

# EQUIPO ELECTRÓNICO DE COMPOSTAJE PARA MATERIAL ORGÁNICO QUE PERMITE AUTOMATIZAR MEDIANTE EL CONTROL Y MONITOREO DE LAS VARIABLES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE COMPOST DE USO RESIDENCIAL CON INTERFAZ GRÁFICA.

Alejandra Jorge  
e-mail: jorge.alejandra.alumno@utesa.edu

**RESUMEN:** - : Debe ser un equipo electrónico de una compostera automatizada orientado a los temas de sistemas de controles automáticos debido al uso de sensores cuyas medidas serán utilizadas para dirigir el movimiento del material orgánico (motor de movimiento del material orgánico), la dosificación del agua para aumentar la humedad (bomba de agua) y el control de la temperatura (abanico aireador), comunicaciones en el uso de wifi y la implementación del protocolo mqtt; y sistemas computacionales para la creación del software que utilizará microprocesador para realizar las tareas de procesamiento.

Debe poder automatizar el proceso de compost. Es decir, controla las variables de temperatura y humedad; y también, mide las variables de pH, temperatura, humedad y cantidad de CO2 producido.

Habrán cuatro sensores dentro del contenedor donde estará el material, los cuales censan pH, CO2, temperatura y humedad. De igual forma, habrá tres actuadores, uno de ellos será un dosificador de agua, un motor que mueve la mezcla y el otro será un ventilador que proporcionará aireación negativa.

El servicio que brinda la propuesta es contribuir con el cuidado al medio ambiente facilitando herramientas que ayuden al usuario a procesar sus desperdicios de una manera más conveniente.

Su finalidad es que sea más fácil y más rápido (debido a que es más efectivo el proceso) hacer compost en una residencia y que el proceso sea controlado y monitoreado para que el compost sea de mejor calidad.

**PALABRAS CLAVE:** compost, equipo, electrónico, mqtt.

## 1 INTRODUCCIÓN

El compostaje es un proceso de transición de la materia orgánica para obtener abono natural. Ya que es un proceso biooxidativo en el que intervienen numerosos y variados microorganismos, esto requiere una humedad adecuada y

sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido.

Estos se pueden dividir en dos tipos de equipos de compostaje: Los equipos abiertos (en pilas de aire) y los equipos cerrados (en fermentadores). El objetivo de usar equipos cerrados pretende obtener un compost que sea útil como fertilizante, por lo cual el proceso no puede ser espontáneo sino que los parámetros involucrados son controlados para garantizar que el costo sea bajo y que dure lo menos posible (< 2 semanas). Esto se logra creando un ambiente idóneo para los microorganismos.

El equipo automatiza el proceso de compostaje y nos permite producir compost de residuos orgánicos de uso residencial.

## 2 DESCRIPCIÓN DE DISEÑO

La idea se basa en el uso de sensores mediante los cuales es capaz de obtener información acerca del nivel de pH, CO2, humedad y temperatura del compost. Por otra parte, el equipo controla los valores de humedad y temperatura de manera que estos se encuentren en los niveles correctos dependiendo de la fase en la que se encuentre el compost. Mediante el protocolo mqtt se pueden visualizar las mediciones de las variables antes mencionadas, saber en qué fase se encuentra y saber en cuánto tiempo estimado estará listo.

## 3 PLANTEAMIENTO DEL DISEÑO

Los valores medidos serán leídos por el microprocesador que, dependiendo del valor medido activará un actuador en las siguientes situaciones:

- Enciende el ventilador por 1 hora cada hora si la temperatura se encuentra por encima de los 55 grados.
- Enciende el dosificador de agua por unos segundos si el nivel de humedad se encuentra fuera del rango de 50% y 60%.
- Enciende el motor de movimiento del material orgánico, después de echar agua o de ventilar la mezcla.

El microprocesador envía con un módulo wifi los valores medidos de pH, humedad, temperatura y CO2 constantemente utilizando el protocolo mqtt a un dispositivo donde se visualizan las medidas. Además, dependiendo de las medidas que hace también le dirá al usuario:

- En qué etapa se encuentra el compost (mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración).
- En cuánto tiempo estimado estará listo.
- Los valores de las medidas de temperatura, PH, CO2 y humedad actuales.
- Envía una notificación al usuario si el PH se encuentra por fuera del rango de 5 y 8.
- Envía una notificación al usuario si el CO2 se encuentra por fuera del rango de 763 ppm y 729 ppm.

<sup>1</sup>Documento recibido el 22 de Diciembre de 2022.

### 3.1 Especificaciones

#### Características del diseño

- Automatización y monitoreo del proceso de compostaje.
- Producción de compost de residuos orgánicos de uso residencial.
- Informe en tiempo real de los valores de temperatura, CO<sub>2</sub>, pH y humedad.
- Informe de la etapa de compostaje.
- Tecnología de IoT que incorpora protocolo MQTT.
- Software que permite procesar los datos obtenidos de las mediciones y fases y transmitirlos a un bróker mediante el protocolo mqtt.

#### Especificaciones operativas

- Medir el nivel de pH interno en el material orgánico con un rango de 0 a 11.
- Medir el nivel de CO<sub>2</sub> interno en el material orgánico con un rango de 600 a 800 ppm.
- Medir nivel de humedad interna en el material orgánico con un rango de entre 40% a 60%.
- Medir temperatura interna en el material orgánico con un rango de 25 a 80 grados.
- Enviar las mediciones al bróker en conjunto con la fase actual de acuerdo con las mediciones tomadas.
- Transmitir valores de las variables en los informes y notificaciones mediante mqtt hacia un broker en la nube de internet.
- Controlar la humedad relativa por medio de la dosificación de agua por aspersores cuando el nivel decaiga del 50%.
- Controlar la aireación forzada mediante el funcionamiento de un ventilador 1 hora por cada hora cuando el nivel de temperatura sobrepasa los 55 grados.
- Activar el funcionamiento de la bomba de agua cuando el nivel de humedad decaiga del 50%.
- Activar el funcionamiento de un ventilador aireador 1 hora cada hora cuando la temperatura ascienda de los 55 grados centígrados.
- Activar el funcionamiento del motor que mueve el material luego de accionar la bomba o accionar el ventilador de aireación.

#### Características funcionales

- Controlar el proceso de compostaje
- Controlar la independencia del proceso
- Monitorear y controlar las variables de humedad y temperatura.
- Conocimiento de la medición de las variables de pH, CO<sub>2</sub>, humedad y temperatura.
- Conocimiento de la etapa en la que se encuentra el compost.
- Medición de pH, humedad, temperatura y CO<sub>2</sub> visible en tiempo real en los dispositivos conectados mediante el protocolo mqtt.
- Recopilar las mediciones, interpretar mediante el software en qué etapa se encuentra el compost y enviar los resultados al dispositivo conectado mediante el protocolo mqtt.
- Activar el funcionamiento de la bomba de agua cuando el nivel de humedad decaiga del 50%.

-Activar el funcionamiento de un ventilador aireador 1 hora cada hora cuando la temperatura ascienda de los 55 grados centígrados.

-Activar el funcionamiento del motor que mueve el material luego de accionar la bomba o accionar el ventilador de aireación.

#### Características de usuarios

- Indicadores en el dispositivo conectado una vez el usuario indique iniciar la medición: las mediciones actuales, en qué fase se encuentra, en cuánto tiempo estimado estará completado el proceso y enviar notificaciones en caso de que el CO<sub>2</sub> o PH no sea adecuado.
- Indicador a través de una luminaria si el equipo está conectado correctamente al router.

#### Especificaciones técnicas (eléctricas y mecánicas)

- Ventilador de 2 pines para la aireación del material.
- Bomba de agua sin escobillas para la dosificación del agua.
- Contenedor de capacidad de 0.34 Kilogramos y 33 x 17 x 17 centímetros que contendrá el material.
- Motor síncrono de imán permanente reductor inverso el cual mezclará el material orgánico.
- Drivers para las salidas con relés de inducción.
- Conectores de entrada para los sensores dentro del contenedor.
- Conectores de salida para la comunicación con la tarjeta para los actuadores (bomba, motor y ventilador).

