



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Villa María
Ingeniería Electrónica

Alimentador de mascotas WiFi

Autor/es:

Chanquía, Agustín Emanuel

Milio Bossa, Gisel Anahí

Tutor: Ing. Electrónico José Luis Catalano

Director: Ing. Electrónico Fabián Marcelo Sensini

Co-Director: Esp. Ing. Electricista-Electrónico Héctor Diego Ferrari

Fecha de Defensa: 24/05/2024





Dedicatorias

A nuestros seres queridos y a todas las personas que brindaron su apoyo durante el camino transitado.



Agradecimientos

A la Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Villa María y sus profesores por darnos las herramientas necesarias para convertirnos en profesionales.



Resumen

En el presente informe se detalla el diseño e implementación de un dispensador de alimento balanceado y fuente de agua para mascotas. El mismo es programable por medio de una aplicación celular y cuenta con una batería recargable.

El dispositivo es comandado por el microcontrolador ATMEGA-328P, el cual se comunica mediante protocolo serie con el ESP-12F, quien se encarga de establecer una conexión a internet mediante WiFi, permitiendo transmitir y recibir datos utilizando el protocolo de comunicación MQTT, controlando así el dispositivo desde cualquier parte del mundo.

El dispensador puede ser programado con un máximo de tres horarios distintos por día, permitiendo elegir entre los diferentes días de la semana que se quiere dispensar alimento, siendo cinco la cantidad máxima de porciones por configuración.

El dispositivo cuenta con sensores de nivel en las reservas de agua y alimento, los cuales sirven para generar notificaciones que avisan al usuario mediante la aplicación cuando es necesario realizar una recarga.

El dispositivo cuenta con dos fuentes de alimentación, una principal y una de respaldo. La alimentación principal consta de una fuente AC/DC que alimenta el circuito principal y carga las baterías. Como fuente de respaldo se utiliza una batería recargable la cual garantiza la alimentación del sistema en caso de cortes de luz por tiempos prolongados.

Palabras claves: WiFi, MQTT, Alimentador, IoT.

Abstract

This report details the design and implementation of a balanced food dispenser and water fountain for pets. It is programmable through a cellular application and has a rechargeable battery.

The device is controlled by the ATMEGA-328P microcontroller, which communicates via serial protocol with the ESP-12F, that is responsible for establishing an internet connection through WiFi, allowing data to be transmitted and received using the MQTT communication protocol, thus controlling the device from anywhere in the world.

The dispenser can be programmed with a maximum of three different times per day, allowing the user to choose between the different days of the week. The maximum number of portions per configuration is five.

The device has level sensors in the water and food reserves, which serve to generate notifications that notify the user through the application when it is necessary to recharge.

The device has two power supplies, one main and one backup. The main power consists of an AC/DC source that powers the main circuit and charges the batteries. A rechargeable battery is used as a backup source, which guarantees power to the system in case of power outages for long periods of time.

Keywords: WiFi, MQTT, Feeder, IoT.



ÍNDICE

Título	Página
Dedicatorias	3
Agradecimientos	4
Resumen	5
Abstract	5
1. Introducción	8
1.1 Objetivos.....	8
1.2 Análisis de sistemas existentes.....	8
2. Descripción de las actividades del proyecto	10
3. Comunicación y control del dispositivo mediante WiFi	10
3.1 Adaptador WiFi.....	10
3.2 Circuito de control.....	11
3.3 Diagrama de bloques.....	12
3.4 Comunicación entre microcontroladores.....	13
3.4.1 Formato de trama UART.....	13
3.4.2 Level shifter.....	14
3.5 Desarrollo sobre ESP-12F.....	14
3.5.1 Indicador de conexión.....	14
3.5.2 Reseteo de credenciales.....	15
3.5.3 Envío y recepción de datos.....	15
3.5.4 Diagrama de flujo ESP-12F.....	16
3.6 Desarrollo sobre ATMEGA-328P.....	16
3.6.1 Envío y recepción de datos.....	16
3.6.2 Control de fecha y hora.....	17
3.6.2.1 Registros del RTC-1307.....	17
3.6.2.2 Comunicación con el controlador.....	18
3.6.3 Guardado de información.....	19
3.6.4 Sensado de niveles.....	19
3.6.4.1 Sensor infrarrojo.....	20
3.6.4.2 Sensor de nivel de agua en reserva.....	20
3.6.5 Bomba de Agua.....	21
3.6.6 Control de motor paso a paso.....	22
3.6.6.1 Motor NEMA 17.....	22
3.6.6.2 Driver DRV8825.....	22
3.6.6.3 Limitador de corriente.....	24
3.6.7 Diagrama de flujo.....	25
3.7 Diseño de placa.....	26



