



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María
Ingeniería en Electrónica
Cátedra Trabajo Final de Grado

Estación Meteorológica Solar WiFi

Autor/es:

Augsburger, Juan Gabriel.

Año 2021

Director: *Sensini, Fabián*

Tutor: *Catalano, José Luis*

Fecha: *29/10/2021*

Comité Evaluador

Presidente: *Sensini, Fabián*

1° Vocal: *Cejas, Marcelo*

2° Vocal: *Ferrari, Hector*

3° Vocal: *Catalano, José Luis*





Dedicatorias

A mis seres queridos.



Agradecimientos

Principalmente a la Facultad Regional de Villa María, ente que pertenece a la Universidad Tecnológica Nacional, por brindar todos los conocimientos necesarios para poder realizar este proyecto de manera exitosa, y, dar las mejores herramientas que me permitirán enfrentar y resolver problemas en futuros trabajos relacionados con la electrónica, y no sólo en este ámbito, sino que también para cualquier aspecto de la vida cotidiana.

Sin ningún aspecto político, es super importante mencionar y agradecer que todos estos conocimientos adquiridos fueron dados de manera gratuita por la facultad.

Sonará extraño, pero se hace imposible no agradecer la existencia de la tecnología actual, especialmente la internet, la cual permitió complementar y potenciar en una gran magnitud los estudios realizados en la carrera.



Memoria Descriptiva

En el presente trabajo se realiza el diseño y puesta en marcha de una estación meteorológica la cual funciona con un microcontrolador SoC (System on a Chip) ESP12-F en extremadamente baja energía ya que el sistema es relativamente portátil. El tipo de sistema utilizado para enviar datos es inalámbrico, en este caso se utiliza la tecnología WiFi. La alimentación consta de una batería de polímeros de litio de tensión nominal de 3.7V, la cual, es cargada mediante una celda solar en conjunto con un controlador de carga especializado para este tipo de baterías protegiéndola en la corriente de carga, descarga, sobretensión y tensión inferior a la mínima recomendada. Para la programación y visualización de datos de prueba simplemente es colocado un conversor USB a UART y un tact-switch para activar el modo flash (programación).

Los parámetros a medir son los siguientes: humedad relativa, temperatura ambiente, presión atmosférica, velocidad del viento y cantidad de lluvia diaria.

Los datos obtenidos por el sistema son cargados a una base de datos tipo MySQL mediante peticiones hechas en lenguaje de programación web PHP y luego son mostrados en una página web que se especificará más adelante.



Palabras Clave

WiFi – Solar – Clima – Bajo Consumo – I2C – SoC



Índice

DEDICATORIAS	3
AGRADECIMIENTOS	4
MEMORIA DESCRIPTIVA	5
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	8
OBJETIVOS GENERALES.....	8
OBJETIVOS PARTICULARES	8
DISEÑO DEL PROYECTO	9
REVISIÓN DE REQUERIMIENTOS Y PARÁMETROS DE OPERACIÓN	9
SELECCIÓN DE COMPONENTES Y DISPOSITIVOS	9
ESP-12F	9
TP4056 – Regulador de carga	11
DW01A – Protector contra sobredescargas	12
HT7333 – Regulador de tensión LDO	13
HEF4052B – Multiplexor Analógico.....	13
CH340G – Conversor USB a Serie	14
BME280.....	15
Panel Solar 6V	16
Batería de Iones de Litio.....	17
DIAGRAMA EN BLOQUES DEL DISPOSITIVO.....	18
DESCRIPCIÓN DE CADA UNA DE LAS PARTES	18
ENERGÍA Y PROTECCIONES	18
TRANSDUCTORES	22
Anemómetro	22
Pluviómetro.....	23
Termómetro, Higrómetro y Barómetro.....	23
VARIABLES ANALÓGICAS.....	24
Temperatura del Sistema	25
COMUNICACIÓN USB-UART.....	27
CONFIGURACIÓN SOC ESP-12F	27
DIAGRAMA DE FLUJO	29
EVALUACIÓN FINAL DEL SISTEMA	30
PREPARACIÓN DEL PROTOTIPO CON MATERIALES FINALES.....	30
MONTAJE Y ENSAYO REAL DEL PROTOTIPO	33
PRESENTACIÓN FINAL DEL PROTOTIPO	41
CONCLUSIONES	46
BIBLIOGRAFÍA	47
ANEXO I	49
ANEXO II	50
ANEXO III	51
ANEXO IV	52
ANEXO V	53
ANEXO VI	54



Introducción

Tiempo atrás he realizado un proyecto de hobby, el cual es una estación meteorológica WiFi con el microcontrolador SoC ESP8266, específicamente el módulo ESP-12F, la cual cuenta con sensor de presión atmosférica, humedad relativa y temperatura. Los datos capturados por tal sistema son cargados en un servidor web, específicamente mostrados en el siguiente link: <https://noetweather.000webhostapp.com/index.php>.

Como proyecto final, la idea principal es presentar este proyecto ampliado, realizando las siguientes mejoras:

*Agregado de panel solar con sus respectivos circuitos integrados y componentes necesarios de control de carga y protección (sobretensión y tensión baja) personalizados con una batería de iones de litio (3.7V nominal).

*Agregado de un anemómetro casero en el cual los datos se relevarán mediante el ADC del microcontrolador o alguno externo y tendrá una protección de tensión contra vientos fuertes.

*Agregado de un pluviómetro que se vacíe de manera automática, también a realizarse de manera casera.

*Agregado de un medidor de batería baja y un aviso de manera online.

*Agregado de un conversor de protocolo USB a puerto serie para poder realizar la programación del microcontrolador con un cable USB tipo micro.

*Puesta en un gabinete estanco con sus respectivas protecciones listo para el despliegado del sistema en una situación real al exterior.

Objetivos

Objetivos generales

Los principales objetivos son: hacer que todos estos cambios sean implementados en una nueva PCB en donde se encontrará todo el sistema completo (rediseño completo), es decir, el anterior más las mejoras en el mismo PCB (Printed Circuit Board).

El sistema la mayoría del tiempo deberá permanecer dormido, por lo que todo el diseño circuital será pensado para consumir la menor cantidad de energía posible.

Debe ser 100% autónomo, es decir, que la energía obtenida por el panel solar sea suficiente para mantener el sistema al menos por 2 días consecutivos sin un cielo despejado.

Como se mencionó anteriormente es indispensable que el sistema sea lo más estanco posible ya que se encontrará a la intemperie.

Objetivos particulares

Como objetivos particulares se ha planteado que el sistema esté diseñado a futuro, es decir, tener la capacidad de poder agregarle más transductores.

Otro objetivo particular, empleado en el diseño es la versatilidad de la programación del sistema, ya que es agregado un conversor de USB a UART (puerto serie) con un conector comúnmente utilizado por teléfonos celulares (USB micro tipo B) permitiendo depurar nuevos funcionamientos o mejoras del firmware con una eficiencia notoriamente superior.



Diseño del Proyecto

Revisión de requerimientos y parámetros de operación

Como se ha mencionado anteriormente el requerimiento principal del sistema es su portabilidad, es decir, debe estar preparado para poder relevar datos a todo momento, donde mediante energía solar y el almacenamiento de la misma en una batería de litio permita que los datos capturados sean enviados al servidor sin ninguna interrupción de tipo energética.

Al ser necesario la utilización de una batería para almacenar la energía, que utilizará el sistema cuando no se encuentre radiación solar directa incidiendo en el panel solar, el diseño del circuito (incluyendo mejoras en el firmware) y los componentes utilizados son especialmente investigados para su mínima cantidad de consumo energético.

Ya que es un sistema portable el diseño del proyecto se basa principalmente en utilizar la mayor cantidad de componentes de montaje superficial (SMD), de esta manera se logra que el PCB sea lo más pequeño posible.

Con respecto al envío de datos, al ser un sistema portable claramente se necesita enviar los datos de manera inalámbrica, por lo que en este caso se decidió utilizar la tecnología WiFi, ya que ésta permite directamente subir la información necesaria a un servidor web.

Selección de componentes y dispositivos

ESP-12F

El componente principal que se ha elegido, teniendo en cuenta que se encarga del relevamiento de datos y control del sistema es el SoC ESP-12F, el cual contiene internamente un microcontrolador de la marca Espressif Systems, específicamente el ESP8266EX.

Se ha elegido exclusivamente este microcontrolador ya que tiene conectividad WiFi, además una cantidad suficiente de pines de propósito general (GPIO's), y es de bajo costo, entre otras características y funcionalidades útiles donde algunas son mencionadas posteriormente.

Las características principales del microcontrolador que utiliza este SoC ESP-12F son las siguientes:

- CPU RISC de 32-bit: Tensilica Xtensa LX106 a un reloj de 80 MHz.
- RAM de instrucción de 64 KB, RAM de datos de 96 KB.
- Capacidad de memoria externa flash QSPI - 512 KB a 4 MB* (puede soportar hasta 16 MB).
- Conectividad: IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi.
- Tiene integrados: TR switch, balun, LNA, amplificador de potencia de RF y una red de adaptación de impedancias.
- Soporte de autenticación WEP y WPA/WPA2.
- 16 pines GPIO (pines de entrada/salida de propósito general).
- Protocolos de comunicación: SPI, I²C.
- Interfaz I²S con DMA (comparte pines con GPIO).
- Pines dedicados a UART, más una UART únicamente para transmisión que puede habilitarse a través del pin GPIO2.
- 1 conversor ADC de 10-bit de resolución.

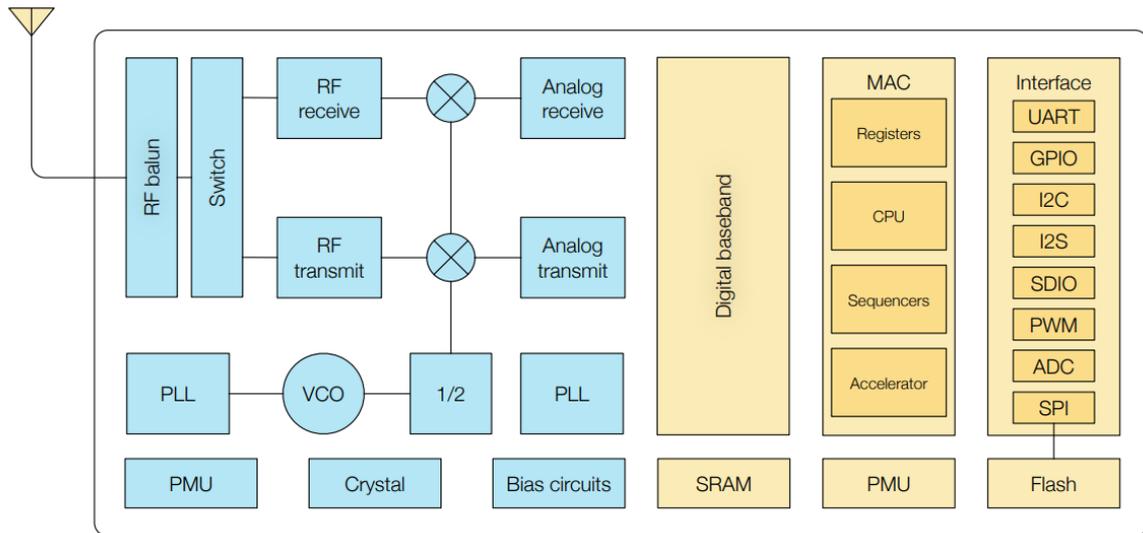


Fig. N° 1. Diagrama funcional del ESP8266EX [2].



Fig. N° 2. Imagen real del módulo ESP-12F.

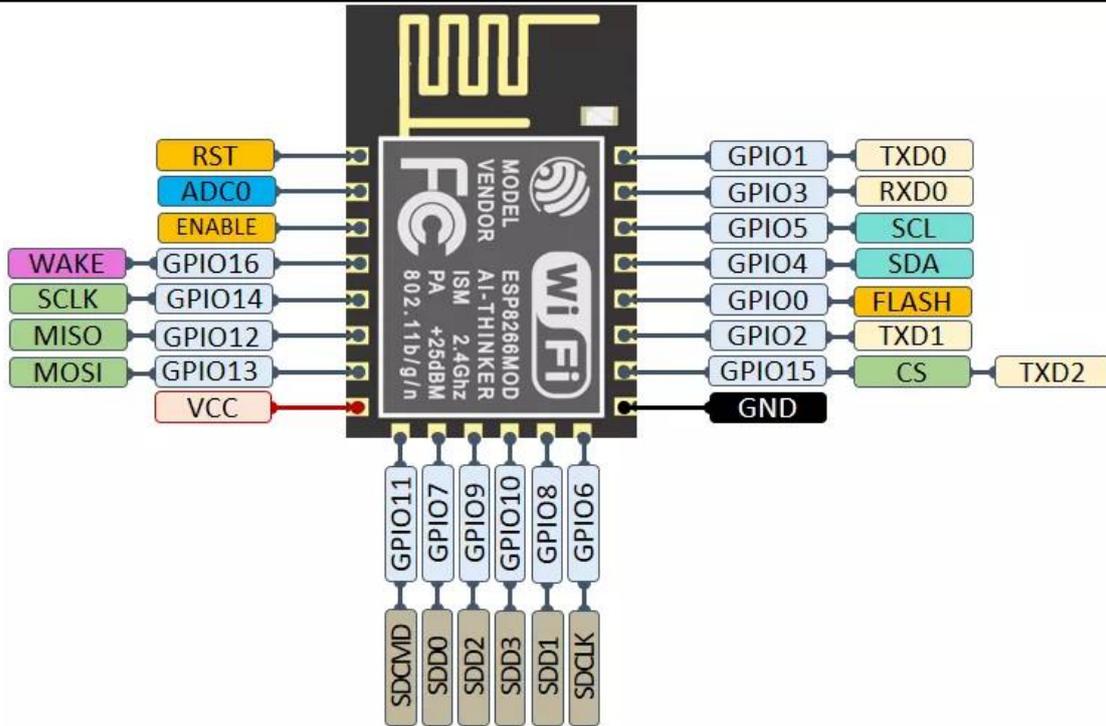


Fig. N° 3. Pinout del módulo ESP-12F.

TP4056 – Regulador de carga

Para que la batería de iones de litio utilizada no se degrade rápidamente es necesario utilizar un controlador de carga, en este caso se elige el TP4056 ya que es un circuito integrado que permite la carga controlada de una celda de litio única con tensión nominal de 3.7V (lo que se utiliza en este proyecto). Además, en nuestro país este circuito integrado se consigue relativamente fácil y es de bajo costo.

