



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

IMPLMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIL (HARDWARE IN THE LOOP) PARA EL CONTROL DE NIVEL

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Electromecánico

Autor:

Bonilla Correa Brayan Alexander

Tutor Académico:

Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez

LATACUNGA- ECUADOR

2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Bonilla Correa Brayan Alexander, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIL (HARDWARE IN THE LOOP) PARA EL CONTROL DE NIVEL”, siendo el Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez tutor del presente Trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, agosto 2021

Bonilla Correa Brayan Alexander

C.C. 050394422-5



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIL (HARDWARE IN THE LOOP) PARA EL CONTROL DE NIVEL”, del ponente : Bonilla Correa Brayan Alexander, de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto 2021

Ing. MSc. Luigi Orlando Freire Martínez

C.C. 0502529589



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el postulante: Bonilla Correa Brayan Alexander con el título de Proyecto de titulación:

“IMPLMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIL (HARDWARE IN THE LOOP) PARA EL CONTROL DE NIVEL”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto 2021

Para constancia firman:

.....

Lector 1 (Presidente)

Ing. Jefferson Alberto Porras Reyes

C.C: 0704400449

.....

Lector 2

Ing. Cristian Fabián Gallardo Molina

C.C: 0502847692

.....

Lector 3

Ing. Byron Paúl Corrales Bastidas

C.C: 0502347768



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios de todo corazón por haberme dado esta oportunidad de existir, a mi madre por toda la paciencia, esfuerzo y sacrificios que ha hecho por mí, dándome ánimos de forma incondicional y sin titubear para llegar a este día, al Sr Fabián Albán que está ahí para dar apoyo y consejos en las buenas y en las malas.

Agradecer a toda mi familia con la que siempre conté de manera incondicional en todos los aspectos de mi vida y de manera especial a mi tía, que la considero como mi segunda madre su apoyo moral ha sido fundamental en esta etapa tan esperada; ya que es una de las personas más importantes de mi vida.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi por darme la oportunidad de convertirme en un profesional y a la carrera de ingeniería electromecánica que me supo acoger durante toda mi formación universitaria.

Como no mencionar a todos aquellos profesionales que conocí a lo largo de mi formación que me supieron transmitir sus conocimientos y las estrategias para culminar con éxito mi carrera, a mi tutor Ing. MSc. Luigi Freire mi más profunda consideración y gratitud.

Bonilla Brayan



DEDICATORIA

En lo que llevo de años de vida eh aprendido que hay muchas cosas para las que soy bueno, pero varias de estas cosas me han llevado a elegir mi futuro como profesional, durante el desarrollo de este trabajo se me presentaron momentos en los cuales estuve completamente estancado, llegaba a pensar que me había equivocado pero siempre tenía a mi madre ahí dándome ánimos, claramente sin ella no lo hubiera logrado de esto aprendí, que solo es cuestión de tiempo, dedicación y encontrar las herramientas adecuadas para que las ideas fluyan.

Finalmente es para mí con gran orgullo y satisfacción decirles a todas las personas que me apoyaron durante este trayecto tanto amigos como familiares gracias por ser parte de mi vida y por todo el apoyo que me han brindado.

Bonilla Brayan

ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xvi
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. EL PROBLEMA.....	2
2.1.1. Situación Problémica.....	2
2.1.2. Formulación del problema	2
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.2.1. Objeto de estudio.....	3
2.2.2. Campo de acción	3
2.3. BENEFICIARIOS.....	3
2.4. JUSTIFICACIÓN	4
2.5. HIPÓTESIS.....	4
2.6. OBJETIVOS	4
2.6.1 Objetivo General	4
2.6.2 Objetivos Específicos.....	4

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1. ANTECEDENTES	7
3.2. SISTEMA EMBEBIDO.....	9
3.3. HARDWARE	9
3.4. SOFTWARE	10
3.5. RASPBERRY PI 4 ENTRADAS Y SALIDAS.....	11
3.6. PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA RASPBERRY PI	13
3.7. MYOPENLAB.....	13
3.7.1. Interface de entrada/Salida Arduino.....	14
3.7.2. Interface firmata para Arduino.....	14
3.7.3. Elementos GPIO para Raspberry Pi	15
3.8. MICROCONTROLADOR	16
3.9. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES	17
3.9.1. Estructura general de los PLC	17
3.9.2. Componentes de Hardware	18
3.9.3. Tipos de PLC.....	19
3.10. TIA PORTAL	22
3.10.1. Ventajas.....	22
3.10.2. Sistema de ingeniería	23
3.11. CONTROL LAZO ABIERTO Y CERRADO.....	23
3.10.1. Sistema de control en lazo abierto.....	23
3.11.2. Sistema de control en lazo cerrado.....	24
3.11.3. Componentes del Sistema de Control	24
3.12. DINÁMICA DE PROCESOS.....	27
3.12.1. Nivel.....	27
3.12.2. Nivel de líquidos en tanques abiertos y cerrados	28
3.13. ECUACIÓN DE BERNOULLI.....	31

3.13.1. Restricciones a la ecuación de Bernoulli.....	33
3.13.2. Aplicaciones de la ecuación de Bernoulli	34
3.13.3. Procedimiento para aplicar la ecuación de Bernoulli.....	34
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	35
4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	35
4.2. Esquema general del proyecto	35
4.3. TANQUES.....	35
4.3.1 Tanque principal.....	35
4.3.2. Dimensionamiento del tanque.....	36
4.3.3. Tuberías.....	36
4.4. PARÁMETROS TÉCNICOS DE LA BOMBA DE AGUA TRIFÁSICA	37
4.5. TIEMPO DE LLENADO Y VACIADO DE LA PLANTA.....	38
4.5.1. Vaciado de planta	38
4.5.2. Llenado de planta	39
4.6. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS.....	39
4.6.1. Características kit full Raspberry Pi 4 8GB	39
4.6.2. Programación de Raspbian en la Raspberry Pi 4	40
4.6.3. Diseño de placa electrónica.....	41
4.7. DISEÑO DE CARCASA DE PLANTA.....	49
4.8. PROCESO EN MYOPENLAB	49
4.8.1. Instalación	49
4.8.2. Comunicación serial MyOpenLab	50
4.8.3. Diseño de entorno virtual	51
4.9. PROGRAMACIÓN PLC S7-1200	53
4.9.1 Normalizado y escalamiento de la señal analógica en la entrada	53
4.9.2. Normalizado y escalamiento de la señal analógica de salida.....	54
4.10. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN.....	57

4.10.1. Estimación en lazo abierto	57
4.10.2. Estimación lazo cerrado	58
4.11. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN	58
4.11.1. Auto sintonización Simatic Step 7 Basic	58
4.11.3. PID ideal.....	59
4.11.3.1. HAY.....	60
4.11.4. Método lambda.....	60
4.11.5. Método de tanteo.....	60
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	61
5.1. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO	61
5.2. MODELAMIENTO DE LÍNEA DE TENDENCIA	62
5.3. SINTONIZACIÓN POR SOFTWARE	63
5.3.1. Sintonización TIA Portal.....	63
5.3.1. Sintonización Matlab.....	63
5.4. PID IDEAL	64
5.4.1. Parámetros de Hay	64
5.5. SINTONIZACIÓN LAMBDA	65
5.6. COMPARACIÓN ENTRE TODAS LAS SINTONIZACIONES	67
5.7. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA.....	68
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
6.1. CONCLUSIONES	68
6.2. RECOMENDACIONES.....	69
7. BIBLIOGRAFÍA	70
8. ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Tareas por objetivos	5
---------------------------------------	---

Tabla 3.1 Especificaciones generales	21
Tabla 4.1. Tuberías presión Pavco Wavin	37
Tabla 4.2 Parámetros de bomba 240LPMHME200	38
Tabla 4.3 Componentes primordiales de placa.....	42
Tabla 4.4. Comparación de reguladores DC DC	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Diagrama causa-efecto	3
Figura 3.1. Pines GPIO de la Raspberry Pi esquema valido para la versión 4, 3, Zero	12
Figura 3.2. Interface entrada/salida Arduino	14
Figura 3.3. Ejemplo Firmarta	15
Figura 3.4. Elementos GPIO para Raspberry Pi	16
Figura 3.5. Arduino Mega	17
Figura 3.6. Diagrama generalizado de un PLC	18
Figura 3.7. Organización modular del PLC siemens S7-300	18
Figura 3.8. Ejemplos de PLC compactos	20
Figura 3.9. Ejemplos PLC modular	20
Figura 3.10. PLC S7- 1200	21
Figura 3.11. Utilización de TIA Portal	22
Figura 3.12. Sistema de ingeniería unitario	23
Figura 3.13. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto	24
Figura 3.14. Diagrama de bloques de sistema de control en lazo cerrado	24
Figura 3.15. Diagrama de bloques de un sistema de control realimentado y sus elementos básicos	25
Figura 3.16. Elementos Primarios de control de nivel	28
Figura 3.17. Mirilla de flujo con transmisor digital en la parte superior.....	29
Figura 3.18. Medición de nivel por burbujeo en tanque abierto.....	30

Figura 3.19. Transmisor ultrasónico de nivel de líquidos	31
Figura 3.20. Carga de presión, carga de elevación, carga de velocidad y carga total	32
Figura 4.1. Esquema del proyecto	35
Figura 4.2. Descarga de sistema operativo Raspbian	40
Figura 4.3. Instalación de Raspbian mediante etcher	41
Figura 4.4. Entorno de sistema operativo Raspbian	41
Para la correcta instalación del sistema operativo Raspbian y MyOpenLaB	41
Figura 4.5. Diseño de placa controladora de la planta de nivel.....	42
Figura 4.6. Cargador 12V 5A jsy-1205	43
Figura 4.7. Placa PCB casera.....	44
Figura 4.8. Diagrama de distribución de pines Arduino nano.....	46
Figura 4.9. Diagrama de bloques MCP 4725	47
Figura 4.10. Diseño 3D de contenedor de planta	49
Figura 4.11. Comunicación serial de la planta	50
Figura 4.11. Panel de comportamiento de variables.....	51
Figura 4.12. Panel modelo de planta y registro de datos.....	52
Figura 4.13. Entorno de planta	53
Figura 4.14. Normalizado y escalamiento de la señal analógica de entrada	54
Figura 4.15. Normalización y escalamiento de la segunda señal analógica de entrada	54
Figura 4.16. Normalizado y escalamiento de la señal analógica de salida.....	55
Figura 4.17. Recepción de valores para el control PID	55
Figura 4.18. Icono para abrir la ventana de configuración	55
Figura 4.20. Escala del valor real	56
Figura 4.21. Límites de valor de salida	57
Figura 4.22. Estimación lazo abierto	58
Figura 4.23. Estimación lazo cerrado	58
Figura 4.24. Auto sintonización TIA Portal	59

Figura 5.1. Diagrama P&ID	61
Figura 5.2. Proceso Integrante	62
Figura 5.3. Relaciones de curva sintonización TIA Portal	63
Figura 5.4. Relaciones de curva sintonización automática Matlab	64
Figura 5.5. Relaciones de curva sintonización método de HAY por proceso integrante control PID ideal.....	64
Figura 5.6. Relaciones de curva sintonización método de Skogestad por proceso integrante control PID ideal.....	65
Figura 5.7. Relaciones de curva sintonización método de Lambda por proceso integrante de primer orden	66
Figura 5.8. Relaciones de curva de sintonización método de Tanteo o afinación Lambda.....	66
Figura 5.9. Diseño en simulink.....	67
Figura 5.10. Comparación de las diversas sintonizaciones realizadas	67
Figura 5.11. Variable de proceso sometida a diversas perturbaciones	68



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
TITULO: “IMPLMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIL (HARDWARE IN THE LOOP) PARA EL CONTROL DE NIVEL”

Autor: Bonilla Correa Brayan Alexander

RESUMEN

El desarrollo de este prototipo se centra en el acceso limitado a los equipos físicos, así aparece la necesidad de crear un módulo hardware in the loop que permita remplazar los módulos físicos de una planta para el control de nivel, que son costosos para el aprendizaje de futuras generaciones de estudiantes, que cursen por materias que necesiten práctica sobre este caso en específico, en el módulo se encontraran varias señales importantes que utiliza un control de nivel como lo son: SP, PV y CV los cuales permiten determinar los parámetros que se requieren en la planta; así como la cantidad que se encuentra en las variables de las mismas y el estado del mecanismo que alimenta el control. Se implementa un sistema con hardware y software libre que permite realizar control de nivel simulado en este proyecto de tal manera las únicas variables de entrada ingresadas de forma manual serán el set point y perturbación que se enviaran a un microcontrolador el cual realiza la función de la planta de nivel, que se calcula mediante la ecuación de Bernoulli esto a su vez se mostrara en una simulación dentro del software MyOpenLab de forma didáctica para el usuario de este software, regresara la variable process value de la cual envía la cantidad que se encuentra en el tanque de nivel de regreso al microcontrolador y este a través de convertidores de señal digitales- analógicos los envía al controlador donde se realiza un PID para enviar la señal del CV o actuador al microcontrolador y este al software para completar el control de nivel y de esta forma el usuario tendrán una planta digital de control de nivel con la que puedan interactuar.

Palabras Clave: Microcontrolador, controlador, control de nivel, set point, process value, convertidor de señal digital-analógico.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING SCIENCES AND APPLIED
THEME: "IMPLEMENTATION OF A HIL SYSTEM (HARDWARE IN THE LOOP)
FOR LEVEL CONTROL"

Author: Bonilla Correa Brayan Alexander

ABSTRACT

The development of this prototype focuses on the limited access to physical equipment, thus the need to create a hardware module in the loop that allows to replace the physical modules of a plant for level control, which are expensive for learning future generations of students, who study for subjects that need practice on this specific case, the module will find several important signals that uses a level control such as: SP, PV and CV which allow to determine the parameters that are required in the plant; as well as the amount that is in the variables of the same and the state of the mechanism that feeds the control. A system is implemented with hardware and free software that allows simulated level control in this project in such a way that the only input variables entered manually will be the set point and disturbance to be sent to a microcontroller which performs the function of the level plant, which is calculated by Bernoulli's equation this in turn will be shown in a simulation within the MyOpenLab software in a didactic way for the user of this software, The process value variable, which sends the amount that is in the level tank back to the microcontroller and this through digital-analog signal converters sends them to the controller where a PID is performed to send the signal from the CV or actuator to the microcontroller and this to the software to complete the level control and thus the user will have a digital level control plant with which they can interact.

Keywords: Microcontroller, controller, level control, set point, process value, digital-analog signal converter.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de investigación al Idioma Inglés presentado por el señor Egresado de la **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA** de la **FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**: Bonilla Correa Brayan Alexander, cuyo título versa **“IMPLMENTACIÓN DE UN SISTEMA HIL (HARDWARE IN THE LOOP) PARA EL CONTROL DE NIVEL”**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, agosto del 2021

Atentamente,

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título:

“Implementación de un sistema hil (hardware in the loop) para el control de nivel.”

Fecha de inicio:

5 de abril del 2021

Fecha de finalización:

30 de julio del 2021

Lugar de ejecución:

Región Sierra, provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, parroquia San Felipe

Facultad que auspicia:

Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia:

Ingeniería Electromecánica

Equipo de Trabajo:

Tutor

Nombres: Luigi Orlando
Apellidos: Freire Martínez
Email: luigi.freire@utc.edu.ec
Cedula de identidad: 0502529589

Ponente

Nombres: Brayan Alexander
Apellidos: Bonilla Correa
Cedula de identidad: 0503944225
Email: brayan.bonilla4225@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones afines / 0714
Electrónica y automatización.

Línea de investigación:

Procesos Industriales

Sublíneas de investigación de la Carrera:

Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

2. INTRODUCCIÓN

2.1. EL PROBLEMA

2.1.1. Situación Problemática

En la actualidad los controles de nivel son dispositivos o estructuras hidráulicas cuya finalidad es garantizar el nivel del agua o un fluido en un rango de variación preestablecido.

Existen algunas diferencias en la concepción de los controles de nivel, según se trate de: canales, plantas de tratamiento, tanques de almacenamiento de agua o un embalse.

La creación de módulos físicos para casos de control de nivel de una planta requiere un coste de implementación elevado debido a los elementos que poseen.

Se puede decir que las principales causas que llevan a la creación de esta propuesta son los componentes, capacitación y mantenimiento generando efectos como precio exuberante, ámbito laboral, situaciones extremas, sistemas de control de procesos.

El diseño, construcción e implementación de un módulo HIL para procesos de control de nivel de una planta servirá para manipular actividades que requieran la utilización de controladores lógicos programables.

2.1.2. Formulación del problema

La necesidad de disponer de módulos HIL para el análisis del comportamiento de un proceso de nivel, aplicado en un control automático mediante hardware y software libre.

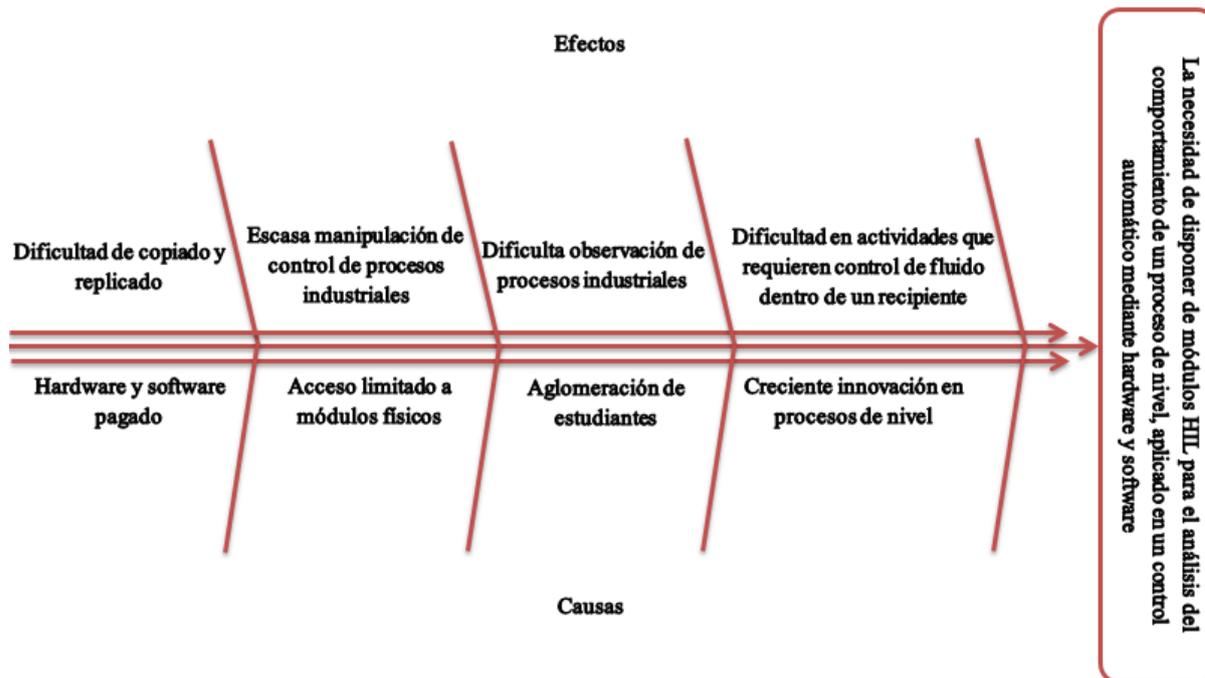


Figura 2.1. Diagrama causa-efecto

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1. Objeto de estudio

Módulo de un hardware in the loop

2.2.2. Campo de acción

33000 Ciencias Tecnológicas

3313 Tecnología e Ingenierías mecánicas

3313.25 Bombas y Equipos para Manipulación de Líquidos

2.3. BENEFICIARIOS

El presente proyecto tiene como beneficiario directo a la Universidad Técnica de Cotopaxi y como beneficiarios indirectos a estudiantes que deseen conocer cómo funciona una planta de control de nivel.

2.4. JUSTIFICACIÓN

Uno de los aportes que tiene este proyecto es reducir los costos, e incentivar a realizar más de estos trabajos a futuro, como lo es, el desarrollo de más HIL, pero de diferentes casos.

Lo relevante del proyecto es que mostrara partes principales de una interfaz de una planta de control de nivel eliminando así, casi por completo las partes físicas que esta posee, así como sus determinados sensores con la utilización de hardware y software libre.

El desarrollo del sistema didáctico HIL ayudara a que los estudiantes puedan aprovechar los PLC disponibles en el laboratorio para utilizar lenguaje de programación de bloques y ver el comportamiento de una planta de control de nivel, así como las variables que interfieren en la misma.

Lo cautivador de este proyecto que se realizara mediante la utilización de hardware y software libre haciendo de lado los inconvenientes que tienen de copiado y replicado cuando se usa hardware y software pagado por sus respectivas licencias.

2.5. HIPÓTESIS

El módulo HIL permitirá una mejor manipulación y observación de procesos industriales, así como la realización de actividades que requieran de una planta de control de nivel.

2.6. OBJETIVOS

2.6.1 Objetivo General

Desarrollar un sistema HIL (hardware in the loop) de bajo presupuesto mediante software y hardware libre de una planta de control de nivel.

2.6.2 Objetivos Específicos

- Investigar información HIL de procesos industriales en acervos bibliográficos.
- Obtener el modelo matemático que describa el comportamiento de una planta de control de nivel que permita la manipulación de procesos industriales.
- Desarrollar la programación en hardware libre para la creación del proceso de simulación de la planta de nivel.
- Implementar el entorno de simulación del proceso de nivel en MyOpenLab para el control con el PLC.

- Verificar el funcionamiento del sistema HIL mediante técnicas de control convencional comparando los datos con los módulos físicos.

2.7. SISTEMA DE TAREAS

Estas son actividades que se realizarán para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos planteados.

Tabla 2.1. Tareas por objetivos

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
-Investigar información HIL de procesos industriales en acervos bibliográficos	- Investigación de sistemas HIL en procesos industriales en acervos bibliográficos.	-Artículos científicos referentes a HIL utilizados en procesos industriales. -Proyectos similares que puedan ser de guía para el desarrollo de este trabajo	- Registros de bases de datos de artículos científicos. - Bases de datos de instituciones de nivel superior.
- Obtener el modelo matemático que describa el comportamiento de una planta de control de nivel que permita la manipulación de procesos industriales.	-Obtención de modelo matemático de módulos físicos caso control de nivel de una planta	- Función de transferencia de la planta de nivel	-Modulo físico caso control de nivel de una planta

<p>-Desarrollar la programación en hardware libre para la creación del proceso de simulación de la planta de nivel.</p>	<p>- Investigación acerca de cómo programar en hardware libre</p> <p>- Comparación de diferentes tipos de hardware libre.</p>	<p>- Aptitudes necesarias para programar un Hardware libre.</p> <p>- Lenguaje de programación óptimo para el proyecto</p>	<p>-Curso de programación de lenguaje C++</p> <p>- Comparación de proyectos similares.</p>
<p>Implementar el entorno de simulación del proceso de nivel en MyOpenLab para el control con el PLC</p>	<p>-Realización de una aplicación que sea apta para MyOpenLab para el caso control de nivel de una planta</p>	<p>Archivo ejecutable de MyOpenLab que estará programado en las Raspberry Pi</p>	<p>Software MyOpenLab</p>
<p>-Verificar el funcionamiento del sistema HIL mediante técnicas de control convencional comparando los datos con los módulos físicos</p>	<p>-Comparación del módulo virtual con el módulo físico.</p>	<p>-Informe de datos obtenidos tanto física como virtualmente.</p>	<p>-Módulo HIL caso control de nivel</p> <p>-Modulo físico caso control de nivel</p>

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

Hardware in the loop (HIL) es una simulación en tiempo real que le permite comenzar a probar su código incrustado sin la necesidad de hardware del sistema. Esto le permite verificar si hay condiciones anormales o defectuosas que podrían dañar su hardware si el código que está desarrollando no se ejecuta dentro de las especificaciones. Los sistemas electrónicos de control de energía son una parte integral de los sistemas de transmisión y los sistemas de energía renovable. Probar prototipos para validar el código incrustado en estos sistemas de control es difícil debido al riesgo de daño del hardware que hace que el sistema falle en condiciones transitorias.

Para garantizar el funcionamiento en tiempo real durante la simulación, la frecuencia de muestreo analógica actual debe ser 100 veces más rápida que la velocidad de conmutación esperada del sistema real.

El rendimiento de la simulación de hardware en el anillo depende de la complejidad dinámica del sistema eléctrico a modelar y del hardware informático en tiempo real utilizado. Al probar hardware en un bucle de un sistema de electrónica de potencia, no existen reglas estrictas y rápidas sobre si la CPU o la FPGA son las más adecuadas para simular un sistema de conmutación dinámica. Al tomar una decisión, considere la complejidad del modelo, los detalles matemáticos de la electrónica de potencia, los detalles del modelado de carga y potencia, el número de canales y el tipo de E / S. O viene de la prueba. sistema. Si su sistema hardware in the loop puede dividir el modelo de simulación de escritorio en múltiples núcleos y diferentes tipos de procesadores, puede resultarle beneficioso usar la CPU y la FPGA al mismo tiempo. [1]

A continuación, se presenta trabajos relacionados con el tema de titulación que sirvieron como base para este proyecto.

“Implementación de controladores en sistemas retroalimentados usando electrónica embebida y simulación hardware in the loop”, el diseño e implementación de este sistema incluye un proceso completo desde el modelado matemático de la fábrica hasta la verificación del controlador de a bordo, comenzando con la construcción del modelo de fábrica y simultáneamente con el análisis y la experimentación. Esto permite detectar errores y problemas

en el diseño o implementación del controlador integrado, haciendo que parezca interactuar con la fábrica existente, incluso si en realidad es una maqueta, la simulación operativa es posible. Si el hardware de su controlador de bucle utiliza sensores y actuadores, es probable que se realicen simulaciones más complejas y realistas. Por tanto, este tipo de método demuestra que es más informativo y económico porque es una buena herramienta para superar. Todo el proceso, desde la física hasta la simulación. [2]

“Sistema de control de una planta embebida en fpga empleando hardware in the loop”, se dice que utiliza la arquitectura general del sistema propuesto para desarrollar cada fase del enfoque de diseño, incluidas las fábricas integradas en FPGA y la implementación, integración y comunicación del controlador desarrolladas en LabView®. Tanto los dispositivos FPGA como los de PC están equipados con módulos de comunicación en serie y sistemas atemporales. Primero, se creó una descripción del programa desarrollado para la FPGA y se continuó con la programación y la interfaz de usuario implementada en LabView. Hemos creado un modelo y protocolo de fábrica que permite la comunicación con una interfaz gráfica de usuario (GUI) utilizando FPGA Altera® Cyclone IV. Se han ejecutado dos programas que realizan operaciones simultáneas (paralelas) utilizando el lenguaje de programación VHDL. Se proporciona equipo de primera clase, dependiendo de lo que pueda representar físicamente el circuito RC o el sistema térmico. Por tanto, consideramos un sistema de control de temperatura sin histéresis. Aquí, la señal de funcionamiento es una función del voltaje suministrado al termistor, la variable de control es la señal de temperatura en la salida del sistema del termistor y su modelo dinámico está definido por la función de transferencia. Este trabajo establece que el sistema de control está hecho de alguna manera. Esto permite que el modelo de señal sea paralelo a los muy realistas del sistema. Pregunte si realmente puede disfrutar de este tipo de visualización. [3]

“Desarrollo de un simulador hardware in the loop de procesos dinámicos multivariabes basado en Raspberry Pi”, la clave del proyecto será desarrollar un núcleo de programación de simulación dinámica utilizando el lenguaje de programación científica Python. La plataforma hace el trabajo necesario para obtener respuestas a las ecuaciones dinámicas que rigen el comportamiento de cada proceso simulado. El usuario no solo tiene siempre toda la información necesaria sobre las variables a controlar y manipular durante su paso por el sitio, sino que también puede interactuar con el modelo y configurar el modelo según sea necesario. También se realizó una prueba de concepto del simulador hardware in the loop para analizar el control

de uno de los procesos desarrollados usando el software LabVIEW y una tarjeta de adquisición de datos USB. El simulador HIL desarrollado en la implementación es de bajo costo (en comparación con otras plataformas más específicas), pero tiene suficiente fidelidad como lo demuestra la prueba de concepto implementada. respuesta dinámica de segundos. En resumen, la creación de prototipos se puede hacer primero en una computadora con funcionalidad limitada, como una Raspberry Pi, y si bien los resultados son extremadamente satisfactorios, este tipo de implementación es biológica y tiene un gran impacto, ya que permite a los miembros científicos realizar pruebas de diferentes maneras. para evitar el contacto físico. [4]

3.2. SISTEMA EMBEBIDO

Definiremos sistema embebido (SE) o sistema embebido como dispositivos electrónicos especialmente diseñado para realizar funciones específicas del sistema. A menudo se usa como parte de un sistema más grande utilizando principalmente una o más unidades de procesamiento digital (CPU) en forma de microprocesadores, microcontroladores o DSP para proporcionar "inteligencia" del sistema host, apoyar la gestión y ser parte de él, hacerlo posible. Los ingenieros a menudo participan en el diseño de sistemas a bordo.

3.3. HARDWARE

En general, un sistema a bordo es un electrón alojado en un sistema más grande ("host" o host) que permite operaciones como el procesamiento de información generada por la salida del sensor, transformadores, control de algunos actuadores, etc. Es un módulo. El núcleo de este módulo es al menos uno de los tipos normales de CPU:

- Microprocesador.
- Microcontrolador de 4,8,16 o 32 bits.
- Punto flotante DSP o punto flotante.
- Diseño a medida "custom" como dispositivos FPGA, etc.
- Es posible que el módulo o la etiqueta se hayan desarrollado para cumplir con un conjunto específico de requisitos para esa aplicación.
- Tamaño: Por lo general, se requiere espacio, pero también se pueden aplicar formatos estándar como PC10 y Eurocard.

-Rango de temperatura específico de la aplicación: o Alto consumo (0 ° C a 70 ° C) o Industrial y automotriz. Rango de temperatura hasta 125 ° C o Aeroespacial o Militar o Electrónica.

-Consumo de energía: Para aplicaciones que requieren el uso de batería, esto debe minimizarse.

-Resistencia mecánica: Hay aplicaciones en las que el dispositivo está expuesto a altos niveles de vibración y golpes repentinos. Esta posibilidad debe considerarse durante el proceso de diseño.

-Costo: Diseñar un producto a medida con menos unidades no es lo mismo que diseñar un producto de producción masiva altamente competitivo. Los costos de edición son el deber y el trabajo del diseñador.

3.4. SOFTWARE

Para el software, existen requisitos específicos según la aplicación. En general, los proyectos de sistemas operativos no tienen recursos ilimitados, pero no tienen suficiente memoria, potencia de cómputo, dispositivos externos, etc. Hay un límite. Puedes hablar sobre los siguientes requisitos:

-Trabajar en tiempo real.

-Aproveche al máximo los recursos disponibles.

-Cada línea de procesador que utiliza tiene su propio sistema de desarrollo.

- Programación de ensamblador. Recientemente, empresas y proveedores externos han actualizado su oferta de compiladores para trabajar en lenguajes de nivel superior como C.

El uso de un sistema operativo en particular depende del sistema en desarrollo y es una de las principales decisiones que se deben tomar durante la fase de diseño del sistema operativo. Por lo tanto, si está usando un microcontrolador y DSP, el sistema operativo no se usa normalmente, pero si está usando un microprocesador como ARM, PowerPC, Intel X86. Su decisión depende de sus requisitos técnicos y sistema financiero. [5]

Raspberry Pi es una placa de microcomputadora, como su nombre indica, es de tamaño pequeño y se puede utilizar para muchos propósitos.

La Raspberry Pi salió en febrero de 2012, seis años después de comenzar el proyecto de la placa base, vendió 500.000 unidades en agosto de 2012 y fue el primero de los discos originales un

mes después. Se ha vendido la revisión "B". El primero tiene 256 MB de RAM y un procesador de 700MHz, un conector de 3,5 mm para audio, así como un conector GPIO especial de 26 pines y salida de video vía HDMI o RCA, y el primer modelo tiene un puerto Ethernet.

El Raspberry Pi viene con accesorios como un enfriador pasivo Cooler Master y periféricos que puede conectar a los pines GPIO para hacer más. Puede conectar cámaras NoIR, detectores TNT, pantallas táctiles y módulos WiFi. También hay Raspberry Pi integrado en el teclado de la marca Raspberry Pi, este teclado también está disponible en otros tamaños pequeños para proyectos más pequeños como Raspberry Pi Zero con o sin sistema, programación o Wi-Fi. -Fi integrado en Pi 00.

El Raspberry Pi es esencialmente una computadora. A pesar de sus tarjetas pequeñas de bajo costo y su sistema operativo an de código abierto, sigue siendo una computadora adecuada para necesidades de programación muy básicas. Concebido originalmente para promover la educación en ciencias de la computación en las escuelas, ha tenido mucho éxito en desarrollos posteriores. [6]

3.5. RASPBERRY PI 4 ENTRADAS Y SALIDAS

Los pines de Raspberry Pi y sus pines GPIO predecesores proporcionan al SBC la misma funcionalidad que el Arduino. Te permite utilizar muchos tipos diferentes de código para crear proyectos electrónicos muy interesantes que son controlados por el sistema operativo.

Los lenguajes como Python hacen que las tarjetas sean más que simples computadoras baratas. Esto le permite conectar una serie de elementos electrónicos que se pueden usar con el Arduino pero que también se pueden controlar con el Pi.

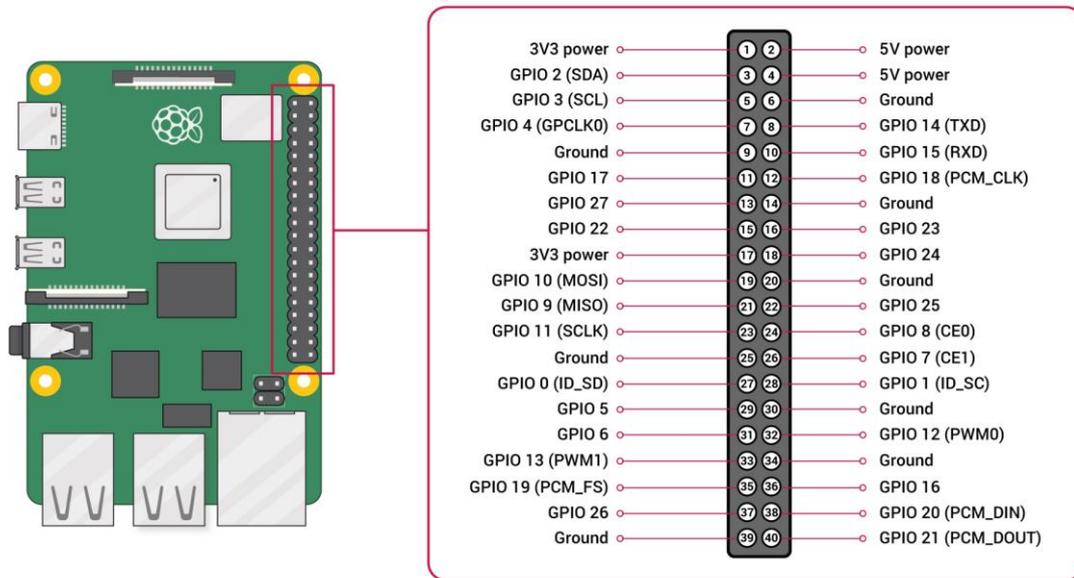


Figura 3.1. Pines GPIO de la Raspberry Pi esquema valido para la versión 4, 3, Zero [7]

Las nuevas placas Raspberry Pi 4 y la versión 3 equipado con una gran cantidad de pines GPIO. No todas las versiones proporcionan los mismos números y están numeradas por igual, por lo que debe tener esto en cuenta para saber cómo vincular por modelo y revisión.

Pero más común es el tipo GPIO en el puerto de la placa Raspberry Pi. Y esto es lo primero que quiero aclarar. Esto le dará un tipo de husillo confiable para su proyecto:

- Alimentación: Estos pines se utilizan para conectar líneas eléctricas o cables en proyectos electrónicos. Corresponden a los mismos pines que los pines de la placa Arduino, 5v y 3v3 (3.3v limitados a 50mA de carga). Además, también hay tierra (GND o tierra). Si no está utilizando una fuente de alimentación externa, como una batería o un adaptador, estos pines son muy útiles para alimentar el circuito.
- DNC (Do Not Connect): Estos son los pines incluidos en algunas versiones y no tienen funcionalidad, pero se utilizan para una variedad de propósitos en las tarjetas más nuevas. Solo se pueden encontrar en los modelos más primitivos de Pi. En las nuevas 3

y 4 estarán marcados como GND por lo general, pudiéndose integrar en el grupo anterior.

- Pines configurables: Estos son GPIO regulares que puede programar en código para hacer lo que necesite, como se describe a continuación.
- Pines especiales: Conexión especial o conexión de interfaz como UART, TXD, conexión serie RXD, como ocurre con Arduino. También hay SDA, SCL, MOSI, MISO, SCLK, CE0, CE1, etc. [7]

3.6. PROGRAMACIÓN DE LA TARJETA RASPBERRY PI

Raspbian es el sistema operativo recomendado para Raspberry Pi (porque está optimizado para hardware) y se basa en una distribución GNU / Linux llamada Debian. Hay dos versiones para instalar Raspbian en el

Raspberry Pi posee un entorno con gráfico y uno más pequeño sin entorno gráfico.:

- Raspbian Pixel: Versión completa con entorno gráfico Raspbian, o versión de escritorio con menús, ventanas, iconos, fondos de pantalla y más. La mayoría de los usuarios lo utilizan como computadora de escritorio.
- Raspbian Lite: La versión eliminada no tiene un entorno gráfico. Es decir, la versión en modo consola no tiene gráficos. Esta opción suele ser para usuarios avanzados con conocimientos de Linux que utilizan Raspberry Pi como servidor. [8]

3.7. MYOPENLAB

MyOpenLab es un software de desarrollo basado en gráficos, cada uno de los cuales realiza una función específica y tiene propiedades configurables por el usuario. La combinación de estos facilita la implementación de gráficos y lógica de aplicaciones en un plan a largo plazo. Este es el mejor software de desarrollo de aplicaciones basado en Java. La GUI, que se ejecuta en plataformas de bajos recursos como Raspberry Pi, proporciona una versión estable con la capacidad de conectarse a través de una variedad de protocolos de comunicación, incluidos protocolos industriales como OPC y modBUS. Creada el 12 de agosto de 2012, se desarrolló y actualizó nueva documentación cuando se corrigieron errores en el programa. A finales de 2015, MyOpenLab pudo ejecutarse en Linux ARM. En ese momento, era una distribución de Raspbian Wheezy, pero se lanzó y se lanzó una de las primeras versiones la v3.0.8.3. [9]

El software integra elementos para comunicarse con las plataformas más comerciales como Arduino y Raspberry Pi, así como dispositivos de comunicación en todos los aspectos. Se incluyen máscaras cuando los usuarios hacen sugerencias sobre los canales de comunicación disponibles, como páginas de Facebook, canales de YouTube y foros. [10]

3.7.1. Interface de entrada/Salida Arduino

MyOpenLab hay un elemento que accede al pin de Arduino Uno a través de la comunicación en serie. El boceto está incluido para la edición del usuario.

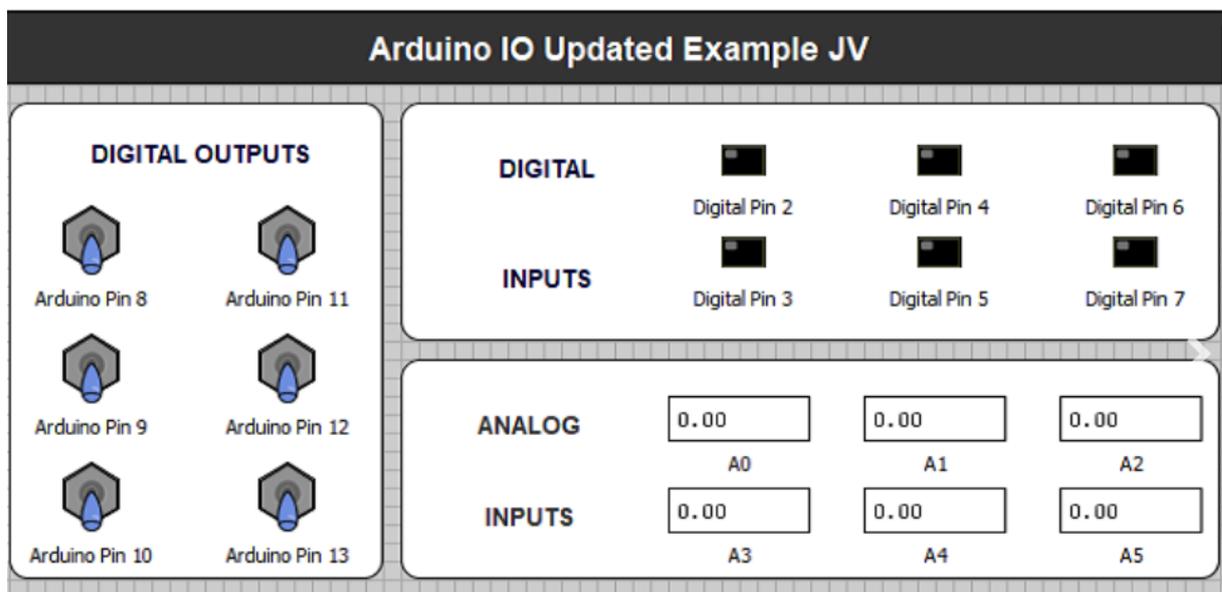


Figura 3.2. Interface entrada/salida Arduino [10]

3.7.2. Interface firmata para Arduino

MyOpenLab cuenta con un elemento para el acceso a todos los pines y funciones del Arduino a través del protocolo Firmata

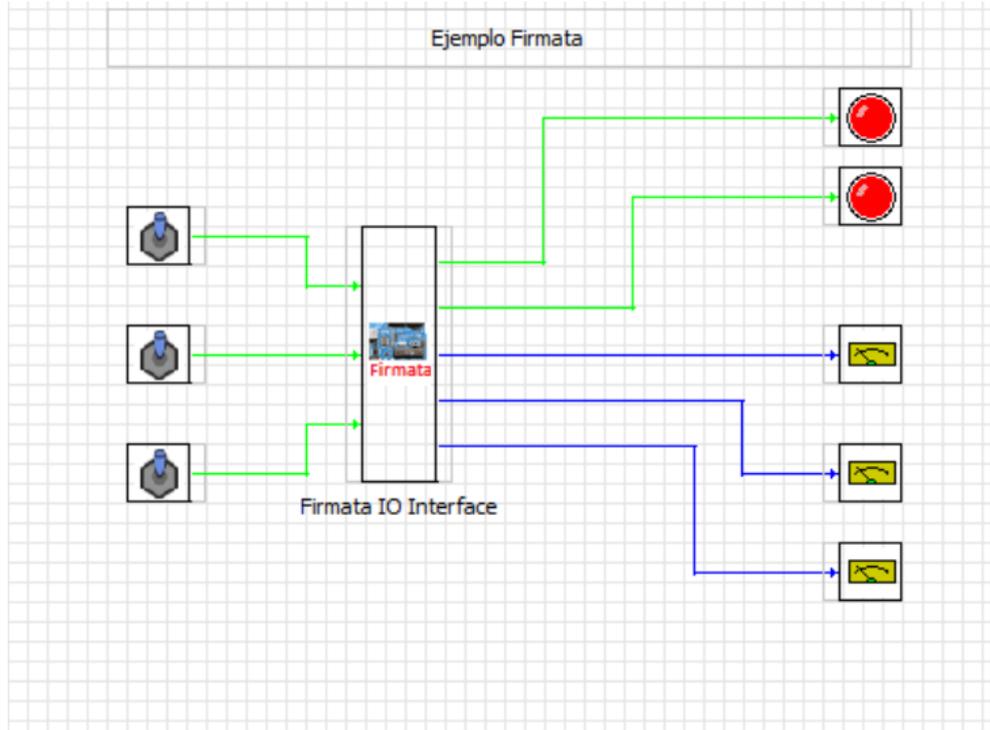


Figura 3.3. Ejemplo Firmarta [10]

3.7.3. Elementos GPIO para Raspberry Pi

MyOpenLab cuenta con elementos de circuito que permite acceder a las funciones básicas de entrada y salida del GPIO de la placa Raspberry Pi. [9]

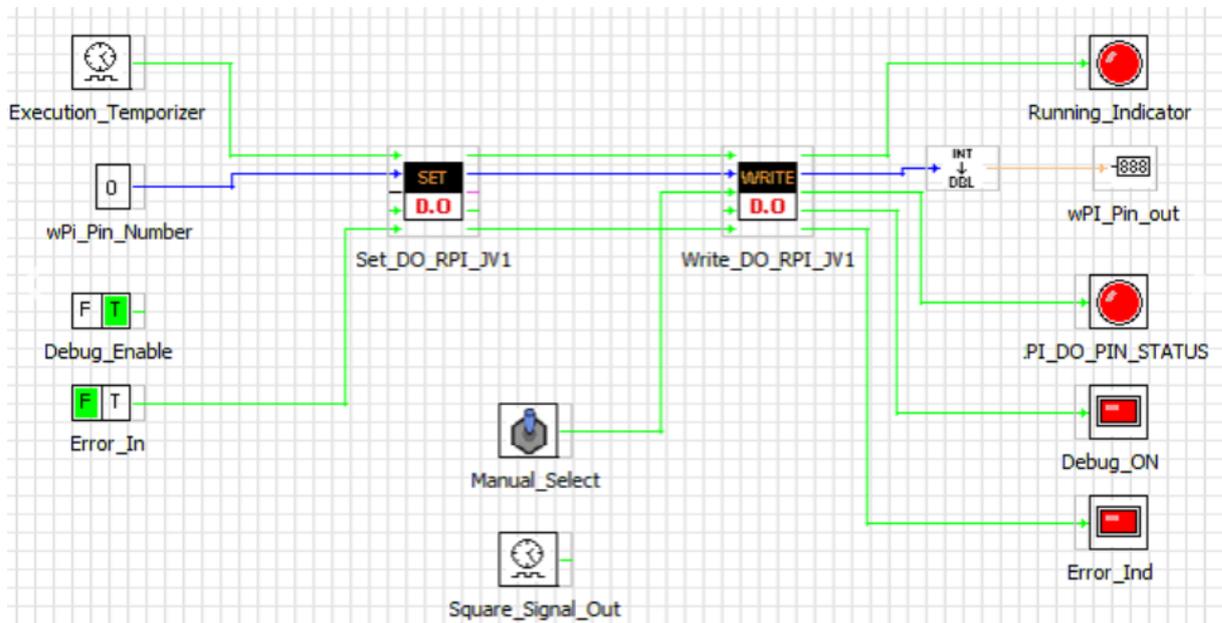


Figura 3.4. Elementos GPIO para Raspberry Pi [10]

3.8. MICROCONTROLADOR

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto basada en hardware y software gratuitos que es flexible y fácil de usar para creadores y desarrolladores. La plataforma permite a la comunidad de diseñadores crear diferentes tipos de microcomputadoras de placa única que se pueden utilizar para diferentes tipos de aplicaciones.

Arduino es una placa basada en el microcontrolador Atmel. Un microcontrolador es un circuito integrado que puede grabar comandos escritos en un lenguaje de programación que se puede utilizar en el entorno Arduino IDE. Estas instrucciones le permiten programar programas que interactúan con los circuitos de la tarjeta.

El microcontrolador Arduino tiene una llamada interfaz de entrada. Esta es una conexión que le permite conectar diferentes tipos de dispositivos a la tarjeta. La información de estos dispositivos conectados se transmite al microcontrolador, que se encarga de procesar los datos que pasan a través de ellos. Se encarga de transferir la información procesada por el Arduino a otros periféricos.