### 3.2 Diagrama de bloques

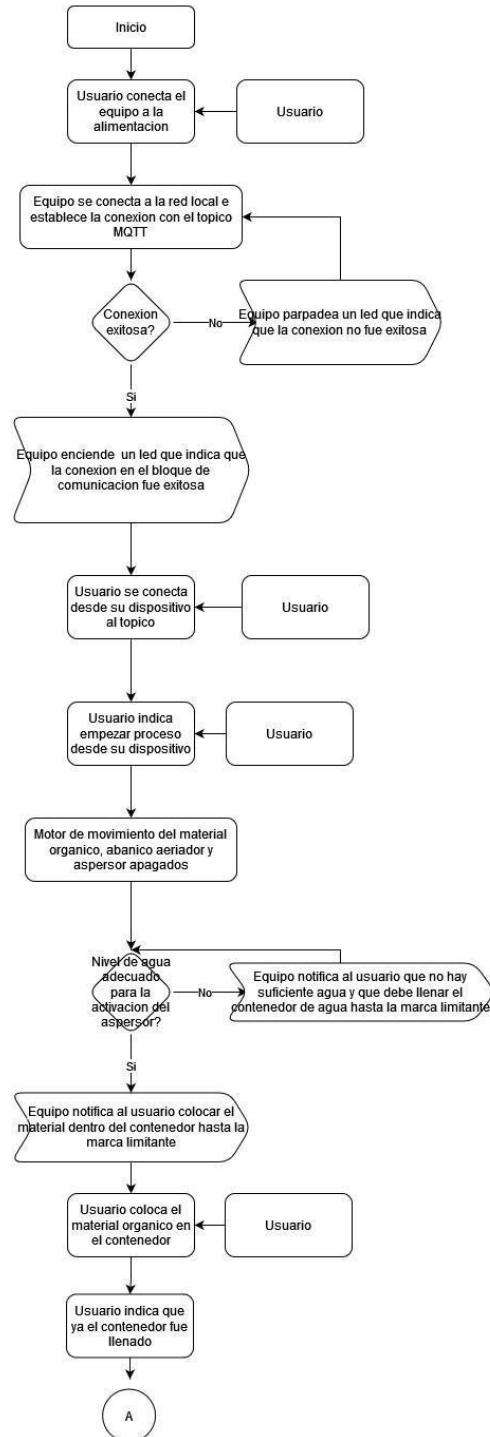
1. Alimentación para el equipo: El equipo tendrá un conector de entrada para un cable de corriente DC, el cual al conectarse al equipo proveerá alimentación para las distintas etapas del mismo. Se decidió que fuera de esta forma, ya que los actuadores, sensores y demás etapas necesitan valores de voltaje menores a los 12V y todos trabajan con DC, será posible proveer alimentación ya que esta fuente se prevé tendrá suficiente corriente para alimentar el circuito.
2. Convertidor DC/DC, para la energía utilizada por el equipo (microcontrolador): Aquí se realizará la conversión de la tensión DC, recibida de la fuente, el objetivo es disminuir el nivel de voltaje para que este pueda alimentar de manera segura y estable la etapa de procesamiento de datos. De este sacaremos las alimentaciones que estarán destinadas para la alimentación del microcontrolador en el interior del equipo.
3. Convertidor DC/DC, para la energía utilizada por el equipo (etapa de control de la potencia): Aquí se realizará la conversión de la tensión DC, recibida de la fuente, el objetivo es disminuir el nivel de voltaje para que este pueda alimentar de manera segura y estable la etapa de control de potencia, debe ser otro convertidor ya que los niveles de voltaje requeridos para esta etapa son diferentes a los de la etapa de alimentación para la unidad de microcontrol. De este

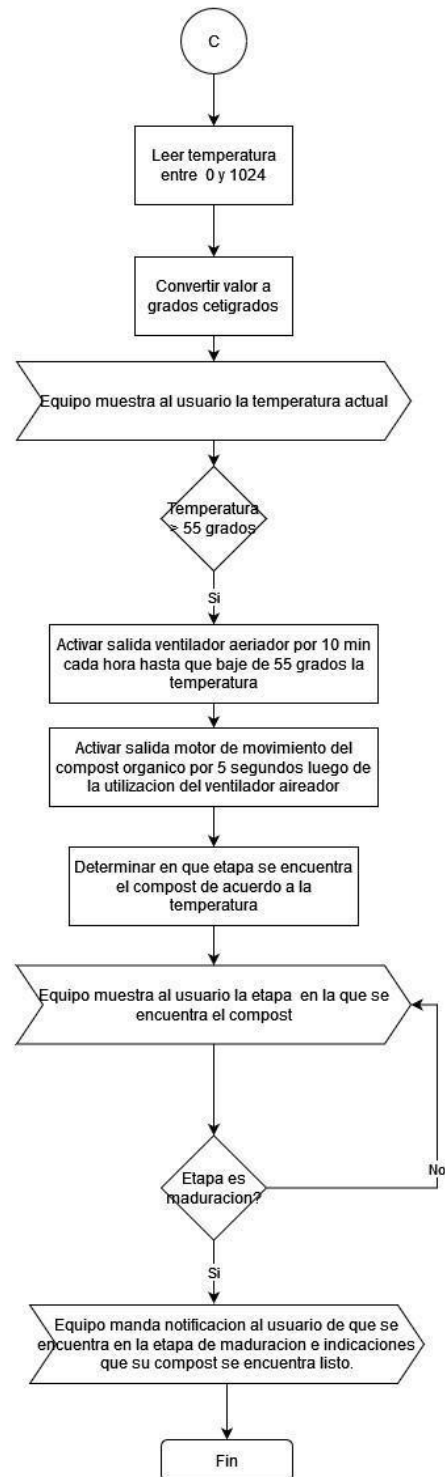
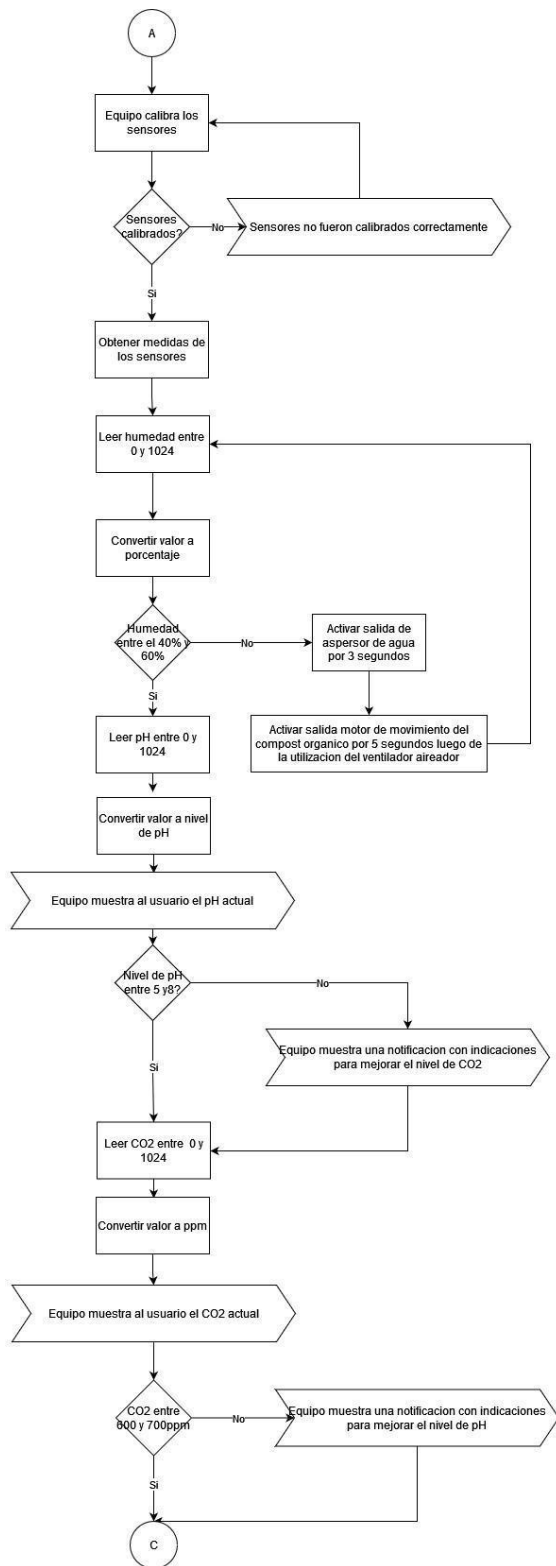
sacaremos las alimentaciones que estarán destinadas para la alimentación de la etapa de control de la potencia de los actuadores, como también para alimentar los sensores que se utilizaran.