4. Aplicación móvil.....	26
4.1 Comunicación en IoT.....	26
4.1.1 Características del protocolo MQTT.....	27
4.1.2 Broker.....	28
4.1.3 Trama de mensaje MQTT.....	28
4.1.4 Servidor utilizado.....	28
4.2 Desarrollo de la aplicación.....	29
5. Respaldo de energía.....	33
5.1 Ciclo de carga de una batería.....	33
5.2 Cargador de batería.....	34
5.2.1 Carga de batería en standby.....	34
5.3 Diagrama de bloques.....	35
5.3.1 Limitador de corriente.....	36
5.3.2 Regulación a voltaje de carga de batería.....	36
5.3.3 Selector de alimentación.....	37
5.3.4 Protección por sobredescarga.....	37
5.3.5 Regulación a 5V.....	38
5.3.6 Regulación a 3.3V.....	40
5.3.7 Indicador de carga.....	40
5.3.8 Sensado de alimentación de red.....	41
5.4 Diseño de placa.....	42
6. Diseño de piezas mecánicas.....	42
7. Evaluación Final del Sistema.....	43
7.1 Análisis de la autonomía del sistema.....	44
7.2 Prototipo final.....	45
8. Conclusiones.....	47
9. Bibliografía.....	48
10. Anexo A - ESP-12F.....	50
11. Anexo B - ATmega-328P.....	51
12. Anexo C - RTC DS-1307.....	52
13. Anexo D - Sensor IR.....	52
14. Anexo E - Sensor flotador.....	53
15. Anexo F - Bomba de agua AD20P-0510A.....	53
16. Anexo G - Motor 17HS4402.....	54
17. Anexo H - DRV8825.....	54
18. Anexo I - Placa de sistema de control y conectividad WiFi.....	55
19. Anexo J - Placa de sistema de respaldo de energía.....	57
20. Anexo K - Módulo LM2596.....	59



1. Introducción

En la actualidad, todo lo que nos rodea está cada vez más conectado a internet, dando lugar al internet de las cosas o IoT (“Internet of Things”). El término IoT se utiliza para referirse a dispositivos conectados a Internet que posibilitan la recopilación de datos sobre su entorno. Para hacer esto, los dispositivos tienen incorporados sensores y diferentes tecnologías que le permiten almacenar e intercambiar datos por medio de internet desde cualquier parte del mundo.

Diferentes sectores como el agrícola, el automotriz o el médico buscan poco a poco ganar terreno en el uso de estas tecnologías. Uno de los que presenta un gran crecimiento en la actualidad, es el de los dispositivos electrónicos para mascotas llamado PetTech. Los principales desarrolladores de estas tecnologías se encuentran en Estados Unidos, Gran Bretaña y China, destacando que los principales consumidores de estos productos son Estados Unidos, Argentina, Brasil, India y China, ya que estos tienen una marcada población canina y felina. Una de las reconocidas empresas que se sumó recientemente a este mercado fue Xiaomi, realizando dispensadores de comida y collares inteligentes [3].

1.1 Objetivos

El presente trabajo nace con dos intenciones principales. La primera es solventar la problemática de aquellos dueños de mascotas que pasan mucho tiempo fuera del hogar, automatizando el proceso repetitivo de tener que alimentar varias veces al día a nuestra mascota. Además el dispensador procura que las mascotas reciban la alimentación recomendada por los veterinarios. Como objetivo secundario, se busca adentrarse en este sector tecnológico y que sirva como experiencia para que en un futuro se pueda desarrollar este tipo de dispositivos de forma nacional, ya que todas las opciones disponibles del mercado son importadas.