También tiene una interfaz de salida. Estos dispositivos pueden ser monitores o altavoces para reproducir los datos procesados, pero también pueden ser otras tarjetas o controladores.. [11]



Figura 3.5. Arduino Mega [8]

3.9. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

El desarrollo de PLC fue motivado inicialmente por las demandas de los fabricantes de automóviles. Cambian constantemente sus sistemas de control de la línea de producción, por lo que se necesita una forma más económica de hacerlo. Esto se debe a que la batería del relé tuvo que rebobinarse muchas veces en el pasado (un procedimiento costoso). Como resultado, a fines de la década de 1960, la industria necesitaba cada vez más sistemas de control económicos, robustos, flexibles y fácilmente modificables.

3.9.1. Estructura general de los PLC

Debe haber energía para que el sistema funcione. Su objetivo principal es asegurar el voltaje de funcionamiento interno del controlador y sus bloques. El valor más utilizado es $\pm 5V$, $\pm 12V$ y $\pm 24V$ hay dos módulos de potencia principales. El módulo utiliza la tensión de entrada de la red operativa y el módulo utiliza la fuente de alimentación activa para controlar el objeto.

La parte principal, denominada "unidad central de procesamiento" o CPU, contiene la parte de procesamiento del controlador y se basa en un microprocesador que permite el uso de operaciones aritméticas y lógicas para realizar diversas funciones. Además, la CPU comprueba periódicamente la API para encontrar errores a tiempo. Los primeros PLC utilizaban chips que se procesaban mediante una técnica llamada "bitris", como AMD2901 y 2903. Los datos y las direcciones se pueden transferir dentro del PLC gracias a cuatro tipos de bus diferentes:

- Controlador lógico programable (PLC) usa bus de datos para la transferencia de datos de componentes individuales
- Bus de direcciones, para aquellas transferencias entre celdas donde se habían guardado datos

- Bus de control, para las señales de control de los componentes internos
- Bus de sistema, para conectar los puertos con los módulos de E/S.

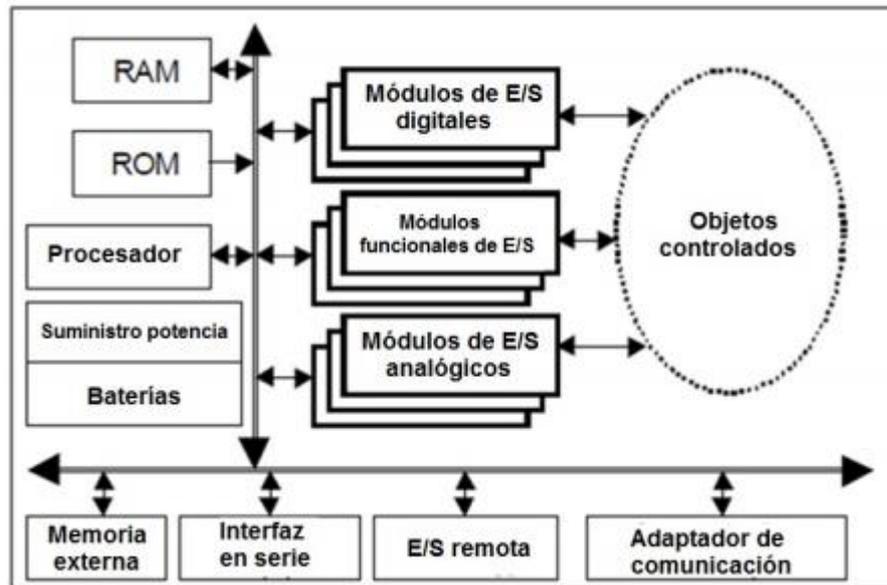


Figura 3.6. Diagrama generalizado de un PLC [5]

3.9.2. Componentes de Hardware

El PLC puede incluir cajas con canales que contienen diferentes tipos de módulos de PLC Siemens:

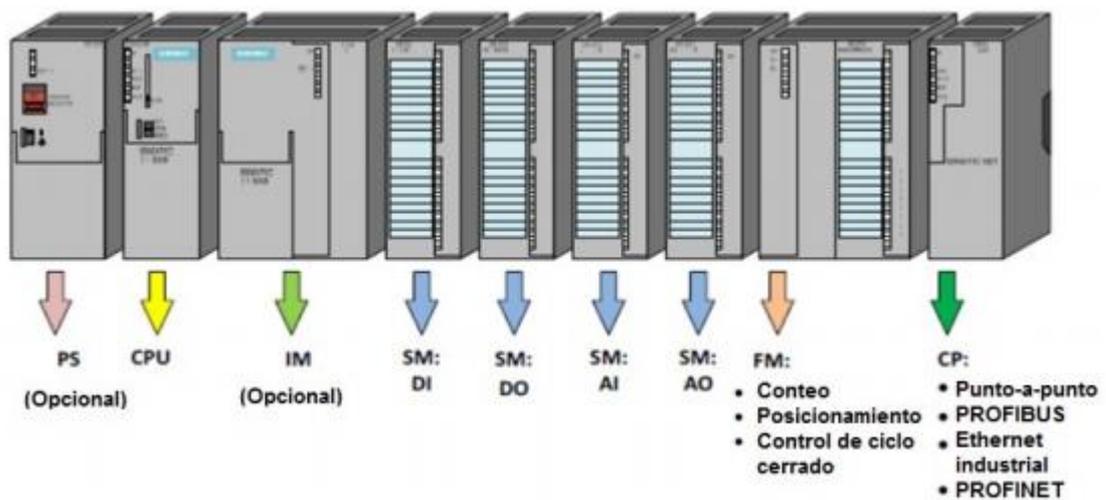


Figura 3.7. Organización modular del PLC siemens S7-300 [5]

Los módulos de interfaz (IM) conectan múltiples bandas individuales a un solo módulo de función PLC (FM) para el procesamiento complejo y crítico de procesos independientes del procesador (como el conteo rápido).

Regulador PID o control de posición.

El procesador de comunicación (CP) conecta el PLC a la red industrial. Ethernet industrial, PROFIBUS, interfaz AS, conexión punto a punto.

Interfaz hombre-máquina (HMI), por ejemplo, panel de control;

Entrada / salida remota;

Módulo de señalización de alta velocidad.

Cada módulo PLC tiene su propia interfaz HIM básica que se utiliza para mostrar errores y el estado de la comunicación, batería, E / S, operación del PLC, etc. Para la HMI se utiliza una pequeña pantalla de cristal líquido (LCD) o una pantalla de diodos emisores de luz (LED).

3.9.3. Tipos de PLC

Los diferentes tipos de PLC varían en función, capacidad, número de E / S, tamaño de la memoria, apariencia física, etc. Entonces, los diferentes tipos se pueden clasificar de la siguiente manera:

a) PLC compactos

Integran CPU, PS, módulos de entrada y salida en un solo paquete. Por lo general, hay un número fijo de E / S digitales (30 o menos), uno o dos canales de comunicación (para programar conexiones de bus de campo y PLC) y una HMI. Alternativamente, puede haber un contador rápido y una entrada para una o dos E / S analógicas. Se pueden conectar más módulos (todavía) para aumentar el número de E / S en el mismo PLC compacto. Están empaquetados como la propia máquina. Estos PLC compactos se utilizan en la industria automotriz como alternativa a los relés.



Figura 3.8. Ejemplos de PLC compactos [5]

b) PLC modular

Este es el tipo de API más potente y tiene más funciones que la API compacta. La CPU, SM, CP y otros módulos se encuentran típicamente en gabinetes separados en rieles DIN o rieles especialmente diseñados y se comunican con la CPU a través del bus del sistema. El número de ranuras para módulos es limitado, pero en la mayoría de los casos se puede aumentar. Además, los PLC modulares pueden usar una gran cantidad de E / S, admitir programas más grandes, almacenar más datos y operar en modo multitarea. Por lo general, se utilizan para control, regulación, posicionamiento, procesamiento de datos, operaciones, comunicaciones, monitoreo, servicios web y más. [5]



Figura 3.9. Ejemplos PLC modular [5]

c) PLC S7-1200

El controlador básico es ideal para soluciones de automatización compactas con capacidades integradas de ingeniería y comunicación. Están disponibles en versiones estándar y de seguridad.

El controlador básico SIMATIC S71200 es una opción ideal para tareas de automatización flexibles y eficientes en el rango de rendimiento bajo a medio. Cuentan con una amplia gama de tecnologías y funcionalidades IO integradas, así como un diseño particularmente compacto y que ahorra espacio.

Tamaño compacto con módulo integrado y opciones de expansión de E / S. Gracias a una amplia gama de opciones de expansión, SIMATICS 71200 se puede adaptar perfectamente a su tarea de automatización específica.

La interfaz PROFINET integrada integra completamente componentes de automatización adicionales con el TIA Portal Engineering Framework. Una amplia variedad de módulos de señales para entradas y salidas, así como módulos técnicos para funciones técnicas especiales como módulos de conteo y comunicación, están disponibles tanto de forma centralizada como distribuida como interfaces para máquinas o dispositivos. El SIMATIC S71200 está aprobado para la clase de protección IP20 y está diseñado para montaje en panel. [12]



Figura 3.10. PLC S7- 1200 [12]

d) Datos técnicos del módulo de salidas analógicas SM 1232

Tabla 3.1 Especificaciones generales [13]

Datos técnicos	SM 1232 AQ 2 x 14 bit	SM 1232 AQ 4 x 14 bit
Referencia	6ES7232-4HB32-0XB0	6ES7232-4HD32-0XB0
Dimensiones A x A x P (mm)	45 x 100 x 75	
Peso	180 gramos	
Disipación de potencia	1,8 W	2,0 W
Consumo de corriente (bus SM)	80 mA	
Consumo de corriente (24 V DC)	45 mA (sin carga)	

3.10. TIA PORTAL

El Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) integra varios productos SIMATIC en una única aplicación de software para mejorar la productividad y la eficiencia del proceso. El TIA Portal permite que los productos interactúen y ayuden a los clientes en todas las áreas relacionadas con la creación de soluciones automatizadas. Las soluciones de automatización típicas incluyen:

- Un controlador que controla el proceso con la ayuda del programa.
- Un panel de operador con el que se maneja y visualiza el proceso.

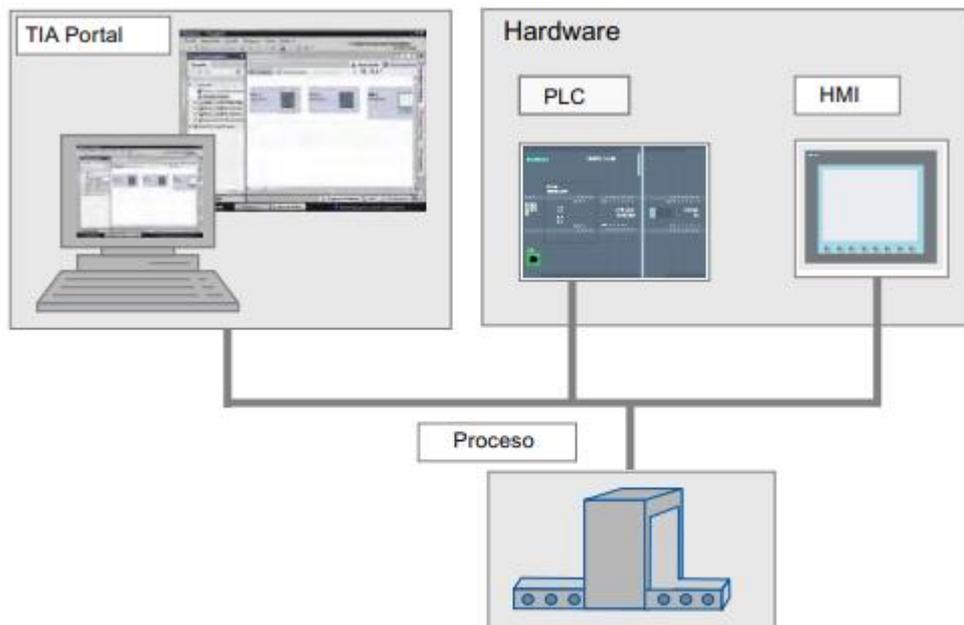


Figura 3.11. Utilización de TIA Portal [13]

3.10.1. Ventajas

- Gestión conjunta de datos

- Manejo unitario de los programas, los datos de configuración y los datos de visualización
- Fácil edición mediante Drag & Drop
- Manejo unitario
- Configuración y diagnóstico asistidos por gráficos

3.10.2. Sistema de ingeniería

En el portal TIA, el control y la visualización constan de un sistema de ingeniería. Todos los datos se almacenan en el proyecto. Los componentes de Programación (STEP 7) y Visualización (WinCC) no son programas separados, sino editores del sistema que tienen acceso a una base de datos común. Todos los datos se almacenan en un archivo de proyecto común. Se utiliza una interfaz de usuario común para todas las operaciones, desde la que siempre se puede acceder a todas las funciones de programación y visualización. [13]

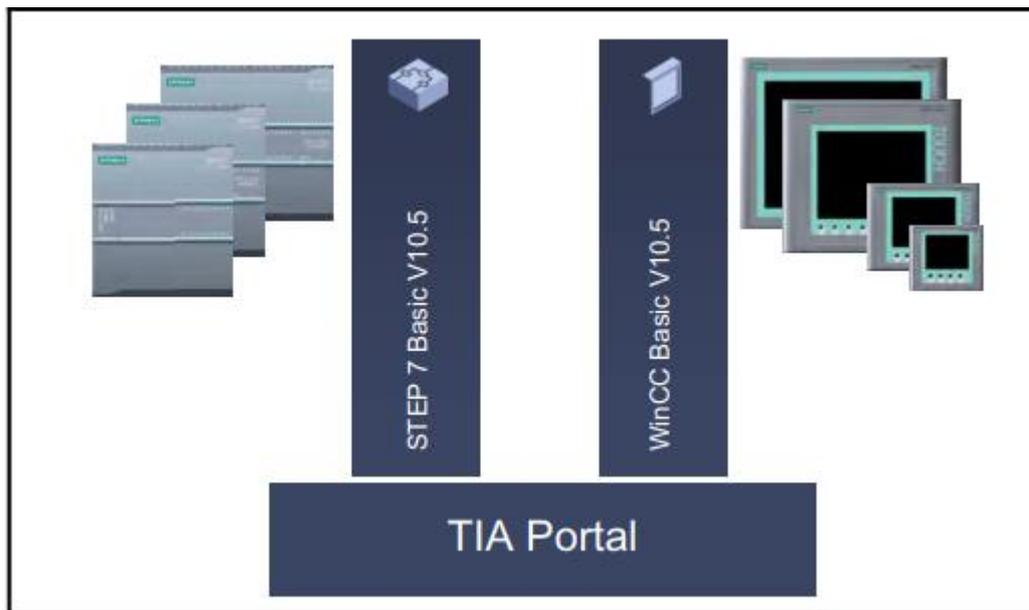


Figura 3.12. Sistema de ingeniería unitario [13]

3.11. CONTROL LAZO ABIERTO Y CERRADO

Todo lo que nos rodea está relacionado con el control, incluidas las actividades diarias, ya que siempre debemos cubrir.

3.10.1. Sistema de control en lazo abierto

El sistema cuya salida no afecta el funcionamiento del control se denomina sistema de control de bucle abierto. En otras palabras, el sistema de control de bucle abierto no mide ni devuelve una salida para compararla con la entrada. Un ejemplo práctico es la lavadora. El remojo, el lavado y la rotación de la máquina funcionan con el tiempo. La máquina no mide la señal de salida de lavado de ropa. En un sistema de control de bucle abierto, la salida no se compara con la entrada de referencia. Por tanto, las condiciones de funcionamiento fijas corresponden a cada entrada de referencia. Por tanto, la precisión del sistema depende de la calibración.

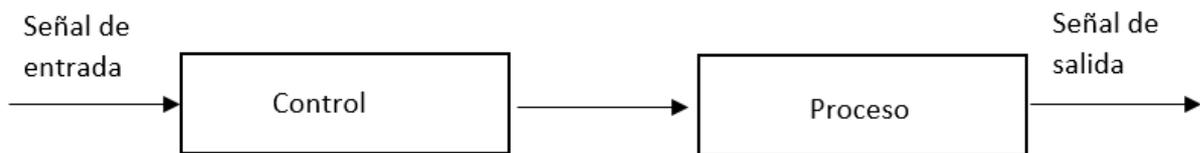


Figura 3.13. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo abierto

3.11.2. Sistema de control en lazo cerrado

El sistema de control de retroalimentación también se conoce como sistema de control de circuito cerrado. En la práctica, los términos control de retroalimentación y control de bucle cerrado se utilizan indistintamente. En un sistema de control de bucle cerrado, la señal de error del inversor (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida), que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de retroalimentación, se envía al controlador. Su derivada y / o su integral para reducir el error y llevar la salida del sistema al valor deseado). El término control de circuito cerrado siempre se refiere al uso de acciones de control de retroalimentación para reducir las fallas del sistema.

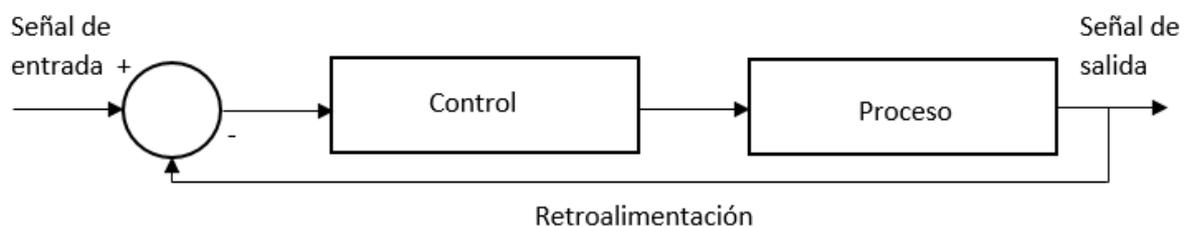


Figura 3.14. Diagrama de bloques de sistema de control en lazo cerrado

3.11.3. Componentes del Sistema de Control

La aplicación del control automatizado de procesos es muy importante en la industria porque le permite controlar varias variables como temperatura, humedad, viscosidad y presión.

Mantener estas variables estables es el objetivo del sistema de control. Los elementos básicos que contiene son:

- Transductor (Sensor/Transmisor).
- Controlador.
- Actuador.

La importancia de estos componentes radica en realizar tres operaciones básicas que deben estar presentes en el sistema de control. Cada una de estas actividades:

- Medición: La medición de variables controladas generalmente se realiza mediante una combinación de sensor y transmisor.
- Decisión: Según la medición, el controlador decide qué hacer para mantener la variable en el valor deseado.
- Acción: Después de la decisión del controlador, se debe realizar una acción en el sistema. Esto generalmente lo hace el último elemento de verificación.

Estas tres operaciones son necesarias para todos los sistemas de control. Las decisiones se pueden tomar en un sistema de control de bucle abierto o de bucle cerrado.

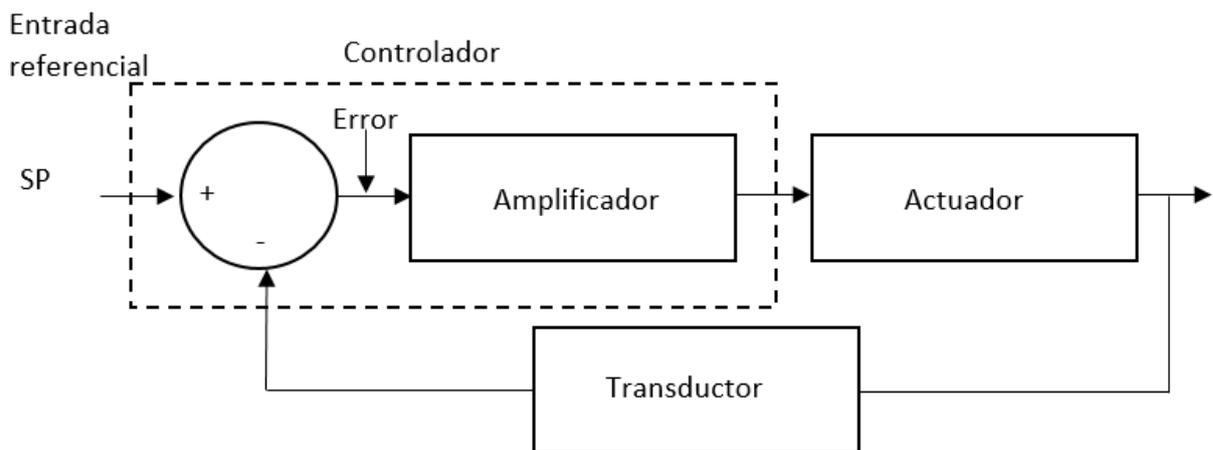


Figura 3.15. Diagrama de bloques de un sistema de control realimentado y sus elementos básicos

Si la señal de salida no es la señal deseada, se generará una señal de error que requiere una "acción de control". Por lo general, se proporciona una señal de control de baja potencia para realizar operaciones de control y debe amplificarse o sintonizarse antes de operar el actuador.

Cuando se envía una señal al actuador, se activan las funciones que afectan el proceso. Se genera una señal en el transductor.

La sonda genera esta señal y nuevamente toma el valor medido de la variable física en la entrada de referencia. Esto se comparará nuevamente para asegurarse de que no haya sesgos. Si ocurre una señal de error, el ciclo se repite.

a) Actuador

Los actuadores son dispositivos que convierten energía hidráulica, neumática o eléctrica para realizar funciones que afectan el proceso. El actuador recibe una señal del controlador, que a su vez activa el último elemento de control. Por ejemplo, una válvula.

Existen principalmente diferentes tipos de actuadores, dependiendo del tipo de señal de control utilizada:

Eléctricos: Su principal señal de control es la energía eléctrica.

Neumáticos: La señal de control de este tipo de actuar es el aire.

Hidráulicos: La señal de control es un fluido, normalmente algún tipo de aceite mineral.

Electrónicos: La electrónica de potencia se utiliza para controlar la potencia de otros dispositivos, la velocidad y el funcionamiento de máquinas electromecánicas, utilizando dispositivos electrónicos como semiconductores.

b) Transductor

Los transductores son dispositivos que convierten los efectos de causas físicas como presión, temperatura, expansión y humedad en otro tipo de señal. Es decir, el dispositivo toma una variable de entrada y produce una salida de diferente naturaleza.

c) Controlador

La forma en que el controlador ejecuta la señal de control se denomina acción del controlador. El controlador detecta una señal de error, que normalmente se suministra con una potencia muy baja, y la amplifica a un nivel suficientemente alto. El controlador genera un actuador de potencia y se clasifica de acuerdo con la operación de control:

- Dos posiciones o acción on / off. Con este tipo de control de bucle cerrado, la acción de control es de alta impedancia y puede tener posiciones de error abiertas o cerradas.

- Actuar en proporción. Los sistemas de control proporcional se basan en establecer una relación lineal continua entre el valor de una variable de control y la posición del elemento de control final.
- acción completa. El control integrado funciona manipulando los elementos de control a una tasa constante hasta que el sesgo ya no está presente. La velocidad de trabajo es proporcional al error del sistema existente.
- Acción de la tarifa global. El control integral proporcional tiene el efecto de reducir el tiempo de subida, aumentar los tiempos de manipulación simultánea y de sobre impulso, eliminar los errores de estado estable, pero empeorar la respuesta de compromiso.
- Las acciones se obtienen a tasa de accionistas. En la regulación derivada, la acción de control es proporcional a la tasa de cambio de la variable de control. Por lo tanto, el elemento de control eventualmente aumentará o disminuirá su carrera de acuerdo con la tasa de cambio de falla del sistema. [14]

3.12. DINÁMICA DE PROCESOS

3.12.1. Nivel

Una cosa a tener en cuenta sobre esta variable es la diferencia (ΔP) entre los transmisores de presión y presión diferencial.

El LT (Transmisor de nivel) debe estar conectado a un tanque abierto ya que la presión atmosférica en el nivel del líquido también afecta a los otros conectores del transmisor que se liberan a la atmósfera. El LT5 tiene un conector diferencial, generalmente conectado a un tanque cerrado o tanque de infusión, y el cuerpo del generador se acerca al tanque para indicar una válvula de alta presión. La conexión a la parte superior del recipiente indica un grifo de baja presión, que se realiza para compensar la presión en el nivel del líquido. De esta forma, solo se mide la presión generada por la columna de líquido.

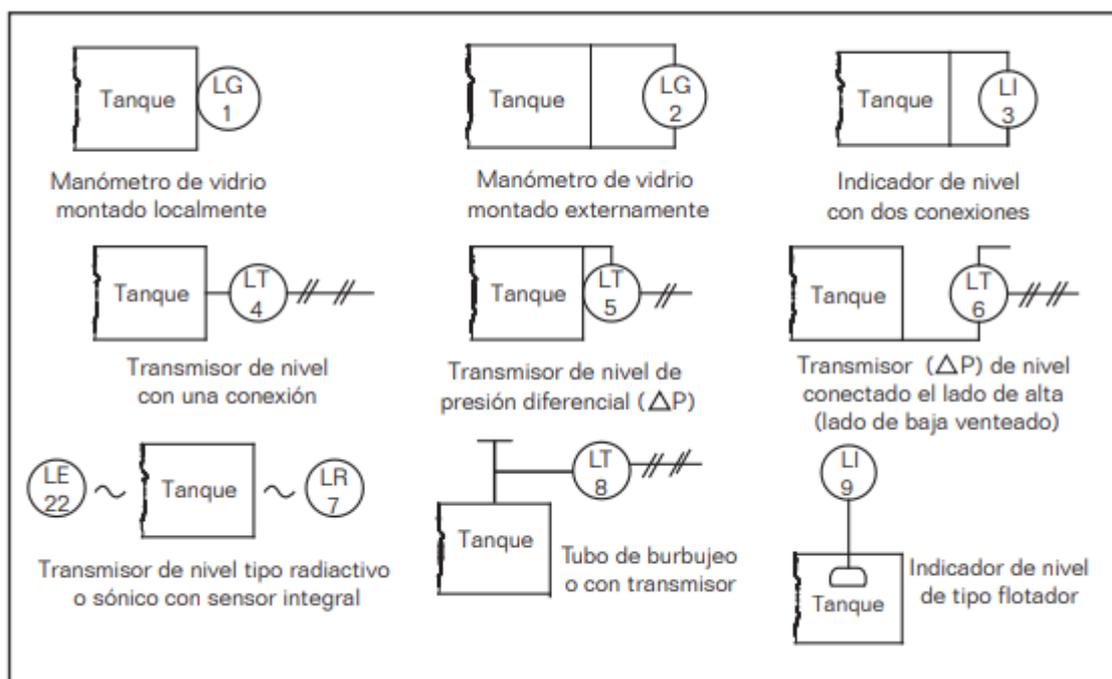


Figura 3.16. Elementos Primarios de control de nivel [15]

La medición de nivel es muy importante en la industria y es fundamental en diversos sectores como el papel, la minería, el petróleo, la química, la petroquímica y la alimentación. La elección correcta del indicador de nivel está más o menos correlacionada con los siguientes factores: rango de medición, naturaleza del líquido a medir y condiciones de funcionamiento. El equipo que se describe a continuación está destinado a casi todas las aplicaciones de medición del nivel de sólidos y apertura y cierre de tanques. El sensor de nivel también actúa como registrador o indicador y, si es necesario, como controlador. Cuando la distancia entre el punto de medición y el lugar donde desea medir el nivel es muy grande.

3.12.2. Nivel de líquidos en tanques abiertos y cerrados

Los instrumentos que se utilizan para medir los niveles de líquido en tanques cerrados y abiertos son los que utilizan contacto visual directo, hidrostático o en altura (columna de agua) como flotadores y los que utilizan electricidad líquida.

a) Indicación visual de nivel con mirillas e indicadores de vidrio

Este método es uno de los métodos más antiguos y sencillos para medir continuamente el nivel de líquido en un recipiente abierto o cerrado, cuando la actividad del proceso debe indicarse directa y localmente, y usarse solo si el líquido está muy limpio. El visor de vidrio y el

manómetro constan de un tubo de vidrio transparente o plástico (transparente) unido al tanque, por lo que la punta del líquido en el tubo es igual al nivel del líquido en el tanque. La colocación de escalas calibradas marcadas en el interior y el exterior del tubo proporciona una forma conveniente de leer los niveles en centímetros, pulgadas y pies. O las siguientes unidades de volumen: litros, metros cúbicos, etc.

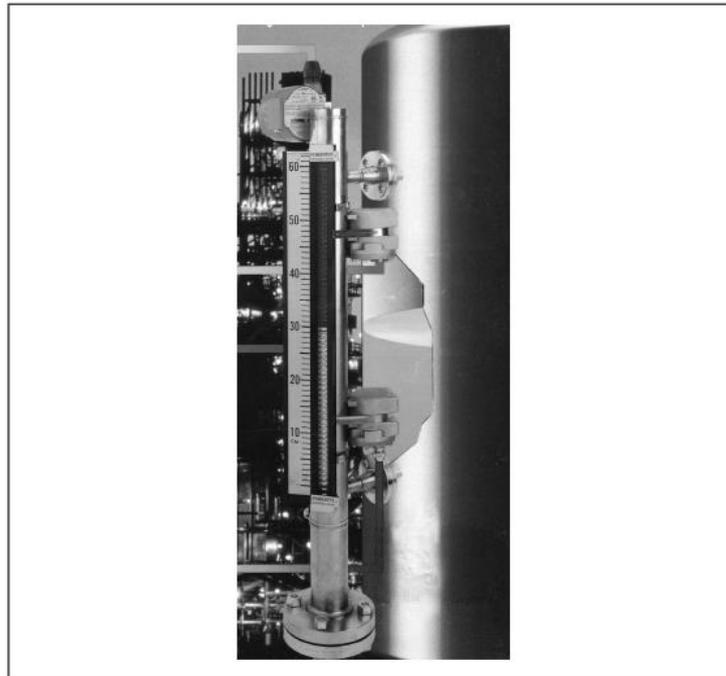


Figura 3.17. Mirilla de flujo con transmisor digital en la parte superior [15]

b) Medición por burbujeo

Este es un dispositivo muy simple, conveniente y económico para la medición de nivel. Sin embargo, su uso se limita a tanques abiertos donde las burbujas de aire en el líquido no son un problema. El principio de esta medición es que la presión requerida para causar cavitación debe ser suficiente para superar la columna de presión hidrostática entre la superficie del líquido (nivel medido) y el extremo del tubo de burbujas. Se bombea una pequeña cantidad de aire o gas inerte a través de un tubo sumergido en el tanque. La presión requerida para expulsar las burbujas de aire del fondo del flotador es igual a la presión hidrostática del extremo del líquido en relación con la parte superior del tubo. Si conoce la densidad del líquido en el recipiente, puede aplicar la ecuación $h = P / \text{densidad}$. Aquí, h es el nivel obtenido al dividir la presión P

aplicada al aire por la gravedad específica del líquido. Por lo tanto, los valores obtenidos se pueden ver, registrar, transmitir o validar utilizando el tipo apropiado de dispositivo receptor.

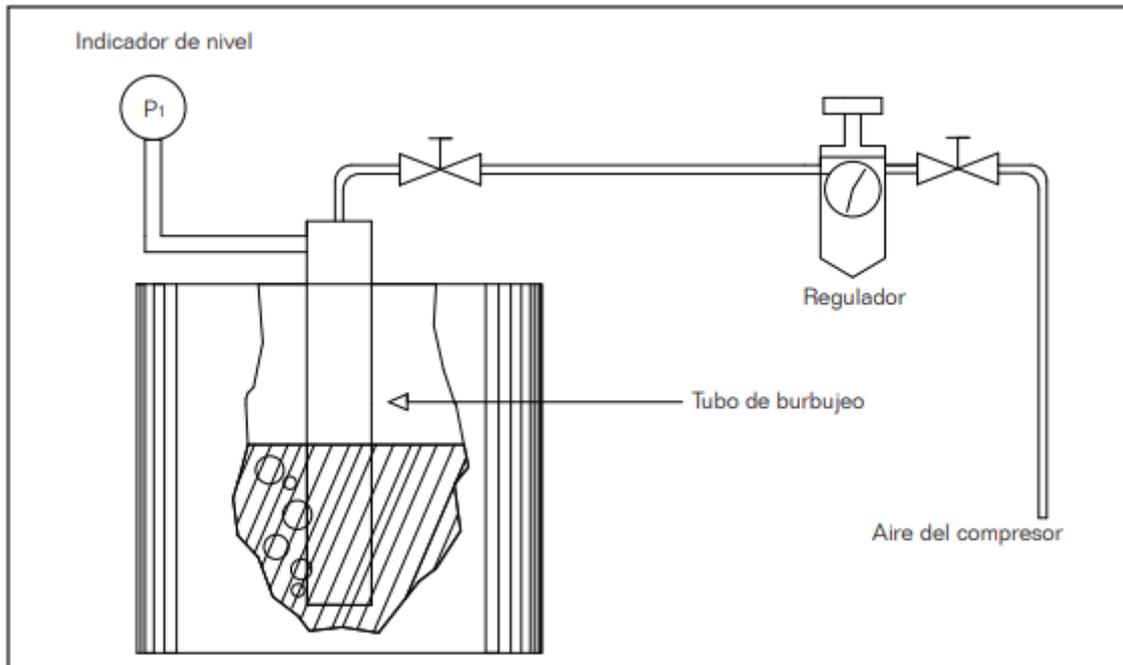


Figura 3.18. Medición de nivel por burbujeo en tanque abierto [15]

c) Transmisor de nivel por ultrasonido

Esta es otra forma de medir qué tan cerca y abierto está el tanque. La medición del nivel de sonido se basa en:

Emisión impulsiva de ondas sonoras de la fuente. La transmisión de estas ondas de energía a través de la fase líquida del o la fase gaseosa en el depósito. El reflejo de las ondas en la superficie del regresa al transceptor.

El tiempo que tarda el sonido en viajar hacia y desde el transceptor en la superficie del líquido se utiliza como medida de nivel porque su tiempo de propagación es proporcional a la cantidad de líquido en el recipiente.

El transceptor convierte este tiempo en una señal de salida proporcional al nivel de a 20 miliamperios. Esta señal se puede utilizar con cualquier dispositivo del panel de control. [15]

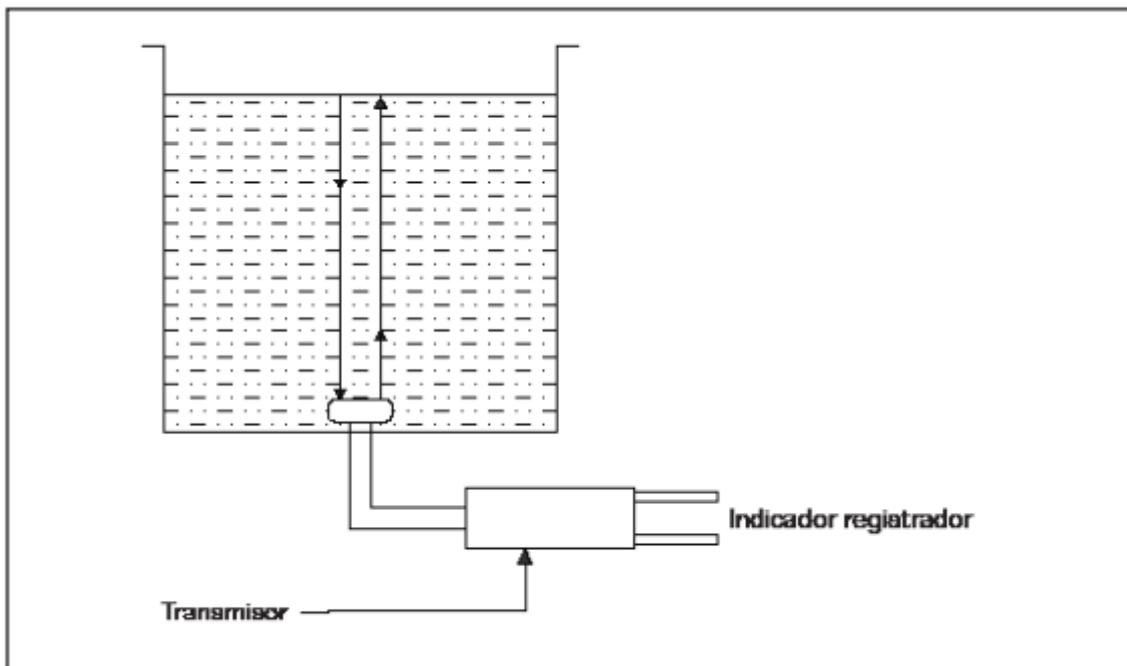


Figura 3.19. Transmisor ultrasónico de nivel de líquidos [15]

3.13. ECUACIÓN DE BERNOULLI

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g}$$

o a su vez

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g}$$

(3.11)

Cada término de la ecuación de Bernoulli, ecuación (3.11), este es el resultado de dividir una fórmula de energía específica por el peso de los elementos en el líquido. Por lo tanto, en la ecuación de Bernoulli, cada término es la forma de energía que tiene un líquido por unidad de peso del fluido que fluye a través del sistema.

La unidad de cada término es "energía por unidad de peso". En los sistemas SI, la unidad es $\text{N} \cdot \text{m} / \text{N}$ y en los sistemas comúnmente utilizados en los Estados Unidos, la unidad es $\text{lb} \cdot \text{ft} / \text{lb}$. Sin embargo, tenga en cuenta que la unidad de fuerza (o peso) se muestra en el numerador y denominador y puede anularse. La unidad resultante es simplemente el metro (m) o el pie (ft),

que se puede interpretar como altura. En el análisis de fluidos, estos términos a menudo se denominan "cabezas", que se refieren a elevaciones por encima del nivel de referencia.

$$\frac{P}{\gamma} = \frac{P}{\rho g} \text{ carga de presión}$$

$$\frac{v^2}{2g} \text{ carga de velocidad}$$

$$z = h = \text{carga de elevación}$$

La suma de estos tres términos se denomina carga total.

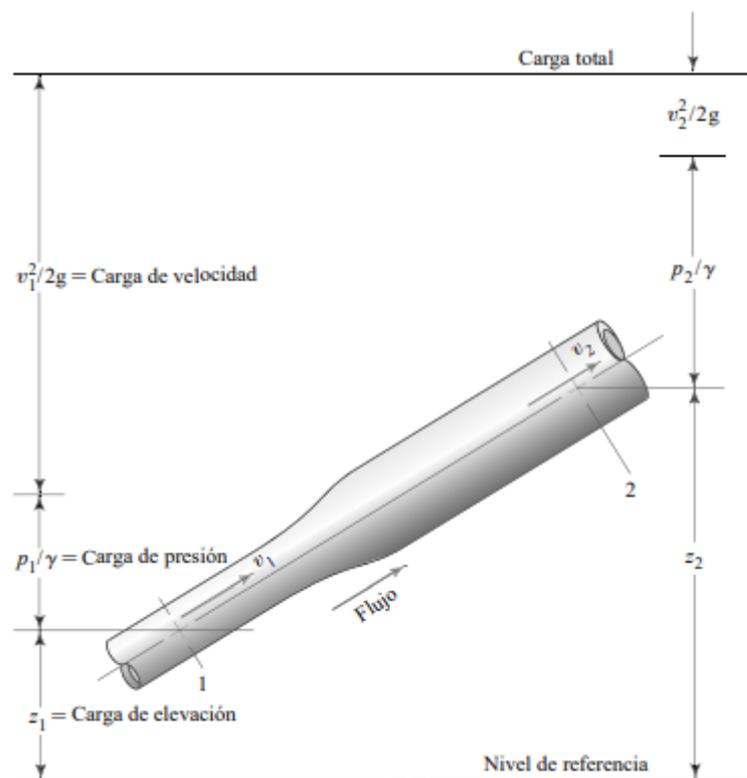


Figura 3.20. Carga de presión, carga de elevación, carga de velocidad y carga total [16]

Dado que cada término en la ecuación de Bernoulli representa la altura, una gráfica similar ayuda a visualizar la relación entre las tres energías. A medida que el fluido se mueve del punto 1 al punto 2, los valores de amplitud en cada término pueden cambiar. Sin embargo, si no se pierde ni se agrega energía al líquido, el manómetro total permanece constante. La ecuación de Bernoulli se utiliza para determinar cómo cambian los valores de presión, sustentación y velocidad a medida que el fluido fluye a través del sistema. Se puede ver que la velocidad de

descarga de la Parte 2 es más lenta que la de la Parte 1. Esto puede demostrarse mediante la ecuación de continuidad.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$v_2 = v_1 \left(\frac{A_1}{A_2} \right)$$

Puesto que $A_1 > A_2$, v_2 debe ser menor que v_1 . Y debido a que la velocidad se eleva al cuadrado en el término de la carga de velocidad, $\frac{v_2^2}{2g}$ es mucho menor que $\frac{v_1^2}{2g}$. Por lo general, cuando el tamaño de la sección se expande, la carga de presión aumenta debido a que la carga de velocidad disminuye. Sin embargo, el cambio real también se ve afectado por el cambio en la carga de elevación; en este caso, la carga de elevación aumentó entre los puntos 1 y 2.

En resumen, la ecuación de Bernoulli describe el cambio en la altura de caída, la presión y la velocidad entre dos puntos en un sistema de flujo de fluidos. La carga total se mantiene constante porque se supone que no hay pérdida ni adición de energía entre los dos puntos.

Al escribir la ecuación de Bernoulli, es imperativo que las presiones en ambos puntos de referencia se expresen como presión absoluta o ambas como presión relativa. Es decir, ambos deben tener la misma presión de referencia. Para la mayoría de los problemas, la presión relativa es útil porque la presión en algunos sistemas líquidos en contacto con la atmósfera es cero. Además, la mayoría de las presiones se miden con un manómetro barométrico local.

3.13.1. Restricciones a la ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli se puede aplicar a muchos problemas prácticos, pero existen algunas limitaciones que deben entenderse para poder aplicarla correctamente.

1. Se supone que el peso específico del líquido es el mismo en ambas partes de interés, por lo que solo es válido para líquidos incompresibles.
2. La ecuación muestra que la energía total es constante en un líquido, por lo que no hay ningún dispositivo mecánico entre las dos partes de interés que agreguen o eliminen energía del sistema.
3. No puede haber transferencia de calor dentro o fuera del líquido.
4. No puede haber pérdida de energía debido a la fricción.

De hecho, no existe ningún sistema que cumpla con todas estas limitaciones. Sin embargo, hay muchos sistemas que utilizan la ecuación de Bernoulli que producen errores insignificantes. Además, esta fórmula permite cálculos rápidos cuando necesita una estimación aproximada.

3.13.2. Aplicaciones de la ecuación de Bernoulli

Se presentan varios ejemplos de problemas programados para ilustrar el uso de las ecuaciones de Bernoulli. Aunque no es posible abordar todos los tipos de problemas con una solución específica, a continuación, se describe un enfoque general para los problemas de flujo de fluidos.: Aviación y vehículos de alta velocidad, Chimenea, Tubería, Natación, Carburador de automóvil, Dispositivos de Venturi y Sistema pitot-estático en aviación

3.13.3. Procedimiento para aplicar la ecuación de Bernoulli

1. Identifique los elementos conocidos y lo que necesita buscar.
2. Defina dos partes del sistema utilizado para escribir las ecuaciones de Bernoulli. La parte seleccionada de algún valor de datos conocido. La segunda parte suele ser la parte en la que necesitas calcular algo.
3. Describe la ecuación de Bernoulli para dos partes seleccionadas del sistema. Es importante que las ecuaciones se escriban en la dirección del flujo. Es decir, el flujo debe ir de la sección izquierda de la ecuación a la sección derecha.
4. Es evidente en las etiquetas de índice de los términos presión, altura de elevación y velocidad en la ecuación de Bernoulli. Debe conocer la posición del punto de referencia del sistema en el croquis.
5. Si es posible, simplifique la ecuación cancelando el término cero o términos iguales en cualquier lado de la ecuación.
6. Resolver expresiones algebraicas y resolver los términos deseados.
7. Combine las cantidades conocidas y calcule el resultado. Asegúrese de usar unidades consistentes al calcular. [16]

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto se basa en generar un módulo HIL para el desarrollo y comprobación de un sistema de control de nivel en tiempo real ya que puede incluir toda la complejidad que puede tener una planta real lo cual se realizara mediante modelos matemáticos de varios sistemas dinámicos relacionados con el control de nivel “simulación de la planta”. Para compara su funcionamiento con una planta física.

La fabricación del módulo HIL tendrá como precedente varios antecedentes bibliográficos, ya que para la utilización de componentes se requieren especificaciones técnicas que se pueden encontrar tanto como textos impresos y digitales para una correcta manipulación de los mismos.

4.2. Esquema general del proyecto

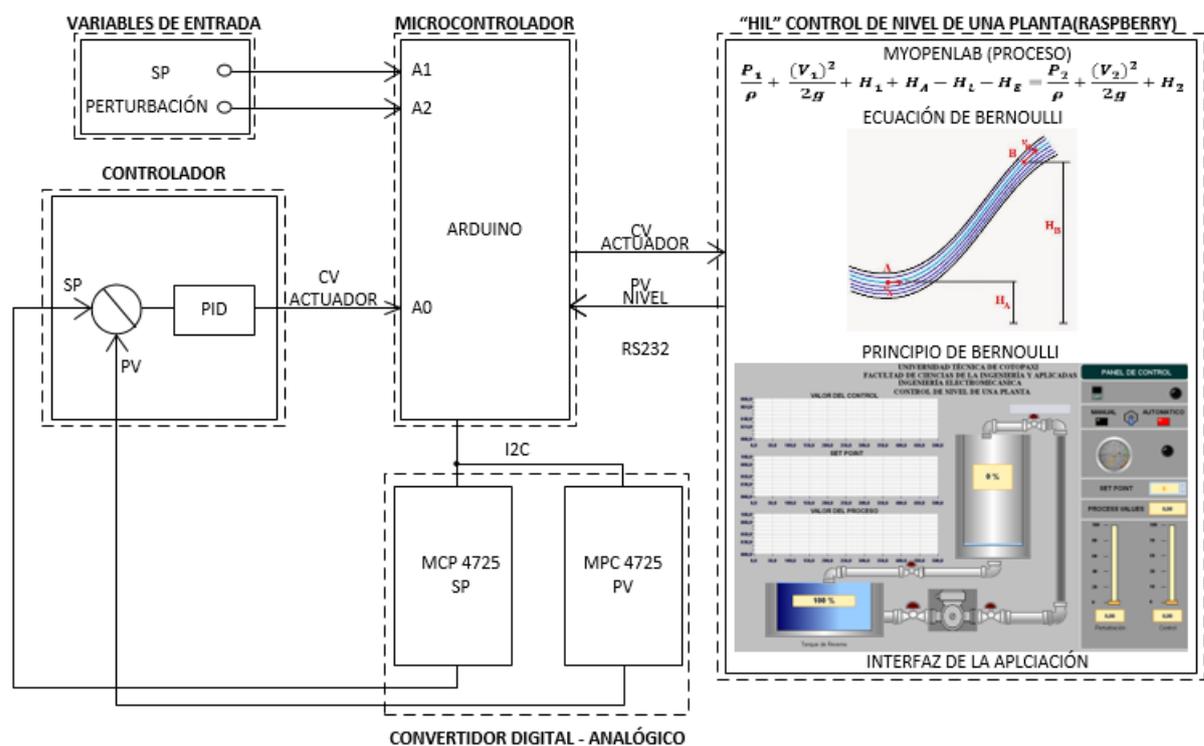


Figura 4.1. Esquema del proyecto

4.3. TANQUES

4.3.1 Tanque principal

El tanque posee una forma especial de paralelogramo donde se almacena el líquido en este caso es agua a ser utilizada en se tomarán en cuenta los parámetros del módulo físico lo cual se verá representado con la siguiente formula.

$$Vol = L \cdot A \cdot H$$

Donde:

Vol: Volumen (m^3)

L: Largo (m)

A: Ancho (m)

H: Altura (m)

4.3.2. Dimensionamiento del tanque

Tanque de almacenamiento del liquido

$$Vol = L \cdot A \cdot H$$

$$Vol = 0.26m \cdot 0.26m \cdot 1m$$

$$Vol = 0,0676m^3$$

Tomando en cuenta que el volumen es de $0.0676m^3$ lo que equivale a 67.6 litros de agua para el tanque principal, ya que se trata de un módulo HIL el valor a almacenar en el tanque de depósito es despreciado.

