



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y  
HUMEDAD RELATIVA, BASADO EN PID EN UN AMBIENTE  
CERRADO CON FINES AGRÍCOLAS**

PRESENTADA POR

**AMAURI BENJAMIN ARELLANO ASTETE  
ADRIAN GOMEZ BALDEON**

ASESOR

**FERNANDO MAURICIO JIMENEZ MOTTE**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO ELECTRÓNICO

LIMA – PERÚ

2018



**Reconocimiento - No comercial – Compartir igual  
CC BY-NC-SA**

Los autores permiten transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**USMP**  
UNIVERSIDAD DE  
SAN MARTIN DE PORRES

**FACULTAD DE  
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA Y  
HUMEDAD RELATIVA, BASADO EN PID EN UN AMBIENTE  
CERRADO CON FINES AGRÍCOLAS**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO ELECTRÓNICO**

**PRESENTADA POR**

**ARELLANO ASTETE, AMAURI BENJAMIN  
GOMEZ BALDEON, ADRIAN**

**LIMA - PERÚ**

**2018**

### **Dedicatoria**

A Dios como base del Principio de todo. Y a nuestros padres, como base de nuestro principio.

### **Agradecimientos**

A todas aquellas personas, que impulsaron y motivaron nuestra pasión por la Ingeniería Electrónica.

	<b>ÍNDICE</b>	<b>Página</b>
<b>RESUMEN</b>		xii
<b>ABSTRACT</b>		xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b>		xiv
<b>CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO</b>		1
1.1 Antecedentes		1
1.2 Bases teóricas		5
1.3 Estructura de un invernadero: diseño, tecnología y clima		22
1.4 Fenómenos termoeléctricos		24
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA</b>		26
2.1 Material		26
2.2 Métodos		38
<b>CAPÍTULO III. DISEÑO Y DESARROLLO</b>		49
3.1 Diseño del controlador PID		49
<b>CAPÍTULO IV. PRUEBAS DE VALIDACIÓN, RESULTADOS E INFORME ECONÓMICO</b>		61
4.1 Pruebas y resultados de la planta de temperatura		61
4.2 Pruebas y resultados de la planta de humidificación		67
4.3 Informe económico		71
<b>CONCLUSIONES</b>		73
<b>RECOMENDACIONES</b>		74

**FUENTES DE INFORMACIÓN**

**75**

**ANEXOS**

**79**

## LISTA DE TABLAS

	<b>Página</b>
Tabla 1. Especificaciones técnicas del Raspberry Pi	27
Tabla 2. Especificaciones técnicas de los sensores de temperatura y humedad	28
Tabla 3. Especificaciones técnicas de dos diferentes celdas peltier	30
Tabla 4. Especificaciones técnicas de diferentes tipos de humidificadores	32
Tabla 5. Especificaciones técnicas del SparkFun Monster Moto Shield	33
Tabla 6. Especificaciones técnicas del módulo relay	34
Tabla 7. Especificaciones y materiales del prototipo	41
Tabla 8. Tabla de parámetros	48
Tabla 9. Parámetros del controlador PID de la planta de temperatura	55
Tabla 10. Parámetros del controlador PID de la planta de humidificación	59
Tabla 11. Materiales utilizados para el desarrollo y diseño de prototipo y del controlador PID	71



## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Tomato+ y sus dimensiones.	2
Figura 2. Grow Box.	3
Figura 3. Gráfica para determinar los parámetros de la función de transferencia por el método del 63,2%.	6
Figura 4. Diagrama de bloques de un sistema de primer orden.	6
Figura 5. Curva de respuesta al escalón de un sistema de primer orden.	7
Figura 6. Diagrama de bloques de un sistema de segundo orden.	7
Figura 7. Curvas de respuesta al escalón de un sistema de segundo orden con diversos factores de amortiguación.	8
Figura 8. Definición de $\beta$ y $\sigma$ .	9
Figura 9. Curva de respuesta a escalón unitario con $t_d$ , $t_r$ , $t_p$ , $M_p$ y $t_s$ .	11
Figura 10. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado.	13
Figura 11. Angulo de salida = $180 - \theta_1 + \theta_2 + \phi$ .	15
Figura 12. Diagrama de bloques de un sistema con un controlador PI.	18
Figura 13. Diagrama de bloques de un sistema con un controlador PD.	19
Figura 14. Diagrama de un sistema en lazo cerrado con un controlador PID.	21
Figura 15. Material metálico.	25
Figura 16. Efecto peltier.	25
Figura 17. Raspberry Pi 3, (Mocq, 2017).	26
Figura 18. Sensor de humedad y temperatura DHT21, (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.).	29
Figura 19. Proceso de trabajo del AM2301 con un microprocesador, (Guifeng, Shuguang, Xuesong, Dening, & Hongxia, 2010)	29

Figura 20. Celda peltier TEC1-12706, (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.).	31
Figura 21. Humidificador ultrasónico Mist Maker ACT-HUM, (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.).	32
Figura 22. SparkFun Monster Moto Shield, sparkfun.com.	33
Figura 23. Modulo relay de 8 canales, (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.)	34
Figura 24. Cooler Hyper H410R, coolermaster.com.	35
Figura 25. Fuente de voltaje de 12Vcc 10 A, amazon.com.	35
Figura 26. Ventilador más disipador, (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.).	36
Figura 27. Materiales de la planta de temperatura, elaborado por los autores.	38
Figura 28. Planta de temperatura, elaborado por los autores.	39
Figura 29. Materiales de la planta de humidificación, elaborado por los autores.	40
Figura 30. Planta de humidificación, elaborado por los autores.	40
Figura 31. Esquema del prototipo, elaborado por los autores.	41
Figura 32. Estructura del prototipo, elaborado por los autores.	42
Figura 33. Vista de la interfaz gráfica, elaborado por los autores.	42
Figura 34. Diagrama del controlador PID, elaboración de los autores.	43
Figura 35. Diagrama pictórico y digital del controlador PID, elaborado por los autores.	45
Figura 36. Diagrama del control de la planta de temperatura, elaborado por los autores.	45
Figura 37. Diagrama pictórico y digital del control de la planta de temperatura, elaborado por los autores.	46
Figura 38. Diagrama del control de la planta de humidificación, elaborado por los autores.	47
Figura 39. Diagrama pictórico y digital del control de la planta de humidificación, elaborado por los autores.	47
Figura 40. Curva de reacción de la planta de temperatura obtenida experimentalmente, elaborado por los autores.	50
Figura 41. Curva de reacción de la planta de temperatura con el método del 63.2%, elaborado por los autores.	50

Figura 42. Curva de reacción de la planta de humidificación obtenida experimentalmente, elaborado por los autores.	51
Figura 43. Curva de reacción de la planta de humidificación con el método del 63.2%, elaborado por los autores.	52
Figura 44. LGR de la planta de temperatura, elaborado por los autores.	54
Figura 45. Respuesta al escalón de la planta de temperatura con el controlador PI en lazo cerrado, elaborado por los autores.	56
Figura 46. LGR de la planta de humidificación, elaborado por los autores.	58
Figura 47. Respuesta al escalón de la planta de humidificación con el controlador PI en lazo cerrado, elaborado por los autores.	60
Figura 48. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 20, 23 y 26 °C, elaborado por los autores.	62
Figura 49. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 21, 24 y 27 °C, elaborado por los autores	63
Figura 50. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 22, 25 y 28 °C, elaborado por los autores	64
Figura 51. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 22 °C, elaborado por los autores	65
Figura 52. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 26 °C, elaborado por los autores	66
Figura 53. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 29 °C, elaborado por los autores	67
Figura 54. Curva experimental de la planta de humidificación controlada a 80%, elaborado por los autores	68
Figura 55. Curva experimental de la planta de humidificación controlada a 85%, elaborado por los autores	69
Figura 56. Curva experimental de la planta de humidificación controlada a 90%, elaborado por los autores	70

## LISTA DE VARIABLES

$G(s)$ : Función de transferencia de la planta

$K_0$ : Ganancia de la planta

$T$ : Constante de tiempo

$y_{63.2\%}$ : Valor de salida al 63.2%

$y_0$ : Valor inicial de salida

$y_f$ : Valor final de salida

$Y(s)$ : Salida del sistema

$R(s)$ : Entrada al escalón del sistema

$C(s)$ : Función de transferencia del controlador

$\omega_n$ : Frecuencia natural no amortiguada

$\zeta$ : Factor de amortiguamiento

$\omega_d$ : Frecuencia natural amortiguada

$t_d$ : Tiempo de retardo

$t_r$ : Tiempo de subida

$t_p$ : Tiempo pico

$M_p\%$ : Sobre-elongación máxima

$t_s$ : Tiempo de asentamiento

$C_P(s)$ : Función de transferencia del controlador proporcional

$K_p$ : Ganancia proporcional

$C_I(s)$ : Función de transferencia del controlador integral

$K_i$ : Ganancia integral

$C_{PI}(s)$ : Función de transferencia del controlador proporcional-integral

$C_{PD}(s)$ : Función de transferencia del controlador proporcional-derivativo

$K_d$ : Ganancia derivativa

$C_{PID}(s)$ : Función de transferencia del controlador proporcional-integral-derivativo

$G(s)C(s)$ : Numerador de la función de transferencia en lazo cerrado

$K$ : Factor multiplicativo de  $G(s)C(s)$

$1 + G(s)C(s)$ : Ecuación característica

$z_m$ : Polos en lazo cerrado

$p_n$ : Ceros en lazo abierto

$n$ : Número de polos de  $G(s)C(s)$

$m$ : Número de ceros de  $G(s)C(s)$

$\theta_K$ : Ángulos de las asíntotas del lugar geométrico de las raíces

$\sigma_1$ : Intersección de las asíntotas

## **RESUMEN**

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) menciona al control de la temperatura y la humedad relativa, como uno de los factores que ayudan a condicionar una germinación regular, rápida y completa de la mayor parte de las semillas. El objetivo general de este trabajo es diseñar un sistema de control PID para generar y mantener condiciones de temperatura y humedad relativa para un ambiente cerrado para el proceso de germinación de productos agrícolas. ¿Cómo generar y mantener condiciones de temperatura y humedad para un ambiente cerrado? Esta se responde a través del diseño de un sistema de control PID para un prototipo de ambiente cerrado. Los resultados se muestran en gráficas, basadas en experiencias realizadas con el controlador en el prototipo diseñado.

## **ABSTRACT**

The United Nations Food and Agriculture Organization (FAO) mentions the control of temperature and relative humidity, as one of the factors that help to condition a regular, rapid and complete germination of most seeds. The general objective of this research work is to design a PID control system to generate and maintain temperature and relative humidity conditions for a closed environment for the germination process of agricultural products. How to generate and maintain temperature and humidity conditions for a closed environment? The research question is answered through the design of a PID control system for a prototype of a closed environment. The results are shown in graphs based on experiences with the controller in the designed prototype.

## INTRODUCCIÓN

La germinación de semillas es parte fundamental y básica para el desarrollo de productos agrícolas, ya que para tal desarrollo se requiere de condiciones necesarias para romper su estado de dormancia, Según La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO) menciona al control de la temperatura y la humedad relativa, como uno de los factores que ayudan a condicionar una germinación regular, rápida y completa de la mayor parte de las semillas. La etapa de dormancia es en donde se pierde la mayor cantidad de semillas ya que las semillas no se desarrollarán al estar expuestas a temperaturas desfavorables, excesos de humedad, falta de agua y hasta por falta de nutrientes provocando una merma de semillas que no lograrán desarrollarse.

El desarrollo de la tesis está basado en un sistema de control que facilita al usuario otorgar las condiciones necesarias de temperatura y la humedad relativa para el desarrollo de la semilla, por consecuencia poder romper el estado de dormancia logrando la germinación respetando las características de la semilla.

En el ámbito profesional, el desarrollo de la tesis se basa en conocer los contextos, implicancias de la agricultura ya que la actividad agrícola en el Perú se caracteriza por el desorden en la producción y disminución de su rentabilidad por una carencia de infraestructura y tecnología la cual marca una diferencia en mercados internacionales que ofrecen productos agrícolas con estándares de producción y como marca de sus productos, logrando que la agricultura sea un factor considerable de ingresos económicos.



Se propone el diseño de sistema de un controlador PID para el control de temperatura y humedad relativa. El diseño del controlador se basará en el método del lugar geométrico de las raíces (LGR) descritas en los libros: Sistemas de control automático séptima edición e Ingeniería de Control Moderna quinta edición de los autores Benjamin C. Kuo y Katsuhiko Ogata respectivamente. Dicho controlador estará implementado en un Raspberry Pi y el código será desarrollado en lenguaje de programación Python. La tarjeta presenta una propiedad registrada como de uso libre y el software es de tipo Open Source.

Se establece que el diseño del controlador PID se basará en las condiciones necesarias de temperatura y humedad relativa como referencia de una variedad de semillas para la germinación; dichas condiciones se expresan en el Anexo 1.

A nivel nacional, se observa escasos ambientes que tengan un control de temperatura y humedad relativa para la germinación de semillas de productos agrícolas.

Según La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en el Perú, el 75 por ciento de los alimentos frescos son producidos por agricultores familiares, careciendo de tecnología (FAO, 2018).

Un ejemplo de producción sin sistema asistido de control de temperatura y humedad relativa son los cuatro invernaderos del programa de hortalizas de El Huerto que forma parte del sistema de investigación de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM).

El problema general se debe a escasos ambientes con control de temperatura y humedad relativa para el proceso de germinación de productos agrícolas.

El objetivo general es diseñar un sistema de control PID para generar y mantener condiciones de temperatura y humedad relativa para un ambiente cerrado para el proceso de germinación de productos agrícolas.

Los objetivos específicos son:

- Diseño de un prototipo de ambiente cerrado a escala.
- Diseñar e implementar un controlador PID para el control de la temperatura del ambiente cerrado.
- Diseñar e implementar un controlador PID para el control de la humedad relativa del ambiente cerrado.

Como justificación, en el campo agrícola mayormente se busca obtener productos agrícolas todo el año sin importar que los productos no se encuentren en su temporada de mayor producción, por ello se desarrollan sistemas de invernaderos el cual les permite conservar ciertas condiciones propicias para un desarrollo de los productos agrícolas sin importar la estación; asimismo, siendo la germinación de las semillas un factor importante para el desarrollo de los productos agrícolas, debido a que si no se les ofrece las condiciones necesarias para su desarrollo gran parte de ellas se pierden, mermando la producción.

La poca tecnología aplicada da como resultado un control rudimentario, en el cual el usuario se encarga manualmente de propiciar las condiciones de temperatura y humedad relativa según su experiencia.

Por otra parte, existen profesionales en temas agrícolas que otorgan mayor tecnología a los productos agrícolas, es decir, dotan de propiedades tales como mayor resistencia a ciertas condiciones de temperatura, mayor productividad en el desarrollo de los frutos, una maduración más temprana, etc.

El diseño del controlador permitirá otorgar condiciones de temperatura y humedad permitiendo un mejor desempeño del producto agrícola sin la intervención del usuario en el control de estas condiciones; poner a prueba la

nueva tecnología aplicada sobre los productos agrícolas, otorgando mediante el control un ambiente adecuado que propicie las condiciones necesarias para el desarrollo de las semillas y también se pretende ofrecer un aporte tecnológico fácil de implementar para el levantamiento de información de un adecuado desarrollo de productos.

En cuanto a las limitaciones, el diseño del control de temperatura y humedad relativa se basó en los parámetros de temperatura y humedad de una variedad de productos agrícolas que se muestran en el ANEXO 1. La temperatura tendrá un rango de trabajo desde la temperatura de ambiente hasta los 30°C y la humedad relativa tendrá un rango de trabajo desde 65% hasta 90%. La estructura del prototipo será un diseño a escala de la estructura de un invernadero.

En lo referente a la viabilidad técnica, este trabajo reúne características, condiciones técnicas y operativas que permiten el desarrollo de las metas trazadas para el desarrollo. Los productos electrónicos y materiales cuentan con una demanda en el mercado local lo cual facilita su adquisición.

En el desarrollo se utilizaron sensores que nos permitieron realizar lecturas de temperatura y humedad relativa, además, dispositivos que nos permitieron generar las condiciones propicias como es la de elevar y disminuir la temperatura, dispositivos generadores de humedad, controlador de actuadores, tarjetas de procesamiento como el Raspberry y sus accesorios como pantallas táctil e instrumentos de medición como los multímetros digitales.

Asimismo, se cuenta con los conocimientos necesarios adquiridos durante la formación académica de la formación universitaria de la carrera profesional de Ingeniería Electrónica tales como: Sistemas de control, Circuitos electrónicos, Arquitectura de computadoras.

En viabilidad económica, se desarrollan componentes electrónicos y materiales que poseen una presencia cuantitativa considerable en el mercado local, esto facilita la adquisición y disminuye el sobre costo que pueda generar materiales importados, generando que el importe económico sea bajo y facilita que sean asumidos por los desarrolladores de la tesis.

La viabilidad social ambiental genera una alternativa de simulación de temperatura y humedad relativa, favoreciendo a un grupo de usuarios en el campo agrícola que desean poner a prueba sus productos antes de un desarrollo a mayor escala, el producto final de la tesis no es un factor contaminante de preocupación con fines ambientales ya que no emite gases contaminantes.

En cuanto a la viabilidad, operativa no existe una limitación logística para la adquisición de componentes que se encuentran en nuestro mercado local; así mismo no existen prototipos de simulación de temperatura y humedad relativa en el cual el usuario pueda poner a prueba sus productos antes de llevar su producción a mayor escala y a la espera de las condiciones idóneas se den para poner a prueba su producto.

El producto final fue desarrollado y su configuración a nivel de usuario será un entorno amigable en el cual se pueda apreciar las medidas en tiempo real ayudado de un entorno gráfico explícito.

La tesis comprende cuatro capítulos. El primero aborda algunas soluciones similares que existen en el mercado, los métodos experimentales para obtener la función de transferencia de una planta, los tipos de controladores, el diseño del controlador. En el segundo, se mencionan y describen los materiales usados tanto software y hardware. En el tercero, se realiza el cálculo experimental de la función de transferencia de las plantas de temperatura y humidificación. Y en el cuarto capítulo, se presentan los resultados obtenidos, como la parte simulada y la parte experimental con prototipo de ambiente cerrado.

## **CAPÍTULO I**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **1.1 Antecedentes**

Se describen las soluciones similares que existen en el mercado y las publicaciones científicas sobre el control de temperatura y humedad.

##### **1.1.1 Soluciones similares existentes en el mercado**

###### **1.1.1.1 Tomato+**

Tomato+ es un invernadero automatizado resultado del trabajo de un grupo de ingenieros, diseñadores y botánicos italianos. El resultado es Tomato+, una idea patentada capaz de proporcionar verduras frescas y sin el uso de tierra, con un consumo de energía reducido (Tomatopiu s.r.l. unipersonale, n.d.).

Licencia desde el 7 de junio de 2016 de la solicitud de patente industrial presentada el 18 de diciembre de 2015 número 102015000084933. La declaración de la licencia se registró en la agencia Montichiari el 17 de junio de 2016 al número 1679 serie 3. La solicitud de transcripción de esta declaración al Ministerio de Desarrollo Económico fue enviada el 23 de junio de 2016 con el número de solicitud 602016000065055 para su transcripción.

La Figura 1, muestra el invernadero automatizado de Tomato+



Figura 1. Tomato+ y sus dimensiones.

Fuente: tomatopiu.com

El invernadero está dividido en cuatro estantes, cada uno de los cuales es independiente, con su propio microclima (temperatura, humedad, brillo, riego) comandado por el software Michele. Las semillas, meticulosamente seleccionadas, se colocan en el conjunto de vainas biodegradables especiales.

Una vez que el estante se ha llenado con la cultura deseada, simplemente seleccione el programa automático en la gran pantalla táctil de 4.3" ubicada en el medio de la puerta Tomato +. Michele administrará el ciclo de crecimiento natural de las verduras, recreando el ciclo día / noche gracias al uso de innovadoras lámparas LED de 22 vatios capaces de suministrar la energía lumínica necesaria (Tomatopiu s.r.l. unipersonale, n.d.).

### 1.1.1.2 Grow Box

En la siguiente patente con número: US 20140208642 A1 se muestra el método para hacer un Grow Box que es una caja de cultivo traducido al español, hecha de una caja o un cooler con conductos de ventilación para a regulación de la temperatura y la circulación de aire (United States Patent No. US 20140208642A1, 2014).

La Figura 2 muestra el diseño de la patente:

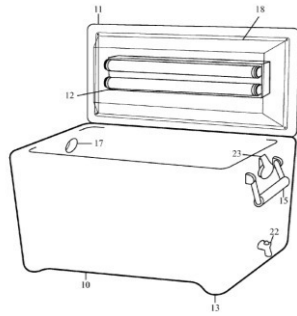


Figura 2. Grow Box.

Fuente: [patents.google.com/patent/US20140208642A1/en](https://patents.google.com/patent/US20140208642A1/en).

### 1.1.2 Publicaciones científicas/ingenieriles

El control en cascada PID es uno de los métodos más exitosos para mejorar el rendimiento del control en lazo cerrado ocasionando la estabilidad del sistema y minimizando la oscilación; usándose el control en cascada para estabilizar la temperatura con un controlador PID obteniendo un mejor rendimiento para el control de la temperatura; el tipo de controlador que se usó fue un PID que se ajustó con el método de Ziegler-Nichols, el modelamiento matemático de la planta se realizó experimentalmente y mediante el método del 63.2% se obtuvieron los parámetros aproximados de la función de transferencia (Trindianto, Ariwibowo, Almasa , & Gayuh, 2017).

El control de los parámetros de un invernadero cada día es más complejo, volviendo el control manual incompetente; el controlador PID es la forma más efectiva de controlar el microclima del invernadero jugando sus parámetros un papel muy importante; recientemente se han investigado algunos métodos de control avanzados, pero la mayoría de ellos aún se basan en el control PID, como el control neuronal y el control difuso. Los parámetros PID juegan un papel importante para estos métodos. Sin embargo, los parámetros de PID no pueden ser determinados por un cierto principio; por lo general, se definen por la forma de intento y error o por algún método heurístico de autoajuste. Algunos investigadores analizan cómo obtener los parámetros PID óptimos. Y al

final, todavía es necesario verificar estas teorías en el sitio. Lo correcto aún es incierto si la temporada cambió o si algunos otros dispositivos climáticos cambiaron más allá del trabajo en el sitio. Este documento investigo un método que ajusta los parámetros PID usando la técnica CFD para simular el microclima del invernadero. Los beneficios de este método son que los parámetros de PID se pueden definir y verificar con anticipación en lugar de hacer el trabajo en el sitio, sin embargo, la conclusión general fue que cualquier sea el método de control, los parámetros del PID se definirán con anticipación y se modificaran en el sitio (Xiao, Feng, & Zhi, 2013).

Controlar un invernadero ha recibido últimamente mayor atención por la ingeniería, el deseo de lograr una agricultura segura dentro de un invernadero es mediante el control de temperatura y humedad relativa; basándose en el controlador PID y el regulador cuadrático lineal LQR como técnicas no inteligentes, y el PID difuso y PID inmuno difuso como técnica inteligente; siendo la conclusión general que el uso de un PID inmuno difuso para el control de temperatura y humedad muestra un rendimiento satisfactorio en comparación con un controlador PID difuso (S, T K, & N, 2017).

Se desarrolló un sistema de control PI bajo el sistema Cohen- Coon logrando descender la temperatura interior 4 grados menor que la temperatura externa según los datos es de 31.5°C a 27.5°C en 90 minutos en un sistema open-loop, mientras que en un sistema close-loop de 31°C a 28°C le tomo un tiempo de 30 minutos aproximadamente para establecerse (Witchupong Wiboonjaroen & Sooknuan, 2017).



## 1.2 Bases teóricas

Se describen las bases teóricas, métodos y especificaciones necesarias para el desarrollo y diseño del controlador PID.

### 1.2.1 Determinación experimental de la función de transferencia de una planta

Estos métodos experimentales parten de la curva de reacción.

#### 1.2.1.1 Método del 63.2%

Este método se utiliza para obtener la función de transferencia a partir de datos experimentales para procesos de primer orden en lazo abierto con una entrada al escalón (Visioli, 2006).

Siendo la función de transferencia de primer orden de la planta:

$$G(s) = \frac{K_0}{Ts + 1} \quad T > 0 \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde  $k_0$  es la ganancia estimada,  $T$  es la constante de tiempo estimado.

El método del 63.2% consiste en hallar el valor de 'y' al 63.2% como se muestra en la Figura 3, donde 'y' son los valores de la salida en relación con el tiempo, entonces:

$$y_{63.2\%} = y_0 + 0.632(y_f - y_0) \quad \text{Ecuación 2}$$

Del cual se obtiene el tiempo en 63.2%

$$t_{63.2\%} = T \quad \text{Ecuación 3}$$

Luego la ganancia estimada  $K_0$  puede ser estimada como el valor máximo menos el valor mínimo.

$$K_0 = y_f - y_0 \quad \text{Ecuación 4}$$

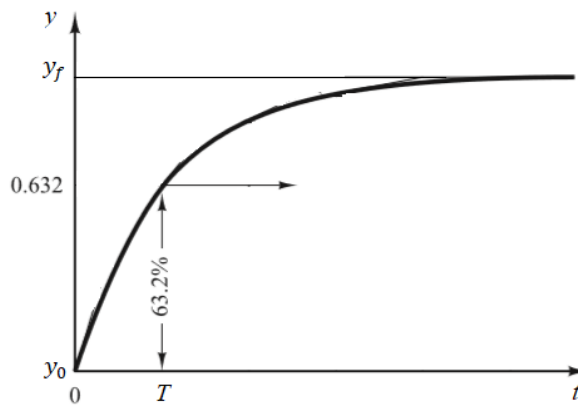


Figura 3. Gráfica para determinar los parámetros de la función de transferencia por el método del 63,2%.

Elaboración: los autores.

## 1.2.2 Análisis de la respuesta transitoria y estacionaria

La respuesta en el tiempo de un sistema de control consta de dos partes: la respuesta transitoria y la respuesta en estado estacionario. La respuesta transitoria se refiere a la que va del estado inicial al estado final. Por respuesta en estado estacionario se entiende la manera como se comporta la salida del sistema conforme el tiempo tiende a infinito (Ogata, 2010, p. 160).

### 1.2.2.1 Respuesta escalón de sistemas de primer orden

Siendo la función de transferencia de un sistema de primer orden como se muestra en la Figura 4, siendo  $R(s)=1/s$ ,

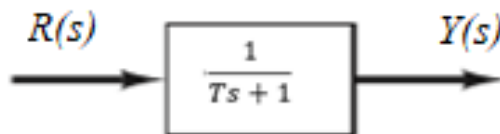


Figura 4. Diagrama de bloques de un sistema de primer orden.

Fuente: (Ogata, 2010).

Obsérvese en la Figura 5, que mientras más pequeña sea la constante de tiempo  $T$ , más rápida es la respuesta al escalón del sistema, también se observa que en una constante de tiempo, la respuesta ha ido de 0 a 63.2% del valor final, en  $t=2T$ ,  $3T$ ,  $4T$  y  $5T$ , la respuesta alcanza 86.5, 95, 98.2 y 99.3%, respectivamente del valor final, el estado estacionario en la práctica se alcanza con una estimación razonable del tiempo de respuesta que la curva necesite para llegar a cuatro constantes de tiempo.

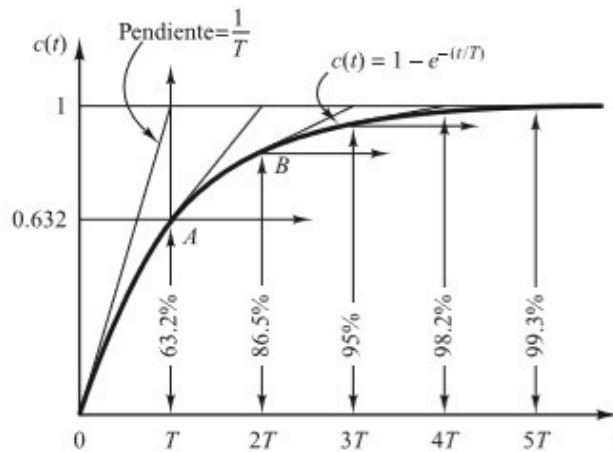


Figura 5. Curva de respuesta al escalón de un sistema de primer orden.

Fuente: (Ogata, 2010).

### 1.2.2.2 Respuesta escalón de sistemas de segundo orden

Siendo el sistema de segundo orden que se muestra en a la Figura 6,

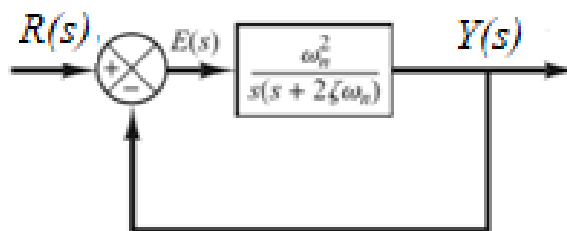


Figura 6. Diagrama de bloques de un sistema de segundo orden.

Fuente: (Ogata, 2010).

Los sistemas de segundo orden en lazo cerrado se representan por:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad \text{Ecuación 5}$$

El comportamiento del sistema de segundo orden se describe en términos de los parámetros  $\zeta$  y  $\omega_n$ , que son el factor de amortiguamiento y la frecuencia natural no amortiguada. Si  $0 < \zeta < 1$  los polos en lazo cerrado son complejos conjugados y se encuentran en el semiplano izquierdo del plano  $s$ , siendo denominado el sistema sub-amortiguado y la respuesta transitoria es oscilatoria, si  $\zeta = 0$ , la respuesta transitoria no se amortigua, si  $\zeta = 1$ , el sistema se denomina críticamente amortiguado, y los sistemas sobre-amortiguados tienen un  $\zeta > 1$ .

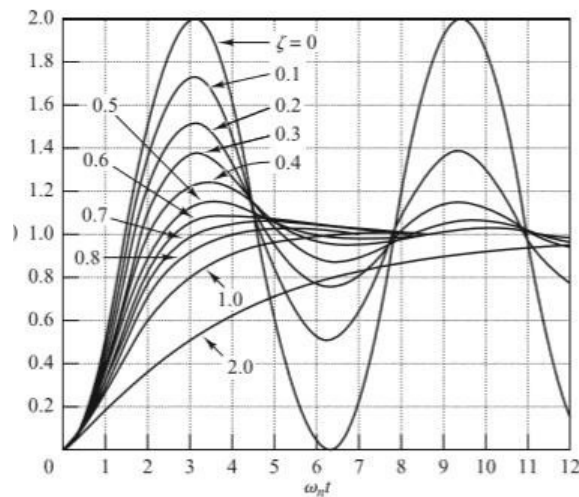


Figura 7. Curvas de respuesta al escalón de un sistema de segundo orden con diversos factores de amortiguación.

Fuente: (Ogata, 2010).

Obsérvese de la Figura 7, que un sistema sub-amortiguado con  $\zeta$  entre 0.4 y 0.8 se acerca al valor final con mucha más rapidez que otros tipos de sistemas.

### 1.2.2.3 Especificaciones de la respuesta transitoria para sistemas de segundo orden

Los valores de tiempo de subida, tiempo pico, sobre-elongación máxima y el tiempo de asentamiento se obtendrán en términos de  $\zeta$  y  $\omega_n$ , suponiendo también que el sistema este sub-amortiguado, en donde:

$$\omega_d = \omega_n(\sqrt{1 - \zeta^2}) \quad \text{Ecuación 6}$$

Siendo  $\omega_d$  la frecuencia natural amortiguada y:

$$\zeta\omega_n = \sigma \quad \text{Ecuación 7}$$

Las características de la respuesta transitoria de un sistema de control para una entrada escalón unitario están dadas por:

- Tiempo de retardo,  $t_d$ : Tiempo requerido para que la respuesta alcance la mitad del valor final.
- Tiempo de subida,  $t_r$ : Tiempo requerido para que la respuesta pase del 10 al 90%, del 5 al 95% o del 0 al 100% de su valor final, por lo tanto, el tiempo de subida es:

$$t_r = \frac{1}{\omega_d} \tan^{-1} \left( \frac{\omega_d}{-\sigma} \right) = \frac{\pi - \beta}{\omega_d} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde  $\beta$  y  $\sigma$  se definen en la Figura 8,

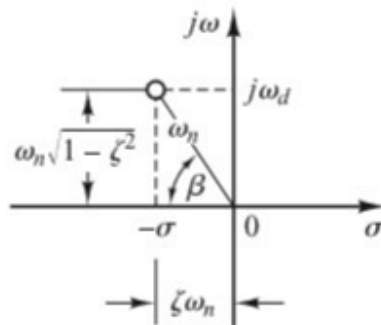


Figura 8. Definición de  $\beta$  y  $\sigma$ .

Fuente: (Ogata, 2010).

- Tiempo pico,  $t_p$ : Tiempo en el que la curva alcanza su primera sobre elongación, por lo tanto, el tiempo pico es:

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d} \quad \text{Ecuación 9}$$

Que corresponde a medio ciclo de la frecuencia de oscilación amortiguada.

- Sobre-elongación máxima,  $M_p\%$ : Máximo valor del pico de la curva de respuesta en porcentaje, por lo tanto, la sobre-elongación máxima en porcentaje es:

$$M_p\% = 100e^{-(\sigma/\omega_d)\pi} = 100e^{-(\zeta/\sqrt{1-\zeta^2})\pi} \quad \text{Ecuación 10}$$

- Tiempo de asentamiento,  $t_s$ : El tiempo de asentamiento es el que se requiere para que la curva de respuesta alcance un rango alrededor del valor final del tamaño especificado por el porcentaje absoluto del valor final. El tiempo de asentamiento se relaciona con la mayor constante de tiempo del sistema de control. Las especificaciones del diseño del sistema en cuestión determinan qué criterio en porcentaje utilizar, (por lo general, de 2 o 5%). Por lo tanto, el tiempo de asentamiento es:

$$t_s = 4T = \frac{4}{\sigma} = \frac{4}{\zeta\omega_n}, \quad \text{criterio del 2\%} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$t_s = 3T = \frac{3}{\sigma} = \frac{3}{\zeta\omega_n}, \quad \text{criterio del 5\%} \quad \text{Ecuación 12}$$

El tiempo de asentamiento que corresponde a una banda de tolerancia de  $\pm 2\%$  o  $\pm 5\%$  se mide en función de la constante de tiempo  $T = 1/\zeta\omega_n$  para diferentes valores de  $\zeta$ .

Las especificaciones, en el dominio del tiempo que se muestran en la Figura 9, son muy importantes, ya que todos los sistemas de control son sistemas en el dominio del tiempo.

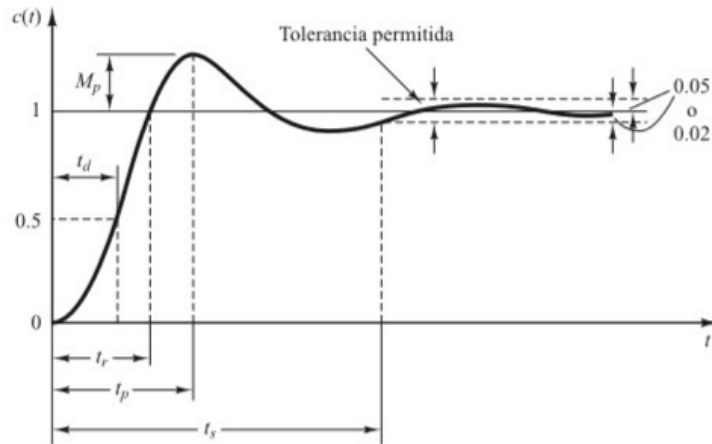


Figura 9. Curva de respuesta a escalón unitario con  $t_d$ ,  $t_r$ ,  $t_p$ ,  $M_p$  y  $t_s$ .

Fuente: (Ogata, 2010).

### 1.2.3 Clasificación de los controladores

#### 1.2.3.1 Acción de control proporcional

La función de transferencia del controlador proporcional es:

$$C_p(s) = K_p \tag{Ecuación 13}$$

Donde  $K_p$  es la ganancia proporcional.

#### 1.2.3.2 Acción de control integral

La función de transferencia del controlador integral es:

$$C_I(s) = \frac{K_i}{s} \tag{Ecuación 14}$$

Donde  $K_i$  es la ganancia integral.

#### 1.2.3.3 Acción de control proporcional-integral

La función de transferencia del controlador proporcional-integral es:

$$C_{PI}(s) = \frac{K_p s + K_i}{s} \tag{Ecuación 15}$$

### 1.2.3.4 Acción de control proporcional-derivativo

La función de transferencia del controlador-proporcional derivativo es:

$$C_{PD}(s) = K_p + K_d s \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde  $K_d$  es la ganancia derivativa.

### 1.2.3.5 Acción de control proporcional-integral-derivativa

Al llegar a combinar las 3 acciones de control que son la proporcional, la integral y la derivativa se convierte en una acción de control proporcional-integral-derivativa, teniendo las ventajas de cada uno (Ogata, 2010, p. 25).

Donde la función de transferencia es:

$$C_{PID}(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \quad \text{Ecuación 17}$$

### 1.2.4 Método del lugar geométrico de las raíces (LGR)

Un estudio importante en sistemas de control lineales es la investigación de las trayectorias en las raíces de la ecuación característica o, simplemente, lugar geométrico de las raíces-cuando cierto parámetro varia (Kuo, 1996, p. 470).

Se considera la función de transferencia en lazo cerrado de un sistema como se muestra a continuación:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{C(s)G(s)}{1 + C(s)G(s)} \quad \text{Ecuación 18}$$

La ecuación característica para este sistema en lazo cerrado se obtiene haciendo que el denominador sea igual a cero, es decir:

$$1 + C(s)G(s) = 0 \quad \text{Ecuación 19}$$



Con un diagrama de bloques como se muestra en la Figura 10:

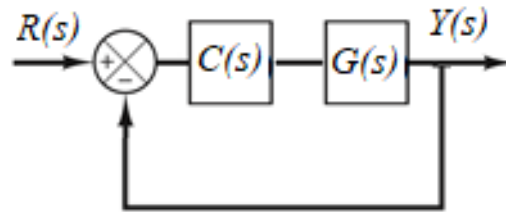


Figura 10. Diagrama de bloques de un sistema de control en lazo cerrado.

Fuente: (Ogata, 2010).

Suponga que  $G(s)C(s)$  contiene un parámetro variable  $k$  como factor multiplicativo, entonces la ecuación característica es:

$$1 + \frac{K(s + z_1)(s + z_2) \dots (s + z_m)}{(s + p_1)(s + p_2) \dots (s + p_n)} = 0 \quad \text{Ecuación 20}$$

Eso quiere decir, que el lugar de las raíces para el sistema es los lugares de los polos en lazo cerrado cuando la ganancia  $K$  varía de cero a infinito.

#### 1.2.4.1 Propiedades básicas del lugar geométrico de las raíces (LGR)

Las siguientes propiedades son útiles para construir el lugar geométrico de las raíces.

##### 1.2.4.1.1 Puntos donde $K = 0$ y $K = \pm\infty$

Los puntos sobre el lugar geométrico de las raíces donde  $K = 0$  son los polos de  $G(s)C(s)$  y los puntos sobre el lugar geométrico de las raíces donde  $K = \pm\infty$  son los ceros de  $G(s)C(s)$ .

##### 1.2.4.1.2 Número de ramas sobre el lugar geométrico de las raíces

El número de ramas del lugar geométrico de las raíces es igual al número de raíces de la ecuación o al orden del polinomio.

### 1.2.4.1.3 Simetría del lugar geométrico de las raíces

El lugar geométrico de las raíces es simétrico respecto a los ejes de simetría de la configuración de polos y ceros de  $G(s)C(s)$ .

### 1.2.4.1.4 Ángulos de las asíntotas del lugar geométrico de las raíces: Comportamiento del lugar geométrico de las raíces en $|s| = \infty$

Las propiedades del lugar geométrico de las raíces cerca del infinito en el plano  $s$  se describen mediante las asíntotas del lugar geométrico cuando  $|s| \rightarrow \infty$ .

Para  $K > 0$  son asíntóticas o son asíntotas con ángulos dados por:

$$\theta_k = \frac{\pm 180^\circ(2K + 1)}{|n - m|} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

$$K = 0, 1, 2, \dots, |n - m| - 1$$

$n$  = número de polos finitos de  $G(s)C(s)$

$m$  = número de ceros finitos de  $G(s)C(s)$

### 1.2.4.1.5 Intersección de las asíntotas (centroide)

- La intersección de las asíntotas cae solamente sobre el eje real en el plano  $s$ .
- El punto de intersección de las asíntotas está dado por:

$$\sigma_1 = \frac{\sum \text{parte real de polos } G(s)C(s) - \sum \text{parte real de los ceros } G(s)C(s)}{n - m} \quad \text{Ecuación 22}$$

### 1.2.4.1.6 Lugar geométrico de las raíces sobre el eje real

Para valores de  $K > 0$  se encuentran en una sección del eje real solo si el número total de polos y ceros reales de  $G(s)C(s)$  a la derecha de la sección es impar. Para valores de  $K < 0$ , el número total de polos reales y ceros a la derecha de la sección será par.

### 1.2.4.1.7 Ángulo de salida y ángulos de llegada del lugar geométrico de las raíces

Para determinar el ángulo de salida (ángulo de llegada) de un lugar geométrico de las raíces vamos a partir de un polo complejo o un cero complejo, por lo tanto:

Ángulo de salida desde un polo complejo =  $180^\circ$

(suma de los ángulos de vectores hacia el polo complejo en cuestión desde otros polos) + (suma de los ángulos de vectores hacia el polo complejo en cuestión desde los ceros)

Ángulo de llegada a un cero complejo =  $180^\circ -$  (suma de los ángulos de vectores hacia el cero complejo en cuestión desde otros ceros) + (suma de los ángulos de vectores hacia el cero complejo en cuestión desde los polos), el ángulo de partida se muestra en la Figura 11.

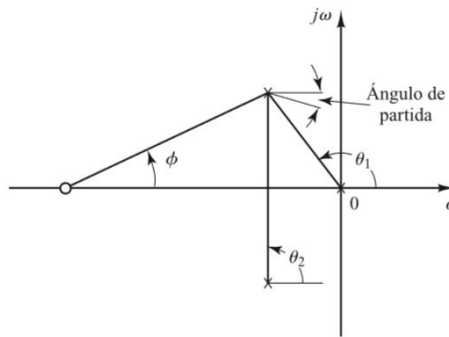


Figura 11. *Angulo de salida* =  $180 - [\theta_1 + \theta_2] + \phi$ .

Fuente: (Ogata, 2010).

### 1.2.4.1.8 Intersección del lugar geométrico de las raíces con el eje imaginario

Los puntos de cruce del lugar geométrico de las raíces sobre el eje imaginario y el valor correspondiente de K se pueden encontrar al emplear el criterio de Routh-Hurwitz.

#### **1.2.4.1.9 Punto de ruptura sobre el lugar geométrico de las raíces**

Los puntos de ruptura sobre el lugar geométrico de las raíces se determinan al encontrar las raíces de:

$$\frac{dG(s)C(s)}{ds} = 0 \quad \text{Ecuación 23}$$

#### **1.2.4.1.10 Cálculo de K sobre el lugar geométrico de las raíces**

El valor absoluto de  $k$  en cualquier punto de las raíces sobre el lugar geométrico de las raíces se da en forma gráfica como:

$$|K| = \frac{\text{producto de las longitudes entre la raíz y los polos}}{\text{producto de las longitudes entre la raíz y los ceros}} \quad \text{Ecuación 24}$$

Propiedades del lugar geométrico de las raíces obtenidas de (Kuo, 1996) y (Ogata, 2010).

#### **1.2.4.2 Efecto de añadir polos y ceros a $G(s)H(s)$**

Para el diseño de controladores, es útil aprender los efectos sobre el lugar geométrico de las raíces cuando se añaden polos y ceros.

##### **1.2.4.2.1 Adición de polos**

Añadir un polo a  $G(s)C(s)$  tiene el efecto de empujar el lugar geométrico de las raíces hacia el semiplano derecho del plano  $s$  (Kuo, 1996, p. 510).

##### **1.2.4.2.2 Adición de ceros**

El añadir ceros en el semiplano izquierdo a la función  $G(s)C(s)$  generalmente tiene el efecto de mover y colocar el lugar geométrico de las raíces hacia el semiplano izquierdo del plano  $s$  (Kuo, 1996, p. 510).

#### **1.2.5 Diseño de un controlador mediante el método del lugar geométrico de las raíces**

El método del lugar geométrico de las raíces se utiliza a menudo cuando se diseña un controlador que puede encontrar sus ganancias. Por lo general, el método se usa para determinar solo un parámetro de diseño. Sin embargo, la

mayoría de los controladores para aplicaciones industriales tienen más de una ganancia de controlador: por ejemplo, los controladores derivados proporcionales-integrales (PID) tienen tres ganancias de controlador, P, I y D. Como el método geométrico del lugar de las raíces no puede completar los diseños de controladores con más de una ganancia, el diseño de un controlador con más de un parámetro requiere una extensión de este método convencional (Kwon & Chang, 2016).

Después de elegir una configuración de controlador, el diseñador debe elegir un tipo de controlador que, con la selección adecuada de los valores de sus elementos, satisfaga todas las especificaciones de diseño. Los tipos de controladores disponibles para el diseño del sistema de control están limitados solo por la imaginación. La práctica de ingeniería generalmente dicta que uno elija el controlador más simple que cumpla con todas las especificaciones de diseño. En la mayoría de los casos, cuanto más complejo es un controlador, cuanta más cuesta, menos confiable es y más difícil es de diseñar. La elección de un controlador específico para una aplicación específica a menudo se basa en la experiencia pasada del diseñador y, en ocasiones, en la intuición, y conlleva tanto arte como ciencia (Golnaraghi & Kuo, 2010).

De la Figura 10, se muestra un sistema de control en lazo cerrado que servirá para el diseño del controlador.

Para poder diseñar un controlador se necesitan especificaciones de diseño tales como la sobre-elongación máxima  $M_p\%$ , el tiempo de asentamiento  $t_s$  y el criterio del 2 % o 5%.

Matlab servirá para graficar el lugar geométrico de las raíces con la función *rlocus*; para graficar la respuesta al lazo cerrado se usa la función *feedback* y *step* para así poder determinar las ganancias para cada controlador.

### 1.2.5.1 Diseño de un controlador PI

Para diseñar un controlador PI, se debe determinar las ganancias proporcional e integral.

De la Figura 12, se obtiene la función de transferencia en lazo cerrado que se muestra en la Ecuación 25.

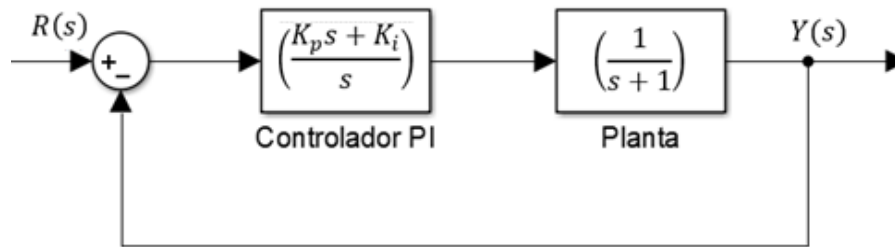


Figura 12. Diagrama de bloques de un sistema con un controlador PI.

Elaboración: los autores.

$$(R(s) - Y(s)) \left( \frac{K_p s + K_i}{s} \right) \left( \frac{1}{s + 1} \right) = Y(s) \quad \text{Ecuación 25}$$

De la Ecuación 25, se obtiene:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_p s + K_i}{s^2 + (K_p + 1)s + K_i} \quad \text{Ecuación 26}$$

Por consiguiente, la ecuación característica es:

$$s^2 + (K_p + 1)s + K_i = 0 \quad \text{Ecuación 27}$$

Al comparar la función de transferencia con la Ecuación 5, se obtiene:

$$\zeta \omega_n = \frac{K_p + 1}{2} \quad \text{Ecuación 28}$$

Y también:

$$\omega_n^2 = K_i \quad \text{Ecuación 29}$$

Con las especificaciones de diseño se obtiene las ganancias  $K_p$  y  $K_i$ , para ello:

Se usa la Ecuación 11, con un criterio del 2%:

$$t_s = \frac{4}{\zeta\omega_n} = \frac{8}{K_p + 1} \quad \text{Ecuación 30}$$

O la Ecuación 12, con un criterio del 5%:

$$t_s = \frac{3}{\zeta\omega_n} = \frac{6}{K_p + 1} \quad \text{Ecuación 31}$$

Con lo cual se logra obtener el valor de  $K_p$ .

De la Ecuación 10, se obtiene el factor de amortiguamiento  $\zeta$ .

Y de la Ecuación 11 o Ecuación 12 se obtiene también la frecuencia natural no amortiguada  $\omega_n$  para poder obtener el valor de  $K_i$ .

### 1.2.5.2 Diseño de un controlador PD

Para diseñar un controlador PD, se debe determinar las ganancias proporcional y derivativa.

De la Figura 13, se obtiene la función de transferencia en lazo cerrado que se muestra en la Ecuación 32.

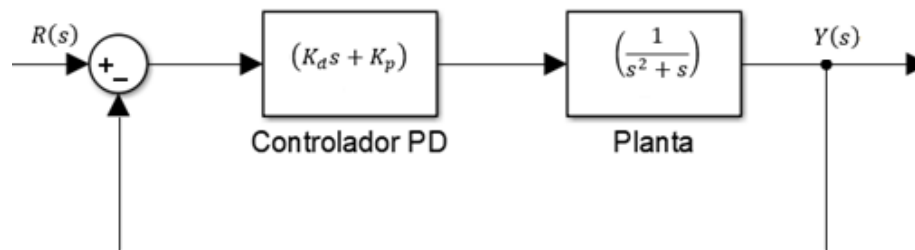


Figura 13. Diagrama de bloques de un sistema con un controlador PD.

Elaboración: los autores.

$$(R(s) - Y(s))(K_d s + K_p) \left( \frac{1}{s^2 + s} \right) = Y(s) \quad \text{Ecuación 32}$$

De la Ecuación 32, se obtiene:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_d s + K_p}{s^2 + (1 + K_d)s + K_p} \quad \text{Ecuación 33}$$

Por consiguiente, la ecuación característica es:

$$s^2 + (1 + K_d)s + K_p = 0 \quad \text{Ecuación 34}$$

Al comparar la función de transferencia con la Ecuación 5, se obtiene:

$$\zeta \omega_n = \frac{K_d + 1}{2} \quad \text{Ecuación 35}$$

Y también:

$$\omega_n^2 = K_p \quad \text{Ecuación 36}$$

Con las especificaciones de diseño se obtiene las ganancias  $K_p$  y  $K_d$ , para ello:

Se usa la Ecuación 11, con un criterio del 2%:

$$t_s = \frac{4}{\zeta \omega_n} = \frac{8}{K_d + 1} \quad \text{Ecuación 37}$$

O la Ecuación 12, con un criterio del 5%:

$$t_s = \frac{3}{\zeta \omega_n} = \frac{6}{K_d + 1} \quad \text{Ecuación 38}$$

Con lo cual se logra obtener el valor de  $K_d$ .

De la Ecuación 10 se obtiene el factor de amortiguamiento  $\zeta$ , y de la Ecuación 11 o Ecuación 12 se obtiene la frecuencia natural no amortiguada  $\omega_n$  para poder obtener el valor de  $K_p$ .

### 1.2.5.3 Diseño de un controlador PID

Para diseñar un controlador PID, se deben determinar las ganancias proporcional, integral y derivativa.



De la Figura 14, se obtiene la función de transferencia en lazo cerrado que se muestra en la Ecuación 39.

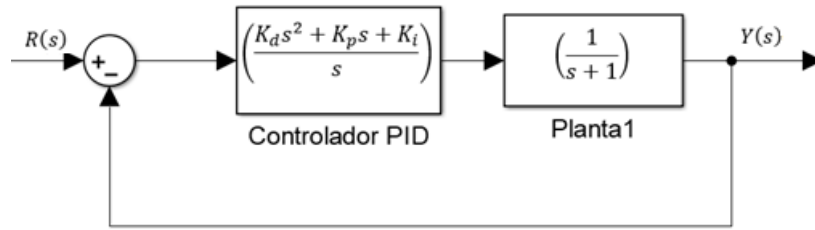


Figura 14. Diagrama de un sistema en lazo cerrado con un controlador PID.

Elaboración: los autores

$$(R(s) - Y(s)) \left( \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} \right) \left( \frac{1}{s + 1} \right) = Y(s) \quad \text{Ecuación 39}$$

De la Ecuación 39, se obtiene:

$$\frac{Y(s)}{R(s)} = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{(1 + K_d)s^2 + (K_p + 1)s + K_i} \quad \text{Ecuación 40}$$

Por consiguiente, la ecuación característica es:

$$(1 + K_d)s^2 + (K_p + 1)s + K_i = 0 \quad \text{Ecuación 41}$$

Al comparar la función de transferencia con la Ecuación 5, se obtiene:

$$\zeta \omega_n = \frac{K_p + 1}{2} \quad \text{Ecuación 42}$$

$$\omega_n^2 = K_i \quad \text{Ecuación 43}$$

Y también:

$$1 + K_d = 1 \quad \text{Ecuación 44}$$

Con las especificaciones de diseño se obtiene las ganancias  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$ , para ello:

Se usa la Ecuación 11, con un criterio del 2%:

$$t_s = \frac{4}{\zeta \omega_n} = \frac{8}{K_p + 1} \quad \text{Ecuación 45}$$

O la Ecuación 12, con un criterio del 5%:

$$t_s = \frac{3}{\zeta \omega_n} = \frac{6}{K_p + 1} \quad \text{Ecuación 46}$$

Logrando obtener el valor de  $K_p$ .

De la Ecuación 10 se obtiene el factor de amortiguamiento  $\zeta$ , y de la Ecuación 11 o Ecuación 12 se obtiene la frecuencia natural no amortiguada  $\omega_n$  para poder obtener el valor de  $K_i$ .

El valor de  $K_d$  será de cero al resolver la Ecuación 44.

### **1.3 Estructura de un invernadero: diseño, tecnología y clima**

Basta decir que el diseño o la tecnología que se usara para un invernadero es realmente compleja, todo dependerá del clima externo que se tenga en cada localidad. Si la temperatura exterior mínima promedio es menor a 10 °C, probablemente sea necesario calentar, particularmente por la noche. Cuando la temperatura exterior promedio máxima es menor a 27 °C, la ventilación evitara temperaturas internas excesivas durante el día; sin embargo, si la temperatura máxima promedio es mayor a 27 °C, puede ser necesario un enfriamiento artificial. La temperatura máxima del invernadero no debe superar los 30-35°C durante periodos prolongados (kittas, Katsoulas, & Bartzanas, 2017, p. 29).

#### **1.3.1 Material de cobertura**

La cobertura que se use influirá en las características del microclima, existiendo tres tipos de cubierta que son: vidrio, láminas de policarbonato que son más duraderas con un factor de aislamiento ligeramente superior al de una doble capa de película de polietileno y la película de polietileno ofrece una solución económica y eficiente que influye de manera efectiva en el clima (kittas, Katsoulas, & Bartzanas, 2017, p. 32).

### **1.3.2 Ventilación mecánica**

Dado que la ventilación natural depende de las condiciones ambientales externas, la ventilación mecánica representa un medio alternativo para aliviar el calor interno, basándose en la creación de un flujo de aire con ventiladores que aspiran aire en un lado mientras que en el otro lado dejan entrar el aire por aberturas, con las siguientes recomendaciones (kittas, Katsoulas, & Bartzanas, 2017):

- Ubique los ventiladores en el lado izquierdo o en el lado final del invernadero.
- Ubique los ventiladores a una distancia de 8-10 metros entre sí.
- Deje una abertura de al menos 1.25 veces el área del ventilador para la entrada de aire.

### **1.3.3 Enfriamiento**

La ventilación mecánica no es suficiente si se requiere reducir la temperatura interior por debajo de la temperatura exterior, para esto se debe de optar por un sistema de enfriamiento por evaporación que se basan en la conversión del calor sensible en calor latente mediante la evaporación del agua suministrada directamente en la atmosfera interna (sistema de niebla o rociadores) donde el agua se rocía como pequeñas gotas dando una eficiencia de evaporación alta y creando una humedad relativa alta que resulta en un enfriamiento interior; o el enfriamiento con ventilador y plataforma de radiador donde el aire exterior se sopla a través de la plataforma de radiador (kittas, Katsoulas, & Bartzanas, 2017).

### **1.3.4 Calefacción**

La temperatura del aire es esencial para la producción y también para el control de enfermedades y supervivencia de las plantas, para esto existen sistemas de calefacción que proporcionan un control de temperatura uniforme, existen varios tipos siendo los más comunes los calentadores de aire que normalmente están alimentados con aceite y usan ventiladores para la

distribución de calor siendo su principal inconveniente la distribución heterogénea del calor, esto se puede mejorar conectando el calentador con un soplador conectado a un conducto y tubo ubicado debajo o encima de los bancos de los cultivos generando una distribución de calor homogénea; y la calefacción por tubería central que produce vapor de agua caliente disipando todo el calor en el interior por medio de un mecanismo de radiación (tubería de acero o plástico) instalado alrededor del perímetro, debajo de los bancos o sobre estos; también se pueden usar en combinación (kittas, Katsoulas, & Bartzanas, 2017).

### **1.3.5 Gestión de la humedad**

La humedad es el factor ambiental más difícil de controlar, siendo un desafío incluso para los equipos de control y monitoreo más sofisticados. El principal problema con el manejo de la humedad es la producción de condensación en el interior, sin embargo, se puede evitar combinando la ventilación y calefacción en el interior del invernadero mediante la apertura de los puntos de ventilación permitiendo que el aire exterior reemplace al aire húmedo del interior y calentando el ambiente, esto reducirá la humedad interior (kittas, Katsoulas, & Bartzanas, 2017).

## **1.4 Fenómenos termoeléctricos**

Se denomina fenómenos termoeléctricos a la unión de materiales que presentan un acoplamiento entre propiedades térmicas y eléctricas, existiendo 2 llamados:

### **1.4.1 Efecto seebeck**

Un material metálico que se muestra en la Figura 15, con distintas temperaturas en cada cara, una mayor que la otra, en el extremo caliente la energía cinética promedio de los electrones será mayor a la del extremo frío, provocando un flujo de electrones desde la zona caliente hacia la fría teniendo. Como consecuencia ambos extremos se cargarán positivamente para el lado

caliente y negativamente para el lado frío, esto generara una diferencia de potencial en el material metálico (Montes, Cuevas, & Cintas, 2014, pág. 680).

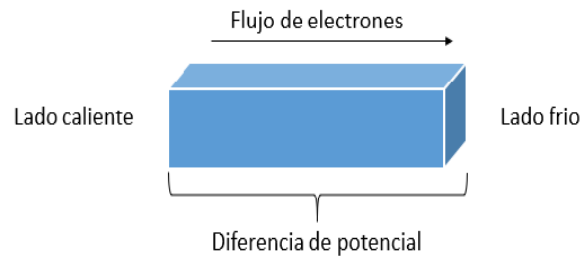


Figura 15. Material metálico.

Fuente: (Montes, Cuevas, & Cintas, 2014).

#### 1.4.2 Efecto peltier

El efecto peltier se presenta al pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales semiconductores, estos poseen un efecto termoeléctrico de mayor intensidad porque son muy sensibles a la temperatura, de tal manera que una unión del circuito tendera a calentarse mientras que la otra unión del circuito se enfriara. En tal sentido se produce un efecto contrario al efecto SEEBECK, la unión se calentará o enfriará según corresponda el sentido de la corriente suministrada como se muestra en la Figura 16, con dos tipos de semiconductores (Montes, Cuevas, & Cintas, 2014).

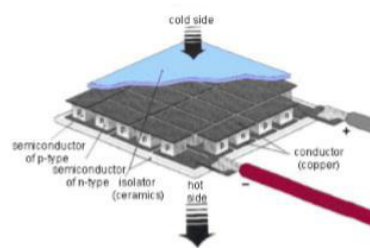


Figura 16. Efecto peltier.

Fuente: (Poikayil, Francis, Saju, Suresh, & Varghese, 2017).

## CAPÍTULO II METODOLOGÍA

### 2.1 Material

Se describen los materiales necesarios como hardware y software para el desarrollo del prototipo y del controlador PID.

#### 2.1.1 Hardware

##### 2.1.1.1 Raspberry Pi 3 Modelo B

Es un ordenador compacto el cual posee en su placa base un procesador, un chip gráfico y memoria RAM unido a sus periféricos; cumple las funciones de un ordenador bajo el sistema operativo Raspbian basada en Linux, fue desarrollado en el Reino Unido bajo la fundación Raspberry Pi (Mocq, 2017).



Figura 17. Raspberry Pi 3.

Fuente: (Mocq, 2017).

La elección del Raspberry Pi 3 tipo B se basó por ser la tarjeta lógica con un mejor procesamiento de información; esta tarjeta es de propiedad registrada como de uso libre, el software es de tipo open source, con características mostradas en la Tabla 1.

Raspberry Pi como se muestra en la Figura 17, es una computadora del tamaño de una tarjeta de crédito, de bajo costo que permite a las personas de todas las edades explorar la informática, aprender lenguajes de programación como Python y se puede utilizar para muchas tareas que hace una computadora, como juegos, navegar por internet, procesamiento de textos, hojas de cálculo y reproducción de videos (Gawande & Deshmukh, 2015).

*Tabla 1. Especificaciones técnicas del Raspberry Pi*

<b>Modelo</b>	<b>RaspBerry Pi 3</b>
<b>Procesador</b>	BCM2837
<b>CPU</b>	ARM Cortex-A53 4 núcleos – 64 bits
<b>Frecuencia reloj</b>	1,2 GHz
<b>RAM</b>	1 GB
<b>GPU</b>	VideoCore IV 400 MHz
<b>Tarjeta de memoria</b>	Micro SD
<b>Salida video</b>	1 salida HDMI Jack audio/video compuesto
<b>Salida audio</b>	En salida HDMI Jack audio/video compuesto
<b>Conexión alámbrica</b>	1 puerto RJ45 10/100 MHz
<b>Conexión inalámbrica</b>	Wi-fi 802.11n (150 Mbits/s) Bluetooth 4.1
<b>Puerto USB</b>	4 puertos USB 2
<b>GPIO</b>	Conector 2 x 20 clavijas
<b>Reset</b>	2 pastillas: Run
<b>Interfaz Camara</b>	Conector MIPI-CSI2 15 contactos
<b>Interfaz de pantalla</b>	Conector MIPI-DSI 15 contactos
<b>LED</b>	1 LED rojo PWR 1 led verde ACT
<b>Corriente consumida</b>	~800 mA

Fuente: Mocq, 2017

### 2.1.1.2 Sensor de temperatura y humedad

La medición de la temperatura y humedad relativa dentro del prototipo es importante, debido a que hay que tomar consideraciones de practicidad para un manejo y control de las señales que serán adquiridas por el Raspberry pi es decir que implique una facilidad para el tipo de comunicación serial entre el Raspberry pi y el sensor.

*Tabla 2. Especificaciones técnicas de los sensores de temperatura y humedad*

	<b>DHT22/AM2303</b>	<b>DHT11</b>	<b>DHT21/AM2301</b>
<b>Rango de humedad relativa</b>	(0 - 100) % RH	(20 - 90) % RH	(0 – 99.9) % RH
<b>Rango de temperatura</b>	-40 ~ 125 °C	0 – 50 °C	-40 ~ 80 °C
<b>Precisión</b>	HR: ± 2 % T: ± 0.5°C	HR: ± 4 % T: ± 2°C	HR: ± 3 % T: ± 0.3°C
<b>Sensibilidad</b>	HR: ± 0.1 % T: ± 0.1°C	HR: ± 1 % T: ± 0.1°C	HR: ± 0.1 % T: ± 0.1°C
<b>Tiempo de respuesta</b>	HR: < 5 seg T: < 10°seg	-	HR: <6 seg T: < 10°seg
<b>Voltaje de alimentación</b>	3.3 – 6V DC	3 – 5.5V DC	3.3 – 5.2V DC
<b>Periodo de detección</b>	Promedio 2 seg	Promedio 2 seg	Promedio 2 seg

Fuente: Fichas técnicas del productor.

Con respecto a la Tabla 2, teniendo en cuenta que la precisión en la medición de temperatura y humedad relativa es importante, se seleccionó el modelo DHT21 por poseer una buena presencia comercialmente en el mercado local, con un modelo interno robusto a nivel de circuitos, un tiempo de respuesta en la adquisición de datos bajo y permite realizar mediciones a una



distancia de 20 metros, el cual es el rango máximo sin que la señal de los datos adquiridos se vea afectados por interferencias.



Figura 18. Sensor de humedad y temperatura DHT21.

Fuente: (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.).

El sensor DHT21 como se muestra en la Figura 18, presenta una calibración de fábrica el cual se almacena en su memoria interna también nos permite validar los datos adquiridos con un bit de paridad que está dado por la suma del bit de temperatura y humedad es igual al bit de paridad.

El sensor de humedad DHT21-AM2301, incluye un elemento capacitivo detector de humedad relativa y un termostato NTC, es altamente usado en el campo del control por su notable calidad y su respuesta rápida; este sensor cuenta con 40 bits de información de los cuales los primeros 16 bits se consideran humedad y los siguientes 16 bits temperatura, los últimos 8 bits se consideran la suma de comprobación entre los bits de temperatura y los bits de humedad, en la Figura 19 se muestra el proceso de trabajo del DHT21 (Guifeng, Shuguang, Xuesong, Dening, & Hongxia, 2010).

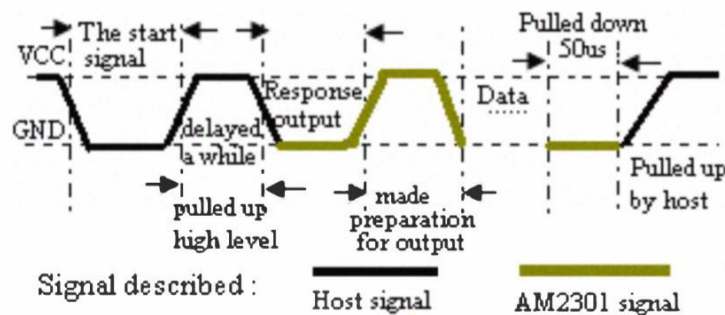


Figura 19. Proceso de trabajo del AM2301 con un microprocesador.

Fuente:(Guifeng, Shuguang, Xuesong, Dening, & Hongxia, 2010)

La ficha de datos del sensor DHT21 se muestra en el Anexo 2.

### 2.1.1.3 Celda Peltier

Una placa Peltier se compone de una unión entre dos metales, el metal en un lado se calienta y en el otro lado se enfría, cuando una corriente eléctrica fluye a través del empalme. El calor extremo que podría producirse en un lado debe ser disipado del cuerpo. Aquí el calor se convierte en energía química y ese lado particular de la placa está cubierto por una malla de aluminio que es un excelente disipador de calor. Por lo tanto, el módulo Peltier funciona como sistema de calefacción y refrigeración (Poikayil, Francis, Saju, Suresh, & Varghese, 2017, p. 262).

Para la generación de un ambiente en el que se requiera aumentar o disminuir la temperatura, se prima la necesidad de que sea un dispositivo de bajo costo, consumo eléctrico y un manejo no complejo del dispositivo, que no requiera de ningún circuito acondicionador para su funcionamiento el cual elevaría el costo de este dispositivo.

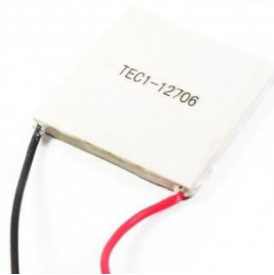
En la siguiente tabla se describen las características técnicas de 2 celdas peltier.

*Tabla 3. Especificaciones técnicas de dos diferentes celdas peltier*

	<b>TEC1 – 12706</b>	<b>TEC1 – 12715</b>
<b>Voltaje de operación</b>	0 – 15V DC	0 – 15V DC
<b>Corriente de trabajo</b>	0 – 6 A	0 – 15 A
<b>Potencia nominal</b>	50 – 70 W	100 – 180 W
<b>Temperatura de trabajo</b>	-30°C hasta 70°C	-30°C hasta 90°C

Fuente: Fichas técnicas del productor.

La celda peltier que se muestra en la Figura 20, es un dispositivo electrónico que genera altas temperatura y baja temperatura por sus caras según sea la polaridad de su fuente de alimentación, esto nos permite contar con un dispositivo que nos da la capacidad de generar baja y alta temperatura en un mismo dispositivo, presenta bajo consumo de energía con respecto a los dispositivos industriales existentes en el mercado, la celda peltier nos otorga el rango de temperatura en el cual se pretende realizar el control de la temperatura. El modelo de la celda Peltier TEC1 – 12706 nos otorga las características de trabajo para realizar el control de temperatura.



*Figura 20. Celda peltier TEC1-12706.*

*Fuente: (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.).*

La ficha de datos de la celda peltier se muestra en el Anexo 3.

#### **2.1.1.4 Humidificador**

Para la planta de humidificación se consideró la capacidad de convertir agua en vapor y las dimensiones del dispositivo el cual deberá ser compacto y de fácil uso.

En la siguiente tabla, se describen las especificaciones técnicas de tres tipos de humidificadores.

*Tabla 4. Especificaciones técnicas de diferentes tipos de humidificadores*

	<b>Voltaje</b>	<b>Potencia</b>	<b>Tecnología</b>	<b>Consumo de agua</b>	<b>Dimensiones</b>
<b>Mist Maker ACT-HUM</b>	24V DC	19W	Ultrasonido	0.57 L/h	5x5x4.5 cm
<b>Bonaire BWM 401</b>	220V AC	-	vaporización	0.45 L/h	15x15x30 cm
<b>Humidificador ultrasonic</b>	5V DC	-	Ultrasonido	30 ml/h	15x9.5x9.5 cm

Fuente: (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.)

El humidificador Mist Maker ACT-HUM de la Figura 21, se considera conveniente para el desarrollo del prototipo, con una producción de vapor de agua del Mist Maker ACT-HUM es por un transductor que produce vibraciones a altas frecuencias de las moléculas de agua, el cual carga con energía cinética a las moléculas de agua provocando el cambio brusco de estado líquido a gaseoso.



*Figura 21. Humidificador ultrasónico Mist Maker ACT-HUM.*

*Fuente: (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.).*

El manual de usuario se muestra en el Anexo 4.

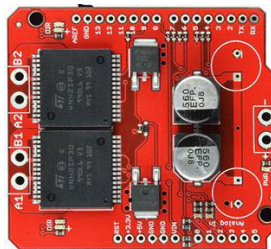
### 2.1.1.5 Puente H

Para otorgar un rango variable de voltaje se eligió un puente H SparkFun Monster Moto Shield el cual se muestra en la Figura 22 , con las siguientes especificaciones técnicas que se describen en la siguiente tabla.

*Tabla 5. Especificaciones técnicas del SparkFun Monster Moto Shield*

<b>Voltaje máximo</b>	16V
<b>Corriente máxima</b>	30A
<b>Corriente continua practica</b>	14A
<b>Frecuencia PWM máxima</b>	20kHz

Fuente: sparkfun.com



*Figura 22. SparkFun Monster Moto Shield.*

*Fuente: sparkfun.com.*

La ficha técnica del puente H SparkFun Monster Moto Shield se muestra en el Anexo 5.

### 2.1.1.6 Módulo relay

El módulo de relay servirá para controlar la activación de la planta de humidificación, el cual se muestra en la Figura 23, con las siguientes especificaciones técnicas que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 6. Especificaciones técnicas del módulo relay

<b>Voltaje de operación</b>	5V DC
<b>Señal de control</b>	3.3V o 5V
<b>Modelo de relay</b>	SRD-05VDC-SL-C
<b>Capacidad máxima</b>	10A/250VAC, 10A/30VDC
<b>Corriente máxima</b>	10A (NO), 5A (NC)
<b>Activar salida</b>	NO (0 voltios)

Fuente: Naylamp Mechatronics SAC.

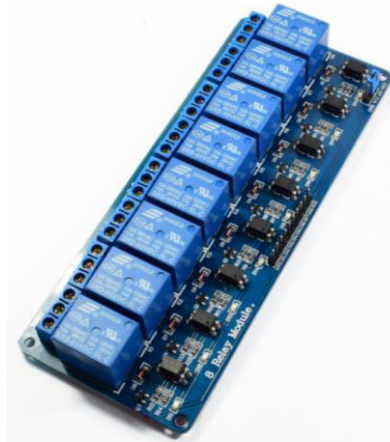


Figura 23. Módulo relay de 8 canales.

Fuente: (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.)

La ficha técnica del módulo de relay se muestra en el Anexo 6.

### 2.1.1.7 Cooler

Para poder disipar frío generado en la cara del peltier se eligió un cooler de la marca Master Cooler, modelo Hyper H410R que se muestra en la Figura 24.



*Figura 24. Cooler Hyper H410R.*

*Fuente: coolermaster.com.*

La ficha técnica del Master Cooler Hyper H410R se muestra en el Anexo 7.

#### **2.1.1.8 Fuente de voltaje**

La fuente de voltaje otorgará un voltaje constante de 12Vcc con un máximo de 10 A de corriente continua que se muestra en la Figura 25 , que servirá para energizar los diferentes componentes y dispositivos electrónicos usados.



*Figura 25. Fuente de voltaje de 12Vcc 10 A.*

*Fuente: amazon.com.*

La ficha técnica de la fuente se muestra en el Anexo 8.

### 2.1.1.9 Ventiladores y disipadores de aluminio

Para poder disipar el calor generado por la cara del peltier se adicionó a la cara del peltier un disipador de aluminio y un ventilador, como se muestra en la Figura 26.



*Figura 26. Ventilador más disipador.*

*Fuente: (Naylamp Mechatronics SAC, n.d.).*

La ficha técnica del ventilador se muestra en el Anexo 9.

## 2.1.2 Software

### 2.1.2.1 Python

Es un lenguaje de programación interpretado, orientado a objetos de alto nivel con semántica dinámica. Sus estructuras de datos integradas de alto nivel, combinadas con el tipado dinámico y el enlace dinámico, lo hacen muy atractivo para el desarrollo rápido de aplicaciones, teniendo una sintaxis simple y fácil de aprender, por lo tanto, reduce el costo del mantenimiento del programa. El intérprete de Python y la extensa biblioteca estándar están disponibles en formato fuente o binario sin cargo para todas las plataformas principales, y se pueden distribuir libremente (Python, 2018).

La elección de Python como lenguaje de programación se basó por su versatilidad para el desarrollo de aplicaciones en diferentes campos de la ingeniería.



### **2.1.2.2 Matlab**

Matlab es un software producido por MathWorks®, que es un lenguaje de la informática técnica, con un entorno de programación para el desarrollo de algoritmos, análisis de datos, visualización y cálculo numérico (MathWorks, 2018).

La elección de Matlab se basó por ser un software de procesamiento matemático, y como herramienta para realizar gráficas de diferentes tipos.

### **2.1.2.3 Raspbian**

Raspbian es un sistema operativo gratuito basado en Debian optimizado para el hardware Raspberry Pi. Raspbian es un sistema no oficial de Debian Wheezy armhf con configuraciones de compilación ajustadas para producir un código optimizado de "hard float" que se ejecutará en la Raspberry Pi. Esto proporciona un rendimiento significativamente más rápido para aplicaciones que hacen un uso intensivo de operaciones aritméticas de punto flotante. Todas las demás aplicaciones también obtendrán cierto rendimiento mediante el uso de instrucciones avanzadas de la CPU ARMv6 en Raspberry Pi. Aunque Raspbian es principalmente el esfuerzo de Mike Thompson (mthompson) y Peter Green (plugwash), también se ha beneficiado enormemente del entusiasta apoyo de los miembros de la comunidad Raspberry Pi que desean obtener el máximo rendimiento de sus dispositivos (Raspbian, n.d.).

Muy aparte de ser el sistema operativo del Raspberry pi, la elección de este se basó en la calidad de su entorno gráfico y de sus diferentes aplicaciones y software de programación.

## 2.2 Métodos

La metodología aplicada se desarrolla por modelos, esquemas y diagramas.

### 2.2.1 Modelo de la planta de temperatura

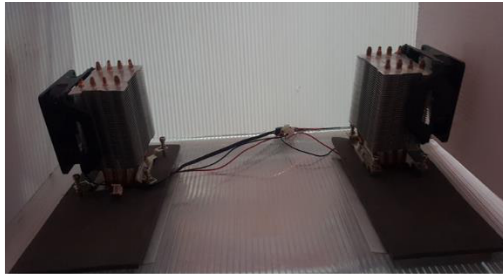
En la Figura 27, se muestran los materiales que conforman la planta de temperatura, la función de la celda peltier será de generar calor por una de sus caras que será disipada por el disipador de aluminio y el ventilador emanando aire caliente dentro del molde, mientras que en la otra cara del peltier la función será generar frío que será disipado con el cooler master, el voltaje suministrado al peltier será mediante el puente H que otorgará un rango de voltaje de 0 a 12 voltios.



Figura 27. Materiales de la planta de temperatura.

Elaboración: los autores.

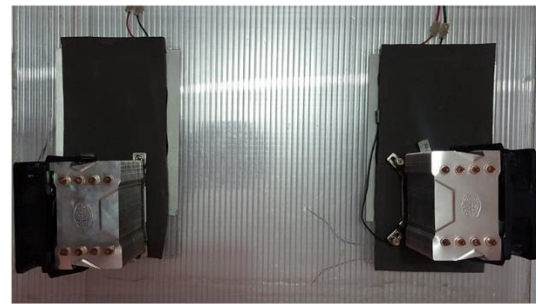
En la Figura 28, se muestra la planta de temperatura.



Vista exterior



Vista inferior



Vista superior

Figura 28. Planta de temperatura.

Elaboración: los autores.

### 2.2.2 Modelo de la planta de humidificación

En la Figura 29, se muestran los materiales que conforman la planta de humidificación, la función del humidificador será de generar vapor de agua dentro del recipiente, este vapor de agua será suministrado dentro del prototipo por un tubo corrugado con la ayuda de un ventilador.



Figura 29. Materiales de la planta de humidificación.

Elaboración: los autores.

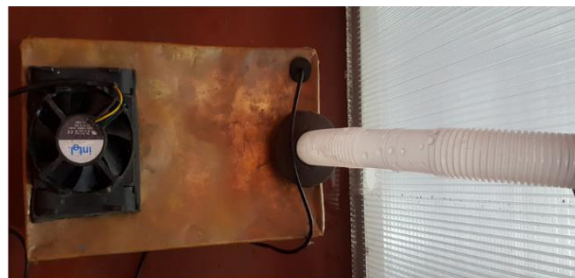
En la Figura 30, se muestra la planta de humidificación ya ensamblada.



Vista interior



Vista lateral



Vista superior

Figura 30. Planta de humidificación.

Elaboración: los autores.

### 2.2.3 Modelo de la estructura del prototipo

El prototipo tiene una estructura metálica de tipo capilla con dimensiones 52x80x(40+10) cm cubierto con policarbonato transparente como se describe en la Tabla 7.

Tabla 7. Especificaciones y materiales del prototipo

<b>Tipo de estructura</b>	Capilla	
<b>Material de cobertura</b>	Policarbonato	
<b>Material de estructura</b>	Aluminio	
<b>Características</b>	Valor	Unidades
<b>Espesor del policarbonato</b>	6	Mm
<b>Espesor del aluminio</b>	2.5	mm

Elaboración: los autores.

El policarbonato es una alternativa asequible y de bajo consumo energético al vidrio, especialmente cuando una cubierta rígida es la solución preferida. Las láminas de policarbonato son más duraderas que las películas de polietileno, que deben cambiarse cada 4 años (kittas, Katsoulas, & Bartzanas, 2017).

Se muestra en la Figura 31, el esquema de prototipo.

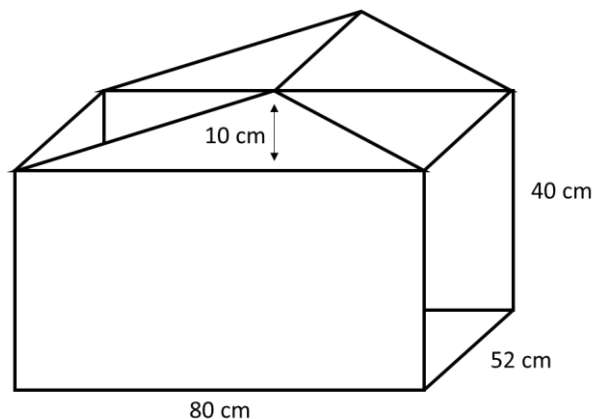
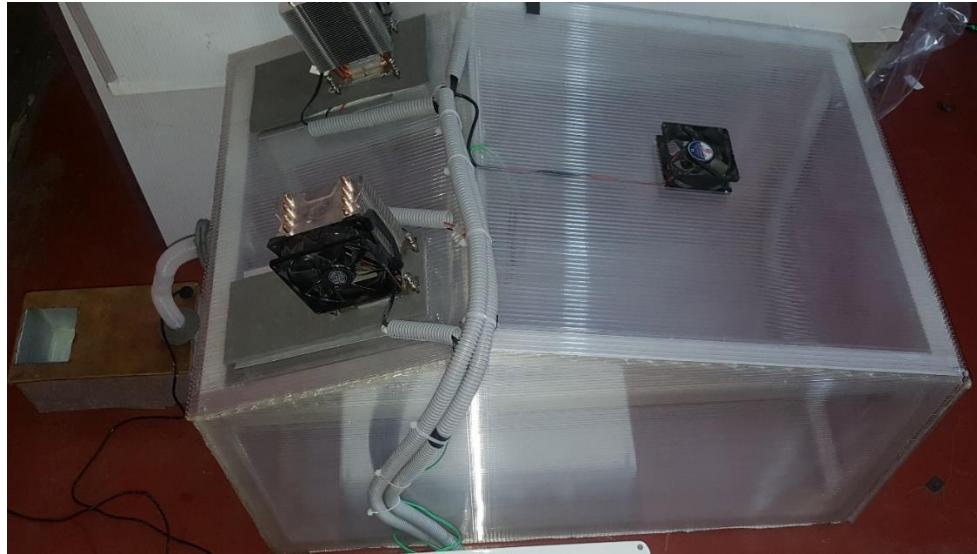


Figura 31. Esquema del prototipo.

Elaboración: los autores.

En la Figura 32, se muestra la estructura del prototipo.



*Figura 32. Estructura del prototipo.*

*Elaboración: los autores.*

En la Figura 33, se muestra la interfaz gráfica que permitirá ingresar los valores de la temperatura y la humedad relativa deseada.



*Figura 33. Vista de la interfaz gráfica.*

*Elaboración: los autores.*

## 2.2.4 Modelo del controlador PID

En la Figura 34, se observa el diagrama del controlador PID, en el cual se tienen 4 variables de entrada que se detallan a continuación:

- Set point temperatura, se podrá variar en un rango de 20 a 30 °C.
- Set point humedad, se podrá variar en un rango 70% hasta 90%.
- Temperatura de retorno, que es la temperatura medida por el sensor.
- Humedad relativa de retorno, que es la humedad relativa medida por el sensor.

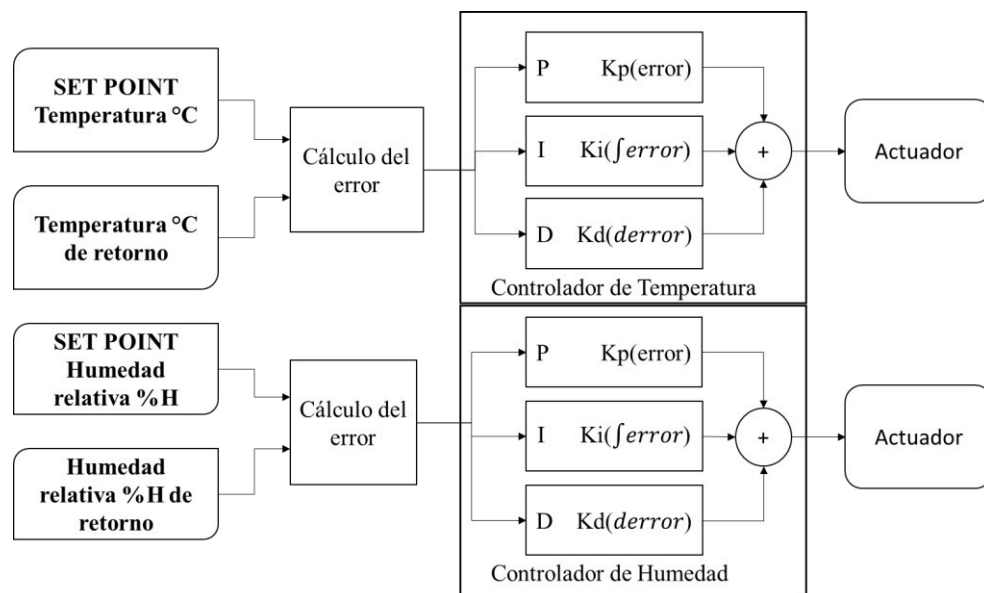


Figura 34. Diagrama del controlador PID.

Elaboración: los autores.

Las variables  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$ , serán calculadas por el método del lugar geométrico de las raíces, que se ingresan al controlador.

Asimismo, se observa el cálculo del error utilizando la información de la temperatura de set point y temperatura de retorno, la humedad relativa set point y la humedad relativa de retorno. Este error ingresa al controlador de la siguiente manera:

- El bloque del controlador proporcional (P), consiste en el producto entre el error y la ganancia proporcional.
- EL bloque del controlador integral (I), consiste en el producto entre la ganancia integral y la integral o suma acumulativa del error en diferentes instantes de tiempo.
- El bloque del controlador derivativo (D), considera en el producto entre la ganancia derivativa y la derivada del error.

La salida de estos tres bloques se suma y se envía hacia el actuador.

En la Figura 35, se observa el diagrama pictórico y digital del controlador PID en el cual el Raspberry Pi cumple la función de controlador que permite el ingreso de la temperatura y la humedad relativa deseada mediante la conexión USB del teclado y mouse, los datos ingresados y medidos se muestran en la interfaz gráfica que se comunica mediante la salida de video HDMI.

El sensor de temperatura recibe del controlador el voltaje de 3.3 voltios por el Pin 1 y ground por el Pin 9, y envía la data al controlador mediante la GPIO 4 para luego mostrarla en la interfaz gráfica.

El controlador envía la data de control hacia el Puente H mediante la GPIO 8 y también el voltaje de 5 voltios por el Pin 2 y ground por el Pin 6; con el Módulo relay envía la data de control mediante las GPIO 17 y 18 y también el voltaje de 3.3 voltios por el Pin 17 y ground por el Pin 25.



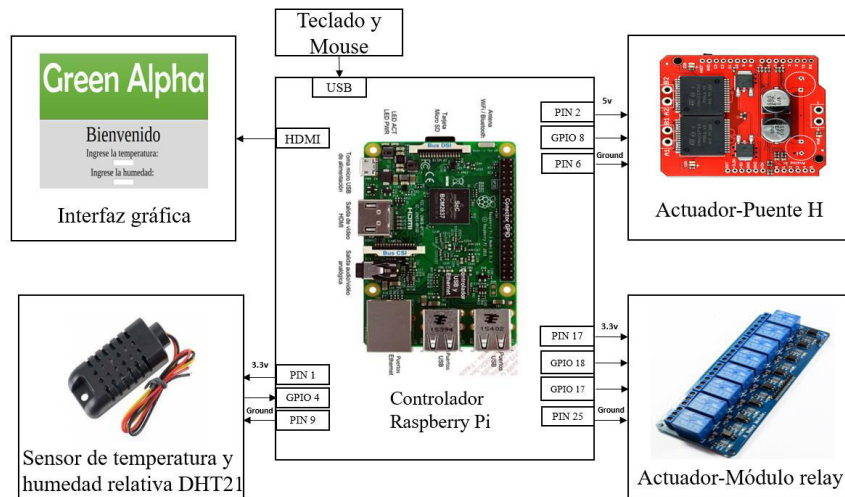


Figura 35. Diagrama pictórico y digital del controlador PID.

Elaboración: los autores.

### 2.2.5 Modelo del control de las plantas

En la Figura 36, se muestra el modelo de control de la planta de temperatura.

Se observan dos variables de entrada hacia el controlador PID que son la temperatura de set point y la temperatura de retorno.

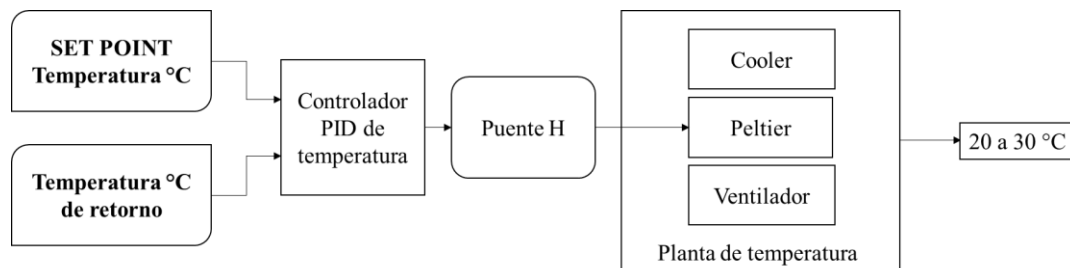


Figura 36. Diagrama del control de la planta de temperatura.

Elaboración: los autores.

El puente H recibe la señal controlada Duty Cycle por parte del controlador que regula el ancho de pulso del voltaje de entrada hacia la planta entre un rango de 0 a 12v.

Este rango de voltaje entra directamente al peltier, generando calor en una de sus caras que se disipa y distribuye mediante el ventilador dentro del prototipo, mientras que en la otra cara se genera frío y se disipa mediante el cooler.

Finalmente, la planta de temperatura otorga una temperatura en un rango de 20 a 30°C.

En la Figura 37, se muestra el diagrama pictórico y digital del control de la planta de temperatura.

El controlador envía la señal de PWM ya controlada por la GPIO 8 hacia el Puente H con un rango de 0 a 100% de Duty cycle otorgando un voltaje de 0 a 12 voltios que ingresa a las celdas peltier que forman parte de la planta de temperatura.

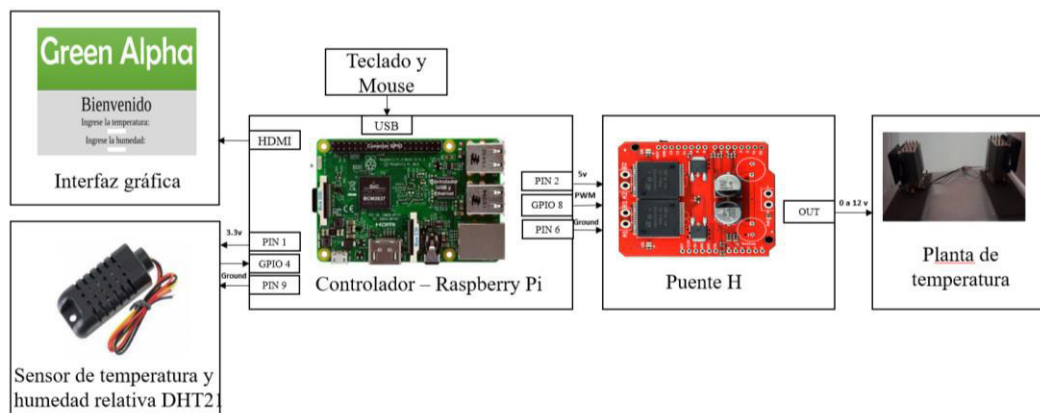


Figura 37. Diagrama pictórico y digital del control de la planta de temperatura.

Elaboración: los autores.

En la Figura 38, se muestra el modelo de control de la planta de humidificación.

Se observan dos variables de entrada hacia el controlador que son la humedad relativa set point y la humedad relativa de retorno.

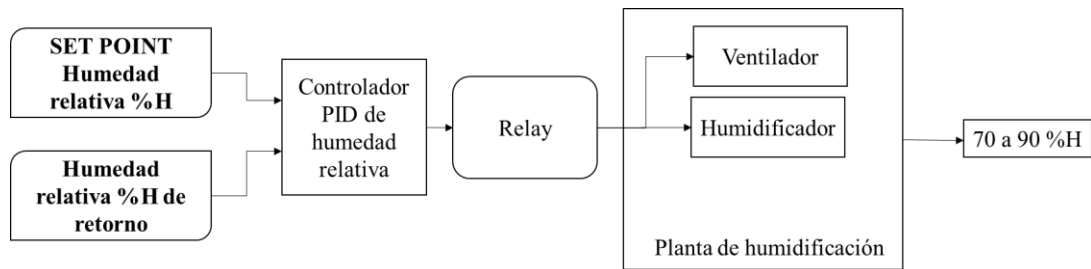


Figura 38. Diagrama del control de la planta de humidificación.

Elaboración: los autores.

El relay recibe la señal controlada de por parte del controlador PID que activa el humidificador generando vapor de agua, este vapor de agua será distribuido por tubos dentro del ventilador que será suministrado dentro del prototipo.

Finalmente, la planta de humidificación otorgara una humedad relativa en un rango de 70 a 90%.

En la Figura 39, se muestra el diagrama pictórico del control de la planta de humidificación.

El controlador envía la señal ya controlada por las GPIO 17 y 18 hacia cada relay activando cada uno de estos con un voltaje de 0 voltios permitiendo el funcionamiento del humidificador y del ventilador que forman parte de la planta de humidificación.

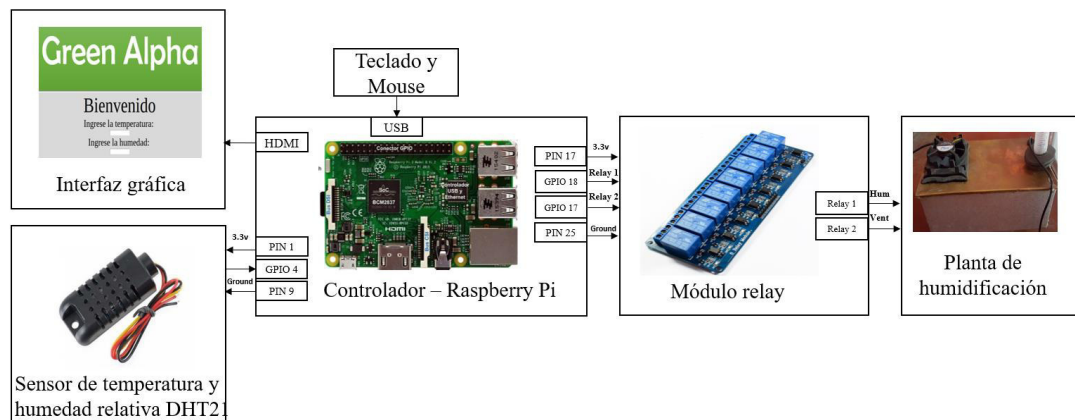


Figura 39. Diagrama pictórico y digital del control de la planta de humidificación.

Elaboración: los autores.

### 2.2.6 Tabla de Parámetros

En la Tabla 8 tabla, se muestran los parámetros que se usaron para el diseño del controlador PID.

*Tabla 8. Tabla de parámetros*

	<b>Parámetro</b>	<b>Nombre</b>	<b>Unidades</b>
<b>1</b>	$K_0$	Ganancia estimada de la planta	
<b>2</b>	$T$	Constante de tiempo	Seg
<b>3</b>	$\omega_n$	Frecuencia natural no amortiguada	Rad/s
<b>4</b>	$\zeta$	Factor de amortiguamiento	
<b>5</b>	$\omega_d$	Frecuencia natural amortiguada	Rad/s
<b>6</b>	$t_d$	Tiempo de retardo	Seg
<b>7</b>	$t_r$	Tiempo de subida	Seg
<b>8</b>	$t_p$	Tiempo pico	Seg
<b>9</b>	$M_p\%$	Sobre-elongación máxima	%
<b>10</b>	$t_s$	Tiempo de asentamiento	seg
<b>11</b>	$\beta$	Angulo entre el polo y la abscisa	
<b>12</b>	$\sigma$	Producto de $\omega_n$ y $\zeta$	
<b>13</b>	$K_p$	Ganancia proporcional	
<b>14</b>	$K_i$	Ganancia integral	
<b>15</b>	$K_d$	Ganancia derivativa	
<b>16</b>	$K$	Ganancia del método LGR	
<b>17</b>	$\theta_K$	Ángulos de las asíntotas para $k>0$	Rad
<b>18</b>	$n$	Numero de polos	
<b>19</b>	$m$	Numero de ceros	
<b>20</b>	$\sigma_1$	Punto de intersección de las asíntotas	

Elaboración: los autores.

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO Y DESARROLLO**

#### **3.1 Diseño del controlador PID**

Se describe paso a paso el diseño matemático del controlador PID.

##### **3.1.1 Cálculo de la función de transferencia**

El cálculo de la función de transferencia de las plantas será: de manera experimental y mediante el método del 63.2%.

Los datos de cada planta se obtienen mediante el sensor que mide temperatura y humedad relativa, esta información se envía al Raspberry Pi generando una hoja de cálculo de Excel (.csv), con un tiempo de muestreo de dos segundos.

Estos datos se importan a Matlab para obtener la gráfica de la curva de reacción de cada planta.

##### **3.1.1.1 Cálculo de la función de transferencia de la planta de temperatura**

Los datos de temperatura versus tiempo obtenidos, experimentalmente (tempS1.csv), se importan a Matlab, obteniendo la siguiente curva de reacción como se muestra en la Figura 40.

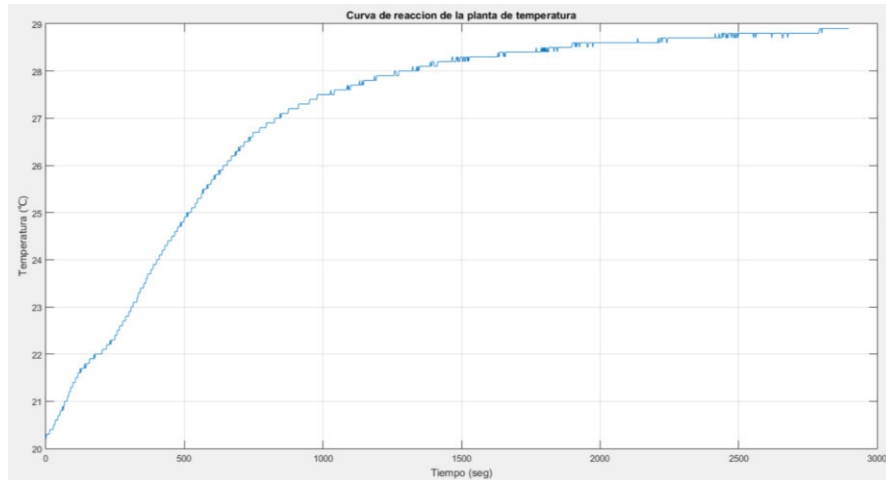


Figura 40. Curva de reacción de la planta de temperatura obtenida experimentalmente.

Elaboración: los autores.

Según la curva de reacción, es un sistema de primer orden por consiguiente se utiliza el método del 63.2% para obtener la constante de tiempo  $T$ .

De la Ecuación 2, se obtiene:

$$y_{63.2\%} = 20.2 + 0.632(8.7) = 25.7$$

Que es el valor de la salida al 63.2%.

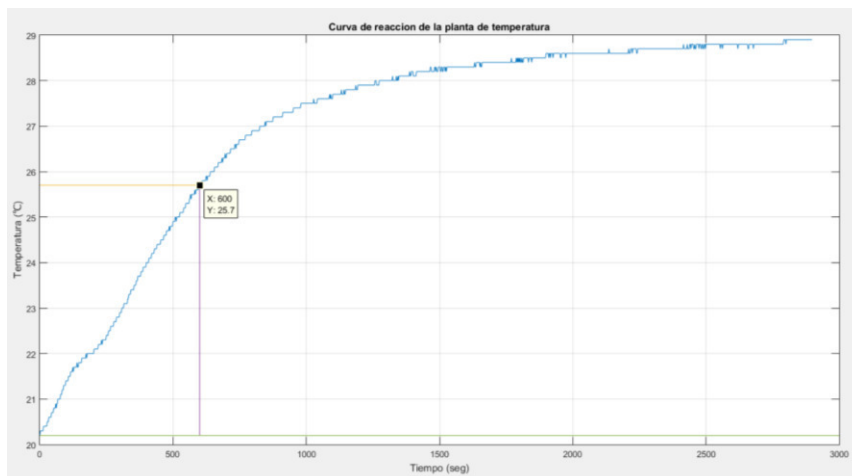


Figura 41. Curva de reacción de la planta de temperatura con el método del 63.2%.

Elaboración: los autores.

Luego, se busca el valor de  $y_{63.2\%}$  en la Figura 41, para obtener la constante de tiempo al 63.2%.

Entonces:

$$t_{63.2\%} = T = 600 \text{ seg}$$

$$K_0 = 28.9 - 20.2 = 8.7$$

De la Ecuación 1, se obtiene la función de transferencia de la planta de temperatura:

$$G(s) = \frac{K_0}{Ts + 1} = \frac{8.7}{600s + 1} = \frac{0.0145}{s + 0.0017}$$

### 3.1.1.2 Cálculo de la función de transferencia de la planta de humidificación

Los datos de humedad versus tiempo obtenidos experimentalmente (humS1.csv), se importan a Matlab, obteniendo la siguiente curva de reacción como se muestra en la Figura 42.

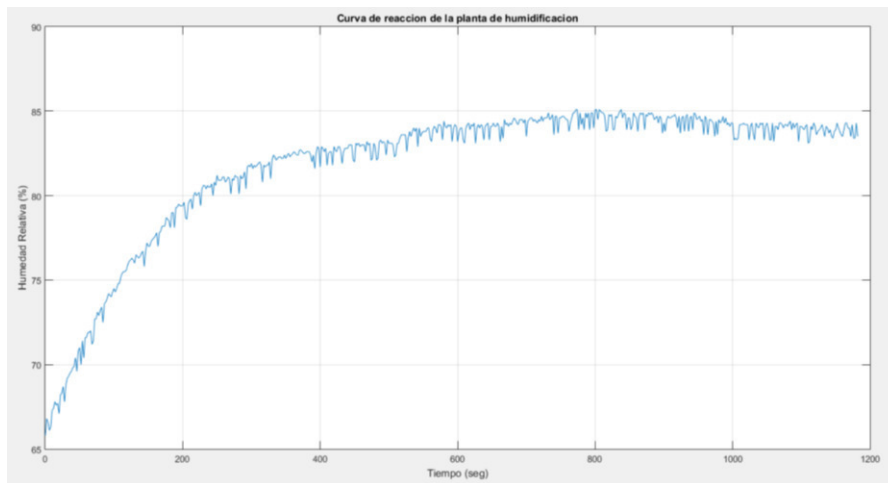


Figura 42. Curva de reacción de la planta de humidificación obtenida experimentalmente.

Elaboración: los autores.

Según la curva de reacción, es un sistema de primer orden por consiguiente se utiliza el método del 63.2% para obtener la constante de tiempo  $T$ .

De la Ecuación 2, se obtiene:

$$y_{63.2\%} = 65.8 + 0.632(19.3) = 77.9$$

Que es el valor de la salida al 63.2%.

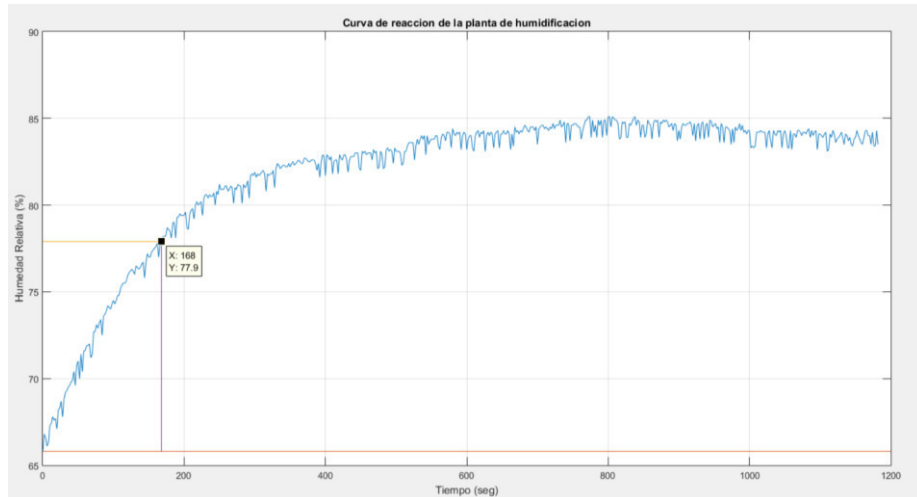


Figura 43. Curva de reacción de la planta de humidificación con el método del 63.2%.

Elaboración: los autores.

Luego, se busca el valor de  $y_{63.2\%}$  en la Figura 43, para obtener la constante de tiempo al 63.2%.

Entonces:

$$t_{63.2\%} = T = 168$$

$$K_0 = 85.1 - 65.8 = 19.3$$

De la Ecuación 1, se obtiene la función de transferencia de la planta de humidificación:

$$G(s) = \frac{K_0}{Ts + 1} = \frac{19.3}{168s + 1} = \frac{0.1149}{s + 0.0060}$$



### 3.1.2 Diseño del controlador PID mediante el lugar geométrico de las raíces

#### 3.1.2.1 Diseño del controlador para la planta de temperatura

El controlador deberá tener las siguientes especificaciones de diseño:

Una sobre-elongación máxima  $M_p\%$  menor o igual al 5%, un tiempo de asentamiento  $t_s$  menor o igual a ochocientos segundos y un criterio del 5%.

De las especificaciones de diseño se obtiene:

De la Ecuación 10, con un  $M_p\% \leq 5\%$  se obtiene:

$$\zeta = 0.69$$

De la Ecuación 12, con un  $t_s \leq 800$  segundos y un criterio del 5% se obtiene:

$$\omega_n = 5.43(10^{-3})$$

$$\zeta\omega_n = 3.75(10^{-3})$$

Entonces:

Sea la planta de temperatura obtenida anteriormente:

$$G(s) = \frac{0.0145}{s + 0.0017}$$

La función de transferencia en lazo abierto es:

$$C_{PID}(s)G(s) = (K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s) \left( \frac{0.0145}{s + 0.0017} \right)$$

La función de transferencia en lazo cerrado es:

$$\frac{C_{PID}(s)G(s)}{1 + C_{PID}(s)G(s)} = \frac{0.0145K_d s^2 + 0.0145K_p s + 0.0145K_i}{(1 + 0.0145K_d)s^2 + (0.0017 + 0.0145K_p)s + 0.0145K_i}$$

La ecuación característica es:

$$(1 + 0.0145K_d)s^2 + (0.0017 + 0.0145K_p)s + 0.0145K_i = 0$$

Al comparar la ecuación característica con el denominador de la Ecuación 5:

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = (1 + 0.0145K_d)s^2 + (0.0017 + 0.0145K_p)s + 0.0145K_i$$

Se obtiene:

$$1 = 1 + 0.0145K_d$$

$$K_d = 0$$

$$\zeta\omega_n = 3.75(10^{-3}) = \frac{0.0017}{2} + \frac{0.0145K_p}{2}$$

$$K_p \geq 0.4$$

$$\omega_n^2 = (5.43(10^{-3}))^2 = 0.0145K_i$$

$$K_i \geq 2.03(10^{-3})$$

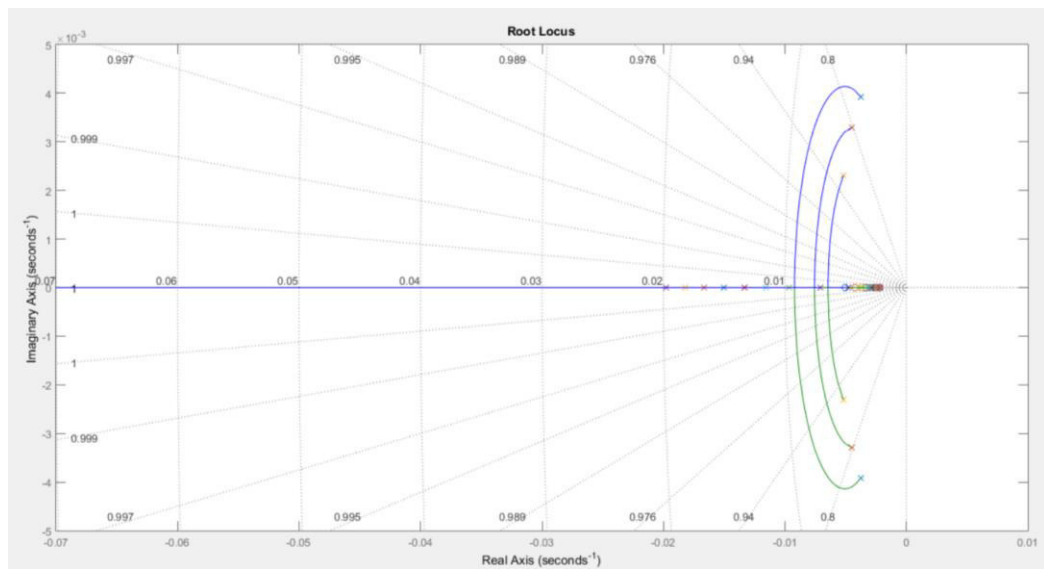


Figura 44. LGR de la planta de temperatura.

Elaboración: los autores.

En la Figura 44, se muestra las diferentes graficas del lugar geométrico de las raíces mientras se varia  $K_p$  en 0.1 y  $K_i$  en 0.0001.

En la Tabla 9 se muestra los diferentes valores de  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $t_s$  y la  $M_p\%$ .

Tabla 9. Parámetros del controlador PID de la planta de temperatura

	$K_p$	$K_i$	$t_s$ (seg)	$M_p\%$
1	0.4	0.00203	925	13.3%
2	0.5	0.00213	901	10%
3	0.6	0.00223	865	7.72%
4	0.7	0.00233	815	6.03%
5	0.8	0.00243	751	4.76%
6	0.9	0.00253	676	3.79%
7	1.0	0.00263	591	3.04%
8	1.1	0.00273	492	2.45%
9	1.2	0.00283	178	1.97%
10	1.3	0.00294	170	1.59%

De la Tabla 9:

$$K_p = 0.8 \quad K_i = 0.00243$$

Entonces, el controlador PID de la planta de temperatura es:

$$C_{PID}(s) = \left( 0.8 + \frac{0.00243}{s} \right)$$

A la función de transferencia, en lazo cerrado, de la planta de temperatura es:

$$\frac{C_{PID}(s)G(s)}{1 + C_{PID}(s)G(s)} = \frac{0.0116s + 3.5235(10^{-5})}{s^2 + 0.0133s + 3.5235(10^{-5})}$$

Se ingresa un escalón unitario a la entrada del sistema y se obtiene la gráfica que se muestra en la Figura 45.

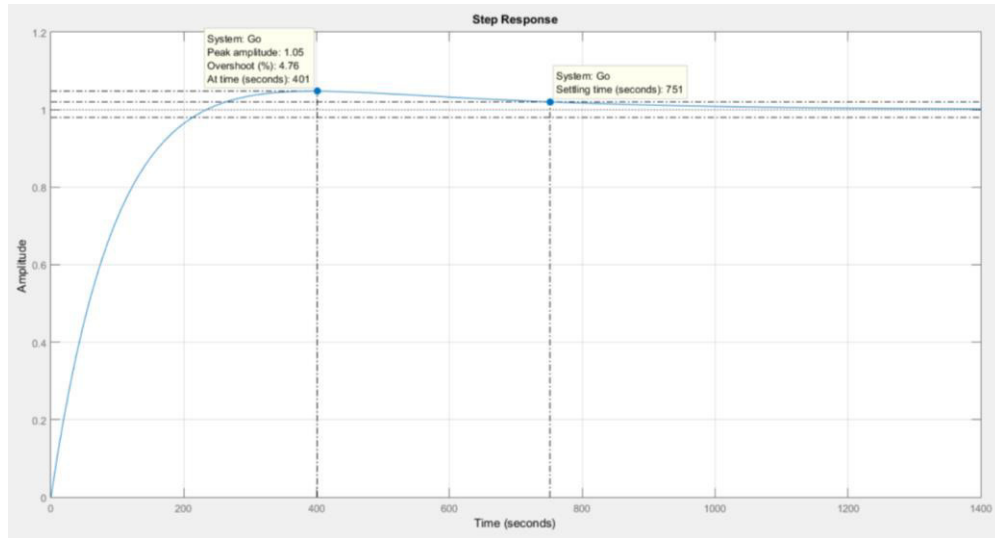


Figura 45. Respuesta al escalón de la planta de temperatura con el controlador PI en lazo cerrado.

Elaboración: los autores.

De la Figura 45, se observa que el tiempo de asentamiento es de  $t_s = 797$  segundos siendo menor que 800 segundos y la sobre-elongación es de  $M_p\% = 4.87\%$  siendo menor que 5% cumpliendo las especificaciones de diseño.

### 3.1.2.2 Diseño del controlador para la planta de humidificación

El controlador deberá tener las siguientes especificaciones de diseño:

Una sobre-elongación máxima  $M_p\%$  menor o igual al 5%, un tiempo de asentamiento  $t_s$  menor o igual a 60 segundos y un criterio del 5%.

De las especificaciones de diseño se obtiene:

De la Ecuación 10, con un  $M_p\% \leq 5\%$  se obtiene:

$$\zeta = 0.69$$

De la Ecuación 12, con un  $t_s \leq 300$  segundos y un criterio del 5% se obtiene:

$$\omega_n = 0.072$$

$$\zeta\omega_n = 0.05$$

Entonces:

Sea la planta de humidificación obtenida anteriormente:

$$G(s) = \frac{0.1149}{s + 0.006}$$

La función de transferencia en lazo abierto es:

$$C_{PID}(s)G(s) = \left(K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s\right) \left(\frac{0.1149}{s + 0.006}\right)$$

La función de transferencia en lazo cerrado es:

$$\frac{C_{PID}(s)G(s)}{1 + C_{PID}(s)G(s)} = \frac{0.1149K_d s^2 + 0.1149K_p s + 0.1149K_i}{(1 + 0.1149K_d)s^2 + (0.006 + 0.1149K_p)s + 0.1149K_i}$$

La ecuación característica es:

$$(1 + 0.1149K_d)s^2 + (0.006 + 0.1149K_p)s + 0.1149K_i = 0$$

Al comparar la ecuación característica con el denominador de la Ecuación 5:

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2 = (1 + 0.1149K_d)s^2 + (0.006 + 0.1149K_p)s + 0.1149K_i$$

Se obtiene:

$$1 = 1 + 0.1149K_d$$

$$K_d = 0$$

$$\zeta\omega_n = 0.05 = \frac{0.006}{2} + \frac{0.1149K_p}{2}$$

$$K_p \geq 0.82$$

$$\omega_n^2 = (0.072)^2 = 0.1149K_i$$

$$K_i \geq 0.045$$

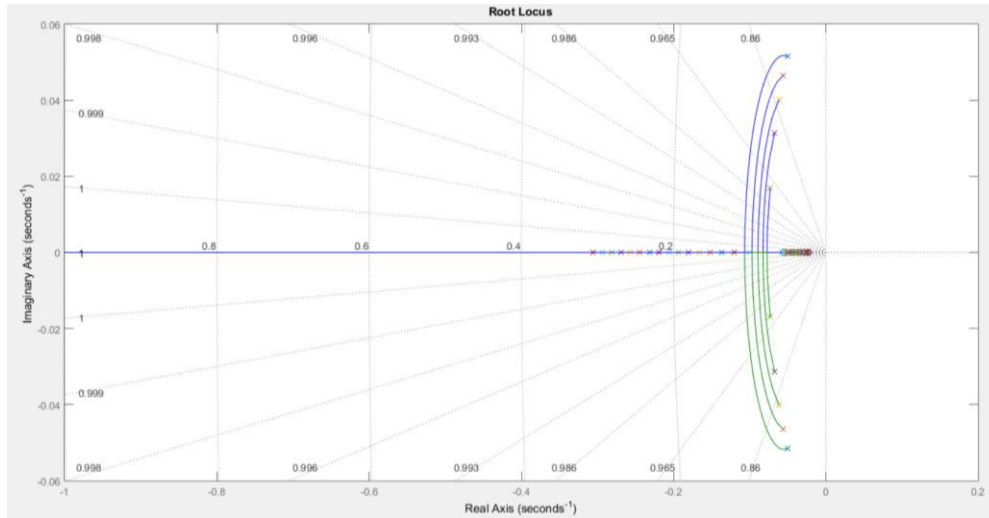


Figura 46. LGR de la planta de humidificación.

Elaboración: los autores.

En la Figura 46, se muestra las diferentes graficas del lugar geométrico de las raíces mientras se varia  $K_p$  en 0.1 y  $K_i$  en 0.001.

En la Tabla 10 se muestra los diferentes valores de  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $t_s$  y la  $M_p\%$ .

Tabla 10. Parámetros del controlador PID de la planta de humidificación

	$K_p$	$K_i$	$t_s$ (seg)	$M_p\%$
<b>1</b>	0.82	0.045	68.3	18.8%
<b>2</b>	0.92	0.046	68.8	16.5%
<b>3</b>	1.02	0.047	69.3	14.7%
<b>4</b>	1.12	0.048	69.7	13.2%
<b>5</b>	1.22	0.049	69.8	11.9%
<b>6</b>	1.32	0.05	69.7	10.8%
<b>7</b>	1.42	0.051	69.3	9.81%
<b>8</b>	1.52	0.052	68.7	8.98%
<b>9</b>	1.62	0.053	67.9	8.25%
<b>10</b>	1.72	0.054	66.9	7.62%
<b>11</b>	1.82	0.055	65.7	7.06%
<b>12</b>	1.92	0.056	64.4	6.56%
<b>13</b>	2.02	0.057	62.9	6.11%
<b>14</b>	2.12	0.058	61.4	5.71%
<b>15</b>	2.22	0.059	59.7	5.35%
<b>16</b>	2.32	0.06	58	5.03%
<b>17</b>	2.42	0.061	56.2	4.74%
<b>18</b>	2.52	0.062	54.4	4.47%
<b>19</b>	2.62	0.063	52.5	4.23%
<b>20</b>	2.72	0.064	50.6	4.01%

Elaboración: los autores.

De la Tabla 10:

$$K_p = 2.42 \quad K_i = 0.061$$

Entonces, el controlador PID de la planta de temperatura es:

$$C_{PID}(s) = \left(2.42 + \frac{0.061}{s}\right)$$

La función de transferencia en lazo cerrado de la planta de humidificación es:

$$\frac{C_{PID}(s)G(s)}{1 + C_{PID}(s)G(s)} = \frac{0.2781s + 0.007009}{s^2 + 0.2841s + 0.007009}$$

Se ingresa un escalón unitario a la entrada del sistema y se obtiene la gráfica que se muestra en la Figura 47.

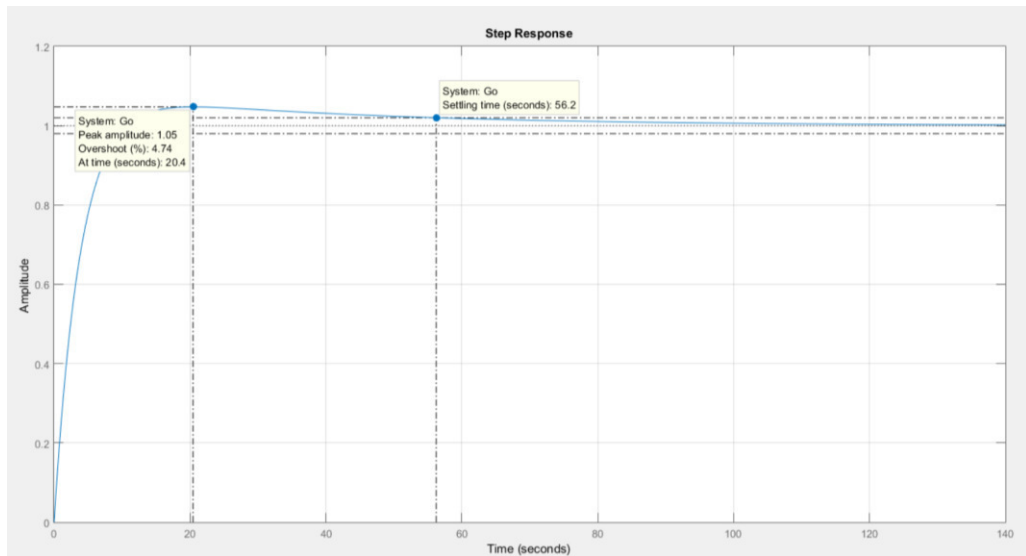


Figura 47. Respuesta al escalón de la planta de humidificación con el controlador PI en lazo cerrado.

Elaboración: los autores.

En la Figura 47, se observa que el tiempo de asentamiento es de  $t_s = 56.2$  segundos siendo menor que 60 segundos y la sobre-elongación es de  $M_p\% = 4.74\%$  siendo menor que 5%, cumpliendo las especificaciones de diseño.



## **CAPÍTULO IV**

### **PRUEBAS DE VALIDACIÓN, RESULTADOS E INFORME ECONÓMICO**

#### **4.1 Pruebas y resultados de la planta de temperatura**

Para probar el performance del PID, en la planta de temperatura, se ejecutaron seis experiencias. En cada experiencia se detalla las variables de temperatura de set point, temperatura interna inicial, tiempo de muestreo y la duración de la experiencia. Para las 3 primeras experiencias se espera que cuando cambien los sets point, el controlador deba responder rápidamente y las variables controladas se mantengan en los sets point, a partir de la cuarta experiencia en adelante se pondrá dentro del prototipo una bolsa de hielo de 1 kilo como perturbación.

Las experiencias: se realizan con los valores establecidos por la FAO, el cual están referenciados en el Anexo 1, con dichos valores se determinará el performance del controlador.

##### **4.1.1 Primera experiencia**

Temperatura de Set point: 20°C, 23°C y 26°C

Temperatura interna inicial: 18.3°C

Tiempo de muestreo: 2 segundos

Duración: 4504 segundos

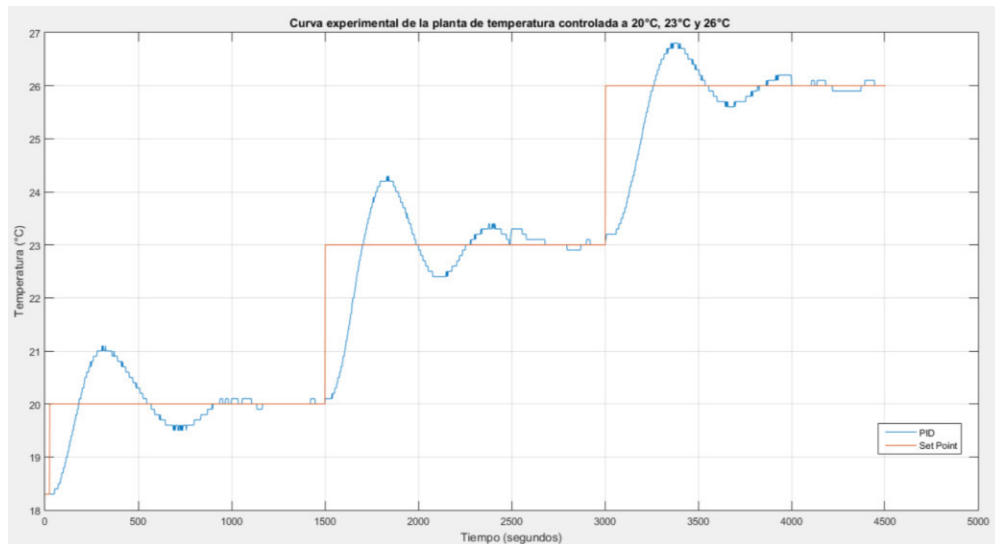


Figura 48. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 20, 23 y 26 °C.

Elaboración: los autores.

En la Figura 48, se muestran los datos obtenidos para esta experiencia a diferentes sets point de 20, 23 y 26 °C, en la cual se observa que se logra estabilizar y mantener las temperaturas deseadas al cambiar de set point.

#### 4.1.2 Segunda experiencia

Temperatura de Set point: 21°C, 24°C y 27°C

Temperatura interna inicial: 18.5°C

Tiempo de muestreo: 2 segundos

Duración: 4504 segundos

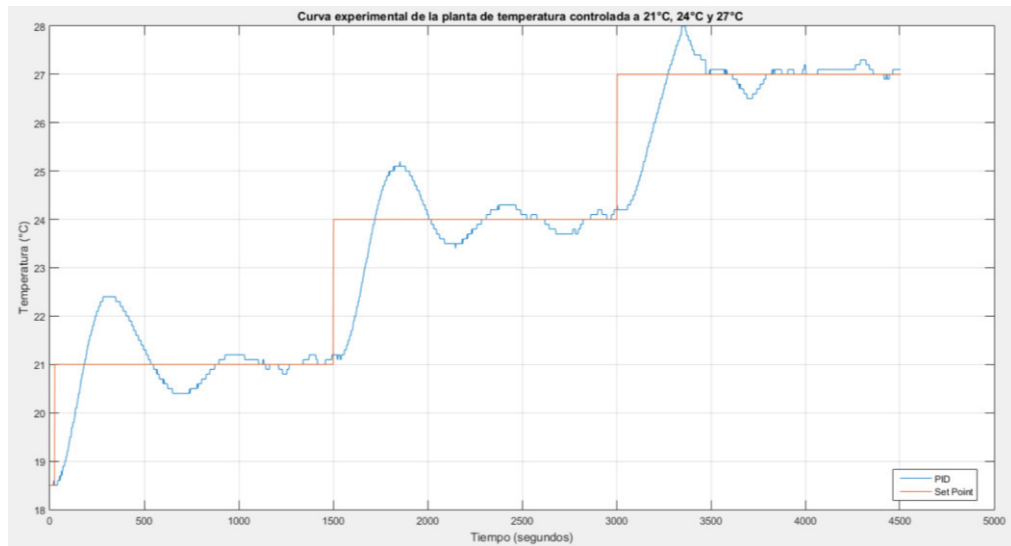


Figura 49. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 21, 24 y 27 °C.

Elaboración: los autores

En la Figura 49, se muestran los datos obtenidos para esta experiencia a diferentes sets point de 21, 24 y 27 °C, en la cual se observa que se logra estabilizar y mantener las temperaturas deseadas al cambiar de set point.

#### 4.1.3 Tercera experiencia

Temperatura de Set point: 22°C, 25°C y 27°C

Temperatura interna inicial: 18.3°C

Tiempo de muestreo: 2 segundos

Duración: 4504 segundos

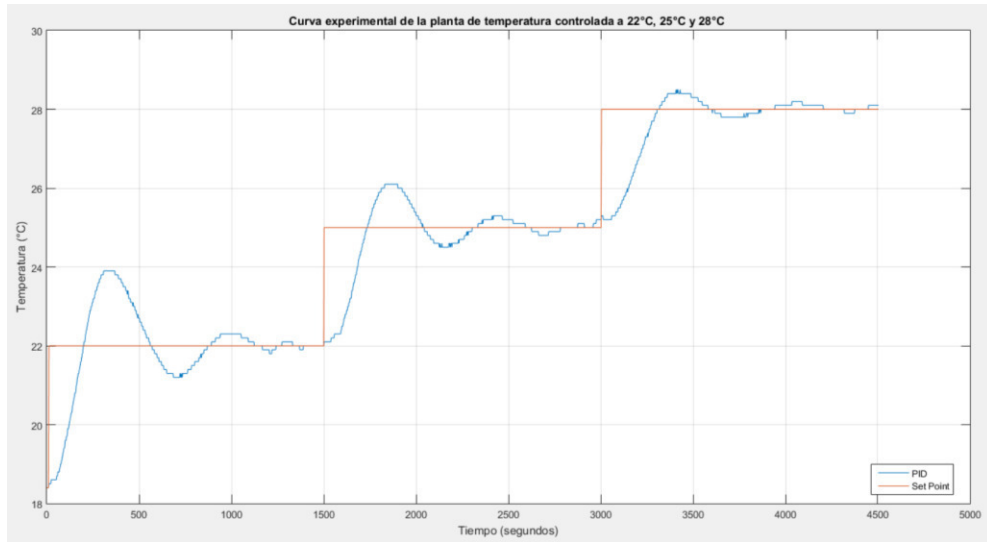


Figura 50. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 22, 25 y 28 °C.

Elaboración: los autores.

En la Figura 50, se muestran los datos obtenidos para esta experiencia a diferentes sets point de 22, 25 y 28 °C, en la cual se observa que se logra estabilizar y mantener las temperaturas deseadas al cambiar cada set point.

#### 4.1.4 Cuarta experiencia

Temperatura de Set point: 22 °C

Temperatura interna debido a la bolsa de hielo dentro del prototipo:  
11.2 °C

Temperatura externa o de ambiente: 18.2 °C

Tiempo de muestreo: 2 segundos

Duración: 3800 segundos

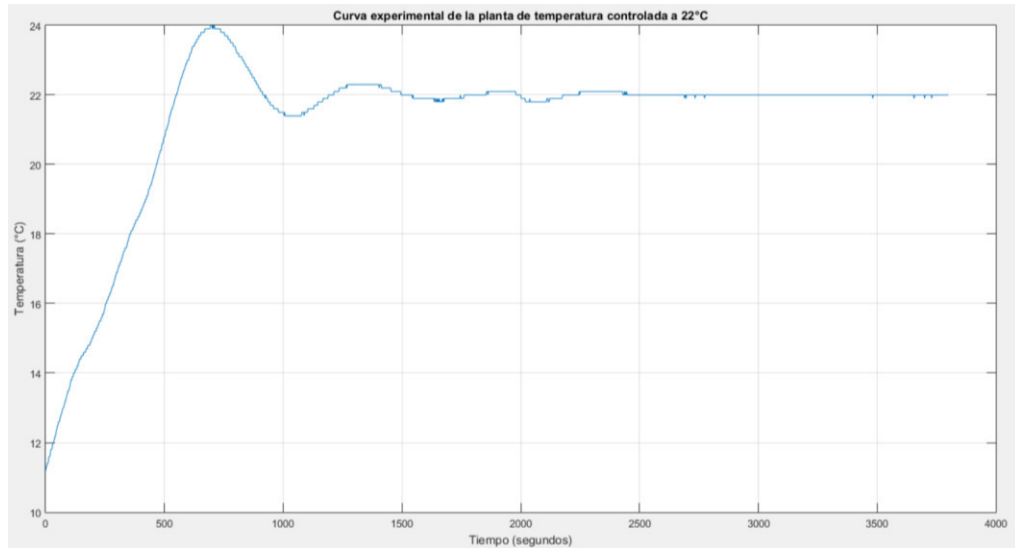


Figura 51. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 22 °C.

Elaboración: los autores.

En la Figura 51, se muestran los datos obtenidos con una perturbación interior dentro del prototipo, para fines prácticos se colocó una bolsa de hielo como ente perturbador. El set point se fijó en 22 °C, en la gráfica se observa que la temperatura se logra estabilizar a los 800 segundos, con una sobre-elongación máxima de 4.70% y mantiene la temperatura deseada con un criterio en tiempo estable menor al 5%, siendo estos datos los requeridos por la FAO para la germinación.

#### 4.1.5 Quinta experiencia

Temperatura de Set point: 26 °C

Temperatura interna debido a la bolsa de hielo dentro del prototipo:  
12.7 °C

Temperatura externa o de ambiente: 18.4 °C

Tiempo de muestreo: 2 segundos

Duración: 3800 segundos

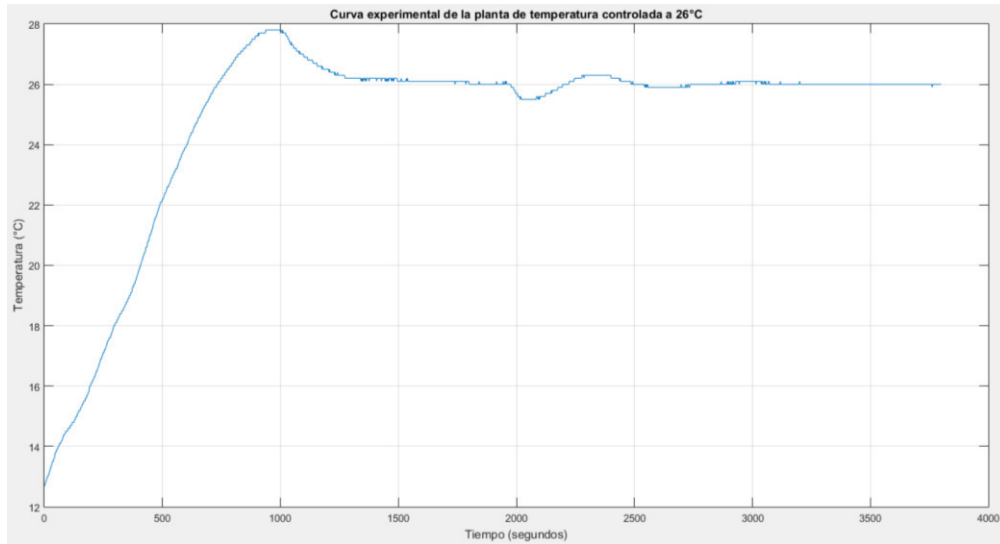


Figura 52. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 26 °C.

*Elaboración: los autores.*

En la Figura 52, se muestran los datos obtenidos con una perturbación interior dentro del prototipo, para fines prácticos se colocó una bolsa de hielo como ente perturbador. El set point se fijó en 26 °C, en la gráfica se observa que la temperatura se logra estabilizar a los 1200 segundos, con una sobreelongación máxima de 4.67% y mantiene la temperatura deseada con un criterio en tiempo estable menor al 5%, siendo estos datos los requeridos por la FAO para la germinación.

#### **4.1.6 Sexta experiencia**

Temperatura de Set point: 29 °C

Temperatura interna debido a la bolsa de hielo dentro del prototipo:  
11.8 °C

Temperatura externa o de ambiente: 17.4 °C

Tiempo de muestreo: 2 segundos

Duración: 3800 segundos

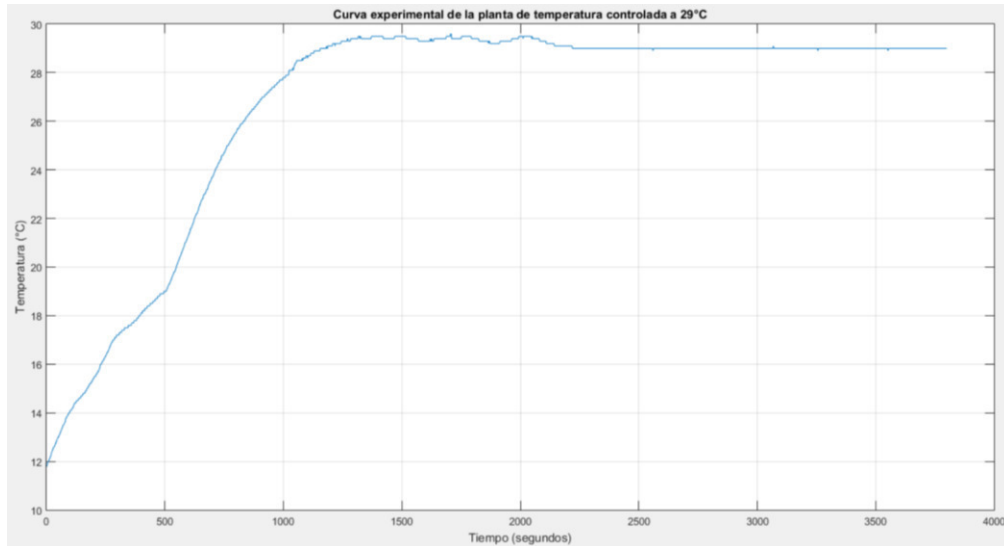


Figura 53. Curva experimental de la planta de temperatura controlada a 29 °C.

Elaboración: los autores.

En la Figura 53, se muestran los datos obtenidos con una perturbación interior dentro del prototipo, para fines prácticos se colocó una bolsa de hielo como ente perturbador. El set point se fijó en 29 °C, en la gráfica se observa que la temperatura se logra estabilizar a los 1300 segundos, con una sobreelongación máxima de 2% y mantiene la temperatura deseada con un criterio en tiempo estable menor al 5%, siendo estos datos los requeridos por la FAO para la germinación.

#### 4.2 Pruebas y resultados de la planta de humidificación

Para probar el performance del PID en la planta de humidificación se ejecutaron tres experiencias. En cada una de ellas, se detallan las variables de humedad relativa de set point, humedad relativa interna inicial, tiempo de muestreo y la duración de la experiencia. Para las 3 experiencias se dejó el prototipo abierto permitiendo el ingreso de la humedad relativa externa como perturbación.

#### 4.2.1 Primera experiencia

Humedad relativa de Set point: 80%

Humedad relativa interna: 70.6 %

Humedad relativa externa: 70.1 %

Tiempo de muestreo: 2 segundos

Duración: 2318 segundos

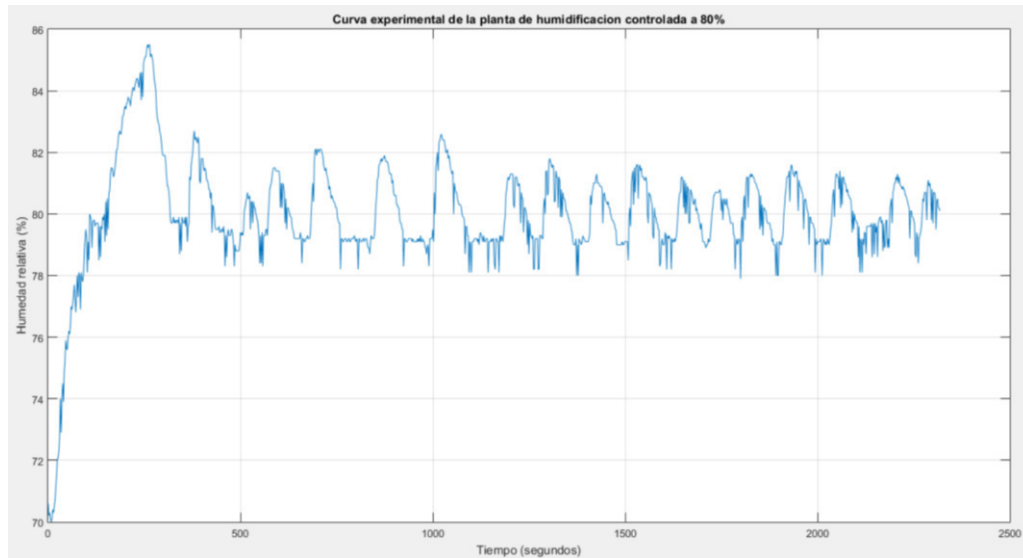


Figura 54. Curva experimental de la planta de humidificación controlada a 80%.

*Elaboración: los autores.*

En la Figura 54, se observa los datos obtenidos con una perturbación para el prototipo, como ente de perturbación se dispuso a dejar abierto el prototipo, las pequeñas variaciones que se observan en la gráfica se generan debido a que el prototipo se encuentra abierto, en la gráfica se observa que la humedad relativa se logra estabilizar a los 550 segundos, con una sobre-elongación máxima de 4.50% y mantiene la humedad relativa deseada con un criterio en tiempo estable menor al 5%, siendo estos datos los requeridos por la FAO para la germinación.



#### 4.2.2 Segunda experiencia

Humedad relativa de Set point: 85%

Humedad relativa interna: 70.6 °C

Humedad relativa externa: 69.9 %

Tiempo de muestreo: 2 segundos

Duración: 2318 segundos

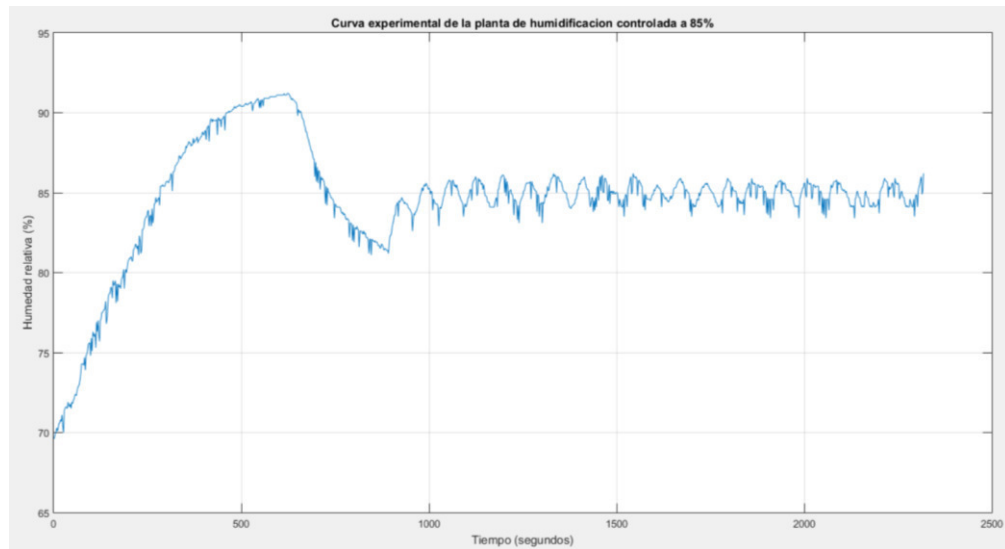


Figura 55. Curva experimental de la planta de humidificación controlada a 85%.

Elaboración: los autores.

En la Figura 55, se observa los datos obtenidos con una perturbación para el prototipo, como ente de perturbación se dispuso a dejar abierto el prototipo, las pequeñas variaciones que se observan en la gráfica se generan debido a que el prototipo se encuentra abierto, en la gráfica se observa que la humedad relativa se logra estabilizar a los 750 segundos, con una sobre-elongación máxima de 4.99% y mantiene la humedad relativa deseada con un criterio en tiempo estable menor al 5%, siendo estos datos los requeridos por la FAO para la germinación.

### 4.2.3 Tercera experiencia

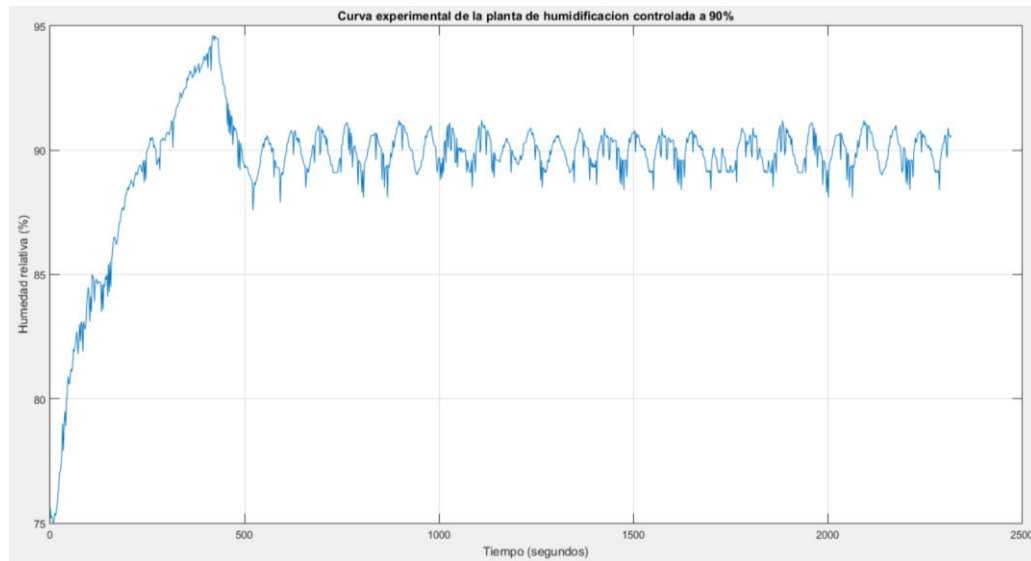
Humedad relativa de Set point: 90 %

Humedad relativa interna: 75.6 %

Humedad relativa externa: 74.6 %

Tiempo de muestreo: 2 segundos

Duración: 2318 segundos



*Figura 56. Curva experimental de la planta de humidificación controlada a 90%.*

*Elaboración: los autores.*

En la Figura 56, se observa los datos obtenidos con una perturbación para el prototipo, como ente de perturbación se dispuso a dejar abierto el prototipo, las pequeñas variaciones que se observan en la gráfica se generan debido a que el prototipo se encuentra abierto, en la gráfica se observa que la humedad relativa se logra estabilizar a los 490 segundos, con una sobre-elongación máxima de 4.80% y mantiene la humedad relativa deseada con un criterio en tiempo estable menor al 5%, siendo estos datos los requeridos por la FAO para la germinación.

### 4.3 Informe económico

En la siguiente tabla, se describe cada material utilizado para el desarrollo del proyecto como el precio, cantidad necesaria y el lugar de donde se obtuvo cada material.

*Tabla 11. Materiales utilizados para el desarrollo y diseño de prototipo y del controlador PID*

<b>Material</b>	<b>Modelo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario en soles</b>	<b>Tienda</b>
<b>Raspberry Pi</b>	Modelo B 3	1	200.00	Naylamp Mechatronics
<b>Sensor de temperatura y humedad</b>	DHT21	1	50.00	Naylamp Mechatronics
<b>Celda peltier</b>	TEC1-12706	4	12.00	Naylamp Mechatronics
<b>Humidificador</b>	Mist Maker ACT-HUM	1	40.00	Naylamp Mechatronics
<b>Puente H</b>	SparkFun Monster Moto Shield	1	85.00	Naylamp Mechatronics
<b>Modulo relay</b>	8 canales	1	45.00	Naylamp Mechatronics
<b>Cooler</b>	Hyper H410R	2	70.00	Naylamp Mechatronics
<b>Fuente de voltaje</b>	12 voltios 10 amperios	2	70.00	Naylamp Mechatronics
<b>Ventilador</b>	0D8038-12HB	4	8.00	Naylamp Mechatronics

<b>Disipador</b>	Aluminio	4	5.00	Naylamp Mechatronics
<b>Cargador Raspberry Pi</b>	5 voltios 2 amperios	1	35.00	Naylamp Mechatronics
<b>Caja de conexión eléctrica</b>	-	1	50.00	Promart
<b>Extensión eléctrica</b>	Incable	1	18.90	Promart
<b>Prototipo</b>	Aluminio			
<b>Policarbonato</b>	Mathiesen 6mm	1	103.90	Promart
<b>Silicona</b>	Sika	2	31.00	Promart
<b>Tubos de PVC</b>	Nicoll	1	25.00	Promart
<b>Tornillos y tuercas</b>	3/8	8	5.00	Promart
<b>Molde</b>	Aluminio	2	10.00	-
<b>TOTAL</b>				1109.8 soles

Elaboración: los autores.

## CONCLUSIONES

1. En el diseño para el controlador, se determinó mediante el método del lugar geométrico de las raíces que las plantas requieren un controlador PI, porque solo se obtuvo valores de ganancia proporcional e integral, mientras que la derivativa fue cero.
2. El diseño del prototipo (estructura de los materiales) se basó en las recomendaciones de La FAO con el fin de obtener prestaciones similares a un tamaño real.
3. En las simulaciones realizadas se determinó, que a medida que aumenta la ganancia proporcional la respuesta se hace más rápida.
4. Si la ganancia proporcional se aumenta en exceso ocasionara una excesiva oscilación a la salida del controlador.
5. El método del lugar geométrico de las raíces nos permite abarcar una gama de valores tanto para la ganancia proporcional y la ganancia integral. Asimismo, permite obtener una estimación de los valores que a criterio de cada diseñador escoge para satisfacer las especificaciones de diseño.
6. En plantas en las cuales sus efectos se vean afectados entre sí, se necesita un mejor sistema que un SISO (Simple Input Simple Output).

## **RECOMENDACIONES**

1. Con la experiencia adquirida, en el desarrollo de la tesis, se recomienda escalar con un sistema inteligente adaptivo.
2. Es pertinente realizar pruebas de controlador diseñado con perturbaciones externas las cuales lleven al controlador a eficiencia límite.
3. Se recomienda el diseño de un controlador tipo MIMO, ya que las plantas son de tipo SISO por la causa efecto que se producen entre ellas: a mayor temperatura, menor humedad relativa y viceversa.
4. Para ambientes más grandes al diseño propuesto, se sugiere el uso de dispositivos con mayor potencia, según el espacio requerido.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

### **Bibliográficas:**

Astrom, K. J., & Hagglund, T. (1994). *PID Controllers: Theory, Design, and Tuning*. USA: Instrument Society of America.

AM2301-based temperature and humidity tester of solar battery system. *2010 The 2nd Conference on Environmental Science and Information Application Technology* (págs. 373-376). Wuhan, China: IEEE.

Cecchin, F. (2013-2014). *Regolatori PID Autotuning per il controllo della temperatura*. Padova: Università degli Studi di Padova.

FAO, O. (2018). Perú: agricultura familiar más fuerte gracias a políticas públicas focalizadas. *FAO en América del Sur, Hacia los objetivos de Desarrollo Sostenible, Grandes resultados 2012-2016*, 12.

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2017). *Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European Countries* (Vol. 230). (R. Duffy, Ed.) Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gawande, S., & Deshmukh, P. (2015). Raspberry Pi Technology. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 37-40.

- Golnaraghi, F., & Kuo, B. (2010). *Automatic Control Systems* (Novena ed.). Hoboken, N.J.: Wiley.
- Guifeng, C., Shuguang, Z., Xuesong, S., Dening, Z., & Hongxia, X. (2010).
- Henman, S., & Barnets, C. (2014). *United States Patente nº US 20140208642A1*.
- kittas, C., Katsoulas, N., & Bartzanas, T. (2017). Structures: design, technology and climate control. En FAO, *Good Agriculture Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries* (págs. 29-52). Roma: FAO.
- Kuo, B. (1996). *Sistemas de Control Automático* (Septima ed.). Naucalpan de Juarez, Mexico: Prentice-Hall Hispanoamericana.
- Kwon, M., & Chang, H.-J. (2016). Extended Root-Locus Technique Applied to Pole-placement for PI Controller Design. *UKACC 11th International Conference on Control (CONTROL)*. Belfast, UK: IEEE.
- Mocq, F. (2017). *Raspberry Pi 3 o Pi Zero*. Eni.
- Montes, J. M., Cuevas, F. G., & Cintas, J. (2014). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Madrid: Paraninfo.
- Ogata, K. (2010). *Ingeniería de control moderna*. Madrid: Pearson Educacion.
- Poikayil, J., Francis, J., Saju, D., Suresh, A., & Varghese, J. (2017). Peltier Integrated Heating & Cooling Jacket. *ICECA 2017*, (págs. 260-263). Coimbatore.
- Robalino, R. (2017). *Fundamentos de Control Automatico*. Lima: Tecsup.



- S, R., T K, R., & N, S. (2017). Climate control in greenhouse using intelligent control algorithms. *2017 American Control Conference (ACC)* (págs. 887-892). Seattle,WA,USA: IEEE.
- Trindianto, E., Ariwibowo, H. T., Almasa , K., & Gayuh, H. (2017). Cascade PID Temperature COntroller for FOPDT MOdel of Shell-and-Tube Heat Exchanger Based on Matlab/Simulink. *2017 International Electronics Symposim on Engineering Technology and Applications* (págs. 185-191). Surabaya: IEEE.
- Ugas, R., Siuera, S., Delgado, F., Casas, A., & Toledo, J. (2000). *Hortalizas - Datos basicos*. Lima, Peru: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- USAI, E. (s.f.). *Sistemi di Supervisione e Controllo*. Cagliari, Italia.
- Veronesi, M. (2011). *Regolazione PID*. Franco Angelli.
- Visioli, A. (2006). *Practical PID Control*. London: Springer-Verlag London .
- Witchupong Wiboonjaroen, M., & Sooknuan, T. (2017). The Implementation of PI Controller for Evaporative Cooling System in Controlled Environment Greenhouse. *17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2017)* (págs. 852-855). Jeju, Korea: ICROS.
- Xiao, H., Feng, L., & Zhi, Y. (2013). Tuning the PID parameters for greenhouse control based on CFD simulation. *2013 Second International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)* (págs. 485-489). Fairfax,VA,USA: IEEE.

**Electrónicas:**

MathWorks. (2018). *MathWorks* . Obtenido de MathWorks Web Site:

<https://la.mathworks.com/>

Naylamp Mechatronics SAC. (s.f.). *Naylamp Mechatronics*. Obtenido de

Naylamp Mechatronics Web Site: <https://naylampmechatronics.com/>

Python, S. (2018). *Python TM*. Obtenido de Python Web Site:

<https://www.python.org/>

Raspbian. (s.f.). *Raspbian Organization*. Obtenido de Raspbian Web Site:

<https://www.raspbian.org/>

*Tomatopiu s.r.l. unipersonale*. (s.f.). Obtenido de Tomatopiu:

<https://www.tomatopiu.com/it/>

## **ANEXOS**

1. Tabla de rangos de temperatura y humedad relativa para la germinación
2. Ficha técnica del sensor de temperatura y humedad AM2301/DTH21
3. Ficha técnica de la celda peltier TEC1-12706
4. Manual del usuario del humidificador
5. Ficha técnica del puente H (SparkFun Moto Shield)
6. Ficha técnica del módulo de relay
7. Ficha técnica del cooler master Hyper H410R
8. Ficha técnica de la fuente de voltaje
9. Ficha técnica del ventilador

*Anexo 1. Tabla de rangos de temperatura y humedad relativa para la germinación.*

<b>PRODUCTO</b>	<b>T°C (Temperatura)</b>	<b>H% Humedad relativa</b>
<b>Tomate</b>	19-24 °C	65 -75 %
<b>Pepino</b>	25-35 °C	80%
<b>Pimiento</b>	20-25°C	75%
<b>Berenjena</b>	24-32°C	75%
<b>Lechuga</b>	23°C	70-75%
<b>Espinaca</b>	7-24°C	75%
<b>Melón</b>	22-30°C	65%
<b>Sandía</b>	22-30°C	75%
<b>Calabaza</b>	22-30°C	65%
<b>Rabanito</b>	18-25°C	75%
<b>Zanahoria</b>	18-20°C	60%
<b>Cebolla</b>	20-25°C	70-80%
<b>Frejol</b>	18-22°C	60%
<b>Papa</b>	18-25°C	75-80%
<b>Fresa</b>	8-25°C	70-75%

Datos obtenidos de: (FAO, 2018).

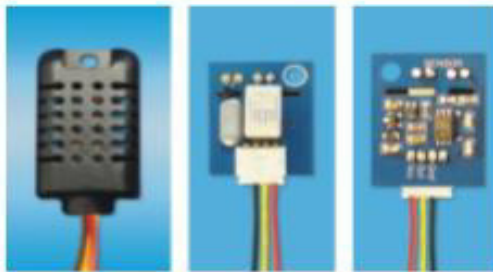
Anexo 2. Ficha técnica del sensor de temperatura y humedad  
AM2301/DHT21.

**AOSONG**

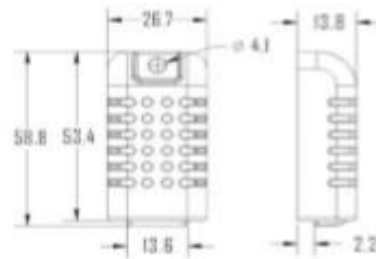
Temp、Humidity & Dew point measurement experts

1、Product Overview

AM2301 capacitive humidity sensing digital temperature and humidity module is the one that contains the compound has been calibrated digital signal output of the temperature and humidity sensor. Application of a dedicated digital modules collection technology and the temperature and humidity sensing technology, to ensure that the product has high reliability and excellent long-term stability. The sensor includes a capacitive sensor wet components and a high-precision temperature measurement devices, and connected with a high-performance 8-bit microcontroller. The product has excellent quality, fast response, strong anti-jamming capability, and high cost. Each sensor is extremely accurate humidity calibration chamber calibration. The form of procedures, the calibration coefficients stored in the microcontroller, the sensor within the processing of the heartbeat to call these calibration coefficients. Standard single-bus interface, system integration quick and easy. Small size, low power consumption, signal transmission distance up to 20 meters, making it the best choice of all kinds of applications and even the most demanding applications. Products for the 3-lead (single-bus interface) connection convenience. Special packages according to user needs.



Physical map



Dimensions (unit: mm)

2、Applications

HVAC, dehumidifier, testing and inspection equipment, consumer goods, automotive, automatic control, data loggers, home appliances, humidity regulator, medical, weather stations, and other humidity measurement and control and so on.

3、Features

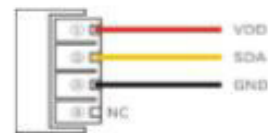
Ultra-low power, the transmission distance, fully automated calibration, the use of capacitive humidity sensor, completely interchangeable, standard digital single-bus output, excellent long-term stability, high accuracy temperature measurement devices.

4、The definition of single-bus interface

4.1 AM2301 Pin assignments

Table 1: AM2301 Pin assignments

Pin	Color	Name	Description
1	Red	VDD	Power (3.3V-5.2V)
2	Yellow	SDA	Serial data, Dual-port
3	Black	GND	Ground
4		NC	Empty



PIC1: AM2301 Pin Assignment

Aosong(Guangzhou) Electronics Co.,Ltd.

TEL: 020-36042809 / 36380552

www.aosong.com

#### 4.2 Power supply pins ( VDD GND )

AM2301 supply voltage range 3.3V – 5.2V, recommended supply voltage is 5V.

#### 4.3 Serial data ( SDA )

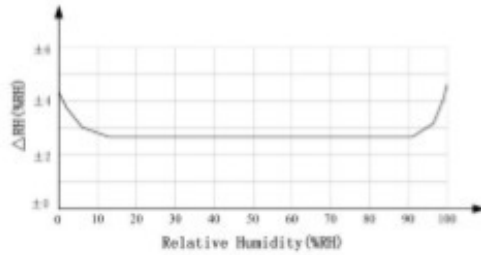
SDA pin is tri structure for reading, writing sensor data. Specific communication timing, see the detailed description of the communication protocol.

### 5、Sensor performance

#### 5.1 Relative humidity

Table 2: AM2301 Relative humidity performance table

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		%RH
Range		0		99.9	%RH
Accuracy <sup>(1)</sup>	25°C		± 3		%RH
Repeatability			± 1		%RH
Exchange	Completely interchangeable				
Response <sup>(2)</sup>	1/c(63%)		<6		S
Sluggish			± 0.3		%RH
Drift <sup>(3)</sup>	Typical		<0.5		%RH/yr

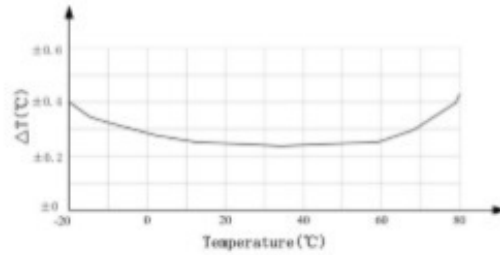


Pic2: At25°C The error of relative humidity

#### 5.2 Temperature

Table 3: AM2301 Relative temperature performance

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Resolution			0.1		°C
n			16		bit
Accuracy			± 0.3	± 1	°C
Range		-40		80	°C
Repeat			± 0.2		°C
Exchange	Completely interchangeable				
Response <sup>(1)</sup>	1/c(63%)		<10		S
Drift			± 0.3		°C/yr



Pic3: The maximum temperature error

### 6、Electrical Characteristics

Electrical characteristics, such as energy consumption, high, low, input, output voltage, depending on the power supply. Table 4 details the electrical characteristics of the AM2301, if not identified, said supply voltage of 5V. To get the best results with the sensor, please design strictly in accordance with the conditions of design in Table 4.

Table 4: AM2301 DC Characteristics

Parameter	Condition	min	typ	max	Unit
Voltage		3.3	5	5.2	V
Power consumption <sup>(1)</sup>	Dormancy	10	15		μA
	Measuring		500		μA
	Average		300		μA
Low level output voltage	I <sub>OL</sub> <sup>(2)</sup>	0		300	mV
High output voltage	R <sub>p</sub> <25 kΩ	90%		100%	VDD
Low input voltage	Decline	0		30%	VDD
Input High Voltage	R <sub>isc</sub>	70%		100%	VDD
R <sub>pu</sub> <sup>(3)</sup>	VDD = 5V VIN = VSS	30	45	60	kΩ
Output current	turn on		8		mA
	turn off	10	20		μA
Sampling period		2			S

[1] the accuracy of the factory inspection, the sensor 25 ° C and 5V, the accuracy specification of test conditions, it does not include hysteresis and nonlinearity, and is only suitable for non-condensing environment.

[2] to achieve an order of 63% of the time required under the conditions of 25 ° C and 1m / s airflow.

[3] in the volatile organic compounds, the values may be higher. See the manual application to store information.

[4] this value at VDD = 5.0V when the temperature is 25 ° C, 25 / time, under the conditions of the average.

[5] low output current.

[6] that the pull-up resistor.

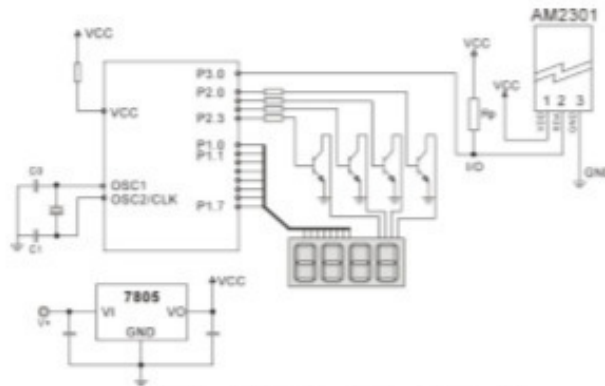
## 7、Single-bus communication ( ONE-WIRE )

### 7.1 Typical circuits for single bus

Microprocessor and AM2301 connection typical application circuit is shown in Figure 4. Single bus communication mode, pull the SDA microprocessor I / O port is connected.

Special instructions of the single-bus communication :

1. Typical application circuit recommended in the short cable length of 30 meters on the 5.1K pull-up resistor pullup resistor according to the actual situation of lower than 30 m.
2. With 3.3V supply voltage, cable length shall not be greater than 100cm. Otherwise, the line voltage drop will lead to the sensor power supply, resulting in measurement error.
3. Read the sensor minimum time interval for the 2S; read interval is less than 2S, may cause the temperature and humidity are not allowed or communication is unsuccessful, etc..
4. Temperature and humidity values are each read out the results of the last measurement For real-time data that need continuous read twice, we recommend repeatedly to read sensors, and each read sensor interval is greater than 2 seconds to obtain accurate data.



Pic4: AM2301 Typical circuits for single bus

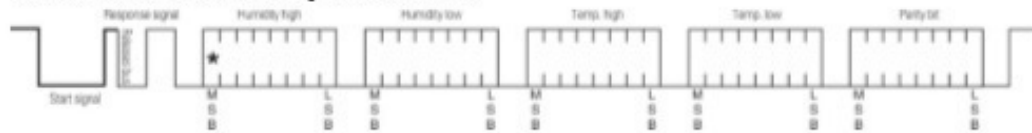
## 7.2、Single-bus communication protocol

### Single bus Description

AM2301 device uses a simplified single-bus communication. Single bus that only one data line, data exchange system, controlled by the data line to complete. Equipment (microprocessor) through an open-drain or tri-state port connected to the data line to allow the device does not send data to release the bus, while other devices use the bus; single bus usually require an external about 5.1kΩ pull-up resistor, so when the bus is idle, its status is high. Because they are the master-slave structure, only the host calls the sensor, the sensor will answer, so the hosts to access the sensor must strictly follow the sequence of single bus, if there is a sequence of confusion, the sensor will not respond to the host.

### Single bus to send data definition

SDA For communication and synchronization between the microprocessor and the AM2301, single-bus data format, a transmission of 40 data, the high first-out. Specific communication timing shown in Figure 5, the communication format is depicted in Table 5.



Pic5: AM2301 Single-bus communication protocol



Table 5: AM2301 Communication format specifier

Name	Single-bus format definition
Start signal	Microprocessor data bus (SDA) to bring down a period of time (at least 800μ s) [1] notify the sensor to prepare the data.
Response signal	Sensor data bus (SDA) is pulled down to 80μ s, followed by high-80μ s response to host the start signal.
Data format	Host the start signal is received, the sensor one-time string from the data bus (SDA) 40 data, the high first-out.
Humidity	Humidity resolution of 16Bit, the previous high; humidity sensor string value is 10 times the actual humidity values.
Temp.	Temperature resolution of 16Bit, the previous high; temperature sensor string value is 10 times the actual temperature value; The temperature is the highest bit (Bit15) is equal to 1 indicates a negative temperature, the temperature is the highest bit (Bit15) is equal to 0 indicates a positive temperature; Temperature in addition to the most significant bit (Bit14 ~ bit 0) temperature values.
Parity bit	Parity bit = humidity high + humidity low + temperature high + temperature low

### Single-bus data calculation example

Example 1: 40 Data received;

0000 0010      1001 0010      0000 0001      0000 1101      1010 0010  
 High humidity 8    Low humidity 8    High temp. 8      Low temp. 8      Parity bit

Calculate:

$0000\ 0010 + 1001\ 0010 + 0000\ 0001 + 0000\ 1101 = 1010\ 0010$  (Parity bit)

Received data is correct;

humidity:  $0000\ 0010\ 1001\ 0010 = 0292H$  (Hexadecimal)  $= 2 \times 256 + 9 \times 16 + 2 = 658$   
 -> Humidity = 65.8%RH

Temp.:  $0000\ 0001\ 0000\ 1101 = 10DH$  (Hexadecimal)  $= 1 \times 256 + 0 \times 16 + 13 = 269$   
 -> Temp. = 26.9°C

### Special Instructions:

When the temperature is below 0 °C, the highest position of the temperature data.

Example: -10.1 °C Expressed as 1 000 0000 0110 0101

Temp.:  $0000\ 0000\ 0110\ 0101 = 0065H$  (Hexadecimal)  $= 6 \times 16 + 5 = 101$   
 -> Temp. = -10.1°C

Example 2: 40 received data;

0000 0010      1001 0010      0000 0001      0000 1101      1011 0010  
 High humidity 8    Low humidity 8    High temp. 8      Low temp. 8      Parity bit

Calculate:

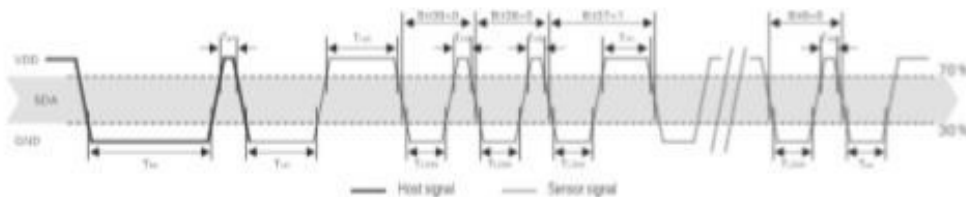
$0000\ 0010 + 1001\ 0010 + 0000\ 0001 + 0000\ 1101 = 1010\ 0010 \neq 1011\ 0010$  (Validation error)

The received data is not correct, give up, to re-receive data.

### 7.3 Single-bus communication timing

User host (MCU) to send a start signal (data bus SDA line low for at least  $800\mu s$ ) after AM2301 from Sleep mode conversion to high-speed mode. The host began to signal the end of the AM2301 send a response signal sent from the data bus SDA serial 40Bit's data, sends the byte high; data sent is followed by: Humidity high、Humidity low、Temperature high、Temperature low、Parity bit、Send data to the end of trigger information collection, the collection end of the sensor is automatically transferred to the sleep mode, the advent until the next communication.

Detailed timing signal characteristics in Table 6, Single-bus communication timing diagram Pic 6:



Pic 6: AM2301 Single-bus communication timing

Note: the temperature and humidity data read by the host from the AM2301 is always the last measured value, such as the two measurement interval is very long, continuous read twice to the second value of real-time temperature and humidity values, while two readtake minimum time interval be 25.

Table 6: Single bus signal characteristics

Symbol	Parameter	min	typ	max	Unit
$T_{start}$	Host the start signal down time	0.8	1	20	ms
$T_{release}$	Bus master has released time	20	30	200	$\mu s$
$T_{rise}$	Response to low time	75	80	85	$\mu s$
$T_{fall}$	In response to high time	75	80	85	$\mu s$
$T_{low}$	Signal "0", "1" low time	48	50	55	$\mu s$
$T_{high}$	Signal "0" high time	22	26	30	$\mu s$
$T_{high}$	Signal "1" high time	68	70	75	$\mu s$
$T_{release}$	Sensor to release the bus time	45	50	55	$\mu s$

Note: To ensure the accurate communication of the sensor, the read signal, in strict accordance with the design parameters and timing in Table 6 and Figure 6.

### 7.4 Peripherals read step example

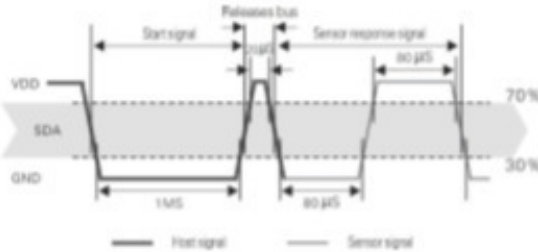
Communication between the host and the sensor can read data through the following three steps to complete.

#### Step 1

AM2301 have to wait for the power (on AM2301 power 25 crossed the unstable state, the device can not send any instructions to read during this period), the test environment temperature and humidity data, and record data, since the sensor into a sleep state automatically. AM2301 The SDA data line from the previous pull-up resistor pulled up is always high, the AM2301 the SDA pin is in input state, the time detection of external signal.

### Step 2

Microprocessor I/O set to output, while output low, and low hold time can not be less than 800us, typical values are down 1MS, then the microprocessor I/O is set to input state, the release of the bus, due to the pull-up resistor, the microprocessor I/O AM2301 the SDA data line also will be high, the bus master has released the AM2301 send a response signal, that is, the output 80 microseconds low as the response signal, tightthen output high of 80 microseconds notice peripheral is ready to receive data signal transmission as shown to Pic7 :



Pic7: Single bus decomposition of the timing diagram

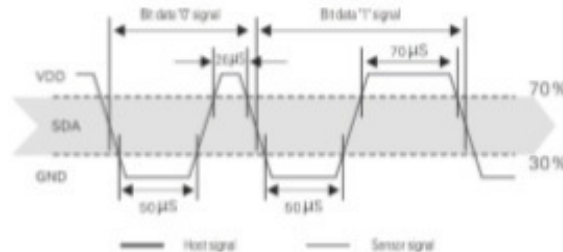
### Step 3

AM2301 sending the response, followed by the data bus SDA continuous serial output 40 data, the microprocessor receives 40 data I/O level changes.

Bit data "0" format: 26-28 microseconds low plus high;

Bit data "1" format: the high level of low plus, 50 microseconds to 70 microseconds;

Bit data "0" bit data "1" format signal shown to pic 8:



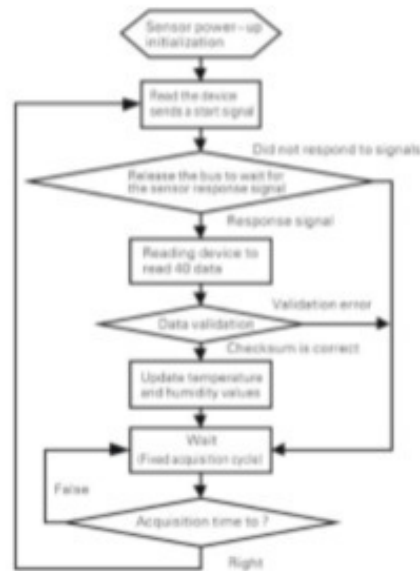
Pic 8: The single bus break down the timing diagram

AM2301 data bus SDA output 40 data continue to output the low 50 microseconds into the input state, followed by pull-up resistor goes high. AM2301 internal re-test environmental temperature and humidity data, and record the data, the end of the test records, the microcontroller automatically into hibernation.

Microcontroller only after receipt of the start signal of the host wake-up sensor, into the working state.

### 7.5 Peripheral to read flow chart

AM2301 sensor read single bus flow chart diagram shown in Figure 9, we also provide the C51 read the code examples, customers need to download, please visit our website ([www.aosong.com](http://www.aosong.com)) related to download this manual does not provide the code description.



Pic9: Single-bus to read the flow chart

## 8、Application of information

### 1. Work and storage conditions

Outside the sensor the proposed scope of work may lead to temporary drift of the signal up to 300%RH. Return to normal working conditions, sensor calibration status will slowly toward recovery. To speed up the recovery process may refer to "resume processing". Prolonged use of non-normal operating conditions, will accelerate the aging of the product.

Avoid placing the components on the long-term condensation and dry environment, as well as the following environment.

A, salt spray

B, acidic or oxidizing gases such as sulfur dioxide, hydrochloric acid

Recommended storage environment

Temperature: 10 - 40°C Humidity: 60%RH or less

### 2. The impact of exposure to chemicals

The capacitive humidity sensor has a layer by chemical vapor interference, the proliferation of chemicals in the sensing layer may lead to drift and decreased sensitivity of the measured values. In a pure environment, contaminants will slowly be released. Resume processing as described below will accelerate this process. The high concentration of chemical pollution (such as ethanol) will lead to the complete damage of the sensitive layer of the sensor.

### 3. The temperature influence

Relative humidity of the gas to a large extent dependent on temperature. Therefore, in the measurement of humidity,

should be to ensure that the work of the humidity sensor at the same temperature. With the release of heat of electronic components share a printed circuit board, the installation should be as far as possible the sensor away from the electronic components and mounted below the heat source, while maintaining good ventilation of the enclosure. To reduce the thermal conductivity sensor and printed circuit board copper plating should be the smallest possible, and leaving a gap between the two.

#### 4. Light impact

Prolonged exposure to sunlight or strong ultraviolet radiation, and degrade performance.

#### 5. Resume processing

Placed under extreme working conditions or chemical vapor sensor, which allows it to return to the status of calibration by the following handler. Maintain two hours in the humidity conditions of 45°C and <10% RH (dry); followed by 20-30°C and > 70%RH humidity conditions to maintain more than five hours.

#### 6. Wiring precautions

The quality of the signal wire will affect the quality of the voltage output, it is recommended to use high quality shielded cable.

#### 7. Welding information

Manual welding, in the maximum temperature of 300°C under the conditions of contact time shall be less than 3 seconds.

#### 8. Product upgrades

Details, please the consultation Aosong electronics department.

#### 9. The license agreement

Without the prior written permission of the copyright holder, shall not in any form or by any means, electronic or mechanical (including photocopying), copy any part of this manual, nor shall its contents be communicated to a third party. The contents are subject to change without notice.

The Company and third parties have ownership of the software, the user may use only signed a contract or software license.

#### 10. Warnings and personal injury

This product is not applied to the safety or emergency stop devices, as well as the failure of the product may result in injury to any other application, unless a particular purpose or use authorized. Installation, handling, use or maintenance of the product refer to product data sheets and application notes. Failure to comply with this recommendation may result in death and serious personal injury. The Company will bear all damages resulting personal injury or death, and waive any claims that the resulting subsidiary company managers and employees and agents, distributors, etc. that may arise, including: a variety of costs, compensation costs, attorneys' fees, and so on.



## 11、Quality Assurance

The company and its direct purchaser of the product quality guarantee period of three months (from the date of delivery). Publishes the technical specifications of the product data sheet shall prevail. Within the warranty period, the product was confirmed that the quality is really defective, the company will provide free repair or replacement. The user must satisfy the following conditions:

- ① The product is found defective within 14 days written notice to the Company;
- ② The product shall be paid by mail back to the company;
- ③ The product should be within the warranty period.

The Company is only responsible for those used in the occasion of the technical condition of the product defective product. Without any guarantee, warranty or written statement of its products used in special applications. Company for its products applied to the reliability of the product or circuit does not make any commitment.



# Thermoelectric Cooler

**TEC1-12706**

## Performance Specifications

Hot Side Temperature (°C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (°C)	66	75
I <sub>max</sub> (Amps)	6.4	6.4
V <sub>max</sub> (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



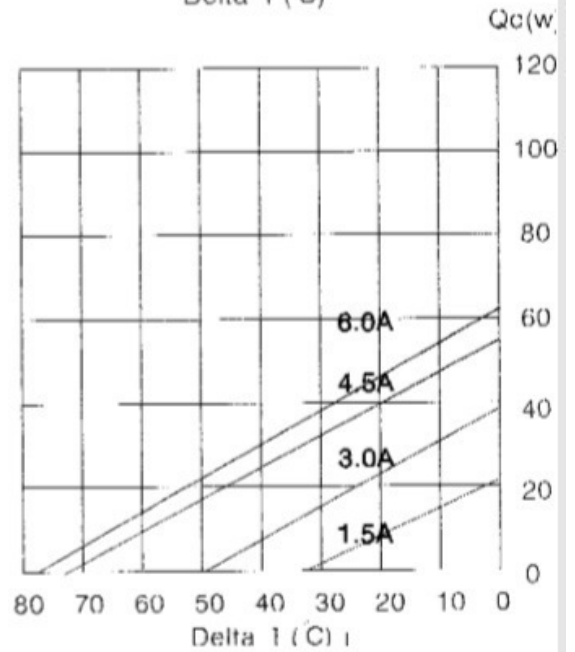
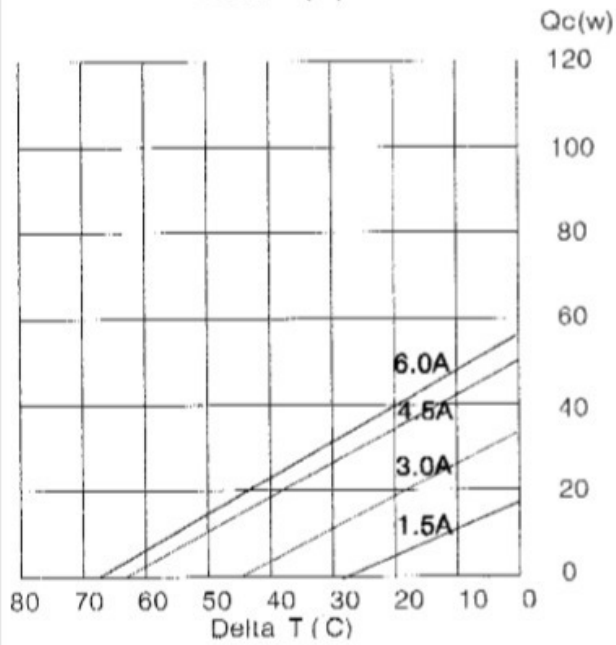
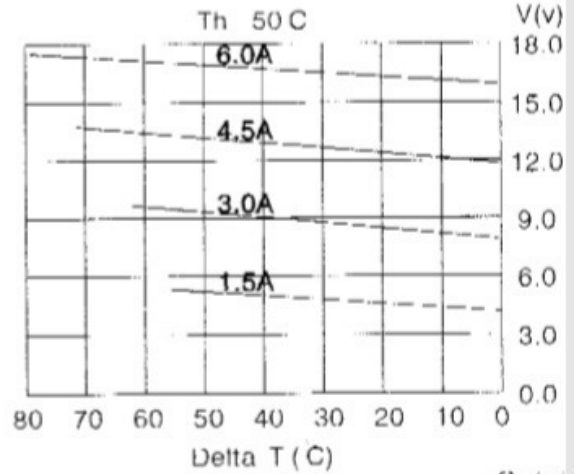
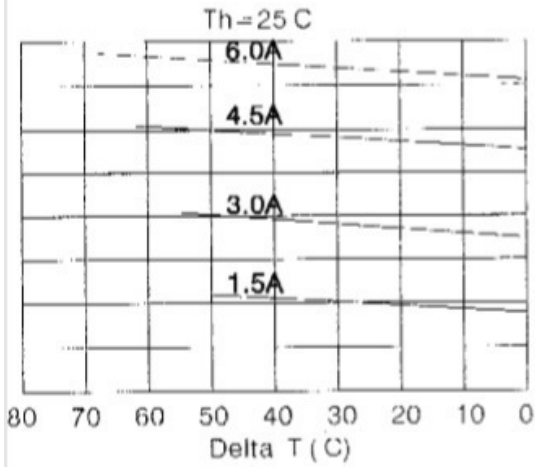
Performance curves on page 2

Copyright HB Corporation. HB reserves the right to change these specifications without notice.

Rev 2.03



**TEC1-12706**



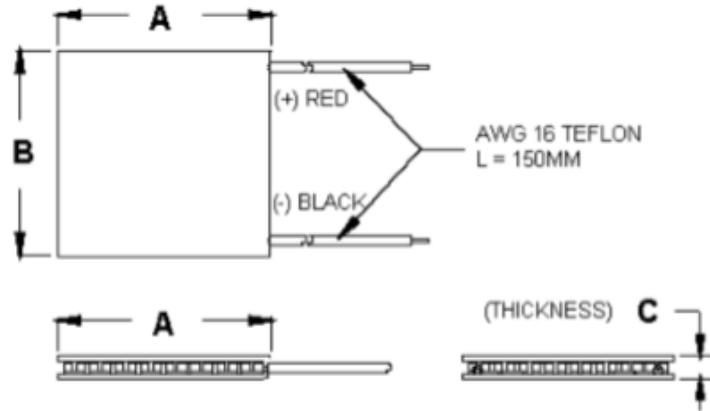
Copyright HB Corporation. HB reserves the right to change these specifications without notice.

Rev 2.03





TEC1-12706



Ceramic Material: Alumina ( $Al_2O_3$ )  
Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

**Size table:**

A	B	C			
40	40	3.8			

**Operating Tips**

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed I<sub>max</sub> or V<sub>max</sub> when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- 
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%

Copyright HB Corporation. HB reserves the right to change these specifications without notice.

Rev 2.03

# Mist Maker by Neptune Hydroponics



## (Unidad de Pulverización) GUÍA DEL USUARIO

Este manual pertenece a este producto; contiene información importante referente al manejo del mismo. Por favor téngalo en cuenta en caso que preste este equipo a otras personas. Conserve este manual para futuras consultas.

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

El humidificador Mist Maker produce oscilaciones eléctricas a nivel de frecuencias ultrasónicas. La membrana de cerámica convierte la oscilación eléctrica en mecánica, esto es lo que crea vapor y agua pulverizada. Estas oscilaciones producen también iones negativos que ayudan a refrescar el aire mientras el vapor humidifica la habitación.

- La unidad está provista de nivel de agua, desconexión automática y un nuevo disco de cerámica mejorado a prueba de rasguños y arañazos.
- Bajo voltaje, inocuo para humanos y animales.

### CARACTERÍSTICAS DE MIST MAKER

- Voltaje de entrada: AC24V
- Consumo: <1.0A
- Limite de temperatura: +5° C~+40°C
- Nivel de agua necesario: 50-60mm
- Con certificado CE

### CARACTERÍSTICAS TRANSFORMADOR

- Voltaje de entrada: 230V
- Voltaje de salida: AC24V
- Intensidad de salida: 1.0A

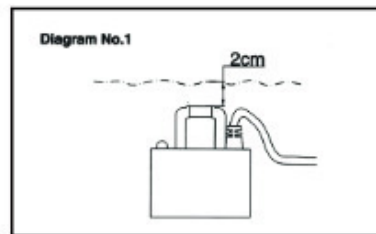
### MEDIDAS DE SEGURIDAD

1. Por favor compruebe el voltaje del transformador antes de conectarlo a la red eléctrica. Utilice el transformador que se suministra.
2. Coloque el transformador y el conector en un lugar seco o utilícelos únicamente en interior. Mantenga el transformador y el conector alejados del agua.
3. El transformador de seguridad se calentará mientras está en marcha. Asegúrese que funcionan en un lugar suficientemente ventilado. No lo cubra nunca.
4. Mantenga los aparatos eléctricos lejos del alcance de los niños.
5. No toque nunca el sensor de nivel de agua.
6. Mientras está en funcionamiento, no toque el disco de cerámica ni se acerque a menos de 10 cm de la parte superior del aparato; aunque no es peligroso podría sufrir quemaduras.
7. No manipule nunca el transformador ni el conector con las manos mojadas.
8. Desconecte de la red el aparato antes de manipularlo o sacarlo del agua.
9. Evite colocar el humidificador cerca de otros aparatos eléctricos u objetos sensibles al agua o la humedad puesto que pueden producirse salpicaduras.

### PUESTA EN MARCHA

1. Coloque la cazoleta vaporizadora en un contenedor de agua vacío.
2. Conecte la cazoleta vaporizadora al transformador.
3. Rellene el contenedor con agua. El nivel óptimo es 2cm (alrededor de ¾ de pulgada) por encima del sensor de auto-apagado. Ver diagrama 1
4. Conecte el transformador a la red eléctrica y el humidificador comenzará a funcionar.

**NOTA:** El humidificador utiliza únicamente agua del grifo. NO utilice agua destilada o filtrada puesto que el sensor de nivel puede no funcionar correctamente y causar daños a la unidad.



#### FUNCIONAMIENTO:

Después de conectar el humidificador a la red eléctrica, si éste permanece en el nivel correcto de agua, continuará funcionando correctamente.

#### SUGERENCIAS PARA SU USO ÓPTIMO

1. La cazoleta de vaporización envía pequeños chorros de agua mientras está en marcha. El contenedor debe ser lo suficientemente grande para evitar salpicaduras fuera del mismo. No coloque la cazoleta donde el vertido de agua o la condensación puede causar daños al mobiliario, aparatos eléctricos o suelo.

2. Se recomienda el uso de agua limpia. Cambie el agua cuando está sucia. (El agua sucia puede afectar a la producción de vapor).

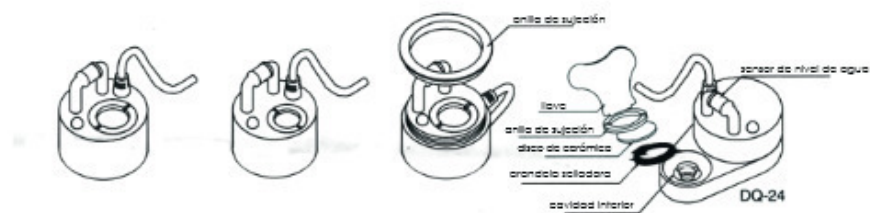
3. No utilice productos de limpieza abrasivos en la cazoleta vaporizadora; puede limpiarla con un paño suave y agua limpia.

#### MANTENIMIENTO Y RECAMBIO DEL DISCO DE CERÁMICA.

**NOTA:** Los discos de cerámica de recambio se venden por separado.

1. Después de un tiempo continuado de uso del humidificador puede notar un descenso en la producción de vapor o incluso puede dejar de funcionar. En ese momento debe limpiar o cambiar el disco de cerámica.

2. Desconecte la unidad y retírela del contenedor de agua, límpiela con un paño suave y agua limpia y vuelva a conectarla; compruebe si vuelve a funcionar, si no es así deberá cambiar el disco de cerámica tal y como explica el diagrama 2.



1. Desconecte la unidad y retírela del contenedor de agua

2. Inserte la llave en las ranuras de la anilla de sujeción y gire en sentido contrario a las agujas del reloj.

3. Retire la arandela selladora y el disco de cerámica.

**IMPORTANTE:** El disco de cerámica tiene 2 caras. Asegúrese de recolocar el disco de forma correcta: la cara SIN círculo negro mirando hacia arriba.

4. Instalar un nuevo disco incorrectamente puede ocasionar que la unidad vaporizadora deje de funcionar.

**IMPORTANTE:** La cavidad situada debajo del disco de cerámica debe estar completamente seca antes de recolocar las piezas.



## VNH2SP30-E

### Automotive fully integrated H-bridge motor driver

#### Features

Type	$R_{DS(on)}$	$I_{out}$	$V_{CCmax}$
VNH2SP30-E	19m $\Omega$ max (per leg)	30A	41V

- 5V logic level compatible inputs
- Undervoltage and overvoltage shut-down
- Overvoltage clamp
- Thermal shut down
- Cross-conduction protection
- Linear current limiter
- Very low stand-by power consumption
- PWM operation up to 20 kHz
- Protection against loss of ground and loss of  $V_{CC}$
- Current sense output proportional to motor current
- Package: ECOPACK<sup>®</sup>

#### Description

The VNH2SP30-E is a full bridge motor driver intended for a wide range of automotive applications. The device incorporates a dual monolithic high side driver and two low side switches. The high side driver switch is designed using STMicroelectronics' well known and proven proprietary VIPower™ M0 technology which permits efficient integration on the same die of a true Power MOSFET with an intelligent signal/protection circuitry.



The low side switches are vertical MOSFETs manufactured using STMicroelectronics' proprietary EHD ("STripFET™") process. The three die are assembled in the MultiPowerSO-30 package on electrically isolated leadframes. This package, specifically designed for the harsh automotive environment offers improved thermal performance thanks to exposed die pads. Moreover, its fully symmetrical mechanical design allows superior manufacturability at board level. The input signals  $IN_A$  and  $IN_B$  can directly interface to the microcontroller to select the motor direction and the brake condition. The  $DIAG_A/EN_A$  or  $DIAG_B/EN_B$ , when connected to an external pull-up resistor, enable one leg of the bridge. They also provide a feedback digital diagnostic signal. The normal condition operation is explained in [Table 12: Truth table in normal operating conditions on page 14](#). The motor current can be monitored with the CS pin by delivering a current proportional to its value. The speed of the motor can be controlled in all possible conditions by the PWM up to 20 kHz. In all cases, a low level state on the PWM pin will turn off both the  $LS_A$  and  $LS_B$  switches. When PWM rises to a high level,  $LS_A$  or  $LS_B$  turn on again depending on the input pin state.

**Table 1. Device summary**

Package	Order codes	
	Tube	Tape and Reel
MultiPowerSO-30	VNH2SP30-E	VNH2SP30TR-E

# 1 Block diagram and pin description

Figure 1. Block diagram

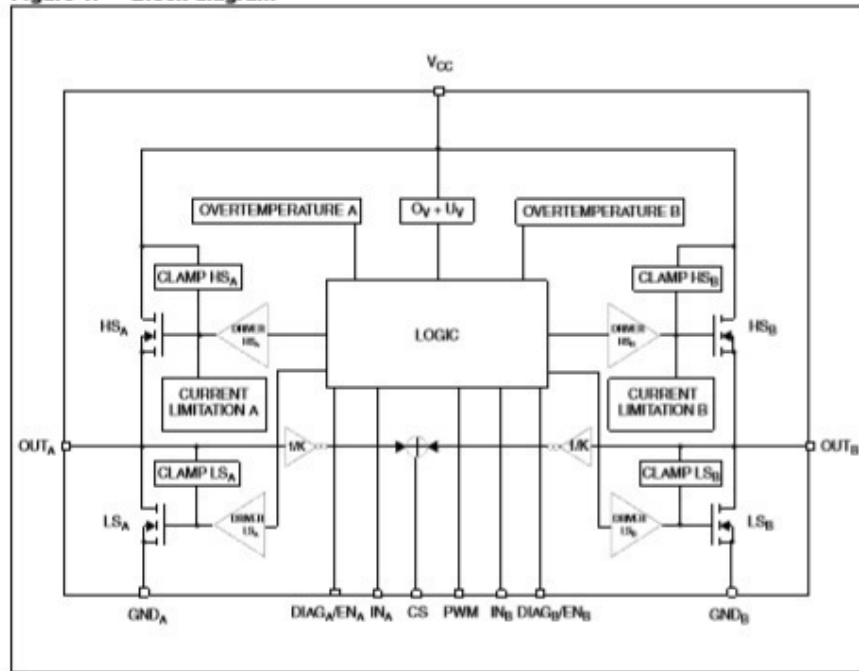
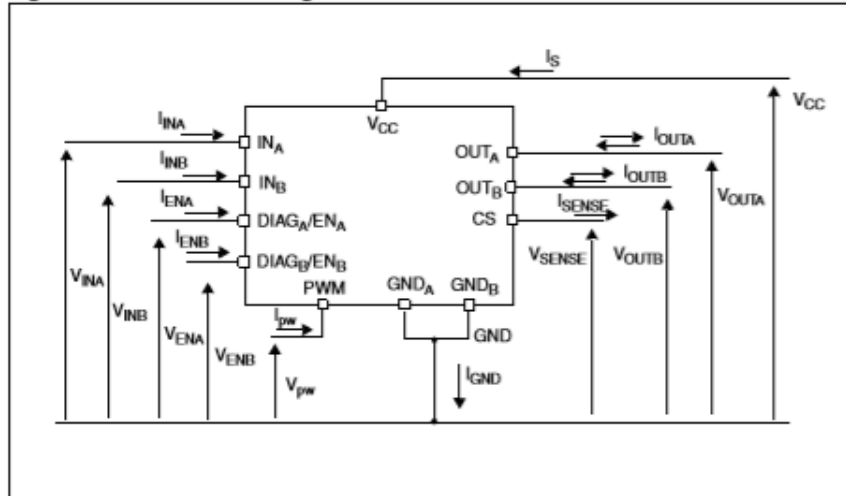


Table 2. Block description

Name	Description
Logic control	Allows the turn-on and the turn-off of the high side and the low side switches according to the truth table
Overvoltage + undervoltage	Shuts down the device outside the range [5.5V..16V] for the battery voltage
High side and low side clamp voltage	Protects the high side and the low side switches from the high voltage on the battery line in all configurations for the motor
High side and low side driver	Drives the gate of the concerned switch to allow a proper $R_{DS(on)}$ for the leg of the bridge
Linear current limiter	Limits the motor current by reducing the high side switch gate-source voltage when short-circuit to ground occurs
Overtemperature protection	In case of short-circuit with the increase of the junction's temperature, shuts down the concerned high side to prevent its degradation and to protect the die
Fault detection	Signals an abnormal behavior of the switches in the half-bridge A or B by pulling low the concerned EN <sub>x</sub> /DIAG <sub>x</sub> pin

## 2 Electrical specifications

Figure 3. Current and voltage conventions



### 2.1 Absolute maximum ratings

Table 5. Absolute maximum ratings

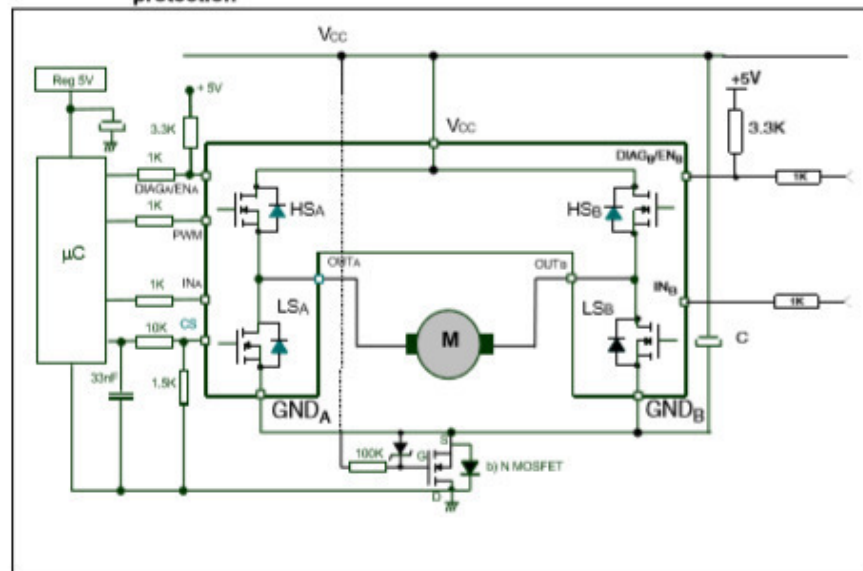
Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage	+41	V
$I_{max}$	Maximum output current (continuous)	30	A
$I_R$	Reverse output current (continuous)	-30	
$I_{IN}$	Input current ( $IN_A$ and $IN_B$ pins)	$\pm 10$	mA
$I_{EN}$	Enable input current ( $DIAG_A/EN_A$ and $DIAG_B/EN_B$ pins)	$\pm 10$	
$I_{PW}$	PWM input current	$\pm 10$	
$V_{CS}$	Current sense maximum voltage	-3/+15	V
$V_{ESD}$	Electrostatic discharge ( $R = 1.5k\Omega$ , $C = 100pF$ )		
	- CS pin	2	kV
	- logic pins	4	kV
	- output pins: $OUT_A$ , $OUT_B$ , $V_{CC}$	5	kV
$T_J$	Junction operating temperature	Internally limited	°C
$T_C$	Case operating temperature	-40 to 150	
$T_{STG}$	Storage temperature	-55 to 150	

### 3 Application information

In normal operating conditions the  $DIAG_X/EN_X$  pin is considered as an input pin by the device. This pin must be externally pulled high.

PWM pin usage: in all cases, a "0" on the PWM pin will turn off both  $LS_A$  and  $LS_B$  switches. When PWM rises back to "1",  $LS_A$  or  $LS_B$  turn on again depending on the input pin state.

**Figure 32. Typical application circuit for DC to 20 kHz PWM operation short circuit protection**



**Note:**

The value of the blocking capacitor (C) depends on the application conditions and defines voltage and current ripple onto supply line at PWM operation. Stored energy of the motor inductance may fly back into the blocking capacitor, if the bridge driver goes into tri-state. This causes a hazardous overvoltage if the capacitor is not big enough. As basic orientation, 500µF per 10A load current is recommended.

In case of a fault condition the  $DIAG_X/EN_X$  pin is considered as an output pin by the device. The fault conditions are:

- overtemperature on one or both high sides
- short to battery condition on the output (saturation detection on the low side power MOSFET)

Possible origins of fault conditions may be:

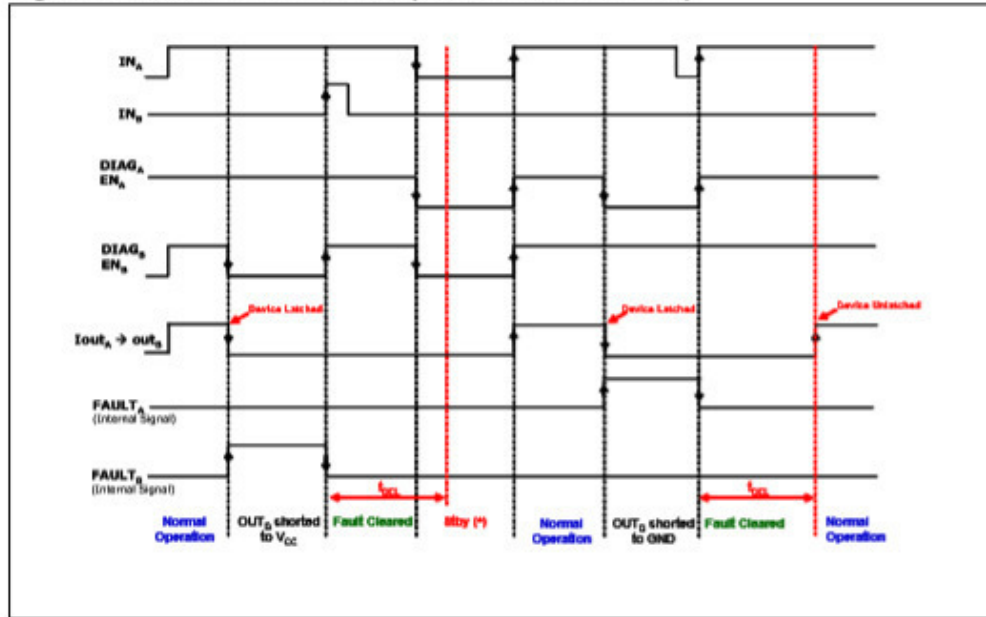
- $OUT_A$  is shorted to ground → overtemperature detection on high side A.
- $OUT_A$  is shorted to  $V_{CC}$  → low side power MOSFET saturation detection.



When a fault condition is detected, the user can know which power element is in fault by monitoring the  $IN_A$ ,  $IN_B$ ,  $DIAG_A/EN_A$  and  $DIAG_B/EN_B$  pins.

In any case, when a fault is detected, the faulty leg of the bridge is latched off. To turn on the respective output ( $OUT_X$ ) again, the input signal must rise from low to high level.

Figure 33. Behavior in fault condition (How a fault can be cleared)



Note: In case of the fault condition is not removed, the procedure for unlatching and sending the device in Stby mode is:

- Clear the fault in the device (toggle :  $INA$  if  $ENA=0$  or  $INB$  if  $ENB=0$ )
- Pull low all inputs, PWM and Diag/EN pins within  $t_{DEL}$ .

If the Diag/En pins are already low, PWM=0, the fault can be cleared simply toggling the input. The device will enter in stby mode as soon as the fault is cleared.



# SONGLE RELAY

	RELAY ISO9002	<b>SRD</b>
---	---------------	------------



## 1. MAIN FEATURES

- Switching capacity available by 10A in spite of small size design for highdensity P.C. board mounting technique.
- UL,CUL,TUV recognized.
- Selection of plastic material for high temperature and better chemical solution performance.
- Sealed types available.
- Simple relay magnetic circuit to meet low cost of mass production.

## 2. APPLICATIONS

- Domestic appliance, office machine, audio, equipment, automobile, etc.  
( Remote control TV receiver, monitor display, audio equipment high rushing current use application.)

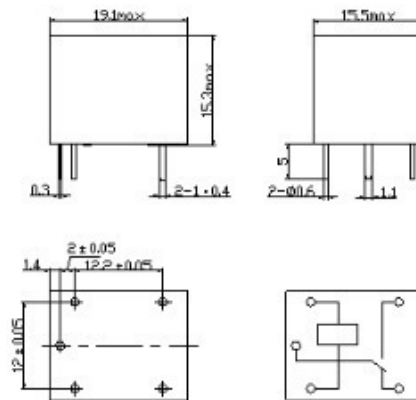
## 3. ORDERING INFORMATION

SRD	XX VDC	S	L	C
Model of relay	Nominal coil voltage	Structure	Coil sensitivity	Contact form
SRD	03. 05. 06. 09. 12. 24. 48VDC	S:Sealed type	L:0.36W	A:1 form A
		F:Flux free type	D:0.45W	B:1 form B C:1 form C

## 4. RATING

CCC	FILE NUMBER:CH0052885-2000	7A/240VDC
CCC	FILE NUMBER:CH0036746-99	10A/250VDC
UL/CUL	FILE NUMBER: E167996	10A/125VAC 28VDC
TUV	FILE NUMBER: R9933789	10A/240VAC 28VDC

## 5. DIMENSION<sub>(unit:mm)</sub> DRILLING<sub>(unit:mm)</sub> WIRING DIAGRAM



## 6. COIL DATA CHART (AT20°C)

Coil Sensitivity	Coil Voltage Code	Nominal Voltage (VDC)	Nominal Current (mA)	Coil Resistance ( $\Omega$ ) $\pm 10\%$	Power Consumption (W)	Pull-In Voltage (VDC)	Drop-Out Voltage (VDC)	Max-Allowable Voltage (VDC)
SRD (High Sensitivity)	03	03	120	25	abt. 0.36W	75%Max.	10% Min.	120%
	05	05	71.4	70				
	06	06	60	100				
	09	09	40	225				
	12	12	30	400				
	24	24	15	1600				
SRD (Standard)	03	03	150	20	abt. 0.45W	75% Max.	10% Min.	110%
	05	05	89.3	55				
	06	06	75	80				
	09	09	50	180				
	12	12	37.5	320				
	24	24	18.7	1280				
	48	48	10	4500	abt. 0.51W			

## 7. CONTACT RATING

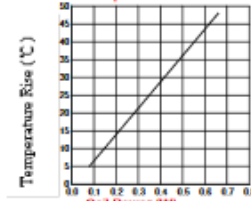
Item	Type	SRD	
		FORM C	FORM A
Contact Capacity		7A 28VDC	10A 28VDC
Resistive Load ( $\cos\phi=1$ )		10A 125VAC 7A 240VAC	10A 240VAC
Inductive Load ( $\cos\phi=0.4$ L/R=7msec)		3A 120VAC 3A 28VDC	5A 120VAC 5A 28VDC
Max. Allowable Voltage		250VAC/110VDC	250VAC/110VDC
Max. Allowable Power Force		800VAC/240W	1200VA/300W
Contact Material		AgCdO	AgCdO

## 8. PERFORMANCE (at initial value)

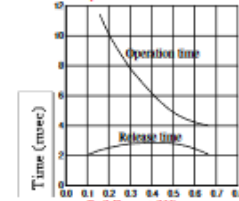
Item	Type	SRD
Contact Resistance		100m $\Omega$ Max.
Operation Time		10msec Max.
Release Time		5msec Max.
Dielectric Strength	Between coil & contact	1500VAC 50/60HZ (1 minute)
	Between contacts	1000VAC 50/60HZ (1 minute)
Insulation Resistance		100 M $\Omega$ Min. (500VDC)
Max. ON/OFF Switching	Mechanically	300 operation/min
	Electrically	30 operation/min
Ambient Temperature		-25°C to +70°C
Operating Humidity		45 to 85% RH
Vibration	Endurance	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
	Error Operation	10 to 55Hz Double Amplitude 1.5mm
Shock	Endurance	100G Min.
	Error Operation	10G Min.
Life Expectancy	Mechanically	10 <sup>7</sup> operations. Min. (no load)
	Electrically	10 <sup>5</sup> operations. Min. (at rated coil voltage)
Weight		abt. 10grs.

## 9. REFERENCE DATA

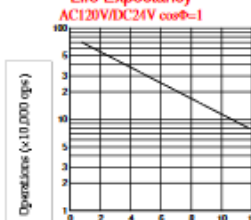
### Coil Temperature Rise



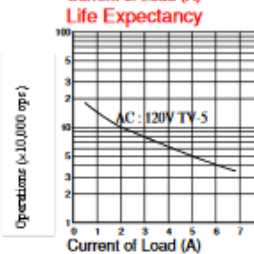
### Operation Time



### Life Expectancy



### Life Expectancy





Make It Yours.

# Hyper H410R



The Hyper H410R, a new member of the longstanding Hyper Series, is an affordable, compact and high performance air cooler that its compact heatsink is a great match for small form factor system. With 4 heat pipes and Direct Contact technology, it is delivering great cooling performance that outperforms its predecessor Hyper 103 in heat dissipation. The special fin design optimizes air flow toward heatpipes. Its 92mm PWM fan features a wide fan speed range and can be fine tuned for maximum airflow and cooling performance or silent operation.

## Features

**Outstanding Performance in Compact Size** - The Hyper H410R is a small low-profile quiet cooler designed to fit in limited spaces. With its outstanding performance in its class, it is clearly a perfect solution for small form factor cases.

**Direct Contact Technology** - 4 heat pipes with Direct Contact Technology effectively provide excellent heat dissipation

**Precise Combination of Air Flow and Heat sink** - Stacked fin array ensure least airflow resistance which allows cooler air flow into the heat sink

**Snap and Play** - Intuitive fan bracket design makes upgrading and removing the fan a breeze.

## Specifications & Packing Information

Product Name	Hyper H410R
Product Number	RR-H410-20PK-R1
CPU socket*	Intel LGA 1151/1150/1155/1156/775
	AMD AM4 / AM3+ / AM3 / AM2+ / AM2 / FM2+ / FM2 / FM1
Dimensions (LxWxH)	102 x 83.4 x 136mm (4.0x3.3x5.4 inch)
Heatsink Dimensions (LxWxH)	90x63.5x136mm (3.5x2.5x5.4 inch)
Heatsink Material	4 Heatpipes /Direct Contact / Aluminum Fins
Heatsink weight	358g (0.769lb.)
Heatpipe Dimensions	Φ6mm
Fan Dimensions	92x92x25mm (3.6x3.6x1 inch)
Fan Speed	600-2,000 RPM (PWM) ± 10%
Fan Air Flow	34.13 CFM ± 10%
Fan Air Pressure	1.79mm H2O ± 10%
MTTF	40,000 hours
LED color	Red
Noise Level	29.4 dBA
Connector	4-Pin
Rated Voltage	12 VDC
Rated Current	0.2 A
Safety Current	0.4 A
Power Consumption	2.4 W
Warranty	2 years

EAN code	4719512063996
UPC code	884102036668
Net weight (Kg)	0.5
Gross weight (Kg)	0.62
Carton dimension (L x W x H)	41.3x38x40.5 cm

Cont.	W/ Pallet	Carton/ Pallet	W/O Pallet
20'	7920	30	N/A
40'	15840	30	N/A
40 HQ	15840	30	N/A
45 HQ	17280	30	N/A

Anexo 8. Ficha técnica de la fuente de voltaje.

# 120W



	Modelo	POWER 5V24A	POWER 12V10A	POWER 24V5A	POWER 48V2.5A
S A L I D A	Salida DC	5V	12V	24V	48v
	Corriente de Salida	24A	10A	5A	2.5A
	Rango de Corriente de Salida	0-24A	0-10A	0-5A	0-2.5A
	Ripple y Ruido	70mVp-p	100mVp-p	100mVp-p	120mVp-p
	Inlet stability	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	Estabilidad de la carga	±1%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	Potencia (W)	120W	120W	120W	120W
	Ajuste de Volaje de salida	±10,-5%	±10%	±10%	±10%
	Tolerancia de volataje de salidad	±2%	±1%	±1%	±1%
	Tiempo de espera en la config.	800ms,100ms,50ms/115VAC 200ms,100ms,30ms/230VAC			
E N T R A D A	Rango de Entrada AC	100~120VAC/200~240VAC/47~63VAC,120~370VDC			
	Corriente de entrada	2.4A/115V 1.2A/230V			
	Corriente de Impulso AC	Cold-start current 18A/115V 36A/230V			
	Eficiencia	78%	83%	84%	85%
	Fuga de corriente	<1mA/240VAC			
P R O T E C T I O N	Protección contra sobrecarga	115%~135% rated output power			
	Protección contra sobrevoltaje	115%~135%			
	Protección contra cortocircuito	Protection:Hiccup mode			
A M B I E N T E	Coefficiente de Temperatura	±0.03%°C(0~50°C)			
	Vibración	10~500Hz,2G 10min./1cycle,Period for 60min,Each axes			
	Temperatura y humedad de trabajo	-10°C~+60°C,20~90%RH			
	Temperatura y humedad de almacenamiento	-20°C~+85°C,10~95%RH			
S E G U R I D A D	Withstand voltaje	I/P-O/P:2KVAC I/P-FG:1.5KVAC O/P-FG:0.5KVAC			
	Aislamiento	I/P-O/P I/P-FG O/P-FG:500VDC/100MΩ			
	Standard de Seguridad	Desgin refer to UL1012,EN60950-1,EN61347-1,EN-61347-2 approved			
	Standard EMC	EN55015,EN55022,EN55024,EN61000-2,EN61000-3,EN61547 approved			
O T R O S	Dimensiones	160x98x38mm 40PCS/CARTON			
	Peso	0.5kg			



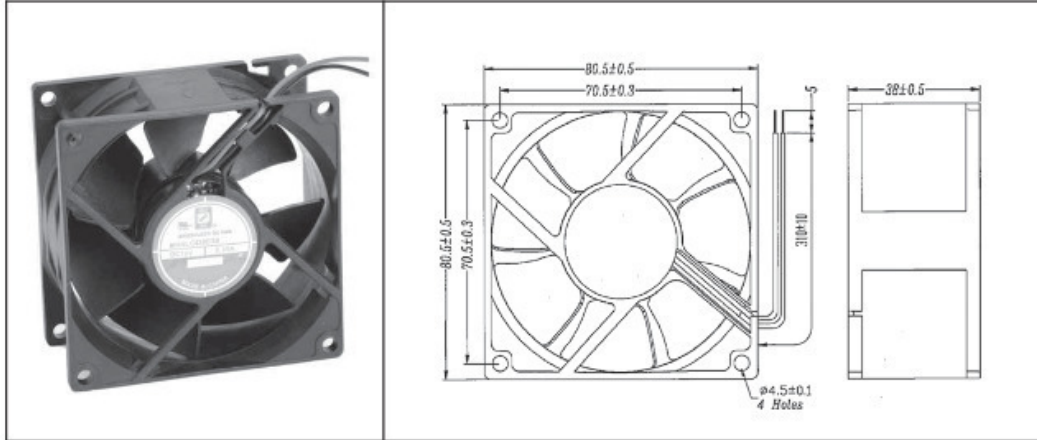
Importa y distribuye: BAGUI S.A.  
 Av. Diaz Velez 4438 - Capital Federal - BS.AS Argentina  
[www.pronext.com.ar](http://www.pronext.com.ar)

Anexo 9. Ficha técnica del ventilador.

# OD8038 Series



# DC Fan 80x38mm (3.15"x 1.5")



<b>Frame &amp; Impeller</b>	PBT, UL94V-O plastic	<b>Available Options:</b> Tachometer (FG) Alarm (RD) Thermal Speed Control (Thermistor) 48V available	
<b>Connection</b>	2x Lead wires, Red(+), Black (-)		
<b>Motor</b>	Brushless DC, auto restart, polarity protected.		
<b>Bearing System</b>	Dual ball bearing		
<b>Insulation Resistance</b>	Min. 10M at 500VDC		
<b>Dielectric Strength</b>	1 minute at 500VAC / 1 second, max leakage 500 microamp		
<b>Temperature Range</b>	-10C ~ +70C		
<b>Storage Temperature</b>	-40C ~ +80C		
<b>Life (L10)</b>	50,000 hours (40C)		

Model Number	Speed (RPM)	Airflow (CFM)	Noise (dB)	Volts DC	Power (Watts)	Amps	Max. Static Pressure ("H2O)
OD8038-12HHB	4000	61	44	12	6.2	0.52	0.30
OD8038-12HB	3500	54	40	12	3.9	0.33	0.23
OD8038-12MB	3000	46	36	12	2.5	0.21	0.17
OD8038-12LB	2500	38	32	12	1.7	0.14	0.12
OD8038-24HB	3500	54	40	24	5.8	0.14	0.23
OD8038-24MB	3000	46	36	24	4.3	0.10	0.17
OD8038-24LB	2500	38	32	24	3.4	0.08	0.12