4. Unidad de control y procesamiento de datos: En este bloque, es donde se ejecutarán las tareas y controles de los actuadores, para accionarlos en el momento correcto dependiendo de las mediciones de los sensores. Este recibirá las mediciones de pH, CO<sub>2</sub>, humedad y temperatura, que llegarán a través de sus respectivos bloques de sensores, por eso tiene conexión con los conectores de entrada. Realizará el cálculo de los valores finales de pH, CO<sub>2</sub>, temperatura, humedad que serán mostradas al usuario, ya que estos vienen en valores brutos de voltaje que necesitan ser interpretados. También recibirá la interacción con el usuario cuando éste indique que se empezará el proceso, y realizará tareas de enviar notificaciones, enviará en tiempo real las mediciones de los sensores y la etapa en que se encuentra el compost que serán posteriormente visualizados por el usuario. Además, tendrá a su carga la realización de la comunicación a través de wifi con el tópico de MQTT
5. Sensores de pH, CO<sub>2</sub>, humedad y temperatura: Aquí se realizarán las tareas de las mediciones de pH, CO<sub>2</sub>, humedad y temperatura que estarán presentando en el interior del contenedor de compost en tiempo real, estas irán al microcontrolador quién las leerá e interpretará.
6. Comunicación al tópico MQTT a través de wifi: Este bloque tendrá la tarea de la comunicación vía wifi, con la que el equipo se comunicará con un bróker MQTT en el que se establecerá un canal o tópico. Por aquí se realizará el envío de los datos que el microcontrolador envíe, mediante este estableceremos la comunicación wifi y publicaremos la información de las mediciones de los sensores, status del compost y notificaciones, también recibiremos del cliente la indicación de que se empezará el proceso de compost. Un dispositivo se suscribirá al tópico y a través de él, el usuario podrá indicar que desea empezar el proceso, el usuario recibirá notificaciones sobre el proceso, los datos de las mediciones en tiempo real y también el estado en que se encuentra su compost en tiempo real.
7. Indicador led para visualizar si la conexión fue correcta con el router: En este bloque se contiene un led para la visualización de la correcta conexión a internet, de esta forma es posible visualizar si el equipo está conectado a internet a simple vista.
8. Conectores entrada, de los sensores: En este bloque están los conectores donde se conectarán las extensiones de los sensores que estarán dentro del contenedor. Estos conectores a su vez tendrán conexión, con los circuitos de mediciones de las variables de pH, CO<sub>2</sub>, humedad y temperatura.

9. Conectores salida, de los actuadores: En este bloque están los conectores donde se conectarán las extensiones de los actuadores que están dentro del contenedor. Estos conectores a su vez tendrán conexión, con las salidas de los relays.

### 3.3 Diagrama de flujo del diseño





En el inicio del equipo cuando se conecte el equipo a la corriente eléctrica, este encenderá y el equipo se conectará a lo que es la red local y establecerá conexión con el tópico de mqtt, si la conexión es exitosa, el led indicador se quedara encendido sino el led parpadeara y el técnico instalador deberá revisar la conexión. De ser exitosa la conexión, en el tópico mqtt publicará una bienvenida y se habilitará un botón con el que el usuario indicará si desea empezar el proceso.

El usuario se suscribe al tópico a través del dispositivo y podrá allí ver las informaciones del sistema. Si el usuario da clic al botón para empezar el proceso, el equipo comunicará vía el tópico llenar el contenedor hasta una marca que tendrá que definirá el límite de llenado, cuando el usuario presione ok.

Se inicializan los actuadores como apagados. El sistema verificará si el nivel de agua para el aspersor es adecuado para su funcionamiento y mostrará una notificación si no está en el nivel correcto.

Cuando el usuario ratifica que ha llenado el contenedor el equipo luego verifica que los sensores están dando medidas que hagan sentido, si los sensores no están midiendo bien, se le avisará al usuario, posteriormente el equipo obtendrá las medidas de las variables de CO<sub>2</sub>, pH, temperatura y humedad, leerá la variable en una escala de 0 a 1024, convertir la variable a la medida correspondiente ya sea nivel de pH, grados, ppm, o porcentaje de humedad, mandarla a través de la comunicación ya establecida con el tópico y mostrarla al usuario a través de su dispositivo. Si se cumple la condición necesaria para activar un actuador este se encenderá por

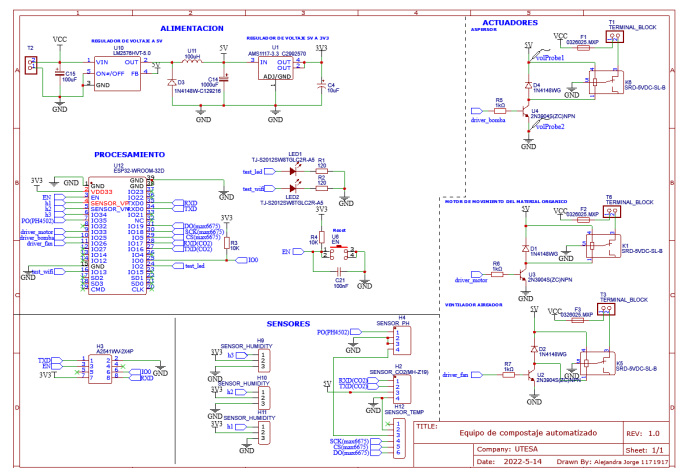
una cantidad de tiempo especifica o enviara una notificación correspondiente.

El equipo ratifica dependiendo de los valores medidos en qué etapa del compost se encuentra el material orgánico y a través de la comunicación ya establecida con el tópico mostrará al usuario a través de su dispositivo la información. Una vez el proceso llegue a la etapa de compost de maduración, el sistema mandará una notificación sobre esta etapa e

indicará que ya se encuentra listo el compost pero que la etapa de maduración puede durar de 3 a 9 meses si se desea, para obtener otros productos como el humus.

## 4 CIRCUITO ESQUEMATICO

### 4.1 Diagrama general del circuito



### 4.2 Lista de partes

ID	Valor	Etiqueta	Huella	Cantidad
1	10uF	C4	CAP-TH_BD 5.0-P2.00-D0 .8-FD	1
2	1000uF	C14	ELECTROLY TIC 5_11	1
3	100uF	C15	ELECTROLY	1

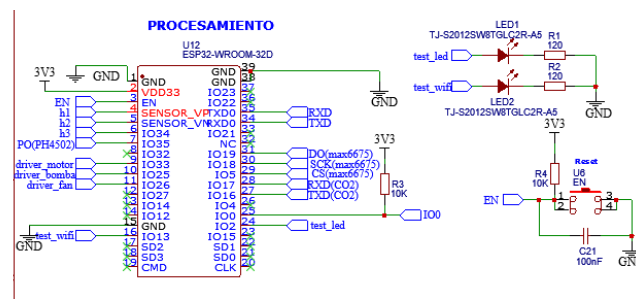


			TIC 5_11	
4	100nF	C21	CAP-TH_L5. 0-W4.0-P5.0 0-D1.0	1
5	1N4148 WG	D1,D2,D 4	SOD-123_L2. 7-W1.6-LS3. 7-RD-1	3
6	1N4148 W-C129 216	D3	SOD-123FL_ L2.6-W1.6-L S3.4-R-FD	1
7	FUSIBL ES 1A 250V, 3A 250V y 6A 250V.	F1,F2,F3	FUSE-SMD_ LITTELFUSE -0326025	3
8	male header 4 pin	H2	HDR-TH_4P- P2.54-V-M	1
9	male header 8 pin	H3	HDR-TH_8P- P2.54-V-R2- C4-S2.54_A2 541WV-2X4P	1
10	SENSO R_PH	H4	HDR-TH_4P- P2.54-V-M	1
11	male header 3 pin	H9,H10, H11	HDR-TH_3P- P2.54-V-M-1	3
12	male header 5 pin	H12	HDR-TH_6P- P2.54-V-M-1	1
13	SRD-5V DC-SL- B	K1,K5,K6	RELAY-TH_S RD-5VDC-SL -B	3
14	TJ-S201 2SW8T GLC2R- A5	LED1,LE D2	LED0805-R- RD	2
15	120	R1,R2	R0805	2
16	10K	R3,R4	R0805	2
17	1kΩ	R5,R6,R 7	R0805	3
18	TERMIN	T1,T2,T3,	TERMINAL_	4

