1).....	45
Figura 4.11: Programación para el sistema de arranque (2).....	45
Figura 4.12: Programación para el sistema de arranque (3).....	46
Figura 4.13: Programación para el sistema de arranque (4).....	46
Figura 4.14: Programación para el sistema de arranque (5).....	47
Figura 4.15: Programación para el sistema de arranque (6).....	47
Figura 4.16: Programación para el sistema de control (1).....	48
Figura 4.17: Programación para el sistema de control (2).....	48
Figura 4.18: Programación para el sistema de control (3).....	49
Figura 4.19: Programación para el sistema de control (4).....	49
Figura 4.20: Programación para el sistema de control (5).....	50
Figura 4.21: Programación para el sistema de control (6).....	50
Figura 4.22: Programación para el sistema de control (7).....	51
Figura 4.23: Programación para el sistema de paro (1).....	51
Figura 4.24: Programación para el sistema de paro (2).....	52
Figura 4.25: Programación para el sistema de paro (3).....	52
Figura 4.26: Programación para el sistema Paro_Emergencia (1).....	53
Figura 4.27: Programación para el sistema de Paro_Emergencia (2).....	53
Figura 4.28: Programación para el sistema de alarmas (1).....	54
Figura 4.29: Programación para el sistema de alarmas (2).....	54
Figura 4.30: Programación para el sistema de alarmas (3).....	55
Figura 4.31: Pantalla principal del HMI.....	55
Figura 4.32: Pantalla secundaria del HMI (1).....	56
Figura 4.33: Pantalla secundaria del HMI (2).....	56
Figura 4.34: Pantalla secundaria del HMI (3).....	57
Figura 4.35: Estado de los equipos comunicados en estado actual.....	58
Figura 4.36: Evaluación de la emisión y recepción de datos.....	59

CAPÍTULO 1

1. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se hablará sobre la planta de 3 tanques comunicantes con un sistema de control automático de nivel de agua de tipo PID, el cual se indicará el planteamiento del problema y los objetivos a cumplirse.

1.1 Planteamiento del Problema

En el laboratorio de Control Automático de la Escuela Superior Politécnica del Litoral se dispone de una planta de 3 tanques la cual se basa en un sistema de control de nivel del agua, la cual presenta algunas desventajas que se describen a continuación.

En primer lugar, la planta tiene una movilidad muy limitada, es decir, los cables para su conexión pueden medir máximo 2 metros. Sin embargo, al incluir una interfaz inalámbrica se ampliaría la movilidad dentro del laboratorio permitiendo organizarlo de manera más eficiente. Otro aspecto, que se mejoraría con la interfaz inalámbrica es la disponibilidad, ya que los estudiantes podrían realizar prácticas en la planta desde otros laboratorios de la facultad.

Adicionalmente, la estructura actual del sistema (planta, Compact Field Point, MatLab) al no incluir un PLC, no permite realizar prácticas de automatización que incluyan: etapa de arranque, control y paro, generación de alarmas y paro de emergencia, configuración de red industrial, elaboración de un sistema SCADA.

Además, los estudiantes de maestría no pueden probar la programación de algoritmos complejos de control (controladores discretos, adaptativos, o de lógica difusa) en dispositivos industriales como son los PLC.

1.2 Objetivo General

Simular la automatización de la planta de 3 tanques del laboratorio de Control Automático con comunicación inalámbrica y un controlador PID.

1.3 Objetivos Específicos.

Diseñar la configuración IWLAN entre la planta y el PLC para control remoto.

Diseñar un controlador PID para la verificación del correcto funcionamiento de la planta de 3 tanques.

Simular un sistema de monitoreo y control para la validación del diseño del sistema de automatización.

1.4 Justificación

En los últimos años, un tema de importancia ha sido el desarrollo y progreso de la comunicación entre unos y otros. La tecnología inalámbrica ha logrado que la transmisión y recepción de datos sea más ágil, de tal forma que se olvida del cableado sin dejar de tener una buena conexión y con pocas limitaciones de tiempo y espacio. El uso de dicha tecnología ha permitido manipular los equipos sin necesidad de estar cerca de ellos, además de la compatibilidad con las redes cableadas ya existentes, su fácil uso, reducción de costos, etc.

Con la tecnología inalámbrica se ahorrará en el tema de soporte y canaletas que contengan las líneas de transmisión de datos. Eliminar el cableado evita la pérdida de tiempo para el etiquetado y peinado del cableado estructurado, lo cual conlleva a un ahorro significativo de tiempo de instalación.

Existen agentes externos que deterioran el cableado como el clima, animales pequeños, erosión, etc. Y usando tecnología inalámbrica estos agentes no producirán daños que representen problemas graves al sistema.

Si bien el costo inicial de la inversión es elevado, eso se justifica debido a todos los beneficios que conlleva la inversión, como conectar varios dispositivos inalámbricos con el fin de brindar a los estudiantes una mayor eficiencia en sus estudios y con menos complicaciones.

1.5 Alcance del Proyecto

Se diseñará y simulará la comunicación entre el PLC y la interfaz inalámbrica usando protocolo PROFINET para incrementar la disponibilidad y el alcance de la planta.

En el sistema de automatización se realizará la etapa de arranque, control y paro. Para ello se detallará a continuación.

Para la etapa de arranque se verificará el nivel del primer tanque, que no sobrepase del nivel deseado para luego llevarlo al punto de operación.

En la etapa de control se implementará un controlador PID desde el PLC para regular el nivel del tanque indicado por una referencia, en lo cual en un lazo cerrado tratará de mantenerse ante la presencia de perturbaciones.

Para el diseño del controlador PID se obtendrá el modelo matemático de la planta basado en principios físicos el cual será linealizado para ser usado en las trayectorias de las raíces en los ajustes de los parámetros del controlador. Para la simulación se hará uso de la herramienta SIMULINK en el cual se usará el modelo de la planta no lineal para la verificación de su dinámica.

Por último, en la etapa de paro se realizará la maniobra de apagado en donde se hará cero el voltaje del variador de frecuencia.

Cabe mencionar que todos los equipos de línea SIEMENS para este proyecto como son SIMATIC ET 200SP, PLC-S7 1200, SCALANCE W774-1, etc. Se obtendrá de la MACI, si llegasen a tiempo, estos se implementarán.

CAPÍTULO 2

2. ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se dará a conocer el estado actual de la planta de 3 tanques del laboratorio de Control Automático y a su vez se elaborará un estudio acerca de la comunicación inalámbrica entre PLC y dicha planta.

2.1 Antecedentes

En el año 2013 fue presentado en ESPOL en la Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación el Proyecto de Graduación Diseño y Construcción de 3 Vasos Comunicantes e Implementación de un Sistema de Control Automático de Nivel de Agua de Tipo PID (Proporcional- Integral-Derivativo) Desarrollado por el Método Clásico en MATLAB por el señor Roberto López Morán como requisito para optar el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones.

El mencionado proyecto tuvo como objetivo construir una planta de 3 tanques para la realización de prácticas en el laboratorio de Control de Automático de modelado, identificación y control de la misma. La importancia académica de dichas prácticas está en preparar al estudiante para el diseño y afinamiento de lazos de control que pueden fácilmente volverse inestables como sucede con la planta mencionada porque su modelo linealizado posee 3 polos.

Adicionalmente, el modelado e identificación de esta planta es sencillo, lo que permite realizar simulaciones de diferentes algoritmos de control, tales como PID, reubicación de polos en variables de estado, lógica difusa, control adaptativo, entre otros; y así evitar comportamientos inadecuados de estos algoritmos al probarlos en la planta. Esta característica en particular ha sido aprovechada tanto en los cursos de ingeniería como en los de maestría.

En la actualidad se realizan prácticas en la planta de 3 tanques en el laboratorio de Control Automático mediante el uso de cables para la comunicación entre la planta y los equipos de adquisición de datos (Compact Field Point) lo cual solo es aceptable para un ámbito académico, pero no industrial. En consecuencia, se requiere adaptar a la planta con equipos industriales de comunicación

inalámbrica IWLAN, y de automatización como los PLC, siendo esto muy importante para darle mayor movilidad a dicha planta.

2.2 Marco Teórico

Se redactará la teoría la que será la base para sustentar cualquier análisis, del proyecto a realizarse, éste se encuentra dividido en descripción de la planta, controlador PID, comunicación inalámbrica, sistema de automatización y software de programación.

2.2.1 Descripción de la planta

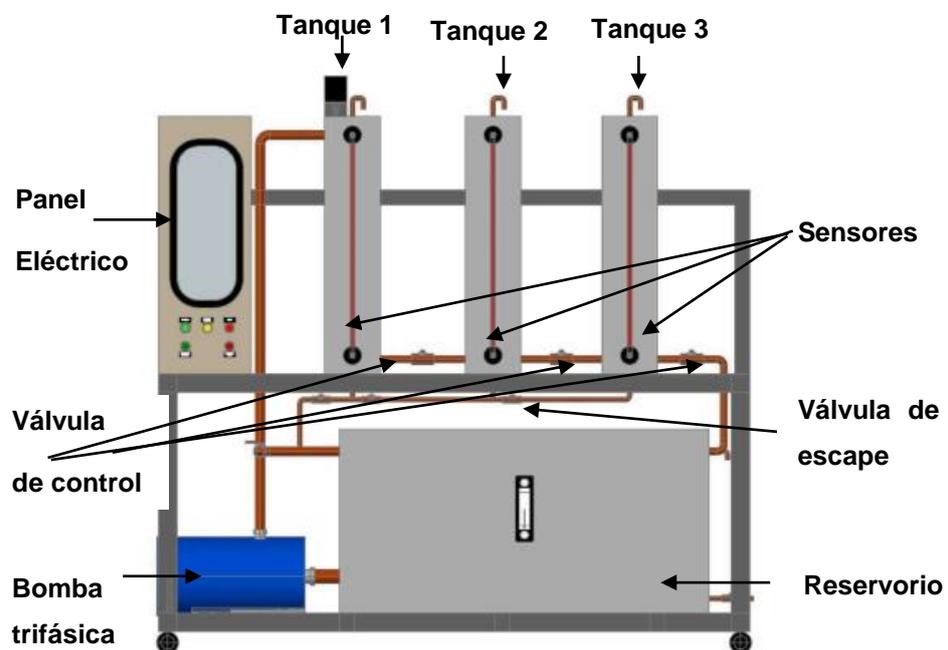


Figura 2.1: Sistema de la planta de 3 tanques comunicantes [1].

La planta de 3 tanques como se puede observar en la Figura 2.1 está diseñada para estudios académicos, cuya base es un sistema de control de nivel del agua. En la parte hidráulica de la planta, la bomba impulsa el agua del reservorio hacia el primer tanque en donde por diferencia de presión pasa al segundo tanque y, a su vez, de éste al tercer tanque en el cual hay un retorno hacia el reservorio.

Además, la planta posee en el exterior del panel una etapa de fuerza donde hay un interruptor principal para energizar y desenergizar la planta;

también, en el interior del panel existe un relevador térmico para la protección contra sobrecargas o sobre corrientes, y un contactor para habilitar y deshabilitar el circuito de fuerza.

Adicionalmente en la etapa de fuerza existe una bomba trifásica, que consume una corriente nominal de 2.8 o 2.7 [A], la cual trabaja con una alimentación de 208 a 230 [V]AC, la cual es proporcionada por un variador de frecuencia SINAMIC G110 que entrega una energía de forma senoidal entre 0 y 60 Hz.

En la etapa de control existen los sensores de presión que convierten el nivel de agua en cada tanque en señales de 4 -20 [mA] y son utilizadas por el sistema de control diseñado en SIMULINK para generar una señal 0 a 10 [V]DC el cual manipula la frecuencia del voltaje con el que entrega la energía del variador de frecuencia [1].

2.2.2 Controlador PID

Se usará un controlador PID para mejorar el comportamiento del sistema de la planta de 3 tanques comunicantes.

Es un mecanismo de control a través de un lazo por realimentación, el cual permite regular velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables. Además, permite calcular la desviación o error entre un valor medido y un valor deseado. El cual tiene 3 parámetros fundamentales: Ganancia Proporcional (P), Integral (I) y Derivativo (D).

El Proporcional (P) se encargará de medir el valor actual y el set – point aplicado a cambios. El parámetro integral (I) se refiere al tiempo que tomará la acción correctiva, mientras más pequeño el valor más rápido su ajuste y por último el parámetro derivativo (D) permite prever el error e inicia la acción oportunamente.

2.2.3 Comunicación inalámbrica

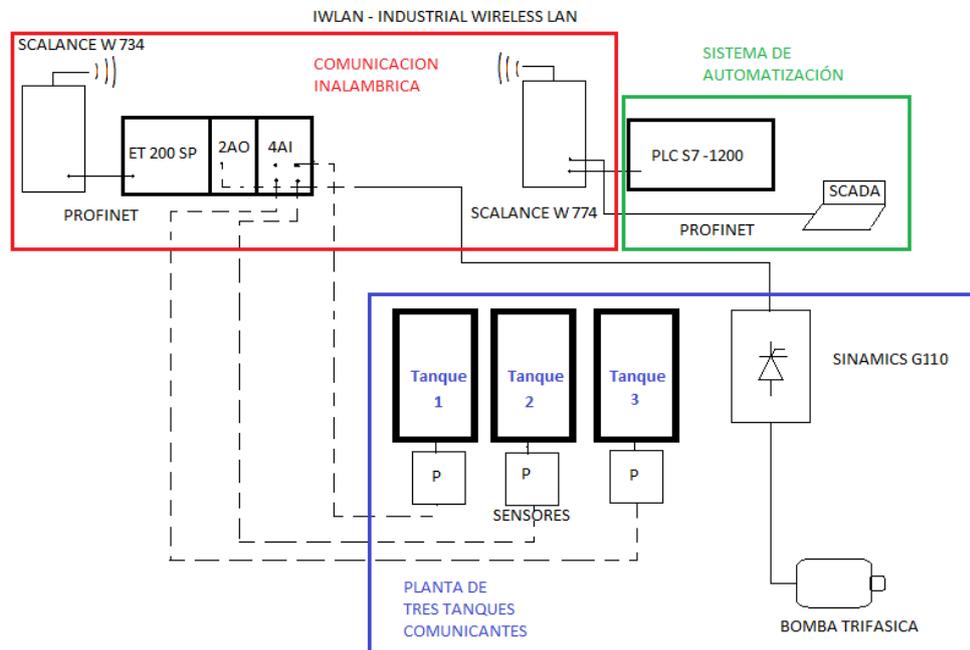


Figura 2.2: Esquemático de la planta de 3 tanques comunicantes con comunicación inalámbrica.

Actualmente, la comunicación de la planta de 3 tanques es por cableado, su movilidad es limitada por ende con el presente proyecto se migrará a una comunicación inalámbrica.

Se usará la comunicación IWLAN (red industrial de área local inalámbrica), ya que brinda mayor seguridad que la redes WLAN, resiste a cambios de temperatura y es de fácil implementación y configuración. La velocidad máxima de transmisión de datos es de 300 Mb/s.

Para llevar a cabo la comunicación inalámbrica mostrada en la Figura 2.2 se requiere de los siguientes dispositivos como son Scalance W, ET 200SP para la comunicación entre los sensores y el PLC S7 – 1200 y a su vez la elaboración de un sistema SCADA en TIA PORTAL para la comprobación del mismo. A continuación, se detallará cada equipo [2].

Scalance W

Para este proyecto se emplearán los dispositivos SCALANCE W774 y SCALANCE W734, que soportan bandas de frecuencias de 2,4 y 5 GHz, con velocidad máxima de transmisión de datos de 600Mbit/s basada en el estándar IEEE 802.11n, y pueden trabajar entre temperaturas de -20 °C a +60 °C.

La principal diferencia entre el SCALANCE W774 y el SCALANCE W734 es que el primero puede trabajar como Access Point y cliente mientras que el segundo solo puede trabajar como cliente. Sin embargo, ambos comparten las siguientes características: 2 conexiones de 24V DC para la alimentación del equipo, Zócalos R-SMA para la conexión de módulos de montaje y la antena remota, en este caso se usará la ANT795-4MA, función LEDs para la señalización óptica de fallos y estados operativos; como se presenta en la Figura 2.3

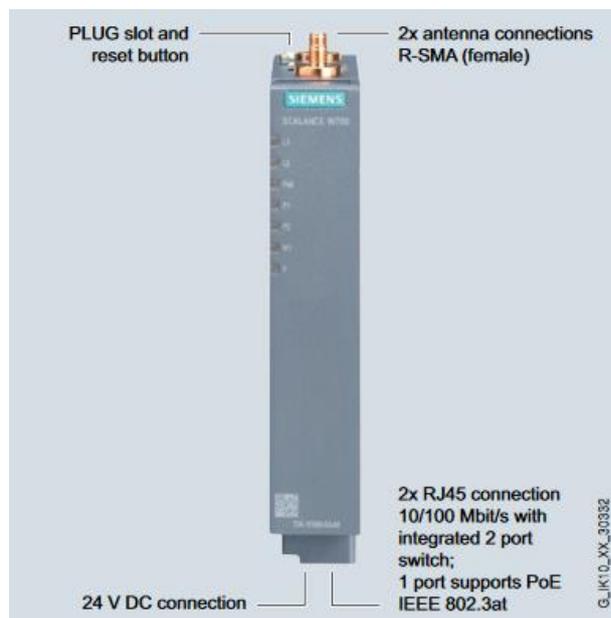


Figura 2.3: Partes del SCALANCE W [3].

La función del SCALANCE W774 como Access Point es controlar y administrar la comunicación inalámbrica con los equipos clientes en la red, en este caso los SCALANCE W734. Adicionalmente, el SCALANCE W

774 puede trabajar como interface entre la red inalámbrica y cableada donde se encontrarán el PLC y computador [3].

2.2.4 OPC

Es una interfaz basada en la tecnología de Microsoft, la cual permite que componentes de software individuales interactúen y compartan datos a través de la arquitectura cliente – servidor. Se podrá acceder a dicho servidor para leer / escribir cualquier variable de acuerdo con sus características de lectura y escritura.

Se elaborará un modelo en SIMULINK el cual generará señales de arranque y paro, generar señales de prueba, leer y escribir en el Compact Field Point a través de OPC.

Esta herramienta de Matlab está conformada por un conjunto de bloques que maneja señales de E/S, las principales son: Figura 2.4

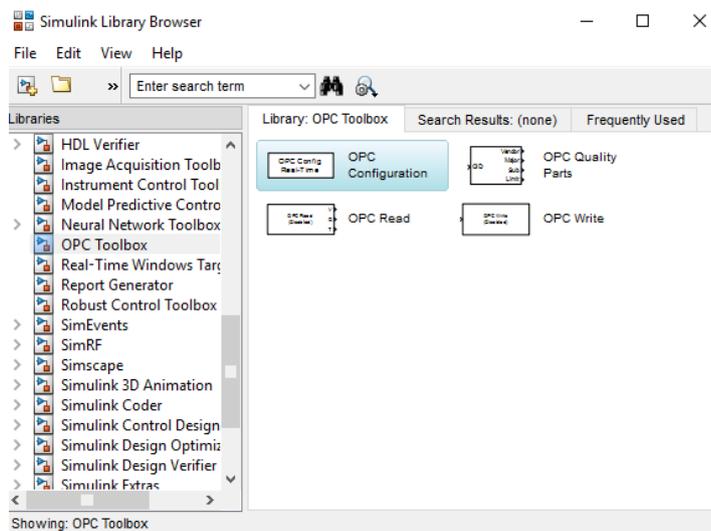


Figura 2.4: Herramienta OPC de la librería Simulink.

OPC CONFIGURATION: Define el tiempo real y el comportamiento para los errores y eventos del OPC de acuerdo con el modelo usado. No tiene puertos de entrada, pero si uno de salida opcional. No se puede utilizar más de un bloque OPC Configuration en un modelo. Figura 2.5



Figura 2.5: Bloque de configuración OPC.

OPC READ: Lee datos de una o más señales obtenidas por el Servidor OPC. Puede ser sincrónica va desde el cache o desde el dispositivo o asincrónica que es desde el dispositivo. En el bloque, la salida Value (V) entrega señales obtenidas por el Servidor OPC, Quality ID (Q) y el Time Stamp (T) son opcionales, el cual son los últimos datos conocidos da cada una de las señales leídas por el bloque. Figura 2.6



Figura 2.6: Bloque de lectura OPC Read

OPC QUALITY PARTS: Obtiene características del fabricante, estados del dispositivo y errores que pueden generarse. Figura 2.7



Figura 2.7: Bloque OPC Quality Parts.

OPC WRITE: Escribe datos a uno o más dispositivos conectados a las entradas del servidor OPC, puede ser de manera sincrónica o asincrónica. Figura 2.8



Figura 2.8: Bloque OPC de escritura.

No se podrá anadir al modelo el bloque OPC Read y Write sin haber incluido primero el OPC Configuration, sino se lo incluye se agregará automáticamente el bloque para que sea configurado.

Hay dos tipos de servidores OPC:

Clásico

OPC DA Server: Transmisión de datos en tiempo real.

OPC HDA Server: Basado en la especificación OPC Historical Data Access

OPC A&E Server: Transfiere información de alarmas y eventos a clientes OPC A&E.

OPC UA Server: Permite al servidor OPC trabajar con cualquier dato.

Arquitectura Unificada

Equivalencia Funcional: Se asigna a UA

Plataforma Independiente: Se basa en la nube

Seguro: Cifrado, autenticación y auditoria

Extensible: Agrega nuevas funciones

Modelación Integral: Define información compleja

2.2.5 Sistema de automatización

En el sistema de automatización se hace uso de sistemas o elementos computarizados para el control de procesos industriales. En dicho proyecto será el PLC SIEMENS S7-1200 para controlar la planta de 3 tanques gracias a la programación en el software TIA PORTAL

Consta de dos partes principales, la primera consta de los elementos que forman la parte operativa en este caso es el motor trifásico AC que irá junto con el SIMATIC ET200 SP (recopila datos de entradas y salidas del sistema). Y la segunda parte es la de Mando, con el sistema SCADA es capaz de poder comunicarse con todo el sistema automatizado de la planta de 3 tanques. esto se detallará a continuación.

PLC (Controlador Lógico Programable)

El PLC es un dispositivo electrónico el cual permite ser programado por el usuario para ser controlado en tiempo real. En este proyecto se utilizará el PLC S7-1200 de marca SIEMENS, en el cual viene integrado sus paneles y un puerto ETHERNET como se puede apreciar en la Figura 2.9.

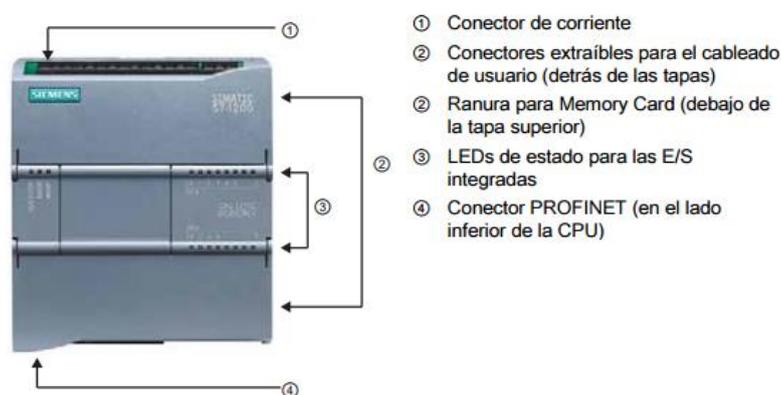


Figura 2.9: Descripción de las partes del PLC S7 – 1200 [5].

Este dispositivo posee una interfaz Ethernet/PROFINET integrada, entradas analógicas integradas y es programable mediante el software STEP 7 Basic v13. Además, en este equipo se podrá usar hasta 3 módulos de comunicación diferentes como son PROFIBUS Maestro/Esclavo, Comunicación GPRS o AS-i y más sistemas Fieldbus.

Adicionalmente, ofrece un nivel de protección al introducir una contraseña que restringirá el acceso a funciones y áreas de memoria a usar, sin dañar la comunicación con el PLC ni con el HMI (Human-Machine Interface). En esta misma línea de la seguridad, se podrá ocultar el código de un bloque específico por medio de la protección de “know – how”, el cual será de utilidad para la restricción hacia los estudiantes que intenten modificar los parámetros programados [5].

Simatic ET 200SP

El sistema de E/S escalable SIMATIC ET 200SP es un sistema altamente flexible, modular I/O con grado de protección IP20, posee un montaje perfil DIN como se muestra en Figura 2.10. El sistema de conexión para sensores y actuadores es de conexión monofilar o multifilar y sus bornes son de inserción rápida, también es resistente a las vibraciones permanentes; además, posee un adaptador de bus BA 2 x FC.



Figura 2.10: ET 200SP conectado al perfil DIN [4].

En las BaseUnit pasivas se conectan los módulos, que a su vez se añaden al perfil DIN estándar. Dicho elemento constituye la unión eléctrica y mecánica entre los módulos de estación ET 200SP.

Como se puede observar en la Figura 2.11 el módulo de interfaz conecta el ET200SP con PROFINET y transfiere los datos entre el controlador superior y los módulos de periferia que cierra la estructura de la estación. El sistema de periferia está dimensionado para una velocidad máxima de transferencia interna de 100 Mbits/s.



Figura 2.11: Módulos de interfaz del ET 200SP [4].

Existen varios módulos digitales y analógicos de entradas y salidas que se pueden conectar en el ET200SP, de los cuales en este proyecto se utilizarán los que se en listan en la Tabla 1, los que permitirán agrupar las señales de los sensores de presión y el variador de frecuencia presentes en la planta.

Función	Referencia base
Entrada digital DI 8x24 V DC estándar	6ES7 131-6BF
Entrada analógica AI 4xU/I 2 wire estándar	6ES7 134-6HD
Salida digital DQ 8x24 V DC/0,5 A estándar	6ES7 132-6BF
Salida analógica AQ 4xU/I estándar	6ES7 135-6HD.

Tabla 1: Módulo de Entrada y Salida [4]

En el modo IRT (Isochronous Real-Time) la sincronización se efectúa de modo homogéneo, desde el software como en este caso será TIA PORTAL hasta el borne. Lo que permitirá garantizar la validez del dato que se esté transmitiendo.

SIMATIC ET 200SP reportará ininterrumpidamente el estado del sistema a través de los LED de señales presentes en el módulo de periferia lo que permitirá detectar fácilmente estados de fallo [4].

2.2.6 Software de programación

Se hace uso de los softwares de programación para que la planta pueda ser controlada desde un computador, se usará el software de Matlab para el diseño del controlador PID que luego será embebido en el software de TIA PORTAL y a su vez la programación del PLC S7_1200 para la automatización de la planta. Esto se detallará a continuación

TIA PORTAL

El software TIA PORTAL (Totally Integrated Automation Portal) v13 que también es conocido como STEP7, es una herramienta fundamental para el desarrollo óptimo del proyecto dado que tiene total compatibilidad con los equipos SIEMENS que se utilizarán.

