



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS APLICADAS

Informe final

“Sistema de monitoreo y control de la temperatura y humedad del compost del croton en macetas para mitigar la emisión de CO₂ utilizando control PI e IOT”



Curso: Sistemas Embebidos- EL234

Integrantes: Matos Carbajal Steven

Yllanes Infante Abraham

Enzo m

Profesor: Mag Ing. Rubén Acosta

Ciclo: 2022-2

Resumen

Unos de los problemas en el mundo que más pasan desapercibidos para la opinión pública son los relacionados con la situación ambiental global. Por ejemplo, actualmente, la atmósfera de la Tierra presenta una proporción de CO₂ de 420 partes por millón según el Centro Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) la cual, comparando con años anteriores, se ha incrementado cada vez más. Esta situación, estimando previsiones futuras, significará un grave incremento en el calentamiento global. De manera que, es necesario implementar con urgencia medidas que permitan contribuir a la disminución o mitigación de esta emisión al ambiente. Precisamente se enfocará en la actividad de las plantas las cuales cumplen un rol importantísimo para esta tarea mediante su respiración. Por lo tanto, como solución de ingeniería siguiendo los lineamientos éticos del Colegio de Ingenieros del Perú un proyecto de ingeniería perteneciente al segmento ambiental llamado: “ Sistema de monitoreo y control de la humedad y temperatura del compost del croton para mitigar la emisión del CO₂ utilizando control PI e IOT”, el cual consiste, como dice su nombre, monitorear los parámetros del ambiente y el compost de la planta croton de manera que con estos se pueda controlar mediante un controlador PI las válvulas de la bomba de agua para controlar la humedad la cual está directamente relacionada con la producción de CO₂ de la planta. En la primera parte del proyecto, se diseñará el controlador PI que disponga las válvulas del sistema de riego en la maceta. En la segunda parte, se elaborará el código y las herramientas de visualización de los datos mediante MQTT y Raspberry. Finalmente, se implementará el circuito y el espacio de pruebas del croton en su maceta para realizar las pruebas y validaciones.

Índice General

Resumen.....	2
Capítulo 1: Descripción e importancia del problema:	4
1.1 Análisis del problema	6
1.2 Formulación del problema	8
1.3 Propuesta o Aporte	9
1.4Antecedentes de la propuesta	10
1.5 Estado del arte.....	10
1.5.1 Marco teórico	10
Capítulo 2: Gestión del proyecto:	11
2.1 Objetivos	11
2.1.1 Objetivo General	11
2.1.2 Objetivo Específico	12
2.2 Ámbito de investigación	12
2.3 Sistema de variables	12
2.4 Cronograma de actividades	12
2.5 Presupuesto de los recursos	13
2.8 Alcance del proyecto	13
2.9 Limitaciones del proyecto	13
Capítulo 2: Diseño e implementación:	14
2.1 Diagrama de bloques de la propuesta	14
2.1 Descripción del funcionamiento	14
2.1 Descripción del software y hardware	14
2.2 Especificaciones técnicas del proyecto	14
2.3 Pruebas y resultados	14

1.1 Análisis del problema

En el Perú, en el 2022 se percibió alrededor de 417 ppm de CO₂, asimismo, según el informe anual del Global Carbon Budget(GCP) se emiten anualmente en promedio 55 megatoneladas de CO₂. Esta intensa emisión se produce debido a factores ambientales así como también producidas por las personas debido a la actividad industrial. Realizando las comparaciones de esta medida con la de años anteriores se puede notar que tras la Revolución Industrial ha venido incrementando cada año y en previsiones futuras puede originar problemas climáticos como el calentamiento global permitiendo que afecte inevitablemente la subsistencia de los seres vivos en el planeta. Por un lado, esta excesiva emisión de CO₂ además del calentamiento global, genera dificultades para el desarrollo de seres vivos como son las plantas, de las cuales, se centrará este proyecto. Esto se debe a que este gas de efecto invernadero en alta concentración produce la alteración del ciclo de fotosíntesis de la planta, pues al estar en contacto con el gas la planta debe acelerar su respiración. Por otro lado, para el caso específico de las plantas, las cuales, en su ciclo metabólico generan CO₂ en el suelo, el cual es impulsado por diversos factores climáticos como la temperatura y humedad del ambiente pero también a la calidad del sustrato o tierra en la cual se cultiva. Por ejemplo, si la tierra presenta altos niveles de humedad la actividad microbiana proveniente de la misma se impulsa y se acelera la mineralización la cual genera mayor desprendimiento del CO₂. Dichas relaciones se pueden apreciar en el siguiente árbol de problemas:



1.2 Formulación del problema

Tras la identificación del problema, se plantea de que manera sería posible lograr la problemática es decir la mitigación del CO_2 en el croton. Para lograr dicho propósito, se toma como referencia el metabolismo de la propia planta así como las variables independientes que condicionan la producción del CO_2 . De manera que nuestra hipótesis es el diseño de un sistema de monitoreo IOT y control de la variable principal que en este caso es la humedad accionada por un relé de válvulas para el control PI de riego así como el uso del compost orgánico para balancear el desprendimiento de CO_2 generado por esta humedad.

1.3 Propuesta o aporte

Se propone el desarrollo de un sistema de monitoreo IoT, el cual realizará la lectura de la temperatura y humedad del ambiente con un sensor DHT22 y DS18B20 usando MQTT. La finalidad de esta red para la validación de los datos y su integridad a través de las transacciones. Una vez validado estos datos, se mostrarán en una interfaz web de los

1.4 Estado de arte

1.4.1 Marco teórico

Como antecedentes se tiene Biomasa y respiración microbiana: Respuesta ante cambios en la humedad del suelo en la Estepa Magallánica Seca de Santa Cruz, Argentina en el cual como su nombre lo dice es un artículo en el cual se realizó un estudio del CBM Y NBM(carbono y nitrógeno de la biomasa microbiana presente en el suelo) los cuales son bioindicadores que tienen el potencial de alterar el suelo de los ecosistemas,

Pero a su vez dependen de la humedad disponible en el suelo. De manera que la propuesta fue establecer parcelas en donde se evaluó la variación CBM, NBM y la respiración heterotrófica (RH) en función de la cantidad de humedad en los suelos de la Estepa Magallánica Seca de Santa Cruz, Argentina, el cual es un vasto paisaje formado por planicies y vientos incesantes, cañones profundos.

Para desarrollar su propuesta se realizó la siguiente secuencia: Se instalaron parcelas de 4m^2 en el área de estudio, el cual es un ecosistema de pastizales con ondulaciones leves y presentaba una precipitación media anual de 240 mm.

En estas parcelas se realizaron ensayos que consisten simular la alteración de estas precipitaciones y luego recopilar la información del suelo en la misma.

Se establecieron de la siguiente manera:

En la primera se estableció una de Control en la cual se aplicó la precipitación anual normal del

ecosistema.

En la segunda se aplicó el proceso de riego en la cual se aumentaba en 54% de la precipitación media anual

Y en la última se aplicó la fase de sequía en la cual se disminuyó en 54% de la p.m.a para simular el aumento de la precipitación se realizaba una cantidad de 6 riegos durante el año mientras que para la sequía se implementaron intercepciones en los techos de las parcelas para disminuirla.

Establecida estas condiciones, luego de un año, se tomaron 3 muestras del suelo con un tubo de PVC las cuales fueron almacenadas en incubaciones para determinar la humedad así como las variables microbiológicas.

En esta fase de laboratorio, se pudo determinar la cantidad de CBM mediante la técnica de fumigación extracción la cual consiste en el cálculo de la cantidad de carbono extractable y sulfato de potasio al fumigar el suelo tras la muerte de los microorganismos presentes

En la solución del suelo tras la aplicación de cloroformo

Para las estimaciones del nitrógeno se realiza de la misma forma que el CBM solo que aquí se calcula la cantidad excedente del amonio en el suelo.

Mientras que para la respiración heterotrófica, que la originan los demás microorganismos que habitan el suelo al descomponer los detritos y la materia orgánica, se midió tras la técnica de incubación aeróbica en el cual se agrega la muestra a frascos herméticos junto a una trampa de dióxido de carbono, en el cual se calculó luego de 7 días la presencia del carbono presente en la trampa.

Finalmente, los resultados demostraron que la modificación de la humedad del suelo se determinó en la cantidad de carbono microbiano, mientras que no afectó notablemente la cantidad de nitrógeno microbiano ni en la respiración heterotrófica. Sin embargo, la respiración microbiana mostró una tendencia a disminuir cuando la humedad del suelo disminuye. De manera que se puede concluir que la variación de la humedad como se vio en la alteración de las precipitaciones sí influye en la actividad microbiana en los suelos estudiados por lo que resulta considerar este aspecto para realizar proyectos similares de agricultura.

En otro artículo llamado Respiración de CO₂ como indicador de la actividad microbiana en abonos orgánicos de *Lupinus* se estableció como propuesta la incubación en laboratorio de abonos orgánicos constituidos de *lupinus*, así como transformados de compost y vermicompost de la misma planta durante 30 días en la cual se controló la humedad y temperatura para medir la actividad microbiana mediante la mineralización de estos abonos y su el desprendimiento de CO₂.

Como metodología de este estudio se decidió combinar los 3 tipos de abono(*lupinus* en etapa de floración, el compost y vermicompost) con un suelo franco arenoso que contiene(59% de arena, 25% limo y 16% de arcilla) para comparar si este material fresco al tener menos concentración de *lupinus* aumentaba la producción de CO₂. A esta mezcla se le aplicó mediciones de Ph, conductividad eléctrica, el contenido de materia orgánica del suelo, el C orgánico, N las cuales fueron analizadas bajo un modelo lineal aleatorio. Luego de este proceso, estas muestras fueron incubadas 30 días en frascos de plástico a las cuales se le suministraba progresivamente humedad al 70% de su capacidad.

Más tarde para poder medir el desprendimiento de CO₂ se realizó el método de incubación en medio cerrado al utilizar NaOH y HCL para controlar la presencia del CO₂ en los frascos. De manera que al

reaccionar estos compuestos, la cantidad de CO_2 absorbido termina siendo igual a la cantidad de NaOH consumido mediante la respiración aeróbica. Finalmente se precipita el carbonato con BaCl_2 y se dispone el remanente de NaOH con HCl . De manera que a diferencia de la cantidad de NaOH actual con la inicial se obtiene la cantidad de gas CO_2 producido mediante la respiración.

Los resultados de estos ensayos determinaron que el lupinus presentó un mayor desprendimiento de CO_2 mientras que el compost y el vermicompost presentaron menor acción de la biomasa microbiana lo cual en su aplicación evita riesgos en el sistema suelo-planta asociados a la oxidación del material del suelo e incrementa la fertilidad del suelo.

El desprendimiento de CO_2 , puede considerarse como uno de los parámetros sensibles a los cambios que ocurren en la transformación de la materia orgánica. Este artículo sirvió para considerar el abono a utilizar en proyectos determinados a trabajar con el suelo

Y el control de la respiración CO_2 .

Gestión del proyecto

2.1 Objetivo

Como objetivo principal tenemos el de “Sistema de monitoreo y control de la temperatura y humedad del compost del crotón en macetas para mitigar la emisión de CO₂ utilizando control PI e IOT”

2.2.1 Objetivo general

- Diseñar un sistema de monitoreo y control de humedad del compost orgánico para mitigar la emisión de CO₂, utilizando SoC ESP32 e IOT

2.2.2 Objetivos específicos

- Seleccionar y adquirir los sensores que cumplan los requerimientos del proyecto.
- Diseñar e implementar un sistema capaz de conectarse a los sensores mediante protocolos IoT como MQTT y de comunicarse al servidor web y realice un control PI de la bomba para controlar la humedad.
- Realizar las pruebas de campo que permitan verificar la funcionalidad del sistema.
- Desarrollar un entorno web a fin de que permita mostrar los resultados obtenidos

2.2 Ámbito de investigación.

Las pruebas de laboratorio del proyecto se realizará en las instalaciones.....(incluir la ubicación geográfica usando google map).