	AL_BLO CK	T6	BLOCK_2P_ 5	
19	AMS111 7-3.3_C 2992570	U1	SOT-223-3_L 6.4-W3.5-P2. 30-LS7.0-BR	1
20	2N3904 S(ZC)N PN	U2,U3,U 4	SOT-23-3_L2 .9-W1.3-P0.9 5-LS2.4-BR	3
21	EN	U6	KEY-TH_4P- L6.0-W6.0-P 4.50	1
22	LM2576 HVT-5.0	U10	TO-220-5L_L 10.2-W4.5-P 1.71-L	1
23	100uH	U11	IND-TH_BD4 .0-L10.5-P14. 50-D0.6	1
24	ESP32- WROO M-32D	U12	WIFIM-SMD_ 39P-L25.5-W 18.0-P1.27-B L	1

### 4.3 Descripción del Circuito

#### Unidad de procesamiento y control de datos:



El microcontrolador que hemos elegido para la realización de este proyecto es el esp32-wroom, de la familia de los AVR, que cuenta con 448 KB ROM, 520 KB SRAM, 16 KB de SRAM in RTC. Este se puede utilizar sin la necesidad de un cristal externo ya que tiene un reloj interno de 80MHz a 240MHz, se eligió este chip por sus 20 entradas/salidas programables utilizables y que este cuenta con 10 canales de ADC utilizables, en el encapsulado que serán utilizados para las mediciones de pH y humedad.

También contiene 3 puertos SPI utilizables los cuales utilizaremos para cumplir con la especificación de hacer las mediciones con el sensor de CO2 y también las

mediciones con el sensor de temperatura que estará realizando el prototipo.

Este viene en un encapsulado SMD de 39 pines, el cual elegimos para poder soldar a pcb y que ocupará un espacio reducido dentro del mismo.

Se utilizará para la gestión de las tareas, descritas en el diagrama de bloques antes presentado de nuestro prototipo como son: comunicación al tópico MQTT vía wifi para la visualización de los datos de medición, notificaciones y status del proceso de compost, interpretación y cálculo de los valores medidos para ser mostrados al usuario en las unidades indicadas en la sección 1, indicar con led para visualizar si la conexión a internet fue correcta, control de la potencia de los actuadores, lectura de la medición de los sensores de pH, humedad, CO2 y temperatura conectados a la tarjeta principal.

El Microcontrolador trabaja a voltaje nominal de 3.0V a 3.3V y 1.1mA de consumo en estado activo, el cual será alimentado por los 5 voltios que recibe del convertidor usb ttl que tendrá nuestro microcontrolador. Este recibe la alimentación por el convertidor DC/DC que es un conversor tipo buck step down a 3A que reducirá el voltaje a 3.3V, para el microcontrolador.

Este estará acompañado de un circuito compuesto por botón de reset del chip, acompañado del capacitor y de la resistencia que es parte de la configuración del circuito de reset del microcontrolador; el capacitor C4 de 10uF se usa para el acople de la alimentación de las entradas entre los pines VCC A VCC y GND.

Los pines que utilizaremos del microcontrolador están nombrados con nomenclatura basada en que se va a utilizar cada pin de entrada o salida estos son higrómetro 1, 2 y 3 los sensores de humedad y PO(PH4502) el sensor de pH son los pines que se utilizaran para la parte del adc, estos serán para la entrada de los sensores de pH. CO2, temperatura y humedad, por esto su nomenclatura será el nombre del pin de entrada en el sensor y entre paréntesis que clase de sensor es.

Los pines AO(MZ-H19) el sensor de CO2 y los pines CS(max6675) el sensor de temperatura, DO(max6675) el sensor de temperatura requieren de comunicación SPI, serán conectados a los puertos SPI del microcontrolador VSPI y HSPI respectivamente.

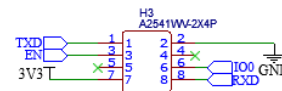
Para los circuitos que trabajan con las cargas inductivas a los que estarán conectados el aspersor, el motor que mueve el material orgánico y el ventilador utilizaremos los pines nombrados con los nombres de "driver" y el nombre de lo que está controlando, ya sea el aspersor, el motor que mueve el material orgánico o el ventilador; driver\_fan, driver\_motor y driver\_bomba respectivamente, éstos pertenecen a un grupo de los circuitos de cargas inductivas que tendrán los valores predeterminados para habilitar el funcionamiento de:

Un ventilador de 12V y 4000 RPM, 1.2W, por lo que necesitaremos una corriente de al menos 0.1A para su funcionamiento

Una bomba de agua sin escobillas de 12V 10W DC 600 LPH, por lo que necesitaremos una alimentación de al menos 0.83A para su funcionamiento, y el motor de movimiento de material orgánico será un motor síncrono de imán permanente, 60W, 60KTYZ, 60 KG de velocidad, 1 rpm-220 rpm y estará conectado a los 12Vdc que provee la alimentación de la fuente estándar de 12V 10A elegida.

Los pines test wifi, test led se utilizaran para los indicadores de led que tendrá el equipo para probar la conexión con el wifi y para notificar el funcionamiento del microcontrolador respectivamente

### Bloque de comunicación usb ttl:

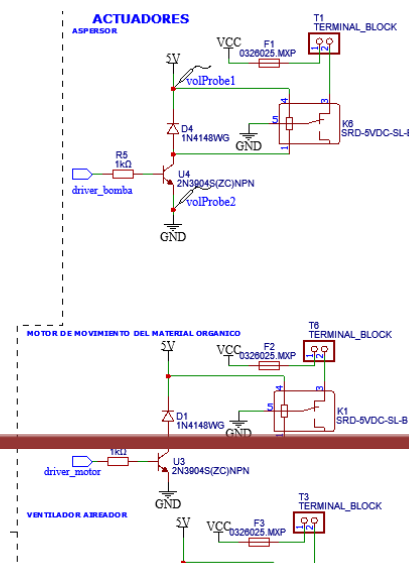


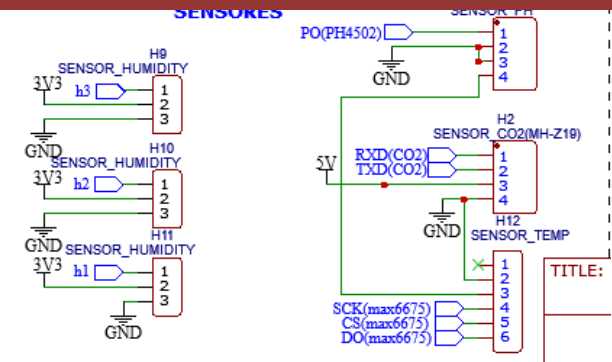
Para la comunicación de este equipo con lo que será la fuente de la codificación del microcontrolador que es un circuito que convierte las señales de un puerto usb a

señales compatibles con los niveles lógicos ttl, el módulo contiene un circuito que funciona con alimentación de 3.3Vdc. Se puede visualizar en la imagen.

Este circuito estará conectado a nuestro microcontrolador mediante los pines TX y RX los cuales proporcionarán la comunicación ispf, y para la conexión con la computadora los pines del módulo de programación que es un conector de 8 pines se encajaran en conectores tipo macho en nuestro pcb para realizar la programación del microcontrolador.

### Circuitos de cargas para controlar la potencia de los actuadores del equipo:





En este bloque están las cargas a controlar y dependiendo de la acción que el microcontrolador disponga se activarán uno de los drivers.

