



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA  
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PROYECTO TÉCNICO:**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR PID PARA  
PROTOTIPO DE SECADORA DE CACAO AUTOMATIZADO  
CON DAQ Y LABVIEW**

**AUTORES:**

**KEVIN ALBERTO GARCÉS TAURIZ  
ALLAN JOEL RUBIO TIRCIO**

**TUTOR:**

**ING. Teddy Jhennse Negrete Peña MSc.**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2022**

## CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Nosotros, Kevin Alberto Garcés Tauriz y Allan Joel Rubio Tircio autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, se declara que los conceptos y análisis desarrollados y conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad del autor.



-----  
Kevin Alberto Garcés Tauriz  
C.I.: 0953358934



-----  
Allan Joel Rubio Tircio  
C.I.: 0931696355

## CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, , **Kevin Alberto Garcés Tauriz**, con documento de identificación N° 0953358934 y **Allan Joel Rubio Tircio** , con documento de identificación N°0931696355, manifestamos nuestra voluntad y ceder a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado: “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR PID PARA PROTOTIPO DE SECADORA DE CACAO AUTOMATIZADO CON DAQ Y LABVIEW** ” mismo que 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.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que se realiza la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



-----  
Kevin Alberto Garcés Tauriz  
C.I.: 0953358934

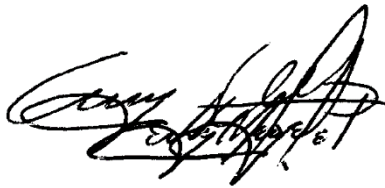


-----  
Allan Joel Rubio Tircio  
C.I.: 0931696355

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE CONTROLADOR PID PARA PROTOTIPO DE SECADORA DE CACAO AUTOMATIZADO CON DAQ Y LABVIEW**, realizado por los estudiantes **Kevin Alberto Garcés Tauriz**, con documento de identificación N° 0953358934 y **Allan Joel Rubio Tircio**, con documento de identificación N°0931696355, obteniendo un producto que cumple con los objetivos del diseño de aprobación, informe final y demás requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Guayaquil, septiembre del 2022



**Ing. Teddy Jhennse Negrete Peña MSc.**

Docente

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres: Victor Garcés Pacheco y Fanny Tauriz Navarro, quienes con todo su amor, esfuerzo y entrega me han apoyado durante todos mis estudios siendo los pilares fundamentales para lograr ser un profesional y han sabido guiarme por el camino del bien para poder llegar a estos momentos, a mis hermanos: Victor Garcés Tauriz y Dayana Garcés Tauriz, quienes con sus buenos ejemplos, enseñanzas y cariño han sido de gran ayuda en toda mi preparación. A mi esposa: Rebeca Herrera Pilla quien, con su amor, apoyo incondicional y confianza me ha acompañado a lo largo de los años dándome el impulso necesario para lograr mis objetivos.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi familia por haber sido mi apoyo a lo largo de toda mi carrera universitaria y a lo largo de mi vida. A todas las personas especiales que me acompañaron en esta etapa, aportando a mi formación tanto profesional y como ser humano.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecido eternamente con Dios, por darme salud, vida, sabiduría y todas las fuerzas para poder lograr este objetivo y culminar una etapa en mi vida pese a todos los obstáculos y dificultades que se presentaron en el camino.

Mi agradecimiento a mis padres, hermanos, abuelos, esposa, tíos, primos y amigos, ya que cada uno de ellos han sido piezas fundamentales a lo largo de mi vida dándome la ayuda necesaria con sus consejos, ejemplos, cariño y tiempo.

A todos los docentes de la carrera de Ingeniería Electrónica quienes han sabido traspasar los conocimientos necesarios para formarnos profesionalmente.

A nuestro tutor Ing. Teddy Negrete Peña por la confianza y la guía ya que con sus conocimientos y experiencia nos ha sabido orientar para lograr este trabajo de titulación.

A mi amigo y compañero de tesis Allan Rubio con quien tuve el honor de haber compartido aulas desde el colegio, continuar en la universidad y poder culminar esta etapa juntos pasando por muchas experiencias y aprendizajes a lo largo del camino.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.

A mi familia, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante todo este tiempo.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Teddy Negrete Peña quien, con su experiencia, conocimiento y motivación me oriento en la investigación.

Agradezco a los todos docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad Politécnica Salesiana.

Agradezco a mi amigo y colega Kevin Garcés con quien he tenido el agrado de realizar este trabajo de titulación y tengo la dicha de conocer desde el colegio.



## RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE PROYECTO TÉCNICO	TEMA DE PROYECTO TÉCNICO
2022	<ul style="list-style-type: none"><li>Kevin Alberto Garcés Tauriz</li><li>Allan Joel Rubio Tircio</li></ul>	Ing. Teddy Jhennse Negrete Peña	Diseño e implementación de controlador PID para prototipo de secadora de cacao automatizado con DAQ y Labview

El Ecuador es un país productor de cacao el cual concentra su producción en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos. Debido al confinamiento por la pandemia de Covid19, a nivel mundial ha habido un crecimiento considerable del consumo del cacao, situando a Ecuador como el cuarto productor de cacao en el mundo, en el año 2020 las exportaciones de cacao se elevaron en un 26%.

Los pequeños agricultores de la zona litoral del Ecuador han incrementado sus sembríos de cacao debido a este aumento existen una gran demanda de sembríos, por lo tanto, la producción aumenta y se debe considerar que una de las etapas más importantes en la producción del cacao es el secado de este, el cual se debe realizar con tecnificación para que el cacao no pierda su aroma, y no se genere pérdidas debido al exceso de humedad del cacao o al mal secado.

En este contexto se propone en este trabajo de investigación el diseño e implementación de un prototipo de secadora de cacao automatizado con controlador PID y programado con Labview para que el proceso de secado, control de temperatura, humedad y el movimiento del grano de cacao sea lo más eficiente. El prototipo propuesto se realizará en una maqueta a escala el cual funcionará mediante un quemador a gas que producirá la temperatura

adecuada para el secado del secado, todo el proceso de automatización del prototipo será controlado mediante DAQ de National Instruments, diseño electrónico PCB.

La maqueta de secadora de cacao diseñada en este proyecto de investigación se implementará en el laboratorio de automatización para uso en prácticas de automatización industrial para los estudiantes de la carrera de ingeniería electrónica y automatización de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, con la finalidad de reforzar la teoría mediante la practica con prototipos aplicables al proceso de secado de cacao mediante herramientas de National Instruments como Labview y DAQ.

.  
PALABRAS CLAVES: LabVIEW, DAQ, CONTROL INTELIGENTE, TEMPERATURA.

## ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	DIRECTOR OF TECHNICAL PROJECT	TECHNICAL PROJECT THEME
2020	<ul style="list-style-type: none"><li>Kevin Alberto Garcés Tauriz</li><li>Allan Joel Rubio Tircio</li></ul>	Ing. Teddy Jhennse Negrete Peña	Design and implementation of PID controller for prototype of automated cocoa dryer with DAQ and Labview

Ecuador is a cocoa producing country which concentrates its production in the provinces of Los Ríos, Guayas, Manabí, and Sucumbíos. Due to the confinement due to the Covid19 pandemic, worldwide there has been a considerable growth in cocoa consumption, placing Ecuador as the fourth cocoa producer in the world, in 2020 cocoa exports rose by 26%.

The small farmers of the coastal zone of Ecuador have increased their cocoa crops due to this increase there is a great demand for crops, therefore, production increases and it should be considered that one of the most important stages in the production of cocoa is the drying of this, which must be done with technification so that cocoa does not lose its aroma, and no losses are generated due to excess moisture from cocoa or poor drying.

In this context, this research paper proposes the design and implementation of a prototype of an automated cocoa dryer with PID controller and programmed with Labview so that the drying process, temperature control, humidity and movement of the cocoa bean is the most efficient. The proposed prototype will be made in a scale model which will work by means of a gas burner that will produce the appropriate temperature for drying the drying, the entire process of automation of the prototype will be controlled by DAQ of National Instruments, PCB electronic design.

The cocoa dryer model designed in this research project will be implemented in the automation laboratory for use in industrial automation practices for students of the electronic engineering and automation career of the Salesian Polytechnic University in Guayaquil, to reinforce the theory through practice with prototypes applicable to the cocoa drying process using National Instruments tools such as Labview and DAQ.

**KEY WORDS:** LabVIEW, DAQ, INTELLIGENT CONTROL, TEMPERATURE.

## ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA .....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR .....	III
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN.....	IV
DEDICATORIA .....	V
DEDICATORIA .....	VI
AGRADECIMIENTO .....	VII
AGRADECIMIENTO .....	VIII
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT .....	XI
ÍNDICE GENERAL.....	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XVII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	1
1. EL PROBLEMA .....	3
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Importancia y Alcances.....	3
1.3. Descripción del problema .....	4
1.4. Delimitación .....	4
1.4.1. Espacial.....	4
1.4.2. Temporal .....	5
1.4.3. Académica .....	5
1.5. Beneficiarios de la propuesta.....	5
1.6. Justificación .....	5
1.7. Innovación e impacto del proyecto.....	6
1.8. Objetivos.....	7
1.8.1. Objetivo general.....	7
1.8.2. Objetivos específicos .....	7
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	8
2.1. Cacao en el Ecuador .....	8
2.2. Secadoras de Cacao .....	12
2.3. Tipos de secados del cacao.....	13
2.3.1. Secado natural .....	13
2.3.2. Secado artificial.....	13
2.4. Máquinas de secado para el cacao .....	14

2.4.1. Secador de cacao rectangulares.....	14
2.4.2. Secador de cacao cilíndrico vertical .....	15
2.5. Ciclo de secado para el cacao.....	16
2.6. Exportaciones totales de cacao en los últimos 2 años .....	17
2.7. Equipos más utilizados para la fabricación de máquinas de cacao.....	18
2.7.1. Aceros inoxidables.....	18
2.8. Clasificación de los aceros inoxidables .....	19
2.8.1. Aceros inoxidables martensíticos.....	20
2.8.2. Aceros inoxidables ferríticos .....	20
2.8.3. Aceros inoxidables ferríticos .....	20
2.9. DAQ.....	20
2.10. Daq USB 6009.....	20
2.10.1. Software.....	21
2.11. Dispositivo DAQ .....	22
2.12. Software de supervisión.....	23
2.13. Ventajas de un Sistema DAQ .....	23
2.14. Importancia de los Sistemas de Adquisición de Datos .....	24
2.15. Sistema de adquisición de datos (DAS o DAQ).....	25
2.16. LabVIEW .....	26
2.17. Instrumentos Virtuales.....	26
2.17.1. Panel Frontal.....	26
2.17.2. Paleta de Controles .....	27
2.17.3. Controles e Indicadores .....	27
2.17.4. Controles e Indicadores Numéricos .....	28
2.17.5. Controles e Indicadores Booleano .....	28
2.17.6. Controles e Indicadores de Cadena de Caracteres.....	28
2.17.7. Diagrama de Bloques .....	29
2.17.8. Terminales de Diagrama de Bloques.....	30
2.17.9. Nodos de Diagrama de Bloques .....	30
2.18. Beneficios.....	30
2.19. INTERNET DE LAS COSAS .....	31
2.20. Plataforma iot.....	31
2.21. Control PID.....	31
2.22. Sintonización del Controlador PID .....	32
2.22.1. Control proporcional .....	32
2.22.2. Control derivativo (o diferencial) .....	32
2.22.3. Control Integral .....	33

2.22.4. Tiempo de muestreo.....	34
2.22.5. Acción Proporcional.....	34
2.22.6. Acción Derivativa. ....	34
2.22.7. Acción Integral.....	34
2.23. Tarjeta PCB .....	35
2.24. Tipos de elementos de una tarjeta PCB.....	36
2.24.1. Las resistencias.....	36
2.24.2. Los condensadores.....	37
2.24.3. Los transistores .....	37
2.24.4. Los diodos .....	37
2.24.5. Las bobinas.....	37
2.24.6. Los interruptores .....	37
2.24.7. Los fusibles .....	38
2.25. El principio de funcionamiento del sensor de temperatura .....	38
2.26. Coeficiente de temperatura .....	38
2.26.1. Dispositivos resistivos (RTD y Termistores) .....	39
2.27. Sensor de temperatura pt100 .....	39
2.28. Características de sensores PT100.....	41
2.29. Construcción y funcionamiento.....	42
2.30. Normas .....	42
2.31. Sondas PT100 – Tipos y montajes .....	43
2.32. PT100 – Conexionado.....	43
2.32.1. PT100 2 hilos.....	43
2.32.2. PT100 3 hilos.....	43
2.32.3. PT100 4 hilos.....	44
2.33. Relé de estado sólido (SSR).....	44
2.34. MOSFET.....	45
3. MARCO METODOLÓGICO .....	46
3.1. Esquema general de componentes de la planta.....	46
3.2. Flujograma del proyecto .....	47
3.3. Jerarquía del proceso.....	47
3.4. Tarjeta controladora.....	48
3.5. Comunicación entre DAQ y controladora de actuadores .....	49
3.6. Diseño de caja de control .....	51
3.7. Diseño de planta.....	51
3.8. Comunicación entre DAQ y controladora de actuadores .....	52
3.9. Conexión entre LabVIEW y UBIDOTOS .....	52

3.10. Envío y adquisición de datos desde el DAQ.....	53
3.11. Controlador PID.....	55
3.11.1. Sintonización del controlador PID .....	55
3.12. Fermentación previa a utilizar el secado.....	59
4. RESULTADOS.....	61
CONCLUSIONES.....	65
RECOMENDACIONES .....	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	67
ANEXOS.....	68
Anexo 1 Código .....	68



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> Cacao Ecuatoriano (Larepublica 2019) .....	9
<b>Figura 2.2</b> Zonas de Producción de cacao (researchgate 2020).....	10
<b>Figura 2.3</b> Secado artificial (Cacaomovil 2021b).....	14
<b>Figura 2.4</b> Maquina de sacado rectangular(Sircaecuador 2021).....	15
Figura 2.5 Maquina de sacador de cacao cilíndrica(Indumei 2021) .....	16
<b>Figura 2.6</b> Bosquejo psicométrico del proceso de secado(Orna et al. 2018).....	16
<b>Figura 2-7:</b> Daq USB 6009 (Ni, 2019).....	21
<b>Figura 2-8:</b> Configuración de los pines del DAQ 6009.....	21
<b>Figura 2.9</b> Software NI (Ni 2021) .....	22
<b>Figura 2-10:</b> Diagrama de un sistema con Daq o Das (Agüero, 2017) .....	25
<b>Figura 2.11</b> Pestaña de la Sección Frontal, Barras de Herramientas y Paleta de Controles.(ni 2021a). .....	26
<b>Figura 2.12</b> Aumento/Descenso de Control Numérico. (ni 2021a).....	28
<b>Figura 2.13</b> Observaciones Booleano. (ni 2021a). .....	28
<b>Figura 2.14</b> Guías de Cadenas de Caracteres.(ni 2021a).....	29
<b>Figura 2.15</b> Guías de cables. ....	29
<b>Figura 2.16</b> Componentes de la tarjeta PCB: (Peterson 2020) .....	36
<b>Figura 2-17 :</b> Sensor de temperatura RTD (Benavides, 2017).....	39
<b>Figura 2.18</b> Sensor Pt100.(Laurila 2018). ....	41
<b>Figura 2.19</b> Tipos de PT100 (Agustin 2013) .....	44
<b>Figura 2-20:</b> Relé de estado sólido (Pulido, 2000) .....	45
<b>Figura 2-21:</b> MOSFET (Kang, 2000) .....	46
<b>Figura 3-1 :</b> Esquema propuesto para el proyecto .....	46
<b>Figura 3-2 :</b> Flujograma del proyecto.....	47
<b>Figura 3-3 :</b> Jerarquía del proyecto .....	48
<b>Figura 3-4 :</b> Diseño de pcb en proteus .....	49
<b>Figura 3-5 :</b> Envío de datos desde DAQ a la tarjeta controladora de actuadores ..	50
<b>Figura 3-6 :</b> Caja de control.....	51
<b>Figura 3-7 :</b> Planta y caja de control .....	52
<b>Figura 3-8 :</b> Envío de datos desde LabVIEW a Ubidots.....	53
<b>Figura 3-9 :</b> Envío de datos digitales para la activación del servo y el solenoide....	53
<b>Figura 3-10 :</b> Envío de datos análogos para el control del motor AC y motor DC...	54
<b>Figura 3-11 :</b> Interpretación de valores de temperatura y humedad mediante analógica .....	54
<b>Figura 3-12 :</b> Controlador PID en el bloque de diagrama para control de la humedad.....	55
<b>Figura 3-13 :</b> Señal paso en el motor DC.....	56
<b>Figura 3-14 :</b> estimación del modelo.....	56
<b>Figura 3-15 :</b> Estimación con un retardo y un polo .....	57
<b>Figura 3-16 :</b> Estimación con un retardo y un polo .....	57
<b>Figura 3-17 :</b> Función de transferencia.....	58
<b>Figura 3-18 :</b> Auto tunning Matlab .....	58
<b>Figura 3-19 :</b> Las ganancias del pid.....	59
<b>Figura 3-20 :</b> Controlador PID en el Panel frontal.....	59
<b>Figura 3-21 :</b> Cacao en baba.....	60
<b>Figura 3-22 :</b> Cacao en fermentación .....	60
<b>Figura 4-1 :</b> Simulación de datos en simulink a partir de la función de transferencia .....	61
<b>Figura 4-2 :</b> Pruebas de controlador en 30 Grados Celsius.....	61

<b>Figura 4-3</b> : Pruebas de controlador en 50 Grados Celsius.....	62
<b>Figura 4-4</b> : Pruebas de controlador en 100 Grados Celsius.....	62
<b>Figura 4-5</b> : Resultado del modo manual para humedad del 7%.....	63
<b>Figura 4-6</b> : Resultado del modo automático para humedad del 7%.....	64
<b>Figura 4-7</b> : Supervisión iot mediante Ubidots conectándose a LabVIEW .....	64

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Tipos de cacao.....	11
Tabla 2.2 Exportación de cacao en tonelada .....	17
Tabla 2.3 Exportación de cacao en divisas.....	18
Tabla 2.4 Enumeración para identificar los aceros inoxidable.....	19

## INTRODUCCIÓN

El cacao ecuatoriano es considerado uno de los mejores del mundo, debido a su aroma fino se puede producir chocolate de la mejor calidad. El chocolate tiene una calidad agregada que sólo germina en territorio ecuatoriano, debido a las condiciones climáticas, a la biodiversidad del suelo. Ecuador produce el 63% del cacao fino de aroma del mundo, materia prima de alta calidad para fabricar el chocolate (MAGAP n.d.).

