



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL A LAZO CERRADO DE  
TEMPERATURA PORTÁTIL PARA LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE  
HORTALIZAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero en Electrónica y Automatización

AUTORES: Daniel Alexander Caviedes Correa  
          Josue Alexander Galarza Ron  
TUTOR:  Gustavo Javier Caiza Guanochanga

Quito - Ecuador  
2023

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Daniel Alexander Caviedes Correa con documento de identificación N° 1750902999 y Josue Alexander Galarza Ron con documento de identificación N° 1721004875; manifestamos que:

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

Quito, 24 de julio del año 2023


Atentamente,



---

Daniel Alexander Caviedes Correa

1750902999



---

Josue Alexander Galarza Ron

1721004875

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACION A LA UNIVERSIDAD POLIÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Daniel Alexander Caviedes Correa con documento de identificación No. 1750902999 y Josue Alexander Galarza Ron con documento de identificación No. 1721004875 expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: “Diseño de un sistema de control a lazo cerrado de temperatura portátil para la germinación de semillas de hortalizas” el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Electrónica y Automatización, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Quito, 24 de julio del año 2023

Atentamente,



---

Daniel Alexander Caviedes Correa  
1750902999



---

Josue Alexander Galarza Ron  
1721004875

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Gustavo Javier Caiza Guanochanga con documento de identificación N° 1721192191, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL A LAZO CERRADO DE TEMPERATURA PORTÁTIL PARA LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE HORTALIZAS, realizado por Daniel Alexander Caviedes Correa con documento de identificación N° 1750902999 y Josue Alexander Galarza Ron con documento de identificación N° 1721004875, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 24 de julio del año 2023

Atentamente,



---

Ing. Gustavo Javier Caiza Guanochanga, MSc.  
1721192191

## **DEDICATORIAS**

Este trabajo va dedicado especialmente a mis padres, Edwin y Loli que han sido los pilares fundamentales para poder alcanzar las metas propuestas en mi vida, con su constancia y perseverancia han logrado que este camino sea de prosperidad, dedico también a mi hermano Sebastián quien es un gran ejemplo de dedicación y lucha.

Daniel Caviedes

Este proyecto va dedicado a mis padres Glenda y Cesar los cuales me han mantenido firme y acompañándome en todo este camino y no me han dejado rendirme hasta terminar con mis estudios, además de mi hermano Mauricio y mi cuñada Belén que con su apoyo cuando me sentía decaído me sacaron una sonrisa y dándome consejos para afrontar mis problemas, dándome más ánimos para cumplir mis objetivos.

Josue Galarza

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco principalmente a mis padres, por todo su esfuerzo y dedicación además de su apoyo en todos los sentidos durante mi época de estudio. Agradezco a mi hermano por su guía y motivación durante esta etapa de formación profesional. A mi tío Rodrigo, por su cooperación y apoyo durante una de las etapas de este proyecto.

Daniel Caviedes

Agradezco personalmente a Dios y a mi familia que, ya que por ellos fui capaz de culminar esta etapa de mi vida, además de agradezco a mi abuelo Arturo por encender esta chispa de estudiarla carrera de electrónica ya que con él hablaba muchos temas desde que era pequeño, también a mi compañero Daniel que compartimos muchas situaciones difíciles para terminar este proyecto y al compartir ideas nos sacábamos unas sonrisas, finalmente a mis sobrinos que con sus sonrisas me han dado muchas alegrías cuando me sentía decaído.

Josue Galarza

## ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	i
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACION A LA UNIVERSIDAD POLIÉCNICA SALESIANA .....	ii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN .....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	2
ANTECEDENTES .....	2
1.1 Problema de estudio.....	2
1.2 Justificación .....	4
1.3 Objetivos.....	5
1.3.1 Objetivo General.....	5
1.3.2 Objetivos específicos.....	5
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 Germinación de semillas .....	6
2.2 Sistemas Embebidos.....	7
2.3 Sistemas de control.....	7
2.3.1 Clasificación de los sistemas de control .....	8
2.3.2 Sistema de control de lazo abierto.....	8
2.3.3 Sistema de control de lazo cerrado.....	8

2.4 Control de lazo cerrado PI.....	9
2.5 Sensores de temperatura .....	10
2.5.1 Sensor de Temperatura DHT11 .....	10
2.6 Software de diseño para la estructura .....	11
2.6.1 SolidWorks .....	11
2.6.2 AutoCAD.....	12
2.7 Tablero MDP .....	13
2.7.1 MDP TROPICAL .....	14
2.8 Arduino.....	15
2.9 Foco infrarrojo E27 .....	16
2.10 Modulo Dimmer con cruce por cero.....	16
2.11 Pantalla LCD 16x2 .....	17
CAPÍTULO III .....	18
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN .....	18
3.1 Análisis del diseño.....	18
3.1.1 Descripción del prototipo .....	18
3.1.2 Diseño de la estructura del sistema.....	18
3.1.3 Diseño del interior de la estructura.....	20
3.2 Temperatura de germinación.....	20
3.2.1 Temperatura de germinación de algunos de los principales cultivos de la sierra ecuatoriana.....	20
3.3 Sistema de control .....	21
3.3.1 Sistema de control .....	21
3.3.2 Diseño del control de lazo cerrado .....	21
3.3.2.1 Función de transferencia.....	21
3.4 Configuración del sistema .....	25
3.4.1 Interfaz gráfica.....	25

CAPÍTULO 4 .....	27
ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	27
4.1 Estructura del germinador .....	27
4.2 Análisis de los elementos de calefacción del sistema.....	28
4.3 Resultados de las pruebas con diferentes valores de SetPoint.....	30
4.3.1 Resultados de la prueba de 27°C. a 30°C.....	30
4.3.2 Resultados de la prueba de 25°C. a 30°C.....	31
4.4 Consumo de energía .....	32
CONCLUSIONES.....	34
RECOMENDACIONES .....	35
REFERENCIAS .....	36
ANEXOS .....	39

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Fases de germinación de una semilla. ....	6
Figura 2.2. Diagrama de un lazo abierto. ....	8
Figura 2.3. Diagrama de un lazo cerrado.....	9
Figura 2.4. Sensor de temperatura y humedad DHT11. ....	10
Figura 2.5. Diseño 3D de la estructura del germinador de semillas.....	12
Figura 2.6. Diseño 2D del germinador de semillas. ....	13
Figura 2.7. Tablero MDP.....	14
Figura 2.8. Tablero de MDP Tropical. ....	15
Figura 2.9. Tarjeta Arduino Mega.....	15
Figura 2.10. Foco infrarrojo E27.....	16
Figura 2.11. Módulo Dimmer con cruce por cero.....	17
Figura 2.12. Pantalla LCD 16x2.....	17
Figura 3.1. Vista frontal de la estructura. ....	19
Figura 3.2 Función de Transferencia del sistema. ....	22
Figura 3.3 Curva característica del sistema. ....	22
Figura 3.4 Función de transferencia de 2do orden. ....	23
Figura 3.5 Respuesta transitoria del sistema de la función de segundo orden. ....	23
Figura 3.6 Función de transferencia de 3do orden. ....	24
Figura 3.7 Respuesta transitoria del sistema de la función de tercer orden.....	24
Figura 3.8. Menú principal de la interfaz gráfica. ....	25
Figura 4.1. Germinador vista frontal. ....	27
Figura 4.2. Germinador vista interior. ....	28
Figura 4.3. Elementos de calefacción del sistema. ....	29
Figura 4.4. Prueba de funcionamiento de los elementos de calefacción del sistema. ....	29
Figura 4.5. Comportamiento de la temperatura interna en el tiempo de 27°C a 30°C.....	30
Figura 4.6. Comportamiento de la potencia en el tiempo de 27°C a 30°C.....	31

Figura 4.7. Comportamiento de la temperatura interna en el tiempo de 25°C a 30°C.....	31
Figura 4.8. Comportamiento de la potencia en el tiempo de 25°C a 30°C.....	32

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Principales elementos del sistema de control. ....	19
Tabla 3.2. Rangos de temperatura de semillas de hortalizas .....	20
Tabla 3.3. Parámetros para el diseño del sistema de control. ....	24

## RESUMEN

En el proceso de germinación de semillas es necesario considerar dos factores importantes los cuales son la temperatura y la humedad, debido a que estos son los factores más influyentes durante los inicios del proceso de germinación de semillas. Por lo cual se desarrolla un análisis de como la temperatura afecta al proceso de germinado de las semillas más comunes de hortalizas, así como de los rangos más adecuados para una germinación exitosa.

Dado que la influencia del factor temperatura en la germinación es significativo, en este proyecto se procura cumplir con el diseño y desarrollo de un sistema de control de temperatura haciendo uso del lazo cerrado el cual cuenta con la capacidad de mantener un valor estable y constante de temperatura al interior de una estructura cerrada. Además, el dispositivo será portátil y de bajo costo con el fin de beneficiar a los agricultores permitiéndoles reducir el tiempo de germinación de las semillas en mediano y largo plazo. Por esta razón esta investigación se centrará en la implementación del sistema de control a lazo cerrado de temperatura portátil y económico para la formación de semillas de hortalizas, en el cual el valor de temperatura optima pueda ser ingresado por el usuario en base a los requerimientos de la semilla seleccionada.

**Palabras clave:** germinación de semillas, temperatura, control de lazo cerrado, eficiencia energética.

## ABSTRACT

In the seed germination process, it is necessary to consider two important factors which are temperature and humidity, because these are the most influential factors during the beginning of the seed germination process. Therefore, an analysis of how temperature affects the germination process of the most common vegetable seeds is developed, as well as the most appropriate ranges for successful germination.

Given the influence of the temperature factor on gestation is significant, this project aims to design and develop a temperature control system using the closed loop which has the ability to maintain a stable and constant temperature value. inside a closed structure. In addition, the device will be portable and low cost in order to benefit farmers by allowing them to reduce seed germination time in the best period of time.

For that reason, this research still focusses on the implementation of the portable and low-cost closed-loop temperature control system for the germination of vegetable seeds, in which the optimal temperature value could be entered by the person based on the requirements of the selected seed.

