



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA

OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE CONTROL PARA TEMPERATURA Y HUMEDAD EN EL ALMACENAMIENTO DE ARROZ, UTILIZANDO SISTEMAS EMBEBIDOS”.

AUTORES:

**INGRID MAYLIN MATAMOROS GALAN
DANIEL JEAN PIERRE CHICHANDE SOLANO**

TUTOR:

**ING. RAFAEL PEREZ ORDÓÑEZ, MSC.
GUAYAQUIL – ECUADOR**

2021

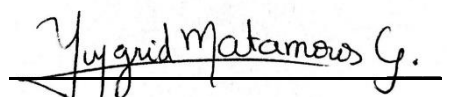
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **INGRID MAYLIN MATAMOROS GALÁN** con documento de identificación N.º **0921752838** y **DANIEL JEAN PIERRE CHICHANDE SOLANO** con documento de identificación N.º **1207745116** autorizamos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 13 de septiembre del año 2021.

Atentamente,


Ingrid Maylin Matamoros Galán
0921752838


Daniel Jean Pierre Chichande Solano
1207745116

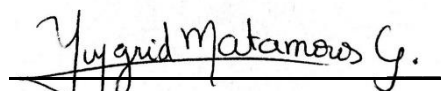
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **INGRID MAYLIN MATAMOROSO GALÁN**, con documento de identificación N.º **0921752838**, y **DANIEL JEAN PIERRE CHICHANDE SOLANO**, con documento de identificación N.º **1207745116**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Proyecto Técnico: “DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE CONTROL PARA TEMPERATURA Y HUMEDAD EN EL ALMACENAMIENTO DE ARROZ, UTILIZANDO SISTEMAS EMBEBIDOS”**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELECTRÓNICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos anteriormente.

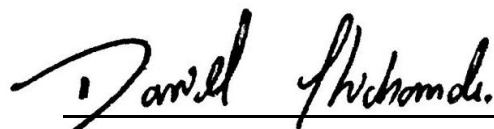
En concordancia con la manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 13 de septiembre del año 2021.

Atentamente,



Ingrid Maylin Matamoros Galán
0921752838



Daniel Jean Pierre Chichande Solano
1207745116

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **RAFAEL ENRIQUE PÉREZ ORDOÑEZ** con documento de identificación N.º **0916275076**, docente de la **UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE CONTROL PARA TEMPERATURA Y HUMEDAD EN EL ALMACENAMIENTO DE ARROZ, UTILIZANDO SISTEMAS EMBEBIDOS**”, realizado por **INGRID MAYLIN MATAMOROSO GALÁN**, con documento de identificación N.º **0921752838**, y por **DANIEL JEAN PIERRE CHICHANDE SOLANO**, con documento de identificación N.º **1207745116**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Proyecto Técnico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 13 de septiembre del año 2021.

Atentamente,

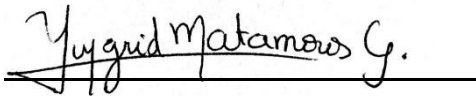


Ing. Rafael Enrique Pérez Ordoñez, MSc.

0916275076

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico en primer lugar a Dios por ser la luz que me guía, a mis padres que han sido mi mayor motor y fuerza en este arduo camino los cuales me han forjado como la persona que soy con sus valores, gracias por sus bendiciones, a mi hermano por siempre estar cuando más lo necesito y su enorme corazón. A mis abuelos Rodolfo y Julia que son una luz en el cielo y mi abuela Blanca por su gran amor.



Ingrid Maylin Matamoros Galán
0921752838

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios por que me ha dado la fortaleza de permitirme llegar a este momento tan especial en mi formación profesional. A mi motor de vida, mi mamá Leticia Solano, quien me ha enseñado con amor y paciencia que todo se pueda lograr si nos plateamos objetivos en la vida.

A mi hermana, Daniela Chichande quien es mi inspiración y de la cual soy su mayor ejemplo para seguir.

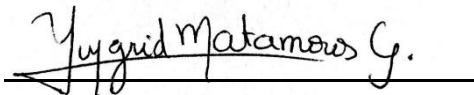
La confianza que me brindaron me hizo un hombre con metas claras las cuales han permitido que logre culminar mi carrera profesional.



Daniel Jean Pierre Chichande Solano
1207745116

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por permitirme cumplir mi sueño de convertirme en una profesional. A mis padres Edison y María de Lourdes por siempre impulsarme a perseguir mis objetivos además de contar con su incondicional apoyo a lo largo de mi vida, a mi hermano Joshue por inspirarme a ser una mejor persona para que vea en mí su reflejo. A mi compañero de proyecto Daniel, por todo el apoyo en este largo proceso y su tenacidad para realizarlo. A nuestro tutor Ing. Rafael Pérez por la ayuda brindada y sus sabios consejos.



Ingrid Maylin Matamoros Galán
0921752838

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los docentes de la carrera de Ingeniería en Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil y en especial a mi director de tesis, Ing. Rafael Pérez, quien con su experiencia fue guía para culminar el presente proyecto.

A mi compañera de tesis Ingrid Matamoros, aquella fue un apoyo fundamental para terminar nuestro proyecto.

Por último, pero no menos importante, a mi familia, soy el hombre que soy gracias a ellos, sin su esfuerzo y apoyo no lo hubiese podido lograr, gracias y mil veces gracias por esforzarse todos los días por mí, esto logro es por ustedes.



Daniel Jean Pierre Chichande Solano
1207745116

RESUMEN

AÑO	TITULO	DIRECTOR DE PROYECTO TÉCNICO	TEMA DE PROYECTO TÉCNICO
2021	ING. ELECTRONICO	ING. RAFAEL PÉREZ	DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE CONTROL PARA TEMPERATURA Y HUMEDAD EN EL ALMACENAMIENTO DE ARROZ, UTILIZANDO SISTEMAS EMBEBIDOS

El presente proyecto técnico “Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos”, consiste en la implementación a escala de un modelo de silo para el almacenamiento de arroz y un módulo el cual permite monitorear las variables de temperatura y humedad importantes para evitar proliferaciones de bacterias y agentes biológicos como insectos y microorganismos. En aplicaciones enfocadas en sistemas embebidos se tiene en cuenta la microelectrónica que con el uso de una lattepanda por su reducido tamaño y su versatilidad permite la conexión de pantallas gráficas y la instalación de programas como Labview. Dirigido principalmente para el sector Agroindustrial y sus beneficiarios así de igual manera para estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana para que desarrollen habilidades prácticas de programación y control en el módulo teniendo como sistema operativo Windows 10 Pro, permitiendo el uso de programas de instrumentación virtual como labview.

PALABRAS CLAVES: LabVIEW / LATTEPANDA / AGROINDUSTRIA / SISTEMA INTELIGENTE/ ARDUINO.

ABSTRACT

YEAR	TITLE	DIRECTOR OF TECHNICAL PROJECT	TECHNICAL PROJECT THEME
2021	ING. ELECTRONIC	ENG. RAFAEL PEREZ	DESIGN OF A PROTOTYPE CONTROL SYSTEM FOR TEMPERATURE AND HUMIDITY IN RICE STORAGE, USING EMBEDDED SYSTEMS

The present technical project "Design of a prototype of a control system for temperature and humidity in rice storage, using embedded systems", consists of the implementation at scale of a silo model for rice storage and a module which allows monitor the important temperature and humidity variables to avoid the proliferation of bacteria and biological agents such as insects and microorganisms. Through the use of embedded systems such as the LattePanda and with the help of the graphical interface integrated in the front panel of the LabVIEW 2019 software. Aimed mainly for the Agroindustrial sector and its beneficiaries as well as for students of the Electronic Engineering career of the University Politécnica Salesiana to develop practical programming and control skills in the module having Windows 10 Pro as the operating system, allowing the use of virtual instrumentation programs such as labview.

KEY WORDS: LabVIEW / LATTEPANDA / AGROINDUSTRY / SISTEMA INTELIGENTE / ARDUINO.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
1. EL PROBLEMA	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Importancia y Alcances.....	3
1.3. Delimitación	4
1.3.1. Temporal.....	4
1.3.2. Espacial.....	4
1.3.3. Académica	4
1.4. Innovación.....	4
1.5. Objetivos	5
1.5.1. Objetivo general.....	5
1.5.2. Objetivos específicos	5
2. ESTADO DEL ARTE	6
2.1. Sistemas de control.....	6
2.1.1. Definición de un sistema	6
2.1.2. Control en lazo abierto.....	6
2.1.3. Sistemas de lazo cerrado.....	7
2.2. Componentes de los sistemas de control.....	7
2.2.1. Control de Acción Proporcional.....	8
2.2.2. Control de Acción Integral.....	8
2.2.3. Control de Acción Derivativa	9
2.2.4. Control de Acción Proporcional – Derivativo	10
2.2.5. Control de acción Proporcional – Integral – Derivativo	11
2.3. Sistema de control lineal	11
2.4. Sistema de control no lineal.....	12
2.5. Sistemas de control multivariable	13
2.6. Diversas aplicaciones de sistemas de control	13
2.7. Sistemas embebidos.....	14
2.8. Lattepanda	14
2.9. Lattepanda Alpha.....	15
2.10. Atmel 32UA.....	16
2.11. Software de instrumentación virtual Labview.....	17
2.12. Labview 2019	18
2.13. Panel frontal.....	18

2.14. Diagrama de bloques.....	19
2.15. Complemento de Labview PID Control y simulación.....	19
2.16. LINX de Diligent/LabVIEW MakerHub.....	20
2.17. Módulo de control de supervisión y registro de datos	21
2.18. Sensor de humedad.....	21
2.19. Tipos de Sensores de humedad	22
2.19.1. Sensores Capacitivos	22
2.19.2. Sensores con conductividad eléctrica	22
2.19.3. Sensores con conductividad térmica.....	23
2.20. Sensores de temperatura.....	23
2.21. Tipos de sensores de temperatura	24
2.21.1. Termopar.....	24
2.21.2. Dispositivos resistivos (RTD y Termistores).....	25
2.21.3. Dispositivos bimetálicos.....	25
2.22. Dispositivos de dilatación de líquido.....	26
2.23. Protocolo de comunicación SPI	26
2.24. Protocolo de comunicación I2C.....	27
2.25. Protocolo de comunicación UART	28
2.26. Sistemas SCADA.....	29
2.27. Componentes de un sistema SCADA.	30
2.28. Unidades Terminales Remotas (RTU).	31
2.29. Motores de corriente continua sin escobillas	31
2.30. Modulación de ancho de pulso para control de motores.	32
2.31. Fuente de alimentación ajustable 12 V AC/DC	33
2.32. Relés de Interface.....	33
2.33. Pulsadores	34
2.34. Luces piloto.....	34
3. MARCO METODOLÓGICO	35
3.1. Diseño del modulo.....	35
3.2. Dimensiones del Módulo de control.	38
3.3. Conexión entre lattepanda y tarjeta de potencia	38
3.4. Conexión con indicadores y pulsadores	40
3.5. Borneras de distribución.....	41
3.6. Fuentes de alimentación	42
3.7. Controlador pid.....	42
3.8. Interfaz SCADA de la planta.....	43

3.9. Comunicación con plataforma Ubidots	45
4. Resultados	47
4.1. Trama de información para sensores.....	47
4.2. Análisis de trama en labview	48
4.3. Análisis del control en lazo abierto	50
4.4. Graficas de estabilización de controlador de temperatura.....	55
4.5. Graficas de estabilización de controlador de humedad	56
4.6. Diseño y elaboración de los elementos del módulo didáctico de redes industriales.....	57
4.7. Elaboración de la programación en lattepanda	57
CONCLUSIONES	59
RECOMENDACIONES	60
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	61
ANEXOS.....	66
A. Planos de la estructura	66
B. Planos del módulo de control.....	71
C. Código del atmega32ua.....	74
D. Código del labview.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 : Sistema de control.....	6
Figura 2-2 : Sistema en lazo cerrado (Carpio, 2018).....	7
Figura 2-3 : Sistema en lazo cerrado (Carpio, 2018).....	7
Figura 2-4 : Acción proporcional. (Castaño, 2015).	8
Figura 2-5 : Acción integral. (Urroz Ríos, 2017).	9
Figura 2-6 : Acción derivativa. (Urroz Ríos, 2017).	10
Figura 2-7 : Control de acción Proporcional - Derivativo (Udb, 2012).	10
Figura 2-8 : Control de acción Proporcional – Integral - Derivativo (Udb, 2012).	11
Figura 2-9 : Diagrama simplificado de un sistema lineal (Karol Bohorquez, 2017).	12
Figura 2-10 : Diagrama simplificado de un sistema no lineal (Karol Bohorquez, 2017).....	12
Figura 2-11 : Diagrama simplificado de un sistema multivariable (Karol Bohorquez, 2017).....	13
Figura 2-12 : Sistema embebido (SemanticWebBuilder, 2014).....	14
Figura 2-13 : Lattepanda 4GB RAM -64GB SDD (DfRobot, 2017).	15
Figura 2-14 : Lattepanda Alpha (DfRobot, 2017).	16
Figura 2-15 : Lattepanda Alpha Atmel 32 ua (Lattepanda, 2018).....	17
Figura 2-16 : Labview2019 (Ni, Ni.com, 2019).	18
Figura 2-17 : Labview 2019 Panel Frontal (Ni, Entorno Labview, 2020).	18
Figura 2-18 : Labview 2019 Diagrama de Bloques (Ni, Ni.com, 2019).....	19
Figura 2-19 : Complemento de diseño y simulación (NI, 2021).	20
Figura 2-20 : Linx (National Instruments, 2016).....	20
Figura 2-21 : Sensor de humedad capacitivo (Electrónica Lugo, 2016).....	22
Figura 2-22 : Sensores con conductividad eléctrica (Electrónica Lugo, 2016).....	22
Figura 2-23 : Sensores con conductividad térmica (Electrónica Lugo, 2016).	23
Figura 2-24 : Sensores diferenciales(Industrial, 2015).	24
Figura 2-25 : Sensor de temperatura Termopar (Omega, 2014).	24
Figura 2-26 : Sensor de temperatura RTD (Benavides, 2017).	25
Figura 2-27 : Sensor Bimetálico (Sánchez, 2016).....	25
Figura 2-28 : Sensor de dilatación por liquido (Sánchez, 2016).....	26
Figura 2-29 : Protocolo Spi de comunicación (Sparkfun, 2018).	27
Figura 2-30 : Protocolo i2c (Teslabem, 2017).....	28
Figura 2-31 : Comunicación UART (Zator, 2016).....	28
Figura 2-32 : Simulación de un sistema SCADA (AULA 21, 2018).....	30
Figura 2-33 : Pantalla HMI (ES.RS, 2020).	31
Figura 2-34 : Motor Dc (Carpio, 2018)	32
Figura 2-35 : Gráfico del ancho de pulso (Rangel Rodriguez & Hernandez, 2016)32	32
Figura 2-36 : Fuente de alimentación para Riel Din. (WELL, 2009).....	33
Figura 2-37 : Relé electrónico Kontron. (KONTRON, 2020).....	33
Figura 2-38 : Pulsadores. (García, 2020)	34
Figura 2-39 : Luces Piloto. (Camsco, 2020).....	34
Figura 3-1 : Módulo de control.....	35
Figura 3-2 : Tarjeta de distribución.	36
Figura 3-3 : Bus de conexión entre Lattepanda y distribución.	37
Figura 3-4 : Dimensiones del módulo de control.....	38
Figura 3-5 : Conexión de tarjeta de potencia con tarjeta de distribución.	39
Figura 3-6 : Conexión entre driver de motor y lattepanda.	39
Figura 3-7 : Conexión de los pulsadores e indicadores.	40

Figura 3-8 : Tarjeta relay con electro acopladores.....	41
Figura 3-9 : Borneras de distribución.	41
Figura 3-10 : Fuentes de alimentación.....	42
Figura 3-11 : Control pid del silo en labview.	42
Figura 3-12 : SCADA de prototipo silo – principal.....	43
Figura 3-14 : SCADA de prototipo silo– sensores de humedad.	44
Figura 3-15 : SCADA de prototipo silo-salida del controlador.....	44
Figura 3-16 : SCADA de prototipo silo.	45
Figura 3-17 : Conexión con Ubidots.	46
Figura 4-1 : Trama de información del microcontrolador.	47
Figura 4-2 : Análisis de trama en labview.....	49
Figura 4-3 : Análisis en lazo abierto de la señal del sensor de temperatura y salida.	50
Figura 4-4 : Herramienta de identificación de sistemas.	51
Figura 4-5 : Gráfica de entrada y salida en el identificador de sistemas.....	51
Figura 4-6 : Herramienta para encontrar la variable de procesos.	52
Figura 4-7 : Gráfica de validación del porcentaje de exactitud.	53
Figura 4-8 : Función de transferencia.	53
Figura 4-9 : Herramienta de auto tune pid.....	54
Figura 4-10 : Valores de ganancias.....	54
Figura 4-11 : Resultados del control de temperatura.	55
Figura 4-12 : Resultados del control de humedad.	56
Figura 4-13 : Conexiones y etiquetas de los elementos.	57
Figura 4-14 : Elaboración de la programación.....	58

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto técnico tiene como finalidad la implementación de un controlador pid para la estabilización de los valores de temperatura y humedad en una estructura a escala de un silo de arroz para el proceso de secado, teniendo como sistema embebido una microcomputadora lattepanda que permite la integración de programas como labview con la ayuda de una interfaz gráfica donde se visualiza el control del proceso ayudando a evitar la proliferación de agentes biológicos como insectos, de esta manera ayudando al sector Agroindustrial con el estudio realizado por estudiantes de la Universidad politécnica Salesiana sede Guayaquil.

El módulo consta con una pantalla o interfaz permitiendo la visualización del proceso de la planta con la integración del sensor digital de medición de temperatura y humedad DTH22 garantizando la confiabilidad de las mediciones adquiridas y permitiendo tener un control idóneo de las variables que intervienen con el almacenamiento de arroz para obtener una buena calidad de producto.

Mediante la implementación de este módulo con su planta de proceso denominada Silo permite el desarrollo de técnicas de aprendizaje como el control y supervisión de sistemas inteligentes aplicando los conocimientos adquiridos durante nuestros años de formación académica. El prototipo cuenta con sensores en sus laterales los cuales miden tanto la temperatura como la humedad, y mediante la interfaz gráfica del software LabVIEW se monitorea las variables antes mencionadas además gracias a la plataforma Ubidots, se permite un monitoreo de forma remota desde cualquier dispositivo con internet, lo que facilita el control que otorgan los sistemas embebidos del hardware Lattepanda.

1. EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En vista de los avances tecnológicos de hoy en día podemos evidenciar la gran utilidad de los sistemas embebidos. Estos ejercen varias funciones que pueden sustituir desde un microcontrolador hasta una PC de alto rendimiento, una de las ventajas más notorias es el tamaño reducido que pueden alcanzar estas tarjetas.

Uno de los ejemplos donde se puede evidenciar lo funcionales que son los sistemas embebidos es en el proyecto técnico “Diseño e implementación de un sistema de adquisición de datos usando el kit de sensores sunfounder y Arduino con interfase grafica desarrollada en labview” (PALOMEQUE & LOZADA, 2018), aquí se logra la implementación de sistemas embebidos de manera rápida y segura en cualquier tipo de sensor que existe en el mercado donde se obtiene datos a través del programa LabVIEW que se instale en Lattepanda.

Otro proyecto técnico que sirve de ejemplo para la utilización de los sistemas empotrados lleva por título “Desarrollo de un robot móvil autónomo, para el transporte de paquetería liviana en LAAR Courier” (Flores & Romero , 2019), el cual es un prototipo que está basado en la logística de las operaciones de dicha empresa haciendo de esta muy eficiente y segura al momento de ejecutar una acción.

El desarrollo de los sistemas embebidos en la revolución industrial integrando sistemas con supervisión alojados en la nube es muy notorio hoy en día se realizan tareas sumamente grandes o complicadas pero su accesibilidad, rapidez y tamaño reducido los hacen idóneos para estas tareas.

1.2. Importancia y Alcances

El correcto desarrollo del proyecto técnico ayuda a las industrias arroceras con un aporte de control el cual esta implementado con sistemas embebidos optimizando recursos y mejorando la calidad de producto. La importancia de verificar que las variables de humedad y temperatura sean las adecuadas, disminuye el riesgo de pérdidas del producto.

Los elementos utilizados son necesarios en el campo industrial, los sensores, interfaces gráficas, permiten comprender cómo funcionan en la fábrica que cuentan con sus sistemas automatizados y muestran los resultados en tiempo real. Se aplica las nuevas tecnologías para un mejor control y automatización que permite obtener resultados eficaces a un bajo costo.

El alcance del proyecto técnico tiene como enfoque el control de variables de temperatura y humedad y de esta forma permite alcanzar mediciones más exactas y de manera automática donde se pueda desarrollar aplicaciones que garanticen el eficaz monitoreo de las variables en el almacenamiento de arroz. Algunos beneficios que conllevaron a realizar el proyecto son los siguientes:

- Rápida solución a fallas humanas
- Implementar los conocimientos adquiridos durante los años de estudio en la carrera de Ingeniería electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana
- Solucionar problemas para prevención del desarrollo de microorganismos y reacciones enzimáticas en la producción de arroz para su correcto almacenamiento en los silos.

1.3. Delimitación

1.3.1. Temporal

La implementación de este proyecto se realizó en un intervalo de seis meses a partir de la aprobación de este.

1.3.2. Espacial

El proyecto se desarrolla de manera local en una vivienda para el estudio de las aplicaciones del secado del arroz mediante proceso de flujo de aire para enforarla en la agroindustria en la ciudad de Babahoyo cercano a dos apiladoras de arroz.

1.3.3. Académica

En el proyecto técnico de titulación, se tomaron las mediciones de los parámetros donde se pueden desarrollar los conocimientos adquiridos tanto teóricos como prácticos durante los años de formación en la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, materias como lo son Sensores y Transductores, Instrumentación Industrial, Teoría de Control y Automatización serán pilares fundamentales en el desarrollo del prototipo.

1.4. Innovación

El módulo consta con un sistema operativo permitiendo integración de programas basados en cualquier lenguaje para sistemas operativos con Windows y permitiendo su conectividad a través de una red inalámbrica, con una visualización en una pantalla grafica en el tablero, sistemas de debug para el manejo de errores en el caso de que algún sensor sufra un desperfecto, permitiendo un ahorro en los mantenimientos preventivos del equipo y control óptimo para el almacenamiento del arroz.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Diseñar un sistema a escala para el control de las variables temperatura y humedad del proceso de almacenamiento del arroz mediante el software LabVIEW 2019 y el hardware Lattepanda.

1.5.2. Objetivos específicos

- Desarrollar un control de temperatura y humedad para la planta utilizando sistemas embebidos
- Implementar la teoría de control para obtener la función de transferencia de la planta donde se relacionen las variables que se involucran en el proceso de automatización.
- Analizar los datos obtenidos a través de I/O, analógicas y digitales con la ayuda de los sistemas embebidos Lattepanda con el fin de mejorar el desempeño.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Sistemas de control

2.1.1. Definición de un sistema

Los sistemas de control constan con la característica de estar presente en todo entorno ya que es la suma de elementos que influyen directamente en un resultado, en la parte de electrónica están constituidos por circuitos electrónicos. En la Figura 2-1 se detalla las partes que constituyen a un sistema, que permiten un dominio sobre las variables de salida mediante la retroalimentación de las variables de control, de modo que estas alcancen unos valores predeterminados (Mario ALberto, 2007).

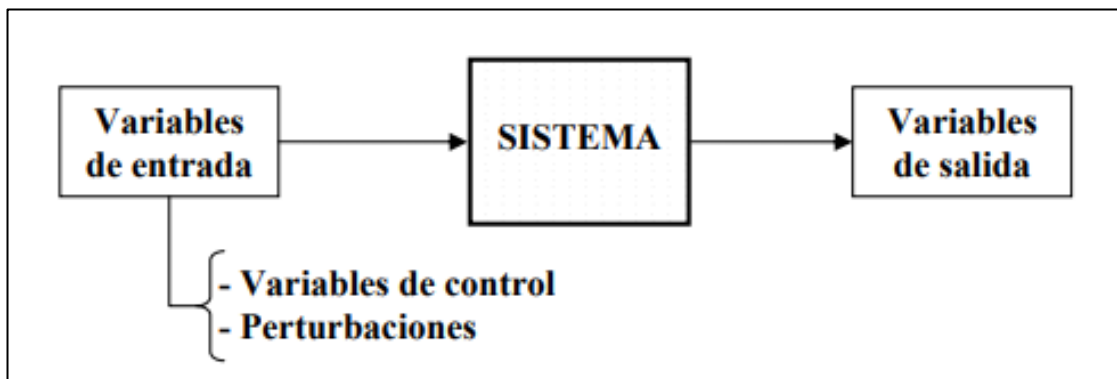


Figura 2-1 : Sistema de control.

2.1.2. Control en lazo abierto

Un sistema de control de bucle abierto está diseñado para cumplir los objetivos deseados mediante el uso de una señal de referencia que impulsa los actuadores que controlan directamente la salida del proceso. La retroalimentación de salida no está presente en este tipo de sistemas como se muestra en la figura 2-2 (Carpio, 2018) .

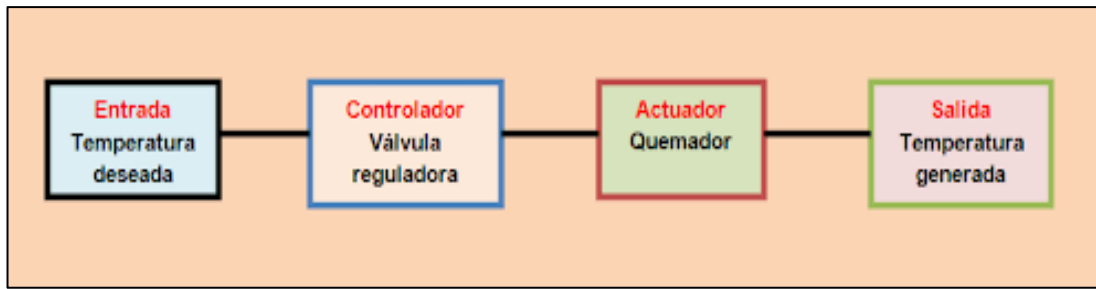


Figura 2-2 : Sistema en lazo cerrado (Carpio, 2018).