Cada circuito corresponde a una carga específica, que cuando el microcontrolador la seleccione, este accionará los pines (driver\_motor, driver\_bomba, driver\_fan), aquí están las cargas inductivas para las potencias, y se accionarán los actuadores para que entren y completen el circuito de su actuador respectivo.

Para la ejecución de esta parte del circuito elegimos los siguientes componentes elegimos un optoacoplador, que nos aísla el circuito del microcontrolador con la parte de potencia de este circuito este posee 6 pines para su conexión un voltaje de funcionamiento de colector a emisor de V y una If de amp, los pines que activan estos dispositivos son los pines con la nomenclatura de driver que indican según el curso del proceso de compost que carga debe ser accionada desde el microcontrolador. Este estará conectado a su salida, con la resistencia de base, que es quien dejará pasar el voltaje hacia la base del transistor bjt, para activar los actuadores.

El bjt que estaremos utilizando para la parte de switcheo de las cargas inductivas para que estas entren en funcionamiento es el bjt 2N2222a, el cual nos proporcionará las características eléctricas  $V_{ce}$  de 75V, un  $I_c$  de 0.6A. De igual forma, también tiene un  $h_{fe}$  de 75 con un  $I_c=10$  mA  $V_{ce}=10$ V, un  $V_{ce}$  de saturación de 0.3V y  $V_{be}$  de saturación de 1.2V, elegimos este dispositivo, porque con sus especificaciones técnicas, cumple con las características de consumo que debe dejar pasar, cuando entren en funcionamiento las cargas inductivas, ya que estas no van a necesitar más de 1 amp, según lo calculado.

Para más información sobre este dispositivo consultar: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/cd00003223.pdf>

#### Módulos de sensores para las mediciones de pH, CO2, humedad y temperatura

Las mediciones de pH se estarán realizando mediante el sensor "Sensor de PH Líquido con electrodo E201-BNC" el cual presenta unas características eléctricas de medición de medir hasta 60 C, si se utiliza con una fuente de 5Vdc tiene una sensibilidad que va desde los 0, hasta 14 pH. Las salidas están conectadas al microcontrolador por los pines en la parte del ADC, en los pines el sensor estará conectado a un voltaje de 5Vdc para la alimentación de este. Fue elegido ya que en nuestra especificación se expresó que la medición máxima necesaria era un nivel de pH de 11 y el mínimo sería 0.

El sensor de gas infrarrojo MH-Z19 NDIR es sensor que utiliza principio infrarrojo (NDIR) para medir dióxido de carbono en el ambiente, el cual presenta unas características eléctricas de medición de hasta, si se utiliza con una fuente de 5Vdc tiene una sensibilidad que a desde la 0 ppm, hasta 2000 ppm. Las salidas están conectadas al microcontrolador por los pines TX y RX, en los pines el sensor estará conectado a un voltaje de 5Vdc para la alimentación de este. Fue elegido porque nuestra especificación expresa que la medición máxima de CO2 necesaria para el prototipo es de alrededor de los 900 ppm como máximo y como mínimo de unos 300 ppm.

El Transmisor MAX6675 para Termocupla K es un sensor de temperatura el cual presenta unas características eléctricas de medición de hasta 150 C, si se utiliza con una fuente de 5Vdc tiene una sensibilidad que va desde los -65C hasta +150 C. Las salidas de este estarán conectadas al microcontrolador por los pines de comunicación serial del microcontrolador TX y RX, en los pines el sensor estará conectado a un voltaje de 5Vdc para la alimentación de este. Fue elegido porque este es resistente al agua, y también porque la temperatura máxima que se delimitó fue de 70 grados y la mínima de 20 grados. Este se comunicara con el microcontrolador a través de comunicación serial mediante el protocolo SPI.

Los sensores capacitivos de humedad del suelo presentan unas características eléctricas de medición de hasta 0,25 pF / % RH, si se utiliza con una fuente de 3.3Vdc tiene una sensibilidad que va desde 15% a 90% RH. Las salidas están conectadas al microcontrolador por los pines en la parte del ADC, en los pines el sensor estará conectado a un voltaje de 3.3Vdc obtenidos del regulador para la alimentación de este. Se eligieron

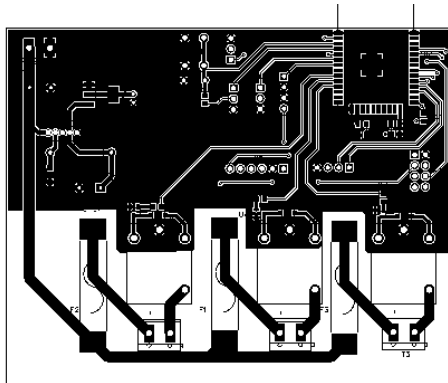


porque están diseñados para mediciones de suelos específicamente y también porque cumplen con la especificación de medir en la humedad entre el 40 y 60% RH perfectamente.

Las dimensiones utilizadas en el tamaño de la tarjeta son 115 mm de alto por 110 mm de ancho, dejando en las esquinas el espacio para los orificios de montaje de la tarjeta en el equipo.

## 5.1 Serigrafías

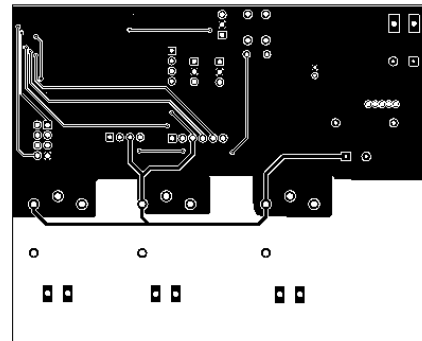
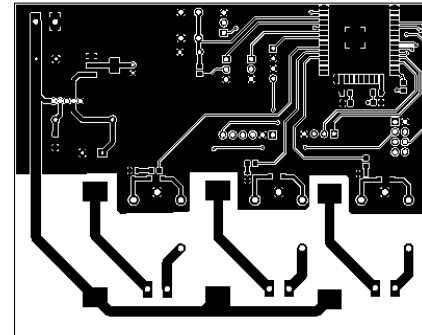
## 5 CIRCUITO IMPRESO – PCB



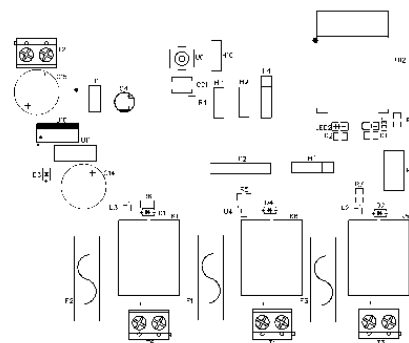
Esta es la tarjeta electrónica que se diseñó para el módulo principal de control de nuestro equipo, esta será la encargada de recibir todas las señales de los sensores y realizar las tareas que dicte el microcontrolador para el equipo cumplirlas, están las conexiones para los sensores del equipo, los leds indicadores para diagnóstico de problemas, las botoneras para debugging del microcontrolador. Se encontrarán unos conectores para realizar lo que es la programación de nuestro microcontrolador en el bloque de conectores H12, y también el circuito básico del funcionamiento del microcontrolador.

La tarjeta fue diseñada para utilizar un tipo de pcb de doble cara de cobre, el grosor que se utilizó para las pistas de conexión es de 1mm, de acuerdo con los cálculos encontrados para una capa de cobre de grosor estándar de 0.025mm y una corriente máxima de 3A, tanto para las pistas de alimentación como para la etapa de los tracks para el microcontrolador y también la etapa del manejo de potencia, respetando la distancia utilizada de 0.5mm para un potencial de 50 voltios. La alimentación de esta tarjeta es de 110Vdc, que entrara al transformador conectado a la etapa en la que se encuentra el convertidor AC/DC, como se puede apreciar en el dibujo, podemos apreciar el ground plane que no incluye al convertidor ni tampoco a las partes donde se conectan los actuadores.

Por otra parte, también podremos apreciar nuestra etapa de potencia y control de sensores, en las cuales encontraremos las cargas inductivas y nuestro relay de estado sólido, en este caso, como fue explicado en la sección de esquemático serán utilizados transistores bit que controlaran la activación de las cargas.