Este controlador tiene un modo de funcionamiento de control de carga en el cual la corriente de carga de la batería es inicialmente constante hasta llegar a un valor de tensión específico, y luego finaliza con una tensión constante, apreciado en la Fig. 4.

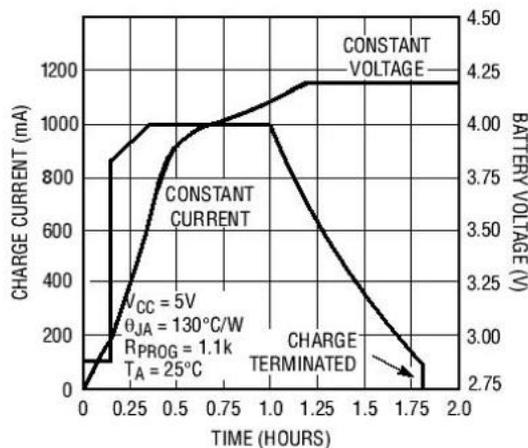


Fig. N° 4. Gráfico de control de carga del TP4056 [3].

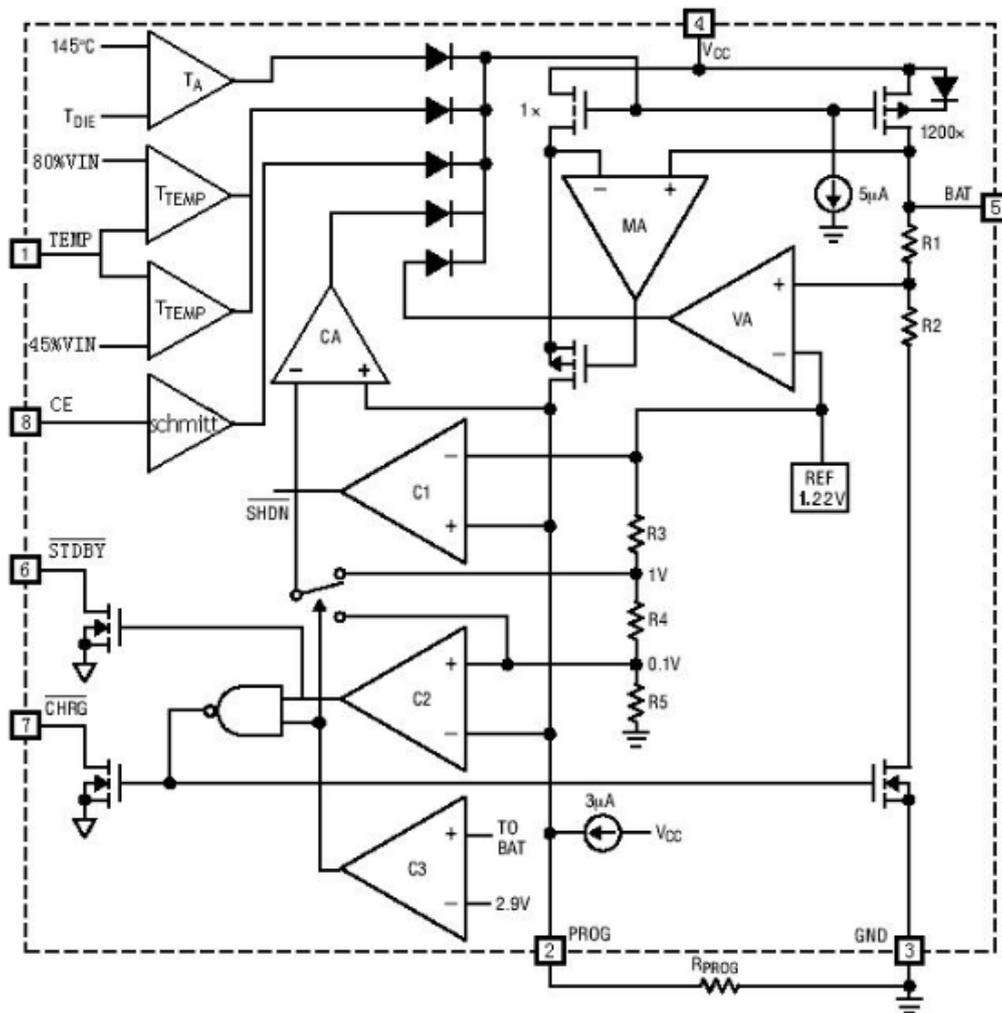


Fig. N° 5. Diagrama funcional del controlador de carga TP4056 [3].

DW01A – Protector contra sobredescargas

Suponiendo el caso en que haya un problema de alimentación y la batería no pueda recibir carga un tiempo suficientemente grande, entonces al descender la tensión por debajo de 2.3V aproximadamente (en baterías de iones litio comunes) la batería puede dañarse de manera permanente, y, en algunos casos destruirse de manera violenta y dañar el sistema.

Por eso se ha decidido utilizar un protector contra sobredescargas, en este caso se ha elegido el circuito integrado DW01A ya que cumple con las especificaciones requeridas para la protección correcta, y, también es relativamente fácil de conseguir en nuestro país.

Este IC (circuito integrado) además contiene funciones con respecto a la sobrecarga por lo que, si el circuito integrado TP4056 falla, este protector puede prevenir la destrucción de la batería de litio.

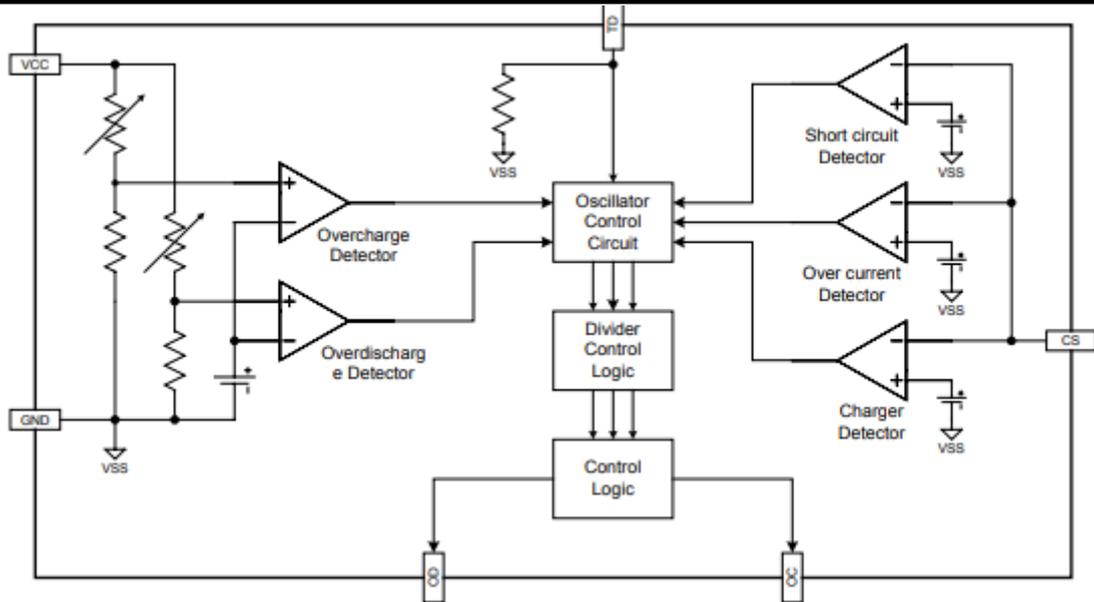


Fig. N° 6. Diagrama funcional del protector DW01A [4].

HT7333 – Regulador de tensión LDO

El SoC ESP-12F requiere una tensión de alimentación típica de 3.3V y máxima de 3.6V, por lo que es sumamente necesario utilizar un regulador de tensión, ya sea lineal o switching. En este caso se ha optado utilizar un regulador de tensión lineal LDO (Low Drop Out) y de extremadamente baja corriente de reposo (Quiescent Current) para disminuir el consumo del sistema. Para ello se ha decidido utilizar el HT7333 ya que cumple con lo planteado anteriormente.

Se utiliza el HT7333 ya que lo tenía disponible en mi casa y lo he comprado hace unos años en China. Este regulador satisface totalmente la corriente requerida por el sistema.

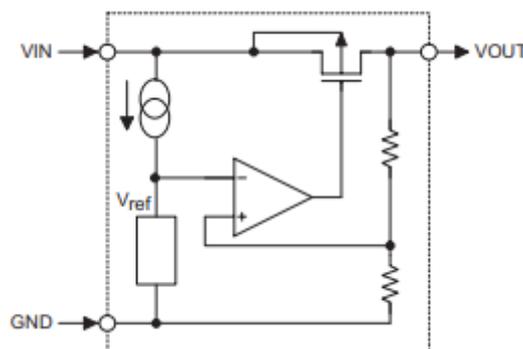


Fig. N° 7. Diagrama funcional del regulador HT7333 [5].

HEF4052B – Multiplexor Analógico

Ya que el SoC ESP-12F sólo contiene un pin con la funcionalidad de ADC (convertor analógico-digital), y, como el sistema requiere leer más de un dato analógico, ha surgido la necesidad de utilizar un multiplexor [1] de tipo analógico para poder aprovechar al máximo el ADC.

En este caso se ha decidido colocar el circuito integrado HEF4052 ya que tiene un máximo de 4 entradas analógicas, que es lo que se utiliza en este proyecto, además, este componente fue reciclado de un PCB antiguo.

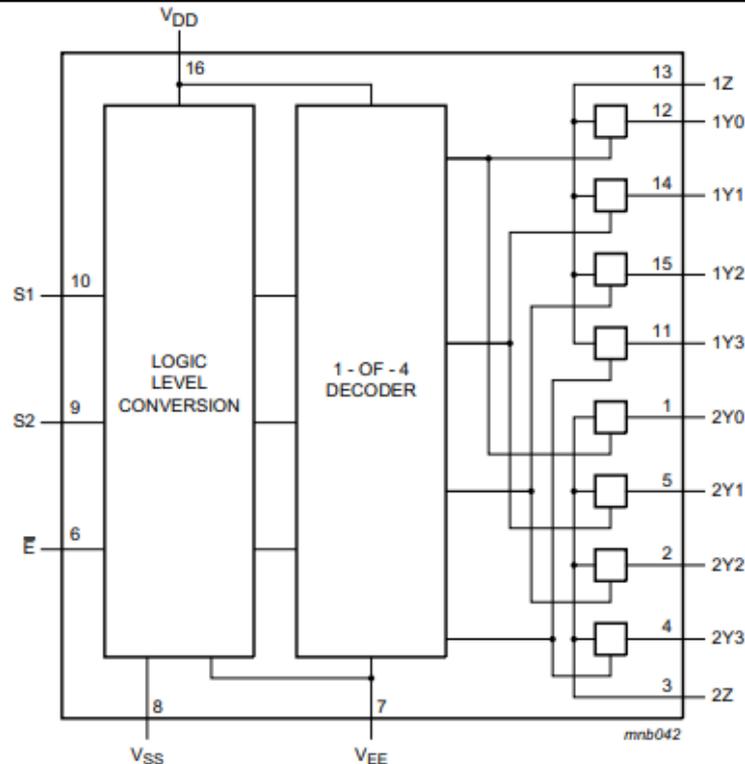


Fig. N° 8. Diagrama funcional del multiplexor analógico HEF4052B [6].

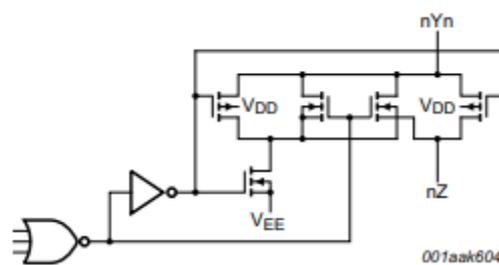


Fig. N° 9. Diagrama esquemático de una llave individual del HEF4052B [6].

CH340G – Conversor USB a Serie

Como el presente proyecto consta de extensas pruebas y futuros agregados de transductores, se ha adicionado un circuito integrado el cual permite comunicarse mediante el protocolo RS232 con un cable USB mediante el uso de un monitor serie en una computadora o celular. Este circuito integrado también permite realizar la programación del SoC ESP-12F, lo que aumentaría considerablemente la facilidad de depuración y mejoras de firmware a utilizar en el sistema.

En este caso se ha decidido utilizar el circuito integrado CH340G debido a que es un componente relativamente fácil de conseguir en el país y que con el agregado de pocos componentes pasivos funciona de manera estable para este tipo de requerimientos.

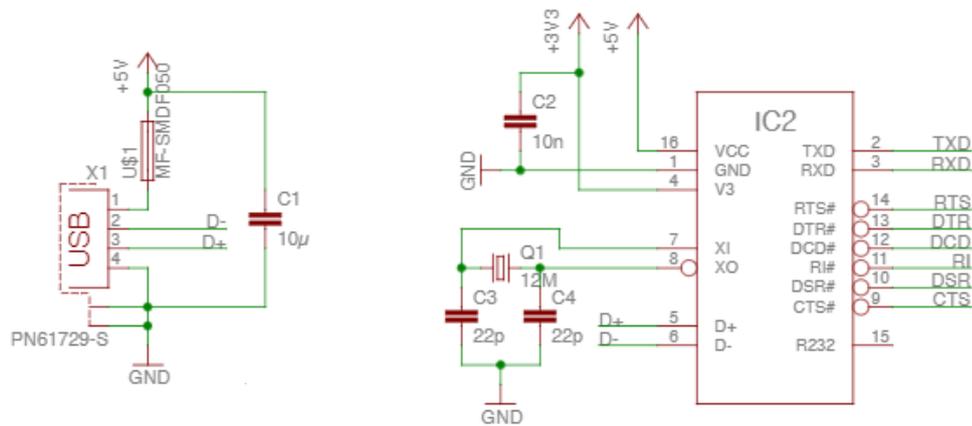


Fig. N° 10. Diagrama esquemático de ejemplo de uso del CH340G [8].

BME280

Este circuito integrado es un transductor de múltiples magnitudes físicas tales como, humedad relativa, presión atmosférica y temperatura ambiente.

Se ha elegido principalmente este circuito porque es muy compacto y capaz de medir varias magnitudes físicas por sí mismo, además, es relativamente simple conseguirlo en el mercado argentino.