2.1.3. Sistemas de lazo cerrado

En los sistemas de control cerrado, la diferencia entre la salida real y la salida deseada se retroalimenta al controlador para cumplir con la salida deseada llamada set point o referencia mediante como se muestra en la figura 2-3 (Carpio, 2018)

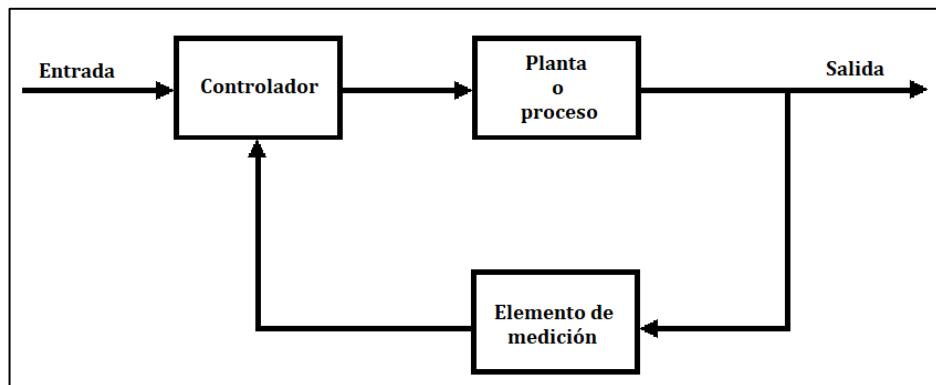


Figura 2-3 : Sistema en lazo cerrado (Carpio, 2018).

2.2. Componentes de los sistemas de control

Existen varios tipos de sistemas de control que mejoran el error en estado estable y la respuesta transitoria como lo son: Proporcional, Integral, Proporcional-Integral, Proporcional-Derivativo, Proporcional-Integral-Derivativo.

2.2.1. Control de Acción Proporcional

El controlador proporcional solo calcula un valor proporcional al error actual que existe en el proceso de lazo cerrado, como se aprecia en la figura 2-4, consiste en la multiplicación entre la señal de error y la ganancia para que el error en estado estacionario sea casi nulo (Castaño, 2015).

En la ecuación 1 se demuestra que si $y(t)$ es la señal de salida y $e(t)$ la señal de error, en un sistema de control proporcional se tiene:

$$y(x) = K_p * e(t) \quad (1)$$

Donde en la ecuación 2 se detalla la función de transferencia.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = K_p \quad (2)$$

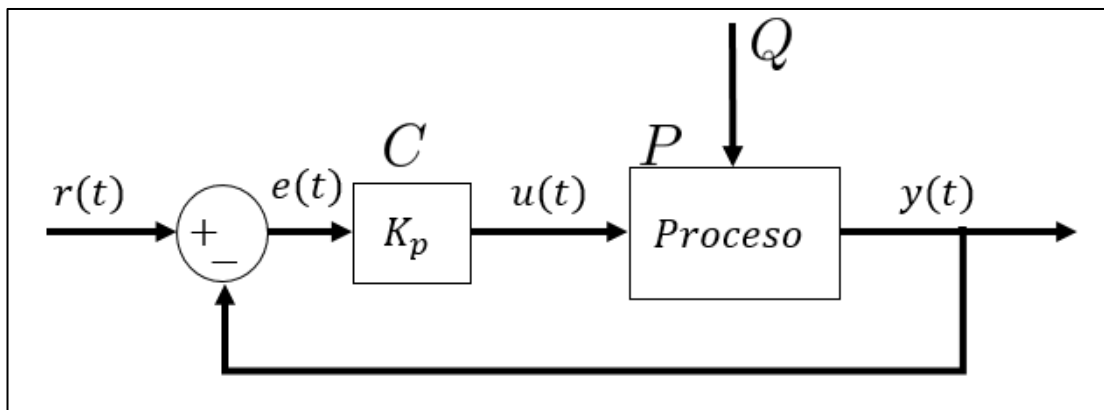


Figura 2-4 : Acción proporcional. (Castaño, 2015).

2.2.2. Control de Acción Integral

En los controladores de acción integral, como se observa en la figura 2-5, el valor de la acción de control es proporcional a la integral de la señal de error, por lo cual en esta clase de control la acción cambia en funcionalidad de la desviación de la salida y del tiempo en cual se conserva esta desviación (Urroz Ríos, 2017).

En la ecuación 3 se demuestra que sí $y(t)$ es la señal de salida y $e(t)$ la señal de error, en un sistema de control integral se tiene:

$$y(t) = \frac{1}{T_i} * \int e(t)dt \quad (3)$$

Donde en la ecuación 4 se detalla la función de transferencia.

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = \frac{1}{T_i * s} \quad (4)$$

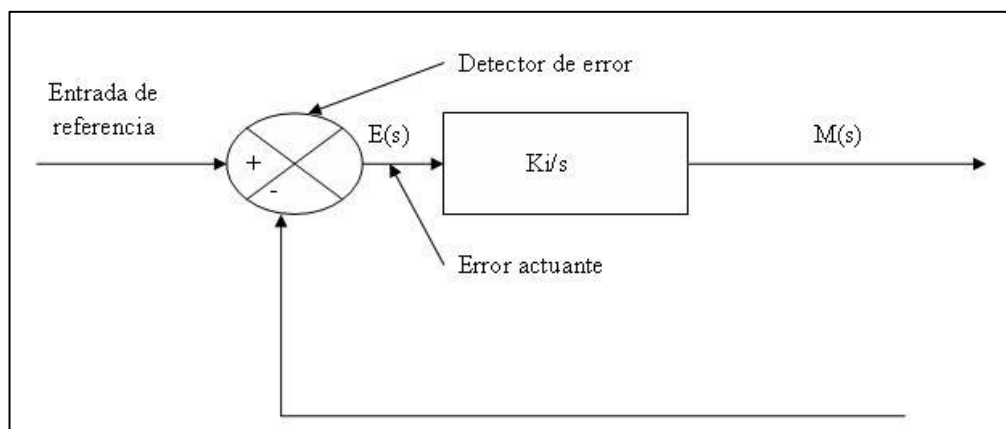


Figura 2-5 : Acción integral. (Urroz Ríos, 2017).

2.2.3. Control de Acción Derivativa

Los controladores siempre actúan en combinación de un control de acción proporcional. El valor de salida cambia en sentido proporcional al tiempo en que se ha mantenido el error y la magnitud de este, la acción integral es la manera más sencilla de eliminar el error en régimen permanente, este actúa durante un intervalo de tiempo, se lo visualiza en la figura 2-6 (Urroz Ríos, 2017).

En la ecuación 5 se demuestra que sí $y(t)$ es la señal de salida y $e(t)$ la señal de error, en un sistema de control derivativa se tiene:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = K_p * \left(\frac{1}{T_i * s} + 1 \right) \quad (5)$$

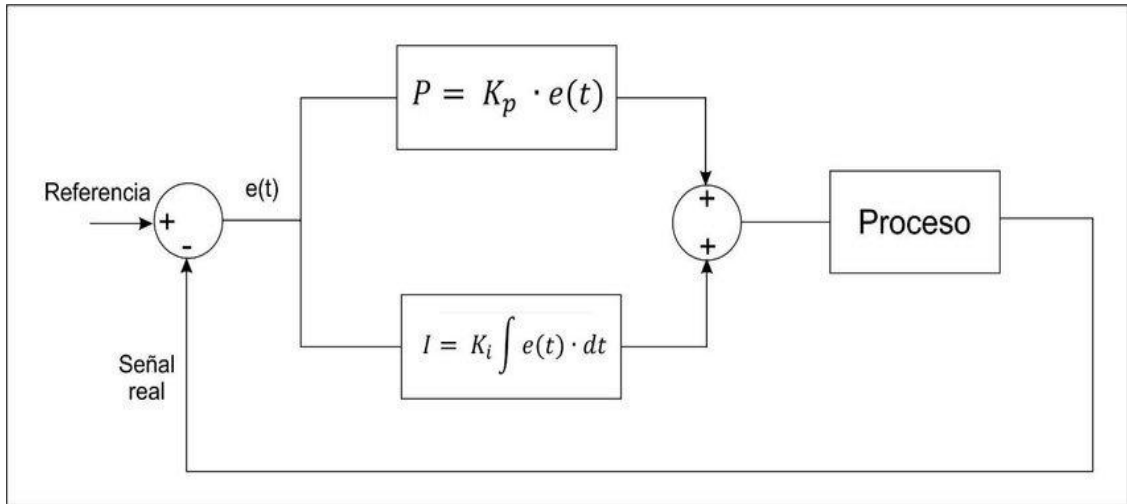


Figura 2-6 : Acción derivativa. (Urroz Ríos, 2017).

2.2.4. Control de Acción Proporcional – Derivativo

La acción de control derivativo se opone a desviaciones de la señal de entrada, este mide la pendiente instantánea del error $e(t)$, anticipando que tan grande será el sobre impulso, con una respuesta significativa que es proporcional a la rapidez con que se produce, antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande como se aprecia en la figura 2-7. Tiene un carácter de prevención además de que no se utiliza solo (Udb, 2012).

En la ecuación 6 se demuestra la función de transferencia del Control PD, donde T_d es el tiempo diferencial que se usa para dar mayor o menor trascendencia a la acción derivativa, es:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = K_p * (T_d * s + 1) \quad (6)$$

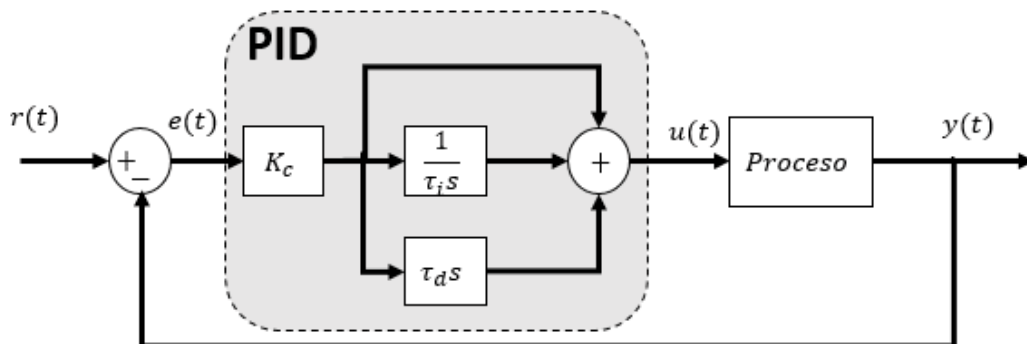


Figura 2-7 : Control de acción Proporcional - Derivativo (Udb, 2012).

2.2.5. Control de acción Proporcional – Integral – Derivativo

El control PID (proporcional integral derivativo), es un control en lazo cerrado, el cual tiene una entrada, salida y la etapa de procesamiento conteniendo la ecuación 7 teniendo la fórmula matemática donde el error de predicción $e(t)$ viene dado por la diferencia entre un señal de referencia deseada $r(t)$ y la salida $y(t)$ de un proceso, los diferentes términos, uno proporcional al error (término P), que se integra el error con el tiempo (término I) y con diferencia con el tiempo(término D) véase en figura 2-8, la cual ayuda a que la desviación o error se encuentre en un valor óptimo para el sistema a controlar mediante una retroalimentación al sistema (Astrom, 1995).

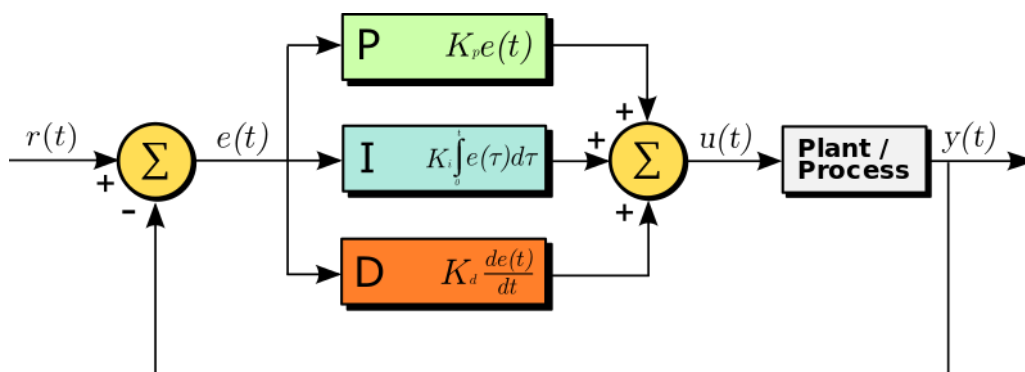


Figura 2-8 : Control de acción Proporcional – Integral - Derivativo (Udb, 2012).

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = K_p \left(\alpha + T_d * s + \frac{1}{T_i * s} \right) \quad (7)$$

2.3. Sistema de control lineal

En un sistema de control Lineal se tiene dos propiedades principales, si las entradas que las conforman son multiplicadas por una constante, las salidas de esta también serán multiplicadas por la misma constante y la otra propiedad es que los sistemas lineales tienen como característica que se pueden aplicar al principio de superposición (Karol Bohorquez, 2017).

Por lo general, como se aprecia en la figura 2-9, en un sistema lineal, la salida debería continuar la misma forma de la entrada incluyendo cambios o modificaciones presentadas. No obstante, hay casos en lo cual esto no se cumple y es complicado poder clasificarlos como sistemas lineales (Karol Bohorquez, 2017).

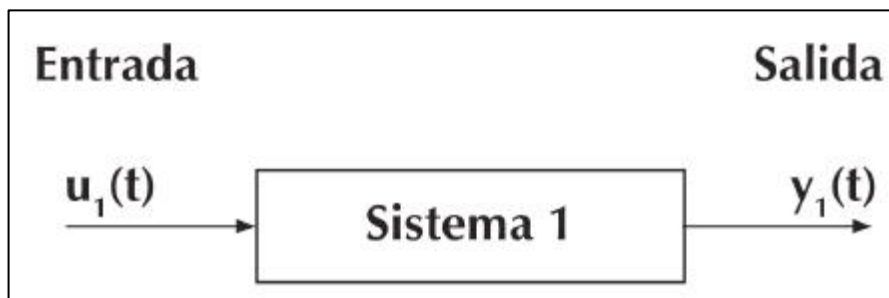


Figura 2-9 : Diagrama simplificado de un sistema lineal (Karol Bohorquez, 2017)

2.4. Sistema de control no lineal

Los sistemas más comunes son los no lineales, estos varían constantemente en el tiempo al igual que su salida que no siempre se obtiene el mismo resultado, muestran una mayor rapidez y exactitud una vez que se implementan de forma simple. La teoría de control se ocupa de estudiar la conducta o comportamiento de los sistemas dinámicos con entradas y sus respectivas modificaciones en las salidas por medio del uso de la retroalimentación. A diferencia de los sistemas lineales estos no presentan el principio de superposición, otra de sus características radica en que pueden tener múltiples puntos de equilibrio aislados y tiempo de escape finito como se observa en la figura 2-10 (Karol Bohorquez, 2017).

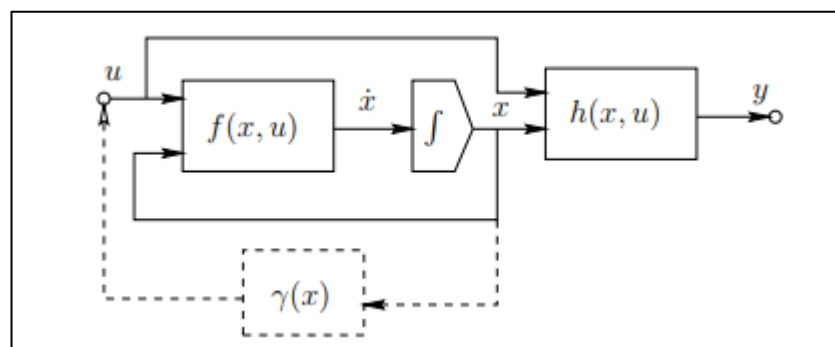


Figura 2-10 : Diagrama simplificado de un sistema no lineal (Karol Bohorquez, 2017).

2.5. Sistemas de control multivariable

Entre las características más comunes de los sistemas de control multivariable es que influyen en el control de la estabilidad y el rendimiento, alta sensibilidad al modelado de errores. Como se visualiza en la figura 2-11, estos sistemas son conocidos por sus múltiples variables de entrada o múltiples variables de salida, de ahí su nombre, tienen como fin mantener una o más variables controladas en puntos de ajustes independientes (Karol Bohorquez, 2017).

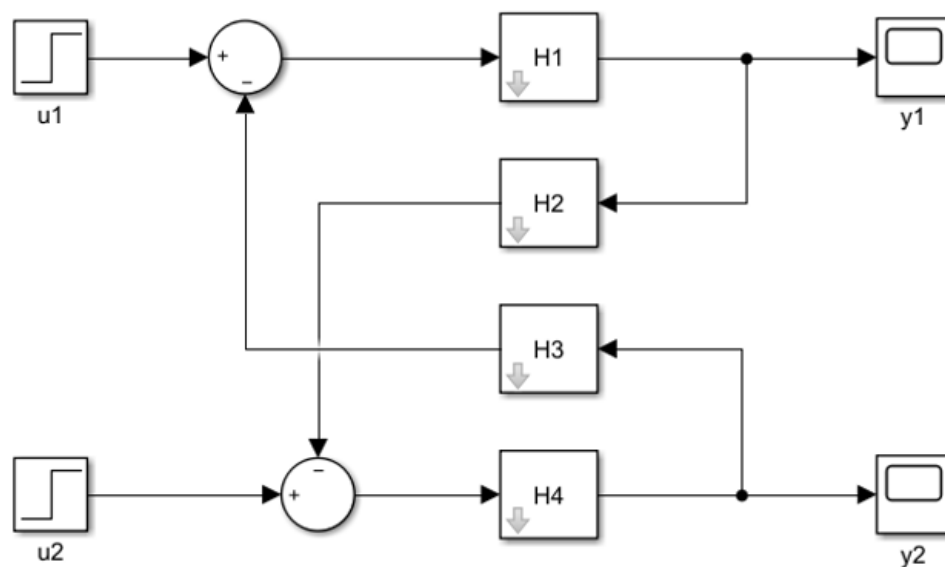


Figura 2-11 : Diagrama simplificado de un sistema multivariable (Karol Bohorquez, 2017).

2.6. Diversas aplicaciones de sistemas de control

En la actualidad el control está presente en todas las ingenierías además de los aspectos de la vida cotidiana y sus aplicaciones son numerosas, los sistemas complejos en la época actual, independientemente de su origen o funcionalidad requieren sistemas de control para su apropiado funcionamiento (Ruben Morales, 2013).

2.7. Sistemas embebidos

Los sistemas embebidos son sistemas operativos o electrónicos que tiene como fin funciones mínimas en tiempo real al ser controlados por microprocesadores o microcontroladores, estos se usan para necesidades específicas. En la placa base como se muestra en la figura 2-12, se encuentran incluidos los componentes es por lo que también se denominan sistemas empotrados, son totalmente funcionales que se amoldan a la necesidad del proceso. Entre ellos se pueden encontrar dispositivos como un taxímetro hasta el propio Arduino. (SemanticWebBuilder, 2014)



Figura 2-12 : Sistema embebido (SemanticWebBuilder, 2014).

2.8. Lattepanda

Lattepanda es un embebido que consta con un procesador Cherry Trail Atom y un microprocesador atmega32ua con puertos de salidas GPIO.

Lattepanda posee edición completa de Windows 10, que incluye potentes herramientas como Visual Studio, NodeJS, Java, producción, y mucho más. Utilización de las API existentes, puede desarrollar sus propios proyectos de software y hardware en Lattepanda como lo haría en un PC normal – C #, JavaScript, Ruby y así sucesivamente (Electronilab, 2018).

En la figura 2-13, se aprecia al embebido lattepanda y sus características:

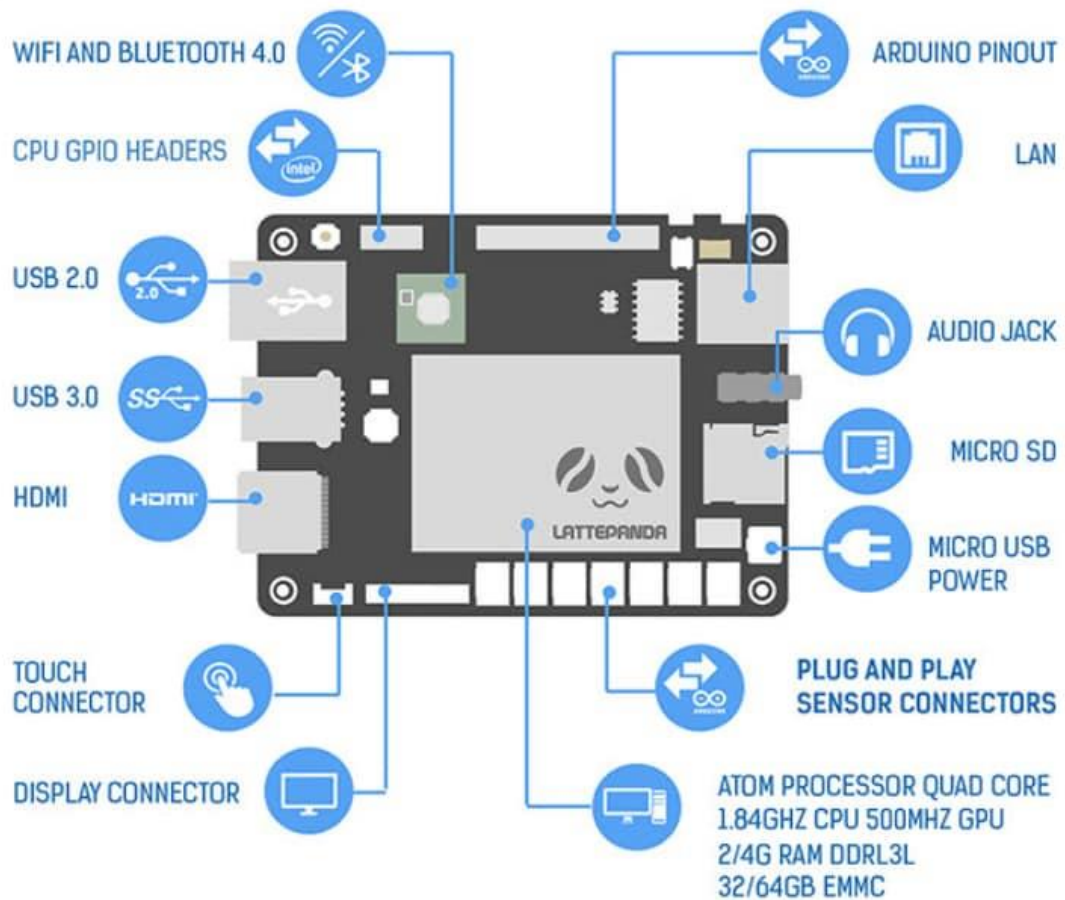


Figura 2-13 : LattePanda 4GB RAM -64GB SDD (DfRobot, 2017).

2.9. LattePanda Alpha

LattePanda Alpha es la versión renovada del originario LattePanda consta de un procesador Core m3 de séptima generación de Intel junto con 8GB LPDDR3 y 64GB de almacenamiento interno vía tarjeta eMMC. La versión Delta monta un procesador intel Celeron N4100 con 4 cuentan con coprocesador Arduino, 3 puertos USB 3.0, uno Tipo-C, salida HDMI, Wi-Fi y Bluetooth 4.0.GB LPDDR4 y 32GB eMMC ambas con gráficas integradas intel HD 615.

En la figura 2-14, se aprecia al embebido lattepanda y sus características:

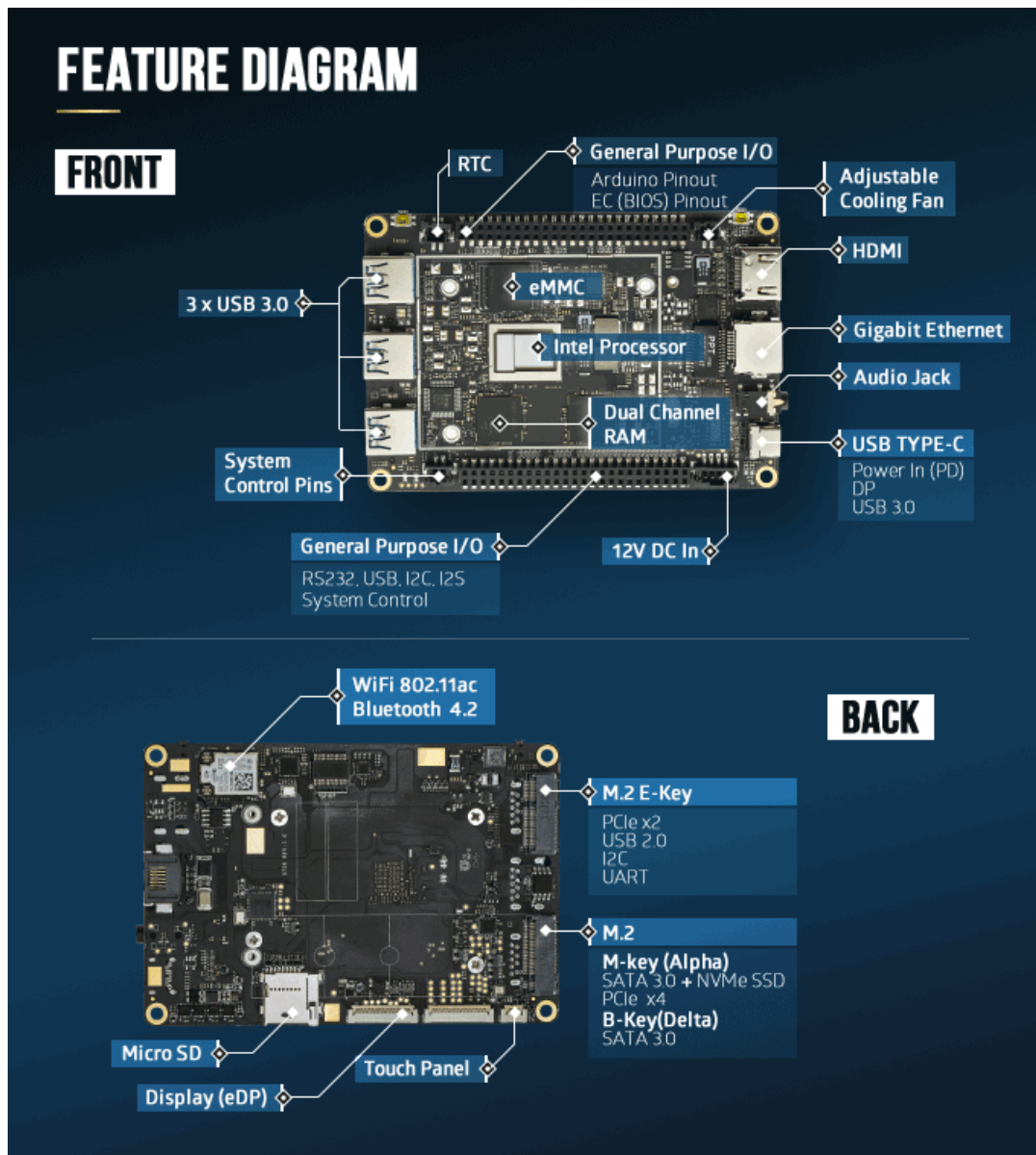


Figura 2-14 : LattePanda Alpha (DfRobot, 2017).

2.10. Atmel 32UA

El Atmel 32ua es un microcontrolador el cual tiene una arquitectura Harvard, posee 8 bits, 32Kb de memoria Flash y un empaquetado VFQFN-44 (Microchip, 2016).