4.3.3. Tuberías

Al ser un módulo HIL todo lo relacionado es despreciado, así como:

- Resistencia a la intemperie
- Resistencia a la presión del fluido
- Niveles de oxidación
- Maniobrabilidad

Lo único que se utilizara de este apartado es el dimensionamiento de la tubería que se encuentra en el módulo físico ya que es el mismo tamaño para el desfogue del fluido en el recipiente, tanto como la entrada y salida de la bomba ver.

Tabla 4.1. Tuberías presión Pavco Wavin [17]

Diámetro Nominal		Referencia	Peso g/m	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio mm
mm	pulg.			mm	pulg.	mm	pulg.	
								
RDE 9 PVC								
Presión de Trabajo a 23°C: 500 PSI								
21	1/2	2900266	218	21.34	0.84	2.37	0.09	16.60
RDE 11 PVC								
Presión de Trabajo a 23°C: 400 PSI								
26	3/4	2900210	304	26.67	1.05	2.43	0.09	21.81
RDE 13.5 PVC								
Presión de Trabajo a 23°C: 315 PSI								
21	1/2	2902449	157	21.34	0.84	1.58	0.06	18.18
33	1	2900213	364	33.40	1.31	2.46	0.09	28.48
RDE 21 PVC								
Presión de Trabajo a 23°C: 200 PSI								
26	3/4	2900237	189	26.7	1.05	1.52	0.06	23.63
33	1	2900220	252	33.4	1.31	1.60	0.06	30.20
42	1.1/4	2900225	395	42.2	1.66	2.01	0.08	38.14
48	1.1/2	2902450	514	48.3	1.90	2.29	0.09	43.68
60	2	2902453	811	60.3	2.37	2.87	0.11	54.58
73	2.1/2	2900230	1185	73.0	2.87	3.48	0.14	66.07
88	3	2900233	1761	88.9	3.50	4.24	0.17	80.42
114	4	2900240	2904	114.3	4.50	5.44	0.21	103.42
168	6	2904616	5835	168.3	6.62	8.03	0.32	152.22
RDE 26 PVC								
Presión de Trabajo a 23°C: 160 PSI								
60	2	2900246	655	60.3	2.37	2.31	0.09	55.70
73	2.1/2	2900248	964	73.0	2.87	2.79	0.11	67.45
88	3	2900251	1438	88.9	3.50	3.43	0.13	82.04
114	4	2900254	2376	114.3	4.50	4.39	0.17	105.52
168	6	2904617	4759	168.3	6.62	6.48	0.25	155.32
RDE 32.5 PVC								
Presión de Trabajo a 23°C: 125 PSI								
88	3	2900256	1157	88.9	3.50	2.74	0.11	83.42
114	4	2900258	1904	114.3	4.50	3.51	0.14	107.28
RDE 41 PVC								
Presión de Trabajo a 23°C: 100 PSI								
114	4	2900261	1535	114.3	4.50	2.79	0.11	108.72

4.4. PARÁMETROS TÉCNICOS DE LA BOMBA DE AGUA TRIFÁSICA

Una máquina que convierte energía para mover agua. Este movimiento es generalmente hacia arriba. Hay dos tipos de bombas, "volumen" y "turbina de chorro".

Todo tiene entrada y salida volumen de movimiento del agua debido a cambios periódicos de volumen. Este es el caso de las bombas de pistón. Las turbobombas tienen un elemento giratorio que crea resistencia al agua. Este elemento de "rotor" se denomina "rotor" y normalmente se proporciona en forma de hélice o rueda con hélice. La bomba puede recibir energía de una

variedad de fuentes. La energía eólica se ha utilizado para esto desde la antigüedad. El movimiento de los aerogeneradores se transmite a la bomba que bombea el agua del pozo. Cuando una bomba recibe energía a través de un motor de acoplamiento, el conjunto se denomina motor de bomba. El motor también se puede separar de la bomba. [18]

En este caso se usará una bomba de agua con las siguientes especificaciones

Tabla 4.2 Parámetros de bomba 240LPMHME200 [19]

CÓDIGO	Ø SUCCIÓN	Ø DESCARGA	POTENCIA	VOLTAJE	CORRIENTE	FLUJO MÁX.	PRESIÓN MÁX.	PUNTO DE MAYOR EFICIENCIA
4HME200	1 ½"	1 ¼"	2 HP	127/220 V~ 60Hz 1Φ	24 / 12 A	300 l/min	37 m	220 l/min a 24 m
5HME200	1 ½"	1 ¼"	2 HP		24 / 12 A	275 l/min	40 m	180 l/min a 29 m
6HME300	2"	1 ½"	3 HP		26 / 15 A	460 l/min	37 m	320 l/min a 24 m
4HME0200A	1 ½"	1 ¼"	2 HP	220/440 V~ 60Hz 3Φ	6 / 3 A	300 l/min	37 m	220 l/min a 24 m
5HME0200A	1 ½"	1 ¼"	2 HP		6 / 3 A	275 l/min	40m	180 l/min a 29 m
6HME0300	2"	1 ½"	3 HP		8.4 / 4.2 A	460 l/min	37 m	320 l/min a 24 m
6HME0300A	2"	1 ½"	3 HP		9 / 4.5 A	460 l/min	37 m	320 l/min a 24 m

4.5. TIEMPO DE LLENADO Y VACIADO DE LA PLANTA

4.5.1. Vaciado de planta

Para los cálculos de estos tiempos primero se debe simplificar la ecuación de Bernoulli

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} \quad (3.11)$$

$v = \sqrt{2gh}$ velocidad de salida por el agujero

Ahora para el vaciado completo del tanque se debe integrar la velocidad en función del tiempo

$$\frac{dv}{dt} = -va$$

Como resultado se obtiene lo siguiente:

$t_2 = \text{tiempo de vaciado}$

$$t_2 = \frac{l \cdot a}{\frac{\pi \cdot \Phi^2}{4}} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Ya resuelto tenemos que el tiempo el tiempo de vaciado es de 160,95s.

4.5.2. Llenado de planta

Para esto simplemente se aplica la formula y se realiza un despeje

$$t1 = \frac{(l \cdot a \cdot h \cdot 60000)}{q} s$$

Y se obtiene que el tiempo de llenado es de 67,6 s teóricamente.

De esto se hace una relación para poder multiplicar la perturbación con el fin de igualarla a 160,95 y entonces se divide el t1 para el t2 y se tiene 0,42.

Para el desglose completo de los cálculos de estos requerimientos ver **Anexo VII** y para el ingreso de datos al Arduino ver **Anexo X**.

4.6. SELECCIÓN DE COMPONENTES ELÉCTRICOS Y ELECTRÓNICOS

- Kit full Raspberry Pi 4 8gb
- Placa de planta
- PLC SIEMENS S7 1200
- Cualquier tipo de pantalla que disponga Puerto HDMI
- Componentes extras para funcionamiento del módulo HIL

Los componentes más importantes fueron escogidos de acuerdo al **Anexo XIII**.

4.6.1. Características kit full Raspberry Pi 4 8GB

Este kit completo dispone de los siguientes componentes:

- 1 Raspberry Pi 4 Modelo B – 8GB RAM
- 1 Cargador 5V – 3A
- 1 Case acrílico
- 1 Ventilador
- 1 Cable USB tipo C
- 3 Disipadores

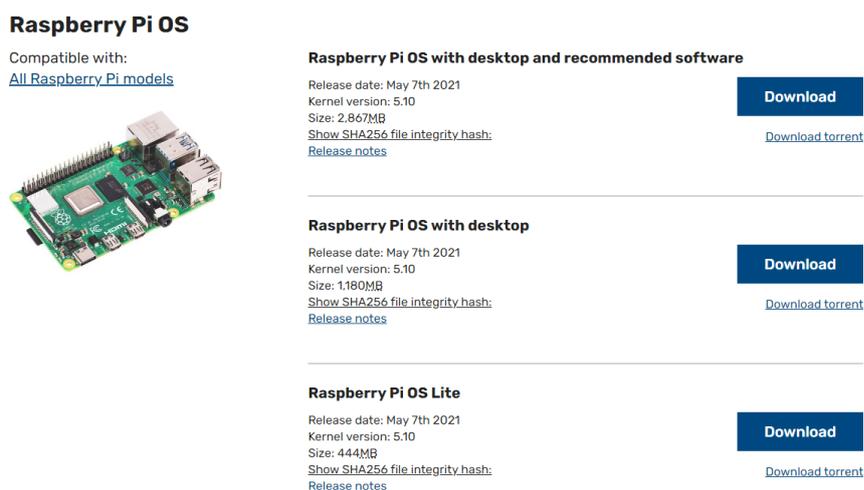
- 1 Adaptador HDMI a micro HDMI
- 1 Tarjeta micro SD – 32 GB

La Raspberry Pi 4 de este proyecto implementa la función más común que puede tener una computadora y actúa como una pieza de hardware porque es gratuita con Raspberry Pi OS sin una licencia comercial.

4.6.2. Programación de Raspbian en la Raspberry Pi 4

a) Descarga del sistema operativo

Para realizar esto se debe ingresar a la página de Raspberry Pi <https://www.raspberrypi.org/software/operating-systems/> donde se elegirá la primera opción y se descargará un archivo zip.



Raspberry Pi OS
Compatible with:
[All Raspberry Pi models](#)

Raspberry Pi OS with desktop and recommended software
Release date: May 7th 2021
Kernel version: 5.10
Size: 2.867MB
[Show SHA256 file integrity hash:](#)
[Release notes](#)

Raspberry Pi OS with desktop
Release date: May 7th 2021
Kernel version: 5.10
Size: 1.180MB
[Show SHA256 file integrity hash:](#)
[Release notes](#)

Raspberry Pi OS Lite
Release date: May 7th 2021
Kernel version: 5.10
Size: 444MB
[Show SHA256 file integrity hash:](#)
[Release notes](#)

Figura 4.2. Descarga de sistema operativo Raspbian

b) Instalación de sistema operativo

Se procede a la instalación de Raspbian en la tarjeta microSD que debe tener una capacidad mayor a 16GB de memoria para esto se utilizara el programa etcher que permite cargar imágenes iso de sistemas operativos sin necesidad de descomprimir archivos zip.



Figura 4.3. Instalación de Raspbian mediante etcher

c) Cambio de tarjeta a Raspberry Pi 4

Una vez instalado Raspbian se procede a desmontar la tarjeta SD y colocarla en la Raspberry Pi 4 donde podemos observar un entorno Raspbian correctamente instalado.



Figura 4.4. Entorno de sistema operativo Raspbian

Para la correcta instalación del sistema operativo Raspbian y MyOpenLaB diríjase al **Anexo VIII**.

4.6.3. Diseño de placa electrónica



Figura 4.6. Cargador 12V 5A jsy-1205

Pero la Raspberry Pi funciona con 5 voltios así que para esto se utilizara un regulador dc dc

Tabla 4.4. Comparación de reguladores DC DC

Comparación de reguladores de voltaje	
<p>Serie: LM2596</p> 	<p>Longitud: 43 mm</p> <p>Ancho: 21 mm</p> <p>Altura: 14 mm</p> <p>Voltaje de entrada: 4 a 35 V (INPUT)</p> <p>Corriente de Salida: máx. 3A, 2.5A (usar disipador para corrientes mayores a 2A)</p> <p>Precio USD: 5\$</p>
<p>Serie: XL4005</p> 	<p>Longitud: 43 mm</p> <p>Ancho: 21 mm</p> <p>Altura: 13 mm</p> <p>Voltaje de entrada: 5.0 a 32 V DC (INPUT)</p> <p>Corriente de salida: 5 A máx. (usar disipador para corrientes mayores a 2.5A)</p> <p>Precio USD: 5\$</p>

<p>Serie: HW-636</p> 	<p>Longitud: 76.7 mm</p> <p>Ancho: 22.2 mm</p> <p>Altura: 20 mm</p> <p>Voltaje de entrada: 6.5 a 60 V DC (INPUT)</p> <p>Corriente de Salida: 10 A máx. (usar disipador para corrientes mayores a 7^a)</p> <p>Precio USD: 10\$</p>
--	---

Después de analizar y probar estos reguladores de voltaje se procede a escoger tomando en cuenta que los 3 cumplen con sus funciones, pero los 2 primeros tienen a calentarse ya que su rango es mucho menor al último después de varias pruebas se toma en cuenta que el equipo debe estar varias horas en funcionamiento por que podría quemarse así que se elige la opción un poco más costosa pero que garantizara su correcto funcionamiento.

b) Placa de circuito impreso o PCB

El uso de PCB fue un gran avance en el desarrollo de dispositivos electrónicos, ya que proporcionó una forma innovadora de conectar elementos sin el uso de cables eléctricos. Sin la invención de los PCB, el mundo actual no sería el mismo. Entonces, veamos qué es una PCB y cómo se fabrica.. [20]

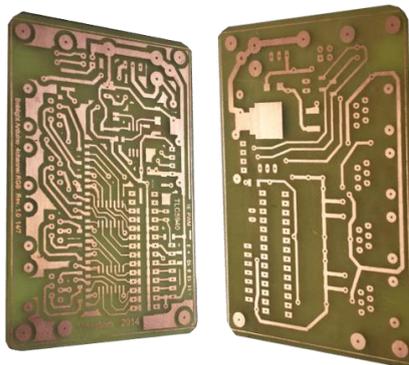


Figura 4.7. Placa PCB casera [20]

c) Arduino nano

Arduino Nano tiene la misma funcionalidad que Arduino Duemilanove, pero con un paquete diferente. El Nano, como el Arduino Uno, se basa en el ATmega328 (Arduino Nano 3.x) con el ATmega328P integrado. La principal diferencia entre ellos es que el Arduino Uno se ofrece en forma de PDIP (paquete de plástico dual en línea) de 30 pines y el Arduino Nano se ofrece en forma de TQFP de 32 pines (paquete de cuatro planos de plástico). Los dos pines adicionales en el Arduino Nano son para la funcionalidad ADC, el UNO tiene 6 puertos ADC, mientras que el Nano tiene 8 puertos ADC.

Características de Arduino Nano

- Arduino Nano Pinout contiene 1 pines digitales, 8 pines analógicos, 2 pines de reinicio y 6 pines de alimentación.
- A cada uno de estos pines digitales y analógicos se le asigna una función, pero su función principal debe configurarse como entrada o salida. Cuando se conecta al sensor, actúa como un pin de entrada, pero cuando conduce una carga, lo usa como salida.
- Funciones como `pinMode ()` y `digitalWrite ()` se utilizan para controlar el comportamiento de los pines digitales y `analogRead ()` se utiliza para controlar los pines analógicos.
- Los pines analógicos tienen una resolución completa de 10 bits de 0-5V.
- El Arduino Nano está equipado con un oscilador de cristal de frecuencia de 16 MHz, que se utiliza para generar un reloj de frecuencia preciso utilizando un voltaje constante.
- Esta tarjeta no usa USB estándar para conectarse a la computadora, pero es compatible con mini USB. La memoria flash del es de 16KB o 32KB, todo depende de la tarjeta Atmega. En otras palabras, Atmega168 viene con 16K de memoria flash y Atmega328 viene con 32K de memoria flash.
- La memoria flash se utiliza para almacenar códigos. Se utiliza un total de 2 KB de memoria flash para el gestor de arranque. SRAM es 1KB o 2KB, y EEPROM es 512 bytes o 1KB para Atmega168 y Atmega328, respectivamente.

Especificaciones técnicas de Arduino Nano

- Microcontrolador Arduino ATmega328
- Arquitectura, AVR
- Voltaje de operación, 5 V

- Memoria flash,32 KB de los cuales 2 KB utilizados por bootloader
- SRAM 2 KB
- Velocidad del reloj 16 MHz
- Pines de E/S analógicas, 8
- EEPROM,1 KB
- Corriente continua por pin entrada salida, 40 mA (Pines de E/S)
- Voltaje de entrada, 7-12 V
- Pines de E/S digitales, 22
- Salida PWM, 6
- Consumo de energía, 19 mA
- Tamaño de la placa de circuito impreso,18 x 45 mm
- Peso, 7 g [21]

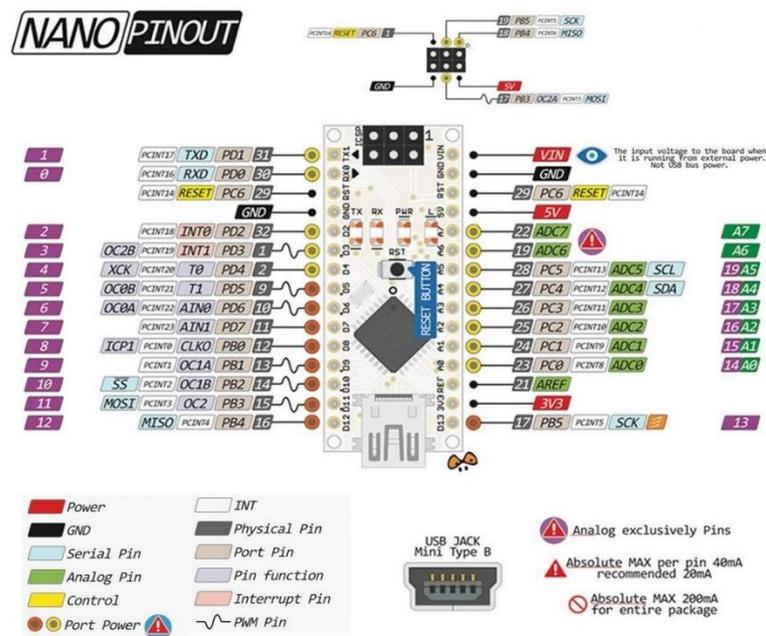


Figura 4.8. Diagrama de distribución de pines Arduino nano [21]

d) MCP 4725

Puede utilizar un convertidor DAC o de digital a analógico para crear una señal analógica a partir de una señal digital, en lugar de un ADC. Este módulo le permite controlar fácilmente el MCP2725 integrado a través de I2C y generar voltajes analógicos desde su sistema digital. Ideal para proyectos de control de voltaje analógico como alternativa a los potenciómetros. Puede acceder al pin de dirección I2C del módulo

DAC para cambiar los bits ADDR / A0 de la dirección del módulo en el bus I2C, por lo que puede usar hasta dos DAC en el mismo bus I2C. El chip puede funcionar a 3,3 V o 5 V, y el rango de voltaje de salida depende del voltaje de suministro. Cuando la fuente de alimentación se suministra a 5v, el voltaje de salida será de 0 a 5v, y lo mismo es cierto para 3.3v. Funciona en modo I2C de alta velocidad de 3, Mbps.

Especificaciones técnicas

- Voltaje de Alimentación: 2.7V a 5.5V
- CHIP: MCP4725
- Resolución de 12-bit (1.22mV si VCC=5V)
- Interfaz I²C (Standard, Fast, y High-Speed soportados)
- Dirección I2C: 0x62 o 0x63.
- Pequeño empaque
- EEPROM interna para almacenar configuraciones [22]

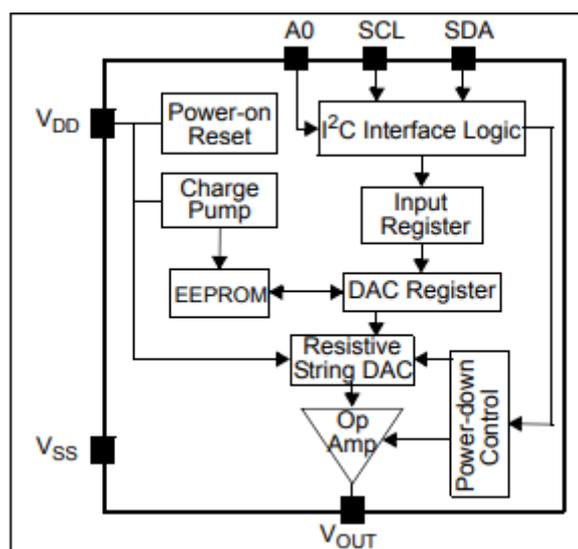


Figura 4.9. Diagrama de bloques MCP 4725 [22]

e) LM324

El amplificador LM358 es un circuito integrado (IC) de 8 pines construido internamente a partir de dos amplificadores operacionales independientes de alta ganancia con compensación de frecuencia interna y diseñado específicamente para operar desde una sola fuente.

Características y especificaciones técnicas

- Voltaje de alimentación: 3 @ 32 volts
- Voltaje offset de entrada: 7mV
- Corriente de salida por canal: 30 mA
- Corriente de suministro operativa: 350 uA
- Tipo: Amplificador Operacional
- Matricula: LM358P
- Encapsulado: PDIP-8
- Pines: 8 pines
- Altura: 4.57 mm
- Longitud: 9.81 mm
- Ancho: 6.35 mm
- Peso de la unidad: 450 mg
- Velocidad de precesión: 0.3 V/us
- Ganancia de voltaje: 100 dB
- Proporción de rechazo de modo común (CMRR): 65 dB to 80 dB
- Número de canales: 2 canales
- Frecuencia de ancho de banda (GBP): 700 KHz
- Temperatura de trabajo: 0 @ 70 °C [23]

4.7. DISEÑO DE CARCASA DE PLANTA

Con la utilización de software de diseño asistido por computador y herramientas CAD se realiza el diseño estructural del prototipo donde se albergará tanto la Raspberry Pi como el PCB y otros componentes primordiales para su correcto funcionamiento. Para el diseño en máquinas de impresión 3D las cuales son muy utilizadas en la actualidad.



Figura 4.10. Diseño 3D de contenedor de planta

4.8. PROCESO EN MYOPENLAB

4.8.1. Instalación

Para la instalación del software MyOpenLab se debe hacer directamente desde el ordenador hay que tener en cuenta que se debe descargar la versión para Linux ya que es el sistema en el que se encuentra Raspbian una vez descargado se debe hacer un pequeño ajuste ya que MyOpenLab trabaja en la versión de Java 8 y los sistemas operativos Raspbian ya vienen instalados la versión 11 por defecto así que simplemente se debe abrir el ejecutador de comando y se escribe lo siguiente.

- `sudo apt update`
- `sudo apt install openjdk-8-jdk`

Verifique la instalación imprimiendo la versión de Java:

- java –versión

La salida debería verse así:

- openjdk version "1.8.0_212"
- OpenJDK Runtime Environment (build 1.8.0_212-8u212-b01-1+rpi1-b01)
- OpenJDK Client VM (build 25.212-b01, mixed mode)

4.8.2. Comunicación serial MyOpenLab

Para la comunicación serial de MyOpenLab se utilizó el bloque COM en los que viene detallado su funcionamiento y a qué lugar debe conectarse es una de las ventajas de este software ya que incluso suele tener un breve ejemplo de su conexión

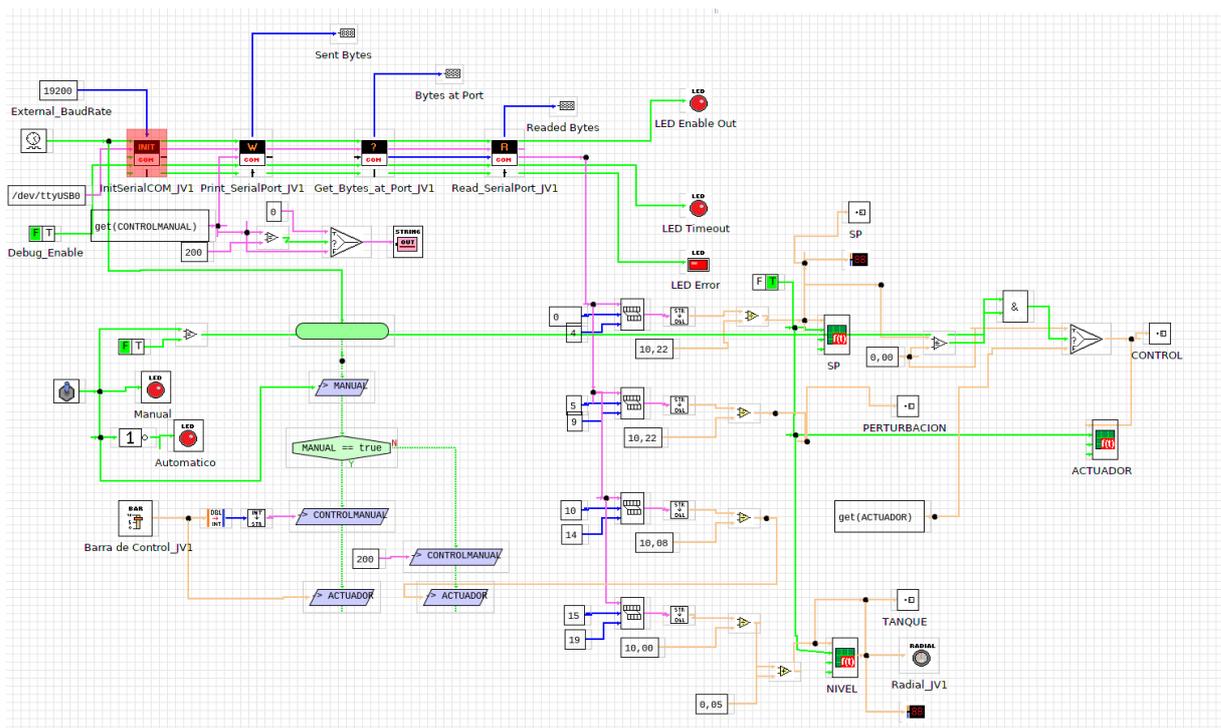


Figura 4.11. Comunicación serial de la planta

De la misma manera tenemos el diseño del panel de control de la planta donde se puede observar el comportamiento de las variables.

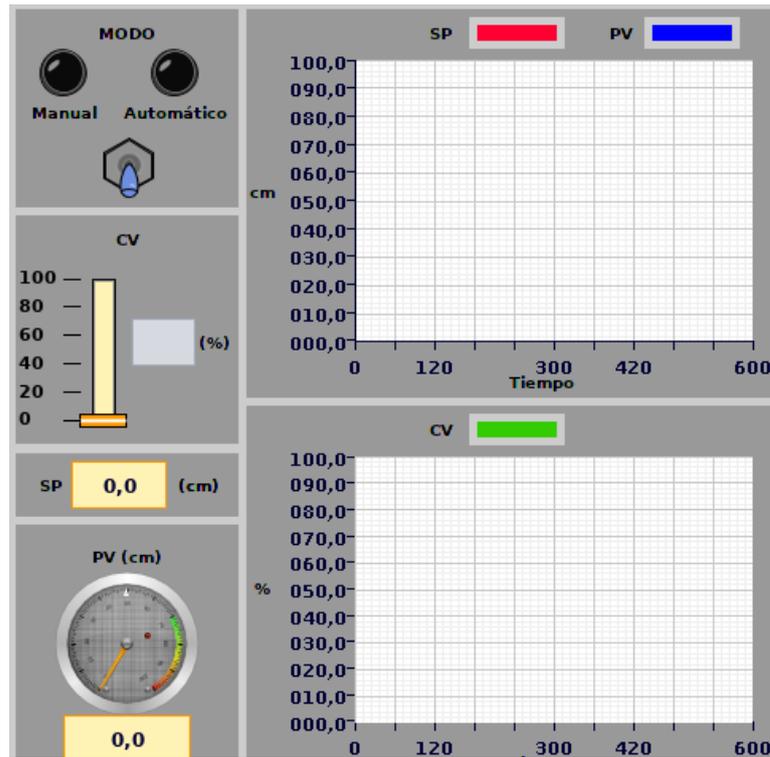


Figura 4.11. Panel de comportamiento de variables

4.8.3. Diseño de entorno virtual

En este lugar tenemos la ubicación de los bloques de tanque y tuberías para una mejor interacción con el usuario y así poder observar que es lo que ocurre en la planta, así como un registro de datos separado de cada variable.

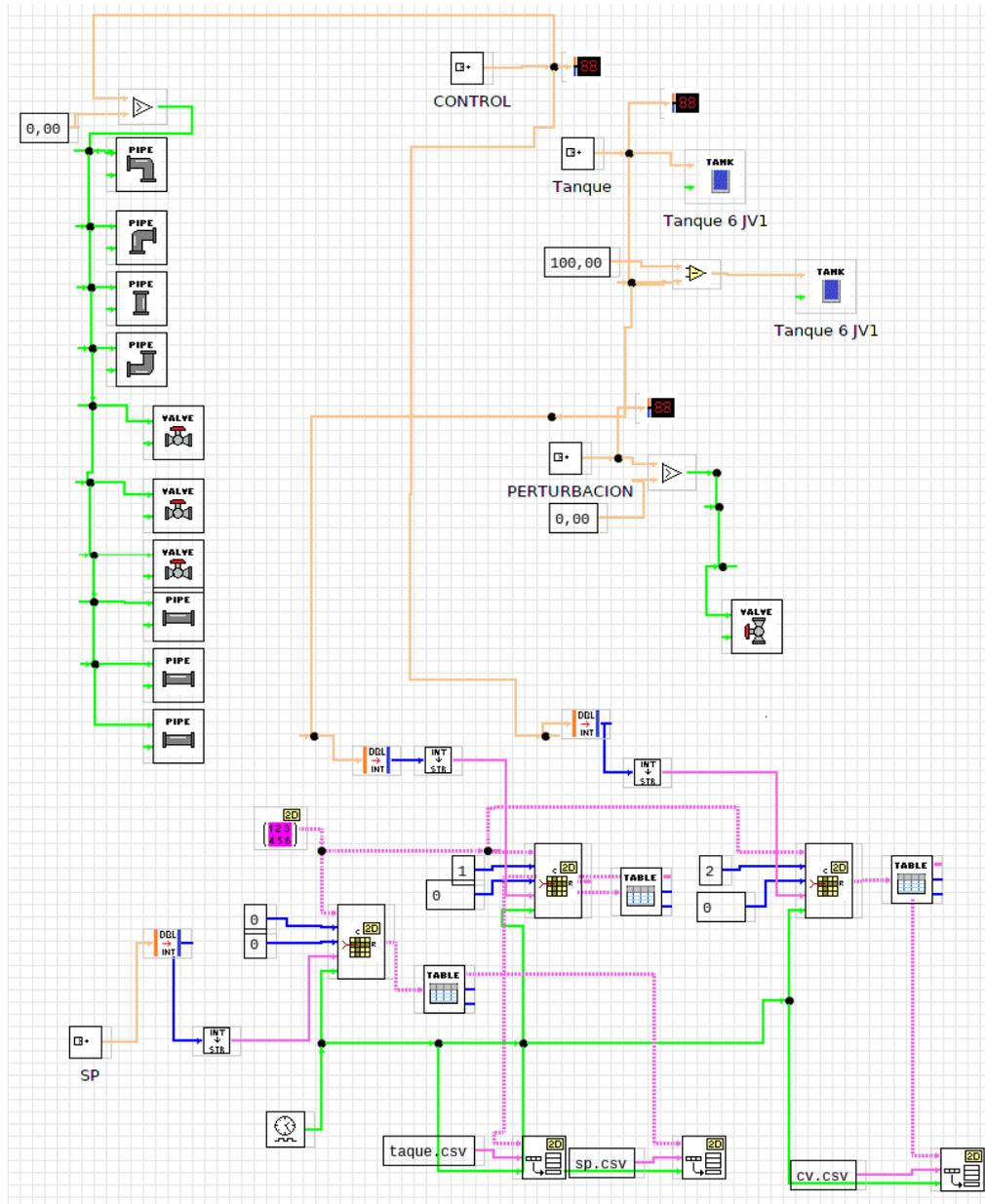


Figura 4.12. Panel modelo de planta y registro de datos

De la misma manera se tiene la forma didáctica de observar la planta como se muestra a continuación

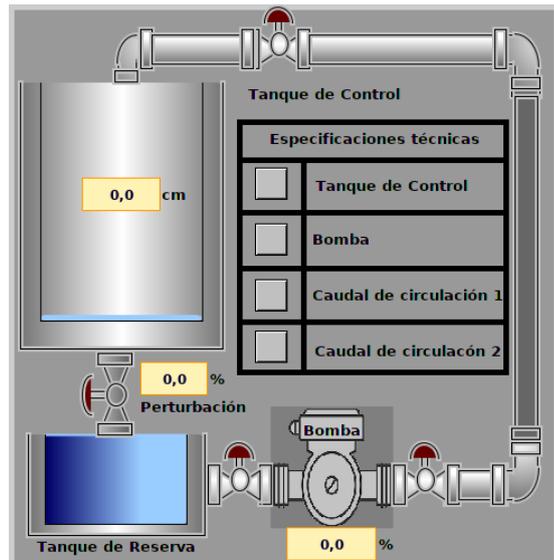


Figura 4.13. Entorno de planta

4.9. PROGRAMACIÓN PLC S7-1200

El desarrollo de la programación del PLC se realiza mediante el software TIA Portal, que es la plataforma predeterminada disponible bajo la marca SIEMENS. Tiene tres segmentos programables, dos entradas y una salida.

4.9.1 Normalizado y escalamiento de la señal analógica en la entrada

Para la programación que se realiza, el software permite su uso con la compra de algún producto en este caso se adquirió el módulo analógico SB1232 en el primer segmento se tiene un escalamiento de señal analógica en la entrada, primero se realiza un normalizado de la variable AnalógicoIN1 para que pase a ser la variable de proceso “PV” que viene a ser la cantidad de líquido en el tanque para luego en base cuanto tengo el transductor de nivel se puede identificar el escalamiento de entrada que viene a ser de 0 a 100 cm, posteriormente este dato se convierte de real a entero para poder representarlo en una memoria que se asignará para su visualización.

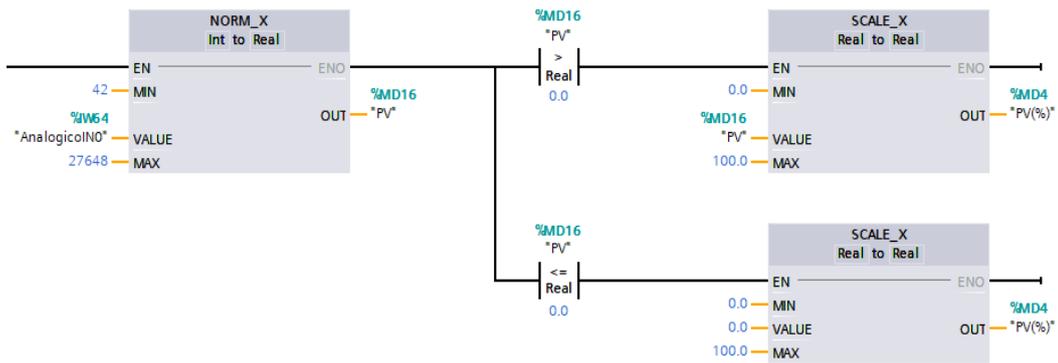


Figura 4.14. Normalizado y escalamiento de la señal analógica de entrada

Luego se realiza el normalizado y escalado de la segunda señal de entrada analógica que viene a ser el “SP” y aunque esta variable se ingresa manualmente, se la coloca de la misma manera que la variable del proceso “PV” para su visualización las cuales tendrán una escala de 0 a 100 cm.

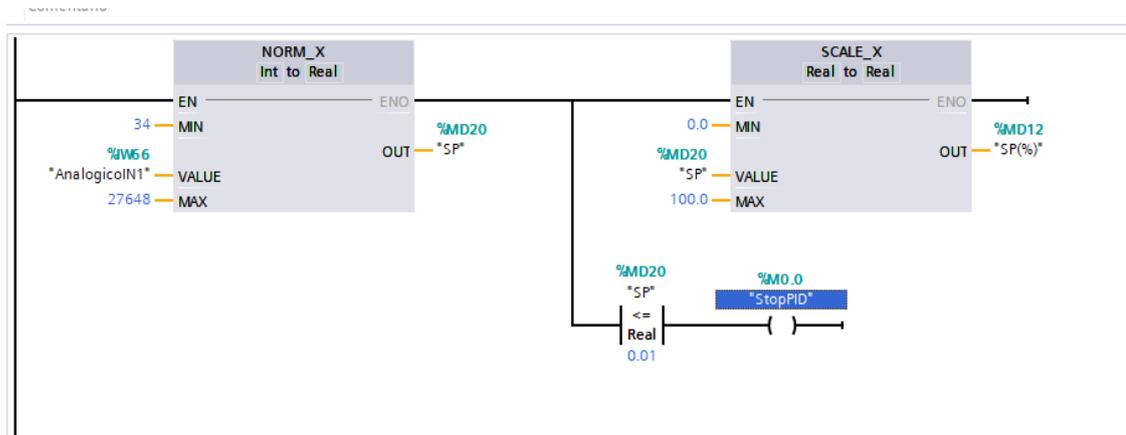


Figura 4.15. Normalización y escalamiento de la segunda señal analógica de entrada

4.9.2. Normalizado y escalamiento de la señal analógica de salida

Se realiza el normalizado y escalado de la señal del PLC que se convierte conjuntamente en nuestro variador, indicando el valor que tiene nuestra bomba de agua tomando en cuenta un porcentaje de 0 a 100% y así mismo se utiliza una memoria para poder visualizar el valor dentro del software MyOpenLab como el resto de variables.



Figura 4.16. Normalizado y escalamiento de la señal analógica de salida

Así mismo dentro de TIA Portal, este cuenta con la función de PID_Compact, lo cual hace recibir la variable analógica de “SP” y compararla con la variable del proceso “PV” con esto se realiza una comparación entre el valor de seteo y el valor del sistema.

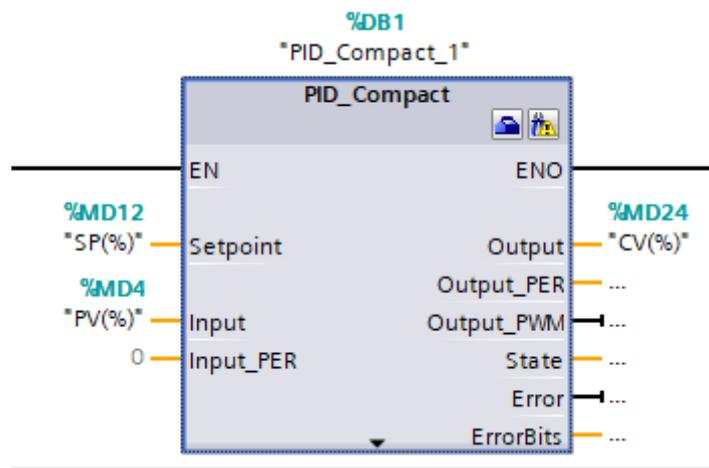


Figura 4.17. Recepción de valores para el control PID

Se debe ingresar en el PID_Compact en la parte de abrir la ventana de configuración para ajustar los límites de medición que tiene nuestro tanque para evitar errores al momento de la simulación.

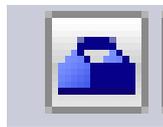


Figura 4.18. Icono para abrir la ventana de configuración

En este lugar en el lugar de límites del valor real se coloca la escala antes mencionada que viene a ser de 0 a 100 ya que las tres variables tienen el mismo tamaño tanto en límites como escalado.

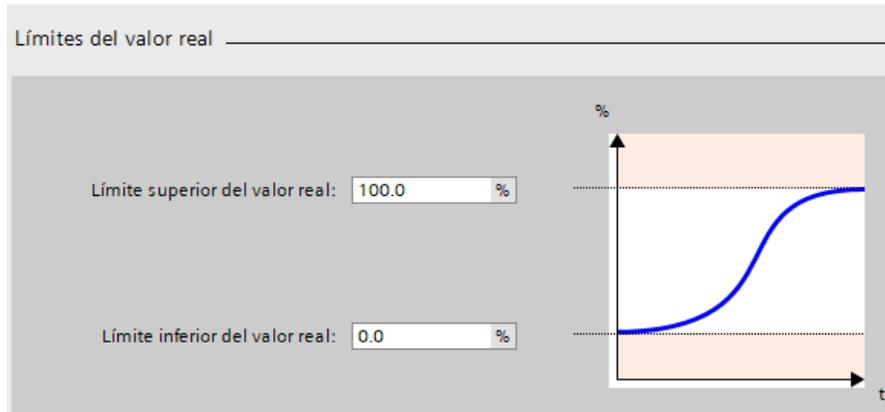


Figura 4.19. Límites de valor real

De tal manera que se ingresa los mismos valores en la escala del valor real.

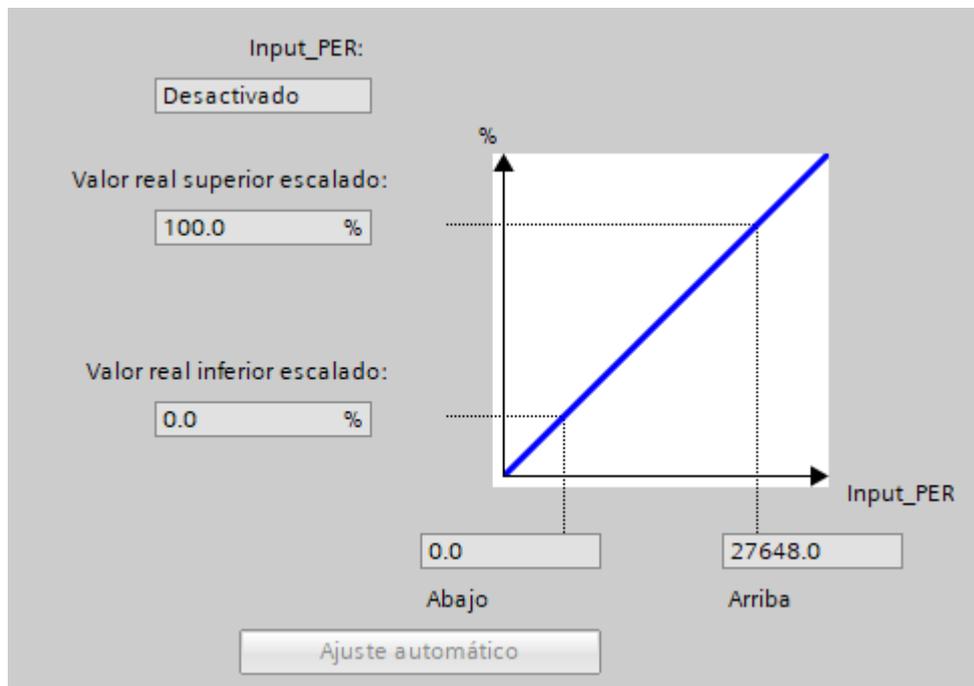


Figura 4.20. Escala del valor real

De la misma manera se realiza el proceso en escala del valor real a los límites de valor de salida que ha sido designado a la velocidad de nuestra bomba de agua ya que esta trabaja de un 0 a un 100% para regular el de nivel que se le ha designado.

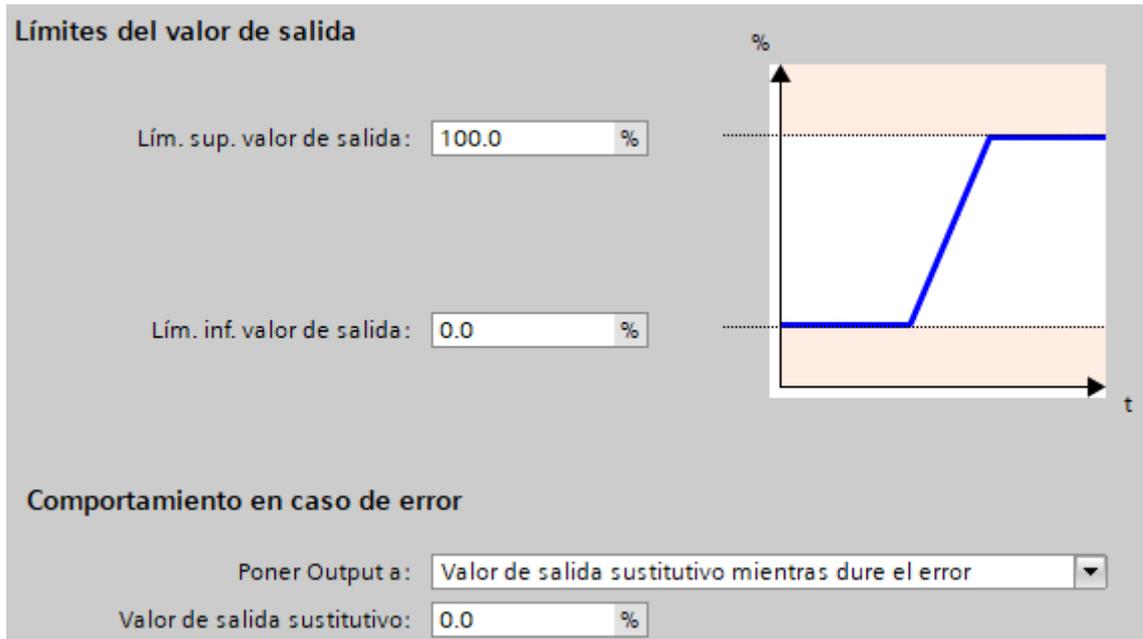


Figura 4.21. Límites de valor de salida

4.10. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN

Definir los parámetros de control según determinadas especificaciones. Cuando se inicia el control (primer ajuste o ajuste preestablecido). Cuando el usuario nota un deterioro en el funcionamiento del sistema de control (sistema de control (configuración de monitoreo, configuración de monitoreo))

4.10.1. Estimación en lazo abierto

En la mayoría de los procesos, la respuesta monótona a la entrada de tono aumenta constantemente. Consiste en estimar los parámetros (K , T_p y T_o) de un modelo simple que mejor se aproxima a las características de respuesta.