El BME280 es un circuito integrado fabricado por la marca BOSCH, se puede comunicar con un microcontrolador a través del protocolo I2C y SPI (3 y 4 cables). Tiene una corriente de consumo de operación máxima (cuando se miden las 3 magnitudes) de 3.6µA, y además su tensión de funcionamiento puede estar dada entre 1.71V y 3.6V por lo que funciona perfectamente en conjunto con el SoC ESP-12F.

En la Fig. 11 se observa el diagrama funcional del circuito integrado BME280. En esta figura no se pueden denotar los pines dedicados para la comunicación tipo I2C, pero más adelante es especificada la configuración (visto en la Tabla 1) de este transductor para que la comunicación mediante el protocolo I2C sea aplicada correctamente.

En este proyecto se utiliza el módulo de BME280 mostrado en la Fig. 13 ya que éste contiene agujeros de montaje lo cual facilitan su colocación de manera más robusta en el sistema.

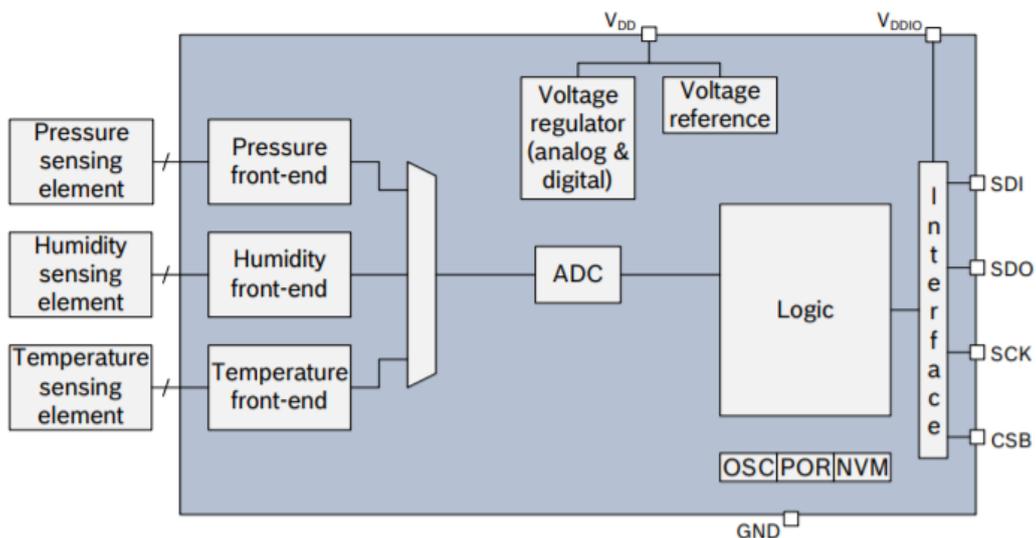


Fig. N° 11. Diagrama funcional del BME280 [11].

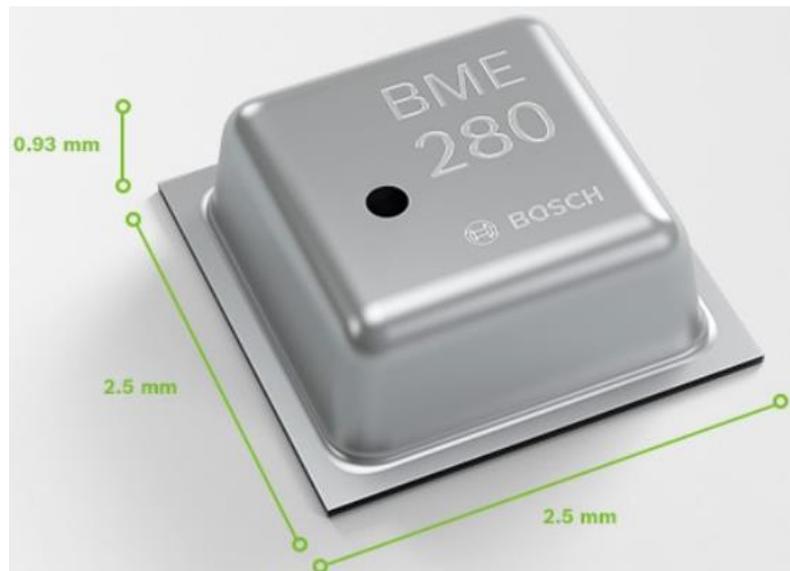


Fig. N° 12. Imagen del transductor BME280 con sus respectivas dimensiones [11].

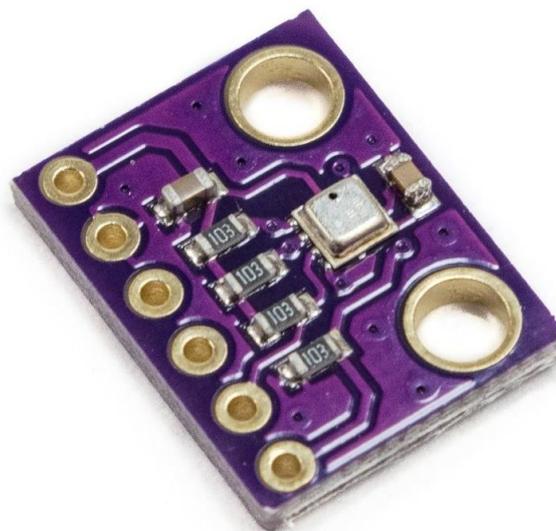


Fig. N° 13. Módulo BME280 con agujeros de montaje.

Panel Solar 6V

Como se requiere un sistema 100% autónomo, se plantea utilizar energía solar para alimentar la batería del sistema.

El panel que se decide utilizar es un panel solar genérico de 6V nominales con una corriente de 167mA nominal (aproximadamente 1W de potencia nominal) de la marca STAR SOLAR cuyo modelo es el CNC110X60-6. El cual está construido a base de silicio policristalino con un total de 24 celdas individuales conectadas de manera 12x2, es decir, 2 conjuntos de celdas en paralelo de 12 celdas en serie por cada conjunto, ya que cada celda individualmente genera una tensión aproximada de 0.5V.

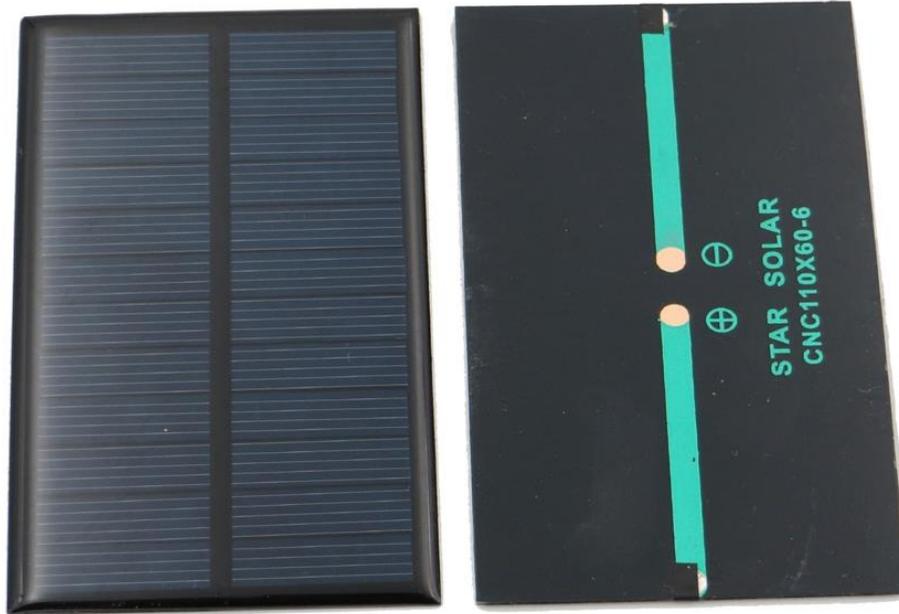


Fig. N° 14. Panel solar CNC110X60-6.

Batería de Iones de Litio

Como se ha mencionado en varias ocasiones anteriormente, al ser un sistema autónomo, cuenta con una batería. En este caso se ha decidido utilizar una celda de iones de litio por su gran densidad energética.

La batería que se utiliza ha sido reciclada de un teléfono celular antiguo en donde su capacidad es de 2600mAh con una tensión nominal de 3.7V, por lo que se supone que la capacidad actual de la misma se ha reducido a la mitad, es decir, 1300mAh.



Fig. N° 15. Batería Li-Ion B650AC.

Diagrama en bloques del dispositivo

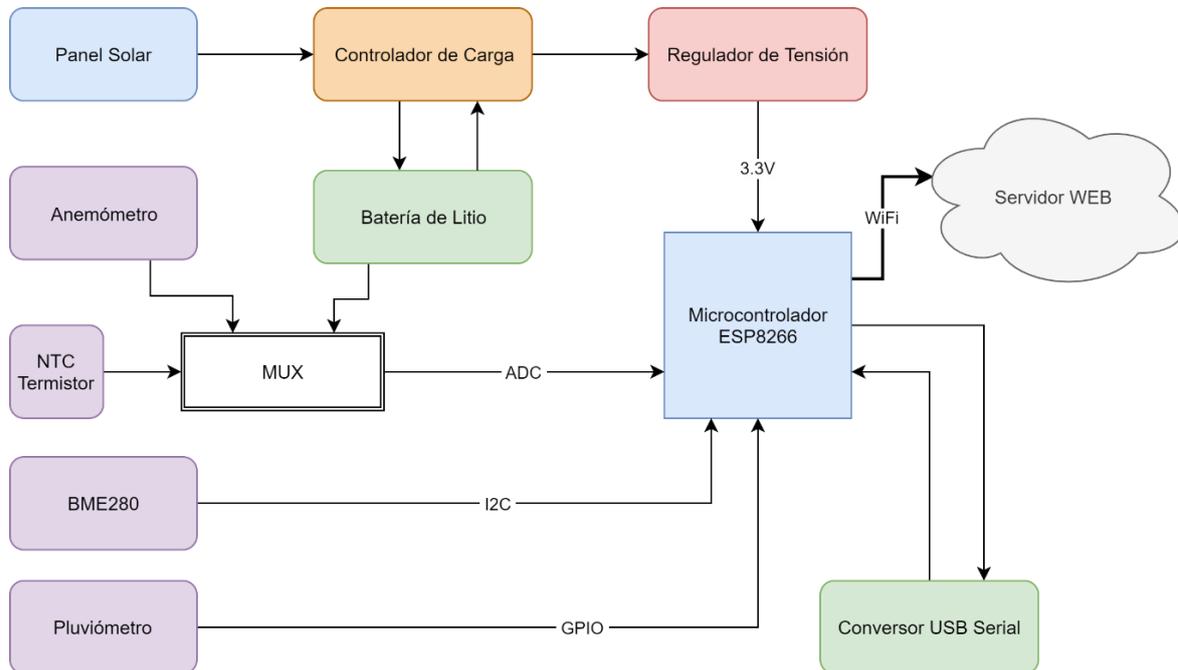


Fig. N° 16. Diagrama en bloques general del sistema.

Principalmente el diagrama en bloques presentado anteriormente, visto en la Fig. 16 consta de un panel solar el cual se encarga de transferir la energía captada por los rayos solares a un controlador de carga para una batería de litio, la cual es protegida de diversas maneras, luego, esta energía es transferida a un regulador de tensión LDO para poder alimentar de manera correcta al microcontrolador y componentes del sistema en sí.

La información del anemómetro, la tensión de la batería de litio y la temperatura medida por un termistor NTC, es pasada por un multiplexor analógico en donde la salida de éste se conecta al conversor analógico-digital (ADC) del microcontrolador. Los datos captados por el sensor BME280 y el pluviómetro son obtenidos mediante el protocolo de comunicación I2C y un pin de propósitos generales respectivamente.

Los datos procesados por el microcontrolador son enviados por la tecnología WiFi hacia un servidor web gratuito.

También consta de un conversor USB a Serie (USART) el cual se encarga de permitir la programación del microcontrolador y chequear datos en crudo del sistema.

Descripción de cada una de las partes

ENERGÍA Y PROTECCIONES

Inicialmente la energía es dada al sistema mediante el panel solar, principalmente protegiendo el sistema contra una sobretensión mediante el uso de un diodo Zener de 7.5V, en donde la corriente dada por el panel entra a un controlador de carga específico para una batería de iones de litio.

El controlador de carga utilizado en este proyecto es el TP4056 como ya se explicó previamente. Se ha configurado su pin N°2, llamado PROG, para que tenga una corriente de carga de 800mA, en donde esta corriente viene dada por la Ecu. 3.

$$I_{BAT} = \frac{V_{PROG}}{R_{PROG}} * 1200 \quad (\text{Ecu. 1})$$

$$V_{PROG} = 1V \text{ (por la hoja de datos)} \quad (\text{Ecu. 2})$$

$$I_{BAT} = \frac{1V}{15000hm} * 1200 = 0.8A \quad (\text{Ecu. 3})$$

También se utiliza el pin N°7, llamado CHRG, que cuando la batería se encuentra cargándose este pin tiene un valor de 0 lógico, de esta manera se ha colocado un diodo LED de color azul con su respectiva resistencia, éste se utiliza como indicador de carga.

En este caso el pin N°5 es el encargado de entregar la tensión correcta, que determine el circuito integrado, a la batería de iones de litio.

Además, se utiliza el pin N°1, llamado TEMP, del circuito integrado, el cual cumple la función de desactivar la carga cuando existe en él una tensión, por más de 0.15s, menor al 45% o por encima del 80% del pin N°4 (VCC). La aplicación más útil de este pin es de poder cortar la corriente de carga dependiendo de la temperatura a la que se encuentre la batería, funcionando como una protección en tiempo real de la misma.