Posee 20 pines de entrada y salida digitales de los cuales 7 pueden ser usados como salidas PWM y 12 como entradas análogas. (Arduino, 2008).

En la figura 2-15, se muestra el Atmel 32ua con sus respectivas salidas GPIO en la lattepannda Alpha.

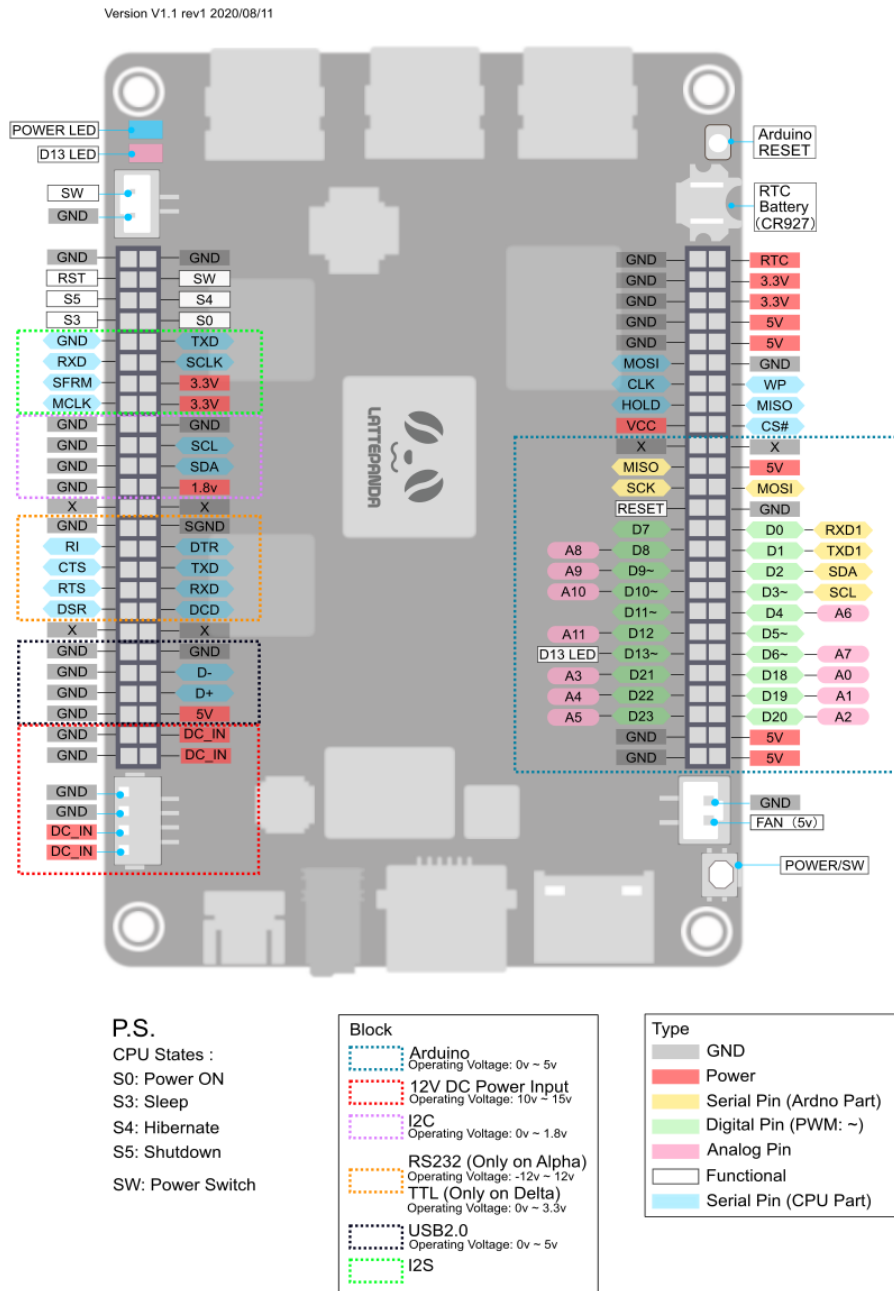


Figura 2-15 : Lattepannda Alpha Atmel 32 ua (Lattepannda, 2018).

2.11. Software de instrumentación virtual Labview

Labview es un software de instrumentación virtual el cual trabaja con un lenguaje gráfico, ya que nos permite diseñar interfaces de usuario mediante una consola interactiva basada en software (VERGARA, 2012).

2.12. Labview 2019

En la figura 2-16, se detalla Labview que es un software de instrumentación virtual de la compañía National Instrument el cual trabaja con un lenguaje grafico mediante bloque consta de dos ventanas una llamada panel frontal donde está la presentación o el control para el usuario y el bloque de diagrama donde se programa mediante el uso secuencial de bloques de funciones (Guevara Davalos J. C., 2019).



Figura 2-16 : Labview2019 (Ni, Ni.com, 2019).

2.13. Panel frontal

En la figura 2-17, el panel frontal es utilizado para la interacción del usuario con el programa al momento de la ejecución, controlando variables numéricas, booleanas o texto en tiempo real, se puede agregar indicadores para la visualización de los estados de las variables mediante el uso de slider, graficas, tanques y demás controles (Ni, Entorno Labview, 2020).

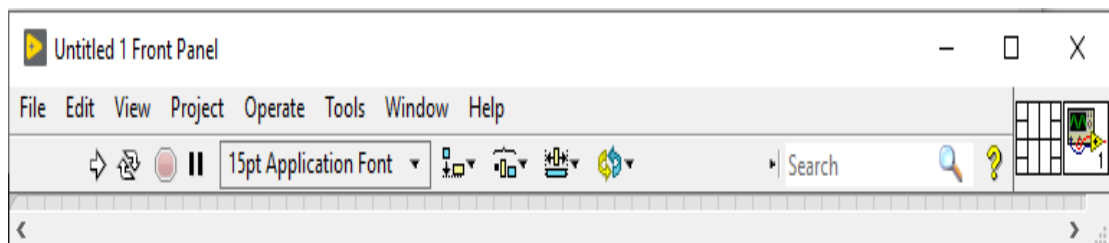


Figura 2-17 : Labview 2019 Panel Frontal (Ni, Entorno Labview, 2020).

2.14. Diagrama de bloques

En la figura 2-18, el diagrama de bloques es el entorno donde se programa incluyen funciones o bloques de control los cuales realizan operaciones como el ser constantes, estructuras, variables, comparadores (Ni, Entorno Labview, 2020).

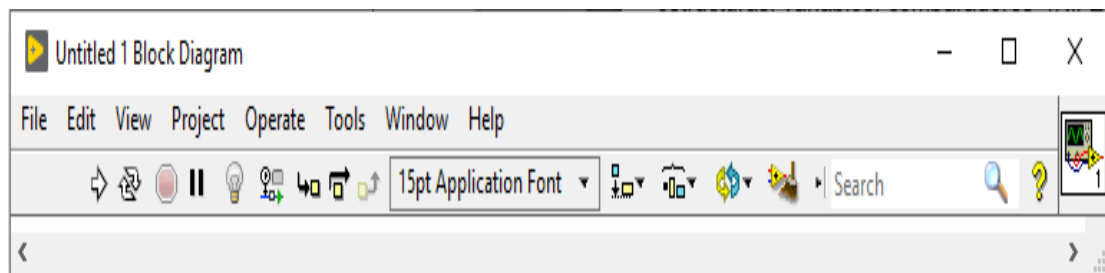


Figura 2-18 : Labview 2019 Diagrama de Bloques (Ni, Ni.com, 2019).

2.15. Complemento de Labview PID Control y simulación

El módulo LabVIEW de control diseño y simulación, permite la simulación de sistemas dinámicos, diseñar controladores e implementar sistemas de control en hardware en tiempo real (NI, 2021).

El Módulo LabVIEW de control diseño y simulación es un software complementario que se integra con el entorno de programación de LabVIEW para ofrecer habilidades como tecnologías integradas de paralelismo, multi núcleo y de velocidad variable, así como herramientas para implementar en hardware en tiempo real. Usted puede integrar medidas con diseño para identificación del sistema, calibración del modelo o validación del modelo. Después usted puede implementar su algoritmo en hardware embebido en tiempo real para rápida generación de prototipos de control y aplicaciones de hardware en el ciclo como se muestra en la figura 2-19 (NI, 2021).



Figura 2-19 : Complemento de diseño y simulación (NI, 2021).

2.16. LINX de Digilent/LabVIEW MakerHub

Esta herramienta diseñada que se muestra en la figura 2-20, sirve para facilitar el desarrollo de aplicaciones embebidas usando el software LabVIEW es un proyecto de fuente abierta de Digilent. Cuenta con VIs los cuales tiene más de 30 sensores embebidos, así como también interfaces de programación de aplicaciones de hardware agnóstico que ayudan al acceso de periféricos como I/O digitales, I/O analógicas, PWM, I2C, SPI y UART (National Instruments, 2016).



Figura 2-20 : Linx (National Instruments, 2016)

Si se controla de forma remota ya sea en un chipKIT, en Arduino por USB/Serial, en WiFi o Ethernet o mediante VIs para ejecutar en LINX y LabVIEW que logran hacer más sencillo la visualización de datos con los que se trabaja, así como también depurar su código y permitir la creación de aplicaciones embebidas avanzadas que funciones más rápido (National Instruments, 2016).

2.17. Módulo de control de supervisión y registro de datos

Es una herramienta de LabVIEW la cual amplía los beneficios de programación gráfica al permitir desarrollo de aplicaciones SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) o de registro de datos de varios canales. El módulo permite la integración de aplicaciones de control de los cuales se incluyen lógica de procesos, diseño de sistema de control y el diseño de interfaz de usuario, así como también comunicar controladores lógicos programables, y la creación de un conveniente registro de información de datos a bases de datos, administrar alarmas y eventos secuenciales. También cuenta con soporte para protocolos industriales y OPC Arquitectura Unificada (National Instruments, 2015).

2.18. Sensor de humedad

La humedad es vapor de agua contenido dentro de aire fresco, esta variable física se mide en espacios interiores para controlar el porcentaje de humedad que tiene el aire en ese ambiente. Cuando se toma la lectura en el sensor, un material semiconductor, este transforma la señal medida a una señal eléctrica normalizada, cuya corriente fluctúa entre 4 y 20 mA (Siber, 2016).

El sensor de humedad se utiliza en las industrias para técnicas de calefacción, ventilación y climatización de igual forma en procesos de producción que requieren un monitoreo constante de la variable donde a veces es necesario también medir la temperatura (PCE Instruments, s.f.) . Al momento de elegir que dispositivo de medición usar se debe de tener en cuenta varios factores como la precisión del sensor, calibración, repetibilidad de salida, complejidad del circuito y resistencia a la contaminación (Electrónica Lugo, 2016).

2.19. Tipos de Sensores de humedad

2.19.1. Sensores Capacitivos

Estos dispositivos se basan en el efecto capacitivo, la permitividad eléctrica del material dieléctrico cambia con el cambio de humedad. Desde un condensador lleno de aire como la humedad existente en la atmosfera cambia su permitividad. Se debe observar los cambios en la frecuencia del oscilador de este dispositivo haciendo uso de un condensador como se visualiza en la figura 2-21 (Electrónica Lugo, 2016).



Figura 2-21 : Sensor de humedad capacitivo (Electrónica Lugo, 2016).

2.19.2. Sensores con conductividad eléctrica

Estos sensores miden la impedancia o la conductividad eléctrica, su funcionamiento se basa en que esa conductividad en los conductores no metálicos depende del contenido de agua. Por lo general se compone de materiales con resistividad relativamente baja la cual varía con los cambios en la humedad, esta relación entre resistencia y humedad es inversamente exponencial como se evidencia en la figura 2-22 (Electrónica Lugo, 2016).



Figura 2-22 : Sensores con conductividad eléctrica (Electrónica Lugo, 2016).

2.19.3. Sensores con conductividad térmica

Este tipo de sensores como se puede observar en la figura 2-23 también se los conoce como sensores de humedad absoluta. Miden la conductividad térmica tanto del aire seco como del aire con vapor de agua. Su principal componente son los dos termistores que posee, donde uno está herméticamente sellado en una cámara llena de nitrógeno seco y el otro al expuesto al ambiente a través de una pequeña ventilación de agujeros. Se mide la diferencia entre las resistencias de ambos termistores cuando se enciende el circuito (Electrónica Lugo, 2016).

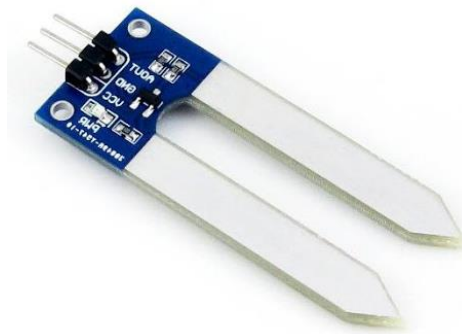


Figura 2-23 : Sensores con conductividad térmica (Electrónica Lugo, 2016).

2.20. Sensores de temperatura

La temperatura es una magnitud física asociada a las nociones de calor, está relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico como el aire, se puede medir mediante un dispositivo denominado termómetro. Su medición se basa en la energía cinética, es decir, a la energía producida por el movimiento de las partículas en el aire ya sea en sentido traslacional, rotacional o vibraciones. Si el movimiento aumenta se calienta más caso contrario si el movimiento de las partículas es casi nulo se puede decir que se ha llegado al cero absoluto (Siberzone, 2013).

El sensor de temperatura que se muestra en la figura 2-24, es un detector de variaciones en la temperatura del aire o agua, es decir, capta cambios en una característica física y los transforma en una señal eléctrica. Esta señal trae

consigo cambios en el sistema electrónico para la regulación de la temperatura (SRC, 2019).



Figura 2-24 : Sensores diferenciales(Industrial, 2015).

2.21. Tipos de sensores de temperatura

2.21.1. Termopar

Este tipo de sensores como se muestra en la figura 2-25, se basan en dos tiras fabricadas de diferentes metales unidos en un extremo. Los cambios de temperatura que se producen en esa junta inducen una variación en la fuerza electromotriz (FEM) entre los extremos (Omega, 2014).



Figura 2-25 : Sensor de temperatura Termopar (Omega, 2014).

2.21.2. Dispositivos resistivos (RTD y Termistores)

Estos dispositivos funcionan debido a que la resistencia eléctrica de un material cambia al variar su temperatura. Entre sus dispositivos metálicos más comunes se encuentran los RTD y los termistores como se evidencia en la figura 2-26 (Omega, 2014).



Figura 2-26 : Sensor de temperatura RTD (Benavides, 2017).

2.21.3. Dispositivos bimetálicos

Debido a la diferencia en la tasa de dilatación térmica entre los diferentes metales, estos sensores aprovechan esa función para poder realizar la medición. Se agrupan entre si tiras o dos metales. Si un lado se calienta más se dilata más que el otro resultando en una curvatura que se traduce a una lectura de temperatura a través de una articulación mecánica a un apuntador como se observa en la figura 2-27 (Omega, 2014).



Figura 2-27 : Sensor Bimetalico (Sánchez, 2016).

2.22. Dispositivos de dilatación de líquido

Son los sensores de temperatura más comunes que existen como lo son los domésticos, se divide en dos, el que contiene mercurio considerado un riesgo ambiental y el de líquido orgánico como se muestra en la figura 2-28 (Omega, 2014).

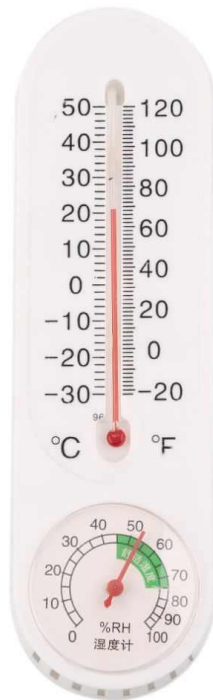


Figura 2-28 : Sensor de dilatación por líquido (Sánchez, 2016)

2.23. Protocolo de comunicación SPI

La interfaz periférica en serie (SPI) es un bus de interfaz comúnmente utilizado para enviar datos entre microcontroladores y pequeños periféricos, como registros de desplazamiento, sensores y tarjetas SD. Utiliza líneas separadas de reloj y datos, junto con una línea de selección para elegir el dispositivo con el que desea hablar (Sparkfun, 2018).

En SPI que se muestra en la figura 2-29, solo un lado genera la señal de reloj (generalmente llamada CLK o SCK para Serial Clock). El lado que genera el

reloj se llama "maestro" y el otro lado se llama "esclavo". Siempre hay un solo maestro, pero puede haber varios esclavos (Sparkfun, 2018).

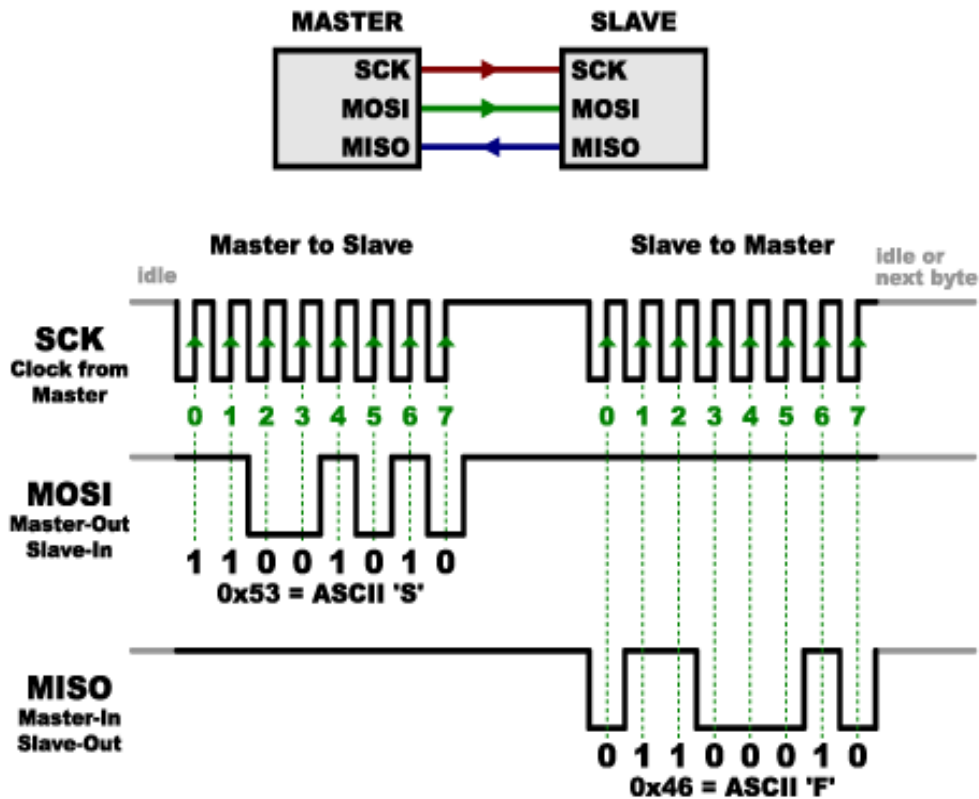


Figura 2-29 : Protocolo Spi de comunicación (Sparkfun, 2018).

2.24. Protocolo de comunicación I2C

I2C significa Circuito integrado (Por sus siglas en Inglés Inter-Integrated Circuito) es un protocolo de comunicación serial desarrollado por Phillips Semiconductoras allá por la década de los 80s. Básicamente se creó para poder comunicar varios chips al mismo tiempo dentro de los televisores (Teslabem, 2017).

El I2C que se muestra en la figura 2-30, toma e integra lo mejor de los protocolos SPI y UART. Con el I2C podemos tener a varios maestros controlando uno o múltiples esclavos. Esto puede ser de gran ayuda cuando se van a utilizar varios microcontroladores para almacenar un registro de datos hacia una sola memoria o cuando se va a mostrar información en una sola pantalla (Teslabem, 2017).

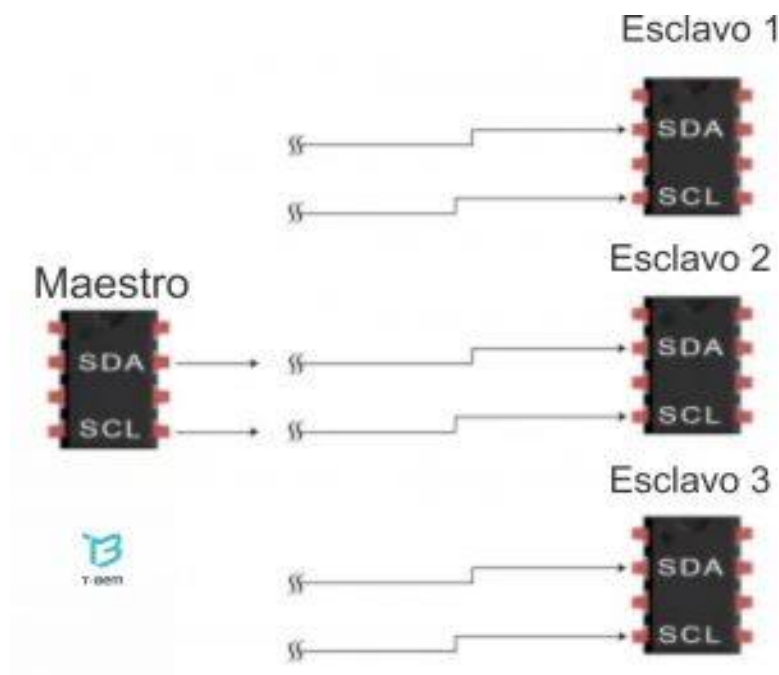


Figura 2-30 : Protocolo i2c (Teslabem, 2017).

2.25. Protocolo de comunicación UART

El corazón del sistema de comunicaciones serie es la UART que se detalla en la figura 2-31, acrónimo de Universal Asíncronos Receiver-Transmitter. Es un chip cuya misión principal es convertir los datos recibidos del bus del PC en formato paralelo, a un formato serie que será utilizado en la transmisión hacia el exterior. También realiza el proceso contrario: transformar los datos serie recibidos del exterior en un formato paralelo entendible por el bus (Zator, 2016).

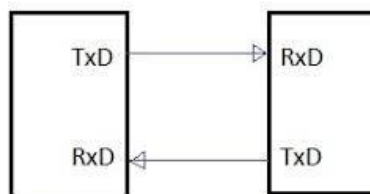


Figura 2-31 : Comunicación UART (Zator, 2016).

2.26. Sistemas SCADA.

Los sistemas SCADA fueron diseñados para tener un control centralizado de los procesos industriales que se encontraban ubicados en zonas geográficamente separadas (Dpto. de Automatización y Control Industrial, 2018). Este sistema permite controlar, supervisar y adquirir datos de un proceso dentro de la industria. La automatización con SCADA permite a las industrias ser competitivas permitiendo funcionar de una forma rápida y eficiente, minimizando los costes de producción (WonderWare, 2018).

Las principales características que presenta este tipo de sistemas son las siguientes:

- Controlar los procesos industriales de forma local o remota.
- Monitorear, recopilar y procesar datos en tiempo real.
- Interactuar directamente con dispositivos como sensores, válvulas, motores y la interfaz HMI.
- Grabar secuencialmente en un archivo o base de datos los acontecimientos que se producen en el proceso productivo.
- Crear paneles de alarma en fallas de máquinas por problemas de funcionamiento.
- Gestionar el mantenimiento con las magnitudes obtenidas.
- El control de calidad mediante los datos recogidos

La figura 2-32, muestra una simulación de un sistema SCADA, compuesta por un panel de visualización, PLCs, sensores, actuadores, modem, HMI y una conexión ethernet.

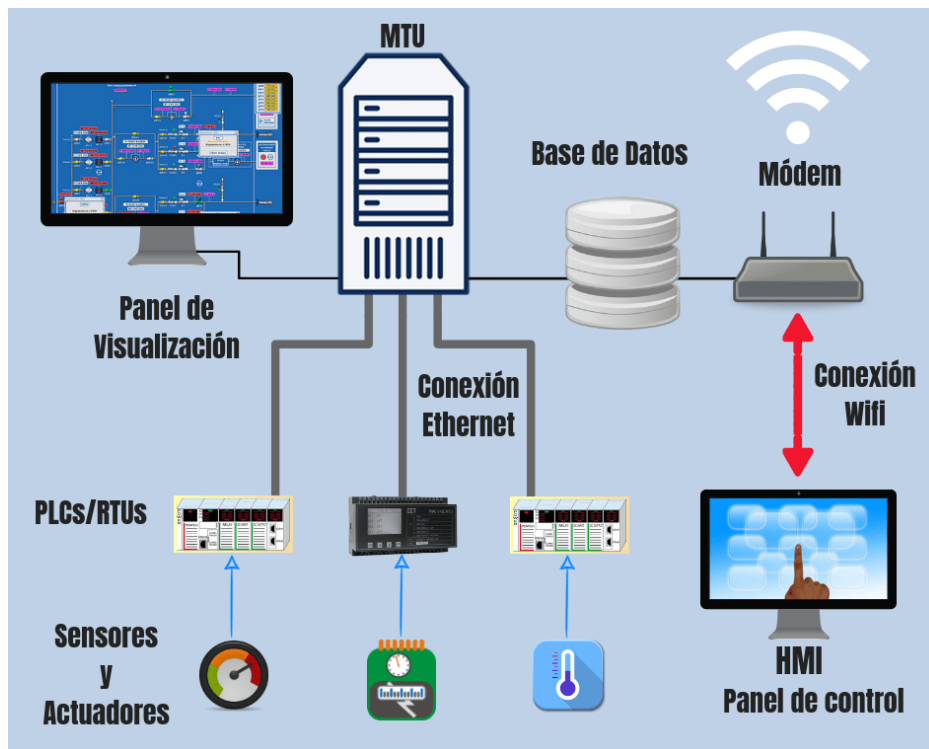


Figura 2-32 : Simulación de un sistema SCADA (AULA 21, 2018).

2.27. Componentes de un sistema SCADA.

HMI: Es la interfaz que conecta al usuario con la maquinaria, presentando los datos del proceso ante el operario mediante un sistema de monitoreo. Además, controla la acción a desarrollar a través de una pantalla, en la actualidad es de Display táctil (AULA 21, 2018).

En la siguiente figura 2-33, se observa una pantalla HMI y un diseño del proceso del sistema de inyección.

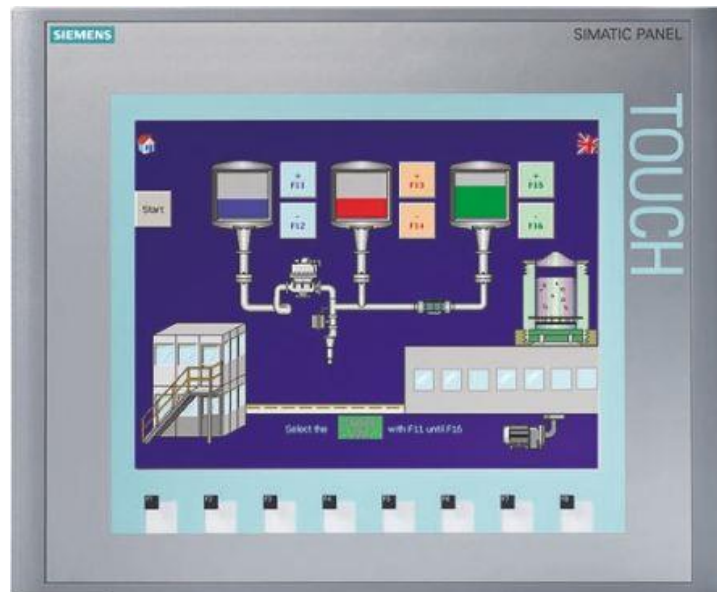


Figura 2-33 : Pantalla HMI (ES.RS, 2020).