Pasos a seguir:

- Control mecánico
- Esperar hasta que la salida este en estado estable
- Provocar salto en a variable que se va a manejar
- Registrar la salida
- Obtener K como el cociente entre disturbios

- Medir momentos
- Obtener T_p

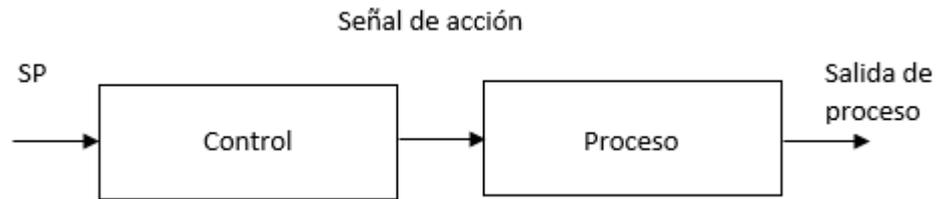


Figura 4.22. Estimación lazo abierto

4.10.2. Estimación lazo cerrado

La mayoría de los procesos pueden oscilar de forma controlada con el nivel de ganancia adecuado:

- Ganancia crítica k_c
- Periodo de oscilación mantenida t_c [24]

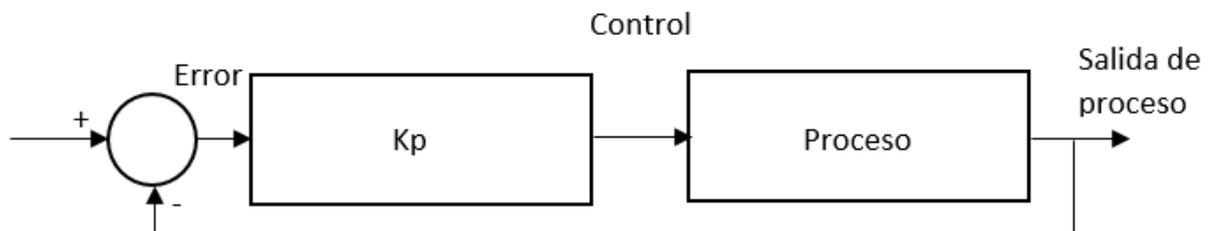


Figura 4.23. Estimación lazo cerrado

4.11. MÉTODOS DE SINTONIZACIÓN

4.11.1. Auto sintonización Simatic Step 7 Basic

El panel de control para la puesta en marcha PID, que también está integrado con SIMATIC STEP 7 Basic, simplifica la optimización del bucle de control. Proporciona una funcionalidad de bucle de control simple, autoajuste y sintonización manual para mostrar gráficamente la evolución de las variables del bucle de control. [25]

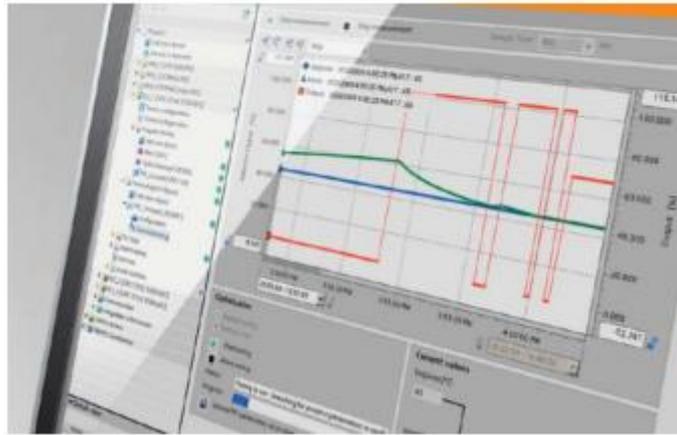


Figura 4.24. Auto sintonización TIA Portal [25]

4.11.2. Auto sintonización Matlab

MATLAB y los productos complementarios aportan eficiencia a estas tareas de diseño, ya que permiten:

- Configure el bloque del controlador Simulink PID para el algoritmo PID (P, PI o PID), la geometría del controlador (paralelo o estándar), la protección contra ráfagas (activada o desactivada) y el control de saturación de salida del controlador (activado o desactivado).
- Ganancias asociadas mejoradas con control automático del modelo de fábrica y diseño interactivo.
- Ajuste automático en tiempo real de las ganancias del controlador para máquinas físicas domésticas
- Ajuste por lotes de múltiples controladores.
- Circuito cerrado del sistema de control conectando bloques de controlador PID al modelo de fábrica
- Auto microcontrolador generado texto estructurado en código C auto generación y generación dinámica escalado automático de los beneficios del controlador para la implementación en procesadores que usan PLC o PAC
- IEC61131 aritmética de punto fijo

[26]

4.11.3. PID ideal

Un controlador PID ideal produce una señal de control $u(t)$ que consta de tres términos aditivos. Esto, como su nombre lo indica, es proporcional a la señal de error, su integral y su derivada.

Aquí, las constantes K_p , T_i y T_d a menudo se denominan ganancia proporcional, tiempo integral y tiempo derivado, respectivamente. [27]

4.11.3.1. HAY

El método de ajuste del controlador HAY PID le permite determinar los beneficios proporcionales, integrales y derivados de la respuesta de un sistema de circuito abierto o un sistema de circuito cerrado. Cada una de las dos pruebas se adapta mejor a un tipo de instalación que Skogesta. [28]

4.11.4. Método lambda

El método lambda, que se inició en la industria del papel y sigue siendo popular en la industria actual, es esencialmente un método sintético, y estos controladores están diseñados específicamente para el proceso.

Suponga que especifica que el comportamiento del bucle de control está determinado por un modelo principal que está retrasado con respecto al tiempo muerto. Hay tres coeficientes en esta relación:

- Ganancia de lazo cerrado K_c : La ganancia de lazo cerrado K_c debe establecerse en 1 para que el controlador realice la acción de reinicio. Para la variación unitaria del valor de consigna R , es necesario generar la variación unitaria en la variable. Control C .
- Tiempo muerto en lazo cerrado, T_m : El tiempo muerto en lazo cerrado T_m tiene el mismo tiempo muerto que el proceso T . Puede agregar tiempo muerto al lazo ($T_m > T$), pero no hay razón para hacerlo.
- Constante de tiempo de lazo cerrado, T_c : Constante de tiempo corto, proporciona una respuesta rápida y un piloto más agresivo. [29]

4.11.5. Método de tanteo

Después de analizar todos los métodos que requieren una ecuación o una función de transferencia en la que se utiliza un modelo de simulación, esta simplemente se aplica para cambiar los parámetros y así el resultado deseado. o se puede decir que la reclamación es realizable.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO

El módulo está destinado para realizar actividades en procesos industriales siendo un circuito cerrado de nivel de agua, que será trasladado desde el tanque de reserva por medio de un actuador que en este caso viene a ser la bomba de agua, hacia un tanque de depósito pasando teóricamente por un sensor ultrasónico lo cual será recibido por una variable virtual para poder controlada por medio de un controlador lógico programable PLC, por medio de un código libre de programación, de esta manera se procesaran el resto de señales sucesivamente lo que permitirá realizar el proceso de control de nivel simulando los módulos físico existentes en el laboratorio.

El control de nivel dentro del tanque será recibido por la programación ya descrita en nuestra planta que por medio de una entrada analógica enviara la señal hacia el PLC, y de la misma manera enviará una señal analógica hacia la planta para que se controle de tal manera la bomba de agua en relación al nivel que necesite el sistema.

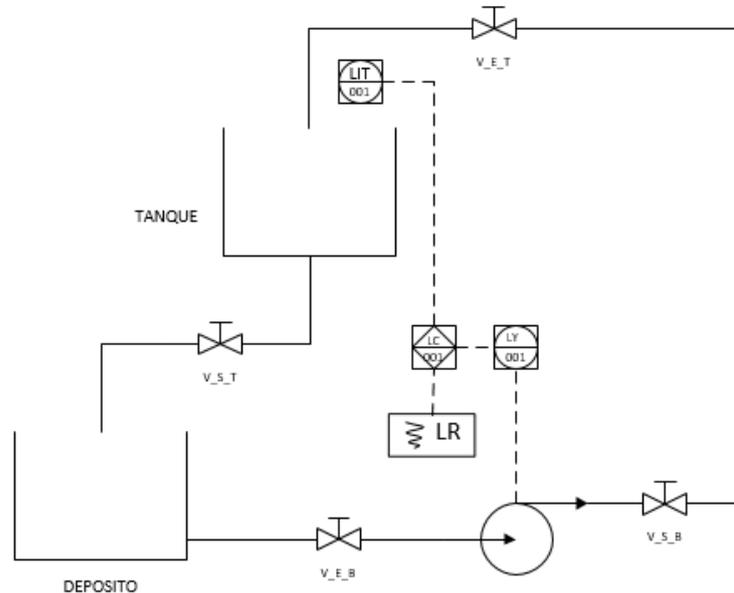


Figura 5.1. Diagrama P&ID

5.2. MODELAMIENTO DE LÍNEA DE TENDENCIA

Para poder sintonizar se debe realizar primero una línea de tendencia este punto ya tenemos la relación entre el tiempo de llenado y el tiempo de vaciado correspondiente así que se procede a dar un valor entrante al SP de 40 para que se grafique la curva del PV en periodos de tiempo de 0.1 segundos y poder obtener la respuesta del proceso de integración de ganancia y tiempo muerto y de esta manera poder aplicarlos a los diferentes métodos a probar.

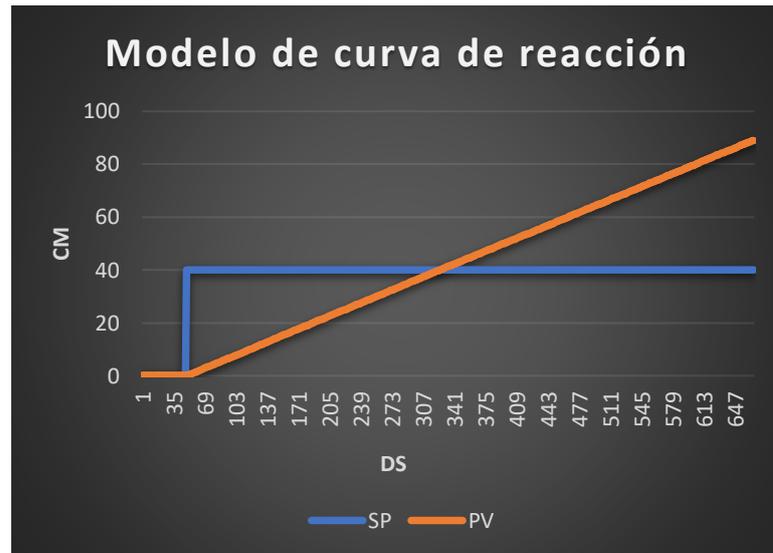


Figura 5.2. Proceso Integrante

Una vez obtenida la curva de reacción y los valores del proceso integrante se tiene que:

$$K_m = 0,037 = 0,04$$

$$T_m = 0,6$$

Se obtiene 3 funciones de transferencia para probar en los diferentes métodos las cuales son las siguientes:

- Controlador PID ideal

$$G_m(s) = \frac{K_m e^{-sT_m}}{s}$$

- Método Lambda

$$G_m(s) = \frac{K_m e^{-sT_m}}{Ts + 1}$$

Para mejorar el método lambda y así poder llegar a nuestro resultado PID deseado se aplicó la siguiente modificación

- Método Tanteo

$$G_m(s) = \frac{K_m e^{-sTm}}{\left(\frac{T}{10}\right)s + 1}$$

De esta manera se obtienen las siguientes curvas representados los datos en el **Anexo VII**.

5.3. SINTONIZACIÓN POR SOFTWARE

Para ver cómo reacciona el control en las diversas sintonizaciones se le dará un valor aproximado al SP de 50 cm y con la válvula de perturbación colocada a la mitad de su funcionamiento

5.3.1. Sintonización TIA Portal

En este se utilizará los valores que nos arroja el TIA Portal al momento de la auto sintonización fina.

Parámetros devueltos por el sistema:

$$Kc = 4, Ti = 1.026004, Td = 2,2950009E - 3, Cd = 0,1, P = 0,58, D = 1, PID = 1$$

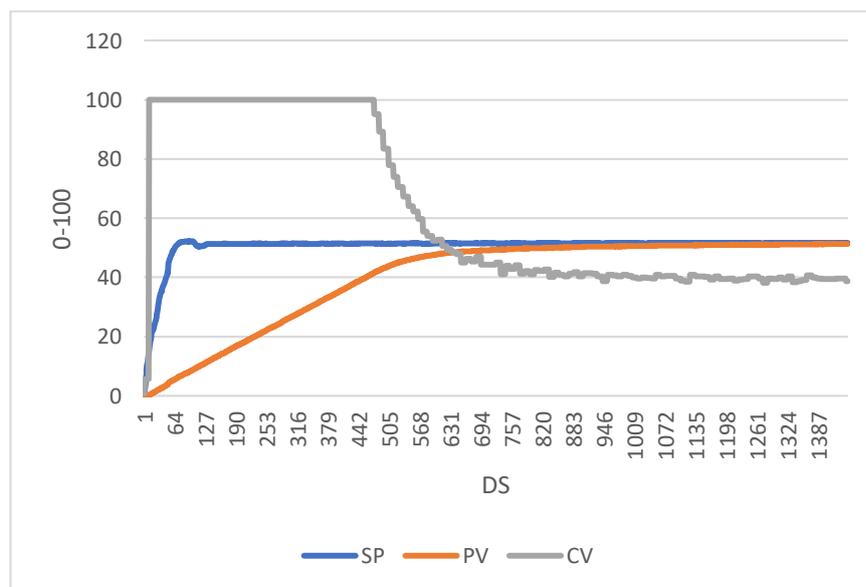


Figura 5.3. Relaciones de curva sintonización TIA Portal

5.3.1. Sintonización Matlab

Aquí se puede observar la sintonización automática que nos ofrece el software Matlab

$$Kc = 10, Ti = 12,35, Td = 1,2079, Cd = 0, P = 1, C = 1, PID = 1$$

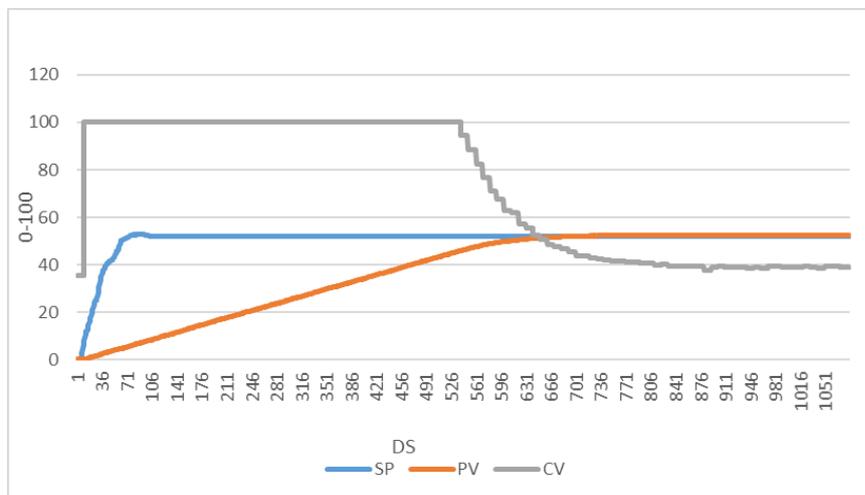


Figura 5.4. Relaciones de curva sintonización automática Matlab

5.4. PID IDEAL

5.4.1. Parámetros de Hay

De la misma manera tenemos la representación de las curvas de parámetros de entrada representados por el método de HAY de controlador PID ideal.

$$Kc = 16,6, Ti = 1,92, Td = 0,48, Cd = 0, P = 1, C = 1, PID = 1$$

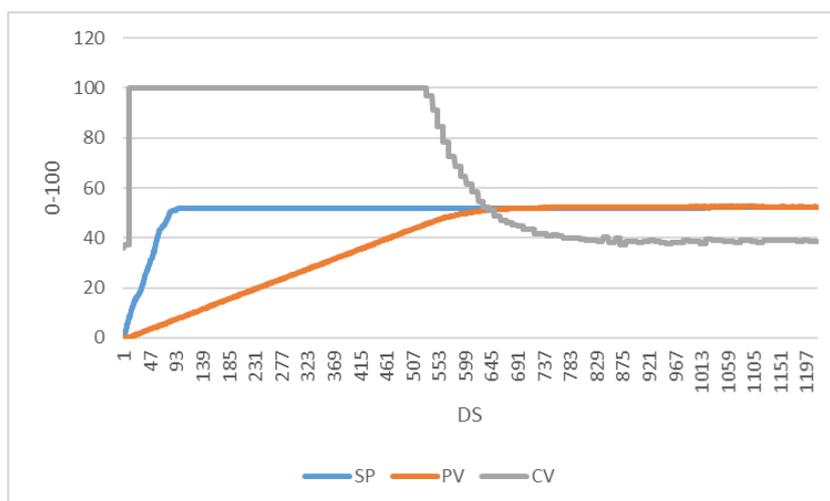


Figura 5.5. Relaciones de curva sintonización método de HAY por proceso integrante control PID ideal

5.4.2. Parámetros de Skogestad

$$Kc = 16,8 , Ti = 4,2, Td = 0 , Cd = 0, P = 1, C = 1, PID = 1$$

Este es el último ejemplo del modelo de controlador de PID ideal donde al parecer su diferencia es poca, pero con una mirada exhaustiva se puede notar claramente

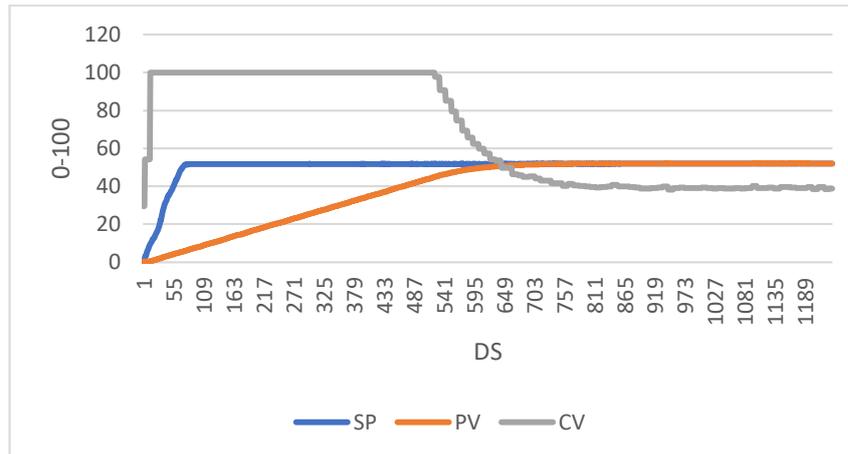


Figura 5.6. Relaciones de curva sintonización método de Skogestad por proceso integrante control PID ideal

Si se aprecia con tiempo y cuidado se puede notar que hay momentos en que la curva de PV sobrepasa ligeramente al SP esto se debe a las distintas sintonizaciones que tiene el PLC en sus parámetros PID de esta manera se escoge el modelo que más se aproxima para proceder con el método del tanteo y llevarlo a los límites deseados.

5.5. SINTONIZACIÓN LAMBDA

Aquí se realizar la sintonización por el método de lambda que usa modelos de primer orden donde se componente de una ganancia, una constante en función del tiempo y un determinado tiempo muerto y así de la misma forma anterior se obtiene sus parámetros por medio de un proceso integrante.

$$Kc = 10 , Ti = 0,2 Td = 0,3 , Cd = 0, P = 1, C = 1, PID = 1$$

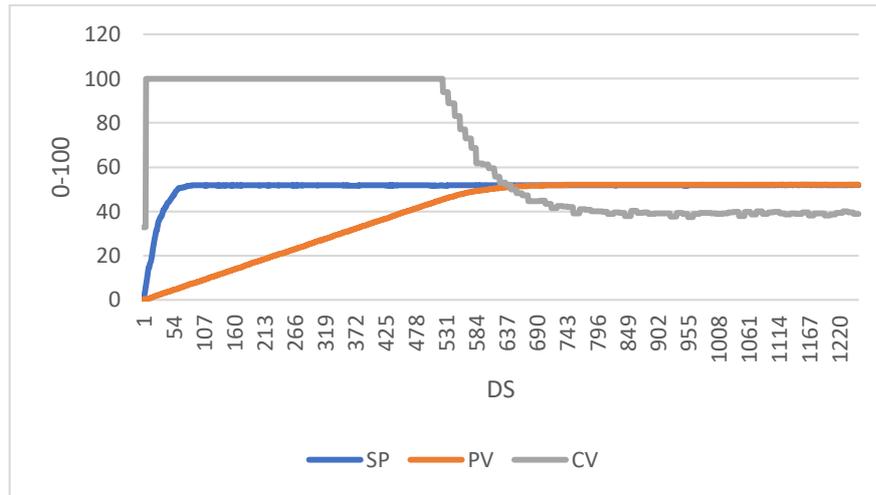


Figura 5.7. Relaciones de curva sintonización método de Lambda por proceso integrante de primer orden

5.5.1. Método de tanteo

Con este método lo que se busca es llegar a los parámetros ideales de la planta que necesitamos ya que los otros métodos lo que hacen es acercarnos o darnos un aproximado de lo que se debe llegar

$$Kc = 10, Ti = 75, Td = 1, Cd = 0,2, P = 1, C = 1, PID = 1$$

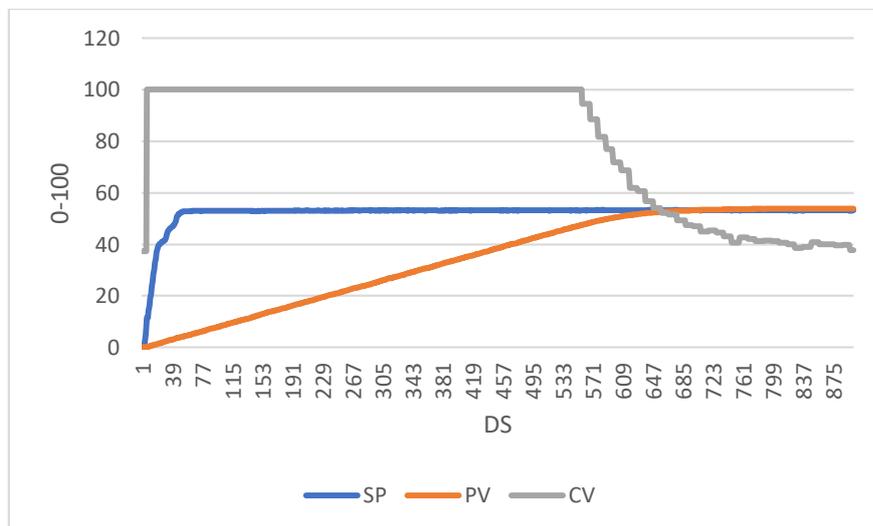


Figura 5.8. Relaciones de curva de sintonización método de Tanteo o afinación Lambda

5.6. COMPARACIÓN ENTRE TODAS LAS SINTONIZACIONES

Por ultimo para tener una perspectiva de todos los métodos de sintonización aplicados se utiliza el software Matlab del cual posee licencia la universidad para hacer una comparación el apartado de Simulink para graficar sus modelos matemáticos, así como observar cómo se comportan las curvas.

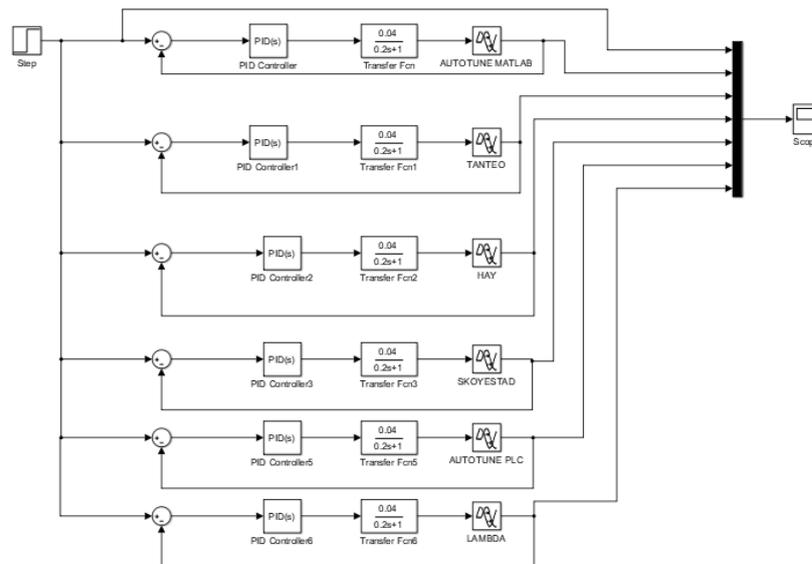


Figura 5.9. Diseño en simulink

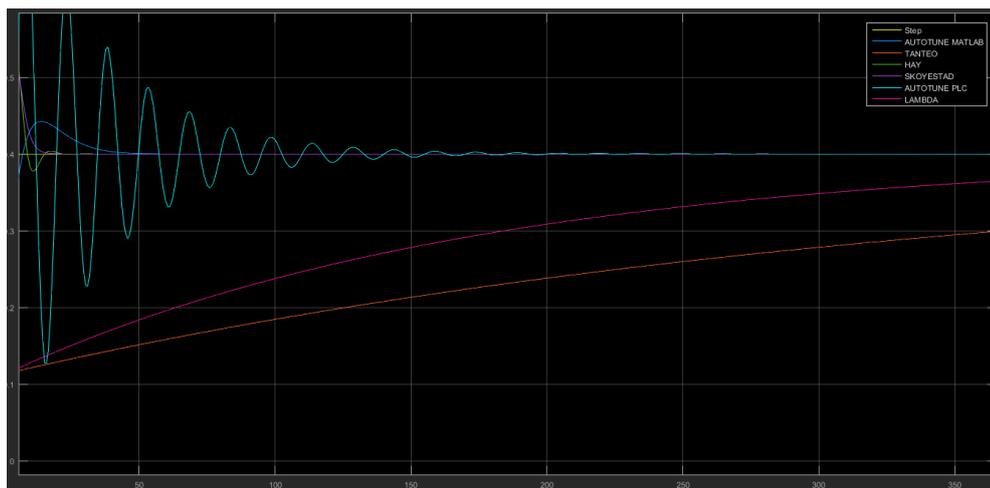


Figura 5.10. Comparación de las diversas sintonizaciones realizadas

5.7. COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

Una vez ya realizadas las pruebas en todos los métodos se procede a escoger el que nos sirva de manera óptima, en este caso se ha utilizado el método del tanteo ya que nos ayuda aproximarnos al modelo PID que deseamos.

Después se procede a realizar una prueba de la variable del proceso "PV" y como esta se comporta en situaciones donde su perturbación se encuentra al 100%, 75%, 50%, 25% y 0%. Donde se puede observar cómo esta influye en su rendimiento. Se obtiene la siguiente grafica

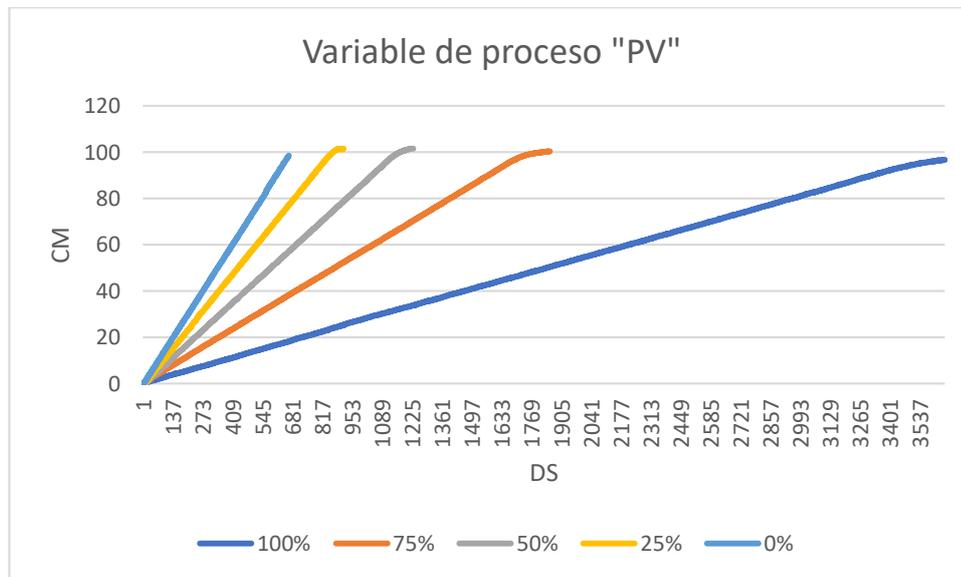


Figura 5.11. Variable de proceso sometida a diversas perturbaciones

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La información recabada en acervos bibliográficos sobre procesos industriales nos permite tener una idea clara de cómo funciona un PID en diferentes métodos y formas de calcularlo y en algunos casos hacerlo directamente gracias a la ayuda de las nuevas tecnologías.
- Al ser un HIL de control de nivel, se toma la mayor precisión posible ya que tan solo 1 cm puede hacer la diferencia entre desperdiciar fluido costoso en la vida real y un trabajo correctamente elaborado, en este caso se logró una precisión del 99,8 % ya que el software libre utilizado tiende a sobrecargarse de información por medio de la

comunicación serial y esto provoca una mínima cantidad de error según el modelo matemático.

- El desarrollo de la programación en hardware libre y software libre se encuentra de la forma más entendible posible de tal manera que cualquier persona con el interés de reproducir este proyecto en un futuro logre hacerlo sin mayor dificultad, por medio del software de Arduino se muestra en que parte exactamente se hace referencia a la relación de entrada y de salida del fluido calculados por medio de la ecuación de Bernoulli es de 0,42.
- El controlador lógico programable que se utilizó fue SIMATIC S7-1200 pero a esto adicional se debe utilizar un módulo de salidas analógicas SB 1232 AQ 1X12 BITS ya que el PLC solo permite 2 entradas analógicas las necesarias para el SP y el PV y el módulo SB 1232 tiene una salida analógica la cual está designada para el CV y así completar los elementos claves en el control de nivel de este proceso industrial los cuales son llevados al software MyOpenLab por medio de programación y simulación.
- Para las pruebas convencionales se realizó una estimación media del llenado del módulo físico con una apertura de la perturbación al 100% y de la misma manera en el módulo virtual teniendo un error de 1%.

6.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el diseño que contendrá la planta sea totalmente funcional y que la placa Raspberry Pi 4 no esté apegada en la pared que se realiza los agujeros del ventilador ya que ocasiona un calentamiento del mismo y por consecuencia provoca ruido.
- Para cambiar los datos utilizados en la planta tanto como el tamaño de la tubería, así como el caudal que circula por el sistema se debe realizar de nuevo todo el proceso de cálculos y sintonización, por tanto, no se puede cambiar los datos a la ligera.
- En MyOpenLab hay bloques de programación que todavía se encuentran en desarrollo, pero funcionan en diferentes versiones ya sea Windows o Mac, pero para software libre llegan a tener inconvenientes incluso no funcionan si llega a tener problemas con cualquiera lo más recomendable es acceder a foros de la página del software donde los mismos usuarios son los que solucionan estos problemas y se pueden descargar.

- Que un método de sintonización funcione a la primera no es señal de que este correctamente ya que después de varios minutos el programa puede llegar a comportarse de diferente manera por esto se recomienda tener un solo método durante vario tiempo para ver su comportamiento y así elegir el más adecuado a las necesidades.
- Actualizar la Raspberry Pi después de la instalar el sistema operativo Raspbian ya que este solo cuenta con actualizaciones de fechas anteriores, también verificar que esta cuente con la versión 8 de java ya que MyOpenLab solo funciona con esta, no con versiones actualizadas.
- Utilizar potenciómetros de precisión para introducir las señales de set point y perturbación ya que potenciómetros convencionales tiene un ligero error no visible en su forma mecánica pero ya llevados por comunicación serial al software se puede notar en la variación de decimales.
- Evitar sobrecargar el software MyOpenLab es primordial para una correcta visualización, ya que evitara picos inapropiados en las gráficas debido a una comunicación serial no funcional al 100% del software.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MathWorks, «MathWorks,» 23 10 2020. [En línea]. Available: <https://es.mathworks.com/solutions/power-electronics-control/hardware-in-the-loop.html>.
- [2] J. Martinez y J. Andrade, «Academia,» 2013. [En línea]. Available: https://www.academia.edu/21718310/RETROALIMENTADOS_USANDO_ELECTRÓNICA_EMBEBIDA_Y_SIMULACIÓN_HARDWARE_IN_THE_LOOP. [Último acceso: 17 12 2020].
- [3] O. Caldas, S. Jimenez, E. Mejia, O. Aviles y D. Amaya, «Redacy,» 04 2013. [En línea]. Available: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=49627363007&idioma=es>. [Último acceso: 17 12 2020].
- [4] M. Alvarez, «UPV,» 123 11 2019. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/130333>. [Último acceso: 13 12 2020].

- [5] Departamento de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de control, «uned,» 2011. [En línea]. Available: http://www.ieec.uned.es/investigacion/Dipseil/PAC/archivos/Informacion_de_referencia_IS_E5_3_1.pdf. [Último acceso: 15 16 2021].
- [6] D. Antonio, «geeknetic,» 21 11 2020. [En línea]. Available: <https://www.geeknetic.es/Raspberry-Pi/que-es-y-para-que-sirve#:~:text=La%20Raspberry%20Pi%20sirve%20para,electrónico%2C%20reproducir%20videos%2C%20usar%20las>. [Último acceso: 15 06 2021].
- [7] Isaac, «Hwlibre,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.hwlibre.com/gpio-raspberry-pi/>. [Último acceso: 15 06 2021].
- [8] Programo ergo sum, «Programoergosum,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.programoergosum.com/cursos-online/raspberry-pi/232-curso-de-introduccion-a-raspberry-pi/instalar-raspbian>. [Último acceso: 15 06 2021].
- [9] S. Carmelo y V. Robinson, «MyOpenLab,» 2016. [En línea]. Available: <https://myopenlab.org/desarrolladores/>. [Último acceso: 15 06 2021].
- [10] S. Carmelo, «MyOpenLab,» 2016. [En línea]. Available: <https://myopenlab.org/interfaces/>. [Último acceso: 15 06 2021].
- [11] Y. Fernandez, «Xataka,» 03 08 2020. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>. [Último acceso: 15 06 2021].
- [12] Siemens aktiengesellschaft, «Siemens,» 2015. [En línea]. Available: https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf. [Último acceso: 05 06 2021].
- [13] Siemens, «Siemens,» 12 2009. [En línea]. Available: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/542/40263542/att_829830/v1/GS_STEP7Bas105esES.pdf. [Último acceso: 15 06 2021].

- [14] M. Samuel, «Intech,» 24 12 2018. [En línea]. Available: <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2018/12/24/conceptos-basicos-sistemas-de-control/>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [15] G. Villalobos, R. Rico, F. Ortiz y N. Montufar, Medicion y control de procesos industriales, Mexico: Instituto Politecnico Nacional, 2006.
- [16] M. Robert y U. Joseph, Mecanica de fluidos, Mexico: Pearson Educacion, 2015.
- [17] Orbia, Manual Tecnico tubosistemas Precision PVC, Quito, 2017.
- [18] Instituto Geologico y minero de España, «Igme,» 2015. [En línea]. Available: https://www.igme.es/ZonaInfantil/MateDivul/guia_didactica/pdf_carteles/carte14/CARTEL%204_4-4.pdf. [Último acceso: 20 06 2021].
- [19] Evans, «Tiendaevans,» 2018. [En línea]. Available: https://www.tiendaevans.com/assets/pdf/productos/prdct_5c957cc8c0430.pdf. [Último acceso: 20 06 2021].
- [20] C. Jose, «Profesional review,» 11 02 2019. [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2019/02/11/pcb-que-es/>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [21] TuEquipoSeo, «descubrearduino,» 2014. [En línea]. Available: <https://descubrearduino.com/arduino-nano-pinout/>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [22] Naylamp Mechatronics SAC, «Naylamp Mechatronic,» 2017. [En línea]. Available: <https://naylampmechatronics.com/drivers/175-modulo-dac-mcp4725.html>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [23] AV Electronics, «avelectronics,» 2021. [En línea]. Available: <https://avelectronics.cc/producto/amplificador-operacional-lm358/>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [24] G. Morilla, «ened,» 16 02 2006. [En línea]. Available: http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/ajuste_empirico.pdf. [Último acceso: 16 02 2021].

- [25] I. Garofalo y G. Peñafiel, «espol,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/88864/D-100150.pdf>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [26] The MathWorks, «Matlab,» 2015. [En línea]. Available: <https://la.mathworks.com/discovery/pid-control.html>. [Último acceso: 29 20 2021].
- [27] E. Tacconi, R. Mantz, J. Solsona y P. Puelston, «udec,» 2005. [En línea]. Available: <http://www2.udec.cl/~vladimirfriz/Apunte-PID.pdf>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [28] C. Pardo, «Picuino,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-ziegler-nichols.html#:~:text=El%20m%C3%A9todo%20de%20sintonizaci%C3%B3n%20de,a%20un%20tipo%20de%20sistema..> [Último acceso: 20 06 2021].
- [29] C. Rios, «epb,» 2013. [En línea]. Available: https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/6016/digital_25901.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Último acceso: 20 06 2021].
- [30] T. Blevins, «Modeling and control,» [En línea]. Available: <https://modelingandcontrol.com/2013/04/on-demand-tuning/>. [Último acceso: 20 06 2021].
- [31] A. O'Dwyer, Handbook of pi and pid controller tuning rules, Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 2009.

8. ANEXOS

ANEXO I	Presupuesto directo e indirecto	1 de 1
------------	---------------------------------	--------

Tabla I.1. Costos directos

Presupuesto Materiales			
Cantidad	Módulo HIL	Precio Unitario	Precio
1	Kit full Raspberry Pi 4 8GB	\$185,00	\$195,29
1	PCB	\$20,00	\$20,00
1	Arduino Nano	\$10,00	\$10,00
2	MCP 4725	\$6,00	\$12,00
2	LM324	\$0,80	\$1,60
6	Potenciómetros de Precisión de 5K	\$0,50	\$3,00
2	Capacitores cerámicos 100nF	\$0,10	\$0,20
2	Capacitores electrolitos 1uF	\$0,10	\$0,20
1	Diodos Zener 5.1V	\$0,20	\$0,20
2	Diodos Zener 10V	\$0,20	\$0,40
1	Regulador DC DC HW-636	\$10,00	\$10,00
1	Espadín hembra	\$0,30	\$0,30
1	Cargador 12V 5A jsy-1205	\$25,00	\$25,00
7	Jack hembras	\$0,75	\$5,25
10	Cable negro flexible #18	\$0,20	\$2,00
10	Conectores tipo PIN	\$0,22	\$2,20
1	Conector rápido de10 pines	\$2,50	\$2,50
1	Cable USB macho-macho	\$2,00	\$2,00
1	Cable USB mini A macho- tipo A hembra	\$2,00	\$2,00
1	Adaptador mini HDMI	\$4,00	\$4,00
1	Cable de alimentación tipo C	\$5,00	\$5,00
1	Impresión 3D	\$35,00	\$35,00
1	Adaptador de Fuente 12V hembra	\$1,00	\$1,00
1	Mini teclado-mouse inalámbrico	\$10,00	\$10,00

1	Módulo analógico SB 1232 AQ 1X12 BIT	\$140,00	\$140,00
1	Cable macho-macho HDMI	\$7,00	\$7,00
2	Potenciómetros 100K - Conectores	\$3,00	\$6,00
1	Varios	\$40,00	\$40,00
TOTAL			\$542,14

El valor total de los materiales a comprar es de \$542,14 dólares americanos

Para la mano de obra se toma en cuenta la siguiente estimación:

El salario básico del país es \$400 dólares americanos según esto se hacen el siguiente calculo:

$$\#horas = 8 \text{ horas diarias}$$

$$\# \text{ horas mensuales} = 8 \text{ horas diarias} \cdot 20 \text{ dias}$$

$$\# \text{ horas mensuales} = 160$$

$$\text{Costo por hora} = \frac{400}{160} = \$2,5 \text{ la hora}$$

Tabla I.2. Costos indirectos

Mano de obra (costos indirectos)			
Horas de trabajo	Actividad	Precio Unitario	Precio Total
120	Programación software y hardware	2,5	300
80	Diseño y construcción de carcaza	2,5	200
80	Sintonización PLC	2,5	200
80	Pruebas de funcionamiento	2,5	200
Total			900

Esto nos da un total de \$900 dólares americanos por todo el valor de mano de obra realizado en esta propuesta tecnológica.

ANEXO II	Diagrama electrónico de placa planta	1 de 1
-------------	--------------------------------------	--------

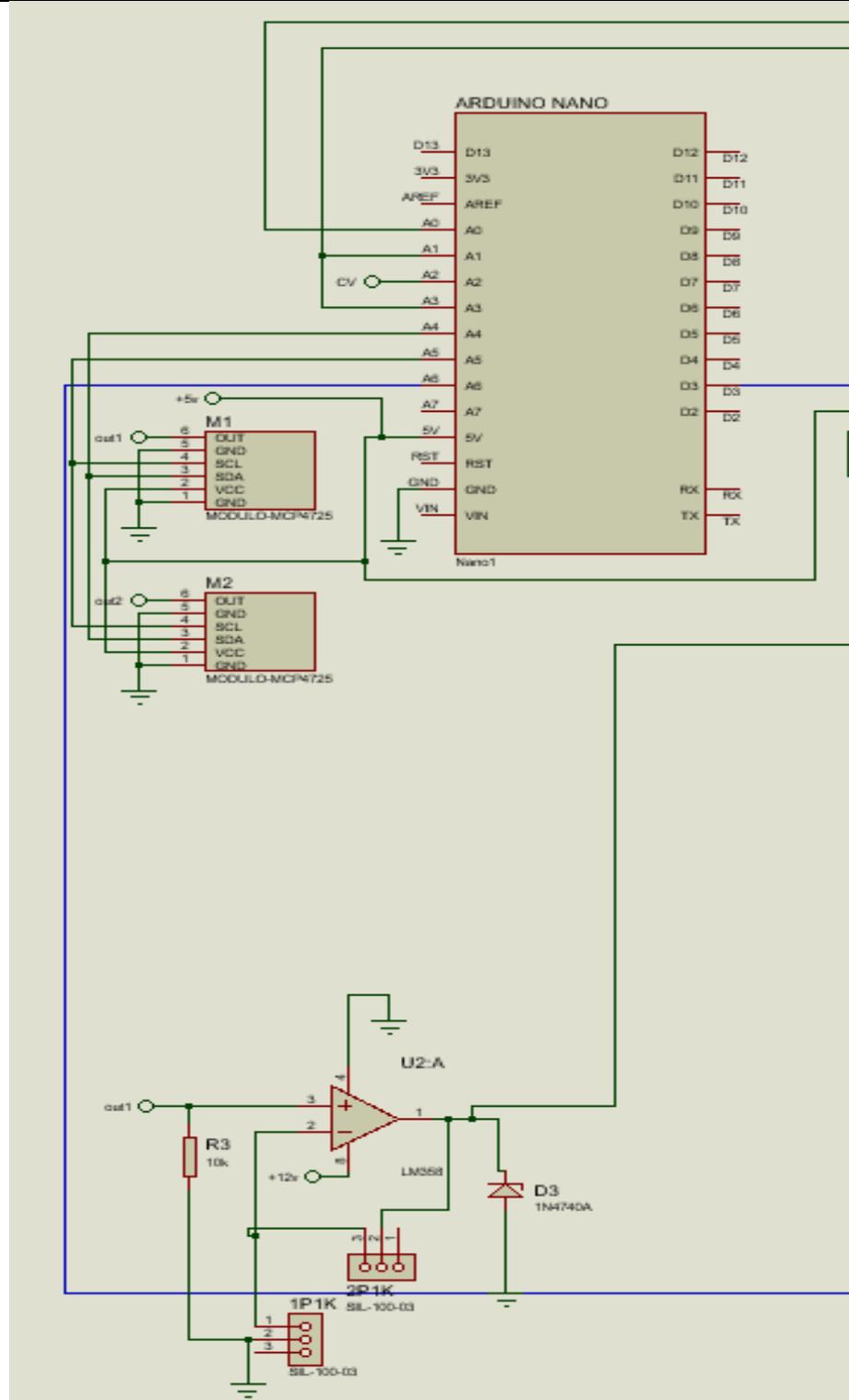


Figura II.1. Diagrama electrónico de la parte izquierda

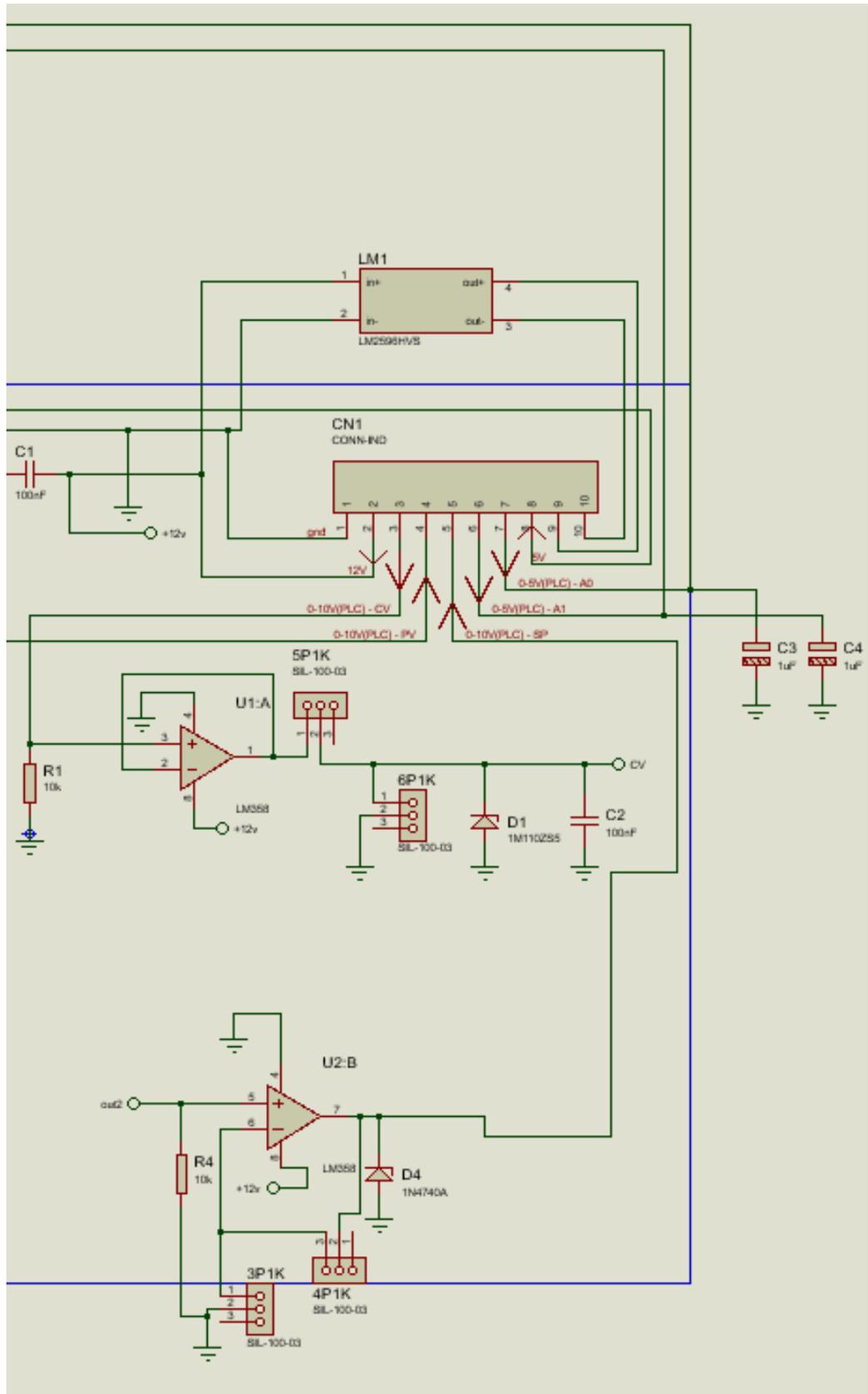


Figura II.2. Diagrama electrónico de la parte derecha

ANEXO III	Diseño de placa planta	1 de 1
--------------	------------------------	--------