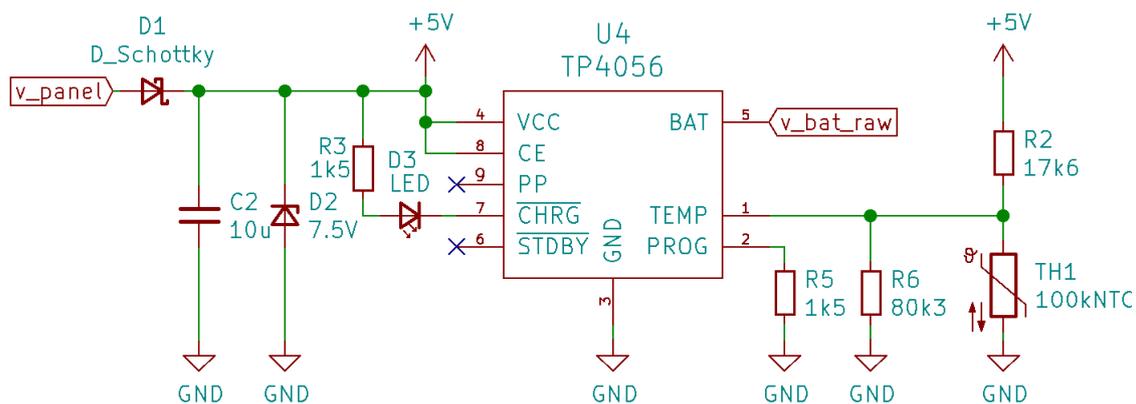


Fig. N° 17. Diagrama esquemático de la primera etapa del control de energía.

Para poder hacer uso del pin TEMP, se decide utilizar un termistor tipo NTC (Negative Temperature Coeficient) el cual es una resistencia que cambia su valor dependiendo la temperatura de la misma, como en este caso es NTC, es decir, varía inversamente con la temperatura, si la temperatura sube, la resistencia desciende y viceversa.

El termistor utilizado es de 100kOhm nominales (con una beta de 3950K), y se utiliza en conjunto con dos resistencias, R2 y R6 mostradas en la Fig. 17 (tomado el circuito de aplicación típica de la hoja de datos), para poder configurar las temperaturas de trabajo máxima y mínima de la batería. Las resistencias resultantes están dadas en las ecuaciones Ecu. 9 y Ecu. 10.

Para el cálculo de dichas resistencias se ha considerado que la tensión de alimentación nominal del panel es de 6V, por lo que el 45% y 80% de la misma es igual a 2.7V y 4.8V respectivamente.



La ecuación que rige el comportamiento de la resistencia del termistor está dada en la Ecu. 4.

$$R_{NTC} = R_0 * e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (\text{Ecu. 4})$$

Donde:

- T_0 es la temperatura de referencia, expresada en Kelvin, en este caso es igual a 300K.
- R_0 es la resistencia de referencia, es decir, la resistencia de la NTC cuando se encuentra a la temperatura de referencia, en este caso es de 100kOhm.
- β es la constante de la NTC, en este caso tiene un valor de 3950K.
- T es la temperatura que se está intentando medir, expresada en Kelvin.

Como en este caso se utiliza un termistor NTC de 100kOhm con una constante beta de 3950K, se ha decidido poner una temperatura máxima de funcionamiento de 70°C y una mínima de -10°C, por lo que la resistencia del termistor utilizado en ambos casos será:

$$R_{NTC(-10^\circ C)} = 100kOhm * e^{3950K\left(\frac{1}{273K} - \frac{1}{300K}\right)} = 582.4kOhm \quad (\text{Ecu.5})$$

$$R_{NTC(70^\circ C)} = 100kOhm * e^{3950K\left(\frac{1}{323K} - \frac{1}{300K}\right)} = 17.6kOhm \quad (\text{Ecu. 6})$$

En donde las ecuaciones de los divisores resistivos son:

$$6V * \frac{R_6 \parallel 582.4kOhm}{R_6 \parallel 582.4kOhm + R_2} = 4.8V \quad (\text{Ecu.7})$$

$$6V * \frac{R_6 \parallel 17.6kOhm}{R_6 \parallel 17.6kOhm + R_2} = 2.7V \quad (\text{Ecu. 8})$$

Y despejando los valores de cada resistencia auxiliar detallados por las ecuaciones Ecu. 7 y Ecu. 8:

$$R_2 = 17.6kOhm \quad (\text{Ecu. 9})$$

$$R_6 = 80.3kOhm \quad (\text{Ecu. 10})$$

Luego se ha colocado un circuito integrado llamado DW01A, que se encarga de la protección contra sobredescargas y sobretensión de la batería. En la Fig. 18 se puede observar el diagrama esquemático de la configuración de este circuito.

En este caso se han utilizado dos transistores MOSFET de canal N modelo IRLML2402 (conectados como indica la configuración en la hoja de datos del circuito integrado DW01A), ya que son los que tenía en mi casa y cumplen plenamente con los requisitos de $V_{gs(th)}$ y $R_{ds(on)}$ que el sistema necesita.

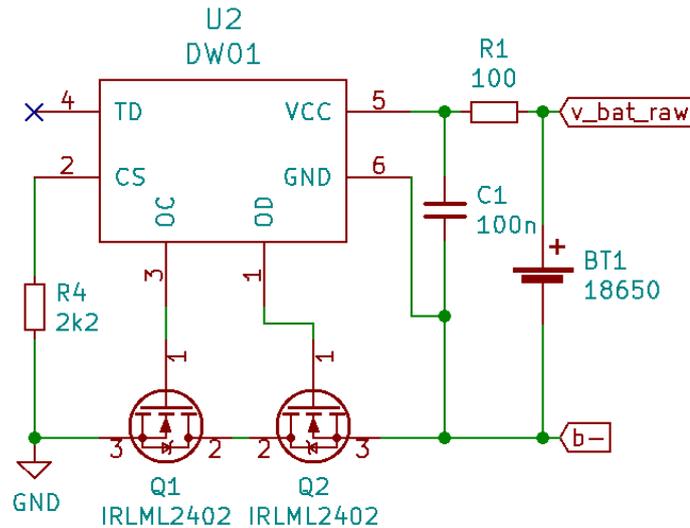


Fig. N° 18. Diagrama esquemático de la segunda etapa del control de energía.

Finalmente, la tensión de la batería ya protegida ingresa a un regulador de tensión LDO, de muy baja corriente de reposo, el cual es el HT7333 para poder entregar al SoC ESP-12F y al resto de los componentes una tensión de 3.3V estables.

Como se observa en la Fig. 19 se han colocado capacitores de filtrado, en donde estos valores han sido obtenidos de la hoja de datos del mismo.

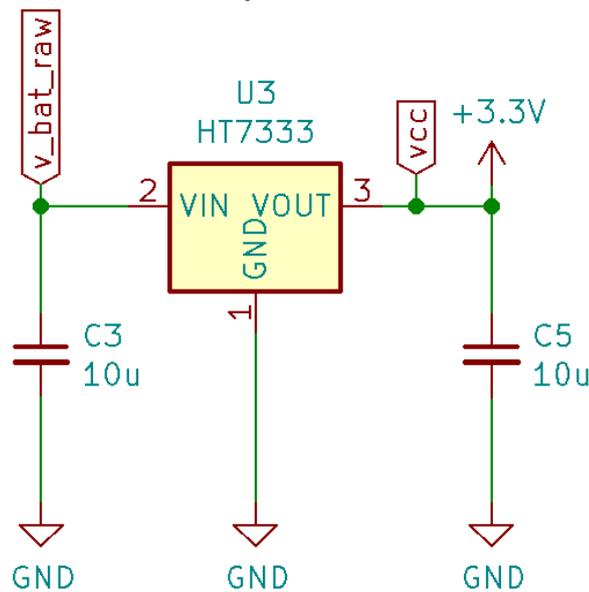


Fig. N° 19. Diagrama esquemático de la tercera etapa del control de energía.

Es importante mencionar que cuando la tensión de la batería descienda a un valor menor a 3.4V (incluyendo el drop-out del regulador lineal) el sistema ya no se alimentará de manera correcta, pero como en este caso el consumo total del sistema es muy bajo, la energía de la batería utilizada desde los 4.2V a los 3.4V es suficiente para mantener el sistema encendido durante al menos 2 días sin radiación solar directa.

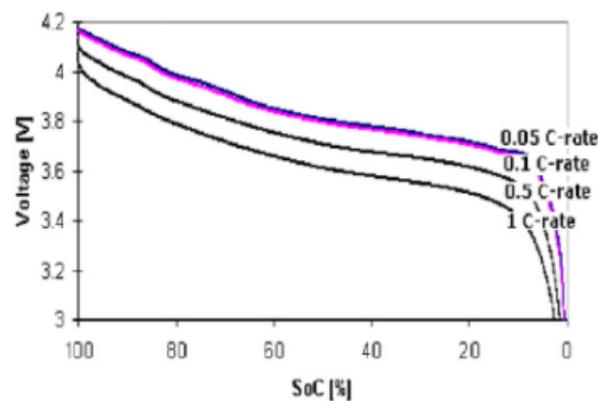


Fig. N° 20. Curva de descarga de celda de iones de litio [13].

TRANSDUCTORES

Anemómetro

El anemómetro de este proyecto ha sido fabricado de manera casera y con materiales reciclados. Como transductor se utiliza un motor con escobillas de corriente continua reciclado de una lectora de CD antigua como se ve en la Fig. 21. Se ha elegido este motor ya que es pequeño y además no ofrece resistencia significativa al giro del eje.

En conjunto con lo anterior se ha diseñado e impreso en una impresora 3D estructuras que ayudan al anemómetro a cumplir su función correctamente. Además, se ha reciclado el plástico difusor de 3 lámparas LED que cumplen la función de las copas en el anemómetro mostrado más adelante.

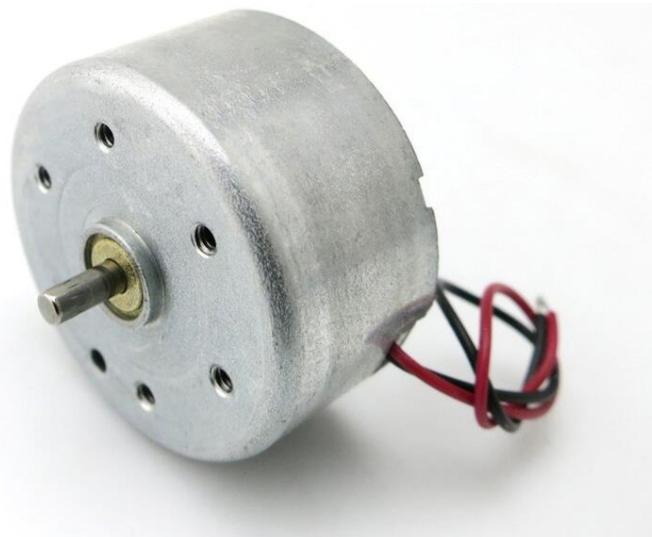


Fig. N° 21. Motor con escobillas reciclado de lectora de CD.

Para poder medir la velocidad del viento se utiliza como magnitud física la tensión generada por el motor (utilizándose de manera inversa como generador), es decir, la tensión generada es directamente proporcional a la velocidad del viento. En este caso el motor genera una tensión continua, por lo que no es necesario rectificarla y filtrarla a la salida del motor para que pueda ser relevada correctamente por el ADC del SoC ESP-12F.

En este caso, solo se realiza un escalamiento de tensión (mediante un divisor resistivo) para que el ADC pueda leer los datos de manera correcta sin dañarse.

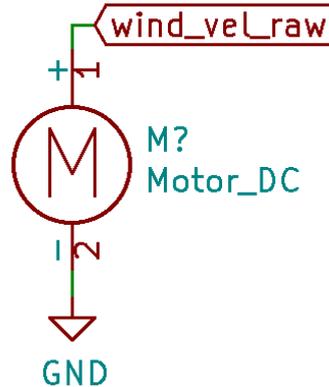


Fig. N° 22. Diagrama esquemático del anemómetro.

Pluviómetro

Como medidor de cantidad de lluvia se ha desarrollado un pluviómetro también con materiales reciclados e impresos en 3D como se muestra más adelante.

El pluviómetro que se utiliza en este proyecto es de tipo balancín, es decir, se auto-vacía.

Su funcionamiento se basa principalmente en que cada vez que cae una cierta cantidad de agua, el balancín cambia de posición haciendo que se ejecute una interrupción en el SoC ESP-12F

Este relevado de datos se realiza mediante un interruptor tipo “reed” (interruptor de lengüeta o relé reed, el cual es activado por un campo magnético) en conjunto con un pequeño imán de neodimio.

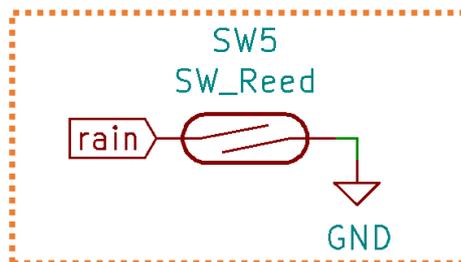


Fig. N° 23. Diagrama esquemático de control del pluviómetro.

El sector encuadrado en color anaranjado en línea punteada del diagrama anterior visto en la Fig. 22 está instalado directamente en el pluviómetro, es decir, no está embebido en el PCB.

La interrupción dada es detectada por un flanco descendente, ya que el pin GPIO2 del SoC ESP12-F contiene una resistencia de pull-up interna la cual es activada en el firmware del sistema.

Termómetro, Higrómetro y Barómetro

Como sensor de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica se decide utilizar el módulo BME280 por sus agujeros de montaje como se explicó previamente.

Este módulo permite comunicarse mediante el protocolo de comunicación I2C y SPI. En este proyecto se utiliza el protocolo I2C.

Utilizando la información brindada en la hoja de datos del sensor, se configura al mismo poniendo el pin 5 (SDO) a negativo, de esta manera generando la dirección de esclavo igual a 0x76 (en hexadecimal), y, el pin 2 (CSB) a positivo, permitiendo la correcta configuración para el uso del protocolo de comunicación I2C, como se muestra en la Tabla 1, específicamente encuadrado en color rojo.

Pin	Name	I/O Type	Description	Connect to		
				SPI 4W	SPI 3W	PC
1	GND	Supply	Ground	GND		
2	CSB	In	Chip select	CSB	CSB	V _{DDIO}
3	SDI	In/Out	Serial data input	SDI	SDI/SDO	SDA
4	SCK	In	Serial clock input	SCK	SCK	SCL
5	SDO	In/Out	Serial data output	SDO	DNC	GND for default address
6	V _{DDIO}	Supply	Digital / Interface supply	V _{DDIO}		
7	GND	Supply	Ground	GND		
8	V _{DD}	Supply	Analog supply	V _{DD}		

Tabla 1: Descripción de pines del BME280 [11].

VARIABLES ANALÓGICAS

En el sistema existen 4 variables analógicas de tensión a medir, las cuales son: carga de batería, temperatura del sistema, velocidad del viento y, a futuro, índice de radiación UV.

Como el controlador SoC ESP-12F solo tiene una única entrada analógica, con un ADC de 10bits de resolución, se decide utilizar un multiplexor analógico que permite ver los valores de dichas variables utilizando un único ADC.

Otro parámetro importante que se debe denotar es que el ADC del SoC ESP-12F tiene un rango de tensión de trabajo de 0V a 1V solamente, por lo que es sumamente necesario escalar la tensión a medir a ese rango de valores mencionado.

En el presente trabajo se realiza el escalamiento de las tensiones de las variables utilizadas de la manera mostrada en la Fig. 24. En donde se aprecia que los nombres de las redes de las variables que entran al multiplexor analógico HEF4052B (también visto en la Fig. 25) son las siguientes:

- “th_sis”: temperatura del sistema.
- “uv”: índice de radiación uv.
- “wind_vel”: velocidad del viento.
- “v_bat”: tensión de batería.

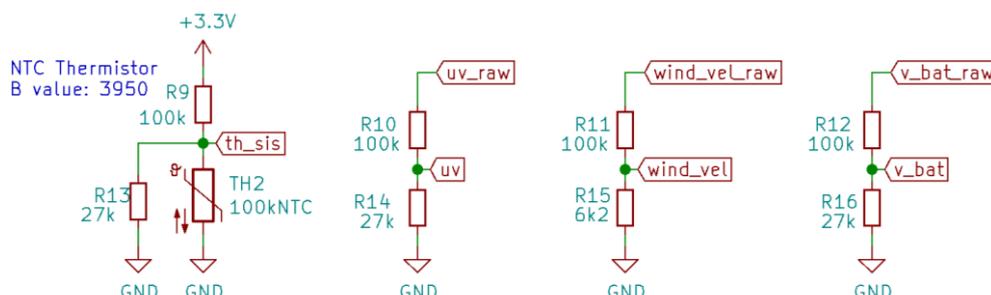


Fig. N° 24. Diagrama esquemático de escalamiento de variables.

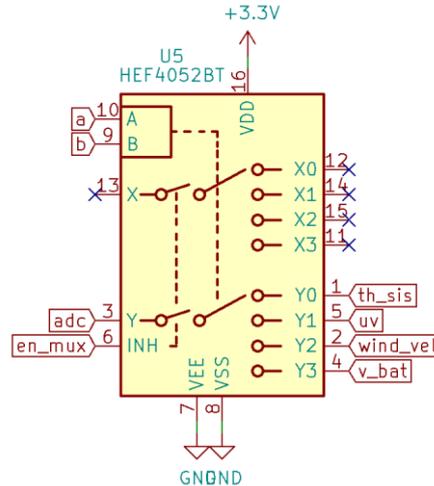


Fig. N° 25. Diagrama esquemático de la conexión del multiplexor analógico.

Como se realiza un escalamiento que reduce la tensión a ser medida luego por software, con los valores dados de resistencias se calculará el valor real del mismo si es necesario para ser mostrados de manera correcta.

Para poder seleccionar la señal que va a ser medida por el ADC del SoC ESP-12F es necesario tener en cuenta la tabla de verdad del multiplexor utilizado, que es mostrada en la Tabla 2.

Table 3. Function table^[1]

Input			Channel on
E	S2	S1	
L	L	L	nY0 to nZ
L	L	H	nY1 to nZ
L	H	L	nY2 to nZ
L	H	H	nY3 to nZ
H	X	X	switches off

[1] H = HIGH voltage level;
L = LOW voltage level;
X = don't care.

Tabla 2. Tabla de verdad del multiplexor HEF4051B [6].

Temperatura del Sistema

Para poder medir la temperatura del sistema interna en donde se encuentra el PCB, se decide utilizar un termistor tipo NTC (Negative Temperature Coeficient).

Como se ha mencionado anteriormente la tensión máxima que puede recibir el ADC del SoC ESP-12F es de 1V, por lo que se ha diseñado un circuito, como se muestra en la Fig. 26, permitiendo utilizar de manera correcta el termistor.

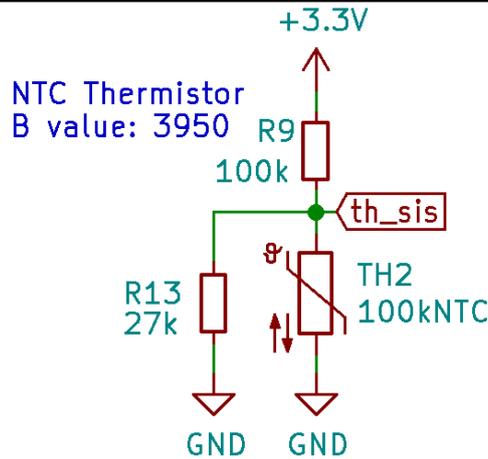


Fig. N° 26. Diagrama esquemático del termistor NTC.

Para que el sistema se apague por temperaturas extremas se decide establecer la temperatura máxima igual a 65°C, y la mínima de -20°C.

La resistencia del termistor para ambas temperaturas mencionadas queda como se muestra a continuación en las ecuaciones Ecu. 11 y Ecu. 12 utilizando la ecuación vista previamente en la Ecu. 4.

$$R_{NTC(65^{\circ}C)} = 100000 * e^{3950 * \left(\frac{1}{338} - \frac{1}{300}\right)} = 22.76k\Omega \quad (\text{Ecu. 11})$$

$$R_{NTC(-20^{\circ}C)} = 100000 * e^{3950 * \left(\frac{1}{253} - \frac{1}{300}\right)} = 1.15M\Omega \quad (\text{Ecu. 12})$$

Entonces el ADC del SoC ESP-12F deberá medir a 65°C y a -20°C lo planteado en las ecuaciones Ecu. 14 y Ecu. 16 respectivamente.

$$\text{Paralelo inferior a } 65^{\circ}C = \left(\frac{27k\Omega * 22.76k\Omega}{27k\Omega + 22.76k\Omega}\right) = 12.35k\Omega \quad (\text{Ecu. 13})$$

$$th_{sis(65^{\circ}C)} = 3.3V * \frac{12.35k\Omega}{12.35k\Omega + 100k\Omega} = 0.363V \quad (\text{Ecu. 14})$$

$$\text{Paralelo inferior a } -20^{\circ}C = \left(\frac{27k\Omega * 1.15M\Omega}{27k\Omega + 1.15M\Omega}\right) = 26.38k\Omega \quad (\text{Ecu. 15})$$

$$th_{sis(-20^{\circ}C)} = 3.3V * \frac{26.38k\Omega}{26.38k\Omega + 100k\Omega} = 0.689V \quad (\text{Ecu. 16})$$

$$\text{Paralelo inferior a } 25^{\circ}C = \left(\frac{27k\Omega * 100k\Omega}{27k\Omega + 100k\Omega}\right) = 21.26k\Omega \quad (\text{Ecu. 17})$$

$$th_{sis(25^{\circ}C)} = 3.3V * \frac{21.26k\Omega}{21.26k\Omega + 100k\Omega} = 0.579V \quad (\text{Ecu. 18})$$

COMUNICACIÓN USB-UART

Para la comunicación tipo serial entre el SoC ESP-12F y la computadora (o smartphone), se utiliza el circuito integrado CH340G. Además de la comunicación este circuito también permite la programación del SoC ESP-12F haciendo que sea mucho más simple de depurar el firmware.

En la Fig. 27 se muestra el diagrama esquemático de la configuración de componentes que se utilizan para que el circuito integrado CH340G funcione de manera correcta. Este circuito se ha diseñado teniendo en cuenta el diagrama de aplicación típica de la hoja de datos del mismo.

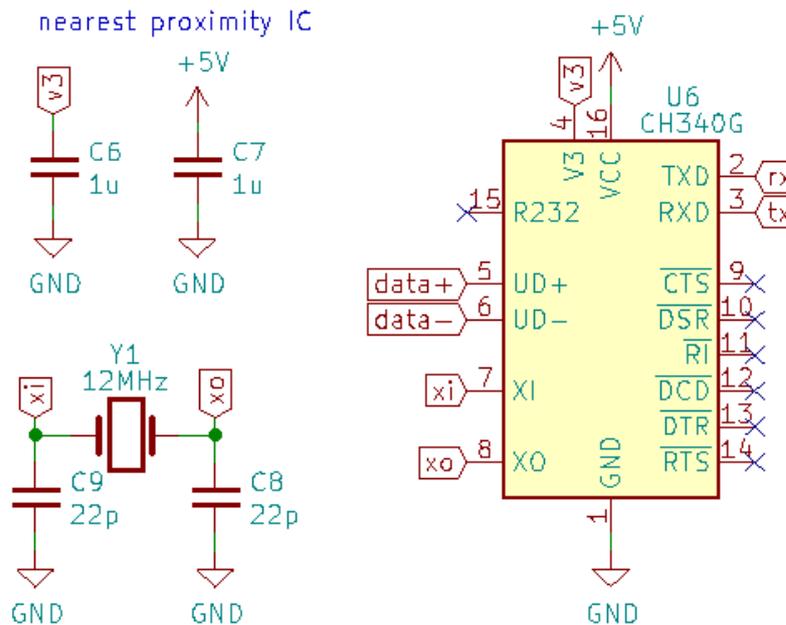


Fig. N° 27. Diagrama esquemático de la conexión del conversor USB-Serie.

CONFIGURACIÓN SOC ESP-12F

A continuación, en la Fig. 28, se muestra el diagrama esquemático de la configuración de pines del SoC ESP-12F y además otros componentes que sirven para realizar ciertas funciones, como un botón de reinicio y un botón que activa el modo programación (flash).

Además, se ha agregado un capacitor que permite suministrar la corriente necesaria para cuando el SoC ESP-12F se conecte con algún punto de acceso WiFi.

Diagrama de flujo

A continuación, en la Fig. 29 se muestra el diagrama en flujo presente en el firmware del SoC ESP-12F.

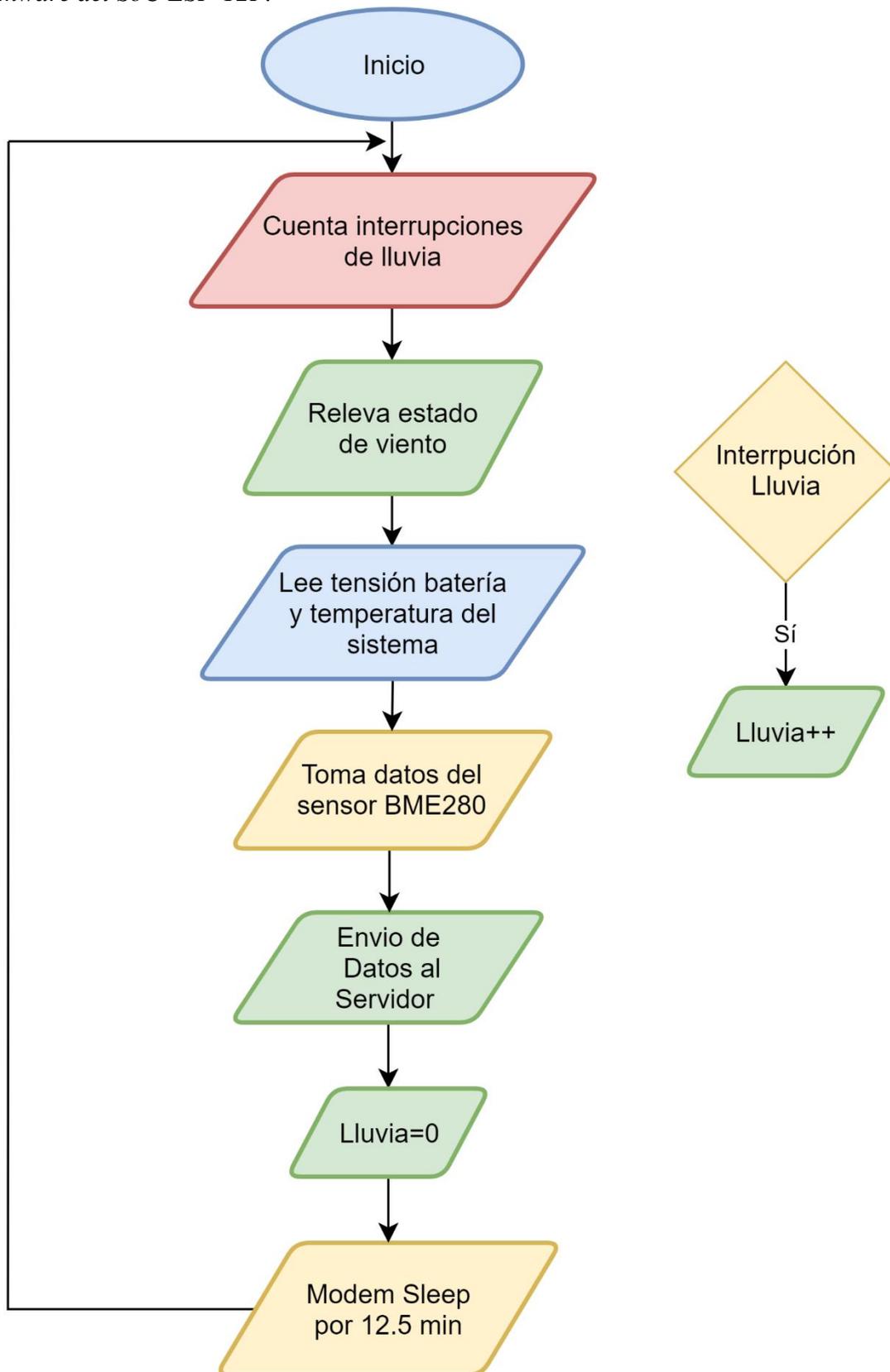


Fig. N° 29. Diagrama de flujo del sistema.

Evaluación Final del Sistema

Preparación del prototipo con materiales finales

El diagrama esquemático y el layout del prototipo se ha diseñado en el software KiCAD V5.19, se puede observar en la Fig. 30 y en el Anexo I el diseño del layout terminado y el esquemático completo del sistema respectivamente.