1.2 Análisis de sistemas existentes

En el mercado actual hay una amplia variedad de dispositivos con diferentes funcionalidades. A continuación se describen las principales características de algunos de ellos haciendo foco sobre los dispositivos similares al desarrollado en este proyecto ya que hasta el momento son los que cuentan con más tecnología aplicada.



NOMBRE	BATERIAS/ RECARGABLES	COMIDAS/ PORCIONES	AVISOS	CAPACIDAD	WIFI	EXTRAS	PRECIO	IMAGEN
PETLIBRO- PLAF101	SI/NO	10/12	NO	4 L	2.4 GHz	Mensaje de voz hasta 10s	86 USD*	
PETKIT-FRESH ELEMENT SOLO	SI/NO	10/10	SI	3 L	2.4 GHz	Diseño antibloqueos	99 USD*	
WOPET-FV01	SI/NO	6/20	NO	7 L	2.4 GHz 5 GHz	Mensaje de voz y cámara	170 USD*	
IPETTIE-V5	SI/NO	10/12	SI	5 L	2.4 GHz	Mensaje de voz hasta 20s	55 USD*	
CATIT-PIXI SMART FEEDER	SI/NO	12/12	SI	3 L	2.4 GHz 5 GHz	Mensaje de voz hasta 20s	134 USD**	

*Página oficial

**Amazon

Fig. N° 1. Cuadro comparativo entre las principales marcas del mercado.

Una característica común a todos es la mecánica del dispensador de alimento, utilizando un plato interno rotatorio con porciones fijas. Otra característica común, es el sistema de baterías no recargables que utilizan, no encontrando ningún dispositivo al momento en que se realizó este trabajo que tenga esta característica. Algunos dispositivos tienen la posibilidad de entregar comida indicando los gramos de la misma pero ninguno cuenta con un sistema de pesaje, por lo que no son precisos y se basan en el tamaño del grano. La opción de controlar la porción por peso fue descartada ya que la precisión en gramos que se puede lograr es despreciable frente a un sistema que entregue pequeñas porciones, permitiendo un buen control de la cantidad de comida dispensada, sin tener que agregar un sistema de pesaje el cual también incluiría un cierto error propio del sensor.

Como dato adicional, en ningún dispositivo se encontró información acerca de algún control por posibles atascos en el motor, solo algunos especifican que su diseño mecánico es anti atascos.

Otra característica a destacar de estos dispositivos es que solo dispensan alimento, ninguno de ellos incorpora algún sistema de hidratación, aunque sí se pueden encontrar en el mercado bebederos para mascotas que vienen por separado.



2. Descripción de las actividades del proyecto

Este trabajo cuenta con el desarrollo de cuatro partes principales, en las cuales se utilizaron diferentes herramientas. Estas incluyen el desarrollo del sistema de comunicación y control del dispositivo mediante WiFi (Wireless Fidelity), la implementación del sistema de respaldo de energía con su correspondiente sistema de recarga y protección, el desarrollo de la aplicación móvil la cual permite comunicarse y configurar el dispositivo y el diseño de las piezas mecánicas en 3D con las que se dispensa el alimento hacia el exterior. Cada etapa se describe detalladamente en las siguientes secciones, abordando el desarrollo específico en cada una de ellas.

3. Comunicación y control del dispositivo mediante WiFi

La mayoría de los microcontroladores económicos del mercado que cuentan con tecnología WiFi tienen un escaso número de pines de entrada/salida que pueden utilizarse para realizar acciones o tomar datos de diferentes sensores. Por otro lado, no es recomendable sobrecargar el procesador de estos microcontroladores ya que pueden aparecer diferentes fallas de funcionamiento, como problemas de conexión o de reseteo sin motivo aparente. Por estas razones, en lugar de utilizar estrategias de multiplexado para aumentar las entradas/salidas disponibles, se optó por utilizar un dispositivo con conexión WiFi que se encargue únicamente de establecer la comunicación a través de internet, delegando las tareas de control y procesamiento a otro microcontrolador.

Respecto a la comunicación WiFi, el dispositivo seleccionado fue el módulo ESP-12F por tener una alta disponibilidad en el mercado, ser económico y poseer las características suficientes para cumplir con los requisitos del proyecto. Se tuvo en cuenta también la amplia documentación que hay disponible a la hora de investigar y trabajar con este módulo, contando también con librerías que facilitan su uso.

Respecto al controlador, el dispositivo elegido fue el Atmega-328P, ampliamente reconocido por ser el microcontrolador que utiliza la placa de desarrollo Arduino UNO.

La elección de este microcontrolador estuvo basada en la necesidad de poder trabajar cómodamente en las etapas de pruebas y desarrollo, ya que ofrece una gran versatilidad.

3.1 Adaptador WiFi

El ESP-12F es un módulo WiFi desarrollado por AiThinker. En su interior contiene el procesador ESP8266, el cual tiene un microcontrolador Tensilica L106 de bajo consumo de 32 bits, soporta frecuencias de reloj de 80 y 160 MHz, tiene soporte para RTOS e integra WiFi MAC/BB/RF/PA/LNA. Este módulo WiFi soporta el estándar IEEE 802.11 b/g/n y el protocolo TCP/IP. Dentro del módulo ESP-12F se encuentra integrada también una memoria flash de 4MB la cual permite almacenar el código que se va a cargar en él.

El ESP-12F puede operar de forma independiente o en conjunto con otros microcontroladores, utilizándolo como adaptador WiFi. La comunicación con otros microcontroladores puede hacerse mediante protocolos de comunicación como SPI, SDIO, I2C o UART.

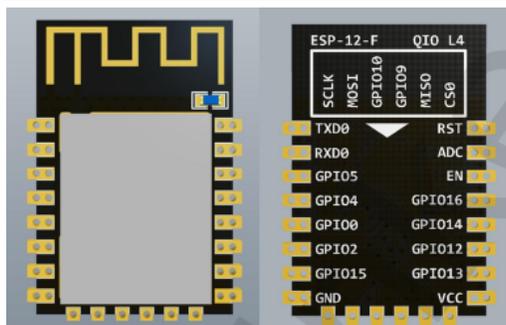


Fig. N° 2. Diagrama de pines del módulo ESP-12F [4].

Aunque el módulo posee 22 pines físicos para conexión, solo se pueden utilizar 16 ya que los pines inferiores (9 a 14) son utilizados para gestionar la memoria flash del módulo. Además de esto, algunos pines tienen ciertas condiciones de estado inicial durante el arranque del mismo, por lo que se reducen aún más las I/O que se pueden usar sin restricciones.

Como el módulo ESP-12F es un componente SMD (Surface Mount Device) o dispositivo de montaje en superficie, fue necesario agregar el hardware para poder cargar y/o modificar el programa que este contenga una vez que esté soldado a la placa. A continuación se describe el estado lógico necesario de los pines del módulo que permiten cargar o correr un programa.

Modo	EN	RST	GPIO15	GPIO00	GPIO02
Carga de programa (Bootloading)	alto	alto	bajo	bajo	alto
Correr programa	alto	alto	bajo	alto	alto

Tabla 1. Descripción del estado de pines del ESP-12F en diferentes modos de arranque.

Como este módulo va a ser utilizado como adaptador WiFi, es necesario entonces definir el protocolo de comunicación a utilizar.

El ESP-12F posee dos UARTs por hardware, aunque en la práctica solo se usan dos pines de TX y solo uno de RX, ya que uno de esos puertos es utilizado por la memoria flash. Por otro lado, este módulo no posee el hardware necesario para utilizar el protocolo I2C, por lo que este tiene que ser emulado por software, aumentando así sus tareas de procesamiento. Por último, se tiene un puerto SPI disponible que puede actuar como maestro o como esclavo. Se decidió utilizar el protocolo UART por su simple implementación de ambos lados.

En el Anexo A se presentan las especificaciones más importantes del ESP-12F junto con su esquema interno.

3.2 Circuito de control

El ATMEGA-328P es un microcontrolador desarrollado por Atmel. Este es de bajo consumo y está basado en la arquitectura AVR RISC de 8 bits. En su núcleo se encuentran

32 registros de propósito general, todos conectados directamente a la ALU (Arithmetic Logic Unit) o unidad aritmética lógica, lo que permite acceder a dos registros independientes en un mismo ciclo de reloj, mejorando así su rendimiento.