2.28. Unidades Terminales Remotas (RTU).

Son microprocesadores (Ordenadores remotos) que obtienen señales independientes de una acción para enviar la información obtenida remotamente para que se procese. Se conectan a sensores que convierten las señales recibidas en datos digitales que lo envían al ordenador o sistema de supervisión (MTU) (AULA 21, 2018).

2.29. Motores de corriente continua sin escobillas

Los motores de corriente continua que se muestran en la figura 2-34, se manejan mediante la tensión en sus terminales al recibir una alimentación, este efecto logra que el motor gire en un sentido y para hacer el cambio de giro es necesario invertir la tensión suministrada en los bornes (Carpio, 2018).



Figura 2-34 : Motor Dc (Carpio, 2018)

2.30. Modulación de ancho de pulso para control de motores.

Modulación por ancho de pulso (PWM), está formada por una señal de onda cuadrada. Las señales PWM pueden variar entre dos estados de tensión, 5V y 0V, cuando la señal está en el alto se refiere a que tiene una tensión de 5V (Ton) y si la señal está en bajo se refiere a que tiene una tensión de 0V (Toff). El ciclo de trabajo o ancho de pulso (Duty Cycle) es una característica importante de PWM porque esto permite modificar sus características. Para cambiar el valor de un PWM lo que se hace es modificar los tiempos de apertura de señal (Gómez, 2017).

Mediante la figura 2-35, se puede observar el periodo y ancho de pulso de una señal PWM con su respectivo porcentaje de trabajo.

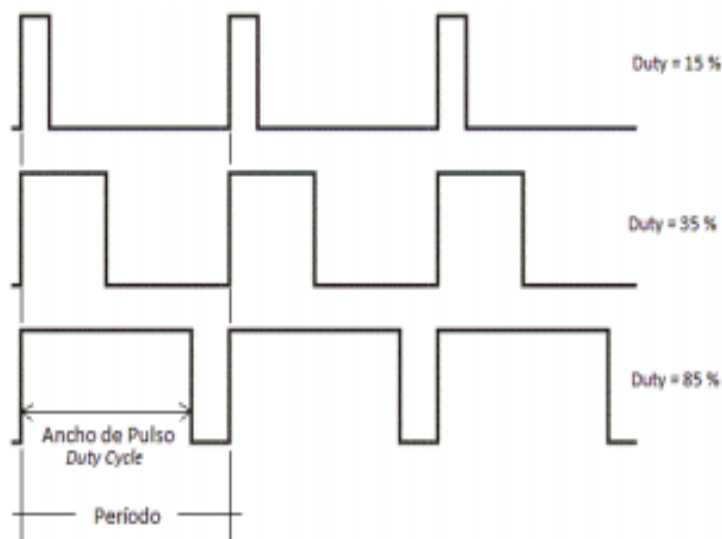


Figura 2-35 : Gráfico del ancho de pulso (Rangel Rodriguez & Hernandez, 2016)

2.31. Fuente de alimentación ajustable 12 V AC/DC

La fuente ajustable o conmutable son muy utilizadas en diversas aplicaciones en la gran mayoría de los casos se las usan en la electrónica, esta fuente tiene la capacidad de convertir la corriente alterna en corriente directa, además poseen un regulador de voltaje que permite la variación de este necesario para el dispositivo que se muestra en la figura 2-36 (WELL, 2009).



Figura 2-36 : Fuente de alimentación para Riel Din. (WELL, 2009)

2.32. Relés de Interface

Los relés son componentes eléctricos que simplemente se encuentran en cualquier tablero de control, por lo general es de gran importancia saber su funcionamiento interno, pueden ser con normalidad abiertos y normalmente cerrados, esta definición es de acuerdo con la condición de sus contactos inter es decir 1 NO que se muestra en la figura 2-37 (Rodríguez, 2013).



Figura 2-37 : Relé electrónico Kontron. (KONTRON, 2020)

2.33. Pulsadores

Son dispositivos eléctricos de accionamiento manual, su principal función es permitir el paso de la corriente al momento de presionar el botón y cuando este se suelta el componente vuelve a su estado inicial, tiene por defecto dos tipos de configuración que son Abierto y Cerrado que se muestra en la figura 2-38 (García, 2020).



Figura 2-38 : Pulsadores. (García, 2020)

2.34. Luces piloto

Las luces pilotos son indicadores luminosos o Tipo LED, son muy útiles para el aviso o advertencia del encendido de algún funcionamiento del tablero de control. Este dispositivo tiene la ventaja de poco consumo de corriente que se muestra en la figura 2-39. (Electrónica Unicrom, 2020)



Figura 2-39 : Luces Piloto. (Camsco, 2020)

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño del modulo

Para la implementación del módulo de control se optó por un bastidor el cual contiene los elementos como el sistema embebido, tarjeta de acoples para conexión, tarjeta de potencia, tarjeta de relés, distribución de alimentación y fuentes de poder como se muestra en la figura 3-1.

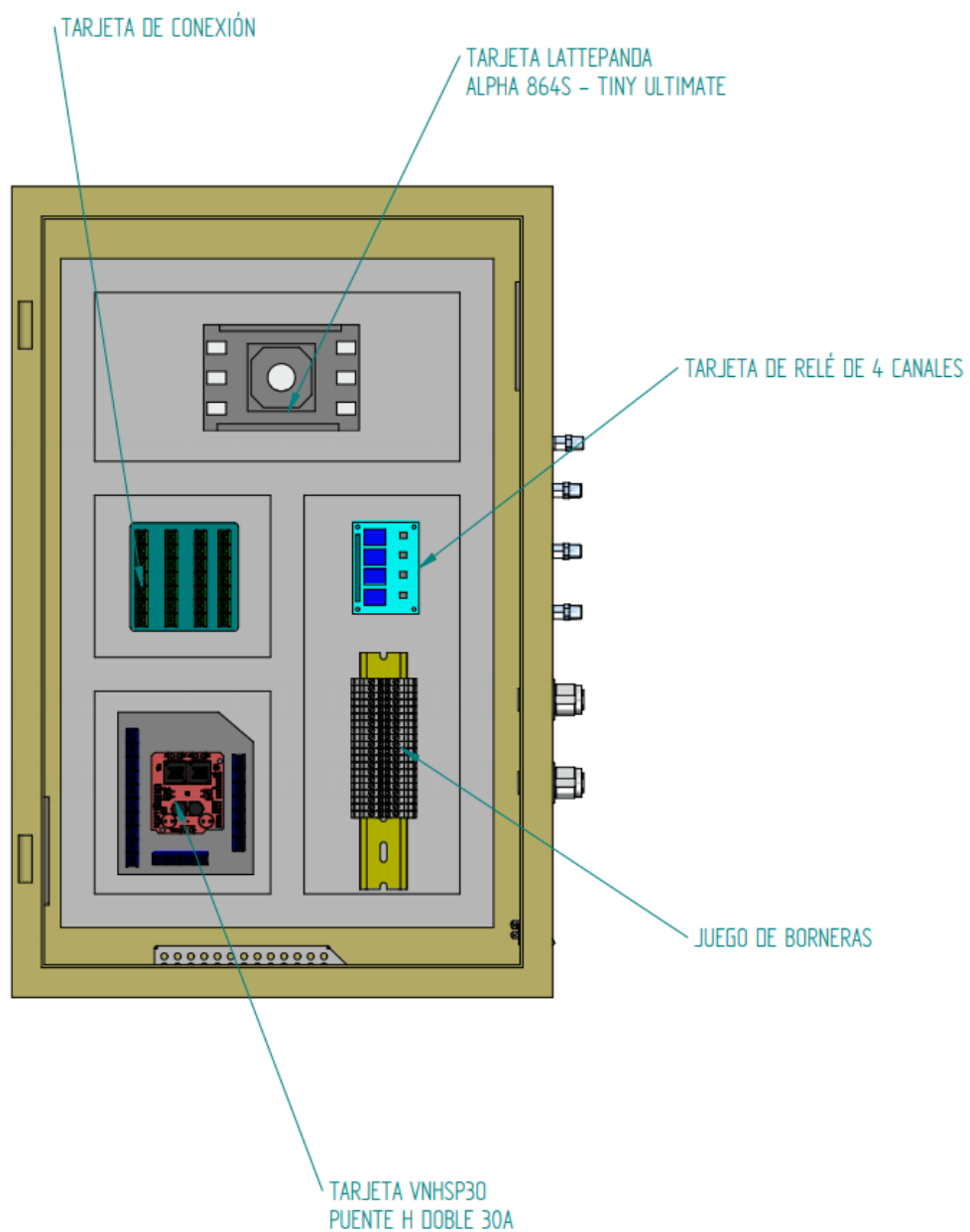


Figura 3-1 : Módulo de control.

Para las conexiones de Lattepanda se diseñó una placa de distribución que se muestra en la figura 3-2, para las interacciones con los demás periféricos como controlador de motores, relay, contactos abiertos y cerrados.

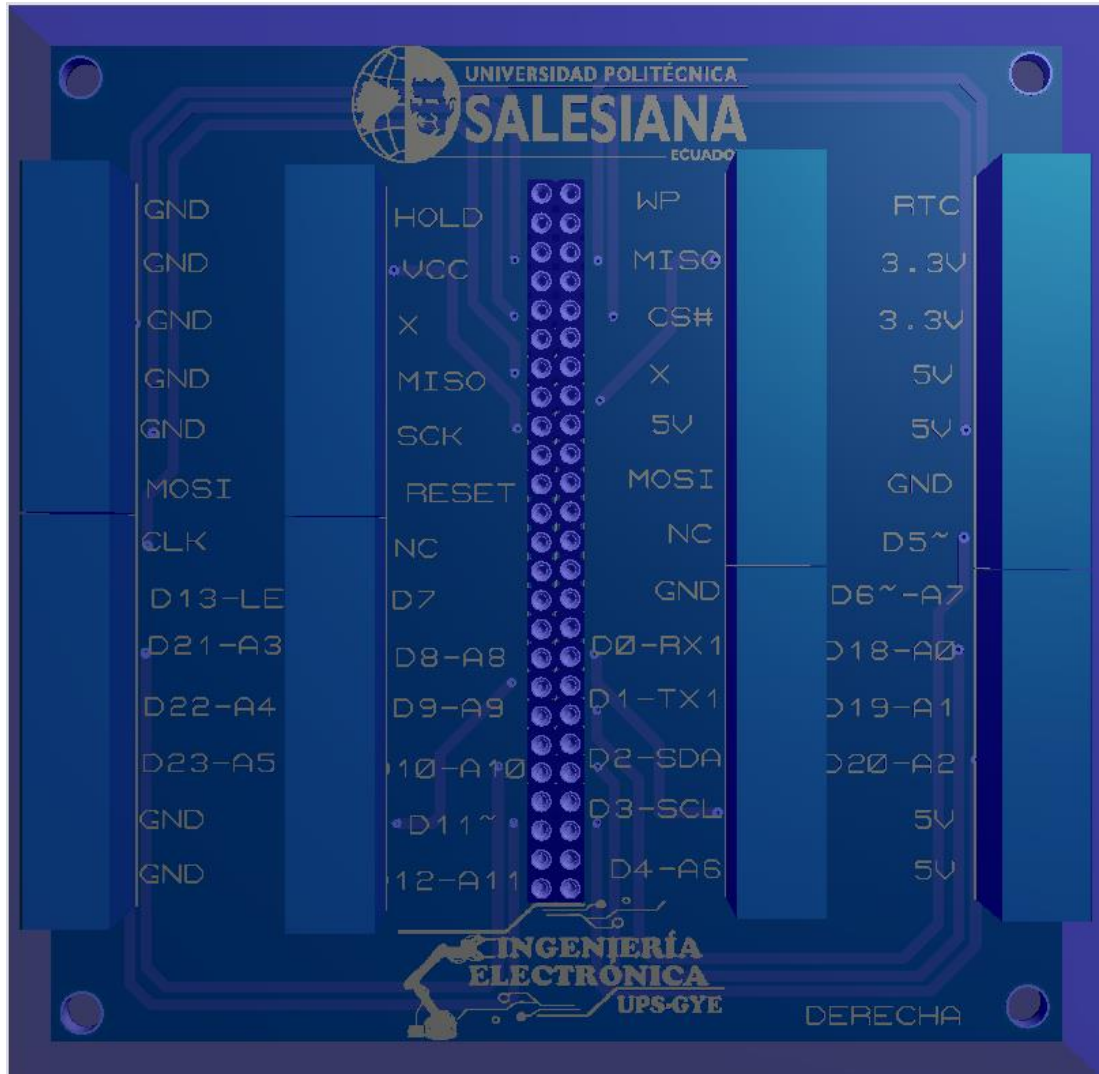


Figura 3-2 : Tarjeta de distribución.

En la figura 3-3, se detalla la conexión del bus de datos entre la lattepanda y la tarjeta de distribución.

-LATTEPANDA PUERTO 2

-TARJETA DE DISTRUBUCIÓN

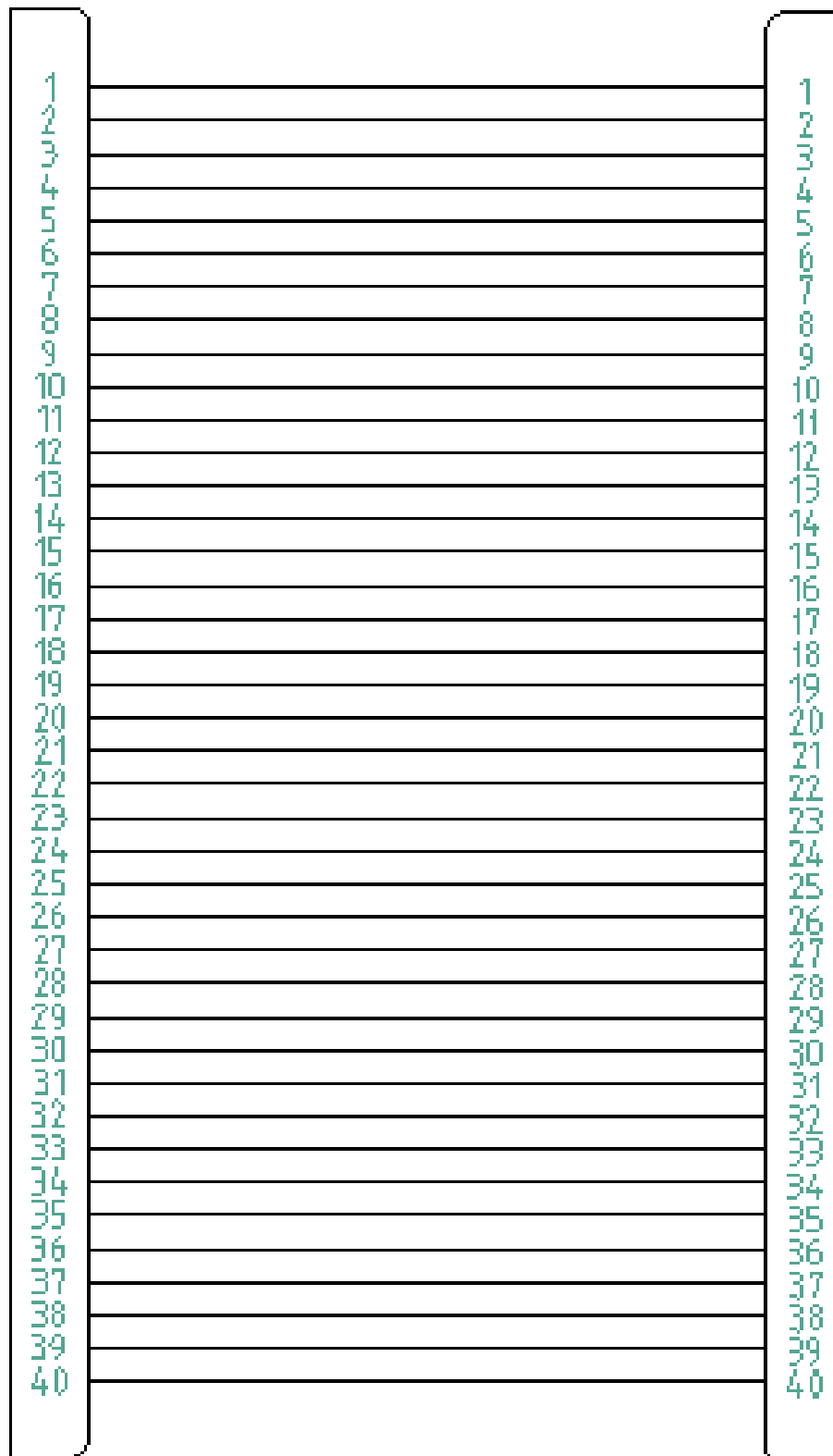


Figura 3-3 : Bus de conexión entre Lattepanda y distribución.

3.2. Dimensiones del Módulo de control.

En la figura 3-4, se muestra las dimensiones de la etapa de control o tablero principal con unas dimensiones en centímetros de en el eje x 160 cm de, en el eje y de 220cm.

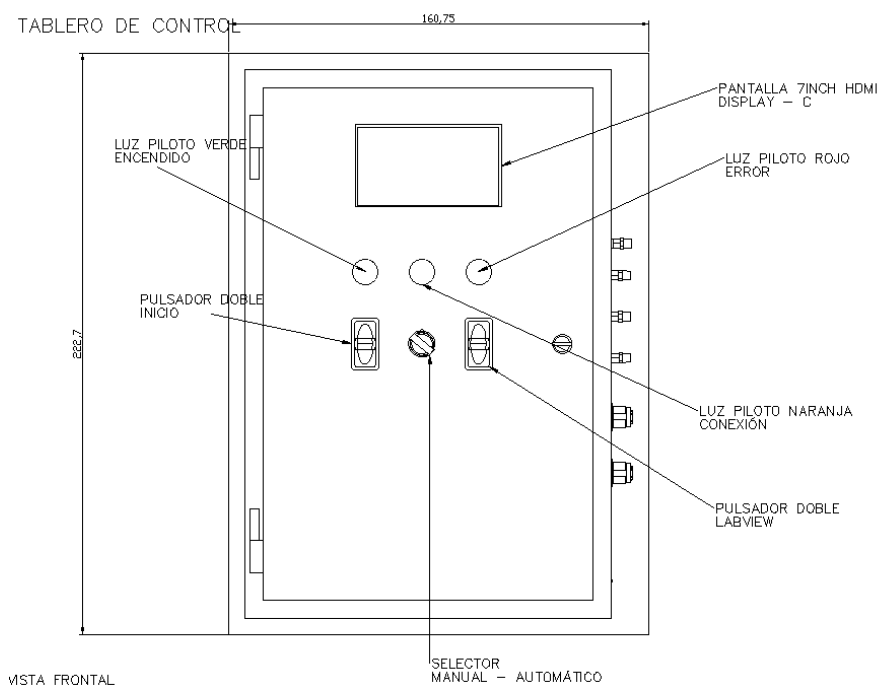


Figura 3-4 : Dimensiones del módulo de control.

3.3. Conexión entre lattepanda y tarjeta de potencia

En la figura 3-5, se muestra la conexión necesaria para el control de los motores para el proceso de movimiento de aire dentro del silo, el driver de potencia se conecta con la tarjeta de distribución

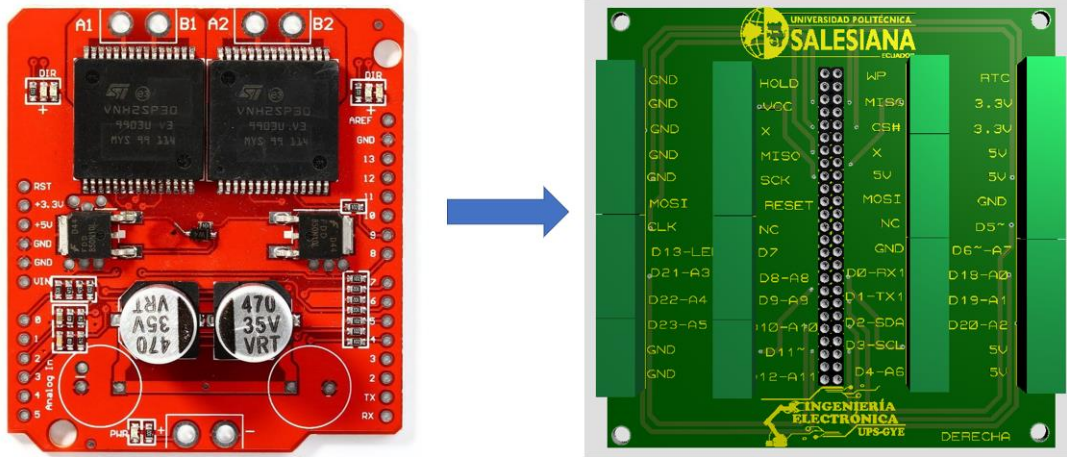


Figura 3-5 : Conexión de tarjeta de potencia con tarjeta de distribución.

En la figura 3-6, se muestra la conexión mediante el bus de comunicación entre la tarjeta de potencia y la tarjeta de distribución.

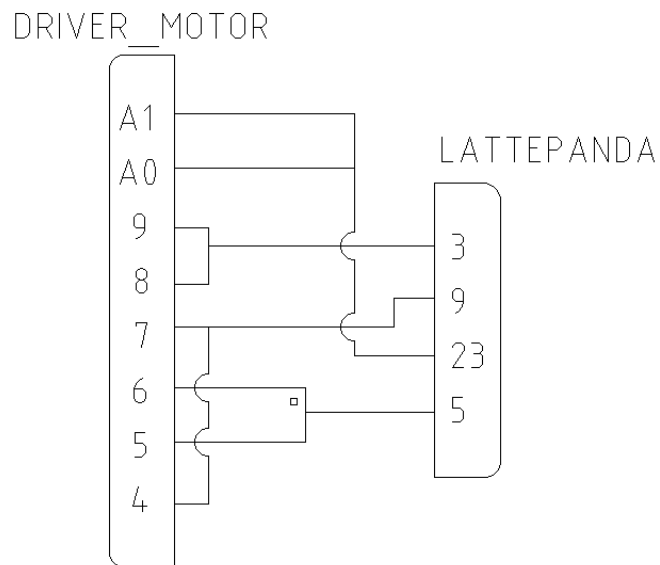


Figura 3-6 : Conexión entre driver de motor y lattepanda.

3.4. Conexión con indicadores y pulsadores

En la figura 3-7, se detalla las conexiones entre los pulsantes los cuales tendrán la función de inicio, selección del modo e inicio del programa en labview, también se tendrán 3 salidas digitales conectadas a un relay para la activación de estas las cuales serán indicadores para encendido, conexión y labview, teniendo como función lo siguiente:

Pulsador 1: Inicio de Lattepanda encendido.

Pulsador 2: Control del sistema en estado manual o automático.

Pulsador 3: Inicio del programa en labview.

Indicador 1: Indicador del encendido general del sistema de control.

Indicador 2: Indicador de la conexión serial entre la lattepanda y labview del sistema de control.

Indicador 3: Indicador del error en el caso de que algún sensor presente un defecto o una mala conexión con el control.

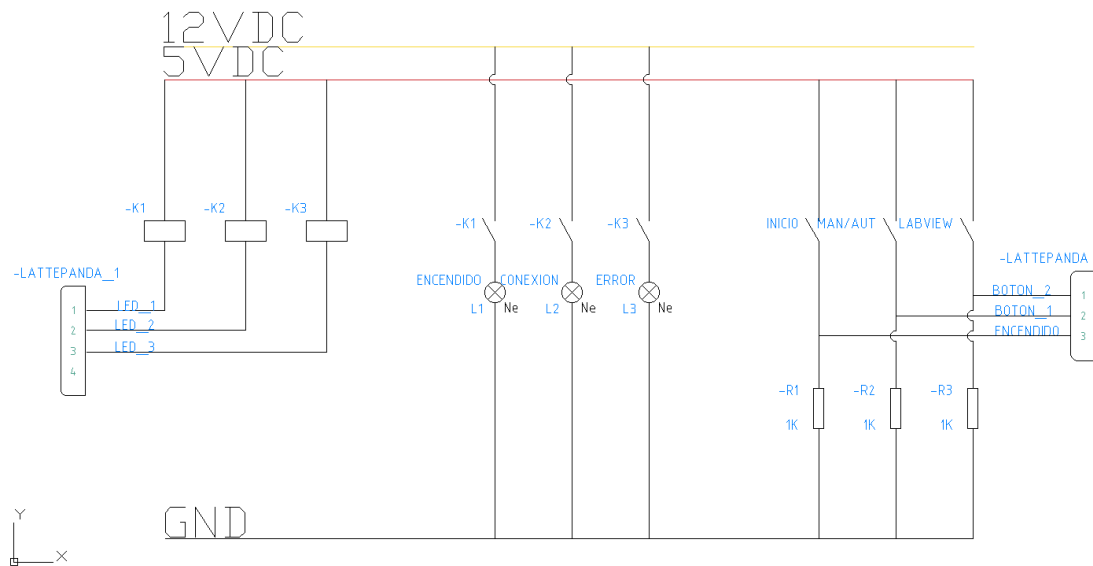


Figura 3-7 : Conexión de los pulsadores e indicadores.

Para el encendido de los indicadores se utiliza una tarjeta de relay que consta con electro acopladores, para separar los niveles de tensión del suministro de voltaje de 12 VDC con el voltaje de la lattepanda de 5 VDC como se muestra en la figura 3-8.

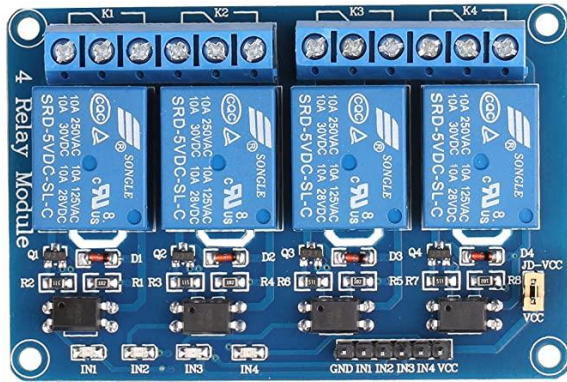


Figura 3-8 : Tarjeta relay con electro acopladores.

3.5. Borneras de distribución

El módulo consta con un arreglo conformado de borneras para cable calibre 20 para las conexiones con la alimentación de los periféricos en corriente continua con voltajes de 5 - 12 VDC y unos bornes para la parte de alimentación a los transformadores de voltaje AC a DC como se muestra en la figura 3-9.