**Keywords:** seed germination, temperature, closed loop control, energy efficient.

## INTRODUCCIÓN

La germinación de semillas es parte fundamental para el desarrollo de productos agrícolas, el proceso de germinación inicia cuando comienza a expandirse y romper el recubrimiento de la semilla (Héctor Godínez Álvarez; Arturo Flores Martínez , 2000). Para una adecuada germinación se debe tomar en cuenta los factores ambientales que influyen durante el proceso los cuales son: el agua, la luz, la temperatura, el oxígeno y las sales minerales (Gastón, 2017).

La etapa de dormancia es en la cual se pierden la mayor cantidad de semillas debido a que no se desarrollan al estar expuestas a temperaturas poco favorables, humedad excesiva, falta de agua e incluso por falta de nutrientes. El siguiente proyecto se fundamenta en la implementación de un sistema de control de lazo cerrado que facilite al usuario el otorgar las condiciones de temperatura adecuada para el desarrollo de las diferentes semillas de hortalizas, debido a que la temperatura es el factor principal del cual depende la actividad de las enzimas encargadas de regular los procesos bioquímicos en el interior de la semilla. Por tal motivo se propone un diseño para un controlador PI para la temperatura relativa dentro de la estructura con un ambiente controlado.

En el primer capítulo se dispone de los antecedentes, el problema de estudio, justificación, objetivo general y objetivos específicos, para el desarrollo del proyecto de grado, en el segundo capítulo se define el marco teórico, en el tercer capítulo se describe el diseño del prototipo, el desarrollo del sistema de control junto con la implementación, finalmente en el cuarto capítulo se plantea el análisis del funcionamiento del sistema de control en base a pruebas, además de resultados y conclusiones.

# CAPITULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1 Problema de estudio

En la germinación de semillas, la rapidez con la que sucede se ve influenciada por diferentes factores ambientales como lo son: humedecimiento, temperatura, claridad, oxígeno entre otros (Probert, 2000). Una deficiencia en los procesos de formación de las semillas de hortalizas son los rangos de temperatura de estas con dispositivos que implementan sistemas de control de lazo abierto, además de las temperaturas irregulares y las perturbaciones en el ambiente a controlar.

El lazo abierto de control es un tipo de sistema en donde la salida no representa un inconveniente en el sistema, lo que quiere decir que no requiere de un lazo de retroalimentación en la salida del controlador para que este funcione de manera apropiada (Bone, 2021). En un sistema de lazo abierto el bloque del control va conectado con el bloque del proceso, teniendo el fin de poder modificar las variables, pero sin evaluar el estado actual de las mismas durante el proceso.

Por esta razón estos sistemas son más utilizados para los procesos en donde se conoce de antemano el funcionamiento del sistema en general, por lo que tienen inconveniente al no compensar posibles cambios durante el proceso o las perturbaciones externas (Bone, 2021). Para el control de temperatura, se implementan placas con oscilación magnética que, al contar con un control de lazo abierto, tienen un desperfecto a la hora de controlar esta variable, al no poder mantenerse en un valor definido en el tiempo (Ortiz, 2021).

Por lo cual se toma la referencia de un sistema de control basado en un lazo cerrado de temperatura para ayudar con el proceso de brote de las semillas en donde se aplica un sistema que toma los rangos específicos de temperatura de las semillas para que el controlador tenga una referencia y ajuste sus parámetros entre los valores de temperatura adecuados y así mejorar de manera eficiente el proceso de germinación de las semillas (Jiset, 2021), teniendo resultados en base al control de temperatura bastante considerables, pero

tiene el inconveniente de ser en un espacio estático previamente realizado con mucho mas factores a controlar, sin tomar en cuenta el tamaño del espacio.

Otro ejemplo nos indican el uso de un control de lazo cerrado implementado con la ayuda de Arduino y varios PIC'S en donde se conectan de manera remota con la ayuda de la librería Wifi que nos da los rangos de temperatura capaces de implementar en un entorno, igual que el ejemplo planteado anteriormente se toma los rangos de temperatura de las semillas de tomate en este caso y se plantea un SetPoint capaz de tener un lazo de retroalimentación en los sensores a distancia (Suarez, 2021), al usar la comunicación de los dispositivos de manera inalámbrica los datos de los sensores dan una pequeña varianza en la toma de los valores, además de ser implementado para un invernadero estático, se toma como referencia su sistema de control que tienen como punto fuerte el uso de estos sensores inalámbricos ya que para el caso de estudio son una buena manera de tomar datos de manera portátil.

Por último se tiene un control a lazo cerrado con la característica IOT el cual toma los datos de los sensores de temperatura y los procesa en la nube, dando solo los datos importantes al microcontrolador y se registra para con ellos hacer un rango el cual ayude de manera eficiente al proceso de germinación, en donde con la ayuda de los sensores inalámbricos que se pueden conectar a la nube se realiza mediciones más cercanas a los valores y tener los datos en caso de ser necesarios para una revisión (Merino, 2022), para este caso se lo plantea de manera estática, dando como resultado un cambio moderado en las variables, y por esta razón no cumple con las condiciones necesaria de ser un sistema portátil, por lo que solo se toma como referencia su sistema de control para su estudio.

## **1.2 Justificación**

Actualmente es primordial para los agricultores la generación de productos en base a la formación de plantas, capaces de cumplir las necesidades de los consumidores, volviéndose como parte fundamental en la obtención de un cultivo excelente. Y por medio de nuevos procesos tecnológicos en la agricultura es posible mejorar la calidad de los cultivos por lo cual con la adecuada técnica de germinación empleada se puede aprovechar el máximo rendimiento de las semillas, obteniendo un mayor número de plantas útiles, asegurando mejores frutos y cosechas (Probert, 2000).

Siendo la temperatura y humedad dos de los principales factores durante el proceso de germinación, la humedad no es un limitante, por lo que la germinación depende mayormente de la temperatura, para lo cual existen diferentes lazos de control (Bone, 2021).

Sin embargo, en la sección de problema de estudio se menciona los inconvenientes que este presenta. Es así como este proyecto de titulación pretende realizar el control de temperatura con estructura portátil, en donde se plantea el uso de un control a lazo cerrado capaz de la modulación del calor requerida para los tipos de semilla empleados en este estudio, dando paso a una germinación controlada y efectiva.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Desarrollar un sistema de control de temperatura a lazo cerrado para la germinación de semillas de hortalizas en un ambiente controlado mediante el uso de hardware y software sofisticado.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Investigar las variables presentes durante el proceso de germinación de las semillas de hortalizas y los sistemas de control a lazo cerrado aplicables al control de temperatura en ambientes controlados haciendo uso de bases de datos, para el desarrollo de un sistema de control de temperatura portátil.
- Desarrollar un sistema retroalimentado para el control de temperatura en un ambiente controlado mediante el uso de un sistema embebido.
- Desarrollar una estructura que permitan la adecuación de sensores y actuadores mediante un software CAD.
- Verificar el funcionamiento del sistema de control implementado en una estructura portátil para su validación, mediante pruebas experimentales de laboratorio en un ambiente de germinación de semillas controlado.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Germinación de semillas

Es el medio por el cual la semilla se expande y rompe su recubrimiento iniciando el desarrollo de una nueva planta. Para una germinación exitosa se deben tener en cuenta ciertas condiciones ambientales siendo la temperatura el factor de vital importancia durante la gestación debido a la influencia directa en las enzimas encargadas de regular la rapidez de los procesos bioquímicos producidos dentro de las semillas luego de la hidratación (Gastón, 2017).

La actividad de las enzimas solo es posible dentro de un rango de temperatura adecuado, el cual varía de acuerdo con el tipo de semilla, si la temperatura no es la adecuada no es posible llevar a cabo un proceso de germinación exitoso a pesar de que el resto de las condiciones sean las óptimas (Gastón, 2017). La temperatura mínima se encuentra por debajo de cual la germinación no es posible y la temperatura máxima se ubica por encima. La temperatura óptima es la que permite una mayor germinación en menor tiempo.

Figura 2.1. Fases de germinación de una semilla.



Germinación de las semillas, Fuente: (Portalfruticola, 2017)

## **2.2 Sistemas Embebidos**

Son aquellos sistemas de cómputo los cuales se encuentran en el interior de un sistema general como parte de un todo de mayor dimensión (Pérez, 2009). En donde sus principales componentes serían el hardware, software primario el cual se encarga de realizar la acción principal, y un sistema operativo que se encarga de la supervisión de la operación y un mecanismo para la ejecución de procesos. (Pérez, 2009).

El mundo está lleno de ellos, por lo que una definición breve se lo toma como todo sistema que no es un pc de escritorio. Pero en si son sistemas los cuales son diseñados para cumplir o realizar una función dedicada y que esta embebido como parte de algún dispositivo de hardware completo (Pedre, 2012).

Las principales componentes de CPU para software en estos sistemas serían los procesadores, microcontroladores y los DSP y para el tema del hardware se tienen los sistemas como son circuitos integrados, los FPGA, circuitos digitales entre otros (Pedre, 2012). Además estos sistemas cumplen con las siguientes características: en donde debe cumplir con un funcionamiento específico en el proceso, en donde se trata de tener actualizaciones constantes para el buen funcionamiento del sistema, teniendo en cuenta su funcionamiento y diseño podemos encontrar una limitante en gran parte por su costo, tamaño y rendimiento energético, pero esta clase de sistemas nos aportan una medición en tiempo real del proceso ya que se logran diseñar con módulos capaces de la supervisión constante sin retrasos del proceso (Pérez, 2009).

## **2.3 Sistemas de control**

Son ampliamente destinados en diversos procesos industriales, así como en algunos dispositivos de uso cotidiano. Consisten en la interconexión de diferentes elementos que intervienen durante un proceso, su unión conforma un sistema capaz de autocontrolarse con el fin de cumplir las especificaciones solicitadas en la salida del proceso. En la electrónica estos sistemas se forman a partir de circuitos electrónicos (Gaviño, 2010).