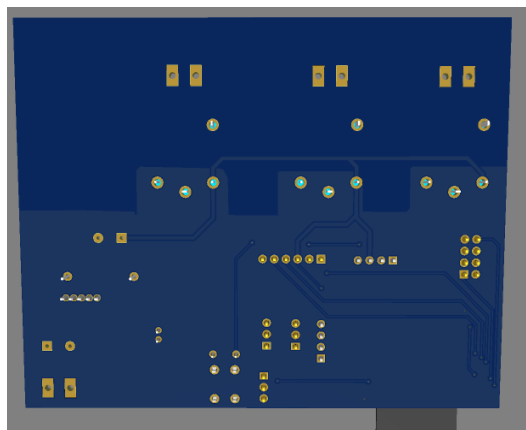
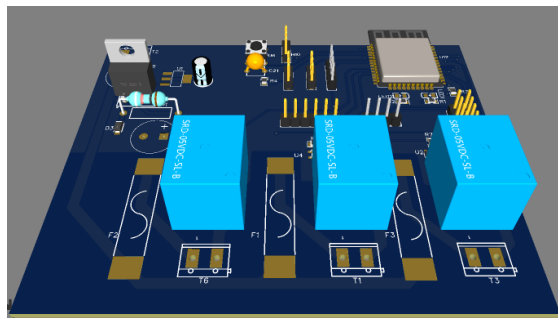
## 5.2 Vista de Componentes



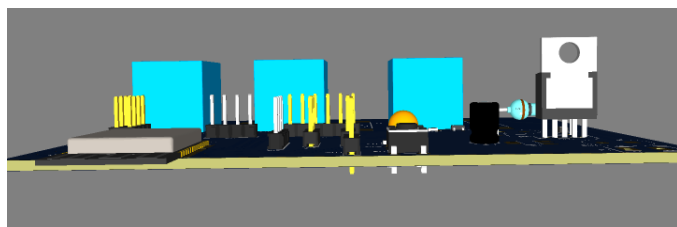
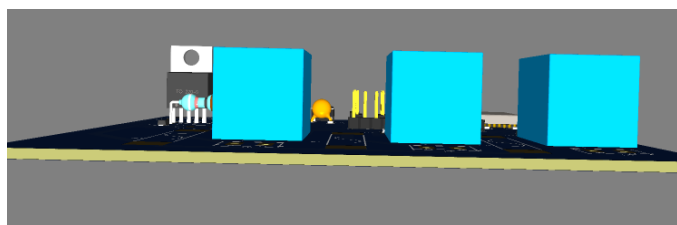
En esta parte se muestra la vista de los componentes que contendrá la tarjeta principal de nuestro equipo, en ella se pueden visualizar lo que son los conectores de entrada para los sensores, las salidas de los indicadores lumínicos para el usuario instalador, el conector de alimentación que alimentará todo el módulo, el circuito básico que corresponde al microcontrolador para su función, los conectores de los puertos para conectar cada pin que se va a utilizar, se han utilizado sockets hembra, para introducir los cables de conexión. También observamos el header necesario para la conexión del conversor ttl uart que se utilizará para las pruebas del equipo posteriormente.

Llena este espacio con la información de programación del diseño.

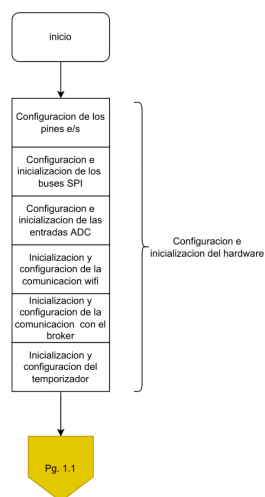
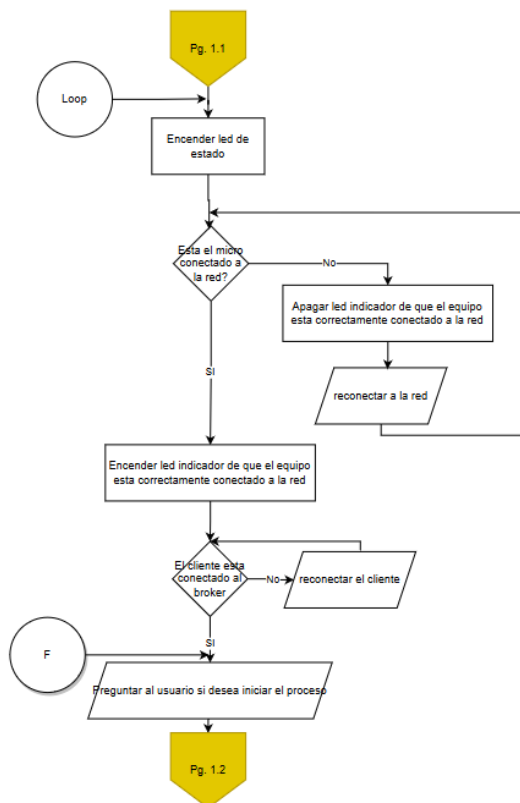
### 5.3 Vista 3D



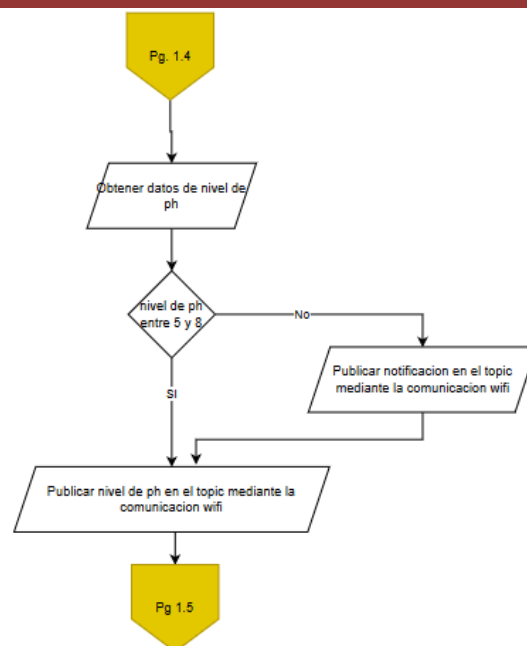
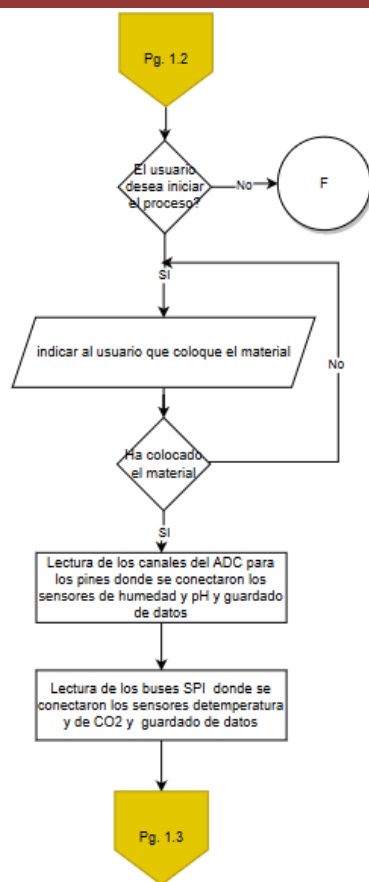
Vista Lateral:

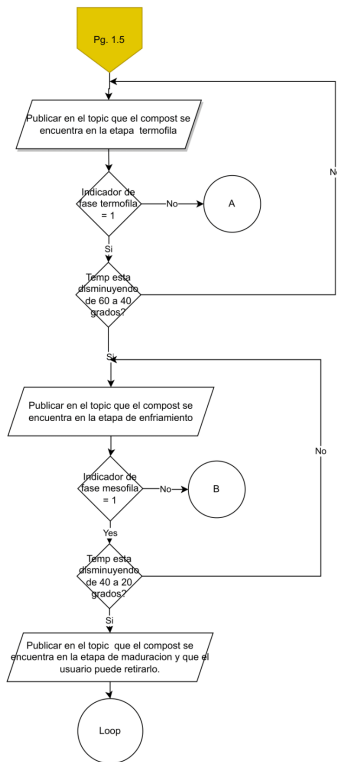
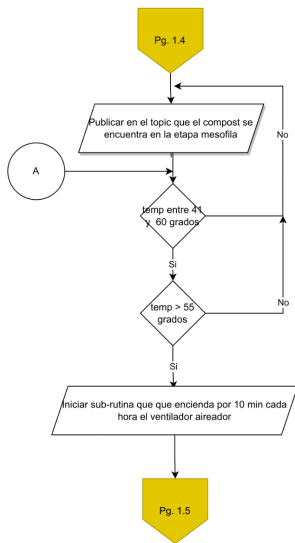