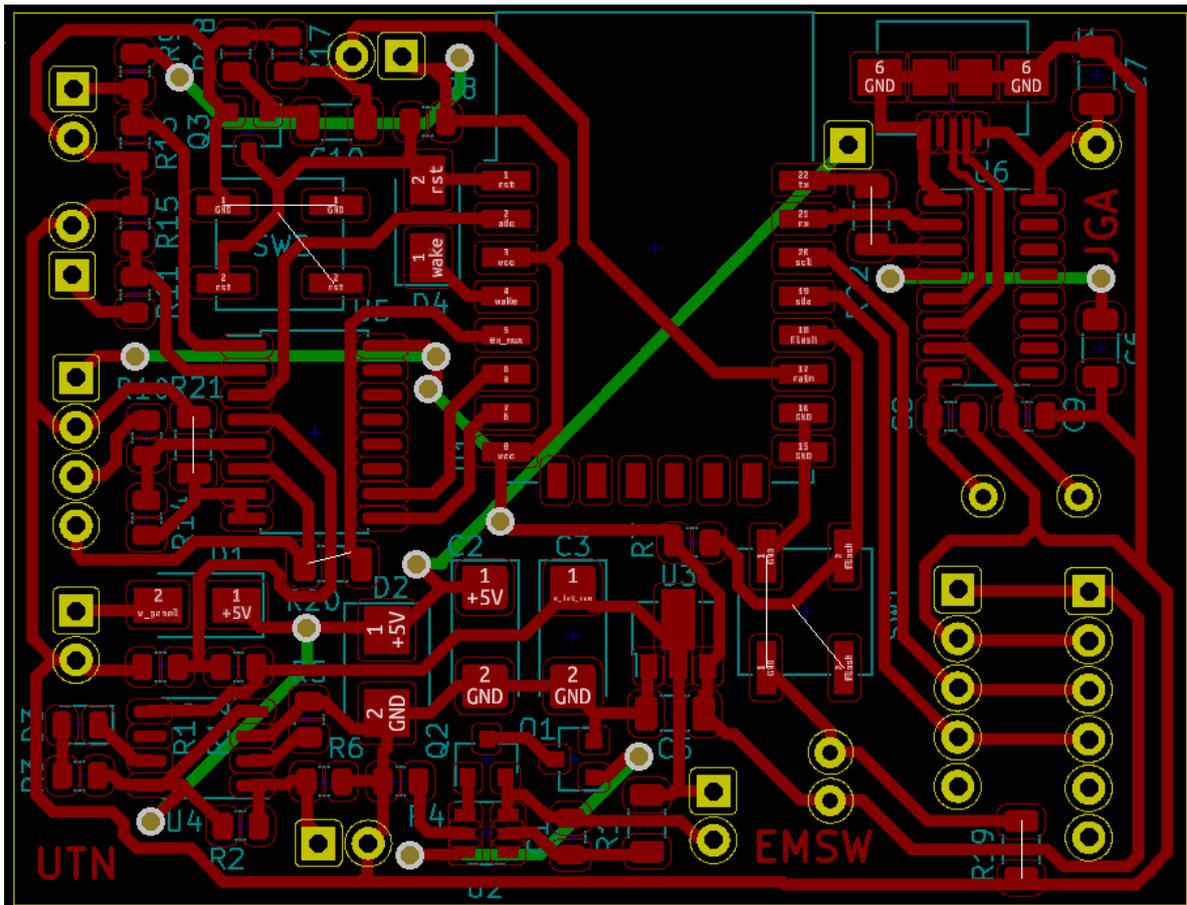


Fig. N° 30. Layout del PCB del sistema.

Luego del diseño del layout del sistema se procede con la impresión del circuito en una hoja de papel fotográfico para luego ser transferido a una placa de cobre virgen, en este caso simple faz, mediante una plancha común de tipo hogareña como se muestra en la Fig. 31.

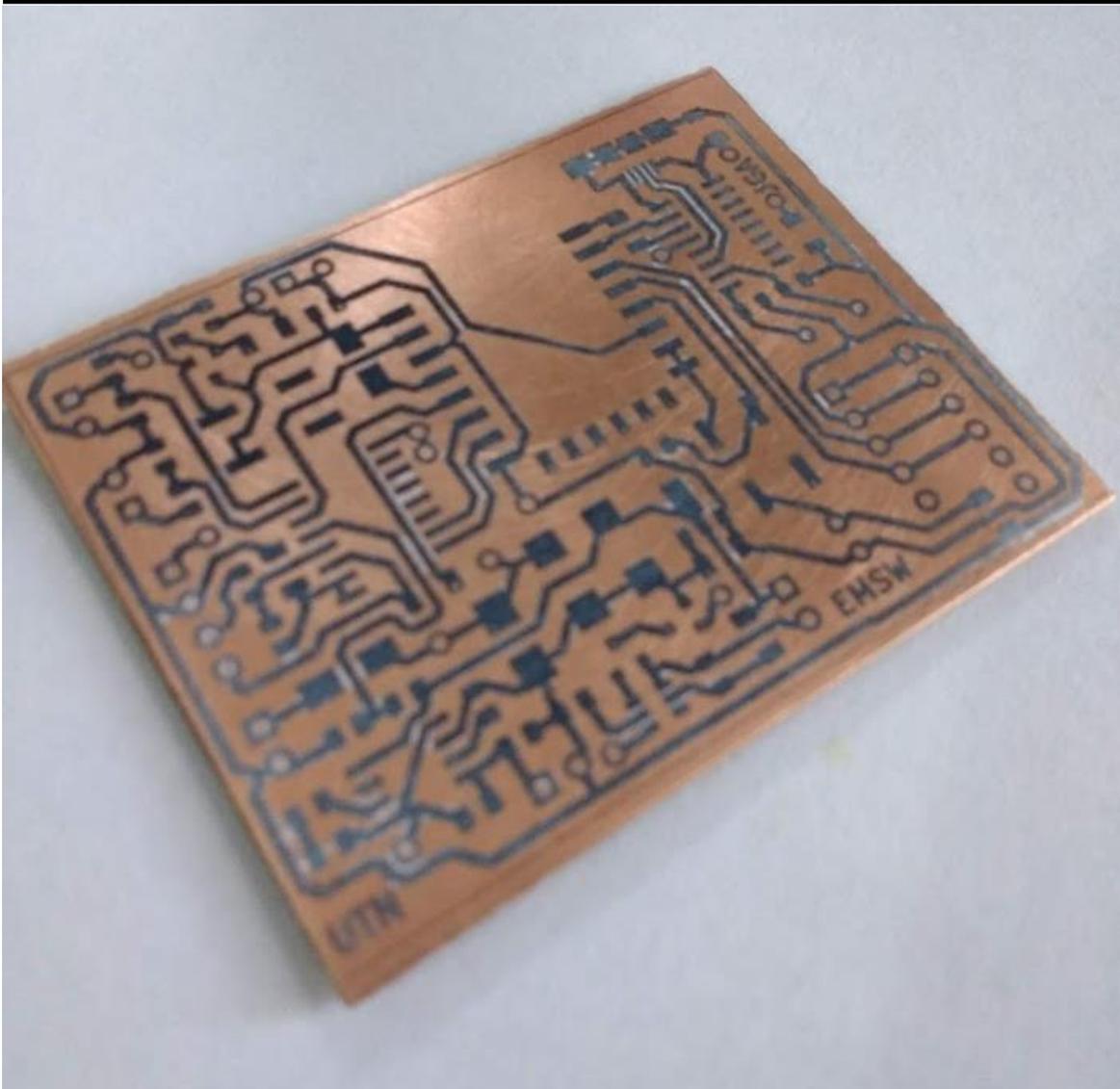


Fig. N° 31. Post planchado del PCB.

Una vez terminado el proceso de transferencia del circuito mediante el método clásico del planchado, se procede a sumergir la placa en cloruro férrico hidratado para que éste remueva el cobre no necesario permitiendo que solo quedan las pistas útiles del circuito diseñado. Este proceso se puede observar en la Fig. 32.

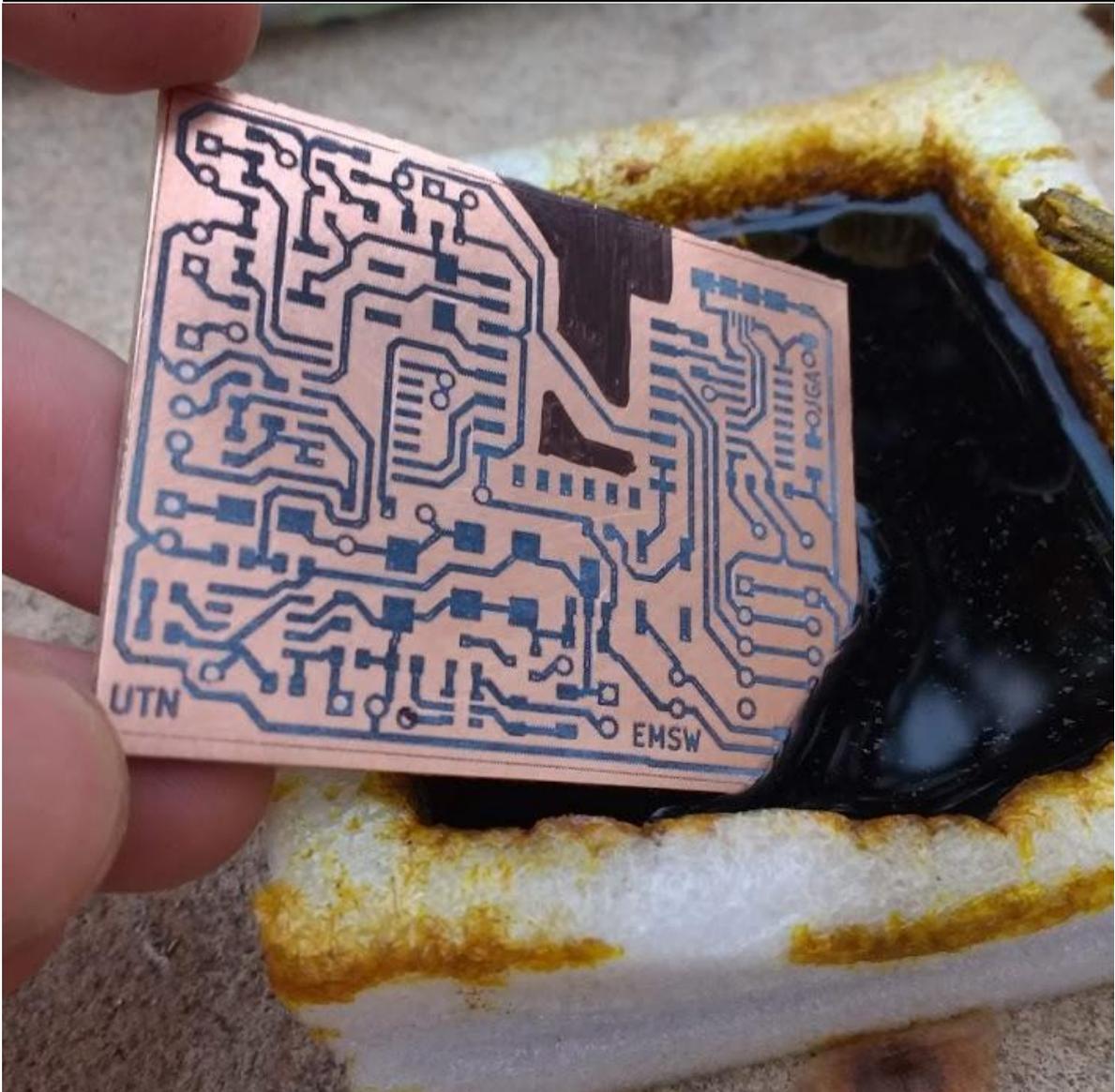


Fig. N° 32. *Introducción al cloruro férrico hidratado del PCB.*

Ya finalizado el proceso de corrosión del cobre mediante el uso del cloruro férrico, se ha limpiado el excedente de la sustancia con agua y se ha quitado el papel sobrante del PCB como se muestra en la Fig. 33, de esta manera quedando listo para su montaje final.

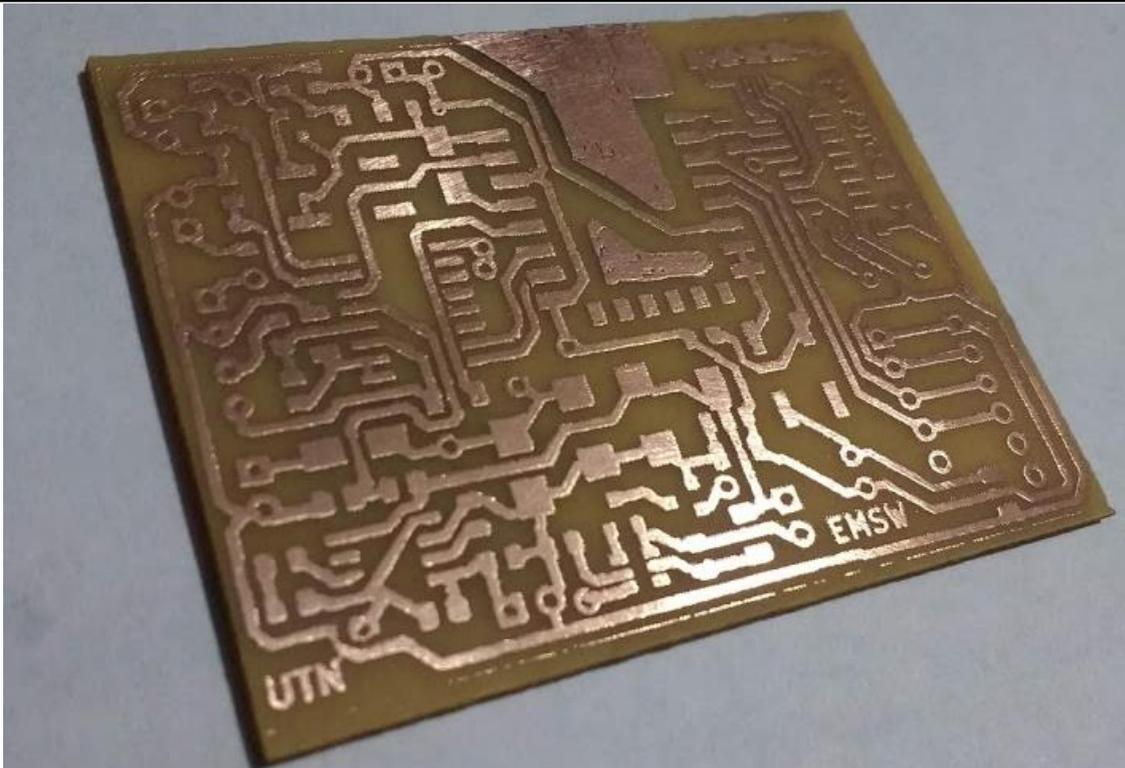


Fig. N° 33. PCB listo para la instalación de componentes.