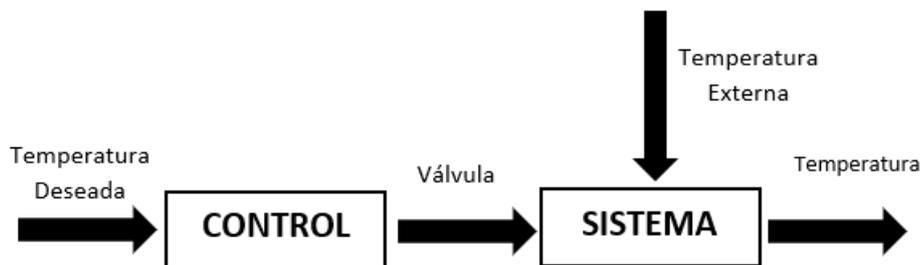
### 2.3.1 Clasificación de los sistemas de control

Se clasifican conforme a la actividad de controlar la cual es definida como la energía distribuida que actúa sobre el sistema para la producción de la salida deseada (Gaviño, 2010). Basados esta acción los sistemas se clasifican en no automáticos y automáticos.

### 2.3.2 Sistema de control de lazo abierto

Estos sistemas de control no son dependientes de la salida, es decir la salida no interviene en el control, ya que este tipo de controlador es afectado directamente por la entrada del sistema produciendo una señal de salida por medio de un actuador o un regulador (Rubén Morales Menéndez, Ricardo Ramírez Mendoza, 2013).

Figura 2.2. Diagrama de un lazo abierto.

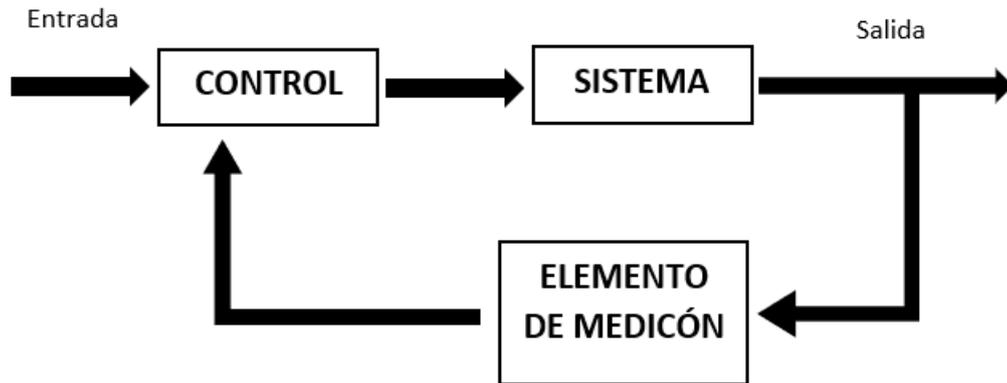


Lazo abierto, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

### 2.3.3 Sistema de control de lazo cerrado

En estos sistemas el control es afectado por la salida. A su vez la respuesta de la salida está dada mediante un sensor, entonces, se toma la entrada denominada como señal de referencia y se realiza la comparación con la real. De forma que, si el sistema no alcanza la salida deseada, denominada como SetPoint, podrá realizar una acción de corrección sobre el proceso a controlar. (Rubén Morales Menéndez, Ricardo Ramírez Mendoza, 2013).

Figura 2.3. Diagrama de un lazo cerrado.



Lazo cerrado, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

## 2.4 Control de lazo cerrado PI

Un controlador PI es muy utilizado en la industria debido a que es una de las maneras más fácil de eliminar un error en régimen permanente ya que ayuda en procesos que cuenten con un desfase moderado en su aplicación, y que cuenten con un retraso en la activación del proceso (Katsuhiko, 2010), por eso para el control de temperatura utilizando una resistencia calentadora el cual tiene un tiempo de establecimiento retardado puede ayudar a establecer el control de manera estable y que tenga un tiempo de establecimiento normal y constante para llegar a la temperatura deseada y poder regularla de mejor manera.

Por lo cual la fórmula planteada para el controlador PI se da de la siguiente manera:

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau$$

Donde  $T_i$  es el tiempo integral y es la encargada de ajustar la acción integral en el proceso. Dando como resultado la función de transferencia resulta de la siguiente manera:

$$C_{PI}(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

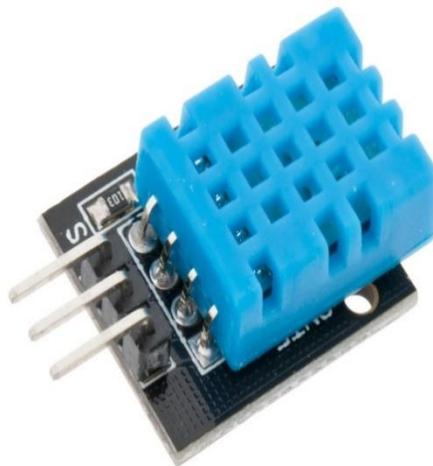
## 2.5 Sensores de temperatura

Al ser una magnitud física vinculada con el calor se vincula a la energía interna del aire por lo que su medición es posible a través del movimiento de las partículas del aire. Un sensor de temperatura detecta los movimientos de las partículas en el aire y la convierte en una señal eléctrica capaz de ser transportada hacia un sistema electrónico para su procesamiento (Antonio Serna Ruiz, Francisco Antonio Ros, 2010).

### 2.5.1 Sensor de Temperatura DHT11

Es un sensor digital de bajo costo capaz de realizar mediciones de 0 a 50 °C y humedad de 20% a 80% en el ambiente (ASAIR, 2017), cuenta con termistor con el cual puede medir la temperatura en el aire además de un sensor de humedad del tipo capacitivo. Los datos obtenidos son transmitidos por medio de un pin digital al microprocesador también cuenta con un pin VCC alimentado a 3 – 5 V y un pin a GND (Gonzalez, 2020).

Figura 2.4. Sensor de temperatura y humedad DHT11.



Sensor DHT11, Fuente: (ASAIR, 2017)

## **2.6 Software de diseño para la estructura**

Para la creación de un diseño contamos con varios softwares que nos brindan ayuda en la creación de una estructura como lo son:

- SolidWorks
- AutoCAD

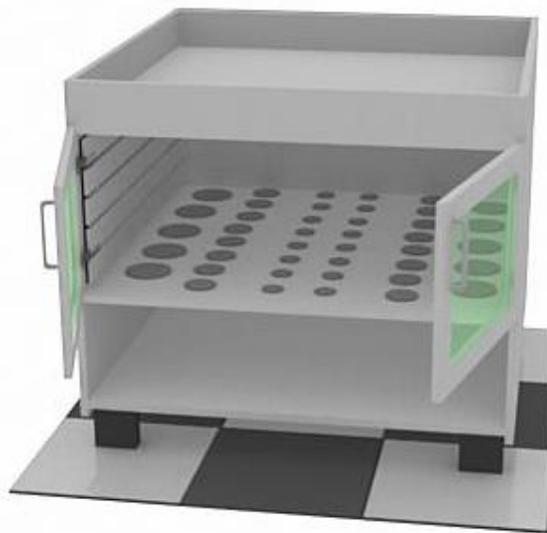
### **2.6.1 SolidWorks**

Es una aplicación dirigida al desarrollo del diseño mecánico que permite la conexión con equipos y el diseño de piezas para posteriormente montarlas. También es posible crear diseños complejos y mecánicos con los datos requeridos mientras modela en cualquier momento (Prasad, 2022).

El diseño de una estructura haciendo uso del modelado CAD disponible en SolidWorks, consiste en realizar una representación del objeto en un modelo 3D del mismo con el fin de corregir errores y aportar soluciones al proceso de diseño entre otras ventajas como: la corrección de errores, mayor facilidad de diseño en comparación con el dibujo tradicional, mayor precisión en el producto final, posibilidad de realizar modificaciones a las piezas de forma óptima y eficiente (Robles, 2020).

En este punto se desarrolla el diseño base de la estructura el cual servirá como guía para eliminar la incertidumbre presente al intentar representar la idea generada en la teoría, y poder transmitir esta idea a un modelo 3D, el cual se puede observar en la figura 2.5, con el fin de identificar posibles errores antes de realizar el diseño final en AutoCAD.

Figura 2.5. Diseño 3D de la estructura del germinador de semillas.



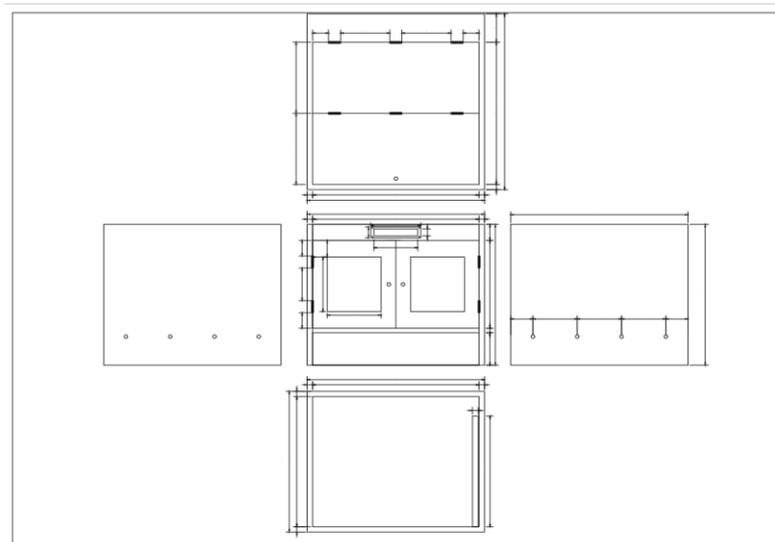
Germinador de semillas, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

### 2.6.2 AutoCAD

Es un software el cual brinda una amplia gama de beneficios y herramientas en el desarrollo de diferentes diseños tanto en 2D como en 3D, es muy utilizado para diseños eléctricos, estructuras mecánicas, planos, entre otros (SB, 2019). Su gran versatilidad le permitió convertirse en un estándar general para el diseño técnico, esto se debe en gran medida a sus capacidades como lo son: capacidad para compartir información de manera rápida y eficiente, cuenta con herramientas para el desarrollo de un acabado y presentación impecables, permite dibujar de forma ágil y simple sin descuidar los acabados y sin las desventajas del dibujo tradicional (Montalvo, 2010).

Debido a sus capacidades, facilidades y versatilidad el Software AutoCAD fue el seleccionado para el desarrollo del diseño del prototipo de la estructura, por medio del cual fue posible el desarrollo de la idea general obtenida por medio del software SolidWorks. El diseño del prototipo desarrollado en AutoCAD permitirá realizar las modificaciones necesarias previo a la fabricación y ensamblaje de la estructura.

Figura 2.6. Diseño 2D del germinador de semillas.



Diseño del germinador, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

## 2.7 Tablero MDP

Es un tablero resultante del prensado de partículas de densidad media, permitiendo una gran definición de las capas lo que le otorga excelente resistencia, para su fabricación se usan resinas de última generación y madera obtenida de plantaciones forestales. Forma parte de una nueva generación de tableros de densidad media contando con características superiores a los paneles de madera convencionales (Chaca, 2019).

El tablero MDP al igual que otras variaciones de este está compuesto por partículas de pino radiata las cuales son unidas por medio de adhesivos urea-formaldehído. Las partículas de pino son obtenidas por medio de procesos termo mecánicos los cuales generan astillas, por lo que al tablero de MDP se lo puede considerar como un producto reciclado, volviéndolo relativamente económico a diferencia de la madera convencional (S.A., 2019).

Figura 2.7. Tablero MDP.



MDP, Fuente: (Pelikano, 2022)

### **2.7.1 MDP TROPICAL**

Es una variante del tablero de MDP regular, su proceso de fabricación es similar excepto que se le agregan resinas M.U.F. aglutinadas, permitiendo una mayor resistencia a la humedad y a temperaturas no mayores a 50 °C (Sebastián Mena and Diego Suárez, 2019).

Sus principales características son:

- Resistencia a la humedad y notables propiedades mecánicas.
- Partículas uniformes y homogéneas
- Presenta menor absorción a la humedad
- Resistencia a temperaturas no mayores a 50 °C
- Coloración verdosa en la capa media

Figura 2.8. Tablero de MDP Tropical.

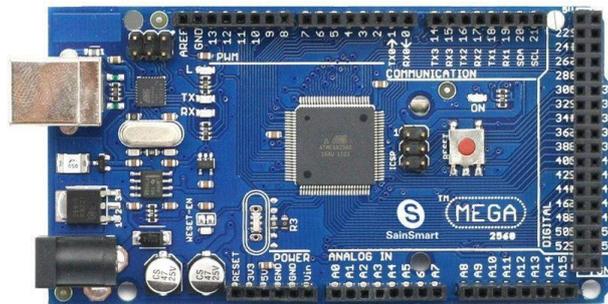


MDP tropical, Fuente: (Pelikano, 2022)

## 2.8 Arduino

Es un microcontrolador el cual permite grabar instrucciones de acuerdo con el lenguaje de programación disponible en la plataforma de Arduino. El microcontrolador cuenta con una interfaz de entrada para la conexión de múltiples periféricos, la información obtenida por medio de estos periféricos es procesada y transportada por medio de una interfaz de salida hacia otros periféricos (DÍAZ, 2018).

Figura 2.9. Tarjeta Arduino Mega.



Arduino Mega, Fuente: (Arduino, 2022)

## 2.9 Foco infrarrojo E27

Es un dispositivo formado por un filamento de tungsteno, una bombilla de cristal llena de gases y una base. El principio de funcionamiento consiste en calentar el tungsteno a una temperatura superior a 570 °C, liberando energía por medio de oscilaciones electromagnéticas transmitidas por medio de una mezcla de argón y nitrógeno en el interior de la bombilla que crean las condiciones para la emisión de calor en el rango infrarrojo. (Electricianexp, 2022) El foco infrarrojo permite maximizar la luz mayor a la luz visible, permitiendo una mayor transferencia de calor por medio de una determinada frecuencia de rayos infrarrojos que penetran los objetos y los calienta. El uso de rayos infrarrojos en sistema de calefacción es más económico que los sistemas convencionales y permiten calentar el entorno de forma paulatina, de acuerdo con los fabricantes estos sistemas son de un 50% a un 70% más económicos. (Iturbe, 2021)

Figura 2.10. Foco infrarrojo E27



Foco infrarrojo, Fuente: (TAURO, 2021)

## 2.10 Modulo Dimmer con cruce por cero

Este módulo permite realizar el control de voltajes hasta 220V, permitiendo obtener valores regulables entre 0 a 220V y puede ser controlado mediante el uso de un microprocesador como Arduino, Raspberry, un PIC o un ESP. Esta clase de dimmer puede variar velocidad de motores AC o la potencia en un calentador resistivo (naylorlampmechatronic, 2021).

Esta clase de dimmer cuenta con dos etapas: el detector de cruce por cero y un Triac, el detector es aquel que identifica cuando el voltaje AC que pasa por este tiene un valor de 0V,

es decir cuando el valor de voltaje cruza de un valor positivo a un negativo y viceversa. Y los triacs están encargados del paso de voltaje AC mediante señales de disparo en los semiciclos de cada señal de voltaje. (naylampmechatronic, 2021).

Figura 2.11. Módulo Dimmer con cruce por cero

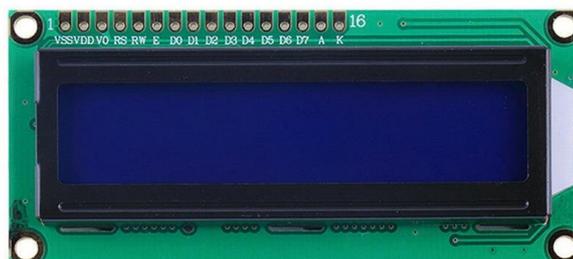


Módulo dimmer, Fuente: (Megatronica, 2022)

## 2.11 Pantalla LCD 16x2

Es una pantalla de cristal líquido, se componen por una capa delgada de cristal líquido en medio de dos electrodos colocados sobre sustratos de vidrio con polarizadores, dado que la pantalla no cuenta con la capacidad de emitir luz por sí misma es necesario colocar una luz en la parte trasera. Una LCD 16X2 cuenta con 2 filas de 16 caracteres cada una, que permiten mostrar información generalmente del tipo alfanumérica, su capacidad es alta dado que permite mostrar toda clase de símbolos, caracteres e incluso figuras, al usar campos eléctricos en lugar de corriente eléctrica representan un menor consumo de energía (García, 2019) .

Figura 2.12. Pantalla LCD 16x2



Pantalla LCD, Fuente: (Megatronica, 2022)

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN**

#### **3.1 Análisis del diseño**

En el marco teórico se estableció la influencia de la temperatura durante la formación de las semillas además de la eficiencia de un control a lazo cerrado que mantenga una temperatura constante de acuerdo al tipo de semilla, tomando en cuenta los lineamientos necesarios y requeridos se describe el diseño de la estructura del proyecto planteado con ayuda de un software CAD, mediante el cual se podrá realizar la implementación del dispositivo y realizar diferentes pruebas de funcionamiento para la corrección de posibles errores, a continuación se detallan las especificaciones del proyecto.

##### **3.1.1 Descripción del prototipo**

El siguiente proyecto técnico tiene el objetivo el desarrollo de un control a lazo cerrado de bajo costo para el control de temperatura para la germinación de semillas de hortalizas dentro de un ambiente controlado, el cual estará compuesto por un microcontrolador Arduino Mega, por lo cual el sistema recibirá los valores de los sensores DTH-11 ubicados en el interior de la estructura y con un valor de Set Point el cual será determinado por el tipo de semilla, y a su vez se realizará la corrección en la temperatura interior en un tiempo determinado por medio del control conectados en los focos infrarrojos.

##### **3.1.2 Diseño de la estructura del sistema**

La estructura diseñada para el sistema se divide en 3 compartimentos como se puede observar en la Figura 13, el compartimiento superior está destinado al control del proceso, en si todo lo referente al control de temperatura, el cual al estar en la parte superior facilita la instalación de los sensores en el compartimiento central en donde será el lugar para el ingreso de las bandejas germinadoras y estarán divididas en tres subsecciones para poder ingresar hasta un máximo de 6 bandejas, finalmente el compartimiento inferior está destinado para la instalación de los focos infrarrojos.

Figura 3.1. Vista frontal de la estructura.



Estructura del germinador, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Cada uno de los compartimientos se encuentra aislado de los factores externos gracias a la composición de la plancha MDP, al dividir la estructura en 3 compartimientos se logra facilitar el mantenimiento y rápido acceso al sistema de control tanto para el operario como para el personal técnico.

Por lo cual en la Tabla 1 se encuentra el listado de los principales elementos que se utilizarán para la implementación del sistema de control.

Tabla 3.1. Principales elementos del sistema de control.

<b>Elemento</b>	<b>Cantidad</b>
Arduino MEGA 2560	1
Modulo Dimmer	2
Foco Infrarrojo	2
Sensor DHT11	4
Pantalla LCD	1
Teclado numérico matricial	1
Ventiladores 12 V	4
Fuente de 12V – 5A	1
Puente H L298N	2

Listado de elementos utilizados en el sistema de control

Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

### 3.1.3 Diseño del interior de la estructura

El diseño de la estructura fue pensado para permitir el ingreso de hasta un máximo de 6 bandejas de germinación de 34.3 centímetros de largo y 67 centímetros de ancho con capacidad de 338 agujeros de siembra, además la estructura cuenta con soportes ajustables los cuales ayudaran a colocar con el tamaño de bandeja ya sea menor o igual a las bandejas especificadas. Las dimensiones en el interior de la estructura son 83 centímetros de alto, 98 centímetros de largo y 100 centímetros de ancho.

## 3.2 Temperatura de germinación

### 3.2.1 Temperatura de germinación de algunos de los principales cultivos de la sierra ecuatoriana.

Para este proyecto se tomaron los datos de temperatura optima de varias semillas de hortalizas para realizar el diseño del control dando como un rango óptimo de entre 21 a 29, por lo que para los valores de SetPoint se realizaran entre estos valores.

Tabla 3.2. Rangos de temperatura de semillas de hortalizas

<b>Cultivos de hortalizas</b>	<b>Rango Optimo (°C)</b>	<b>Optima (°C)</b>	<b>Máxima (°C)</b>
<b>Remolacha</b>	<b>10-29</b>	<b>29</b>	<b>29</b>
<b>Frijol</b>	<b>15-29</b>	<b>26</b>	<b>35</b>
<b>Coliflor</b>	<b>7-29</b>	<b>26</b>	<b>37</b>
<b>Apio</b>	<b>15-21</b>	<b>21</b>	<b>29</b>
<b>Acelga</b>	<b>10-29</b>	<b>29</b>	<b>35</b>
<b>Lechuga</b>	<b>4-26</b>	<b>23</b>	<b>29</b>
<b>Cebolla</b>	<b>10-35</b>	<b>23</b>	<b>35</b>
<b>Perejil</b>	<b>10-29</b>	<b>23</b>	<b>32</b>
<b>Tomate</b>	<b>21-35</b>	<b>29</b>	<b>35</b>
<b>Repollo</b>	<b>7-35</b>	<b>29</b>	<b>37</b>
<b>Espinaca</b>	<b>7-23</b>	<b>21</b>	<b>29</b>

Rangos y temperaturas óptimas para el proceso de germinación de semillas de hortalizas.

Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

### **3.3 Sistema de control**

#### **3.3.1 Sistema de control**

El dimmer hace uso de uno de los Timer internos del Arduino, en este caso se utiliza el Timmer1 debido a que está configurado en una salida de 16 bits permitiendo alcanzar valores de hasta 65536 en la configuración en las interrupciones para la activación del Triac. Es decir que al momento de calcular el tiempo en el cual cada semiciclo se completa se le asignará un valor en el cual comenzará la interrupción.

Además, se realiza una comparación de los valores establecidos en el SetPoint y el valor inicial de potencia, con el valor entre los 16 bits y estos solo se activarán si la señal de PWM del módulo es activada en alto, comenzando así la comparación hasta llegar al valor de 65532 ya que en este punto es cuando el valor de comparación genera una de señal de Overflow que desactivara el Triac.

Para una fase de pruebas de rendimiento se toma como entrada de SetPoint los valores regulables de un potenciómetro los cuales se los identificó con los valores de 480 a 60 entre valores altos y bajos. En el sistema de control se toma la idea de utilizar 2 focos infrarrojos por lo cual se implementó un segundo módulo dimmer para el control independiente de cada uno de ellos y así evitar el sobre calentamiento de los módulos.

#### **3.3.2 Diseño del control de lazo cerrado**

##### **3.3.2.1 Función de transferencia**

Se realizo la toma de datos experimentales del voltaje de la carga y de la temperatura en el interior de la estructura con un paso de 15 a 30 °C durante el cual se realizaron variación en el voltaje en los focos infrarrojos con el fin de medir los valores de temperatura por medio de los 4 sensores DHT11, posteriormente los datos adquiridos se ingresaron a Excel para ser importados al software Matlab en el que haciendo uso de la herramienta Ident se obtuvo la función de transferencia.

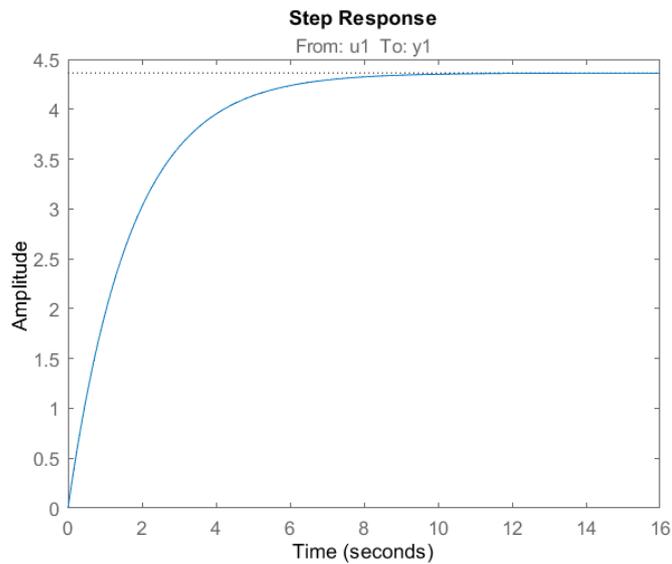
Figura 3.2 Función de Transferencia del sistema.

```
tf2 =  
  
From input "u1" to output "y1":  
  2.577  
-----  
s + 0.5907
```

Función del sistema, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Se presenta a continuación la curva característica del sistema.

Figura 3.3 Curva característica del sistema.



Curva del sistema, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Con la función de transferencia obtenida, es posible realizar la sintonización del sistema y así obtener la respuesta transitoria más eficiente para el sistema, dando como resultado dos funciones de 2do y 3er orden cuyos resultados se muestran a continuación. En la primera sintonización se obtiene una función de 2do orden con un valor de eficiencia del 75%, en donde se observa un sobre impulso bajo de aproximadamente de 0.05, pero el tiempo de establecimiento es lento.

Figura 3.4 Función de transferencia de 2do orden.

$$\frac{1.137s^2 + 0.03113s + 2.669e^{-05}}{s^2 + 0.006959s + 9.939e^{-09}}$$

Función de transferencia, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Figura 3.5 Respuesta transitoria del sistema de la función de transferencia de segundo orden.



Respuesta transitoria, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

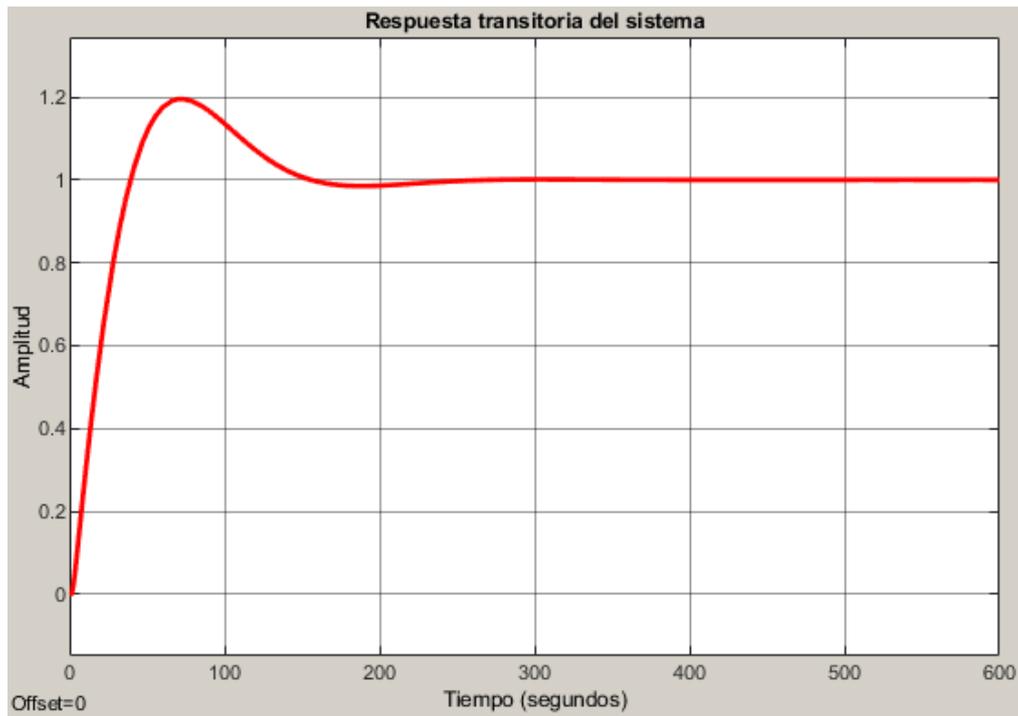
En la segunda sintonización se obtiene una función de transferencia de 3er orden con un valor de eficiencia de 82% con un sobre impulso de 0.2 el cual es mayor al presente en la función de 2do orden, pero en este caso el tiempo de establecimiento es considerablemente menor por lo que se optó por elegir la función de 3er orden para el desarrollo de este proyecto debido a su eficiencia y menor tiempo de establecimiento.

Figura 3.6 Función de transferencia de 3do orden.

$$\frac{0.00118s + 9.996e^{-05}}{s^3 + 0.08329s^2 + 0.06817s - 0.0003876}$$

Función de transferencia, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Figura 3.7 Respuesta transitoria del sistema de la función de transferencia de tercer orden.



Respuesta transitoria, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

En el diseño del controlador PI se tomaron los valores de la sintonización de la función de tercer orden los cuales se presentan a continuación.

Tabla 3.3. Parámetros para el diseño del sistema de control.

Kp	23.7365
Ki	0.7323

Parámetros de ganancia PI.

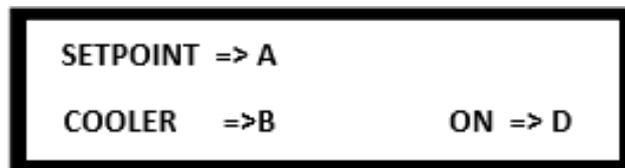
Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

### 3.4 Configuración del sistema

#### 3.4.1 Interfaz gráfica

La interfaz inicia con una presentación e indicaciones generales para el manejo del dispositivo, el menú principal cuenta con 2 opciones generales, la selección se realiza por medio del teclado matricial. Cada una de las opciones desplegará un nuevo menú de selección.

Figura 3.8. Menú principal de la interfaz gráfica.



Interfaz gráfica, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Al ingresar al **SETPOINT** se despliega el menú para la selección del valor de temperatura deseado, las opciones permiten establecer el valor requerido, para el tipo de semilla, entre los valores preestablecidos de 20 °C a 30 °C, la opción **NXT** permite navegar por el resto de los menús para la selección del valor de temperatura. Una vez seleccionada la temperatura se desplegará un mensaje indicando el correcto ingreso del SetPoint y en el menú principal se ingresa a la opción **ON** para dar paso al funcionamiento del sistema.

Después de 5 segundos el sistema automáticamente se encenderá y aumentará la potencia de los focos infrarrojos de acuerdo con la temperatura interna del germinador detectada por los sensores, hasta alcanzar el valor fijado en el SetPoint. Por medio de la opción **NEW SP** es posible volver al menú principal y repetir el proceso e ingresar un nuevo valor de SetPoint, adicionalmente con la tecla asterisco del teclado se mostrará un mensaje indicando la temperatura interna del dispositivo.

Al ingresar a la opción **COOLER** se tendrá acceso al menú de control de los ventiladores en donde se activarán o desactivarán de forma manual, al pulsar una de las teclas asignadas

en el menú para ayudar a reducir la temperatura interna del sistema de acuerdo con la necesidad del usuario.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

Se presentan los resultados adquiridos por medio del análisis practicado en el sistema de control de temperatura, tanto en la puesta en marcha como en el comportamiento del sistema de control en el interior del prototipo. Es importante destacar que durante el proyecto se debió realizar cambios en algunos de los componentes debido a las pruebas ejecutadas, para obtener un adecuado rendimiento del sistema, los cambios realizados se indican durante el desarrollo del presente capítulo.

#### 4.1 Estructura del germinador

En la figura 4.1 y 4.2 se presenta la vista tanto frontal como interior del resultado final, el cual consiste en un sistema a lazo cerrado de temperatura implementado en una estructura portátil con capacidad para 6 bandejas de germinación.

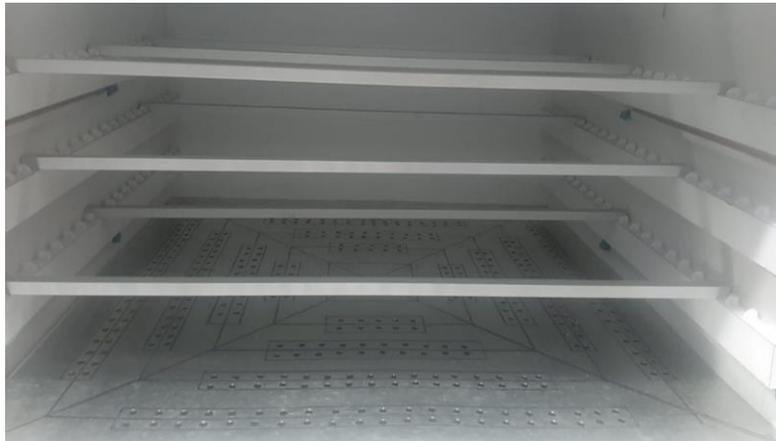
Figura 4.1. Germinador vista frontal.



Vista del germinador, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

En el interior del dispositivo se optó por colocar repisas ajustables con el fin de poder adaptar la distribución del espacio ante bandejas de diferentes tamaños. Además, se colocó una lámina de latón en la base para distribuir el calor de forma eficiente además de ayudar a mantener la temperatura interna.

Figura 4.2. Germinador vista interior.



Interior del germinador, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

#### **4.2 Análisis de los elementos de calefacción del sistema**

Existen diferentes métodos para elevar la temperatura en el interior de un germinador, uno de los métodos y por el cual hemos optado para el desarrollo de este proyecto, es el uso de focos infrarrojos colocados en la parte inferior de la estructura del germinador. Los focos infrarrojos envían una luz infrarroja que genera una alta temperatura, el control de temperatura se logra por medio del control de la potencia de ambos focos por medio de 2 módulos Dimmer.

En un principio se decidió trabajar con una resistencia de niquelina de 1800 W, sin embargo, el calor generado por la resistencia en parte baja de la estructura excedía en gran medida la temperatura máxima recomendada por el fabricante del material que se usó para la estructura, además, el amperaje necesario para el funcionamiento de la resistencia era mucho mayor al amperaje máximo soportado por los módulos Dimmer por lo que se corría el riesgo de quemar los módulos provocando el fallo total del sistema. Por lo que se decidió remplazar la resistencia de niquelina por 2 focos infrarrojos.

Figura 4.3. Elementos de calefacción del sistema.



Elementos de calefacción, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Al realizar las pruebas correspondientes con los focos infrarrojos se obtuvieron resultados eficientes, la temperatura interna en la parte superior del germinador era la indicada de acuerdo con el SetPoint establecido y la temperatura en la parte baja del germinador era muy inferior a la temperatura máxima soportada por el material de la estructura.

Figura 4.4. Prueba de funcionamiento de los elementos de calefacción del sistema.



Prueba de los elementos de calefacción, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Adicionalmente se agregaron 4 ventiladores para facilitar el descenso de la temperatura interna de la estructura en caso de requerirlo, durante el cambio del valor del SetPoint, con el fin de disminuir el tiempo al intercalar de un valor de temperatura alto a uno más bajo.

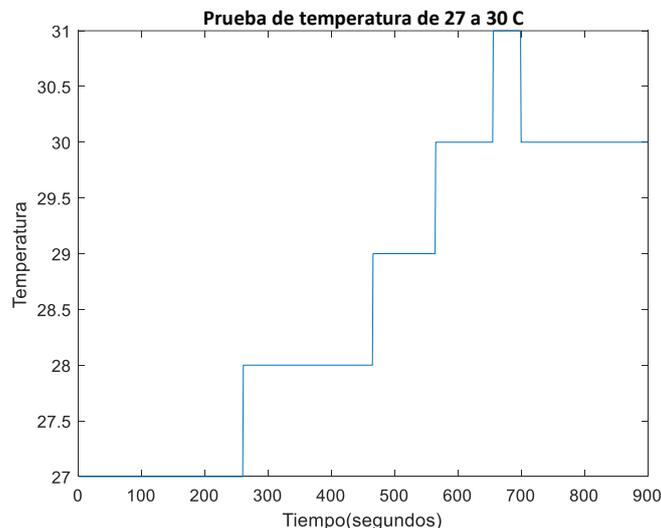
### 4.3 Resultados de las pruebas con diferentes valores de SetPoint

Se detallan los resultados obtenidos por medio de las pruebas realizadas en el dispositivo tomando diferentes valores del SetPoint.

#### 4.3.1 Resultados de la prueba de 27°C. a 30°C.

En la primera prueba realizada con temperatura interna de 27 C, se toma como SetPoint el valor de 30 grados, al comenzar el control la potencia de los focos aumenta tomando como punto inicial el valor 50 por ciento haciendo el cálculo de error entre la temperatura interna y el valor de temperatura deseado, al aumentar 1 grado la temperatura existe un descenso de potencia al recalcular el error hasta llegar a los 30 grados.

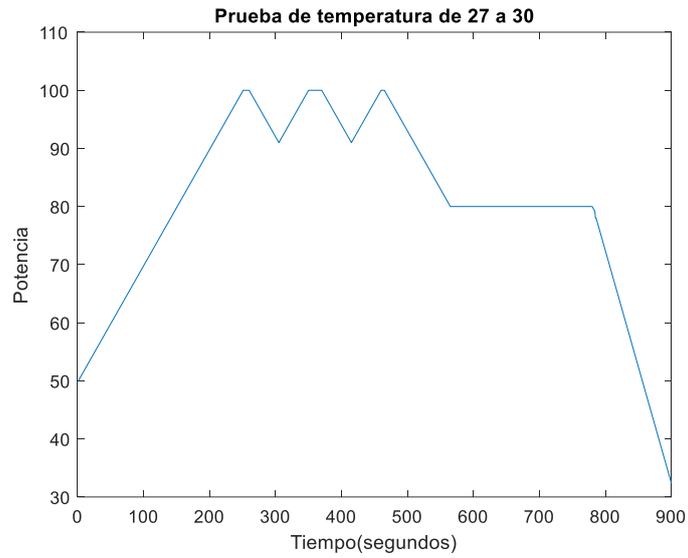
Figura 4.5. Comportamiento de la temperatura interna del prototipo en el tiempo de 27°C a 30°C.



Comportamiento de la temperatura, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Al llegar al valor de temperatura deseada el sistema desciende a un valor de potencia estable mediante el valor del error del sistema de control, pero después de un tiempo sobrepasa el valor de temperatura debido a la placa de latón instalada en el prototipo que se calienta y aumenta en un grado por lo que, el sistema comienza a bajar la potencia de los focos hasta que el sistema se logre estabilizar de nuevo en el valor de SetPoint.

Figura 4.6. Comportamiento de la potencia en el tiempo de 27°C a 30°C.

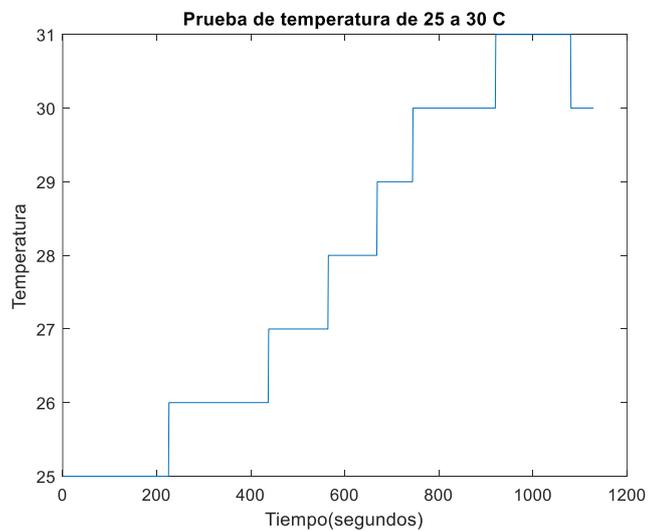


Comportamiento de la potencia, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

#### 4.3.2 Resultados de la prueba de 25°C. a 30°C.

En la segunda prueba pasa el mismo comportamiento en la temperatura y el cálculo del error en cada grado en este caso solo varia el tiempo en el cual sube un grado la temperatura, por los que existe un tiempo mayor en el que sobrepasa la temperatura un grado.

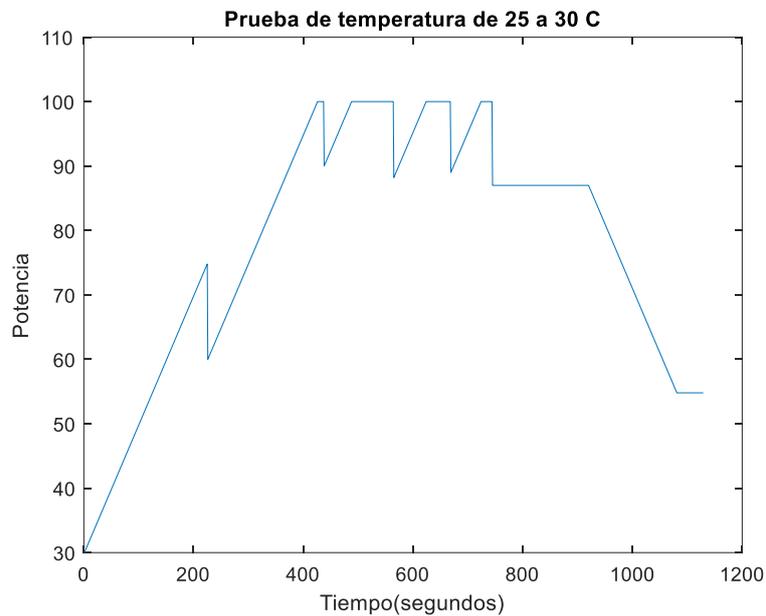
Figura 4.7. Comportamiento de la temperatura interna del prototipo en el tiempo de 25°C a 30°C.



Comportamiento de la temperatura, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

En una segunda prueba se toma un a temperatura interna de 25 C en donde para el primer cálculo del error de temperatura toma como valor inicial de potencia 30 por ciento y como la configuración del sistema de control, al aumento en un grado el valor de temperatura existe el descenso momentáneo de la potencia hasta el cálculo del nuevo error.

Figura 4.8. Comportamiento de la potencia en el tiempo de 25°C a 30°C.



Comportamiento de la potencia, Autores: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

#### 4.4 Consumo de energía

En las pruebas se toma en cuenta el consumo energético debido que la potencia de los focos consume los 500 W, teniendo esto en cuenta la tasa de consumo de entre 5 a 15 minutos hasta llegar al SetPoint tomando el 100 por ciento de la potencia total de los focos en ciertos puntos y llegando a estabilizarse en valores de 75 a 85 de valor estable como se puede observar en los puntos 4.3.2 y 4.3.1, teniendo esto en cuenta también el valor del KW/H en Ecuador siendo de 9,2 centavos de dólar.

Ahora con todos estos puntos tendríamos una tasa de consumo de entre 300 a 500 W dependiendo el tipo de SetPoint y la temperatura interna. Por lo que haciendo un valor aproximado con las pruebas realizadas tendríamos un consumo total de sería de 4137W en los 20 minutos que se encuentra en funcionamiento el sistema hasta alcanzar el nivel del SetPoint. Teniendo esto en cuenta el valor aproximado sería de 0,38 dólares de consumo, a esto se considera que al llegar al valor de SetPoint comienza a bajar la potencia y se conserva el calor gracias a la placa de latón implementada lo cual ahorra en gran medida el consumo energético.

## CONCLUSIONES

- Para el control del proceso de germinación se tomó en cuenta la variable de temperatura que es una de las principales, por lo que se realizó un control a lazo cerrado PI que permite un tiempo de estabilización más rápida y a su vez se ocupan focos infrarrojos que funcionan como resistencias calóricas este método de control era uno de los más ocupados. Además de implementar un control on-off para el uso de un sistema de ventilación adicional al sistema.
- El uso de un sistema de control de lazo cerrado a diferencia de uno de lazo abierto permite mantener la temperatura dentro del rango de operación sin necesidad de que el usuario esté involucrado en el proceso debió a que el sistema compara los valores registrados por los sensores en el interior del dispositivo con el valor del SetPoint, regulando la potencia enviada a los focos infrarrojos, para de esa forma mantener el rango de temperatura establecido por el usuario en el interior del dispositivo.
- Con las gráficas obtenidas en las pruebas, se registra un tiempo de estabilización más rápido con la función de transferencia de 3er orden ya que nos brinda un 82% de eficiencia por cada grado de entre 4 a 5 minutos, es decir que para una subida de entre 5 a 10 grados el tiempo de estabilización estaría entre los 20 minutos a diferencia si se ocupara la función de 2do orden, además en los valores de potencia existe un sobre impulso que a su vez se logra controlar mediante el cálculo de error en la variable de temperatura cada que sube un grado.
- En base a las pruebas y toma de resultados experimentales se logró comprobar el funcionamiento ideal del sistema y un buen rendimiento del sistema de control PI gracias a la identificación de la función de transferencia que se brinda una mejor eficiencia para estabilizar la variable de temperatura.

## RECOMENDACIONES

- En lo que corresponde el consumo de energía se tiene que el sistema de control al ser más eficiente y rápido reduce en gran medida el consumo energético por lo cual beneficia en gran medida el ahorro energético si se logra implementar para el uso en otros espacios.
- Para la creación del diseño de la estructura portátil se utilizaron los softwares de AutoCAD y SolidWorks, los cuales debido a sus funciones hacen más comprensivo y detallado la visualización final de la estructura.
- Después de culminar un proceso de germinación procurar encender los ventiladores y abrir las puertas de la estructura para facilitar el enfriamiento del interior de la estructura en caso de necesitar ingresar un valor de SetPoint menor al establecido con anterioridad, además se recomienda no tocar el latón ubicado en la parte inferior sin usar guantes de protección debido a que por su composición acumula el calor.
- En caso de presentar problemas con el manejo del dispositivo revisar la sección “Configuración del sistema” expuesta en este documento en la que se explica el funcionamiento del menú además de la forma de seleccionar el SetPoint y como iniciar el sistema.

## REFERENCIAS

- Héctor Godínez Álvarez; Arturo Flores Martínez . (2000). *Germinación de semillas de 32 especies de plantas de la costa de Guerrero: su utilidad para la restauración ecológica*. Distrito Federal : Polibotánica.
- Gastón, C. E. (2017). *Estudio de la germinación de dos especies de Teucrium protegidas en la Región de Murcia*. Cartagena: ETSIA.
- Probert, R. (2000). *El papel de la temperatura en la regulación de la latencia y la germinación de las semillas*. Wallingford: CAB International.
- Bone, H. (2021). *Microcontroladores y circuitos programables para el control de temperatura*. Manabi.
- Ortiz, J. (2021). *Diseño de control de temperatura de bajo costo*. Cartagena: eiei.
- Jiset, R. (2021). *Desarrollo de un sistema de control de humedad y temperatura del sustrato del cultivo de semillas*. Bogota: UEB.
- Suarez, R. (2021). *Automatización y control de un invernadero experimental para mejorar su eficiencia energética*. Latacunga: UTC
- Merino, C. (2022). *Prototipo iot para un invernadero acuapónico doméstico*. Ambato: UTA.
- Portalfruticola. (02 de 09 de 2017). *Portalfruticola*. Obtenido de Portalfruticola: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/11/02/temperaturas-tiempos-la-germinacion-las-semillas/>
- Pedre, S. (2012). *Sistemas Embebidos*. Argentina: FCEN.
- Pérez, D. (2009). *Sistemas embebidos y sistemas operativos embebidos*. Caracas: CICORE.
- Gaviño, R. H. (2010). *Introducción a los sistemas de control*. México: Pearson Educación.
- Rubén Morales Menéndez, Ricardo Ramírez Mendoza. (2013). *Sistemas de control moderno Volumen I: Sistemas de tiempo continuo* . México : Editorial Digital Tecnológico de Moterrey.
- Katsuhiko, O. (2010). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: Pearson Educación, S.A.

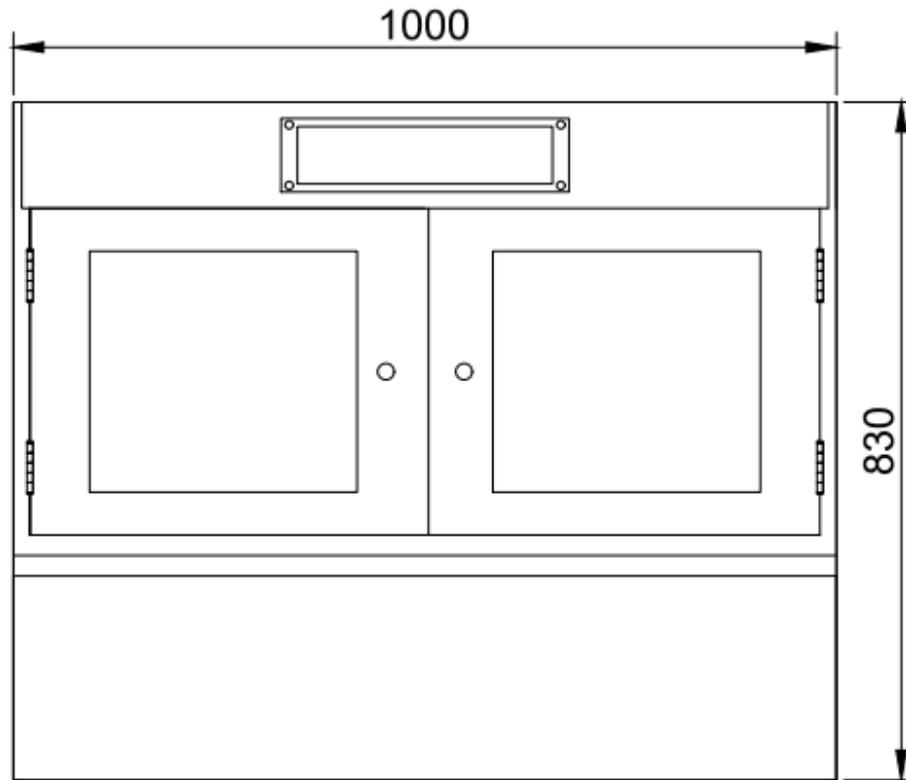
- Antonio Serna Ruiz, Francisco Antonio Ros. (2010). *Guía Práctica de Sensores*. Madrid : Creaciones Copyright.
- ASAIR. (2017). *Data Sheet DHT11* . ASAIR.
- Gonzalez, J. S. (2020). *Diseño y construcción de un prototipo de invernadero urbano automatizado*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Prasad, D. (19 de 04 de 2022). GEEKFLARE. Obtenido de <https://geekflare.com/es/best-cad-software/>
- Robles, Z. R. (2020). *Metodología y diseño de un producto plástico a nivel prototipo: trasportador de bottellas* . Tlanguistenco: Universidad Autónoma del Estado de México.
- SB, E. (09 de 09 de 2019). *Esneca SB*. Obtenido de <https://www.esneca.com/blog/que-es-autocad/>
- Montalvo, F. G. (2010). *El software AutoCAD y su incidencia en el dibujo técnico*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Chaca, P. A. (2019). *Sistematización y registro de información para la modulación, estructuración y armado de mobiliario en melamine*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Sebastián Mena and Diego Suárez. (2019). *Análisis y Propuesta de Reducción de Desperdicio en el Proceso de Elaboración de Aglomerado en Novopan del Ecuador S.A.* . Quito: Universidad San Francisco.
- S.A., M. (2019). *Ficha de producto* . Las Condes, Chile: Masisa S.A.Pelikano. (06 de 12 de 2022). *Pelikano*. Obtenido de Pelikano: <https://www.pelikano.com/catalogos-y-manuales/>
- TAURO. (13 de 09 de 2021). *Electricastauro*. Obtenido de [https://www.electricastauro.com/MLM-918575018-foco-infrarrojo-terapeutico-medicinal-de-calor-250w-\\_JM](https://www.electricastauro.com/MLM-918575018-foco-infrarrojo-terapeutico-medicinal-de-calor-250w-_JM)
- Electricianexp. (09 de 03 de 2022). *Electricianexp*. Obtenido de <https://electricianexp.com/39/es/lampochki/specializirovannye/infrakrasnye>

Iturbe, M. (31 de 08 de 2021). *RECN*. Obtenido de <https://recn.ru/es/infrakrasnye-obogrevateli-dlya-teplic-harakteristika-dostoinstva-vybor>

García, M. (25 de 05 de 2019). *Hetpro Store*. Obtenido de <https://hetpro-store.com/lcd-16x2-blog/>

## ANEXOS

Anexo 1. Plano de la estructura, vista frontal.

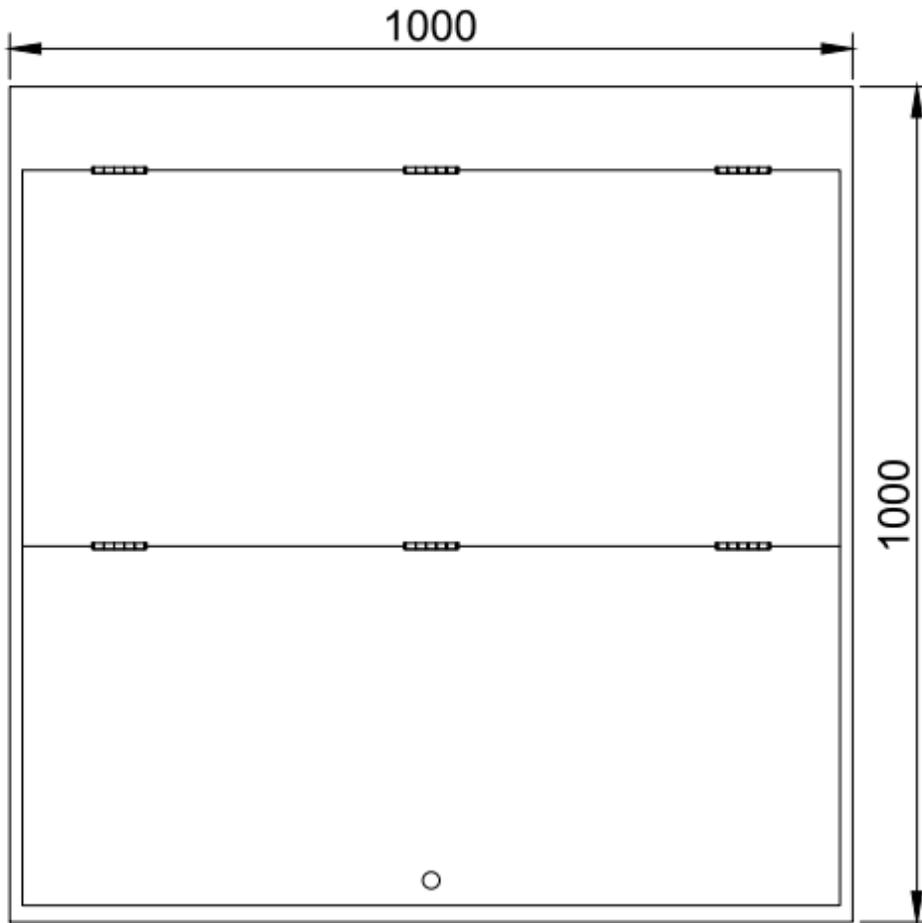


**VISTA FRONTAL**

ESC.: 1:10

Elaborado por: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Anexo 2. Plano de la estructura, vista superior.

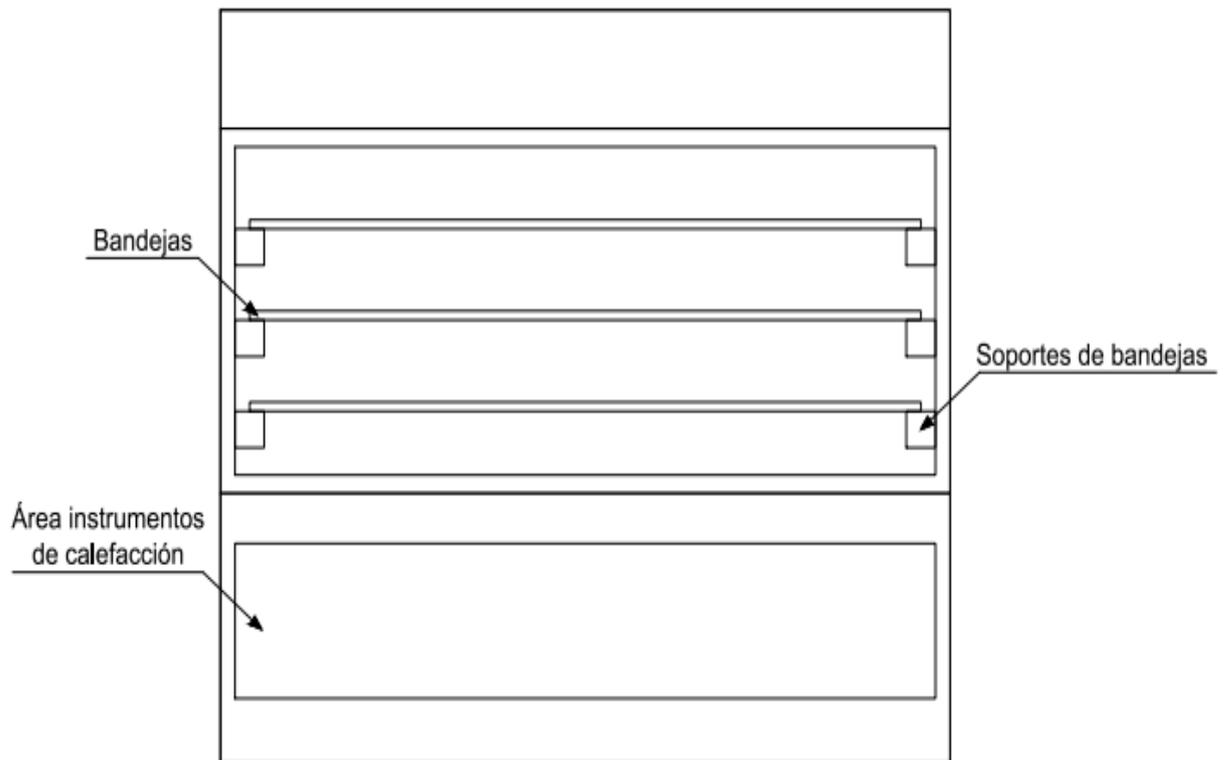


**VISTA SUPERIOR**

ESC.: 1:10

Elaborado por: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Anexo 3. Plano de la estructura, vista frontal interior.

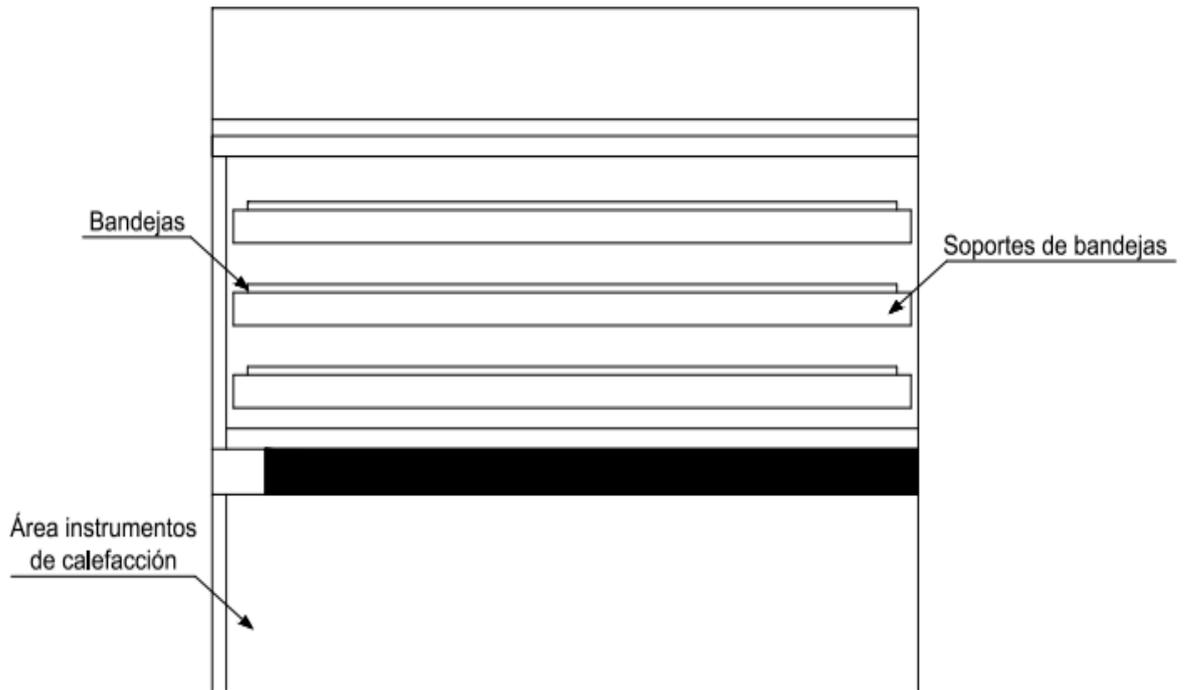


**VISTA FRONTAL INTERIOR**

ESC.: 1:10

Elaborado por: Daniel Caviedes y Josue Galarza.

Anexo 4. Plano de la estructura, vista lateral interior.



**VISTA LATERAL INTERIOR**

ESC.: 1:10

Elaborado por: Daniel Caviedes y Josue Galarza.