2.3 Sistema de variables

En la Tabla 3.1 se muestra el sistema de variables dependientes e independientes que influyen en el objeto de estudio de nuestro proyecto. Asimismo, se presenta una fórmula de como la presión, temperatura ambiente y la concentración de gas están relacionadas físicamente.

Tabla 3.1. Listado de las variables independientes y dependientes.

Variables independientes	Variables dependientes
Temperatura ambiente	Concentración del Co2
Humedad ambiental	Apertura de la válvula solenoide
Temperatura del suelo	
Humedad del suelo	
Calidad de tierra-compost	

$$\rho(t, p) = \rho(25^{\circ}C, 1013hPa) \times \frac{p}{1013} \times \frac{298}{(273+t)}$$

Donde

ρ = concentración del volumen de gas [ppm o %]

p = presión ambiente [hPa]

t = temperatura ambiente [°C]

(Temperatura, Humedad, Compost) : CO2

2.3 Cronograma de actividades

Semanas		Semana 8	Semana 9	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16
Actividades del Proyecto*										
Investigación	Investigación de la tecnología IOT y marco teórico									
	Elección y obtención de los materiales y sensores a utilizar									
Diseño	Diseño de la arquitectura del proyecto									
	Diseño del circuito impreso									
	Diseño de la plataforma web									
Implementación	Implementación del sistema IoT									
	Configuración de la red MQTT									
	Integración de la red MQTT									
	Conexión de circuitos y electroválvula									
Validación	Pruebas del sistema integrado y tomas de datos									
	Regresión múltiple del sensor de Co2									
	Presentación del proyecto final									

2.4 Presupuesto de los recursos

Lista de precios		
NOMBRE DEL PRODUCTO	PRECIO UNITARIO	
ESP32	S/	40.00
Cable microUSB	S/	20.00
Resistencias	S/	70.00
Higrómetro Capacitivo	S/	20.00
Sensor DHT22	S/	25.00
Protoboard	S/	15.00
Sensor de CO2 MQ135	S/	24.00

NOMBRE DEL PRODUCTO	PRECIO UNITARIO	
Sensor DS18B20	S/	25.00
Sensor Grove Moisture	S/	21.00
Maceta	S/	18.00
Compost	S/	8.00
Planta Croton	S/	15.00
Raspberry pi4	S/	400.00
Valvula solenoide 12V	S/	30.00
Otros	S/	30.00

2.5 Aplicación de principios éticos

Nosotros, como alumnos de la carrera de ingeniería electrónica decimos que nuestro software es único, asimismo nos comprometemos a cumplir con los siguientes Principios Éticos, como expresión de los valores superiores que deben regir siempre nuestra conducta, conscientes de la responsabilidad personal, social y profesional que implica el ejercicio de la Ingeniería en la sociedad, en el mejoramiento de las condiciones de vida de las personas y en el desarrollo

sostenible:

- Veracidad. Actuar de conformidad con la verdad, con honestidad y transparencia en la ejecución de nuestros trabajos, en la expresión pública de nuestros conceptos, y siendo agentes dignos de confianza para usuarios, clientes, colegas, compañeros, empleados y/o empleadores.
- Integridad. Enarbolar y fortalecer el honor y la dignidad de la Ingeniería, ejerciéndola con integridad profesional, promoviendo las buenas prácticas y el respeto a los demás.
- Responsabilidad. Ejercer nuestra actividad atendiendo a las consecuencias de nuestras acciones, dando prioridad a la protección de la vida, la seguridad, la salubridad, el medio ambiente y el cuidado del bien público y fomentando el desarrollo personal y la actualización de los conocimientos, tanto propios como de colegas y terceros.
- Precisión. Desarrollar nuestras actividades con precisión y rigurosidad, exclusivamente dentro de los umbrales de nuestra competencia, soportando nuestro desarrollo profesional en el mérito y calidad de nuestros servicios.

2.6 Alcance del proyecto

Para considerar el alcance, nuestro proyecto está dirigido específicamente a la manipulación de la planta del crotón, esto debido a que las disposiciones y condiciones de operación del sistema están sujetas a las características del crotón, la cual fue escogida debido a que esta se desarrolla en condiciones de temperatura promedio del ambiente y humedad elevada. Asimismo, otro alcance o condición es el empleo del compost orgánico, este debido a que nos ayudará a estabilizar la concentración de CO_2 en el suelo.

2.7 Limitaciones del proyecto

Entre las limitaciones del proyecto propuesto tenemos que:

- Los sensores que se utilizarán en el proyecto tienen un corto tiempo de vida y poca resistencia a la exposición ambiental. Como mejora se podrían implementar sensores industriales que estén diseñados para soportar mejor estas condiciones y que requieran un menor mantenimiento.
- Para las pruebas toma de datos se hará de una única maceta aislada en un recinto para medir con mayor exactitud las emisiones de gas CO_2 que en ella se producen. Sin embargo, el proyecto puede escalar a un invernadero con mayor cantidad de macetas y sensores respectivos.
- El proyecto solo toma como objeto de estudio a la planta Croton que requiere de condiciones de humedad, temperatura, frecuencia de riego y exposición solar. Por ello para otra especie de planta genera cambios en las variables dependientes e invalida el proyecto.
- El servicio de hosting gratuito que se utilizará en el proyecto permite una cantidad de visitas diarias, ancho de banda y espacio limitados. Por ello la cantidad de visualizaciones de los datos, cantidad de datos almacenados en la tabla y tráfico de red limitan la cantidad de información que se puede manejar.

Capítulo III

Diseño e implementación

3.1 Diagrama de bloques de la propuesta (sistema)

Se diseñó un sistema que sea escalable de manera que uno o varios propietarios de planta en una misma parcela puedan conectarse a través del broker mqtt y puedan publicar y visualizar las medidas de

los sensores de sus propias plantas de manera que puedan comprobar los niveles del co2.

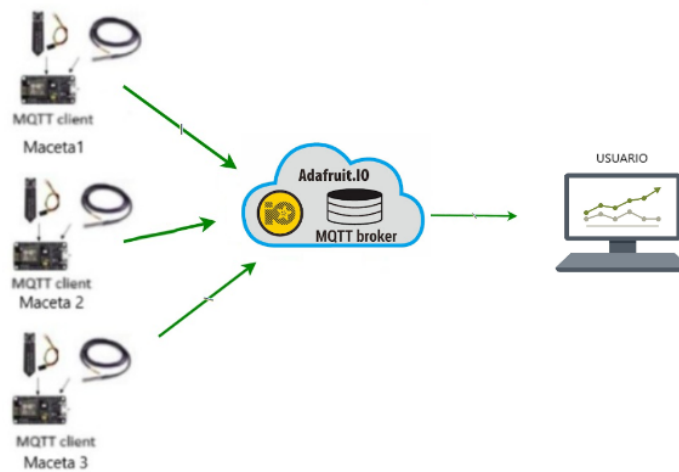


Figura .Diagrama de bloques del proyecto. Elaboración propia.

3.2 Descripción del funcionamiento.

Se diseñó un diagrama pictórico en base a nuestro espacio con entradas de sensores , como se puede ver el mq135, el sensor de temperatura y de humedad. Mientras que la bomba está controlada por un transistor que regula la velocidad del motor y está alimentada de 12 V.

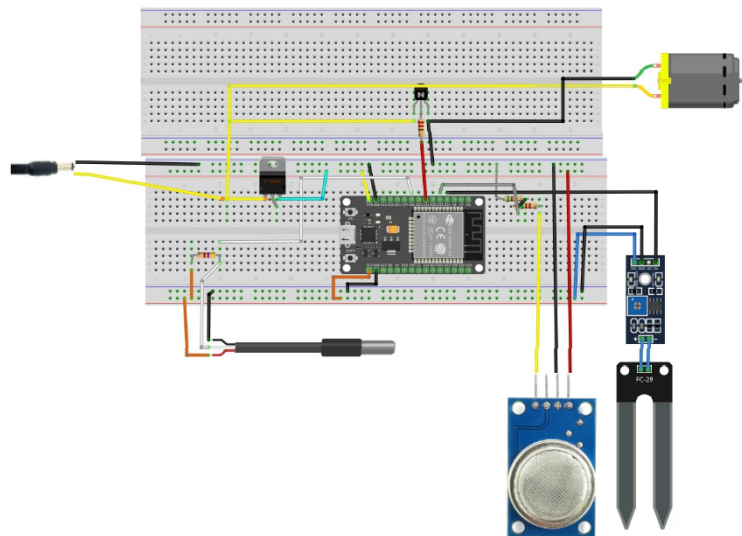


Figura .Diagrama pictórico del proyecto. Elaboración propia.

Para realizar el diseño de la placa del circuito impreso.

utilizamos el software Kicad, como se puede observar cada componente presenta su respectiva alimentación de voltaje, los pines asignados para el sensor de humedad, de Co2 y del sensor de temperatura ds1820.

Asimismo, se conecta el transistor con el que se controla la que nos permite controlar la velocidad de la bomba mediante modulación por ancho de pulso.

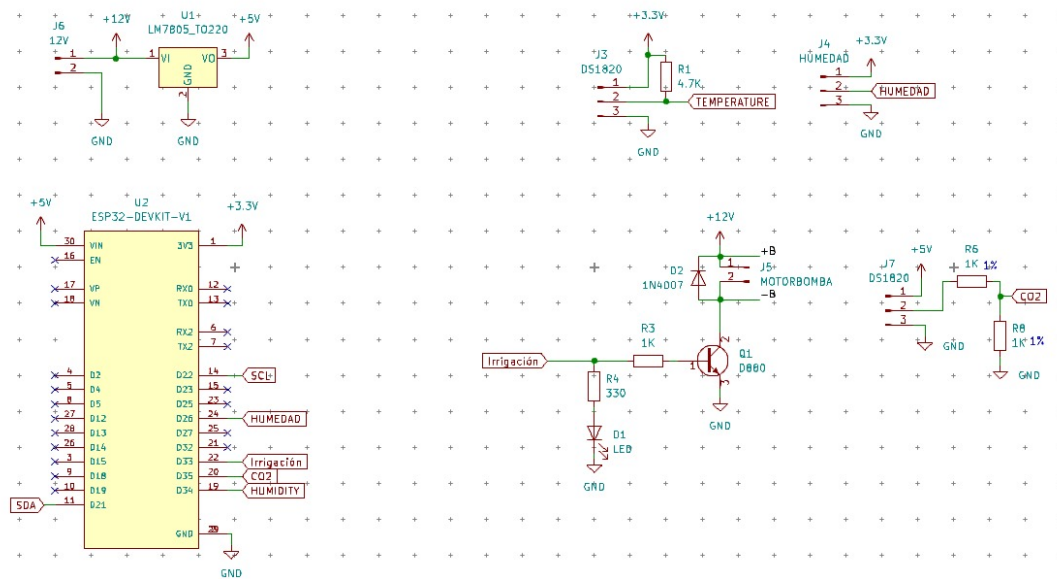


Figura .Diagrama pictórico del proyecto. Elaboración propia.

Debido a que nuestro sistema es un sistema discreto se requiere discretizar la ecuación continua del controlador PI. Esta operación se realizó con la transformada z obteniendo la ecuación de diferencias que se aplica en el algoritmo del programa. Asimismo, la función de transferencia de nuestra planta se aproximó a una de primer orden.

La ecuación del controlador PI es:

$$u(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \right)$$

Aplicando transformada inversa Z
obtenemos la ecuación en diferencias:

$$u(k) = u(k-1) + q_0 e(k) + q_1 e(k-1)$$

Planta de primer
orden

$$G(s) = \frac{K e^{-Ls}}{\tau s + 1}$$

Como se observa el controlador depende de valores de error en tiempos anteriores , y de la señal de control obtenida en el instante anterior que se realizó la acción de control. Por ello en el codigo se almacenan estos valores anteriores que se usan en la función de rutina de control.