El aroma fino producido por el cacao depende en gran parte del proceso post cosecha, esto implica que luego de que la mazorca es sacada de la planta de cacao, se debe llevar un cuidado para que los granos de cacao conserven ese aroma durante el secado. Para esto se debe tener técnica de secado ya sea artesanal o mediante alguna máquina secadora tipo industrial, se debe bajar la humedad del cacao de 80% al 8 %, esto se logra con temperaturas entre los 35 grados con el sol o hasta los 60 grados con secadoras de cacao industrial.

En este contexto, este trabajo de investigación permite aplicar la tecnología de secado del cacao a través de un prototipo de secador con control PID de temperatura y humedad controlado automáticamente por DAQ y LabVIEW. Es necesario fortalecer los conocimientos teóricos en el desarrollo de prototipos de secadores de cacao a gran escala, en los que se aplicarán conocimientos de ingeniería y control para construir secadores de cacao de alta eficiencia a nivel de laboratorio para uso futuro.

En este proyecto se estudiará e investigará el desarrollo de un prototipo de secador de cacao controlado por DAQ y LabVIEW, con la finalidad de que los estudiantes de la carrera de ingeniería en electrónica y automatización aprendan el manejo de un proceso de secado de cacao automatizado.

Este libro se clasifica de la siguiente manera: El primer capítulo explica los problemas planteados en el análisis del trabajo. El segundo capítulo contará con fundamentos teóricos de un prototipo de secador con control PID de temperatura y humedad controlado automáticamente por DAQ y LabVIEW. El tercer capítulo trata sobre el marco metodológico, tipo de investigación, diseño de la investigación, título de la propuesta, motivo y descripción de la propuesta. En el Capítulo 4, se menciona los resultados de la investigación. El quinto capítulo es el análisis de resultados, conclusiones y sugerencias. Finalmente, en el adjunto del documento, se desarrolla una práctica para el uso del DAQ y LabVIEW para controlar automáticamente la temperatura y la humedad del prototipo de secador de control PID.

## **1. EL PROBLEMA**

### **1.1. Antecedentes**

La Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil se describe como una universidad con excelentes laboratorios que pueden practicar diferentes disciplinas para las profesiones que brinda. El laboratorio de automatización de la carrera de ingeniería en electrónica y automatización se caracteriza por la constante actualización en equipos y materiales para las prácticas de estudiantes de electrónica y automatización.

Sin embargo, no se cuenta con prototipos, equipos, elementos, desarrollos o manuales para la implementación de una secadora de cacao a escala con control PID, se cuenta actualmente con licencia de campus de LabVIEW, y DAQ para realizar las pruebas en laboratorio de automatización en la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

### **1.2. Importancia y Alcances**

Con el aporte de esta propuesta, los estudiantes de la carrera de ingeniería en electrónica y automatización de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil podrán realizar experimentos mediante un prototipo de secadora con control PID de temperatura y humedad automatizado mediante DAQ y LabVIEW.

Este proyecto también tiene como alcance estudiar las diferentes técnicas de control de temperatura aplicadas a los secadores de cacao y a futuro ser un aporte para posteriores investigaciones en este campo.

### **1.3. Descripción del problema**

Uno de los problemas en las carreras de ingeniería electrónica y automatización de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil es la falta de práctica en procesos industriales relacionados al secado automático de los granos cacao, esto es un área de la tecnificación de la agricultura que los especialistas en electrónica y automatización deben conocer para una correcta aplicabilidad en la cadena productiva del cacao.

En este contexto, se presenta este trabajo de investigación que se refiere al diseño e implementación de una secadora de cacao a escala que permita la tecnificación del secado de cacao mediante un prototipo de secadora con control PID de temperatura y humedad automatizado mediante DAQ y LabVIEW.

En primera instancia este trabajo de investigación se enfoca en el desarrollo de un prototipo a escala de una secadora de cacao, en el cual se aplicarán conocimientos de ingeniería y de control para estructurar una eficiente secadora de cacao a nivel de laboratorio el cual servirá a futuro como base para desarrollos comerciales y de beneficio para las localidades de productores cacaoteros de la costa ecuatoriana.

### **1.4. Delimitación**

#### **1.4.1. Espacial**

Debido a la emergencia sanitaria por motivo de la pandemia del COVID-19 y siguiendo las indicaciones de la dirección de carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, la implementación y pruebas del prototipo de secadora de cacao se realizará en el domicilio del egresado Kevin Garcés. Posteriormente la secadora a escala se donará a la universidad para demostraciones prácticas de ingeniería de control de temperatura PID.

### **1.4.2. Temporal**

El tiempo estimado para el diseño, implementación y pruebas de funcionamiento del prototipo es de 6 meses según el cronograma elaborado.

### **1.4.3. Académica**

Este trabajo de investigación donde el resultado es un prototipo a escala funcional que en lo posterior servirá para realizar pruebas y prácticas de control será una herramienta fundamental para el desarrollo de las capacidades y destrezas de los futuros ingenieros electrónicos de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. Con este trabajo se pone en práctica los conocimientos adquiridos en materias como control y electrónica.

### **1.5. Beneficiarios de la propuesta**

La propuesta de este proyecto se basa en detallar los conocimientos obtenidos en el desarrollo de un prototipo a escala de una secadora de cacao, en el cual se emplearán ilustraciones de ingeniería y de control para constituir una eficiente secadora de cacao a nivel de laboratorio el cual servirá a futuro como base para desarrollos productivos y de beneficio para las localidades de productores cacaoteros de la costa ecuatoriana.

También se tiene como beneficiarios a los estudiantes de la carrera de ingeniería en electrónica y automatización de la Universidad Politécnica Salesiana ya que contarán con este banco de pruebas para sus prácticas en materias como Automatización y Control.

### **1.6. Justificación**

La necesidad de tecnificar el proceso de secado de cacao en pequeños y medianos agricultores conlleva a la investigación del desarrollo de este tipo



de prototipos que ayuden a la economía de los agricultores utilizando herramientas de control y automatización de bajo costo.

Con la realización de este proyecto no solo se logrará un prototipo que a futuro ayude a comercializar una secadora de cacao tecnificada para la agricultura en zonas agrícolas costeras del Ecuador y que mejore las condiciones técnicas para los pequeños cosechadores de cacao, sino que también servirá como guía de aprendizaje para los futuros ingenieros electrónicos de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

### **1.7. Innovación e impacto del proyecto**

En este proyecto de investigación se plantea realizar el diseñar e implementación de un prototipo de secadora de cacao automatizado con controlador PID y programado con LabVIEW para el proceso de secado, control de temperatura, humedad y el movimiento del grano de cacao sea lo más eficiente.

Este prototipo propuesto se llevará a cabo en una maqueta a escala el cual funcionará a través de un quemador a gas que producirá la temperatura adecuada para el secado del secado, dicho proceso de automatización del prototipo estará controlado a través del DAQ de National Instruments, y un diseño electrónico PCB.

## **1.8. Objetivos**

### **1.8.1. Objetivo general**

- Diseñar e implementar controlador PID para prototipo de secadora de cacao automatizado con DAQ y LabVIEW.

### **1.8.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un prototipo de secadora de cacao a escala con calentador de gas, sensores de temperatura pt100 y controlador de temperatura y de carga AC para laboratorio de la carrera de ingeniería en electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.
- Diseñar tarjeta PCB para el control de los sensores, regulación de gas, apagado automático y velocidad de ventilador.
- Configurar DAQ de National Instruments y programar con LabVIEW el control PID de la secadora de cacao.

## **2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **2.1. Cacao en el Ecuador**

El cacao es una fruta tropical cuyo cultivo se produce principalmente en las regiones costera y amazónica. Es un árbol, se observan pequeñas flores en las ramas y producen una mazorca que contiene grano cubierto. Una pulpa rica en azúcar. La producción de cacao se concentra principalmente en las provincias de Los Ríos, Guayas, Manabí y Sucumbíos (Agrodemanda L.T.A, 2019).

En el país se cultivan dos tipos de cacao: el cacao CCN-51 y el llamado cacao nacional. Es un cacao de aroma Premium llamado "Arriba" desde la época colonial. Ecuador es el país con mayor participación de mercado en esta parte del mundo. Otro dato muy importante es que, en 2011, Ecuador ganó los premios "Mejor Cacao de Calidad Oral" y "Mejor Cacao en Grano por Región Geográfica" en el Salón del Chocolate. En París, Francia (Revistalideres, 2015).

Desarrollo de cultivos establecer la producción de plantaciones de cacao requiere obtener una superficie adecuada para lograr una producción sostenible. El área seleccionada debe tener tipo de suelo y condiciones climáticas adecuadas para asegurar el establecimiento de plantaciones productivas, el mínimo necesario.

En cuanto al establecimiento de plantaciones de cacao, esto incluye los costos de instalación: preparación del terreno, plantación de árboles de sombra y de cacao, poda del terreno, control de malezas, fertilización y otros productos. También requiere la construcción de infraestructura, incluyendo caminos internos, canales de drenaje y riego, viveros, fermentador y secador.

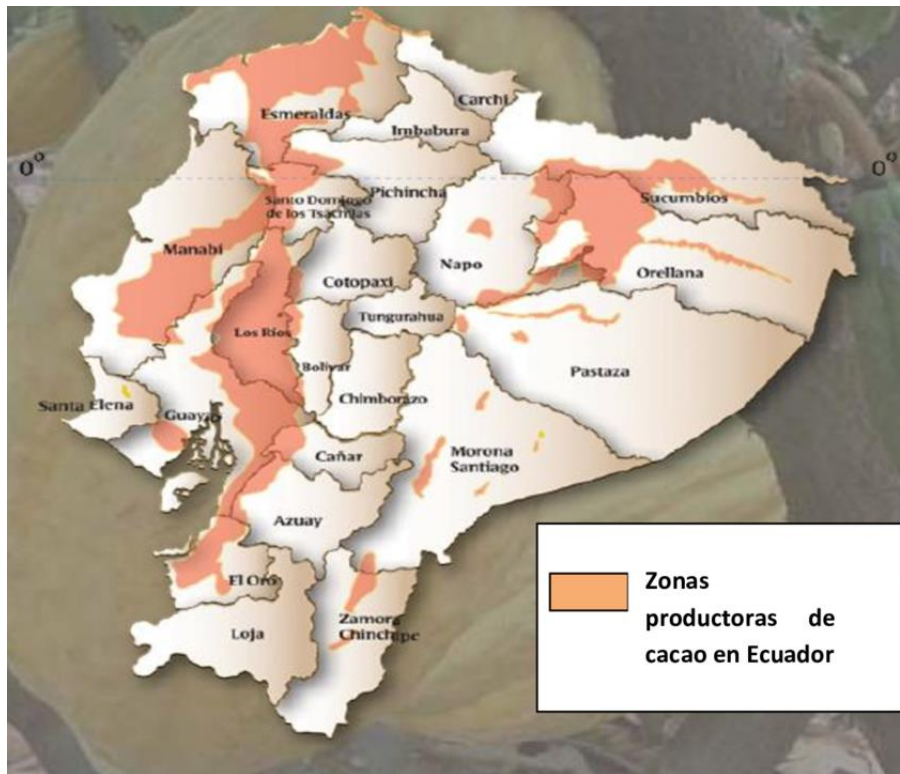


**Figura 2.1** Cacao Ecuatoriano (Larepublica 2019)

En cuanto al mantenimiento de la plantación, se necesita incluir gastos para la realización oportuna de prácticas culturales.

Mantener la poda, el control de malezas, la fertilización, los fungicidas y otros pesticidas, y la recolección de granos y su posterior procesamiento. También debe tenerse en cuenta que, aunque no existe una certificación orgánica, la mayoría de los productores prefieren utilizar métodos naturales de prevención y control.

Por un lado, encontramos que hay al menos dos intermediarios en el canal entre productores y exportadores: pequeños recolectores y mayoristas. Los pequeños recolectores compran alimentos directamente de los agricultores visitando las granjas individuales (anecacao 2021b).






**Figura 2.2** Zonas de Producción de cacao (researchgate 2020)

En el período posterior, estos recolectores vendieron sus productos a mayoristas, quienes a su vez los revenden a exportadores. En el otro extremo de la cadena de venta del cacao, los granos de cacao se venden directamente a los exportadores(anecacao 2021b)..

Ecuador exporta cacao en tres formas diferentes, que se refieren a diferentes etapas de procesamiento: cacao en grano, productos semielaborados y terminados(anecacao 2021b)..

Los granos o almendras en los granos de cacao son las materias primas para la elaboración de varios chocolates. También conocido como Fino y de Aroma, es un producto tradicional e icónico del Ecuador(anecacao 2021b)..

El fruto es rojo en la etapa de desarrollo y en la madurez. Contienen mucha grasa, lo que define su nicho de mercado. La característica de esta variedad es que su capacidad de producción es cuatro veces superior a la de los productos clásicos y tiene resistencia a enfermedades (anecacao 2021a)

Imagen	Tipo	Descripción
	Criollo	<p>Es el árbol que produce frutos de mejor calidad, pero se caracteriza por tener menos frutos y representa una pequeña parte de la producción mundial. Se identifica por tener semillas redondas y ligeramente planas.</p>
	Forastero	<p>El cacao extranjero o del Amazonas es la variedad más común, con sabor fuerte, amargor y ligeramente ácido, y representa el 70% del consumo mundial de cacao.</p> <p>Es el más robusto (los productores dicen que creen en su resistencia a las enfermedades) y también produce la mayor cantidad de frutas, pero la desventaja es que no tiene una fragancia delicada y muy poco sabor a fruta.</p>
	Trinitario o híbrido	<p>Es un híbrido obtenido de Criollo y Forastero.</p> <p>Comparado con el criollo, su salida es significativamente mayor y combina las características gustativas de los dos. Es más resistente a las enfermedades y tiene un sabor más sutil. Si alguna vez lo ha probado, lo encontrará especial.</p> <p>Contiene una variedad de sabores y aroma.</p>

**Tabla 2.1** Tipos de cacao (Cacaomovil 2021a)

Como podemos observar en la tabla estos son los 3 tipos tienen diferente forma, sabor y textura, por ejemplo, el criollo es de mejor calidad, pero una de las desventajas es que consta con menos frutos (granos), el criollo es el más común tiene un sabor fuerte esto podría ser amargo y con un toque ácido, y el trinitario es una mezcla de los dos cacaos ya mencionados, pero este consta de un sabor más ligero que los anteriores

## **2.2. Secadoras de Cacao**

Hoy en día existen muchos tipos y diseños de secadores de granos utilizados en alimentos, cada uno de ellos tiene sus propias características, y cumplen con una u otra condición en el proceso de secado, sin duda, elige uno u otro tipo de secador está relacionado con la economía y la eficiencia del proceso, y estas dos variables suelen ser opuestas en diferentes tipos de situaciones.

El secado podría decirse que es una secadora más barata o su oficio en una situación más económica, puede conducir a un secado ineficaz del producto para él, al contrario de aumentar el costo del equipo aumentará la misma eficiencia, es indicar los aspectos básicos que se deben considerar durante la elección.

Tipo específico de secador, en América Latina, es una parte importante la producción de cereales todavía se seca manualmente, es decir, en campo durante mucho tiempo.

La velocidad de secado depende del método utilizado, secado solar natural en el patio esta es la forma más antigua y común de usar energía. Si el secado es solar, es decir, el exterior continúa desde 5 a 7 días. Dependerá de las condiciones atmosféricas de deshidratación. Las almendras son las mejores.