Montaje y ensayo real del prototipo

Primeramente, se han montado los componentes necesarios para poder probar el funcionamiento del SoC ESP-12F, tales como el regulador de tensión y el IC CH340G para la programación y control del mismo, como se muestra en la Fig. 34.

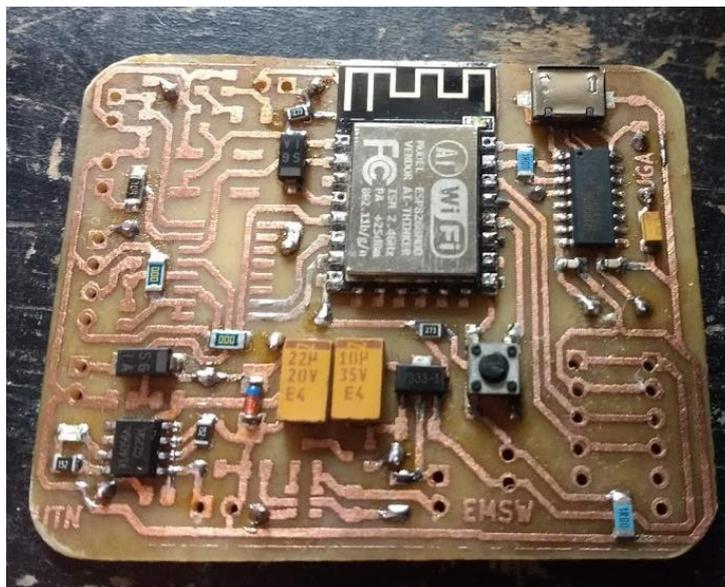


Fig. N° 34. Primer montaje del PCB del sistema.

A continuación, se ha conectado el PCB al puerto USB de una computadora portátil para poder probar el funcionamiento y realizar mediciones generales con el multímetro y pruebas de comunicación con una terminal de monitor serial.



Fig. N° 35. Primeras pruebas del primer montaje del PCB.

Luego de ejecutar las pruebas con el PCB montado con los componentes básicos, se ha procedido a realizar el montaje completo del mismo. En las Fig 36 y Fig. 37 se muestran las imágenes trasera y delantera del PCB respectivamente.



Fig. N° 36. Vista trasera del PCB del sistema.

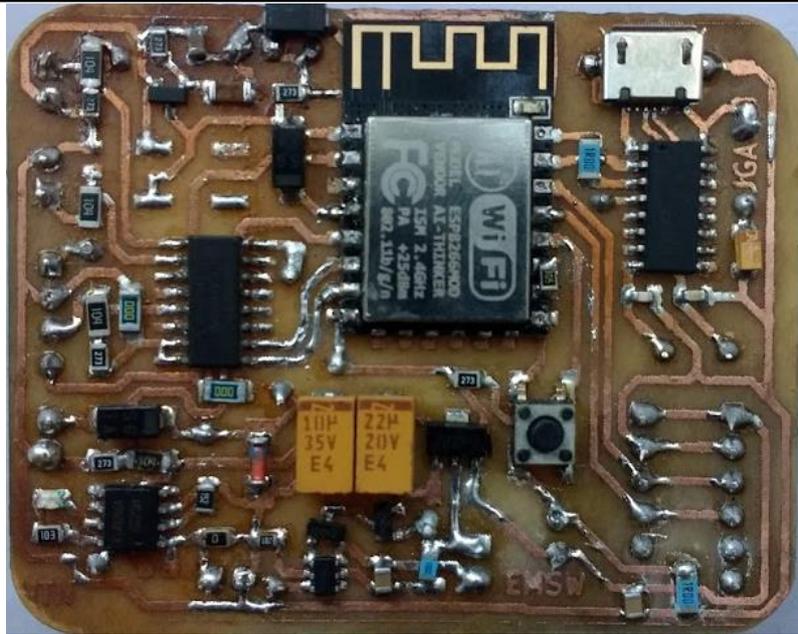


Fig. N° 37. Vista delantera del PCB del sistema.

Al finalizar el montaje del PCB del sistema, se ha procedido a realizar las primeras pruebas con el multiplexor HEF4052B y luego con los pines del detector de lluvia, resultando un éxito ambas pruebas.

La corriente promedio consumida por el sistema es de aproximadamente 17mA, permitiendo una autonomía mayor a 2 días como se muestra en la Ecu. 20.

Como se muestra en la Fig. 13 (gráfico de descarga de una batería de iones litio), y como se supone que tiene la mitad de la capacidad, se estimará que el sistema utiliza un 80% de la energía disponible antes de caer por debajo de los 3.4V. Por lo que se tomará que la capacidad útil de la batería es de aproximadamente 1000mAh.

$$\text{Capacidad útil} = 1300\text{mAh} * 0.8 \approx 1000\text{mAh} \quad (\text{Ecu. 19})$$

$$\text{Autonomía} \approx \frac{1000\text{mAh}}{17\text{mA}} = 58.82 \text{ horas} = 2.45 \text{ días} \quad (\text{Ecu. 20})$$

La construcción del anemómetro ha sido principalmente hecha con impresiones en 3D con plástico tipo PLA. Como se puede observar en la Fig. 38 se ha diseñado un cubre generador con dos agujeros de agarre.

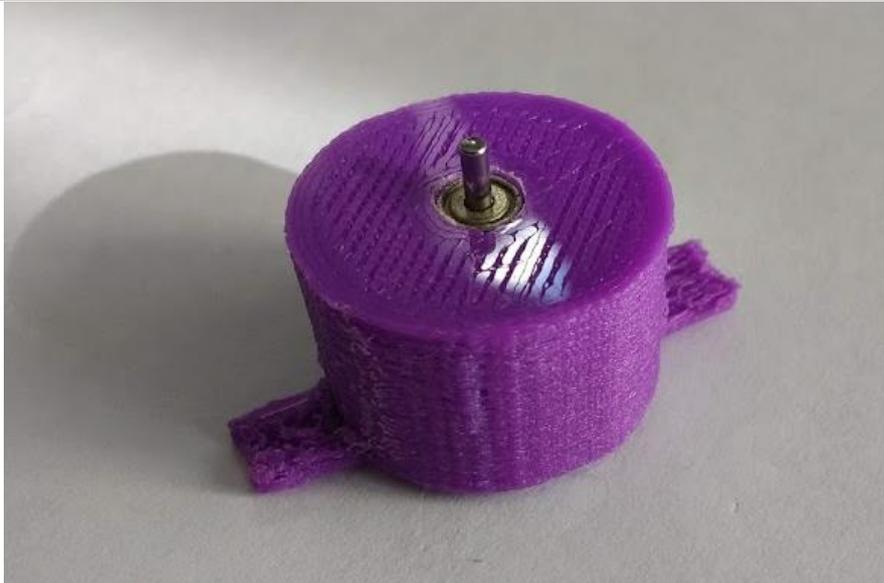


Fig. N° 38. *Generador listo para montaje*

Luego se han impreso más estructuras y se ha realizado el armado completo del anemómetro, como se puede apreciar en la Fig. 39.



Fig. N° 39. *Anemómetro listo para ser colocado en la caja estanca.*

La construcción del pluviómetro también ha sido realizada mediante varias impresiones en 3D con PLA.

Primeramente, se ha impreso el balancín (bucket) como se muestra en la Fig. 40. Luego se han colocado las demás piezas impresas sobre un plástico reciclado plano, en conjunto con silicona caliente para poder fijarlas en su correcto lugar, ya que era necesario calibrar la distancia del sensor magnético tipo “reed” para que detecte el pulso de manera adecuada.

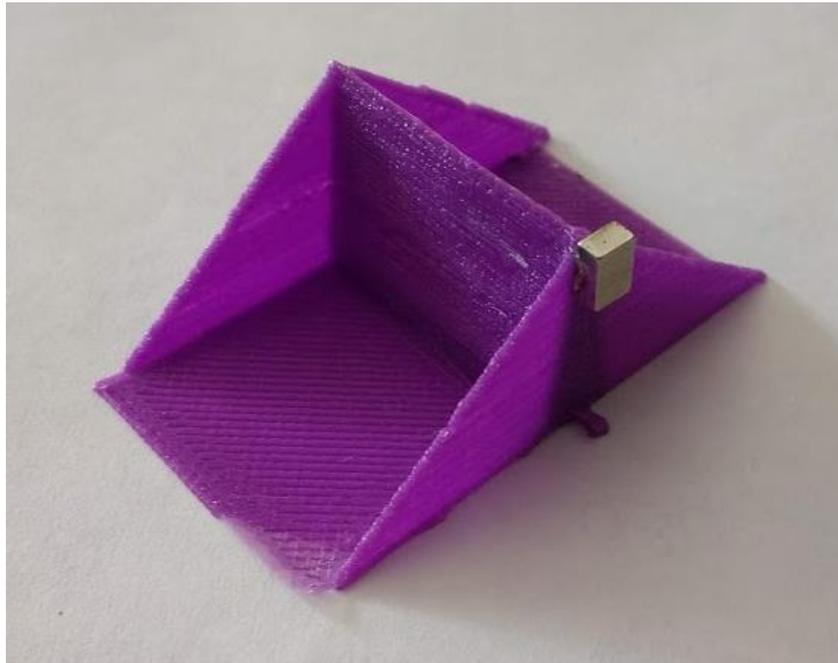


Fig. N° 40. Bucket del pluviómetro.

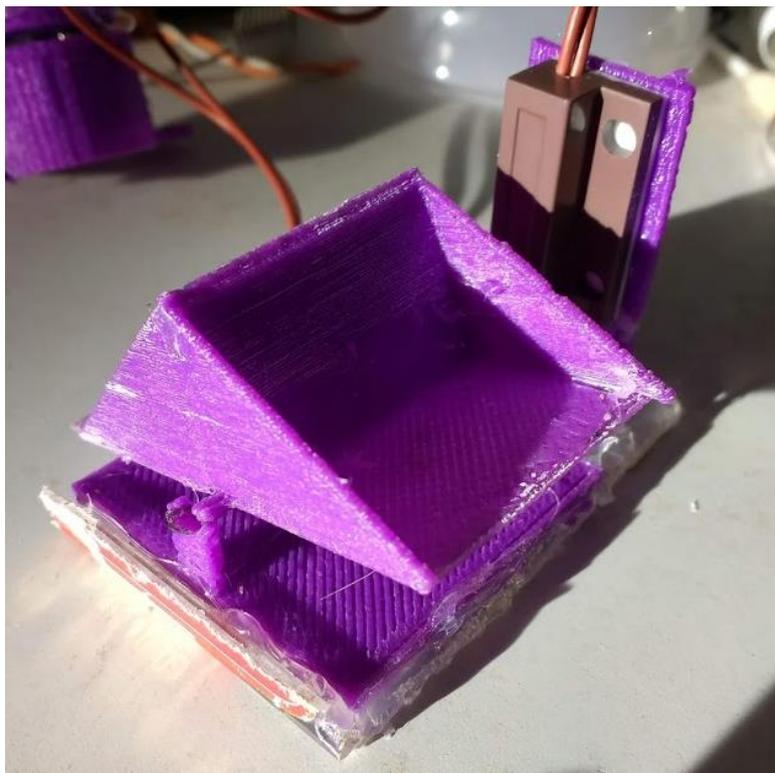


Fig. N° 41. Sistema interno del pluviómetro listo para montaje final.

Se ha elegido un recipiente cilíndrico de plástico reciclado para poder contener al sistema interno del pluviómetro, también observable en la Fig. 42. Se puede denotar que se han realizados agujeros en la parte inferior del mismo, para que el agua de lluvia drene, y, se ha colocado un tornillo con tuercas para poder fijar el sistema interno del pluviómetro.



Fig. N° 42. Recipiente del pluviómetro con tornillo de montaje.

Además, el recipiente del pluviómetro lleva en su sector superior un embudo circular también impreso en 3D, esto se puede apreciar en la Fig. 44.

Para poder calcular la cantidad de agua en milímetros de altura de lluvia que ha caído, se procede utilizando las siguientes ecuaciones.

$$\text{Volumen}_{\text{cilindro}} = \pi * R^2 * h \quad (\text{Ecu. 21})$$

En la calibración de la cantidad de agua se ha utilizado una jeringa descartable como elemento de medición, dando como resultado que es necesario un volumen aproximadamente igual a 4cm^3 para que el sistema cierre la llave magnética de manera correcta. Y sabiendo que el radio del embudo utilizado es de 38mm , entonces:

$$h = \frac{\text{Volumen}}{\pi * R^2} = \frac{4\text{cm}^3}{\pi * (3.8\text{cm})^2} \approx 1\text{mm} \quad (\text{Ecu. 22})$$



Fig. N° 43. Recipiente del pluviómetro con tornillo de montaje.



Fig. N° 44. *Primeras pruebas simulando lluvia resultando exitosas.*

Presentación final del prototipo

Finalmente se realizó el ensamblado del sistema comenzando por el anemómetro en conjunto con la caja estanca en la cual irá el circuito impreso con la batería.

El anemómetro posteriormente es pintado de color negro para una mejor terminación.



Fig. N° 45. Ensamblado del anemómetro en caja estanca.

Luego del ensamblaje visto previamente, se han reciclado dos hierros y se han lijado y pintado (visto en el anexo III) para hacer la estructura de la central meteorológica, con la cual puede ser anclada a la tierra o atornillada a una pared o a un techo.

Como se observa a continuación en la Fig. 46, se ha ensamblado el sistema casi de manera completa (faltando el PCB y el panel solar) como una prueba estructural dando buenos resultados.



La caja estanca y el anemómetro han sido atornillados a la barra de hierro horizontal, y el pluviómetro ha sido fijado mediante el uso de presintos plásticos en una base de hierro atornillada a la barra horizontal (también visto en el anexo IV).

Luego se han realizado pruebas de alcance WiFi con el circuito, donde intensidad de la señal no fue suficientemente fuerte para que el PCB se conecte a la red, por lo que más adelante se cambió de posición (visto en la Fig. 47).



Fig. N° 46. Primer montaje de prueba para el sistema.



Fig. N° 47. Montaje final del sistema.

A continuación, en la Fig. 48 se aprecia el sistema final montado de manera completa funcionando exitosamente.



Fig. N° 48. Montaje final del sistema (vista frontal).

En las siguientes figuras se muestra como son visualizados los datos en la página web.



Fig. N° 49. Visualización en la página web de los datos relevados por el sistema.

AugsWeather Inicio Gráficos Img Satelital Registros Históricos Contacto Pagina en construcción...

Noetinger Córdoba Argentina (EN MANTENIMIENTO) **TEMPERATURA CRÍTICA INTERNA** 14/07/21 20:33:23
Ultima actualización: 2021-07-14 20:33:05

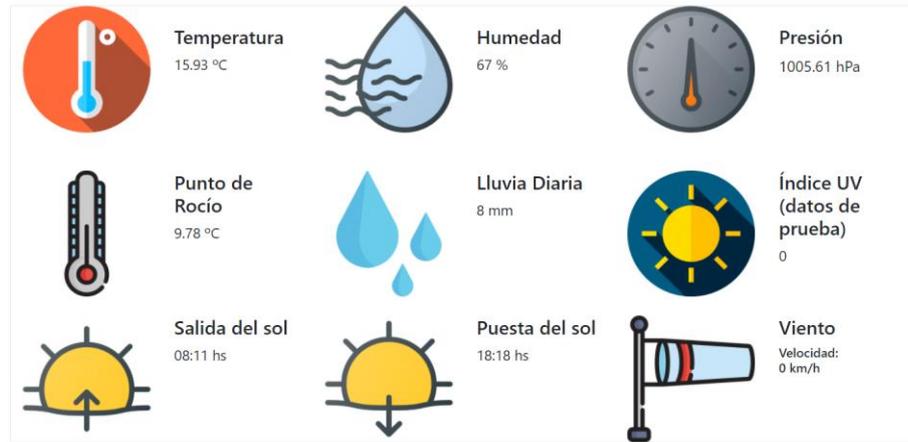


Fig. N° 50. Aviso online de temperatura crítica.

AugsWeather Inicio Gráficos Img Satelital Registros Históricos Contacto Pagina en construcción...

Noetinger Córdoba Argentina (EN MANTENIMIENTO) **NIVEL DE BATERÍA BAJO** 14/07/21 20:40:10
Ultima actualización: 2021-07-14 20:38:24



Fig. N° 51. Aviso online de tensión de batería baja.



Conclusiones

Ha sido un proyecto en donde se han utilizado gran variedad de conceptos de muchas áreas, siempre teniendo en cuenta el objetivo de reutilizar y reciclar la mayor cantidad de componentes posibles.

Se ha aprendido mucho en contenidos como el diseño de circuito y del layout del PCB mediante la utilización de software tipo open source, también en el manejo de componentes de montaje superficial, permitiendo menores consumos energéticos y menor tamaño de placa. Además, se han adquirido nuevos conocimientos al diseñar y poner en funcionamiento sistemas mecánicos para ser impresos en 3D mediante el uso de plástico de tipo PLA.

Fue una experiencia muy interesante y productiva haber podido realizar este proyecto final.

Hay que tener en cuenta que al ser un sistema alimentado por energía solar y que se han reutilizado muchos componentes es un sistema sustentable con respecto al medio ambiente.

El sistema completo finalmente funcionó de manera adecuada, dando muy buenos resultados al combinarse la electrónica con la parte electromecánica, como el anemómetro y pluviómetro.



Bibliografía

- [1] Thomas L. Floyd, *Fundamentos de Sistemas Digitales*; 9^o edición; Traducción Vuelapluma, PRENTICE HALL, 2001.
- [2] AI Thinker Co., ESP866 ESP-12F datasheet, https://docs.ai-thinker.com/_media/esp8266/docs/esp-12f_product_specification_en.pdf, Rev: 20-5-2021.
- [3] Top Power ASIC Corp., TP4056 datasheet, <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/1132405/ASIC/TP4056.html>, Rev: 20-5-2021.
- [4] HSEMI, DW01A datasheet, <http://hmsemi.com/download/DW01A.PDF>, Rev: 20-5-2021.
- [5] HOLTEK, HT7333 datasheet, <https://www.angeladvance.com/HT73xx.pdf>, Rev: 22-5-2021.
- [6] Nexperia, HEF4052B datasheet, <https://assets.nexperia.com/documents/datasheet/HEF4052B.pdf>, Rev: 23-5-2021.
- [7] Panasonic, Overcharge/Overdischarge/Overcurrent Safety Circuits for Lithium-Ion Batteries, June 2007, <https://industrial.panasonic.com/cdbs/ww-data/pdf/ACA4000/ACA4000PE4.pdf>, Rev: 25-5-2021.
- [8] WCH & DreamCity Innovations, CH340G datasheet, <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/1132618/ETC2/CH340G.html>, Rev: 25-5-2021.
- [9] Rui Guo, Languang Lu, Minggao Ouyang & Xuning Feng, Mechanism of the entire overdischarge process and overdischarge-induced internal short circuit in lithium-ion batteries, <https://www.nature.com/articles/srep30248>.
- [10] MICRO POWER, Safety Circuit Qualification and Testing for Li-Ion Batteries, https://batterypoweronline.com/images/PDFs_articles_whitepaper_appros/MPE_LiIonSafety.pdf, Rev: 30-5-2021.
- [11] BOSCH, BME280 datasheet (Digital humidity, pressure and temperature sensor), <https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf>, Rev: 30-5-2021.
- [12] Advanced Monolithic Systems Inc. (AMS), TC4056A datasheet, <https://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/1132360/ADMOS/TC4056A.html>, Rev: 1-6-2021.
- [13] V Pop, H J Bergveld, P H L Notten, and P P L Regtien, State-of-the-art of battery
-



state-of-charge

determination,

https://www.researchgate.net/publication/228624305_State-of-the-art_of_battery_state-of-charge_determination.

[14] Richtek Technology, Designing Applications with Li-ion Batteries, <https://www.richtek.com/battery-management/en/designing-liion.html>, Rev: 5-6-2021.

[15] CONSONANCE, CN3162 IC, <http://www.consonance-elec.com/pdf/datasheet/DSE-CN3162.pdf>, Rev: 15-6-2021.

Anexo I

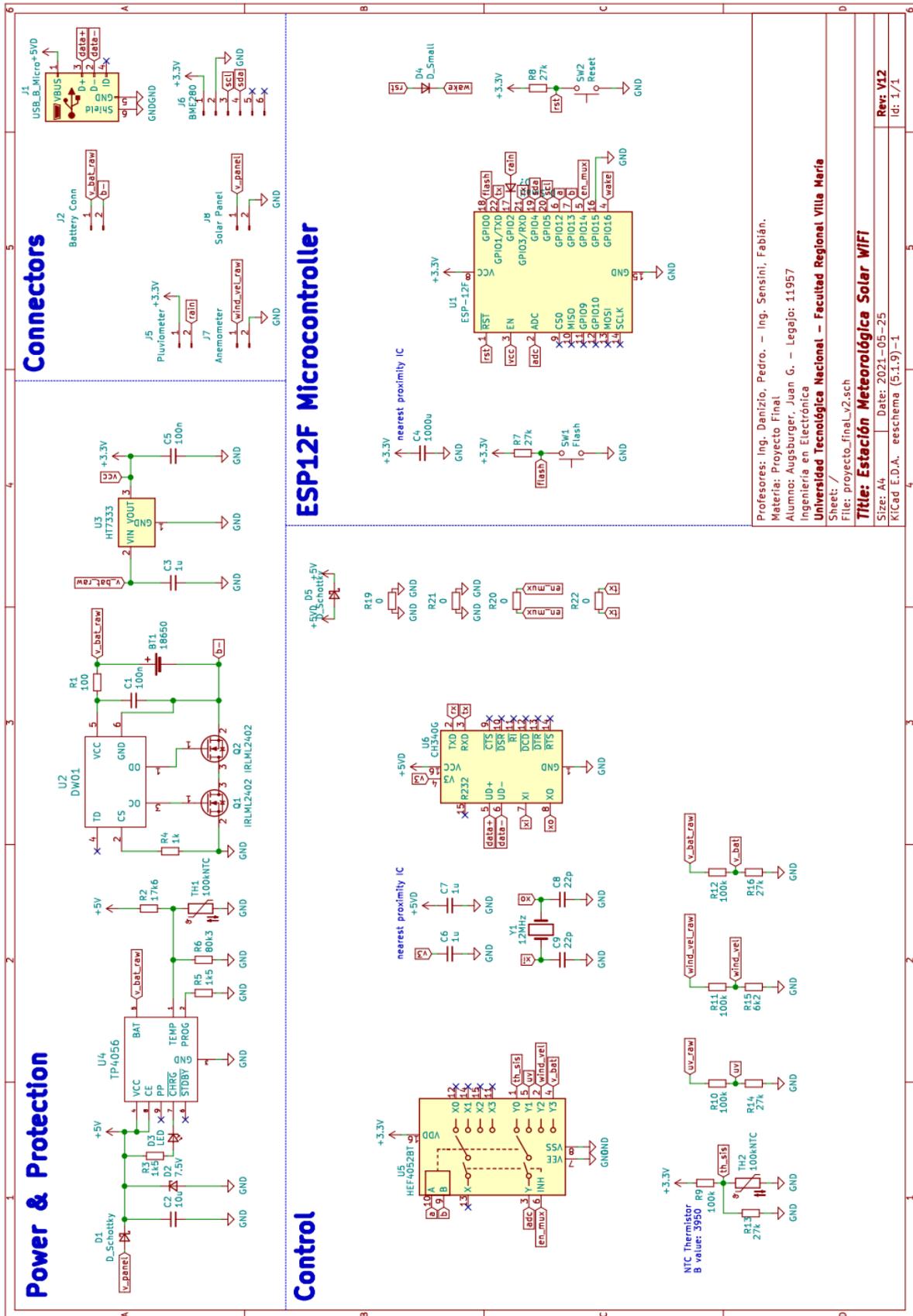


Fig. N° 52. Diagrama esquemático del PCB del sistema principal.

Anexo II

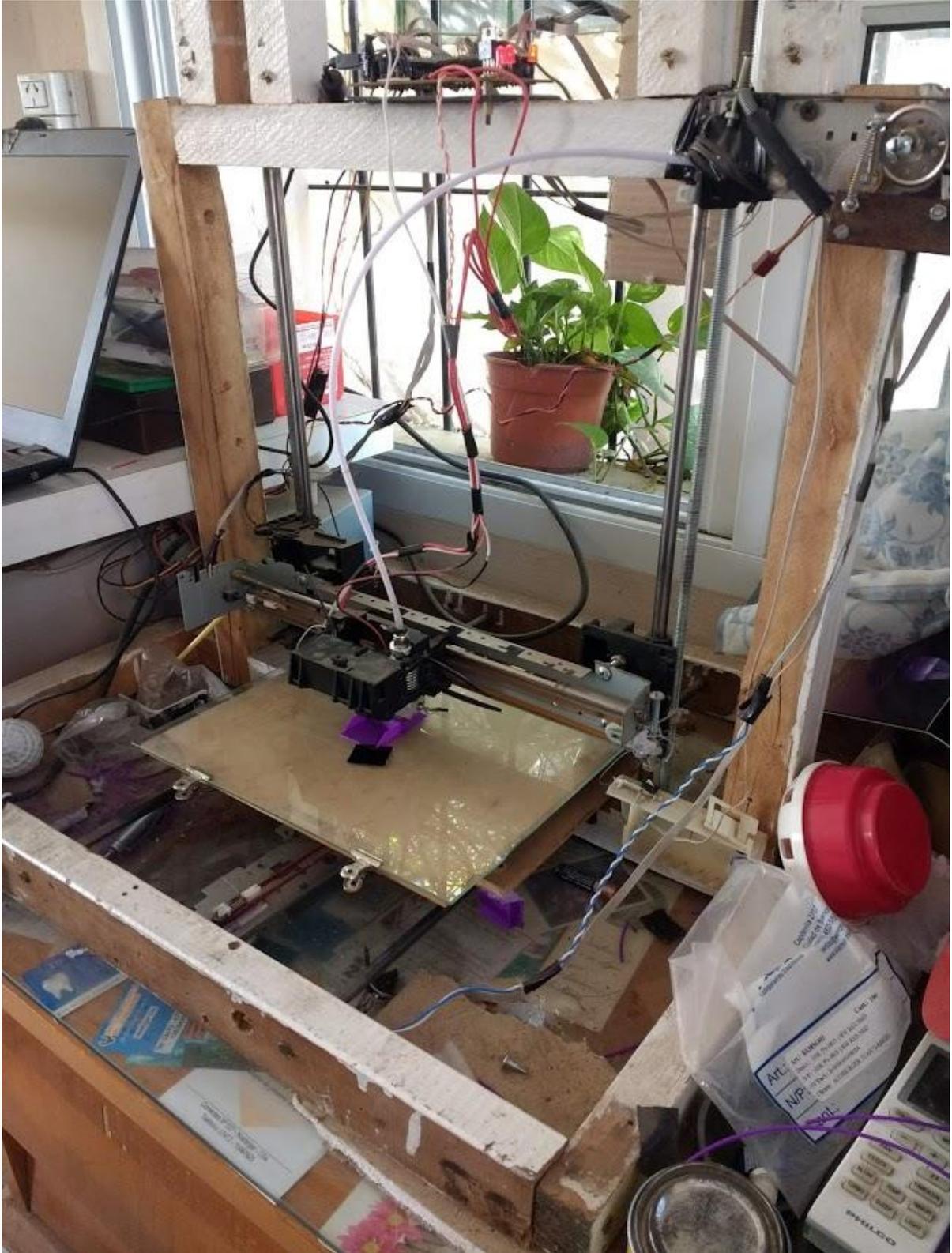


Fig. N° 53. Impresión 3D del balancín del pluviómetro en curso.

Anexo III



Fig. N° 54. Proceso de pintado a la estructura de hierro del sistema.



Anexo IV



Fig. N° 55. *Montaje del pluviómetro a la barra de hierro horizontal.*



Anexo V



Fig. N° 56. Sector central del sistema ensamblado correctamente.

Anexo VI



Fig. N° 57. Sensor BME280 (en el recuadro rojo) montado y fijado mediante silicona.