Este microcontrolador es compatible con una gran cantidad de herramientas de desarrollo, como lo son compiladores para C, depuradores/simuladores de programas, simuladores de circuitos y kits de evaluación. Esta fue la principal razón al momento de decidir el microcontrolador a utilizar ya que cuenta con una gran cantidad de librerías de código abierto disponibles y una gran comunidad que brinda su ayuda para solucionar todo tipo de problemas.

En el Anexo B se presentan las características más importantes del ATMEGA-328P.

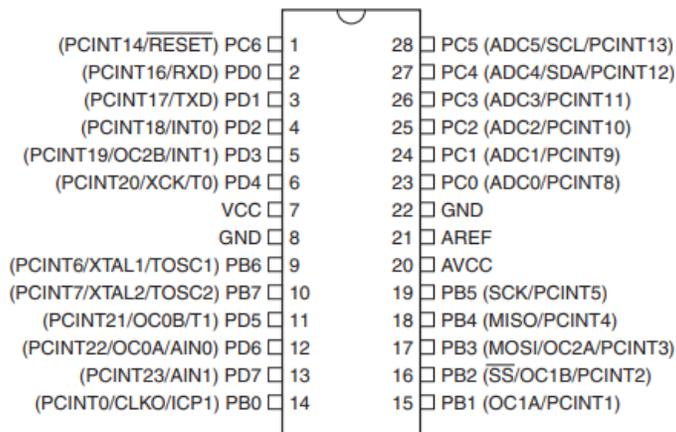


Fig. N° 3 . Diagrama de pines del ATMEGA-328P [5].

3.3 Diagrama de bloques

En las siguientes secciones se detalla el funcionamiento de cada bloque del sistema de control y comunicación WiFi. La comunicación entre el dispositivo y la aplicación mediante el protocolo MQTT se aborda en la sección dedicada al desarrollo de la aplicación.

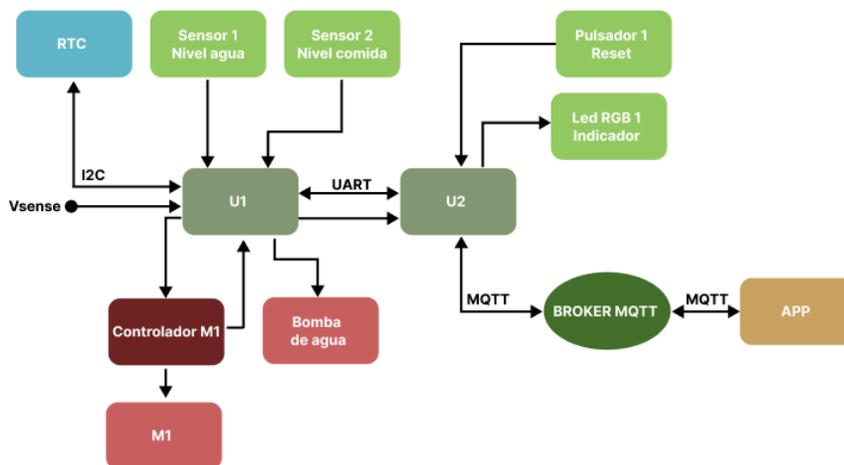


Fig. N° 4. Diagrama de bloques del sistema de control y comunicación Wifi.

3.4 Comunicación entre microcontroladores

La forma en que se comunican los microcontroladores entre sí es a través del puerto serie de cada uno de estos, usando el protocolo de comunicación UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter).

Este protocolo se utiliza para intercambiar datos en serie entre dos dispositivos, siendo uno de los más simples, utilizando sólo 2 hilos para la comunicación entre el transmisor (Tx) y receptor (Rx) de cada dispositivo, más otro de conexión común a masa.

Las comunicaciones pueden ser simplex, donde los datos se envían en una sola dirección, semi duplex, donde los datos pueden ser enviados por ambos extremos pero solo uno a la vez, y full duplex, donde ambos extremos pueden transmitir en simultáneo.