Asimismo, cuando obtenemos señales mayores al 100% o menores a 1 la truncamos para mantenerlas en el rango.

```

float Hum,PBomba=0.0,H1;
float w=0;
float e[3]={0.0,0.0};
float u[2]={0.0,0.0};
int kU = sizeof(u)/sizeof(float)-1;
int kE = sizeof(e)/sizeof(float)-1;
float kp,ti,td,q0,q1,q2;

float K=1.1003,tau=120.45,theta=12.78;
int Ts = 8;
float L = theta + Ts/2;
int hum=0;

void Rutina_PI(){
  actualiza_vector(u,kU);
  actualiza_vector(e,kE);
  e[kE] = w - T1;

  u[kU] = PI_funcion(u, e, q0, q1);
  H1 = u[kU];
  ledcWrite(actBomba,map(H1 , 0,100, 0,255));
}

float PI_funcion(float u[], float e[3], float q0, float q1)
{
  float lu;
  lu = u[0] + q0*e[2] + q1*e[1];
  if (lu >= 100.0)
    lu = 100.0;
  if (lu <= 0.0)
    lu = 0.0;
  return(lu);
}

```

Figura 4. Funciones para el control PI. Elaboración propia.

3.3 Descripción del hardware y software

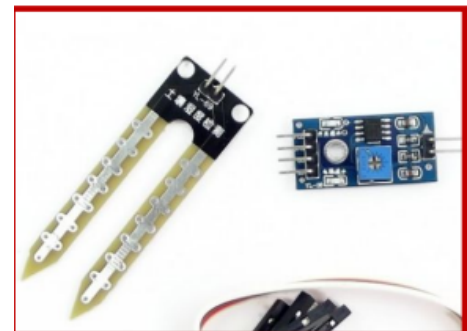
- Las pruebas y resultados se llevaron a cabo en condiciones climáticas normales $T=23^{\circ}\text{C}$ y una humedad de 70% la cual favorece el ciclo de vida del croton.
- El circuito con el ESP32 debe estar sujeto en una placa PCB al lateral de la maceta de croton .
- Se realizó en un Ordenador(PC) con soporte de aplicaciones Arduino, MQTT.
- La transmisión de datos se lleva a cabo por la Red de área local

3.4 Especificaciones técnicas del proyecto.

Asimismo se utilizaron los siguientes sensores:

Higrómetro FC28

- Voltaje de alimentación: 3.3V - 5V DC (VCC)
- Corriente de operación: 35mA
- Voltaje de señal de salida analógico (AO) : 0 a VCC
- Voltaje de señal de salida digital (DO) : 3.3V/5V TTL



FC-28

FUENTE 12V

- Voltaje de entrada : 100V - 240V AC
- Voltaje de Salida: 12 VDC
- Corriente máxima de Salida: 2 A
- Dimensiones del conector: DC Plug 5.5mm x 2.1mm

MQ-135

- Voltaje de operación: 5V DC.
- Corriente de operación: 150mA.
- Potencia de consumo: 800mW.



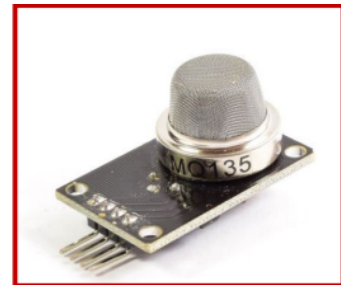
Fuente de 12v

DS-1820

- Rango de temperatura: -55 a 125°C
- Resolución: de 9 a 12 bits (configurable)
- Interfaz 1-Wire (Puede funcionar con un solo pin)
- Identificador interno único de 64 bits
- Múltiples sensores pueden compartir el mismo pin
- Precisión: $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (de -10°C a $+85^{\circ}\text{C}$)
- Tiempo de captura inferior a 750ms
- Alimentación: 3.0V a 5.5V



DS1820



MQ-135

3.5 Pruebas y resultados

- Se detecta la humedad y de acuerdo al set point establecido la bomba comienza el proceso de bombear el agua hacia el compost de la planta hasta alcanzar el valor de humedad deseado.
- Las pruebas se realizaron en la residencia del autor.
- Resultados obtenidos