Esta aplicación, adicionalmente, permitirá realizar la simulación para interactuar con una planta virtual de 3 tanques, con lo cual se reduce el consumo de tiempo, ya que este proceso puede demorarse cerca de una hora en estabilizarse mientras que la simulación tarda unos cuantos segundos.

En dicho programa, también, se elaborará un sistema SCADA el cual podrá controlar, supervisar y adquirir los datos de la planta de 3 tanques en forma remota, favoreciendo la automatización del proceso. Además, todo lo automatizado podrá ser observado en forma gráfica en las pantallas del sistema SCADA de tal manera que el usuario pueda visualizar lo que está pasando en la planta de 3 tanques.

Se representará a los LEDs del PLC a través de gráficos que indiquen cuando el motor esté operando o alguna válvula este siendo accionada y no solo se vean los leds de la carcasa del PLC que se prendan o apaguen sin saber que está pasando en el proceso. Además, este sistema da mucha información con respecto a los mantenimientos para el uso constante sin fallas.

MATLAB

MATLAB es un software para programación científica; que, entre otras funcionalidades, permite comunicar un computador con dispositivos de control industrial.

Además, mediante la interfaz gráfica SIMULINK se establecerá la comunicación con un NI Compact Field Point 2100 utilizando el OPC Toolbox, con lo cual se manipularán los contactores, el variador de frecuencia de la planta y los sensores de presión en la etapa de diseño del controlador, durante la cual estas herramientas también permitirán realizar la adquisición de datos del sistema.

Otra herramienta que posee MATLAB es el System Identification Toolbox, con el cual se procederá a identificar la planta usando los datos adquiridos. Posteriormente, con el modelo identificado, se utilizará el Control Toolbox de MATLAB para diseñar y probar el controlador PID.

CAPITULO 3

3. METODOLOGÍA DEL TRABAJO

La metodología de trabajo consta de 2 etapas, la primera consiste en la identificación del sistema y diseño del controlador que luego será embebido en TIA PORTAL, mientras que la segunda etapa consiste en la automatización de la planta de 3 tanques y comunicación inalámbrica, esto se detallará a continuación

3.1 Identificación del sistema y diseño del controlador

Para la identificación del sistema se calibró los sensores, se determinó caudal vs voltaje del variador de frecuencia y se estimó los parámetros (área de los tanques, tuberías y coeficiente hidráulico) para realizar un modelo matemático de la planta de 3 tanques en lazo abierto.

Con el modelo matemático de la planta por medio de operaciones algebraicas se obtuvo la función de transferencia del sistema con éste se diseñó el controlador con la herramienta SISOTOOL de Matlab.

3.1.1 Calibración de los sensores

Para el presente proyecto se procedió a calibrar los sensores cerrando todas las válvulas de escape y de control ver Figura 2.1 evitando fugas de agua, se llenó los tanques después se abrió la válvula de control correspondiente al sensor a calibrar tomando los valores de voltaje en bits que se lee en el software de TIA PORTAL con los datos obtenidos como se observa la Figura 3.1 y 3.2 se realizó la regresión lineal teniendo como resultado la Ecuación (3.1) y (3.2).

$$y = 0.011333x - 62.994 \quad (3.1)$$

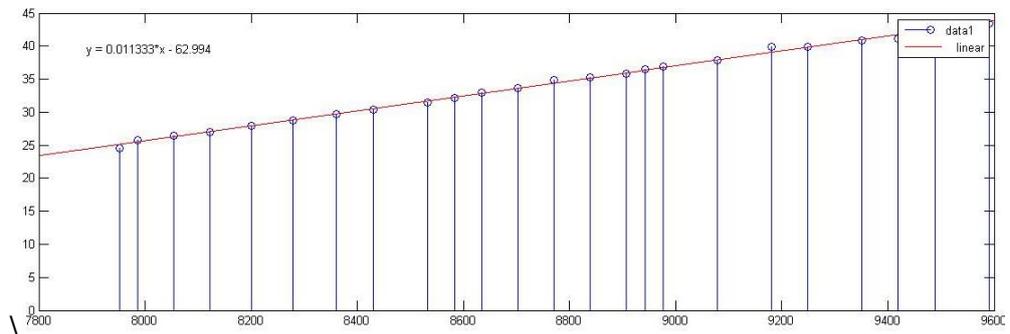


Figura 3.1: Regresión lineal del sensor del tanque 1.

$$y = 0.01105x - 62.961 \quad (3.2)$$

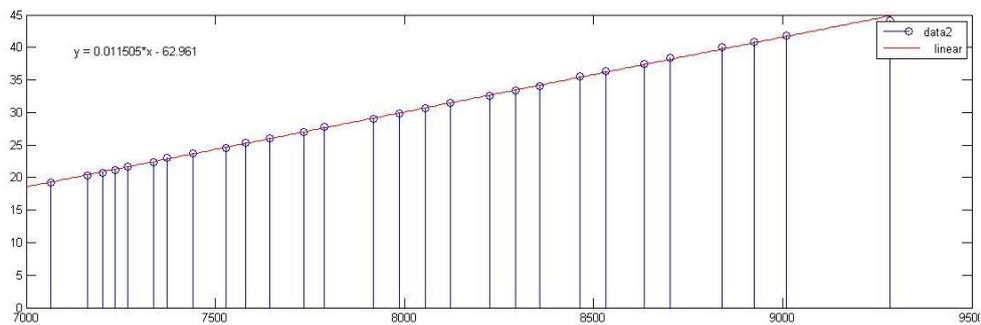


Figura 3.2: Regresión lineal del sensor del tanque 2.

Siendo

y: la altura del tanque

x: el número de voltaje en bits que recibe el PLC

3.1.2 Determinación de la relación Caudal vs Voltaje

Para la medición de los caudales de cada tanque se basó en la Figura 3.3 para obtener las siguientes ecuaciones como se vera a continuación.

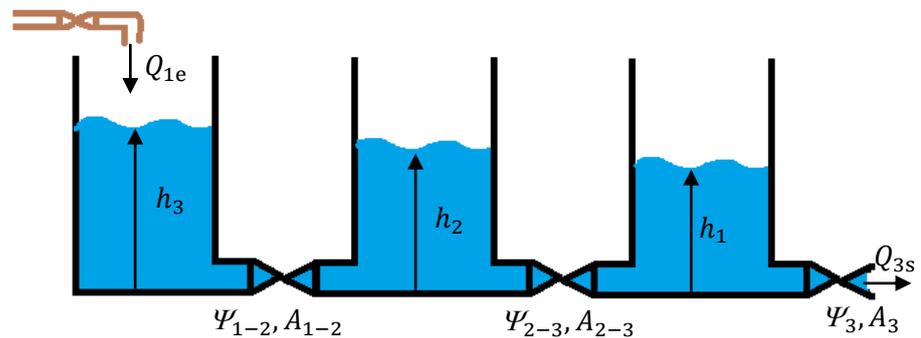


Figura 3.3: Esquemático para el modelado de la planta.

El volumen del agua almacenado de forma general en cada tanque será expresado en la ecuación (3.3)

$$V = (Q_e - Q_s)d_t \quad (3.3)$$

Donde:

V Volumen;

Q_e Caudal de entrada del tanque;

Q_s Caudal de salida del tanque;

d_t Diferencial del tiempo;

Para su sección transversal el volumen en función del área y altura se muestra en la Ecuación (3.4)

$$V = A_T h \quad (3.4)$$

Donde:

V Volumen;

A_T Área transversal de tanques;

H Nivel de agua en los tanques;

Reemplazando Ecuación (3.4) en la Ecuación (3.3) para sacar la altura de los caudales como se observa en la Ecuación (3.5)

$$A_t h = \int (Q_e - Q_s) d_t \quad (3.5)$$

Despejando h y derivando con respecto al tiempo en la Ecuación (3.5) se obtuvo la derivada de la altura con respecto a los caudales como se muestra en la Ecuación (3.6)

$$\frac{dh}{dt} = \frac{Q_e - Q_s}{A_t} \quad (3.6)$$

Por consiguiente, se calculó la función del caudal de la bomba versus el voltaje aplicado al variador de frecuencia, se aisló el primer tanque del segundo cerrando la válvula entre ellos, para evitar fugas de agua como vemos en la Ecuación (3.7)

$$Q_{1e} = A_T \frac{dh}{dt} \quad (3.7)$$

$$\frac{dh}{dt} = \frac{1}{A_T} Q_{1e}$$

$$h = \frac{1}{A_T} \int_{t_0}^{t_f} Q_{1e}$$

$$h = \frac{\Delta t}{A_T} Q_{1e}$$

Se tomó el tiempo que tardo el nivel de agua en alcanzar las cotas de 10, 20, 30 y 40 centímetros para distintos voltajes enviados al variador de frecuencia ver Anexo E, seguido se procedió a hacer la regresión lineal del sistema en Matlab mostrado en la Figura (3.4) el cual se obtuvo la ecuación del caudal de la bomba en función del voltaje aplicado al variador de frecuencia como se expresa en la Ecuación (3.8).

$$Q_{1e} = 362.6V_{vf} - 1009.7 \quad (3.8)$$

Donde:

Q_{1e} Caudal de la Bomba

V_{vf} Voltaje aplicado al variador de frecuencia

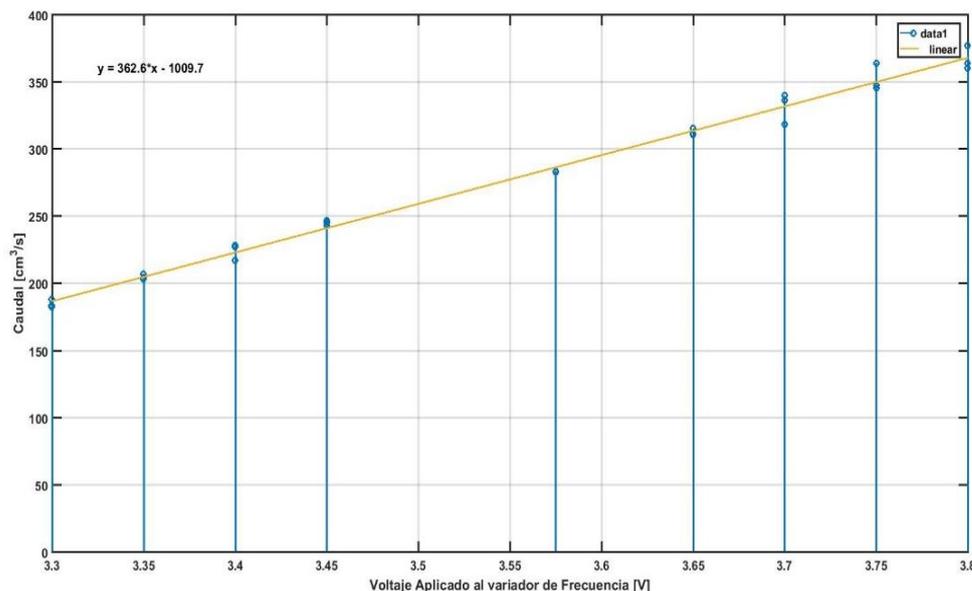


Figura 3.4: Regresión lineal caudal vs voltaje aplicado al variador de frecuencia.

3.1.3 Estimación de los parámetros del sistema

El primer parámetro que se necesita es el área de los tanques, el cual tiene 15 centímetros por lado, es decir:

$$A_T = 225 \text{ cm}^2$$

Se estableció el área efectiva de la sección transversal de la tubería entre los tanques y utilizarán las válvulas completamente abiertas, el cual será el mismo en todos los tanques. Por consecuencia el área efectiva es como se muestra en la Ecuación 3.9:

$$A_{tq} = [d]^2 \frac{\pi}{4}$$

$$A_{tq} = \left[\frac{3}{4} (2.54) \right]^2 \frac{\pi}{4} \quad (3.9)$$

$$A_{tq} = 2.8502 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Los últimos parámetros calculados fueron los coeficientes del efecto de la resistencia de la tubería y de la turbulencia generada por las válvulas como se presentan en la Ecuación 3.10 para ello se aplicó diferentes

voltajes en el variador de frecuencia y se esperó a que el sistema se estabilice para hallar la relación del caudal teórico ideal con el caudal real de las tuberías.

$$\Psi_{1-2} = \frac{Q_{1s}}{\sqrt{2g(h_1 - h_2)}} \quad (3.10)$$

$$\Psi_{2-3} = \frac{Q_{2s}}{\sqrt{2g(h_2 - h_3)}}$$

$$\Psi_3 = \frac{Q_{3s}}{\sqrt{2g(h_3 + h_0)}}$$

El cual se obtuvo:

$$\Psi_{1-2} = 0.6755$$

$$\Psi_{2-3} = 0.7891$$

$$\Psi_3 = 0.3768$$

3.1.4 Modelamiento del sistema

Para el modelamiento de la planta de 3 tanques se debe tener en cuenta la ecuación de Bernoulli mostrada en la ecuación (3.11).

$$P_A + \rho gh_A + \frac{1}{2}\rho v^2_A = P_B + \rho gh_B + \frac{1}{2}\rho v^2_B \quad (3.11)$$

Donde:

$P_A P_B$ Presiones aplicadas en los puntos A y B;

$h_A h_B$ Alturas de los puntos A y B;

$v_A v_B$ Velocidades del fluido entre los puntos A y B;

ρ Densidad del fluido;

g Gravedad;

Sabiendo que el caudal fluye por el área transversal, ecuación (3.12).

$$Q = Av \quad (3.12)$$

Donde:

Q Caudal;

A Área de la sección transversal por donde pasa el fluido;

v Velocidad;

Se analizó el caudal del tanque con la Ecuación (3.11) y la Ecuación (3.12) obteniendo por principios de Bernoulli aplicado en los tanques #1 y tanques #2 visto en la Ecuación (3.13).

$$P_0 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho(0)^2 = (P_0 + \rho gh_2) + \rho g(0) + \frac{1}{2}\rho v_{1-2}^2 \quad (3.13)$$

Donde:

P_0 Presión Atmosférica;

h_1 Nivel del agua Tanque #1;

h_2 Nivel del agua Tanque #2;

v_{1-2} Velocidad con la que ingresa el agua en el Tanque 2 saliendo por el Tanque 1;

Despejando v_2 para la velocidad entre Tanque #1 y Tanque #2 se obtuvo la Ecuación (3.14)

$$v_{1-2} = \sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (3.14)$$

Reemplazando Ecuación (3.14) en Ecuación (3.13)

Calculando el caudal que sale del Tanque #1 e ingresa al Tanque #2 se obtuvo la Ecuación (3.15)

$$Q_{1s} = Q_{2e} = A_{1-2}\sqrt{2g(h_1 - h_2)} \quad (3.15)$$

Donde:

Q_{1s} Caudal de Salida Tanque #1;

Q_{2e} Caudal de Entrada Tanque #2;

A_{1-2} Área de la Sección Transversal entre los Tanques

El caudal entre el tanque #2 y tanque #3 es como se muestra en la Ecuación 3.16

$$Q_{2s} = Q_{3e} = A_{2-3}\sqrt{2g(h_2 - h_3)} \quad (3.16)$$

Donde:

Q_{2s} Caudal de salida del Tanque #2;

Q_{3e} Caudal de entrada del Tanque #3;

A_{2-3} Área transversal entre Tanque #2 y Tanque #3;

El caudal de salida del Tanque #3 se observa en la Ecuación (3.17)

$$Q_{3s} = A_3\sqrt{2g(h_3 + h_0)} \quad (3.17)$$

Donde:

Q_{3s} Caudal de Salida Tanque #3;

A_3 Área de sección transversal efectiva del Tanque #3;

Se planteó el siguiente sistema de ecuaciones para el modelo no lineal del sistema como se presenta en la Ecuación (3.18)

$$\begin{aligned} \frac{dh_1}{dt} &= \frac{Q_{1e} - A_{1-2}\sqrt{2g(h_1 - h_2)}}{A_T} \\ \frac{dh_2}{dt} &= \frac{A_{1-2}\sqrt{2g(h_1 - h_2)} - A_{2-3}\sqrt{2g(h_2 - h_3)}}{A_T} \\ \frac{dh_3}{dt} &= \frac{A_{2-3}\sqrt{2g(h_2 - h_3)} - A_3\sqrt{2g(h_3 + h_0)}}{A_T} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Donde:

Q_{1e} Caudal de entrada del Tanque #1

El caudal del Tanque #1 será el mismo el cual será entregado a la bomba, tomado como forma experimental. Como el sistema es no lineal, los caudales serán afectados por la resistencia de las tuberías.

Por lo tanto, las ecuaciones quedaron como:

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{Q_{1e} - A_{1-2}\Psi_{1-2}\sqrt{2g(h_1 - h_2)}}{A_T}$$

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{A_{1-2} \Psi_{1-2} \sqrt{2g(h_1 - h_2)} - A_{2-3} \Psi_{2-3} \sqrt{2g(h_2 - h_3)}}{A_T} \quad (3.19)$$

$$\frac{dh_3}{dt} = \frac{A_{2-3} \Psi_{2-3} \sqrt{2g(h_2 - h_3)} - A_3 \Psi_3 \sqrt{2g(h_3 + h_0)}}{A_T}$$

Donde:

Ψ_{1-2} Coeficiente del efecto de la turbulencia y resistencia de la tubería entre el Tanque #1 y Tanque #2

Ψ_{2-3} Coeficiente del efecto de la turbulencia y resistencia de la tubería entre el Tanque #2 y Tanque #3

Ψ_3 Coeficiente del efecto de la turbulencia y resistencia de la tubería entre el Tanque #3

Reemplazando los valores obtenidos en las diferentes ecuaciones no lineales como se presenta en la ecuación (3.19), tendremos el modelo no lineal del sistema con parámetros evaluados como se observa en la Ecuación 3.20.

$$\frac{dh_1}{dt} = \frac{362.6V_{vf} - 1009.7 - 1.9253\sqrt{1960(h_1 - h_2)}}{225} [cm^2] \quad (3.20)$$

$$\frac{dh_2}{dt} = \frac{1.9253\sqrt{1960(h_1 - h_2)} - 2.2490\sqrt{1960(h_2 - h_3)}}{225} [cm^2]$$

$$\frac{dh_3}{dt} = \frac{2.2490\sqrt{1960(h_2 - h_3)} - 1.0739\sqrt{1960(h_3 + h_0)}}{225} [cm^2]$$

Para más información visite acerca de los cálculos referirse al proyecto de graduación “Análisis comparativo del funcionamiento de dos sistemas de control automático de nivel de agua en una planta de 3 vasos comunicantes, diseñados aplicando los métodos de control de reubicación de polos del modelo interno y de lógica difusa, diseñados e implementados usando matlab/simulink”, [6]

Para la visualización del modelo matemático mencionado anteriormente se simuló en la herramienta Simulink como se muestra en la en la Figura 3.5. Los bloques de color naranja modelan la bomba en el cuál se usó un bloque polinomial para el ingreso la Ecuación 3.8.

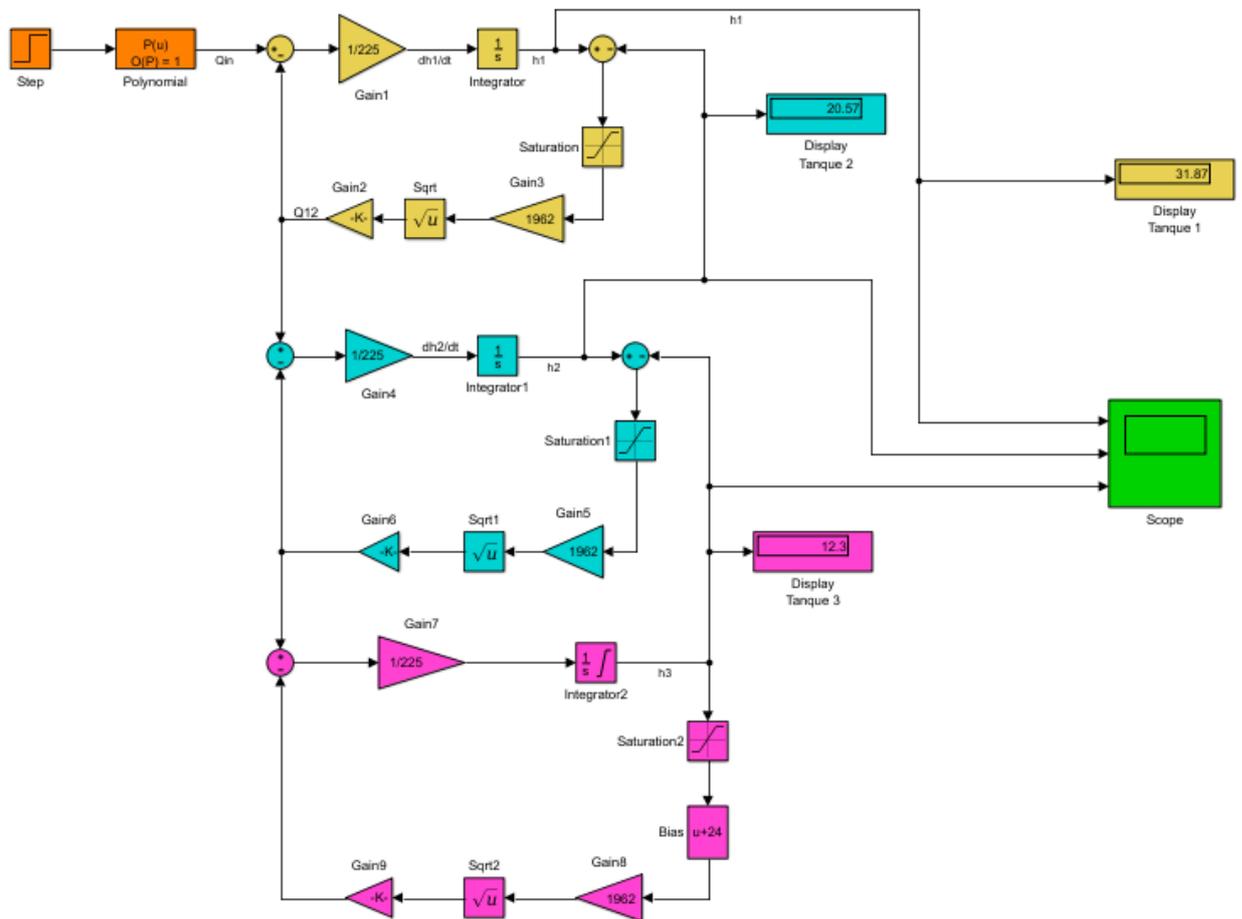


Figura 3.5: Diagrama de bloques del modelo no lineal.

Así mismo los bloques de color amarillo representa el tanque #1, los bloques de color turquesa representan el tanque #2 y los de color magenta el tanque #3. Tanto para la representación de los 3 tanques se usó los bloques de ganancias, integración y saturación para restringir valores negativos de la altura, cumpliendo con la ecuación 3.20.

Es un sistema no lineal debido que existen raíces cuadradas en el sistema de ecuaciones lo que interfieren a las alturas de cada uno de los tanques.

También se muestra en los displays los puntos de operación de h_{1op} , h_{2op} , h_{3op} los cuáles son reemplazados para la linealización del sistema de ecuaciones citado anteriormente, se detalla a continuación.

3.1.5 Modelamiento del sistema lineal

Para linealizar las ecuaciones del sistema se trabajó en el punto de operación en donde el voltaje del variador es de 3.575 Voltios que daría en el segundo tanque un nivel de agua aproximadamente de 21 centímetros. Para los respectivos cálculos el sistema debe estar estable por ende las derivadas de las alturas son cero en la ecuación (3.20).

$$0 = \frac{362.6(3.575) - 1009.7 - 1.9253\sqrt{1960(h_1 - h_2)}}{225} [cm^2]$$

$$0 = \frac{1.9253\sqrt{1960(h_1 - h_2)} - 2.2490\sqrt{1960(h_2 - h_3)}}{225} [cm^2] \quad (3.21)$$

$$0 = \frac{2.2490\sqrt{1960(h_2 - h_3)} - 1.0739\sqrt{1960(h_3 + h_0)}}{225} [cm^2]$$

A partir del sistema de ecuaciones (3.21) se obtuvo los puntos de operación que son:

$$h_{1op} = 31.86 \text{ cm}$$

$$h_{2op} = 20.56 \text{ cm}$$

$$h_{3op} = 12.29 \text{ cm}$$

Como se puede ver las alturas son aproximadamente igual al simulado del diagrama de bloques del modelo no lineal como se presenta en la Figura 3.5 es decir, los valores reales se asemejan al simulado. Finalmente, para la linealización se desarrolla la serie de Taylor en torno al punto de operación mencionado anteriormente que daría como resultado el sistema de ecuaciones lineales como se puede observar en la Ecuación 3.22

$$\begin{aligned}\frac{dh_{1s}}{dt} &= 1.611V_{vf} - 5.6377 \times 10^{-2} h_{1s} + 5.6377 \times 10^{-2} h_{2s} \text{ [cm}^2\text{]} \\ \frac{dh_{2s}}{dt} &= 5.6377 \times 10^{-2} h_{1s} - 0.133 h_{2s} - 7.69 \times 10^{-2} h_{3s} \text{ [cm}^2\text{]} \\ \frac{dh_{3s}}{dt} &= 7.69 \times 10^{-2} h_{2s} - 9.45 \times 10^{-2} h_{3s} \text{ [cm}^2\text{]}\end{aligned}\quad (3.22)$$

Con el sistema de ecuaciones lineales como se muestra en la Ecuación 3.22 se procedió a calcular la función de transferencia de la planta de 3 tanques para facilidad de cálculos se trabajó en Matlab directamente con dicho sistema mencionado anteriormente.

$$Gp3t = \frac{0.09082s + 0.008583}{s^3 + 0.2839s^2 + 0.0163s + 7.483e^{-05}} \quad (3.23)$$

3.1.6 Diseño del controlador PID

Después de la obtención de la función de transferencia como se observa en la Ecuación (3.23) se diseñó el controlador PID para la planta de 3 tanques, para ello se usó la herramienta de SISOTOOL de MATLAB en el que se encontrarán las constantes proporcionales Kp e integral Ki que cumplan con lo requerido, esto se lleva a cabo cambiando la posición de polos y ceros. Cabe mencionar que al mover los polos dominantes del lazo cerrado se mueve la ganancia del controlador como se presenta en la Figura 3.6.

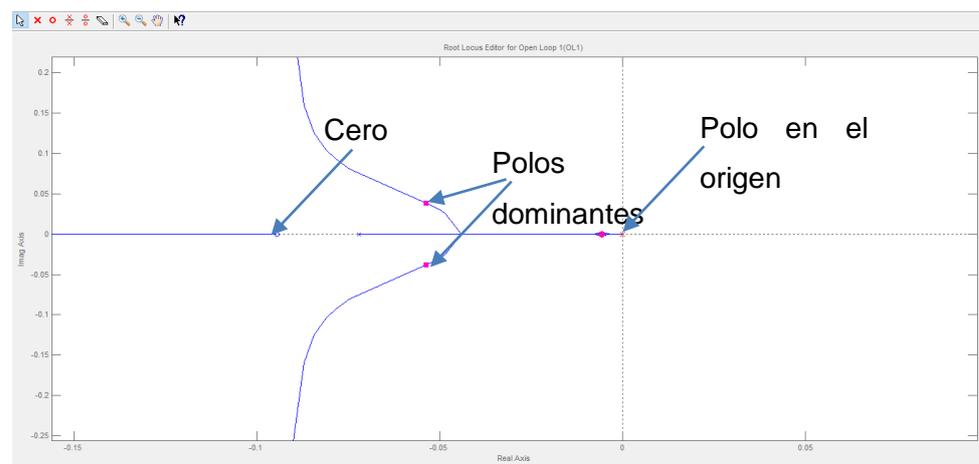


Figura 3.6: Trayectoria de las raíces en lazo abierto.

Finalmente se probó el controlador PID en el diagrama de bloques del sistema no lineal como se observa en la Figura 3.7 para comprobar la utilidad de lo antes mencionado.

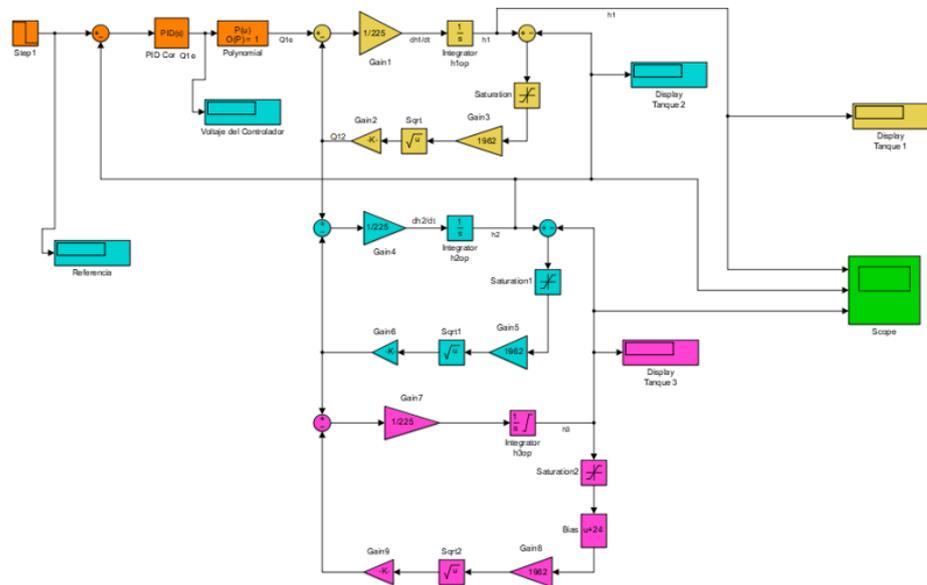


Figura 3.7: Diagrama de bloques del sistema no lineal en lazo cerrado.

Se observa en la Figura 3.7 el sistema en lazo cerrado es decir que existe una retroalimentación con la altura del tanque 2 que es la variable a controlar.

Luego de haber comprobado los parámetros del controlador, éstos serán embebidos en el software de TIA PORTAL teniendo en cuenta que el controlador en éste tiene como algoritmo PID mostrada en la Ecuación 3.24.

$$y = K_P \left[(b \cdot w - x + \frac{1}{T_i \cdot s} (w - x) + \frac{T_D s}{a T_D s + 1} (c w - x) \right] \quad (3.24)$$

Símbolo	Descripción
y	Valor de salida
K_p	Ganancia proporcional
s	Operador de Laplace
b	Segunda ponderación por acción proporcional
w	Punto fijo
x	Valor de proceso
T_i	Tiempo de acción integral
a	Coefficiente de retardo derivativo
T_D	Tiempo de acción derivada
c	Ponderación de la acción derivada

3.2 Automatización y comunicación inalámbrica

Para la automatización de la planta se realizó la programación del PLCS7_1200 y se elaboró el sistema SCADA, y a su vez se realizó la comunicación inalámbrica, todo lo antes mencionado se detalla a continuación.

3.2.1 Programación del PLCS7_1200

Para la programación del PLCS7_1200 primero se detalló las entradas y salidas que se usará del PLC para la identificación de las señales dentro del programa como se muestra en las tablas 2 y 3.

Variable	Canal
Sensor de nivel del tanque 1	AI0.0
Sensor de nivel del tanque 2	AI0.1

Tabla2: Entradas Analógicas para la programación en TIA PORTAL

Variable	Canal
Variador de frecuencia	AQ0.0
Paro	DQ0.0
Habilitador del variador de frecuencia	DQ0.1
Marcha	DQ0.2

Tabla 3: Salidas Digitales Analógica para la programación en TIA PORTAL

Una vez declarada las variables a usar se procedió a programar la etapa de arranque, control, paro, paro de emergencia, y alarmas todo esto se realizó en lenguaje LADDER.

3.2.2 Elaboración del sistema SCADA

El sistema SCADA simula la planta de 3 tanques y para ello se lo realizó en TIA PORTAL añadiendo un dispositivo en PC systems – SIMATIC HMI application-WinCC RT Advanced, se escogió este dispositivo porque está basada en PC para sistemas de un solo usuario directamente en la máquina. Después se le añade un módulo local IE general que simula la conexión PROFINET del dispositivo entre el computador y el HMI como se ve en la Figura 3.8.

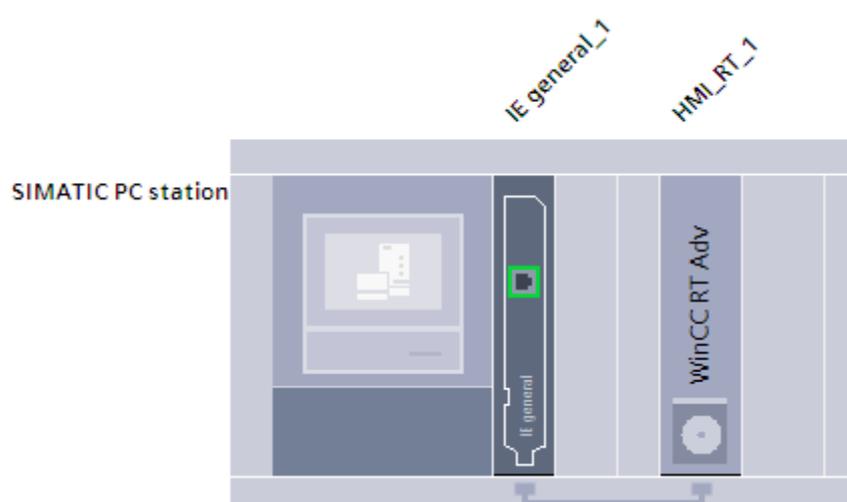


Figura 3.8: Simatic PC Station – TIA PORTAL.

3.2.3 Configuración para la comunicación inalámbrica

En la comunicación inalámbrica se usó el SCALANCE W774 el cual se lo toma como el Access Point principal conectado al PLC S7 – 1200 por medio de comunicación PROFINET. Figura 3.9.



Figura 3.9: Esquemático a usar.

Para la configuración de los SCALANCE tanto como Access Point principal y cliente se realiza mediante web server, el SCALANCE W774 se accedió a la dirección IP del mismo, definiendo así el nombre que se dará a nuestra comunicación inalámbrica. Figura 3.10.

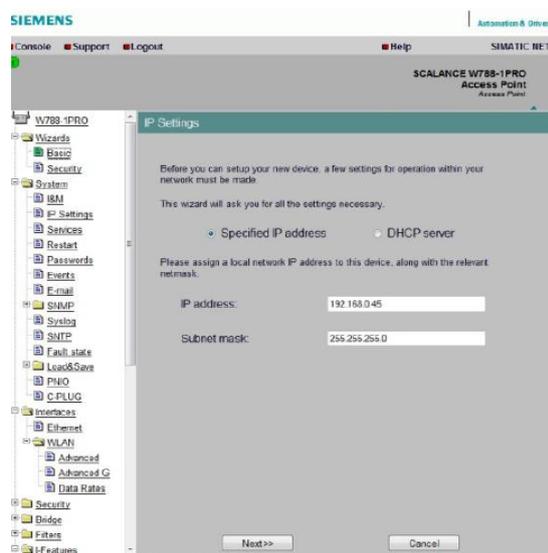


Figura 3.10: Nombre y Asignación de la Dirección IP.

Con una frecuencia de 5GHz para que no exista ninguna interferencia, además el estándar de comunicación en este caso es de 802.11h. Figura 3.11.

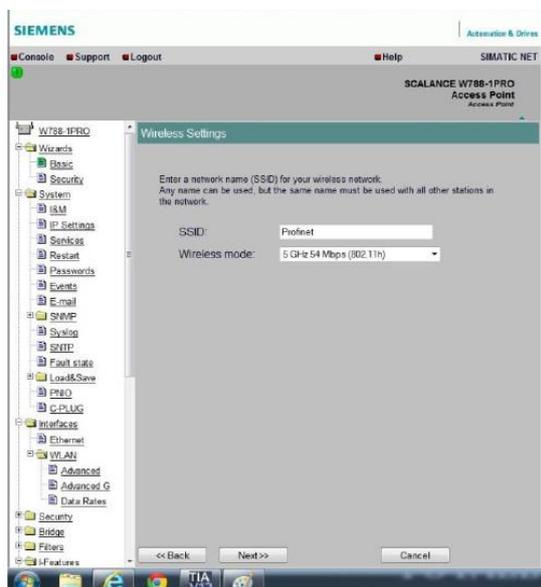


Figura 3.11: Modo del Wireless.

Se definió el tipo de antena que se implementará, el ancho de banda de transmisión de 1.5Mb/s y un tiempo de frecuencia de 16ms. Figura 3.12.

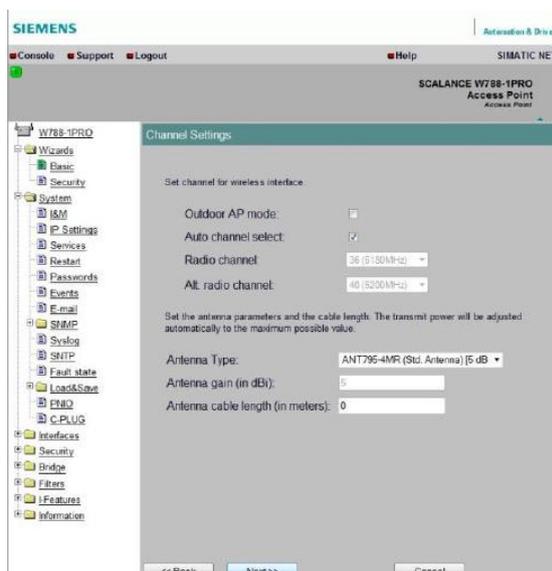


Figura 3.12: Asignación y Banda de transmisión a usar.

En el SCALANCE W734 se definió como el Access Point cliente, el cual está conectado al SIMATIC ET200 que recibe los datos de los sensores del variador de frecuencia G110, salidas digitales como Marcha, Paro y el habilitador del variador de frecuencia, la configuración es la misma que para un Access Point principal, definiendo la dirección IP, frecuencia y estándar de comunicación. Figura 3.13.

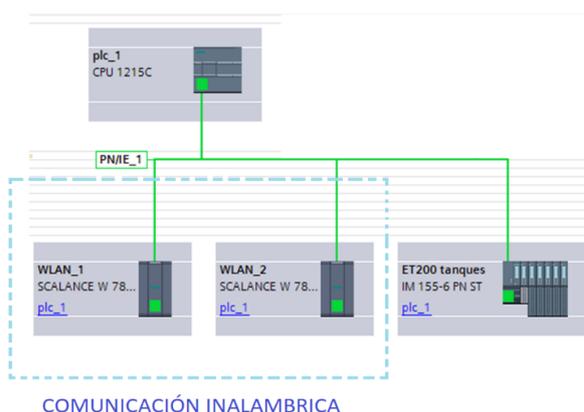


Figura 3.13: Topología de Comunicación Inalámbrica TIA PORTAL.

Existe la posibilidad de que dentro de la configuración del Scalance se observe el tráfico de Bytes transmitidos y emitidos hacia y desde el Scalance como se ve en la Figura 3.14.



Figura 3.14: Información de los Bytes transmitidos y recibidos.

Para el SIMATIC ET200 se configuró en TIA Portal tan solo con la dirección IP y un nombre que se pondrá para la misma red de comunicación, no es necesario poner los SCALANCE en TIA PORTAL, tan solo nos ayudaría a ver si es que se presenta algún error en la comunicación.

De acuerdo con la norma ieee 802 el alcance máximo es de 100 metros con una antena omnidireccional, es decir que así tengas objetos o paredes no habrá falla de comunicación, si se necesita más distancia se deberá poner repetidores de señales, máximo se pueden poner 1024 repetidores, otra opción es optar por una antena direccional el cual tiene un rango de 1 Kilometro, pero es de línea de vista, si hay alguna obstrucción se perderá la señal.

CAPÍTULO 4

4 RESULTADOS

Para mejores resultados en tiempo real se realizó la simulación de la automatización de la planta de 3 tanques con el PLCS7_1200 físico debido que si todo era simulado se necesitarían varios programas abiertos en un mismo computador como son TIA PORTAL, PLCSIM junto con NeToPLCSim para así comunicarse con KEPSERVER y a su vez con Matlab. Debido a que son programas pesados, estos colapsaban el sistema, además de no tener una respuesta rápida es por ello que se procedió a realizar lo siguiente ya con el PLC físico.

4.1 Configuración del PLCS7_1200

El PLCS7_1200 tiene entradas analógicas de voltajes 0-10 [V] y salidas analógicas de corriente 0-20 [mA], debido que las entradas del sistema son los sensores que ofrece una señal analógica de 4-20 [mA] y la salida el variador SINAMIC G110 que controla la velocidad del motor trifásico con una señal analógica de 0 a 10 [V] es por ello que se realizó en PROTEUS un circuito convertidor de corriente a voltaje como se muestra en la Figura 4.1.

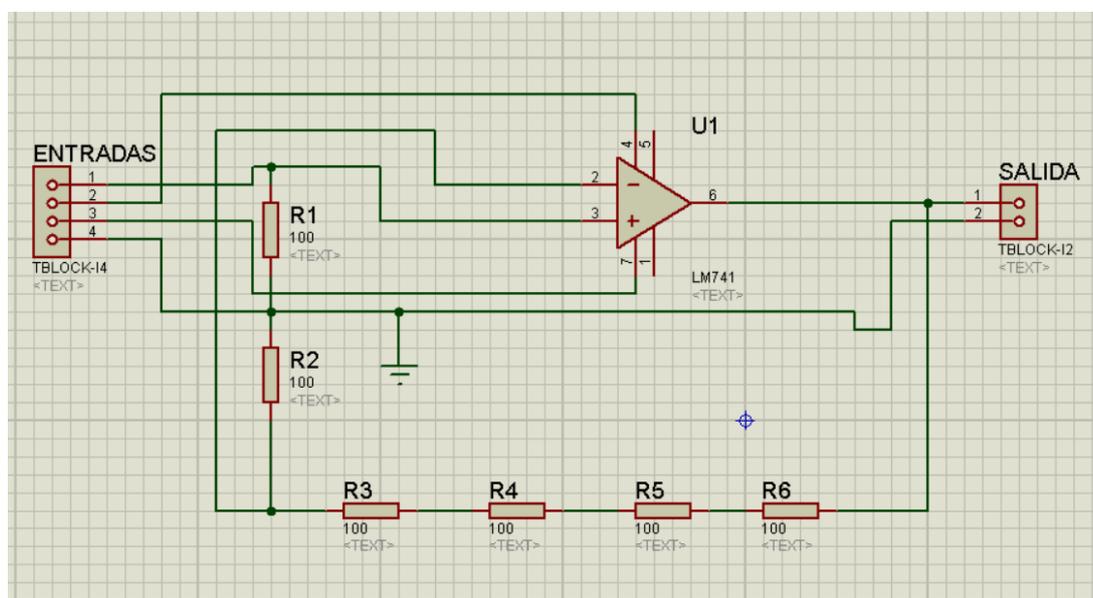


Figura 4.1: Circuito convertidor de corriente a voltaje simulado en PROTEUS.

A continuación, se muestra el diseño de la placa del mismo como se presenta en la Figura 4.2.

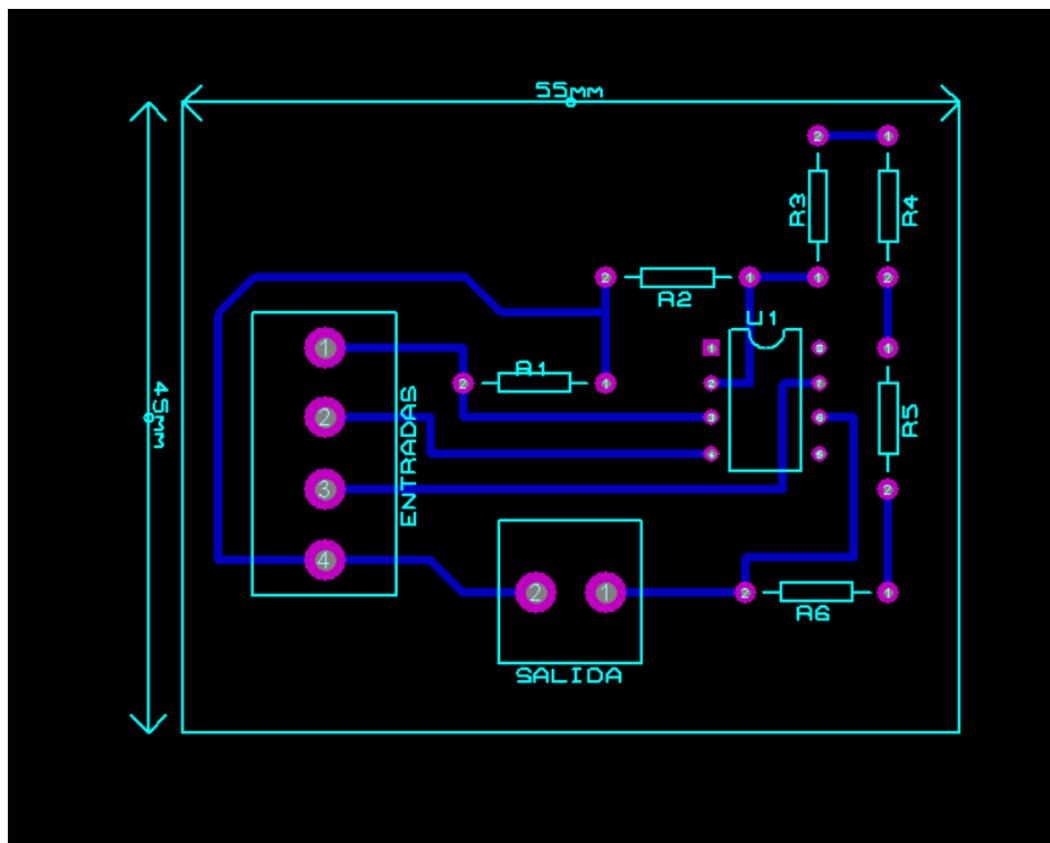


Figura 4.2: Diseño de la placa del circuito convertidor de corriente a voltaje.

Además, para las salidas digitales del PLC tiene un rango de 0 a 24 [V], para ello se conectó relés de 24 [V] para que estos actúen como contactos debidos que para las salidas del sistema son de marcha-paro-habilitador del variador y estos solos reciben señal de 0 ó 1.

Luego se procedió a calibrar los sensores del tanque 1 y tanque 2 nuevamente con el actual circuito, pero esta vez tomando los valores que lee el PLC de los sensores por consiguiente se realizó la regresión lineal obteniendo los resultados como se muestra en la ecuación 4.1.

$$H1 = 0,0113X1 - 62,994$$

$$H2 = 0,0115X2 - 62,961 \quad (4.1)$$

En donde $H1$ y $H2$ son las alturas en centímetros y $X1$ y $X2$ el voltaje en bits que recibe el PLC.

Es importante tener en cuenta que esto solo se realizó para la simulación con el PLC físico conectado directamente con la planta de 3 tanques. Una vez conectado los equipos para la comunicación inalámbrica como es el Scalance W 774/734 y el ET200SP ya no será necesario de estos circuitos convertidores de corriente a voltaje debido que estos internamente lo realizarán.

4.2 Evaluación de resultados del controlador PID

Para la configuración de los parámetros del PID primero se analizó la gráfica en lazo abierto como se muestra en la Figura 4.3. En donde se observa el tiempo de estabilización, el tiempo de subida, el overshoot y el error en estado estacionario.

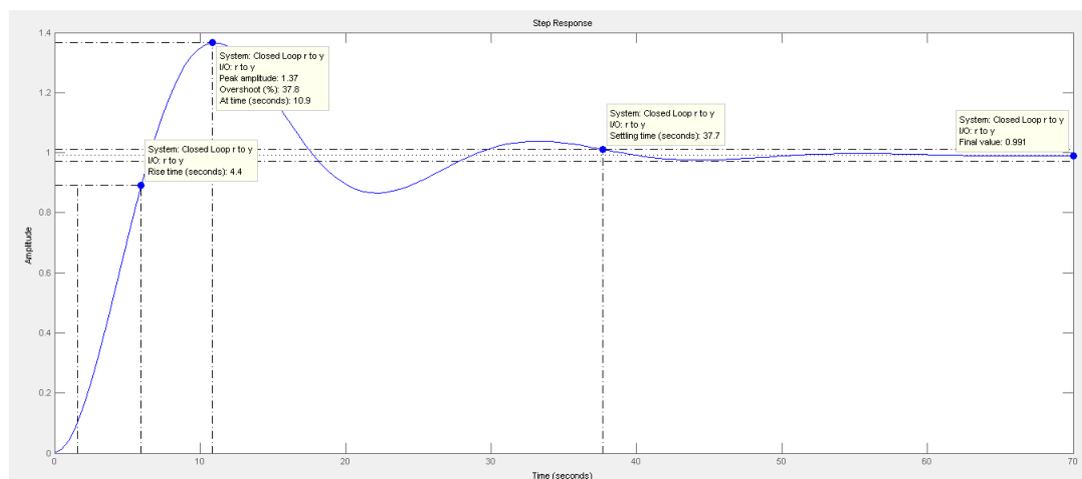


Figura 4.3: Simulado del sistema en lazo abierto ante una entrada escalón.

El error en estado estacionario se lo obtiene restando 1 – el valor de final en porcentaje, entonces se tiene aproximadamente 0.9% de error. Ahora se diseña el controlador de la planta de tal manera que el overshoot disminuya, el error en estado estacionario sea cero, y disminuya el tiempo de respuesta de la siguiente manera:

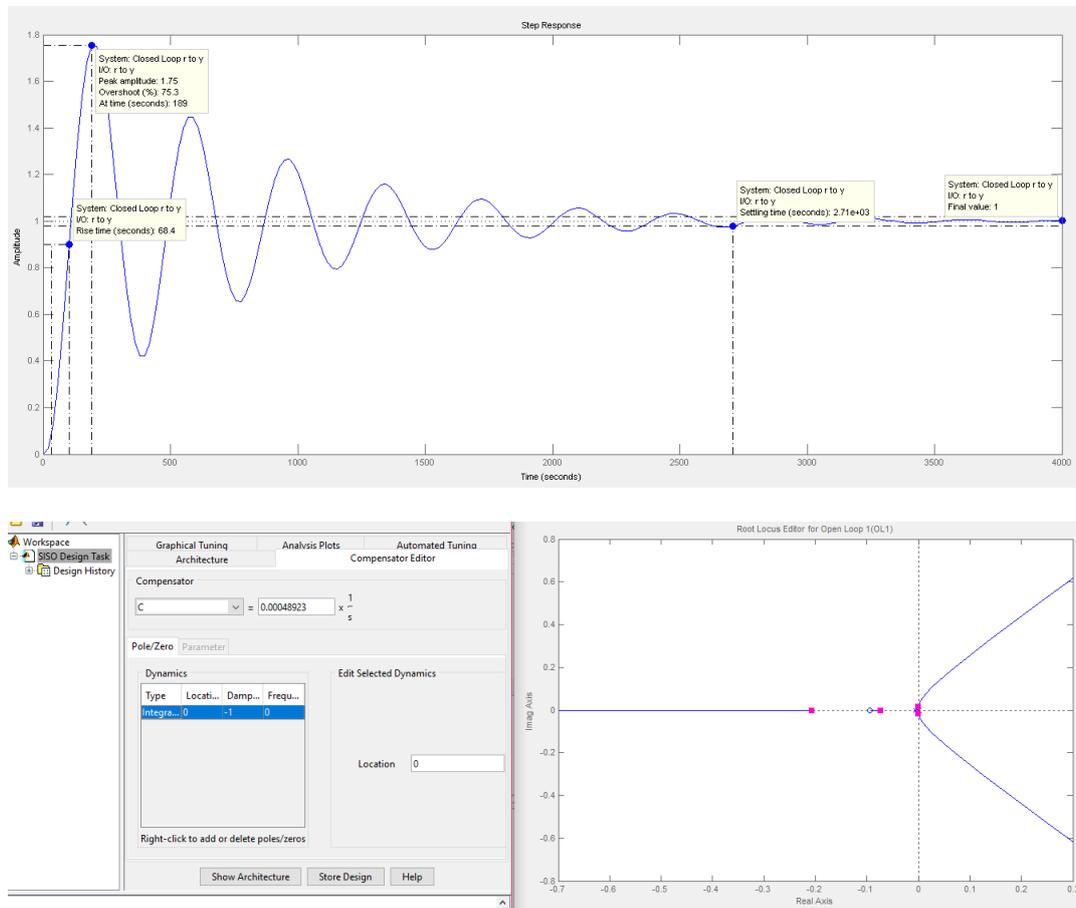


Figura 4.4: Simulado del sistema con la acción integral (I).

Al agregar una integral se logra que el error en estado estacionario se elimine en este caso sea cero como podemos ver en la Figura 4.4 en el final value es 1, teniendo en cuenta que tan solo tener una integral este aumenta el overshoot es por ello que se procederá aumentar un cero real.

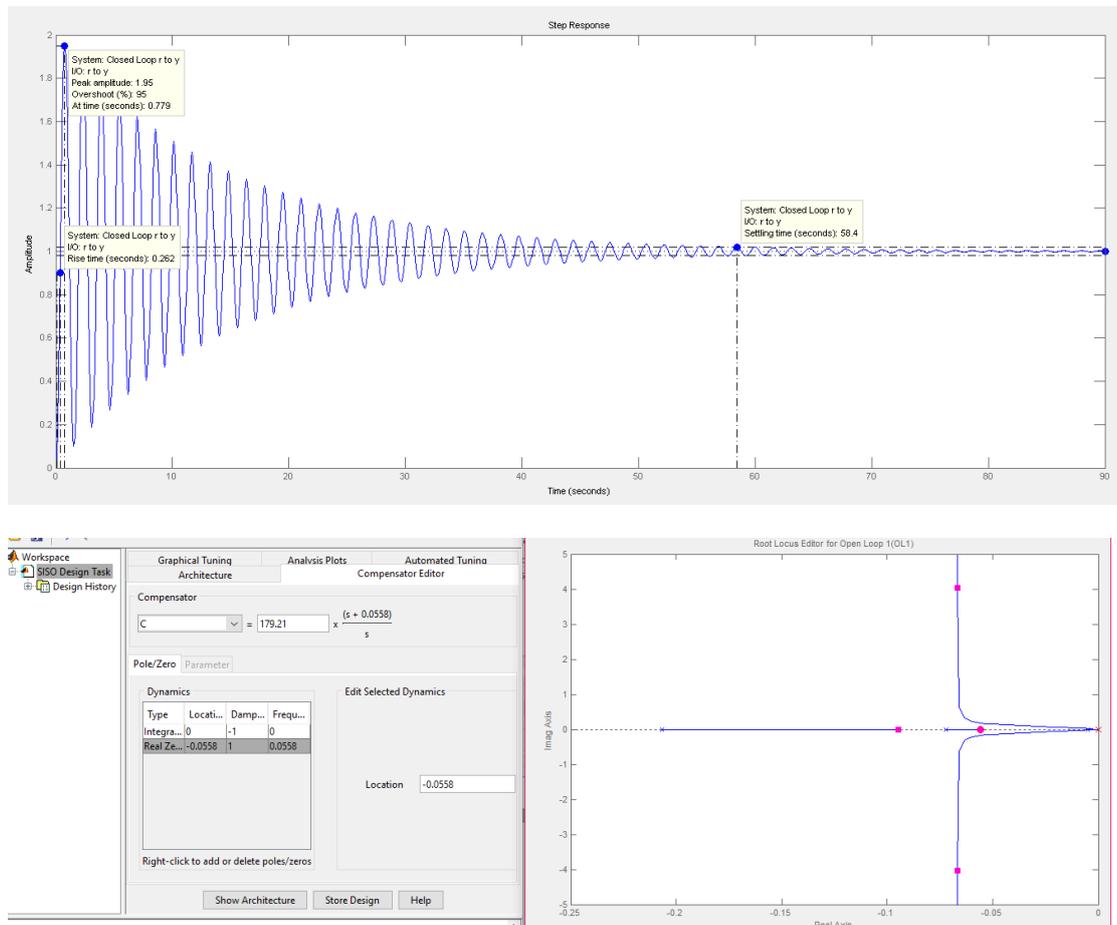


Figura 4.5: Respuesta del sistema con la acción integral y proporcional (PI).

Como se observa en la Figura 4.5, al agregar un cero real disminuye el tiempo de respuesta debido a la constante proporcional, pero al tener una ganancia del controlador demasiado grande aumenta el overshoot debido a la constante integral es por ello que se procede a bajar la ganancia del controlador moviendo los polos dominantes.

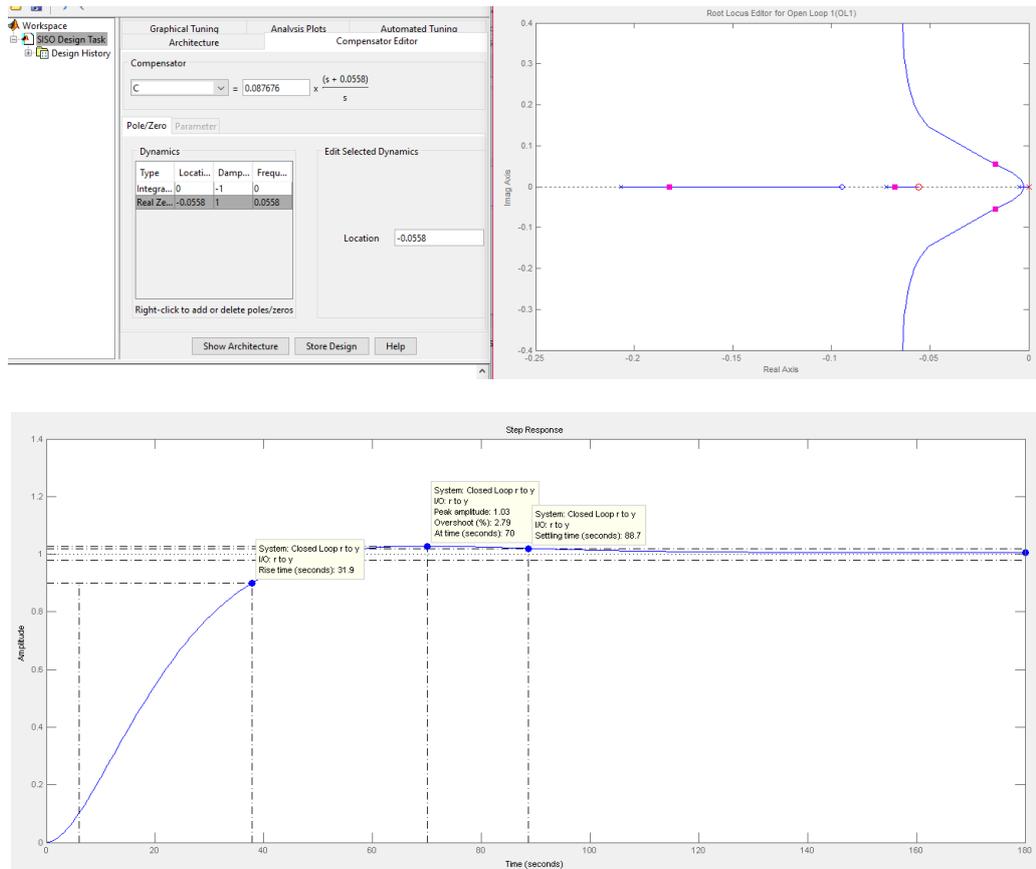


Figura 4.6: Respuesta del sistema ante una entrada escalón con un controlador (PI).

En la Figura 4.6 se tiene como resultado un overshoot 2.79% a pesar de que se aumentó un poco el tiempo de estabilización siendo este de 88.7s con un error en estado estacionario 0 logrando tener lo que se deseaba con un controlador PI.

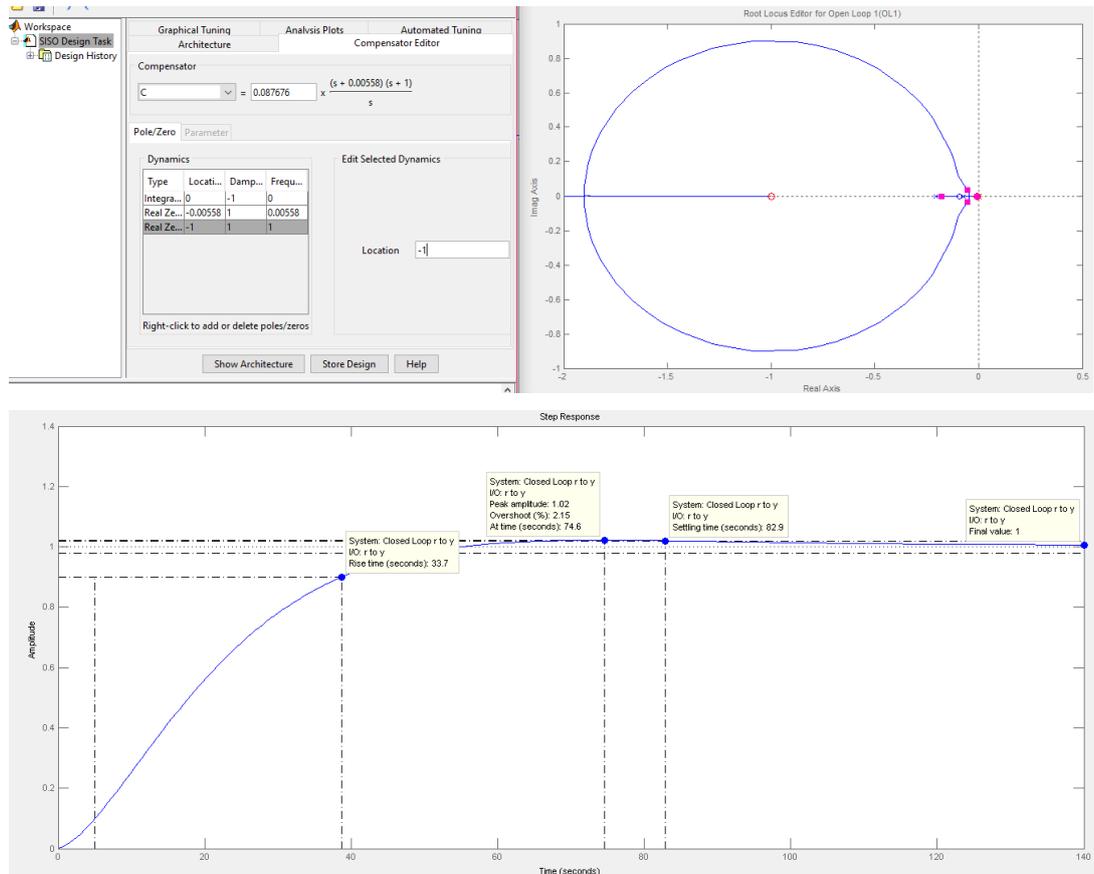


Figura 4.7: Simulado del sistema con la acción proporcional integral derivativa (PID).

Al adicionar un cero real se observa que el tiempo de estabilización disminuye un poco, el overshoot no cambia mucho y el tiempo de subida aumentó, éste es el resultado con un controlador PID como se ve en la Figura 4.7.

Después de algunas pruebas realizadas en la herramienta gráfica SISOTOOL se eligió el controlador PI que se muestra en la Ecuación 4.2 al ver que no hay mucha diferencia con un controlador PID. Esta elección se basó en que la acción derivativa solo es efectiva en periodos transitorios, ésta amplifica la señal de ruido lo que puede provocar saturación en el actuador.

$$G_c(s) = \frac{0.087342(s + 0.005577)}{s} \quad (4.2)$$

Al realizar el modelo matemático del sistema en lazo abierto y lazo cerrado a través de operaciones algebraicas se obtuvo las funciones de transferencias como se presentan en la Ecuación 4.3 y 4.4 que identifican al sistema bajo estas dos condiciones con el fin de buscar la mejor respuesta de la planta.

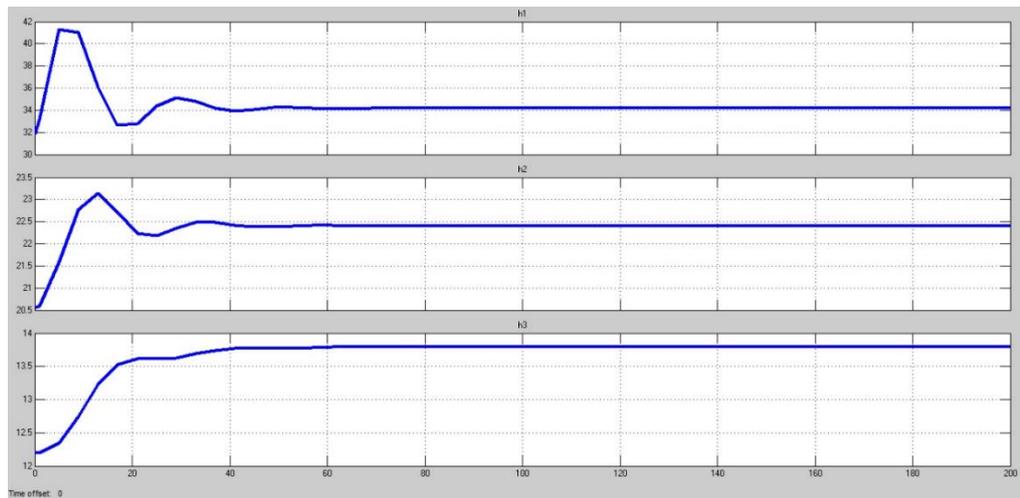


Figura 4.8: Simulación del sistema en lazo abierto.

$$G_{p3t} = \frac{0.09082s + 0.008583}{s^3 + 0.2839s^2 + 0.0163s + 7.483e^{-05}} \quad (4.3)$$

En la Figura 4.8 se observa la respuesta de cada uno de los tanques, éstos presentan un tiempo de subida demasiado grotesco causando que no se llenen simultáneamente los tanques teniendo una gran diferencia entre el uno y el otro.

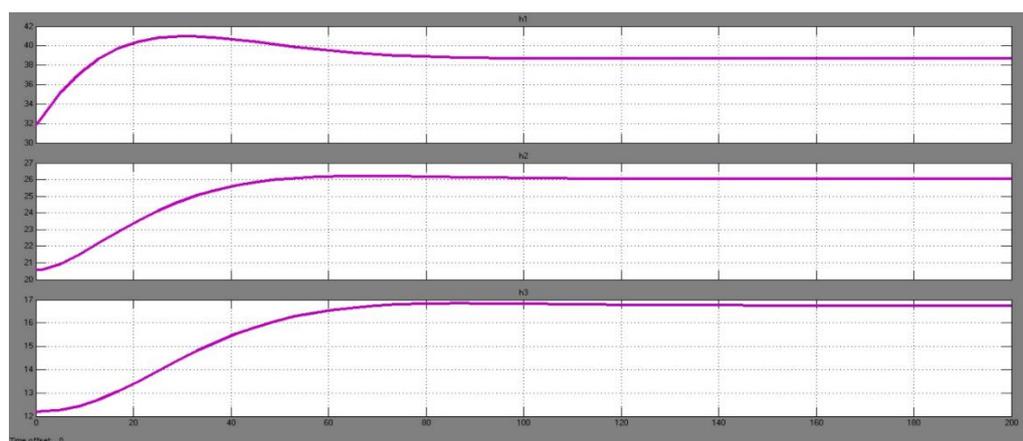


Figura 4.9: Simulación del sistema en lazo cerrado con controlador (PI)

$$G_{3pc3t} = \frac{0.007933 s^2 + 0.0007939 s + 4.181 \cdot 10^{-6}}{s^4 + 0.2839s^3 + 0.0163s^2 + 7.483 \cdot 10^{-5}s} \quad (4.4)$$

En la Figura 4.9 representa una respuesta del sistema con el controlador PI donde se observa una curva suavizada, se puede decir que el llenado de los tanques será de forma simultánea sin tanta diferencia entre ellos.

4.2.1 Resultados de los parámetros del bloque PID_Compact de TIA PORTAL

Con los parámetros del controlador PI obtenidos de la herramienta SISOTOOL de Matlab se procede a realizar lo siguiente sabiendo los algoritmos tanto de Matlab como de TIA PORTAL.

Por lo tanto, para la configuración de los parámetros del controlador PI en TIA PORTAL se realizó el siguiente cálculo como se presenta a continuación.

$$k_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s}\right) = k + \frac{k_i}{s}$$

$$k_p = 0.087$$

$$k_i = \frac{k_p}{T_i}$$

$$T_i = \frac{k_p}{k_i}$$

$$T_i = 167 s$$

Para la programación del controlador se necesitó de un bloque de interrupción cíclica ya que interrumpen la elaboración cíclica del programa en intervalos de tiempo definidos.

4.3 Evaluación de resultados de la programación para el PLCS7_1200

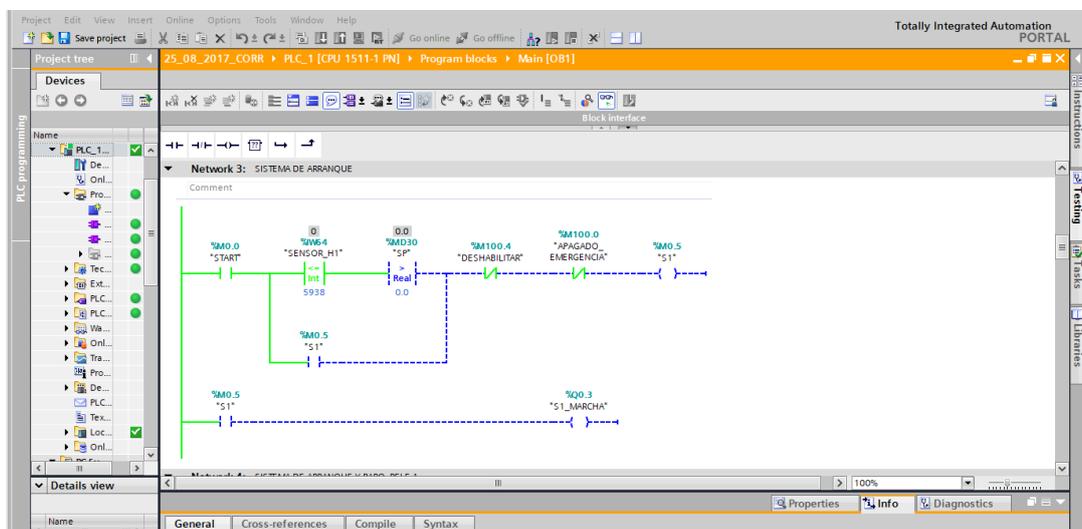


Figura 4.10: Programación para el sistema de arranque (1).

En la Figura 4.10 se observa cuando es presionado Start y la altura del tanque 1 es $H1 < 5\text{cm}$ pero el $SP > 0$

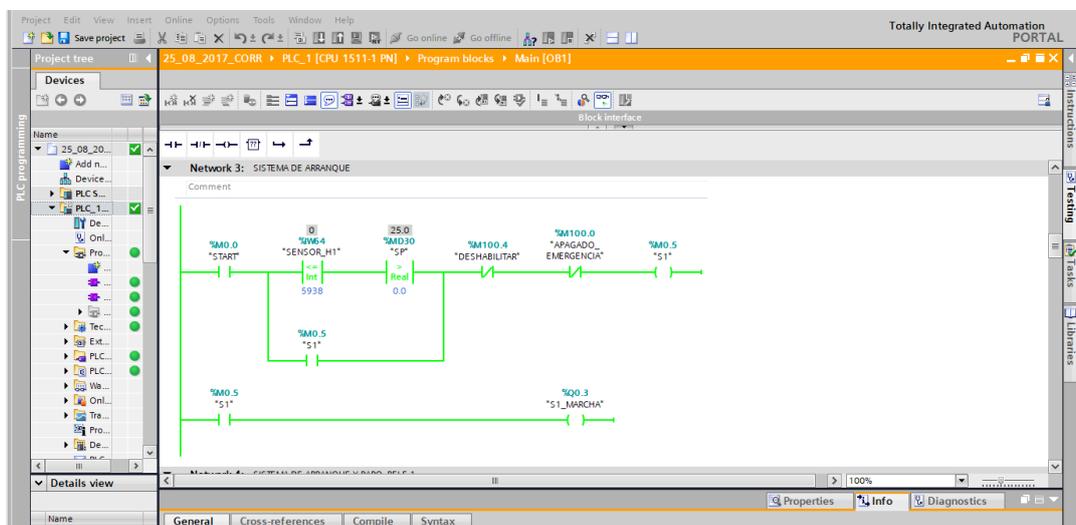


Figura 4.11: Programación para el sistema de arranque (2).

Cuando el $SP > 0$ se activa una salida digital Q0.3 del PLCS7_1200 en este caso es el de marcha como se presenta en la Figura 4.11.

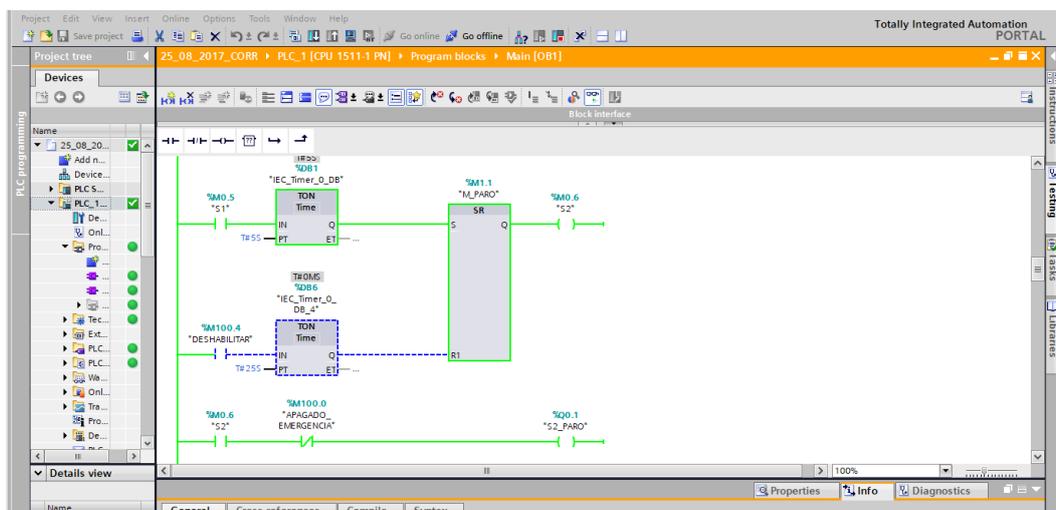


Figura 4.12: Programación para el sistema de arranque (3).

Una vez activada la memoria S1 de marcha comienza a contar los 5 segundos para activarse la memoria S2 y a su vez la salida digital Q0.1 de Paro ver Figura 4.12.

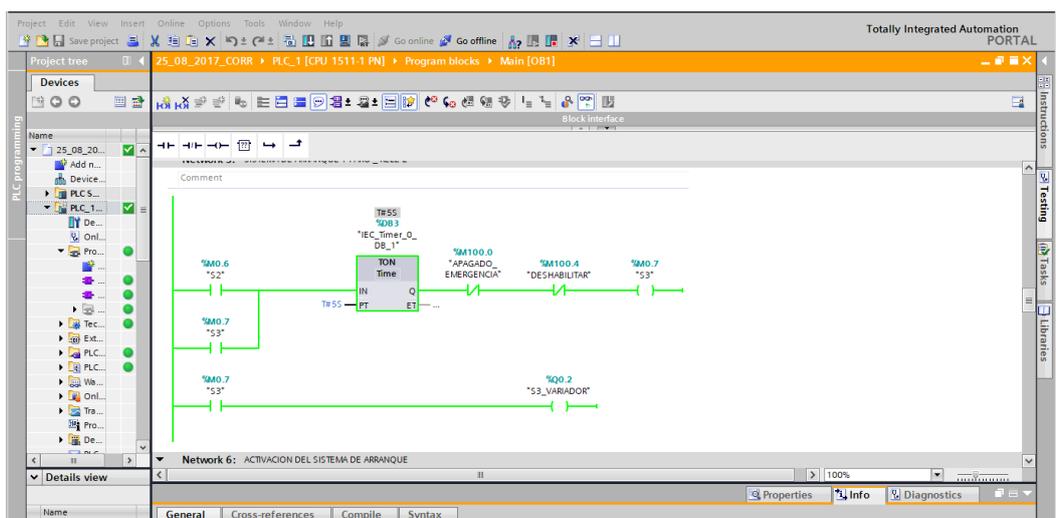


Figura 4.13: Programación para el sistema de arranque (4).

Cuando se activa la memoria S2 comienza a contar otros 5 s para que se active la memoria S3 y a su vez la salida digital Q0.2 perteneciente a la energización del variador SINAMIC G110 como se presenta en la Figura 4.13.

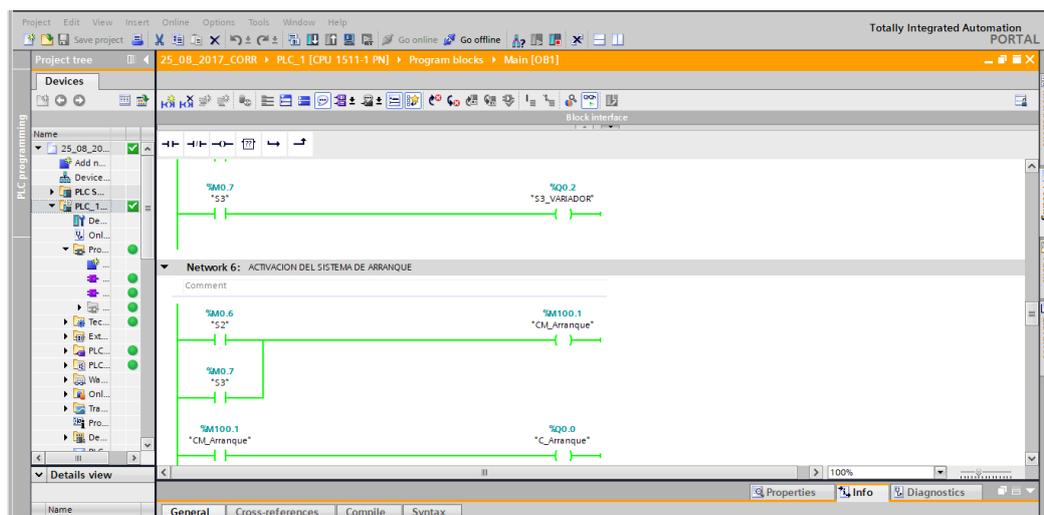


Figura 4.14: Programación para el sistema de arranque (5).

En la Figura 4.14 se observa cuando se activan la memoria de Paro S2 y la memoria del variador S3 comienza el sistema de arranque.

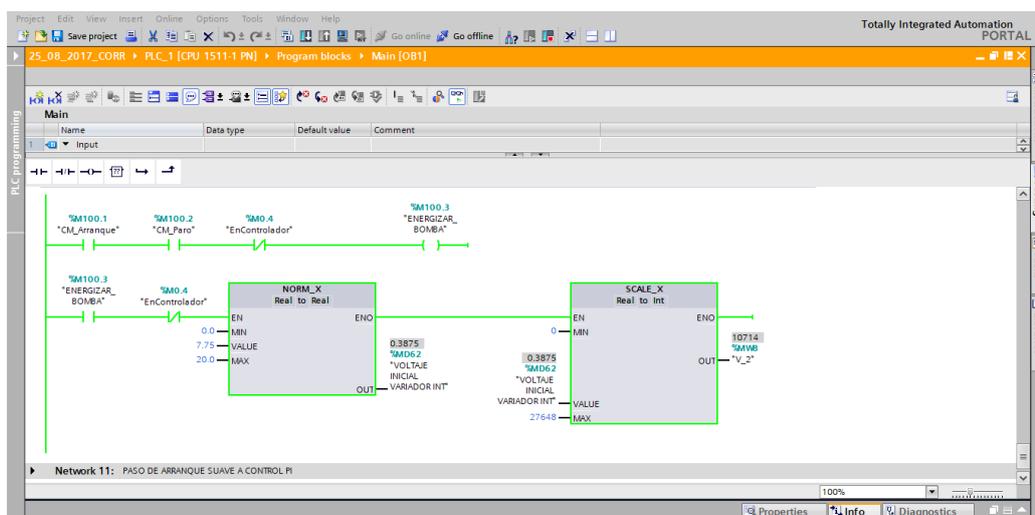


Figura 4.15: Programación para el sistema de arranque (6).

El motor trifásico arranca con una corriente de 7.75 m A que equivale a un voltaje de 3.87 V como se presenta en la Figura 4.15.

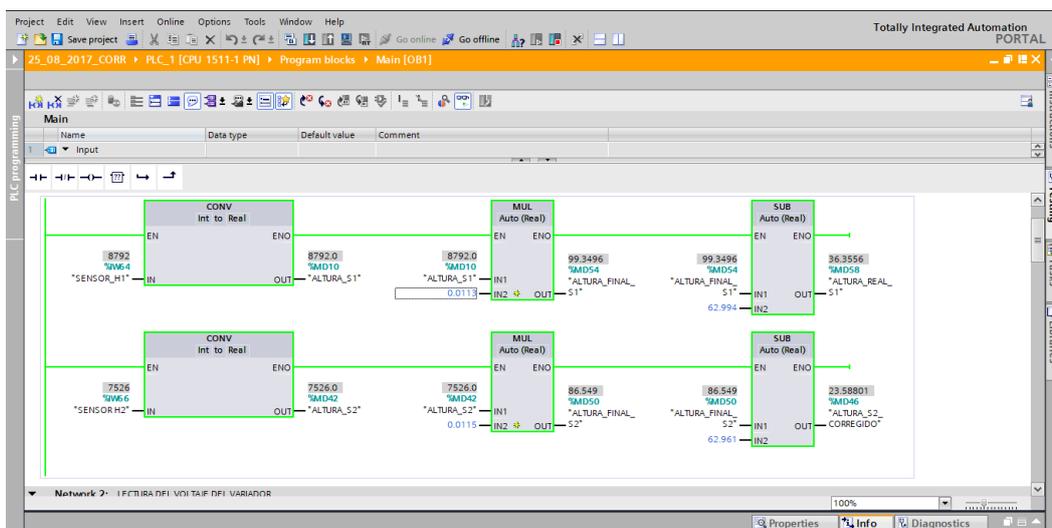


Figura 4.16: Programación para el sistema de control (1).

Aquí se usó la regresión lineal antes mencionada para la lectura de cada tanque como se puede observar está leyendo la altura de los tanques 1 y 2 ver Figura 4.16.

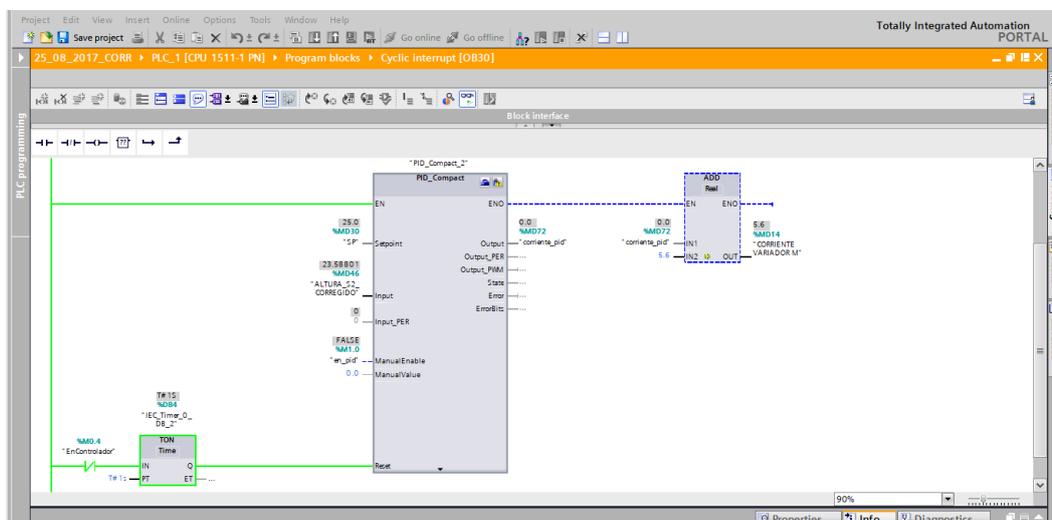


Figura 4.17: Programación para el sistema de control (2).

Es aquí donde se empieza a controlar la altura del tanque 2 con el bloque PID_Compact teniendo como entrada al Setpoint (SP) y la altura del tanque 2 siendo esto en la Figura 4.17.

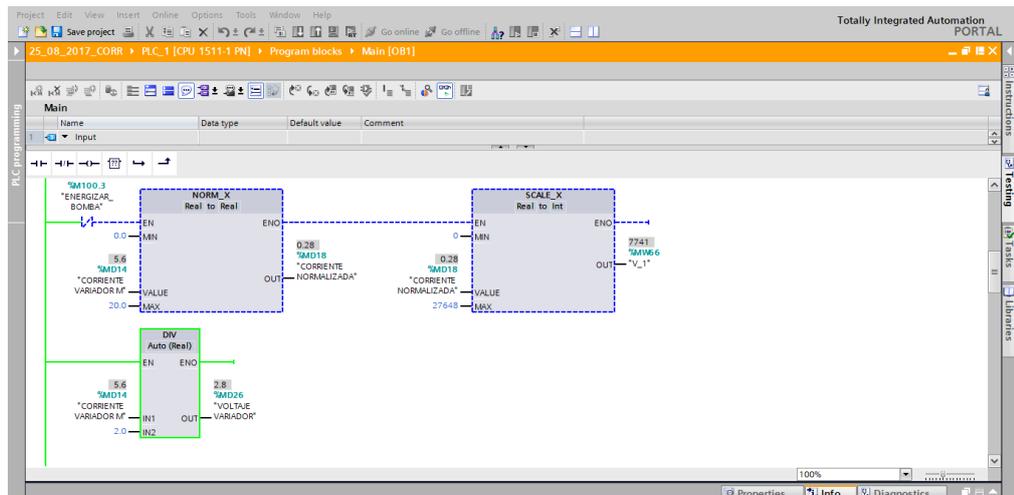


Figura 4.18: Programación para el sistema de control (3).

Se puede observar que el controlador aun no actúa debido que la altura del tanque 1 no se encuentra en 25 cm como se presenta en la Figura 4.18.

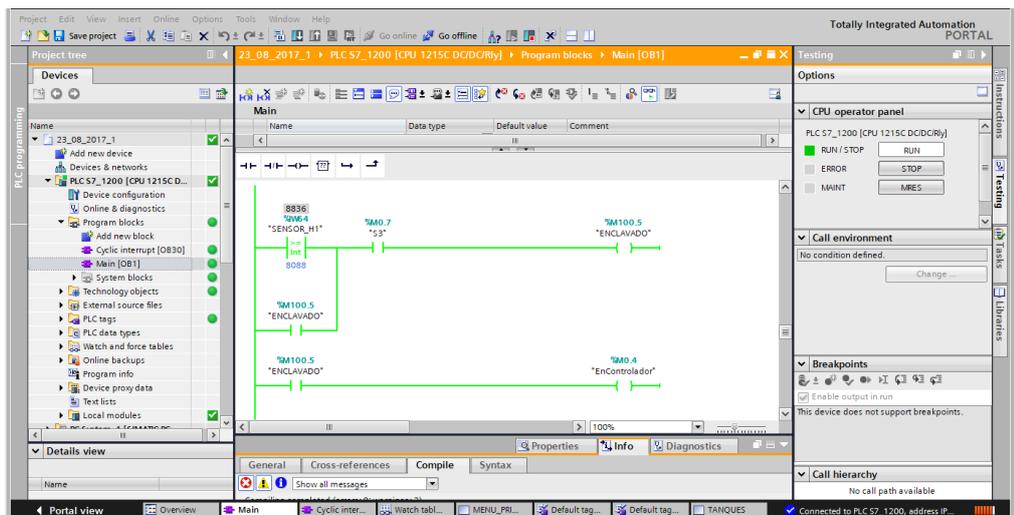


Figura 4.19: Programación para el sistema de control (4).

Cuando la altura del tanque 1 es $H1 \geq 25$ comienza actuar el controlador PI esto se hace para darle un arranque suave al motor trifásico ver Figura 4.19.

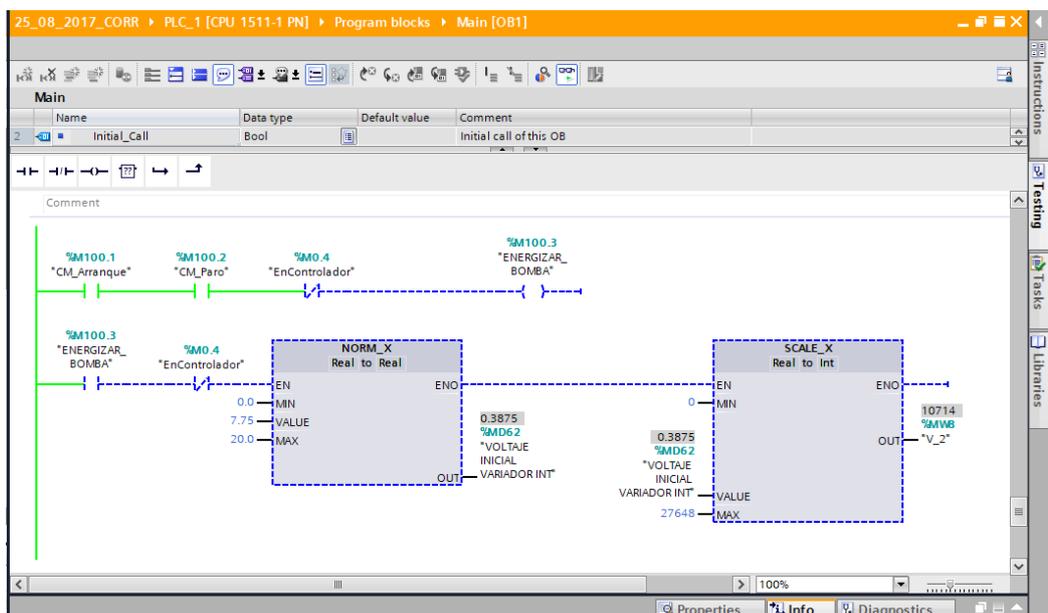


Figura 4.20: Programación para el sistema de control (5).

En la Figura 4.20 una vez activado el controlador PI se desactiva el voltaje inicial enviado al variador de frecuencia para enviar el voltaje necesario para mantener la altura ingresada en el Setpoint que en este caso es de $SP=25\text{cm}$.

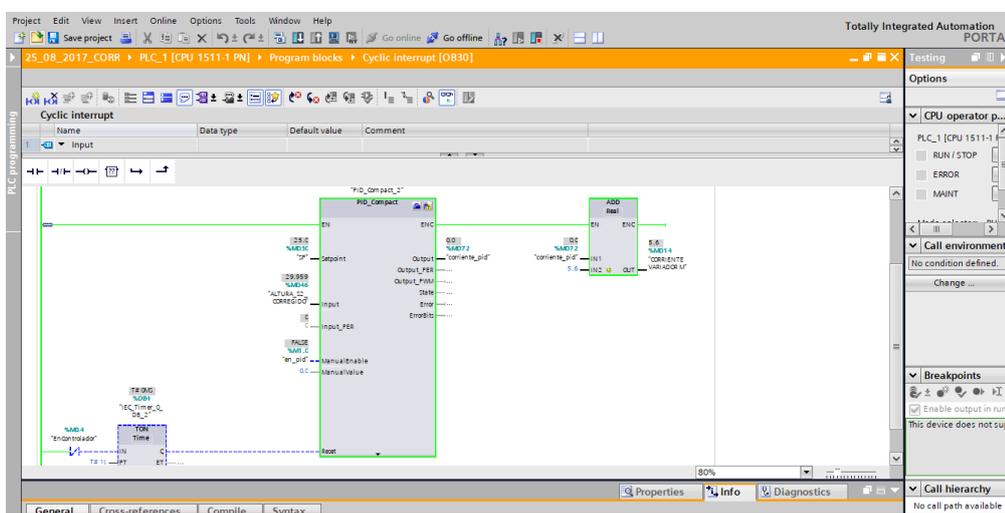


Figura 4.21: Programación para el sistema de control (6).

Se puede observar que el controlador PID está activado y enviando una corriente al variador de 5.8 [A] siendo un voltaje de 2.9 [V] para mantener en una altura $H2 = 25\text{cm}$ como se presenta en la Figura 4.21

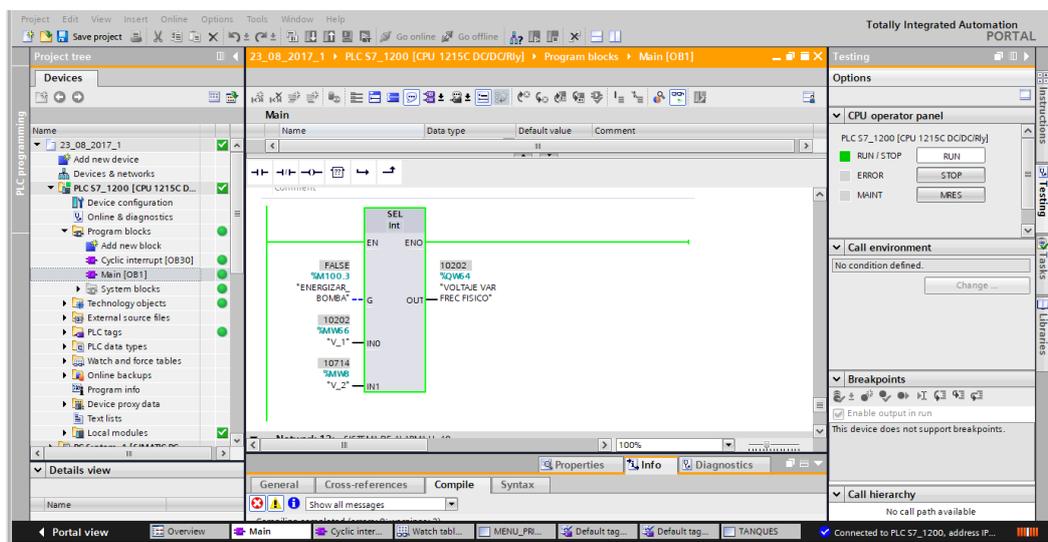


Figura 4.22: Programación para el sistema de control (7).

El selector es el encargado de enviar el voltaje inicial o el voltaje enviado del controlador para la salida analógica del PLC S7_1200 que sería del variador de frecuencia. En este caso como ENERGIZAR_BOMBA esta deshabilitada toma el valor del controlador siendo esto en la Figura 4.22.

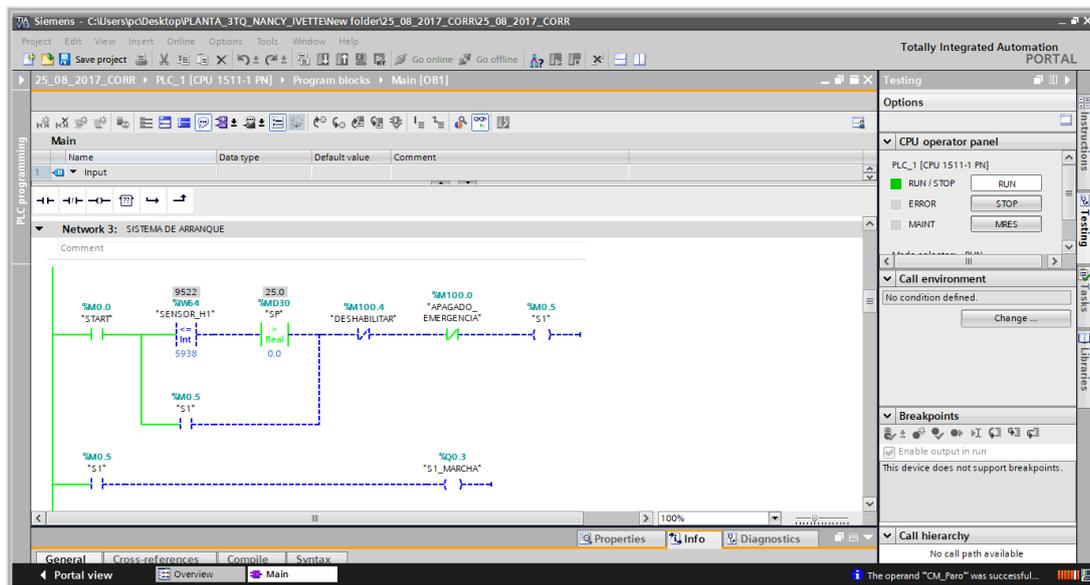


Figura 4.23: Programación para el sistema de paro (1).

Una vez que es presionado Paro se deshabilita la salida Q0.3 perteneciente a Marcha como se observa en la Figura 4.23.

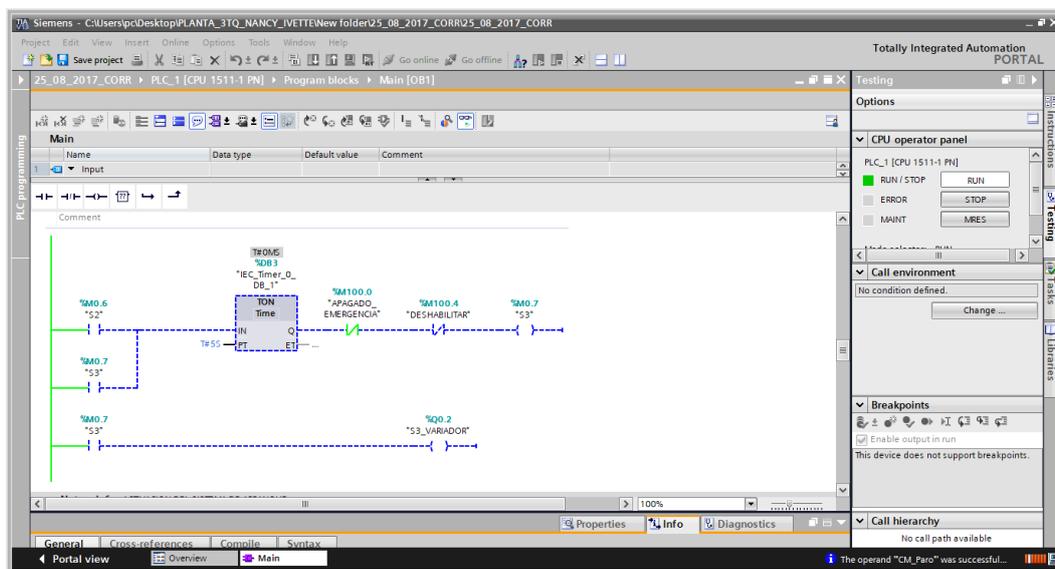


Figura 4.24: Programación para el sistema de paro (2).

Deshabilita al variador de frecuencia como se muestra en la Figura 4.23 ver Figura 4.24.

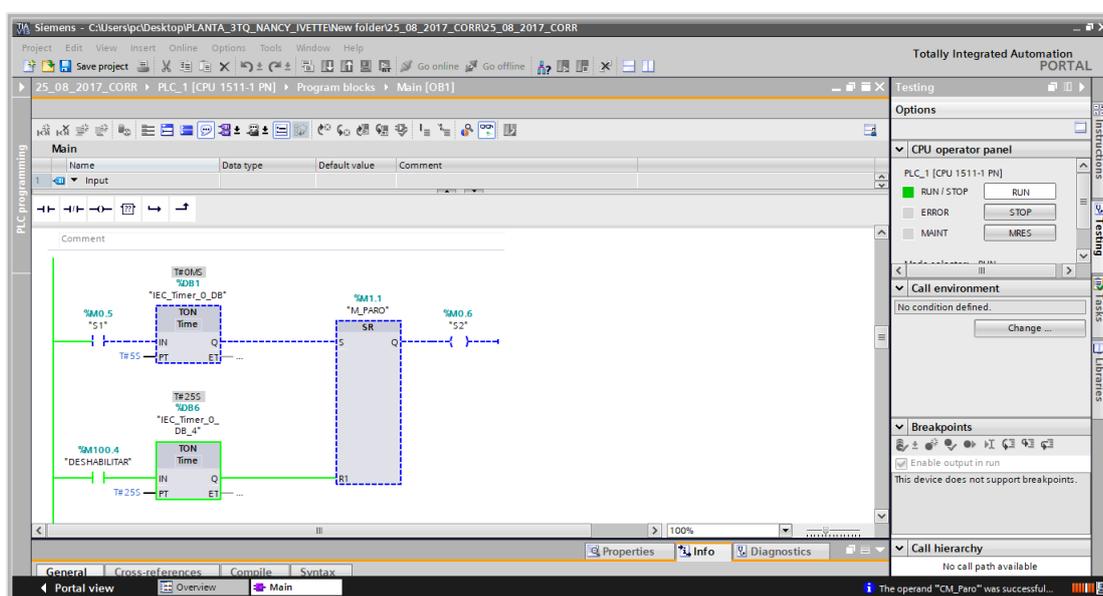


Figura 4.25: Programación para el sistema de paro (3).

Comienza a contabilizar 25 s para que se deshabilite el sistema por completo se puso estos segundos para que no haya un apagado brusco en el sistema ver Figura 4.25

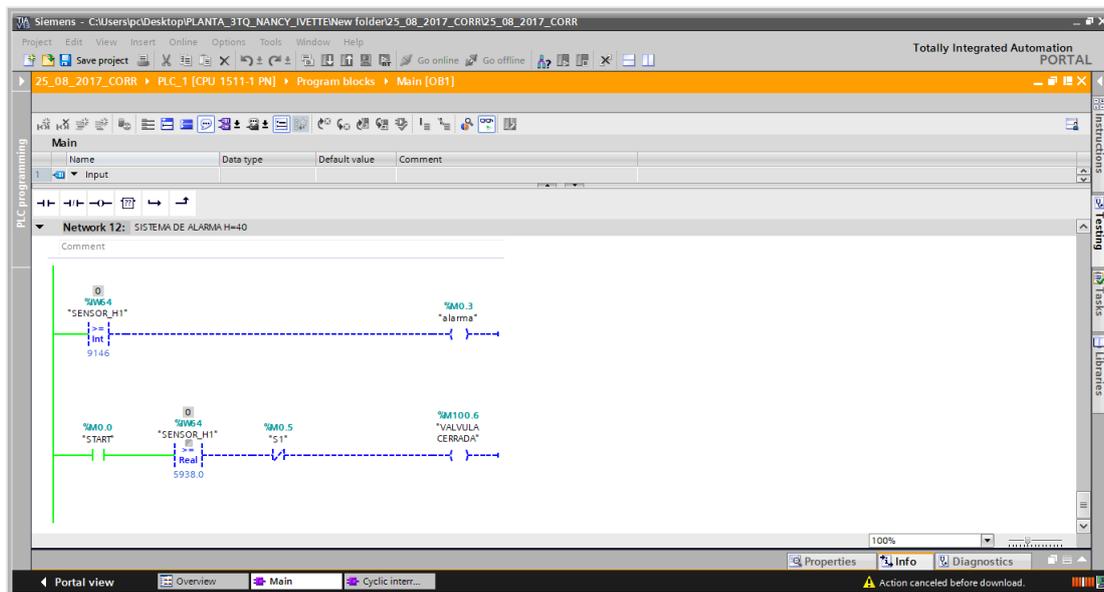


Figura 4.28: Programación para el sistema de alarmas (1).

La alarma de rebose esta desactivada debido que la altura del tanque 1 es menor a 41 cm como se presenta en la Figura 4.28

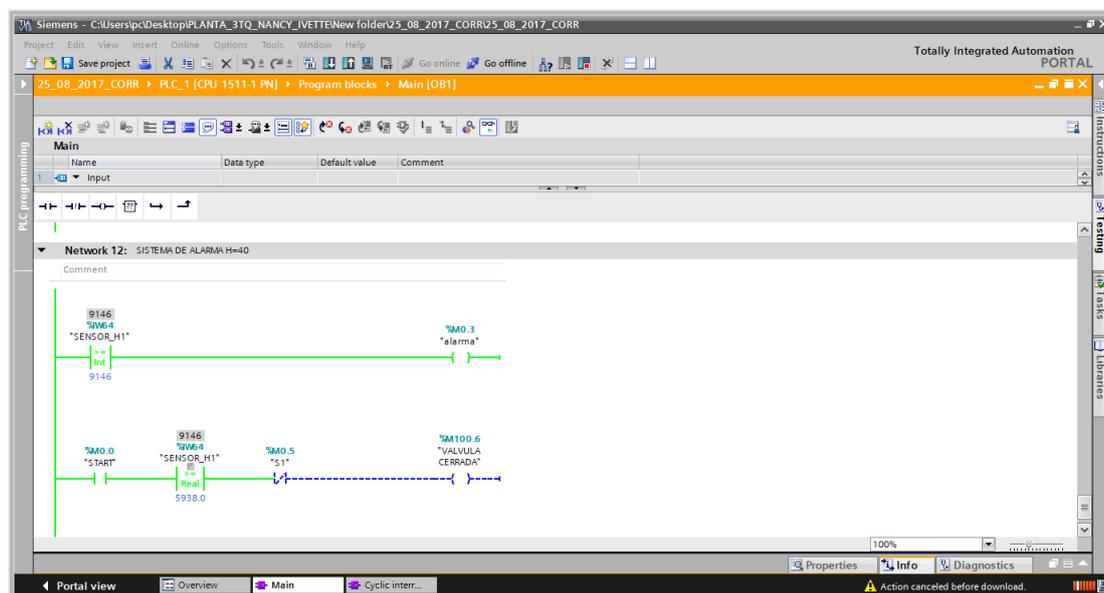


Figura 4.29: Programación para el sistema de alarmas (2).

Aquí es donde se activó la alarma de alerta que el tanque 1 está a punto de rebosar se configuró para que se active cuando la altura H1=41cm como se puede ver en la Figura 4.29.

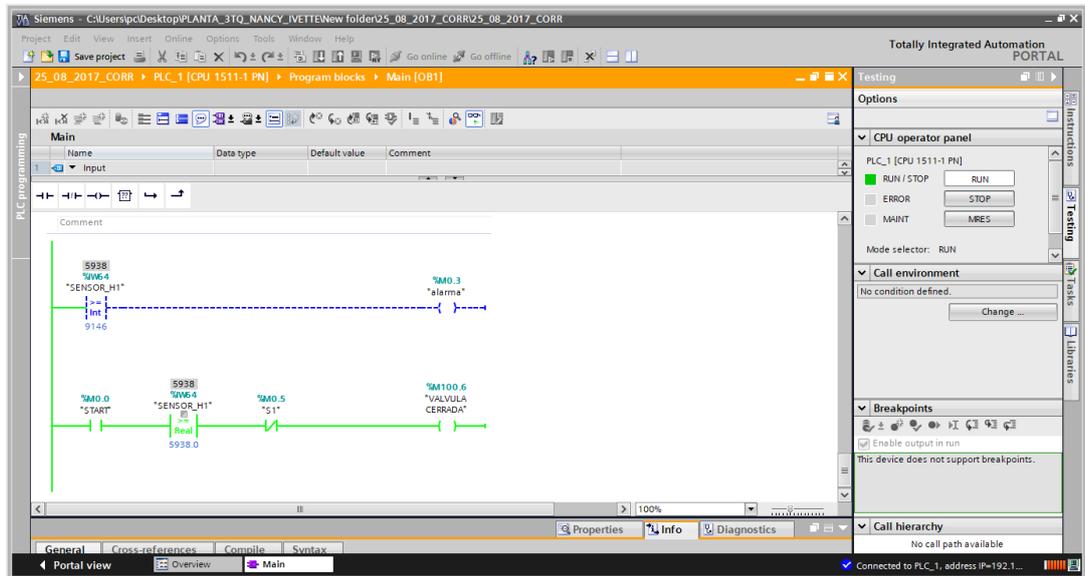


Figura 4.30: Programación para el sistema de alarmas (3).

La alarma de válvula de rebose esta activada porque al presionar START el nivel del tanque 1 este mayor 5 cm esta es desactivada en el momento que se active la memoria S1 como se presenta en la Figura 4.30

4.4 Evaluación de resultados del sistema SCADA

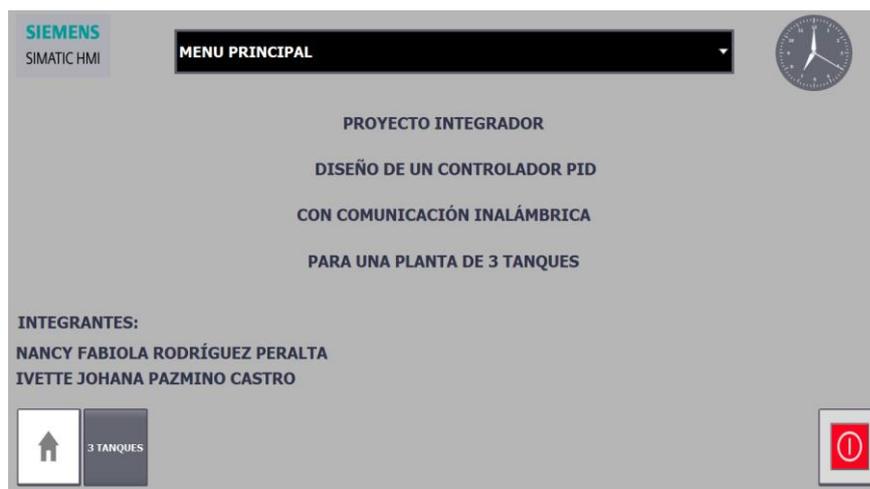


Figura 4.31: Pantalla principal del HMI.

Como se observa en la Figura 4.31 en la ventana principal se realizó una pequeña presentación del proyecto.

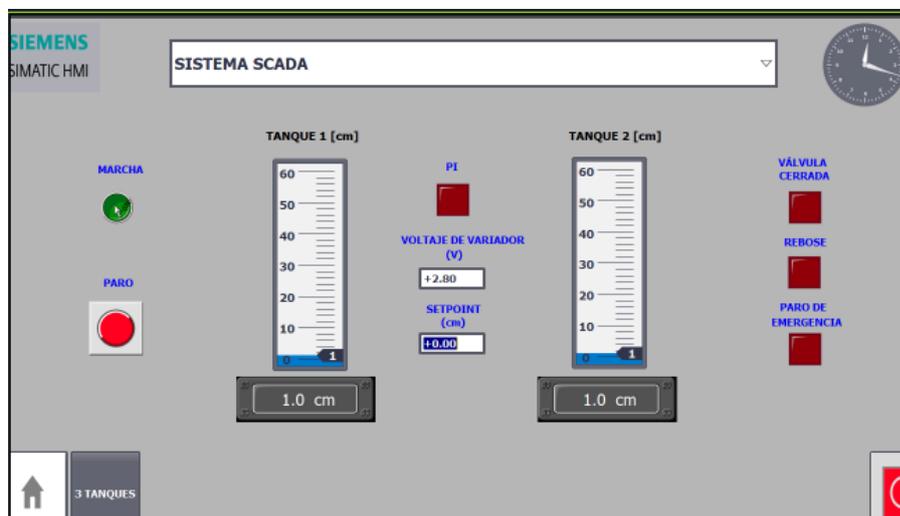


Figura 4.32: Pantalla secundaria del HMI (1).

En la Figura 4.32 se ve la ventana secundaria donde simula la planta de 3 tanques donde consta Star, Paro, el sistema de alarmas, vista del voltaje del variador de frecuencia, mediciones de los tanques y el SetPoint.

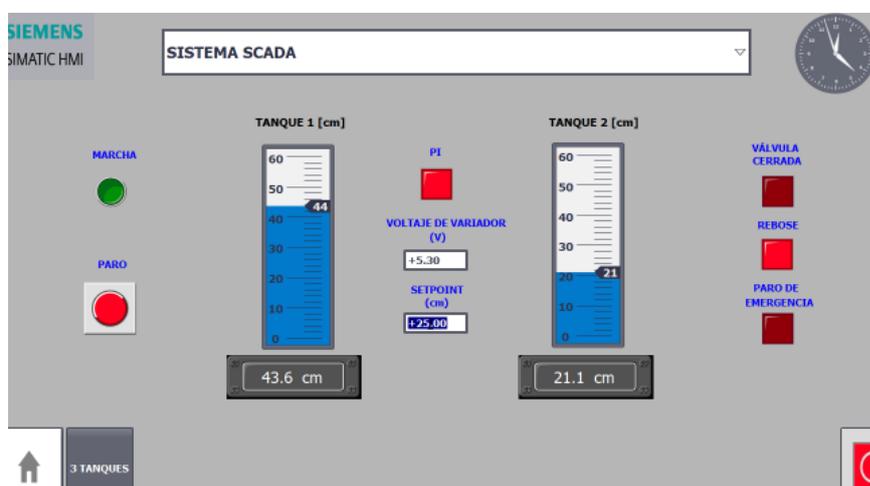


Figura 4.33: Pantalla secundaria del HMI (2).

Se observa cuando está actuando el controlador PI debido una alarma que se activado debido que el tanque 1 está a punto de rebosar como se puede observar en la Figura 4.33.



Figura 4.34: Pantalla secundaria del HMI (3).

En la Figura 4.34 se puede observar que al presionar Marcha y la válvula está cerrada éste manda activar la alarma de válvula cerrada.

4.5 Configuración de la comunicación inalámbrica

4.5.1 Scalance W774 (Access Point Principal)

- Se accede a la dirección IP por medio de browser de Internet
- IP ADDRESS:
- SSID: Inalámbrico_Tesis
- Wireless Mode: 5GHz Mbps (802.11h)
- Antenna Type: ANT795-4MR (Std. Antenna)(5 dB)
- Se selecciona la solapa de información y se verá los bytes entregados y recibidos.

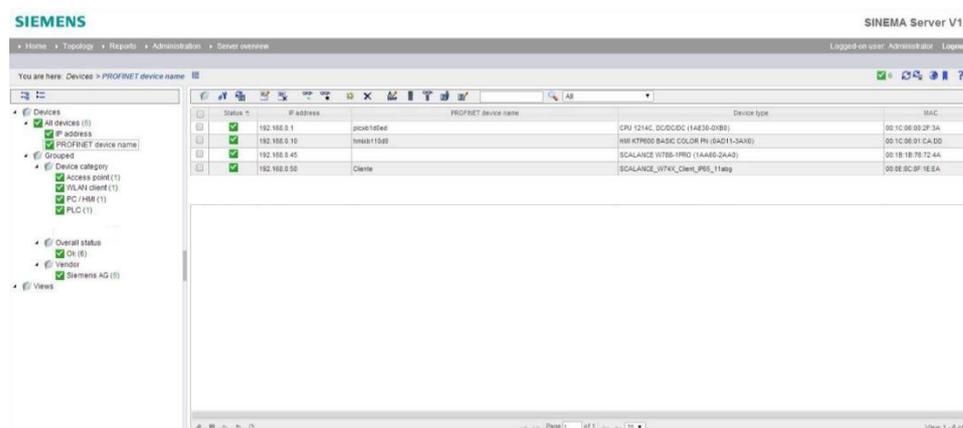
4.5.2 Scalance W734 (Cliente)

- Se accede a la dirección IP por medio de browser de Internet
- IP ADDRESS:
- SSID: Inalámbrico_Tesis
- Wireless Mode: 5GHz Mbps (802.11h)

- MAC Mode: Layer 2 Tunnel (Visualiza los nodos conectados)
- Antenna Type: ANT795-4MR (Std. Antenna) (5 dB)
- Se selecciona la solapa de información y se verá los bytes entregados y recibidos.

4.5.3 Análisis de Red

Se puede analizar la comunicación inalámbrica por medio de la herramienta Sinema Server V12, la cual brinda una detección y reconocimiento automático de la topología de red y muestra el estado actual de la comunicación como se ve en la Figura 4.35



IP address	PROFNET device name	Device type	MAC
192.168.0.11	jack10f0ae	CRU 1214C SC02SD (1A456-0181)	00:1C:58:02:2F:3A
192.168.0.10	hms1150d	HSE KTR900 8-ADC CCLDR PI (SAD11-3AN)	00:1C:58:01:CA:0D
192.168.0.45		SCALANCE W768-1980 (1A460-2A40)	00:1B:78:72:4A
192.168.0.50	Cliente	SCALANCE_W76X_Client_198_11ap	00:0E:8C:8F:1E:EA

Figura 4.35: Estado de los equipos comunicados en estado actual.

Se puede ver su velocidad de transmisión y recepción de datos, potencia de la señal de los Scalances, erros de la recepción y transmisión de datos, etc. Como se ve en la Figura 4.36

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se diseñó en SISOTOOL – MATLAB un controlador PI, luego de descartar el tipo de controlador PID ya que bastó un controlador PI para tener un tiempo de respuesta óptimo, aproximadamente 88.7s y un error de estado estacionario insignificante, usando el método de la ubicación de polos y ceros hasta obtener los valores deseados de las constantes P e I. Para el uso de estos valores en TIA PORTAL se pasó la integral del tiempo a una constante $K_i = 0.00558 * 0.0876$ mientras la constante proporcional quedó igual $P = 0.087$. Se realizó el control PI de la planta de 3 tanques comunicantes con un PLC S7-1200, con el cual se tuvieron que adaptar las señales de entrada y salida para que estuvieran en el rango y naturaleza permitida por el PLC, dentro de esta programación se incluyeron señales de alarma, un paro de emergencia y un arranque suave para la bomba. Luego de realizar el control se pudo conectar el sistema a una red IWLAN usando el Scalance w774/w734 el cual, si bien cubre una distancia de 100m con una antena unidireccional o 1Km con antenas bidireccionales, es compatible con repetidores, hasta 1024 de éstos, dejando una cobertura de nivel industrial.

En la comunicación inalámbrica se usó el equipo Scalance w774/w734, el cual se configuró su dirección IP con 192.168.0.45 la cual ya viene asignada de fábrica, el nombre de la red a usar fue "PROFINET", el Wireless Mode fue de 5GHz Mbps para ambos y la antena fue la estándar ANT795-4MR de 5Db además se decidió que quien actuaría como Access Point principal sería el Scalance w774 y como cliente el Scalance w734 para el correcto funcionamiento de la planta. Esta comunicación inalámbrica se analizó mediante el software Sina Server V12 el cual

permitió reconocer automáticamente la topología de la red, además de la velocidad de transmisión y recepción de datos, potencia de señales, errores, etc. El sistema SCADA implementado en la planta de 3 tanques comunicantes fue diseñado usando TIA PORTAL, en el cual se observan los pulsadores de marcha y paro, la altura de los tanques 1 y 2 en centímetros, alarmas de válvula cerrada, rebose de los tanques al pasar los 41cm y paro de emergencia en caso de sobrepasar la altura permitida de 43cm con lo cual se desenergiza todo el sistema de la planta. Además, se puede ingresar como dato el setpoint de la planta, en torno al cual se realiza el control PI, que cuando se activa se enciende la luz piloto PI, y se observa el voltaje de alimentación hacia el variador de frecuencia.

Se debe tener en stock varios repuestos de los elementos que son vulnerables a sobrecargas para este tipo de proyectos. En este caso se quemaron más de 3 fusibles, una fuente DC, varios OPAMPS y el cableado se vio afectado varias veces debido a estos problemas.

Antes de comenzar este tipo de proyectos, se debe analizar las entradas y salidas de cada uno de los elementos que lo van a formar, en este caso, para la conexión del Sensor 1 y el Sensor 2 primero se convirtió la señal de corriente en voltaje debido a que el PLC S7 -1200 tiene entradas analógicas de voltaje de 0 a 10 [V] y salidas analógicas de 0 a 20 [mA] y los sensores tienen señales analógicas de 4 – 20 [mA], además la salida del variador SIMATIC G110 tiene una señal analógica de 0 a 10 [V]. Se usó cable #16 para las conexiones, además para conectar el PLC con la PC y poder cargar el programa desarrollado en TÍA PORTAL se utilizó el protocolo ETHERNET.

Este proyecto se puede implementar a futuro en otras plantas del Laboratorio de Control Automático-FIEC de la ESPOL e incluso a nivel industrial, se podría añadir detalles como envío de emails cuando la planta presente alarmas por inestabilidad.

Se utilizó un PLC y no una tarjeta de adquisición de datos "DAQ" debido a que el enfoque del proyecto es la implementación industrial y en este campo el PLC tiene más aplicaciones y genera confianza a los operadores y personal de mantenimiento. Si se analiza en factor distancias y cobertura de control, la implementación de este sistema inalámbrico en conjunto con un PLC permite cubrir mayores distancias y presenta compatibilidad con estaciones remotas para un mayor alcance.

BIBLIOGRAFÍA

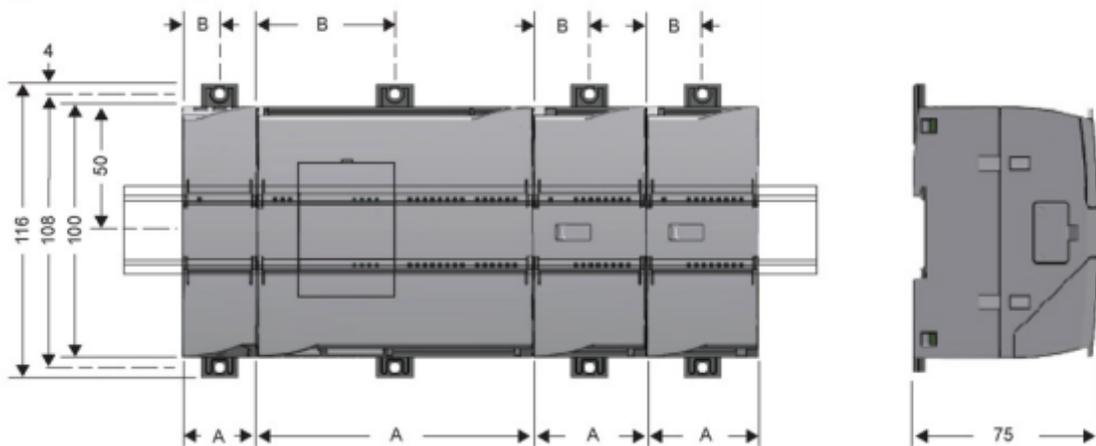
- [1] R. L. MORAN, «Diseño y Construcción de una Planta de 3 Vasos Comunicantes e Implementación de un Sistema de Control Automático de Nivel de Agua de Tipo PID (Proporcional-Integral - Derivativo) desarrollado por el Método Clásico en MATLAB,» Guayaquil, 2013.
- [2] «siemens,» julio 2017. [En línea]. Available: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10257576?tree=CatalogTree>. [Último acceso: 5 julio 2017].
- [3] SIEMENS, «SIEMENS,» *INDUSTRIAL WIRELESS COMMUNICATION*, pp. 47,105, JULIO 2014.
- [4] SIEMENS, «SIEMENS,» *ET 200*, p. 18, JULIO 2012.
- [5] SIEMENS, «SIEMENS,» 2017. [En línea]. Available: http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores_modulares/controlador_basico_s71200/pages/s7-1200.aspx.
- [6] F. Kuonquí, «ANÁLISIS COMPARATIVO DEL FUNCIONAMIENTO DE DOS SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO DE NIVEL DE AGUA EN UNA PLANTA DE 3 VASOS COMUNICANTES, DISEÑADOS APLICANDO LOS MÉTODOS DE CONTROL DE REUBICACIÓN DE POLOS DEL MODELO INTERNO Y DE LÓGICA DIFUSA, DISEÑADOS E,» Guayaquil, 2012.

ANEXOS

A. ESPECIFICACIONES DEL PLC S7-1200

4.3.1 Mounting dimensions for the S7-1200 devices

CPU 1211C, CPU 1212C, CPU 1214C
(measurements in mm)



CPU 1215C, CPU 1217C

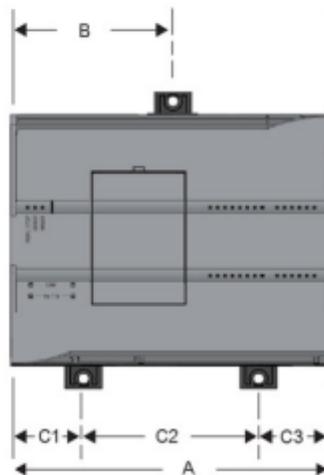
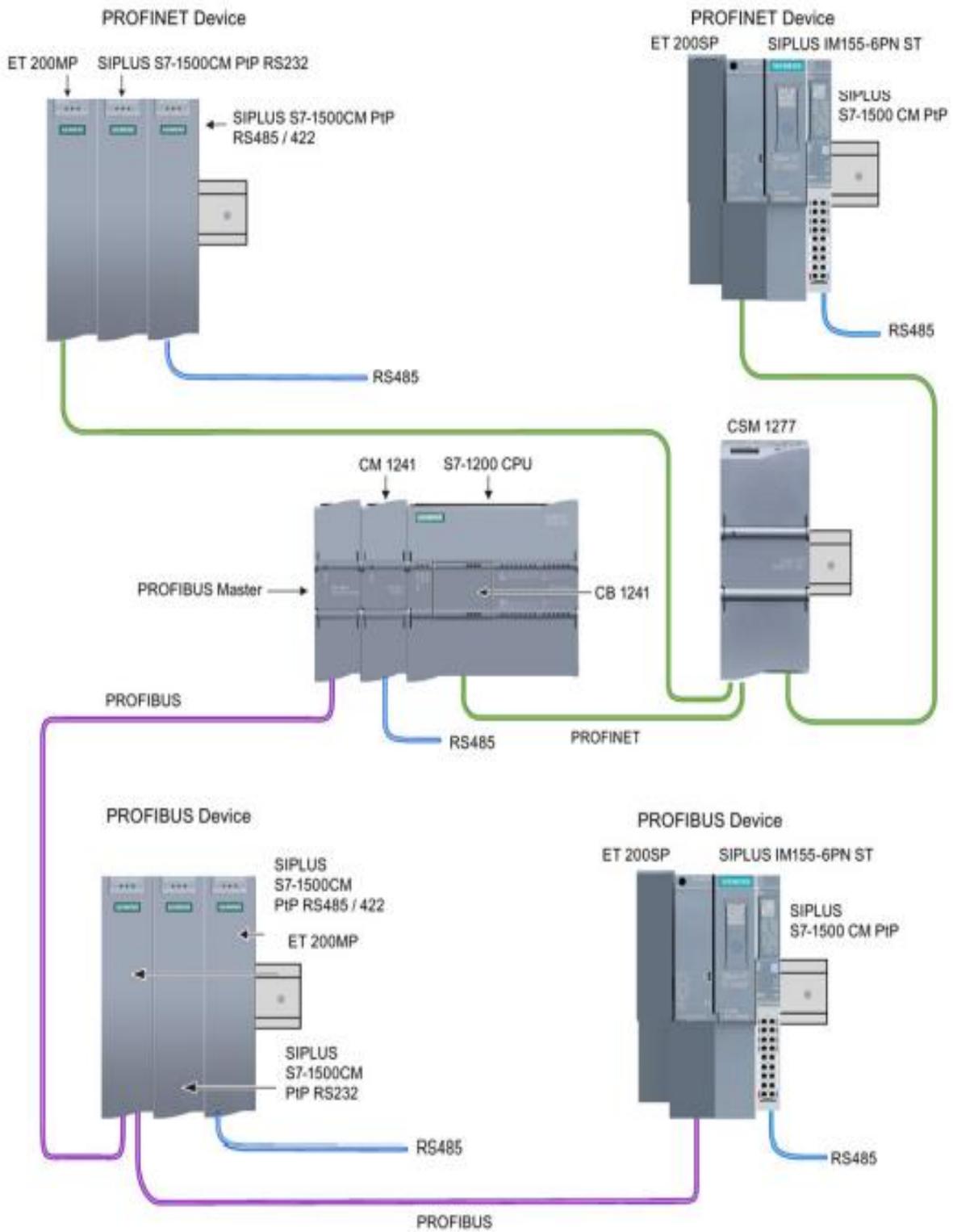


Table 4- 1 Mounting dimensions (mm)

S7-1200 Devices		Width A (mm)	Width B (mm)	Width C (mm)
CPU	CPU 1211C and CPU 1212C	90	45	--
	CPU 1214C	110	55	--
	CPU 1215C	130	65 (top)	Bottom: C1: 32.5 C2: 65 C3: 32.5
	CPU 1217C	150	75	Bottom: C1: 37.5 C2: 75 C3: 37.5
Signal modules	Digital 8 and 16 point Analog 2, 4, and 8 point Thermocouple 4 and 8 point RTD 4 point SM 1278 IO Link-Master	45	22.5	--
	Digital DQ 8 x Relay (Changeover)	70	35	--
	Analog 16 point RTD 8 point	70	35	--
Communication interfaces	CM 1241 RS232, and CM 1241 RS422/485 CM 1243-5 PROFIBUS master and CM 1242-5 PROFIBUS slave CM 1242-2 AS-i Master CP 1242-7 GPRS V2 CP 1243-7 LTE-EU CP 1243-1 DNP3 CP 1243-1 IEC CP 1243-1 CP1243-1 PCC CP 1243-8 ST7 RF120C	30	15	--
	TS (TeleService) Adapter IE Advanced ¹ TS (Teleservice) Adapter IE Basic ¹			
	TS Adapter	30	15	--
	TS Module	30	15	--



A.2.1 General specifications and features

Table A- 10 General specifications

Technical data	CPU 1211C AC/DC/Relay	CPU 1211C DC/DC/Relay	CPU 1211C DC/DC/DC
Article number	6ES7 211-1BE40-0XB0	6ES7 211-1HE40-0XB0	6ES7 211-1AE40-0XB0
Dimensions W x H x D (mm)	90 x 100 x 75		
Shipping weight	420 grams	380 grams	370 grams
Power dissipation	10 W	8 W	
Current available (CM bus)	750 mA max. (5 VDC)		
Current available (24 VDC)	300 mA max. (sensor power)		
Digital input current consumption (24 VDC)	4 mA/input used		

Table A- 11 CPU features

Technical data	Description
User memory	Work
(Refer to "General technical specifications" (Page 1099), "Internal CPU memory retention".)	Load
	Retentive
On-board digital I/O	6 inputs/4 outputs
On-board analog I/O	2 inputs
Process image size	1024 bytes of inputs (I) /1024 bytes of outputs (Q)
Bit memory (M)	4096 bytes
Temporary (local) memory	<ul style="list-style-type: none"> 16 Kbytes for startup and program cycle (including associated FBs and FCs) 6 Kbytes for each of the other interrupt priority levels (including FBs and FCs)
Signal modules expansion	none
SB, CB, BB expansion	1 max.
Communication module expansion	3 CMs max.
High-speed counters	Up to 6 configured to use any built-in or SB inputs. Refer to table, CPU 1211C: HSC default address assignments (Page 463) 100/80 kHz (Ia.0 to Ia.5)

Technical data	Description
Pulse outputs ²	Up to 4 configured to use any built-in or SB outputs 100 kHz (Qa.0 to Qa.3)
Pulse catch inputs	6
Time delay interrupts	4 total with 1 ms resolution
Cyclic interrupts	4 total with 1 ms resolution
Edge interrupts	6 rising and 6 falling (10 and 10 with optional signal board)
Memory card	SIMATIC Memory Card (optional)
Real time clock accuracy	+/- 60 seconds/month
Real time clock retention time	20 days typ./12 days min. at 40 °C (maintenance-free Super Capacitor)

¹ The slower speed is applicable when the HSC is configured for quadrature mode of operation.

² For CPU models with relay outputs, you must install a digital signal board (SB) to use the pulse outputs.

Table A- 12 Performance

Type of instruction	Execution speed
Boolean	0.08 µs/instruction
Move Word	1.7 µs/instruction
Real math	2.3 µs/instruction

A.2.2 Timers, counters, and code blocks supported by CPU 1211C

Table A- 13 Blocks, timers and counters supported by CPU 1211C

Element	Description	
Blocks	Type	OB, FB, FC, DB
	Size	30 Kbytes
	Quantity	Up to 1024 blocks total (OBs + FBs + FCs + DBs)
	Address range for FBs, FCs, and DBs	FB and FC: 1 to 65535 (such as FB 1 to FB 65535) DB: 1 to 59999
	Nesting depth	16 from the program cycle or startup OB 6 from any interrupt event OB
	Monitoring	Status of 2 code blocks can be monitored simultaneously
OBs	Program cycle	Multiple
	Startup	Multiple
	Time-delay interrupt	4 (1 per event)
	Cyclic interrupts	4 (1 per event)
	Hardware interrupts	50 (1 per event)
	Time error interrupts	1
	Diagnostic error interrupts	1
	Pull or plug of modules	1
Rack or station failure	1	

Element		Description
	Time of day	Multiple
	Status	1
	Update	1
	Profile	1
Timers	Type	IEC
	Quantity	Limited only by memory size
	Storage	Structure in DB, 16 bytes per timer
Counters	Type	IEC
	Quantity	Limited only by memory size
	Storage	Structure in DB, size dependent upon count type <ul style="list-style-type: none"> • SInt, USInt: 3 bytes • Int, UInt: 6 bytes • DInt, UDInt: 12 bytes

Table A- 14 Communication

Technical data	Description
Number of ports	1
Type	Ethernet
HMI device	4
Programming device (PG)	1
Connections	<ul style="list-style-type: none"> • 8 for Open User Communication (active or passive): TSEND_C, TRCV_C, TCON, TDISCON, TSEND, and TRCV • 3 for server GET/PUT (CPU-to-CPU) S7 communication • 8 for client GET/PUT (CPU-to-CPU) S7 communication
Data rates	10/100 Mb/s
Isolation (external signal to PLC logic)	Transformer isolated, 1500 VAC, for short term event safety only
Cable type	CAT5e shielded

A.2.3 Digital inputs and outputs

Table A- 17 Digital inputs

Technical data	CPU 1211C AC/DC/Relay, CPU 1211C DC/DC/Relay, and CPU 1211C DC/DC/DC
Number of inputs	6
Type	Sink/Source (IEC Type 1 sink)
Rated voltage	24 VDC at 4 mA, nominal
Continuous permissible voltage	30 VDC, max.
Surge voltage	35 VDC for 0.5 sec.
Logic 1 signal (min.)	15 VDC at 2.5 mA
Logic 0 signal (max.)	5 VDC at 1 mA
Isolation (field side to logic)	500 VAC for 1 minute
Isolation groups	1
Filter times	us settings: 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 10.0, 12.8, 20.0 ms settings: 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.8, 1.6, 3.2, 6.4, 10.0, 12.8, 20.0
HSC clock input rates (max.) (Logic 1 Level = 15 to 26 VDC)	100/80 kHz (Ia.0 to Ia.5)
Number of inputs on simultaneously	6 at 60 °C horizontal, 50 °C vertical
Cable length (meters)	500 m shielded, 300 m unshielded, 50 m shielded for HSC inputs

Table A- 18 Digital outputs

Technical data	CPU 1211C AC/DC/Relay and CPU 1211C DC/DC/Relay	CPU 1211C DC/DC/DC
Number of outputs	4	
Type	Relay, mechanical	Solid state - MOSFET (sourcing)
Voltage range	5 to 30 VDC or 5 to 250 VAC	20.4 to 28.8 VDC
Logic 1 signal at max. current	--	20 VDC min.
Logic 0 signal with 10 KΩ load	--	0.1 VDC max.
Current (max.)	2.0 A	0.5 A
Lamp load	30 W DC / 200 W AC	5 W
ON state resistance	0.2 Ω max. when new	0.6 Ω max.
Leakage current per point	--	10 μA max.
Surge current	7 A with contacts closed	8 A for 100 ms max.
Overload protection	No	
Isolation (field side to logic)	1500 VAC for 1 minute (coil to contact) None (coil to logic)	500 VAC for 1 minute
Isolation resistance	100 MΩ min. when new	--
Isolation between open contacts	750 VAC for 1 minute	--
Isolation groups	1	
Inductive clamp voltage	--	L+ minus 48 VDC, 1 W dissipation

Technical data	CPU 1211C AC/DC/Relay and CPU 1211C DC/DC/Relay	CPU 1211C DC/DC/DC
Maximum relay switching frequency	1 Hz	--
Switching delay (Qa.0 to Qa.3)	10 ms max.	1.0 μ s max., off to on 3.0 μ s max., on to off
Pulse Train Output rate	Not recommended ¹	100 kHz (Qa.0 to Qa.3) ² , 2 Hz min.
Lifetime mechanical (no load)	10,000,000 open/close cycles	--
Lifetime contacts at rated load	100,000 open/close cycles	--
Behavior on RUN to STOP	Last value or substitute value (default value 0)	
Number of outputs on simultaneously	4 at 60 °C horizontal, 50 °C vertical	
Cable length (meters)	500 m shielded, 150 m unshielded	

- ¹ For CPU models with relay outputs, you must install a digital signal board (SB) to use the pulse outputs.
- ² Depending on your pulse receiver and cable, an additional load resistor (at least 10% of rated current) may improve pulse signal quality and noise immunity.

A.2.4 Analog Inputs

Table A- 19 Analog inputs

Technical data	Description
Number of inputs	2
Type	Voltage (single-ended)
Full-scale range	0 to 10 V
Full-scale range (data word)	0 to 27648
Overshoot range	10.001 to 11.759 V
Overshoot range (data word)	27649 to 32511
Overflow range	11.760 to 11.852 V
Overflow range (data word)	32512 to 32767
Resolution	10 bits
Maximum withstand voltage	35 VDC
Smoothing	None, Weak, Medium, or Strong See the table for Step response (ms) for the analog inputs of the CPU (Page 1115).
Noise rejection	10, 50, or 60 Hz
Impedance	≥ 100 K Ω
Isolation (field side to logic)	None
Accuracy (25 °C / 0 to 55 °C)	3.0% / 3.5% of full-scale
Cable length (meters)	100 m, shielded twisted pair

A.2.4.1 Step response of the built-in analog inputs of the CPU

Table A- 20 Step Response (ms), 0 V to 10 V measured at 95%

Smoothing selection (sample averaging)	Rejection frequency (Integration time)		
	60 Hz	50 Hz	10 Hz
None (1 cycle): No averaging	50 ms	50 ms	100 ms
Weak (4 cycles): 4 samples	60ms	70 ms	200 ms
Medium (16 cycles): 16 samples	200 ms	240 ms	1150 ms
Strong (32 cycles): 32 samples	400 ms	480 ms	2300 ms
Sample time	4.17 ms	5 ms	25 ms

A.2.4.2 Sample time for the built-in analog ports of the CPU

Table A- 21 Sample time for built-in analog inputs of the CPU

Rejection frequency (Integration time selection)	Sample time
60 Hz (16.6 ms)	4.17 ms
50 Hz (20 ms)	5 ms
10 Hz (100 ms)	25 ms

A.2.4.3 Measurement ranges of the analog inputs for voltage (CPUs)

Table A- 22 Analog input representation for voltage (CPUs)

System		Voltage Measuring Range	
Decimal	Hexadecimal	0 to 10 V	
32767	7FFF	11.851 V	Overflow
32512	7F00		
32511	7EFF	11.759 V	Overshoot range
27649	6C01		
27648	6C00	10 V	Rated range
20736	5100	7.5 V	
34	22	12 mV	
0	0	0 V	
Negative values		Negative values are not supported	

A.2.5 CPU 1211 wiring diagrams

Table A- 23 CPU 1211C AC/DC/Relay (6ES7 211-1BE40-0XB0)

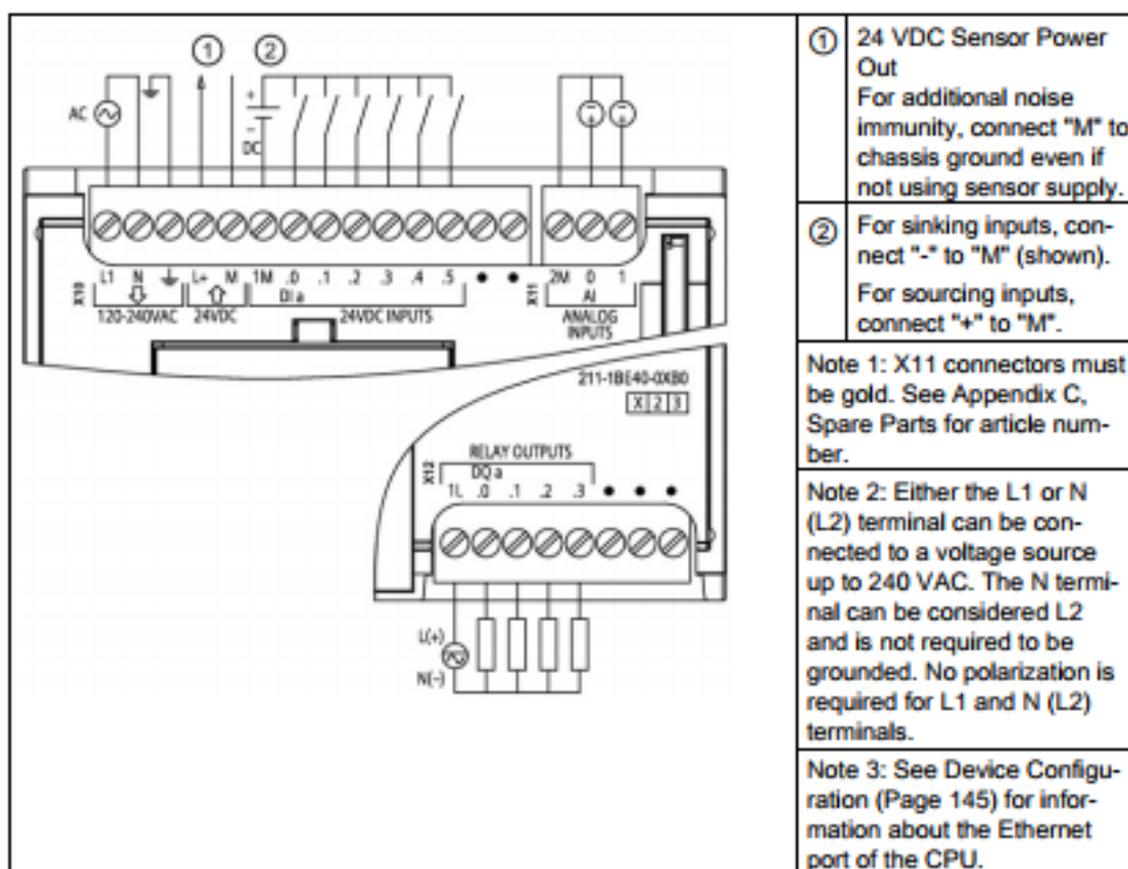
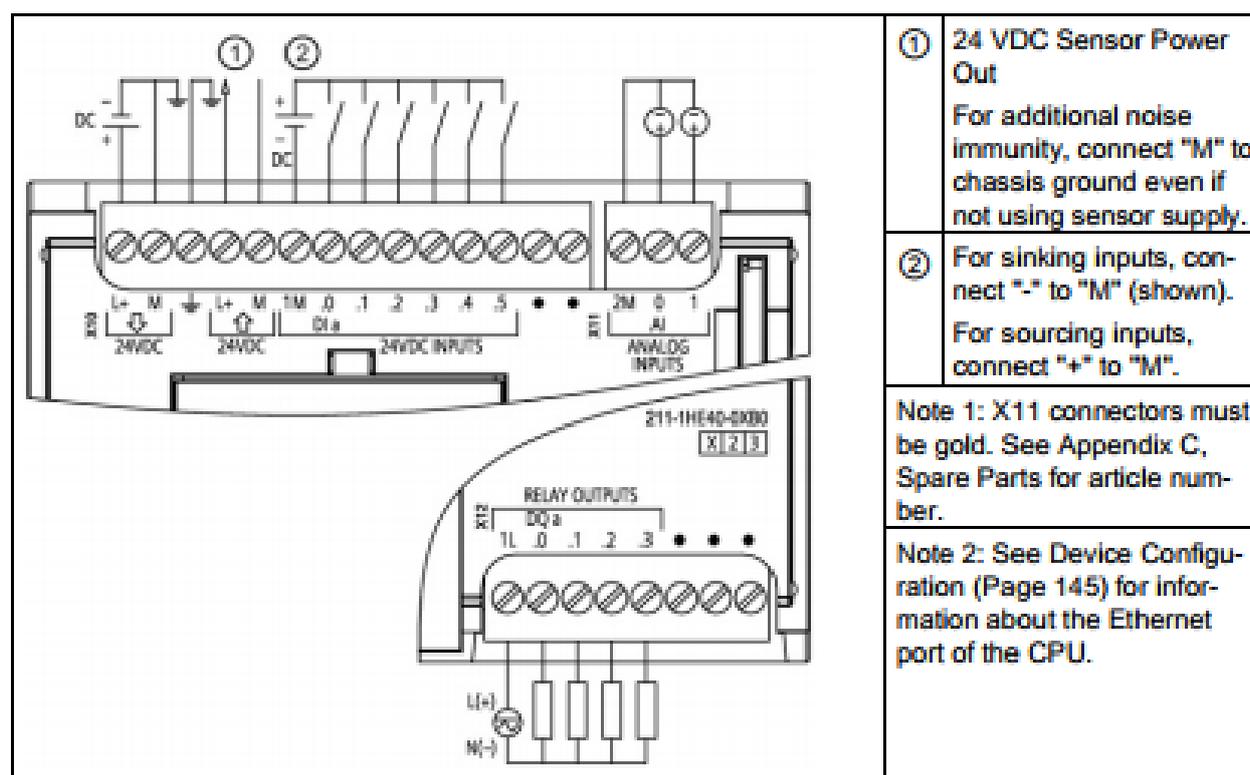


Table A- 24 Connector pin locations for CPU 1211C AC/DC/Relay (6ES7 211-1BE40-0XB0)

Pin	X10	X11 (gold)	X12
1	L1 / 120-240 VAC	2 M	1L
2	N / 120-240 VAC	AI 0	DQ a.0
3	Functional Earth	AI 1	DQ a.1
4	L+ / 24 VDC Sensor Out	--	DQ a.2
5	M / 24 VDC Sensor Out	--	DQ a.3
6	1M	--	No connection
7	DI a.0	--	No connection
8	DI a.1	--	No connection
9	DI a.2	--	--
10	DI a.3	--	--
11	DI a.4	--	--
12	DI a.5	--	--

Pin	X10	X11 (gold)	X12
13	No connection	--	--
14	No connection	--	--

Table A- 25 CPU 1211C DC/DC/Relay (6ES7 211-1HE40-0XB0)



① 24 VDC Sensor Power Out
For additional noise immunity, connect "M" to chassis ground even if not using sensor supply.

② For sinking inputs, connect "-" to "M" (shown).
For sourcing inputs, connect "+" to "M".

Note 1: X11 connectors must be gold. See Appendix C, Spare Parts for article number.

Note 2: See Device Configuration (Page 145) for information about the Ethernet port of the CPU.

Table A- 26 Connector pin locations for CPU 1211C DC/DC/Relay (6ES7 211-1HE40-0XB0)

Pin	X10	X11 (gold)	X12
1	L+ / 24 VDC	2 M	1L
2	M / 24 VDC	AI 0	DQ a.0
3	Functional Earth	AI 1	DQ a.1
4	L+ / 24 VDC Sensor Out	--	DQ a.2
5	M / 24 VDC Sensor Out	--	DQ a.3
6	1M	--	No connection
7	DI a.0	--	No connection
8	DI a.1	--	No connection
9	DI a.2	--	--
10	DI a.3	--	--
11	DI a.4	--	--
12	DI a.5	--	--
13	No connection	--	--
14	No connection	--	--

Table A-27 CPU 1211C DC/DC/DC (6ES7 211-1AE40-0XB0)

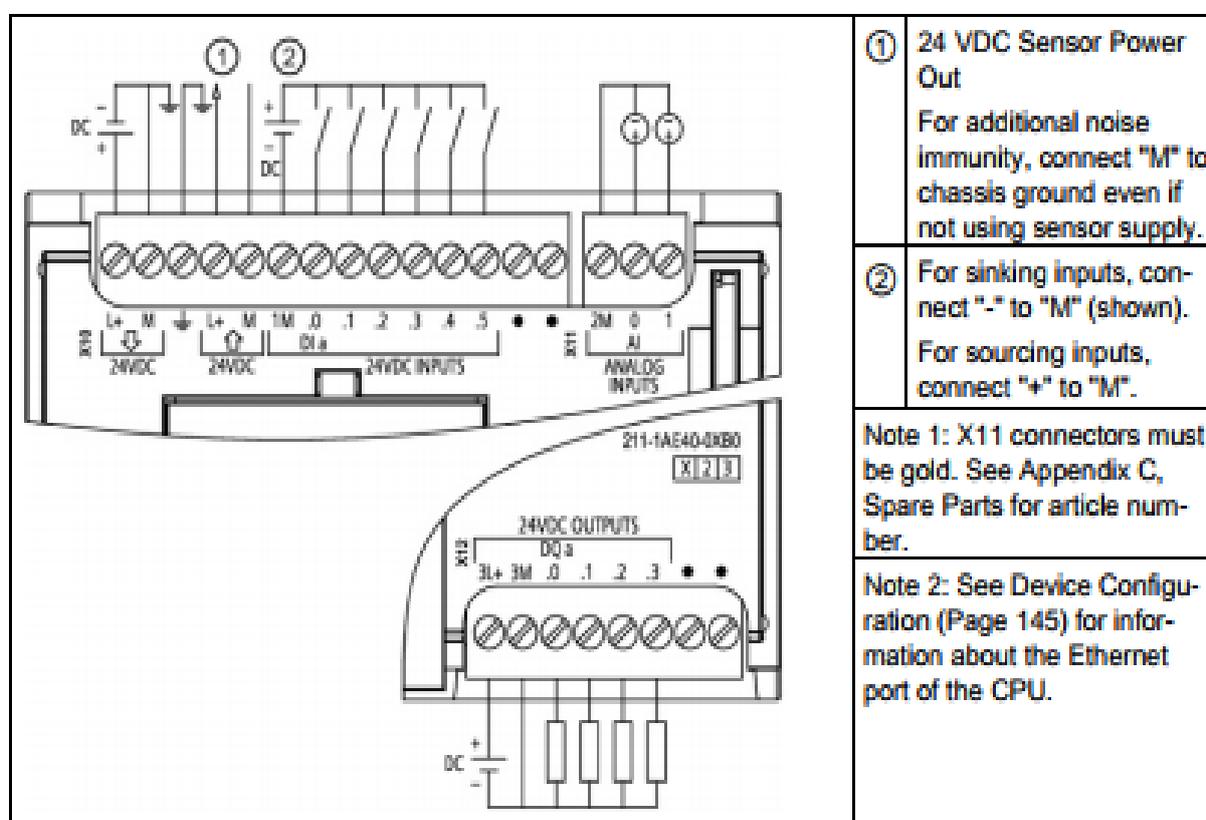


Table A-28 Connector pin locations for CPU 1211C DC/DC/DC (6ES7 211-1AE40-0XB0)

Pin	X10	X11 (gold)	X12
1	L+ / 24 VDC	2 M	3L+
2	M / 24 VDC	AI 0	3M
3	Functional Earth	AI 1	DQ a.0
4	L+ / 24 VDC Sensor Out	--	DQ a.1
5	M / 24 VDC Sensor Out	--	DQ a.2
6	1M	--	DQ a.3
7	DI a.0	--	No connection
8	DI a.1	--	No connection
9	DI a.2	--	--
10	DI a.3	--	--
11	DI a.4	--	--
12	DI a.5	--	--
13	No connection	--	--
14	No connection	--	--

B. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL SCALALANCE w774

Industrial Wireless Communication IWLAN – Access Points IEEE 802.11n

SCALANCE W774 RJ45 for use in control cabinet

Technical specifications (continued)

Article No.	6GK5774-1FX00-0AA0 6GK5774-1FX00-0AB0 ¹⁾	Article No.	6GK5774-1FX00-0AA0 6GK5774-1FX00-0AB0 ¹⁾
Product-type designation	SCALANCE W774-1 RJ45	Product-type designation	SCALANCE W774-1 RJ45
Product properties, functions, components general		Product functions DHCP	
Product function		Product function	
• Access Point Mode	Yes	• DHCP client	Yes
• Client Mode	Yes	• in Client Mode DHCP server via LAN	No
Number of SSIDs	4	Product functions Redundancy	
Product function		Protocol is supported STP/RSTP	-
• iPCF Access Point	in preparation	Product functions Security	
• iPCF client	in preparation	Product function	
• iPCF-MC Access Point	-	• ACL - MAC-based	No
• iPCF-MC client	in preparation	• Management security, ACL-IP based	Yes
Number of iPCF-capable radio modules	1	• IEEE 802.1x (radius)	Yes
Product functions management, configuration		• NAT/NAPT	No
		• access protection according to IEEE802.11i	Yes
		• WPA/WPA2	Yes

Industrial Wireless Communication IWLAN – Access Points IEEE 802.11n

SCALANCE W774 RJ45 for use in control cabinet

Technical specifications

Article No.	6GK5774-1FX00-0AA0 6GK5774-1FX00-0AB0 ¹⁾	Article No.	6GK5774-1FX00-0AA0 6GK5774-1FX00-0AB0 ¹⁾
Product-type designation	SCALANCE W774-1 RJ45	Product-type designation	SCALANCE W774-1 RJ45
Transmission rate		Supply voltage, current consumption, power loss	
Transmission rate		Type of supply voltage	DC
• with W-LAN maximum	300 Mbit/s	Supply voltage	
• with Industrial Ethernet	10 ... 100 Mbit/s	• 1 from terminal block	19.2 V
• note	-	• 2 from terminal block	28.8 V
Interfaces		• from Power-over-Ethernet according IEEE802.3at for type 1 and IEEE802.3af	48 V
Number of electrical connections		• from Power-over-Ethernet according IEEE802.3at for type 2	-
• for network components and terminal equipment	2	Current consumed	
• for power supply	1	• at 24 V with DC typical	0.25 A
• for redundant power supply	1	• with Power-over-Ethernet according to IEEE802.3at for type 1 and IEEE802.3af typical	0.125 A
Design of the electrical connection		• with Power-over-Ethernet according to IEEE802.3at for type 2 typical	-
• for network components and terminal equipment	RJ45 socket	• NEMA4X	-
• for power supply	4-pole screw terminal, PoE	• Power-over-Ethernet according IEEE802.3at for type 1 and IEEE802.3af	Yes
Number of optical interfaces for optical waveguide at 100 Mbit/s	-	• Power-over-Ethernet according to IEEE802.3at for type 2	Yes
• SNMP v2	Yes	Standard for wireless communication	
• SNMP v3	Yes	• IEEE 802.11a	Yes
• DCP	Yes	• IEEE 802.11b	Yes
• LLDP	Yes	• IEEE 802.11e	Yes
Identification & maintenance function		• IEEE 802.11g	Yes
• I&MO - device-specific information	Yes	• IEEE 802.11h	Yes
• I&M1 – higher level designation/ location designation	Yes	• IEEE 802.11i	Yes
Product functions Diagnosis		• IEEE 802.11n	Yes
Product function		Wireless approval	You will find the current list of countries at: www.siemens.com/wireless-approvals
• PROFINET IO diagnosis	in preparation	Accessories	
• localization via Aeroscout	in preparation	Accessories	24 V DC screw terminal included in scope of delivery
• SysLog	Yes		
Product functions VLAN			
Product function function VLAN with IWLAN	Yes		

Industrial Wireless Communication

IWLAN – Client Modules IEEE 802.11n

SCALANCE W734 RJ45 for use in control cabinet

Technical specifications (continued)

Article No.	6GK5734-1FX00-0AA0 6GK5734-1FX00-0AB0 ¹⁾	Article No.	6GK5734-1FX00-0AA0 6GK5734-1FX00-0AB0 ¹⁾
Product-type designation	SCALANCE W734-1 RJ45	Product-type designation	SCALANCE W734-1 RJ45
Product functions management, configuration		Product functions Security	
Number of manageable IP addresses in client	8	Product function	
Product function		• ACL - MAC-based	No
• CLI	Yes	• Management security, ACL-IP based	Yes
• web-based management	Yes	• IEEE 802.1x (radius)	Yes
• MIB support	Yes	• NAT/NAPT	No
• TRAPs via email	Yes	• access protection according to IEEE802.11i	Yes
• Configuration with STEP 7	in preparation	• WPA/WPA2	Yes
• configuration with STEP 7 in the TIA Portal	in preparation	• TKIP/AES	Yes
• operation with IWLAN controller	-	Protocol is supported SSH	Yes
• operation with Enterasys WLAN controller	-	Product functions Time	
• forced roaming with IWLAN	No	Protocol is supported	
• WDS	No	• SNTP	Yes
Protocol is supported		• SIMATIC Time	Yes
• Address Resolution Protocol (ARP)	Yes	Standards, specifications, approvals	
• ICMP	Yes	Standard	
• Telnet	Yes	• for hazardous zone	in preparation
• HTTP	Yes	• for safety of CSA and UL	-
• HTTPS	Yes	Verification of suitability	
• TFTP	Yes	• CE mark	Yes
• SNMP v1	Yes	• EC declaration of conformity	Yes
• SNMP v2	Yes	• C-Tick	Yes
• SNMP v3	Yes	• CCC	-
• DCP	Yes	• Railway application in accordance with EN 50155	-
• LLDP	Yes	• e1 approval	-
Identification & maintenance function		• E1 approval	-
• I&M0 - device-specific information	Yes	• NEMA4X	-
• I&M1 - higher level designation/location designation	Yes	• Power-over-Ethernet according IEEE802.3at for type 1 and IEEE802.3af	Yes
Product functions Diagnosis		• Power-over-Ethernet according to IEEE802.3at for type 2	Yes
Product function		Standard for wireless communication	
• PROFINET IO diagnosis	in preparation	• IEEE 802.11a	Yes
• localization via Aeroscout	No	• IEEE 802.11b	Yes
• SysLog	Yes	• IEEE 802.11e	Yes
Product functions VLAN		• IEEE 802.11g	Yes
Product function function VLAN with IWLAN	No	• IEEE 802.11h	Yes
Product functions DHCP		• IEEE 802.11i	Yes
Product function		• IEEE 802.11n	Yes
• DHCP client	Yes	Wireless approval	You will find the current list of countries at: www.siemens.com/wireless-approvals
• in Client Mode DHCP server via LAN	No	Accessories	
Accessories		Accessories	24 V DC screw terminal included in scope of delivery

Ordering data	Article No.	More information
<p><i>SCALANCE W734 Client Modules</i></p> <p>IWLAN Ethernet client modules with built-in wireless interface; wireless networks IEEE 802.11a/b/g/h/n at 2.4/5 GHz up to 300 Mbit/s; WPA2/AES; integrated 2-port switch; Power over Ethernet (PoE), IP30 degree of protection (-20 °C to +60 °C); scope of delivery: Mounting hardware, 4-pin screw terminal for 24V DC; manual on CD-ROM; German/English</p>		<p>Selection tools:</p> <p>To assist in selecting Industrial Ethernet components, the TIA Selection Tool is available at: http://www.siemens.com/tia-selection-tool</p>
<p>SCALANCE W734-1 RJ45</p> <p>for managing the wireless connection of up to eight linked devices with Industrial Ethernet connection</p> <ul style="list-style-type: none"> National approvals for operation outside the USA National approvals for operation within the USA ¹⁾ 	<p>6GK5734-1FX00-0AA0</p> <p>6GK5734-1FX00-0AB0</p>	<p>Wireless approvals:</p> <p>Current approvals can be found on the Internet at: http://www.siemens.com/wireless-approvals</p>
<p><i>Accessories</i></p>		
<p>KEY-PLUG W740 iFeatures</p> <p>Swap medium for enabling additional iFeatures, for simple device replacement if a fault occurs and for storage of configuration data; can be used in SCALANCE W client modules with PLUG compartment</p>	<p>6GK5907-4PA00</p>	
<p>C-PLUG</p> <p>Swap medium for simple replacement of devices if a fault occurs; for storing configuration data; can be used in SIMATIC NET products with PLUG compartment</p>	<p>6GK1900-0AB00</p>	
<p>IE FC RJ45 Plug 180 2 x 2</p> <p>RJ45 plug connector for Industrial Ethernet with a rugged metal enclosure and integrated insulation-displacement contacts for connecting Industrial Ethernet FC installation cables; with a 180° cable outlet; for network components and CPs/CPUs with Industrial Ethernet interface</p> <ul style="list-style-type: none"> 1 pack = 1 unit 1 pack = 10 units 1 pack = 50 units 	<p>6GK1901-1BB10-2AA0</p> <p>6GK1901-1BB10-2AB0</p> <p>6GK1901-1BB10-2AE0</p>	
<p>IE FC Standard Cable GP 2 x 2</p> <p>4-core, shielded TP installation cable for connection to IE FC outlet RJ45 plug / IE FC RJ45 plug; PROFINET-compliant; with UL approval Sold by the meter max. quantity 1 000 m minimum order 20 m</p>	<p>6XV1840-2AH10</p>	
<p>IE FC Stripping Tool</p> <p>Preadjusted stripping tool for fast stripping of the Industrial Ethernet FC cables</p>	<p>6GK1901-1GA00</p>	
<p><i>Antennas and miscellaneous IWLAN accessories</i></p>	<p>See Industrial Wireless LAN/accessories</p>	

C. DIAGRAMAS DEL PANEL ELÉCTRICO

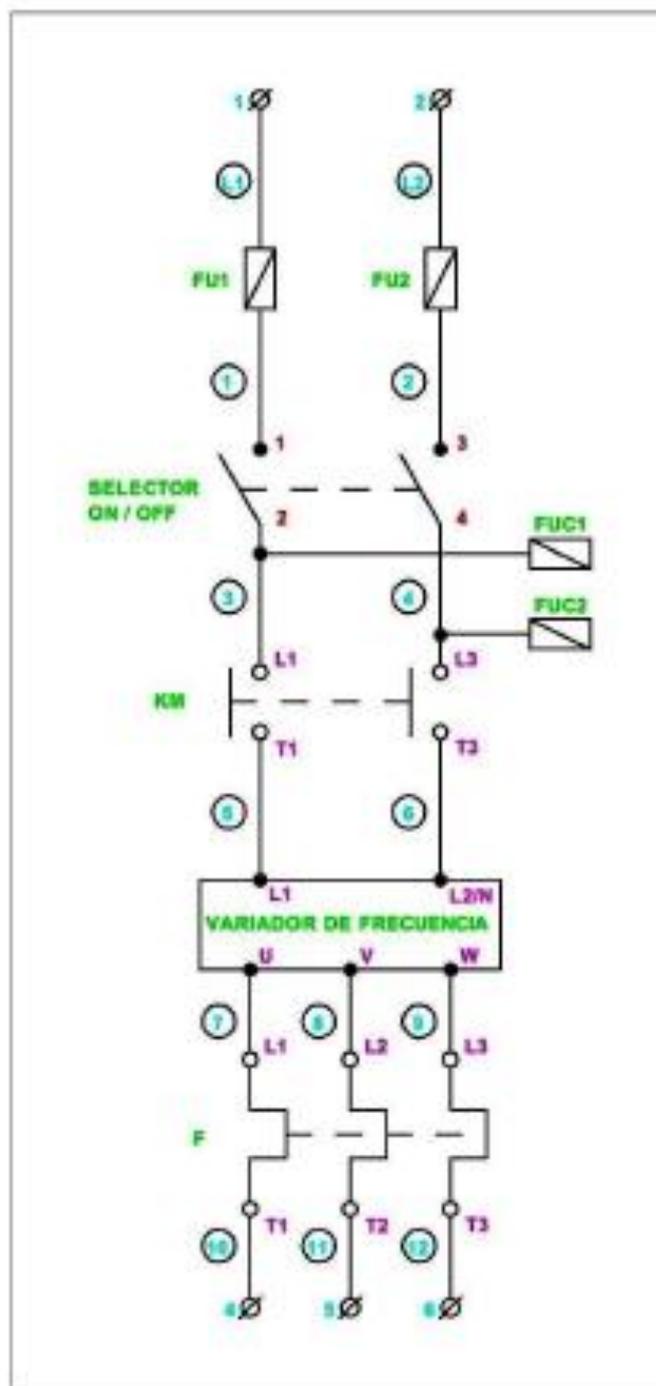


Diagrama de fuerza

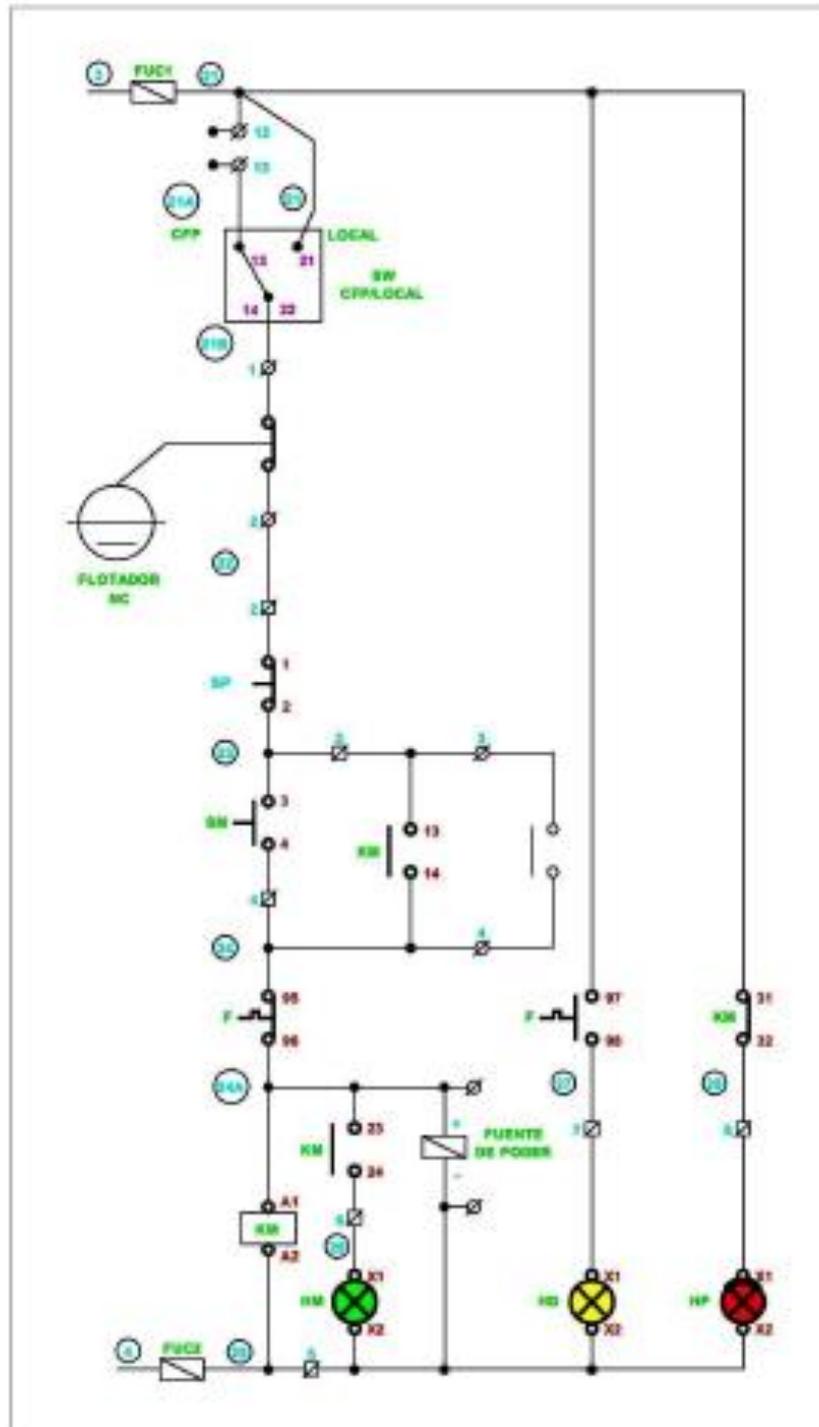


Diagrama de control

D. TABLA DE CALIBRACIÓN DE LOS SENSORES

CALIBRACION DE SENSORES					
TANQUE #1		TANQUE #2		TANQUE #3	
ALTURA	VOLTAJE	ALTURA	VOLTAJE	ALTURA	VOLTAJE
55	722,65625	48	683,59375	37,2	605,46875
54,5	725,09765	47,5	688,47656	36,5	610,35156
54	715,33203	47	705,56640	36	595,70312
53,5	732,42187	46,5	664,0625	35,5	610,35156
53	715,33203	46	668,94531	35	595,70312
52,5	715,33203	45,5	659,17968	34,5	598,14453
52	710,44921	45	651,85546	34	600,58593
51,5	703,125	44,3	639,64843	33,3	598,14453
51	705,56640	44	646,97265	32,5	593,26171
50,5	702,53645	43,5	644,53125	32	590,82031
50	698,24218	43	654,29687	31,5	573,73046
49,5	688,476562	42,5	632,32421	31	566,40625
49	695,800781	42	632,324219	30,3	581,05468
48,5	683,59375	41,5	629,882812	29,4	563,96484
48	678,710937	41	634,765625	28,7	566,40625
47,5	673,828125	40,5	627,441406	28	566,40625
47	668,945312	40	612,792969	27	566,40625
46,5	654,296875	39,5	637,207031	26,5	546,875
46	668,945312	39	634,765625	25,7	532,226562
45,5	668,945312	38,5	627,441406	25	544,433594
45	654,296875	37,5	607,910156	24,5	541,992187
44,5	649,414062	37	612,792969	24	534,667969
44	646,972656	36,5	603,027344	23,2	544,433594
43,5	646,972656	36	605,46875	22,5	522,460937
43	654,296875	35,5	603,027344	21,5	520,019531
42,5	654,296875	35	605,46875	20,6	515,136719
42	639,648437	34,5	598,144531	20	495,605469
41,5	642,089844	34	588,378906	18,8	498,046875
41	642,08984	33,5	588,378906	18	490,722656
40,5	632,324219	33	578,613281	17,5	485,839844
40	627,441406	32,5	590,82031	16	495,605469
39,5	627,441406	32	573,73046	15	473,632812
39	634,765625	31,5	583,496094	13,5	468,75
38,5	627,441406	31	573,730469	11,5	449,21875

38	622,558594	30,5	576,171875	10,5	456,542969
37,5	625	30	573,730469	9,5	444,335937
37	605,46875	29,5	566,40625	8,2	444,335937
36,5	612,792969	29	559,082031	7	434,570312
36	612,792969	28,5	559,082031	6	427,246094
35,5	622,558594	28	546,875	4,6	410,15625
35	610,351562	27,5	554,199219	37,2	620,117187
34,5	603,02734	27	549,316406	36,5	617,675781
34	603,027344	26,5	561,523437	36	610,351562
33,5	593,261719	26	549,316406	35,5	598,144531
33	590,820312	25,5	532,226562	35	598,14453
32,5	583,496094	25	539,550781	34,5	605,46875
32	573,730469	24,5	522,460937	34	605,46875
31,5	585,9375	24	532,226562	33,3	581,054687
31	578,613281	23,5	527,34375	32,5	588,378906
30,5	576,171875	23	529,785156	32	583,496094
30	576,171875	22,5	524,902344	31,5	585,9375
29,5	583,496094	22	510,253906	31	583,496094
29	571,289062	21,5	505,371094	30,3	585,9375
28,5	561,523437	21	520,019531	29,4	573,730469
28	566,40625	20,5	515,136719	28,7	563,964844
27,5	561,523437	19,5	510,253906	28	554,199219
27	561,523437	19	493,164062	27	556,640625
26,5	554,199219	18,5	507,8125	26,5	549,316406
26	546,875	18	493,164062	25,7	546,875
25,5	546,875	17,5	485,839844	25	539,550781
25	544,433594	17	493,164062	24,5	541,992187
24,5	537,109375	16	483,398437	24	527,34375
24	549,316406	15	478,515625	23,2	537,109375
23,5	527,34375	14,5	473,632812	22,5	527,34375
23	524,902344	14	468,75	21,5	524,902344
22,5	529,785156	13,5	466,308594	20,6	517,578125
22	527,34375	13	473,632812	20	510,253906
21,5	527,34375	12,5	456,542969	18,8	505,371094
21	522,460937	12	454,101562	18	493,164062
20,5	498,046875	11,1	463,867187	17,5	488,28125
20	520,019531	10,4	446,777344	16	483,398437
19,5	502,929687	10	449,21875	15	483,398437
19	515,136719	48	690,917969	13,5	466,308594

18,5	505,371094	47,5	671,386719	11,5	456,542969
18	522,460937	47	678,710937	10,5	444,335937
17,5	493,164062	46,5	659,179687	9,5	446,777344
17	483,398437	46	673,828125	8,2	434,570312
16,5	495,605469	45,5	671,386719	7	429,6875
16	483,398437	45	659,179687	6	434,570312
15,5	478,515625	44,3	651,855469	4,6	417,480469
15	480,957031	44	649,414062	37,2	603,027344
14,5	476,074219	43,5	654,296875	36,5	610,351562
14	468,75	43	646,972656	36	603,027344
13,5	476,074219	42,5	634,765625	35,5	610,351562
13	466,308594	42	637,207031	35	605,46875
12,5	466,308594	41,5	632,324219	34,5	593,261719
12	468,75	41	639,648437	34	590,820312
11,5	449,21875	40,5	625	33,3	585,9375
11	456,542969	40	629,882812	32,5	598,144531
10,5	461,425781	39,5	625	32	588,378906
10	451,660156	39	622,558594	31,5	583,496094
9,5	451,660156	38,5	620,117187	31	573,730469
9	451,660156	37,5	612,792969	30,3	566,40625
8,5	439,453125	37	605,46875	29,4	571,289062
8	444,335937	36,5	610,351562	28,7	561,523437
7,5	434,570312	36	600,585937	28	559,082031
7	427,246094	35,5	598,144531	27	522,460937
6,5	434,570312	35	595,703125	26,5	554,199219
6	419,921875	34,5	600,585937	25,7	551,757812
5,5	424,804687	34	585,9375	25	544,433594
5	424,804687	33,5	593,261719	24,5	539,550781
55	715,332031	33	588,378906	24	534,667969
54,5	727,539062	32,5	578,613281	23,2	524,902344
54	712,890625	32	568,847656	22,5	532,226562
53,5	720,214844	31,5	571,289062	21,5	507,8125
53	712,890625	31	578,613281	20,6	510,253906
52,5	710,449219	30,5	563,964844	20	505,371094
52	708,007812	30	563,964844	18,8	507,8125
51,5	710,449219	29,5	559,082031	18	500,488281
51	700,683594	29	563,964844	17,5	478,515625
50,5	701,115	28,5	563,964844	16	476,074219
50	703,125	28	546,875	15	476,074219

49,5	693,359375	27,5	554,199219	13,5	483,398437
49	690,917969	27	556,640625	11,5	468,75
48,5	688,476562	26,5	544,433594	10,5	461,425781
48	678,710937	26	571,289062	9,5	446,777344
47,5	678,710937	25,5	554,199219	8,2	444,335937
47	671,386719	25	541,992187	7	429,6875
46,5	678,710937	24,5	537,109375	6	424,804687
46	671,386719	24	517,578125	4,6	400,390625
45,5	664,0625	23,5	520,019531		
45	666,503906	23	527,34375		
44,5	656,738281	22,5	529,785156		
44	654,296875	22	524,902344		
43,5	666,503906	21,5	517,578125		
43	644,53125	21	510,253906		
42,5	649,414062	20,5	502,929687		
42	649,414062	19,5	502,929687		
41,5	649,414062	19	507,8125		
41	634,765625	18,5	490,722656		
40,5	634,765625	18	490,722656		
40	632,324219	17,5	493,164062		
39,5	632,324219	17	485,839844		
39	632,324219	16	478,515625		
38,5	629,882812	15	466,308594		
38	617,675781	14,5	476,074219		
37,5	627,441406	14	471,191406		
37	620,117187	13,5	471,191406		
36,5	620,117187	13	458,984375		
36	610,351562	12,5	463,867187		
35,5	605,46875	12	466,308594		
35	598,144531	11,1	444,335937		
34,5	590,820312	10,4	449,21875		
34	588,378906	10	444,335937		
33,5	598,144531	48	656,73828		
33	598,144531	47,5	651,855469		
32,5	588,378906	47	661,621094		
32	585,9375	46,5	673,828125		
31,5	568,847656	46	656,738281		
31	566,40625	45,5	646,972656		
30,5	578,613281	45	664,0625		

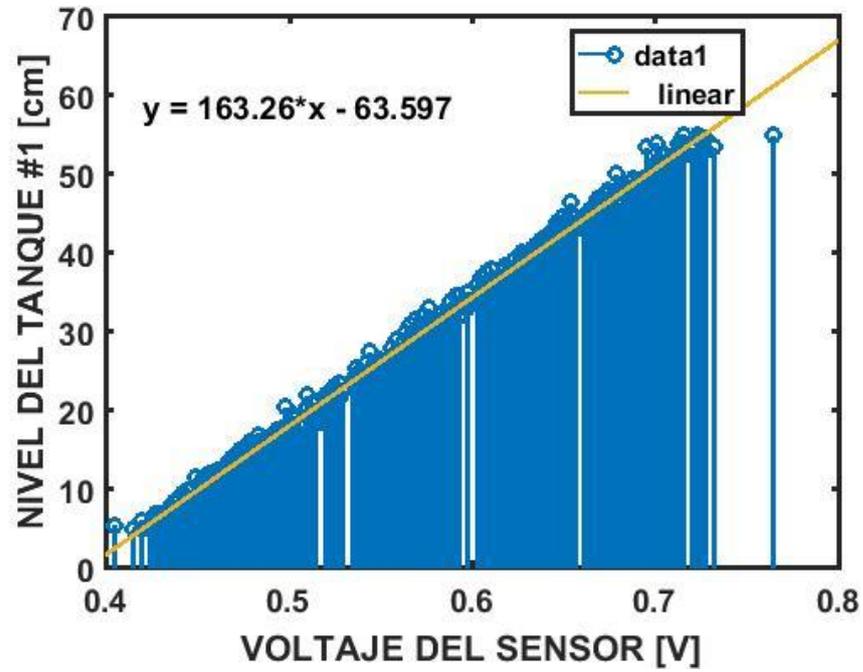
30	581,054687	44,3	644,53125
29,5	573,730469	44	656,738281
29	569,710469	43,5	649,414062
28,5	566,40625	43	644,53125
28	556,640625	42,5	651,855469
27,5	559,082031	42	659,179687
27	566,40625	41,5	639,648437
26,5	549,316406	41	632,324219
26	551,757812	40,5	637,207031
25,5	549,316406	40	620,117187
25	539,550781	39,5	632,324219
24,5	539,550781	39	625
24	544,433594	38,5	617,675781
23,5	537,109375	37,5	620,117187
23	537,10937	37	615,234375
22,5	539,550781	36,5	598,144531
22	510,253906	36	607,910156
21,5	520,019531	35,5	603,027344
21	520,019531	35	607,910156
20,5	522,460937	34,5	598,144531
20	522,460937	34	598,144531
19,5	515,136719	33,5	588,378906
19	502,929687	33	583,496094
18,5	500,488281	32,5	578,613281
18	498,046875	32	566,40625
17,5	500,488281	31,5	588,378906
17	495,605469	31	566,40625
16,5	488,28125	30,5	581,054687
16	478,515625	30	571,289062
15,5	488,28125	29,5	573,730469
15	473,632812	29	563,964844
14,5	473,632812	28,5	559,082031
14	473,632812	28	549,316406
13,5	480,957031	27,5	554,199219
13	468,75	27	549,316406
12,5	463,867187	26,5	554,199219
12	458,984375	26	544,433594
11,5	463,867187	25,5	546,875
11	458,984375	25	534,667969

10,5	458,984375	24,5	539,550781
10	461,425781	24	539,550781
9,5	454,101562	23,5	532,226562
9	444,335937	23	529,785156
8,5	446,777344	22,5	522,460937
8	441,894531	22	527,34375
7,5	437,011719	21,5	517,578125
7	434,570312	21	512,695312
6,5	432,128906	20,5	512,695312
6	427,246094	19,5	512,695312
5,5	405,273437	19	498,046875
5	415,039062	18,5	507,8125
55	764,160156	18	498,046875
54,5	722,65625	17,5	498,046875
54	700,683594	17	488,28125
53,5	695,800781	16	488,28125
53	727,539062	15	476,074219
52,5	705,566406	14,5	473,632812
52	712,890625	14	466,308594
51,5	700,683594	13,5	476,074219
51	703,125	13	461,425781
50,5	700,2363	12,5	476,074219
50	678,710937	12	461,425781
49,5	688,476562	11,1	451,660156
49	686,035156	10,4	451,660156
48,5	690,917969	10	454,101562
48	673,828125		
47,5	686,035156		
47	686,035156		
46,5	681,152344		
46	676,269531		
45,5	671,386719		
45	664,0625		
44,5	649,414062		
44	661,621094		
43,5	664,0625		
43	656,738281		
42,5	651,855469		
42	644,53125		

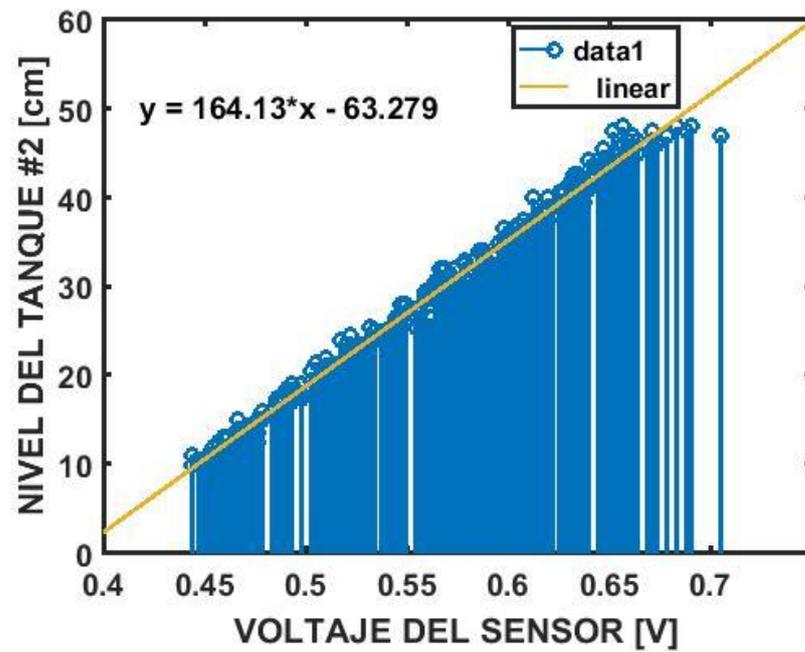
41,5	637,207031
41	637,207031
40,5	637,207031
40	637,207031
39,5	644,53125
39	622,558594
38,5	617,675781
38	610,351562
37,5	607,910156
37	617,675781
36,5	615,234375
36	603,027344
35,5	612,792969
35	612,792969
34,5	593,261719
34	598,144531
33,5	593,261719
33	576,171875
32,5	583,496094
32	593,261719
31,5	576,171875
31	573,730469
30,5	585,9375
30	563,964844
29,5	568,847656
29	559,082031
28,5	568,847656
28	556,640625
27,5	544,433594
27	571,289062
26,5	563,964844
26	541,992187
25,5	537,109375
25	549,316406
24,5	541,992187
24	534,667969
23,5	534,667969
23	549,316406
22,5	524,902344

22	520,019531
21,5	524,902344
21	512,695312
20,5	510,253906
20	515,136719
19,5	512,695312
19	512,69531
18,5	515,136719
18	507,8125
17,5	493,164062
17	493,164062
16,5	490,722656
16	485,839844
15,5	478,515625
15	478,515625
14,5	478,515625
14	471,191406
13,5	473,632812
13	471,191406
12,5	461,425781
12	456,542969
11,5	454,101562
11	468,75
10,5	458,9843
10	444,3359
9,5	441,8945
9	449,21875
8,5	437,0117
8	441,8945
7,5	441,8945
7	429,6875
6,5	427,2460
6	432,1289
5,5	427,2460
5	419,9218

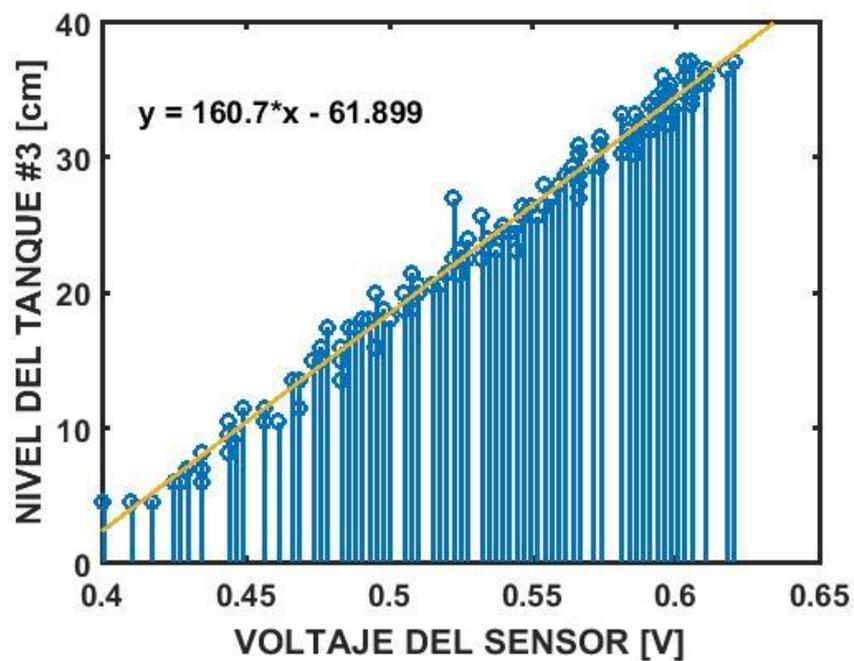
REGRESIÓN LINEAL TANQUE #1



REGRESIÓN LINEAL TANQUE #2



REGRESIÓN LINEAL DEL TANQUE #3



E. MEDICIÓN DEL CAUDAL

v	3,575			
h	10	20	30	40
t	14,24	7,95	7,93	7,93
v	3,65			
h	10	20	30	40
t	13,06	7,13	7,22	7,23
v	3,7			
h	10	20	30	40
t	10,26	6,62	6,69	7,06
v	3,75			
h	10	20	30	40
t	11,19	6,47	6,18	6,51

v	3,8			
h	10	20	30	40
t	13,08	6,18	5,96	6,24
v	3,45			
h	10	20	30	40
t	16,16	9,12	9,18	9,24
v	3,4			
h	10	20	30	40
t	16,27	9,89	9,84	10,35
v	3,35			
h	10	20	30	40
t	17,07	11	10,87	11,04
v	3,3			
h	10	20	30	40
t	17,64	11,96	12,26	12,33

F. TABLA DE DATOS CAUDAL VS VOLTAJE APLICADO AL VARIADOR DE FRECUENCIA

V _{vf}	V	t	Q
3,575	2250	7,95	283,018868
3,575	2250	7,93	283,732661
3,575	2250	7,93	283,732661
3,65	2250	7,13	315,568022
3,65	2250	7,22	311,634349
3,65	2250	7,23	311,20332
3,7	2250	6,62	339,879154
3,7	2250	6,69	336,32287
3,7	2250	7,06	318,696884
3,75	2250	6,47	347,758887
3,75	2250	6,18	364,07767
3,75	2250	6,51	345,62212
3,8	2250	6,18	364,07767
3,8	2250	5,96	377,516779
3,8	2250	6,24	360,576923
3,45	2250	9,12	246,710526
3,45	2250	9,18	245,098039
3,45	2250	9,24	243,506494
3,4	2250	9,89	227,502528
3,4	2250	9,84	228,658537
3,4	2250	10,35	217,391304
3,35	2250	11	204,545455
3,35	2250	10,87	206,99172
3,35	2250	11,04	203,804348
3,3	2250	11,96	188,12709
3,3	2250	12,26	183,523654
3,3	2250	12,33	182,481752