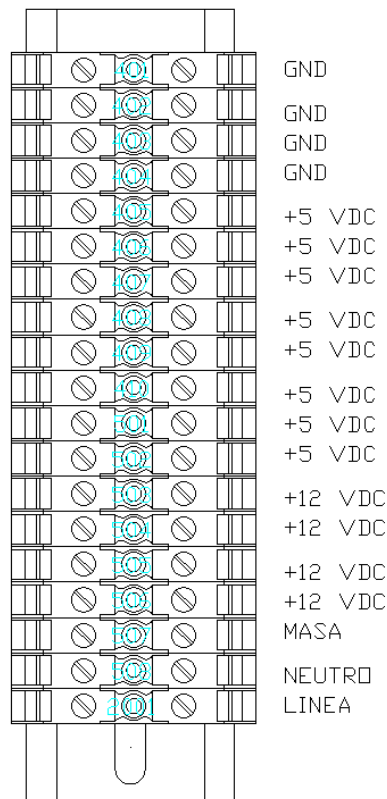


Figura 3-9 : Borneras de distribución.

3.6. Fuentes de alimentación

En la figura 3-10, se detallan las fuentes de alimentación para el sistema embebido lattepanda y una fuente conmutada de 10 amperios a 12 Voltios en corriente continua para los motores que controlaran el flujo de aire en el silo.

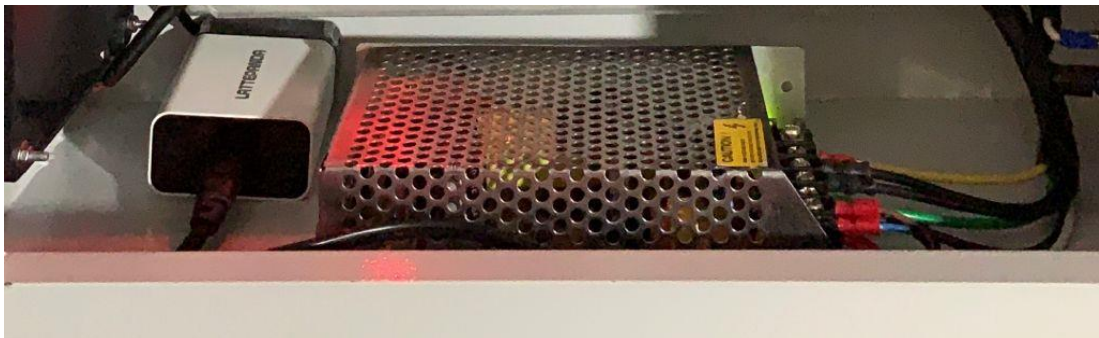


Figura 3-10 : Fuentes de alimentación.

3.7. Controlador pid

En el controlador pid que se muestra en la figura 3-11, se desarrolla mediante las herramientas de control y simulación de labview teniendo un selector el cual indicara la variable a utilizar como temperatura y humedad, con su respectiva salida que controla la salida Pwm de los motores para permitir un flujo de aire controlado en el silo.

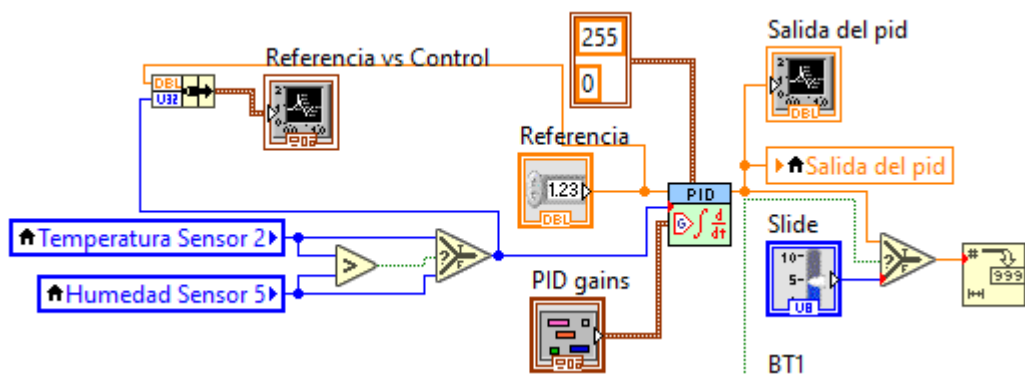


Figura 3-11 : Control pid del silo en labview.

3.8. Interfaz SCADA de la planta

En la figura 3-12, se muestra la interfaz principal donde se visualizan los valores de los sensores de humedad y temperatura, el nivel del sensor ultrasónico, estado del equipo y la trama de información.

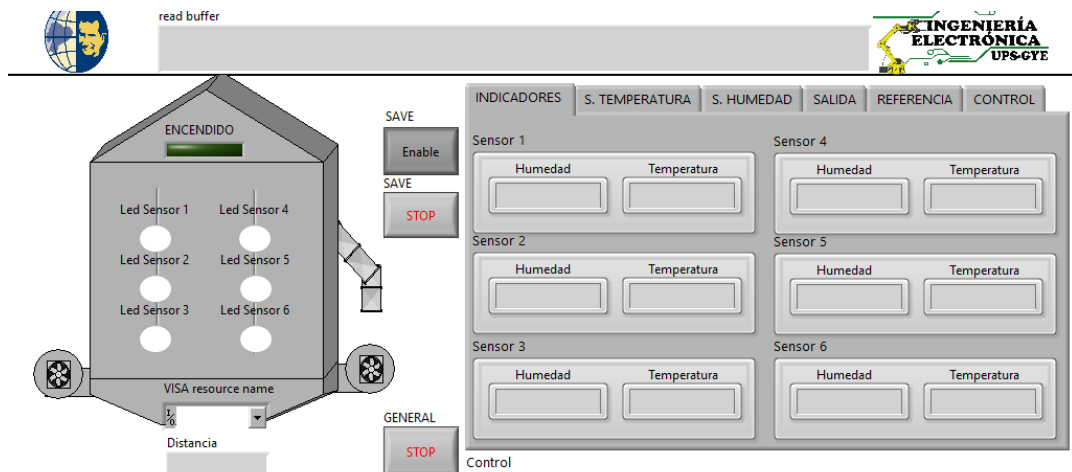


Figura 3-12 : SCADA de prototipo silo – principal.

En la figura 3-13, se muestra la interfaz secundaria donde se visualizarán las gráficas de los valores de temperatura de los 6 sensores.

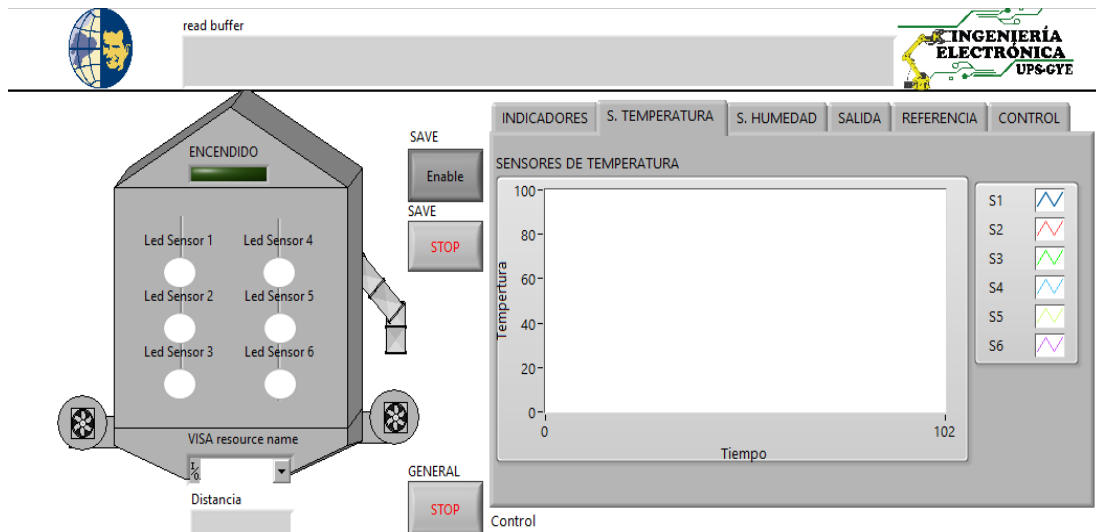


Figura 3-13 : SCADA de prototipo silo – sensores de temperatura.

En la figura 3-14 se muestra la interfaz secundaria donde se visualizarán las gráficas de los valores de humedad de los 6 sensores.

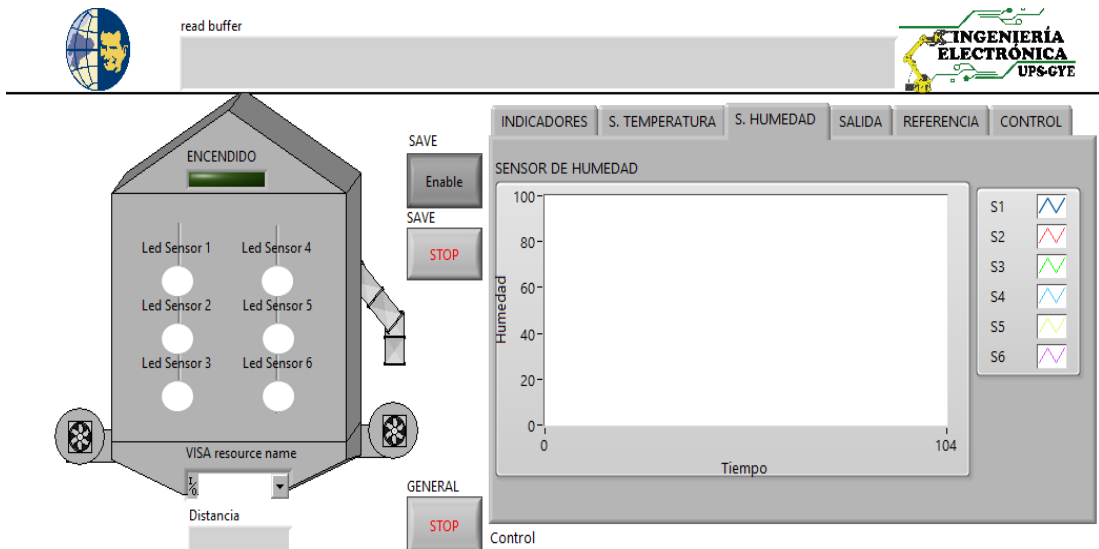


Figura 3-13 : SCADA de prototipo silo– sensores de humedad.

En la figura 3-15, se muestra la interfaz donde se visualizan los valores de salida del controlador que accionaran mediante un pulso PWM conectándose con la tarjeta de potencia para los motores.

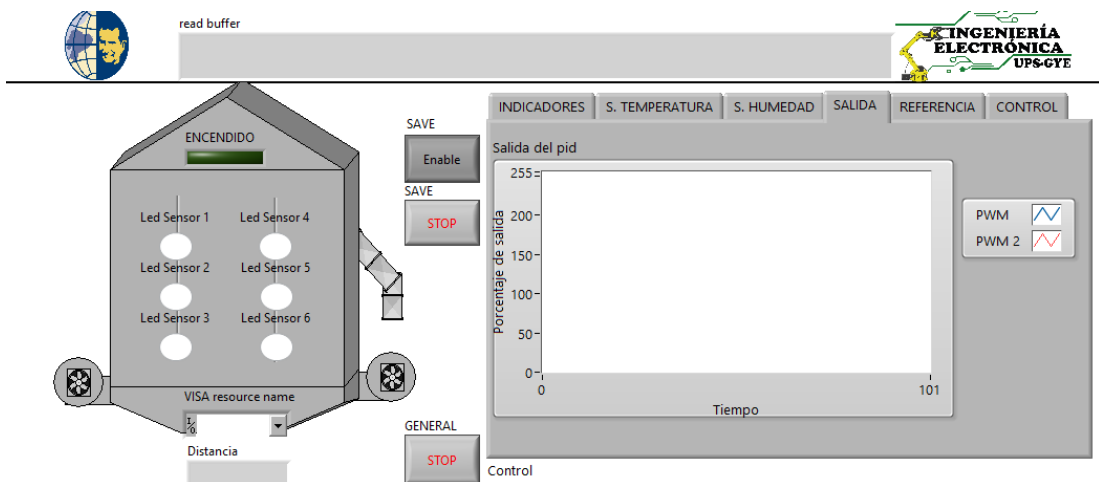


Figura 3-14 : SCADA de prototipo silo-salida del controlador.

En la figura 3-16, se muestra la interfaz donde se visualizan los valores de referencia y la variable actual de los sensores.

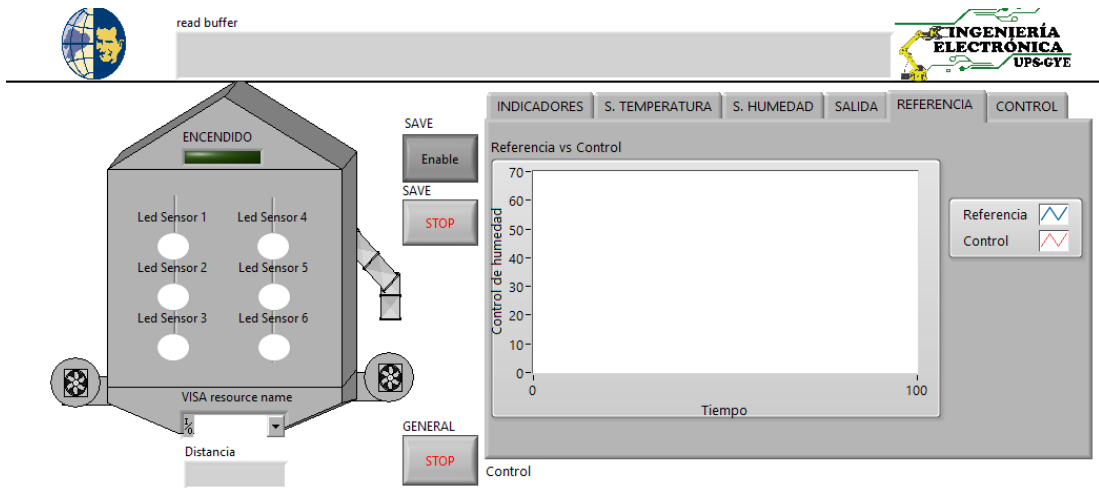


Figura 3-15 : SCADA de prototipo silo.

3.9. Comunicación con plataforma Ubidots

En el bloque de diagrama de labview se utilizan las librerías http permitiendo conectar a una dirección del servidor Ubidots **thing.ubidots**, con su respectiva llave de acceso y enviándoles a través de un bloque de escritura para su publicación en la dirección del servidor como se muestra en la figura 3-17.

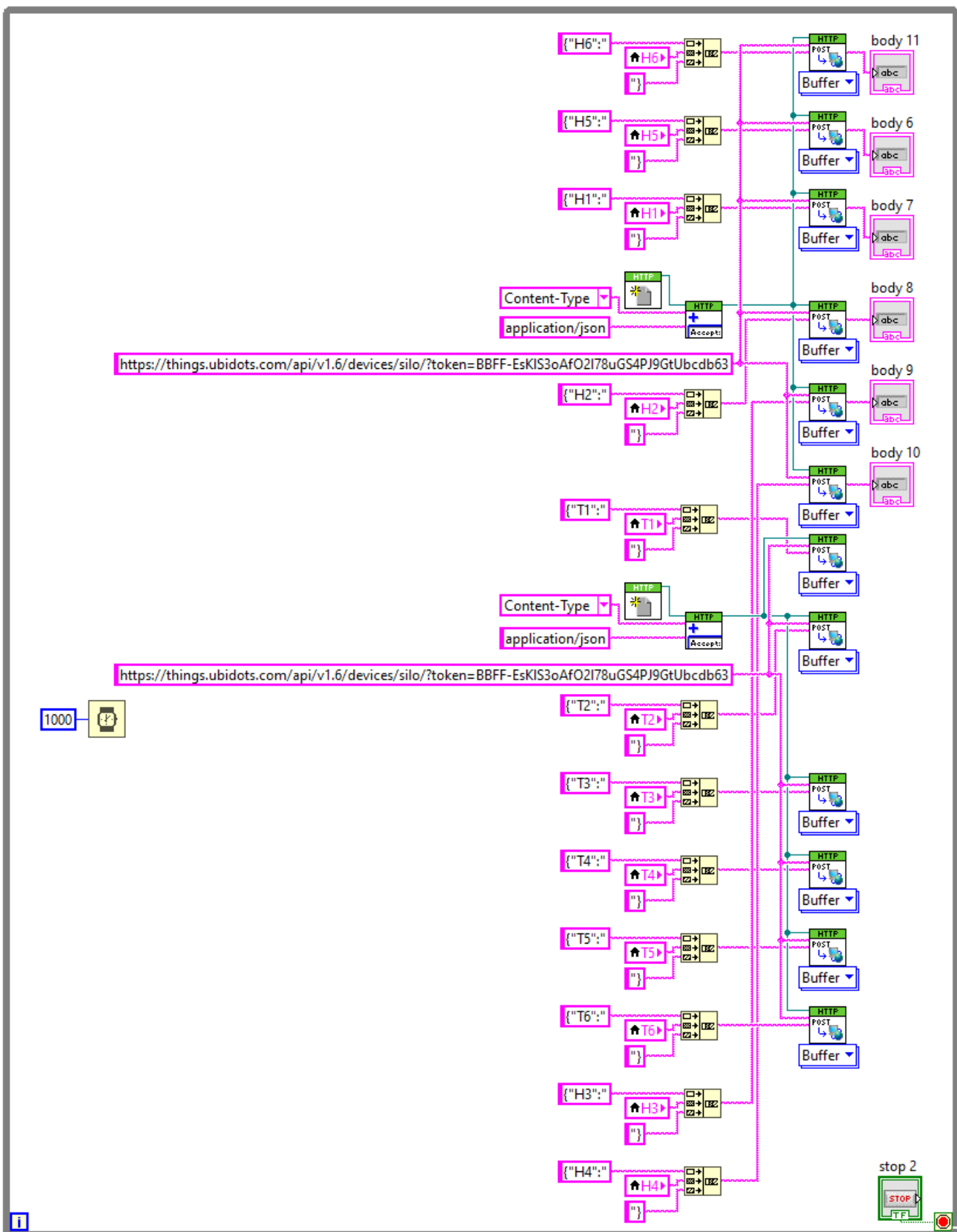


Figura 3-16 : Conexión con Ubidots.

4. Resultados

4.1. Trama de información para sensores

Para la comunicación entre la lattepanda y labview, se utilizó una interfaz mediante comunicación serial entre el microcontrolador teniendo como interfaz una trama la que se detalla en la figura 4-1.

```
//HUMEDAD A1 - TEMPERATURA A2
Serial.print("A1"); Serial.print(h1); Serial.print("A2"); Serial.print(t1);
//HUMEDAD B1 - TEMPERATURA B2
Serial.print("B1"); Serial.print(h2); Serial.print("B2"); Serial.print(t2);
//HUMEDAD C1 - TEMPERATURA C2
Serial.print("C1"); Serial.print(h3); Serial.print("C2"); Serial.print(t3);
//HUMEDAD D1 - TEMPERATURA D2
Serial.print("D1"); Serial.print(h4); Serial.print("D2"); Serial.print(t4);
//HUMEDAD E1 - TEMPERATURA E2
Serial.print("E1"); Serial.print(h5); Serial.print("E2"); Serial.print(t5);
//HUMEDAD F1 - TEMPERATURA F2
Serial.print("F1"); Serial.print(h6); Serial.print("F2"); Serial.print(t6);
//DISTANCIA
distancia = ultrasonido(); Serial.print("G1"); Serial.print(distancia);
//BOTONES
Serial.print("H1"); Serial.print(digitalRead(boton_1));

Serial.print("I1"); Serial.println(digitalRead(boton_2));
```

Figura 4-1 : Trama de información del microcontrolador.

Donde:

- A1: es el valor de humedad del sensor 1
- A2: es el valor de temperatura del sensor 1
- B1: es el valor de humedad del sensor 2
- B2: es el valor de temperatura del sensor 2
- C1: es el valor de humedad del sensor 3
- C2: es el valor de temperatura del sensor 3
- D1: es el valor de humedad del sensor 4
- D2: es el valor de temperatura del sensor 4
- E1: es el valor de humedad del sensor 5
- E2: es el valor de temperatura del sensor 5
- F1: es el valor de humedad del sensor 6

- F2: es el valor de temperatura del sensor 6
- G1: es el valor de distancia del ultrasonido
- H1: es el valor de la lectura digital del botón 1
- I1: es el valor de la lectura digital del botón 2

4.2. Análisis de trama en labview

En el programa de instrumentación virtual labview mediante la librería visa que permite la interacción con dispositivos conectados de manera serial se conecta a la lattepanda con un puente serial incluido en este sistema embebido.

En la figura 4-2 se detalla los bloques necesarios para la interacción entre estos dispositivos, en cada iteración del programa se procede a realizar una comparación del buffer serial en el momento que no se encuentre vacío, posteriormente se enlaza con un sub vi denominado trama (véase en anexo sub vi trama), el cual tiene como objetivo separar los datos del conjunto de caracteres para que se visualicen en los indicadores, también es necesario un sub vi que convierta los datos clúster a valores numéricos requeridos en el proceso para la ejecución del pid de temperatura y humedad en el silo.

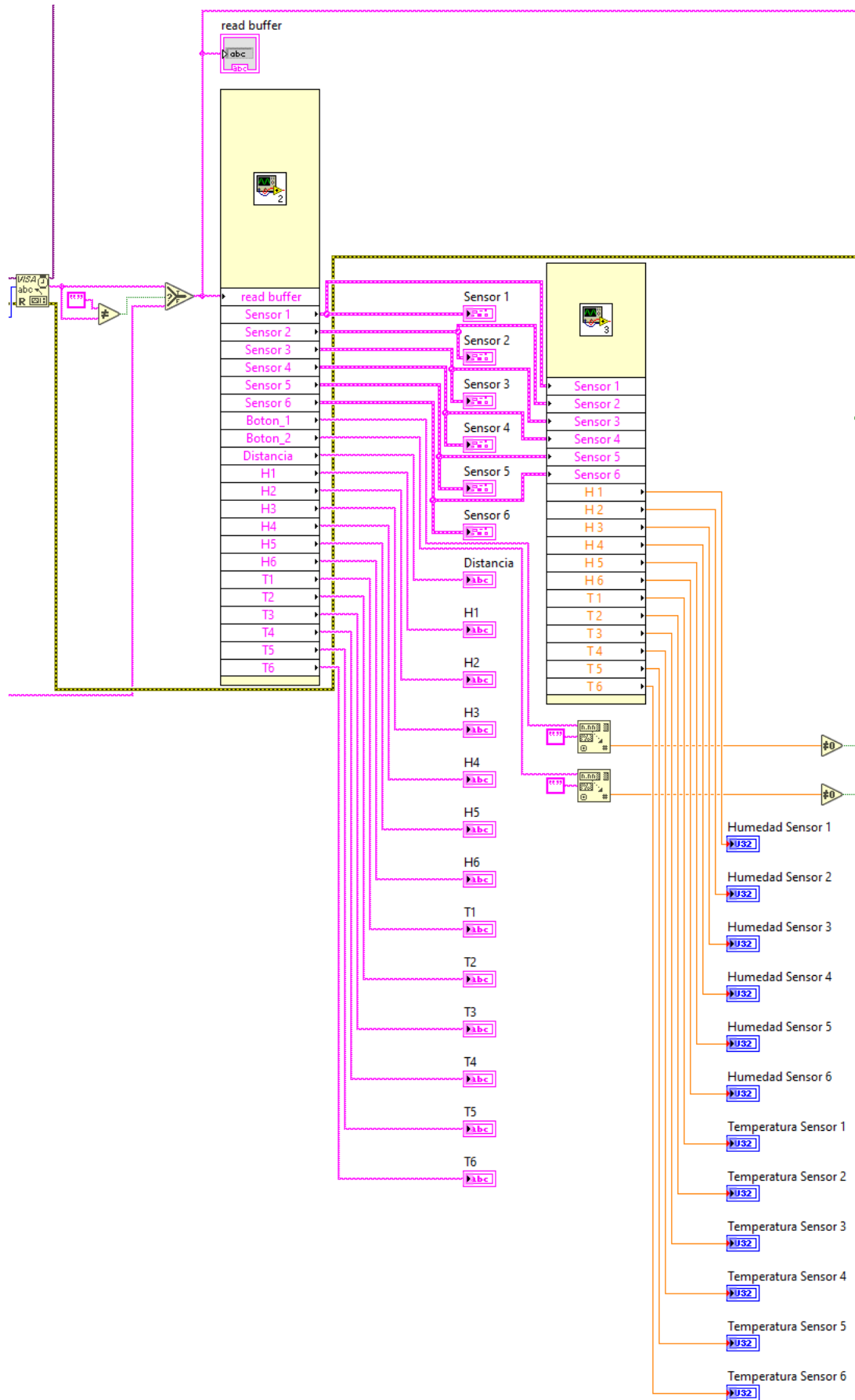


Figura 4-2 : Análisis de trama en labview.

4.3. Análisis del control en lazo abierto

Para la obtención de los valores del controlador pid es necesario un análisis en control en lazo abierto, consiste en la toma de datos a partir de un punto de reposo y realizar un paso enviando a su salida el máximo valor, guardando los datos en un Excel, teniendo como resultante la gráfica de la figura 4-3.

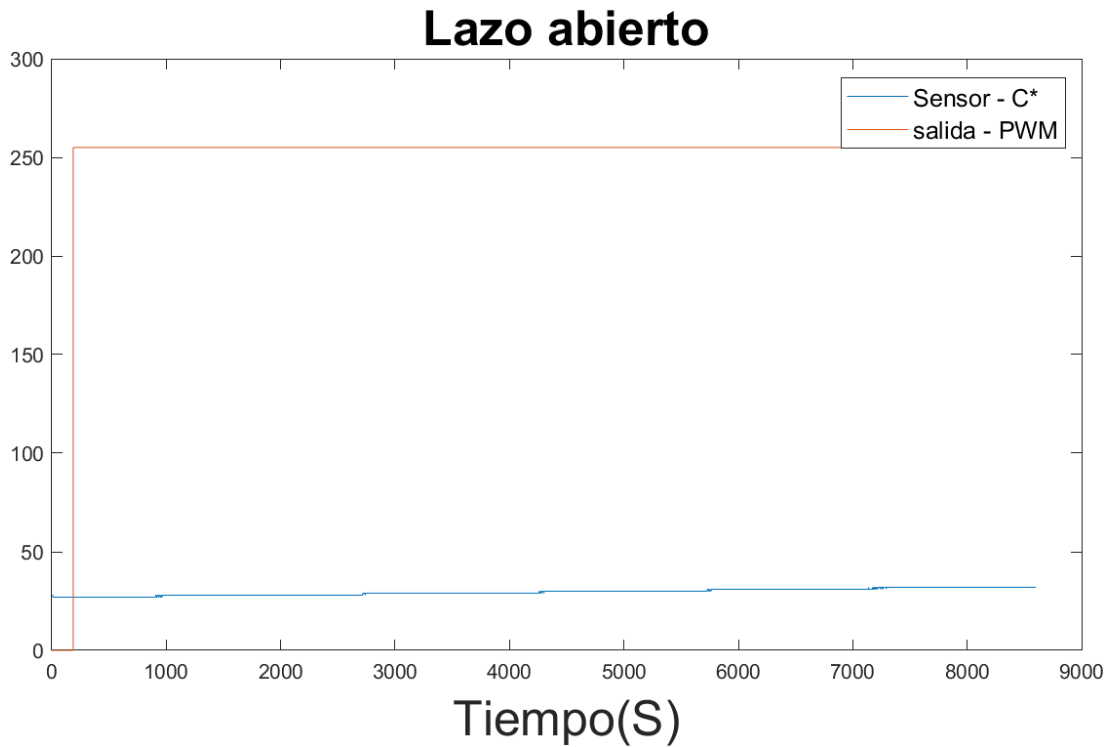


Figura 4-3 : Análisis en lazo abierto de la señal del sensor de temperatura y salida.