### 6.1 Diagrama de flujo principal



## 6 PROGRAMACIÓN – SOFTWARE y FIRMWARE





#### Configuración e inicialización del hardware:

Esta parte se refiere a la configuración de pines y puertos del microcontrolador con las características que sean necesarias para que cumplan su rol al ser utilizados en el momento de la ejecución del software para que cumplan su rol al ser utilizados en el momento de la ejecución del software del prototipo, las entrada de los sensores que los necesiten por los pines ADC del micro, la utilización

de los puertos SPI para los sensores de temperatura y CO2, las salidas digitales para los indicadores led y también para la activación de los controles de potencia para los actuadores.

#### Configuración de los pines e/s:

Aquí se configuran los pines de entrada que comprenden el pin para encender el led de prueba, el pin que enciende el indicador de correcta conexión al router. De igual manera, también se configuran los pines de salida como los pines para encender el control de potencia de los actuadores(motor de movimiento de compuestos orgánicos, aspersor y bomba de agua).

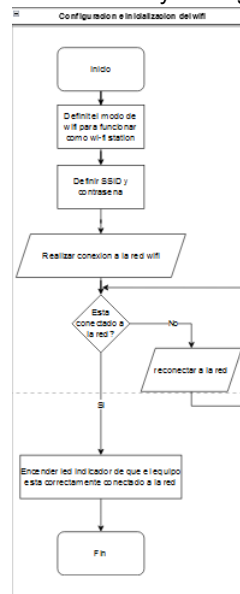
#### Configuración e inicialización de los buses SPI:

Aquí se inicializan los buses SPI que utilizaremos para la lectura de los sensores de CO2 y de temperatura, especificaremos el estado de los pines de los buses que utilizaremos en la configuración ( SCK, MISO, MOSI y CS) para la utilización de los sensores de temperatura y CO2, configuramos a una velocidad de 9600 baudios la comunicación ya que es lo indicado para la utilización del sensor de CO2, cargaremos el buffer con la data a enviar, la enviaremos y luego revisaremos si la transferencia de datos fue exitosa, en este caso trabajaremos con los buses en el modo 1, luego leeremos la data que se encuentra en el buffer, la guardaremos en una variable y la descartamos posteriormente esperaremos un tiempo y luego continuaremos el proceso

#### Configuración e inicialización de las entradas ADC:

Aquí se inicializan y configuran los canales del ADC, en este caso seleccionaremos el modo en el que deseamos se lea la data y colocaremos la cantidad de bits de nuestro adc.

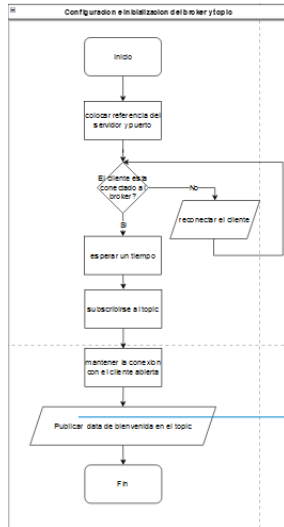
#### Inicialización y configuración de la comunicación wifi:



Definiremos el modo de wifi como wifi station ya que estaremos utilizando un broker como parte de nuestro

protocolo de comunicación, daremos nuestro SSID y la contraseña, realizaremos la conexión a wifi, si se conecta exitosamente entonces encenderá el led que indicará la conexión exitosa, sino se mantendrá intentando conectar a la red.

Inicialización y configuración de comunicación con el broker:



Colocaremos la referencia del servidor y el puerto al que nos conectaremos, intentaremos conectarnos al broker, si estamos conectados esperaremos un tiempo, sino intentaremos conectar a nuestro cliente. Cuando sea exitoso, nos suscribimos al topic, y mantendremos la conexión abierta, publicaremos una bienvenida en el topic.

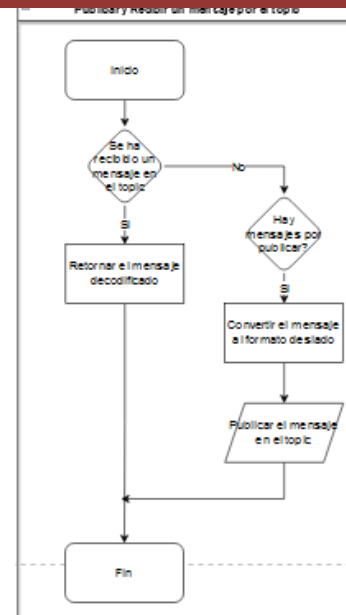
Inicialización y configuración del temporizador:

Aquí se declarará el modo en que queremos que trabaje el temporizador y declararemos la subrutina.

Main loop:

Encendemos el led de estado que nos indicará que la tarjeta está corriendo el programa adecuadamente. Luego de la inicialización se verifica si el módulo se encuentra conectado a la red, si no lo está se intentará reconectar y apagará el led indicador de que el equipo está correctamente conectado a la red, cuando se reconecte lo encenderá de nuevo, luego verificaremos si el cliente se encuentra conectado al topic, si no es así intentaremos conectarlo.

Publicaremos en el topic para preguntar al usuario si desea iniciar el proceso de compostaje, si el usuario accede, publicaremos en el topic una cadena que le indique al usuario colocar el material de compost dentro del contenedor. Para eso utilizaremos el siguiente algoritmo:



Una vez recibamos una cadena que ha sido publicada en el topic donde el usuario haya indicado que colocó el material empezaremos la lectura de los canales del ADC para los pines donde se conectan los sensores, guardaremos los datos obtenidos del ADC, y convertimos los valores obtenidos del ADC a los valores con los que vamos a trabajar, porcentajes para la humedad o nivel de ph mediante el siguiente algoritmo:

Para el ppm para el CO2 y los grados para la temperatura leeremos los datos de sus respectivos buses mediante los puertos SPI, guardaremos los datos convertidos en variables mediante el siguiente algoritmo:

Obtendremos los datos de la variable de humedad, verificaremos si esta se encuentra entre el 40% y 60%. Si es así publicaremos la data de la variable en el topic mediante la comunicación wifi, sino activaremos la salida que activa el driver del aspersor, esperaremos un tiempo, y luego activaremos el control de potencia del motor de movimiento de compost.

Obtendremos los datos de la variable de temperatura. Publicaremos los datos de temperatura en el topic mediante la comunicación wifi.

Obtendremos los datos de la variable de pH, verificaremos si los datos de pH se encuentran entre 5 y 8 si no se encuentran enviaremos una notificación en el topic mediante la comunicación wifi y luego la data de pH actual. Si está en el nivel adecuado, solo se publicará en el topic la data del pH.

Obtendremos los datos de la variable de CO2 si el CO2 se encuentra en el rango entre 763 y 729 ppm publicaremos la data sobre la variable en el topic, de lo contrario enviaremos una notificación con recomendaciones de qué hacer al respecto y luego publicaremos la data en el topic. Esperaremos un tiempo.



Determinaremos en qué etapa del compost se encuentra el compost. Si la temperatura se encuentra entre los 20 y 40 grados se encuentra en la etapa mesófila, colocaremos un indicador de fase mesófila en 1 y publicaremos en el topic que la etapa actual del compost en la etapa mesófila. Si la temperatura está entre los 41 y 60 grados determinaremos si la temperatura actual esta mayor a 55 grados si lo está entonces utilizaremos el temporizador que iniciamos anteriormente y este nos ayudará para utilizar otra subrutina del microcontrolador que encienda por 10min cada hora el ventilador aireador hasta que la temperatura baje de los 55 grados, para lo cual usaremos el algoritmo:

Enviaremos al topic que se encuentra en la etapa termófila el compost, colocaremos en 1 un indicador de que ya pasó por la etapa termófila. Cuando el indicador de etapa termófila está en 1 entonces nos encontramos en la etapa de enfriamiento. Lo publicamos en el topic. Luego revisaremos si ya se pasó por la fase mesófila con el indicador que llenamos anteriormente eso significa que nos encontramos en la etapa de maduración. Enviaremos al usuario instrucciones posteriores sobre el fin del proceso y sobre la etapa de maduración.