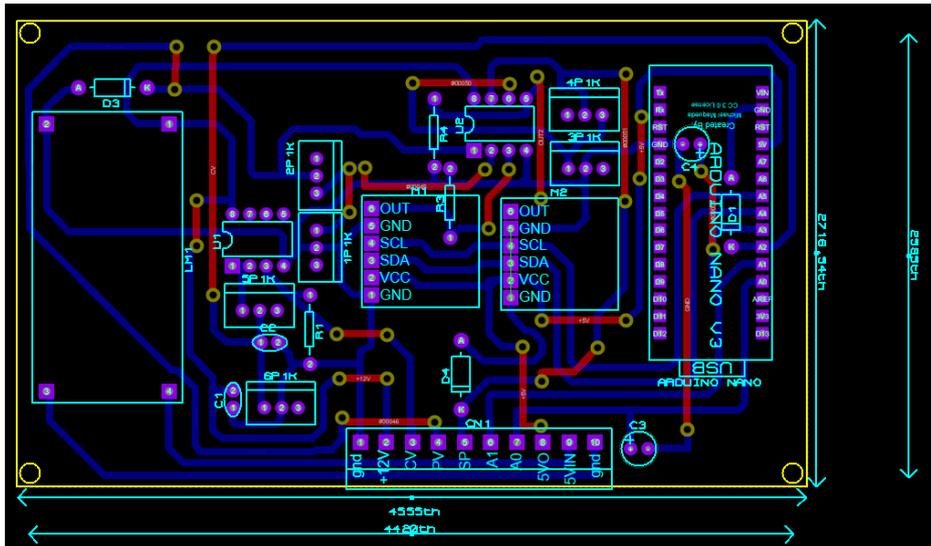


Figura III.1. Diseño de pista de placa planta

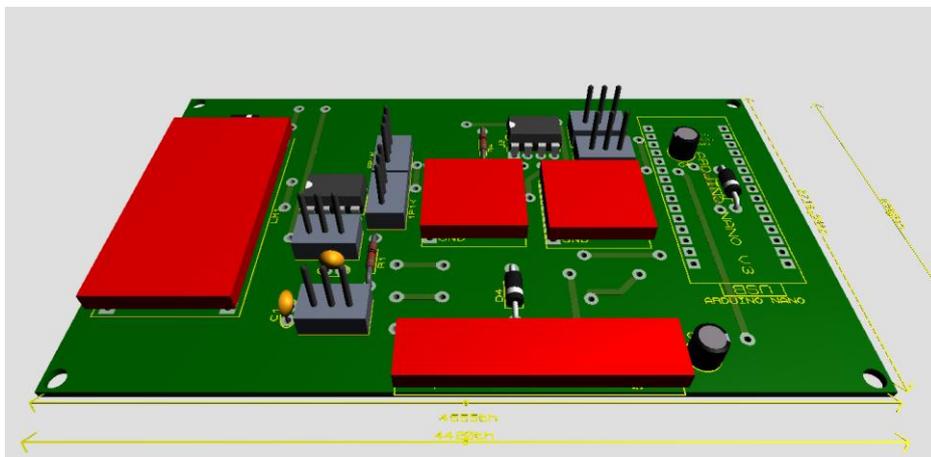


Figura III.2. Modelado de la placa planta

ANEXO IV	Diseño de carcasa	1 de 1
-------------	-------------------	--------

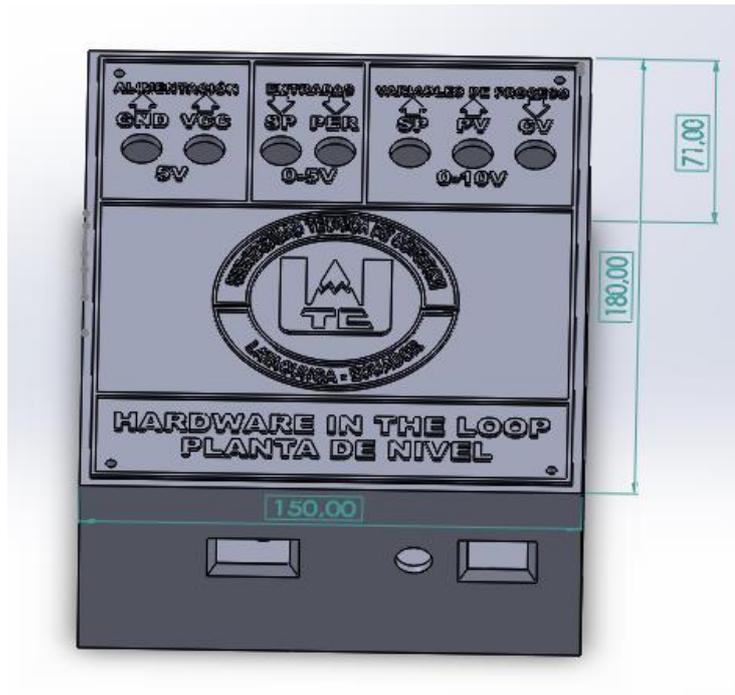


Figura IV.1. Dimensiones de la carcaza

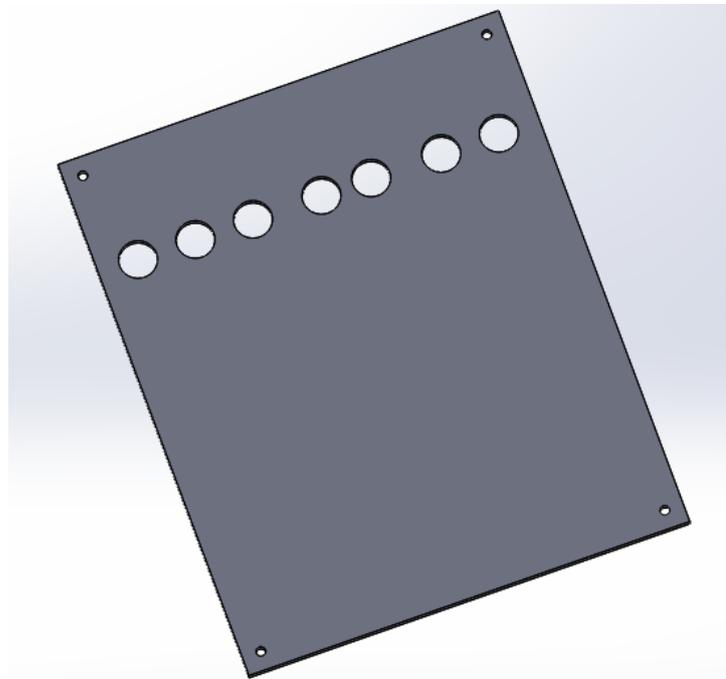


Figura IV.2. Diseño de taca de la carcaza

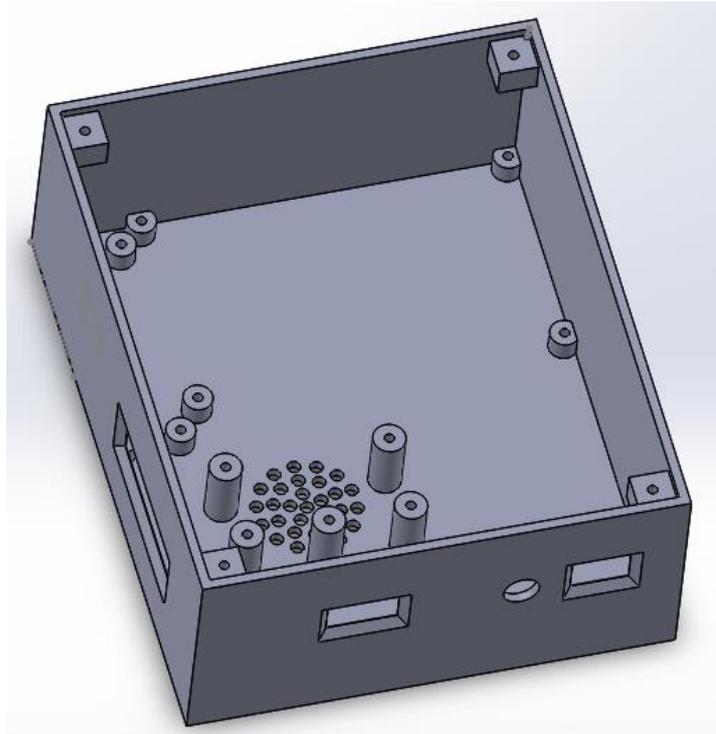


Figura IV.3. Diseño de la Base de la carcaza

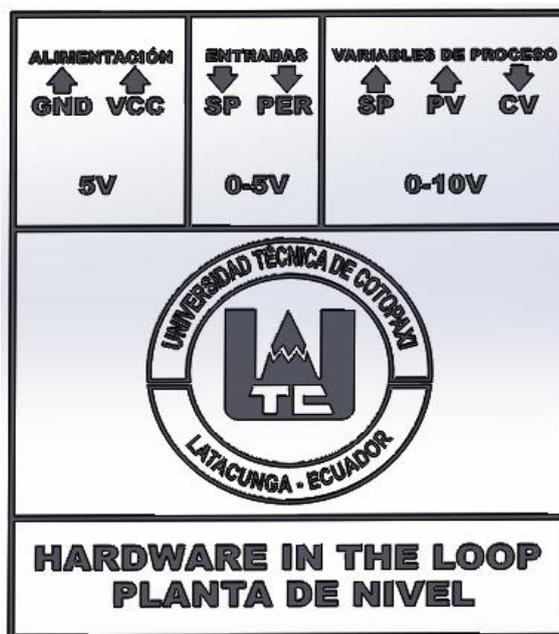


Figura IV.3. Diseño de portada de la carcaza

ANEXO V	GUÍA 1 PID PLANTA DE NIVEL	1 de 1
------------	----------------------------	--------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
PRÁCTICA DE LABORATORIO LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
B.BONILLA	L.FREIRE	J. VILLARROEL
FECHA:19-07-2021	FECHA:19-07-2021	FECHA: 23-07-2021

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM 703M2	CONTROL DE AUTÓMATAS PROGRAMABLES

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Automatización y control	DURACIÓN (HORAS)
01	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	PID control de nivel módulo HIL	3

1	OBJETIVO
<p>El tema de análisis consiste en investigar los parámetros que tiene un control PID, para que sirven y su funcionamiento mediante el uso de acervos bibliográficos y su práctica en el módulo HIL (Hardware in the loop).</p>	

Los objetivos de la práctica son: Estudiar el comportamiento y el uso de las variables SP “set point”, PV “Process value”, y CV “Control value” que son fundamentales en el proceso de control de nivel, así como la utilización de PLC para el control de las mismas y se pueda visualizar cómo se comportan las variables en el módulo HIL .

2.1. INTRODUCCIÓN

Control de nivel

Un controlador de nivel es un dispositivo hidráulico destinado a mantener el nivel del agua dentro de un cierto rango de fluctuación. Existen algunas diferencias en el diseño del control de nivel dependiendo de uno de los siguientes: Planta de procesamiento; tanque de agua o tanque de almacenamiento.

Ecuación de Bernoulli

Dentro de un flujo horizontal de fluido, los puntos de mayor velocidad del fluido tendrán menor presión que los de menor velocidad.

Calculo del llenado y vaciado del tanque de control

Se inicia separados los datos técnicos del módulo físico como son el tamaño de la tubería la cantidad de caudal que circula por el sistema y el tamaño del tanque de tal manera que se tenga todo lo necesario para aplicar la ecuación de Bernoulli.

PID

Un controlador PID es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PID calcula la diferencia entre nuestra variable real contra la variable deseada.

Sintonización PID

La sintonización del controlador consiste en darle valores a los sistemas de acción integral, derivativo y la ganancia (K_c, T_i y T_d) de forma que el lazo del controlador responda adecuadamente a las perturbaciones.

2.2.EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos:

Módulo HIL Planta de nivel

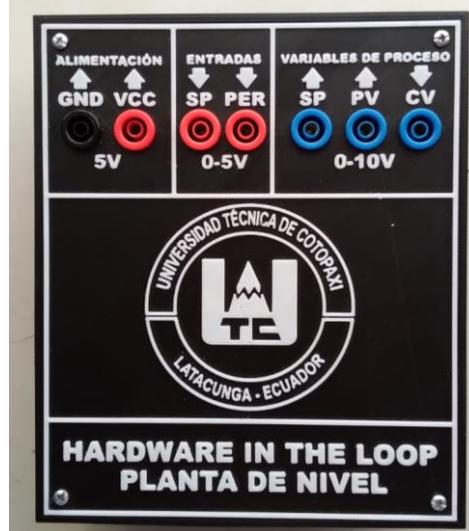


Figura V.1. Vista frontal HIL



Figura V.2. Vista inferior HIL



Figura V.3. Vista lateral HIL

PLC S7-1200(1212C AC/DC/RLY)



Figura V.4. PLC S7-1200

Modulo analógico SB 1232



Figura V.5. Modulo SB 1232 va incrustado en el PLC S7-1200

Pantalla de cualquier tipo con entrada HDMI



Figura V.6. Pantalla con entrada HDMI

Materiales:

Cable HDMI macho-macho



Figura V.7. Cable HDMI

Cable USB macho-macho



Figura V.8. USB

Cargador 12V-5A



Figura V.9. Cargador módulo HIL

Caja de potenciómetros



Figura V.10. Caja de potenciómetros para entradas

Mini teclado-ratón inalámbrico



Figura V.11. Mini teclado-ratón inalámbrico

Cable de ethernet



Figura V.12. Cable de ethernet

Cronometro (debe traerlo el estudiante)



Figura V.13. Cronómetro

2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

EPP: Mandil.

Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación de la máquina de ensayos universales
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo

2.4. TRABAJO PREPARATORIO

2.4.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Para iniciar el ensayo se realiza el despeje y la integración de la ecuación de Bernoulli para el tiempo de vaciado del tanque

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g}$$

$\frac{P}{\rho g}$ carga de presión

$\frac{v_1^2}{2g}$ carga de velocidad

h = carga de elevación

Después de simplificar la presión con la densidad de los dos lugares se tiene lo siguiente

$$h_1 = \frac{(v_2)^2}{2g}$$

Se despeja la velocidad y se tiene

$v = Cv\sqrt{2gh}$ que es la velocidad de salida por el agujero

Cv es igual al coeficiente de velocidad que es igual a 1 ya que el fluido utilizado es agua

Después de esto se debe realizar un proceso de integración donde

Cambio de volumen – velocidad y altura $\rightarrow h = y$

$v = Cv\sqrt{2gy}$ la letra y es una variable el resto son constantes

La velocidad (v) no es constante, depende de la altura del líquido pero podemos superponerla en un pequeño intervalo Δt .

$$V(t + \Delta t) \approx V(t) - av\Delta t \approx V(t) - a\sqrt{2gy} \Delta t$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V(t + \Delta t) - V(t)}{\Delta t} \approx -a\sqrt{2gy} \Delta t$$

$$\frac{dV}{dt} = -a\sqrt{2gy} \quad V(y) = \int_0^y A(u)du$$

Se busca una relación entre V y (y) para esto se usa la integración por partes

Entonces se utiliza la regla de la cadena

$$\frac{dV}{dh} = A(y)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dy} \times \frac{dy}{dt} \Rightarrow \frac{dV}{dt} = A(y) \frac{dy}{dt}$$

$$\frac{dV}{dt} = -(\sqrt{2gy})(a)$$

a = área del agujero de salida

A = área del tanque

$$\frac{dv}{dt} = -va$$

$$A \frac{dv}{dt} = -va$$

$$A \frac{dv}{dt} = -a\sqrt{2gy}$$

$$\int -\frac{A dy}{a\sqrt{2gy}} = \int dt$$

$$\int \frac{A d}{a\sqrt{2g}} \frac{dy}{\sqrt{y}} = - \int dt$$

$$\frac{A d}{a\sqrt{2g}} \int \frac{dy}{\sqrt{y}} = - \int dt$$

$$\frac{A d}{a\sqrt{2g}} \int_{y_2}^{y_1} \frac{dy}{\sqrt{y}} = - \int_{t_2}^{t_1} dt$$

$$\frac{A d}{a\sqrt{2g}} [(2\sqrt{y_1}) - (2\sqrt{y_2})] = -[t_1 - t_2]$$

Después de realizado este procedimiento se procede a cambiar la variable y por h para la mejor comprensión a la hora de insertar los datos

$$t_2 = \frac{A d}{a\sqrt{2g}} 2\sqrt{h_1}$$

$$t_2 = \frac{A}{a} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$t_2 = \frac{l * a}{\frac{\pi * \phi^2}{4}} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Llenado del tanque

Se procede a la fórmula del volumen

$$Vol = l * a * h$$

$$1m^3 = 1000 \text{ litros}$$

$$Vol = (l * a * h * 1000) \text{ litros}$$

Ahora la de caudal

$$Q = q \frac{\text{litros}}{\text{minutos}}$$

Ahora el cálculo del tiempo de llenado

$$t_1 = \frac{(l * a * h * 1000) \text{ litros}}{q \frac{\text{litros}}{\text{minutos}}} * 60s$$

$$t_1 = \frac{(l * a * h * 1000) \text{ minutos}}{q} \frac{1 \text{ minuto}}{1 \text{ minuto}} * 60s$$

$$t_1 = \frac{(l * a * h * 60000)}{q} s$$

Realización de los cálculos

Datos:

$$l = 0.26m$$

$$a = 0.26m$$

$$h = 1m$$

$$q = 60lpm$$

$$\phi = 0.01660m$$

Tiempo de llenado

$$t1 = \frac{(0.26 * 0.26 * 1 * 60000)}{60lpm} s$$

$$t1 = 67.6s$$

Tiempo de vaciado

$$t2 = \frac{0.26 * 0.26}{\frac{\pi * 0.01660^2}{4}} \sqrt{\frac{2 * 1}{9.81}}$$

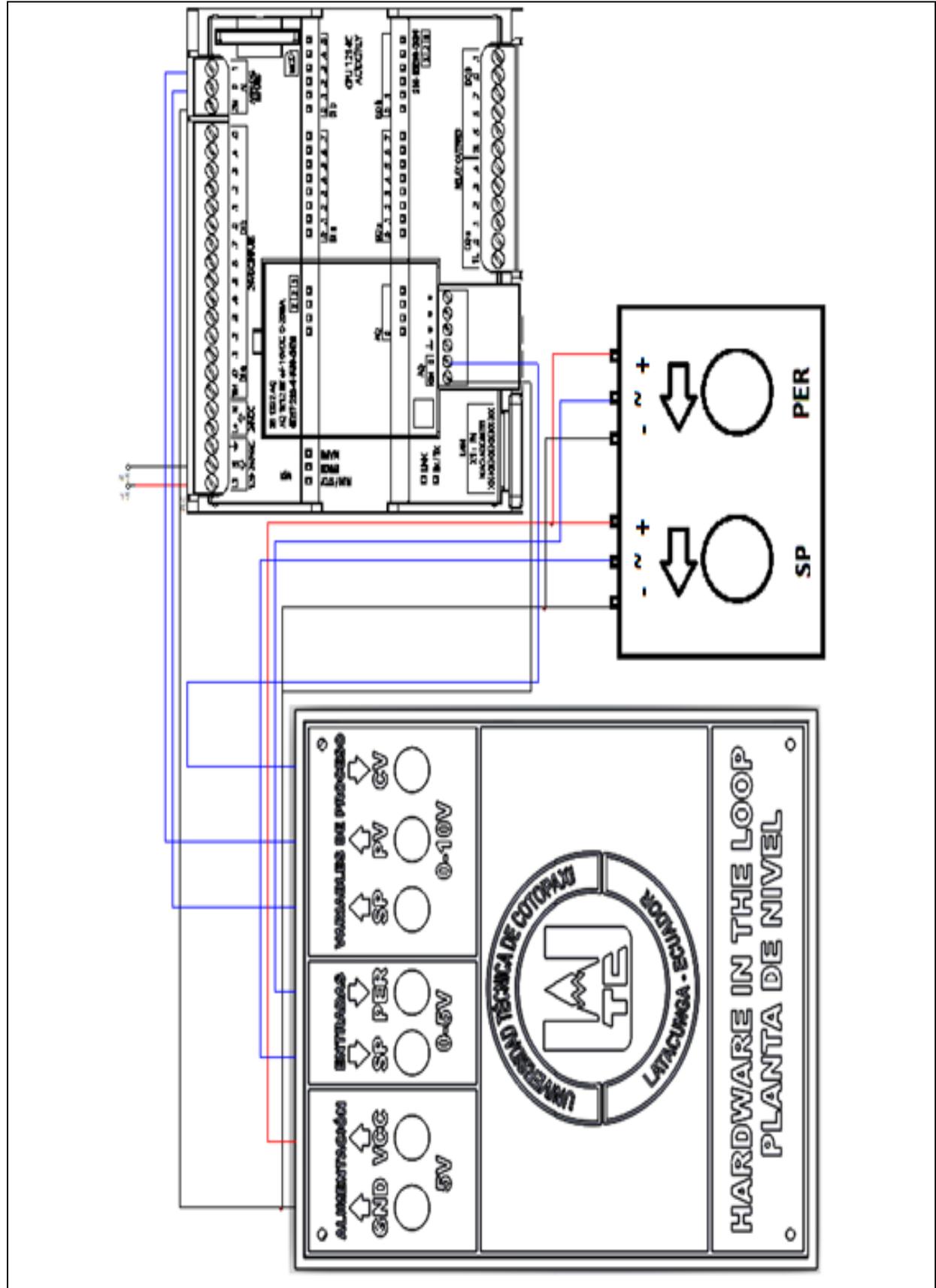
$$t2 = 160.95s$$

De esto se hace una relación para poder multiplicar la perturbación con el fin de igualarla a 160.95 y entonces se divide el t1 para el t2 y se tiene 0.42.

2.4.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Conexión del equipo

Para la conexión del equipo siga los siguientes pasos también puede guiarse del diagrama de conexión.



HARDWARE IN THE LOOP
PLANTA DE NIVEL



Figura V.14. Diagrama de conexión del equipo

Paso 1. Conecte el cable 0M que sale del módulo SB 1232 al GND del módulo HIL y el 2M que sale del PLC S7-1200 al GND del módulo HIL.

Paso 2. Conecte el cable que sale de la entrada analógica 0 del PLC a la variable de proceso SP del módulo HIL de la misma manera conecte el cable de la entrada analógica 1 a la variable de proceso PV del módulo HIL.

Paso 3. Conecte el cable que sale de la salida analógica 0 del módulo analógico SB 1232 a la variable de proceso CV.

Paso 4. Conecte los cables negativos de la caja de potenciómetros al GND del módulo HIL.

Paso 5. Conecte los cables positivos de la caja de potenciómetros al VCC del módulo HIL.

Paso 6. Conecte el cable SP de la caja de potenciómetros de señal de entrada (~) al apartado SP del módulo HIL, de la misma manera realizar con el cable de PER a la entrada PER del módulo HIL.

Paso 7. Conecte el cable USB macho-macho, del USB del microcontrolador(mCU) a cualquier puerto USB de la Raspberry Pi.

Paso 8. Conecte el cable HDMI del módulo HIL a cualquier tipo de pantalla.

Paso 9. Encienda la pantalla y coloque en el apartado de HDMI.

Paso 10. Conecte el teclado-mouse inalámbrico USB a cualquier puerto USB de la Raspberry Pi.

Paso 11. Energice el módulo HIL con el cargador de 12V-5A a 110V.

Paso 12. Conecte desde el PLC alimentación AC dos cables primero el L1 y después el N, conéctelos a una alimentación 110V AC.

Paso 13. Conecte el cable de ethernet del PLC a cualquier computadora con el software TIA PORTAL V14 de no poseer el software diríjase al anexo para el proceso de instalación.

Paso 14. Programación en TIA PORTAL si posee el archivo del programa saltar a paso 16.

Creación del proyecto

Se debe iniciar el Software TIA Portal V14 como administrador para que funcione correctamente y evitar inconvenientes de conexión y selección del dispositivo, luego se debe crear un nuevo proyecto.

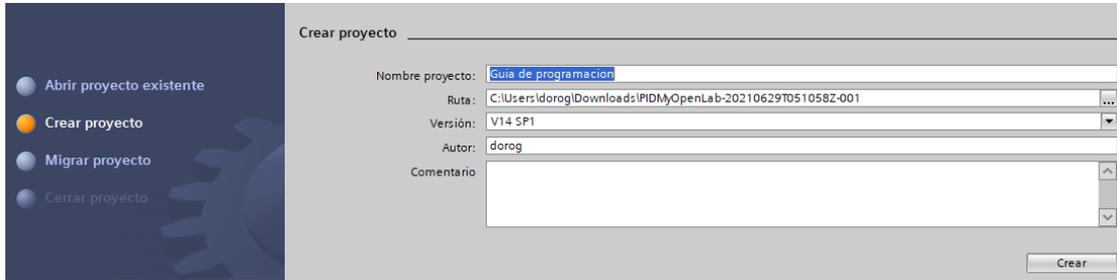


Figura V.15. Creación del proyecto

Luego de llenar los datos de nuestro proyecto, así como su ruta se debe configurar el dispositivo.

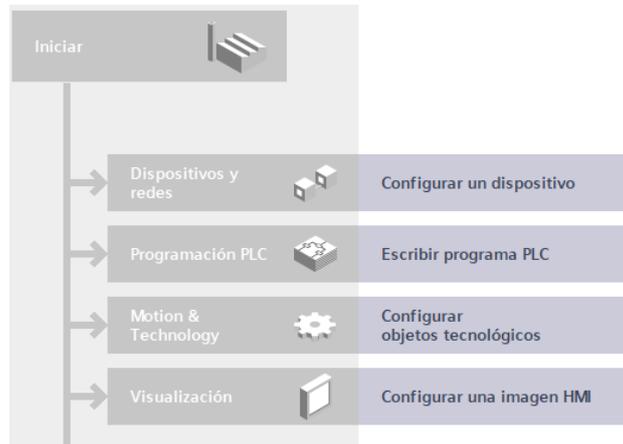


Figura V.16. Configuración del dispositivo

Al ingresar a este lugar aparecerá varios dispositivos debemos dar clic en agregar un nuevo dispositivo para posteriormente aparecerá una lista de varios dispositivos de la serie S7 ahí se escogerá el S7-1200 que son los más utilizados en la universidad.

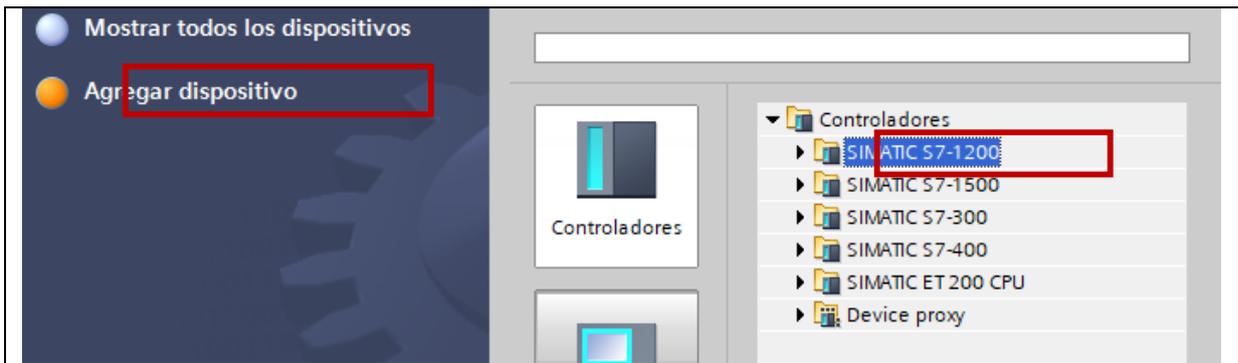


Figura V.17. Agregar tipo de dispositivo

Para el presente proyecto se utilizó en PLC SIMATIC S7-1200, la CPU es 1212 AC/DC/RLY con serie 6ES7 212-1BE40-0XB0. Toda esta información se encuentra siempre en el lado lateral del dispositivo posteriormente se procede a seleccionar de la misma en el software.

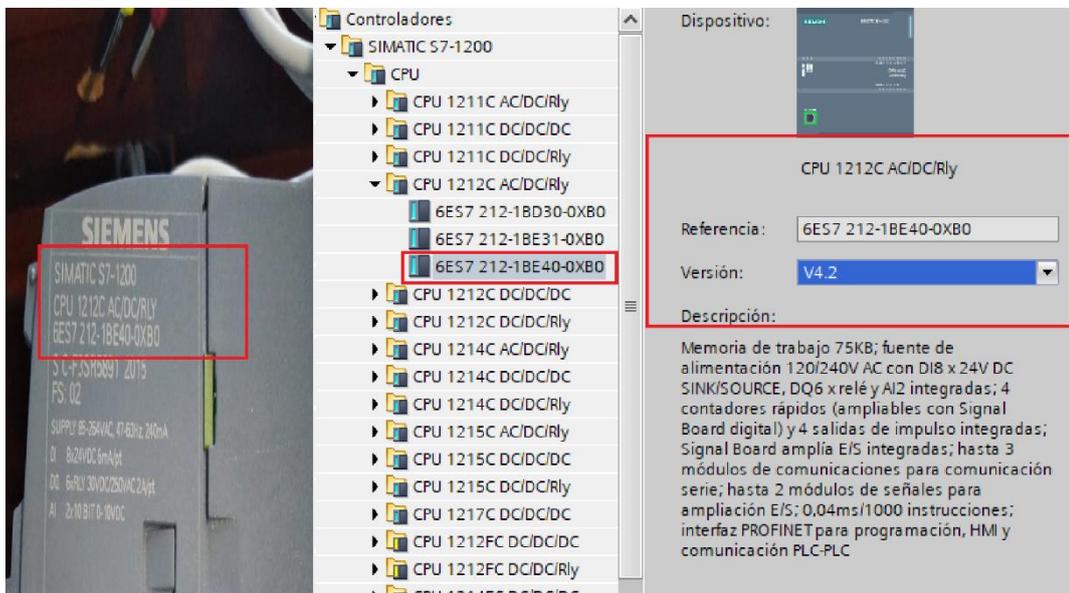


Figura V.18. Selección del dispositivo

La CPU debe ser elegida correctamente esta no puede ser diferente al dispositivo ya que simplemente no funcionara la programación.

A continuación, se debe configurar el módulo AQ x 12 BIT que es el responsable de la salida analógica extra que se necesita.

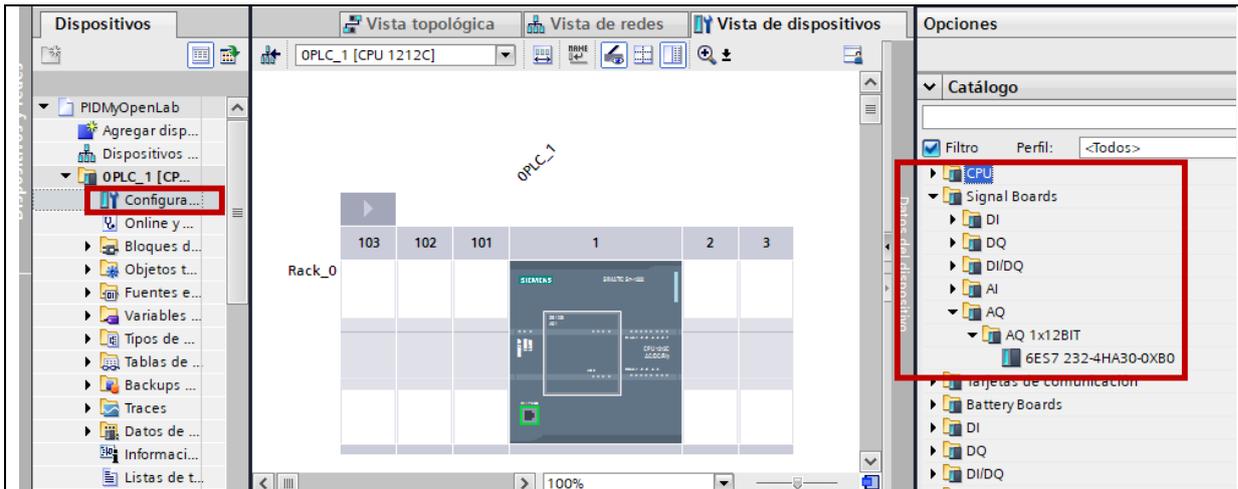


Figura V.19. Selección del módulo analógico SB 1232 AQ

Configuración del puerto ethernet

Después de esto se debe configurar el puerto de ethernet de la siguiente manera una vez que se lea el cable de ethernet se debe ingresar a su configuración para esto se coloca en cambiar opciones del adaptador.

Ethernet

Red no identificada
Sin Internet

Opciones de configuración relacionadas

[Cambiar opciones del adaptador](#)

Figura V.20. Configuración del puerto ethernet

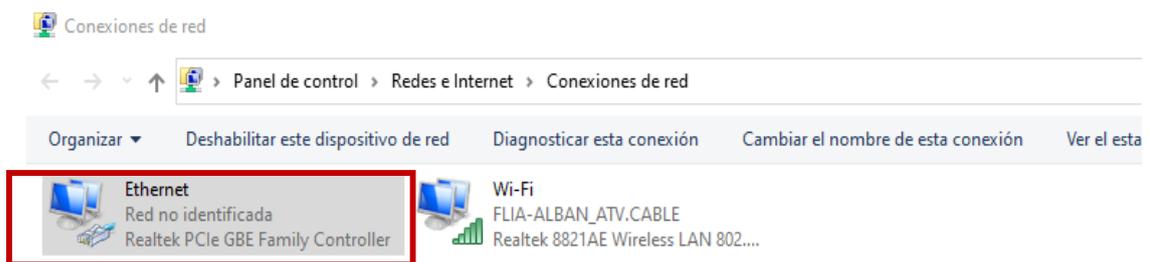


Figura V.21. Configuración del puerto

Se debe dar clic derecho al puerto y entrar a configuraciones para asignar una ip fija diferente para evitar problemas de conexión aquí se abre el protocolo versión 4 como se muestra en la siguiente figura.

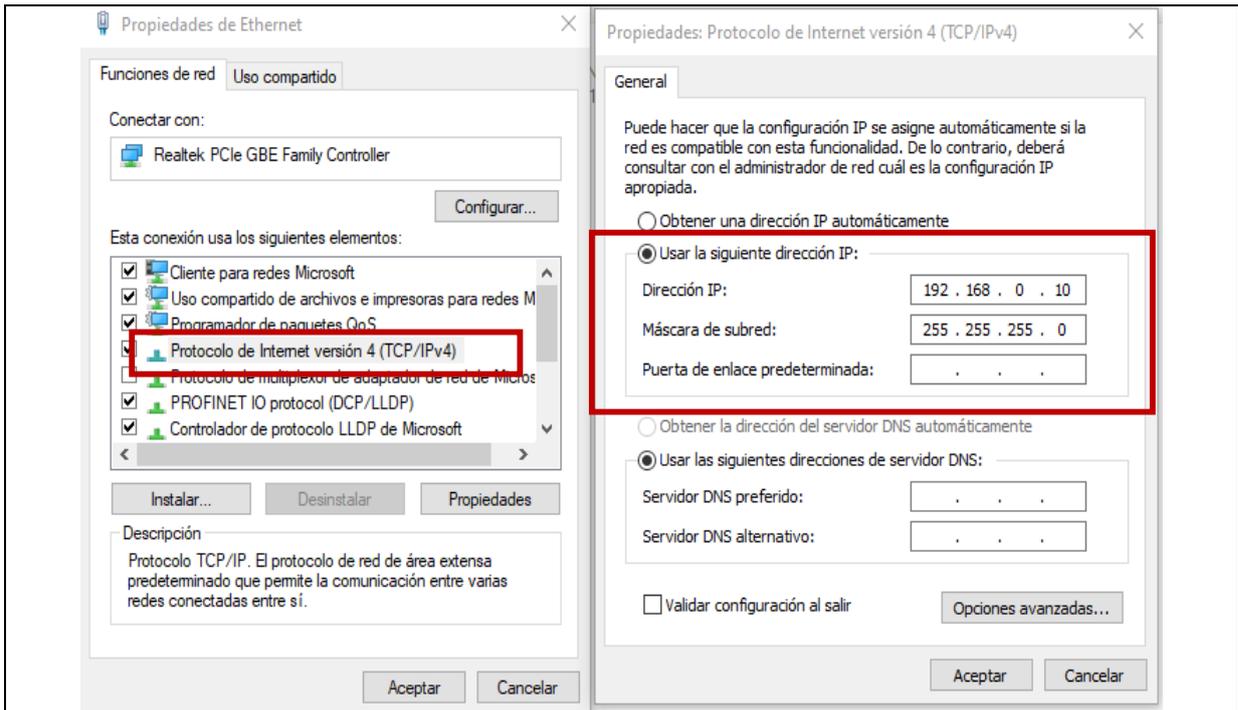


Figura V.22. Configuración de la dirección IP

Ya configurado el puerto de la misma manera se hace en TIA Portal aquí se da clic en el puerto virtual de ethernet para configurar con la misma dirección ya antes mostrada.

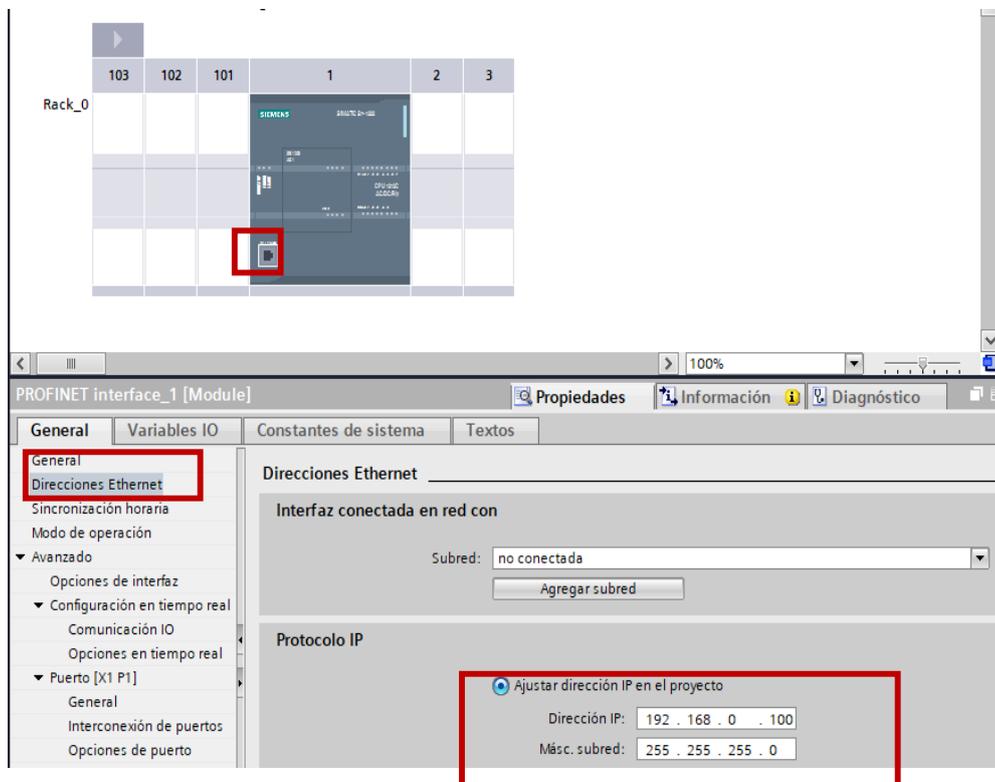


Figura V.23 Configuración de la dirección IP en TIA Portal

Configuración de los bloques de programación y acondicionamiento

Luego de esto se procede a agregar un nuevo bloque de programación que se encuentra en el apartado de la izquierda.

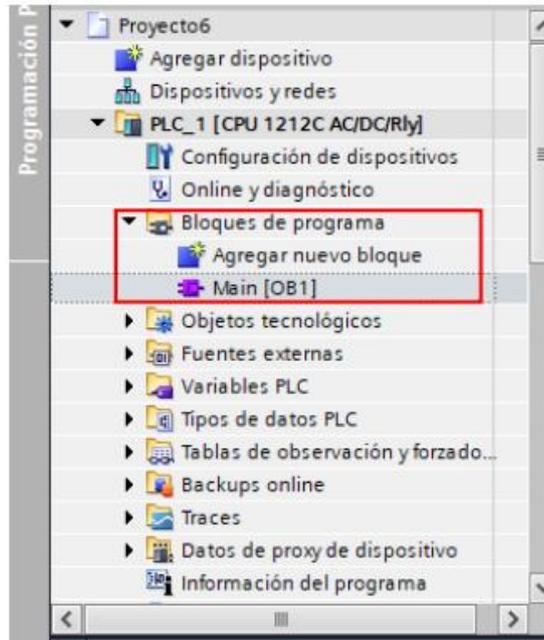


Figura V.24. Agregar y seleccionar bloque de programación

Para acondicionar nuestras 2 señales de entrada se utilizar los aparados de normalizado y escalado que se encuentran en la parte derecha del software, ya que estos ayudan a una conversión que permite ajustar a una norma o un determinado modelo.

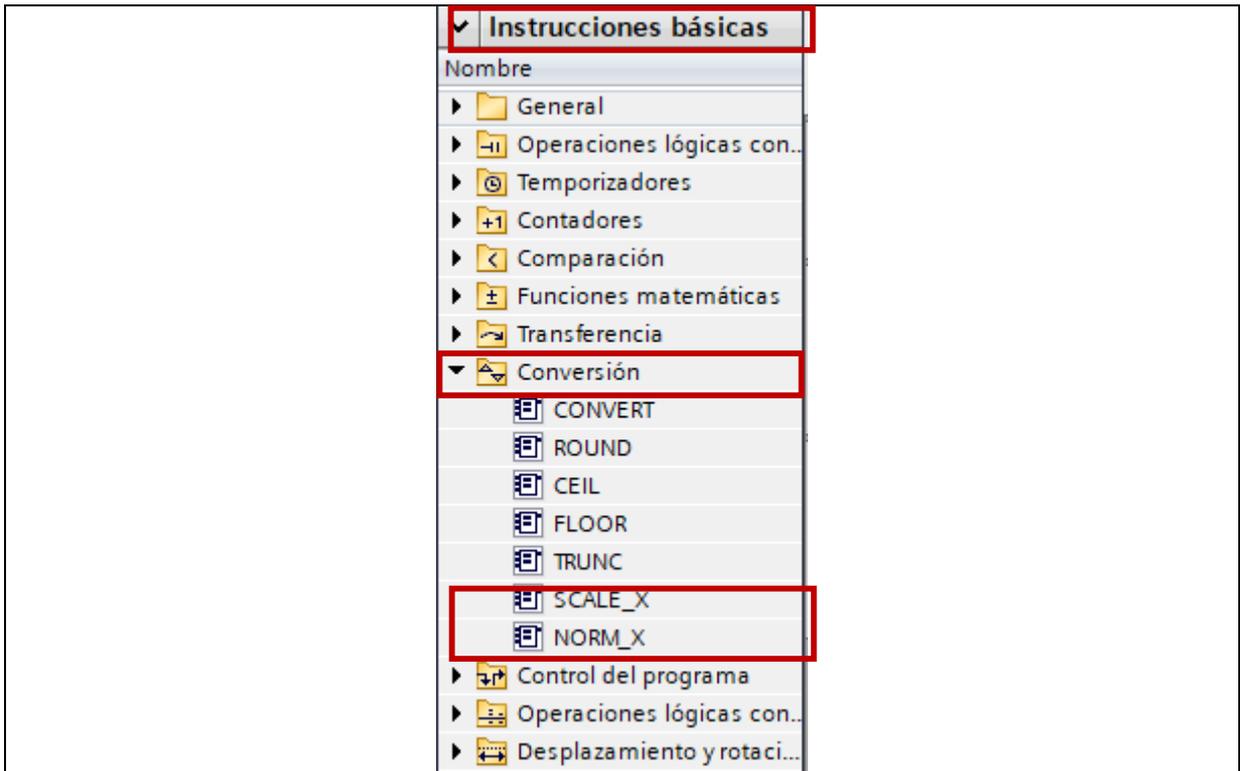


Figura V.25. Selección de normalizado y escalado de señal

Ya que se posee 3 variables 2 de entrada y una de salida se debe realizar 3 segmentos, así como sus respectivas marcas para su posterior utilización y colocarlos de la siguiente manera.

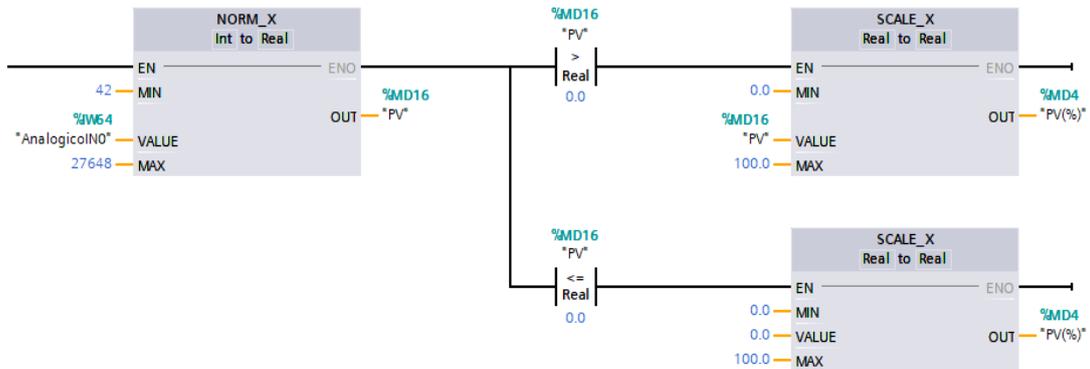


Figura V.26. Primer segmento acondicionamiento variable PV

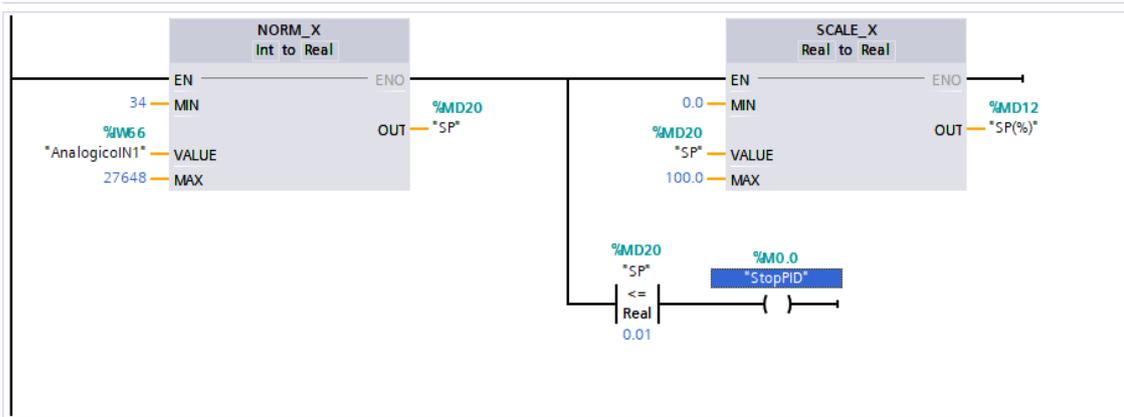


Figura V.27. Segundo segmento acondicionamiento variable SP



Figura V.28. Tercer segmento acondicionamiento variable CV

En los tres segmentos se muestran valores como 0 a 100 ya que los 3 están hechos a la misma escala ya sea en cm o % se puede utilizar de manera correcta lo equivalente al valor de 27648 bits es lo equivalente a 10 V de entrada con esto ya se configura el PLC dándole a conocer cuáles son los valores mínimos y máximos tanto en las entradas como en la salida analógica como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla V.1. Conversión de voltaje en función de bits PLC

Conversión	
1V	2764.8
3V	8294.4
5V	13824
7V	19353.6
10V	27648

Para este apartado se recomienda el uso del bloque PID_Compact del TIA Portal que se encuentra en el lado derecho en el apartado de tecnología y dentro de este se encuentra el programa que nos ayudara a utilizar correctamente nuestras variables el cual es Cyclic Interrupt, este es un programa de ciclo interrumpido tal como su nombre lo indica, esto permite que nuestro PID se encuentre funcionando independientemente de los demás programas que se encuentran en los bloques de programación.

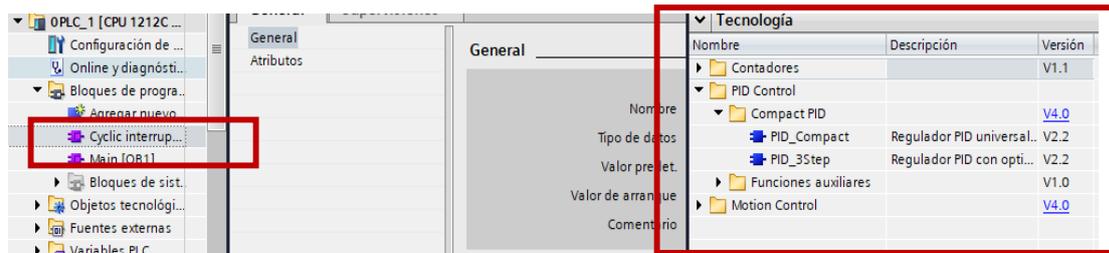


Figura V.29. Programación en Cyclic Interrupt

Después de hacer esto se configura el bloque Cyclic Interrupt de la siguiente manera.

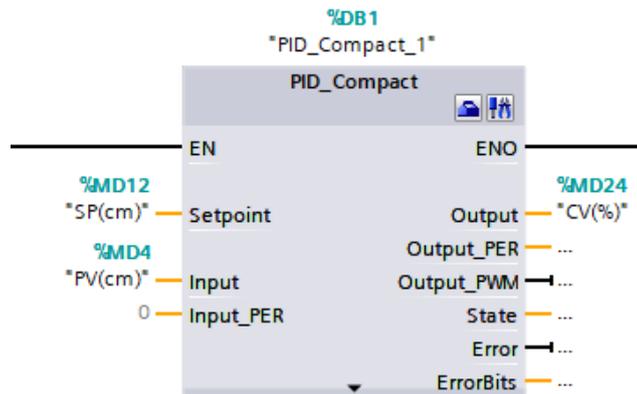


Figura V.30. Configuración de PID_Compact

Como se sabe tenemos dos parámetros de entrada que son SP como nuestro punto de seteo y PV como la variable que marca el nivel del líquido de nuestra planta y a la salida tenemos CV que es nuestra variable de control, todas se encuentran en forma de memorias ya que todo se hace virtualmente.

Posteriormente procedemos a configurar los parámetros de PID que ya hemos sintonizado con anterioridad.

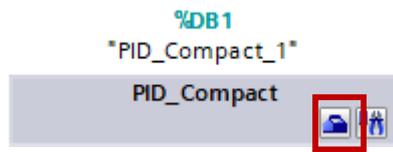


Figura V.31. Ingreso a ventana de configuración

Después de abrirse tenemos la siguiente ventana de configuración

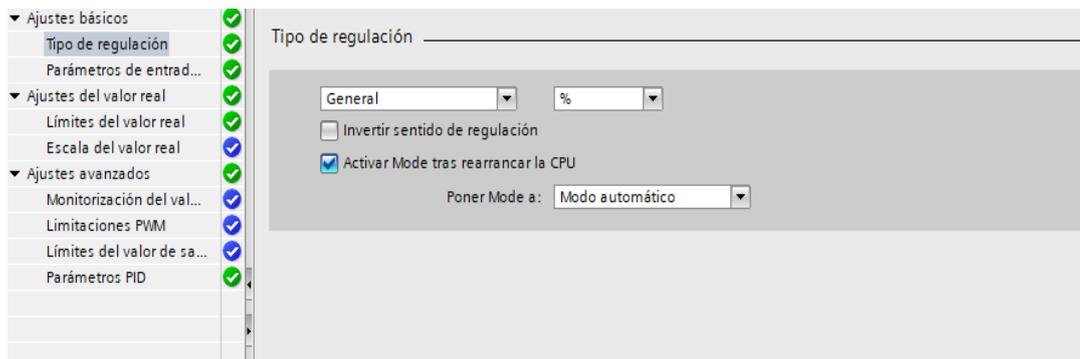


Figura V.32. Ventana de configuración

Aquí mostraremos varias ventanas las cuales deben estar configuradas de la siguiente manera. Aunque los límites están ajustados por defecto se debe revisar que estén de acuerdo a lo que se necesita en este caso de 0 a 100.

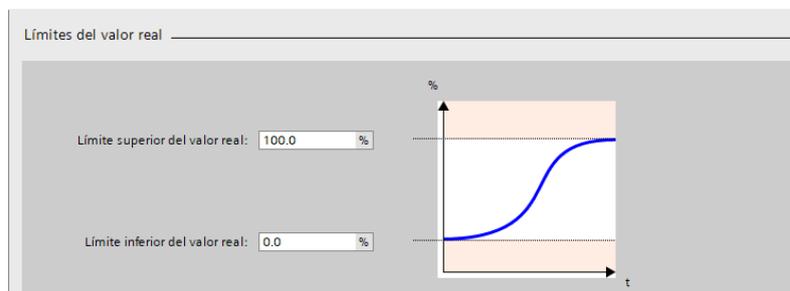


Figura V.33. Límites del valor real

Después se revisa la escala del valor real así mismo debe estar de 0 a 100 el valor del escalado y el valor en bits el máximo asignado en 10V.

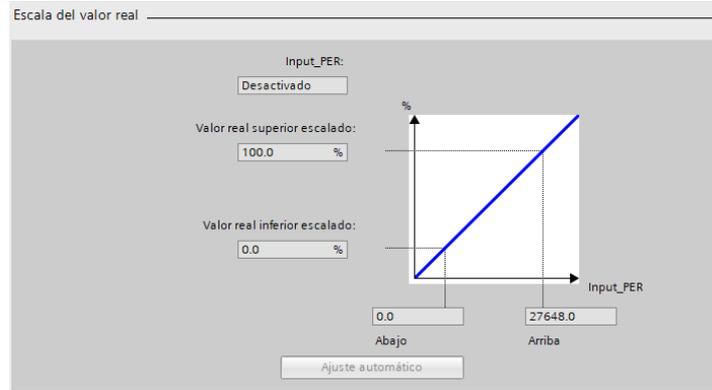


Figura V.34. Escala del valor real

Después de esto se revisa los límites del valor de salida que se encuentra de la misma manera de 0 a 100.

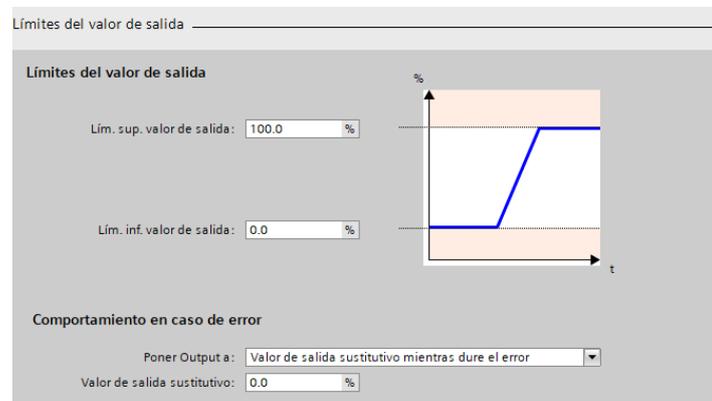


Figura V.35. Límites del valor de salida

A continuación, se configura los parámetros PID que son la sintonización ya antes realizada de tal manera que tenga un funcionamiento correcto.

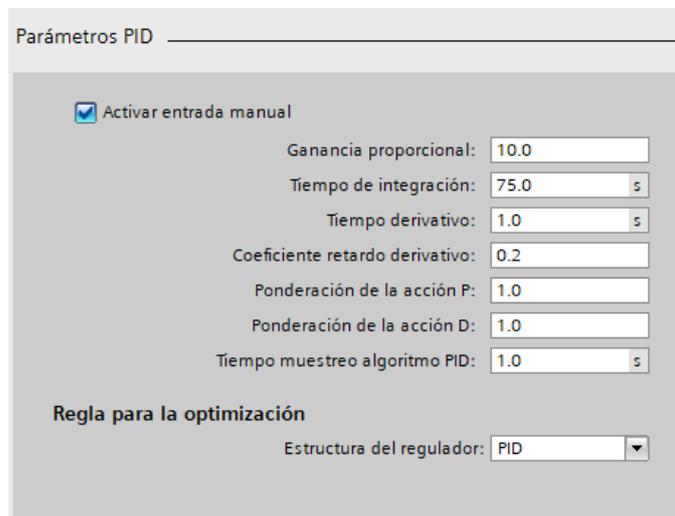


Figura V.36. Parámetros PID

Por último, se coloca los parámetros PID y se procede a subir el archivo comenzar la puesta en marcha de la siguiente manera.

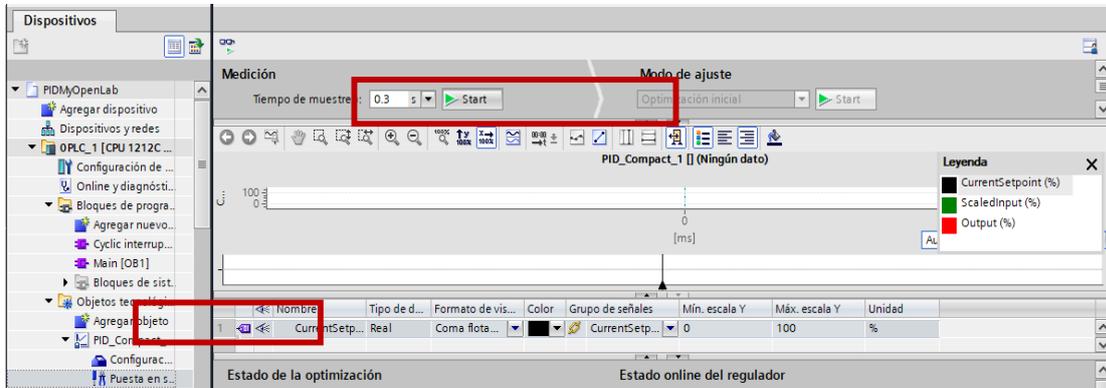


Figura V.37. Puesta en servicio del programa

Paso 15. Carga de programa en PLC

Para cargar un archivo ya posteriormente realizado se da clic en examinar y se busca el archivo ya realizado esto se coloca abrir. HIL(flash) \Instaladores\TIA Portal 14\Programa PID\Tia Portal\PIDMyOpenLab

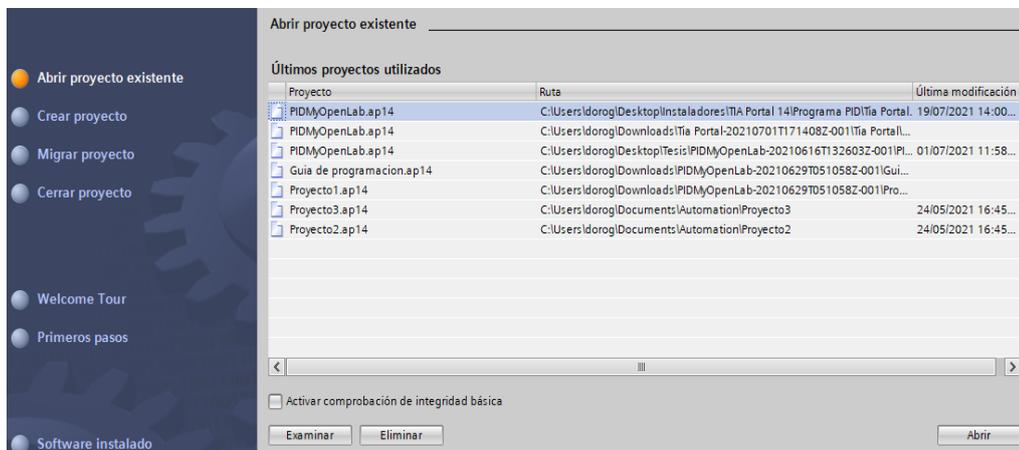


Figura V.38. Selección de archivo ya realizado

Se da clic en vista del proyecto.



Figura V.39. Vista del proyecto

Una vez abierto el proyecto se da clic en PLC_1 Luego en configuración del dispositivo por último se da clic en el dispositivo y clic en cargar en dispositivo.

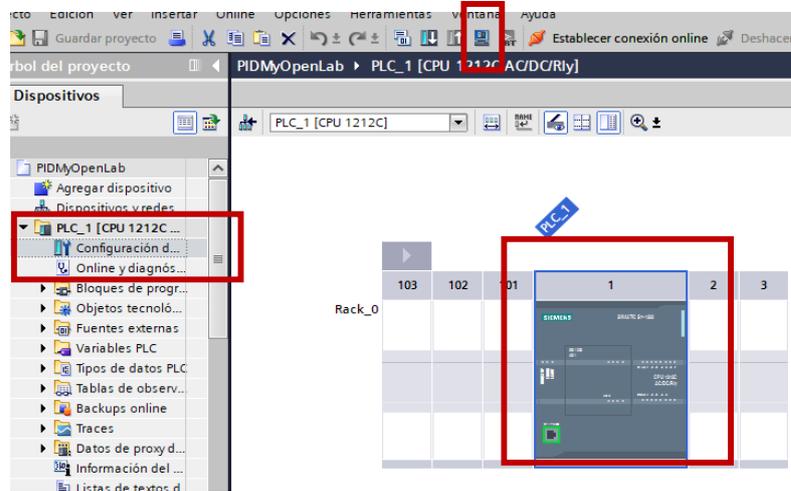


Figura V.40. Vista del proyecto

Una vez cargado el proyecto se debe poner el tipo de interfaz luego seleccionar la correcta de acuerdo a su tipo de conexión luego se inicia la búsqueda al aparecer el PLC se lo selecciona y luego clic en cargar.

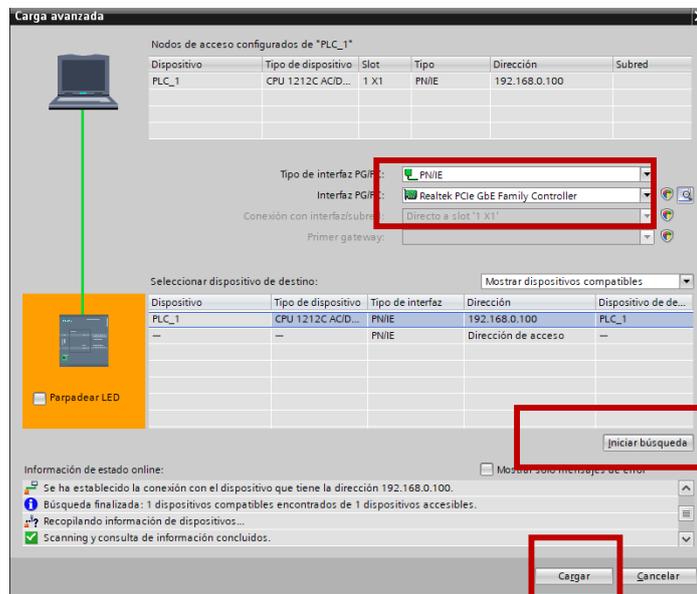


Figura V.41. Búsqueda PLC

Luego aparecerá el siguiente cuadro y se cambiará a la opción de borrar datos y luego clic en cargar.

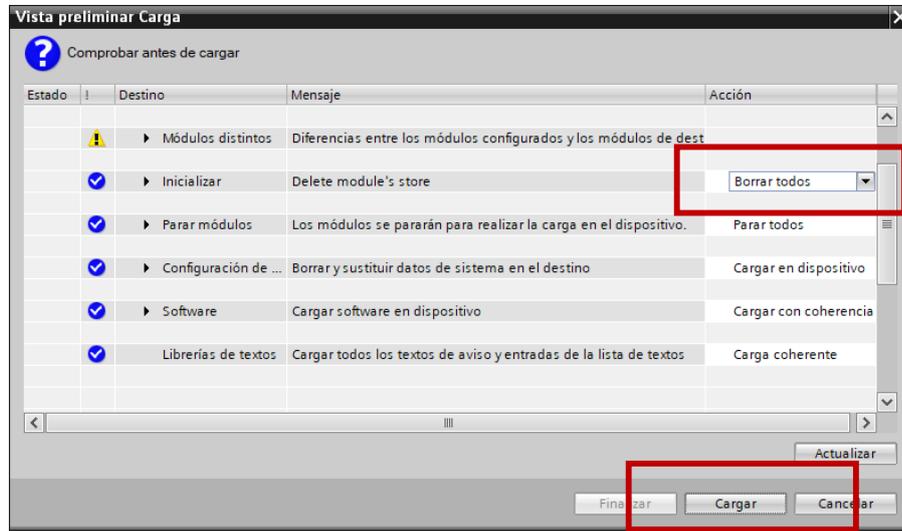


Figura V.42. Carga preliminar

Por último, se da clic en finalizar.

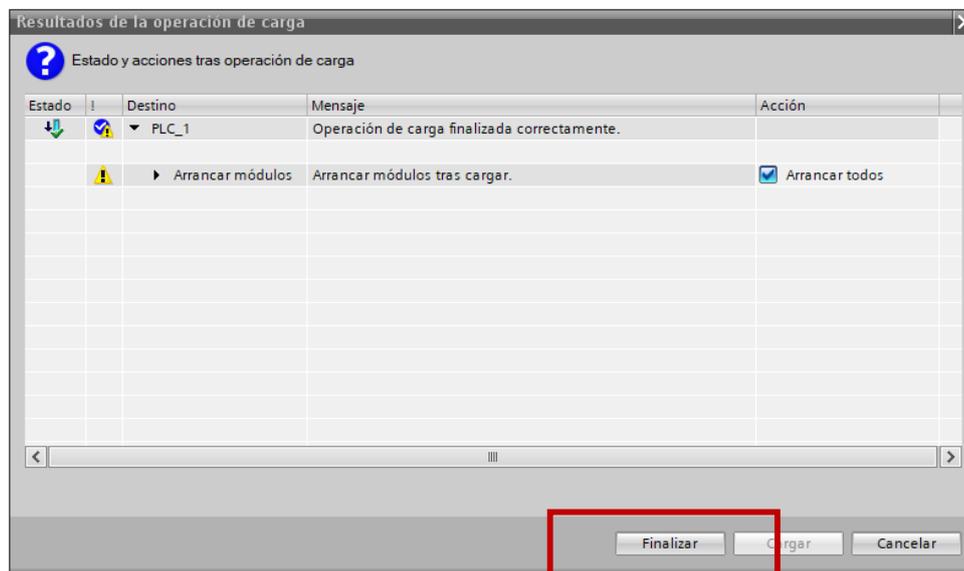


Figura V.43. Finalización

Paso 16. Funcionamiento de la Raspberry Pi y el entorno de MyOpenLab

Una vez ya encendida la Raspberry Pi nos muestra el entorno Raspbian aquí encontramos una carpeta llamada distribution en la cual se encuentra el software MyOpenLab por defecto.

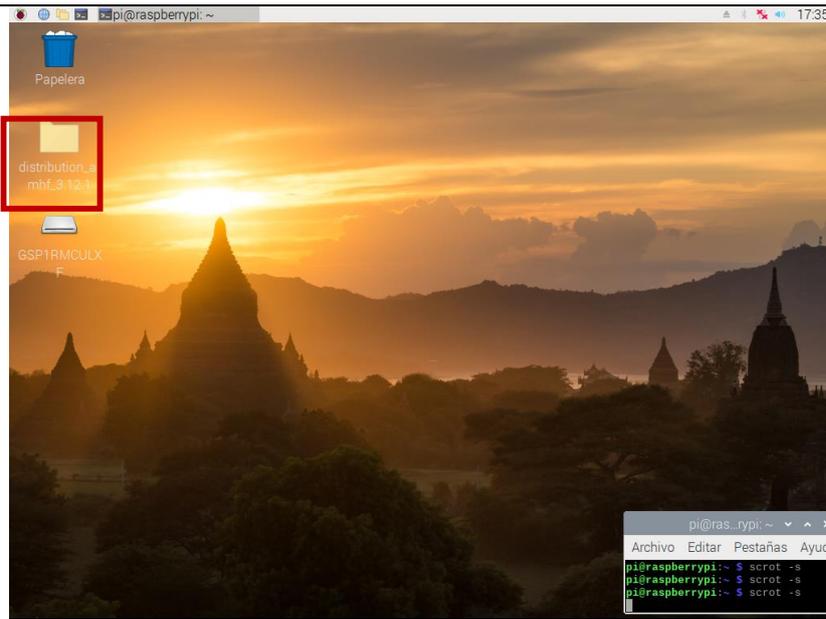


Figura V.44. Entorno Raspbian y ubicación de la carpeta con el software

Al abrir la carpeta encontramos varios archivos entre ellos se encuentra `star_linux_amhf` este programa es el ejecutable del software MyOpenLab al dar doble clic aparecerá un recuadro se da clic en ejecutar.

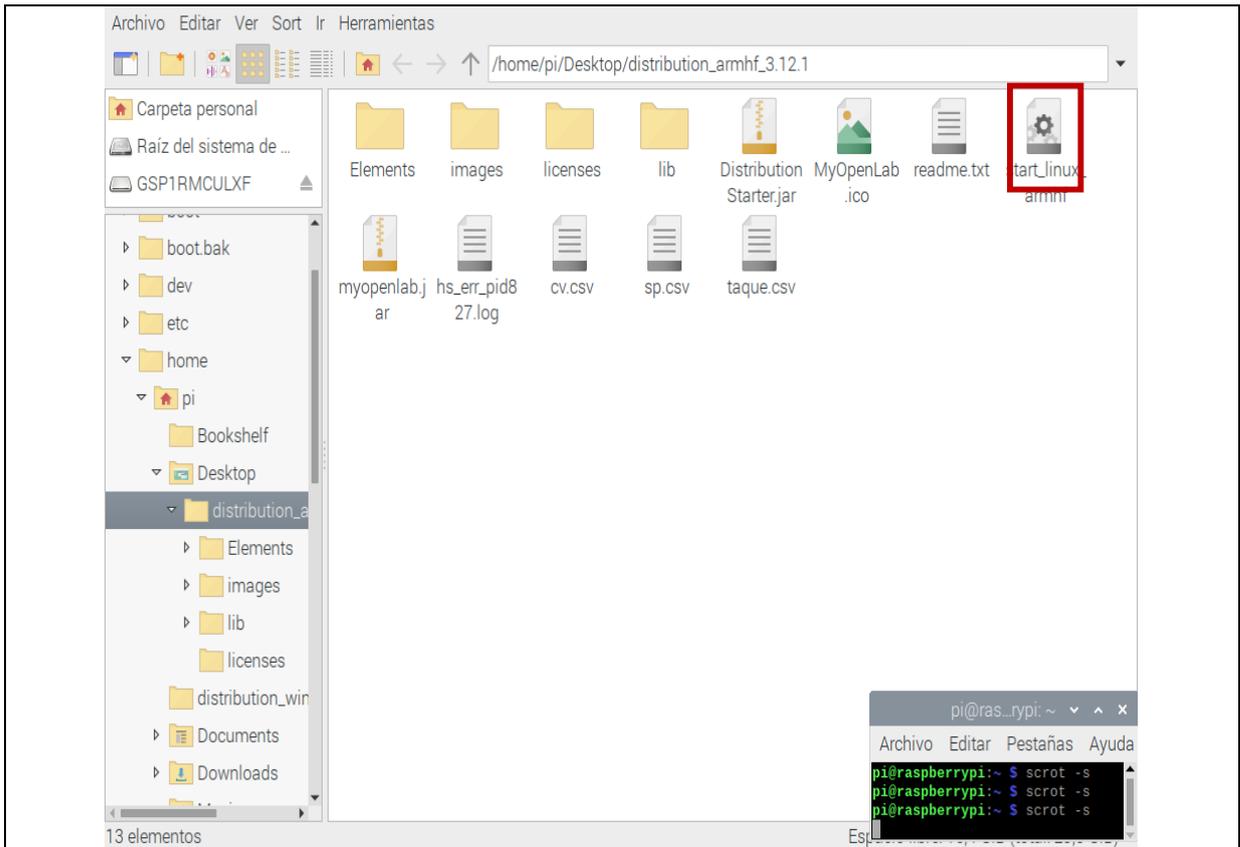


Figura V.45. Ejecución del Software

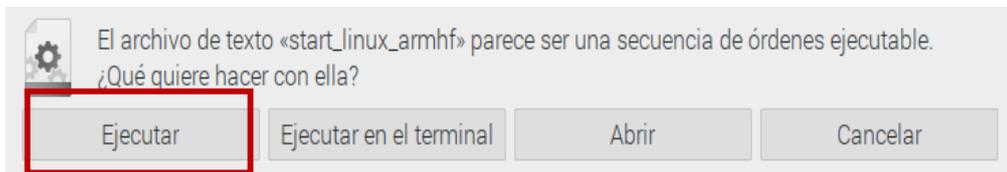


Figura V.46. Ejecución del Software

Al ejecutarse el programa se abre su interfaz al lado izquierdo se encuentran dos carpetas se da doble clic en control de nivel, luego en principal se espera a que cargue y luego doble clic en la primera flecha verde.

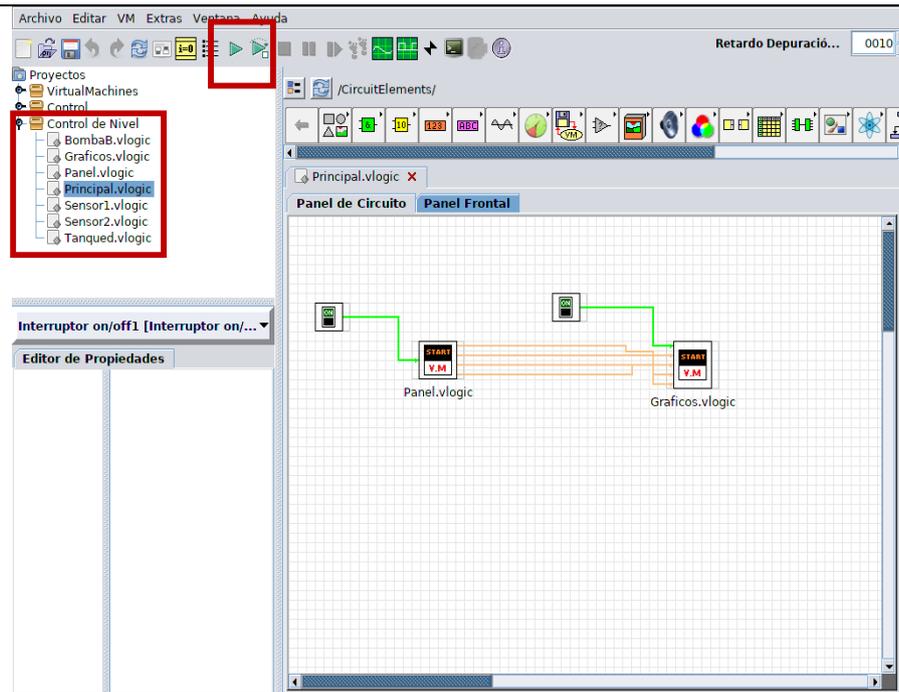


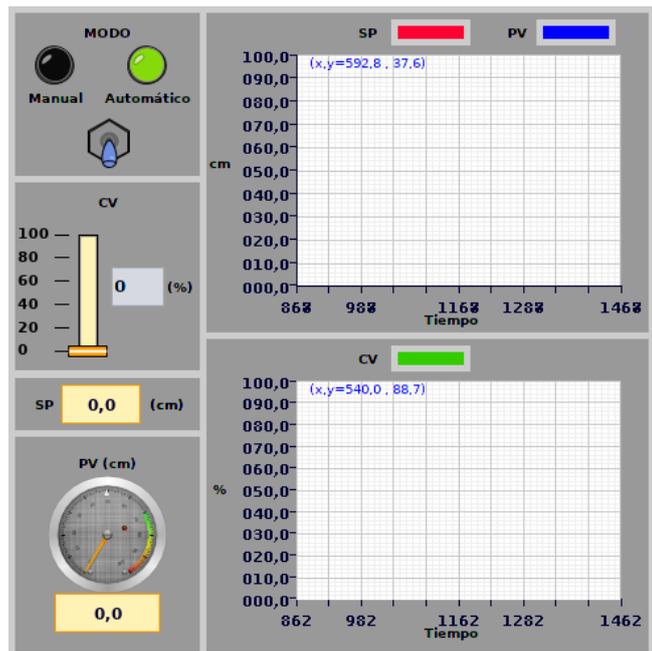
Figura V.47. Inicio del programa

Esta abre un panel principal que sirve para enviar señales de inicio tanto al panel de control y el panel de gráficos lo único que se debe hacer es dar clic en el botón que se encuentra al lado de los nombres y este llamara a las ventanas.



Figura V.48. Inicialización de panel de control y gráficos de planta

Aquí podemos apreciar la ventana de panel de control en la cual se ve tanto medidas de las distintas variables, así como sus graficas alrededor del tiempo.



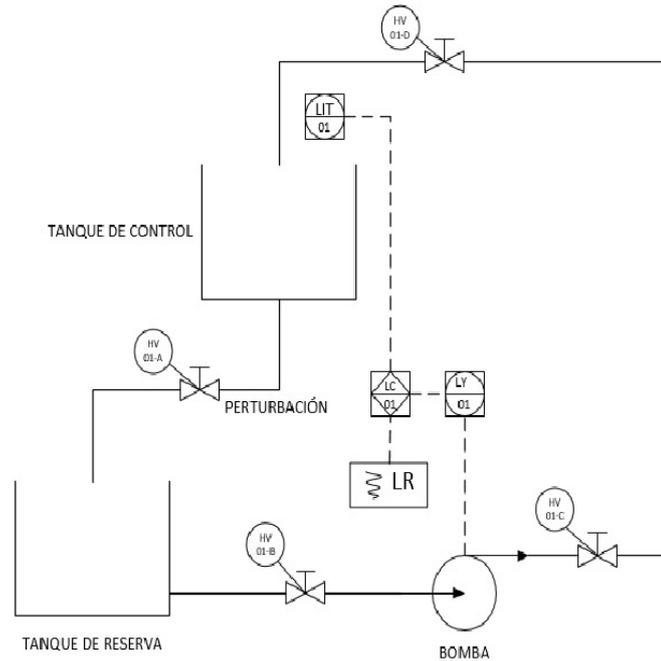
V.49. Panel de control

También se tiene el botón que nos muestra como es la planta física.



V.50. Planta física

En la misma existe un botón que nos muestra el diagrama P&ID de la planta.



V.51. Diagrama P&ID

De la misma manera se tiene el panel de la planta de nivel, así como varias ventanas que nos muestran como son los componentes en su estado físico.

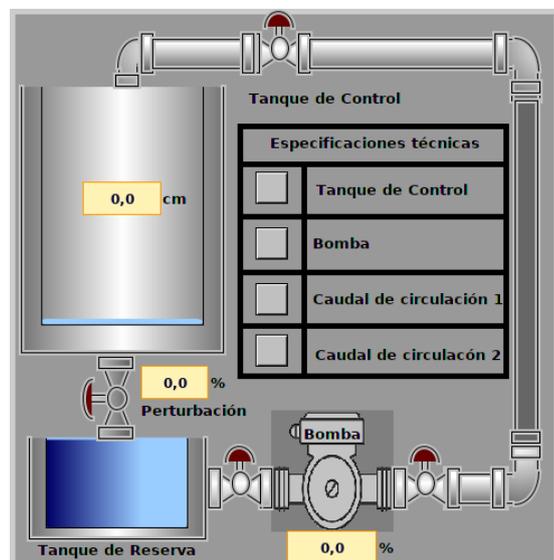


Figura V.52. Gráfico de la planta

Una vez abierta la planta se puede observar las especificaciones técnicas de está dando clic en los botones al lado de sus nombres



Figura V.53. Especificaciones tanque de control y tubería



Figura V.54. Especificaciones Bomba de agua

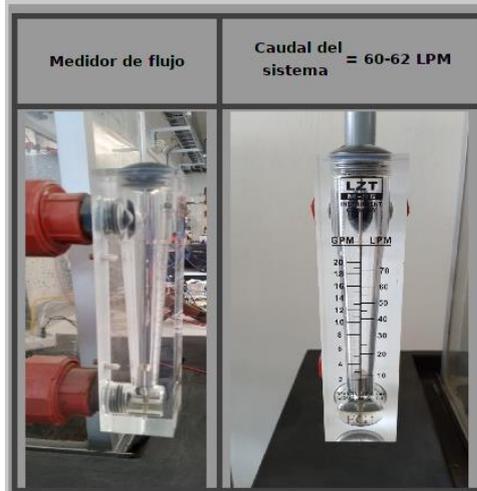


Figura V.55. Medición de caudal 1



Figura V.56. Medición de caudal 2

De esta manera se ve completamente abiertas las ventanas.



Figura V.57. Programa completamente abierto

Por ultimo tenemos al módulo conectado al PLC, HDMI y mostrado en el programa TIA Portal a través de la computadora correctamente funcionando.

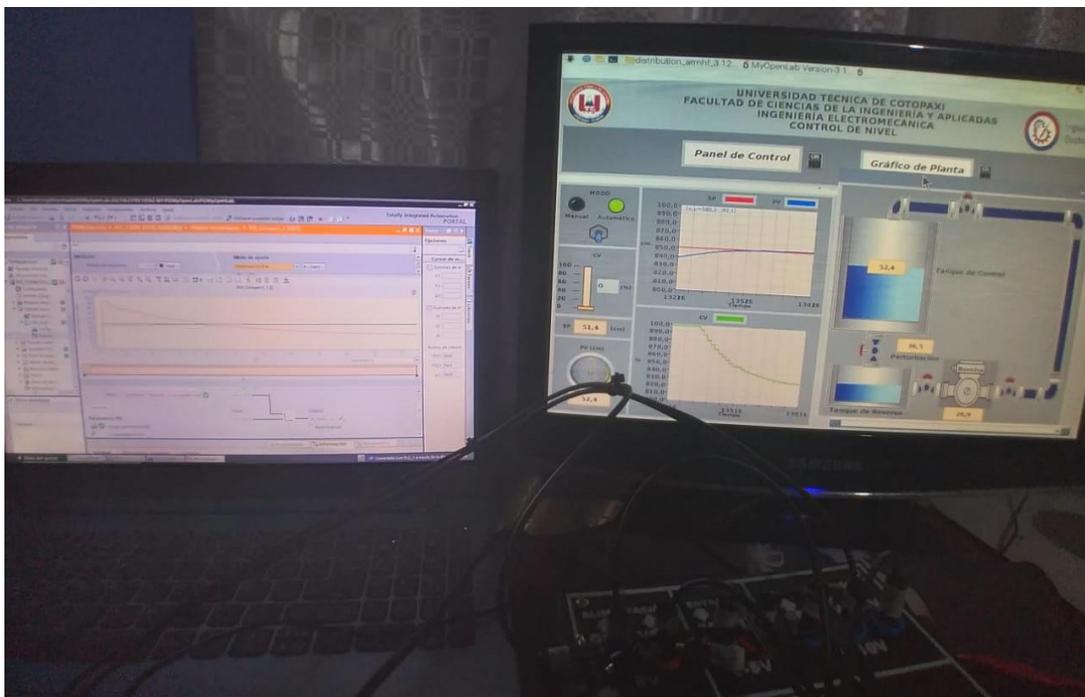


Figura V.58. Conexión completa en funcionamiento

Una vez realizada toda la conexión se tiene la caja de potenciómetros en la cual se encuentran dos variables de entrada que nos ayudan tanto a colocar un valor para llenar el tanque como para su vaciado:

- Set Point “SP” que es la variable mediante la cual nosotros seteamos un valor y el tanque de control comienza a llenarse hasta el valor indicado su rango es de 0-100 y se marca en cm
- Perturbación “PER” es la variable que se encarga de vaciar el tanque de control su rango es de 0-100 y se marca en %.



Figura V.59. Caja de potenciómetros que contiene dos variables de entrada

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
INFORME DE PRÁCTICA

Nota: El informe debe ser conciso, simple y claro, no debe contener más de 5 hojas, no carátula, no carpetas, no binchas, se debe presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja para impresión.

TEMA:

NÚMERO DE PRÁCTICA:

NOMBRE(S):

FECHA:

PARTE NUMÉRICA

1	Datos de módulo Físico
----------	------------------------

Tanque				
Bomba				
Caudal de sensor 1				
Caudal de sensor 2				

Tabla 1: Especificaciones

2	A continuación en función al cálculo de la ecuación de Bernoulli del tiempo de llenado realice una tabla de error entre el tiempo medido a diferentes perturbaciones y el tiempo calculado.
----------	---

Tiempo calculado	Tiempo medido

Tabla 2. Tiempos

PARTE GRÁFICA

3	Colocar las fotografías de la curva PV (Process value) con la perturbación abierta en distintos porcentajes
---	---

PARTE ANÁLITICA

4	Describa con sus palabras que sucedió con cada de las curvas
---	--

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5	(Describa e interprete los resultados obtenidos) Describa con sus palabras el tiempo de llenado mediante la ecuación de Bernoulli se apega al tiempo medido con un sistema sintonizado PID. ¿Sí?, ¿No? y ¿Por qué?
---	---

CONSULTAS

6	Desarrolle las consultas de la sección 2.1
---	--

CONCLUSIONES

7	Escriba por lo menos 3 conclusiones
---	-------------------------------------

ANEXOS

8	Especificaciones de los materiales utilizados (Pueden ser bajados de internet)
----------	--

BIBLIOGRAFÍA

9	Poner la bibliografía utilizada
----------	--

(Ejemplo) ASKELAND, Donald; La Ciencia e Ingeniería de los Materiales; Iberoamérica, 1987, Págs.: 97-103

ANEXO VI	GUÍA 2 ON-OFF PLANTA DE NIVEL	1 de 1
-------------	-------------------------------	--------

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
PRÁCTICA DE LABORATORIO LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA	

ELABORADO POR:	REVISADO POR:	APROBADO POR:
B.BONILLA	L.FREIRE	J. VILLARROEL
FECHA:19-07-2021	FECHA:19-07-2021	FECHA: 23-07-2021

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA	IELM 703M2	CONTROL DE AUTOMATAS PROGRAMABLES

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Automatización y control	DURACIÓN (HORAS)
--------------------	---------------------	--------------------------	-----------------------------

02	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	On- off control de nivel	3
-----------	-------------------------------	--------------------------	---

1	OBJETIVO
	<p>El tema de análisis consiste en investigar los parámetros que tiene un control on-off para que sirven y su funcionamiento mediante el uso de acervos bibliográficos y su práctica en el módulo HIL (Hardware in the loop).</p> <p>Los objetivos de la práctica son: Estudiar el comportamiento y el uso de las variables SP “set point”, PV “Process value”, y una alimentación que son fundamentales en el proceso de control de nivel, así como la utilización de PLC para el control de las mismas y se pueda visualizar cómo se comportan las variables en el módulo HIL .</p>
	<p>2.1. INTRODUCCIÓN</p> <p>Control de nivel</p> <p>Un controlador de nivel es un dispositivo hidráulico destinado a mantener el nivel del agua dentro de un cierto rango de fluctuación. Existen algunas diferencias en el diseño del control de nivel dependiendo de uno de los siguientes: Planta de procesamiento; tanque de agua o tanque de almacenamiento.</p> <p>Ecuación de Bernoulli</p> <p>Dentro de un flujo horizontal de fluido, los puntos de mayor velocidad del fluido tendrán menor presión que los de menor velocidad.</p> <p>Calculo del llenado y vaciado del tanque de control</p> <p>Se inicia separados los datos técnicos del módulo físico como son el tamaño de la tubería la cantidad de caudal que circula por el sistema y el tamaño del tanque de tal manera que se tenga todo lo necesario para aplicar la ecuación de Bernoulli.</p> <p>Control on-off</p> <p>El método de control ON-OFF es el más primitivo y sencillo pues se trata de mantener el valor colocado, por abajo de él la salida del controlador está encendida y cuando lo sobrepasa la salida es desactivada, no intervienen más lógica en el proceso más que activar o desactivar.</p> <p>2.3.EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS</p>

Equipos:

Módulo HIL Planta de nivel

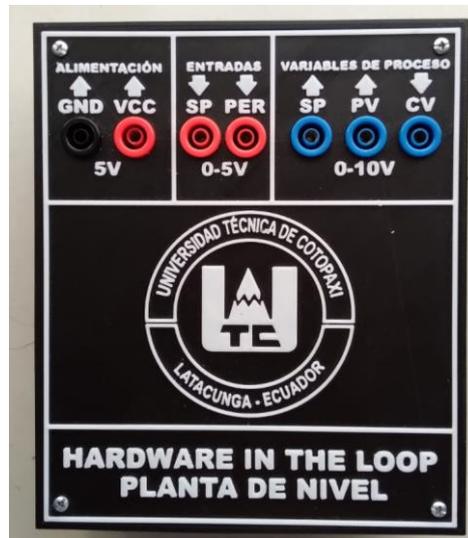


Figura VI.1. Vista frontal HIL



Figura VI.2. Vista inferior HIL



Figura VI.3. Vista lateral HIL

PLC S7-1200(1212C AC/DC/RLY)



Figura VI.4. PLC S7-1200

Modulo analógico SB 1232



Figura VI.5. Modulo SB 1232 va incrustado en el PLC S7-1200

Pantalla de cualquier tipo con entrada HDMI



Figura VI.6. Pantalla con entrada HDMI

Materiales:

Cable HDMI macho-macho



Figura VI.7. Cable HDMI

Cable USB macho-macho



Figura VI.8. USB

Cargador 12V-5^a



Figura VI.9. Cargador módulo HIL

Caja de potenciómetros



Figura VI.10. Caja de potenciómetros para entradas

Mini teclado-ratón inalámbrico



Figura VI.11. Mini teclado-ratón inalámbrico

Cable de ethernet



Figura VI.12. Cable de ethernet

Cronometro (debe traerlo el estudiante)



Figura VI.13. Cronómetro

2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

EPP: Mandil.

Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación de la máquina de ensayos universales
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo

2.4. TRABAJO PREPARATORIO

2.4.1. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

Para iniciar el ensayo se realiza el despeje y la integración de la ecuación de Bernoulli para el tiempo de vaciado del tanque

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g}$$

$\frac{P}{\rho g}$ carga de presión

$\frac{v_1^2}{2g}$ carga de velocidad

$h =$ carga de elevación

Después de simplificar la presión con la densidad de los dos lugares se tiene lo siguiente

$$h_1 = \frac{(v_2)^2}{2g}$$

Se despeja la velocidad y se tiene

$v = Cv\sqrt{2gh}$ que es la velocidad de salida por el agujero

Cv es igual al coeficiente de velocidad que es igual a 1 ya que el fluido utilizado es agua

Después de esto se debe realizar un proceso de integración donde

Cambio de volumen – velocidad y altura $\rightarrow h = y$

$v = Cv\sqrt{2gy}$ la letra y es una variable el resto son constantes

La velocidad (v) no es constante, depende de la altura del líquido pero podemos superponerla en un pequeño intervalo Δt .

$$V(t + \Delta t) \approx V(t) - av\Delta t \approx V(t) - a\sqrt{2gy} \Delta t$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V(t + \Delta t) - V(t)}{\Delta t} \approx -a\sqrt{2gy}$$

$$\frac{dV}{dt} = -a\sqrt{2gy} \quad V(y) = \int_0^y A(u)du$$

Se busca una relación entre V y (y) para esto se usa la regla de la cadena

$$\frac{dV}{dh} = A(y)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dy} \times \frac{dy}{dt} \Rightarrow \frac{dV}{dt} = A(y) \frac{dy}{dt}$$

$$\frac{dV}{dt} = -(\sqrt{2gy})(a)$$

Después de esto se debe realizar un proceso de integración donde:

a = área del agujero de salida

A = área del tanque

$$\frac{dv}{dt} = -va$$

$$A \frac{dv}{dt} = -va$$

$$A \frac{dv}{dt} = -a\sqrt{2gh}$$

$$\int -\frac{A dh}{a\sqrt{2gh}} = \int dt$$

$$\int \frac{A d}{a\sqrt{2g}} \frac{dh}{\sqrt{h}} = - \int dt$$

$$\frac{A d}{a\sqrt{2g}} \int \frac{dh}{\sqrt{h}} = - \int dt$$

$$\frac{A d}{a\sqrt{2g}} \int_{h_2}^{h_1} \frac{dh}{\sqrt{h}} = - \int_{t_2}^{t_1} dt$$

$$\frac{A d}{a\sqrt{2g}} [(2\sqrt{h_1}) - (2\sqrt{h_2})] = -(t_1 - t_2)$$

$$t_2 = \frac{A d}{a\sqrt{2g}} 2\sqrt{h_1}$$

$$t_2 = \frac{A}{a} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$t_2 = \frac{l * a}{\frac{\pi * \phi^2}{4}} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Llenado del tanque

Se procede a la fórmula del volumen

$$Vol = l * a * h$$

$$1m^3 = 1000 \text{ litros}$$

$$Vol = (l * a * h * 1000) \text{ litros}$$

Ahora la de caudal

$$Q = q \frac{\text{litros}}{\text{minutos}}$$

Ahora el cálculo del tiempo de llenado

$$t_1 = \frac{(l * a * h * 1000) \text{ litros}}{q \frac{\text{litros}}{\text{minutos}}} * 60s$$

$$t_1 = \frac{(l * a * h * 1000) \text{ minutos}}{q} * 60s$$

$$t_1 = \frac{(l * a * h * 60000)}{q} s$$

Realización de los cálculos

Datos:

$$l = 0.26m$$

$$a = 0.26m$$

$$h = 1m$$

$$q = 60lpm$$

$$\emptyset = 0.01660m$$

Tiempo de llenado

$$t1 = \frac{(0.26 * 0.26 * 1 * 60000)}{60lpm} s$$

$$t1 = 67.6s$$

Tiempo de vaciado

$$t2 = \frac{0.26 * 0.26}{\frac{\pi * 0.01660^2}{4}} \sqrt{\frac{2 * 1}{9.81}}$$

$$t2 = 160.95s$$

De esto se hace una relación para poder multiplicar la perturbación con el fin de igualarla a 160.95 y entonces se divide el t1 para el t2 y se tiene 0.42.

2.4.2. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Conexión del equipo

Para la conexión del equipo siga los siguientes pasos puede guiarse del diagrama de conexión

Figura VI.14. Diagrama de conexión del equipo

Paso 1. Conecte el cable 0M que sale del módulo SB 1232 al GND del módulo HIL y el 2M que sale del PLC S7-1200 al GND del módulo HIL.

Paso 2. Conecte el cable que sale de la entrada analógica 0 del PLC a la variable de proceso SP del módulo HIL de la misma manera conecte el cable de la entrada analógica 1 a la variable de proceso PV del módulo HIL.

Paso 3. Conecte el cable que sale de la salida analógica 0 del módulo analógico SB 1232 a la variable de proceso CV.

Paso 4. Conecte los cables negativos de la caja de potenciómetros al GND del módulo HIL.

Paso 5. Conecte los cables positivos de la caja de potenciómetros al VCC del módulo HIL.

Paso 6. Conecte el cable SP de la caja de potenciómetros de señal de entrada (~) al apartado SP del módulo de la misma manera realizar con el cable de PER a la entrada PER del módulo HIL.

Paso 7. Conecte el cable USB macho-macho del USB del microcontrolador(mCU) a cualquier puerto USB de la Raspberry Pi.

Paso 8. Conecte el cable HDMI a cualquier tipo de pantalla.

Paso 9. Encienda la pantalla y coloque en el apartado de HDMI.

Paso 10. Conecte el teclado-mouse inalámbrico USB.

Paso 11. Energice el módulo HIL con el cargador de 12V-5A a 110V.

Paso 12. Conecte el PLC a 110V.

Paso 13. Conecte el cable de ethernet del PLC a cualquier computadora con el software TIA Portal V14 de no poseer el software diríjase al anexo para el proceso de instalación.

Paso 14. Programación en TIA Portal si posee el archivo del programa saltar a paso 16.

Creación del proyecto

Se debe iniciar el Software TIA Portal V14 como administrador para que funcione correctamente y evitar inconvenientes de conexión y selección del dispositivo, luego se debe crear un nuevo proyecto.

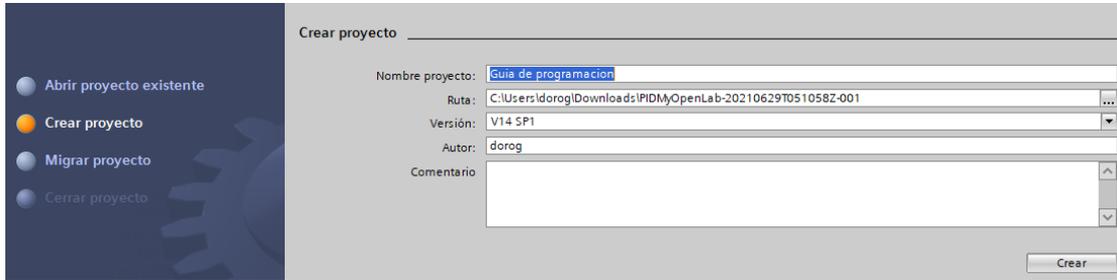


Figura VI.15. Creación del proyecto

Luego de llenar los datos de nuestro proyecto, así como su ruta se debe configurar el dispositivo.

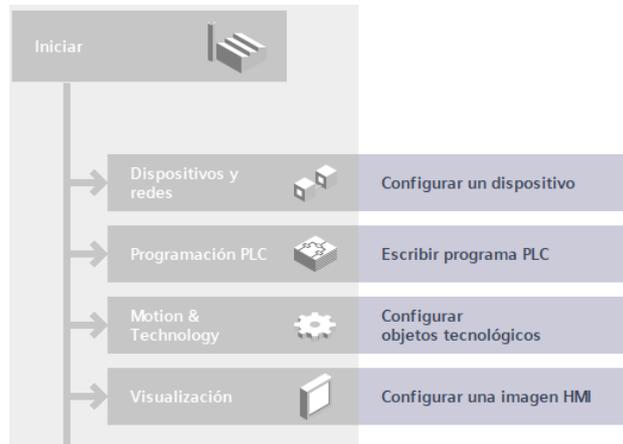


Figura V.16. Configuración del dispositivo

Al ingresar a este lugar aparecerá varios dispositivos debemos dar clic en agregar un nuevo dispositivo para posteriormente aparecerá una lista de varios dispositivos de la serie S7 ahí se escogerá el S7-1200 que son los más utilizados en la universidad.

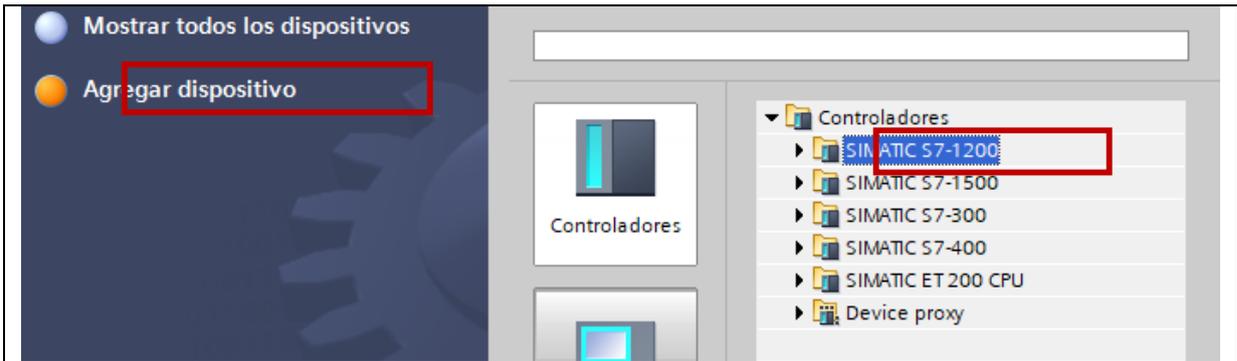


Figura VI.17. Agregar tipo de dispositivo

Para el presente proyecto se utilizó en PLC SIMATIC S7-1200, la CPU es 1212 AC/DC/RLY con serie 6ES7 212-1BE40-0XB0. Toda esta información se encuentra siempre en el lado lateral del dispositivo posteriormente se procede a seleccionar de la misma en el software.

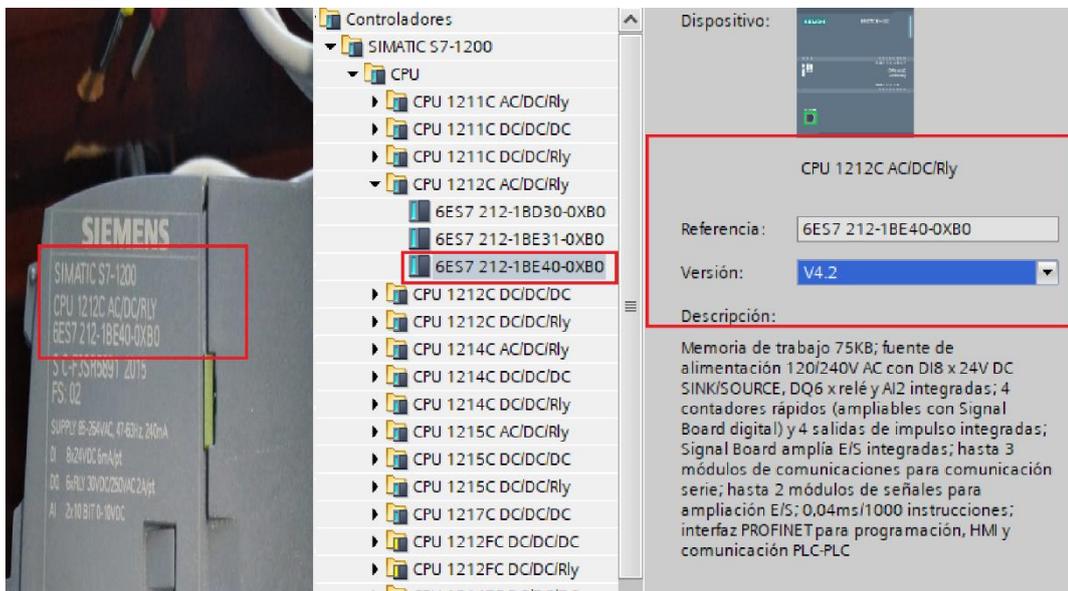


Figura VI.18. Selección del dispositivo

La CPU debe ser elegida correctamente esta no puede ser diferente al dispositivo ya que simplemente no funcionara la programación.

A continuación, se debe configurar el módulo AQ x 12 BIT que es el responsable de la salida analógica extra que se necesita.

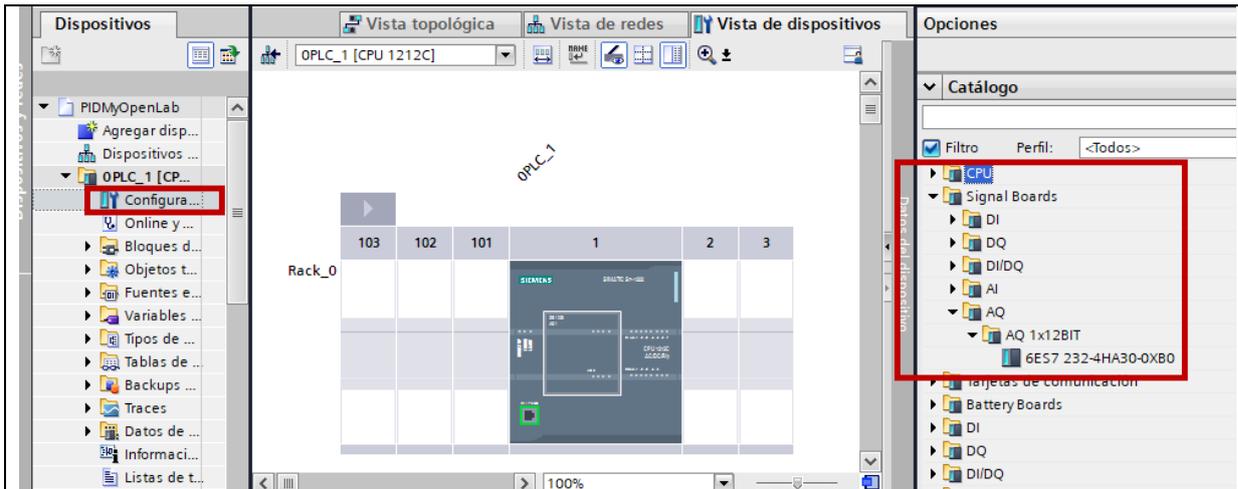


Figura VI.19. Selección del módulo analógico SB 1232 AQ

Configuración del puerto ethernet

Después de esto se debe configurar el puerto de ethernet de la siguiente manera una vez que se lea el cable de ethernet se debe ingresar a su configuración para esto se coloca en cambiar opciones del adaptador.

Ethernet

Red no identificada
Sin Internet

Opciones de configuración relacionadas

[Cambiar opciones del adaptador](#)

Figura VI.20. Configuración del puerto ethernet

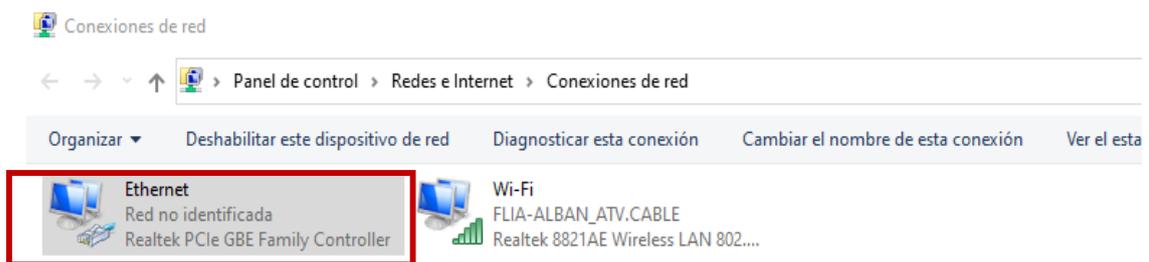


Figura VI.21. Configuración del puerto

Se debe dar clic derecho al puerto y entrar a configuraciones para asignar una ip fija diferente para evitar problemas de conexión aquí se abre el protocolo versión 4 como se muestra en la siguiente figura.

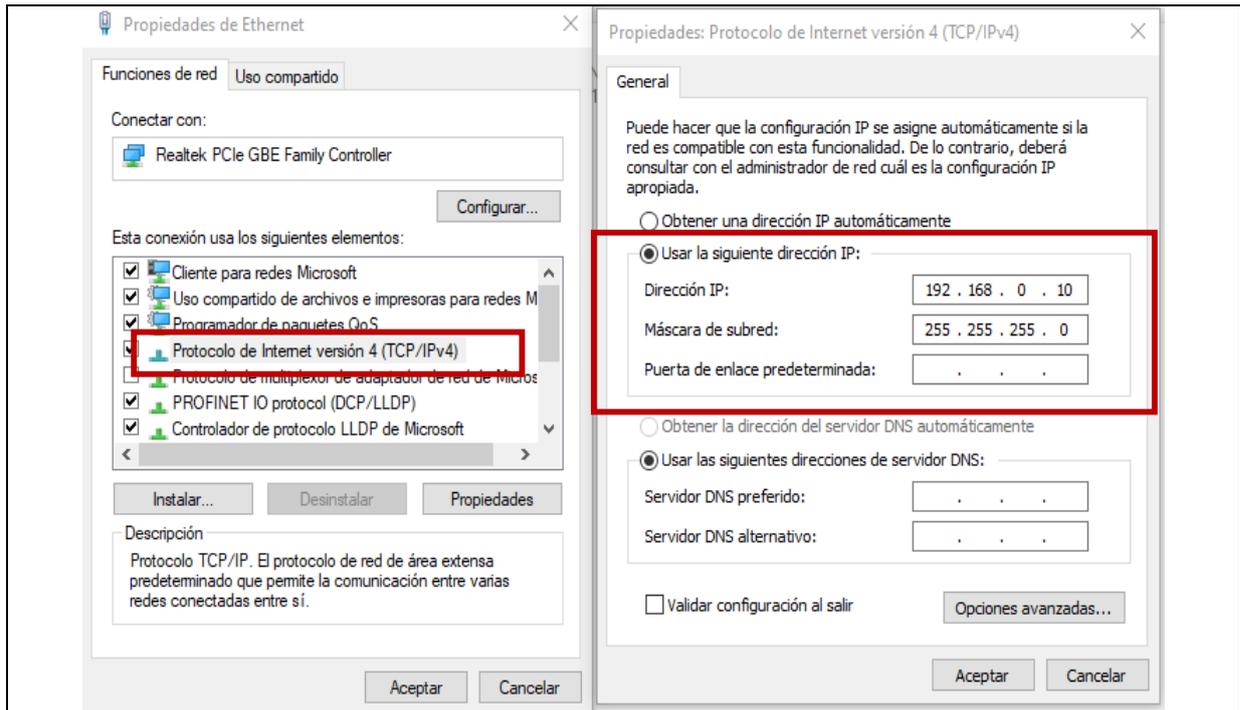


Figura VI.22. Configuración de la dirección IP

Ya configurado el puerto de la misma manera se hace en TIA Portal aquí se da clic en el puerto virtual de ethernet para configurar con la misma dirección ya antes mostrada.

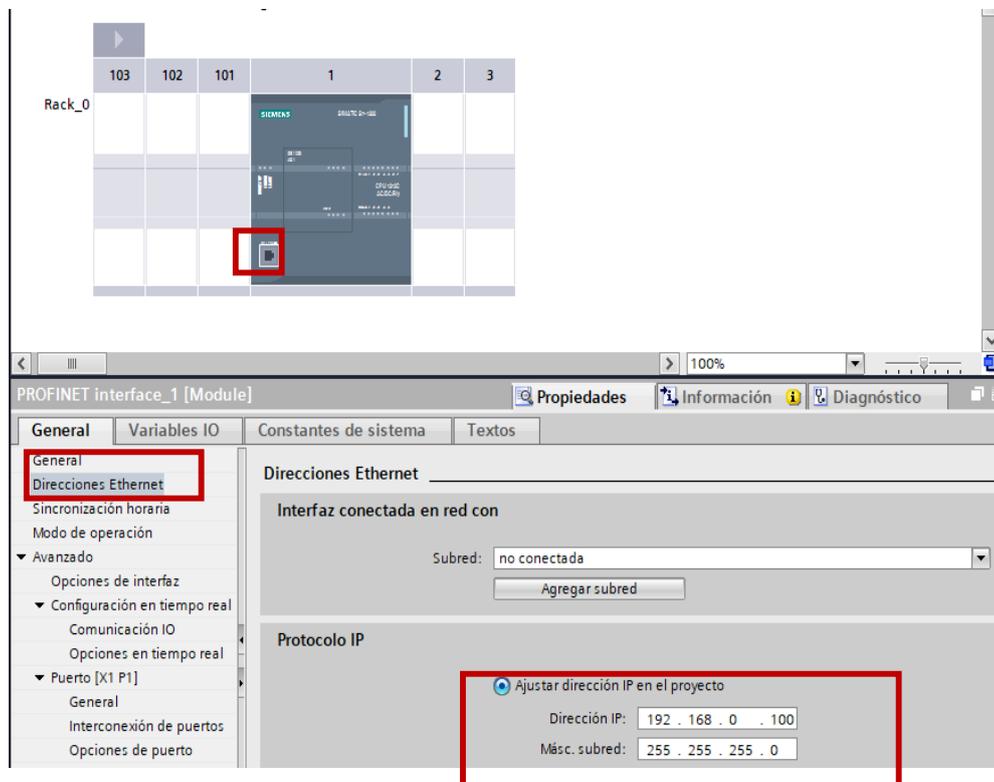


Figura VI.23 Configuración de la dirección IP en TIA Portal

Configuración de los bloques de programación y acondicionamiento

Luego de esto se procede a agregar un nuevo bloque de programación que se encuentra en el apartado de la izquierda.

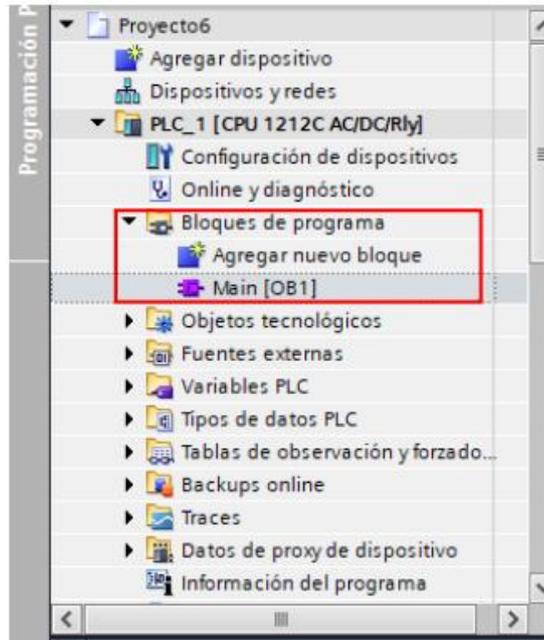


Figura VI.24. Agregar y seleccionar bloque de programación

Para acondicionar nuestras 2 señales de entrada se utilizar los aparados de normalizado y escalado que se encuentran en la parte derecha del software, ya que estos ayudan a una conversión que permite ajustar a una norma o un determinado modelo.

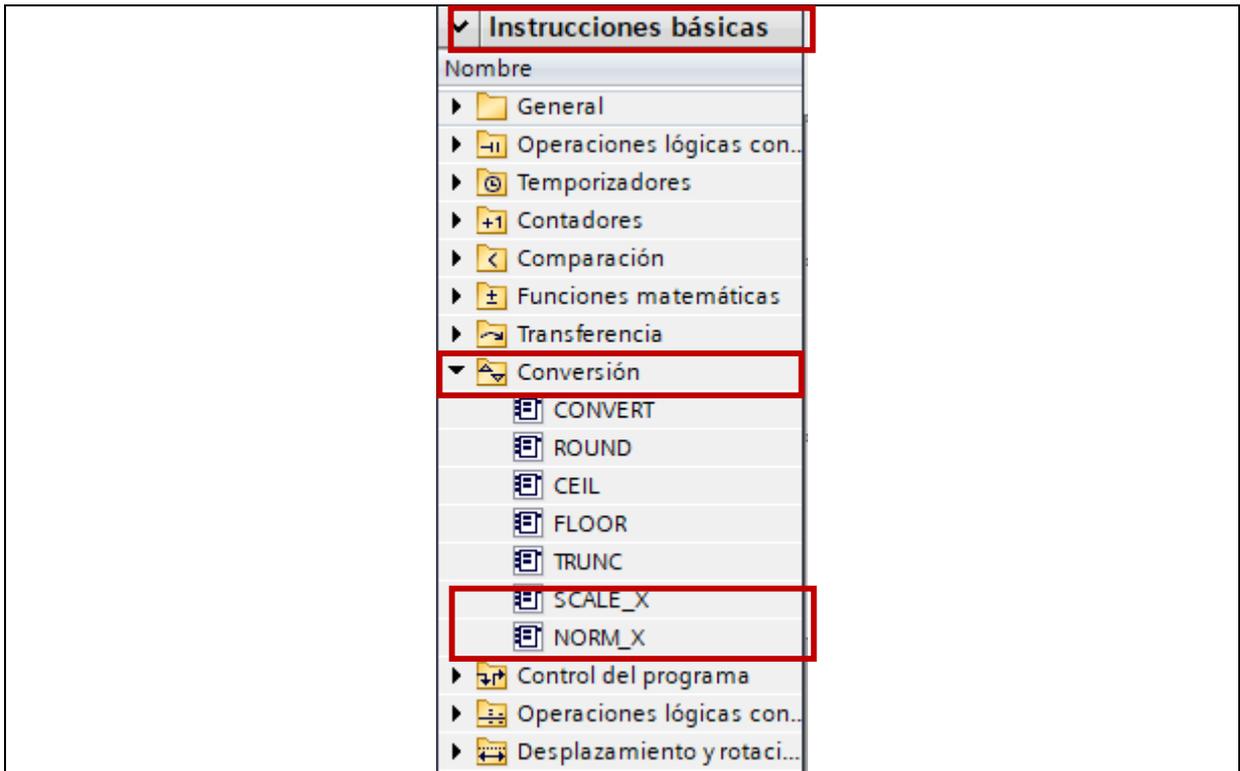


Figura VI.25. Selección de normalizado y escalado de señal

Ya que se posee 3 variables 2 de entrada y una de salida se debe realizar 3 segmentos, así como sus respectivas marcas para su posterior utilización y colocarlos de la siguiente manera.



Figura VI.26. Primer segmento acondicionamiento variable PV

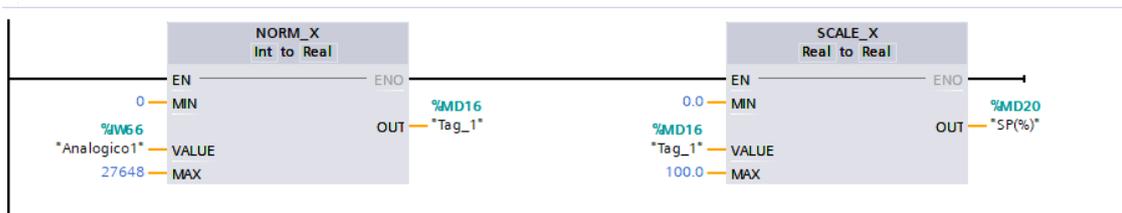


Figura VI.27. Segundo segmento acondicionamiento variable SP

En los tres segmentos se muestran valores como 0 a 100 ya que los 3 están hechos a la misma escala ya sea en cm o % se puede utilizar de manera correcta lo equivalente al valor de 27648

bits es lo equivalente a 10 V de entrada con esto ya se configura el PLC dándole a conocer cuáles son los valores mínimos y máximos tanto en las entradas como en la salida analógica como se muestra en la siguiente tabla.

Figura VI.1. Conversión de voltaje en función de bits PLC

Conversión	
1V	2764.8
3V	8294.4
5V	13824
7V	19353.6
10V	27648

Para la tercera parte y del control on-off que se pueda notar se realiza un proceso de histéresis y nuestra salida 0 del módulo Sb 1232 es la encargada de esto donde le acondicionamos que su activación tenga solo un 0% o un 100% de la potencia de la bomba se da una histéresis de 1 para que se note el control on-off.

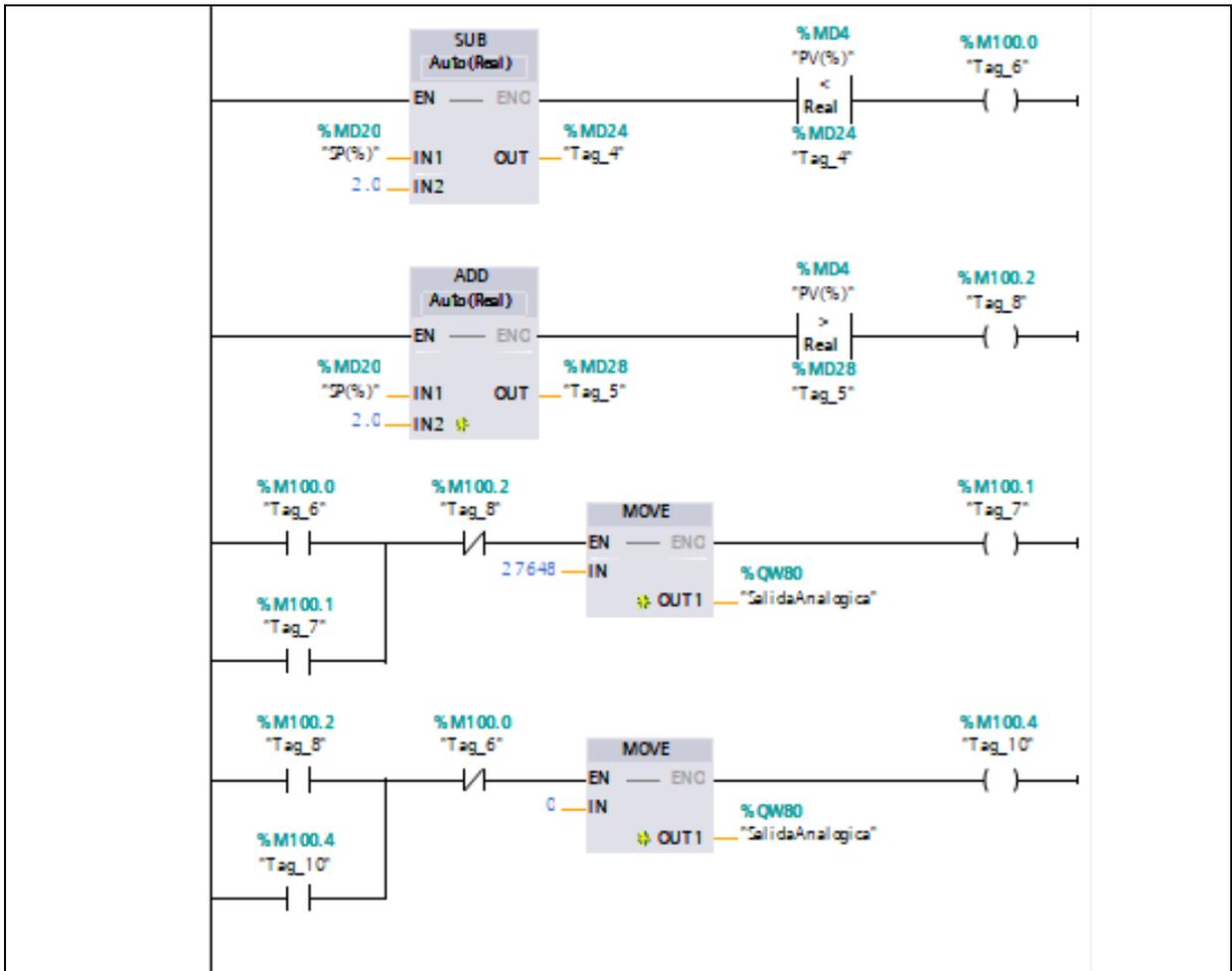


Figura VI.28. Acondicionamiento de salida analógica para realizar una histéresis en el tercer segmento

Paso 15. Carga de programa en PLC

Para cargar un archivo ya posteriormente realizado se da clic en examinar y se busca el archivo ya realizado esto se coloca abrir. HIL(flash) \Instaladores\TIA Portal 14\Prorgama On-Off\MyOpenONOFF

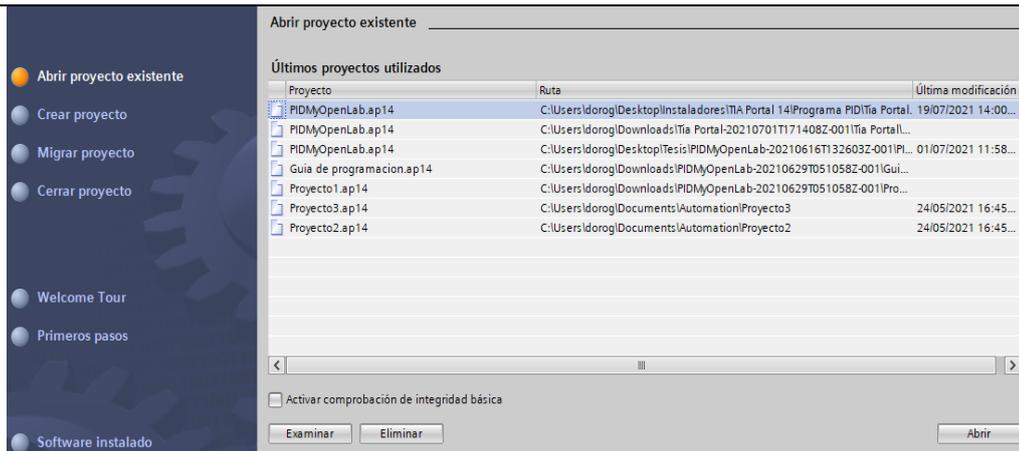


Figura VI.29. Selección de archivo ya realizado

Se da clic en vista del proyecto.



Figura VI.30. Vista del proyecto

Una vez abierto el proyecto se da clic en PLC_1 Luego en configuración del dispositivo por último se da clic en el dispositivo y clic en cargar en dispositivo.

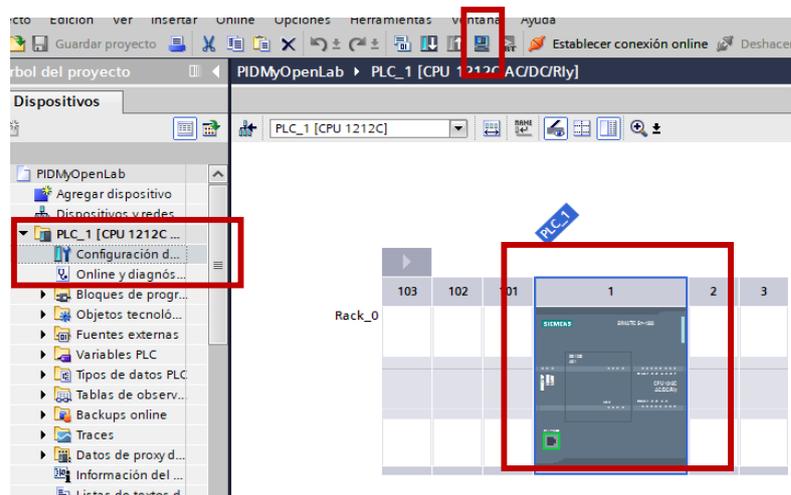


Figura VI.31. Vista del proyecto

Una vez cargado el proyecto se debe poner el tipo de interfaz luego seleccionar la correcta de acuerdo a su tipo de conexión luego se inicia la búsqueda al aparecer el PLC se lo selecciona y luego clic en cargar.

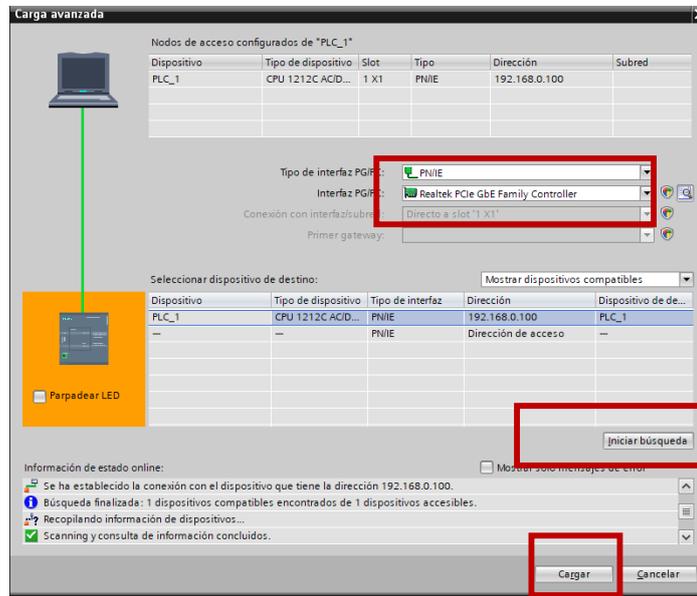


Figura VI.32. Búsqueda PLC

Luego aparecerá el siguiente cuadro y se cambiará a la opción de borrar datos y luego clic en cargar.

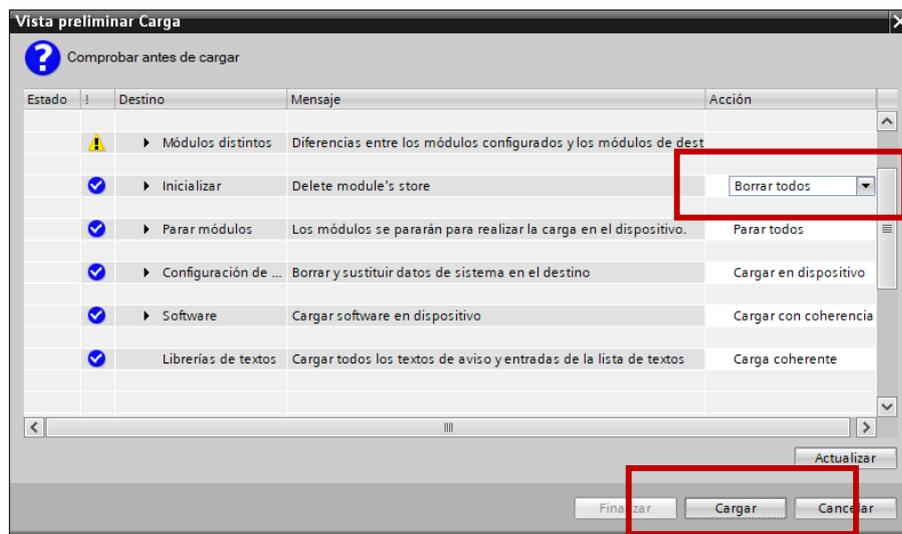


Figura VI.33. Carga preliminar

Por último, se da clic en finalizar.

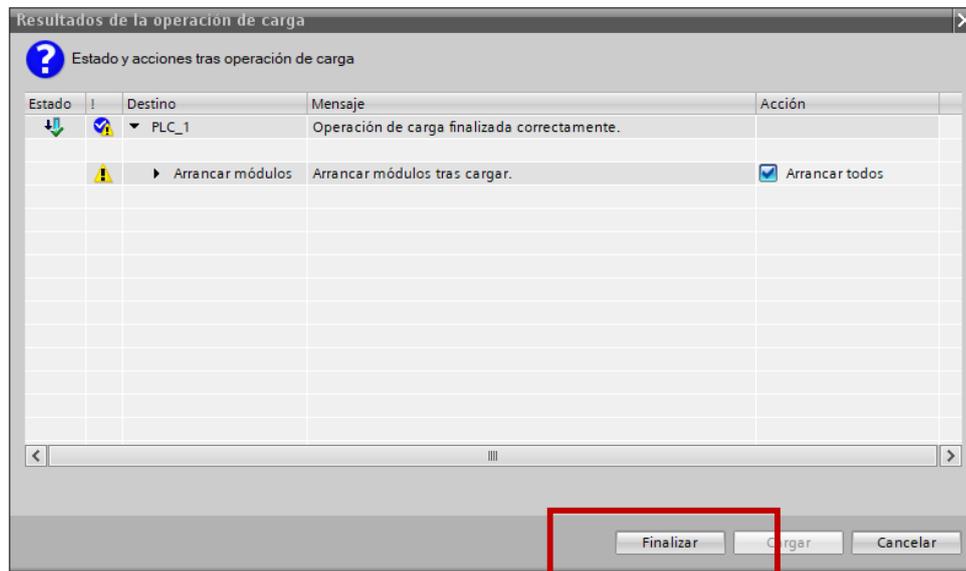


Figura VI.34. Finalización

Paso 16. Funcionamiento de la Raspberry Pi y el entorno de MyOpenLab

Una vez ya encendida la Raspberry Pi nos muestra el entorno Raspbian aquí encontramos una carpeta llamada distribution en la cual se encuentra el software MyOpenLab por defecto.

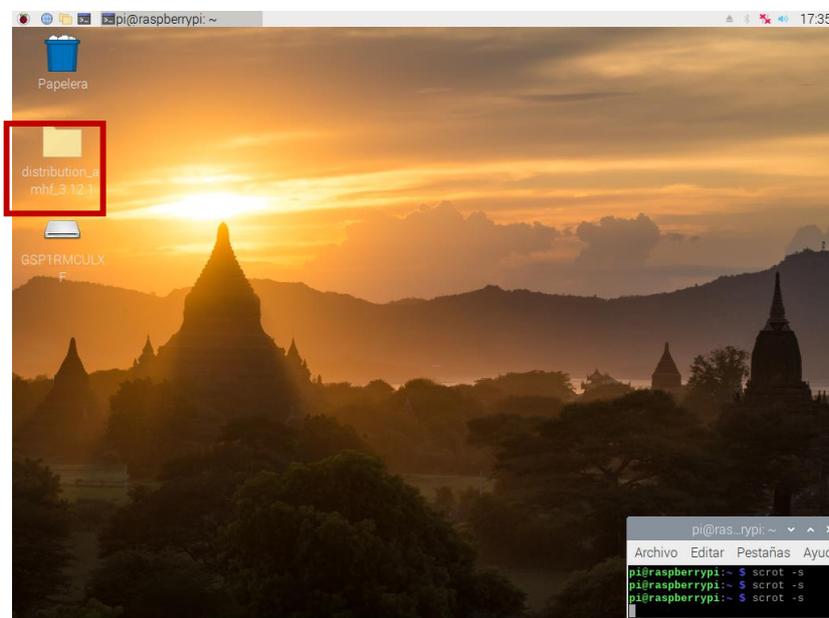


Figura VI.35. Entorno Raspbian y ubicación de la carpeta con el software

Al abrir la carpeta encontramos varios archivos entre ellos se encuentra `start_linux_amhf` este programa es el ejecutable del software MyOpenLab al dar doble clic aparecerá un recuadro se da clic en ejecutar.

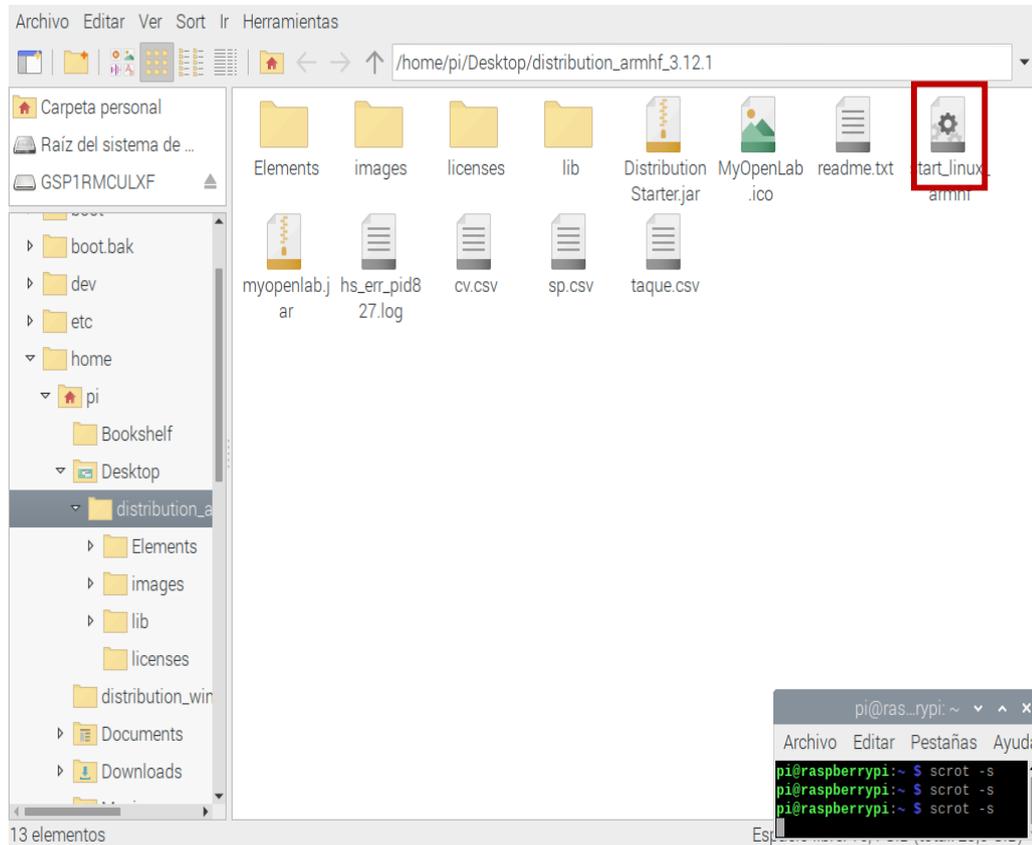


Figura VI.36. Ejecución del Software

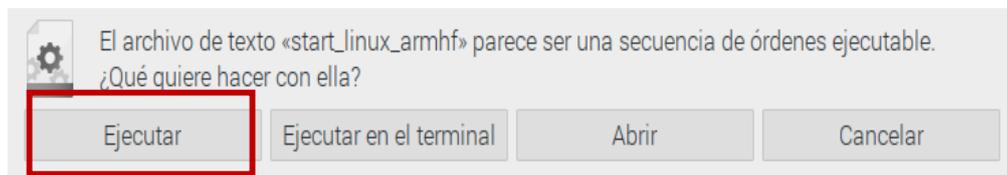


Figura VI.37. Ejecución del Software

Al ejecutarse el programa se abre su interfaz al lado izquierdo se encuentran dos carpetas se da doble clic en control de nivel, luego en principal se espera a que cargue y luego doble clic en la primera flecha verde.

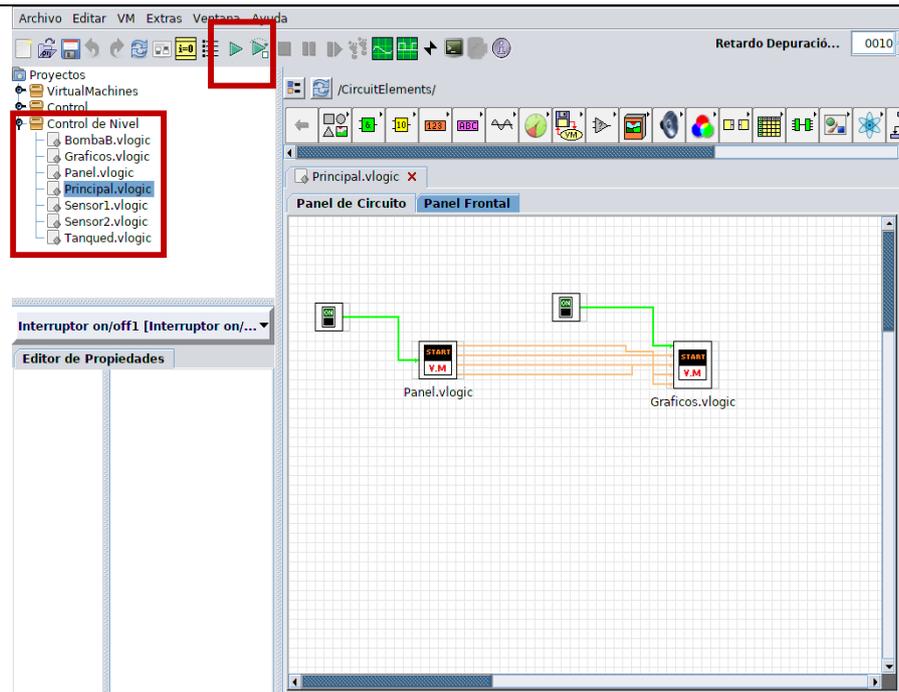


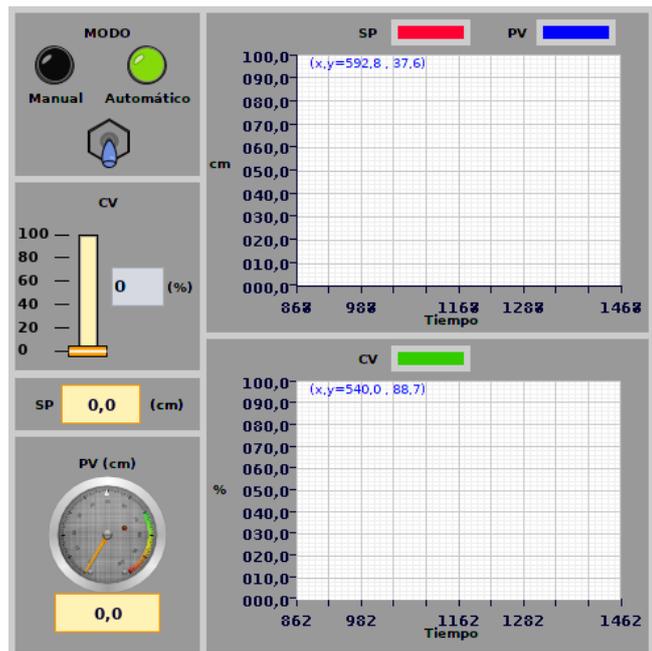
Figura VI.38. Inicio del programa

Esta abre un panel principal que sirve para enviar señales de inicio tanto al panel de control y el panel de gráficos lo único que se debe hacer es dar clic en el botón que se encuentra al lado de los nombres y este llamara a las ventanas.



Figura VI.39. Inicialización de panel de control y gráficos de planta

Aquí podemos apreciar la ventana de panel de control en la cual se ve tanto medidas de las distintas variables, así como sus graficas alrededor del tiempo.



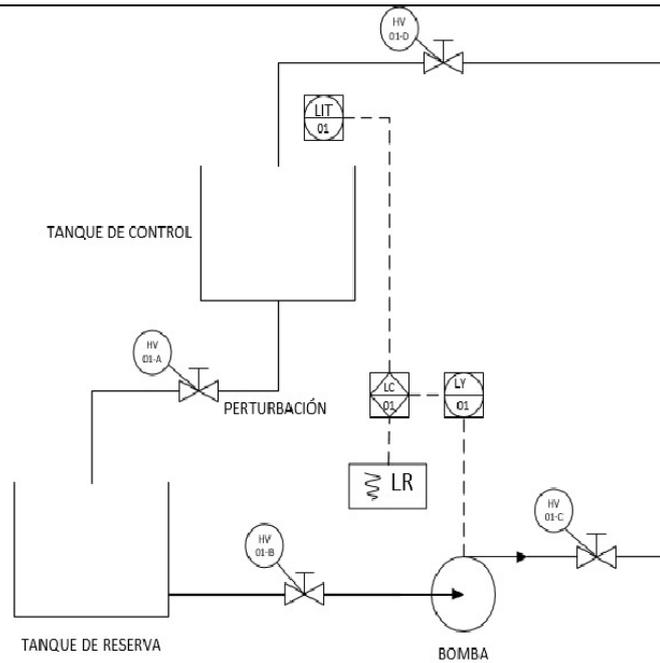
VI.40. Panel de control

También se tiene el botón que nos muestra como es la planta física.



VI.41. Planta física

En la misma existe un botón que nos muestra el diagrama P&ID de la planta.



VI.42. Diagrama P&ID

De la misma manera se tiene el panel de la planta de nivel, así como varias ventanas que nos muestran como son los componentes en su estado físico.

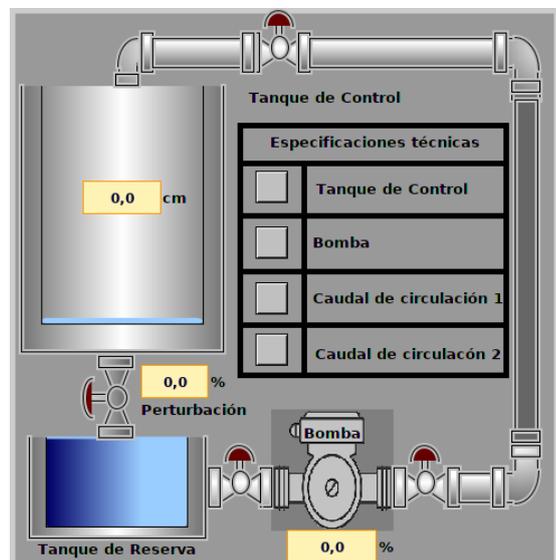


Figura VI.43. Gráfico de la plata

Una vez abierta la planta se puede observar las especificaciones técnicas de está dando clic en los botones al lado de sus nombres



Figura VI.44. Especificaciones tanque de control y tubería



Figura VI.45. Especificaciones Bomba de agua

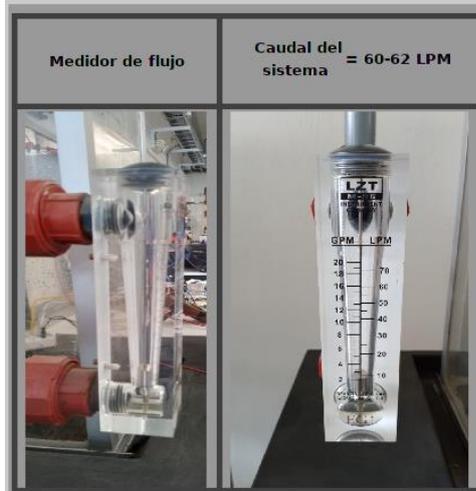


Figura VI.46. Medición de caudal 1



Figura VI.47. Medición de caudal 2

De esta manera se ve completamente abiertas las ventanas.



Figura VI.48. Programa completamente abierto

Por ultimo tenemos al módulo conectado al PLC, HDMI y mostrado en el programa TIA Portal a través de la computadora correctamente funcionando.



Figura VI.49. Conexión completa en funcionamiento

Una vez realizada toda la conexión se tiene la caja de potenciómetros en la cual se encuentran dos variables de entrada que nos ayudan tanto a colocar un valor para llenar el tanque como para su vaciado:

- Set Point “SP” que es la variable mediante la cual nosotros seteamos un valor y el tanque de control comienza a llenarse hasta el valor indicado su rango es de 0-100 y se marca en cm
- Perturbación “PER” es la variable que se encarga de vaciar el tanque de control su rango es de 0-100 y se marca en %.



Figura VI.50. Caja de potenciómetros que contiene dos variables de entrada

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

LABORATORIO ATOMATIZACIÓN Y CONTROL

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

INFORME DE PRÁCTICA

Nota: El informe debe ser conciso, simple y claro, no debe contener más de 5 hojas, no carátula, no carpetas, no binchas, se debe presentar grapado y ocupando toda el área de la hoja para impresión.

TEMA:

NÚMERO DE PRÁCTICA:

NOMBRE(S):

FECHA:

PARTE NUMÉRICA

1	Datos de módulo Físico
----------	------------------------

Tanque				
Bomba				
Caudal de sensor 1				
Caudal de sensor 2				

Tabla 1: Especificaciones

2	A continuación en función al cálculo de la ecuación de Bernoulli del tiempo de llenado realice una tabla de error entre el tiempo medido a diferentes perturbaciones y el tiempo calculado.
----------	---

Tiempo calculado	Tiempo medido

Tabla 2. Tiempos

PARTE GRÁFICA

3	Colocar las fotografías de la curva PV (Process value) con la perturbación abierta en distintos porcentajes
----------	---

PARTE ANÁLITICA

4	Describa con sus palabras que sucedió con cada de las curvas
---	--

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5	(Describa e interprete los resultados obtenidos) Describa con sus palabras el tiempo de llenado mediante la ecuación de Bernoulli se apega al tiempo medido con control on-off. ¿Sí?, ¿No? y ¿Por qué?
---	---

CONSULTAS

6	Desarrolle las consultas de la sección 2.1
---	--

CONCLUSIONES

7	Escriba por lo menos 3 conclusiones
---	-------------------------------------

ANEXOS

8	Especificaciones de los materiales utilizados (Pueden ser bajados de internet)
---	---

BIBLIOGRAFÍA

9	Poner la bibliografía utilizada
---	---------------------------------

(Ejemplo) ASKELAND, Donald; La Ciencia e Ingeniería de los Materiales; Iberoamérica,1987, Págs.: 97-103

ANEXO VII	Cálculos Ecuación de Bernoulli y Proceso integrante	1 de 1
--------------	---	--------

Tanque modelo prisma cuadrangular

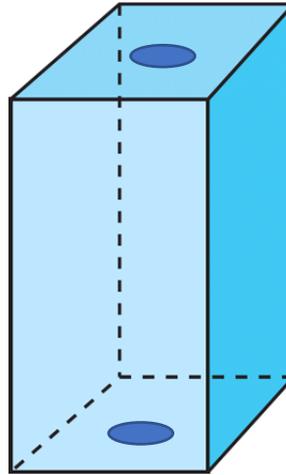


Figura VII.1. Tipo de tanque

1.Despeje de ecuaciones

Vaciado de tanque

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g}$$

$\frac{P}{\rho g}$ carga de presión

$\frac{v_1^2}{2g}$ carga de velocidad

$h =$ carga de elevación

Después de simplificar la presión con la densidad de los dos lugares se tiene lo siguiente

$$h_1 = \frac{(v_2)^2}{2g}$$

Se despeja la velocidad y se tiene

$v = C_v \sqrt{2gh}$ que es la velocidad de salida por el agujero

C_v es igual al coeficiente de velocidad que es igual a 1 ya que el fluido utilizado es agua

Después de esto se debe realizar un proceso de integración donde

Cambio de volumen – velocidad y altura $\rightarrow h = y$

$v = Cv\sqrt{2gy}$ la letra y es una variable el resto son constantes

La velocidad (v) no es constante, depende de la altura del líquido pero podemos superponerla en un pequeño intervalo Δt .

$$V(t + \Delta t) \approx V(t) - av\Delta t \approx V(t) - a\sqrt{2gy} \Delta t$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{V(t + \Delta t) - V(t)}{\Delta t} \approx -a\sqrt{2gy}$$

$$\frac{dV}{dt} = -a\sqrt{2gy} \quad V(y) = \int_0^y A(u)du$$

Se busca una relación entre V y (y) para esto se usa la regla de la cadena

$$\frac{dV}{dh} = A(y)$$

$$\frac{dV}{dt} = \frac{dV}{dy} \times \frac{dy}{dt} \Rightarrow \frac{dV}{dt} = A(y) \frac{dy}{dt}$$

$$\frac{dV}{dt} = -(\sqrt{2gy})(a)$$

Después de esto se debe realizar un proceso de integración donde:

a = área del agujero de salida

A = área del tanque

$$\frac{dv}{dt} = -va$$

$$A \frac{dv}{dt} = -va$$

$$A \frac{dv}{dt} = -a\sqrt{2gh}$$

$$\int -\frac{A dh}{a\sqrt{2gh}} = \int dt$$

$$\int \frac{A d}{a\sqrt{2g}} \frac{dh}{\sqrt{h}} = - \int dt$$

$$\frac{A d}{a\sqrt{2g}} \int \frac{dh}{\sqrt{h}} = - \int dt$$

$$\frac{A d}{a\sqrt{2g}} \int_{h_2}^{h_1} \frac{dh}{\sqrt{h}} = - \int_{t_2}^{t_1} dt$$

$$\frac{A d}{a\sqrt{2g}} [(2\sqrt{h_1}) - (2\sqrt{h_2})] = -[t_1 - t_2]$$

$$t_2 = \frac{A d}{a\sqrt{2g}} 2\sqrt{h_1}$$

$$t_2 = \frac{A}{a} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$t_2 = \frac{l * a}{\frac{\pi * \phi^2}{4}} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

Llenado del tanque

Se procede a la fórmula del volumen

$$Vol = l * a * h$$

$$1m^3 = 1000 \text{ litros}$$

$$Vol = (l * a * h * 1000) \text{ litros}$$

Ahora la de caudal

$$Q = q \frac{\text{litros}}{\text{minutos}}$$

Ahora el cálculo del tiempo de llenado

$$t1 = \frac{(l * a * h * 1000)\text{litros}}{q \frac{\text{litros}}{\text{minutos}}} * 60s$$

$$t1 = \frac{(l * a * h * 1000) \text{ minutos}}{q} \frac{1 \text{ minuto}}{60 \text{ segundos}} * 60s$$

$$t1 = \frac{(l * a * h * 60000)}{q} s$$

2. Realización de los cálculos

Datos:

$$l = 0.26m$$

$$a = 0.26m$$

$$h = 1m$$

$$q = 240lpm$$

$$\emptyset = 0.02848m$$

Tiempo de llenado

$$t1 = \frac{(0.26 * 0.26 * 1 * 60000)}{60lpm} s$$

$$t1 = 67.6s$$

Tiempo de vaciado

$$t2 = \frac{0.26 * 0.26}{\frac{\pi * 0.01660^2}{4}} \sqrt{\frac{2 * 1}{9.81}}$$

$$t2 = 160.95s$$

De esto se hace una relación para poder multiplicar la perturbación con el fin de igualarla a 160.95 y entonces se divide el t1 para el t2 y se tiene 0.42.

3. Proceso integrante

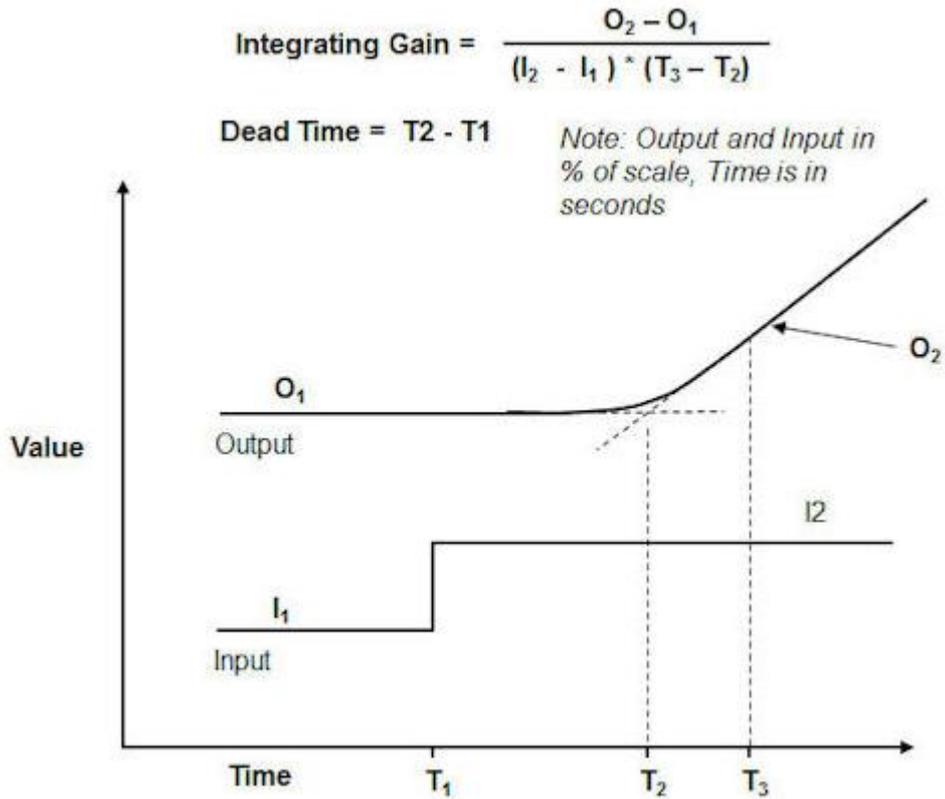


Figura VII.2. Sintonización bajo demanda [30]

Ganancia integral

$$Km = \frac{O_2 - O_1}{(I_2 - I_1) * (T_3 - T_2)}$$

Tiempo muerto

$$T_2 = T_1$$

Según el modelo matemático

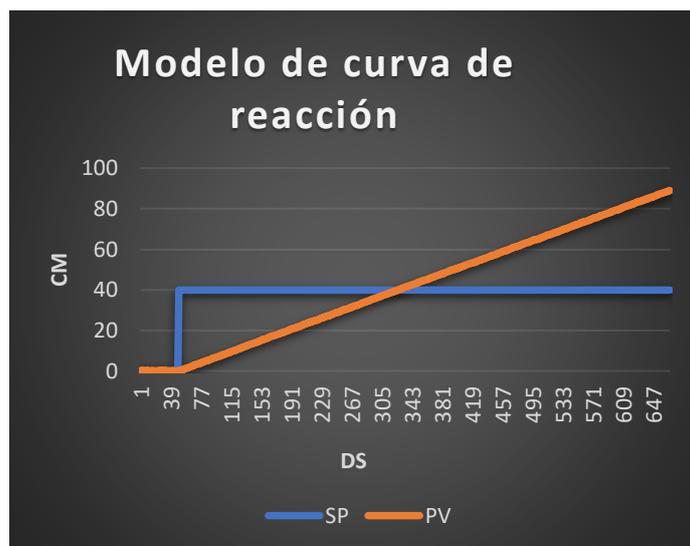


Figura VII.3. Modelo curva de reacción

Datos:

$$O_2 = 40.86$$

$$T_3 = 331$$

$$I_2 = 40$$

$$T_2 = 55$$

$$I_1 = 0$$

$$T_1 = 49$$

$$O_1 = 0$$

Calculo de Km

$$km = \frac{40.86 - 0}{(40 - 0) * (331 - 55) * 0.1}$$

$$km = 0.037 = 0.04$$

Tm

$$Tm = (55 - 49) * 0.1$$

$$Tm = 6 * 0.1$$

$$Tm = 0.6$$

Después de esto se coloca en las diferentes funciones de transferencia

Para PID ideal

$$G(s) = \frac{km * e^{s*tm}}{s}$$

Método de primer orden Lambda

$$G(s) = \frac{km * e^{s*tm}}{s + 1}$$

Método de afinación de Landa por tanteo

$$G(s) = \frac{km * e^{s*tm}}{0.2s + 1}$$

Tabla VII.1. Métodos PID

Método PID ideal			
HAY	$Kp = \frac{0.4}{KmTm}$ $Kp = 16.6$	$Ti = 2Tm$ $Ti = 1.2$	$Td = 0.37 Tm$ $Td = 0.22$
Skogestad	$Kp = \frac{0.404}{KmTm}$ $Kp = 16.8$	$Ti = 3.2Tm$ $Ti = 1.2$	$Td = 0$
Método de primer orden			
Lambda	$Kp = \frac{T}{Km * (\frac{l}{2} + \lambda)}$ $Kp = \frac{0.2}{0.04 * (\frac{0.6}{2} + 0.2)}$	$Ti = t$ $Ti = 0.2$	$Td = l/2$ $Td = 0.3$
Lambda afinado	$Kp = \frac{T}{Km * (\frac{l}{2} + \lambda)}$ $Kp = \frac{0.2}{0.04 * (\frac{0.6}{2} + 0.2)}$	$Ti = \frac{t}{10}$ $Ti = \frac{0.2}{10} = 0.02$	$Td = l/2$ $Td = 0.3$

ANEXO VIII	INSTALACIÓN DE RASPBIAN	1 de 1
-------------------	-------------------------	--------

Paso 1. Para el proceso de instalación del software Raspbian se debe instalar el programa etcher para esto ingresaremos en la carpeta HIL(flash) \Instaladores\Etcher.

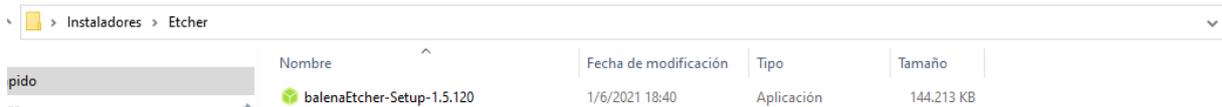


Figura VIII.1. Ubicación del archivo de instalación

Paso 2. Dar doble clic en el archivo balenaEtcher-Setup-1.5.120 esperamos a que cargue y luego se aceptan los términos y condiciones.

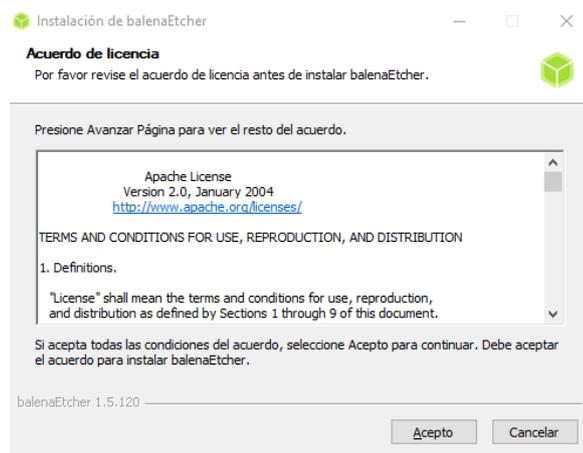


Figura VIII.2. Términos y servicios

Paso 3. Se espera a que termine de instalar y se ejecutará automáticamente, una vez abierto se conectara la tarjeta SD mayor o igual a 16 GB se dará clic en Flash from file y se buscara el instalador de Raspbian que se encuentra en formato zip en HIL(flash) \Instaladores\Raspbian no hay necesidad de descomprimir el archivo.

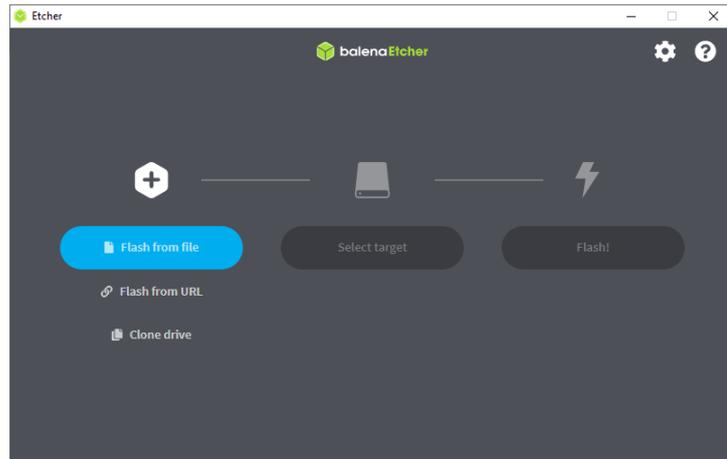


Figura VIII.3. Selección del archivo rar

Paso 4. Una vez encontrado el archivo se procede a ubicar la tarjeta de memoria en Select target.

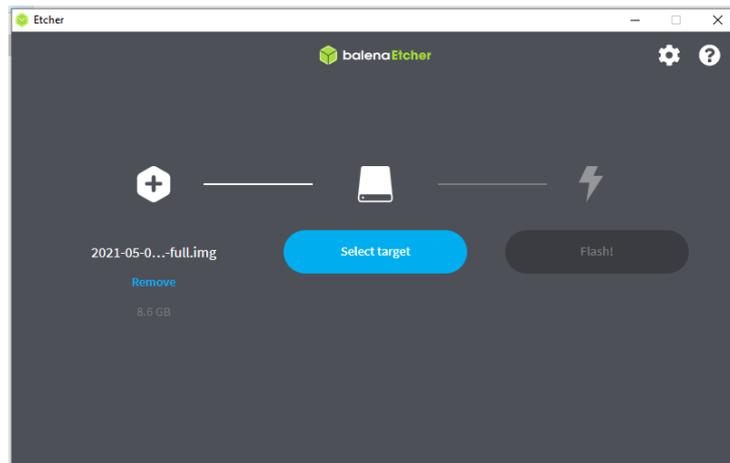


Figura VIII.4. Selección de dispositivo de almacenamiento

Paso 5. ¡Por último se da clic en Flash! y se espera a que se termine la instalación.

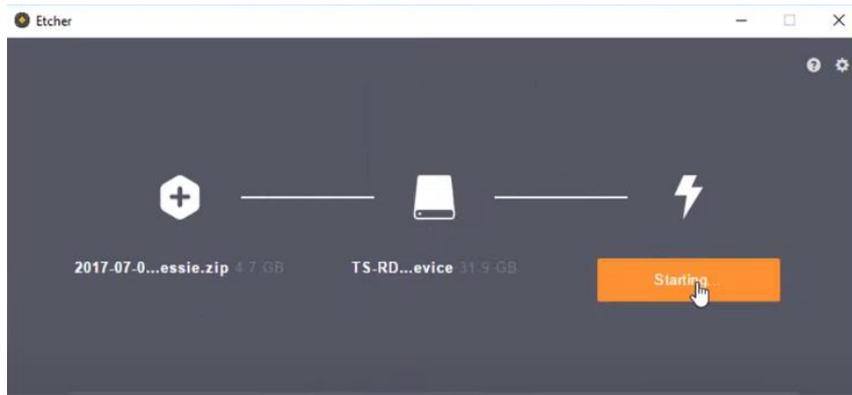


Figura VIII.5. Finalización de la instalación

Link de referencia: <https://www.youtube.com/watch?v=eds99EjKd8M>

ANEXO IX	INSTALACIÓN DE MYOPENLAB	1 de 1
-----------------	--------------------------	--------

Paso 1. Una vez encendida la Raspberry Pi y visualizado el entorno Raspbian procedemos a verificar la versión de java instalada para esto damos clic en el icono de LX terminal que se encuentra en la parte superior izquierda.



Figura IX.1. Ejecución de terminal

Paso 2. Una vez abierta la terminal se escribe el siguiente comando `java -version` y se pulsa la tecla enter.

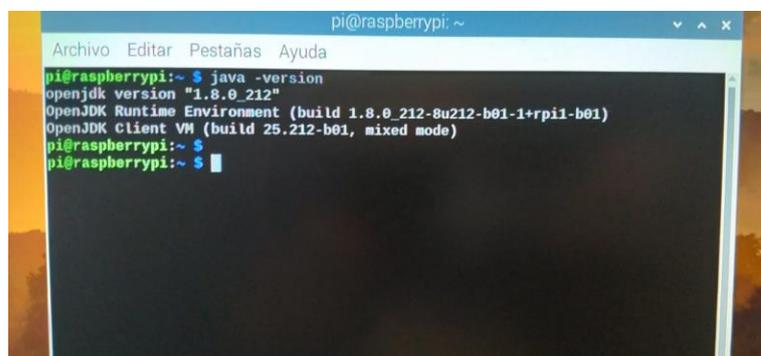


Figura IX.2. Versión de java

Paso 3. Si la versión de java coincide con la 1.8.0_212 saltar al paso 5 si no realizar el paso 4.

Paso 4. Instalación de java 1.8.0_212 para esto se debe conectar a internet y luego se abre LX terminal y se escribe lo siguiente.

sudo apt update

Una vez terminada la instalación se escribe el siguiente comando

sudo apt install openjdk-8-jdk



```
pi@raspberrypi:~$ sudo apt update
pi@raspberrypi:~$ sudo apt update
Des:1 http://archive.raspberrypi.org/debian buster InRelease [32,0 kB]
Des:2 http://rasbian.raspberrypi.org/raspbian buster InRelease [15,0 kB]
Des:3 http://archive.raspberrypi.org/debian buster/main armhf Packages [376 kB]
Des:4 http://rasbian.raspberrypi.org/raspbian buster/main armhf Packages [13,0 MB]
Des:5 http://rasbian.raspberrypi.org/raspbian buster/contrib armhf Packages [56,7 kB]
Descargados 13,5 MB en 48s (282 kB/s)
Leyendo lista de paquetes... Hecho
Creando árbol de dependencias
Leyendo la información de estado... Hecho
Se pueden actualizar 55 paquetes. Ejecute «apt list --upgradable» para verlos.
pi@raspberrypi:~$ sudo apt install openjdk-8-jdk
Leyendo lista de paquetes... Hecho
Creando árbol de dependencias
Leyendo la información de estado... Hecho
openjdk-8-jdk ya está en su versión más reciente (8u212-b01-1+rpil).
El paquete indicado a continuación se instaló de forma automática y ya no es necesario.
python-colorzero
Utilice «sudo apt autoremove» para eliminarlo.
0 actualizados, 0 nuevos se instalarán, 0 para eliminar y 55 no actualizados.
pi@raspberrypi:~$ java -version
Unrecognized option: -
Error: Could not create the Java Virtual Machine.
Error: A fatal exception has occurred. Program will exit.
pi@raspberrypi:~$ java -version
openjdk version "1.8.0_212"
OpenJDK Runtime Environment (build 1.8.0_212-8u212-b01-1+rpil-b01)
OpenJDK Client VM (build 25.212-b01, mixed mode)
pi@raspberrypi:~$
```

Figura IX.3. Cambio de versión de java

Terminado esto se revisa nuevamente que la versión sea la que necesitamos

Paso 5. Echo esto simplemente se copia la carpeta distribution a la Raspberry Pi utilizada y se procede como se explica en la guía de usuario.

ANEXO	Instalación Arduino	1 de 1
X		

Paso 1. En la carpeta instaladores se encuentra la carpeta Arduino y dentro de esta se encuentra el instalador HIL(flash) \Instaladores\Arduino

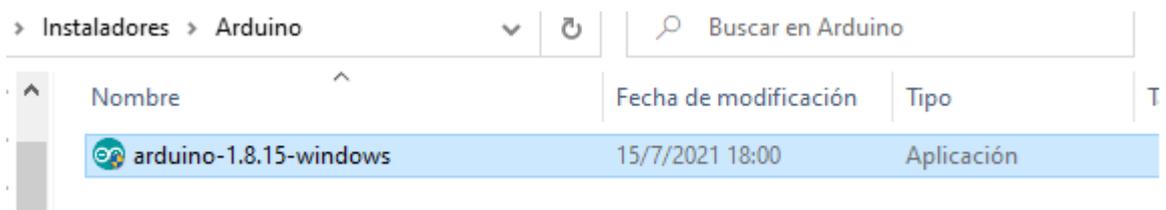


Figura X.1. Instalador

Paso 2. Dar doble clic en el archivo y aceptar los permisos de administrador

Pase 3. Se aceptan los términos y condiciones dando clic en I Agree

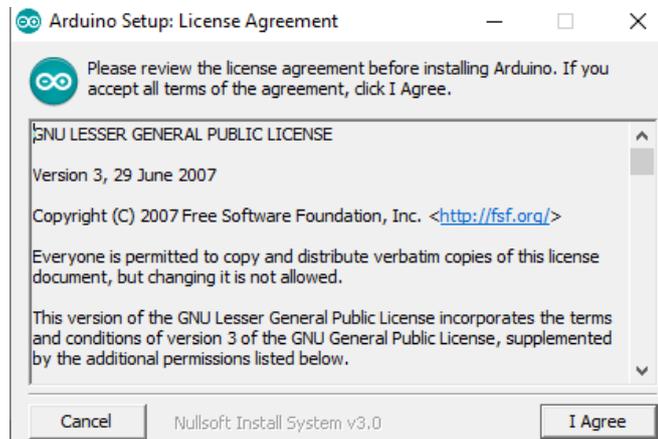


Figura X.2. Términos y condiciones

Paso 4. Se da clic en siguiente y luego en instalar

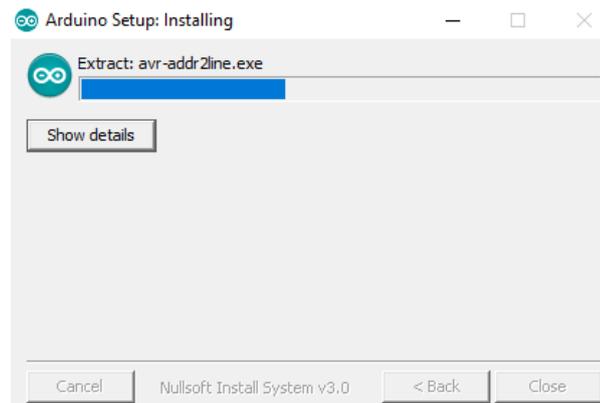


Figura X.3. Proceso de instalación

Paso 5. Una vez terminado el proceso de instalación se procede a dar clic en close

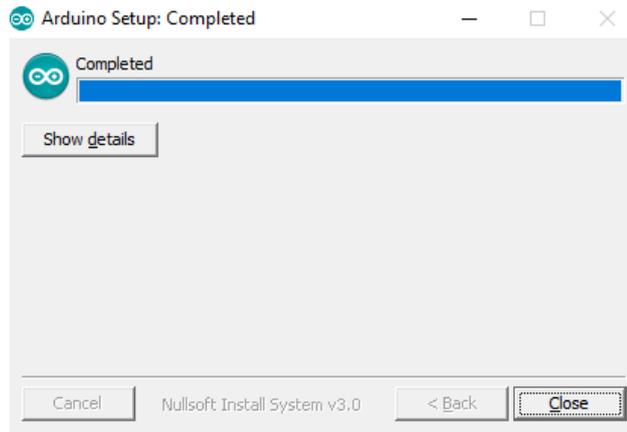


Figura X.4. Finalización de instalación

Paso 6. Antes de abrir el programa es necesario copiar la librería Adafruit_MCP4725 que sirve para controlar los módulos que convierten señales digitales en analógicas.

Para esto se da clic derecho sobre el icono de Arduino y luego abrir ubicación enviándonos a la carpeta donde se encuentra instalado en este caso C:\Program Files (x86) \Arduino

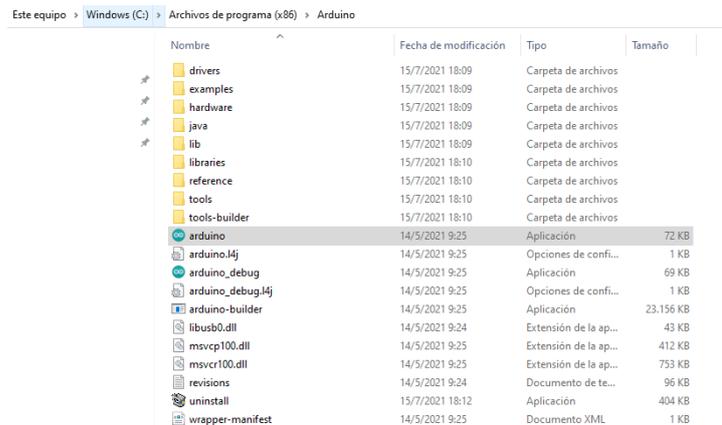


Figura X.5. Ubicación carpeta de origen

Paso 7. Una vez en la carpeta abrimos la carpeta librerías y procedemos a pegar la carpeta Adafruit_MCP4725 con eso se termina el proceso de instalación de Arduino

Adafruit_Circuit_Playground	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Adafruit_MCP4725	15/7/2021 18:19	Carpeta de archivos
Bridge	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Esplora	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Ethernet	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Firmata	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
GSM	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Keyboard	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
LiquidCrystal	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Mouse	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Robot_Control	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Robot_Motor	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
RobotRremote	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
SD	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Servo	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
SpacebrewYun	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Stepper	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
Temboo	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
TFT	15/7/2021 18:09	Carpeta de archivos
WiFi	15/7/2021 18:10	Carpeta de archivos

Figura X.6. Pegado de librería

Paso 8. Para subir el programa es simplemente abrir el archivo que se encuentra en la carpeta HIL(flash) Arduino\ArduinoPlanta una vez aquí se dará doble clic y se espera a que se ejecute el programa luego se verificará los siguientes apartados Placa: Arduino nano, Procesador ATPmega238P (Old Bootloader)

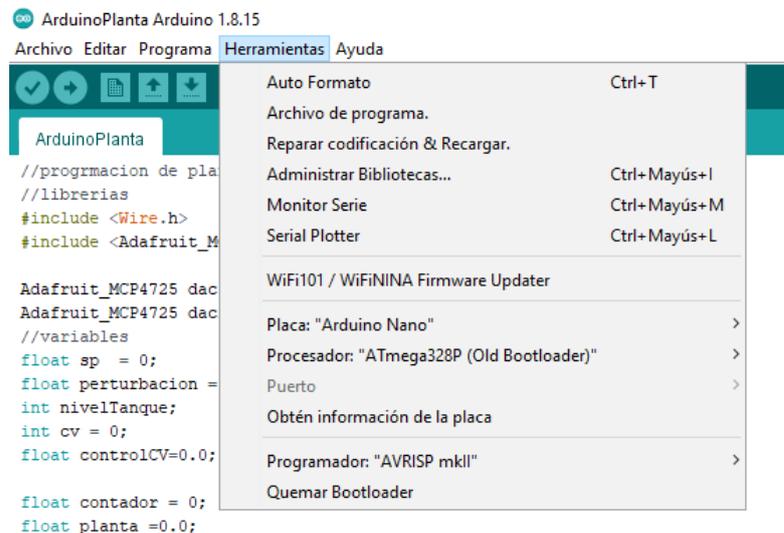


Figura X.7. Parámetros de carga

Paso 9. Luego de escoger el puerto al que está conectado el Arduino se da clic en copiar se espera hasta que aparezca subido y listo el Arduino está cargado.

```

if(set<=0)
{
    cv=0;
}
contador = contador - (per*0.42/1023.0) + (cv/1023.0);

}else
{

    contador = contador + (nivelTanque/100.0) - (per*0.42/1023.0);
}

if(contador>=1260.0)
{
    contador=1260.0;
}

```

Figura X.8. Lugar de colocación de la relación de la Ec. Bernoulli

Link de referencia: <https://www.youtube.com/watch?v=k40FM38Jua0>

ANEXO	Instalación Proteus	1 de 1
XI		

Paso 1. Ir a la carpeta instaladores en la carpeta proteus se encontrar tanto el crack como el instalador doble clic en el instalador que lleva el nombre de Setup y ejecutarlo como administrador

Nombre	Fecha de modificación	tipo
Crack	30/3/2020 16:42	Carpeta de archivos
Librerías Arduino	30/3/2020 17:08	Carpeta de archivos
Otras Librerías	30/3/2020 17:08	Carpeta de archivos
Índir.Vip-Film-Oyun-Program	2/5/2018 12:37	Acceso directo a l...
Oneindir.com- Herşey burada	29/6/2018 11:53	Acceso directo a l...
Read me	26/12/2018 6:09	Documento de te...
Setup	10/11/2018 3:46	Aplicación

Figura XI.1. Inicialización instalador

Paso 2. apenas se abra el instalador volvemos a la carpeta de proteus y abrimos la carpeta crack



Figura XI.2. Espera hasta activar la licencia

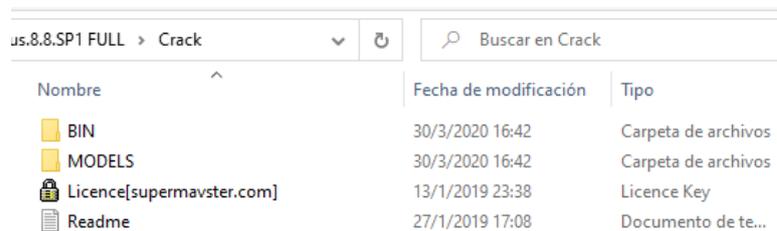


Figura XI.3. Ejecución del archivo de licencia

Paso 3. Ejecutamos como administrador el archivo licence manager lab center

Abrimos el browser y buscamos la licencia key 2009 y luego al botón install.

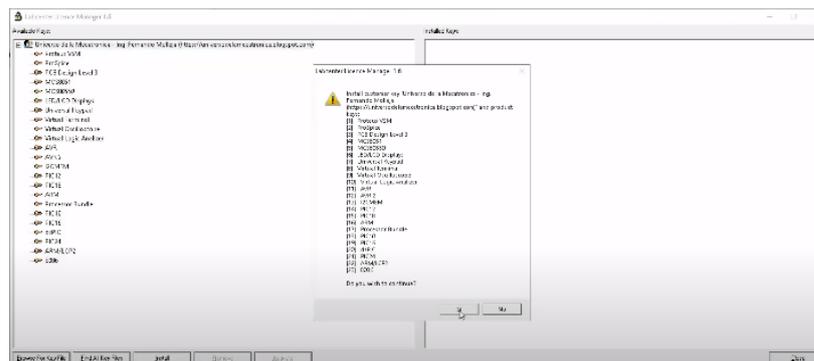


Figura XI.4. Instalación de licencia

Paso 4. Una vez hecho esto volvemos al instalador que se encuentra abierto aceptamos los términos y en la siguiente ventana escogemos la licencia local

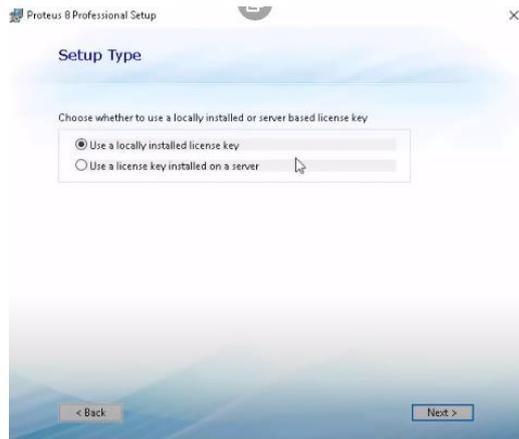


Figura XI.5. Licencia local

Paso 5. Se coloca siguiente y aparecerán 3 cuadros no se marca ninguno y se coloca siguiente luego instalación personalizada

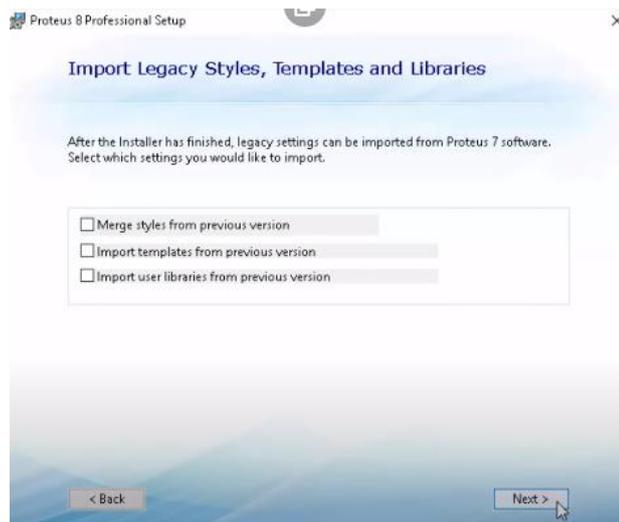


Figura XI.6. No aceptar licencias anterior o residuos de versiones

Paso 6. Se coloca los archivos de instalación y los del programa en la misma carpeta en la misma carpeta y así se da clic en siguiente hasta llegar al final se cierra el programa no se pone ejecutar.

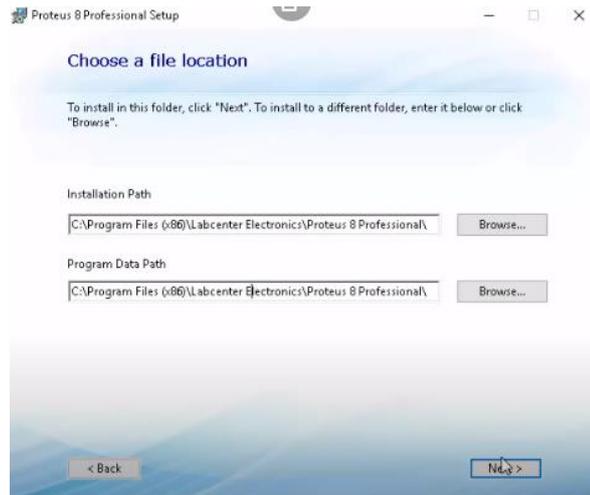


Figura XI.7. Todo en la misma carpeta

Paso 8. En la carpeta crack se encuentran la carpeta bin y modelos las cuales se deben copiar y pegar en el archivo de origen de la instalación

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
BIN	27/1/2019 16:07	Carpeta de archivos	
MODELS	27/1/2019 16:07	Carpeta de archivos	
INSTRUCTIONS	9/3/2021 13:24	Documento de te...	3
KEY 2099	23/4/2019 8:30	Licence Key	10
LICENSE MANAGER LABCENTER	20/2/2014 8:05	Aplicación	180
P8.8.sp1	11/11/2018 14:44	Aplicación	5.103

Figura XI.8. Carpeta crack

Paso 9. Se copia y se pega el archivo P8.8sp1 dentro de la carpeta bin que se encuentra en la carpeta origen del programa

Paso 10. El archivo de proteus que se encuentra en el escritorio se le da clic derecho propiedades clic en la viñeta de compatibilidad y marcar la casilla de ejecutar como administrador.

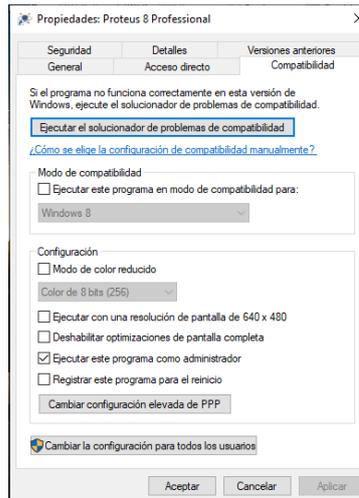


Figura XI.9. Modo administrador

Link de referencia: <https://www.youtube.com/watch?v=HxfFValobIQ>

ANEXO XII	INSTALACIÓN DE TIA PORTAL V14	1 de 1
------------------	-------------------------------	--------

Paso 1. En la carpeta instaladores se encuentra la carpeta de TIA Portal V14 se abre y se ejecuta el instalador que lleva el nombre de start. HIL(Flash) Instaladores\TIA Portal 14\Step 7 Professional V14 SP 1

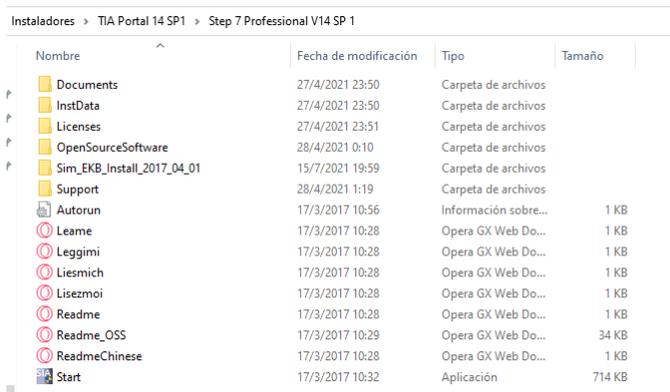


Figura XII.1. Ejecución de administrador

Paso 2. Se escoge el idioma y siguiente.

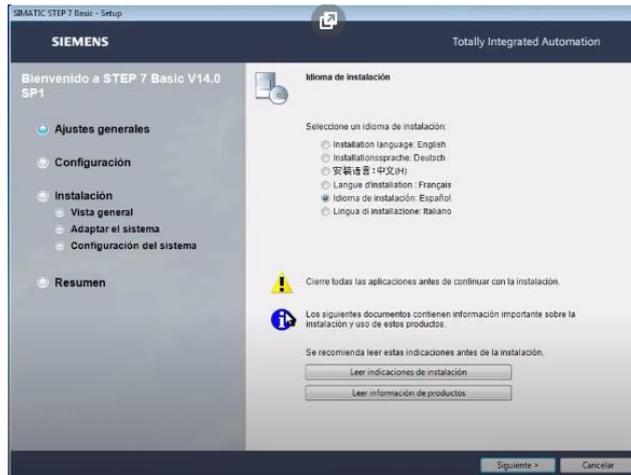


Figura XII.2. Selección de idioma

Paso 3. Después de escoger el idioma se da clic en siguiente, siguiente se acepta los términos y condiciones.

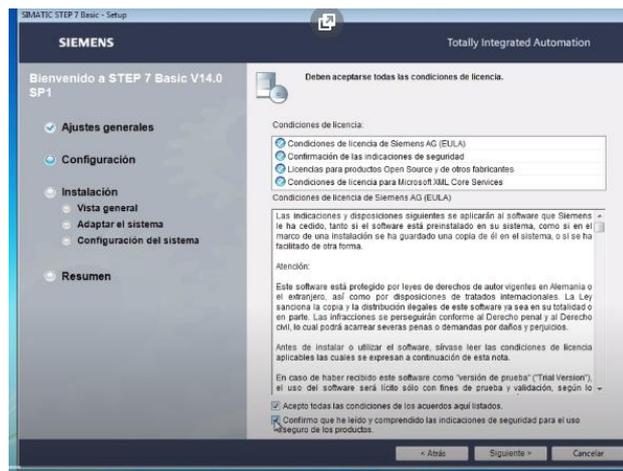


Figura XII.3. Términos y condiciones

Paso 4. Se da clic en instalar.

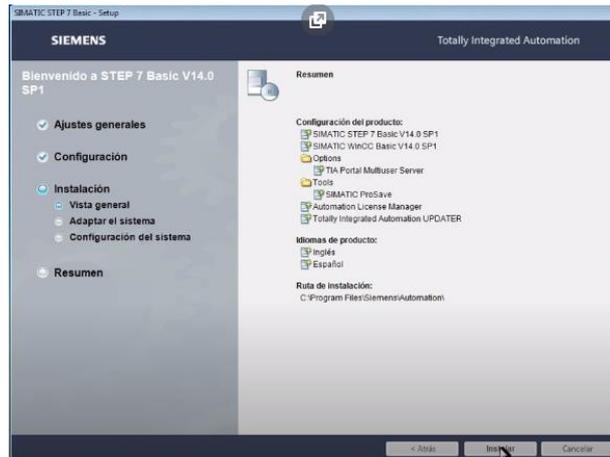


Figura XII.4. Instalación

Paso 5. Una vez llegada a la mitad de la instalación se omite la licencia y se da clic en reiniciar el equipo.

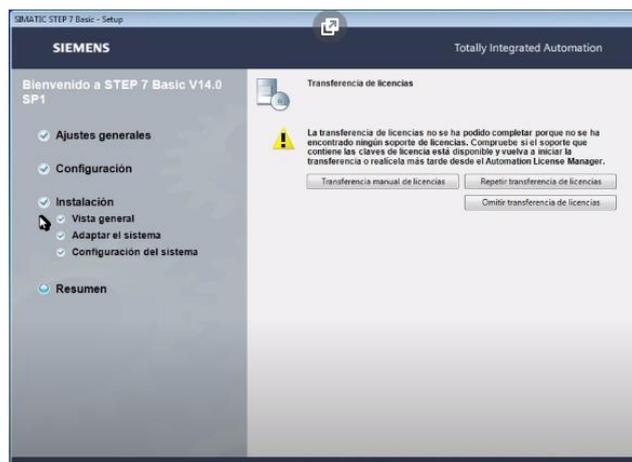


Figura XII.5. Finalización

Paso 6. es la activación se recomienda seguir paso a paso el video de referencia:

<https://www.youtube.com/watch?v=gAd9gW5SEpI>

Paso 7. Una vez terminada la activación se recomienda siempre iniciar el programa en modo de administrador.

Paso 8. Abrir el programa TIA Portal V14 y abrir el archivo que se encuentra en la carpeta PID
C:\Instaladores\TIA Portal 14\Programa PID\TIA Portal\PIDMyOpenLab.

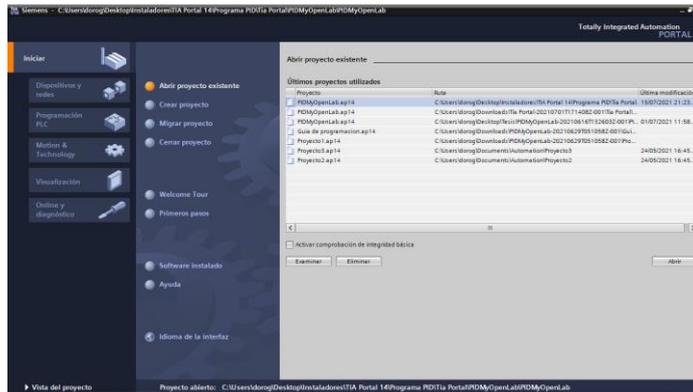


Figura XII.6. Ejecución del programa PIDMYOPENLAB

Para su guía instalación y crack puede guiarse del siguiente link:

<https://www.youtube.com/watch?v=x1VknIGcAww&t=550s>

ANEXO XIII	MATRIZ DE SELECCIÓN DE EQUIPOS	1 de 1
---------------	--------------------------------	--------

Tabla XIII.1. Selección Raspberry pi

	RAM	Costo	Tamaño	Procesador	USB	Total
Raspberry pi 3	3	10	10	8	5	36
Raspberry pi 4	10	5	10	10	10	45

Tabla XIII.2. Selección Microcontrolador

	Velocidad	Costo	Tamaño	Procesador	Memoria	Total
Arduino Nano	10	10	10	6	7	43
Arduino uno	10	7	7	7	7	38
Arduino mega	10	5	5	10	10	40