Se procede a ejecutar la herramienta de identificación de sistemas de Matlab donde se llama las variables del análisis como se muestra en la figura 4-4.

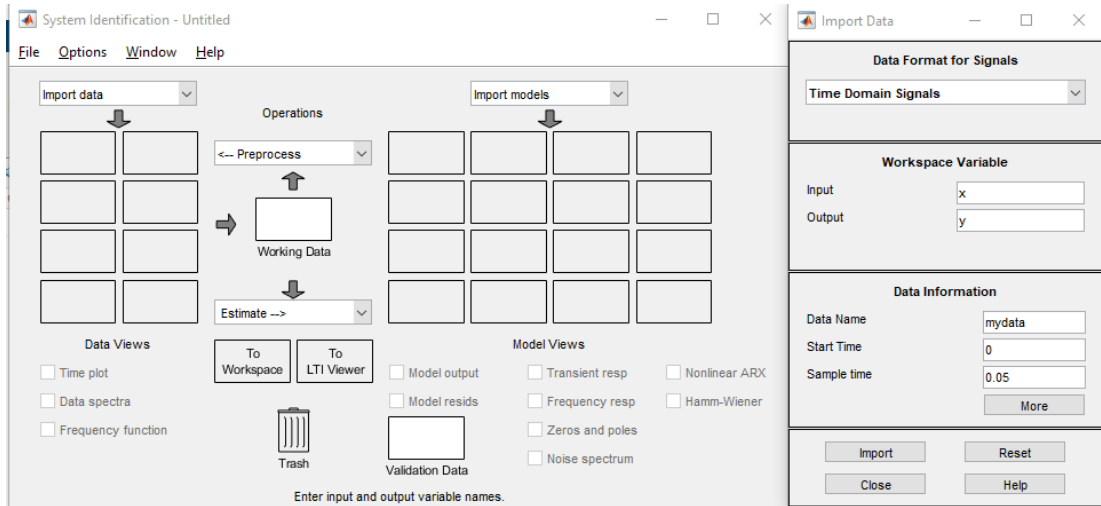


Figura 4-4 : Herramienta de identificación de sistemas.

En la figura 4-5, se detalla la gráfica de los valores de entrada y salida en el sistema de identificación de sistemas.

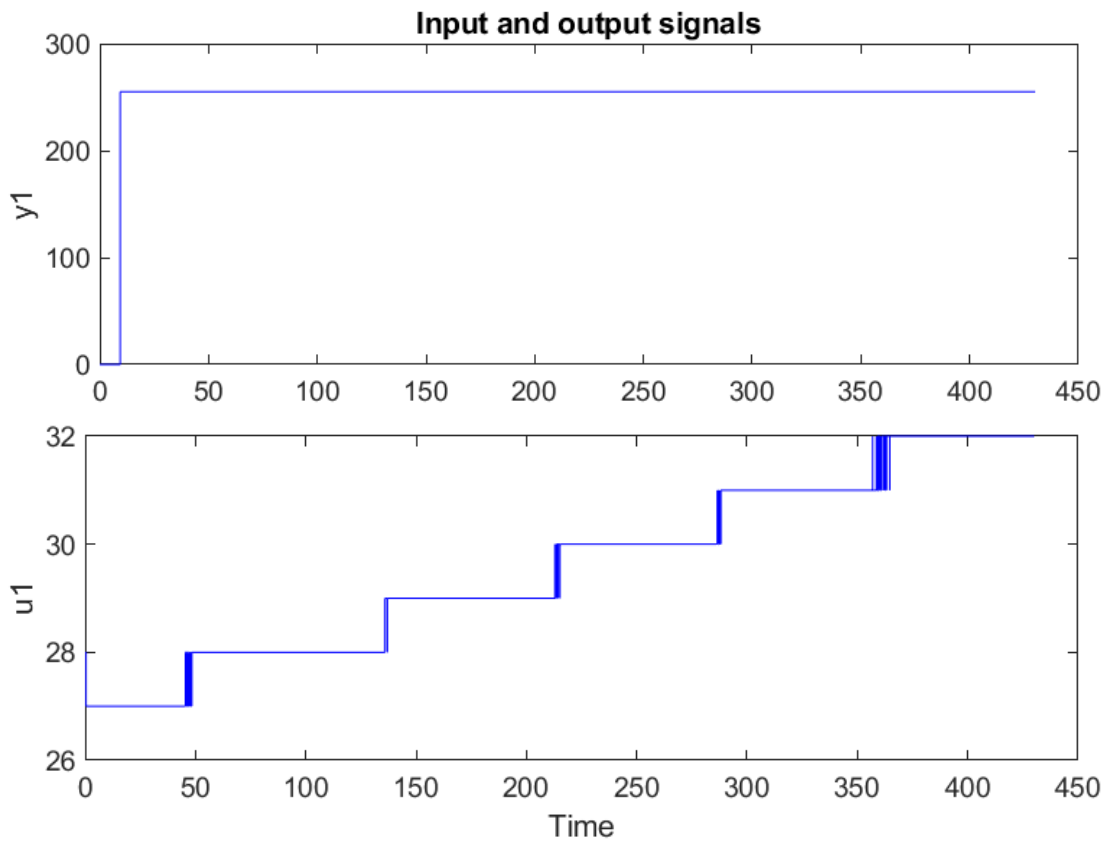


Figura 4-5 : Gráfica de entrada y salida en el identificador de sistemas.

En la figura 4-6, se muestra la ventana para la obtención del proceso del modelo teniendo como datos la entrada y salida, configurando el número de polos, ceros, retardos e integradores.

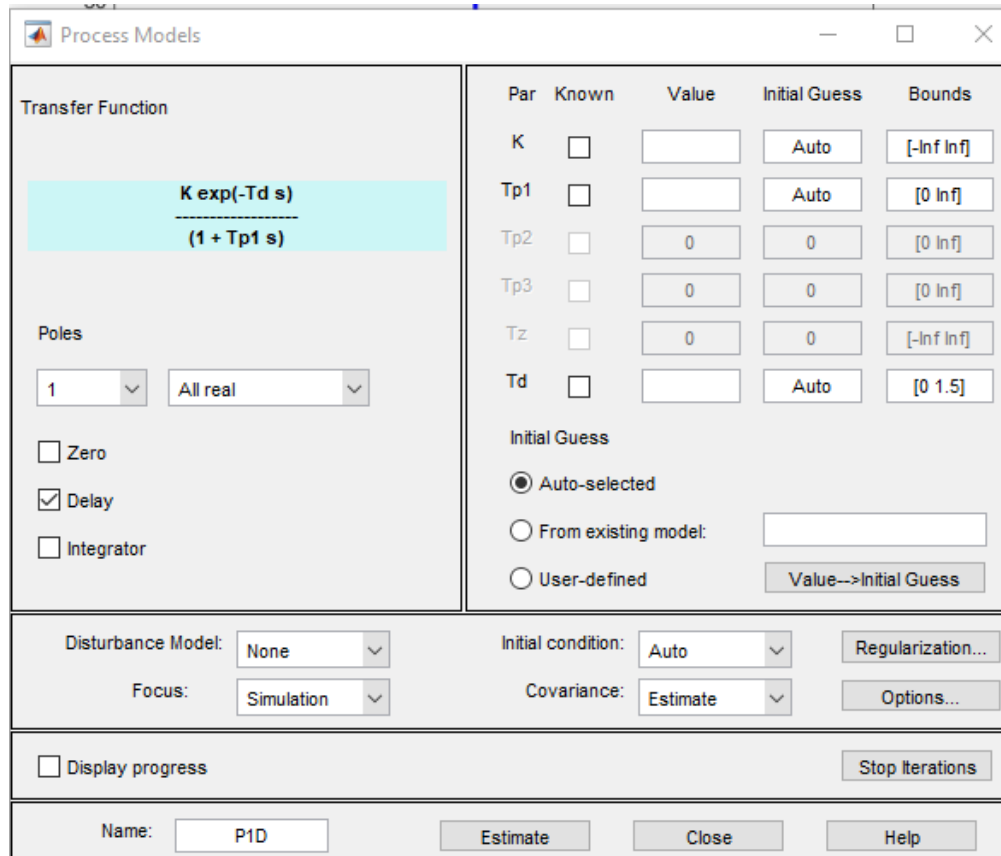


Figura 4-6 : Herramienta para encontrar la variable de procesos.

En la figura 4-7 se muestra las pruebas con el identificador de sistemas usando el modelo de proceso con diferentes combinaciones dando como resultado que el valor más alto de es aplicando 2 polos un retardo y un cero.

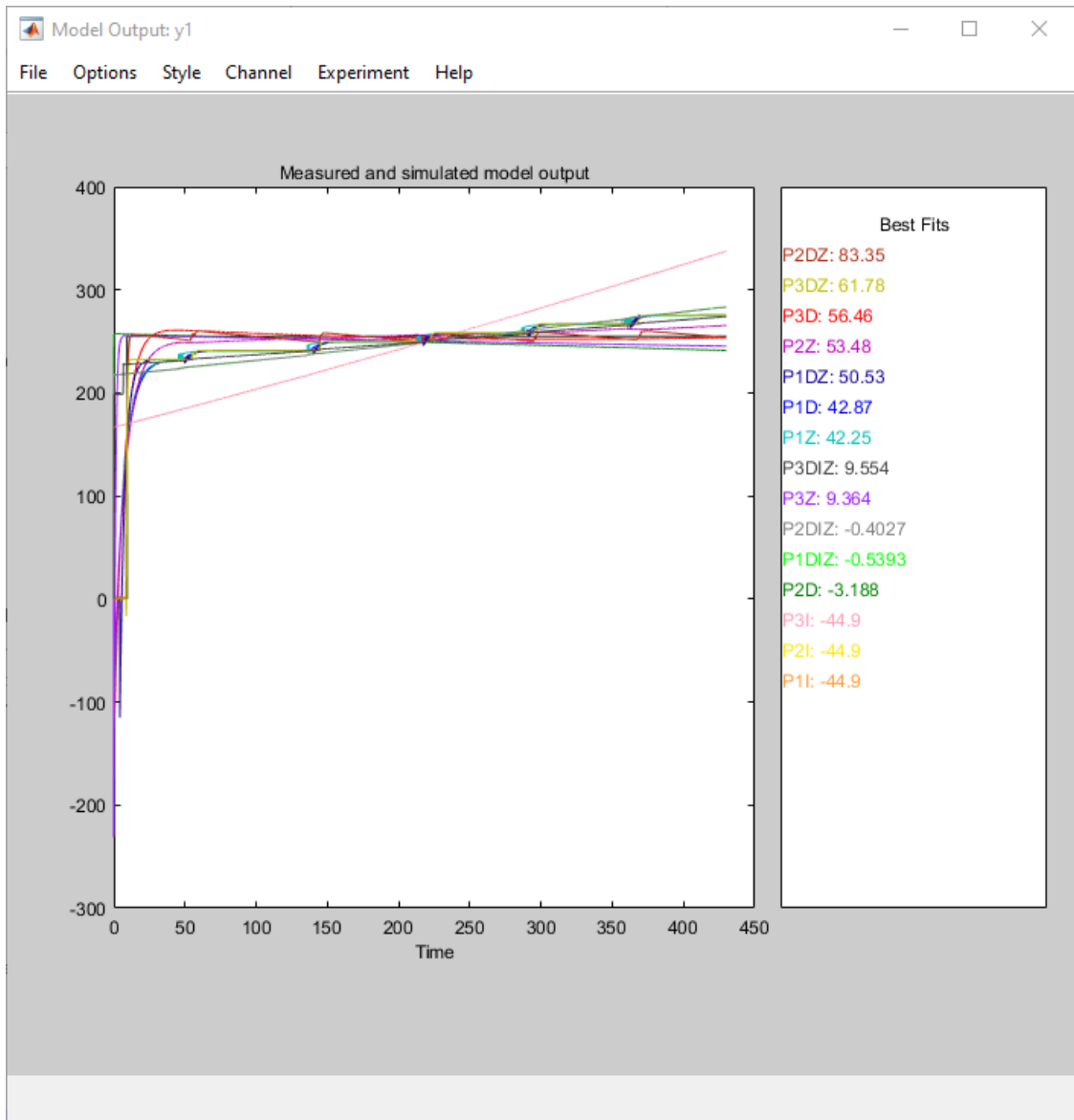


Figura 4-7 : Gráfica de validación del porcentaje de exactitud.

En la figura 4-8, se muestra la función de transferencia obtenida mediante el comando **tf(P2DZ)**.

```
>> H1=tf(P2DZ)

H1 =

From input "u1" to output "y1":
          9457 s + 4.577
exp(-8.57*s) * -----
          675.6 s^2 + 998.1 s + 1

Name: P2DZ
Continuous-time transfer function.
```

Figura 4-8 : Función de transferencia.

En la figura 4-9, se muestra que al obtener la función de transferencia se usa la herramienta de auto tune para el cálculo de las ganancias de proporcional integral y derivativo que se muestran en la figura 4-10.

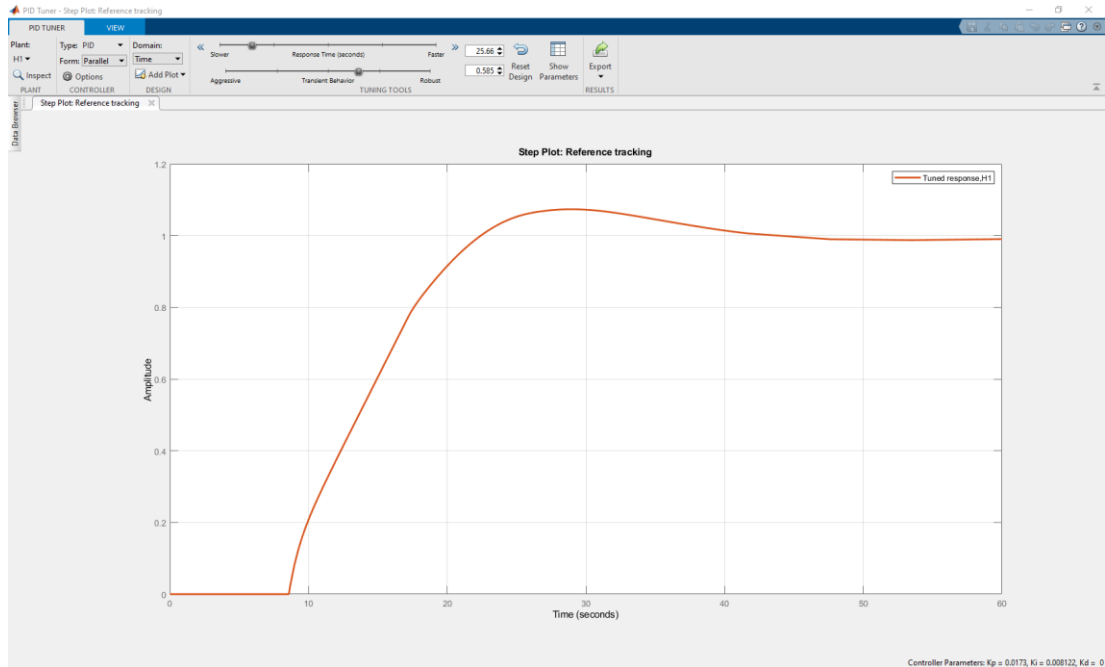


Figura 4-9 : Herramienta de auto tune pid.

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	0.017302
Ki	0.0081216
Kd	0
Tf	n/a
Performance and Robustness	
	Tuned
Rise time	10.5 seconds
Settling time	38.9 seconds
Overshoot	7.34 %
Peak	1.07
Gain margin	8.25 dB @ 0.217 rad/s
Phase margin	58.5 deg @ 0.0779 rad/s
Closed-loop stability	Stable

Figura 4-10 : Valores de ganancias.

4.4. Graficas de estabilización de controlador de temperatura

En la gráfica 4-11, se detalla el resultado del controlador de temperatura en 30 grados Celsius teniendo una temperatura ambiente de 35 grados Celsius, donde se controló el flujo de aire utilizando un arroz con cascara en el silo mediante cambio de temperatura.

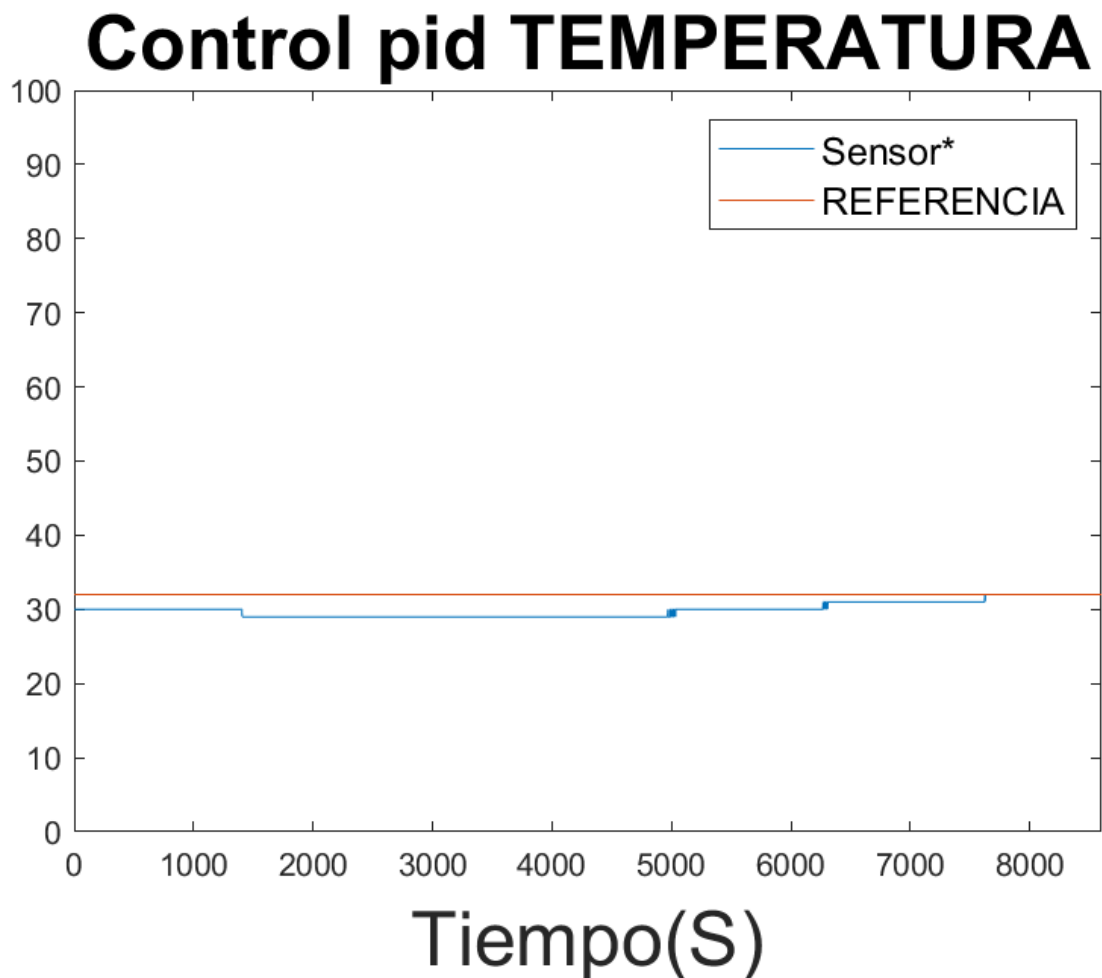


Figura 4-11 : Resultados del control de temperatura.

4.5. Graficas de estabilización de controlador de humedad

En la gráfica 4-12, se detalla el resultado del controlador de humedad con un porcentaje de en 60% en ambiente teniendo una humedad ambiente de 58%, donde se controló el flujo de aire utilizando un arroz con cascara en el silo mediante cambio de humedad

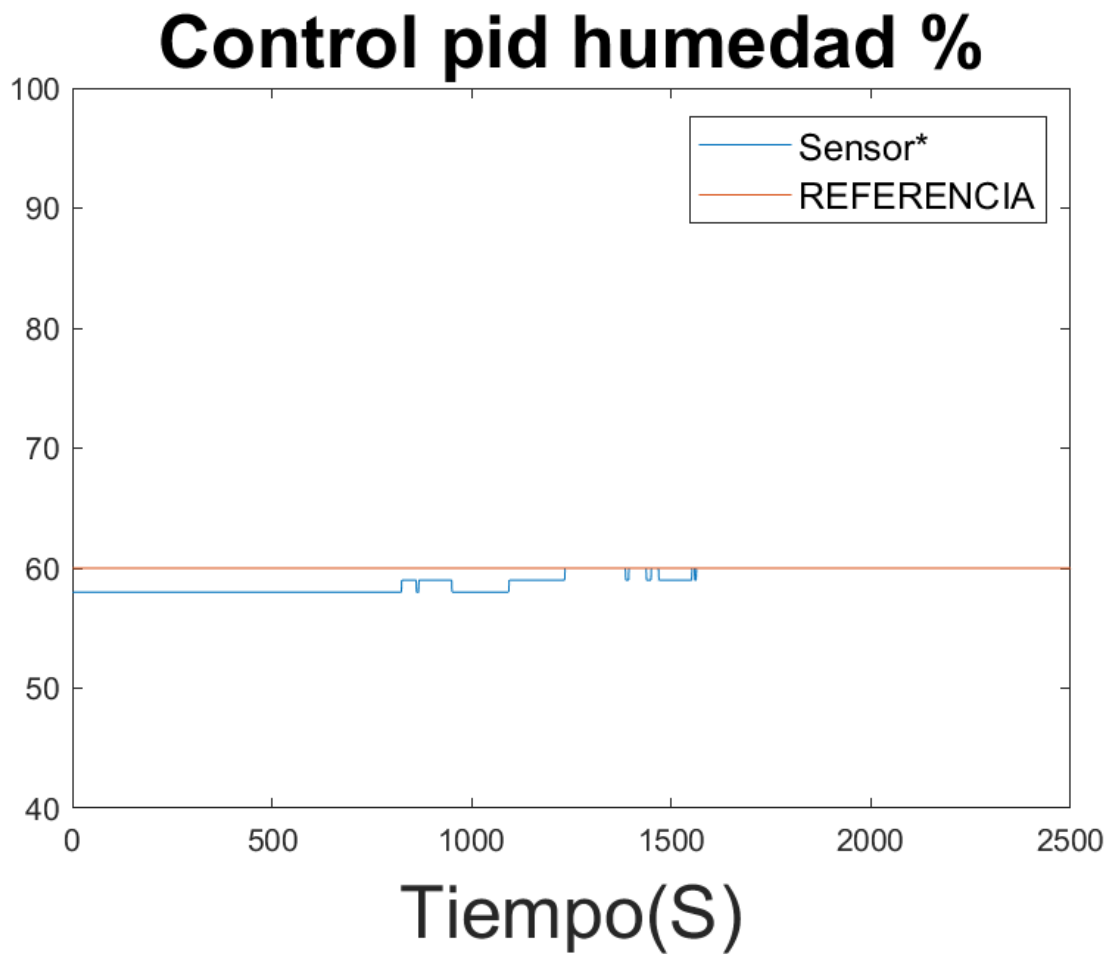


Figura 4-12 : Resultados del control de humedad.

4.6. Diseño y elaboración de los elementos del módulo didáctico de redes industriales

El presente proyecto consta con las respectivas marquillas en la caja de control conectando los diferentes periféricos mediante cables categoría 22 AWG dentro de la canales o rieles como se muestra en la figura 4-13.

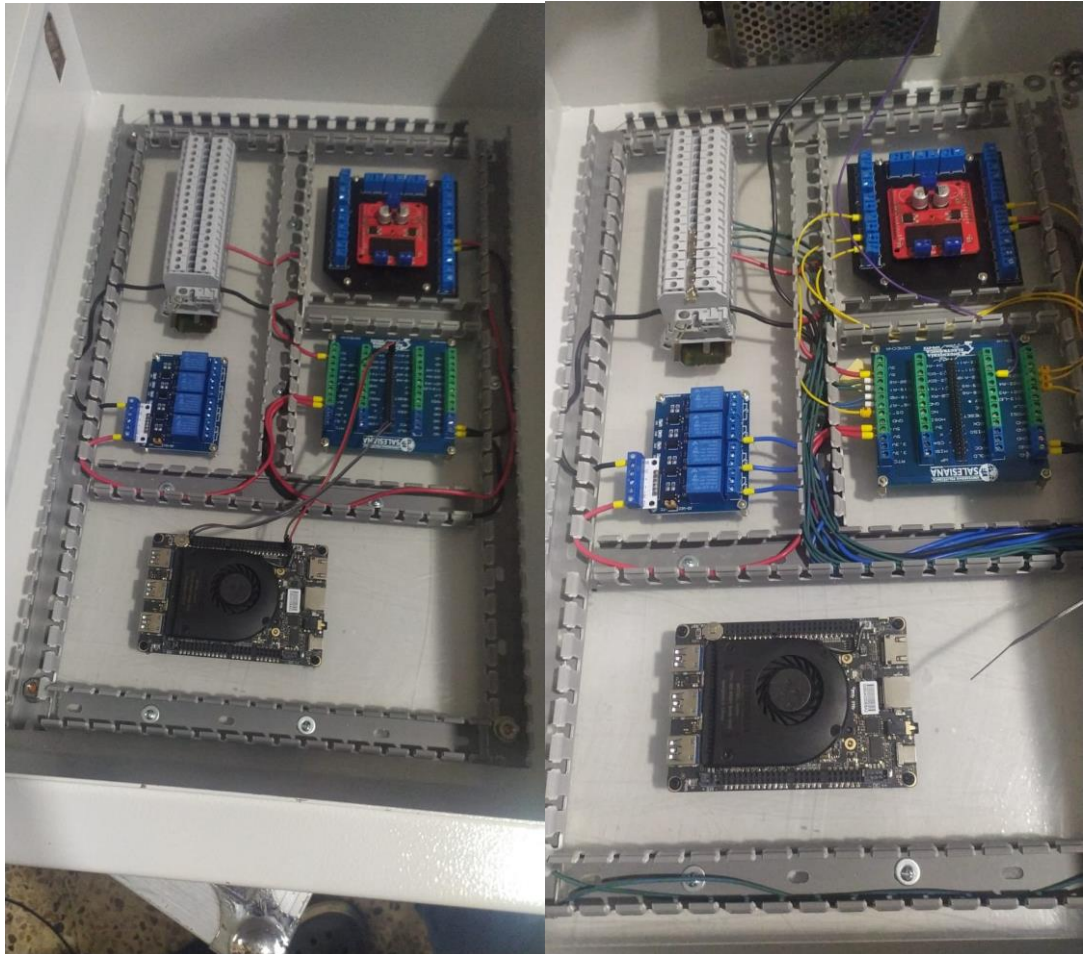
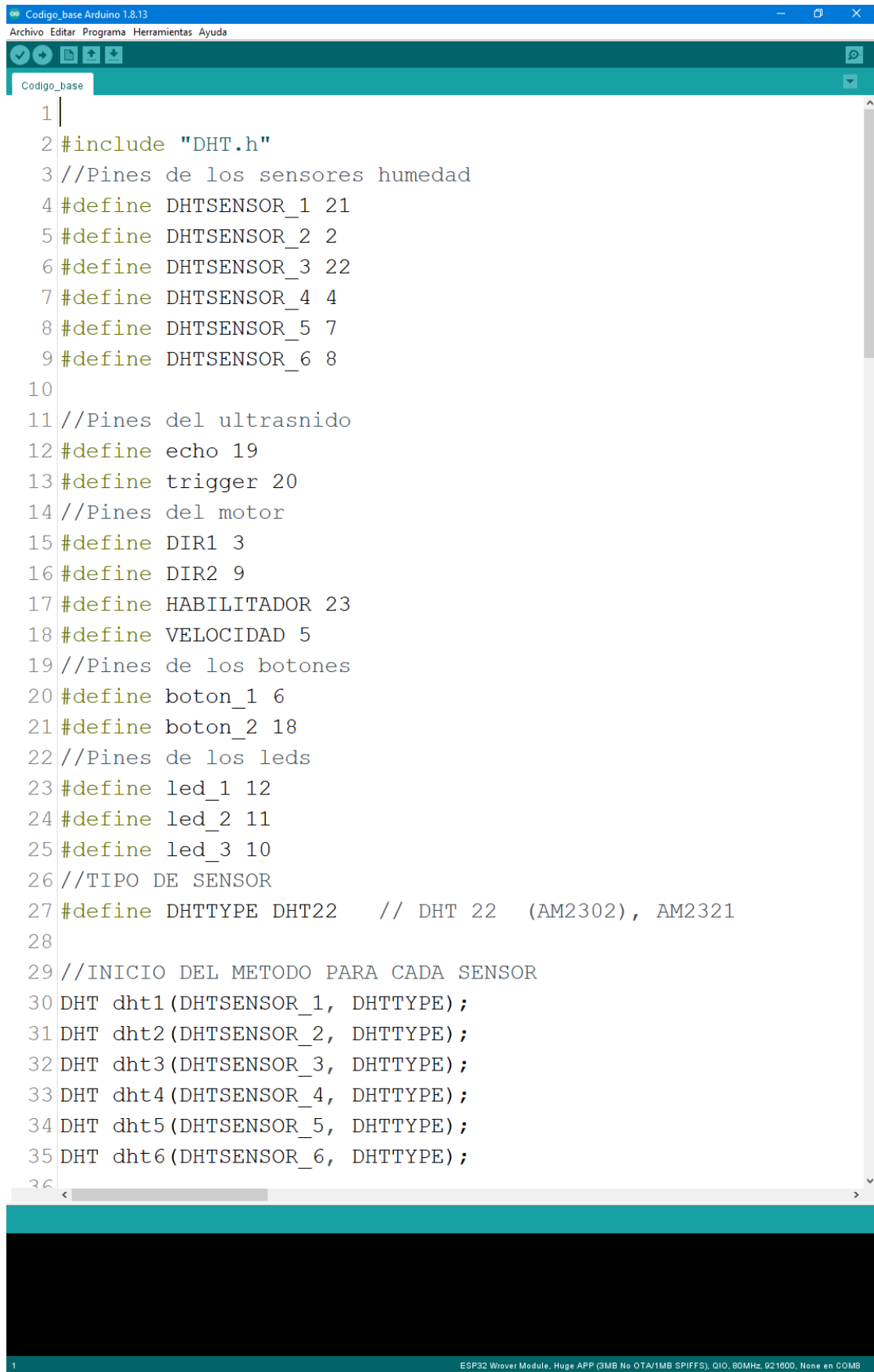


Figura 4-13 : Conexiones y etiquetas de los elementos.

4.7. Elaboración de la programación en lattepanda

Para la elaboración de la programación es necesario el ide de arduino que se muestra en la figura 4-14, teniendo como tarjeta la arduino leonardo que es compatible con el Atmega 32ua en conjunto con el programa Labview comunicándose a través de un puerto serial para la trama de información entre la lectura de los periféricos y la planta de procesos o silo.

The image shows a screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar reads "Codigo_base Arduino 1.8.13". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". The toolbar contains icons for saving, opening, and running. The main editor window, titled "Codigo_base", displays the following code:

```
1 |
2 #include "DHT.h"
3 //Pines de los sensores humedad
4 #define DHTSENSOR_1 21
5 #define DHTSENSOR_2 2
6 #define DHTSENSOR_3 22
7 #define DHTSENSOR_4 4
8 #define DHTSENSOR_5 7
9 #define DHTSENSOR_6 8
10
11 //Pines del ultrasnido
12 #define echo 19
13 #define trigger 20
14 //Pines del motor
15 #define DIR1 3
16 #define DIR2 9
17 #define HABILITADOR 23
18 #define VELOCIDAD 5
19 //Pines de los botones
20 #define boton_1 6
21 #define boton_2 18
22 //Pines de los leds
23 #define led_1 12
24 #define led_2 11
25 #define led_3 10
26 //TIPO DE SENSOR
27 #define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
28
29 //INICIO DEL METODO PARA CADA SENSOR
30 DHT dht1(DHTSENSOR_1, DHTTYPE);
31 DHT dht2(DHTSENSOR_2, DHTTYPE);
32 DHT dht3(DHTSENSOR_3, DHTTYPE);
33 DHT dht4(DHTSENSOR_4, DHTTYPE);
34 DHT dht5(DHTSENSOR_5, DHTTYPE);
35 DHT dht6(DHTSENSOR_6, DHTTYPE);
36
```

The status bar at the bottom indicates the board is "ESP32 Wrover Module, Huge APP (3MB No OTA/1MB SPIFFS), Q10, 80MHz, 021600, None en COM8".

Figura 4-14 : Elaboración de la programación.

CONCLUSIONES

- En el desarrollo del módulo de control se toma la capacidad del procesador del sistema embebido lattepanda para la creación del aplicativo de supervisión de los valores de temperatura y humedad.
- En el análisis de lazo abierto de la planta, ejecutando el labview se adquiere los valores de temperatura y humedad en un archivo Excel permitiendo la importación de los valores a Matlab que con la herramienta de identificación de sistema se obtendrá la función de transferencia para el controlador pid.
- Para el análisis de los valores de las señales digitales y analógicas se toma en cuenta una programación por sectores, el sector primario encargado de la obtención de los valores de datos y el sector secundario encargado de la implementación del controlador pid.
- Para el desempeño del sistema se optó por el sistema embebido lattepanda por su versatilidad al momento de trabajos continuos en el área de la automatización.

RECOMENDACIONES

- Seguir las indicaciones de las conexiones con sus respectivas marcas y serigrafías.
- En el manejo de la plataforma Ubidots tener en cuenta el límite de datos a manejar en cada ejecución.
- El módulo consta de un fusible revisar el estado previamente a su encendido.
- Se recomienda que al momento de realizar las pruebas estar en un lugar donde se tenga acceso a luz solar.
- Realizar pruebas con controladores neuronales para comparaciones con el control pid.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Arcentales Sánchez Malik Josué, A. M. (2018). *Diseño e implementación de un prototipo de robot móvil autoguiado controlado por un autómata programable*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16008>
- Arduino. (2008). *Arduino*. Obtenido de [arduino.c: https://arduino.cl/arduino-leonardo/](https://arduino.cl/arduino-leonardo/)
- Astrom, K. J. (1995). *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. ISA; Edición: Second Edition.
- AULA 21. (2018). *Centro de formación técnica para la industria*. Obtenido de <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-scada/>
- Benavides, K. R. (2017). *Locomoción de Robot Móvil*.
- Camsco. (2020). Obtenido de <https://www.camsco.com.tw/spa/control-components/control-components-pilot-light-ad16-22ds-led-type.html>
- Carpio, D. (agosto de 2018). *Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana / Tesis / Grado*. Obtenido de *Diseño e implementación de un control Pid con ganancias programadas utilizando un sistema embebido launchpad mps430 para planta balón y viga* .: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16006>
- Castaño, S. (2015). *Control Automatico Educacion*. Recuperado el 1 de Enero de 2021, de <https://controlautomaticoeducacion.com/control-realimentado/control-pid-accion-proporcional/>
- DfRobot. (2017). *DFROBOT*. Obtenido de [dfrobot.com: https://www.dfrobot.com/product-1585.html](https://www.dfrobot.com/product-1585.html)
- Dpto. de Automatización y Control Industrial. (2018). Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2/PARTE%202.pdf>
- *Electrónica Lugo*. (2016). Recuperado el 23 de enero de 2021, de <https://electronicalugo.com/sensor-de-humedad-tipos-y-principio-de-funcionamiento/#:~:text=Los%20sensores%20de%20humedad%20tambi%C3%A9n,de%20humedad%20con%20conductividad%20t%C3%A9rmica>.
- *Electrónica Lugo*. (2016). Recuperado el 23 de enero de 2021, de <https://electronicalugo.com/sensor-de-humedad-tipos-y-principio-de->

- Lattepanda. (2018). *Lattepanda*. Obtenido de Hardware Interface and Playability¶: http://docs.lattepanda.com/content/alpha_edition/io_playability/
- Mario ALberto, A. P. (2007). *Repositorio Universidad Nacional de San Juan*. Recuperado el 1 de Enero de 2021, de <http://dea.unsj.edu.ar/control1/apuntes/unidad1y2.pdf>
- Microchip. (2016). *Didacticas electronicas*. Obtenido de www.didacticaselectronicas.com: <https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/microcontroladores/microcontrolador-atmel-atmega32u4-mur-detail>
- *National Instruments*. (2015). Recuperado el 22 de enero de 2021, de <https://sine.ni.com/np/app/main/p/docid/nav-104/lang/es/fmid/12678/#:~:text=El%20M%C3%B3dulo%20LabVIEW%20Datalogging%20and,de%20gran%20cantidad%20de%20canales>.
- *National Instruments*. (2016). Recuperado el 22 de enero de 2021, de <https://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/212478#:~:text=LINUX%20de%20Digilent%2FLabVIEW%20MakerHub%20Interfaz%20con%20Plataformas%20Embebidas%20Comunes&text=LINUX%20es%20un%20proyecto%20de,de%20aplicaciones%20embebidas%20usando%20LabVIEW>.
- Ni. (2019). *Ni.com*. Obtenido de National Instrument: <https://www.ni.com/es-cr.html>
- Ni. (2020). *Entorno Labview*. Obtenido de Ni.com: <https://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/environment.htm>
- NI. (2021). *Módulo LabVIEW Control Design and Simulation*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/shop/software/products/labview-control-design-and-simulation-module.html>
- *Omega*. (2014). Recuperado el 23 de enero de 2021, de <https://es.omega.com/prodinfo/medicion-temperatura.html>
- PALOMEQUE, J. I., & LOZADA, D. S. (2018). *Repositorio UPS*. Recuperado el 24 de Diciembre de 2020, de

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16295/1/UPS-GT002346.pdf>

- *PCE Instruments*. (s.f.). Recuperado el 23 de enero de 2021, de https://www.pce-instruments.com/espanol/sistemas-regulacion-control/sensorica/sensor-humedad-kat_158678.htm
- Rangel Rodriguez & Hernandez. (2016).
- Rodriguez, M. (4 de Abril de 2013). *Revista Digital* . Obtenido de <https://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/funcionamiento-de-los-tres-tipos-de-reles-mas-utilizados/>
- Ruben Morales, R. R. (2013). Sistemas de tiempo Continuo. En *Sistemas de Control Moderno Volumen I*. Monterrey: Editorial Digital .
- Sánchez, L. F. (2016). Control cinemático y dinámico. *Laboratorio de Robótica Móvil y Sistemas Automatizados*.
- *SemanticWebBuilder*. (2014). Recuperado el 19 de enero de 2021, de http://www.semanticwebbuilder.org.mx/es_mx/swb/Sistemas_Embebidos_Innovando_hacia_los_Sistemas_Inteligentes_
- *Siber*. (2016). Recuperado el 23 de enero de 2021, de <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/el-funcionamiento-de-un-sensor-de-humedad-usos-frecuentes/>
- Siberzone. (2013). *Siber*. Recuperado el 23 de enero de 2021, de <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/que-es-un-sensor-de-temperatura-y-para-que-se-utiliza/>
- Sparkfun. (2018). *serial-peripheral-interface-spi*. Obtenido de Sparkfun: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi/all>
- SRC. (2019). Recuperado el 23 de enero de 2021, de <https://srcsl.com/tipos-sensores-temperatura/#:~:text=El%20termopar%20es%20el%20sensor,sistema s%20de%20medici%C3%B3n%20de%20temperatura.>
- Teslabem. (2017). *Teslabem*. Obtenido de Fundamentos I2C – Aprende.: <https://teslabem.com/nivel-intermedio/fundamentos/>
- Udb. (2012). *Sistemas de Control Automático*. Recuperado el 1 de Enero de 2021, de

http://www.udb.edu.sv/udb_files/recursos_guias/electronica-ingenieria/sistemas-de-control-automatico/2019/iii/guia-5.pdf

- Urroz Ríos, J. A. (2017). *Desarrollo del sistema de control electrónico para un elevador en el Bar y Restaurante Rancho Escondido*. Rivas, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería). Recuperado el 1 de Enero de 2021, de http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/4750/4926/html/12_controlador_de_accin_integral_i.html
- VERGARA, G. B. (2012). REALIZACIÓN DE UN SISTEMA SCADA PARA EL CONTROL DE IMAGEN UTILIZANDO IMAQ DE LABVIEW Y CAMARA DE OBJETOS PARA EL LABORATORIO DE MECATRONICA. G. VERGARA, 111.
- WELL, M. (09 de 03 de 2009). Obtenido de <https://www.mouser.ec/datasheet/2/260/DR-15-spec-1108947.pdf>
- WonderWare. (2018). Obtenido de <https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-scada/>
- Zator. (2016). *Tecnología del PC*. Obtenido de Tecnología del PC: https://www.zator.com/Hardware/H2_5_1_1.htm

ANEXOS

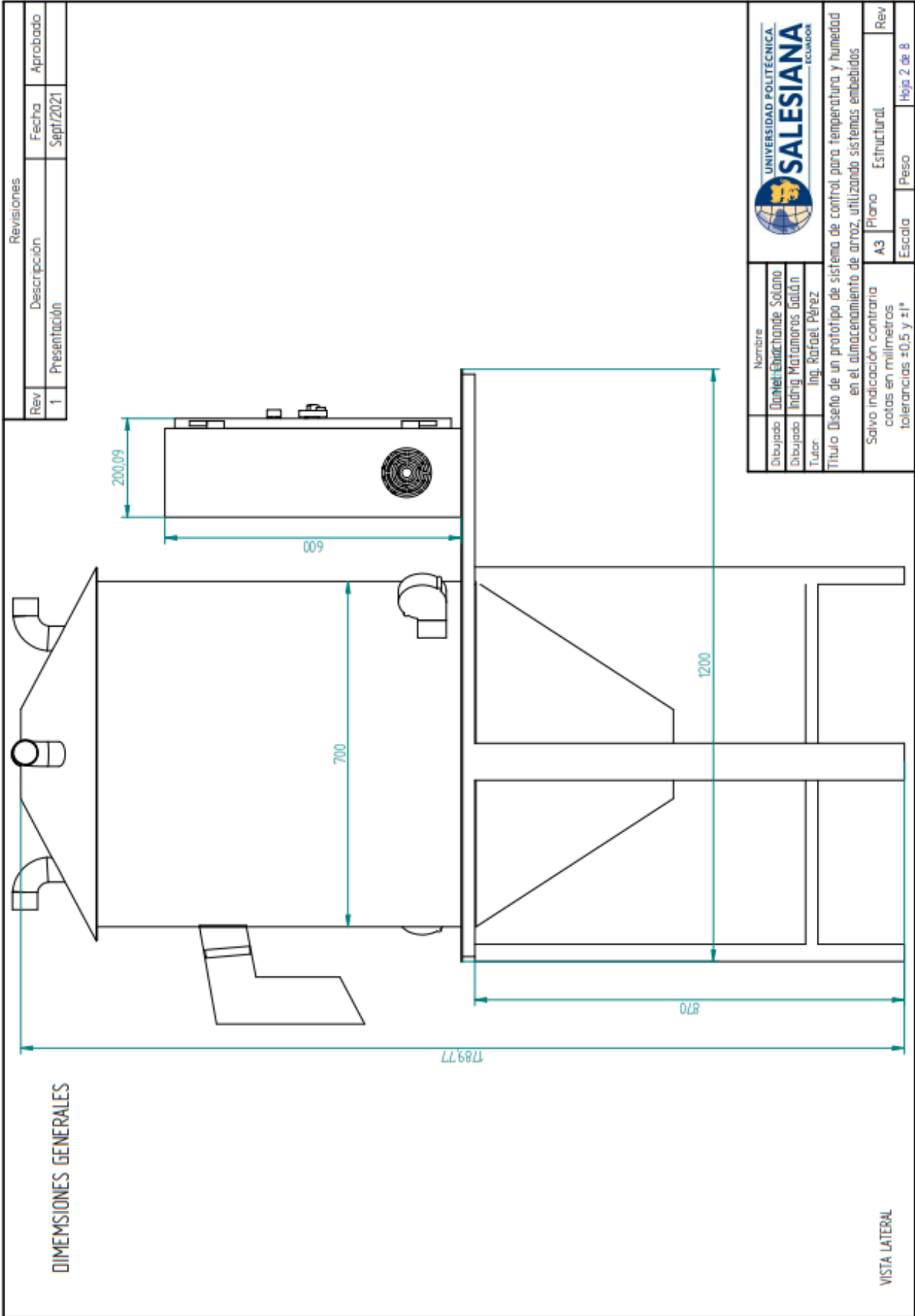
A. Planos de la estructura

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha
1	Presentación	Sept/2021

Dibujado	Nombre	Universidad Politécnica
Dibujado	Daniel Echizhanda Solano	SALESIANA ECUADOR
Tutor	Ing. Rafael Pérez	

Título		en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos	
Salvo indicación contraria		Plano	Rev
cotas en milímetros		A3	Estructural
tolerancias ± 0.5 y ± 1		Escala	Hoja 1 de 8

Vista Isométrica



Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha
1	Presentación	Sept/2021

DIMENSIONES GENERALES

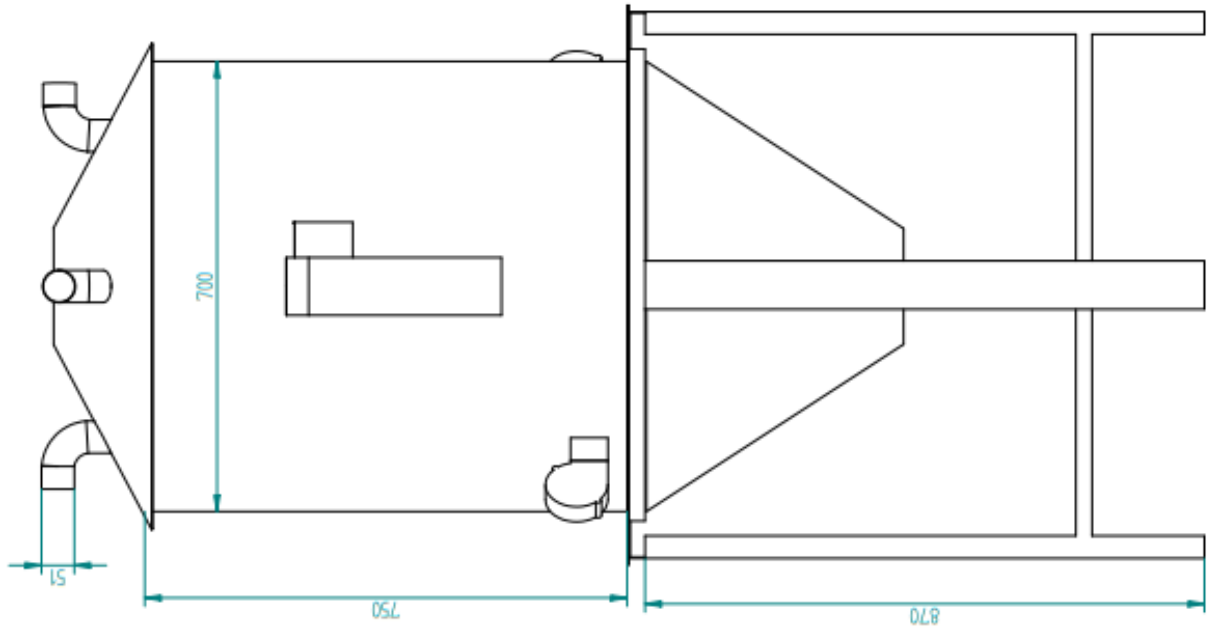
VISTA LATERAL

	
Nombre	Daniel Esteban Solano
Dibujado	Indira Matamoros Galán
Tutor	Ing. Rafael Pérez
Título Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos	
Salvo indicación contraria	A3
cotas en milímetros	Plano
tolerancias $\pm 0,5$ y ± 1	Estructural
Escala	Peso
	Rev
	Hoja 2 de 8

Revisiones

Rev	Descripción	Fecha	Aprobado
1	Presentación	Sept/2021	

DIMENSIONES GENERALES



VISTA POSTERIOR

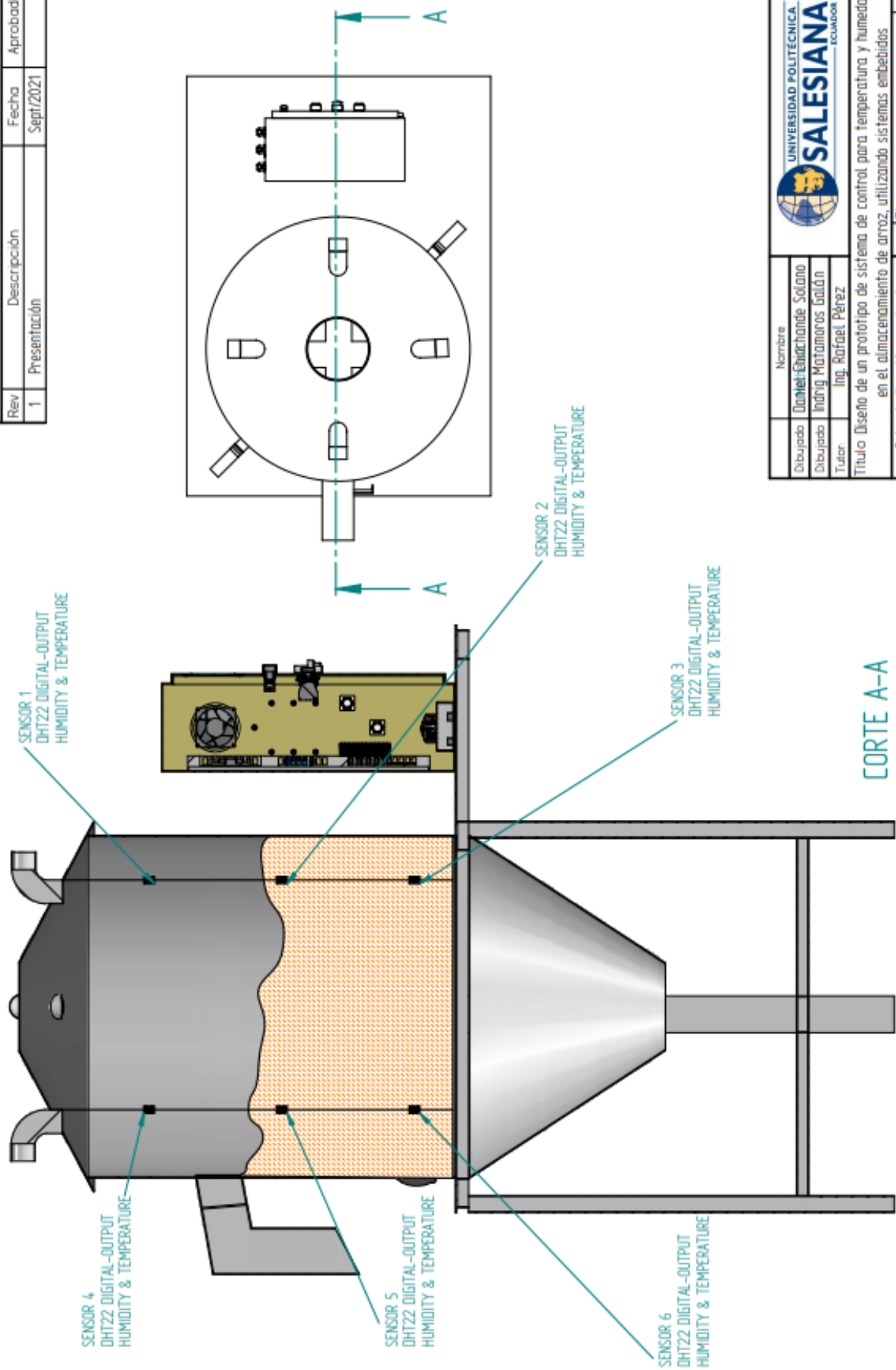


Nombre: **Daniel Ebrahán Solano**
 Dibuja: **Indira Matamoros Galán**
 Tutor: **Ing. Rafael Pérez**

Título: **Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos**

Salvo indicación contraria cotas en milímetros tolerancias $\pm 0,5$ y ± 1 *	A3	Plano	Estructural	Rev
	Escala	Peso		Hoja 3 de 8

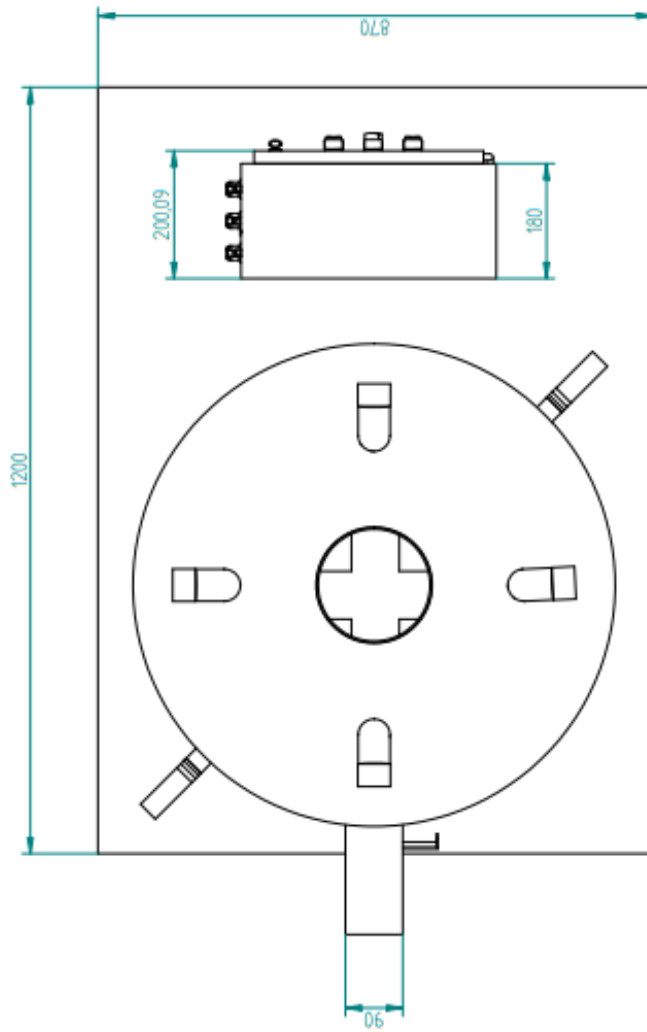
Revisiones			
Rev	Descripción	Fecha	Aprobado
1	Presentación	Sept/2021	



Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	
Dibujado	Daniel Echarande Solano	Piano	Estructural
Dibujado	Indy Matamoros Galán	A3	Rev
Tutor	Ing. Rafael Pérez	Escala	Peso
Título		Hoja 5 de 8	
Título: Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos Salvo indicación contraria cotas en milímetros tolerancias $\pm 0,5$ y ± 1			

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha
1	Presentación	Sept/2021

DIMENSIONES GENERALES




Dibujado	Nombre	Rev	Hoja
Dibujado	Nombre	Rev	Hoja
Tutor:	Nombre	Rev	Hoja
<p>Título: Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos</p>			
Salvo indicación contraria		A3	Plano Estructural
cotas en milímetros		Escala	Peso
tolerancias ±0.5 y ±1*		Hoja 4 de 8	




VISTA SUPERIOR

B. Planos del módulo de control


		Revisiones			
		Rev	Descripción	Fecha	Aprobado
1	Presentación			Sept/2021	



VISTA ISOMÉTRICA - EXTERIOR

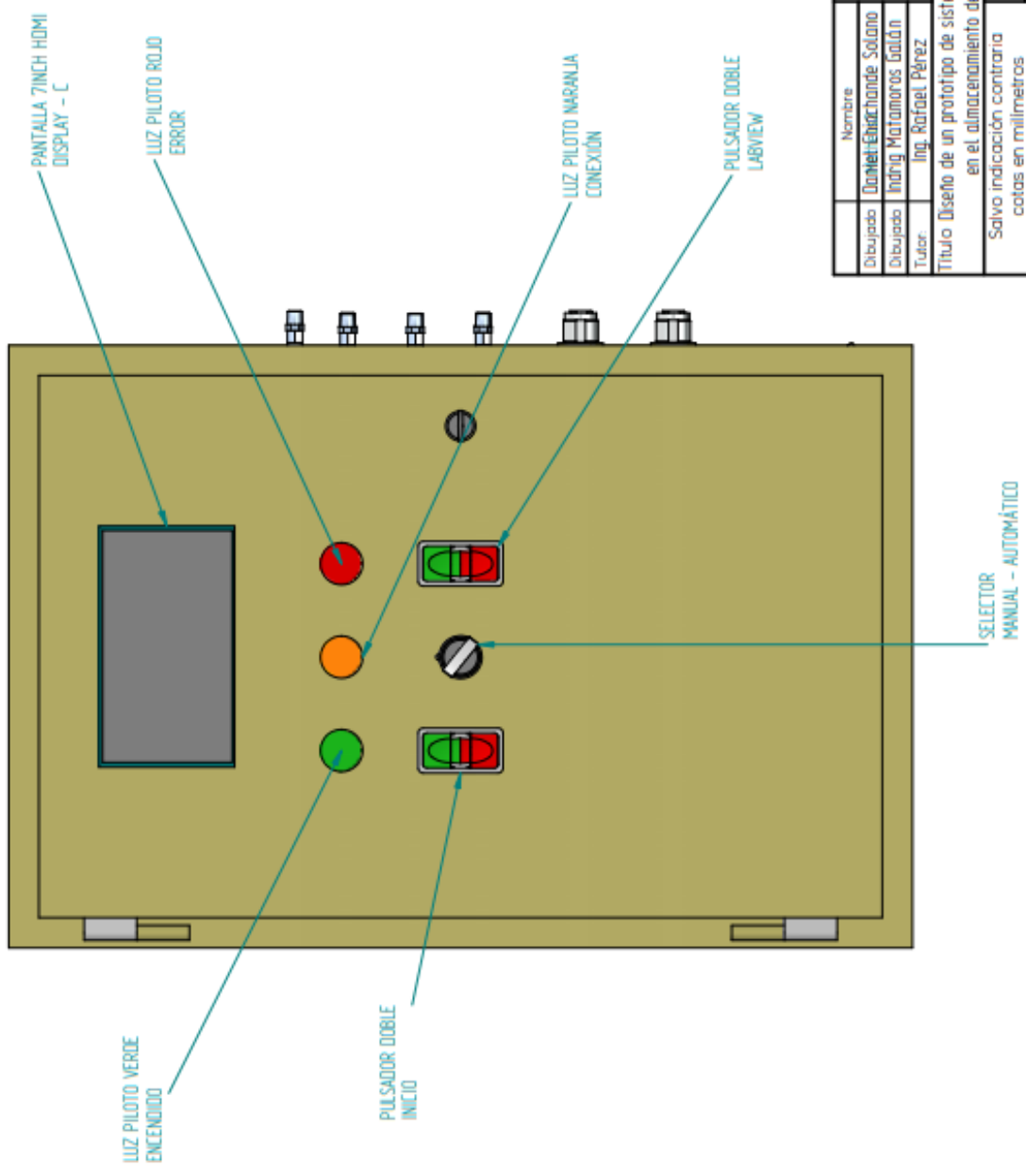


VISTA ISOMÉTRICA - INTERIOR

Dibujado	Nombre		
Dibujado	Daniel Echechanda Solano	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Tutor:	Ing. Rafael Pérez	SALESIANA	
Título		Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos	
Salvo indicación contraria		A3	Plano Estructural
cotas en milímetros		Escala	Peso
tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^*$			Hoja 6 de 8

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha
1	Presentación	Sept/2021

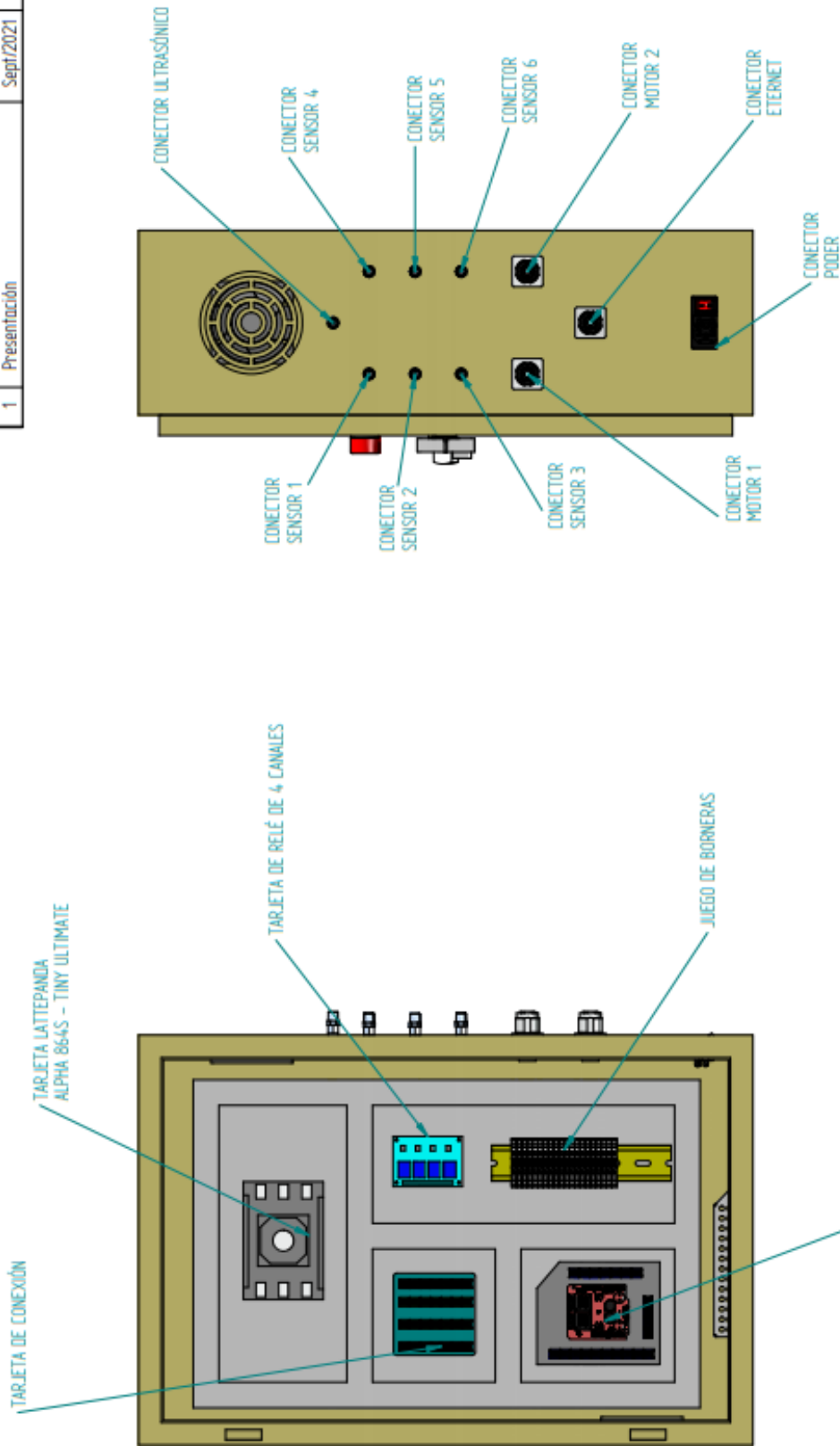
TABLERO DE CONTROL



VISTA FRONTAL

		Nombre	
Dibujado	Donat-Eñachanda Solano		
Dibujado	Ingrid Matamoros Galán		
Tutor	Ing. Rafael Pérez		
Título Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos			
Salvo indicación contraria		A3	Plano Estructural
cotas en milímetros		Escala	Peso
tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^*$			Hoja 7 de 8

Revisiones		
Rev	Descripción	Fecha
1	Presentación	Sept/2021



Nombre		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	
Dibujado	Daniel Enríquez Solano		
Dibujado	Andrés Matamoros Galán		
Tutor:	Ing. Rafael Pérez		
Título Diseño de un prototipo de sistema de control para temperatura y humedad en el almacenamiento de arroz, utilizando sistemas embebidos			
Salvo indicación contraria		Plano	Rev
cotas en milímetros		A3	Estructural
tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^*$		Escala	Peso
			Hoja 8 de 8

C. Código del atmega32ua

```
#include "DHT.h"
//Pines de los sensores humedad
#define DHTSENSOR_1 21
#define DHTSENSOR_2 2
#define DHTSENSOR_3 22
#define DHTSENSOR_4 4
#define DHTSENSOR_5 7
#define DHTSENSOR_6 8
//Pines del ultrasonido
#define echo 19
#define trigger 20
//Pines del motor
#define DIR1 3
#define DIR2 9
#define HABILITADOR 23
#define VELOCIDAD 5
//Pines de los botones
#define boton_1 6
#define boton_2 18
//Pines de los leds
#define led_1 12
#define led_2 11
#define led_3 10
//TIPO DE SENSOR
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
//INICIO DEL METODO PARA CADA SENSOR
DHT dht1(DHTSENSOR_1, DHTTYPE).
DHT dht2(DHTSENSOR_2, DHTTYPE).
DHT dht3(DHTSENSOR_3, DHTTYPE).
DHT dht4(DHTSENSOR_4, DHTTYPE).
DHT dht5(DHTSENSOR_5, DHTTYPE).
DHT dht6(DHTSENSOR_6, DHTTYPE).
//VARIABLES DE SENSORES
float h1, t1, f1, hif1, hic1;//SENSOR 1
```

```

float h2, t2, f2, hif2, hic2;//SENSOR 2
float h3, t3, f3, hif3, hic3;//SENSOR 3
float h4, t4, f4, hif4, hic4;//SENSOR 4
float h5, t5, f5, hif5, hic5;//SENSOR 5
float h6, t6, f6, hif6, hic6;//SENSOR 6
//VARIABLES DE MOTOR
int salidapwm;
//VARIABLES DEL SERIAL
char data_labview;
String datos.
long int datosint.
//VARIABLES DEL ULTRASONIDO
long distancia;
long ultrasonido () {
    long t.
    long d.
    digitalWrite (trigger, HIGH).
    delayMicroseconds (10).
    digitalWrite (trigger, LOW).
    t = pulseIn (echo, HIGH).
    d = t / 58.
    return (d).
}
void setup () {
    Serial.begin(9600).

    dht1.begin().
    dht2.begin().
    dht3.begin().
    dht4.begin().
    dht5.begin().
    dht6.begin().
    pinMode (DIR1, OUTPUT).
    pinMode (DIR2, OUTPUT).
    pinMode (HABILITADOR, OUTPUT).
    pinMode (VELOCIDAD, OUTPUT).

```

```

pinMode (led_1, OUTPUT).
pinMode (led_2, OUTPUT).
pinMode (led_3, OUTPUT).
pinMode (trigger, OUTPUT).
pinMode (echo, INPUT).

pinMode (boton_1, INPUT).
pinMode (boton_2, INPUT).
digitalWrite (trigger, LOW).
digitalWrite (led_1, LOW) ;//VERDE
digitalWrite (led_2, HIGH) ;//AMARILLO
digitalWrite (led_3, HIGH) ;//ROJO

analogWrite(DIR1, 0);
analogWrite(DIR2, 255);
digitalWrite(HABILITADOR, HIGH);

}
void sensores () {

    h1 = dht1.readHumidity(); t1 = dht1.readTemperature(); f1 =
dht1.readTemperature(true).
    h2 = dht2.readHumidity(); t2 = dht2.readTemperature(); f2 =
dht2.readTemperature(true).
    h3 = dht3.readHumidity(); t3 = dht3.readTemperature(); f3 =
dht3.readTemperature(true).
    h4 = dht4.readHumidity(); t4 = dht4.readTemperature(); f4 =
dht4.readTemperature(true).
    h5 = dht5.readHumidity(); t5 = dht5.readTemperature(); f5 =
dht5.readTemperature(true).
    h6 = dht6.readHumidity(); t6 = dht6.readTemperature(); f6 =
dht6.readTemperature(true).
    if ((isnan(h1) || isnan(t1) || isnan(f1)) ||(isnan(h2) || isnan(t2) || isnan(f2)) ||(isnan(h3)
|| isnan(t3) || isnan(f3)) ||(isnan(h4) || isnan(t4) || isnan(f4)) ||(isnan(h5) || isnan(t5) ||
isnan(f5)) ||(isnan(h6) || isnan(t6) || isnan(f6))) {
        digitalWrite (led_3, LOW) ;//ROJO

```

```

}
else
{
  digitalWrite (led_3, HIGH) ;//ROJO
}
//HUMEDAD A1 - TEMPERATURA A2
Serial.print("A1"); Serial.print(h1); Serial.print("A2"); Serial.print(t1).
//HUMEDAD B1 - TEMPERATURA B2
Serial.print("B1"); Serial.print(h2); Serial.print("B2"); Serial.print(t2).
//HUMEDAD C1 - TEMPERATURA C2
Serial.print("C1"); Serial.print(h3); Serial.print("C2"); Serial.print(t3).
//HUMEDAD D1 - TEMPERATURA D2
Serial.print("D1"); Serial.print(h4); Serial.print("D2"); Serial.print(t4).
//HUMEDAD E1 - TEMPERATURA E2
Serial.print("E1"); Serial.print(h5); Serial.print("E2"); Serial.print(t5);
//HUMEDAD F1 - TEMPERATURA F2
Serial.print("F1"); Serial.print(h6); Serial.print("F2"); Serial.print(t6).
//DISTANCIA
distancia = ultrasonido(); Serial.print("G1"); Serial.print(distancia);
//BOTONES
Serial.print("H1"); Serial.print(digitalRead(boton_1)).

Serial.print("I1"); Serial.println(digitalRead(boton_2)).

}
void loop () {
  delay (20); // Wait a few seconds between measurements.

  if (Serial.available()) {
    data_labview = Serial.read().
    datos += data_labview.
    if (data_labview == '\n')
    {
      datosint = datos.toInt();

      analogWrite(VELOCIDAD, datosint); //40-255

```

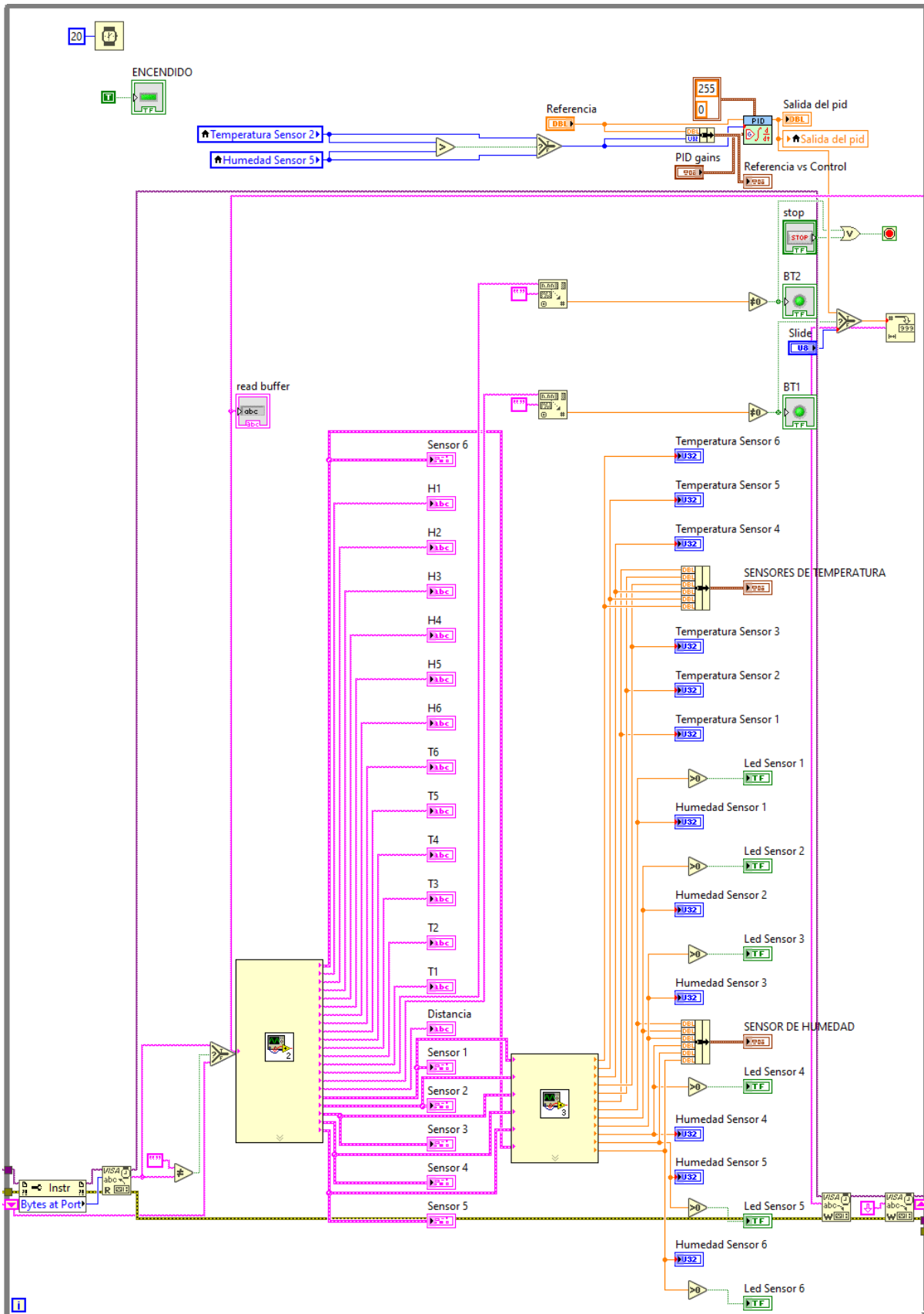
```
    datos = "";
    digitalWrite(led_2, LOW); //AMARILLO
    sensores();
}

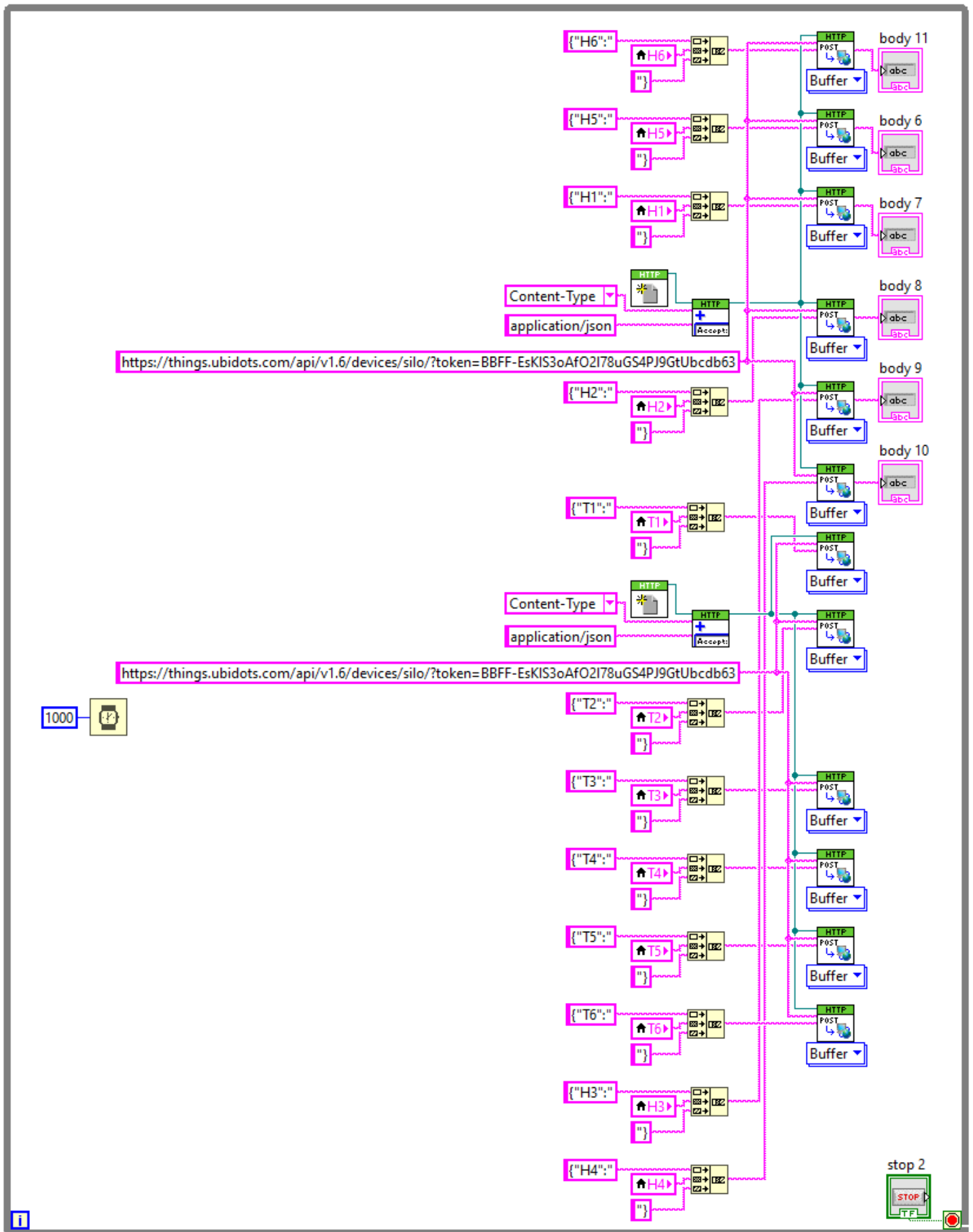
}
else {

    digitalWrite (led_2, HIGH) ; //AMARILLO
}

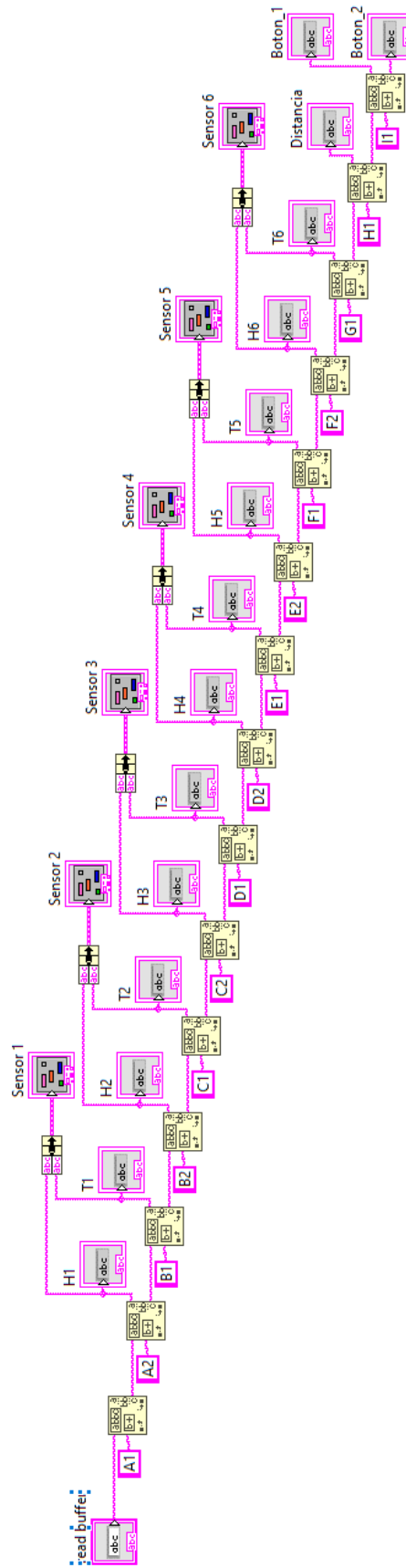
}
```

D. Código del labview Código main principal





Código del subvi trama



Código del subvi clúster

