



Diseño, construcción e implementación de un sistema de monitoreo y control para un cuarto de crecimiento en la industria alimenticia

**Nelson Fernando Guanumen Talero
Julián David Díaz Castañeda**

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2021



Diseño, construcción e implementación de un sistema de monitoreo y control para un cuarto de crecimiento en la industria alimenticia

**Nelson Fernando Guanumen Talero
Julián David Díaz Castañeda**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero de Control y Automatización Industrial

Director:

Ingeniero José German Gutiérrez Rozo

Línea de Investigación: Control y Automatización Industrial.

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Bogotá, Colombia

2021

*Mis habilidades son ordinarias solo mi
dedicación me proporciona el éxito.*

Isaac Newton

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos inicialmente a Dios, quien nos ha fortalecido en este camino manteniéndonos firmes en este gran sueño, que ha estado lleno de esfuerzo, dedicación y grandes experiencias.

A nuestras familias, por el apoyo incondicional, confianza absoluta y aportes positivos a nuestro crecimiento profesional. A los señores Julio Roberto Díaz y Ana Roció Galeano por brindar ayuda en los momentos difíciles de la etapa universitaria. De igual manera agradecer a todos los docentes que transmitieron sus conocimientos con nosotros.

En especial al Ingeniero José German Gutiérrez Rozo, nuestro director de tesis, por cada consejo, aporte y apoyo para la realización de este proyecto, es una excelente persona y gran líder.

Finalmente, un agradecimiento muy grande a la empresa Hobart Andina SAS por permitirnos la disposición de manuales, diseño, e instalación necesaria para el desarrollo y ejecución del proyecto además de la implementación de la planta.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	15
INTRODUCCIÓN.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
OBJETIVOS.....	5
OBJETIVO GENERAL.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
JUSTIFICACIÓN.....	6
METODOLOGÍA.....	7
Diagrama de flujo general.....	8
ALCANCE.....	9
1. MARCO TEÓRICO.....	10
1.1 TEMPERATURA.....	10
1.1.1 Resistencias.....	10
1.1.2 Sensores de temperatura.....	11
1.1.3 Transductor de temperatura.....	12
1.2 HUMEDAD.....	13
1.2.1 Sensor de humedad.....	14
1.2.2 Válvulas Solenoides.....	15
1.3 Programmable Logic Controller - PLC.....	16
1.4 Human Machine Interface- HMI.....	17
1.5 Motor ventilador.....	18
1.5 TIPOS DE CUARTOS DE CRECIMIENTO.....	19
1.5.1 Cuarto de crecimiento MB300 Baxter.....	19
1.5.2 Cuarto de crecimiento DUKE TSC-6.....	20
1.5.3 Cuarto de crecimiento KBW 240 Binder.....	21
1.5.4 Cuarto de crecimiento Lievox Unox.....	21
1.6 SISTEMA DE CONTROL.....	22
1.6.1 Sistema de control en lazo cerrado.....	23

1.6.2 Sistema de control en lazo abierto	23
1.6.3 Control proporcional, integral y derivativo PID	24
1.6.4 Regla de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID Lazo Abierto	25
1.6.5 Control Proporcional (P)	26
1.6.6 Control Proporcional derivativo (PD)	27
1.6.7 Control Proporcional Integral (PI)	27
1.6.8 MATLAB	27
1.6.9 TIA PORTAL	27
DESARROLLO DEL PROYECTO	28
2. DISEÑO	28
2.1 FASE I CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO	28
2.1.1 Análisis de los requerimientos del sistema a utilizar	28
2.2 FASE II DISEÑO DEL CUARTO DE CRECIMIENTO.....	40
2.2.1 Recolección de información	40
2.2.2 Descripción estructural del cuarto de crecimiento	40
2.2.3 Desarrollo del diseño del prototipo del cuarto de crecimiento	40
2.2.4 Desarrollo mecánico.....	41
2.2.5 Desarrollo Eléctrico y electrónico	43
2.3 FASE III – CÁLCULOS MATEMÁTICOS PARA DEFINIR LOS COMPONENTES.....	44
2.3.1 Cálculo Resistencia Tubular.....	44
2.3.2 Cálculo de Velocidad del motor ventilador eléctrico velocidad síncrona (Ns)	45
2.3.3 Cálculo de Presión para la válvula solenoide	45
3 CONSTRUCCIÓN	46
3.1 FASE IV CONSTRUIR EL PROTOTIPO DE LA CÁMARA DE CRECIMIENTO	46
3.1.1 Elaboración del prototipo – parte estructural	46
3.1.2 Elaboración del prototipo – parte eléctrica	51
4 IMPLEMENTACIÓN	54

4.1 FASE V DESARROLLO DE IMPLEMENTACIÓN DEL CUARTO DE CRECIMIENTO	54
4.1.1 Funcionamiento general del cuarto de crecimiento	54
4.1.2 Modelado matemático del control en lazo cerrado PID	55
4.1.3 Comunicación desde el software TIA PORTAL VERSION 16 al PLC	67
4.1.4 Implementación por medio del software TIA portal versión 16 para programar PID.....	68
4.1.5 Simulación por medio del software TIA PORTAEL VERSION 16 para el sistema de control HMI.....	72
4.1.6 Implementación del sistema de Control On-Off.....	74
4.1.7 Proceso de monitoreo del cuarto de crecimiento por medio de una HMI.	79
4.2 FASE VI MANUAL DE OPERACIONES E INSTALACIÓN DE LA CUARTO DE CRECIMIENTO.....	86
4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PUESTA EN MARCHA	86
4.2.2 Conexiones hidráulicas	87
4.2.3 Conexiones eléctricas	88
4.2.4 Modalidad de Limpieza.....	89
4.2.5 Mantenimiento.....	89
4.2.6 Operación.....	91
4.2.7 Solución de problemas	94
5 RESULTADOS	95
6 CONCLUSIONES.....	96
7 BIBLIOGRAFIA	98
8. ANEXOS.....	100

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resistencias tubulares.....	11
Figura 2. Resistencia para inmersión.....	11
Figura 3. Sensor termopar cabeza marina.....	12
Figura 4. Sensor de temperatura	12
Figura 5 Transductor de temperatura	13
Figura 6 Transductor PCE-SCI-U	13
Figura 7 Sensor de humedad 01-1P1875-00002.....	14
Figura 8 Sensor de humedad	15
Figura 9 Válvula solenoide, Serie 1393	15
Figura 10 Válvula solenoide Serie 210	16
Figura 11 Programmable Logic Controller referencia CPU 1512C-1 PN	16
Figura 12 Programmable Logic Controller SmartGuard 600.....	17
Figura 13 HMI, TP700.....	17
Figura 14 HMI	18
Figura 15 Motor ventilador 338-60054-00.....	18
Figura 16 Motor ventilador CD001181HSB.....	19
Figura 17 MB300 Baxter	20
Figura 18 DUKE TSC-6	20
Figura 19 KBW 240 Binder	21
Figura 20 Cámara de crecimiento controlada	21
Figura 21 Sistema de control en lazo cerrado.....	23
Figura 22 Sistema de control en lazo abierto.....	24
Figura 23 Muestra el PID	24
Figura 24 Respuesta a un escalón unitario de una planta.	26
Figura 25 Desarrollo mecánico parte trasera solidworks	41
Figura 26 Desarrollo mecánico frontal solidworks.....	42
Figura 27 Desarrollo eléctrico y electrónico AutoCAD	43
Figura 28 Corte y ensamble de las piezas.....	48
Figura 29 Recubrimiento fibra de vidrio	48
Figura 30 Recubrimiento en acero.....	49
Figura 31 Montaje de los componentes de control	49
Figura 32 Patas niveladoras	49
Figura 33 Puerta en acero	50
Figura 34 Montaje de resistencia tubular.	51
Figura 35 Montaje motor ventilador	52

Figura 36 Montaje de válvula solenoide.....	52
Figura 37 Sensor de humedad.....	52
Figura 38 Montaje regleta led	53
Figura 39 Componente vitales	53
Figura 40 Salida sintonizada por un PWM.....	58
Figura 41 Lazo abierto del proceso del cuarto de crecimiento.....	58
Figura 42 Interfaz MATLAB	62
Figura 43 Interfaz herramienta System Identification.....	62
Figura 44 Ingreso de datos en MATLAB.....	63
Figura 45 Tabla de comportamiento en MATLAB.....	64
Figura 46 Recta tangente hallazgo de datos necesarios	65
Figura 47 Simulink interfaz ingreso de datos	66
Figura 48 Función de transferencia	67
Figura 49 Interfaz inicial TIA PORTAL.....	68
Figura 50 Configuración entrada y salida PWM.....	69
Figura 51 Configuración de la unidad de temperatura.....	69
Figura 52 Configuración de límite superior	70
Figura 53 Configuración del valor real superior	70
Figura 54 Parámetros PID	71
Figura 55 Limitaciones PWM	71
Figura 56 Grafica de estabilidad del PID	72
Figura 57 Visualización de comunicación HMI y PLC.....	73
Figura 58 Enlace correcto entre la HMI y PLC.....	73
Figura 59 Modelo real de la HMI.....	74
Figura 60 Comunicación Arduino Uno	75
Figura 61 Conexión sensor humedad	75
Figura 62 Plano eléctrico Arduino.....	76
Figura 63 Resultado final de medición de humedad	77
Figura 64 Salida del sensor de humedad	78
Figura 65 Dato interno del cuarto de crecimiento, respecto a la humedad	78
Figura 66 Panel principal de control.....	79
Figura 67 Alarma de sobre carga de la resistencia.....	80
Figura 68 Alarma de paro de emergencia de la resistencia.....	80
Figura 69 Alarma mantenimiento	81
Figura 70 Alarma de correcto funcionamiento resistencia	81
Figura 71 Alarma de paro de emergencia de electroválvula.....	82
Figura 72 Alarma de mantenimiento electroválvula	82
Figura 73 Alarma de correcto funcionamiento electroválvula	83
Figura 74 Alarma de paro de emergencia de motor ventilador	83

Figura 75 Alarma de mantenimiento de motor ventilador	84
Figura 76 Alarma de correcto funcionamiento motor ventilador.....	84
Figura 77 Flujograma Control PLC	85
Figura 78 Conexiones hidráulicas.....	88
Figura 79 Descripción estructural	90
Figura 80 Descripción eléctrica.....	90
Figura 81 Pantalla inicial del prototipo	91
Figura 82 Visual de los componentes del prototipo	92
Figura 83 Modo color gris	92
Figura 84 Modo color verde	93
Figura 85 Modo color amarillo.....	93
Figura 86 Modo color rojo	94
Figura 87 Plano de entradas y salidas digitales.....	100
Figura 88 Arquitectura de control.....	101
Figura 89 Plano conexión Arduino a PLC	102
Figura 90 Plano unifilar	103
Figura 91 Plano entrada análoga y transductor	104
Figura 92 Plano tapa frontal en acero inoxidable.....	105
Figura 93 Plano protector interior en acero inoxidable, laterales	106
Figura 94 Plano de protector interior en acero inoxidable, laterales	107
Figura 95 Plano de protector interior en acero inoxidable, tapa superior.....	108
Figura 96 Plano protector exterior en acero.....	109
Figura 97 Prototipo final del cuarto de crecimiento	110

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tipos de cuartos de crecimientos	22
Tabla 2 Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método).....	26
Tabla 3 Cuadro comparativo de elementos	28
Tabla 4 Datos técnicos resistencia tubular tipo U	31
Tabla 5 Datos técnicos sensor de temperatura termopar cabeza marina	32
Tabla 6 Datos técnicos transductor de señal 4 a 20 mA	32
Tabla 7 Datos técnicos del sensor de humedad relativa.....	33
Tabla 8 Datos técnicos válvula solenoide	33
Tabla 9 Datos técnicos PLC.....	34
Tabla 10 Datos técnicos HMI	34
Tabla 11 Datos técnicos del motor ventilador	35
Tabla 12 Datos técnicos arduino uno.....	36
Tabla 13 Datos técnicos del contactor	36
Tabla 14 Datos técnicos de la fuente 110 V	37
Tabla 15 Datos técnicos de breakers E.T.N	37
Tabla 16 Datos técnicos del Relay térmico.....	38
Tabla 17 Datos técnicos de la regleta led	38
Tabla 18 Datos técnicos interruptor de seguridad.....	39
Tabla 19 Herramientas y equipos involucrados en el proceso constructivo.....	46
Tabla 20 Toma de datos de temperatura VS tiempo	59
Tabla 21 Conexiones eléctricas	88
Tabla 22 Solución de problemas.....	94

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 Cálculo resistencia tubular	44
Ecuación 2 Velocidad Síncrona	45
Ecuación 3 Presión de válvula solenoide.....	45
Ecuación 4 Modelado matemático del control en lazo cerrado PID	55
Ecuación 5 Transferencia del controlador PID.....	55
Ecuación 6 Función de transferencia del actuador	56
Ecuación 7 Función de transferencia del cuarto de crecimiento	56
Ecuación 8 Función de transferencia de los elementos de retroalimentación	56
Ecuación 9 Función global de transferencia de todo el lazo de control de temperatura	57
Ecuación 10 Funcion de transferencia.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Término
<i>PID</i>	Controlador proporcional, integral y derivativo
<i>E/S</i>	Entrada/ Salida
<i>OP</i>	Salida de proceso
<i>SP</i>	Set Point ó Valor deseado
<i>CPU</i>	Unidad central de proceso
<i>PLC</i>	Controlador Lógico Programable
<i>HMI</i>	Interfaz Hombre Máquina
<i>ISA-S-5.1</i>	Simbología de instrumentación y control
<i>SI</i>	Unidades del Sistema Internacional
<i>PROFINET</i>	Process field network
<i>IEC</i>	Comisión Electrotécnica Internacional

RESUMEN

El presente trabajo (TIG), *Diseño, construcción e implementación de un sistema de monitoreo y control para un cuarto de crecimiento*, está pensado para mejorar el proceso en la industria alimentaria específicamente en el sector panificador, haciendo uso de la tecnología actual.

El desarrollo contempla 3 condiciones fundamentales: el diseño, la construcción y la implementación; dentro de cada condición se encuentra una ejecución de fases que va a permitir el feliz término de este proyecto.

Entendiendo la problemática que se plantea en este documento, se busca darle solución por medio de la implementación del lazo en control cerrado PID, el control on-off, y la programación de la HMI. Todo esto para poder contribuir al desarrollo tecnológico enfocado a las Mipymes que actualmente carecen de este tipo de equipos para la mejora de su producción, dándole una oportunidad a este gran sector económico para poder impulsar el mercado en el sector panificador.

Este proyecto se desarrollará con la ayuda de software importante en la industria de automatización y control, uno de ellos es TIA PORTAL VERSION 16, MATLAB, Solidworkd y AutoCAD que son fundamentales para el desarrollo automático de la planta.

Palabras clave: (PID – CONTROL ON-OFF – HMI – PLC – PLANTA).

ABSTRACT

The present work (TIG), *Design, construction and implementation of a monitoring and control system for a growth room*. It is designed to improve the process in the food industry specifically in the bakery sector, making use of current technology.

The development includes 3 fundamental conditions: design, construction, and implementation; Within each condition there is an execution of phases that will allow the successful completion of this project.

Understanding the problems raised in this document, we seek to provide a solution through the implementation of the PID closed control loop, the on-off control, the programming and the programming of the HMI. All this in order to contribute to the technological development focused on MSMEs that currently lack this type of equipment to improve their production, giving this great economic sector an opportunity to boost the market in the bakery sector.

This project will be developed with the help of important software in the automation and control industry, one of them is TIA PORTAL VERSION 16, MATLAB, Solidworkd and AutoCAD that are fundamental for the automatic development of the plant.

Keywords: (PID – CONTROL ON-OFF – HM I – PLC – PLANT)

INTRODUCCIÓN

En la industria alimentaria se ha evidenciado grandes avances tecnológicos con respecto a la implementación y automatización de equipos de los cuartos de crecimiento. Aun con todo este progreso no se ha podido abarcar en las pequeñas y medianas empresas la implementación de un cuarto de crecimiento adecuado, lo que dio pie a este desarrollo tecnológico planteado en este documento.

Según la Universidad de Sevilla en su estudio del desarrollo del diseño del controlador PID, fue mencionado en el documento “que la mitad de los controladores industriales que se emplean hoy en día utilizan esquemas de control PID o PID modificado”¹ se entiende por esto, que el desarrollo del control en lazo cerrado PID es indispensable para el buen funcionamiento del cuarto de crecimiento, dado que el beneficio que aporta este tipo de controles en el mercado es la estabilidad en la planta.

En este caso para el cuarto de crecimiento se hace referencia a la estabilidad de la temperatura como lo explica Ogata en su libro de ingeniería de control,

La temperatura digital se introduce en un controlador mediante una interfaz. Esta temperatura digital se compara con la temperatura de entrada programada, y si hay una discrepancia (error) el controlador envía una señal al calefactor, a través de una interfaz, amplificador y relé, para hacer que la temperatura del horno adquiriera el valor deseado².

A partir de esta referencia fue basado el diseño de control en lazo cerrado PID del prototipo planteado en este documento, entendiendo la importancia que tiene la temperatura como un factor vital para la implementación de la planta.

Así mismo, la humedad cumple ciertos requisitos que deben ser tomados en cuenta para el correcto funcionamiento del cuarto de crecimiento. Según ITW food equipment group, define que “la humedad al 25% o 95% son comunes, pero variarán ligeramente dependiendo del producto que se va a fermentar”³. Por esta razón la humedad que se debe utilizar en el prototipo está en esos rangos mencionados. Esta debe ser establecida por medio del control on-off que se implementara en el cuarto de crecimiento.

Conjuntamente la planta necesita un controlador lógico programable PLC, que tiene como función dar la orden de automatizar el funcionamiento al cuarto de crecimiento. Esto es posible porque según la asociación de fabricantes eléctricos de los estados unidos (NEMA) definen:

¹ Álamo Cantanero, Teodoro, Diseño del Controlador PID, España, Sf Pág.1

² Ogata Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna, Madrid, 2010 Pág. 4.

³ Itw food equipment group, Cámara de fermentación y Cámara fermentación con Retardador, Tlalnepantla, 2007 Pág. 4

Como PLC – Programmable Logic Controller, es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos⁴

Esto se visualiza por medio de un HMI que hace fácil monitoreo del cuarto de crecimiento.

⁴ NEMA, Programmable Controllers Part 1: General Information, Rosslyn, Virginia, 2015 P, 6

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, la industria alimentaria se ve obligada a modificar y mejorar sus procesos productivos por falta de tecnología, como los son los cuartos de crecimiento, es por esto que el proyecto está enfocado a las pequeñas y medianas empresas Mipymes, que no poseen la información necesaria de esta tecnología, impidiendo el desarrollo productivo en este sector. Lo cual conlleva al deterioro de la materia prima y genera altos costos en la producción.

Otra problemática que se presenta a la hora de la manufactura de la materia prima (baguette) es el modo de la elaboración manual, debido a que no cuentan con la tecnología necesaria para generar el crecimiento adecuado de esta, y su operatividad manual tampoco cumple en muchas ocasiones con los registros sanitarios aprobados por el INVIMA.

Actualmente las Pymes no cuentan con la facilidad de supervisar y verificar las fallas de los componentes electromecánicos, por medio de una pantalla digital en los cuartos de crecimiento, generando tiempos muertos en la producción, por tal motivo el diagnóstico inicial por parte de un operario o personal de mantenimiento puede tardar varias horas, generando retrasos.

Adicional a esto, según la experiencia propia se tiene conocimiento que en el mercado no existen cuartos de crecimiento destinados a MyPymes debido a sus costos, tamaños y riesgos eléctricos, ya que este tipo de tecnologías es implementado para grandes empresas que manejan una producción importante.

Es por esto, que actualmente la academia junto con la industria alimentaria busca unir conocimientos que solucionen la problemática planteada anteriormente, con la implementación de tecnologías que sean de fácil acceso monetario, de manejo rápido en su operación y de mantenimiento práctico, todo esto pensado en las Mipymes en las industrias dedicadas al sector alimentario.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y poner en funcionamiento un sistema de monitoreo y control para un cuarto de crecimiento en la industria de alimentos, implementando un control PID para la temperatura y un control ON-OFF para la humedad.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar y construir un prototipo de un cuarto de crecimiento.
- Caracterizar los componentes de la planta.
- Diseñar los lazos de control PID para la temperatura y control ON-OFF para la humedad.
- Modelar matemáticamente y simular tanto en el PLC como en el HMI cada uno de los procesos y lazos de control de la planta.
- Implementar el sistema de control de temperatura y humedad.
- Monitorear el proceso de crecimiento de la materia prima por medio de una HMI.
- Elaborar el manual de instalación, operación y mantenimiento del cuarto de crecimiento

JUSTIFICACIÓN

Desde la ingeniería en control y automatización industrial, se pretende resolver una gran problemática en el sector alimentario, especialmente en la industria panificadora brindando la propuesta del diseño, construcción, e implementación de un cuarto de crecimiento que mejore la eficiencia en cuanto a la producción, la competitividad con respecto al mercado y la calidad del producto final.

Mediante el diseño, construcción, e implementación de un cuarto de crecimiento por medio de un lazo en control cerrado, su programación con el PLC y además su comunicación con la HMI, permiten que el equipo funcione de manera automatizada y es de fácil manejo operativo para el cliente.

Se espera que, con la implementación del cuarto de crecimiento, mejore tiempos y costos a la hora de ejecutar su proceso de producción, entendiendo que en el mercado actualmente carece de esta tecnología, debido a sus altos costos de mantenimiento correctivo y preventivo; también es necesario implementar este proyecto gracias a su versatilidad por su tamaño, función y materialidad.

Este proyecto se visualiza en la generación de empleo y fortalece la industria porque está pensado a impulsar al sector Mipymes con tecnología y productividad.

METODOLOGÍA

Dentro de las condiciones fundamentales para la metodología, se podrá observar tres (3) grandes capítulos del desarrollo del proyecto que son diseño, construcción e implementación. En donde se desarrollaran seis (6) fases, que se encontraran resueltas en los capítulos mencionados anteriormente. Cada fase está planteada de la siguiente manera:

La primera fase, consiste en la caracterización del proceso y la identificación de la ficha técnica de los componentes de instrumentación, que van a ser utilizados en el cuarto de crecimiento.

La segunda fase, consiste en diseñar el cuarto de crecimiento, realizando los diseños mecánicos, eléctricos y electrónicos. Apoyando esta fase con la recolección de datos, para lograr una descripción acertada de todas las piezas a utilizar en el cuarto de crecimiento.

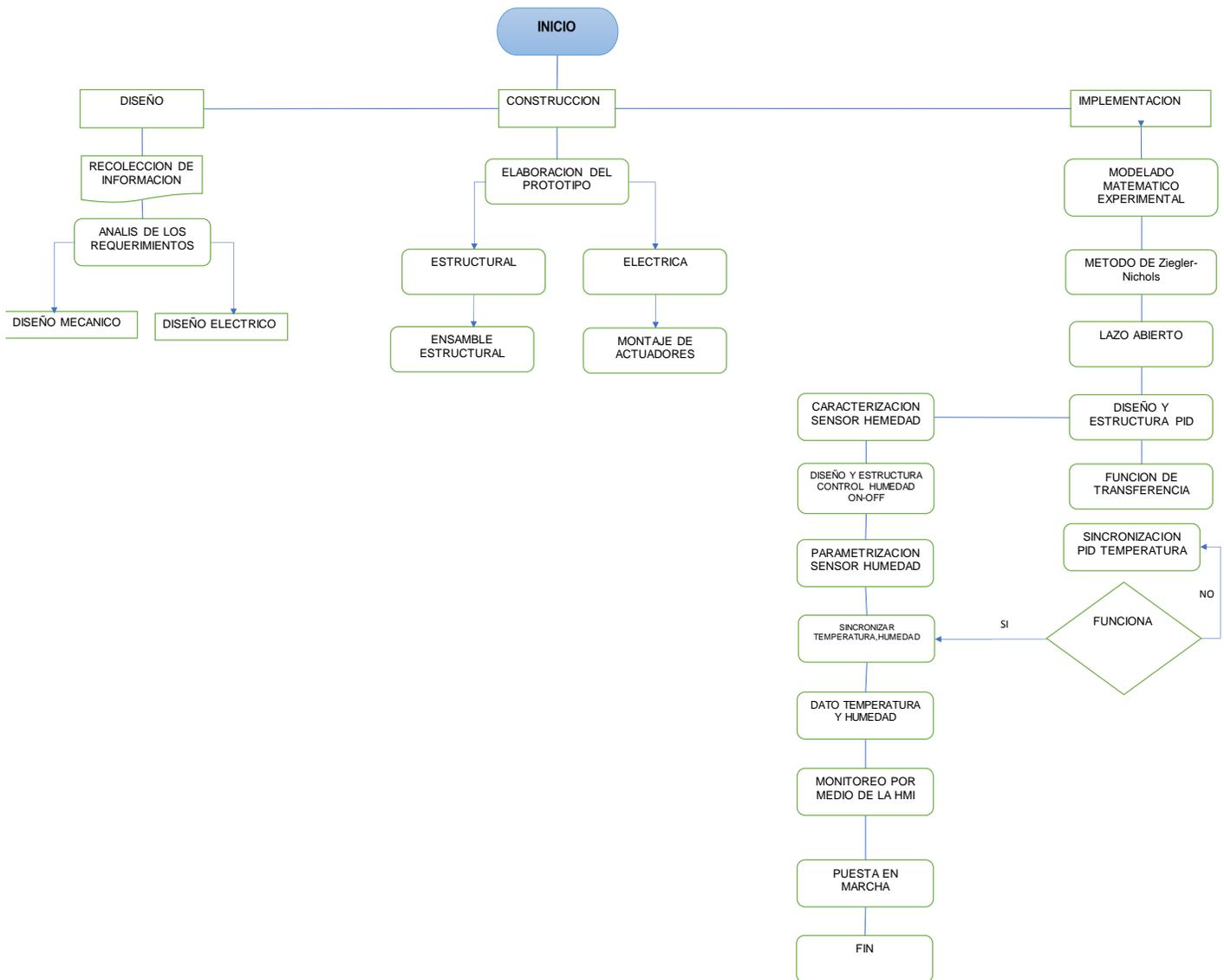
La tercera fase, consiste en realizar todos los cálculos matemáticos necesarios, para definir con exactitud las características de los componentes, que se van a involucrar en la construcción e implementación del cuarto de crecimiento.

La cuarta fase, consiste en construir el prototipo del cuarto de crecimiento, que se divide en dos partes: la mecánica y la eléctrica, en la primera se hace referencia a la materialidad, dimensiones y forma y en la segunda parte, consiste en instalar los componentes eléctricos para luego implementar el cuarto de crecimiento.

La quinta fase, es implementar y poner en marcha el cuarto de crecimiento configurando la visualización del HMI la programación del PID, el montaje del control on-off.

Finalmente, La sexta fase consiste en desarrollar un manual de operación, instalación y mantenimiento del cuarto de crecimiento.

Diagrama de flujo general



Fuente: propia

ALCANCE

Este proyecto tiene como finalidad diseñar, construir e implementar un cuarto de crecimiento por medio de un sistema de control en lazo cerrado (PID), para la estabilidad de la temperatura. Además de esto la puesta en marcha de un lazo de control on-off para lograr la generación de la humedad adecuada para el proceso de crecimiento de la materia prima (baguette). Todo esto por medio de la programación en el software TIA PORTAL VERSION 16 y el MATLAB.

Por otro lado, este prototipo contempla un análisis simplificado del comportamiento de la temperatura y la humedad dentro del cuarto de crecimiento por medio de la visualización de la HMI, para obtener datos de tiempo real y monitoreo del proceso. Además de contar con su respectiva seguridad industrial.

Aportando finalmente al cliente un manual de operación, instalación y mantenimiento del cuarto de crecimiento que le permita entender al usuario las cosas básicas como el sistema eléctrico, sistema hidráulico y problemas que se puedan presentar a futuro.

1. MARCO TEÓRICO

En la industria alimentaria los cuartos de crecimiento ofrecen un apoyo en la optimización del producto, gracias a las opciones de programación como temperatura y humedad, que son posibles por medio del control PID y un control on-off. Actualmente se busca reducir al mínimo la manipulación manual del cuarto de crecimiento para que se convierta en una operación mecánica y automática. Se quiere ambientar en este capítulo los conceptos por los cuales se desarrollará el avance del proyecto.

1.1 TEMPERATURA

Según Cengel en su libro de termodinámica se define la temperatura como:

Aun cuando estamos familiarizados con la temperatura como una medida del “calor” y el “frío”, no es fácil ofrecer una definición exacta de este concepto. Con base en nuestras sensaciones fisiológicas, se expresa el nivel de temperatura de modo cualitativo con palabras como frío helador, frío, tibio, caliente y al rojo vivo. Para ampliar el concepto según la real academia española, RAE la temperatura es una magnitud física que expresa el grado o nivel de calor de los cuerpos o del ambiente⁵.

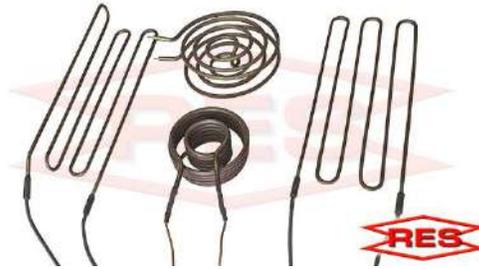
Entendiendo el concepto en su totalidad, los cuartos de crecimiento dependen de la temperatura para correcto funcionamiento a partir de una resistencia tubular, que es la encargada de generar la energía. Además, es pertinente utilizar unos componentes adicionales como por ejemplo un termopar con cabeza marina que es el encargado de medir la temperatura generalmente en un rango de temperatura 0 a 400 °C.

1.1.1 Resistencias

Estos componentes hacen parte de la industria eléctrica, y fueron necesarios para la construcción del prototipo, la empresa resistencias Electro Salgado SAS que son especialistas en fabricación de resistencias tubulares, fue de apoyo para el suministro de la resistencia, igualmente se mencionaran un par de resistencias como parte de la investigación, así como se evidencia en la figura 1.

⁵ CENGEL, YUNES.A, Termodinámica, 7 Ed. Nevada 2012, P, 17

Figura 1. Resistencias tubulares



Fuente: Resistencias Electro Salgado SAS, resistencia tubular en acero incoloy (imagen), Bgt, (consultado 01 de Mayo de 2021) disponible en: <https://cutt.ly/BbAb14E>

Estas resistencias tubulares son eficientes, versátiles y económicas dependiendo de su vatiaje y dependiendo del proyecto donde se vayan a implementar. También existen otros tipos de resistencias que aun cuando hacen la misma función que la anterior difiere en sus características y usos, por ejemplo, la resistencia para inmersión que se muestra en la figura 2.

Figura 2. Resistencia para inmersión



Fuente: Resistencias Electro Salgado SAS, resistencia tubular en acero incoloy (imagen), Bgt, (consultado: 01 de Mayo-2021) disponible en: <https://cutt.ly/BbAb14E>

1.1.2 Sensores de temperatura

Así mismo, otros componentes que ayudan al funcionamiento óptimo de la temperatura en los cuartos de crecimiento son los sensores de temperatura, por ejemplo, el sensor termopar con cabeza marina de Ceiv que se muestra a continuación en la figura 3.

Figura 3. Sensor termopar cabeza marina



Fuente: CEIV, termopar cabeza marina (imagen), México, (Consultado: 29 de abril 2021) disponible en: <https://cutt.ly/JbAnugl>

También se encuentra en el mercado otros tipos de sensores como: la empresa Rechner Sensors tiene una referencia KA1654 que se visualiza en la siguiente figura 4.

Figura 4. Sensor de temperatura



Fuente: Rechner Sensors, sensores capacitivos (imagen) España (Consultado: 29 de abril 2021) disponible en: <https://cutt.ly/BbAnvCF>

1.1.3 Transductor de temperatura

También se encuentra el transductor de temperatura como un dispositivo capacitado para transformar cierto tipo de energía de entrada por otro distinto en la salida. En el mercado se encuentra el transductor de señal 4 A 20 mA que tiene como fin implementar una conexión a 2 hilos que se configura a partir de una aplicación llamada "MyPixsys".

El tipo de comunicación de la aplicación es por NFC para equipos Android, en este aplicativo se configura parámetros como los son: tipo de sensor, tipo de conexión,

tipo de salida, rango de medición del sensor de temperatura mínimo- máximo, por último, se carga la configuración establecida. En la figura 5 se muestra dicho sensor

Figura 5 Transductor de temperatura



Fuente: Pixsys Electronics, Convertidor RTD y Termopares para cabezal DIN, (imagen) Italia (Consultado: 04 de Mayo 2021) disponible en: <https://bit.ly/2ULU9ou>

También se encuentra en el mercado otro tipo de transductores que cuentan con características similares pero difieren en el precio y en la capacidad de lectura, como el transductor con referencia PCE-SCI-U de la empresa PCE instruments que se muestra a continuación en la figura 6

Figura 6 Transductor PCE-SCI-U



Fuente : PCE Instruments, convertidor de señal PCE-SCI-U (imagen) España (Consultado: 03 de Mayo 2021) disponible en: <https://bit.ly/3kUNums>

1.2 HUMEDAD

Según Martines en su artículo definiciones de humedad, se entiende que “la humedad es una propiedad que describe el contenido de vapor de agua presente en un gas, el cual se puede expresar en términos de varias magnitudes. Algunas de ellas se pueden medir directamente y otras se pueden calcular a partir de magnitudes medidas”⁶.

⁶ MARTINES Enrique, Definiciones de humedad y su equivalencia. México, 2007. Pág. 1-5

Para el caso de un cuarto de crecimiento es necesario definir la humedad relativa según Cengel,

El aire puede contener sólo cierta cantidad de humedad, y la relación entre la cantidad real de humedad en el aire, a una determinada temperatura y la máxima cantidad que el aire puede contener a esa temperatura se llama humedad relativa. La humedad relativa varía de 0 para el aire seco a 100 por ciento para el aire saturado (que no puede contener más humedad⁷).

Entendiendo lo anterior, el porcentaje de humedad puede variar entre 60% y 95% dependiendo del producto que valla a utilizar en el cuarto de crecimiento, la humedad es un parámetro fundamental a la hora de considerar la calidad de la materia prima.

1.2.1 Sensor de humedad

En la industria alimentaria, para un control de la calidad en la producción es necesario contar con componentes tales como: sensores de humedad relativa y válvulas solenoides. En Hobart los sensores de humedad vienen en diferentes presentaciones, costos y alcances uno de ellos es la referencia 01-1P1875-00002 que se muestra en la figura 7.

Figura 7 Sensor de humedad 01-1P1875-00002

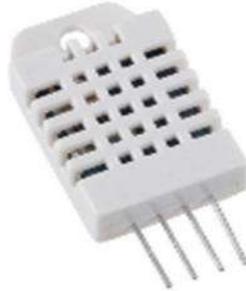


Fuente: Hobart, Baxter 01-1p1875-00002 conjunto de sensor, humedad con filtro (imagen), México (Consultado 25 de abril 2021) disponible en: <https://cutt.ly/NbAnLgW>

También en el mercado se encuentra un sensor de humedad con referencia DHT22(AM2302) que sus características son similares al sensor anterior, pero difiere porque es más económico y factible para el prototipo a desarrollar el sensor se muestra en la figura 8

⁷ CENGEL, YUNES.A, Termodinámica. Séptima Edición. Nevada, 2012, Pág. 149

Figura 8 Sensor de humedad



Fuente: Naylamp Mechatronics , sensor de temperatura y humedad relativa dht22 (imagen), Perú (Consultado 03 de Mayo 2021) disponible en: <https://bit.ly/3x3Q3VK>

1.2.2 Válvulas Solenoides

Otro componente que permite la generación de humedad son las válvulas solenoides, en el mercado se encuentran gran variedad de ellas. Para este fin solo se mencionarán dos debido a la aplicación que tienen en el prototipo. La empresa Jefferson cuenta con la válvula serie 1393 que se evidencia en la figura 9.

Figura 9 Válvula solenoide, Serie 1393



Fuente: Jefferson, Válvula solenoide serie 1393 (imagen) México (Consultado 4 de Mayo 2021) disponible en: <https://cutt.ly/BbAn6AE>

También la empresa Emerson ha desarrollado gran variedad de válvulas solenoides como por ejemplo la serie 210 que se referencia en la figura 10.

Figura 10 Válvula solenoide Serie 210



Fuente: Emerson, Válvula solenoide serie 210 (imagen) México (Consultado 4 de Mayo 2021) disponible en: <https://cutt.ly/SbAmkLj>

1.3 Programmable Logic Controller - PLC

Los controladores lógicos programables, tienen la función principal de ser el cerebro y activar los componentes electromecánicos en un equipo automatizado. En el mercado se encuentra una gran variedad de estos, que se despliega en costo, tamaños, operación, etc. Para este caso solo se mencionará dos tipos de PLC.

Figura 11 Programmable Logic Controller referencia CPU 1512C-1 PN



Fuente: Siemens, PLC referencia CPU 1512C-1PN (imagen) Colombia (Consultado 5 de Mayo 2021) disponible en: <https://cutt.ly/hbAmULD>

Uno de ellos hace parte de la empresa Siemens que tiene como referencia CPU 1512C-1 PN que se muestra en la figura 11. También se encuentran PLC de gran operación, por ejemplo, la empresa Rockwell Automation tiene en su stock la referencia SmartGuard 600 que se muestra en la figura 12.

Figura 12 Programmable Logic Controller SmartGuard 600



Fuente: Rockwell Automation, PLC referencia SmartGuard 600 (imagen) EEUU (Consultado 6 de Mayo 2021) disponible en: <https://cutt.ly/MbAmG2x>

1.4 Human Machine Interface- HMI

Es una herramienta que sirve para la visualización y monitoreo de los procesos industriales que se operan por medio de equipos automatizados, al igual que los PLC's existen en el mercado una gran variedad de HMI's que responden a las necesidades de la industria. A continuación, se mencionarán dos tipos de productos. La empresa Siemens cuenta la referencia SIMATIC HMI TP700 que se muestra en la figura 13.

Figura 13 HMI, TP700



Fuente: Siemens, referencia TP700 (imagen) Colombia (Consultado 5 de Mayo 2021) disponible en: <https://cutt.ly/xbAm00N>

También se encuentra en el mercado esta pieza por medio de la empresa Industriales Andes que al momento de implementar un proyecto industrial es similar a la anterior, solo que por costos es más económica la TG765-ET. Esta HMI se referencia en la figura 14.

Figura 14 HMI

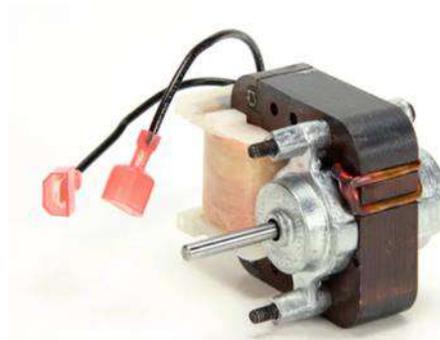


Fuente: Industriales Andes, referencia TG765-ET (imagen) Colombia (Consultado 7 de Mayo de 2021) disponible en: <https://cutt.ly/ybAQoZ2>

1.5 Motor ventilador

Es una pieza eléctrica que tiene como función principal esparcir el aire caliente y la humedad relativa dentro del cuarto de crecimiento, uno del motor ventilador en el mercado es el de referencia 338-60054-00 marca Traulsen, con un voltaje de 120V a 60Hz que se muestra en la figura 15

Figura 15 Motor ventilador 338-60054-00



Fuente: Parts town, Traulsen 338-60054-00 Motor de ventilador, marco C, 120 V (imagen) Estados Unidos (Consultado 7 de Mayo de 2021) disponible en: <https://www.partstown.com/es/traulsen/tr338-60054-00>

De igual modo se encuentra otro tipo de motor ventilador es que se emplean para procesos industriales más grandes como la referencia CD001181HSB de la empresa Condustrial y sus RPM son más altas, dicho motor ventilador se muestra en la figura 16.

Figura 16 Motor ventilador CD001181HSB



Fuente: Condustrial, motor eléctrico monofásico - WEG - CD001181HSB (imagen) Colombia (Consultado 9 de Mayo de 2021) disponible en: <https://bit.ly/3zC7Zs6>

1.5 TIPOS DE CUARTOS DE CRECIMIENTO

Los cuartos de crecimiento surgieron en los años setenta, con el fin de apoyar el sector alimentario, más exactamente a las industrias panificadoras, y a partir de ese momento, los operarios de estas industrias tenían la posibilidad de darle más tiempo de fermentación a la materia prima permitiendo mayor efectividad del proceso y cumpliendo con los registros sanitarios exigidos.

Existen varios tipos de cuartos de crecimiento en el mercado del sector alimentario que tienen diferentes variables según las necesidades del cliente. A continuación, se mencionará aquellas que han tenido importancia en la industria.

1.5.1 Cuarto de crecimiento MB300 Baxter

El cuarto de crecimiento MB300 Baxter fue diseñado, construido e implementado por la empresa Hobart, la ficha técnica de este cuarto de crecimiento es: la materialidad en acero inoxidable tiene un control digital ajustable independiente de temperatura y humedad, cuenta con aire independiente dado por un motor que permite una humedad abundante dentro del cuarto, también utiliza una boquilla para

rociar agua sobre una lámina de metal caliente brindando humedad constante durante el crecimiento. La MB300 se visualiza a continuación en la figura 17.

Figura 17 MB300 Baxter



Fuente: Hobart, referencia MB300 (imagen) México (Consultado 8 de Mayo 2021) disponible en: <https://cutt.ly/ZbAQjfQ>

1.5.2 Cuarto de crecimiento DUKE TSC-6

La cámara de crecimiento DUKE TSC-6 cuenta con manejo de usuario reducido, también tiene la facilidad de ahorrar tiempo mejorando la consistencia del producto. Este cuarto de crecimiento utiliza tecnología de punta que le permite el crecimiento a la materia prima eficientemente, además de la pantalla táctil que es fácil de usar. Estas características son dadas por el fabricante DUKE. TSC-6 se muestra en la figura 18.

Figura 18 DUKE TSC-6



Fuente: DUKE, referencia TSC-6 (imagen) EEUU (Consultado 8 de Mayo 2021) disponible en: <https://cutt.ly/UbAQbuN>

1.5.3 Cuarto de crecimiento KBW 240 Binder

El cuarto de crecimiento KBW 240 Binder cuenta con la función de precalentamiento, también tiene la opción de ajustar la velocidad del ventilador y cuenta con un controlador intuitivo por medio de una pantalla táctil, finalmente maneja un registro interno de datos de medición. Estas características fueron aportadas por el fabricante, que es Binder. A continuación, se visualiza la KBW 240 Binder en la figura 19.

Figura 19 KBW 240 Binder



Fuente: BINDER, referencia KBW 240 (imagen) Alemania (Consultado 10 de Mayo 2021) disponible en: <https://cutt.ly/MbAQDwQ>

1.5.4 Cuarto de crecimiento Lievox Unox

El cuarto de crecimiento Lievox Unox, cuenta con un equilibrio entre la masa, la temperatura, el porcentaje de humedad y tiempo clave para determinar la calidad del producto final, la Lievox Unox está conformada de sensores que controlan de manera continua y precisa la temperatura y humedad. Esta descripción es aportada por el fabricante UNOX, a continuación, en la figura 20 se hace referencia a esta.

Figura 20 Cámara de crecimiento controlada



Fuente: UNOX, referencia Lievox Unox (imagen) Colombia (Consultado 11 de Mayo 2021) disponible en: <https://n9.cl/6e52>

Es evidente que a través del tiempo se ha desarrollado una gran variedad de cuartos de crecimiento, que se han implementado con tecnología de punta y es por esta razón que son competitivas en el mercado. Según Tejero en su (blog)⁸ describe los cuatro tipos de cuartos de crecimiento que se pueden implementar, en la tabla 1 se encuentra la información mencionada.

Tabla 1 Tipos de cuartos de crecimientos

Tipo de Cuartos	Características	Aplicación
Crecimiento tradicional	Se aplica calor y humedad	Solo fermenta la masa aplicando calor y humedad
Crecimiento controlado	Se aplica calor, humedad y frio	Refrigera la masa conservándola para luego fermentarla aplicando calor y humedad bajo un control automático
Bloqueo del crecimiento	Se aplica frio	Solo refrigera la masa a una temperatura negativa
Crecimiento retardado	Se aplica calor, humedad y frio	Fermenta toda la masa de pan

Fuente: TEJERO Francisco, clasificación de las cámaras de fermentación (tabla) ,funcionamiento de las cámaras de fermentación, Madrid(Consultado 22 de Abril 2021) disponible en : <https://n9.cl/cawy8>

Se hace necesario para la industria alimentaria la mejora, avance y progreso tecnológico con respecto a los cuartos de crecimiento apoyándose en la tecnología ya desarrollada, buscando la optimización de los mercados locales para de esa manera abarcar un mercado mayor a nivel mundial.

1.6 SISTEMA DE CONTROL

Según Pérez en su documento de introducción a los sistemas de control, publicado por la Universidad Nacional de San Juan se define como sistema de control, “un arreglo de componentes físicos conectados de tal manera que el arreglo pueda comandar, dirigir o regular, asimismo o a otro sistema. Estos sistemas comandan dirigen o controlan dinámicamente”⁹. Los sistemas de control se dividen en dos: lazo cerrado y en lazo abierto y se explican a continuación.

⁸ TEJERO Francisco, clasificación de las cámaras de fermentación (blog) ,funcionamiento de las cámaras de fermentación, Madrid ,S.f

⁹ OGATA Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna, 5 ed, Madrid, 2010 Pág.7.

1.6.1 Sistema de control en lazo cerrado

Según Ogata en su libro de ingeniería de control moderno se define que: “en un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación”¹⁰. Esto quiere decir que los sistemas de control en lazo cerrado pueden trabajar automáticamente, a causa de la retroalimentación del sistema de la planta, esto con la finalidad de mitigar el error y llevar al sistema la salida del valor esperado. Para entender más fácilmente cómo funciona el control en lazo cerrado se muestra en la figura 211.

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación (que puede ser la propia señal de salida o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado.

Figura 21 Sistema de control en lazo cerrado



Fuente: Vélez Luis, sistema de control de lazo cerrado(imagen) Colombia (Consultado 6 de Mayo 2021) disponible en: <https://n9.cl/51p18>

1.6.2 Sistema de control en lazo abierto

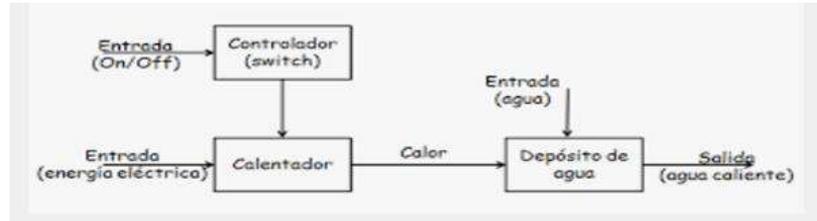
De la misma manera Ogata define: “que los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan sistemas de control en lazo abierto”¹¹. Dicho de este modo se entienden los sistemas de control de lazo abierto, como aquellos donde no se mide la salida de la señal ni se compara con la señal de entrada. A continuación, en la figura 22 se muestra esquemáticamente como es un sistema de control en lazo abierto.

¹⁰ OGATA Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna, 5 ed, Madrid, 2010 Pág. 6.

¹¹ OGATA Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna, 5 ed, Madrid, 2010 Pág. 8.

Un ejemplo real es la operación de una lavadora, por el hecho la salida no se compara con la entrada de referencia es decir no maneja una retroalimentación en el sistema.

Figura 22 Sistema de control en lazo abierto

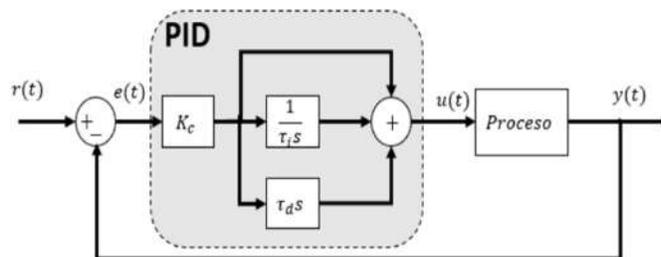


Fuente: Universidad Simón Bolívar, control a lazo abierto (imagen) Colombia (Consultado 5 de Mayo 2021) disponible en: <https://cutt.ly/jbBBDNz>

1.6.3 Control proporcional, integral y derivativo PID

Según Ogata¹² los sistemas de control en lazo cerrado, para que alcance el estado de salida deseado, su precisión y la estabilidad lo hace un sistema de control de ajuste automático Entendiendo esto, es pertinente mencionar que el control PID es fundamental para un proceso retroalimentado de un sistema de control en lazo cerrado, lo que hace que funcione las planta automáticamente. A continuación, en la figura 23 se muestra el diagrama de bloques de PID.

Figura 23 Muestra el PID



Fuente: Castaño Sergio, diagrama bloque PID (imagen) Colombia (Consultado 8 de Mayo 2021) disponible en: <https://n9.cl/nyhhuz>

¹² OGATA Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna, 5 ed, Madrid, 2010 Pág. 1-909.

También se entiende que, para obtener el modelado matemático de la planta, lo más pertinente es recurrir a varias técnicas de diseño, con el objeto de hallar todos y cada uno de los parámetros del controlador. Aun cuando no es fácil conseguir el modelado matemático de la planta por la señal digital, existen procedimientos experimentales que facilitan la afinidad con los controladores PID.

Ziegler y Nichols sugirieron reglas para sintonizar los controladores PID (esto significa dar valores a K_p , T_i y T_d) basándose en las respuestas escalón experimentales o en el valor de K_p que produce estabilidad marginal cuando sólo se usa la acción de control proporcional.¹³

Según esta información se entiende que para lograr la estabilidad del sistema es necesario acudir a la regla de Ziegler-Nichols de lazo abierto, que se presenta a continuación:

1.6.4 Regla de Ziegler-Nichols para sintonizar controladores PID Lazo Abierto

Según Ogata se explica que la regla de Ziegler y Nichols está definida para los valores de la ganancia proporcional (K_p), del tiempo integral (T_i) y del tiempo derivativo (T_d)¹⁴, soportando esta información en las características de respuesta transitoria de una planta. De este modo se logra encontrar la estabilidad del sistema

El método es aplicable cuando la respuesta muestra una curva con forma de S. esta curva de respuesta (escalón) se pueden obtener a partir de una simulación dinámica de la planta. Este método está compuesto por dos parámetros: el tiempo de retardo (L) y la constante de tiempo (T), que son los que se muestran en el dibujo como una recta tangente en el punto de inflexión de la curva con forma de S tal como se muestra en la figura 24.

¹³ OGATA, Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna, 5 ed, Madrid, 2010 Pág.171.

¹⁴ OGATA, Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna, 5 ed, Madrid, 2010 Pág.189

Figura 24 Respuesta a un escalón unitario de una planta.



Fuente: OGATA, Katsuhiko, respuesta a un escalón unitario de una planta (imagen) Pág.569 Colombia (Consultado 6 de Mayo 2021) disponible en: <https://bit.ly/374UGEK>

Para facilitar el hallazgo de la función de transferencia es pertinente utilizar los parámetros definidos por Ziegler y Nichols que se muestran en la siguiente tabla 2.

Tabla 2 Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método)

Tipo de controlador	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{T}{L}$	∞	0
PI	$0.9 \frac{T}{L}$	$\frac{L}{0.3}$	0
PID	$1.2 \frac{T}{L}$	$2L$	$0.5L$

Fuente: OGATA, Katsuhiko, 2 Regla de sintonía de Ziegler-Nichols basada en la respuesta escalón de la planta (primer método) (imagen) Pág.570 Colombia (Consultado 6 de Mayo 2021) disponible en: <https://bit.ly/374UGEK>

1.6.5 Control Proporcional (P)

Ogata¹⁵ ilustra que un sistema de control proporcional es aquel que no cuenta con un integrador $1/s$, entonces la planta va a arrojar un error en estado estacionario frente a una entrada escalón.

¹⁵ OGATA, Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna, 5 ed, Madrid, 2010 Pág.219

1.6.6 Control Proporcional derivativo (PD)

El sistema de control derivativo es definido por Ogata¹⁶ como el que prevé el error e inicia una acción correctiva oportuna y su función principal es la estabilidad del sistema.

1.6.7 Control Proporcional Integral (PI)

Según Ogata¹⁷ el sistema de control proporcional integral es aquel que elimina o reduce los errores en estado estacionario en respuesta a diversas entradas.

1.6.8 MATLAB

Para obtener el modelado matemático experimental para hallar el control PID se hace necesario el uso del software MATLAB que se define como: MATLAB es un software interactivo de alto rendimiento destinado al cálculo numérico. MATLAB integra análisis numérico, cálculo de matrices, procesamiento de señales y construcción de gráficos en un entorno fácil de usar donde los problemas y las soluciones se expresan solo como están escritos matemáticamente, a diferencia de la programación tradicional¹⁸. También MATLAB cuenta con un toolbox que contiene un módulo de simulación que se emplea para realizar procesos de control generando comparaciones y mediciones en tiempo real.

1.6.9 TIA PORTAL

El TIA Portal se creó en el año 1996 como una idea innovadora para poder tener en un solo entorno toda la gama de control de los dispositivos Siemens y específicamente de la marca Simatic de Siemens.¹⁹ Siemens se ha destacado por ser uno de los líderes en la integración en servicios de automatización para software y hardware. Entonces se puede concluir que TIA PORTAL es un software empleado en la industria de automatización y control con el fin de facilitar la comunicación con el PLC.

¹⁶ OGATA, Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna, 5 ed, Madrid, 2010 Pág.222

¹⁷ OGATA, Katsuhiko, Ingeniería de Control Moderna, 5 ed, Madrid, 2010 Pág.231

¹⁸ Gonçalves, Palmero-Marrero, & Oliveira, Educational solar energy tool in Matlab environment,ed6,2019,P ,1-6

¹⁹ Editores SRL, Historia de un sistema de automatización ,8 ed ,Adecarevista,2018,P 38-43

DESARROLLO DEL PROYECTO

2. DISEÑO

2.1 FASE I CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO

2.1.1 Análisis de los requerimientos del sistema a utilizar

Esta parte, es vital para tener conocimiento del proceso de la adquisición de los componentes, para esto se tuvo en cuenta las especificaciones de los instrumentos a utilizar que cumplan los requerimientos exigidos para la operación correcta del cuarto de crecimiento. Basando esta información en la capacidad interna del cuarto, la posición de los sensores y el ensamblaje de la planta, justificado en los planos estructurales, eléctricos y fichas técnicas, se logró una caracterización adecuada.

Se tuvo en cuenta para la selección de cada uno de los componentes que fueran resistentes, económicos y funcionales para el equipo a relacionar, a continuación, se muestra un cuadro comparativo de las opciones que fueron tomadas en cuenta.

Tabla 3 Cuadro comparativo de elementos

ITEM	INSTRUMENTOS	REFERENCIA #01	REFERENCIA #02	SELECCION DEL INSTRUMENTO
1	Resistencia	Resistencia tubular tipo U	Resistencia para inmersión	Se hace la selección de la resistencia tubular, porque es práctica al momento de la instalación, además de su eficiencia al momento de aportar temperatura al equipo.
2	Sensor temperatura	Sensor de temperatura, termopar cabeza de marina (termocupla tipo J)	Sensor de temperatura Referencia KA1654	Se opta por el sensor de temperatura termopar cabeza de marina (termocupla tipo J), esto con el fin de tener el bulbo del instrumento dentro de la cuarto, para realizar mediciones de temperatura, además de proteger el cableado de posible humedad, que se genere dentro de la planta. Dando como finalidad una mejor vida útil para el instrumento, entendiéndolo que su rango de medición es de 0 a 350°C.
3	Transductor	Transductor de señales de 4 a 20 mA Referencia RTD(PT100/NI100)	Transductor de señales de 4 a 20 mA Referencia PCE-SCI-U	Se elige el transductor RTD(PT100/NI100) porque tiene la facilidad de ser implementado a través de una conexión a, 2 hilos que se configura a partir de una aplicación llamada "MyPixsys".
4	Sensor Humedad	Sensor de humedad relativa Referencia DTH22(AM2302)	Sensor de humedad relativa Referencia 01-1P1875-00002	Se selecciona el sensor de humedad referencia DTH22, porque este instrumento es de fácil configuración con respecto a la Arduino UNO, controlador que se adaptó a una amplificación de voltaje por medio de un transistor TIP 41C.

ITEM	INSTRUMENTOS	REFERENCIA #01	REFERENCIA #02	SELECCION DEL INSTRUMENTO
5	Válvula solenoide	Válvula solenoide Referencia serie 1393	Válvula solenoide Referencia serie 210	Se escogió la válvula solenoide referencia serie 1393, debido a que empalan con las necesidades del prototipo, ya que es de fácil manejo al momento de la instalación asimismo es simple conseguirlo en la industria, además de contar con la bobina de 110 V que corresponde al voltaje del prototipo.
6	Controlador (PLC)	PLC Referencia CPU 1512C-1PN	PLC Referencia SmartGuard 600	Se opta por el controlador referencia CPU 1512C-1PN porque se ajusta a la necesidad del prototipo, debido a sus 32 entradas digitales, 5 entradas análogas, 32 salidas digitales y 2 salidas análogas.
7	Panelview	HMI Referencia SIMATIC HMI TP700	HMI Referencia TG765-ET	Se selecciona la Panelview referencia simatic TP700, puesto que su tecnología facilita la operación del prototipo además de contar con la información necesaria al momento del monitoreo y visualización.
8	Motorventilador	Motorventilador Referencia 338-60054-00	Motorventilador Referencia CD001181HSB	Se elige el motorventilador referencia 338-60054-00, debido que su tamaño es más adecuado para el ensamble del prototipo, además de contar con un voltaje de 110 V.

Fuente: Propia

Resistencia tubular

Se hace la selección de la resistencia tubular porque es práctica al momento de la instalación del equipo, a comparación de la resistencia de inmersión no es necesario sumergirla dentro del agua, además esta resistencia se ajusta al modo económico, este dispositivo tiene como fin aportar temperatura dentro del cuarto de crecimiento siendo este un factor determinante del funcionamiento del equipo. Los datos técnicos se relacionan en la Tabla 4.

Tabla 4 Datos técnicos resistencia tubular tipo U

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Resistencia tubular
<i>REFERENCIA</i>	Tipo U
<i>Conductor</i>	Cobre
<i>Alimentación</i>	110 V
<i>Potencia</i>	300 W
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Resistencias Electro salgado, resistencia tubular (datos), Colombia (Consultado 22 de Abril 2021) disponible en : <https://bit.ly/3i20lvS>

Sensor de temperatura, termopar con cabeza marina (termocupla tipo J)

Se hizo la elección de este sensor de temperatura termopar con cabeza marina tipo J porque se cumple con los requerimientos para el prototipo que se va a desarrollar tanto por su economía y su funcionalidad. Esto con el fin de tener el bulbo del instrumento realizando mediciones de temperatura dentro de la cámara y protegiendo cableado de posible humedad que se genera dentro de la cámara dando como finalidad una mejor vida útil para el instrumento y su rango de medición es de 0 a 350°C , Como se referencia en la Tabla 5.

Tabla 5 Datos técnicos sensor de temperatura termopar cabeza marina

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	SENSOR DE TEMPERATURA TERMOPAR CON CABEZA MARINA
<i>REFERENCIA</i>	Tipo J
<i>Tensión</i>	4 – 20mA DC (2 hilos)
<i>Rangos de temperatura</i>	0 a 400° C
<i>Tipo de bulbo</i>	Recto para conexión a proceso de 1/2 " NPT
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: CEIV S.A, termopar de cabeza marina (datos), México (Consultado 22 de Abril 2021) disponible en : <https://bit.ly/3i3rxQn>

Transductor de señales 4 a 20 mA

Se selecciona el transductor de señales 4 a 20 mA, porque tiene la facilidad de ser implementado a través de una conexión a 2 hilos que se configura a partir de una aplicación llamada "MyPixsys" que es gratuita y fácil de manipular para equipos Android. En este aplicativo se configuran parámetros como los son: tipo de sensor, tipo de conexión, tipo de salida, rango de medición del sensor de temperatura mínimo- máximo, por último, se carga la configuración establecida. Como se aprecia en la Tabla 6.

Tabla 6 Datos técnicos transductor de señal 4 a 20 mA

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	TRANSDUCTOR DE SEÑAL 4 A 20 mA
<i>REFERENCIA</i>	RTD(PT100/NI100) + TC(K-S-R-J-T-N-B-E)>4...20mA Loop powered-verion aislada
<i>ALIMENTACION</i>	Loop power(tecnología 2 hilos) range funcionamiento 6-32 Vdc
<i>MATERIAL</i>	Nylon (PA66)
<i>FRECUENCIA</i>	60 Hz
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Pixsys Electronics, transmisor de temperatura (datos), España (Consultado 22 de Abril 2021) disponible en : <https://bit.ly/2ULU9ou>

Sensor de Humedad Relativa

Se elige este instrumento que se utiliza para la medición de la humedad con un rango de 0 a 100% Este instrumento es de fácil configuración con respecto a la Arduino UNO controlador que se adaptó por partes electrónicas a una amplificación de voltaje por medio de un transistor TIP 41C. Los datos técnicos se referencian en la Tabla 7.

Tabla 7 Datos técnicos del sensor de humedad relativa

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Sensor humedad relativa
<i>REFERENCIA</i>	DHT22(AM2302)
<i>Señal de salida</i>	Señal digital
<i>Alimentación</i>	5 V
<i>Rango de medición</i>	Humedad 0-100% RH
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Naylamp Mechatronics, sensor de humedad relativa (datos), Argentina (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en : <https://bit.ly/3kW665t>

Válvulas Solenoide

Se hace la elección de este tipo de válvula porque cumple con las necesidades del prototipo, es de fácil maneja y acceso en la industria, asimismo su bobina de 110 V corresponde al voltaje del prototipo generando paso de agua hacia el interior de la cámara de crecimiento. Los datos técnicos se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8 Datos técnicos válvula solenoide

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Válvula solenoide
<i>REFERENCIA</i>	Serie 1393
<i>Frecuencia</i>	60 HZ
<i>Alimentación</i>	110 V
<i>Potencia</i>	20 W
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Jeffersson , Válvulas a solenoide de 2 vías (datos), Argentina (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en : <https://bit.ly/3wYRNQ8>

PLC (controlador lógico programable)

Se hizo la elección de PLC referencia CPU 1512C-1 PN porque se ajusta a la necesidad del prototipo debido a sus 32 entradas digitales, 5 entradas análogas, 32 salidas digitales y 2 salidas análogas, también se eligió por su fácil manejo y obtención de manual de operación y ficha técnica. Este dispositivo de control eléctrico tiene la finalidad de dirigir el proceso de la cámara de crecimiento en su totalidad el cual funciona de manera automática sincronizando el control PID y control ON-OFF correctamente. Los datos técnicos se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9 Datos técnicos PLC

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	PLC
<i>REFERENCIA</i>	CPU 1512C-1 PN
<i>Ethernet (PROFINET)</i>	2 puertos, conector RJ45
<i>Alimentación</i>	DC 24 V
<i>Potencia</i>	15,2 W
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Siemens, CPU 1512C-1 PN , (datos), Europa (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en: <https://bit.ly/3iKZG6K>

HMI (Human Machine Interface)

Se escoge la HMI referencia SIMATIC HMI TP700 porque su tecnología facilita la operación del prototipo además de contar con la información necesaria al momento del monitoreo y visualización en tiempo real teniendo en cuenta todas las variables que involucren el cuarto de crecimiento no sin antes mencionar el protocolo de comunicación con respecto al controlador llamado PROFINE. Los datos técnicos se aprecian en la Tabla 10.

Tabla 10 Datos técnicos HMI

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	HMI
<i>REFERENCIA</i>	SIMATIC HMI TP700
<i>Ethernet (PROFINET)</i>	2 RJ45
<i>Alimentación</i>	DC 24 V
<i>Potencia</i>	17 W
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Siemens, TP700 Comfort ,(datos), Europa (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en: <https://bit.ly/3zvVtKX>

Motor ventilador

Se hizo la elección del motor ventilador referencia 338-60054-00 marca Traulsen porque su tamaño es adecuado para el ensamble del prototipo además su voltaje de 110 V es acorde a lo que requiere el equipo sus 1800 RPM son consecuentes para el proceso de crecimiento de igual modo este equipo está contemplado dentro de los rangos económicos de compra. Los datos técnicos se aprecian en la Tabla

Tabla 11 Datos técnicos del motor ventilador

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Motorventilador
<i>REFERENCIA</i>	338-60054-00
<i>Alimentación</i>	110 V
<i>Velocidad de sincronismo</i>	1800 rpm
<i>Frecuencia</i>	60 HZ
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Traulsen, 338-60054-00,(datos), Estados Unidos (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en: <https://www.partstown.com/es/traulsen/tr338-60054-00>

A continuación, se muestra otros tipos de elementos involucrados en el desarrollo del prototipo que fueron seleccionados gracias a que el montaje lo requiere, fueron seleccionados por su fácil instalación y fácil acceso económico, estos elementos se describen en las tablas a continuación.

Arduino uno

Este dispositivo electrónico tiene la finalidad de controlar de manera digital la conexión entre el sensor humedad y PLC. Los datos técnicos se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12 Datos técnicos arduino uno

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Arduino uno
<i>REFERENCIA</i>	Arduino uno
<i>Señal de salida</i>	Señal digital
<i>Alimentación</i>	5 V
<i>Microcontrolador</i>	Atmega 328
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Naylamp Mechatronics, arduino uno,(datos), Perú (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en: <https://bit.ly/3rz9qoq>

Contactores

Es un dispositivo electromecánico que tiene como función energizar el motor ventilador y la resistencia tubular. Su ficha técnica se referencia en la Tabla 13.

Tabla 13 Datos técnicos del contactor

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Contactor
<i>REFERENCIA</i>	S-F11
<i>Frecuencia</i>	60 Hz
<i>Alimentación</i>	110 V
<i>Tipo</i>	Plástico, Metal, piezas eléctricas
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Steck, contactor para maniobra de motores sd2,(datos), México (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en: <https://bit.ly/2ULZGLM>

Fuente 110V

Este elemento funciona para transformar la alimentación de corriente eléctrica de 110 V a 24 V, esto con el fin, de energizar el PLC que funciona todo el tiempo con esta corriente eléctrica, la ficha técnica está en la Tabla 14.

Tabla 14 Datos técnicos de la fuente 110 V

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Fuente alimentación
<i>REFERENCIA</i>	SKU:1606XLE120E
<i>Alimentación salida</i>	24 V
<i>Alimentación entrada</i>	110 V
<i>Potencia</i>	120 W
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: TRENDnet, Fuente de alimentación (datos), Estados Unidos (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en: <https://bit.ly/2Wlithq>

Breaker eléctrico

Este elemento es un interruptor automático que tiene como función energizar todo el sistema de la cámara de crecimiento además sirve como protector eléctrico. Sus especificaciones técnicas están en la Tabla 15.

Tabla 15 Datos técnicos de breakers E.T.N

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Breakers E.T.N
<i>REFERENCIA</i>	DSE
<i>Corriente</i>	30 A
<i>Alimentación entrada</i>	110 V
<i>Numero de polos</i>	2
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: IndiaMART, ETN MCB, 220 V (datos), Estados Unidos (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en: <https://bit.ly/3i2R0te>

Relay térmico

Este dispositivo electromecánico tiene como función proteger de sobrecargas, tanto para el motor ventilador como para la resistencia tubular. Los datos técnicos de la pieza se muestran en la Tabla 16.

Tabla 16 Datos técnicos del Relay térmico

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Relay térmico
<i>REFERENCIA</i>	CAR2-D13
<i>Margen regulación</i>	2.5-4 A
<i>Temperatura ambiente</i>	20 ± 5 °C
<i>Frecuencia</i>	60 Hz
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Acotron, car2-d13-6a rele térmico (datos), México (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en: <https://onx.la/37f88>

Regleta led de 24 V

Este elemento tiene como fin iluminar el interior de la cámara de crecimiento para el monitoreo de la materia prima. Como se evidencia en la Tabla 17.

Tabla 17 Datos técnicos de la regleta led

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Regleta led
<i>REFERENCIA</i>	Cinta LED
<i>Alimentación</i>	24 V
<i>Material</i>	Silicona
<i>Potencia</i>	35 W
<i>IMAGEN</i>	

Fuente: Sxzm, Tira de luces LED (datos), Cn (Consultado 26 de Abril 2021) disponible en: <https://bit.ly/3kTSU17>

Interruptor de seguridad

Este dispositivo tiene como finalidad detener el sistema eléctrico, al momento de la apertura de puerta cuando termine el proceso al interior de la cámara de crecimiento. Sus especificaciones técnicas están en la Tabla 18.

Tabla 18 Datos técnicos interruptor de seguridad

DATOS TECNICOS	
<i>NOMBRE</i>	Interruptor de seguridad
<i>REFERENCIA</i>	Z-15GW2
<i>Tipo</i>	Palanca corta
<i>Contactos</i>	1NA/1NC
<i>Capacidad</i>	20 AMP
<i>IMAGEN</i>	

2.2 FASE II DISEÑO DEL CUARTO DE CRECIMIENTO

2.2.1 Recolección de información

De acuerdo con la información recolectada a través de la investigación de los prototipos de cuartos de crecimiento, se encontró datos relacionados con el manejo del proceso de estos equipos, de tal forma se ejecutó el diagnóstico inicial, para obtener bases sólidas e importantes al momento de estructurar el equipo propuesto en este documento.

De esta manera, se tomaron decisiones en el diseño tales como: la materialidad que será en acero inoxidable, la cantidad de bandejas necesarias en el equipo y finalmente las dimensiones de la estructura.

2.2.2 Descripción estructural del cuarto de crecimiento

El prototipo se diseñó con una geometría basada en la necesidad de la industria, que se le apunta a ser práctico y fácil para el cliente. Por esa razón el cuarto de crecimiento propuesto en este documento tiene unas dimensiones de: 44 cm de ancho, 52 cm de largo y 37 cm de alto.

Se propone que en la parte interna el material sea en acero inoxidable 304, recubierto al exterior con aislante térmico y una pared en acero protectora, finalmente instrumentado con sensores de temperatura y humedad.

2.2.3 Desarrollo del diseño del prototipo del cuarto de crecimiento

En el diseño contemplamos dos grandes sub-fases, la primera es el diseño mecánico o estructural y la segunda es el diseño eléctrico y electrónico. A continuación, se nombrará a detalle todos los elementos que componen el cuarto de crecimiento, detallando todas sus características estructurales y eléctricas.

Cumpliendo con ciertos requerimientos:

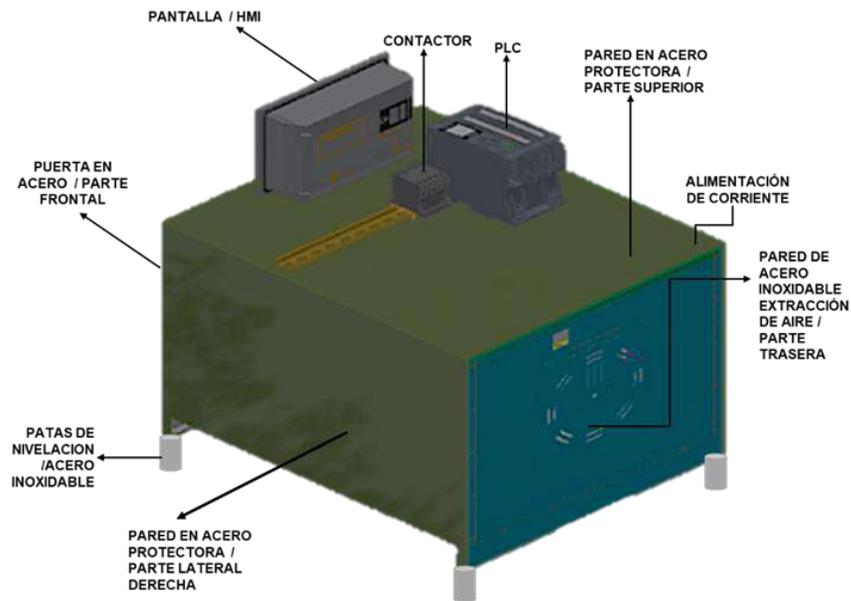
- Debe ser sencilla de construir y eficiente
- Su sistema de control debe ser fácil de operar

El diseño mecánico fue realizado con ayuda del software SolidWorks encargado del montaje, con la finalidad que aporte información suficiente para las mejoras del diseño final y se proyectó en el software AutoCAD la parte eléctrica y electrónica del prototipo.

2.2.4 Desarrollo mecánico

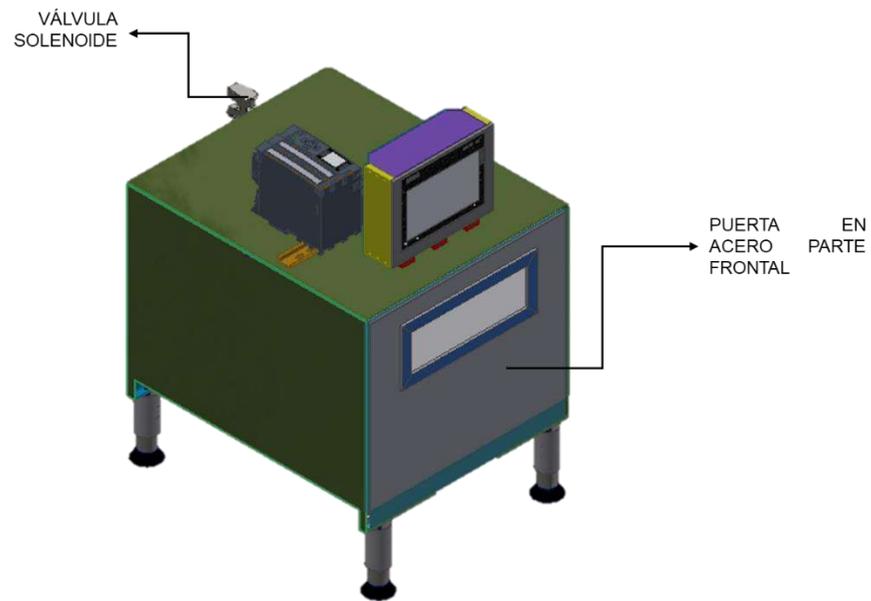
El diseño mecánico tiene 9 elementos principales, los cuales se describen en la Figura 25.

Figura 25 Desarrollo mecánico parte trasera solidworks



Fuente: Propia

Figura 26 Desarrollo mecánico frontal solidworks



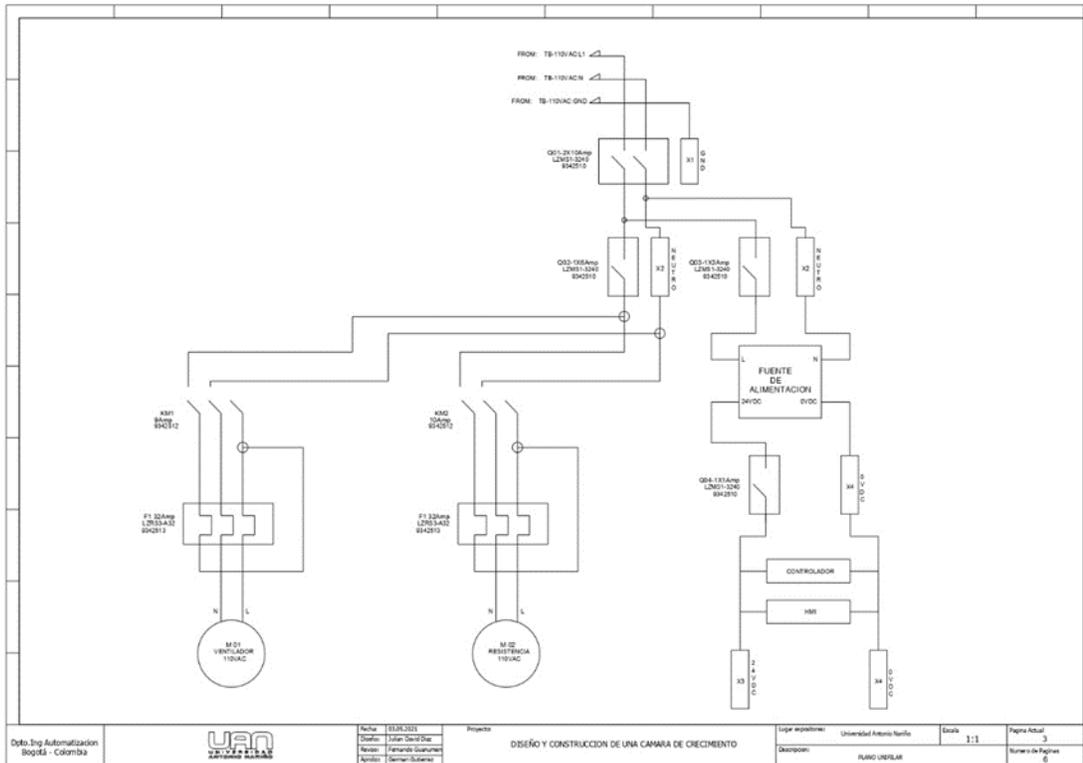
Fuente: Propia

En la figura 26, se presenta una vista frontal del cuarto de crecimiento, siendo más evidente los componentes del equipo. A partir de este punto, se parte de una idea más clara de cómo es el prototipo, y en los siguientes capítulos se llevará a cabo el desarrollo de la parte eléctrica y electrónica.

2.2.5 Desarrollo Eléctrico y electrónico

A continuación, en el desarrollo eléctrico y electrónico del prototipo, se evidencia el diagrama unifilar del control del cuarto de crecimiento tal como la figura 27.

Figura 27 Desarrollo eléctrico y electrónico AutoCAD



Fuente: Propia

2.3 FASE III – CÁLCULOS MATEMÁTICOS PARA DEFINIR LOS COMPONENTES

En esta fase se debe realizar los cálculos pertinentes, para tener claridad de las características de los componentes que se van a implementar al momento de la instalación de los dispositivos del cuarto de crecimiento. Los cálculos necesarios para la toma de decisión son los siguientes:

La ecuación de velocidad angular para hallar las RPM motor ventilador

La ecuación para hallar los vatios de la resistencia tubular

La ecuación para hallar la presión del agua para la válvula solenoide

2.3.1 Cálculo Resistencia Tubular

Ecuación 1 Cálculo resistencia tubular

$$P = VI$$

$$R = \frac{V}{I}$$

$$P = 120V * 2.5A$$

$$R = \frac{120V}{2.5A}$$

$$P = 300W$$

$$R = 48\Omega$$

$$I = \frac{V}{R}$$

$$I = \frac{120V}{48\Omega}$$

$$I = 2.5A$$

$P = \text{Potencia electrica}$

$V = \text{Voltaje}$

$I = \text{Intensidad de corriente}$

$R = \text{Resistencia}$

2.3.2 Cálculo de Velocidad del motor ventilador eléctrico velocidad síncrona (N_s)

Ecuación 2 Velocidad Síncrona

$$N_s = 120 * \frac{f}{p} \text{ Formula}$$

$$N_s = 120 * \frac{60\text{Hz}}{4}$$

$$N_s = 1800\text{RPM}$$

p = Numero de pares de polos

f = Frecuencia

RPM = Numero de giros que el eje del motor desarrolla en cada minuto

2.3.3 Cálculo de Presión para la válvula solenoide

Ecuación 3 Presión de válvula solenoide

$$\rho_{H_2O} = 997 \frac{kg}{m^3}$$

$$g = \frac{9.81m}{seg^2}$$

$$h = 0.37m$$

$$P = \rho * g * h$$

$$P = 997 \frac{kg}{m^3} * \frac{9.81m}{seg^2} * 0.37m$$

$$P = 3618.81 \frac{kg}{m^3} * \frac{m}{seg^2} * m$$

$$P = 3618.81 \frac{N}{m^2}$$

ρ_{H_2O} = Densidad del agua g = Gravedad h = Altura

P = Presión

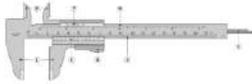
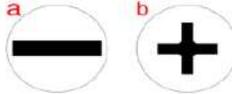
3 CONSTRUCCIÓN

3.1 FASE IV CONSTRUIR EL PROTOTIPO DE LA CÁMARA DE CRECIMIENTO

3.1.1 Elaboración del prototipo – parte estructural

Inicialmente se desarrolló un proceso de selección de todos los diferentes elementos involucrados en el proceso constructivo del cuarto de crecimiento que fueron vitales para llevar a cabo el ensamble de todas las piezas al interior y al exterior del cuarto de crecimiento, estos elementos están relacionados en la siguiente tabla 19

Tabla 19 Herramientas y equipos involucrados en el proceso constructivo

ITEM	NOMBRE	ELEMENTOS INVOLUCRADOS	FUNCION	COMO SE UTILIZO
1	FLEXOMETRO		Es un instrumento de medida	Se utilizó para tomar las medidas de las piezas involucradas en la construcción
2	PIE DE REY		Es un instrumento de medida para diámetros interiores y exteriores	Se utilizó para medir el calibre de los aceros a utilizar
3	DESTORNILLADOR		Herramienta para apretar y aflojar tornillos	Se utilizó para apretar los soportes donde va ubicados los componentes eléctricos

ITEM	NOMBRE	ELEMENTOS INVOLUCRADOS	FUNCION	COMO SE UTILIZO
4	LLAVE EXPANSIVA		Herramienta para apretar y aflojar tornillos de diferentes diámetros	Se utilizó para apretar la válvula solenoide
5	PINZA ALICATE O		Herramienta manual para corte de distintos materiales	Se utilizó para manipular cable eléctrico
6	PINZA VOLTIAMPERIMETRICA		Instrumento que sirve para medir la corriente de manera directa	Se utilizó para realizar el ensamble adecuado eléctricamente
7	JUEGO DE RACHE		Herramienta manual para ajustar o aflojar tuercas o pernos	Se utilizo para ajustar el motor ventilador a la estructura
8	LLAVE DE TUBO		Herramienta manual para ajustar o aflojar elementos cilíndricos	se utilizó para apretar tubería hidráulica
9	CORTE LASER		Corte laser en lámina y tubería; desde 0.3 hasta 40mm	se utilizó para cortar las paredes del cuarto de crecimiento
10	PLEGADORA		Plegadora; en largos de 3048 mm hasta 6.0 mm en espesor.	Se utilizó para darle la forma del cuarto de crecimiento

Fuente: Propia

En este punto, se construye el prototipo del cuarto de crecimiento, en primer lugar, se dispuso del corte laser de todas las piezas metálicas que son en acero inoxidable 304 seguido de eso se hizo el ensamble de la estructura luego se recubrió con fibra de vidrio, toda la estructura para evitar fugas de temperatura y humedad. Adicionalmente se dispuso el recubrimiento en acero para finalmente fijar los componentes del control. Como se evidencia el proceso en las figuras de la 28 a la 31.

Figura 28 Corte y ensamble de las piezas



Fuente: Propia

Figura 29 Recubrimiento fibra de vidrio



Fuente: Propia

Figura 30 Recubrimiento en acero



Fuente: Propia

Figura 31 Montaje de los componentes de control



Fuente: Propia

Además, se desarrolló la instalación de las patas niveladoras que también son en acero inoxidable 304 como se muestra en la figura 32.

Figura 32 Patas niveladoras



Fuente: Propia

Y finalmente se procedió al montaje de la puerta en acero como se muestra en la figura 33.

Figura 33 Puerta en acero



Fuente: Propia

Esos fueron los pasos que se tuvieron en cuenta para la construcción del prototipo de la cámara de crecimiento, es pertinente mencionar que se fue muy riguroso con respecto a temas de levantamiento de información, tales como tipos de materiales, herramientas industriales y mano de obra calificada para dicho ensamble. Con el fin de tener una base sólida para la construcción del proyecto. Esta información técnica utilizada para el montaje del equipo se puede verificar en la planimetría que se encuentra en el capítulo de anexos.

Adicionalmente se tuvo en cuenta los requisitos sanitarios que deben cumplir materiales, objetos, envases y equipamientos que entran en contacto directo con alimentos, requisito solicitado por el ente regulador INVIMA de acuerdo con la resolución 683 de 2012²⁰, resolución 835 de 2013²¹, resolución 4143 de 2012²², resolución 4142 de 2012²³

²⁰ COLOMBIA MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 683 de 2012, Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano, Bogotá ,2012. Pág.1-21.

²¹ COLOMBIA MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 835 de 2013, Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos de vidrios y cerámicas destinados a estar en contacto con alimentos y bebidas para el consumo humano Bogotá ,2013. Pág.1-5.

²² COLOMBIA MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 835 de 2013, Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos plásticos y elastoméricos y sus aditivos, destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano, Bogotá ,2013. Pág.1-13.

²³ COLOMBIA MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 835 de 2013, Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos metálicos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano, Bogotá, 2013. Pág. 1-16.

3.1.2 Elaboración del prototipo – parte eléctrica

Luego de tener listo el ensamble estructural se procedió a hacer las instalaciones en el interior de la cámara de crecimiento, que se mencionan a continuación:

- Se instaló la resistencia tubular en la pared inferior al interior de la cámara de crecimiento que posteriormente se conectó eléctricamente. Como se muestra en la figura 34.
- Se instaló el motor ventilador en la pared trasera central al interior de la cámara de crecimiento el cual se conectó eléctricamente como se muestra en la figura 35.
- Se instaló la válvula solenoide en la pared trasera superior izquierdo, al exterior de la cámara de crecimiento la cual se conectó eléctricamente como se muestra en la figura 36.
- Se instaló el sensor de humedad en la pared trasera central derecha al interior del cuarto de crecimiento que posteriormente se conectó eléctricamente, como se evidencia en la figura 37.
- Se instaló la regleta led al contorno de la pared superior que luego se conectó eléctricamente, tal como se muestra en la figura 38.
- Se instaló el PLC, HMI, fuente, relay térmico, breaker de seguridad, contactores, y transductor en la pared superior que posteriormente se conectaron eléctricamente como se evidencia en la figura 39.

Figura 34 Montaje de resistencia tubular.



Fuente: Propia

Figura 35 Montaje motor ventilador



Fuente: Propia

Figura 36 Montaje de válvula solenoide



Fuente: Propia

Figura 37 Sensor de humedad



Fuente: Propia

Figura 38 Montaje regleta led



Fuente: Propia

Figura 39 Componente vitales



Fuente: Propia

De esta forma se completó el montaje de toda la parte eléctrica del cuarto de crecimiento atendiendo a las necesidades y seguridad del prototipo. Esta información técnica con respecto al montaje eléctrico y electrónico se puede consultar de manera detallada en la planimetría contenida en el capítulo de anexos.

4 IMPLEMENTACIÓN

4.1 FASE V DESARROLLO DE IMPLEMENTACIÓN DEL CUARTO DE CRECIMIENTO

4.1.1 Funcionamiento general del cuarto de crecimiento

En este punto de la puesta en marcha del cuarto de crecimiento, es pertinente entender cómo funciona la planta de una manera unificada y automática.

El primer proceso es el arranque, desde el panel HMI que envía la señal al PLC y de manera automática activa las bobinas de los contactores que energiza el motor ventilador, resistencia tubular y regleta led.

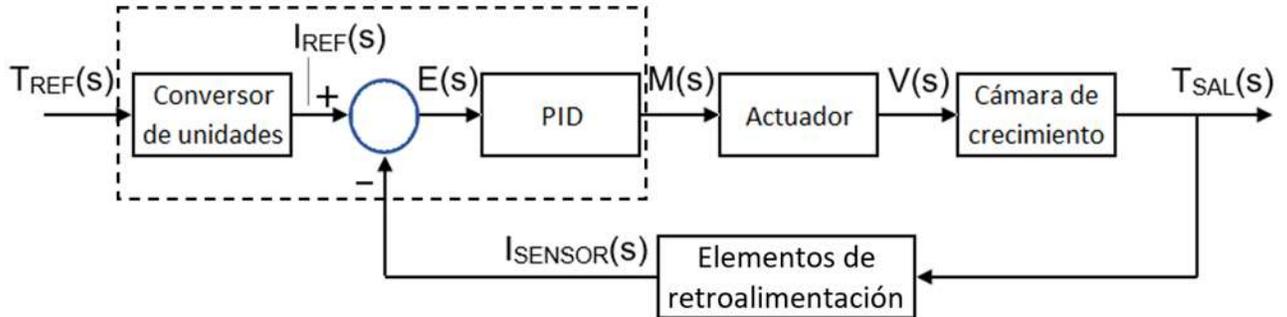
El segundo momento de operación del cuarto de crecimiento es cuando llega a la temperatura determinada por el operario.

El tercer procedimiento que realiza la planta es la inyección de agua por medio de la válvula solenoide y de esta manera se genera un choque térmico que produce la humedad correcta que necesita la materia prima para crecer.

Y finalmente el procedimiento del lazo cerrado control PID se mantiene en términos de temperatura y humedad establecidos por el operario.

4.1.2 Modelado matemático del control en lazo cerrado PID

Ecuación 4 Modelado matemático del control en lazo cerrado PID



Fuente: Propia

El error es:

$E(s) = I_{REF}(s) - I_{SENSOR}(s)$: El margen de error es debido a la salida de la retroalimentación con respecto a los cambios en la referencia de entrada que ocasionan errores en periodos transitorios y en el estado estacionario.

Función de transferencia del controlador PID

Ecuación 5 Transferencia del controlador PID

$$\frac{M(s)}{E(s)} = K_c \left[1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right]$$

Fuente: propia

Siendo:

$E(s)$: entrada del controlador rango de medición 4-20 mA

$M(s)$: salida del controlador por una salida digital por medio de un PWM

K_p : Ganancia proporcional $\frac{mA}{^\circ C}$

τ_i : Constante de tiempo integral en segundos

τ_d : Constante de tiempo derivativa en segundos

$M(s)$ y $E(s)$ Son variables de entrada y salida del controlador PID.

Función de transferencia del actuador

Se considerará que el actuador es una función de primer de orden

Ecuación 6 Función de transferencia del actuador

$$\frac{V(s)}{M(s)} = \frac{K_A}{\tau_A s + 1}$$

Fuente: propia

Siendo:

M(s): salida del controlador = entrada del actuador

V(s): voltaje de salida del actuador

K_A: Ganancia del actuador

τ_A: Constante de tiempo del actuador

Función de transferencia del cuarto de crecimiento

En general todos los procesos térmicos de calentamiento o enfriamiento se consideran de primer de orden

Ecuación 7 Función de transferencia del cuarto de crecimiento

$$\frac{T_{SAL}(s)}{V(s)} = \frac{K_P}{\tau_P s + 1}$$

Fuente: propia

Siendo:

T_{SAL}(s): salida de la cámara de crecimiento

V(s): voltaje de entrada de la cámara de crecimiento

K_C: Ganancia de la cámara de crecimiento

τ_P: Constante de tiempo de la cámara de crecimiento

Función de transferencia de los elementos de retroalimentación

Los elementos de retroalimentación también se consideran de primer de orden

Ecuación 8 Función de transferencia de los elementos de retroalimentación

$$\frac{I_{SENSOR}(s)}{T_{SAL}(s)} = \frac{K_H}{\tau_H s + 1}$$

Fuente: propia

Siendo:

$T_{SAL}(s)$: entrada al sensor

$I_{SENSOR}(s)$: Corriente de salida del transductor

K_H : Ganancia de los elementos de retroalimentación

τ_H : Constante de tiempo de los elementos de retroalimentación

El conversor es simplemente un factor de conversión para ajustar la temperatura de referencie en función de la corriente de referencia

Función global de transferencia de todo el lazo de control de temperatura

Ecuación 9 Función global de transferencia de todo el lazo de control de temperatura

$$\frac{T_{SAL}(s)}{T_{REF}(s)} = \frac{K_U * \frac{M(s)}{E(s)} * \frac{V(s)}{M(s)} * \frac{T_{SAL}(s)}{V(s)}}{1 + \frac{M(s)}{E(s)} * \frac{V(s)}{M(s)} * \frac{T_{SAL}(s)}{V(s)} * \frac{I_{SENSOR}(s)}{T_{SAL}(s)}}$$

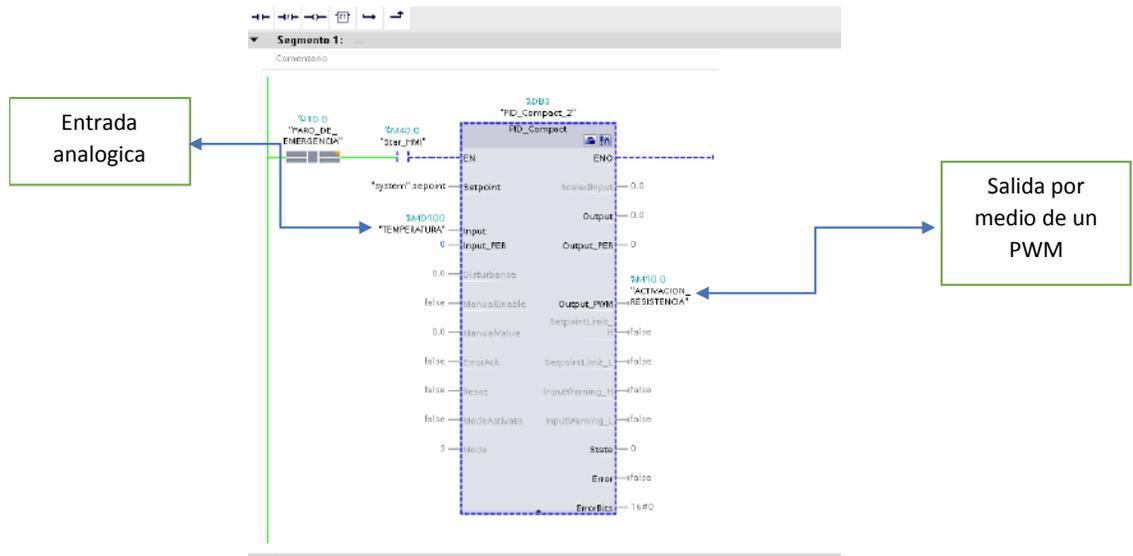
$$\frac{T_{SAL}(s)}{T_{REF}(s)} = \frac{\frac{I_{REF}(s)}{T_{REF}(s)} * K_C \left[1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right] * \frac{K_A}{\tau_A s + 1} * \frac{K_P}{\tau_P s + 1}}{1 + K_C \left[1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right] * \frac{K_A}{\tau_A s + 1} * \frac{K_P}{\tau_P s + 1} * \frac{K_H}{\tau_H s + 1}}$$

Fuente: propia

Debido a la complejidad de este modelo matemático y que era imposible obtener las ganancias y las constantes de tiempo correspondientes, se recurrió a una estrategia más sencilla como son los métodos de Ziegler- Nichols concretamente el método de lazo abierto relacionado al primer método el cual su primordial condición es que el sistema sea de primer orden o lineal.

A continuación en la figura 40 se ilustrará como se configura el bloque para el PID , su control de acceso, por medio de una entrada analógica y una salida sintonizada por un PWM a su respectivo actuador . Esta condición del proceso se realiza con el fin de sincronizar el ancho del pulso en el sistema, hasta llegar al Setpoint establecido por el operario a cargo del equipo.

Figura 40 Salida sintonizada por un PWM



Fuente: Propia

El sistema de temperatura funciona como el efecto de conducción de calor al cuarto de crecimiento donde se permite la estabilidad de dicha magnitud física. Para que este efecto, funcione se hace necesario el diseño del controlador PID implementando un modelado matemático experimental con las características del comportamiento de la planta en lazo abierto donde el elemento final de control es el cuarto de crecimiento, como se muestra en la figura 41

Figura 41 Lazo abierto del proceso del cuarto de crecimiento



Fuente: Propia

A continuación, se explica el paso a paso de la puesta en marcha del PID por medio del software.

- Paso 1: se realizó la toma de datos de temperatura vs tiempo de manera manual con el apoyo de un cronómetro digital tales datos, En la toma de datos la resistencia se puso a calentar durante 30 minutos donde se hizo una toma de datos cada 30 segundos, esta información esta referenciada en la tabla 20 que se muestra a continuación:

Tabla 20 Toma de datos de temperatura VS tiempo

TIEMPO (segundos)	TEMPERATURA (°C)
0	22,64
20	22,83
40	23,22
60	23,93
80	24,86
100	25,62
120	26,90
140	27,83
160	28,99
180	30,26
200	31,70
220	33,05
240	35,60
260	38,33
280	39,65
300	40,99
320	41,09
340	43,23
360	44,53
380	45,63
400	46,90
420	47,78
440	48,80
460	49,90
480	50,80
500	52,28
520	52,83
540	53,60
560	54,60
580	55,52
600	56,88
620	58,19
640	58,61
660	59,81
680	60,85
700	60,90
720	61,63
740	63,22
760	63,93
780	64,58
800	65,29
820	65,90

TIEMPO (segundos)	TEMPERATURA (°C)
840	66,58
860	67,53
880	67,99
900	68,82
920	69,47
940	69,95
960	70,76
980	70,13
1000	71,32
1020	72,02
1040	72,72
1060	73,02
1080	73,09
1100	73,94
1120	74,29
1140	75,03
1160	75,42
1180	75,73
1200	76,01
1220	76,40
1240	76,85
1260	77,15
1280	77,55
1300	77,62
1320	77,15
1340	77,28
1360	76,99
1380	76,36

Fuente: Propia

- Paso 2: Luego de tomado los datos que se referenciaron en la anterior tabla, se generó la gráfica para conocer el comportamiento de la temperatura vs el tiempo del cuarto de crecimiento A continuación, en la gráfica 1 se visualiza que la resistencia trascurrida un tiempo su temperatura no varía, porque ya está en su respuesta de saturación, después de la última toma de datos se exportaron l en Excel para observar el comportamiento de en lazo abierto. donde la temperatura se estabiliza en 78°C en un tiempo de 1260 segundos donde encontramos que es lineal, los datos obtenidos concuerdan con una gráfica lineal y son llevados al software MATLAB para empezar el análisis de la función de transferencia.

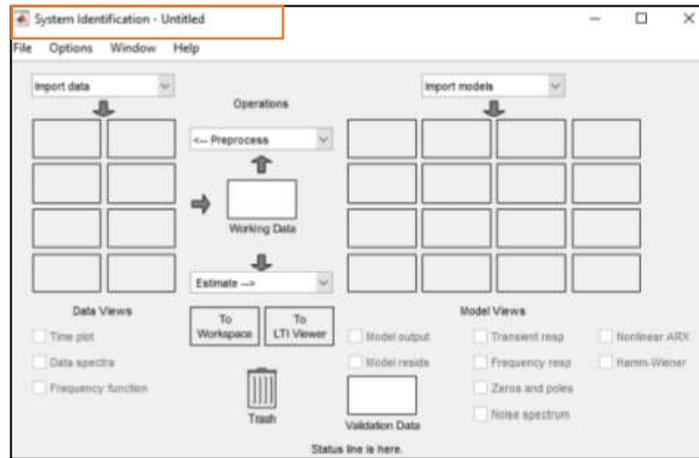
Grafica 1. Temperatura vs Tiempo



Fuente: Propia

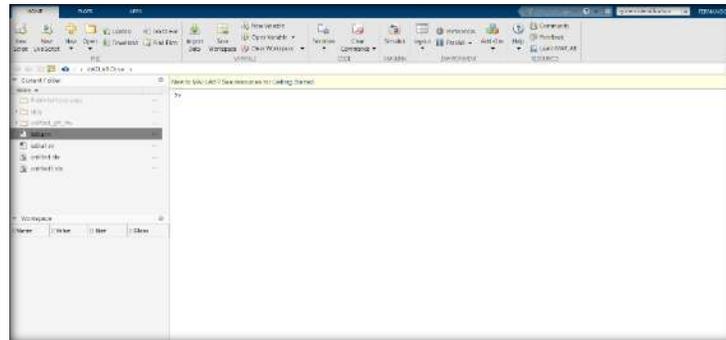
- Paso 3: después de tener la toma de datos experimental tiempo vs temperatura en lazo abierto se puede obtener un modelado matemático experimental utilizando la herramienta System identification de MATLAB que se evidencia en la figura 42 , para hallar la función de transferencia del comportamiento de la planta, hay que tener en cuenta que la función de transferencia hallada no tenga polos positivos (en el eje real) e imaginario (eje imaginario) ya que la respuesta es inestable y esto provoca que no se pueda utilizar el método de Ziegler- Nichols para el diseño del controlador PID se requiere una función de transferencia que los polos se encuentren en el lado izquierdo del eje real para que la respuesta sea estable y así aplicar el primer método de Ziegler- Nichols a continuación en la figura 42 se puede observar el método para el diseño e implementación del controlador PID.

Figura 42 Interfaz MATLAB



Fuente: Propia

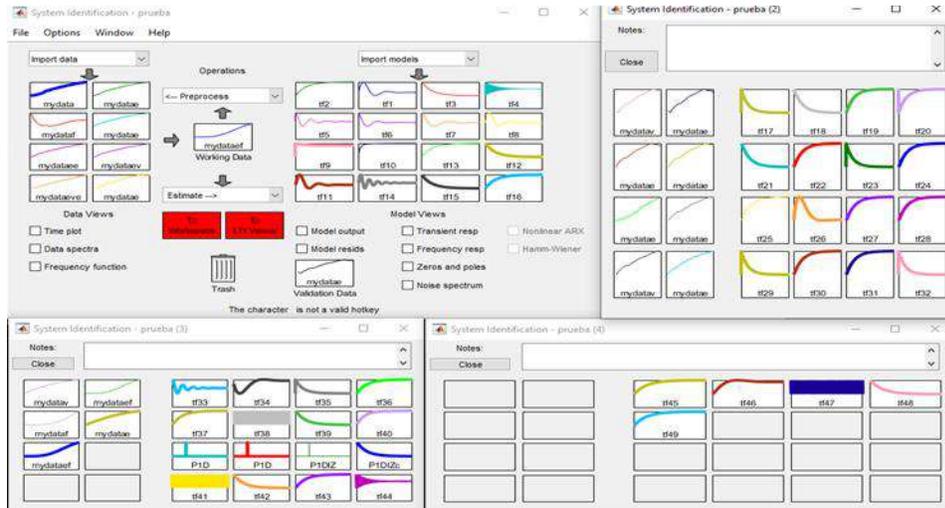
Figura 43 Interfaz herramienta System Identification



Fuente: Propia

•Paso 4: en la imagen anterior se puede observar la interfaz gráfica de la herramienta System Identification de MATLAB donde se exportaron los datos tomados de entrada (tiempo) y salida (temperatura) para hallar la función de transferencia del modelado matemático experimental de la planta cuarto de crecimiento. Se ingresó al sistema la primera toma de datos según la tabla mencionada en el paso 1, que fue realizada cada 20 segundos tomando la variable tiempo y temperatura. La cual mostró una gráfica de comportamiento tal como se muestra en la figura 43.

Figura 44 Ingreso de datos en MATLAB



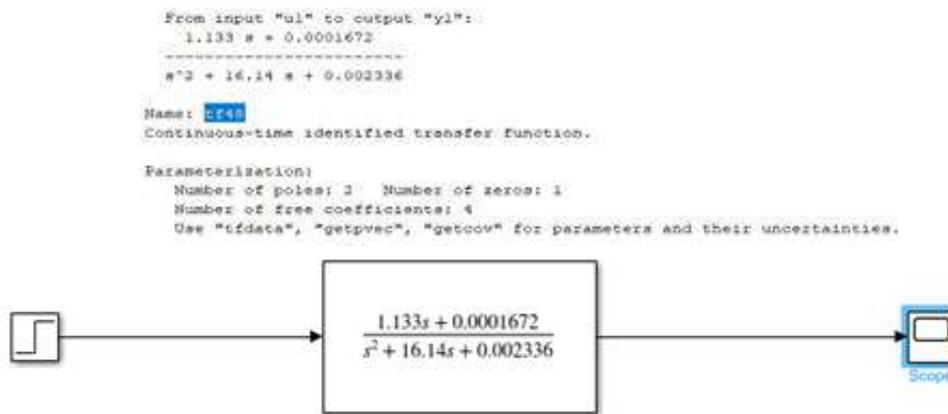
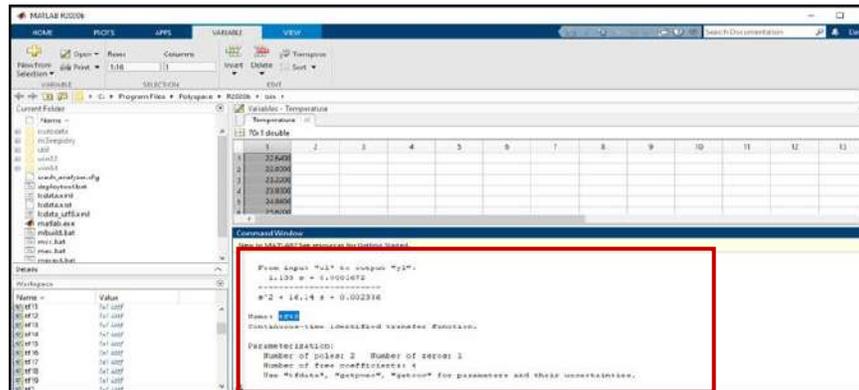
Fuente: Propia

En la figura 44 se puede observar las diferentes respuestas de la planta en lazo abierto analizando cada función de transferencia para hallar el controlador óptimo teniendo en cuenta lo siguiente.

- Que la respuesta de la función de transferencia no fuera oscilatoria
- Que la respuesta de la función de transferencia no tuviera sobre picos
- Que la función de transferencia no tuviera polos positivos en eje real al graficar estos
- Que la función de transferencia no tuviera polos imaginarios en el eje imaginario ya que la respuesta tiende a ser oscilatoria
- Que la función de transferencia fuera de segundo grado

en la figura 45 se puede observar la función de transferencia hallar el modelo matemático experimental de un cero y dos polos utilizando la herramienta System Identification de MATLAB.

Figura 45 Tabla de comportamiento en MATLAB

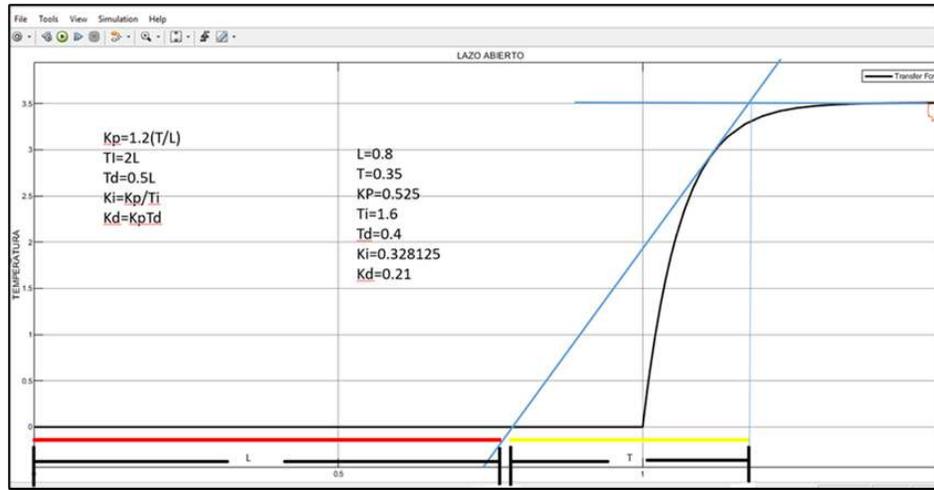


Fuente: propia

En la imagen anterior se observa un escalón unitario y la función de transferencia para graficar la respuesta de esta, y se observar el comportamiento para aplicar el método de Ziegler- Nichols y hallar el controlador PID de la planta cuarto de crecimiento

- Pasó 5: luego de tener la garantía del correcto funcionamiento del comportamiento de la temperatura vs el tiempo, se realizó el ingreso de datos, tales como la ganancia proporcional, tiempo de integración y tiempo derivativo. Estos datos fueron hallados por medio del método de Ziegler - Nichols. Y es importante aclarar que algunos datos necesarios para la ecuación se hallaron a partir de un análisis de medición previo de la recta tangente, la cual fue seleccionada a partir del control en lazo cerrado y partiendo como escalón unitario la cifra numérica 1, también fue necesario recurrir a la ecuación, para hallar la función de transferencia. Tal como se muestra en la figura 46 y Ecuación 1.

Figura 46 Recta tangente hallazgo de datos necesarios



Fuente: Propia

Ecuación 10 Funcion de transferencia

$$k_p = 1.2 \frac{T}{L} \qquad L = 0.8 \text{Seg}$$

$$k_p = 1.2 \left(\frac{0.35}{0.8} \right) = 0.525 \qquad T = 0.35 \text{ Seg}$$

$$T_i = 2L$$

$$T_i = 2(0.8) = 1.6$$

$$T_d = 0.5L$$

$$T_d = 0.5(0.8) = 0.4$$

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

$$K_i = \frac{0.525}{1.6} = 0.328$$

$$K_d = T_d * k_p$$

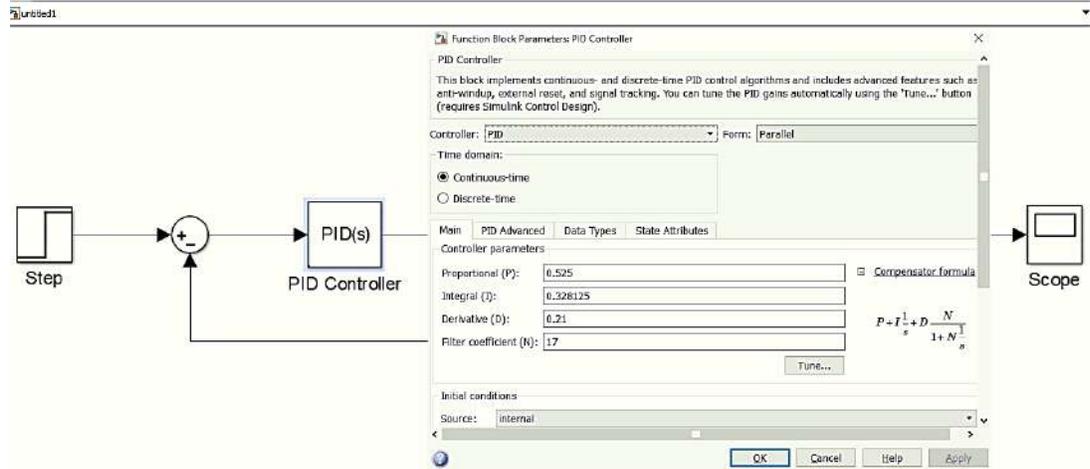
$$K_d = (0.4) * (0.525) = 0.21$$

L= Tiempo de retardo T= Constante de tiempo Ti = Tiempo de integración

Td =Tiempo derivativo Kp = Ganancia proporcional

- Pasó 6: Luego de obtener los datos del controlador PID por medio del método de Ziegler- Nichols se procede a ingresar los datos en el bloque de función de transferencia del MATLAB para el análisis y observación del lazo de control cerrado logrando visualizar en la figura 47 una retroalimentación del sistema y estabilizando la señal de control.

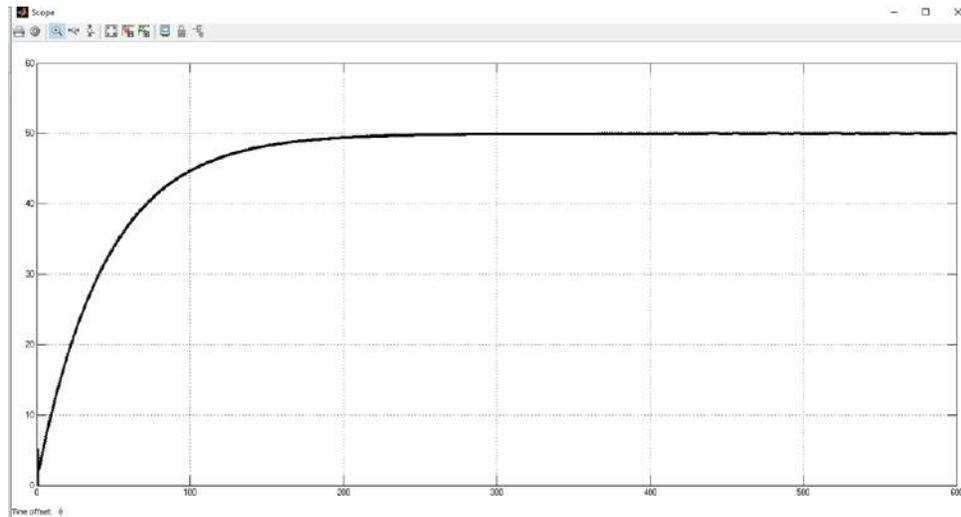
Figura 47 Simulink interfaz ingreso de datos



Fuente: propia

- Paso 7 En la gráfica 2 se puede observar que la respuesta transitoria tiene una oscilación pequeña que no afecta el sistema, donde el tiempo de estabilización es 250 segundos en la respuesta estacionaria, la gráfica muestra que el sistema en lazo cerrado no tiene sobre picos y se estabiliza en el setpoint establecido de 50°C, este controlador es óptimo para aplicarlo en el controlador PLC 1500.

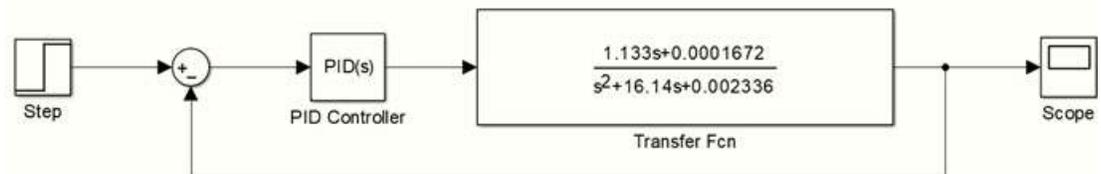
Grafica 2 Respuesta transitoria lazo cerrado



Fuente: Propia

- Paso 8: finalmente el software arroja la función de transferencia para realizar la programación del TIA PORTAL VERSION 16 que será para el funcionamiento correcto del PID la figura 43 muestra claramente la función de transferencia arrojada.

Figura 48 Función de transferencia



Fuente: propia

4.1.3 Comunicación desde el software TIA PORTAL VERSION 16 al PLC

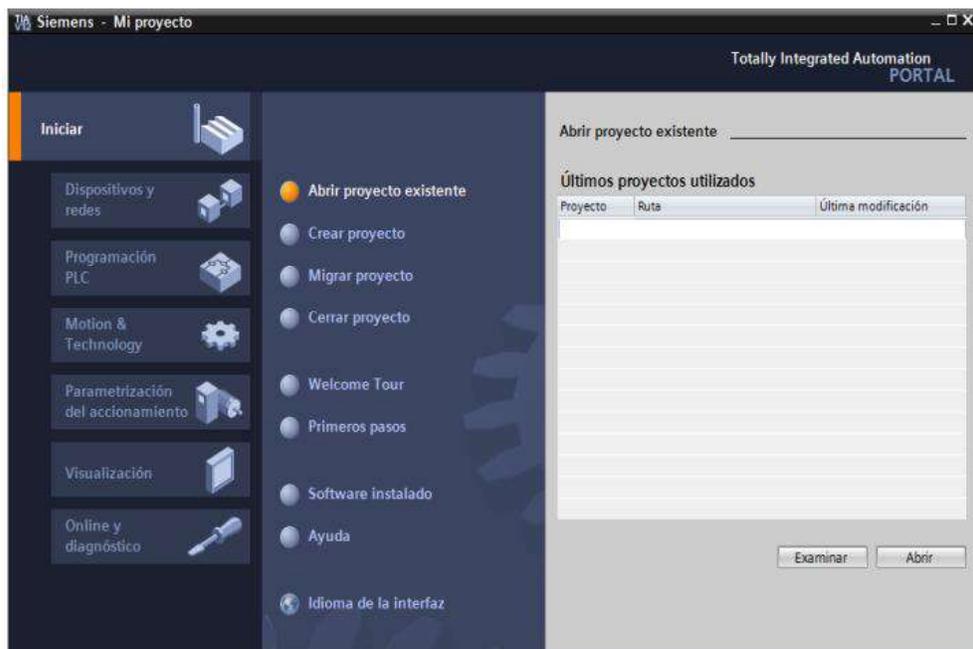
Para el funcionamiento correcto del control PID se hace vital la presencia del software “TIA PORTAL VERSION 16”, que será el encargado de comunicar el PLC S7-1500 a HMI “TP700 Confort” por medio del protocolo Profinet en la cual se estableció la asignación de la IP para cada uno de los instrumentos eléctricos utilizados, generando la interacción entre la visualización y programación para el inicio del proceso planteado.

4.1.4 Implementación por medio del software TIA portal versión 16 para programar PID

A continuación, se presentan los pasos seguidos para implementar por medio del software TIA portal versión 16 la programación del PID.

- Paso 1: Este software se presta para la programación/ parametrización de los elementos más utilizados en la automatización en la industria, se requiere un conocimiento previo de manejo del software. Se debe tener una máquina virtual para el funcionamiento correcto del programa. En la figura 49 se muestra la interfaz inicial de TIA PORTAL VERSION 16

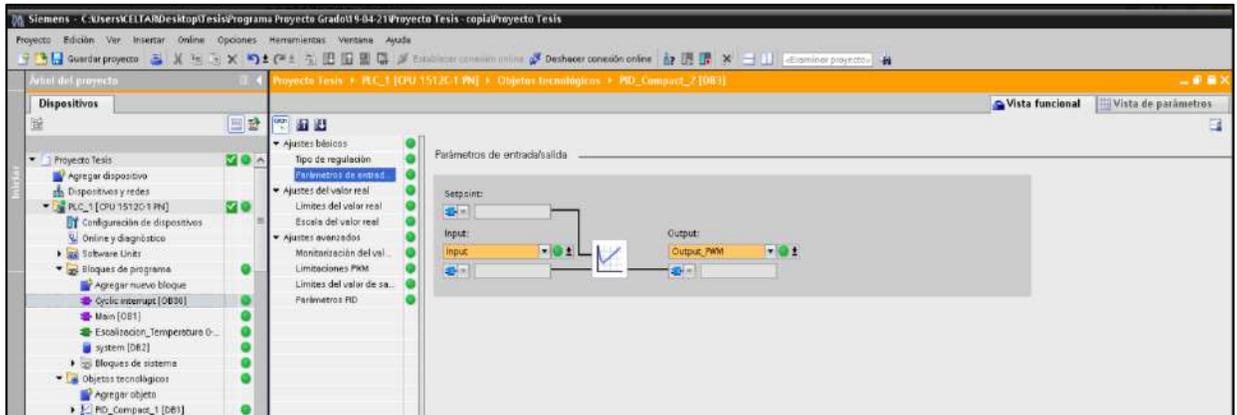
Figura 49 Interfaz inicial TIA PORTAL



Fuente: Propia

- Pasó 2: luego de hacer la configuración pertinente en el programa se debe ajustar los parámetros de entrada y salida definidos como input y output PWM esto con el fin de energizar por medio de pulso la bobina del contactor que controla la resistencia tubular. En la figura 50 se muestra la configuración de dicho proceso.

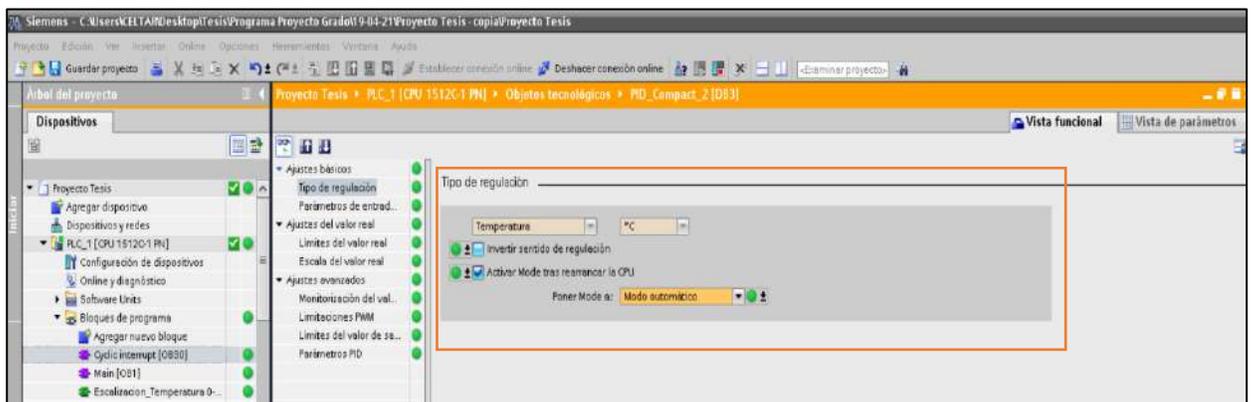
Figura 50 Configuración entrada y salida PWM



Fuente: Propia

- Paso 3: se configura los parámetros de la unidad de magnitud de temperatura, con el fin de que sea más fácil la interpretación en la HMI. En la figura 51 se muestra la configuración.

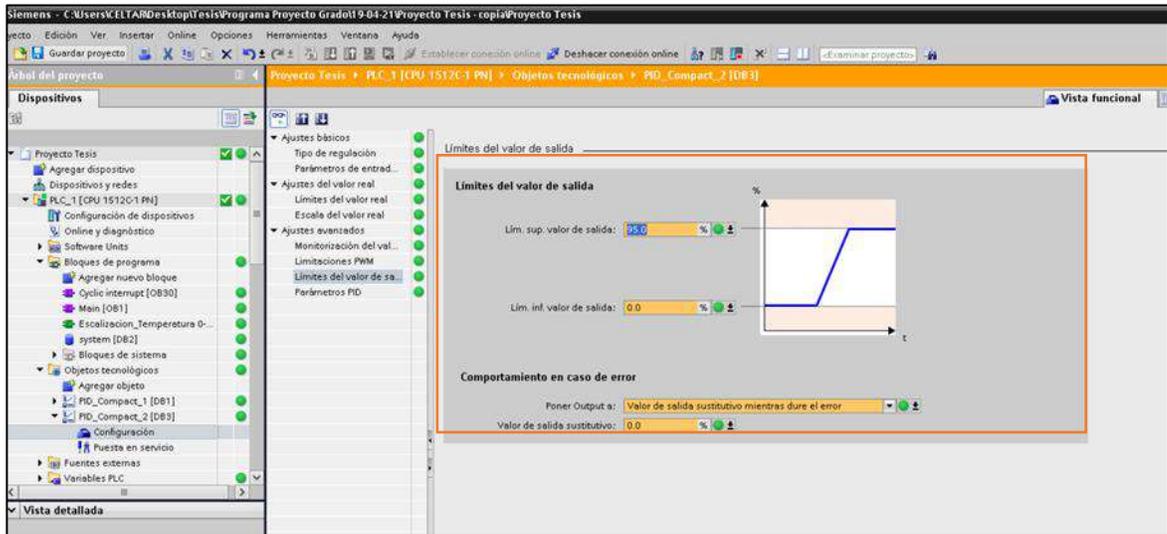
Figura 51 Configuración de la unidad de temperatura.



Fuente: Propia

- Pasó 4: se determina el tiempo de enclavamiento del contactor con el fin de generar daños en la bobina. Se configura el límite superior de salida en el 50% del PWM. En la figura 52 se muestra dicho proceso.

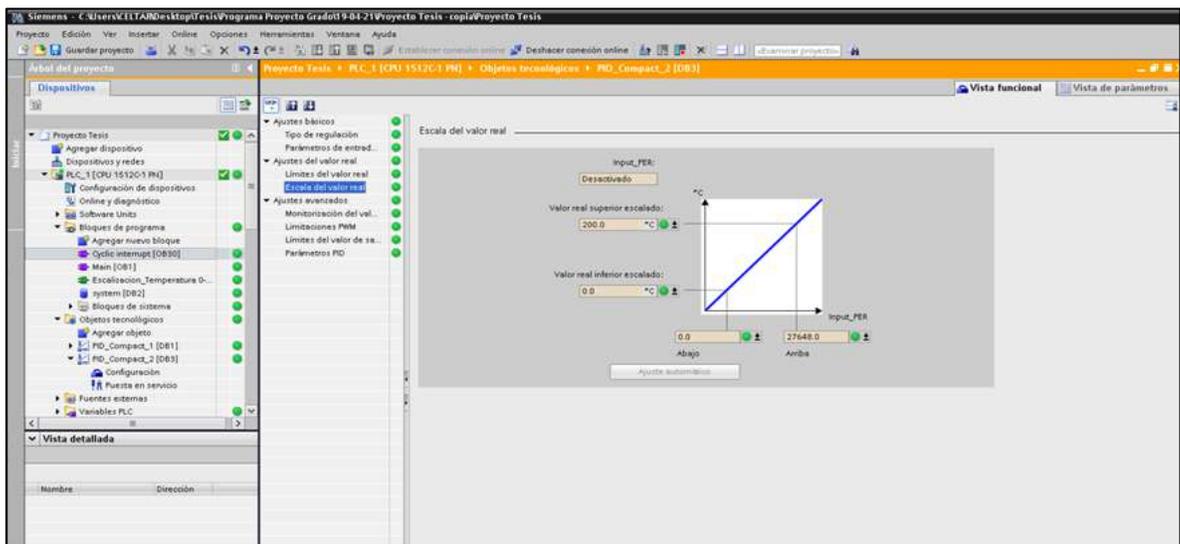
Figura 52 Configuración de límite superior



Fuente: Propia

- Paso 5: se coloca el rango del valor real superior escalado el cual se configura en 200°C, con la finalidad de no exceder la temperatura máxima que la planta requiere. Dicho proceso se evidencia en la figura 53.

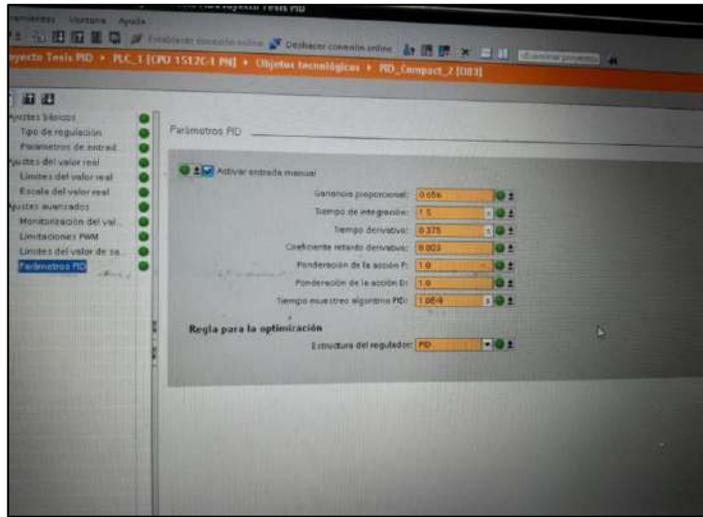
Figura 53 Configuración del valor real superior



Fuente: Propia

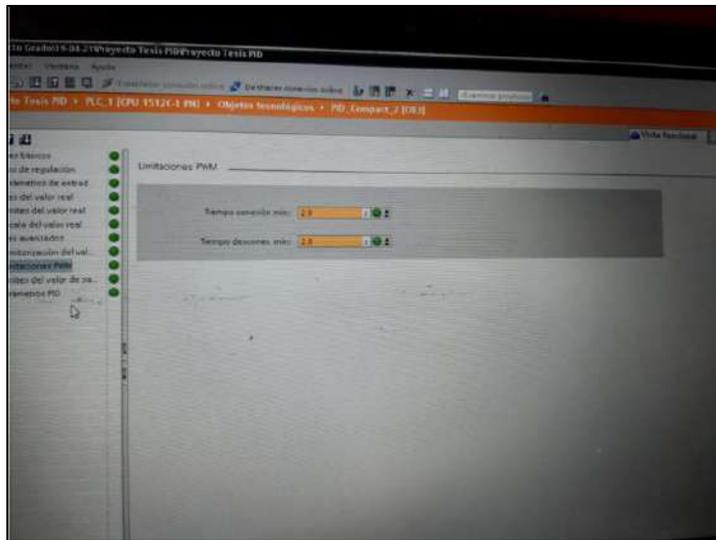
Paso 6: se ingresa los datos obtenidos de los cálculos matemáticos vistos anteriormente en el capítulo de diseño en la fase III. Con el fin de que el control PID trabaje correctamente, adicionalmente se ingresan los datos de limitaciones PWM o tiempos de conexión mínimo y máximo. Esta configuración se evidencia en la figura 54 y 55.

Figura 54 Parámetros PID



Fuente: Propia

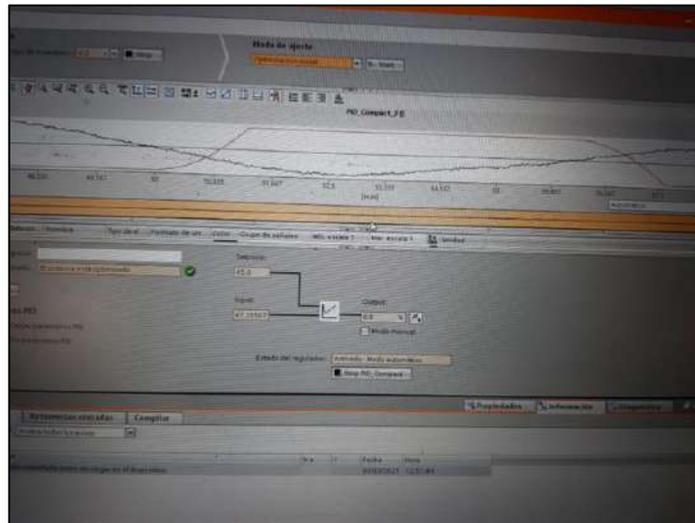
Figura 55 Limitaciones PWM



Fuente: Propia

- Paso 7: finalmente el programa nos da como resultado el funcionamiento correcto del PID del output y el scaledinput. Dicho proceso se obtuvo por los cálculos y el proceso realizado, además se evidencia el setpoint que fue configurado a 45°C con un margen de error de 2°C, esto se muestra en la figura 56.

Figura 56 Grafica de estabilidad del PID



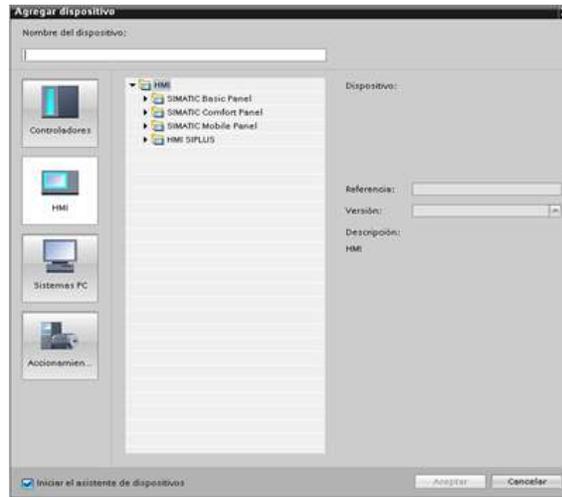
Fuente: Propia

4.1.5 Simulación por medio del software TIA PORTAEL VERSION 16 para el sistema de control HMI

Para la programación e integración correcta del sistema de control HMI se configura por medio del software TIA PORTAL VERSION 16 para la visualización y monitoreo correcto del proceso de la cámara de crecimiento. Esta configuración se logra de la siguiente manera:

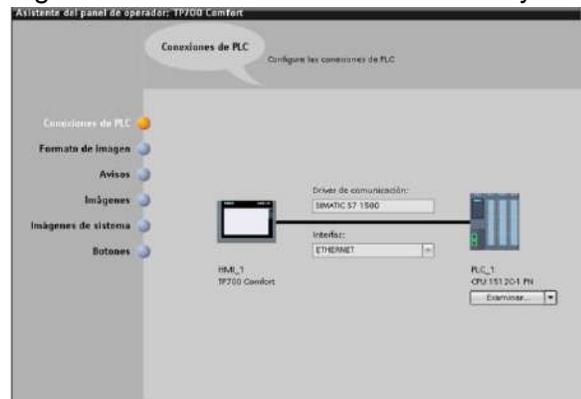
- Paso 1: Se agrega dispositivo de tipo controlador con su respectiva referencia y versión en este caso la referencia es: C6AV2124-0GC01-0AX0 y la versión es 16, de esta manera se obtiene la visualización de comunicación correcta entre la HMI y el PLC. Tal como se muestra en la figura 57 y 58 se recomienda conocimientos previos para el manejo del software.

Figura 57 Visualización de comunicación HMI y PLC



Fuente: Propia

Figura 58 Enlace correcto entre la HMI y PLC



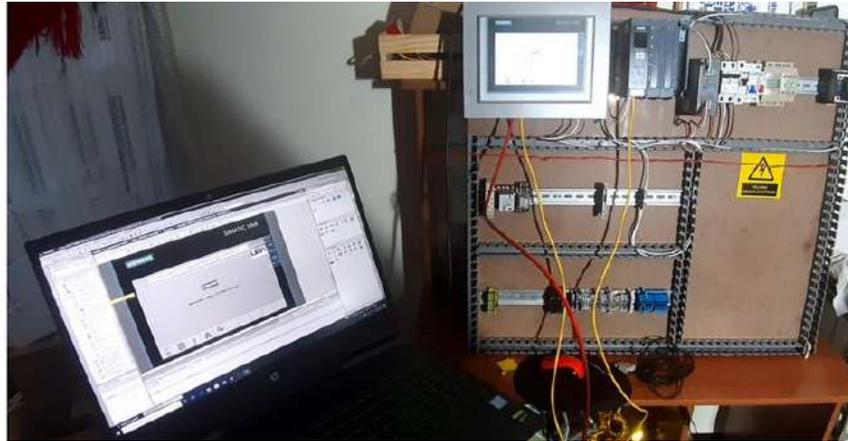
Fuente: Propia

La programación y la integración de la HMI TP700 específicamente son para monitorear de manera automática o manual los componentes de la planta como lo son la temperatura y la humedad y el encendido y el apagado. Además, esta tiene la función de tener varios usuarios los cuales tendrán finalidades de manejo diferente, uno operativo y el otro técnico.

Cabe resaltar que las anteriores pantallas se realizan por la interfaz TIA PORTAL VERSION 16 que fue diseñada e implementada por la empresa Siemens involucrando imágenes, colores de gráficas, colores de fallas, alarmas de acuerdo con el proceso, unidades de ingeniería de la medición, etc.

- Paso 2: luego de entender la parte técnica de la configuración de la HMI, se puso en marcha en el prototipo de la cámara de crecimiento obteniendo como resultado la visualización y monitoreo correcto de la planta, como se evidencia en la figura 59 del modelo real.

Figura 59 Modelo real de la HMI



Fuente: Propia

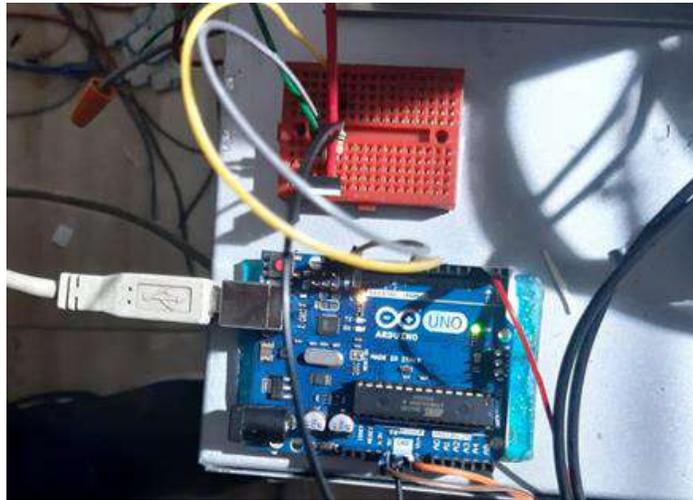
4.1.6 Implementación del sistema de Control On-Off

El control on-off para este prototipo de cuarto de crecimiento se realizó teniendo en cuenta dos factores importantes en primer lugar está el proceso de crecimiento de la materia prima, que debe ser la ideal y deseada por el cliente y el segundo factor es la humedad que debe estar dentro del rango aproximado del 40% al 80%.

Para ser eficaz este proceso se debe realizar la instalación de un sensor de humedad con referencia DHT22(AM2302), que actúa por medio del control on-off y la válvula solenoide Serie 1393 permitiendo una conexión correcta con la placa de Arduino uno. Tal como se muestra en la figura 60 y 61 donde se realizó el montaje real para el funcionamiento de la cámara de crecimiento, por medio de la conexión directa del PLC.

Además, se tiene en cuenta que el sensor debe manejar una buena precisión al momento de detectar la humedad al interior del equipo en funcionamiento, para que el resultado final del producto sea el esperado, adicional a eso que sea un sensor fácil de realizarle mantenimientos preventivos y correctivos.

Figura 60 Comunicación Arduino Uno



Fuente: Propia

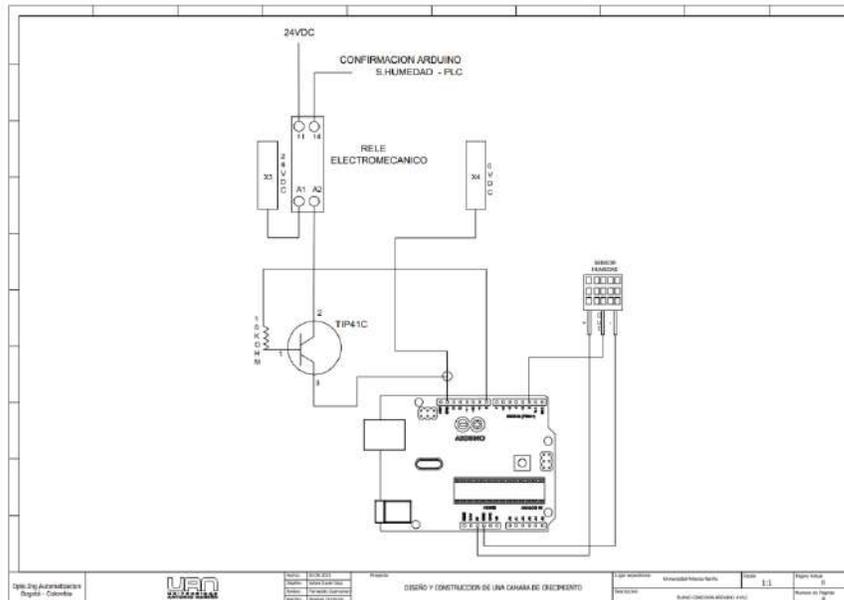
Figura 61 Conexión sensor humedad



Fuente: Propia

En la figura 62 se aprecia un plano eléctrico detallado de cómo es la conexión eléctrica y la comunicación desde la Arduino Uno al PLC, esto con el fin de tener una lectura correcta humedad.

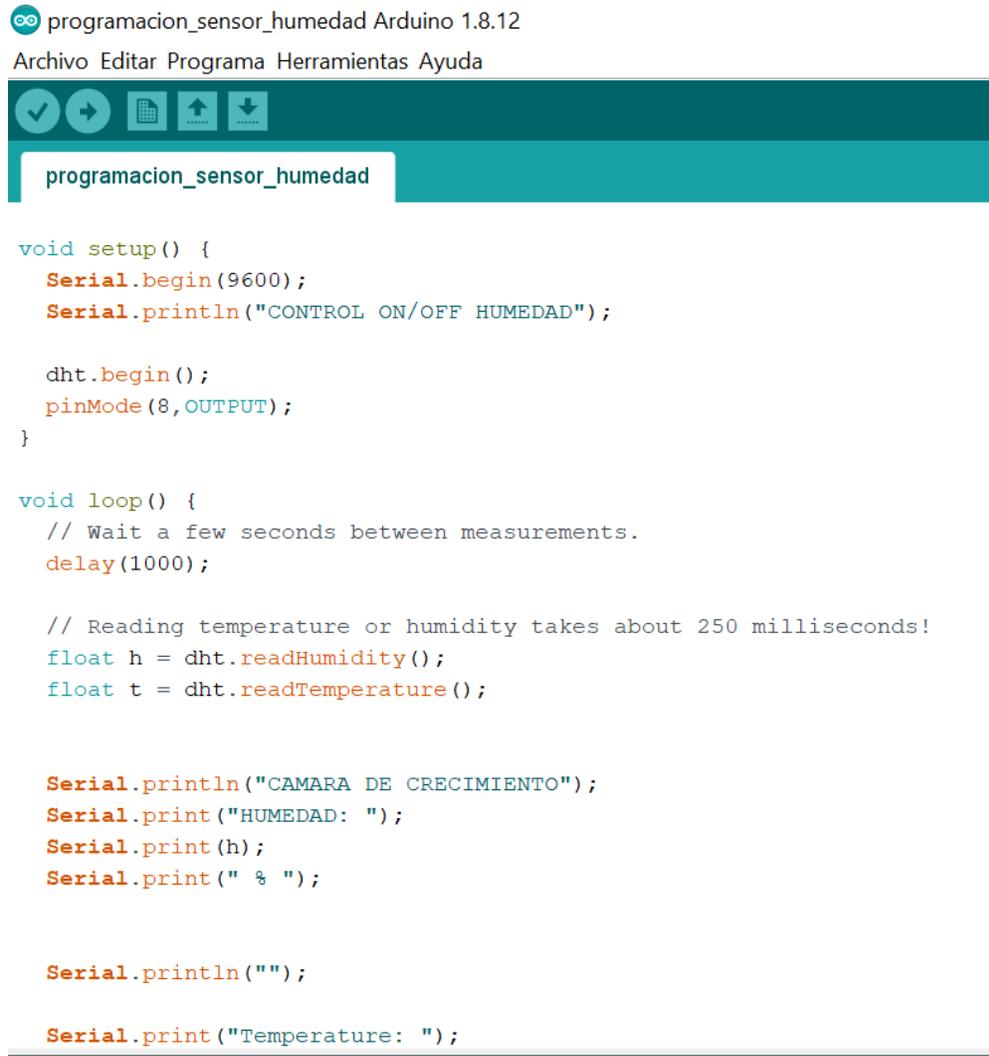
Figura 62 Plano eléctrico Arduino



Fuente Propia

También, por medio de la librería en el software Arduino, se hizo la llamada del sensor DHT11, esto con el fin de utilizar las funciones de la librería, para poder medir la humedad dentro del cuarto de crecimiento. Así como se muestra en la figura 63.

Figura 63 Resultado final de medición de humedad



```
programacion_sensor_humedad Arduino 1.8.12
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

programacion_sensor_humedad

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CONTROL ON/OFF HUMEDAD");

  dht.begin();
  pinMode(8, OUTPUT);
}

void loop() {
  // Wait a few seconds between measurements.
  delay(1000);

  // Reading temperature or humidity takes about 250 milliseconds!
  float h = dht.readHumidity();
  float t = dht.readTemperature();

  Serial.println("CAMARA DE CRECIMIENTO");
  Serial.print("HUMEDAD: ");
  Serial.print(h);
  Serial.print(" % ");

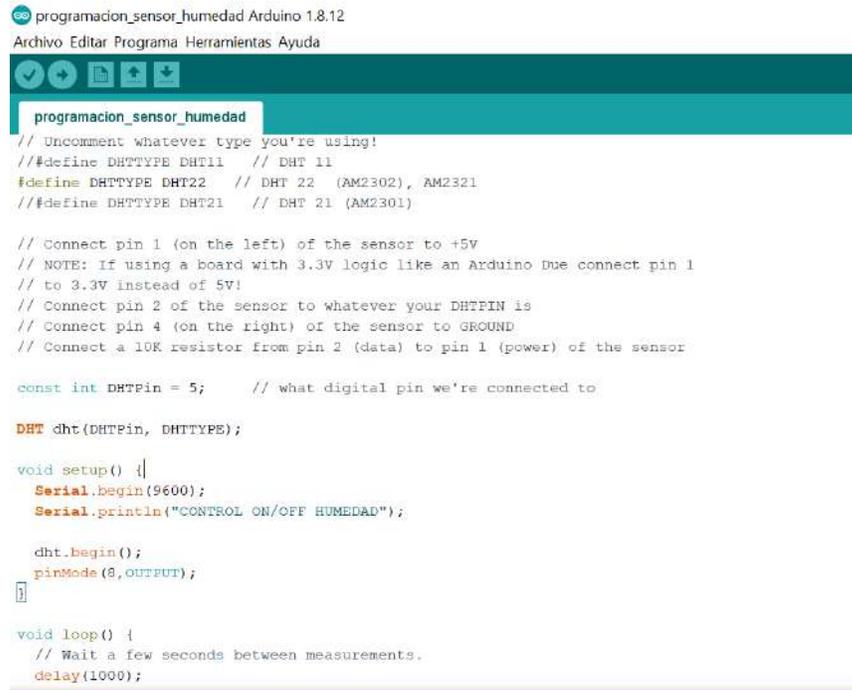
  Serial.println("");

  Serial.print("Temperature: ");
```

Fuente: Propia

En la figura 64 se aprecia cómo se programa la salida del sensor de humedad al pin número 8 de la tarjeta Arduino, con el fin de obtener una correcta lectura de humedad. También se utilizó en la parte de Void Setup número 9600 para iniciar el monitor serial.

Figura 64 Salida del sensor de humedad



```
programacion_sensor_humedad Arduino 1.8.12
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

programacion_sensor_humedad
// Uncomment whatever type you're using!
//#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
//#define DHTTYPE DHT21 // DHT 21 (AM2301)

// Connect pin 1 (on the left) of the sensor to +5V
// NOTE: If using a board with 3.3V logic like an Arduino Due connect pin 1
// to 3.3V instead of 5V!
// Connect pin 2 of the sensor to whatever your DHTPIN is
// Connect pin 4 (on the right) of the sensor to GROUND
// Connect a 10K resistor from pin 2 (data) to pin 1 (power) of the sensor

const int DHTPin = 5; // what digital pin we're connected to

DHT dht(DHTPin, DHTTYPE);

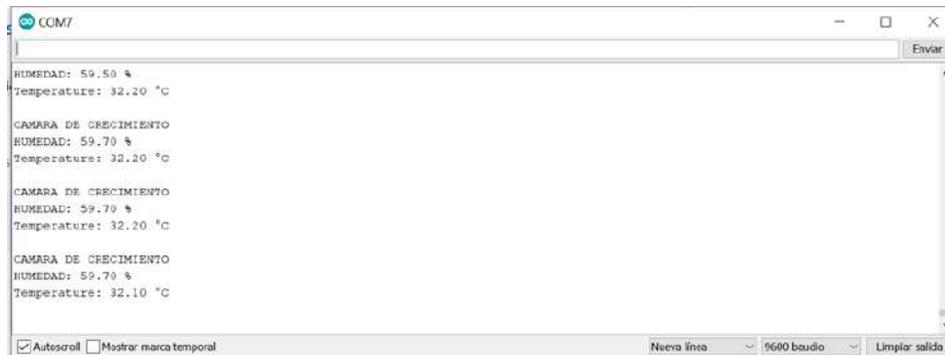
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("CONTROL ON/OFF HUMEDAD");

  dht.begin();
  pinMode(8, OUTPUT);
}

void loop() {
  // Wait a few seconds between measurements.
  delay(1000);
}
```

Fuente: propia

Figura 65 Dato interno del cuarto de crecimiento, respecto a la humedad



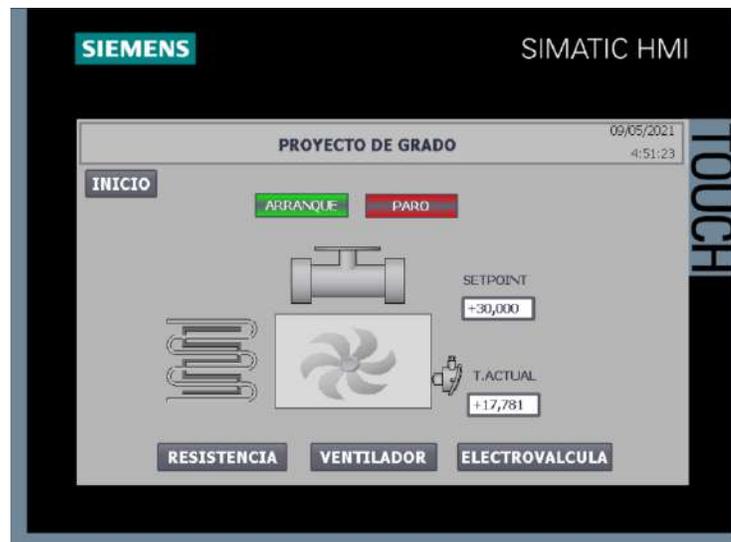
Fuente: propia

Se da clic en el software Arduino, opción monitor serie, con el fin de ver la humedad en tiempo real del cuarto de crecimiento. Para monitorear el porcentaje de humedad al interior de la plata como se muestra en la figura 65.

4.1.7 Proceso de monitoreo del cuarto de crecimiento por medio de una HMI.

En esta sección del capítulo de implementación se va a mostrar por medio de figuras el funcionamiento correcto de la planta a partir de la HMI, se visualizará el panel principal de control, donde se encuentran los componentes del cuarto de crecimiento para poder monitorear su actividad tanto su puesta en marcha, como la finalización del proceso además de tener la posibilidad verificar el estado que se encuentran los componentes de la planta. A continuación, en la figura 66 se puede visualizar el panel principal de control.

Figura 66 Panel principal de control



Fuente: Propia

Luego de ingresar al panel principal de control el operario técnico tiene la posibilidad de seleccionar cualquiera de los tres componentes que se visualizan en la pantalla, en este caso son, la resistencia, el ventilador y la electroválvula. Para poder hacer el monitoreo de los componentes se debe seleccionar uno a la vez para poder hacer la prueba del funcionamiento.

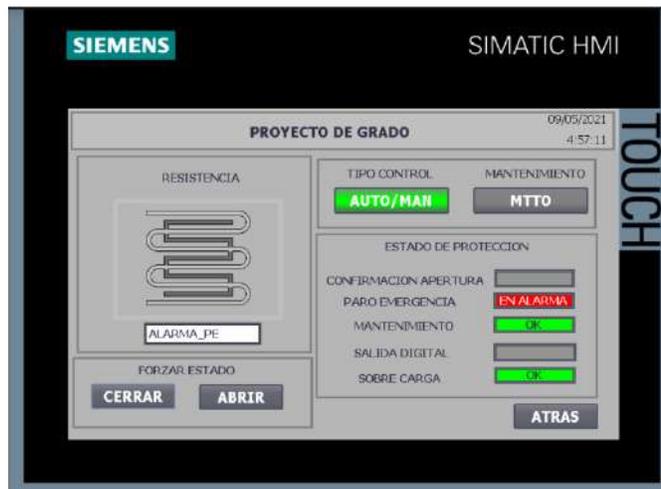
Figura 67 Alarma de sobre carga de la resistencia



Fuente: Propia

En la figura 67 se visualiza una alarma de sobrecarga en la resistencia. Que se puede supervisar para evitar daños futuros en la resistencia y que la planta no quede fuera de servicio. Asimismo, se muestra en la figura 68 otro tipo de alarma en este caso de paro de emergencia, la gran ventaja de poder monitorear estas alarmas es poder reaccionar inmediatamente.

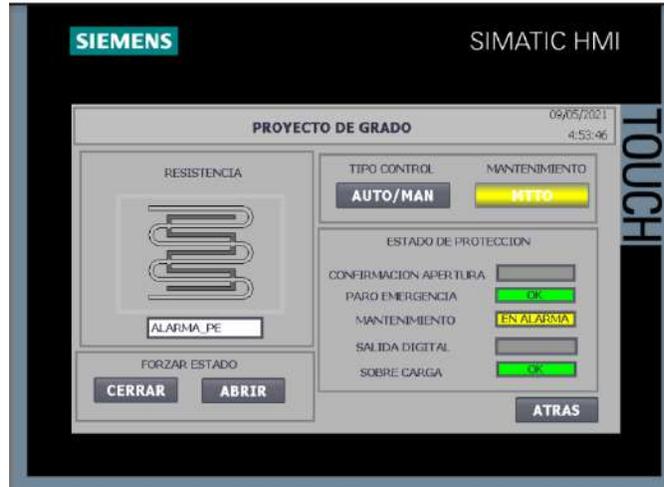
Figura 68 Alarma de paro de emergencia de la resistencia



Fuente: Propia

Luego de identificar las alarmas o los errores con respecto a la resistencia, se puede por medio de la pantalla, ejecutar el mantenimiento respectivo, puede ser preventivo o correctivo según sea el caso. En la figura 69 se visualiza lo anteriormente dicho.

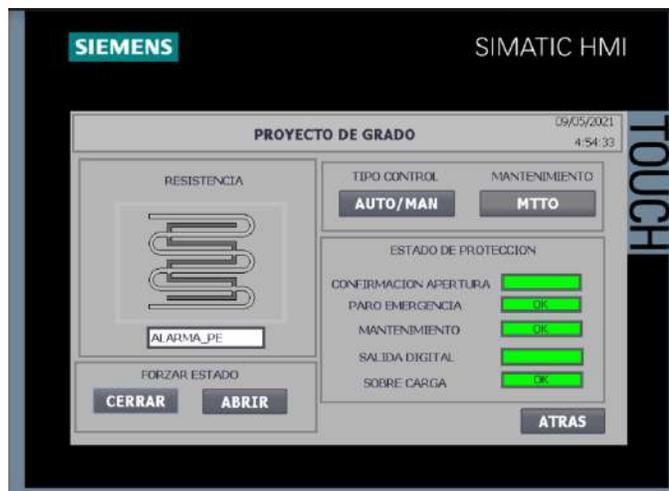
Figura 69 Alarma mantenimiento



Fuente: Propia

Finalmente, luego que el operario conociera los errores del componente y realizara el mantenimiento respectivo, la pantalla debe mostrar la operatividad correcta del funcionamiento de la resistencia, en este caso. Esto se muestra en la figura 70.

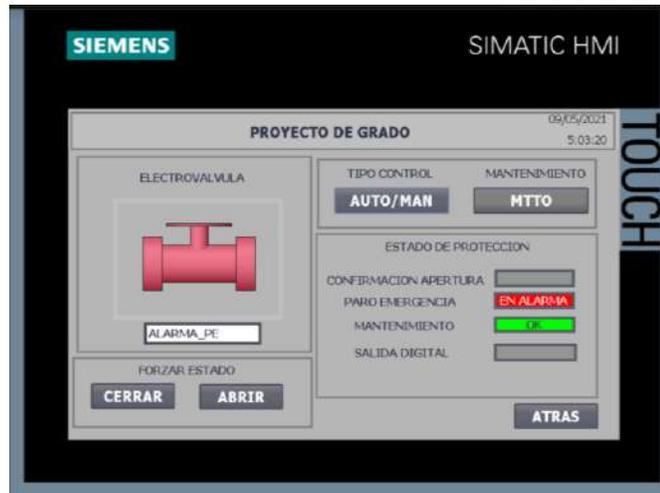
Figura 70 Alarma de correcto funcionamiento resistencia



Fuente: Propia

Como se explicó anteriormente desde el panel principal se puede ingresar a todos los componentes, en este caso se visualiza una alarma de paro de emergencia que desactiva la electroválvula, tal como se muestra en la figura 71.

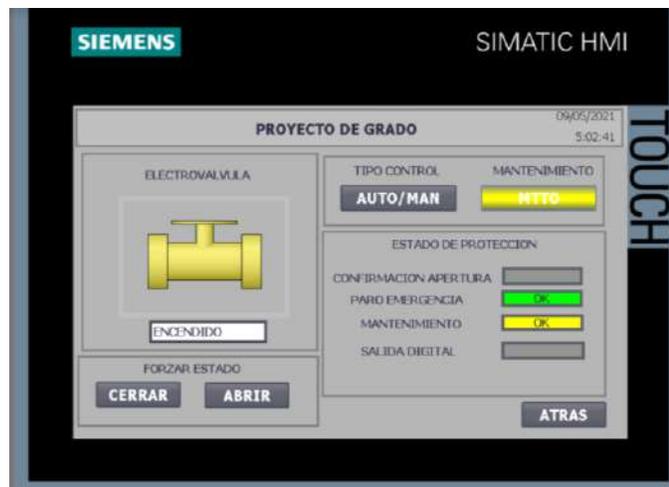
Figura 71 Alarma de paro de emergencia de electroválvula



Fuente: Propia

Luego de diagnosticar el error presentado por la alarma de paro de emergencia, fue pertinente proceder al mantenimiento de este, tal como lo indica la figura 72.

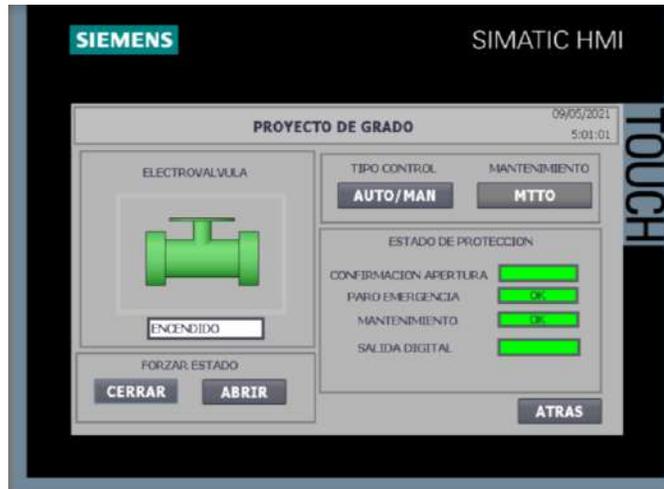
Figura 72 Alarma de mantenimiento electroválvula



Fuente: Propia

Finalmente, luego de realizar el mantenimiento respectivo se visualiza el correcto funcionamiento del componente, lo que da luz verde para continuar su proceso. Así como se muestra en la figura 73.

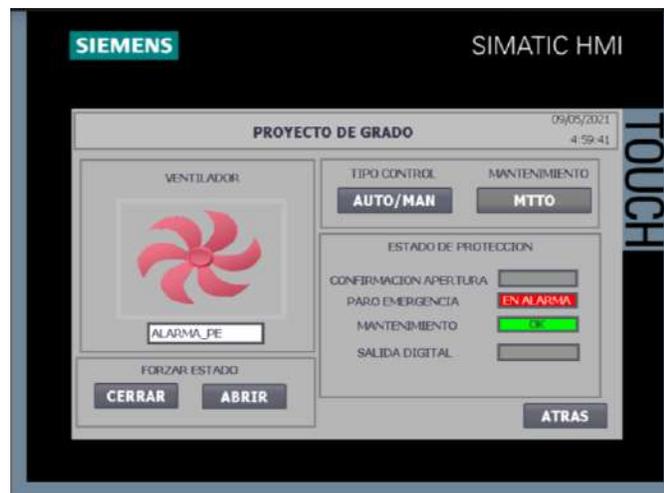
Figura 73 Alarma de correcto funcionamiento electroválvula



Fuente: Propia

Asimismo, como las anteriores visualizaciones se encuentra el motor ventilador que presenta una alarma de paro de emergencia, que detiene el funcionamiento de este componente, como se muestra en la figura 74.

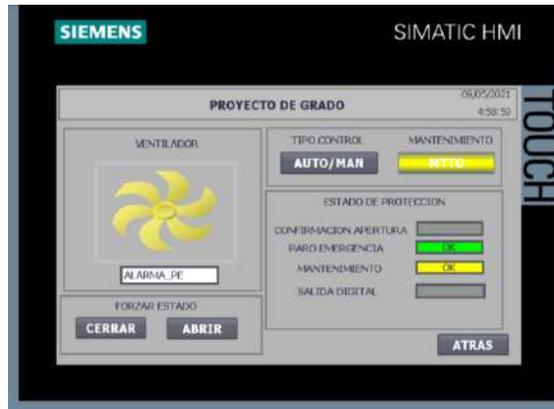
Figura 74 Alarma de paro de emergencia de motor ventilador



Fuente: Propia

Luego de encontrar la falla presentada por la alarma de paro de emergencia fue pertinente proceder al mantenimiento respectivo de esta, tal como se visualiza en la figura 75.

Figura 75 Alarma de mantenimiento de motor ventilador



Fuente: Propia

Finalmente, luego proceder a realizar el mantenimiento el equipo queda en correcto funcionamiento para continuar con el proceso determinado, tal como se muestra en la figura 76.

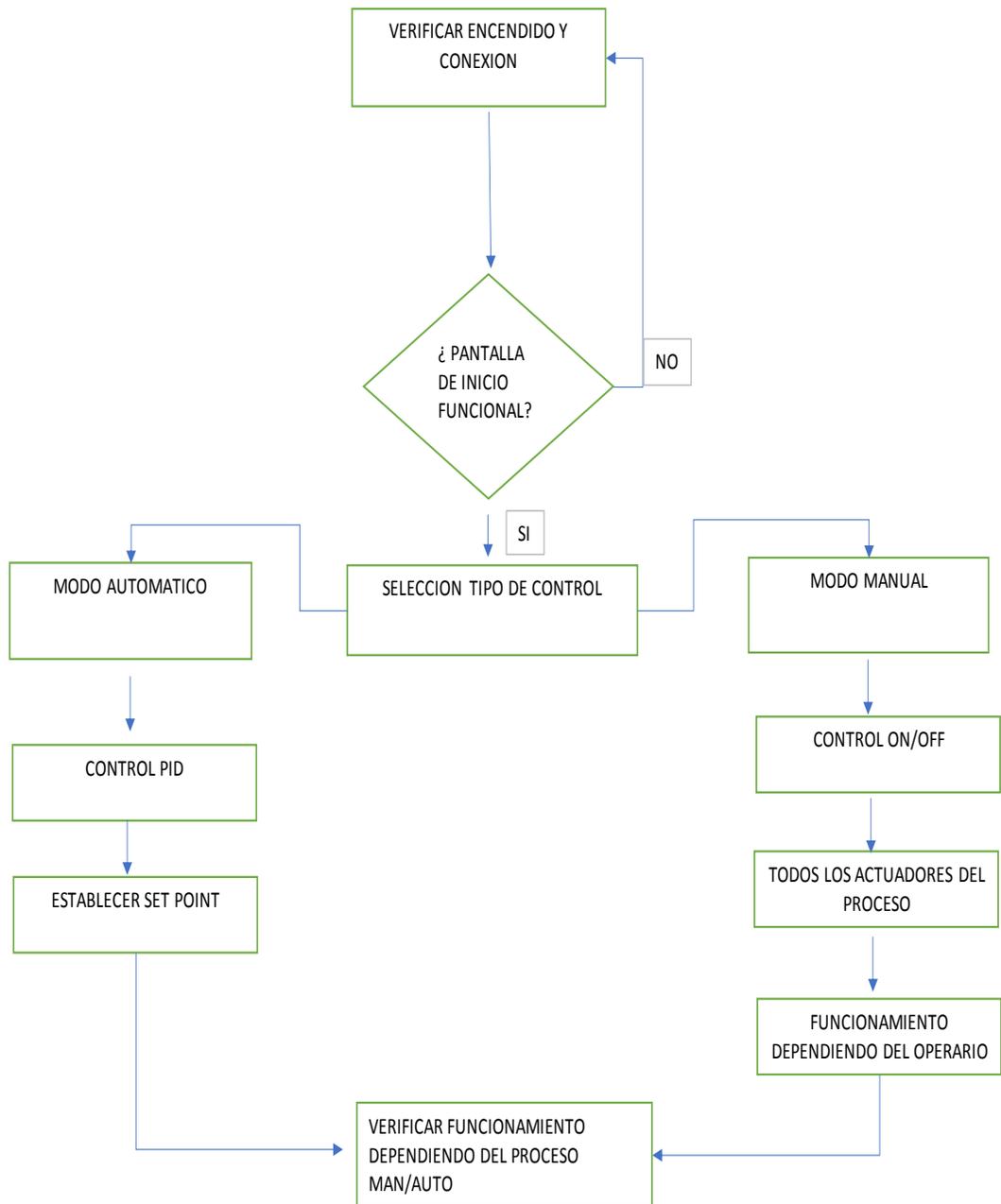
Figura 76 Alarma de correcto funcionamiento motor ventilador



Fuente: Propia

Esta es la manera correcta de monitorear la planta por medio de la HMI, siendo este un proceso útil, rápido e intuitivo para el operario técnico que manipule el cuarto de crecimiento.

Figura 77 Flujoograma Control PLC

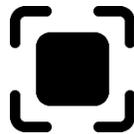


Fuente: Propia

4.2 FASE VI MANUAL DE OPERACIONES E INSTALACIÓN DE LA CUARTO DE CRECIMIENTO

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PUESTA EN MARCHA

1 Instalación Inicial: Primero se debe tener en cuenta el sitio en que se vaya a instalar el equipo, porque debe estar alejado de polución debe ser un área despejada para la manipulación de la materia prima, contar con un tomacorriente de 110 VAC en donde sea fácil el acceso de conexión.



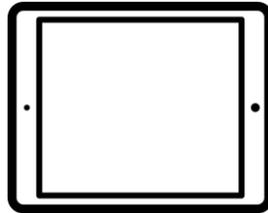
2. Verificación de Alimentación: El operario a cargo del departamento de mantenimiento, debe estar en condiciones óptimas de verificar la alimentación del voltaje (V) por el sistema eléctrico, comprobando que las condiciones sean correctas para el proceso de encendido.



3. Ingreso de materia prima: Inicialmente se despliega la puerta del equipo de forma manual, donde se ajustan la bandeja con su respectiva materia prima y se introduce para empezar el proceso de forma automática.



4. Puesta en marcha del Equipo: Luego de seguir minuciosamente los pasos anteriores, el operario de mantenimiento energizará los breakers de potencia del sistema, en los cuales se realiza el encendido total de la planta, verificando por medio de la HMI la pantalla inicial del proceso.



5. Apagado del Equipo: Se recomienda que el equipo se encuentre sin materia prima al interior y con la puerta cerrada para que el operario baje el breaker y desenergice el equipo.



4.2.2 Conexiones hidráulicas

La conexión hidráulica debe cumplir con los códigos de seguridad sanitarios aplicables, que en este caso están reglamentados por la NTC-1500 norma técnica colombiana de instalaciones hidráulicas y sanitarias. Para el funcionamiento correcto de la conexión hidráulica del cuarto de crecimiento, la válvula solenoide debe ser de ½ " NPT está localizada en la parte trasera del equipo, además el suministro de agua debe tener una presión de 0.5 psi. Como se muestra en la figura 78.

Figura 78 Conexiones hidráulicas



Fuente: Propia

4.2.3 Conexiones eléctricas

El cuarto de crecimiento se conforma con las siguientes características eléctricas: que están referenciadas en la tabla 21, esto con la finalidad de dar un concepto al personal de mantenimiento a la hora de instalar y poner en marcha el equipo.

Tabla 21 Conexiones eléctricas

DATOS ELÉCTRICOS	
Voltaje	110 V
Frecuencia	60 Hz
Corriente	10 A
Fase	1

Fuente: Propia

4.2.4 Modalidad de Limpieza

1. Se recomienda en cada procedimiento que se realice asegurarse de estar con bloqueo eléctrico cada equipo que se tenga que intervenir.
2. El equipo tiene facilidades a la hora de la limpieza interna lo recomendable es realizarlos con un paño húmedo evitando todo contacto con algún instrumento eléctrico.
3. Se recomienda limpiar la pantalla diariamente con un paño seco
4. Con un paño húmedo se recomienda asear el interior de la cámara con desengrasante industrial de su preferencia
5. Se aconseja al momento de la limpieza tener precaución con la termocupla de temperatura y el sensor de humedad
6. No se recomienda hacer la limpieza del equipo con manguera con alta presión

4.2.5 Mantenimiento

1. Se aconseja utilizar guantes dieléctricos y todo el kit de bloqueo y etiquetado siempre recordando las 5 reglas de oro eléctricas.
2. Se debe notificar a la persona encargada del área el procedimiento del bloqueo, etiquetado del equipo.
3. Es de suma importancia cada equipo a intervenir ponerlo en modo mantenimiento desde la HMI si es necesario su ejecución sin necesidad de detener todo el sistema.
4. Se recomienda que una vez realizado el mantenimiento se le comunique al operario para la verificación correcta del equipo para verificar su correcto funcionamiento se puede comprobar por medio de HMI mediante la visualización de cada instrumento en el proceso logrando forzar el instrumento el modo manual para su correcto funcionamiento después de su mantenimiento.
5. Es importante que el mantenimiento del equipo lo realice personal calificado.

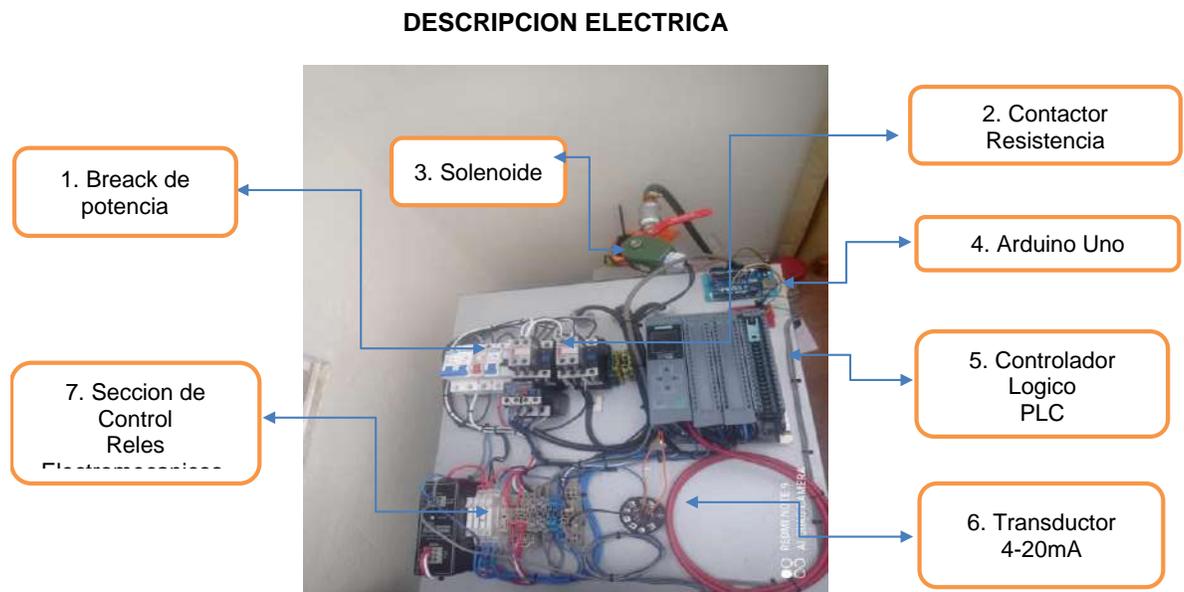
Figura 79 Descripción estructural



Fuente: Propia

La descripción estructural se puede observar en la figura 79 , pero si se quiere obtener al detalle , en el capítulo de anexos se encuentra despiezado. Al igual que la descripción eléctrica se visualiza en la figura 80.

Figura 80 Descripción eléctrica



Fuente: Propia

4.2.6 Operación

Para iniciar la operación se muestra la pantalla, donde se observa el nombre del prototipo, el tutor, nombre de los autores y por último el botón de arranque, como se visualiza en la figura 81.

Figura 81 Pantalla inicial del prototipo



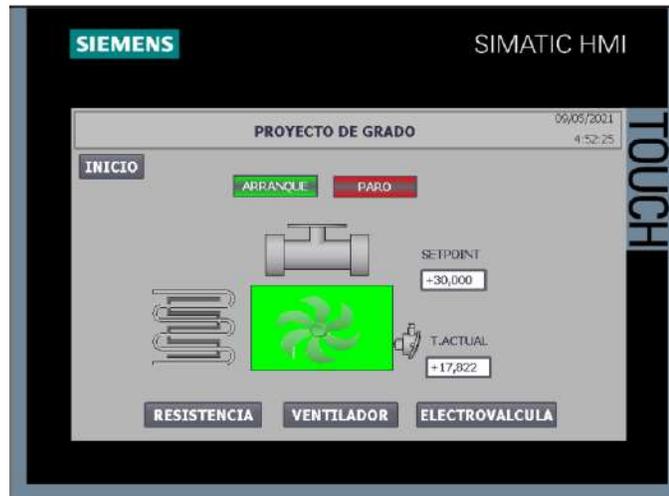
Fuente: Propia

En la figura 82 se observa todos los componentes que utiliza la planta, logrando por medio de colores el estado del equipo, los cuales se describen en el siguiente orden:

- Color verde equipo en funcionamiento
- Color gris equipo sin funcionamiento
- Color rojo equipo con una seguridad activa
- Color amarillo equipo en mantenimiento

Cabe resaltar que cada uno de los componentes del equipo, pueden ser usados en modo manual o automático, tal como lo requiera el operario .

Figura 82 Visual de los componentes del prototipo



Fuente: Propia

A continuación se explica el modo de funcionamiento, respecto a cada color .El color gris evidencia que el equipo está sin funcionamiento y solo funcionara cuando este entre modo operativo de color verde. Tal como se muestra en la figura 83.

Figura 83 Modo color gris



Fuente: Propia

El color verde del equipo, indica que se encuentra en correcto funcionamiento y está listo para iniciar operación, tal como se evidencia en la figura 84.

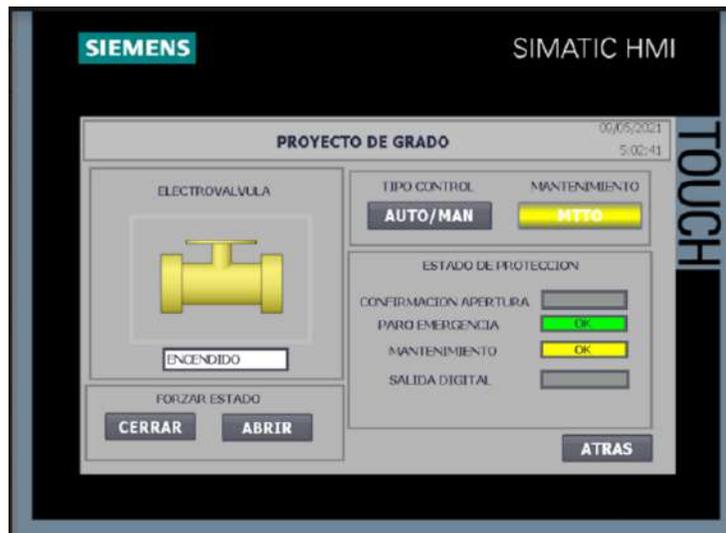
Figura 84 Modo color verde



Fuente: Propia

El color amarillo del equipo indica que algo no está bien para funcionar, y que se debe hacer cargo el departamento de mantenimiento para solucionar dicha alarma. Tal cómo se visualiza en la figura 85.

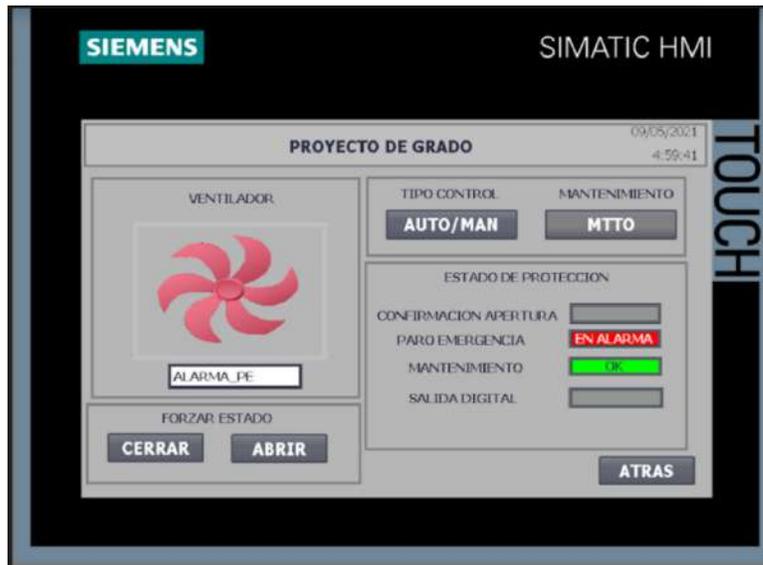
Figura 85 Modo color amarillo



Fuente: Propia

Y finalmente el Color rojo indica que existe una seguridad activa y que de manera brusca se detuvo el proceso del interior de la maquina como se muestra en la figura 86. Dicha alarma debe ser ajustada por el operario de mantenimiento.

Figura 86 Modo color rojo



Fuente: Propia

4.2.7 Solución de problemas

Tabla 22 Solución de problemas

SOLUCIÓN DE PROBLEMAS		
PROBLEMA	CAUSA POSIBLE	ACCION CORRECTIVA
El controlador no enciende después de presionar el botón de star/stop	El equipo no está conectado o el controlador dejo de funcionar	Revisar que haya voltaje en la toma eléctrica
La pantalla HMI no responde	Falta de comunicación con el PLC	Revisar las conexiones desde la HMI al PLC
El motor ventilador dejo de funcionar	Falta de voltaje	Revisar salida del contactor
Que el equipo no caliente	Daño en la resistencia tubular	Cambiar pieza
La materia prima no crece adecuadamente	Daño en el sensor de humedad	Cambio de la pieza

Fuente: Propia

5 RESULTADOS

Se diseñó y se construyó satisfactoriamente el prototipo del cuarto de crecimiento, por medio de la investigación realizada y con la ayuda del software SolidWorks, esto fue vital para continuar con el desarrollo del proyecto.

La caracterización se realizó determinando los rangos y condiciones de operación de las diferentes variables de cada uno de los componentes de la planta, lo cual permitió encontrar las fichas técnicas apropiadas que aportaron el funcionamiento correcto del cuarto de crecimiento.

En el diseño de los planos eléctricos se realizó con la ayuda del software AUTOCAD con la finalidad de realizar el conexionado de acuerdo a los planos elaborados por los autores.

El diseño del control PID se logró por medio del análisis que se obtuvo mediante el método de Ziegler y Nichols y la ayuda del software MATLAB. Además, el diseño del control ON-OFF se obtuvo mediante el Arduino Uno y esto ayudo a la optimización de los recursos.

El modelado matemático se ejecutó por medio de MATLAB y la simulación del PLC y HMI fueron posibles gracias al software TIA PORTAL VERSION 16.

La implementación de los sistemas de control de temperatura y humedad se logró mediante la instalación de los sensores, actuadores y demás componentes de acuerdo con su caracterización, y asegurando su correcto funcionamiento por medio de una programación adecuada.

El monitoreo y visualización del proceso de crecimiento fue posible por medio de la programación en Ladder y la comunicación del PLC con la HMI empleando el protocolo PROFINET

El manual de instalación, operación y mantenimiento del cuarto de crecimiento se realizó de acuerdo con las especificaciones de los componentes de la materialidad y del tamaño del cuarto de crecimiento.

6 CONCLUSIONES

El diseño, construcción e implementación del prototipo del cuarto de crecimiento se obtuvo por medio del desarrollo exitoso de los objetivos específicos propuestos, que fueron planteados en este documento y enriquecidos por la experiencia académica y laboral de los colaboradores de la presente tesis.

Se puede concluir que el diseño realizado cumple con las necesidades y expectativas de la industria panificadora, Por esta razón el prototipo se diseñó enfocado en servir a las pequeñas y medianas empresas (MyPimes) gracias a su tamaño, costo y fácil operación.

Se concluye que la caracterización realizada a los componentes del cuarto de crecimiento está sobre los parámetros aceptables para el funcionamiento del prototipo, además esto apoyo a la correcta elección de las piezas tanto eléctricas como mecánicas, lo que hizo posible la creación del cuarto de crecimiento. Debido a que se determinó que los costos están sobre lo presupuestado.

Luego de tener los diseños, se desarrolló la construcción del cuarto de crecimiento que se llevó a cabo por medio de dos etapas, la primera fue la fase estructural, donde se dispuso el material para ser cortado y ensamblado y de esta manera se obtuvo la estructura, para luego proceder a la segunda fase que fue la instalación eléctrica de los componentes al interior y exterior del cuarto de crecimiento.

Asimismo para la implementación del cuarto de crecimiento, fue indispensable acudir al modelado matemático del control en lazo cerrado PID, la simulación por medio del software TIA PORTAL VERSION 16 con comunicación al PLC y el correcto monitoreo al interior de la planta por medio de la HMI, también es importante concluir que se hizo uso de la herramienta software MATLAB para encontrar la función de transferencia del PID , con el fin de que el cuarto de crecimiento funcionara en su parte eléctrica correctamente y de esa manera volverlo automatizado para la eficiencia del proceso en la industria alimentaria

También fue necesario la implementación del control on-off, ya que es vital por ser un elemento necesario para el correcto crecimiento de la materia prima, este proceso fue optimizado por medio de una tarjeta de referencia Arduino Uno y un sensor de humedad referencia DHT22 (AM2302). Con la implementación de estos componentes se vio beneficiado el presupuesto inicial.

Finalmente, en el proceso del diseño, construcción e implementación del cuarto de crecimiento se hizo necesario elaborar un manual de instalación, operación y mantenimiento del equipo para facilitarle a las Mipymes el uso y conservación adecuada del cuarto de crecimiento.

De esta manera se dio por terminado el diseño la construcción y la implementación del cuarto de crecimiento, abriendo una oportunidad para que se vean beneficiadas

aquellas Mipymes dentro del mercado alimentario, permitiendo abrir el campo de acción dentro de un marco tecnológico que aporta a la eficiencia de la producción industrial.

7 BIBLIOGRAFIA

- Álamo Cantanero, Teodoro, *Diseño del Controlador PID*, España, Sf P.1-37 Disponible en: http://www.esi2.us.es/~alamo/Archivos/Certificaciones/Sec_9_Otras_Publicaciones/Docente/AlamoPIDTotal.pdf
- CENGEL, YUNES.A, *Termodinámica*, 7 ed. Nevada, 2012, P, 1-1041 Disponible en: <http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodin%C3%A2mica/Material%20Did%C3%A1tico/Livro%20-%20Cengel/Termodinamica%20-%20Cengel%207th%20-%20espanhol.pdf>
- COLOMBIA, MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 683 de 2012 *Reglamento Técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano*, Bogotá ,2012.P.1-21, Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0683-de-2012.pdf>
- COLOMBIA MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 835 de 2013 *Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos de vidrios y cerámicas destinados a estar en contacto con alimentos y bebidas para el consumo humano* Bogotá ,2013.P.1-5 Disponible en : <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-0835-de-2013.pdf>
- COLOMBIA MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 835 de 2013 *Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos plásticos y elastoméricos y sus aditivos, destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano*, Bogotá, 2013.P.1-13 Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-4143-de-2012.pdf>
- COLOMBIA MINISTERIO DE SALUD Y PROTECCION SOCIAL. Resolución 835 de 2013 *Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios que deben cumplir los materiales, objetos, envases y equipamientos metálicos destinados a entrar en contacto con alimentos y bebidas para consumo humano*, Bogotá, 2013.P.1-16, Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-4142-de-2012.pdf>
- Editores SRL. (Junio de 2018). Historia de un sistema de automatización. AADECA Revista, 38-43 https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/aa8_siemens_automatizacion.pdf
- Gonçalves, R. S., Palmero-Marrero, A. I., & Oliveira, A. (2020). Educational solar energy tool in Matlab environment. *Energy Reports*, 6(1), 490-495. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.09.013>
- ITW FOOD EQUIPMENT GROUP, *Cámara de fermentación y Cámara fermentación con Retardador*, Tlalnepanla, 2007 P ,1-20 Disponible en: [https://www.hobart.com.mx/pdf/ManualOper/F36709%20\(MO\)%20Fermentadora%20con%20retardador%20PW2%20\(ESP\).pdf](https://www.hobart.com.mx/pdf/ManualOper/F36709%20(MO)%20Fermentadora%20con%20retardador%20PW2%20(ESP).pdf)

- NEMA, *Programmable Controllers Part 1: General Information*, Rosslyn, Virginia, 2015, Disponible en: <https://www.pfannenbergl.com/es/empresa/certificaciones/nema/>
- MARTINES enrique, *definiciones de humedad y su equivalencia*, México, 2007 P ,1-5 disponible en: <https://www.cenam.mx/dme/pdf/TM02.pdf>
- TEJERO,Francisco, *funcionamiento de las cámaras de fermentación*, Madrid ,S.f , disponible en : <http://www.franciscotejero.com/tecnicas/funcionamiento-de-las-camaras-de-fermentacion/#:~:text=Las%20c%C3%A1maras%20de%20fermentaci%C3%B3n%20seg%C3%BAn,para%20la%20fermentaci%C3%B3n%20global%20retardada>
- Ogata Katsuhiko, *Ingeniería de Control Moderna*, Madrid, 2010 P.1-900 disponible en: https://www.u-cursos.cl/usuario/78303fe04da8e4eb340eae09f1840b2/mi_blog/r/Ingenieria_de_Control_Moderna_Ogata_5a_ed.pdf

8. ANEXOS

Figura 87 Plano de entradas y salidas digitales

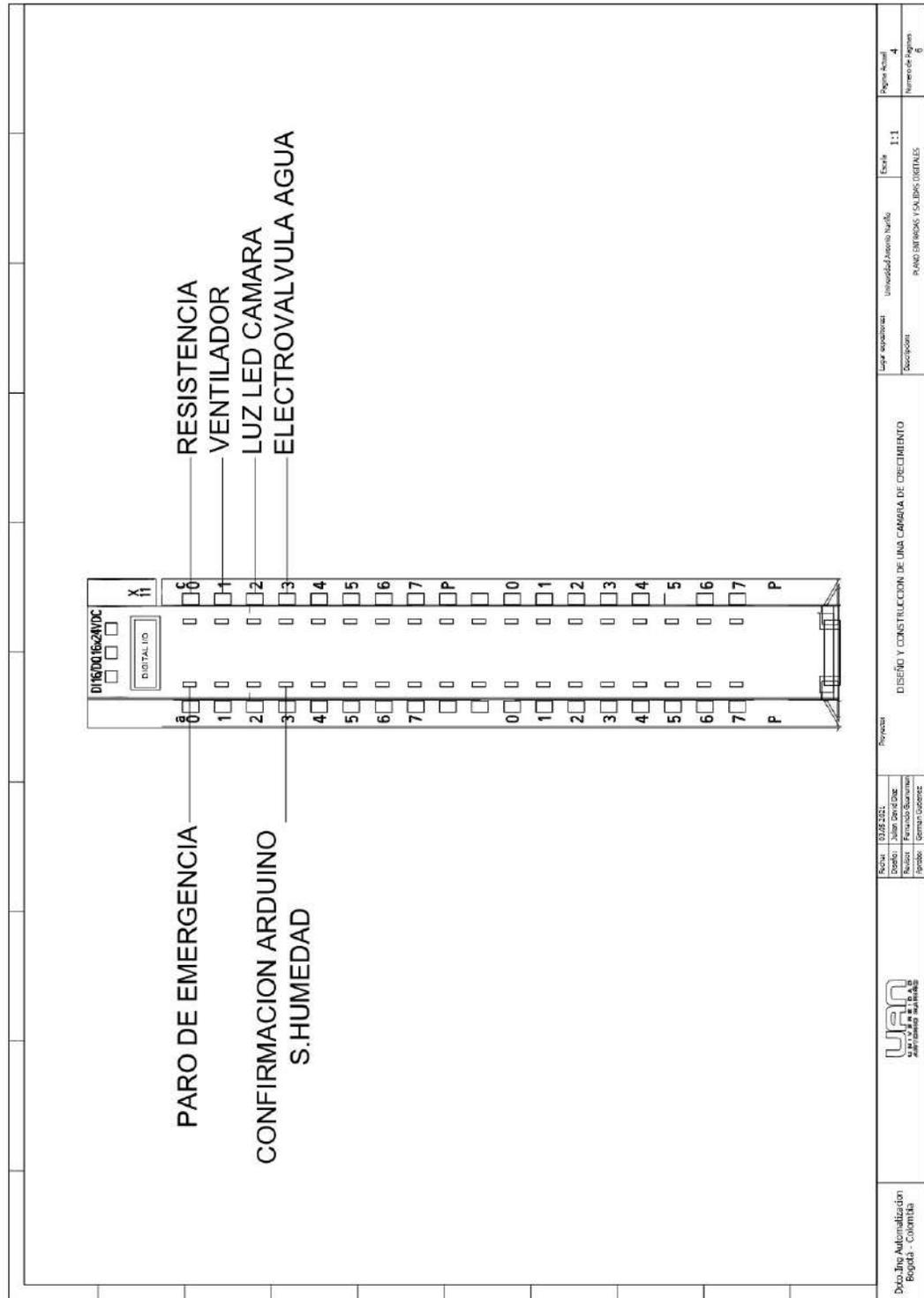
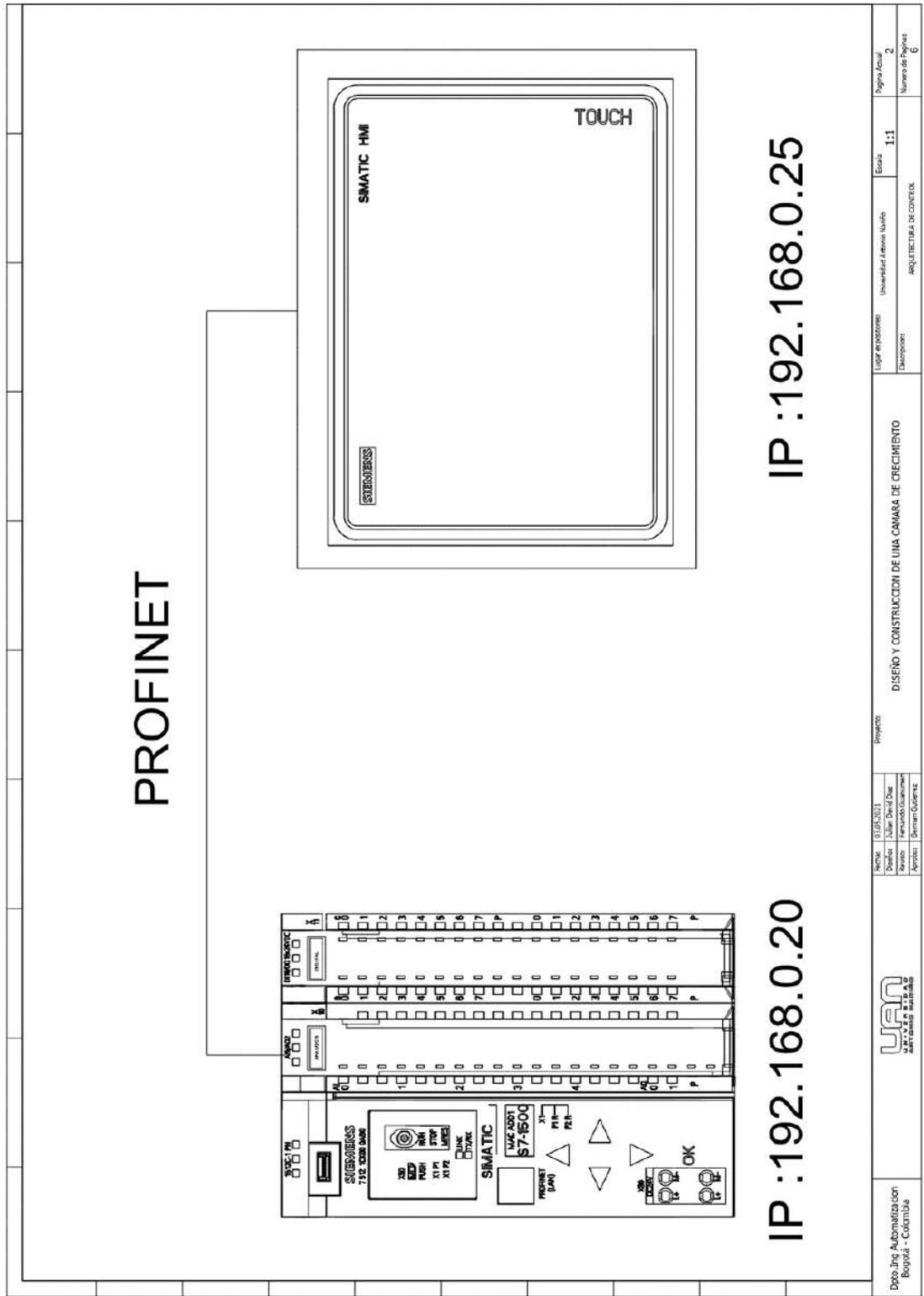


Figura 88 Arquitectura de control



Dpto. Ing. Automatización Bogotá - Colombia	 UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA BOGOTÁ	Fecha: 01/05/2021	Proyecto:	Lugar de postulación:	Escala:	Página Actual: 2
		Autor: Juan David Ochoa Revisó: Benjamín Ochoa Aprobó: Benjamín Ochoa	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CAMARA DE CRECIMIENTO	Disciplin(a):	1:1	Numero de Página: 6
				Universidad Autónoma		
				ARQUITECTURA DE CONTROL		

Figura 89 Plano conexión Arduino a PLC

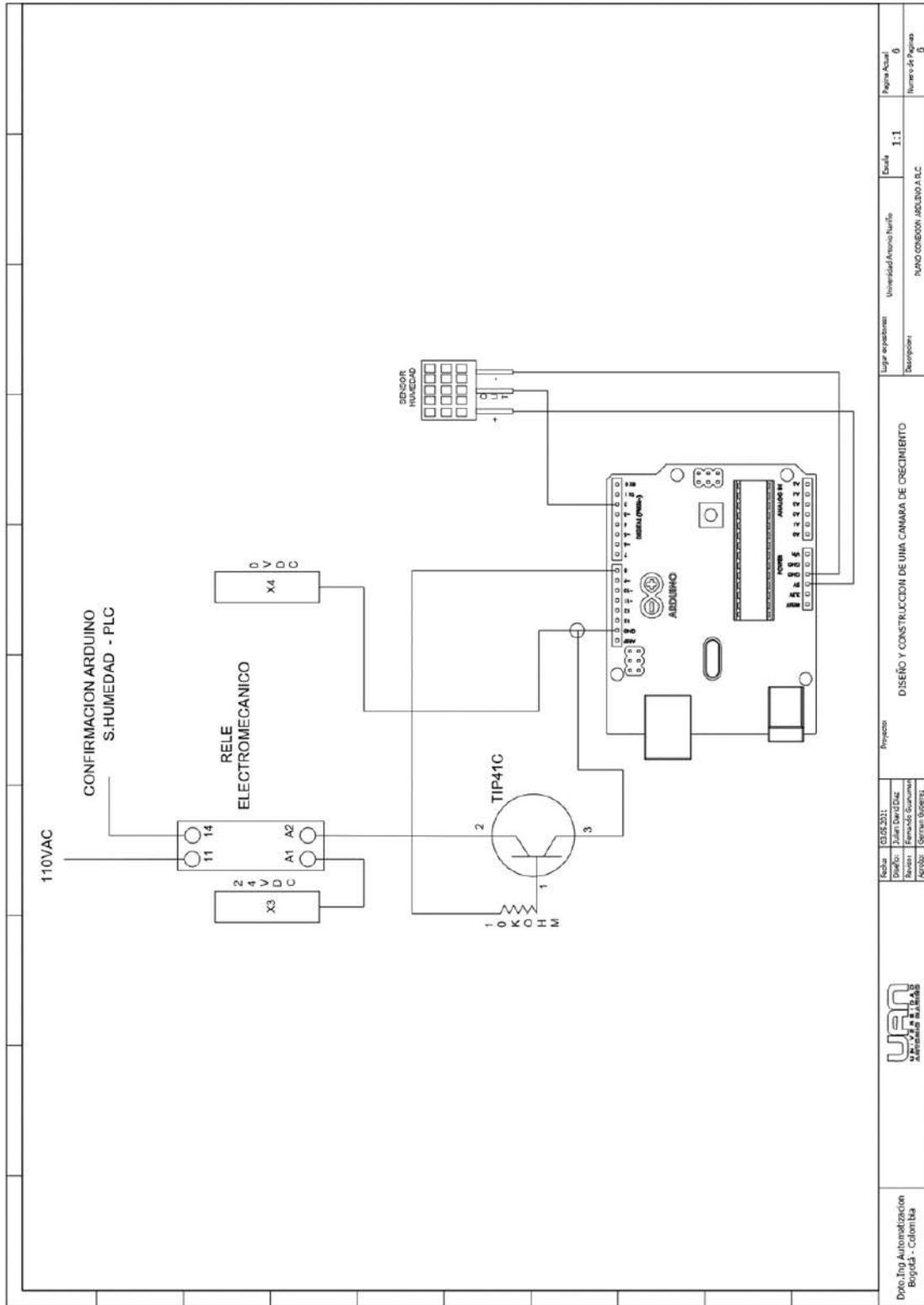


Figura 92 Plano tapa frontal en acero inoxidable

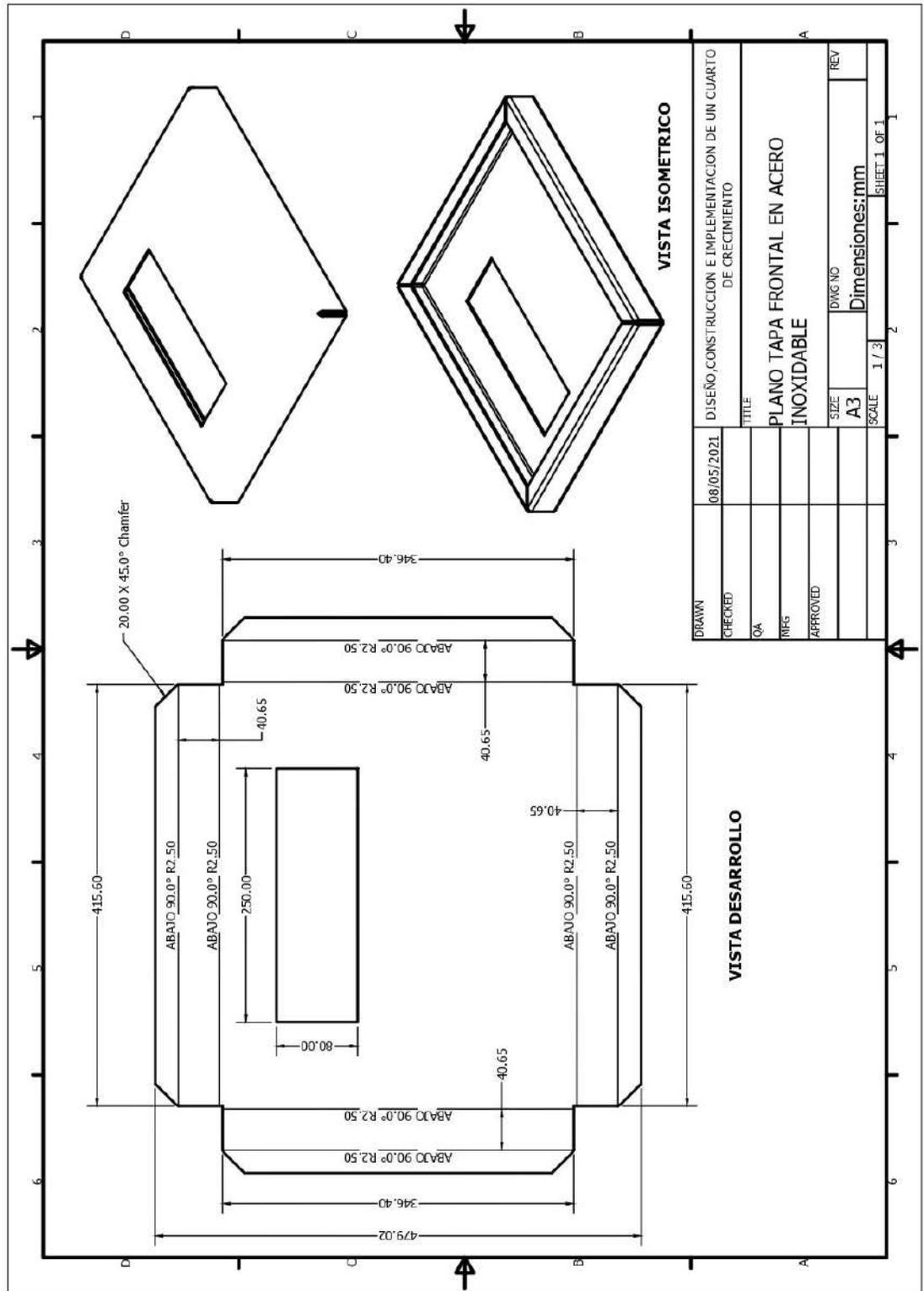


Figura 93 Plano protector interior en acero inoxidable, laterales

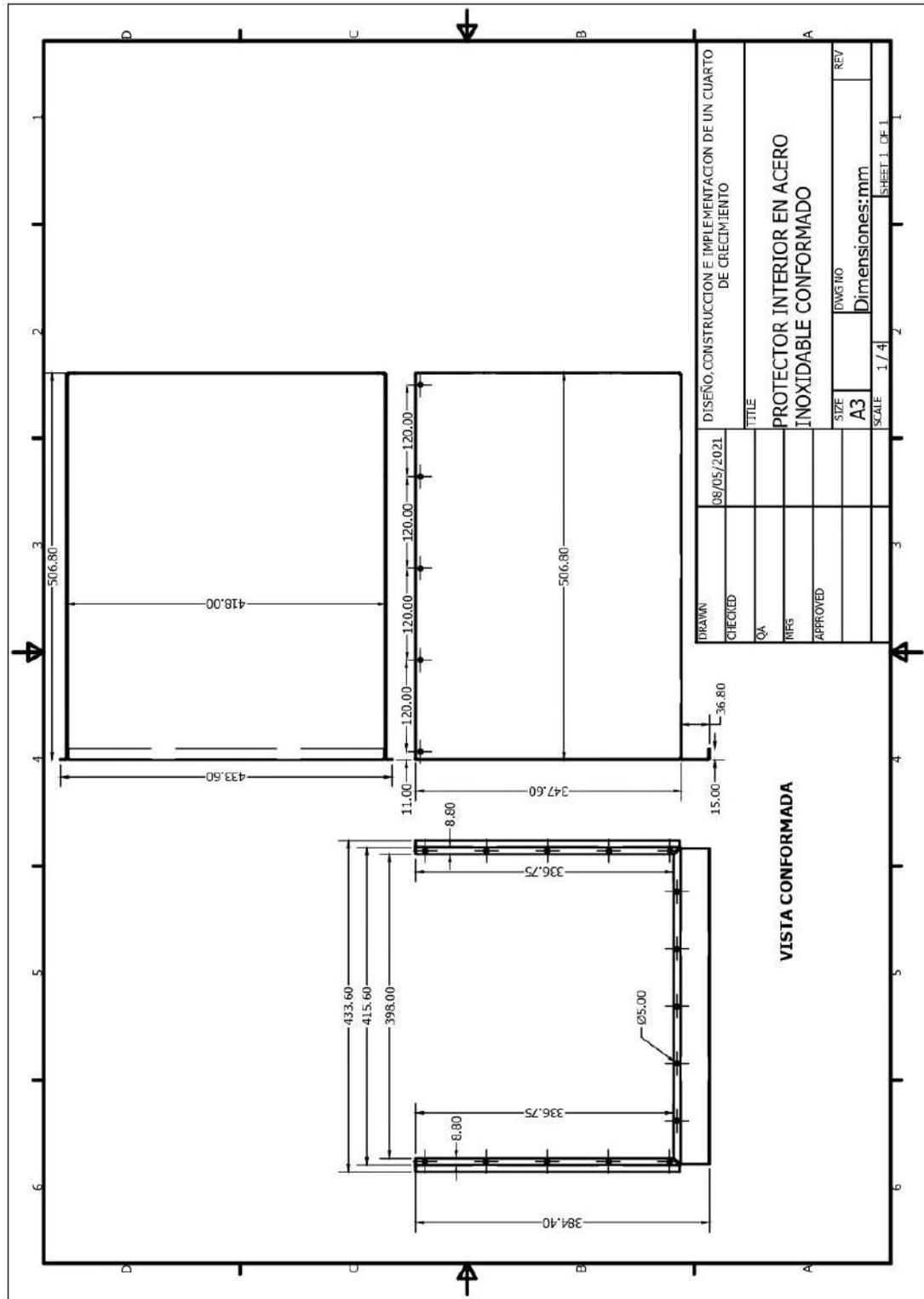


Figura 95 Plano de protector interior en acero inoxidable, tapa superior

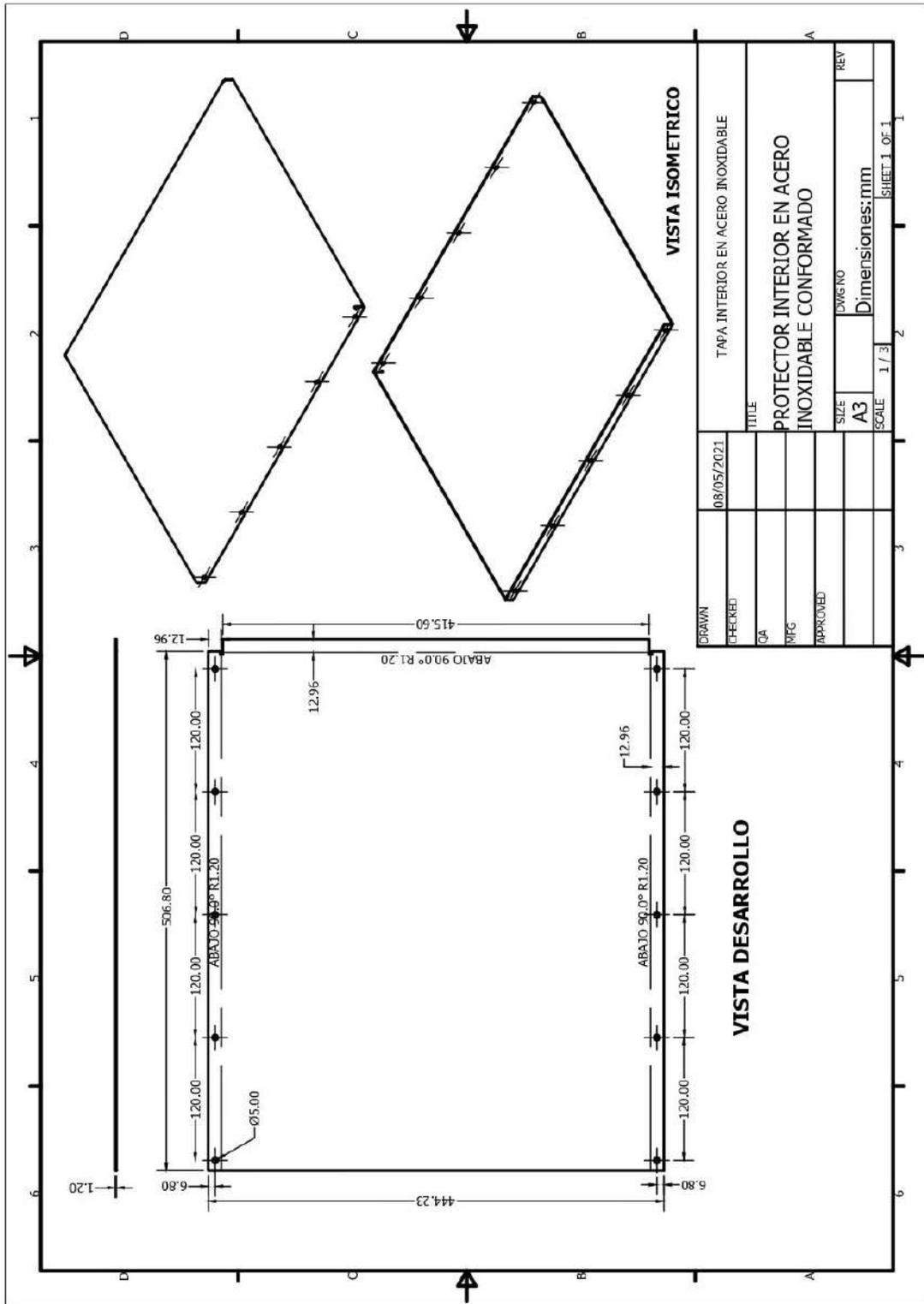


Figura 97 Prototipo final del cuarto de crecimiento