Cuando termines de secar el cacao, sabrás Bajo la presión del dedo índice y las pulgas, los granos se rompen fácilmente. El cacao también se puede secar

en una secadora calentada manualmente, donde Haga los preparativos para que los granos no huelan a humo.

El secado es una etapa en el proceso de procesamiento del cacao, que elimina el exceso de agua de los granos de cacao mediante calentamiento y completa la formación del aroma y el sabor del chocolate (Ligia Ortiz de Bertorelli 2021).

### **2.3. Tipos de secados del cacao**

Hay dos procesos de secado para el cacao, los cuales son: secado natural y secado artificial.

#### **2.3.1. Secado natural**

Este secado se realiza mediante radiación solar, o mediante el uso de un tendedero, los rayos del sol caen directamente sobre la superficie y el producto se puede encontrar en el montículo. Este tipo de secado requiere más tiempo y un área más grande, cuando el proceso de la temporada de lluvias se detiene, el producto se deteriora y causa pérdida de producción (Orna et al. 2018).

#### **2.3.2. Secado artificial**

Para este tipo de aplicación de secado, es necesario utilizar una máquina para optimizar el tiempo de secado y la mano de obra, especialmente cuando el secado natural no es posible debido a la baja exposición a la luz solar en el proceso. Hay cambio climático. Se debe considerar que el área de secado de este método es menor que la del secado natural, aumentando así el rendimiento (Orna et al. 2018).





**Figura 2.3** Secado artificial (Cacaomovil 2021b)

Como vemos en la imagen este secado suele ser utilizado ya que es más eficiente que el secado natural ya que este puede ser aplicado cuando existen cambios climáticos y por lo que su tiempo de secado es más eficiente que el natural.

## **2.4. Máquinas de secado para el cacao**

En Ecuador y en todo el mundo, las máquinas existentes más comúnmente utilizadas para secar cacao en la actualidad incluyen los siguientes:

### **2.4.1. Secador de cacao rectangulares**

Este tipo de máquina es muy utilizada por los productores de cacao por su tiempo de secado y ahorro de energía. La remoción de los granos de cacao se hace manualmente. El diseño del secador proporciona buenos resultados de productividad a través de una pala de madera o metal.

La máquina se seca desde la composición de la cámara, el material de ensamblaje puede ser acero inoxidable o galvanizado, por ser alimento, hay un control de llama para ajustar la temperatura, el combustible del equipo que

se usa habitualmente es gas licuado de petróleo o diésel, y también incluye una compuerta para productos de descarga y limpieza (Orna et al. 2018).



**Figura 2.4** Maquina de sacado rectangular(Sircaecuador 2021)

#### **2.4.2. Secador de cacao cilíndrico vertical**

Este tipo de máquina puede secar el cacao en el menor tiempo posible y, a diferencia de una máquina rectangular, utiliza elementos y mecanismos para procesar los granos de forma mecánica.

El diseño de su proceso de secado puede producir equipos de alta productividad sin cambiar su calidad. La secadora tiene su propia plataforma para utilizar calor, diseño de ensamblaje de acero inoxidable grado alimenticio o material galvanizado, opcional; su temperatura se ajusta electrónicamente, y también tiene una puerta de descarga para vaciar el producto (Orna et al. 2018).



Figura 2.5 Maquina de sacador de cacao cilíndrica(Indumei 2021)

## 2.5. Ciclo de secado para el cacao

Si se considera que la materia prima se seca por convección (solo el flujo de aire aporta calor), el producto aumentará su humedad relativa cuando se enfríe con aire caliente, pero no llegará a la saturación porque puede seguir absorbiendo humedad (Orna et al. 2018).

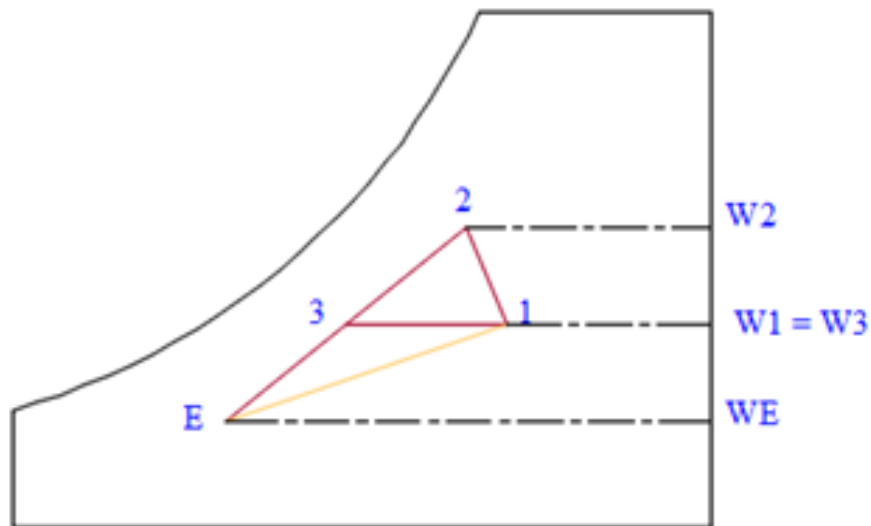


Figura 2.6 Bosquejo psicométrico del proceso de secado(Orna et al. 2018)

## 2.6. Exportaciones totales de cacao en los últimos 2 años

La exportación del cultivo de cacao en Ecuador consta principalmente de pequeños productores, alrededor del 70%, le siguen los productores medianos y los grandes productores, con un 20% representan alrededor del 10%.

Según ICCO, Ecuador es uno de los principales países productores del cacao en grano, tercero en el mundo, representa el 7% de la producción total mundial. El continente africano lidera con un 73,3% producción mundial, seguida del continente americano 16,7%, Asia y Oceanía 10%.

<b>Granos + Semielaborados</b>		
<b>Meses</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
<b>Enero</b>	14.573	28.582
<b>Febrero</b>	16.737	25.035
<b>Marzo</b>	17.878	26.155
<b>Abril</b>	19.474	16.454
<b>TOTAL, GENERAL</b>	<b>91.821</b>	<b>101.605</b>

**Tabla 2.2** Exportación de cacao en tonelada (el universo 2021)

Como podemos observar en la tabla 2.4 Las cantidades que nos brinda la Asociación Nacional de Exportadores e Industriales de Cacao del Ecuador (Ane cacao) dan estadística de que Ecuador exportó, de enero a abril pasado, 101.605 toneladas en comparación con las 91.821 del mismo periodo del año pasado.

<b>Granos + Semielaborados</b>		
<b>Meses</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
<b>Enero</b>	\$ 59.121.215	\$73.265.721
<b>Febrero</b>	\$65.073.312	\$64.504.658
<b>Marzo</b>	\$53.671.889	\$69.903.086
<b>Abril</b>	\$45.507.502	\$54.867.298
<b>TOTAL, GENERAL</b>	<b>\$223.373.918</b>	<b>\$262.540.764</b>

**Tabla 2.3** Exportación de cacao en divisas (el universo 2021)

Por lo tanto, como vemos en la tabla 2.5 existió un incremento en los primeros cuatro meses del 2021 se generaron un total de \$ 262,5 millones, \$ 39,2 millones más que el mes de enero a abril del 2020.

## **2.7. Equipos más utilizados para la fabricación de máquinas de cacao**

Estos materiales suelen ser empleados para la fabricación de estos equipos que actúan principalmente con alimentos a nivel internacional y nacional, son los aceros inoxidable y los galvanizados.

### **2.7.1. Aceros inoxidables**

Esta materia es excelente ya que resiste a los desgastes que se suelen presentar en la industria alimenticia, estos cuentan con una alta gama de recurso. El acero inoxidable también constara de ciertas utilidades que este sujeto, así como la dureza, soldabilidad y los costes.

Designación de la serie	Grupos
2xx	Cromo-níquel-manganeso; material no resistente, no magnético
3xx	Cromo-níquel; no resistente, no magnético
4xx	Cromo-carbono; resistente, magnético
4xx	Cromo; no resistente, magnéticos
5xx	Como; bajo cromo, resistentes al calor

**Tabla 2.4** enumeración para identificar los aceros inoxidable (Ozgul Baser 2016)

Como podemos observar en la tabla 2.6 nos dice que este acero inoxidable consta de un elemento delgado de óxido de cromo o de níquel la cual sirve para prevenir los problemas de la industria alimenticia.

Las características para la elección de aceros inoxidables se especifican a continuación:

- Poseen buenas propiedades mecánicas.
- Excelente beneficio en trabajo a climas elevadas de corrosión y oxidación.
- Formas principales en los métodos de transformación.
- Destreza de adquisición del acero.

## **2.8. Clasificación de los aceros inoxidables**

Los aceros inoxidables se catalogan de acuerdo con su distribución cristalina y endurecibles por precipitación, en la disposición cristalina las fusiones a formarse están: martensita, ferrita, austenita y dúplex se basan de acuerdo con el tipo de método que se les emplea.

### **2.8.1. Aceros inoxidables martensíticos**

Tienen 11.85% de cromo, se desempeñan en frío tienen buena resistencia.

### **2.8.2. Aceros inoxidables ferríticos**

Consta con un 14-27% de cromo estos a diferencia de martensíticos poseen más cromo que carbón, también son resistentes

### **2.8.3. Aceros inoxidables ferríticos**

Poseen mejor resistencia que los aceros inoxidables ferríticos o martensíticos.

Entre los prototipos de materiales más manipulados para la industria alimenticia son los aceros inoxidables inicialmente mencionados, por sus propiedades que muestran de ser muy resistentes a la corrosión y al calor (Ozgul Baser 2016).

## **2.9. DAQ**

Cuando nos referimos de Adquisición de Datos, generalmente sintetizado como DAQ o DAS, describimos al paso de crear mediciones de anomalías mecánicas y rastrear de algún modo para examinar. (Ni, 2019)

### **2.10. Daq USB 6009**

Tarjeta de adquisición de datos con interfaz USB posee entradas y salidas multifunción, 8 entradas análogas de 14 Bits, 2 salidas analógicas, es un dispositivo de bajo costo, brinda funcionalidad básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio (Ni, 2019)



**Figura 2-7:** Daq USB 6009 (Ni, 2019)

La tarjeta posee un canal de datos analógicos y digital como se muestra en la figura 2-8.

Entradas/salidas analógicas del borne 1 al 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
GND	+AI0 -		GND	+AI1 -		GND	+AI2 -		GND	+AI3 -		GND	AO0	AO1	GND
GND	AI0	AI4	GND	AI1	AI5	GND	AI2	AI6	GND	AI3	AI7	GND	AO0	AO1	GND

Entradas/salidas digitales, +5 V y tierra del borne 17 al 32

32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17
GND	+5V	+2.5V	PF10	P1.3	P1.2	P1.1	P1.0	P0.7	P0.6	P0.5	P0.4	P0.3	P0.2	P0.1	P0.0

**Figura 2-8:** Configuración de los pines del DAQ 6009

### 2.10.1. Software

Desde la captura y exploración interactiva de datos hasta la programación de sistemas de medición totalmente automatizados, la perfecta integración de software le permite personalizar las pruebas según sea necesario (Ni 2021).





**Figura 2.9** Software NI (Ni 2021)

Supere los retos tradicionales de la programación de arquitecturas heterogéneas con NI Linux Real-Time, el Módulo LabVIEW FPGA y el controlador NI-DAQmx. Con esta combinación, puede desarrollar su sistema más rápido programando tanto el procesador como el FPGA programable por el usuario con una única cadena de herramientas de software intuitiva.

Concéntrese en resolver problemas, no en tareas de programación de bajo nivel, con software integrado fácil de usar que reduce el riesgo, mejora la productividad y elimina la necesidad de crear y mantener controladores de E/S, sistemas operativos y otro middleware (ni 2021b).

### **2.11. Dispositivo DAQ**

Este componente permite la interacción entre el sensor y la computadora del usuario, por lo que su función principal es digitalizar la señal transmitida desde el sensor al objeto para que la PC pueda interpretarla. Asimismo, incorporan un circuito que les permite adaptar las señales a un protocolo de comunicación, y para el mismo propósito también incluyen un convertidor que permite transformar las señales analógicas en señales digitales, y finalmente, un bus de comunicación a PC, que corresponde a el canal que utilizará el dispositivo para comunicarse con la PC, que puede ser a través de Ethernet, Wi-Fi, Modbus u otro canal de comunicación.

## **2.12. Software de supervisión**

Su función es interactuar con el usuario del sistema. A través de este elemento, podemos visualizar y almacenar los datos de diferentes formas, procesarlos y realizar determinados cálculos. A su vez, podemos interactuar con el dispositivo DAQ y controlar todo el sistema de forma más directa (Emb.cl 2018).

## **2.13. Ventajas de un Sistema DAQ**

El uso de estos sistemas se ha generalizado ampliamente en sectores como el industrial y la minería, entre otros, porque nos ofrece importantes ventajas, entre las que se encuentran:

1. Facilitan la labor de análisis y acceso a la información, especialmente cuando se trata de grandes volúmenes de datos.
2. Permiten un mayor nivel de seguridad de los datos, que se puede respaldar en uno o más dispositivos y luego consultar rápidamente.
3. Proporcionan una mayor facilidad de control y monitorización, ya que pueden operar con varios sensores ubicados físicamente en diferentes lugares.
4. Permiten importantes ahorros de costes; Además, cada uno de los componentes mencionados anteriormente se puede renovar de forma independiente (Emb.cl 2018).

## **2.14. Importancia de los Sistemas de Adquisición de Datos**

Los sistemas de adquisición de datos o dispositivos DAQ son esenciales en la prueba de productos, desde automóviles hasta dispositivos médicos, básicamente cualquier dispositivo electromecánico que utilice la gente. Antes de la adquisición de datos, los productos se probaron de manera no estructurada y altamente subjetiva.

Por ejemplo, al probar una nueva suspensión en un automóvil, los ingenieros a menudo confiaban en las opiniones de los conductores de prueba sobre cómo "sentían" la suspensión.

Con la invención y el desarrollo de sistemas de adquisición de datos, que podían recopilar datos de una amplia variedad de sensores, este tipo de opiniones subjetivas fueron reemplazadas por mediciones objetivas.

Estos podrían repetirse, compararse, analizarse matemáticamente y visualizarse fácilmente de muchas formas. La adquisición de datos es el proceso de convertir señales del mundo real al dominio digital para su visualización, almacenamiento y análisis.

Debido a que los fenómenos físicos existen en el dominio analógico, es decir, el mundo físico en el que vivimos primero debe medirse allí y luego convertirse al dominio digital.

Este proceso se realiza utilizando una variedad de sensores y acondicionadores de señal. Las salidas se muestrean mediante convertidores de analógico a la digital (ADC) y luego se escriben en un flujo basado en el tiempo en un medio de memoria digital, como se mencionó anteriormente. Generalmente llamamos a estos sistemas de medición (Smith 2020).

## 2.15. Sistema de adquisición de datos (DAS o DAQ)

Un sistema de adquisición de datos (DAS o DAQ) es un grupo de sensores, componentes de hardware y programas de software que trabajan juntos con el fin de recoger las señales del mundo físico o real. El DAS puede ser tan simple como una computadora personal con software y periféricos de hardware de adquisición de datos. Si el DAS es como un sistema independiente con software dedicado que solo es capaz de realizar la adquisición de datos, puede denominarse un registrador de datos.

La primera etapa de cualquier DAS son los sensores o transductores. Estos dispositivos convierten algún tipo de señal física del mundo real en una señal eléctrica. Generalmente, el DAS tendrá algunos circuitos de acondicionamiento de señal, como el filtrado analógico en la cadena de señales. Este acondicionamiento prepara la señal para la conversión de los datos de analógico a digital a través del convertidor analógico digital (ADC). Estos datos convertidos se envían a la unidad de procesamiento principal, como una computadora, a través de una ranura o puerto. La unidad de procesamiento principal manipula los datos mediante el uso de software y hardware dedicados (Arrow , 2015).



**Figura 2-10:** Diagrama de un sistema con Daq o Das (Agüero, 2017)

## 2.16. LabVIEW

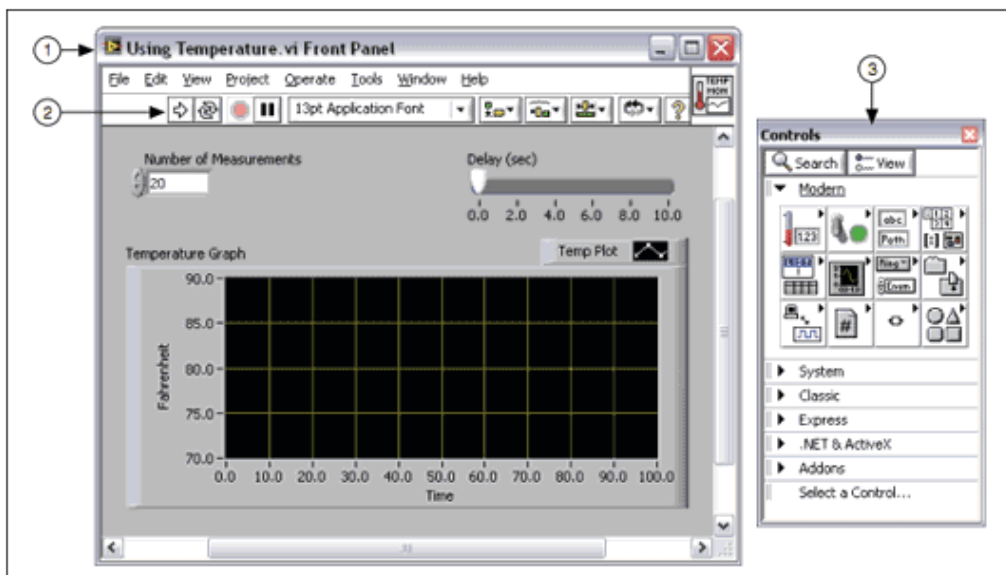
LabVIEW es un tipo de software que proporciona un poderoso entorno de desarrollo gráfico para el diseño de aplicaciones de ingeniería de adquisición de datos, análisis de medidas y presentación de datos, gracias a un lenguaje de programación, sin la complejidad de otras herramientas de desarrollo.

## 2.17. Instrumentos Virtuales

Los programas de LabVIEW se denominan instrumentos virtuales o VIs porque su apariencia y operación imitan instrumentos físicos, como osciloscopios y multímetros. LabVIEW incluye una variedad de herramientas para recopilar, analizar, visualizar y almacenar datos, así como herramientas para ayudarlo a solucionar problemas del código que escribe.

### 2.17.1. Panel Frontal

Cuando abre un VI nuevo o existente, aparece la ventana del panel frontal del VI. La pestaña del panel frontal es la interfaz de usuario del VI.



**Figura 2.11** Pestaña de la Sección Frontal, Barras de Herramientas y Paleta de Controles.(ni 2021a).

### **2.17.2. Paleta de Controles**

La paleta de control contiene los controles e indicadores utilizados para crear el panel frontal. Puede acceder a la paleta de control desde la ventana del panel frontal seleccionando Ver» Paleta de control o haciendo clic con el botón derecho en cualquier área en blanco de la ventana del panel frontal.

La paleta de control se divide en varias categorías; puede exponer algunas o todas estas categorías para satisfacer sus necesidades.

### **2.17.3. Controles e Indicadores**

Puede crear paneles frontales con controladores e indicadores, que son los terminales interactivos de entrada y salida del VI, respectivamente. Los controles pueden ser perillas, botones, controles deslizantes y otros dispositivos de entrada. Los indicadores son gráficos, LED y otras pantallas.

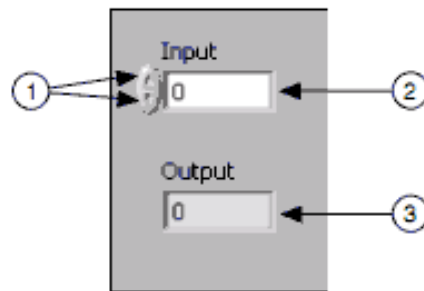
Estos controles simulan dispositivos de entrada de instrumentos y alimentan datos al diagrama de bloques del VI. El medidor simula el dispositivo de salida del instrumento y muestra los datos adquiridos o generados por el diagrama de bloques. El usuario puede cambiar el número de mediciones y el valor de entrada del control de retardo (segundo).

El usuario puede ver el valor generado por el VI en el indicador gráfico de temperatura. El VI genera el valor del indicador basado en el código creado en el diagrama de bloques.

Cada control o medida tiene un tipo de datos asociado. Por ejemplo, el retardo de deslizamiento horizontal (segundos) es un tipo de datos digitales. Los tipos de datos más utilizados son números, valores booleanos y cadenas.

#### 2.17.4. Controles e Indicadores Numéricos

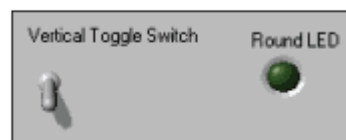
El tipo de datos numéricos puede representar varios tipos de números como números enteros o reales. Dos objetos digitales comunes son los controles y los indicadores digitales.



**Figura 2.12** Aumento/Descenso de Control Numérico. (ni 2021a).

#### 2.17.5. Controles e Indicadores Booleano

El tipo de datos booleano representa datos con solo dos estados posibles, como VERDADERO y FALSO o ENCENDIDO y APAGADO. Utilice controles e indicadores booleanos para proporcionar y mostrar valores booleanos.



**Figura 2.13** Observaciones Booleano. (ni 2021a).

#### 2.17.6. Controles e Indicadores de Cadena de Caracteres

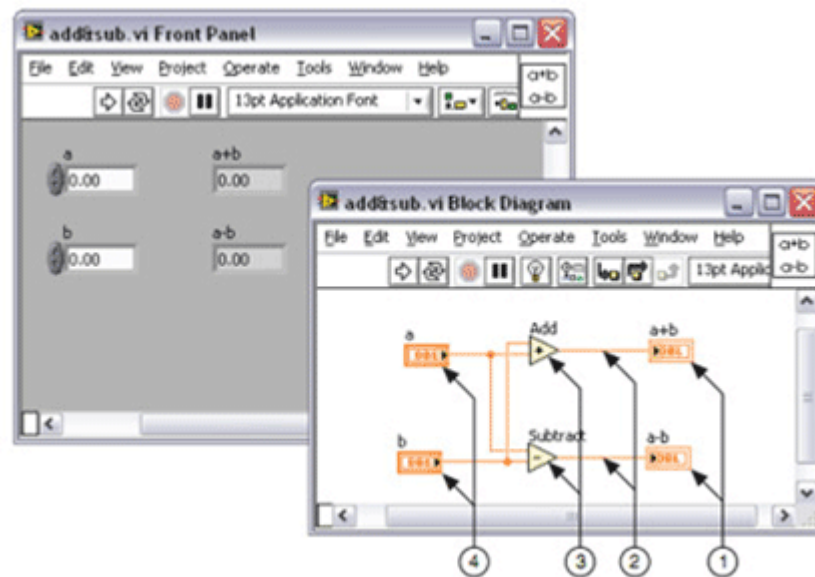
El tipo de datos de cadena es una secuencia de caracteres ASCII. Utilice controles de cadena para recibir texto del usuario, como nombre de usuario o contraseña. Utilice indicadores de cadena para mostrar texto al usuario.



**Figura 2.14** Guías de Cadenas de Caracteres.(ni 2021a).

### 2.17.7. Diagrama de Bloques

Los objetos en la ventana del panel frontal se muestran como terminales en el diagrama de bloques. Los terminales son puertos de entrada y salida para intercambiar información entre el panel frontal y el diagrama de bloques.



**Figura 2.15** Guías de cables.



### **2.17.8. Terminales de Diagrama de Bloques**

El terminal es similar a los parámetros y constantes en un lenguaje de programación basado en texto.

### **2.17.9. Nodos de Diagrama de Bloques**

Los nodos son objetos en el diagrama de bloques que tienen entradas y / o salidas y realizan operaciones mientras el VI está en ejecución.

## **2.18. Beneficios**

Si algo se puede atribuir esencialmente a la popularidad de LabVIEW, es su lenguaje de programación de software intuitivo para sistemas de control y medición automatizados. Su lenguaje gráfico y su método de diagrama de bloques expresan de forma natural el flujo de datos y muestran de forma intuitiva los controles de la interfaz de usuario.

De esta manera, los programadores pueden ver y modificar fácilmente sus datos o controlar la entrada. Para los programadores junior, la tecnología LabVIEW. Express convierte las tareas comunes de medición y automatización en VIs intuitivos de nivel superior para sistemas de automatización de edificios.

Para los más experimentados, el software proporciona el rendimiento, la flexibilidad y la compatibilidad de los lenguajes tradicionales (como C + o BASIC) al tener las mismas características (variables, tipos de datos, objetos, estructuras de ciclo y secuencia, y manejo de errores).

El código antiguo, como DLL o bibliotecas compartidas, también se puede reutilizar e integrar con otro software utilizando ActiveX, TCP y diferentes tecnologías estándar.

Normalmente, los usuarios de la plataforma de National Instruments utilizan un modelo de programación de flujo de datos patentado que proporciona una interfaz intuitiva para crear aplicaciones de diseño, control y prueba.

Sin embargo, LabVIEW ha evolucionado para proporcionar herramientas de desarrollo adicionales para complementar este lenguaje básico para acelerar la generación de código y ayudar a que el sistema sea más visible. Cada una de estas herramientas se integra con el entorno de programación básico para generar soluciones específicas útiles (mecalux 2021).

## **2.19. INTERNET DE LAS COSAS**

El internet de las cosas es lo que se refiere a la recolección de datos a través de la red y conectándose con diferentes dispositivos permitiendo un control o supervisión de los datos (Escobar Gallardo, 2018).

En la actualidad se aplica en sistemas de supervisión para sensores y otros periféricos a través de servicios que ofrecen una cantidad de datos limitados para usarse en un servidor alojado en la nube.

## **2.20. Plataforma iot**

Las plataformas llenan la brecha entre los sensores del dispositivo y las redes de datos. Conecta los datos al sistema de sensores y brinda información utilizando aplicaciones back end para crear una idea de la gran cantidad de datos desarrollados por los muchos sensores (Burgos Yar, 2021)

## **2.21. Control PID**

Un controlador o regulador PID es un dispositivo que permite controlar un sistema de circuito cerrado para lograr el estado de salida deseado. El controlador PID está compuesto por tres elementos que proporcionan

acciones proporcionales, integrales y derivadas. Estas tres acciones son el nombre del controlador PID.

## **2.22. Sintonización del Controlador PID**

### **2.22.1. Control proporcional**

Este es el control más importante y, en realidad, es el control que impulsa el motor la mayor parte del tiempo. Imagine  $K_P = 1$ ,  $K_I = 0$  y  $K_D = 0$  (al establecer 0 cancelamos este tipo de control).

Ahora suponga que el motor está en la posición 0 y queremos llevarlo a la posición 23000. El control proporcional pasará casi todos los valores por 255 (el valor máximo de PWM) hasta llegar finalmente a la posición 23000-255, es decir, la posición 22745.

A partir de ese momento, el valor de PWM estará próximo a la posición del punto especificado disminuir proporcionalmente. Si aumentamos el valor de  $K_P$ , lo acercaremos, pero hay una limitación.

Si el motor está descargado, en circunstancias normales, debido a la inercia del propio movimiento, a menudo superará la posición especificada, y la oscilación resultante será cada vez más lenta.

### **2.22.2. Control derivativo (o diferencial)**

La velocidad es una derivada, por eso se llama velocidad. La función del control diferencial es reducir la velocidad del motor cuando el motor está cerca del punto especificado.

Este tipo de control elimina las oscilaciones que mencioné anteriormente en el control proporcional, y el control integral hará lo mismo. Un valor demasiado alto en la constante derivada ( $K_D$ ) puede producir un comportamiento

particularmente ruidoso u oscilaciones arbitrarias. El control diferencial es muy sensible a los cambios porque intenta proporcionar la velocidad de llegada correcta para el motor.

### **2.22.3. Control Integral**

El control proporcional "intenta" alcanzar el objetivo y el diferencial ajusta la velocidad para evitar oscilaciones, porque el control integral es la parte más sensible de este asunto: cuando el motor está cerca del objetivo, como máximo en algunos casos, lo que hará es que, si miras hasta que alcance un poquito el punto especificado, aumentará el valor de PWM hasta que logre mover el motor lo suficiente.

#### **2.22.4. Tiempo de muestreo**

Esta parte también es muy importante. La unidad de tiempo le dice al PIC con qué frecuencia realizar los cálculos. No actúa sobre el control proporcional, pero por razones obvias en matemáticas, actúa sobre el control integral y derivado.

#### **2.22.5. Acción Proporcional.**

Aumente gradualmente el efecto proporcional para reducir el error (la diferencia entre el estado deseado y el estado alcanzado) y aumente la velocidad de respuesta.

Si se alcanza la velocidad requerida y la respuesta al error, el PID se ha ajustado.

Si el sistema se vuelve inestable antes de alcanzar la respuesta deseada, se debe aumentar la acción derivada.

#### **2.22.6. Acción Derivativa.**

Si el sistema es demasiado inestable, la constante diferencial KD aumentará gradualmente para recuperar la estabilidad de la respuesta.

#### **2.22.7. Acción Integral.**

Si el error del sistema es mayor que el error requerido, la constante integral  $K_i$  aumentará hasta que el error se minimice a la velocidad requerida.

Si el sistema se vuelve inestable antes de alcanzar la respuesta deseada, se debe aumentar la acción derivada.

Con estas sencillas reglas, puede ajustar fácilmente el controlador PID poco a poco hasta obtener la respuesta deseada (Pardo 2021).

### **2.23. Tarjeta PCB**

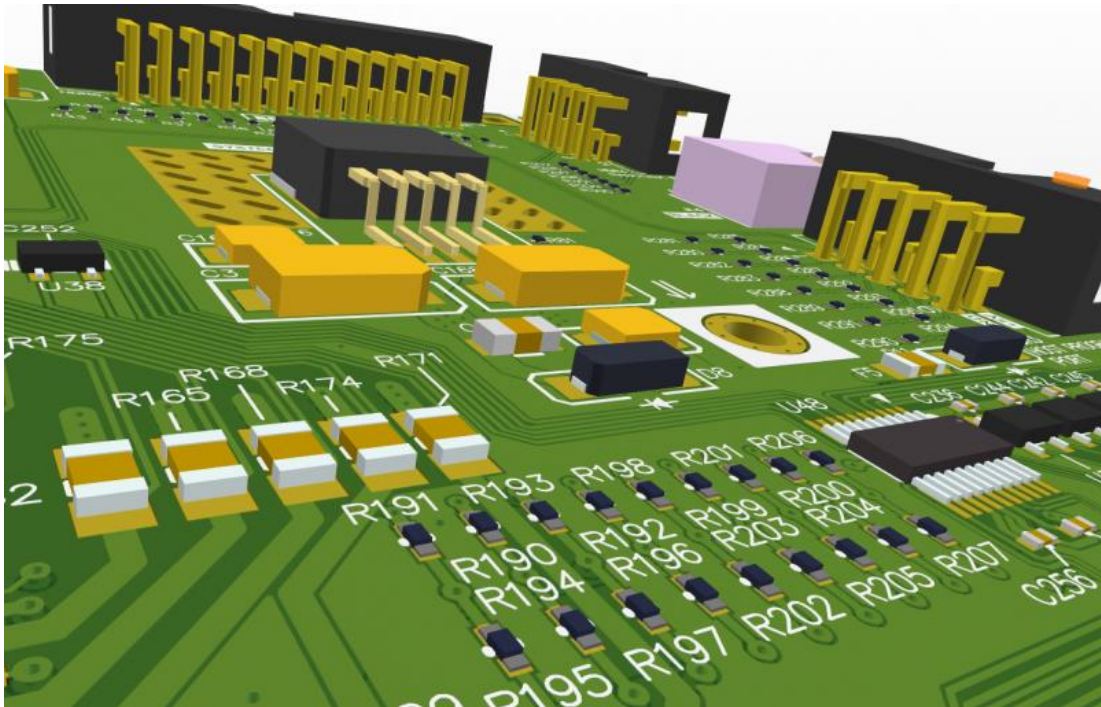
Una placa de circuito impreso es un circuito cuyos componentes y conductores están contenidos en una estructura mecánica. Las características conductoras incluyen trazas de cobre, terminales, disipadores de calor o conductores planos. La estructura mecánica está hecha de laminado aislante entre capas de material conductor.

La estructura general está galvanizada y cubierta con una capa de soldadura de resistencia no conductora y una pantalla impresa para la ubicación de la leyenda de los componentes electrónicos.

La placa de circuito impreso está formada por capas alternas de cobre conductor y materiales aislantes no conductores. Durante el proceso de fabricación, se graba la capa de cobre interna, dejando trazas de cobre intencionales para conectar los componentes del circuito. Después de la laminación, el material aislante se graba sobre la capa de cobre, y así sucesivamente, hasta que se completa la placa de circuito impreso.

Cuando todas las capas están grabadas y laminadas juntas, los componentes se agregan a la capa exterior de la placa de circuito impreso. Los robots montan automáticamente las piezas de montaje en superficie y las piezas de orificio pasante se colocan manualmente.

Luego use técnicas como soldadura por reflujo o soldadura por ola para soldar todos los componentes a la placa. Después de aplicar la máscara de soldadura y la pantalla de impresión de la leyenda, se galvaniza el ensamblaje final.



**Figura 2.16** Componentes de la tarjeta PCB: (Peterson 2020)

## **2.24. Tipos de elementos de una tarjeta PCB**

Los tipos de elementos que nos solemos topar en una PBC son los siguientes:

### **2.24.1. Las resistencias**

El propósito último de estos componentes electrónicos es crear obstáculos para el paso de corriente eléctrica a través de ellos.

Una de las características más importantes es su resistencia óhmica, la cual viene determinada por las propiedades físicas de los materiales presentes en su composición, lo que hace que sus valores se mantengan invariables tanto para corriente continua como alterna.

Otra característica de esta es que pueden disipar su máxima potencia, dependiendo de su estructura física. Las resistencias pueden ser fijas o variables, dependiendo de su valor de resistencia.

### **2.24.2. Los condensadores**

Es un dispositivo pasivo utilizado en productos eléctricos y electrónicos que puede almacenar energía manteniendo un campo eléctrico.

Su composición es la siguiente: dos marcos metálicos paralelos, generalmente de aluminio, están separados por materiales dieléctricos.

### **2.24.3. Los transistores**

Los transistores son dispositivos que regulan el flujo de corriente o voltaje en circuitos electrónicos y se utilizan como interruptores y / o amplificadores de señales eléctricas o electrónicas.

### **2.24.4. Los diodos**

Estos componentes también se denominan rectificadores porque realizan la conversión de corriente alterna a corriente continua pulsante. Los diodos son mecanismos semiconductores que actúan como interruptores de corriente unidireccionales y se clasifican según el tipo, voltaje y capacidad de corriente.

### **2.24.5. Las bobinas**

Los inductores o bobinas son componentes pasivos que tienen la capacidad de almacenar energía en forma de campo magnético. Están formados por cabezales huecos en espiral de conductores hechos principalmente de alambre de cobre o alambre esmaltados.

### **2.24.6. Los interruptores**

El interruptor está ubicado en el circuito electrónico que controla la corriente, ralentiza el flujo de electrones y permite el encendido / apagado. Su



funcionamiento depende de si están en contacto con contactos metálicos, cuando están cerrados, y cuando no están en contacto, se abren.

#### **2.24.7. Los fusibles**

Los fusibles cortan el flujo de electricidad al quemar los cables o piezas de metal que los componen. Su posición en el circuito es al inicio para evitar que llegue al circuito y dañe el dispositivo cuando aumenta la corriente (Surtel 2019).

#### **2.25. El principio de funcionamiento del sensor de temperatura**

Los sensores de temperatura funcionan aprovechando una característica física de algunos materiales conductores y semiconductores, estos materiales son capaces de variar la resistencia eléctrica en función de la temperatura ambiente, gracias a este principio podemos describir el funcionamiento de un sensor de temperatura de cualquier tipo (Veloso, 2016).

Existen materiales semiconductores con coeficiente de temperatura negativo (Cuando aumenta la temperatura la resistencia disminuye) y otros con coeficiente de temperatura positivo (Cuando aumenta la temperatura la resistencia aumenta) (Veloso, 2016)..

#### **2.26. Coeficiente de temperatura**

El coeficiente de temperatura, habitualmente simbolizado como  $\alpha$ , es una propiedad intensiva de los materiales que cuantifica la relación entre la variación de la propiedad física de un material y el cambio de temperatura. Por tanto, es el cambio relativo de una propiedad física cuando la temperatura se cambia un K. Este coeficiente se expresa según el Sistema Internacional de Unidades en K (Paul, 2008). Su expresión matemática toma la forma de la ecuación 1.

$$\alpha(T) = \frac{1}{R(T_0)} \cdot \frac{\partial R(T)}{\partial T} \quad (1)$$

Donde:

- $\alpha$  es el coeficiente de temperatura, que puede variar con la temperatura;
- $R(T)$  es la magnitud de la propiedad física del material a la temperatura  $T$
- $R(T_0)$  es la magnitud de la propiedad física del material a la temperatura de referencia  $T_0$

### 2.26.1. 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 2-3 (Benavides, 2017).



**Figura 2-17 :** Sensor de temperatura RTD (Benavides, 2017).

### 2.27. Sensor de temperatura pt100

Es un tipo específico de RTD. RTD (Detector de temperatura por resistencia) es un detector de temperatura por resistencia, es decir, un sensor de temperatura, cuyo principio de medición es que la resistencia de un conductor cambia con la temperatura.

Al aumentar la temperatura en el metal, se genera una mayor agitación térmica, los electrones se dispersan más y se reduce su velocidad promedio, lo que se traduce en un aumento de la resistencia eléctrica. A mayor temperatura, mayor agitación y resistencia.

El sensor PT100 consta de un cable de platino empaquetado con una resistencia de 100 ohmios a 0 ° C (la característica principal del nombre del sensor). La resistencia de PT100 cambia con la temperatura, por lo que, si podemos medir el valor de resistencia, podemos saber cuál es la temperatura en ese momento. Hay sensores PT100 de dos, tres y cuatro cables para la conexión.

La configuración de dos cables es la más simple, pero no es tan confiable como la configuración de tres o cuatro cables. Sus aplicaciones más comunes incluyen detección de temperatura en tanques de agua, maquinaria industrial, aire acondicionado, control y monitoreo de procesos industriales, etc.

PT100 y RTD son generalmente mejores que los termopares, especialmente en aplicaciones de baja temperatura (-100 ° C a + 200 ° C).

Una ventaja del sensor PT100 es que, a diferencia de otros sensores que se degradan con el tiempo y dan lecturas falsas, el PT100 abre el circuito para que pueda saber cuándo necesita reemplazarlo. Los RTD son un poco más costosos y sus propiedades mecánicas no son tan rígidas como los termopares (Naylampmechatronics 2021).



**Figura 2.18** Sensor Pt100.(Laurila 2018).

## **2.28. Características de sensores PT100**

PT100 es un sensor de temperatura con 100 ohmios a 0 ° C y, a medida que aumenta la temperatura, aumenta su resistencia. Este sensor PT100 es el núcleo sensible a la temperatura de cualquier termómetro de resistencia. Además del método de instalación, sus características determinan básicamente las características técnicas de medición del sensor.

El aumento de la resistencia PT100 no es lineal, sino que está aumentando, y es la característica del platino, la temperatura exacta correspondiente se puede encontrar a través de la tabla. Las sondas industriales PT100 se fabrican habitualmente con el mismo método de envasado que los termopares, es decir, encapsuladas en un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina).

Un extremo es el elemento sensible (sensor RTD) y el otro extremo es el terminal eléctrico que protege el cable en la caja redonda de aluminio (Srcsl 2021).

## **2.29. Construcción y funcionamiento**

Dependiendo de la estructura, la parte sensible a la temperatura de PT100 se encapsula en un cuerpo de vidrio o cerámica en forma de alambre o cinta de platino, o se encuentra como una capa delgada sobre un inserto de cerámica.

Los terminales del elemento de medición están conectados al componente de resistencia activa de manera anti vibratoria. En el caso de varios PT100, las respectivas bobinas se identifican por las diferentes longitudes de los pares de terminales.

El principio efectivo de PT100 es cambiar su resistencia, que cambiará según la temperatura en la que se encuentren. Como elemento de extensión, PT100 recoge el valor medio de la temperatura existente en toda la longitud (Srcsl 2021).

## **2.30. Normas**

Todos los PT100 de platino suministrados y ensamblados por SRC cumplen con los valores básicos y las desviaciones permitidas de DIN IEC 751. El valor DIN se aplica a un valor nominal de 100 ohmios.

## **2.31. Sondas PT100 – Tipos y montajes**

Para utilizar platino PT100 para una medición de temperatura segura, las propiedades mecánicas y la tecnología de medición (tamaño, forma, resistencia a vibraciones, rango de temperatura, tiempo de respuesta, resistencia de aislamiento, etc.) deben ser adecuadas para la categoría de medición y las condiciones del lugar de aplicación.

El modelo más estándar consta de un tubo protector metálico de acero inoxidable en el que se coloca el sensor y tiene una salida a través del cable, conector o cabezal.

Además del rango de temperatura del PT100, la instalación determinará el rango de temperatura de la sonda PT100.

Además de elegir el modelo PT100 correcto, es particularmente importante instalarlo en la ubicación que desea medir. Esto requiere un alto grado de conocimiento, por lo que recomendamos a nuestros técnicos de aplicaciones que brinden asesoramiento (Srcsl 2021).

## **2.32. PT100 – Conexionado**

### **2.32.1. PT100 2 hilos**

La forma más fácil de conectar (pero no se recomienda) es usar solo dos cables. Esto solo se recomienda para mediciones a una distancia de hasta 10 metros del termostato, ya que el sensor pt100 puede perder su señal desde allí.

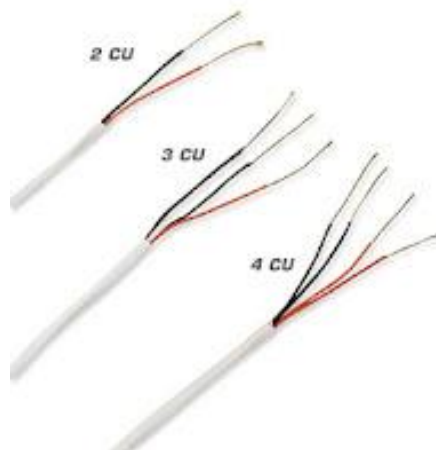
### **2.32.2. PT100 3 hilos**

El método de conexión de 3 hilos es el método más común y comúnmente utilizado en el proceso industrial y resuelve el problema de los errores de cable.

El único requisito es que los tres cables tengan la misma resistencia, porque el sistema de medición (casi siempre) se basa en un "puente de When at Stone". Por supuesto, se debe utilizar un lector de temperatura para este tipo de conexión. La mayoría de los equipos industriales están listos para una conexión de 3 cables.

### 2.32.3. PT100 4 hilos

El método de 4 hilos es el método más preciso utilizado en el laboratorio. Los 4 cables pueden ser diferentes (diferente resistencia), pero el instrumento de lectura es más caro (Srcsl 2021).



**Figura 2.19** Tipos de PT100 (Agustin 2013)

Observamos en la imagen los tres tipos de hilos de PT100, cada hilo tiene una utilidad específica, pero el que más se recomienda usar es el de dos hilos, pero solo cuando son utilizados a una distancia de 10 metros.

### 2.33. Relé de estado sólido (SSR)

Es un dispositivo de conmutación electrónico que se enciende o apaga cuando se aplica un voltaje externo (CA o CC) a través de sus terminales de control. Tiene la misma función que un relé electromecánico, pero no tiene partes móviles y, por lo tanto, da como resultado una vida útil más larga. Los

SSR consisten en un sensor que responde a una entrada apropiada (señal de control), un dispositivo de conmutación electrónico de estado sólido que cambia la energía al circuito de carga y un mecanismo de acoplamiento para permitir que la señal de control active este interruptor sin partes mecánicas. El relé puede estar diseñado para conmutar Aco cargas de CC (Pulido, 2000)



*Figura 2-20:* Relé de estado sólido (Pulido, 2000)

### **2.34. MOSFET**

El transistor de efecto de campo semiconductor de óxido metálico, también conocido como transistor de óxido metálico y silicio (transistor MOS o MOS), es un tipo de puerta aislada transistor de efecto de campo que se fabrica mediante la oxidación controlada de un semiconductor, normalmente silicio. El voltaje de la puerta cubierta determina la conductividad eléctrica del dispositivo; esta capacidad de cambiar la conductividad con la cantidad de voltaje aplicado se puede utilizar para amplificación o conmutación de señales electrónicas (Kang, 2000) .



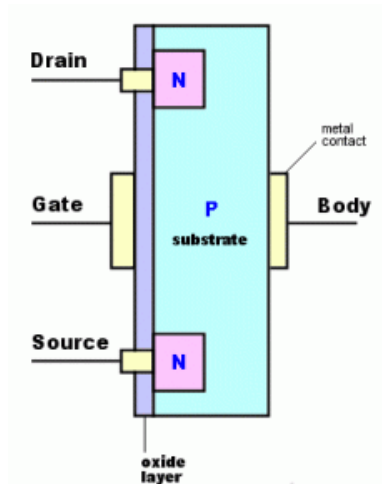


Figura 2-21: MOSFET (Kang, 2000) .

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Esquema general de componentes de la planta

En el diseño del presente proyecto se optó por el uso de gas doméstico el cual suministra un flujo constante al calentador asistido por una señal pwm controlado por un relé de estado sólido DC-AC, teniendo una respuesta desde el programa LabVIEW en conjunto con una tarjeta Daq 6009.



Figura 3-1 : Esquema propuesto para el proyecto

### 3.2. Flujograma del proyecto

En la Figura 3.2 se detalla el proceso desde la adquisición de datos de la temperatura y la humedad conectándose las señales al Daq6009, teniendo como software de procesamiento LabVIEW el cual enviara los datos a UBIDOTS y enviara las señales a la Daq para conectarse con la tarjeta de control de los actuadores enviando señales para los actuadores como el servo motor encargado del ignitor, el solenoide, motor mezclador y el motor de flujo de gas.

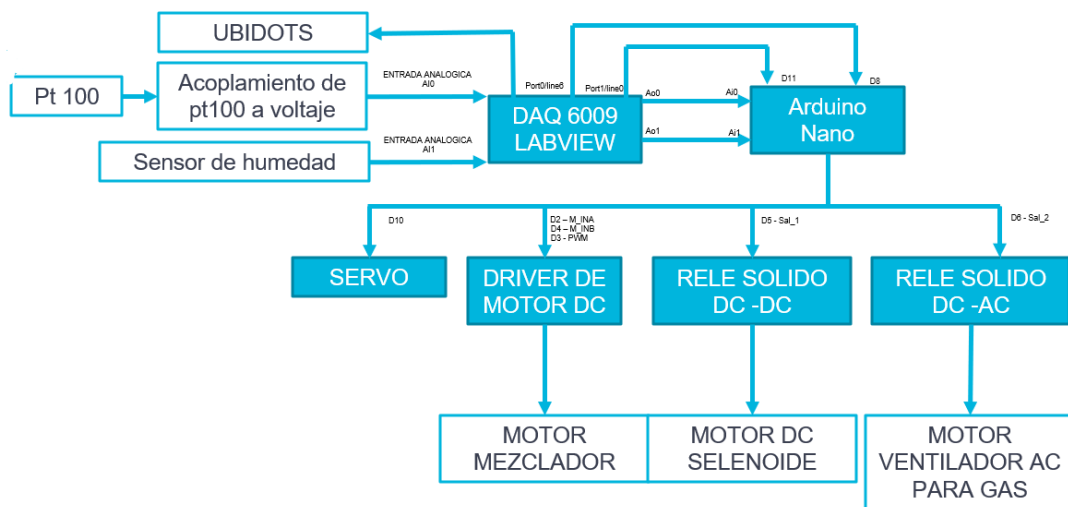
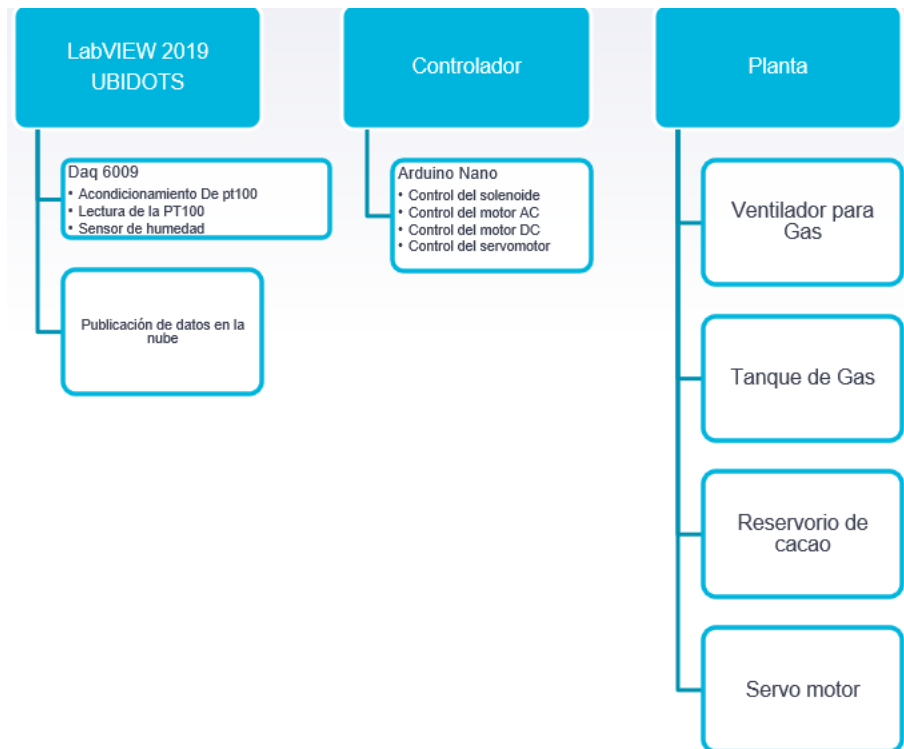


Figura 3-2 : Flujograma del proyecto

### 3.3. Jerarquía del proceso

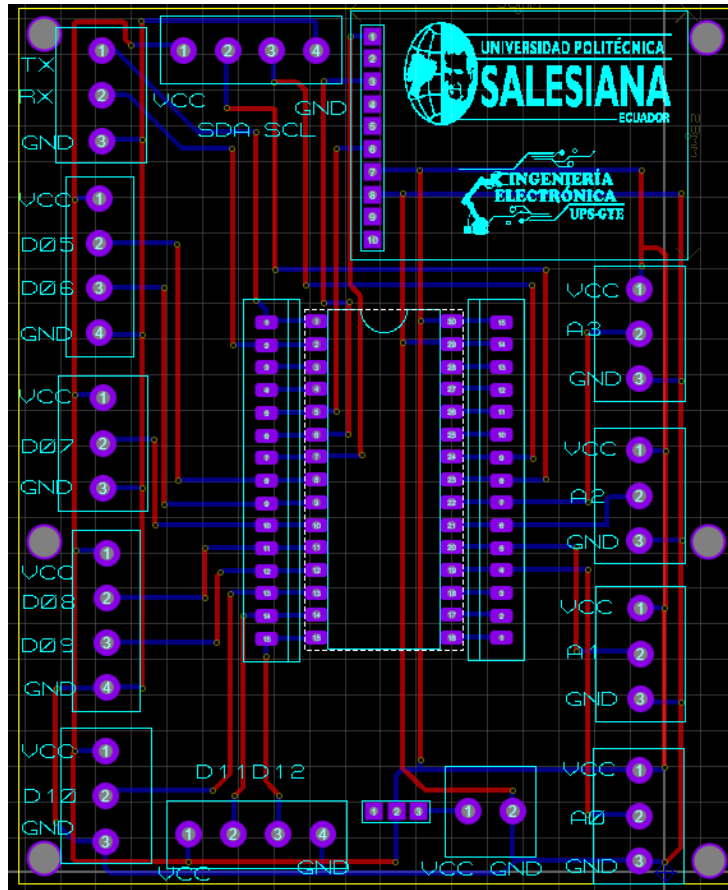
En la Figura 3.3 se detalla la jerarquía que en el primer nivel es el procesamiento y adquisición de señales, teniendo como segundo nivel el controlador siendo una Arduino nano que enviará las señales hacia el nivel de la planta que tendrá los actuadores finales encargados del suministro del gas y funcionamiento de la planta.



**Figura 3-3 : Jerarquía del proyecto**

### 3.4. Tarjeta controladora

El diseño de la tarjeta se creó en el software proteus, dicho archivo está presente en el anexo del documento separado por capas, la vista general de la placa se muestra en la Figura 3.4.

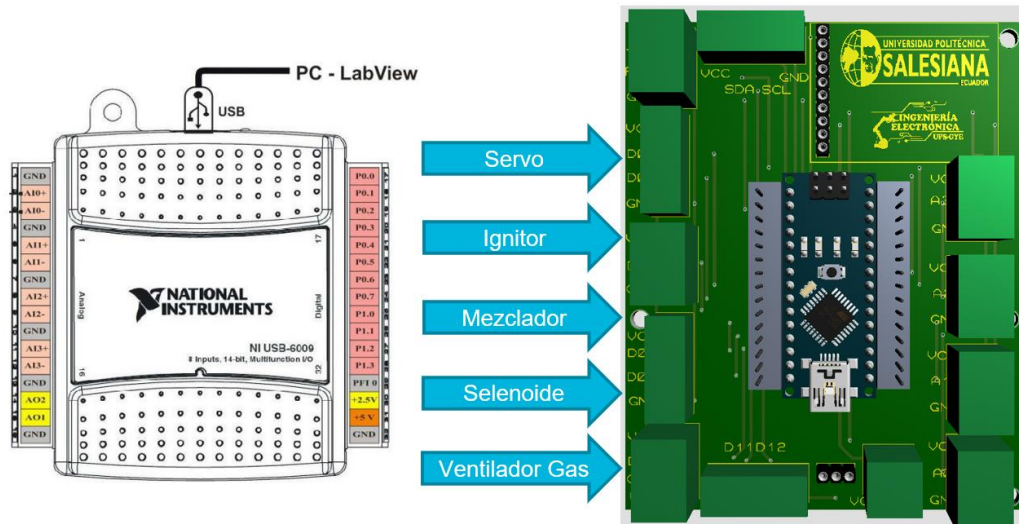


*Figura 3-4 : Diseño de pcb en proteus*

### 3.5. Comunicación entre DAQ y controladora de actuadores

El código está en la sección de anexos, en la Figura 3.5 se muestra las señales que envía la tarjeta DAQ luego del procesamiento en LabVIEW hacia la tarjeta controladora para el manejo de los actuadores en la planta.

En la Tabla 3.1 se detalla las conexiones entre las salidas desde la tarjeta DAQ y la controladora encargada de realizar el accionamiento de los actuadores.



**Figura 3-5 :** Envío de datos desde DAQ a la tarjeta controladora de actuadores

DAQ 6009	CONTROLADOR
Salida AO0	Entrada Ai0
Salida AO0	Entrada Ai1
Salida Port0/line 6	Entrada D8
Salida Port1/line 0	Entrada D11

**Tabla 3.1** Conexiones entre Daq y controladora

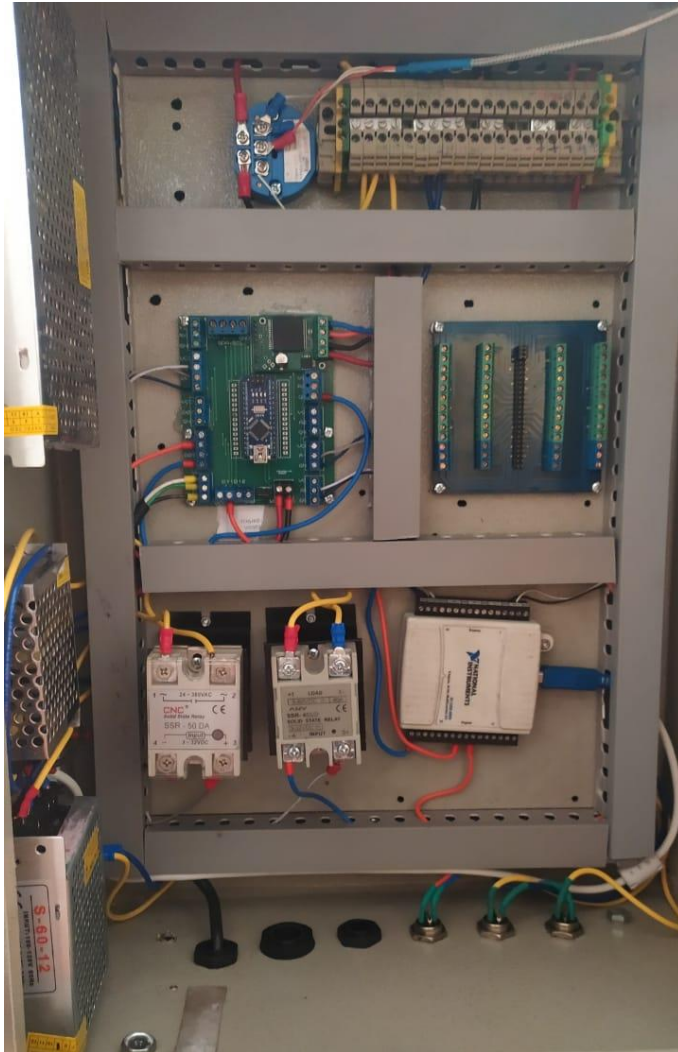
Uno de los objetivos del proyecto es el diseño de un controlador encargado de la parte de potencia tal como activación del motor de corriente alterna para el control del gas, un servo motor para la activación del ignitor, un solenoide de 24 voltios continuos para permitir la circulación del gas y un motor de corriente continua de 12 voltios continuos como se muestra en la tabla 3.2.

Controlador	Actuadores
D10	Servo
D2-D4-D3	Motor DC
D5	Relé solido DC -DC (SOLENOIDE)
D6	Relé solido AC -DC (MOTOR AC)

**Tabla 3.2** Conexiones del controlador y actuadores

### 3.6. Diseño de caja de control

En la Figura 3.6 se muestra la caja de control que consta de la tarjeta controladora, tarjeta de acoples, tarjeta de adquisición de datos y las fuentes de alimentación independientes de 24, 12 y 5 voltios continuos.



*Figura 3-6 : Caja de control*

### 3.7. Diseño de planta

Para el proceso general de secado consta de tres partes teniendo la caja de control que se conecta al computador mediante un usb, la planta del gas teniendo los actuadores para el control de gas, ventilación, mezcla y el tanque de gas con un indicador de precisión visual.



*Figura 3-7 : Planta y caja de control*

### **3.8. Comunicación entre DAQ y controladora de actuadores**

En la Figura 3.8 se muestra las señales que envía la tarjeta DAQ luego del procesamiento en LabVIEW hacia la tarjeta controladora para el manejo de los actuadores en la planta.

En la Tabla 3.1 se detalla las conexiones entre las salidas desde la tarjeta DAQ y la controladora encargada de realizar el accionamiento de los actuadores, el código se detalla en la sección de anexo 1.

### **3.9. Conexión entre LabVIEW y UBIDOTOS**

Para la conexión con la plataforma se utiliza el programa LabVIEW mediante un protocolo http el cual realiza un enlace a una dirección en conjunto con un método de LabVIEW denominado publicar o post, teniendo un entorno basado en un enlace tipo json enviando los datos como ignitor, solenoide, velocidad del motor ac, velocidad del motor dc como se muestra en la Figura 3.8

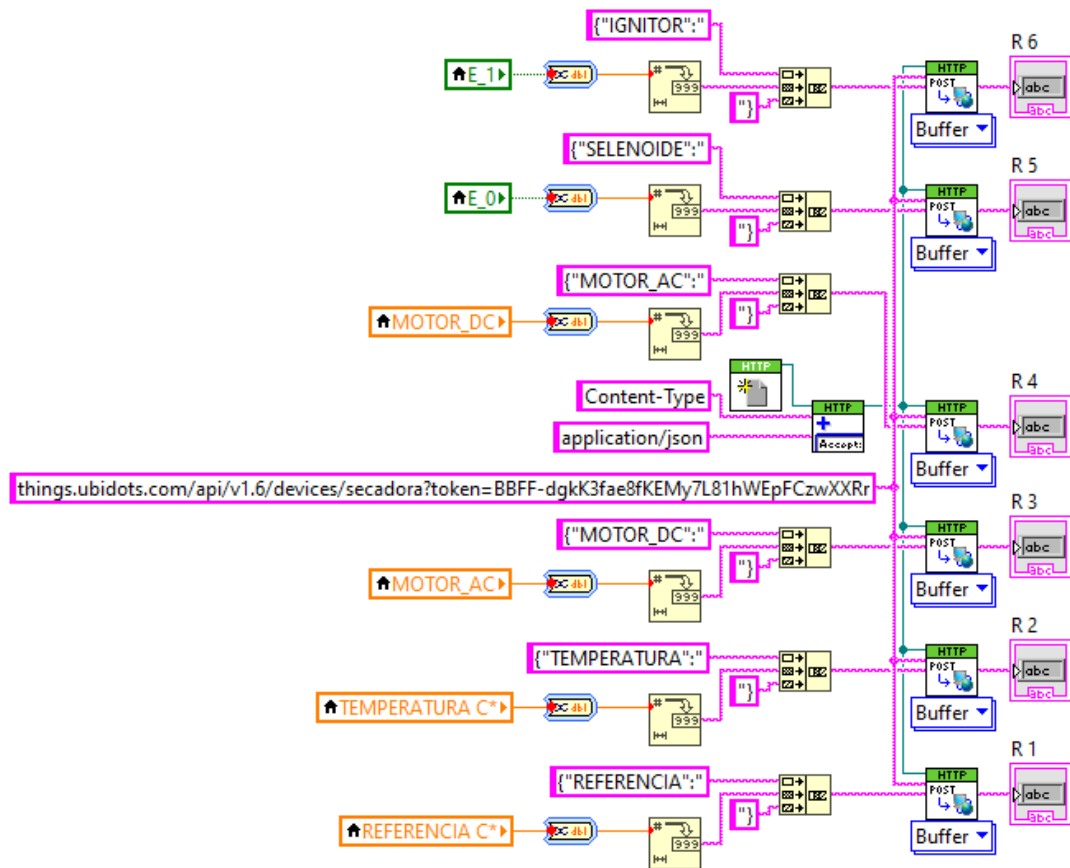


Figura 3-8 : Envío de datos desde LabVIEW a Ubidots

### 3.10. Envío y adquisición de datos desde el DAQ

En la aplicación se debe enviar dos pines digitales para la activación del solenoide y el servo motor teniendo una salida digital del Daq como se muestra en la Figura 3.9

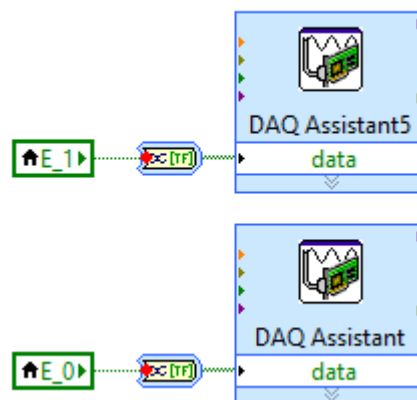
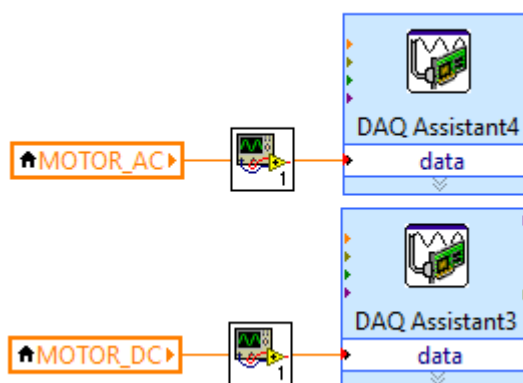


Figura 3-9 : Envío de datos digitales para la activación del servo y el solenoide

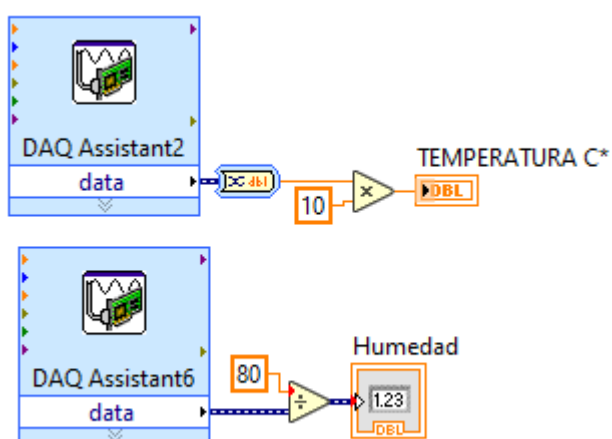


Para la activación del motor mezclador se envía el valor mediante una salida análoga del Daq por el canal A00 y para el control del gas se envía un valor por el canal AO1 denominado motor AC como se muestra en la Figura 3.10



**Figura 3-10 :** Envió de datos análogos para el control del motor AC y motor DC

En la planta se realizan dos lecturas mediante dos sensores uno de temperatura y humedad, los cuales son interpretados mediante su señal de voltaje a dato con una entrada análoga en cada sensor con la Daq como se muestra en la Figura 3.11.



**Figura 3-11 :** Interpretación de valores de temperatura y humedad mediante analógica

### 3.11. Controlador PID

En el proceso de secado del cacao se utiliza un controlador pid para el control de la humedad en el cacao el cual pasa por un proceso de fermentación antes del secado.

En la Figura 3.12 se detalla el controlador en el bloque de diagrama para el manejo de la humedad en el cacao teniendo como salida la velocidad del motor de corriente alterna.

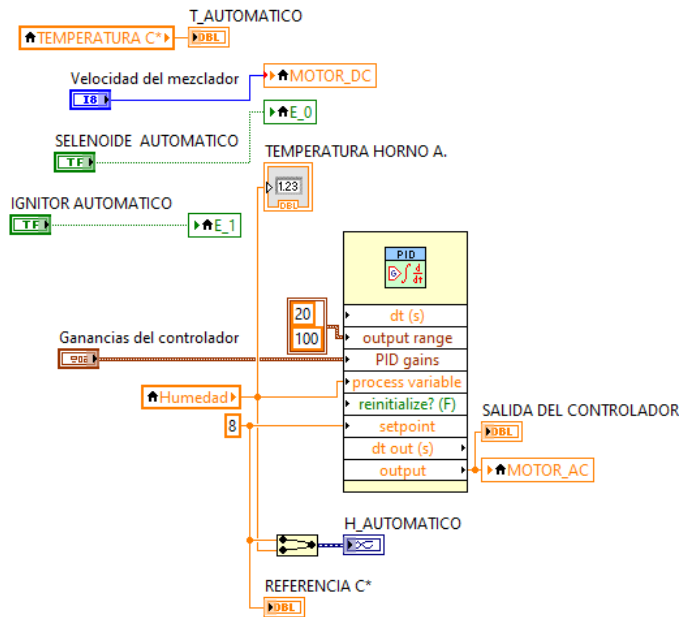
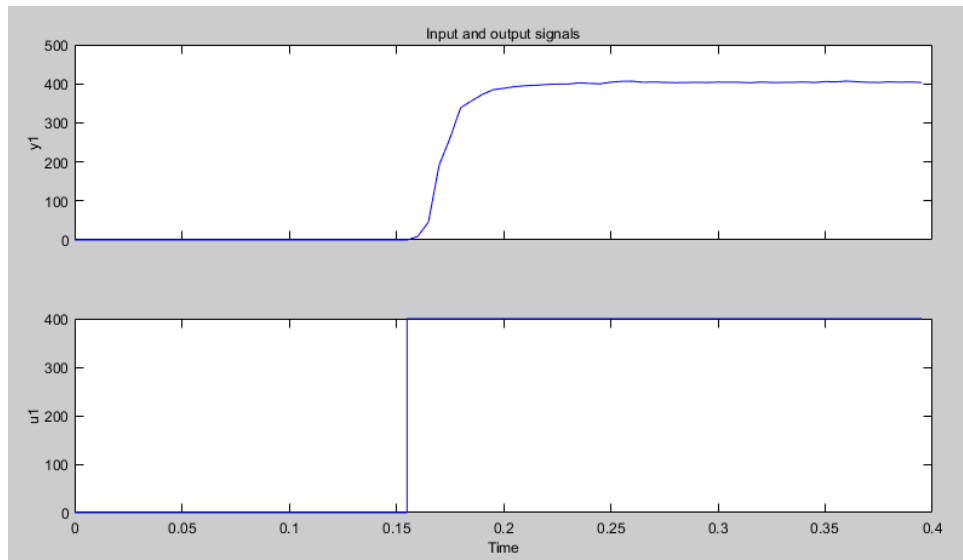


Figura 3-12 : Controlador PID en el bloque de diagrama para control de la humedad

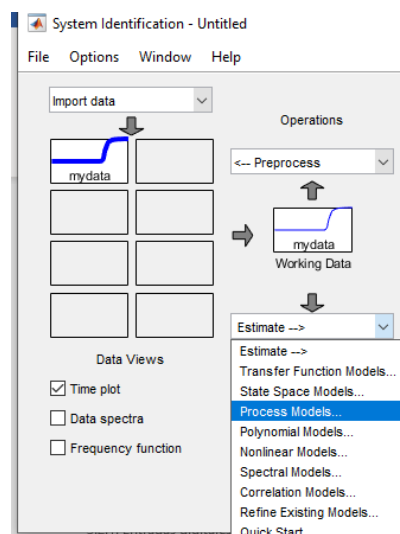
#### 3.11.1. Sintonización del controlador PID

Para el control pid clásico es necesario obtener la función de transferencia teniendo como objetivo primero la identificación de esta, donde se envía una señal de voltaje a la salida y se realiza un paso a la señal del motor como se muestra en la figura 3-13.



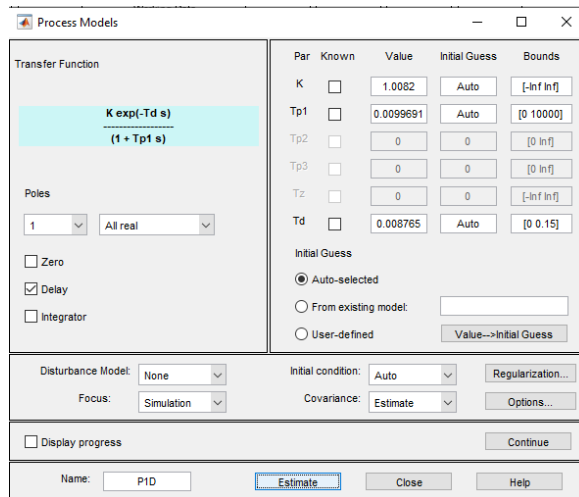
**Figura 3-13** .: Señal paso en el motor DC

Mediante el Toolkit de identificación de sistemas del programa Matlab se procede a ingresar los datos respecto al tiempo de las variables de la referencia y la variable de control como se muestra.



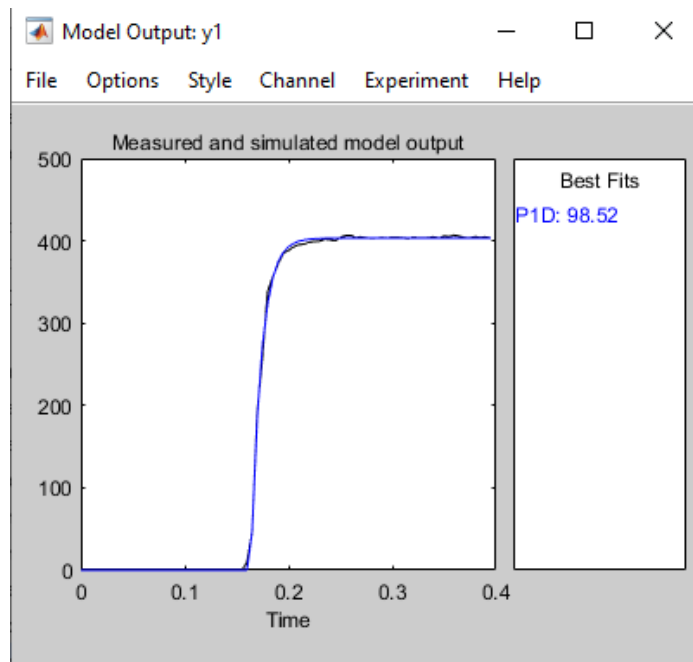
**Figura 3-14** : estimación del modelo

En el software de identificación se configura con un retardo con un polo y se estima el modelo como se muestra en la figura 3.15.



**Figura 3-15 :** Estimación con un retardo y un polo

En la figura 3.16 se observa la exactitud del modelo estimado con la planta de control teniendo en cuenta que el rango supera el 90 % es valido



**Figura 3-16 :** Estimación con un retardo y un polo

En el bloque de línea de comando se realiza la operación donde  $H = \text{tf}(\text{Pid})$ , teniendo como resultante la función de transferencia del sistema.

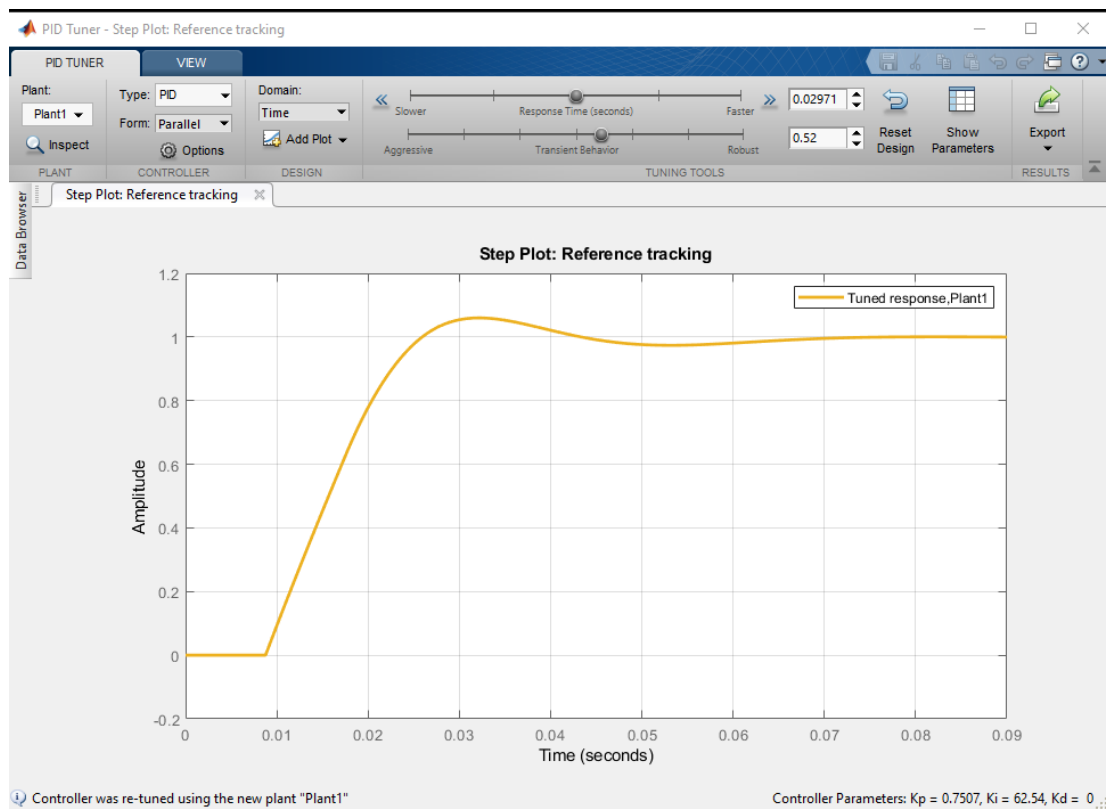
```
>> H=tf(P1D)

H =

From input "u1" to output "y1":
      1.008
exp(-0.00877*s) * -----
                0.009969 s + 1
```

**Figura 3-17 :** Función de transferencia

Se procede a ejecutar la herramienta del auto tuning de Matlab, teniendo como planta H como se muestra en la figura 3-18.



**Figura 3-18 .:** Auto tuning Matlab

Donde el resultante son los valores de las ganancias del pid que se muestran en la figura 3-19.

Controller Parameters	
	Tuned
Kp	0.75068
Ki	62.538
Kd	0
Tf	n/a

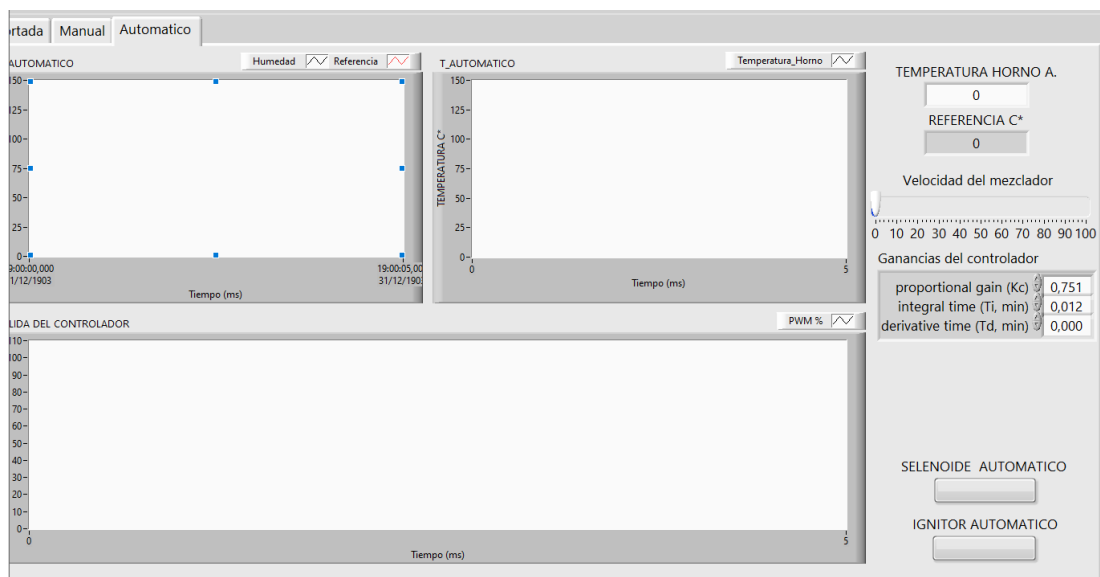
**Figura 3-19** : Las ganancias del pid

Se reemplaza los valores para encontrar el  $T_i = K_p / K_i$  y el  $T_d = k_d / k_p$  teniendo como resultante los valores referentes a las fórmulas 1,2,3

$$K_p = 0.75068 \quad (1)$$

$$T_i = K_p / K_i = 0.01200358182 \quad (2)$$

$$T_d = k_d / k_p = 0 \quad (3)$$



**Figura 3-20** : Controlador PID en el Panel frontal

### 3.12. Fermentación previa a utilizar el secado

En el proceso de secado del cacao es necesario obtener el producto de la fruta y separarle y pesar solo la semilla con la denominada baba de este como se muestra en la Figura 3-21 y 3-22.



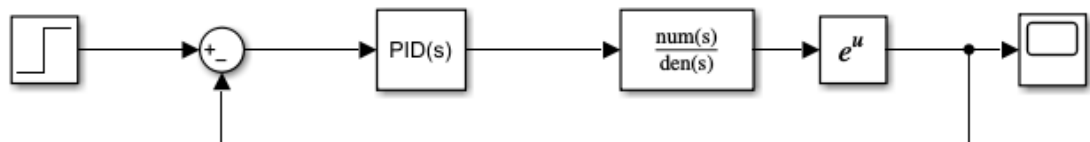
**Figura 3-21 : Cacao en baba**



**Figura 3-22 : Cacao en fermentación**

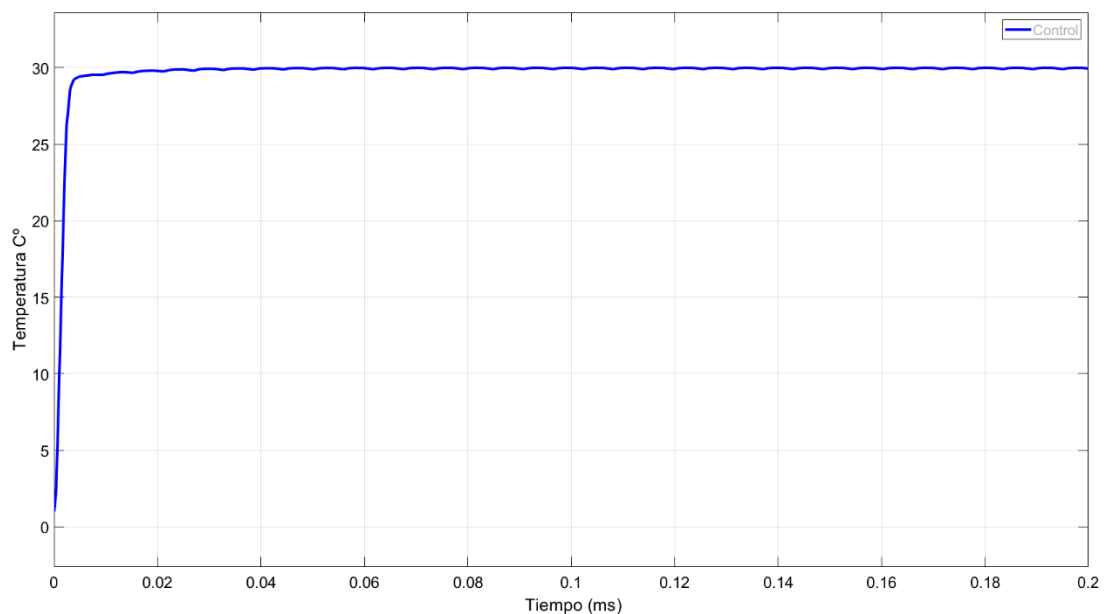
## 4. RESULTADOS

Para los resultados del controlador y su función de transferencia obtenida mediante la identificación de los valores explicados en el marco metodológico en la sección 3.11 se implementó en el programa simulink siguiendo el modelo mostrado en la Figura 4.1.



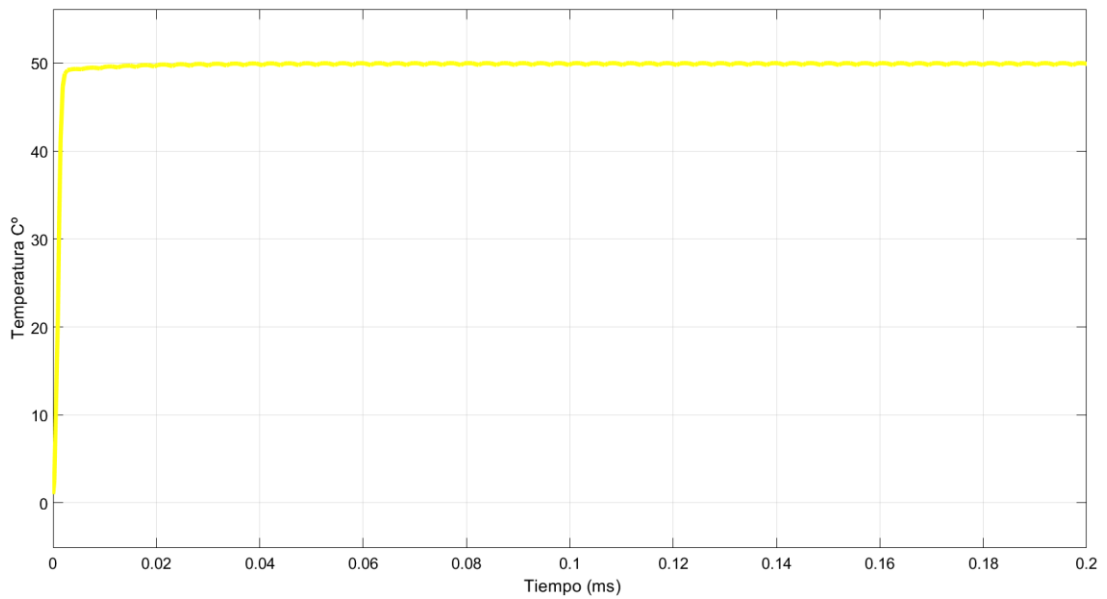
**Figura 4-1 :** Simulación de datos en simulink a partir de la función de transferencia

En el controlador pid se realizó tres pruebas con diferentes valores de temperatura a modo de que el sistema llegara a los valores establecidos de temperatura y se procediera a bajar la humedad ya que están relacionadas como se muestran en las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4.