## 7 PROTOTIPO

### 7.1 Ensamblado

Llena este espacio con la información del proceso de ensamblado del diseño.

## 8 VERIFICACIÓN Y PRUEBAS

**Prueba de activación de la aireación forzada mediante la activación del funcionamiento de un ventilador 1 hora por cada hora cuando el nivel de temperatura es del 60 grados:** Esta prueba realiza la interconexión del circuito del microcontrolador con el circuito de manejo de control de potencia que activa el abanico aireador por 60 min cada hora una vez el nivel de temperatura es de 60 grados.

**Prueba de transmisión en tiempo real de los valores de pH, humedad, temperatura y CO2 mediante mqtt hacia el broker por el microcontrolador:** Esta prueba realiza la integración del circuito del microcontrolador con la comunicación inalámbrica, y su interconexión con los sensores involucrados en el proceso de automatización que recolectan los valores que serán procesados por el microcontrolador para posteriormente ser enviados a través de la comunicación wifi y del protocolo mqtt al topic.

**Prueba de activación del funcionamiento del motor que mueve el material luego de accionar la bomba o accionar el ventilador de aireación:** Esta prueba realiza la integración del circuito de microcontrolador, el circuito de control de potencia que activará el motor de

movimiento de material organico luego de que se accione la bomba o el ventilador de aireación.

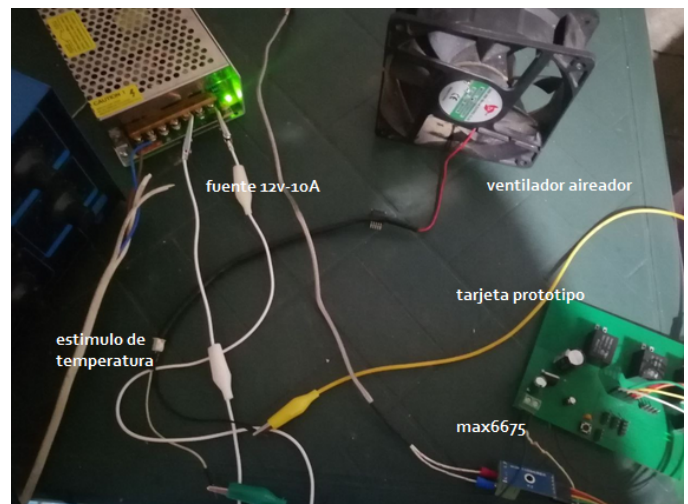
**Prueba de interpretación de las mediciones de los sensores mediante el software del microcontrolador para determinar la etapa del compost:** que incluye en el mensaje a enviar al broker mqtt en qué etapa se encuentra el compost y envía los resultados al dispositivo conectado mediante el protocolo mqtt

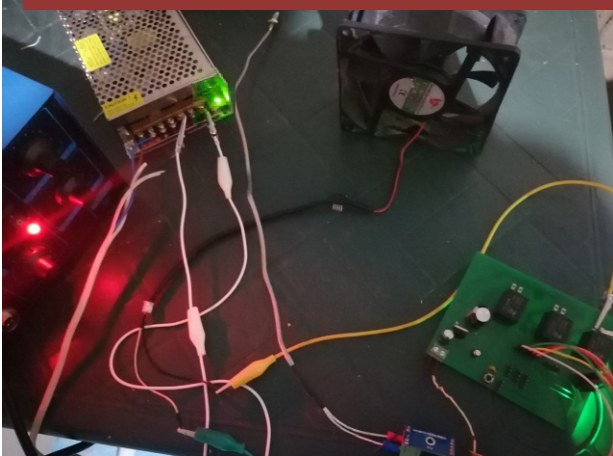
### 8.1 Pruebas y mediciones

**Prueba de activación de la aireación forzada mediante la activación del funcionamiento de un ventilador 60 min por cada hora cuando el nivel de temperatura es del 60 grados:**

Esta prueba fue identificada a raíz de la especificación “controlar la aireación forzada mediante el funcionamiento de un ventilador 60 min por cada hora cuando el nivel de temperatura es del 60 grados”. Esta prueba realiza la interconexión del circuito del microcontrolador con el circuito de manejo de control de potencia que activa el abanico aireador por 60 min cada hora una vez el nivel de temperatura es de 60 grados. Debido a que 60 min es un largo tiempo para la realización de la prueba se determinó que 1 min sería suficiente para su estudio en corta escala. Adicionalmente se denota que la estación de soldado que se utilizó como estímulo de temperatura tiene un mínimo de 100 celsius, por lo que se utilizó esa medida en vez de los 60 grados de la especificación.

Para realizar la prueba necesitaremos obtener el valor de temperatura el cual será extraído a través del termopar que posee el sensor de temperatura, el cual está conectado al puerto SPI del microcontrolador por donde se reciben los datos. Finalmente con el estimulador se aplica al termopar una temperatura superior a los 60 grados y revisamos el ventilador actuador y con un temporizador revisaremos si en verdad está quedando encendido por 1 min y luego apagándose.





- <https://www.biocycle.net/comparing-positive-and-negative-aeration-at-in-vessel-facility/>. [06/03/2022]
- [2] Germán Tortosa. 2015. Sistemas de compostaje. Compostando Ciencia. Recuperado de: <http://www.compostandociencia.com/2015/02/sistemas-de-compostaje/> [02/15/2022]
- [3] Electrónica: teoría de circuitos y dispositivos electrónicos. ROBERT L. BOYLESTAD LOUIS NASHESKY. Realimentación y circuitos osciladores. 763.
- [4] [https://unahil.files.wordpress.com/2015/05/electrc3b3nica-teorc3ada-de-circuitos-y-dispositivos-electrc3b3nicos\\_10ed-boylestad.pdf](https://unahil.files.wordpress.com/2015/05/electrc3b3nica-teorc3ada-de-circuitos-y-dispositivos-electrc3b3nicos_10ed-boylestad.pdf)
- [5] Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Wayne Tomasi. Comunicación de datos. 526. sistemas-de-comunicaciones-electronicas-tomasi-4ta-edici3b3n%20(1) -1.pdf
- [6] Thomas C. Hayes. Microcontrollers. 757. [Tom\_Hayes%3B\_Paul\_Horowitz]\_Learning\_the\_Art\_of\_Ele(z-lib.org).pdf.
- [7] Sensors, actuators, gadgets. Tom Hayes, Paul Horowitz., 1043. Learning the Art of Electronics.
- [8] MQTT - The Standard for IoT Messaging. Luis Llamas. 2019. Recuperado de: <https://mqtt.org/faq/> [04/15/2022]
- [9] Improving Compost Process Efficiency by Controlling Aeration, Temperature and ph. Pag. 35. Moisture, temperature, oxygen consumption and aeration. <https://pub.epsilon.slu.se/950/1/CeSu103fin0.pdf>

## 8.2 Resultados

**Prueba de activación de la aireación forzada mediante la activación del funcionamiento de un ventilador 60 min por cada hora cuando el nivel de temperatura es del 60 grados:**

Analizando lo que se pudo observar de la Prueba, los valores obtenidos de los sensores en la pantalla:

1. Se observa que el ventilador se enciende en este caso con v.
2. Se midió la salida de los sensores de corriente, y estos están enviando los milivoltios hacia el pin del microcontrolador, pero se muestran 0.0 en la pantalla.
3. Se debe verificar la rutina de código del firmware, para verificar, que está pasando con la lectura de estos canales y su presentación

## REFERENCIAS

- [1] Richard Nicoletti, 2005.COMPARING POSITIVE AND NEGATIVE AERATION AT IN-VESSEL FACILITY. BioCycle. Recuperado de: