

UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**PRÁCTICA SUPERVISADA PARA OPTAR
AL GRADO DE BACHILLERATO EN
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CONTROL
AUTOMÁTICO PARA MÁQUINA DE PROCESO
DEL AJO EN LA EMPRESA VITAL
ARTESANAL LTDA**

Sustentante:

José Pablo Navarro Camacho

Tutor:

Ing. Alejandro Rojas López

Noviembre, 2019

Carta del Tutor



CARTA DEL TUTOR

San José, 25 de octubre del 2019

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante **José Pablo Navarro Camacho**, cédula de identidad número **3 0345 0597**, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado **"Análisis y propuesta para control automático para máquina de proceso del ajo en la empresa Vital Artesanal S.A."**, el cual ha elaborado para optar por el grado académico de Bachillerato.

En mi calidad de tutor, he verificado que se han hecho las correcciones indicadas durante el proceso de tutoría y he evaluado los aspectos relativos a la elaboración del problema, objetivos, justificación; antecedentes, marco teórico, marco metodológico, tabulación, análisis de datos; conclusiones y recomendaciones.

De los resultados obtenidos por el postulante, se obtiene la siguiente calificación:

Tabla 1 Calificación del Proyecto

#	Rubro	% Teórico	% Asignado
a	Original del tema.	10	10
b	Cumplimiento de entrega de avances de avances.	20	16
c	Coherencia entre los objetivos, los instrumentos aplicados y los resultados de la investigación.	30	28
d	Relevancia de las conclusiones y recomendaciones.	20	18
e	Calidad, detalle del marco teórico.	20	18
	Total	100	90

En virtud de la calificación obtenida, se avala el traslado al proceso de lectura.

Atentamente,

Ing. Jose Alejandro Rojas López
Cédula de identidad: **1 1079 0035**
Carné Colegio Profesional: **N° IEL-15888**

Carta del Lector



CARTA DEL LECTOR

San José, 20 de diciembre, del 2019

Señores
Departamento de Registro
Universidad Hispanoamericana

Estimado señor:

El estudiante José Pablo Navarro Camacho, cédula de identidad número 3-0345-0597, me ha presentado, para efectos de revisión y aprobación, el trabajo de investigación denominado "**ANÁLISIS Y PROPUESTA PARA CONTROL AUTOMÁTICO PARA MÁQUINA DE PROCESO DEL AJO EN LA EMPRESA VITAL ARTESANAL LTDA**", el cual ha elaborado para obtener su grado de Bachillerato.

He revisado y he hecho las observaciones relativas al contenido analizado, particularmente lo relativo a la coherencia entre el marco teórico y análisis de datos, la consistencia de los datos recopilados y la coherencia entre éstos y las conclusiones; asimismo, la aplicabilidad y originalidad de las recomendaciones, en términos de aporte de la investigación. He verificado que se han hecho las modificaciones correspondientes a las observaciones indicadas.

Por consiguiente, este trabajo cuenta con mi aval para ser presentado en la defensa pública.

Atentamente,

DANIEL
HUMBERTO
VALVERDE
RAMIREZ (FIRMA)

Firmado digitalmente
por DANIEL
HUMBERTO VALVERDE
RAMIREZ (FIRMA)
Fecha: 2019.12.20
09:24:22 -06'00'

Ing. Daniel Valverde Ramírez
Cédula de identidad: 3-03490012
Carné colegio profesional: IEL-10109

Carta del Filólogo

San José, 10 de enero de 2020

Señores (as):
Universidad Hispanoamericana

Estimados señores (as):

Yo, María Fernanda Sanabria Coto, cédula de identidad 1-1429-0780, bachiller en Filología española, perteneciente a la Asociación Costarricense de Filólogos, carné 225 y al Colegio de Licenciados y Profesores en Letras, Filosofía, Ciencias y Artes de Costa Rica, código 75402, hago constar que he revisado el proyecto titulado:

Análisis y propuesta de control automático para máquina de proceso del ajo en la empresa Vital Artesanal LTDA.

Dicho documento fue elaborado por José Pablo Navarro Camacho, cédula de identidad 3-0345-0597. El proyecto fue realizado con el fin de optar al grado de Bachillerato en Ingeniería en Electrónica. He revisado y corregido aspectos tales como construcción de párrafos, vicios del lenguaje trasladados a lo escrito, ortografía, puntuación y otros relacionados con el campo filológico. Por lo tanto, con los cambios aplicados, considero que está listo para ser presentado.

Atentamente,

Fernanda S. Coto.

María Fernanda Sanabria Coto
Asociación Costarricense de Filólogos. Carné nro. 225
Colypro. Código 75402
fernanda.sanabria@filologos.cr



Declaración Jurada

DECLARACIÓN JURADA

Yo José Pablo Navarro Camacho, mayor de edad, portador de la cédula de identidad número 3-0345-0597, egresado de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Hispanoamericana, hago constar que por medio de este acto y debidamente apercibido y entiendo de las penas y consecuencias con las que se castiga en el código penal delito de perjurio, ante quienes se constituyen en el Tribunal Examinador de mi trabajo de tesis para optar por el título de bachillerato en electrónica, juro solemnemente que mi trabajo de investigación titulado: **ANÁLISIS Y PROPUESTA PARA CONTROL AUTOMÁTICO PARA MÁQUINA DE PROCESO DEL AJO EN LA EMPRESA VITAL ARTESANAL LTDA**, es una obra original que ha respetado todo lo preceptuado por las leyes penales, así como la Ley de Derecho de Autor y Derechos Conexos número 6683 del 14 de noviembre de 1982; incluyendo el numeral 70 de dicha ley que advierte; artículo 70. Es permitido citar a un autor, transcribiendo los pasajes pertinentes siempre que estos no sean tantos y seguidos, que puedan considerarse una producción simulada y sustancial, que redunde en perjuicio del autor de la obra original. Así mismo, quedo advertido que la universidad se reserva el derecho de protocolizar este documento ante Notario Público. En fe de lo anterior, firmo en la ciudad de Cartago a los 27 días del mes de octubre del año dos mil diecinueve.



Firma del estudiante

3-0345-597.

Cédula

Carta de aceptación de la empresa

Cartago, 25 de octubre del 2019

Señores (as):

Universidad Hispanoamericana

Yo Ronald Mejía Brenes, propietario de la empresa Vital Artesanal Ltda. hago constar por este medio que el proyecto titulado: **ANÁLISIS Y PROPUESTA PARA CONTROL AUTOMÁTICO PARA MÁQUINA DE PROCESO DEL AJO EN LA EMPRESA VITAL ARTESANAL LTDA**, fue desarrollado satisfactoriamente en mi empresa por el estudiante José Pablo Navarro Camacho, ya que cumplió ampliamente los requerimientos planteados inicialmente, resultando en una mejora en el proceso de producción con un impacto económico positivo.

Atentamente,



Ronald Mejía Brenes
Vital Artesanal Ltda.



Carta de Autorización del autor para consulta

**UNIVERSIDAD HISPANOAMERICANA
CENTRO DE INFORMACION TECNOLOGICO (CENIT)
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE LOS AUTORES PARA LA CONSULTA, LA
REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA
DE LOS TRABAJOS FINALES DE GRADUACION**

San José, 10 de enero del 2020

Señores:
Universidad Hispanoamericana
Centro de Información Tecnológico (CENIT)

Estimados Señores:

El suscrito José Pablo Navarro Camacho con número de identificación 3-0345-0597 autor (a) del trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS Y PROPUESTA DE CONTROL AUTOMÁTICO PARA MÁQUINA DE PROCESO DEL AJO EN LA EMPRESA VITAL ARTESANAL LTDA** presentado y aprobado en el año 2019 como requisito para optar por el título de **BACHILLERATO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA** ; autorizo al Centro de Información Tecnológico (CENIT) para que con fines académicos, muestre a la comunidad universitaria la producción intelectual contenida en este documento.

De conformidad con lo establecido en la Ley sobre Derechos de Autor y Derechos Conexos N° 6683, Asamblea Legislativa de la República de Costa Rica.

Cordialmente,

JOSE PABLO NAVARRO CAMACHO (FIRMA)
Firmado digitalmente por
JOSE PABLO NAVARRO CAMACHO (FIRMA)
Fecha: 2020.01.10 21:21:49 -06'00'

Firma y Documento de Identidad

Dedicatoria

A mi esposa Leticia y mis hijos, por su paciencia en todo este proceso.

Agradecimiento

A todas las personas que me ayudaron con este proyecto, familia y amigos, por su apoyo incondicional.

A Leopoldo, por su conocimiento y asesoría.

Al tutor del proyecto, Ing. Alejandro Rojas, por su tiempo y dedicación que hicieron posible el proyecto.

ÍNDICE GENERAL

Carta del Tutor	II
Carta del Lector.....	III
Carta del Filólogo.....	IV
Declaración Jurada.....	V
Carta de aceptación de la empresa.....	VI
Dedicatoria.....	VIII
Agradecimiento	IX
ÍNDICE GENERAL	X
Índice de figuras.....	XIII
Índice de tablas.....	XV
Lista de abreviaturas	XV
Introducción	XVII
CAPÍTULO I	1
PROBLEMA DEL PROYECTO	1
1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.	2
1.1.1 Antecedente de la empresa.....	2
1.1.2 Justificación del problema.....	3
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	5
Figura 1 Diagrama de Ishikawa para definición del problema	6
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	8
1.3.1 Objetivos generales.....	8
1.3.2 Objetivos específicos.....	8
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	9
1.4.1 Alcances	9
1.4.2 Limitaciones.....	10
CAPÍTULO II	12
MARCO TEÓRICO	12
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	13
2.1.1 Historia del ajo.	13
2.1.2 El ajo negro	13
2.1.3 Propiedades del ajo negro	15
2.2 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	15
2.2.1 Sistemas analógicos y digitales.....	17
2.2.2 Microcontroladores	18
2.2.2.1 Arduino	21

2.2.2.2 Arduino Mega 2560	21
2.2.2.3 ESP32 Microcontrolador	22
2.2.1.1 Sensores	23
2.2.1.2 Actuadores	25
2.3 HORNOS	26
2.3.1 Tipos de hornos	27
2.4 INTERNET DE LAS COSAS IoT	28
CAPÍTULO III	30
MARCO METODOLÓGICO	30
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	31
3.1.1 Enfoque de investigación.....	31
3.1.2 Finalidad	31
3.1.3 Dimensión temporal.....	32
3.1.4 Marco	32
3.1.5 Carácter	33
3.2 FUENTES Y SUJETOS DE INFORMACIÓN.....	33
3.2.1 Fuentes primarias	34
3.2.2 Fuentes secundarias	34
3.2.3 Sujetos de información.....	35
3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
3.3.1 Observación	36
3.3.2 Entrevista.....	36
3.4 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	37
3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	40
CAPÍTULO IV	44
DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	44
4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	45
4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS	48
4.2.1 Observación	49
4.2.2 Entrevista.....	53
4.3 DISEÑO DE PROTOTIPO	56
4.3.1 Etapas del proyecto.....	56
CAPÍTULO V	59
DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO	59

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA.....	60
5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO	63
5.2.1 Diseño del <i>hardware</i>	63
5.2.1.1 Sensores de temperatura.	63
5.2.1.2 Sensor de humedad DHT-11.....	68
5.2.1.3 Control de las resistencias.....	69
5.2.1.4 Dispositivo de Salida Pantalla TFT	71
5.2.1.5 Dispositivo de entrada (botones).....	73
5.2.1.6 Dispositivo de comunicación wifi.....	75
5.2.3 Monitoreo y control remoto por medio de Web-Service.....	76
5.2.3.1 Monitoreo.....	76
5.2.3.1 Control por web.....	79
5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO	80
5.4 ANÁLISIS DE COSTOS.....	86
5.4.1 Estudio de mercado.....	89
5.5 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO.....	90
5.5.1 Manual técnico de operación.....	90
CAPÍTULO VI	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	91
6.1 CONCLUSIONES	92
6.2 RECOMENDACIONES	93
Anexos.....	95
Referencias bibliográficas	96

Índice de figuras

Figura 1 Diagrama de Ishikawa para definición del problema	6
Figura 2 Fotografía de Cabeza de Ajo Negro	14
Figura 3 Representación de un sistema lazo cerrado	17
Figura 4 Esquema básico de un micro-controlador	20
Figura 5 Arduino Mega 2560	22
Figura 6 Micro-controlador ESP32.....	23
Figura 7 Sensor DS18B20	24
Figura 8 Sensor de Humedad DHT11	25
Figura 9 Resistencia eléctrica.....	26
Figura 10 Nacimiento del Internet de las Cosas entre 2008 y 2009	29
Figura 11 Escalas de tiempo planteadas.....	43
Figura 12 Termostato analógico para horno eléctrico	45
Figura 13. Hornos de proceso de ajo	46
Figura 14 Estado actual del termostato en horno existente	47
Figura 15 Instalación de resistencia eléctrica en horno actual.	48
Figura 16 Dimensiones internas del horno.....	49
Figura 17 Producto dañado por deshidratación.....	51
Figura 18 Fotografía de ajo carbonizado.....	52
Figura 19 Diagrama de Bloques del sistema propuesto	58
Figura 20 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.....	62
Figura 21 Patillas de conexión del sensor DS18B20.....	64

Figura 22 Detalle de conexión de los 4 sensores DS18B20	65
Figura 23 Código fuente, librerías del sensor DS18B20	66
Figura 24 Código fuente de lectura del sensor DS18B20	67
Figura 25 Detalle de Conexión del sensor DHT11	68
Figura 26 Montaje del sensor de humedad DHT11	69
Figura 27 Conexión de la etapa potencia.....	70
Figura 28 . Conexión de la pantalla TFT 1.8.....	71
Figura 29 Código de despliegue en pantalla TFT.....	72
Figura 30 Display TFT 1.8 en funcionamiento	73
Figura 31 Posición de las salidas de botones.....	74
Figura 32 Código fuente de las funciones de los botones	75
Figura 33 Presentación de la plataforma de monitoreo y control	76
Figura 34 Presentación del monitoreo de las diferentes temperaturas	77
Figura 35 Presentación de temperatura promedio.....	77
Figura 36 Gráficos de temperatura en tiempo real.	78
Figura 37 Toma de pantalla del Histórico del Gráfico de Temperatura.....	78
Figura 38 Gráfico de histórico del Humedad.....	79
Figura 39 Apariencia de controles en línea a través de cualquier navegador.....	80
Figura 40 Resistencias de calentamiento	81
Figura 41 Placa para montaje de dispositivos	82
Figura 42 Montaje del Circuito electrónico	82
Figura 43 Instalación de los relevadores de potencia	83
Figura 44 Instalación del dispositivo de control.....	84
Figura 45 Montaje General del Horno.....	84

Figura 46 Diagrama del Circuito completo	85
--	----

Índice de tablas

Tabla 1 Variables de la investigación	38
Tabla 2 Diseño de la investigación	41
Tabla 3 Medidas internas del horno	50
Tabla 4 Volumen interno del horno.....	50
Tabla 5 Diferencia en temperaturas en 9 zonas del horno,	51
Tabla 6 Cálculo de pérdidas monetarias en el proceso de producción	53
Tabla 7 Análisis de costos de materiales utilizados.....	86
Tabla 8 Costos de implementación.....	87
Tabla 9 Costo Total del Proyecto	87
Tabla 10 Comparación de pérdidas entre sistemas analógico y el digital	88
Tabla 11 Precios de Modelos de Hornos para Ajo.....	89

Lista de abreviaturas

IoT:	<i>Internet of Things</i> (Internet de las cosas)
CONICIT:	Consejo Nacional para Investigaciones Científicas y Tecnológicas
MICCIT:	Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones
E/S:	Entrada/Salida

CPU:	<i>Central Processing Unit</i> (Unidad Central de Proceso)
RAM:	<i>Random Access Memory</i> (Memoria de acceso aleatorio)
ROM:	<i>Read-Only Memory</i> (Memoria de solo lectura)
EPROM:	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i> (ROM programable borrrable)
SDRAM:	<i>Double Data Rate type two Synchronous Dynamic Random-Access Memory</i>
CAD:	Convertidor Analógico Digital
CDA:	Convertidor Digital Analógico
PWM:	<i>Pulse Width Modulation</i> (modulación de ancho de pulsos)
WI-FI:	<i>Wireless Fidelity</i>
RTD:	<i>Resisten temperature detector</i>
GLP:	Gas licuado de petróleo
PLC:	Controlador lógico programable
PYME:	Pequeña y mediana empresa
Ltda.:	Limitada

Introducción

Hoy en día existen alimentos conocidos como súper alimentos, estos son productos naturales sometidos a procesos que provocan ciertos cambios mejorando en muchos aspectos sus beneficios para el ser humano. Este es el caso del ajo negro, el cual es el mismo ajo blanco que ha sido sometido a un proceso de temperatura y humedad.

En Costa Rica, la empresa Vital Artesanal Ltda. ha promovido el consumo de ajo negro y lo ha comercializado desde hace unos 5 años, sin embargo, es en estos 2 últimos años cuando el consumo ha aumentado requiriendo mejoras en el proceso de producción. Debido a esto, el presente proyecto busca desarrollar un sistema de control automático que ayude a la empresa a mejorar el proceso de producción, el cual permita controles más exactos y monitoreo constante para así obtener mayores rendimientos.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DEL PROYECTO

1.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

1.1.1 Antecedente de la empresa

La empresa Vital Artesanal LTDA nace en el año 2016, como producto de la investigación en diferentes productos de su fundador, el señor Ronald Mejía Brenes, quien investiga y produce comercialmente el ajo negro desde el año 2013. Actualmente, es una microempresa dedicada a la elaboración de un solo producto, el ajo negro que se obtiene por medio del proceso de calor y humedad al que es sometido el ajo blanco tradicional. Dicho proceso le brinda al ajo características nutricionales y gastronómicas adicionales, que cambian su color blanco natural al color negro.

El ajo negro es originario del continente asiático; su producción y comercialización en Costa Rica ha sido introducida por el momento a través de la empresa Vital Artesanal Ltda. Dado que su producto es nuevo en el país, además de novedoso en el mercado, su producción se ha ideado con base en experimentación. Actualmente, este proceso es muy artesanal y llevado a cabo por medio de hornos rudimentarios fabricados por el fundador de la empresa.

Como parte del desarrollo del modelo de negocio, la empresa ha incursionado como pyme y ha logrado capacitación para manejo de imagen y mercadeo del producto, así como en procesos gubernamentales de incubación de empresas, como resultado de esto fue aceptada en el programa Pro-pyme del Ministerio de Ciencia y Tecnología, para recibir inversión por parte del gobierno y hacer mejoras tecnológicas en el proceso de producción.

1.1.2 Justificación del problema

Uno de los aspectos más importantes en la evolución del ser humano ha sido la obtención de alimentos y el mejor aprovechamiento de estos, en muchas ocasiones condicionados por las características del entorno y condiciones climáticas, siendo así la preservación de productos naturales, como frutos, verduras o carnes, más difícil en climas cálidos o en estaciones climáticas complicadas.

Es debido a estas diferentes circunstancias que el hombre aprende a lo largo de la historia a dar variados tratamientos a los productos encontrados en la naturaleza. La capacidad de aprender a conservarlos se convierte en un aspecto fundamental para su supervivencia en largos inviernos o prolongadas sequías.

Algunas de estas técnicas, como secado, deshidratación, salado o ahumado, no solo ayudaron a conservar los alimentos, sino que propiciaron un mejoramiento de estos, logrando aumentar sus aportes nutricionales. Tal es el caso de los frutos secos o deshidratados, que mejoran su capacidad de suministrar minerales y grasas de origen vegetal de gran beneficio para la salud del ser humano.

Los grandes avances en la ciencia y la tecnología que ha experimentado la sociedad desde el siglo XIX han transformado la industria alimentaria, cambiando la vida del ser humano en diferentes aspectos. La necesidad de innovar para ser más competitivos y optimizar los costos de producción ha llevado a la implementación de avanzados sistemas de automatización en los procesos, sin

embargo, el acceso a estas herramientas y tecnologías no es siempre alcanzable para toda la industria.

Así es como muchos pequeños emprendimientos o pequeñas empresas no logran competir en el fuerte mercado de la industria alimentaria, por tanto, es necesario invertir en el desarrollo de la tecnología apropiada para lograr las mejoras pertinentes en los procesos de producción; tal es el caso de la empresa Vital Artesanal S.A. que, pese a contar con un producto innovador en el mercado nacional, no cuenta con la tecnología necesaria para satisfacer las demandas del mercado.

Dado que la empresa actualmente cuenta con un horno rudimentario, le es imposible lograr metas de producción requeridas por el mercado, lo cual está causando un estancamiento a nivel comercial. En este momento, el método de producción utilizado por la empresa para la conversión del ajo blanco natural en ajo negro no cuenta con un sistema que garantice la máxima producción o un correcto monitoreo del proceso, provocando pérdidas de materia prima y poca estandarización en el producto final.

Como se comentó anteriormente, la empresa Vital Artesanal es un pequeño emprendimiento que actualmente cuenta con un solo producto comercial y es el ajo negro, resultado de un proceso natural de temperatura y humedad al cual es sometido el ajo blanco; este producto es innovador en el mercado costarricense y es desarrollado por la empresa con base en investigación propia; por lo anterior,

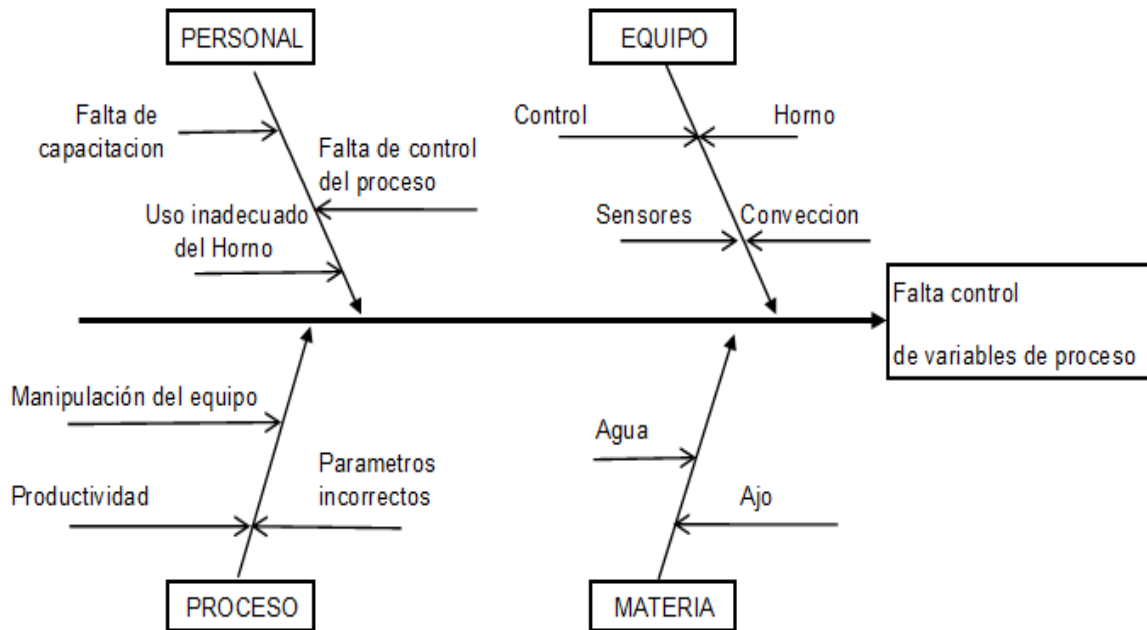
uno de los problemas que existen para esta empresa es la poca o nula existencia de equipo para el desarrollo del producto.

Es necesario para la empresa contar con un control automático de sus hornos, con el fin de mejorar los tiempos de producción y la calidad del producto final, que permita reducir las pérdidas en materia prima y optimizar los resultados finales. Por tanto, esta investigación plantea desarrollar un sistema de control automático que permita manipular eficientemente las variables necesarias para el proceso del ajo.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el siguiente diagrama se enumeran las diferentes variables que intervienen en el proceso del ajo en la empresa Vital Artesanal y las posibles causas que generan problemática en el producto final.

Figura 1 Diagrama de Ishikawa para definición del problema



Fuente: elaborado por el autor.

a) Proceso: la producción de ajo requiere contar con los parámetros correctos en el sistema para mejorar la productividad buscando mejores tiempos de producción y menos pérdida de materia prima. Con la automatización se busca una menor manipulación de los hornos para mantener las variables de forma más constante.

b) Personal: es importante que el personal esté debidamente capacitado tanto en el manejo del equipo como en el proceso de elaboración de ajo negro, evitando manipulación incorrecta de los equipos.

c) Equipo: para el proceso de producción del ajo negro, es necesario un horno de convección, el cual necesita contar con un control automático que permita mantener una temperatura correcta para que la transformación sea adecuada. Para que este proceso ocurra, es necesario contar con sensores de temperatura y humedad de alta calidad, que le permitan al control automático mantener una temperatura adecuada con alta precisión.

d) Materia prima: la materia prima utilizada en el proceso es el ajo blanco que sufre una transformación por acción de la temperatura y humedad generada por el agua en el sistema.

De lo analizado anteriormente, se define que el problema que presenta la empresa Vital Artesanal Limitada en el proceso del ajo para producir ajo negro se centra en que sus hornos son rudimentarios y no cuenta con controles adecuados en el proceso. Por lo tanto, podría definirse el problema en la siguiente pregunta:

¿Cómo diseñar y construir un dispositivo electrónico de control que permita la automatización del proceso de ajo para ser convertido en ajo negro, mediante el monitoreo y control de las variables de temperatura y humedad, con la finalidad de mejorar el tiempo de producción y reducir la pérdida de materia prima?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivos generales

Construir un sistema de control automático para un horno de convección encargado de regular las variables en el proceso de producción de ajo negro de la empresa Vital Artesanal S.A.

1.3.2 Objetivos específicos

- Identificar las necesidades y requerimientos del proceso actual de ajo negro en la empresa Vital Artesanal.
- Estudiar las diferentes tecnologías existentes para elegir la que mejor se adapte al sistema de control automático y a las posibilidades de la empresa.
- Seleccionar la tecnología adecuada que se adapte a las necesidades y posibilidades de la empresa para implementar en el diseño del control automático.
- Diseñar un sistema de control automático para controlar las variables en los hornos del proceso de ajo negro.
- Construir el dispositivo diseñado para el control automático de hornos del proceso de ajo negro.
- Verificar el funcionamiento del dispositivo de control automático construido para el proceso como mínimo en un ciclo de trabajo o un ciclo de producción.

- Elaborar un manual técnico y de operación
- Analizar el costo – beneficio de la implementación del sistema de control automático en los hornos de proceso del ajo negro de la empresa Vital Artesanal.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.4.1 Alcances

El diseño de un sistema de control electrónico en el proceso del ajo negro permitirá a la empresa Vital Artesanal S.A. monitorear las variables de temperatura y humedad, las cuales serán censadas de forma precisa y constante, por largos periodos de tiempo, buscando la mayor estabilidad del sistema.

El dispositivo electrónico permitirá la automatización total del sistema, que dará mayor autonomía al proceso en general. Además del diseño electrónico, se deberá evaluar, proponer y construir la etapa de potencia electromecánica acorde al estudio realizado, para que sea capaz de utilizar energía eléctrica según la propuesta en el diseño.

La mejora en los tiempos de producción y mayor control del sistema reducirá los consumos energéticos, en este caso del proyecto reducirá el consumo de electricidad.

También contará con un módulo de registro de datos que permitirá al usuario recopilar información del proceso, así como las interfaces de botones y pantalla para un mejor uso del sistema.

Tendrá acceso remoto vía wifi por medio de una aplicación que le permitirá al usuario monitorear en tiempo real el estado del sistema, valores de temperatura y humedad, así como apagar o encender el sistema de forma remota.

El diseño del control automático y operación del horno no será exclusivo para la producción del ajo, contará con un rango de operación de temperaturas que permitirán el uso de este para otros productos que tengan procesos similares. Además, se entregará un manual técnico de operación para el mantenimiento del sistema en general.

El sistema contará con baterías de respaldo de la parte de control que permitan un monitoreo constante, aunque se presenten fallas en la red eléctrica y, a su vez, emitirá una alarma de emergencia ante eventuales fallas de alimentación eléctrica.

1.4.2 Limitaciones

El sistema por construir no podrá ser considerado el dispositivo final, dado que el periodo de pruebas será limitado en tiempo, pues cada cosecha de ajo dura aproximadamente 6 semanas.

La energía utilizada será eléctrica, debido a que la construcción está sujeta a los recursos económicos de la empresa. Por tanto, para la construcción del horno no se utilizará el gas GLP.

El diseño no contempla la construcción de la estructura del horno, ya que se utilizarán las estructuras existentes en la empresa, construyéndose solamente el módulo de control electrónico y la etapa de potencia para el calentamiento por medio de resistencias eléctricas.

Para el dispositivo de control, se utilizará una placa ESP32, dadas sus características de mercado, contar con un código abierto, bajo costo, fácil acceso e implementación. Por su parte, el acceso remoto será por medio de un *web service* orientado a IoT.

El sistema no contará con respaldo eléctrico para la etapa de potencia, por lo que el horno dejará de operar si se presentan fallas en el suministro eléctrico.

La etapa de pruebas será limitada, dado que el proceso completo de elaboración del ajo actualmente dura de 3 a 4 semanas a un solo ciclo de producción, por tanto, el tiempo de prueba será prácticamente para evaluar el sistema.

El uso de componentes y sensores estará limitado por el presupuesto que destine la empresa para este fin. Por último, el avance del proyecto está limitado por los desembolsos efectuados por el CONICIT, quien es el ente que financia el proyecto para la empresa Vital Artesanal Limitada.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS

2.1.1 Historia del ajo.

El uso del ajo como alimento y medicamento tiene sus orígenes en Asia Central unos 2000 a.C., también se ha documentado su uso medicinal en el tercer milenio a.C., en el antiguo Egipto. De igual manera, se encuentran datos de su uso en el impero bizantino y ya en la Edad Media era incluido como medicamento ante úlceras y dolor de oídos, siendo utilizado también para neutralizar venenos y tóxicos; en América fue introducido por los españoles en el siglo XV.

En el libro *Cultivo del ajo en Costa Rica*, el investigador Jaime Brenes Madriz señala que, en Latinoamérica, fue introducido a finales del siglo XIV, en el segundo viaje de Colón, utilizándose con fines culinarios médicos y en agricultura orgánica.

2.1.2 El ajo negro

El ajo negro es un producto natural derivado del ajo blanco tradicional, este se obtiene mediante procesos controlados de temperatura y humedad por períodos prolongados de tiempo; su origen no está muy claro, algunas informaciones señalan que fue desarrollado hace pocos años en Japón como resultado accidental de disminuir el olor del ajo blanco, pero algunos autores, como María de los Ángeles Toledano, señalan que existe evidencia de que sea un producto ancestral consumido frecuentemente en países asiáticos como Corea, Taiwán y Japón.

Actualmente, es fabricado y comercializado en China, EE.UU., Canadá, Argentina y algunos países de Europa como España. Además de sus cualidades medicinales, el ajo negro es muy usado con fines gastronómicos, su uso no ha sido muy difundido en Latinoamérica y en Costa Rica es poco conocido, principalmente porque la producción todavía es muy limitada.

En la siguiente imagen se observa un ajo ya procesado y convertido en ajo negro.

Figura 2 Fotografía de cabeza de ajo negro



Fuente: Vital Artesanal S.A.

En cuanto a su producción, erróneamente en muchos sitios de internet lo clasifican como un proceso de fermentación, sin embargo, al no implicar ningún proceso microbiano, no se puede catalogar como tal. Lo que sí sucede es una degradación enzimática responsable de la caramelización de azúcares en un proceso conocido como la reacción de Maillard, la cual produce el color oscuro y el perfil de sabor complejo de este producto.

2.1.3 Propiedades del ajo negro

Como se mencionó anteriormente, el consumo de ajo siempre se ha considerado beneficioso para la salud del ser humano, sin embargo, el sabor y la sudoración producida son aspectos negativos en su consumo; esto ha provocado la búsqueda del consumo de derivados del ajo que aprovechen las características positivas y dejen de lado las negativas, algunos de estos derivados son: jugo, cápsulas y perlas (ajo encapsulado con aceite). En el caso del ajo negro, algunas de sus mejores características o propiedades se ven mejoradas en el proceso, como los son:

- Cambio sustancial en el sabor, produciendo un sabor agradable.
- Cambios fisicoquímicos que provocan un descenso en el PH y aumento en azúcares totales.
- Aumenta su capacidad antioxidante.
- Mejora la capacidad nutricional en cuanto a los compuestos bioactivos.
- Tiene un alto contenido de aminoácidos.
- El proceso es completamente natural.

2.2 SISTEMAS DE CONTROL AUTOMÁTICO

Se entiende por un sistema: una colección de objetos en forma ordenada, la cual está dirigida en algún sentido, hacia un objetivo o fin (Lorfa, 1989, p.15). Con esto el autor señala que, cuando se trabaja con un conjunto de objetos, que

presentan relación entre sí y persiguen un resultado común, al estar en presencia de un sistema.

Para estudiar estos fenómenos, nace el análisis y modelado de sistemas dinámicos en ingeniería, cuyo objetivo principal es diseñar sistemas de control. Donde se puede decir que los sistemas de control automático son aquellos que buscan predecir la relación del sistema ante un estímulo externo, en el cual se ven implicadas tanto las características o variables propias como las pertenecientes a su entorno.

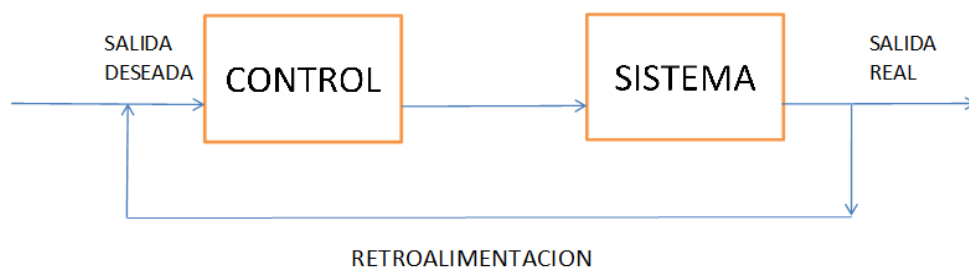
El control automático busca, dado un sistema, una entrada que, de acuerdo con el comportamiento del sistema, produzca una salida preestablecida. Se habla también de que busca imponer una relación deseada entre dos parámetros físicos, conocidos como la variable de entrada y variable de salida.

Existen dos formas de atacar el problema: ajustando por prueba y error el dispositivo de control o representando el comportamiento del sistema por medio de ecuaciones matemáticas y escogiendo la estrategia de control en función de la representación matemática. En el modelado de sistemas existen dos formas de diseñar un sistema de control, conociéndose o no la salida del sistema.

El primero es conocido como control a lazo abierto y en este cálculo de la entrada no interviene la salida. Si para el cálculo de la entrada interviene la salida real del sistema, se le llama sistema de control de lazo cerrado. Un ejemplo de este tipo de control es el control de temperatura en hornos industriales, donde la entrada (dispositivo encargado de calentar el horno) variará de acuerdo con la

temperatura del horno (salida del sistema). En la figura 2, se puede observar la estructura de un control de cerrado. Para el caso de la construcción del control para el horno de proceso del ajo, este será el modelo de control.

Figura 3 Representación de un sistema lazo cerrado



Fuente: elaborado por el autor.

2.2.1 Sistemas analógicos y digitales

Una vez definido el tipo de control que se aplicará en el presente proyecto, se definirá la tecnología que se utilizará para la mejor eficiencia del control, para esto se definirán los conceptos de sistemas o circuitos analógicos y digitales, por lo que se debe comprender, primero, a qué se refieren las palabras analógico y digital, de las cuales Tocci menciona:

En la representación analógica, una cantidad se representa con un voltaje, corriente o movimiento de un indicador o medidor que es proporcional al valor de esa cantidad... .. En la representación digital la cantidad no se representa por valores proporcionales, sino por símbolos denominados dígitos" (Tocci, 1996, p.4).

En otras palabras, una representación analógica es una cantidad numérica que varía de forma directa y proporcional a otra cantidad, además, se presenta de forma continua, mientras que las representaciones digitales son no continuas, variando de forma discreta, o sea, paso a paso.

A modo de ejemplo, el volumen de un radio es una cantidad analógica, pues, para pasar del mínimo estado al máximo, es necesario pasar por todos los estados intermedios de forma continua, mientras que un interruptor (encendido/apagado) representaría un valor digital, cambia de estado de forma casi instantáneamente sin estados intermedios.

Una vez comprendidos estos conceptos, es posible hablar de circuitos analógicos y digitales. Con el rápido avance en el campo de los ordenadores, la electrónica digital domina actualmente todos los campos de la tecnología, al punto de que existen expresiones como "El mundo ahora es digital", entonces, surge una pregunta: ¿por qué se sigue estudiando la electrónica analógica?, pues por una muy simple razón: la mayoría de los eventos del mundo real son analógicos, por lo que, para poder efectuar acciones de adquisición de datos y control digital en sistemas reales, es necesario convertir la información analógica en digital y viceversa.

2.2.2 Microcontroladores

Recibe el nombre de controlador el dispositivo que se emplea para el gobierno de uno o varios procesos. Hace algunas décadas los controladores se construían exclusivamente con dispositivos de lógica discreta, con el nacimiento

de los microprocesadores, estos se empezaron a utilizar, rodeados de chips, de memoria y dispositivos E/S, en tarjetas de circuitos impresos.

Actualmente, todos estos dispositivos se han podido integrar en un solo chip, al que se le conoce como microcontrolador. Por lo que se puede definir un microcontrolador como un circuito integrado de alta escala de integración que incorpora la mayor parte de los elementos que configuran un controlador.

La diferencia entre el microprocesador y el microcontrolador consiste en que el microprocesador es un circuito integrado que contiene únicamente la Unidad de Control (o UCP: Unidad Central de Procesamiento) y el camino de datos o buses de datos que lo comunican con el exterior, por lo que los dispositivos como memorias, módulos de entrada y salida son conectados externamente.

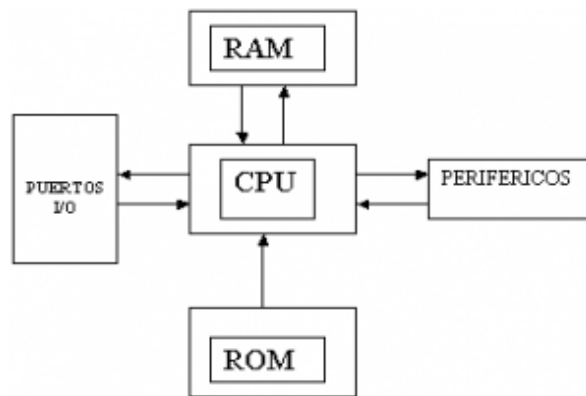
En el microcontrolador se encuentran todos estos dispositivos integrados en un solo chip, claro que el microprocesador permite configuraciones abiertas de mayor capacidad, mientras que los microcontroladores son construidos para labores específicas.

Por tanto, un microcontrolador está constituido principalmente por:

- Procesador o UCP (Unidad Central de Proceso)
- Memoria RAM para contener datos
- Memoria para el programa tipo ROM/PROM/EPROM
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior

- Diversos módulos para el control de periféricos (temporizadores, puerto serie y paralelo, CAD: Conversores Analógico/Digital, CDA: Conversores Digital/Analógico, etc.)
- Generador de impulsos de reloj, que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.

Figura 4 Esquema básico de un microcontrolador



Fuente: disponible en <https://www.electronicaestudio.com>

En los microcontroladores se conocen dos tipos de arquitecturas: la más tradicional llamada Von Neuman, que es similar a un microprocesador y la arquitectura Harvard, orientada a tareas sencillas y específicas, de las cuales se puede encontrar en el mercado microcontroladores ya instalados en placas que facilitan su uso e implementación, como es el caso del Arduino.

2.2.2.1 Arduino

Se conoce como Arduino a la placa fabricada por la compañía del mismo nombre que utiliza, en la mayoría de los casos, un microcontrolador Atmel AVR; la principal característica de esta placa es que su *hardware* y *software* son de código abierto o como se le conoce en inglés: *open source*, esto ha facilitado en los últimos años su expansión y utilización en miles de proyectos a nivel mundial de diversas índoles.

Dentro de las principales características del dispositivo, está su facilidad de interconexión, gracias a sus múltiples puertos de entrada/salida, bajo costo de mercado, alta flexibilidad en el uso de proyectos sencillos, variedad de placas y dispositivos secundarios para el desarrollo del proyecto, estas características permiten que el dispositivo sea el elegido para la construcción del presente proyecto.

2.2.2.2 Arduino Mega 2560

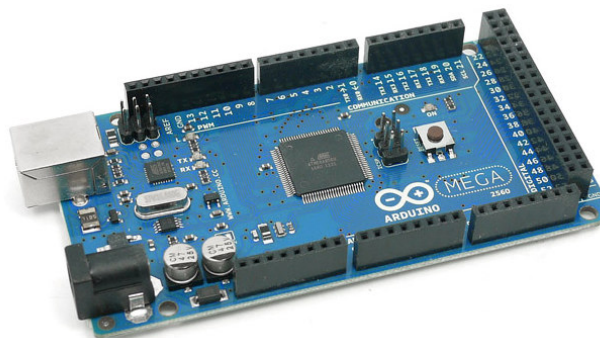
El Arduino Mega 2560 es una placa que contiene el microcontrolador ATmega2560 y es el más robusto de la familia Arduino, cuenta con un procesador de 8 bits y 54 pines de entrada/salida, de los cuales 14 de ellos pueden ser utilizados como salidas de PWM (modulación por ancho de pulso).

Especificaciones Arduino Mega 2560:

- Pines digitales de Entrada/Salida: 54 (de los cuales 14 proveen salida PWM)
- Pines análogos de entrada: 16

- Corriente DC por cada Pin Entrada/Salida: 40 mA
- Corriente DC entregada en el Pin 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 256 KB (8KB usados por el bootloader)
- SRAM: 8KB y EEPROM: 4KB
- Clock Speed: 16 MHz
- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje Operativo: 5V
- Tensión de Entrada: 7-12V
- Voltaje de Entrada (límites): 6-20V

Figura 5 Arduino Mega 2560



Fuente: disponible en <https://www.electrontools.com>

2.2.2.3 ESP32 Microcontrolador

Otra placa que se localiza en el mercado es el microcontrolador ESP32, ensamblado con el chip ESP32, que contiene un doble núcleo de 32 bits y cuenta con 520 KB de SDRAM. Además de ser más robusto que otros de su gama, es ideal para aplicaciones que requieran conexión a internet, dado que cuenta con

módulo de wifi integrado. Las características de este dispositivo se pueden observar en el Anexo 1.

Tomando en cuenta las facilidades de comunicación, se considera la mejor opción de controlador.

Figura 6 Microcontrolador ESP32



Fuente: disponible en <https://www.robotshop.com>

2.2.1.1 Sensores

Un sensor electrónico es un dispositivo capaz de convertir magnitudes encontradas en la naturaleza en valores eléctricos con capacidad de ser manejados, almacenados, y manipulados; las magnitudes que se encuentran en la naturaleza son caracterizadas como medias analógicas, por sus características matemáticas, en la electrónica digital estos valores analógicos son convertidos en valores digitales, por medio de los mismos sensores u otros dispositivos diseñados para tal fin.

Algunas de las magnitudes físicas que se pueden medir por medio de sensores son la temperatura, humedad, iluminación, caudal, radiación, proximidad o distancia y presión, en este caso lo que interesa medir son los sensores de temperatura y humedad.

Existen diferentes sensores de temperatura que, de acuerdo con el o los materiales con los que se construyen, responden de manera diferente al paso de electricidad, lográndose una relación directa entre la temperatura y la corriente eléctrica o voltaje en el dispositivo. Entre ellos se encuentran los termistores, RTD (*resistance temperature detector*) por sus siglas en inglés, los llamados termopares conocidos también como termocuplas.

Figura 7 Sensor DS18B20



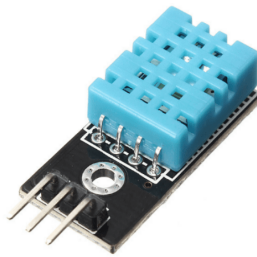
Fuente: disponible en <https://www.theengineeringprojects.com>

Debido a que en este proyecto se eligió la placa con microcontrolador ESP32, esta empresa cuenta con encapsulados y placas que contienen sensores de temperatura diseñados para trabajar con el microcontrolador, para una mejor comunicación entre dispositivos, tales son los casos del sensor de temperatura

DHT22 y el sensor DS18B20, y para el rango de operación es más factible utilizar el sensor DS18B20 (Hoja de datos en Anexo 2).

La otra variable por medir en el presente proyecto es la humedad, en su mayoría son contruidos con capacitores o condensadores que varían su nivel de carga de acuerdo con la humedad relativa que, al igual que el sensor de humedad, se buscó uno compatible con el ESP32, el modelo DHT11 (Hoja de datos en Anexo 3), que también es sensor de temperatura, sin embargo, su rango de operación no es funcional en el proyecto para la variable de temperatura, no obstante, sí lo es para la medición de la humedad.

Figura 8 Sensor de humedad DHT11



Fuente: disponible en <https://potentiallabs.com/>

2.2.1.2 Actuadores

Un actuador es un dispositivo utilizado en los sistemas de control automático, encargado de realizar la función inversa del sensor, dado que convierte la señal de control en una respuesta analógica capaz de variar las condiciones del sistema.

Por su naturaleza, se encuentran en tres tipos: neumática, hidráulico o eléctrico: en este caso, debido a que el actuador es una resistencia capaz de emitir calor para elevar la temperatura, la salida del sistema es eléctrica.

Figura 9 Resistencia eléctrica



Fuente: disponible en <http://santiescoin.com>

2.3 HORNOS

El horno es un dispositivo cerrado que genera calor y lo mantiene, es utilizado en el hogar y en la industria con diferentes fines, pueden clasificarse de acuerdo con la fuente calórica que utilizan. Para entender el funcionamiento de los hornos, es necesario conocer las diferentes maneras de propagación de calor que existen: por conducción, convección y radiación.

La propagación de calor por medio de conducción o transferencia de energía en forma de calor por conducción es un proceso basado entre contacto directo entre los cuerpos; en este proceso no existe intercambio de materia, el calor fluye de un cuerpo de mayor temperatura a otro de menor temperatura, esta capacidad de compartir calor es conocida como conductividad térmica.

En el caso de la transmisión de calor por medio de convección, se da en fluidos o gases, los cuales se encargan de transmitir el calor de un cuerpo sólido a un fluido (gas o líquido) que, debido al cambio en las densidades, provocan un proceso de circulación. Para el caso de la transmisión de calor por radiación, esta sucede a través de la propagación de ondas electromagnéticas, las cuales son emitidas por todos los cuerpos y estas no necesitan de un medio físico para ser transmitidas, es decir, la transmisión no necesita contacto como en el caso de la conducción o convección.

2.3.1 Tipos de hornos

Los hornos suelen ser clasificados según su fuente de energía o construcción, dentro de los cuales se puede encontrar:

Hornos de leña: cuya fuente de energía se produce al quemar leña, son usados desde la antigüedad y dentro de sus características está su bajo rendimiento.

Hornos de gas: estos funcionan mediante la combustión de gas natural o gas licuado de petróleo (GLP), es una alternativa muy viable por su alta eficiencia y bajo costo de operación, tiene la ventaja también de alcanzar altas temperaturas.

Horno eléctrico: funciona por medio de resistencias formadas de aleaciones de cromo-níquel u otros metales según la temperatura deseada, su uso es muy extendido por su comodidad y fácil empleo.

Horno solar: son estructuras diseñadas para mantener la radiación solar, su gran ventaja es el bajo o casi nulo costo de operación.

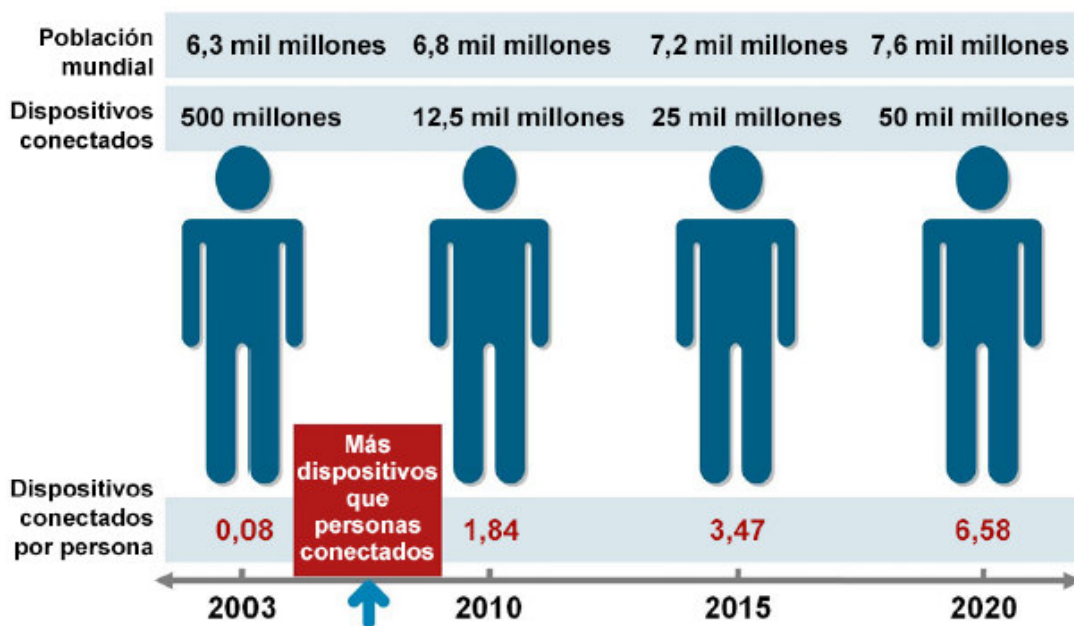
Horno de microondas: utilizan ondas electromagnéticas que interactúan con las moléculas de agua contenidas en alimentos.

Para la construcción del horno de producción del ajo negro, se utilizará un sistema eléctrico de calefacción, por su facilidad de control y uso.

2.4 INTERNET DE LAS COSAS IoT

El internet de las cosas conocido como IoT (abreviatura del inglés *Internet of Things*) es el nombre de las conexiones de internet con objetos cotidianos, el término fue acuñado por primera vez en el año 1999 por Kevin Ashton, quien lo utilizó para describir un sistema en el cual los objetos del mundo físico se podían conectar a Internet por medio de sensores.

La empresa Cisco estima que esta nació en algún punto entre el año 2008 y 2009, cuando los objetos conectados a la red superaron al número de personas conectadas, como se observa en la figura 10. Figura 10 Nacimiento del Internet de las Cosas entre 2008 y 2009



Fuente: Cisco IBSG, abril 2011.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se puede definir: "La investigación científica es un proceso, término que significa dinámico, cambiante y continuo. Este proceso está compuesto por una serie de etapas, las cuales se derivan unas de otras. Por ello, al llevar a cabo un estudio o investigación no se puede omitir etapas ni alterar su orden" (Hernández, 2011, p 26).

Se puede clasificar la investigación en varios tipos:

3.1.1 Enfoque de investigación.

"Los enfoques cuantitativos buscan llegar al conocimiento "desde afuera", por medio de la medición y el cálculo. Desde este punto de vista, ya usted habrá inferido que el enfoque cualitativo tiende a ser más inductivo que deductivo y el cuantitativo todo lo contrario" (Barrantes, 1999, p 68).

Dado que la investigación pertenece al campo de la ingeniería e implica resultados medibles, se puede colocar esta investigación según su enfoque como una cualitativa.

3.1.2 Finalidad

Por su finalidad, se considera esta investigación como aplicada, también llamada práctica, pues se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de conocimientos que se adquieren. Y como define Pedro Venegas: "La investigación aplicada, también conocida como investigación práctica, se realiza, como su

nombre lo indica, con fines prácticos, tanto para resolver un problema, como para tomar decisiones, evaluar programas, y en general, para mejorar un producto o proceso por medio del estudio y prueba de conceptos teóricos en situaciones reales" (Venegas, 1999, p. 22).

3.1.3 Dimensión temporal

En cuanto a su dimensión temporal, la investigación puede clarificarse como transversal o longitudinal, Los diseños de investigación transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado. Es como "tomar una fotografía" de algo que sucede (Hernández, 2010).

De lo mencionado por el autor, se concluye que la investigación es del tipo transversal, pues la recolección de datos se hará en una sola ocasión.

3.1.4 Marco

Según los niveles de alcance e impacto, la investigación se puede clasificar en tres niveles:

Mega: en el marco mega de la investigación, se puede apuntar a empresas que realicen procesos que requieran baja temperatura por períodos prolongados para el proceso de diversos productos.

Macro: en el nivel macro, la investigación se puede aplicar para el procesamiento de otros tipos de productos, además del ajo.

Micro: se aplica a nivel solo de la investigación actual para proceso del ajo negro.

3.1.5 Carácter

Investigación de carácter experimental, dado que uno de sus objetivos es diseñar un sistema de control para un determinado proceso, por lo que es necesario realizar continuas pruebas de laboratorio para estudiar los diferentes elementos que intervienen en el sistema.

Acerca de este tipo de investigación, el mismo autor comenta: "La investigación experimental tiene como propósito estudiar posibles selecciones de causa y efecto mediante la exposición de uno o más grupos experimentales seleccionados al azar. Así mismo el investigador trabaja con variables que controla y que relaciona entre sí como parte de la hipótesis y de la explicación del fenómeno" (Venegas, 1999, p. 22).

3.2 FUENTES Y SUJETOS DE INFORMACIÓN

Para realizar una investigación, la búsqueda de las fuentes de información debe llevarse a cabo con gran cuidado, pues de ellas dependerán los resultados obtenidos en el trabajo. Es recomendable siempre utilizar fuentes de información variadas y abundantes, para disminuir las probabilidades de error en la información recolectada. Al respecto, Helio Gallardo señala: "Llamamos fuentes de información a cualquier objeto, persona, situación o fenómeno cuyas

características me permiten leer información en él y procesarla como conocimiento acerca de un objeto de discernimiento o estudio" (Gallardo, 2001, p 57).

3.2.1 Fuentes primarias

En la presente investigación, se utilizarán tanto sujetos como fuentes primarias documentales (libros académicos), pues se trata con términos teóricos, discutidos y aceptados por autores de las obras citadas, a quienes se les considera verdaderos eruditos en la materia.

Además de las fuentes documentales, se consultarán fuentes primarias relacionadas directamente con el problema por resolver; como lo es el encargado de producción que lleva a cabo el proceso actual.

3.2.2 Fuentes secundarias

En cuanto a los aspectos más técnicos de la investigación, relacionada específicamente con el dispositivo de control por utilizar en el diseño, será necesario consultar fuentes secundarias, como lo son revistas y manuales técnicos de diferentes fabricantes de PLC. Esto debido a que la información que concierne a tecnologías de avanzada es escasa en países como Costa Rica y muchas veces es necesario solicitarlas al exterior.

3.2.3 Sujetos de información

Los sujetos de información son todas aquellas personas vinculadas con el proyecto en desarrollo. Para la presente investigación, se cuenta con un único sujeto de información, debido a que la empresa Vital Artesanal tiene una sola persona vinculada con el proceso que, a su vez, es el fundador.

3.3 TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Por las características propias de la investigación que mantiene desde todo punto de vista un enfoque científico, una de las principales técnicas por utilizarse para recolectar datos es la experimentación apoyada en la observación, dado que es necesario recolectar datos cuantitativos por medio de instrumentos de medición directa, para recopilar información que describa propiedades físicas en las variables de la investigación.

Con respecto a los instrumentos y técnicas de investigación, Helio Gallardo comenta:

"La investigación de campo posee sus procedimientos, técnicas e instrumentos específicos... ...un procedimiento básico es la observación... Otras técnicas del trabajo o investigación de campo son la encuesta (que aplica cuando se desea considerar información atribuible a grupos de individuos o colectivos) que se operacionaliza en un cuestionario (instrumento), la entrevista (que puede formar parte de una encuesta)... ...el experimento (que permite establecer

relaciones causales, es decir del tipo X produce Y, pero Y no produce X"

(Gallardo, 2001, p 172).

3.3.1 Observación

Una de las características por las que se diferencia la observación científica de otros tipos es el modo en que se lleva a cabo. Esta debe ser sistemática, sea que dé lugar a datos susceptibles, o bien, a aquellos obtenidos y replicados por cualquier investigador (Barrantes, 1999, p 178).

En la presente investigación, se utilizará el proceso de observación científica como principal técnica de recolección de datos, dado que los mismos son fundamentales para la interpretación del sistema actual y diseño posterior, por medio de una toma de datos estructurada se recopilará la información de la temperatura y humedad.

3.3.2 Entrevista

La otra técnica de recolección de datos que se utilizará en la presente investigación es la entrevista, por medio de la cual se obtendrá información del fundador y productor de ajo negro, quien cuenta con vasto conocimiento del producto.

El autor Rodrigo Barrantes comenta sobre la entrevista: "Es una conversación, generalmente oral, entre dos personas, de los cuales uno es el entrevistador y el otro el entrevistado. El papel de ambos puede variar según el tipo de entrevista" (Barrantes, 1999, p 209).

3.4 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Las variables en una investigación son todos aquellos factores que puedan ser manipulados y medidos. "Las variables, en una investigación que se trabaje a base de objetivos, tienen su origen en cada objetivo específico" (Barrantes, 1999, p.137).

Tabla 1 Variables de la investigación

Objetivo específico	Variable	Definición
Identificar las necesidades y requerimientos del proceso actual de ajo negro en la empresa Vital Artesanal.	Necesidades y requerimientos	Requerimientos para mejorar el proceso actual
Estudiar las diferentes tecnologías existentes para elegir la que mejor se adapte al sistema de control automático y a las posibilidades de la empresa.	Tecnologías existentes	Evaluación de las tecnologías existentes para el desarrollo de proyectos
Seleccionar la tecnología adecuada que se adapte a las necesidades y posibilidades de la empresa para implementar en el diseño del control automático.	Tecnologías existentes	Evaluación de las tecnologías existentes para el desarrollo de proyectos
Diseñar un sistema control automático para controlar las variables en los hornos del proceso de ajo negro.	Diseño del control automático	Creación del diseño del dispositivo para el proyecto
Construir el dispositivo diseñado para el control automático de hornos del proceso de ajo negro.	Construcción del control automático	Creación del diseño del dispositivo para el proyecto

Verificar el funcionamiento del dispositivo de control automático construido para el proceso.	Resultados	Estudio de la implementación del dispositivo
Analizar el costo – beneficio de la implementación del sistema de control automático en los hornos de proceso del ajo negro de la empresa Vital Artesanal.	Viabilidad del proyecto	Evaluación de la rentabilidad del proyecto

Fuente: elaborado por el autor.

3.5 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para estructurar la presente investigación, se utilizará la tabla 2, donde se logra ligar la pregunta en estudio con los objetivos y variables de la investigación, así como los métodos y técnicas por utilizarse en el desarrollo de esta.

"El concepto de diseño se ha aplicado en diferentes situaciones; desde la concepción de diseño como el proceso estadístico que va a aplicarse a los datos, hasta la definición de Fisher (1953), para quién el diseño experimental es una estructura lógica unitaria que implica dos actividades básicas que no son sino dos aspectos de una misma realidad: una determinada organización de los diferentes aspectos que constituye un experimento y un procedimiento estadístico que permite interpretar los resultados obtenidos" (Colás, 1998, p. 36).

De ahí la importancia del diseño de la investigación que traza los procesos o etapas desde la formulación del problema hasta el análisis de resultados.

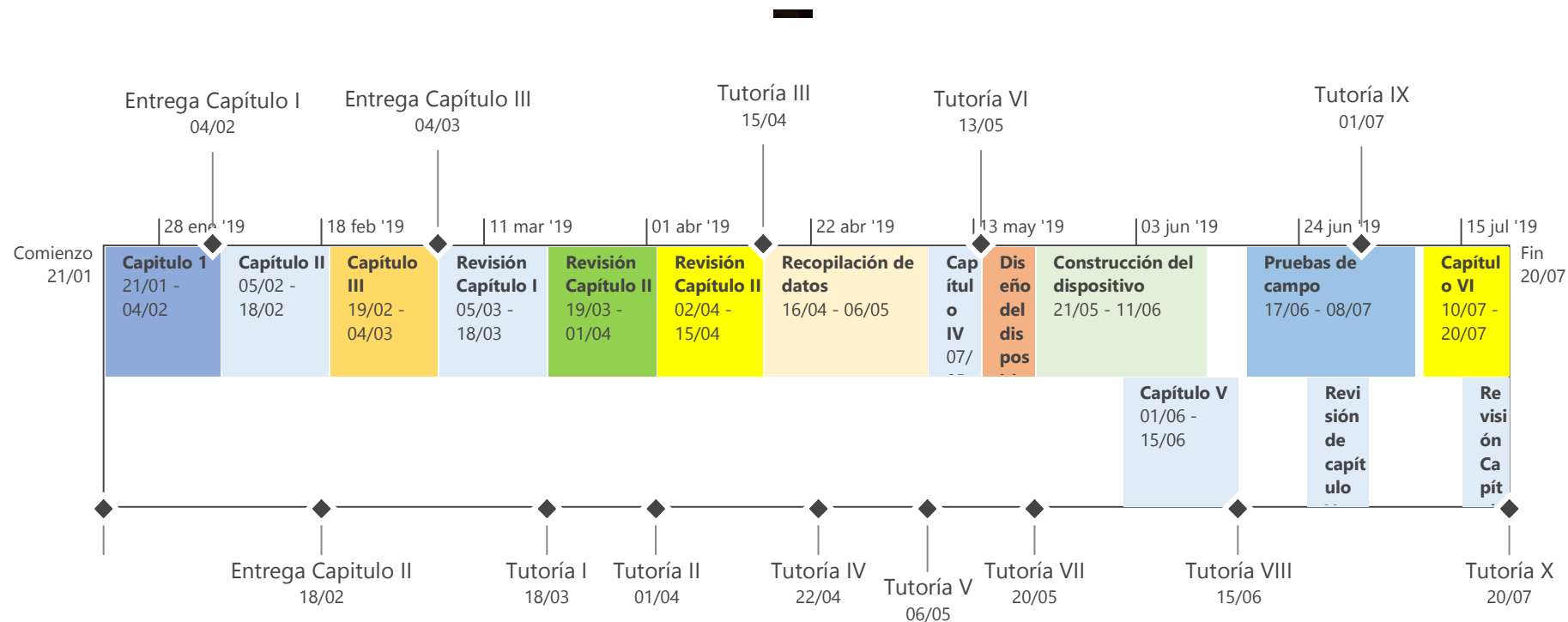
Tabla 2 Diseño de la investigación

Pregunta de la investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Variables	Método de investigación	Técnicas y herramientas
¿Cómo diseñar y construir un dispositivo electrónico de control que permita la automatización del proceso de ajo negro, mediante el monitoreo y control de las variables de temperatura y humedad, con la finalidad de mejorar el tiempo de producción y reducir la pérdida de materia prima?	Construir un sistema de control automático para un horno de convección encargado de regular las variables en el proceso de producción ajo negro de la empresa Vital Artesanal S.A.	Identificar las necesidades y requerimientos del proceso actual de ajo negro en la empresa Vital Artesanal.	Necesidades y requerimientos	Método descriptivo	Observación Entrevista
		Estudiar las diferentes tecnologías existentes para elegir la que mejor se adapte al sistema de control automático y a las posibilidades de la empresa.	Tecnologías existentes	Método descriptivo	Observación Entrevista
		Seleccionar la tecnología adecuada que se adapte a las necesidades y posibilidades de la empresa para implementar en el diseño del control automático.	Tecnologías existentes	Método descriptivo	Observación Entrevista

Diseñar un sistema control automático para controlar las variables en los hornos del proceso de ajo negro.	Diseño del control automático	Método experimental	Diseño experimental
Construir el dispositivo diseñado para el control automático de hornos del proceso de ajo negro.	Construcción del control automático	Método experimental	Diseño experimental
Verificar el funcionamiento del dispositivo de control automático construido para el proceso.	Resultados	Método experimental	Diseño experimental
Analizar el costo – beneficio de la implementación del sistema de control automático en los hornos de proceso del ajo negro de la empresa Vital Artesanal.	Viabilidad del proyecto	Método experimental	Diseño experimental

Fuente: elaborado por el autor.

Figura 11 Escalas de tiempo planteadas



Fuente: elaborado por el autor.

CAPÍTULO IV

DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

4.1 DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

La situación actual del proceso de ajo negro, en la empresa Vital Artesanal S.A., se estableció por medio de la entrevista realizada al gerente y encargado de todo el proceso, el señor Ronald Mejía, quien se ha especializado en la producción de ajo negro a lo largo de los últimos 5 años. También se recolectó información por medio de la observación y toma de datos del proceso.

Actualmente, la empresa cuenta con cámaras de refrigeración acondicionadas para trabajar con calor, las mismas poseen una resistencia eléctrica regulada por un termostato analógico para horno que controla automáticamente la temperatura del sistema. En la figura 12, se muestra el tipo de termostato utilizado que es de fácil adquisición en el mercado local.

Figura 12 Termostato analógico para horno eléctrico



Fuente; disponible en www.mazcr/productos.com

Como política empresarial, Vital Artesanal siempre busca la reutilización o reciclaje como fuente de herramientas, equipos y materia prima, por lo que utiliza cámaras de refrigeración reutilizadas y acondicionadas para trabajar como hornos, en la figura 13 se puede observar cómo lucen los hornos de la empresa.

Figura 13. Hornos de proceso de ajo



Fuente: elaborado por autor.

El proceso general de la transformación del ajo blanco en ajo negro, como se mencionó en el marco teórico, consiste en someter el ajo blanco, que es la materia prima, a una serie de temperaturas durante un período de 20 a 30 días, las diferentes temperaturas son reguladas o son cambiadas por el operario manualmente, en el dispositivo de control (termostato). Sin embargo, el operario

debe contar con algún dispositivo de medición externo, para monitorear la temperatura, ya que el control es impreciso y llega a tener una diferencia de hasta 10°C entre lo establecido y la temperatura real del sistema.

La instalación mecánica tanto del control del termostato como de la resistencia no es la óptima, por lo que es casual encontrar múltiples averías en el sistema; en la figura 14 se muestra la instalación del termostato, el cual está instalado a un costado de la cámara u horno, sin ninguna sujeción mecánica, por lo que esto dificulta su manipulación, además, esto provoca su deterioro al verse expuesto a golpes.

Figura 14 Estado actual del termostato en horno existente



Fuente: elaborado por el autor.

En el caso de la resistencia eléctrica instalada a lo interno del horno, tampoco cuenta con sujeción mecánica, lo que provoca daños en la misma y contacto eléctrico peligroso en el sistema, esto se observa en la figura 15.

Figura 15 Instalación de resistencia eléctrica en horno actual.



Fuente: elaborado por el autor.

En la figura puede observarse la resistencia en la parte baja del horno casi rozando el piso de este, el cable de alimentación, saliendo de la esquina y un gancho que se encarga de la sujeción, uno de los problemas actuales de la instalación.

4.2 RECOLECCIÓN DE DATOS

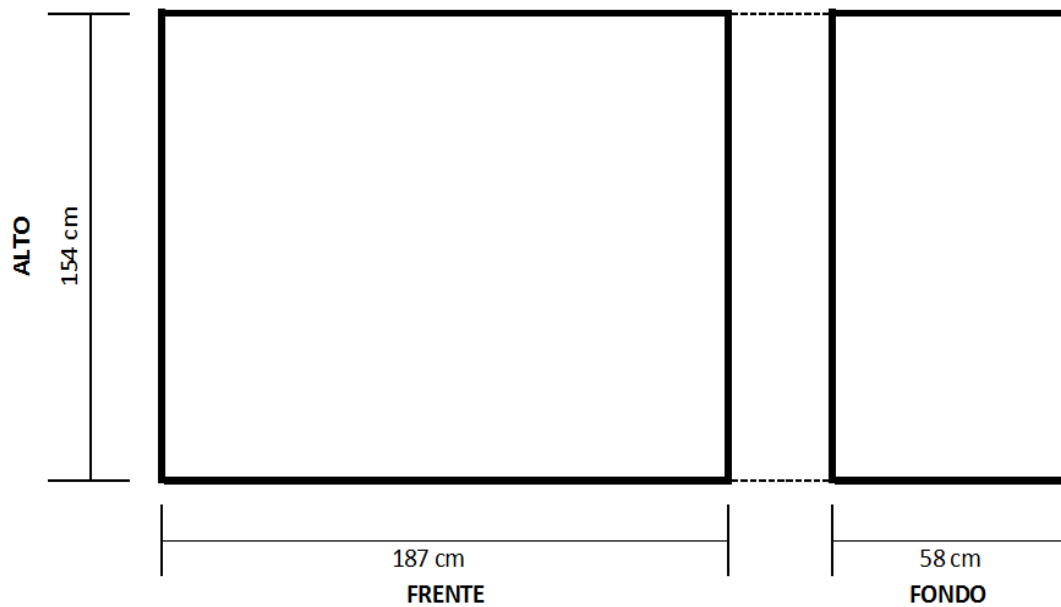
Para una valoración del sistema en su funcionamiento actual, se tomaron las dimensiones de la cámara y, a su vez, se realizaron mediciones de temperatura en diferentes sectores de esta, así como en diferentes momentos del

proceso, para obtener datos del comportamiento de la temperatura a lo interno del horno y de esta manera presupuestar las temperaturas por trabajarse.

4.2.1 Observación

Por medio de un boceto, se detallan las medidas internas del horno, para así evaluar el volumen o masa por calentar. Esto se detalla en la figura 16.

Figura 16 Dimensiones internas del horno



Fuente: elaborado por el autor.

De la figura anterior, se obtiene el volumen interno del horno.

Tabla 3 Medidas internas del horno

DIMENSIÓN	MEDIDA (cm)
Frente	187
Alto	157
Fondo	58

Fuente: medición directa en campo.

Tabla 4 Volumen interno del horno

Dimensión	Medida (m ²)
Volumen	1.67

Fuente: cálculo matemático con dimensiones tabla 4.

Actualmente, el horno cuenta con una sola resistencia eléctrica de 3000 W que proporciona el calor necesario para mantener su temperatura. Sin embargo, no siempre mantiene la misma temperatura y la señalada en el termostato varía con la medida dentro de la cámara; esto se muestra en el tabla 5.

También se dividieron los espacios del horno en nueve zonas, donde logra observarse que la temperatura en el horno no es uniforme y tiene hasta una variación de 30 grados Celsius, encontrándose las zonas de mayor calor en la parte superior del horno, pese a que la resistencia se encuentra en la parte inferior.

Tabla 5 Diferencia en temperaturas en 9 zonas del horno,

62°C	67°C	71°C
67°C	66°C	71°C
75°C	79°C	92°
FRENTE HORNO		

Fuente: medidas directas en el horno.

De los problemas encontrados en el proceso de transformación del ajo, hay dos resultados que han provocado la pérdida total del producto terminado; en el primer caso, el horno no alcanza la temperatura esperada, lo que provoca una deshidratación del ajo y el mismo no logra alcanzar la reacción de Maillard, un producto deshidratado y sin color ni sabor, se observar en la figura 17.

Figura 17 Producto dañado por deshidratación



Fuente: elaborado por el autor.

En el segundo caso, la temperatura es muy alta y sencillamente el ajo es quemado, se carboniza y queda completamente inútil, esto es ilustrado en la figura 18.

Figura 18 Fotografía de ajo carbonizado



Fuente: fotografía de ajo carbonizado.

Además de estas dos circunstancias, en una cosecha normal no se logra procesar el 100% de la materia prima, debido a la inestabilidad en la temperatura del horno; se calcula una pérdida de materia prima o ajo mal procesado entre un 10% a un 15%. En la tabla 6, se muestra en términos monetarios las pérdidas en las que incurre la empresa por problemas de producción, tomando en cuenta solo el valor de materia prima (ajo blanco) y el valor de mercado (ajo procesado), sin tomar en cuenta pérdidas relacionadas con mano de obra o con imagen negativa de la empresa al no poder hacer entregas a tiempo.

Tabla 6 Cálculo de pérdidas monetarias en el proceso de producción

	Cantidad (kg)	Pérdida	
		Costo de materia prima	Costo producto terminado
Producción por cosecha	100		
Pérdida normal de 15%	15	¢ 19.500,00	¢ 540.000,00
Pérdida anormal de 100%	100	¢ 130.000,00	¢ 3.000.000,00

Fuente: elaborado por el autor.

4.2.2 Entrevista

Debido a que, en la empresa Vital Artesanal Limitada, todo el proceso está a cargo del señor Ronald Mejía, emprendedor en el proceso de la transformación de ajo tradicional en ajo negro, se le realiza una entrevista no estructurada que se encuentra en el Anexo 4, la cual permite conocer detalles generales del proceso.

La idea de crear un emprendimiento, al transformar y comercializar el ajo negro, nace del señor Mejía, quien cuenta con varios años de experiencia dedicándose a la investigación y producción de súper alimentos; de ahí nace la idea de fundar Vital Artesanal y dentro de ello, la investigación sobre el ajo.

Investigando el mercado encuentra que este producto no se comercializa en el país y tampoco a nivel centroamericano, el dueño de la empresa se da a la tarea de buscar hornos para este proceso, pero no los localiza en el país y solo

encuentra algunos diseñados para tal fin en mercados asiáticos, los cuales por precio y distancia se hacen inaccesibles para importarlos al país.

Descartando la opción de la compra de horno para el ajo, propone la manera de transformar una cámara de refrigeración, colocándole un termóstato para horno de cocina y una resistencia eléctrica, lo cual le ha funcionado por varios años y le ha permitido consolidar un negocio creciente alrededor de este producto.

Dado el crecimiento del negocio y la necesidad de aumentar la producción, la empresa busca ayuda a través del Ministerio de Ciencia y Tecnología para conseguir financiamiento y hacer crecer a la compañía a nivel tecnológico, de esta forma es aprobado en el año 2018 un financiamiento no reembolsable en la línea de Pro-Pyme para alcanzar tal fin.

Como se ha descrito a lo largo del documento, el principal problema que enfrenta el señor Mejía con el horno que posee actualmente es su construcción artesanal, el cual deriva en una serie de falencias que repercuten por completo en la productividad de la empresa, debido principalmente a la pérdida de materia prima y poca capacidad de crecimiento.

Para el primer caso, hace falta un adecuado control en la temperatura que provoca pérdidas en la materia prima; en algunos casos se ha perdido hasta el 100%, dado que se presentan fallas en el termostato que dispara la temperatura del horno y el ajo se quema completamente quedando carbonizado. Se ha presentado el caso contrario en que el horno no llega a la temperatura indicada y deshidrata el ajo, sin que se produzca su transformación.

Otra de las problemáticas con el manejo de la temperatura es que tanto el monitoreo (sensor del termostato) como la resistencia son una sola para toda la cámara u horno, provocando diferentes temperaturas en el volumen interno del mismo, esto hace que el producto final no sea uniforme y parte de la cosecha no pueda ser comercializada al no cumplir con los estándares de calidad.

Al experimentar problemas en el proceso de producción debido a no contar con los instrumentos o máquinas adecuadas para el proceso, la empresa Vital Artesanal no ha logrado el crecimiento deseado, pues la demanda ha ido creciendo, pero la producción no, por lo que se hace necesaria la creación de más hornos, con la tecnología adecuada para lograr el crecimiento de la empresa.

Aparte de la producción, los hornos presentan problemas por sí mismos, dado que tanto el termostato como la resistencia eléctrica se dañan constantemente, aumentando los costos de operación debido a su instalación.

4.3 DISEÑO DE PROTOTIPO

El sistema que se propone para la automatización del horno es un sistema de control de lazo cerrado, el cual estará controlado por un microcontrolador ESP32, que tendrá un tiempo de operación estipulado por el usuario, el mismo será de varios días. También deberá inicializarse la temperatura requerida en el tiempo deseado, una vez inicializado el sistema, el mismo opera de manera automática enviando información constantemente al usuario, localmente por medio de dispositivo de salida (pantalla) y de una red wifi, el cual podrá ser accedido desde un dispositivo móvil, con acceso a internet desde un servidor web utilizado para IoT.

4.3.1 Etapas del proyecto

A continuación, se detallan las etapas con las que contará el sistema tanto a nivel electrónico como mecánico, que también puede observarse en la figura 19:

Etapas de control: estará gobernada por el microcontrolador ESP32 que, como se ha definido en el capítulo II, se seleccionó por tener las características más adecuadas para el sistema.

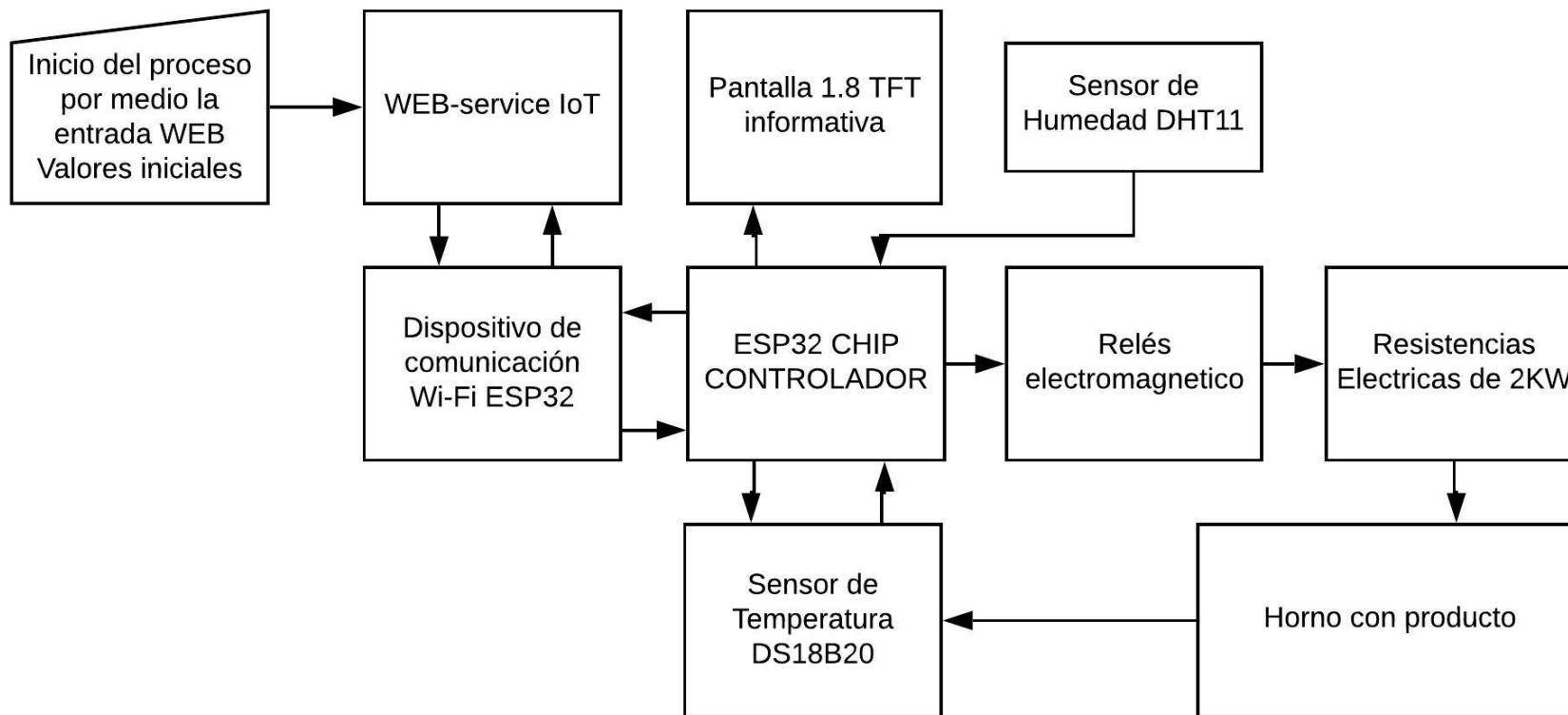
Etapas de comunicación: el ESP32 tiene la ventaja de integrar en la placa el dispositivo de red wifi, que se encargará de establecer comunicación con la red y el internet.

Etapas de potencia: esta contiene los relevadores encargados de encender y apagar las resistencias de calentamiento.

Etapas de sensado: está conformado por los sensores de temperatura y humedad que brindarán la información al microcontrolador para la toma de decisiones del sistema.

Software: este será desarrollado con el lenguaje C++ de acuerdo con las necesidades del sistema.

Figura 19 Diagrama de bloques del sistema propuesto



Fuente: elaborado por el autor.

CAPÍTULO V

DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

En el presente documento, se analiza la problemática de la empresa Vital Artesanal Limitada en su proceso de conversión de ajo blanco en ajo negro; se ha evidenciado que el proceso actual se efectúa con hornos que cuentan con controles sumamente artesanales y poco efectivos. Lo que ha derivado en problemas de baja productividad y pérdidas de materia prima, por tanto, se presenta a continuación la propuesta de diseño de un control automático con un dispositivo electrónico, se detallan las etapas y características de este.

Para llevar a cabo la construcción del dispositivo electrónico, se evalúan diferentes tecnologías electrónicas, se escoge primero el módulo de control del cual dependerá el resto del sistema; de las tecnologías existentes en esta línea se pueden establecer los microcontroladores, microprocesadores y PLC.

Como se ha venido analizando en cuanto a los requerimientos del sistema, accesibilidad y costos, el control seleccionado para el proyecto será un microcontrolador, de la gama de estos dispositivos se eligió la marca ESPRESSIF SYSTEMS en la placa ESP32.

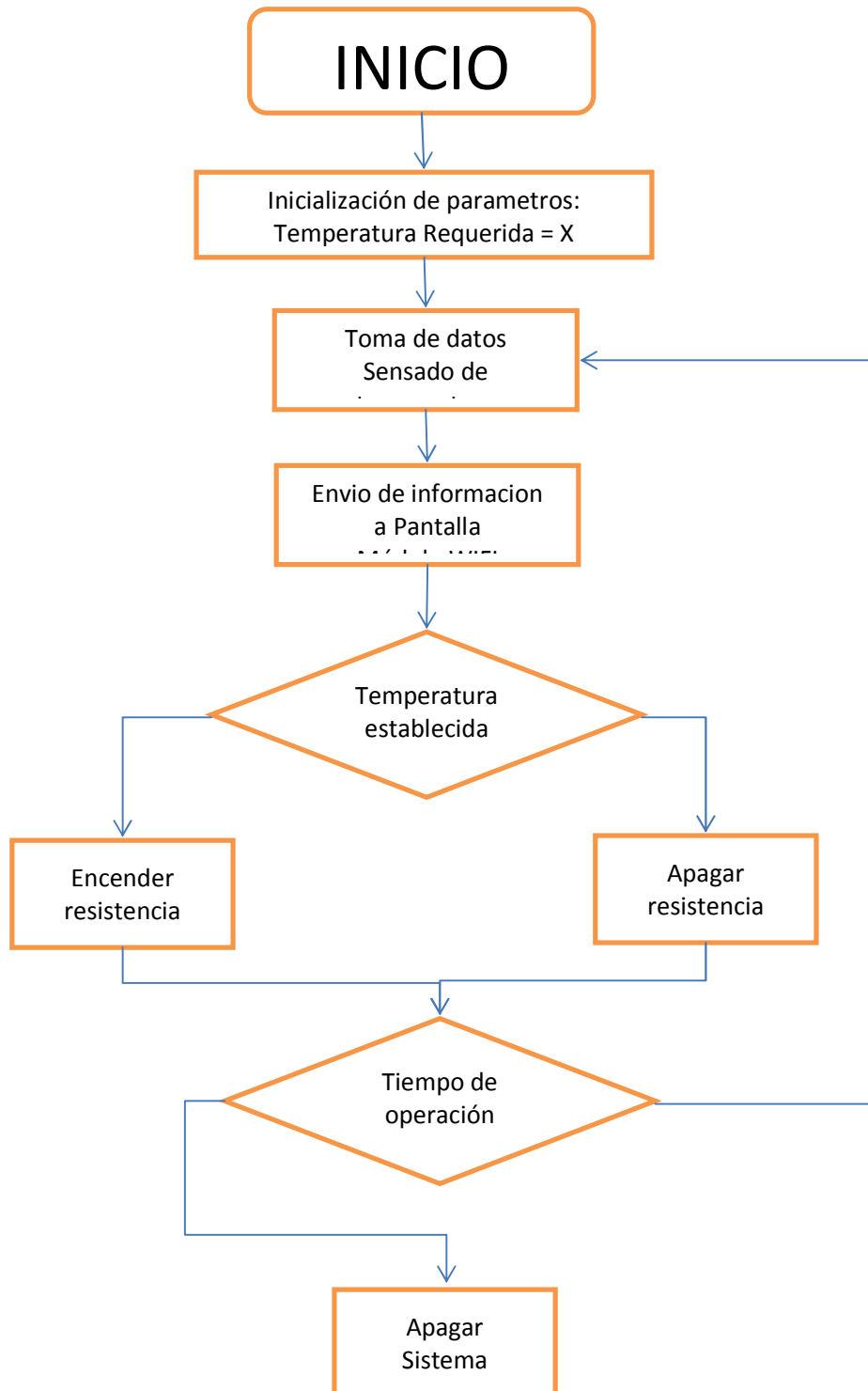
Presenta las características necesarias para el proyecto y dentro de las principales razones de su elección se encuentran: fácil acceso al dispositivo, bajo costo y gran variedad de opciones de programación, que permite intercambiar conocimientos y tener acceso a gran cantidad de librerías.

Otros de los componentes principales en el presente proyecto son los sensores de temperatura, dado que es la variable principal para controlar, por lo que se eligió el sensor de temperatura DS18B20, que fue elegido por tres características principales: la primera es su encapsulado, con capacidad de soportar ambientes húmedos e inclusive puede ser utilizado bajo el agua.

Otra característica importante es el rango de temperaturas que soporta, ya que puede trabajar de -55°C hasta 125°C y, finalmente, la entrega de datos que la hace de forma digital, además, cada sensor posee una posición específica que permite colocarlos en paralelo a una sola entrada digital del controlador, ahorrando puertos en el mismo.

Este proceso puede observarse en la siguiente figura, donde cada paso y proceso se ha explicado para dar inicio al proyecto.

Figura 20 Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema



Fuente: elaborado por el autor.

5.2 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PROTOTIPO

A continuación, se detallará el diseño del dispositivo electrónico para el presente proyecto, así como las características de cada una de las etapas y detalle de estas.

5.2.1 Diseño del *hardware*.

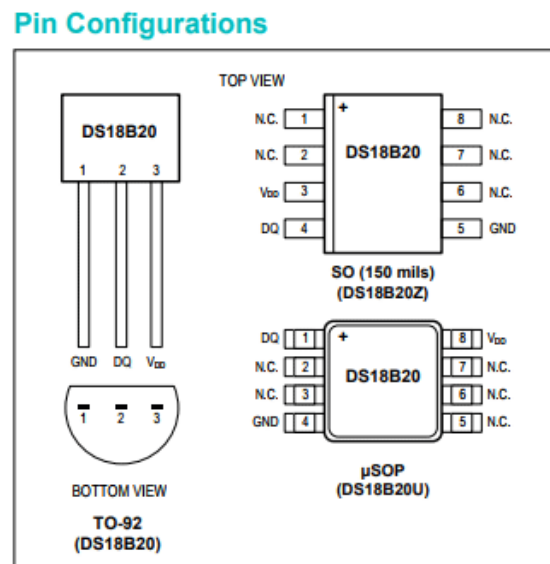
Como se señaló en capítulos anteriores, la empresa ya contaba con hornos o estructuras que hacían esta función, sin embargo, el sistema de control utilizado era sumamente rudimentario y presentaba fallas de manera continua, además, no contaba con las características apropiadas para el fin requerido. No obstante, las cámaras de la empresa sí serán reutilizadas, por lo que el proyecto se limita a la construcción del dispositivo electrónico y la etapa de potencia de las resistencias.

5.2.1.1 Sensores de temperatura.

Como ya se ha mencionado, esta es la variable principal por controlar en este proyecto y dentro de las características de operación, se establece que esta será por períodos prolongados, que pueden oscilar entre los 10 a 25 días de manera continua, de igual manera, en el capítulo 4, en el tabla 5, se anotaron las temperaturas de operación del horno y se dividieron en seis áreas, observándose algunas diferencias entre la temperatura de un sector y otro, por tanto, se determinó instalar cuatro sensores en diferentes áreas para tener una respuesta más integral del estado del horno y como un respaldo en caso de tener algún daño en uno de los sensores.

Los sensores de temperatura por utilizar DS18B20, que pueden observarse en la figura 7 del capítulo 2, se emplearon no solo por su encapsulado y rango de temperaturas de operación, sino por su protocolo de comunicación conocido como 1-Wire, el sensor posee tres patillas de conexión, como se observa en la siguiente figura.

Figura 21 Patillas de conexión del sensor DS18B20



Fuente: hoja de Datos del DS18B20.

Una conexión es la tensión de alimentación eléctrica V_{DD}, otra es la referencia a tierra GND y la tercer patilla o conexión será el bus de datos conocido como 1-wire, el cual será conectado al mismo puerto del microcontrolador, ya que cada sensor posee su propia dirección gracias a contar con una memoria de 64-bit que el microcontrolador reconoce de forma digital, ahorrando puertos de entrada salida.

Figura 23 Código fuente, librerías del sensor DS18B20

```

//Librerías de los componentes //
#include <EEPROM.h> //Librería par el acceso a la memoria EEPROM de Arduino
#include <Adafruit_GFX.h> // Librería base gráfica
#include <Adafruit_ST7735.h> // Librería para la pantalla TFT LCD ST7735 compatible 128 x 160
//#include <Adafruit_Sensor.h>
//Librerías del sensor de Temperatura
#include <OneWire.h> //Lib. del control de linea digital
#include <DallasTemperature.h> //Lib. del sensor de temperatura Dallas DS18B20
//Librería para el sensor de temperatura
#include "DHT.h"
//Definir el pin a usar con one wire.
#define ONE_WIRE_BUS 4
//Librería par ael uso del lector de tarjetas SD.
#include <SD.h>
//Librería de comunicación SPI
#include <SPI.h>
//Instancia de oneWire
OneWire ow(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensor(&ow);

```

Fuente: elaborado por el autor.

Una vez que el programa se encuentra en marcha y los dispositivos de entrada/ salida (pantalla, wifi, webservice), se establece un *loop* donde el programa se encarga de estar leyendo los sensores y actuar de acuerdo con lo establecido; si la temperatura está por debajo de la temperatura de operación, el controlador enviará la señal de apagar las resistencias.

Caso contrario, estas estarán encendidas, además, enviará la información recolectada a los medios de salida, que serán en este caso la pantalla local del horno y por medio del dispositivo wifi al *web-service* que mostrará el estado actual del sistema. En la figura 24 se observa el código fuente encargado de controlar estas acciones.

Figura 24 Código fuente de lectura del sensor DS18B20

```

void loop() {
  status = WiFi.status();
  if(limpiar){
    tft.fillScreen(ST7735_BLUE); //Limpia la pantalla una vez
    limpiar = false;
  }
  if ( status != WL_CONNECTED) {
    InitWiFi();
    // while ( status != WL_CONNECTED) {
    //   Serial.print("Attempting to connect to WPA SSID: ");
    //   Serial.println(ssid);
    //   // Connect to WPA/WPA2 network
    //   status = WiFi.begin();
    //   delay(500);
    // }
    // Serial.println("Connected to AP");
  }

  if ( !tb.connected() ) {
    reconnect();
  }
  //Crea un retardo de 5000 ms mejor de delay
  if (millis() - contador1 > 5000){
    contador1 = millis();
    sensor.requestTemperatures();
    //Obtiene la temperatura por el indice de cada sensor en caso de tener varios en serie, unidad °C.
    temperatura1 = sensor.getTempCByIndex(0);
    temperatura2 = sensor.getTempCByIndex(1);
    temperatura3 = sensor.getTempCByIndex(2);
    temperatura4 = sensor.getTempCByIndex(3);
    tempPromedio = (temperatura1 + temperatura2 + temperatura3 + temperatura4)/4;
    //Obtener la humedad
    humedad = dht.readHumidity();
    //Envia parámetros a por red Wifi a App
    tb.sendTelemetryFloat("tempProm", tempPromedio);
    tb.sendTelemetryFloat("humedad", humedad);
  }
}

```

Fuente: elaborado por el autor.

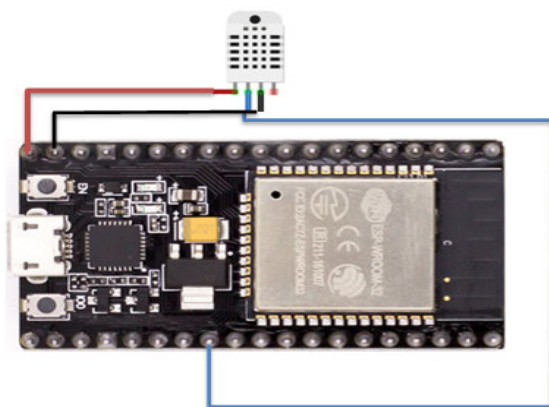
Una vez establecidos los parámetros de operación de los sensores, se procedió al montaje del prototipo en una tabla de prueba para establecer el correcto funcionamiento de este, el cual puede observarse en la figura 25.

5.2.1.2 Sensor de humedad DHT-11

La variable de humedad en el sistema tiene como objeto servir de referencia al usuario durante el proceso, por lo que solo contará con lectura por medio del sensor DHT-11 y esta no será variada por el control automático, se elige este sensor, básicamente, por su costo y facilidad de implementación, será utilizado solo para medir humedad.

Este dispositivo cuenta con tres patillas, una para la alimentación Vcc, un pin a tierra GND y un pin de datos digital que utiliza el protocolo "Single bus", el cual presenta la desventaja de que cada sensor ocupa una salida/entrada del microcontrolador, sin embargo, en el presente proyecto será utilizado solo un sensor de humedad, por lo que se requerirá de un solo puerto para este fin. Otra de las desventajas de este dispositivo es su precisión, pero como ya se ha mencionado, los valores de humedad son solo de referencia, por lo que no es necesaria mucha precisión en este apartado.

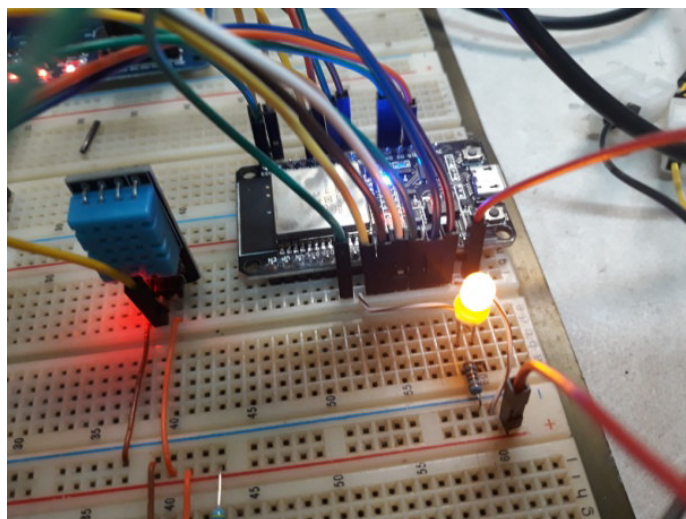
Figura 25 Detalle de conexión del sensor DHT11



Fuente: elaborado por el autor.

Al igual que los sensores de temperatura, la humedad es leída por el microcontrolador en el mismo *loop*, sin embargo, esta es indicada en los dispositivos de salida, sin estar relacionada con ninguna acción sobre el sistema; esto puede observarse en el código fuente de la figura 24. A continuación, en la figura 26, se muestra el montaje del dispositivo en el prototipo, donde se observa cómo el cableado color azul está conectado al puerto 5 de la placa.

Figura 26 Montaje del sensor de humedad DHT11



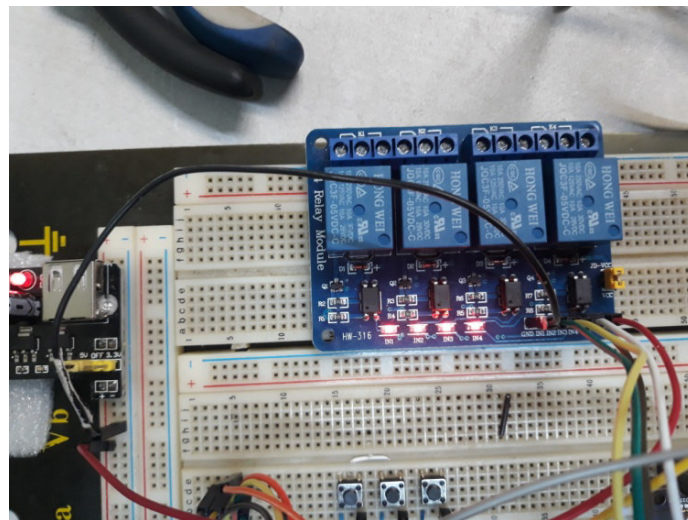
Fuente: elaborado por el autor.

5.2.1.3 Control de las resistencias

La acción por ejercer en el sistema será por medio del encendido y apagado de las resistencias encargadas de calentarlo; esta acción será efectuada por medio del microcontrolador, quien será programado por el usuario para estar a

determinada temperatura por un período establecido. Esta temperatura será comparada con la temperatura promedio del sistema, obtenida a través de los sensores DS18B20 y de acuerdo con el rango que se encuentre, el microcontrolador encenderá o apagará los relés que se encargan de acoplar el dispositivo electrónico de control, con la etapa de potencia del sistema.

Figura 27 Conexión de la etapa potencia.



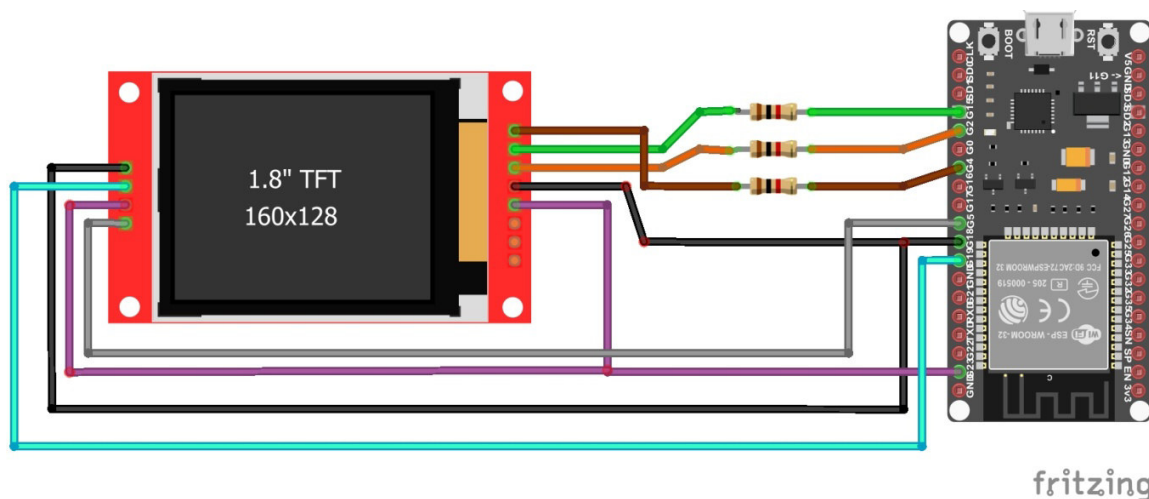
Fuente: elaborado por el autor.

En la figura anterior, se detallan las conexiones entre la placa del ESP32 y los relay utilizados modelo JQC3F, que tienen entrada digital de 5 VDC y capacidad de manejar hasta 240 VAC a 10 A, que son resistencias de unos 2400 W, las resistencias por instalarse en el sistema serán de máximo 2 KW. Estos serán activados por los puertos 5, 6, 7 y 8 de la placa del ESP32, lo que tendrá capacidad de manejar hasta cuatro resistencias de 2KW, derivando en una capacidad total de 8 KW.

5.2.1.4 Dispositivo de Salida Pantalla TFT

Como parte de la presentación del dispositivo y ayuda para el usuario final, se instalará una pantalla TFT de 1.8", con SP1 y pantalla de 128x160, que estará colocada directamente en la parte superior del horno; se elige este dispositivo como salida de información, básicamente por el bajo costo y manejo de recursos del controlador, debido a que el usuario tendrá la información que necesite en el web-service.

Figura 28 . Conexión de la pantalla TFT 1.8



Fuente: elaborado por el autor.

La conexión del dispositivo es sencilla, deberá conectarse el Vdd, la tierra GND y un bus de datos de cuatro líneas, las cuales deben contar con una resistencia de 1 K Ω por cada línea, como se muestra en la figura 28.

En el *display* se desplegarán los datos obtenidos de los sensores, la temperatura promedio del sistema, el nombre de la red wifi donde está conectado

el sistema y será un claro indicador del correcto funcionamiento de este, además, dentro de la rutina de lectura de sensores, esta despliega en la pantalla las lecturas efectuadas; lo cual puede observarse en el detalle del código en la figura 29.

Figura 29 Código de despliegue en pantalla TFT.

```

//tft.fillScreen(ST7735_BLUE);
}
//Método para crear grafico de temperatura
void despliega_datos(float temp1, float temp2, float temp3, float temp4, float humed){
  tft.setRotation(5); //Rotación Horizontal Normal
  tft.setTextColor(ST7735_GREEN,ST7735_BLUE); //Primer parámetro color texto, segundo el del
  tft.setTextSize(1);
  tft.setCursor(1, 1);
  tft.print("T1: ");
  tft.setTextSize(2);
  tft.print(String(temp1,1));
  tft.setTextSize(1);
  tft.setCursor(78, 1);
  tft.print("T2: ");
  tft.setTextSize(2);
  tft.print(String(temp2,1));
  tft.setTextSize(1);
  tft.setCursor(1, 20);
  tft.print("T3: ");
  tft.setTextSize(2);
  tft.print(String(temp3,1));
  tft.setTextSize(1);
  tft.setCursor(78, 20);
  tft.print("T4: ");
  tft.setTextSize(2);
  tft.print(String(temp4,1));]

  tft.setTextColor(ST7735_YELLOW,ST7735_BLUE);
  tft.setCursor(1, 50);
  tft.setTextSize(1);
  tft.print("Hmd: ");
  tft.setTextSize(2);
  tft.print(String(humed,0) + "%");
  tft.setTextColor(ST7735_ORANGE,ST7735_BLUE);
  tft.setCursor(2, 80);
  tft.setTextSize(3);
  tft.print(String(tempPromedio,1));

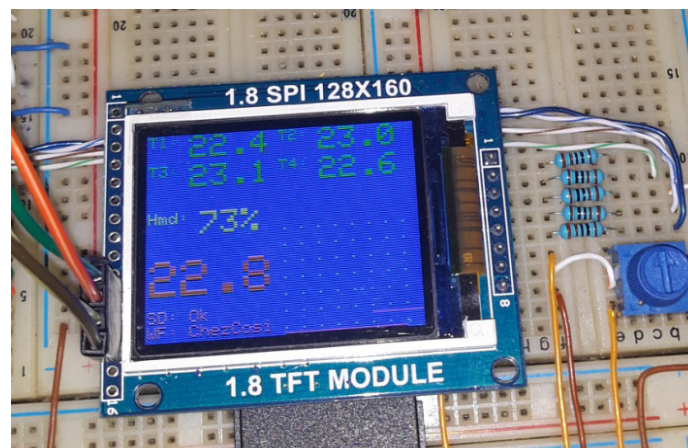
```

Fuente: elaborado por el autor.

El correcto funcionamiento del *display* fue probado en el prototipo, como se muestra en la figura 27, donde se observan las temperaturas de los sensores del 1

al 4, el dato de la temperatura promedio en rojo, la humedad relativa y el nombre de la red a la que se encuentra conectado el sistema.

Figura 30 Display TFT 1.8 en funcionamiento



Fuente: elaborado por el autor.

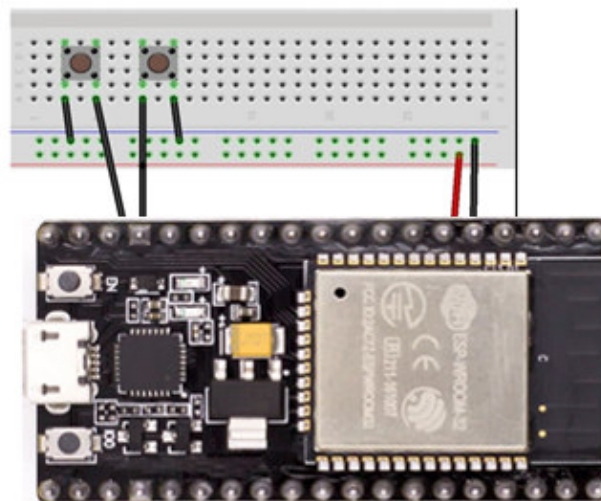
5.2.1.5 Dispositivo de entrada (botones)

Se ha dispuesto colocar botones para aumentar y disminuir la temperatura del sistema según lo requiera el usuario, esto como un comando directo por encima de la programación, así como ha sucedido con la pantalla, las principales funciones del sistema se encuentran en la versión web, sin embargo, siempre se contará con el control mínimo en el *hardware* para un acceso directo y control del horno, por lo que se dispone de dos botones para bajar o subir la temperatura.

Los mismos estarán dispuestos junto con la pantalla, básicamente lo que realizan es una intervención directa sobre el ciclo de programación, alterando la temperatura del programa previamente.

Esto lo hará enviando un "0" lógico en los puertos 3 y 4, respectivamente, por medio de un "push-button" referenciado a tierra (GND), como se observa en el diagrama que se presenta, a continuación, en la figura 28.

Figura 31 Posición de las salidas de botones



Fuente: elaborado por el autor.

En la siguiente figura, se detalla la programación de los botones para la interrupción de tareas programadas.

Figura 32 Código fuente de las funciones de los botones

```

Temperatura_TFT_Graf_SD_WF_test1
void setup(void) {
  Serial.begin(9600);
  Serial1.begin(9600);

  // lastSend = 0;
  Serial.println("Iniciando... pantalla TFT, sensores de temperatura Dallas DS18B20 y humedad DHT11");
  // Use this initializer if you're using a 1.8" TFT
  tft.initR(INITR_BLACKTAB); // initialize a ST7735S chip, black tab
  dht.begin();
  pinMode(boton_up, INPUT_PULLUP); //Boton sube, con resistencia Pullup activada.
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(boton_up), sube_limite, FALLING); // Config. Interrupción de boton_up al presionar
  pinMode(boton_dwn, INPUT_PULLUP); //Botón baja, con resistencia Pullup activada.
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(boton_dwn), baja_limite, FALLING); // Config. Interrupción de boton_dwn
  pinMode(relay1, OUTPUT);
  pinMode(relay2, OUTPUT);
  pinMode(relay3, OUTPUT);
  pinMode(relay4, OUTPUT);
  uint16_t time = millis();
  time = millis() - time;
  Serial.print("Tiempo: ");
  Serial.println(time, DEC);
  portada(); //
}

```

Fuente: elaborado por el autor.

5.2.1.6 Dispositivo de comunicación wifi.

Dentro de la implementación más significativa en el diseño del proyecto, está la conexión a wifi, la que le permite al sistema estar conectado a la web y acceder a una plataforma de *webservice*, lo que coloca al control de las IoT, pues esto permitirá al usuario un control y monitoreo remoto, así como acceso a la información del proceso en tiempo real y desde cualquier lugar del mundo donde pueda acceder a internet.

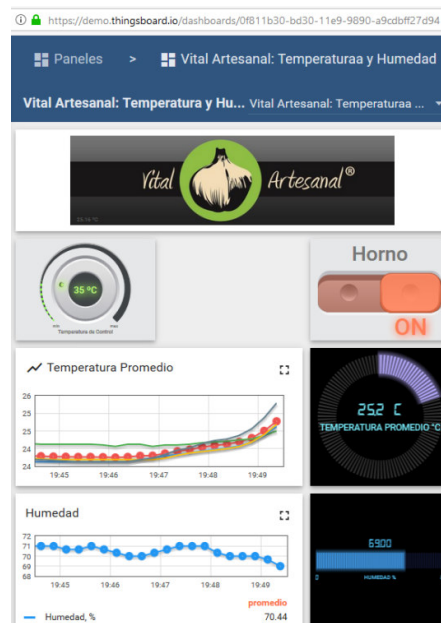
Se eligió el procesador ESP32 para lograr un mejor acceso a la red. El tener el módulo wifi integrado presenta muchas ventajas en el ensamblado del circuito y la programación.

5.2.3 Monitoreo y control remoto por medio de Web-Service.

5.2.3.1 Monitoreo

Para el monitoreo y control del sistema, se utilizará la herramienta ThingsBoard, una plataforma para IoT de código abierto. Por medio de este servicio, serán recolectados los datos a la nube, los mismos podrán ser accedidos desde cualquier dispositivo móvil o computador con acceso a internet en tiempo real, de igual manera, se controlará la temperatura y estado del sistema. En la figura 33, se muestra la presentación en línea de la plataforma para el sistema de control del horno.

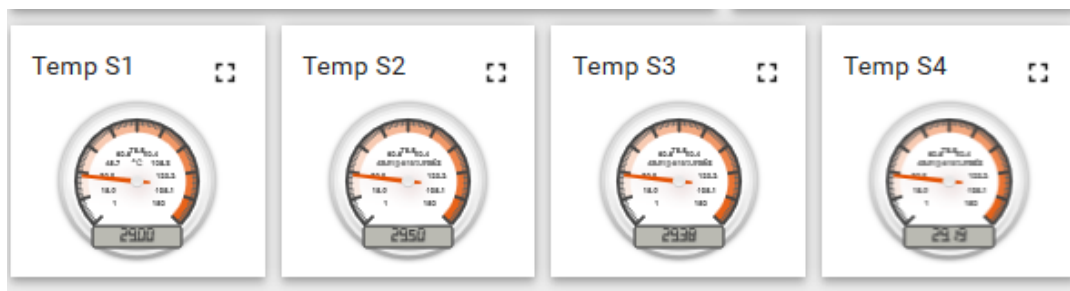
Figura 33 Presentación de la plataforma de monitoreo y control



Fuente: elaborado por el autor.

Por medio de la plataforma, podrán observarse las temperaturas de los diferentes sensores y la humedad del sistema. Como se puede observar en la figura 34.

Figura 34 Presentación del monitoreo de las diferentes temperaturas



Fuente: elaborado por el autor.

Las temperaturas ubicadas en cuatro diferentes sectores del horno brindarán una temperatura promedio que sirve como referencia para el encendido y apagado del horno y, a su vez, generan gráficos de información para el usuario que se pueden configurar en períodos de tiempo y de lectura de cada sensor, en tiempo real. La temperatura promedio se muestra en la figura 35.

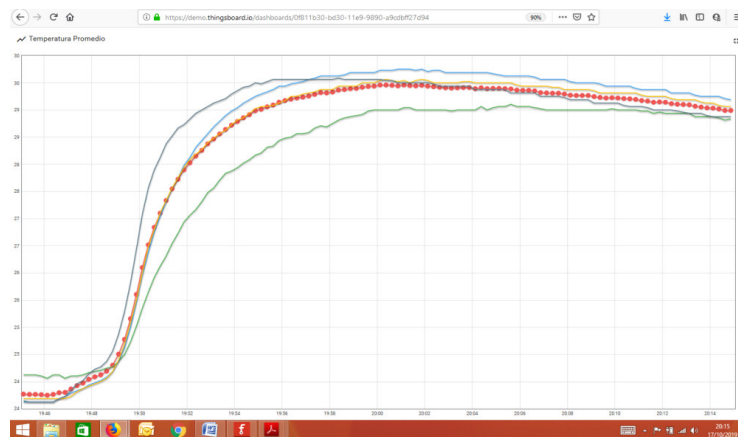
Figura 35 Presentación de temperatura promedio



Fuente: elaborado por el autor.

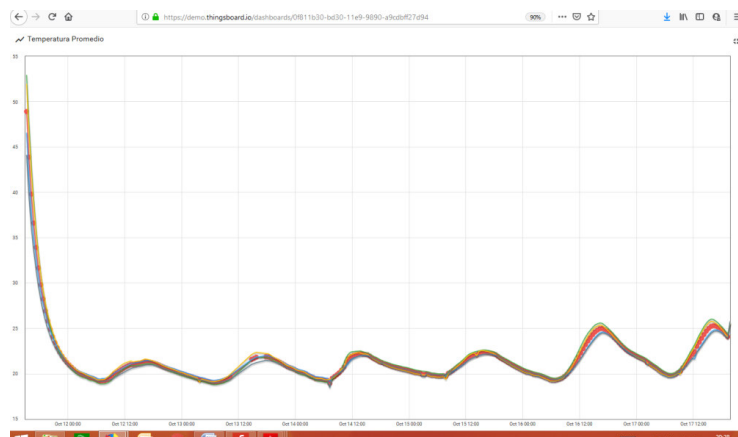
En la figura 36 y 37, se observa un ejemplo de los gráficos con el monitoreo en tiempo real del estado del sistema.

Figura 36 Gráficos de temperatura en tiempo real.



Fuente: elaborado por el autor.

Figura 37 Toma de pantalla del histórico del gráfico de temperatura



Fuente: elaborado por el autor.

De igual manera, puede obtenerse una gráfica del historial del comportamiento de la temperatura en el período de tiempo deseado. La figura 33 muestra la captura de pantalla del gráfico de temperatura en el período de una semana.

La humedad del sistema puede monitorearse, sin embargo, esta solo es con fines informativos, ya que la misma no tiene un mecanismo de variación o control, la misma es presentada al igual que la humedad como un gráfico en tiempo real o con un histórico según se desee. Esto puede observarse en la figura 38.

Figura 38 Gráfico de histórico del humedad

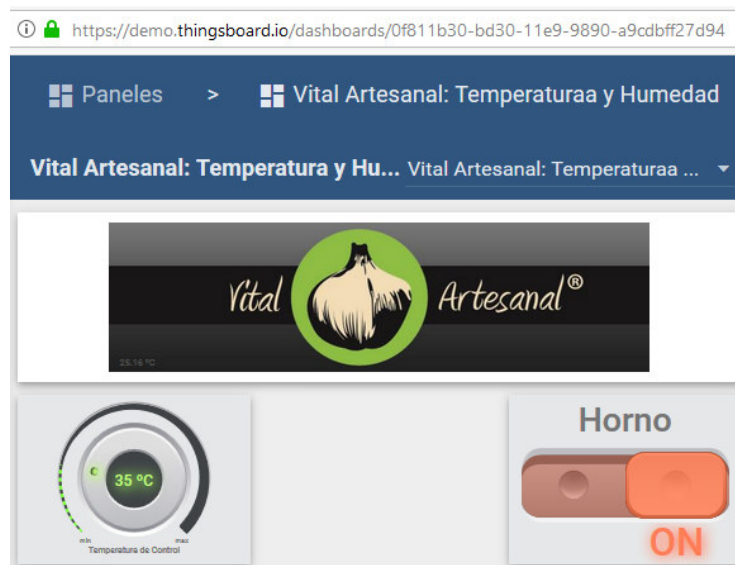


Fuente: elaborado por el autor.

5.2.3.1 Control por web.

Como se presenta en la figura 30, además de la información de monitoreo, se puede controlar la temperatura desde cualquier computador, móvil o tableta con acceso a internet, mediante el botón de temperatura, así como encender o apagar el sistema. Los controles se muestran en la figura 39.

Figura 39 Apariencia de controles en línea a través de cualquier navegador



Fuente: elaborado por el autor.

5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO

Tomando como base la figura 16, donde se expone el diagrama de bloques del sistema propuesto, se procede a la construcción del dispositivo electrónico, instalación de las resistencias de calentamiento y la puesta en marcha de este.

Dado que la estructura mecánica del horno era existente reutilizando cámaras en enfriamiento, estas se adaptaron para la instalación de dos resistencias de 2 KW con capacidad para el calentamiento del volumen requerido. En la figura 40, se observa la instalación de las resistencias que forman parte de la etapa de potencia del sistema.

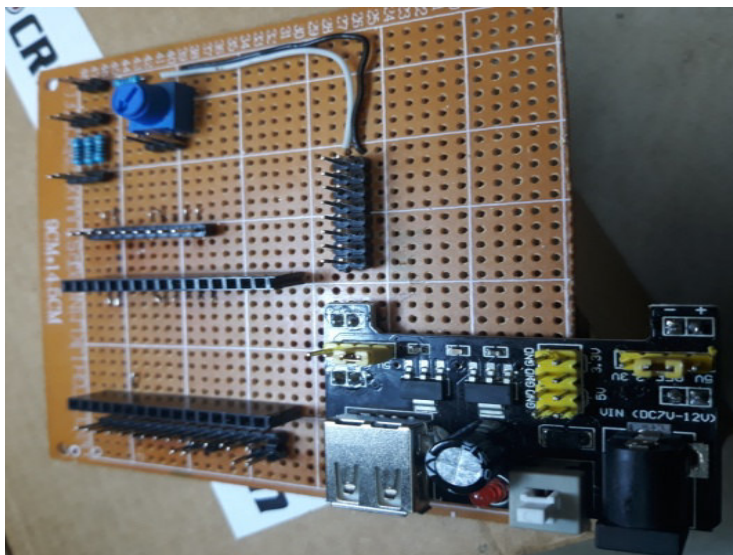
Figura 40 Resistencias de calentamiento



Fuente: elaborado por el autor.

En cuanto al sistema de control electrónico, se realiza el montaje de los dispositivos en una placa perforada donde se instaló el microcontrolador y la fuente de alimentación, así como los buses de datos de la pantalla TFT, esto se puede ver en la figura 41. La placa cuenta una resistencia variable para modificar el brillo de la pantalla.

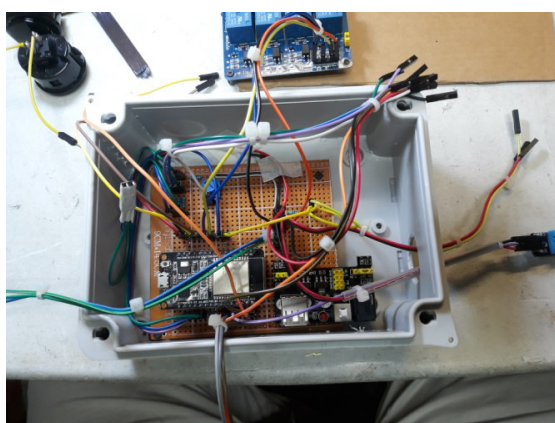
Figura 41 Placa para montaje de dispositivos



Fuente: elaborado por el autor.

Esta placa se instaló en una caja IP65 acondicionada para la instalación de los dispositivos electrónicos como se muestra en la figura 42.

Figura 42 Montaje del circuito electrónico



Parte Interna

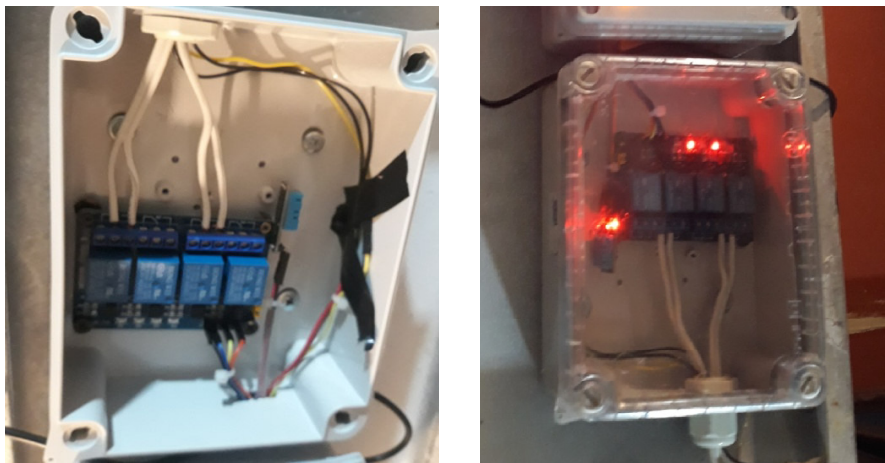


Vista Externa

Fuente: elaborado por el autor.

En relación con la etapa de potencia (relevadores de potencia), se instalan en una caja separada para evitar manipulación del circuito electrónico cuando se conecte o desconecten las resistencias de calentamiento; además, se instalan en una caja transparente para tener visibilidad del encendido o apagado de los relevadores que cuentan con una luz piloto de la alimentación. Esto puede observarse en la figura 43.

Figura 43 Instalación de los relevadores de potencia



Fuente: elaborado por el autor.

El dispositivo de control electrónico se instala con tres botones, uno de encendido/apagado y dos botones para subir y bajar la temperatura respectivamente. Además, cuenta con la pantalla TFT para un control local de temperatura. Todo el dispositivo es instalado en la esquina superior derecha del horno, con la finalidad de acortar la distancia de los relevadores a la alimentación de las resistencias de calentamiento.

En la siguiente figura, se observa la instalación completa del dispositivo de control.

Figura 44 Instalación del dispositivo de control.



Fuente: elaborado por el autor.

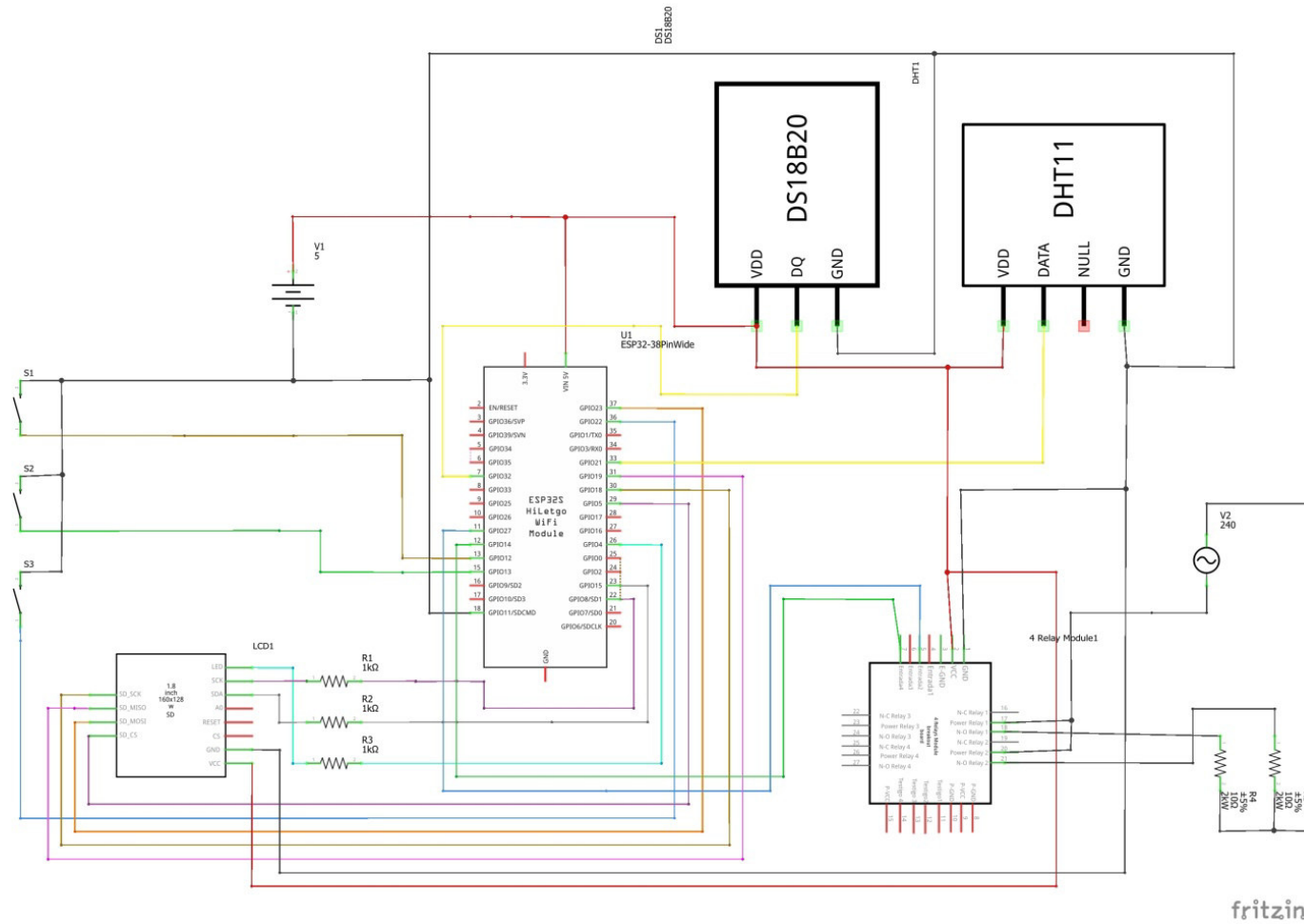
En la figura 45, se muestra el montaje general del horno, así como el control electrónico y las resistencias de calentamiento en operación.

Figura 45 Montaje general del horno.



Fuente: elaborado por el autor.

Figura 46 Diagrama del circuito completo



5.4 ANÁLISIS DE COSTOS

En la tabla 7 se detalla el costo de los materiales utilizados en la construcción del dispositivo.

Tabla 7 Análisis de costos de materiales utilizados

Artículo	Precio unitario	Cantidad	Total
Microprocesador ESP32	₡ 9781,33	1	₡ 9781,33
Pantalla TFT	₡ 6509,98	1	₡ 6509,98
Módulo Relay	₡ 7818,52	1	₡ 7818,52
Fuente de poder 30 W	₡ 8472,79	1	₡ 8472,79
Sensor de temperatura	₡ 8472,79	4	₡ 33891,16
Sensor de Humedad DTH11	₡ 3892,90	1	₡ 3892,90
Resistencia tubular 2 kW	₡ 8136,00	2	₡ 16272,00
Cable fibra de vidrio # 16	₡ 1118,70	6	₡ 13424,4
Terminal de Cable # 16-14	₡ 81,36	6	₡ 488,16
Termoencogible 12 mm	₡ 1233,96	1	₡ 1233,96
Terminal T/Silla	₡ 395,50	5	₡ 1977,5
Base LG Adhesiva	₡ 113,00	15	₡ 1695,00
Cable TGP 3X12	₡ 1130,00	6	₡ 6780
Cordón STP #16	₡ 435,00	3	₡ 1305,00
Caja Plexo 150X110	₡ 3655,00	1	₡ 3655,00
Caja plástica IP55	₡ 5255,63	1	₡ 5255,63
Paquete de 10 M Espiral	₡ 2983,20	1	₡ 2983,2
Sistema UPS	₡ 32000,00	1	₡ 32000,00
Caja de Paso 153x110	₡ 4084,95	1	₡ 4084,95
Maguito prensa Cable	₡ 1379,05	1	₡ 1379,05
Cable jumper	₡ 3750,00	1	₡ 3750,00
Placa perforada	₡ 2099,54	1	₡ 2099,54
Abanico 5 W	₡ 32000,00	1	₡ 32000,0
Heder Strip	₡ 1973,92	1	₡ 1973,92
Cable ext. Hembra - Hembra	₡ 4096,25	1	₡ 4096,25
TOTAL			₡ 206820,24

Fuente: elaborado por el autor.

Dado que el proyecto inicia desde la etapa de diseño e investigación, en la siguiente tabla se detallan los costos relacionados con la mano de obra incluyéndose construcción e implementación del sistema.

Tabla 8 Costos de implementación

Actividad	Costo por hora	Horas	Total
Diseño del dispositivo	¢ 3072,00	40	¢ 122,880,00
Diseño y elaboración de Software	¢ 3072,00	75	¢ 230.400,00
Construcción del dispositivo	¢ 2500,00	55	¢ 137.500,00
Pruebas de campo	¢ 2500,00	42	¢ 105.000,00
TOTAL			¢ 595.780,00

Fuente: elaborado por el autor.

Una vez establecidos los costos tanto de materiales como de mano de obra, se establecerá el costo total de proyecto y se asignará una ganancia estimada de un 30% como se observa en la tabla 9, de esta manera, se muestra la inversión necesaria por parte de la empresa para implementar el dispositivo en la producción de la empresa.

Tabla 9 Costo total del proyecto

Descripción	Monto
Costo de materiales	¢ 206.820,00
Costo de implementación	¢ 595.780,00
Ganancia de un 30%	¢ 231.180,00
Total	¢ 1.033.780,00

Fuente: elaborado por el autor.

De la tabla anterior, se establece que la empresa Vital Artesanal tendrá que invertir un total de ¢ 1.033.780.00 para la construcción del sistema de control automático, que le permitirá realizar controles más efectivos en la producción del ajo y, a su vez, mejorar todo el proceso.

Partiendo del hecho de que no se presentarán pérdidas de producción del 100% por problemas relacionados al sistema de control, el cálculo de costo-beneficio se efectuará tomando como base la reducción en pérdidas de materia prima y horas/hombre.

En la tabla 10, se realiza un cálculo del ahorro en el costo de la operación, utilizando el nuevo sistema automatizado.

Tabla 10 Comparación de pérdidas entre sistemas analógico y el digital

	% de pérdida por cosecha	kg de pérdida por cosecha	Valor de la pérdida de materia prima	Valor de la pérdida en producto terminado
Sistema control analógico	15	15	¢ 19.500,00	¢ 450.000,00
Sistema control digital	5	5	¢ 6.500,00	¢ 150.000,00
Diferencia			¢ 13,000.00	¢ 300.000,00

Fuente: elaborado por el autor.

Los datos de la tabla 10 representan las pérdidas de materia prima y su costo, así como el costo de dicha cantidad del producto terminado; se indica que las cantidades son en el lapso de una cosecha, de la cual no se indicará el período por confidencialidad con la empresa, sin tomar en cuenta el ahorro en

horas/hombre y considerando las pérdidas en el valor del producto terminado. Se estima que en cuatro cosechas la empresa podrá recuperar la inversión en el control automático.

5.4.1 Estudio de mercado.

Como se ha comentado en secciones anteriores, la producción y venta de ajo negro son nuevas en el país y la región, por lo que hornos para este proceso no están a la venta en el mercado local ni regional. Algunos equipos similares se utilizan para el secado de frutas, sin embargo, debido a que, para la producción de ajo negro la humedad del sistema es diferente, estos equipos no son factibles para la operación necesaria.

Se realizó una búsqueda de hornos para el propósito requerido en mercados internacionales, se encontraron dos opciones con las características similares fabricados en China. La comparación de precios se puede observar en la tabla 11 y sus características se encuentran en los Anexos 5 y 6.

Tabla 11 Precios de modelos de hornos para ajo

Potencia	Marca	Precio	Proveedor	Envío	Total
8 kW	Taizy	US\$ 5.800	Alibaba.com	N/A	N/A
3,6 kW	Harris	US\$ 6.867	Alibaba.com	US\$ 7.941,8	US\$ 14.808

Fuente: www.alibaba.com

De la tabla anterior, se concluye que los precios de equipos en el exterior sobrepasan por mucho las opciones para la empresa y el costo del proyecto actual.

5.5 CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO

El sistema de control automático fue diseñado para operar de forma continua en la producción de ajo negro. Su diseño fue elaborado para ser autónomo en el proceso completo, una vez establecidos los parámetros de operación, cuenta con dos tipos de control: uno físico ubicado directamente sobre el horno y el otro virtual, que podrá ser accedido de forma remota desde cualquier dispositivo con acceso a internet y que cuente con un navegador.

Se confecciona un manual que contempla tanto aspectos técnicos como de operación con especificaciones del mecanismo, que a continuación se detalla.

5.5.1 Manual técnico de operación.

El manual de usuario busca brindar información básica de la operación del sistema, como parámetros de inicialización, manejo del sitio web y descarga de datos, esto se podrá observar detalladamente en el Anexo 7.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

Una vez concluido el proyecto de control automático para la máquina de proceso del ajo en la empresa Vital Artesanal LTDA, durante el periodo de práctica supervisada universitaria y cumplidos los requerimientos establecidos con la empresa en mención, se concluye:

- El proceso de transformación del ajo blanco en ajo negro debe entenderse desde un estudio, mediante la observación y acompañado de una entrevista al Sr. Ronald Mejía, quien se encarga de la operación en la empresa Vital Artesanal.
- A partir de la entrevista realizada, se determina la necesidad de implementar un sistema de control automático haciendo uso de dispositivos electrónicos, dado que el sistema de control existente es un sistema analógico que presenta variedad de errores.
- Se escogió un microcontrolador Arduino Mega por facilidad de adquisición y fácil programación en el diseño inicial.
- En el prototipo propuesto, se experimentaron problemas de comunicación en la etapa de wifi del dispositivo, específicamente en el retorno de información, que requirió la búsqueda de un nuevo microcontrolador, se elige el ESP32, cuyas características son semejantes al Arduino y presentaba una tarjeta de wifi integrada que mejora las comunicaciones con el procesador de la placa.

- Con las pruebas efectuadas en ambos microcontroladores, se concluyó que el desempeño del microcontrolador ESP32 para aplicaciones de IoT es superior a las presentadas por el Arduino Mega 2650.
- Una vez construido el dispositivo diseñado, se encuentra que su utilidad está más allá de la autonomía, pues se le suma la posibilidad de integrarlo a internet y ser monitoreado en tiempo real.
- En un ciclo de trabajo real, se determina que el dispositivo cumple con los requerimientos necesarios para la operación, además, los datos enviados al servidor web de IoT son de gran valor para futuras mejoras del proceso.
- En relación con el costo beneficio de la implementación del sistema, se concluye que, para la empresa Vital Artesanal, contar con un dispositivo electrónico de control automático en el horno de proceso de ajo mejora la producción, disminuirá los costos de operación y le permitirá a la empresa acceder a más mercados al contar con mayor producto; lo que justifica la inversión necesaria para el dispositivo.

6.2 RECOMENDACIONES

A continuación, se enuncian las recomendaciones relacionadas con el desarrollo del prototipo propuesto:

- Se recomienda que, debido a que los ciclos de trabajo para lograr una cosecha son extensos y solo se logró realizar un ciclo, es necesario efectuar valoraciones en ciclos de trabajo posteriores y someter el dispositivo a un período de prueba de al menos 6 meses.
- Es recomendable realizar mejoras a nivel del *software* para el proceso inicial de reconocimiento de la red wifi de operación, esto precisamente para que pueda ser ejecutado de manera automática, sin la necesidad de transcribir el archivo por medio de la tarjeta SD.
- Se recomienda la implementación de un módulo de medición de potencia, que permita al usuario conocer el consumo de KW/hora, para mejorar el rendimiento en la producción, de igual manera, el sistema puede crecer adicionando un módulo que inyecte humedad al sistema y no solo sea una variable de monitoreo.
- Para obtener una mejor visualización, se recomienda implementar una pantalla de mayor tamaño o una pantalla táctil, que permita una mejor lectura de los parámetros y que concentre el control del sistema en ella.
- Dado que el proceso consta de períodos largos de tiempo y solo la etapa de control cuenta con respaldo eléctrico, es recomendable considerar la posibilidad de incluir respaldo para la etapa de potencia, que permita al sistema operar de manera ininterrumpida o considerar un combustible diferente, del que se pueda obtener mayor control, como el caso del gas GLP.

Anexos.

01. Hoja de datos del Microcontrolador ESP32
02. Hoja de datos del sensor de temperatura DS18B20
03. Hoja de datos del sensor de humedad DHT11
04. Entrevista
05. Oferta Horno para Ajo en China
06. Código fuente del programa del ESP32
07. Manual de Operación.

Referencias bibliográficas

Referencias obtenidas de internet

Espressif Systems (Shanghai) CO.LTD. (s/f) ESP32 Datasheet. Recuperado en https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf

Electrontools, Arduino Mega 2560 (s/f) Recuperado el 07 de julio del 2019 en <https://www.electrontools.com/Home/WP/2018/06/19/arduino-mega-2560-caracteristicas/>

Nergiza.com Radiación, conducción y convección: tres formas de transferencia de calor. (27/07/2013) Recuperado el 10 de mayo del 2019 en: <https://nergiza.com/radiacion-conduccion-y-conveccion-tres-formas-de-transferencia-de-calor/>

Datasheets.maximintegrated.com (s/f) Datasheet DS18B20. Recuperado el 30 de mayo del 2019 en <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>

Naylampmechatronics.com. Sensor de temperatura y humedad relativa DHT11 (s/f) Recuperado en <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/57-sensor-de-temperatura-y-humedad-relativa-dht11.html>

Mouser.com Datasheet DHT11 (s/f) Recuperado en: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>

Referencias obtenidas de libros

Barrantes, E. (1999) *Investigación: Un enfoque cuantitativo y cualitativo*. San José, Costa Rica: Editorial UNED

Brenes, J., Chacón, R., Guillén, A. (2013) *Cultivo del Ajo en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Editorial UNED.

Boylestad, R.L., Nashelsky, L. (2003) *Electrónica: Teoría de Circuitos*. México: Prentice Hall.

Canales, R.Barrera, R. (1980) *Análisis de sistemas dinámicos y control automático*. México. Editorial Limusa.

Coughlin, R.F., Frederick, F.D. (2001). *Amplificadores operacionales en circuitos integrados lineales*. México Prentice Hall.

Fallas, F. (2013) *Introducción a la técnica, la ciencia y la tecnología: Modelos de intervención*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológico de Costa Rica.

Gallardo, H. (2001) *Elementos de investigación académica*. Costa Rica: Editorial UNED.

Gettys, E.K., Frederick, J.S., Malcom J (1993). *Física Clásica y moderna*. México Mac Graw Hill.

Harrison, H., Bollinger, J. (1985) *Controles automáticos*. México: Editorial Trillas.

- Hayt, W. Kemmerly, J. (2007) *Análisis de circuitos en ingeniería*. México: Mac Graw-Hill.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). México D.F.: McGraw-Hill
- Keenan, C.W., Kleinfelter, D. C., Wood, J.H. (1986) *Química General Universitaria*. México. CECSA.
- Láscaris, T. (2004) *Innovación tecnológica y competitividad productiva en Costa Rica*. Cartago: Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Loría, G. (1989) *Modelado y Análisis de Sistemas Dinámicos*. San José. Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
- Mendenhall, W., Wackerly, D.D., Scheaffer, R.L. (2002) *Estadística matemática con aplicaciones*. México: Editorial Iberoamérica.
- Orozco R. (1974) *Introducción al control automático*. San José, Costa Rica. Publicaciones Universidad de Costa Rica.
- Tocci. R.J. (2003) *Sistemas digitales principios y aplicaciones*. México: Editorial Prentice Hall.
- Stewart, J. (2002). *Cálculo*. México Editorial Iberoamérica.
- Smith, A. (1988) *Análisis numérico*. México Prentice Hall.
- Spiegel, M.R. (2011) *Ecuaciones diferenciales aplicadas*. México Prentice Hall

Venegas, P. (1999) *Algunos elementos de investigación*. Costa Rica: Editorial UNED.

Montoya, G. (2018) *Desarrollo e implementación de un dispositivo electrónico para el control y lectura de parámetros de un sistema compresor neumático en la fábrica de impermeables GMQ durante el primer semestre del 2018*. Costa Rica Universidad Hispanoamericana.

Sanabria, H. (2018) *Control de aceleración para motor diésel Toyota 3L mediante una placa de desarrollo con microcontrolador*. Costa Rica. Universidad Hispanoamericana