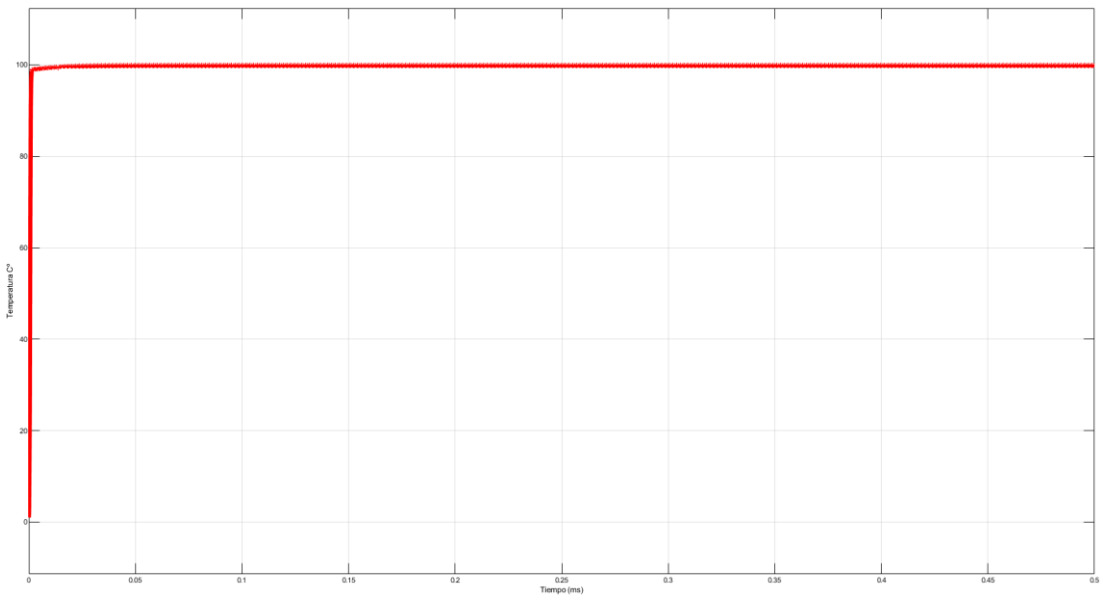


**Figura 4-2 :** Pruebas de controlador en 30 Grados Celsius



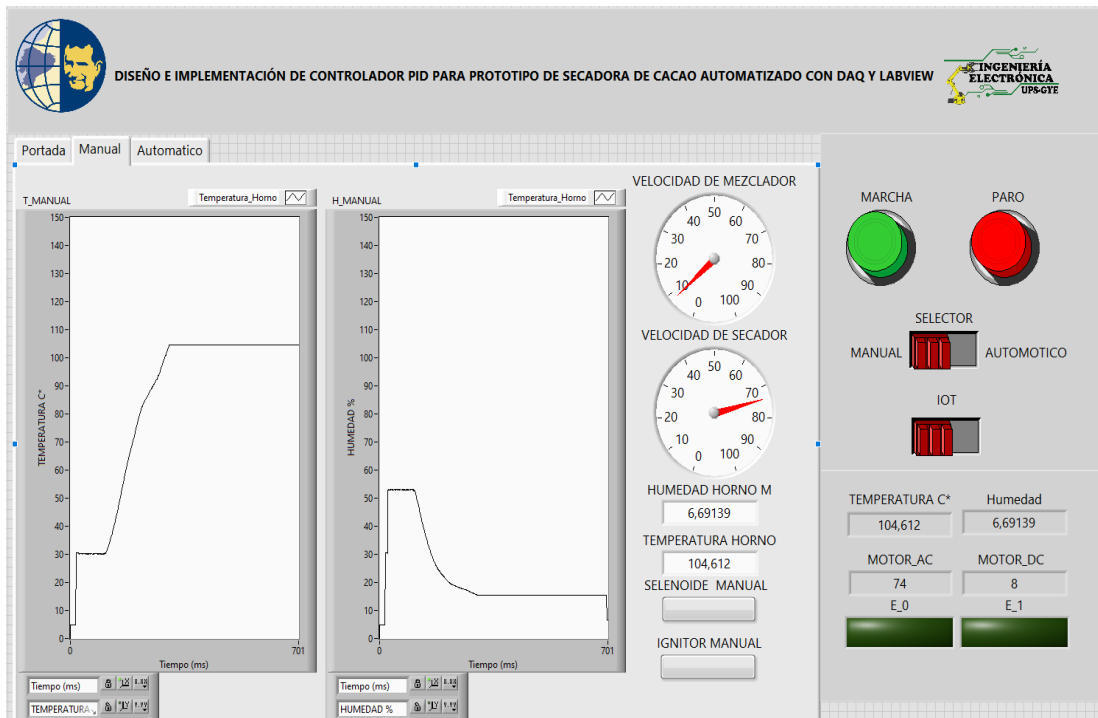


**Figura 4-3 : Pruebas de controlador en 50 Grados Celsius**



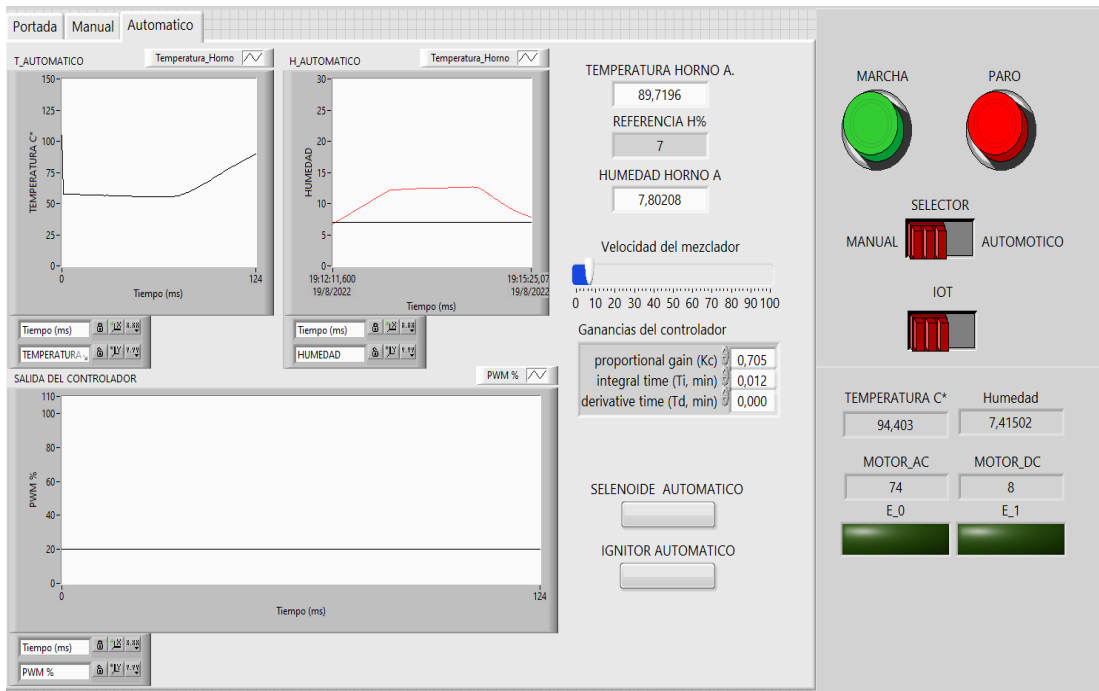
**Figura 4-4 : Pruebas de controlador en 100 Grados Celsius**

A continuación, se muestran los resultados del sistema empleado el cual tiene dos modos un modo manual de tal manera que se controle las variantes de velocidad del ventilador controlador de flama del secador hasta que la humedad baje del producto a un 7% como se muestra en la Figura 4.5.



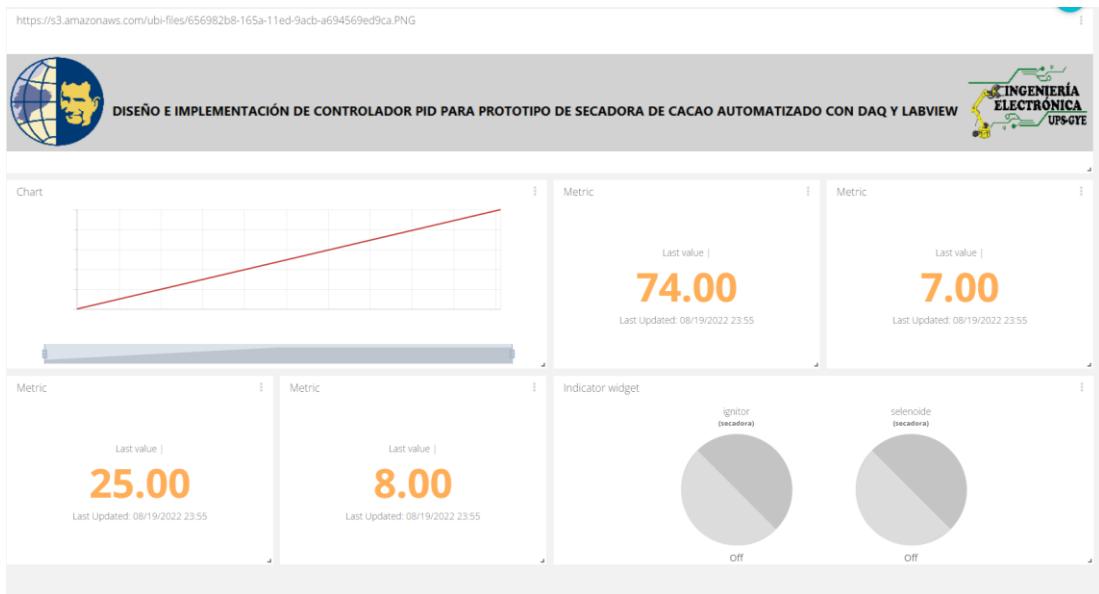
**Figura 4-5 :** Resultado del modo manual para humedad del 7%

En la Figura 4.4. se muestran los resultados del sistema empleado el cual tiene dos modos un modo automático teniendo un control pid donde la variable de entrada es el valor del sensor de humedad y la salida del controlador será la variable que actúe sobre la velocidad del motor de corriente alterna que sirve para controlar la flama del secador hasta que la humedad sea del 7%.



**Figura 4-6 :** Resultado del modo automático para humedad del 7%

En la Figura 4.3 se observa la supervisión de las variables de humedad, temperatura, velocidad del motor de alterna, activación del ignitor, activación del solenoide mediante una comunicación con la plataforma UBIDOTS mediante un protocolo http enviándose desde LabVIEW detallado en la sección de marco metodológico.



**Figura 4-7 :** Supervisión iot mediante Ubidots conectándose a LabVIEW

## CONCLUSIONES

- En el diseño del prototipo de secadora de cacao a escala con calentador de gas se optó por el uso de solenoides digitales por seguridad a manera de evitar chispas mediante el uso de relés sólidos.
- Para el control de temperatura y humedad se realiza un control en lazo cerrado en conjunto a la obtención de la función de transferencia del horno con la ayuda del programa MATLAB y su módulo de identificación de sistemas.
- En el diseño de tarjeta PCB se utilizó un atmega328p como controlador para la regulación de gas, apagado automático y velocidad de ventilador.
- En la implementación del controlador se utilizó la variable de procesos conectada al DAQ de National Instruments y se programó con LabVIEW el control PID de la secadora de cacao.

## RECOMENDACIONES

- ▶ Realizar un mantenimiento preventivo al sistema de calentamiento cada 6 meses evitando filtraciones de calor o desgaste en sistema de tuberías plásticas para el gas.
- ▶ En el proceso previo al secado es necesario que el cacao pase por un proceso de fermentación como se indica en este documento de 48 horas.
- ▶ Revisar el correcto estado de las conexiones entre los módulos respetando la serigrafía establecida por los autores.
- ▶ Realizar pruebas a futuro con otros controladores para optimizar el proceso.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agrodemanda L.T.A. (2019). *CACAO*.
- Agüero, M. B. (2017). Obtenido de Sistema de adquisición de datos: <https://materias.df.uba.ar/mta2019c1/files/2014/08/Adquisicion-de-datos-Aguero.pdf>
- Arrow . (2015). Obtenido de DAS o DAQ: <https://www.arrow.com/es-mx/categories/data-acquisition/data-converters/data-acquisition-systems>
- Astrom, K. J. (1995). *PID Controllers: Theory, Design and Tuning*. ISA; Edición: Second Edition.
- Åström, K. J. (1995). *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning. Second Edition. Research Triangle Park*. Tore: Instrument Society of America.
- Báez, P. G. (2016). Introducción a las Redes Neuronales y su aplicación a la Investigación Astrofísica. *Investigación Astrofísica*.
- Benavides, K. R. (2017). Locomoción de Robot Móvil.
- Burgos Yar, V. V. (2021). *ifrado de datos usando Cadena de Bloques (BlockChain) como tecnología de convergencia para dispositivos móviles asociados con IoT (Internet of Things), en la capa de aplicación del modelo de capas IoT*.
- Escobar Gallardo, E. &. (2018). *Sistema de monitoreo energético y control domótico basado en tecnología internet de las cosas*. Investigación & Desarrollo.
- Hernández, A. I. (2010). REDES NEURONALES MULTIMODELO APLICADAS AL CONTROL DE SISTEMAS. *Sabadell*, 79. Universidad Autonoma de Barcelona.
- hetpro-store. (2017). Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/wp-content/uploads/2016/05/lm35-img.png?x18372>
- Kang. (2000). MOSFET devices with polysilicon on single-layer. (págs. 35-38). IEEE Technical Digest. IEDM.
- Manuel Baltieri, C. L. (Marzo de 2018). <http://dx.doi.org/10.1101/284562>. Obtenido de University of Sussex: <https://www.biorxiv.org/content/biorxiv/early/2018/03/19/284562.full.pdf>
- Moreno Armendariz, A. S. (2001). Sistema de Información Científica. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 13-32.
- Ni. (2019). *USB-6009*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/support/model.usb-6009.html>
- Paul, R. (2008). Temperature effects. *Neutron Physics*. Francia: EDP Sciences.
- Pulido, M. Á. (2000). *Convertidores de frecuencia, controladores de motores y SSR*. Marcombo.
- Revistalideres. (2015). El Cacao ecuatoriano Su historia empezó antes del siglo XV. *revistalideres*.
- ROBÓTICA INDUSTRIAL. (2017). Obtenido de <https://www.interempresas.net/Robotica-industrial/Articulos/150824-Robotica-guiada-por-vision-Bin-Picking-una-solucion-para-los-procesos-productivos.html>
- Sánchez, L. F. (2016). Control cinemático y dinámico. *Laboratorio de Robótica Móvil y Sistemas Automatizados*.
- Texas Instruments. (2017). *LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors*. Obtenido de Texas Instruments: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- Veloso, C. (2016). *FUNCIONAMIENTO DE UN SENSOR DE TEMPERATURA*. Obtenido de [electrontools: https://www.electrontools.com/Home/WP/funcionamiento-de-un-sensor-de-temperatura/](https://www.electrontools.com/Home/WP/funcionamiento-de-un-sensor-de-temperatura/)
- Vizcaíno, J. R. (2011). LabView. En *Entorno gráfico de programación* (págs. 3-10). Marcombo.

## ANEXOS

### Anexo 1 Código

```
#define ent_1 11
#define ent_2 8
#define sal_1 5
#define sal_2 6
#define signal_1 A0
#define signal_2 A1
#define M_INA 2
#define M_INB 4
#define M_PWM 3
#define M_SERVO 10
#include <Servo.h>
Servo myservo;
int limite_h = 100, limite_l = 50;
float lectura1 = 0, lectura2 = 0;
void setup() {
  pinMode(ent_1, INPUT);
  pinMode(ent_2, INPUT);
  pinMode(sal_1, OUTPUT);
  pinMode(sal_2, OUTPUT);
  pinMode(M_INA, OUTPUT);
  pinMode(M_INB, OUTPUT);
  pinMode(M_PWM, OUTPUT);
  myservo.attach(M_SERVO);
  digitalWrite(sal_1, LOW);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  lectura1 = map(analogRead(signal_1), 0, 1023, 0, 255);
  lectura2 = map(analogRead(signal_2), 0, 1023, 0, 255);
  digitalWrite(sal_1, digitalRead(ent_1));
```

```
digitalWrite(M_INA, HIGH);
digitalWrite(M_INB, LOW);
analogWrite(M_PWM, lectura1);
analogWrite(sal_2, lectura2);
Serial.print(digitalRead(ent_1)); Serial.print(" ");
Serial.print(digitalRead(ent_2)); Serial.print(" ");
Serial.print(analogRead(signal_1)); Serial.print(" ");
Serial.println(analogRead(signal_2));
if (digitalRead(ent_2)) {
  myservo.write(90);
}
else {
  myservo.write(180);
}
delay(5);
}
```