En esta comunicación, los datos se transmiten en tramas y de forma asíncrona, es decir que el transmisor y receptor no comparten la misma señal de reloj, por lo que están forzados a transmitir a la misma velocidad (baud rate), siendo las más comunes 4800, 9600 115200 b/s. Además de la velocidad, ambos extremos deben utilizar la misma estructura de trama.

3.4.1 Formato de trama UART

Las tramas UART tienen bits de inicio (start) y de parada (stop), bits destinados a los datos a transmitir (data bits) y un bit opcional de paridad (parity).

Este protocolo no define tensiones específicas o rangos para los niveles lógicos altos y bajos.

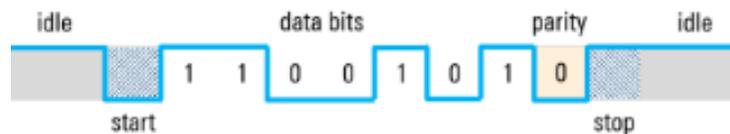


Fig. N° 5. Trama de comunicación UART [6].

El bit de inicio indica cuando se da una transición entre el estado de reposo alto, a un estado bajo, seguido por los bits de datos. El bit de parada indica cuando se da una transición al estado alto de reposo, dado por un tiempo de bit adicional.

Los bits de datos se ubican luego del bit de inicio, donde normalmente existen 8 bits de datos, transmitiendo el menos significativo primero.

El bit de paridad es opcional y se usa para detectar errores, ubicándose antes del bit de parada. Este bit puede definir una paridad par, donde el bit se ajusta para que el número total de unos en la trama sea par, o una paridad impar, donde el bit se ajusta para que el número total de unos en la trama sea impar.

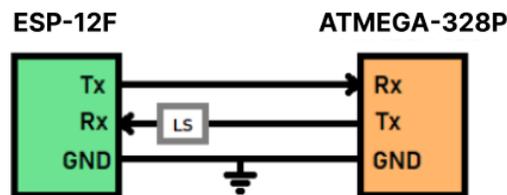


Fig. N° 6. Esquema de conexión entre los microcontroladores para comunicación UART.

3.4.2 Level shifter

En la Fig N° 6, “LS” hace referencia a un circuito llamado level shifter o adaptador de niveles. Este convierte señales lógicas a distintos niveles de tensión, permitiendo compatibilizar dispositivos que trabajen a diferentes tensiones. En este trabajo se utilizó un adaptador bidireccional que permite comunicar a los microcontroladores, ya que el ESP-12F funciona a 3.3V y el ATMEGA-328P a 5V. Esta adaptación de voltajes solo es requerida entre el Rx del ESP-12F y el Tx del ATMEGA-328P, ya que el segundo toma los valores superiores a 2.6V como un estado alto.

El circuito utilizado para realizar esta conversión de niveles lógicos es el siguiente.

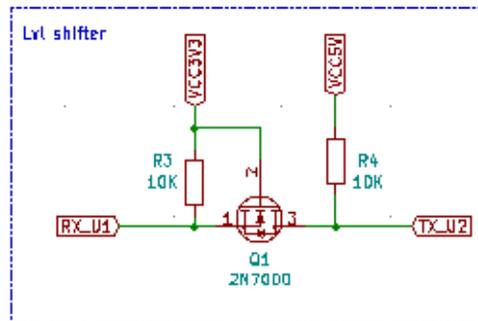


Fig. N° 7. Level shifter [anexo I]

3.5 Desarrollo sobre ESP-12F

Una vez seleccionados los dispositivos a utilizar se comenzó con la programación del microcontrolador encargado de la comunicación WiFi.

Se utilizó el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino, ya que este cuenta con librerías que facilitan el uso de las funcionalidades del microcontrolador destinadas a la conexión WiFi y el uso del protocolo MQTT.

El ESP-12F puede operar en dos modos diferentes, cliente o STA (station) y punto de acceso o AP (access point). En el modo STA el dispositivo funciona como un cliente, siendo capaz de conectarse a un punto de acceso WiFi. En cambio, en modo AP el dispositivo funciona como un punto de acceso permitiendo que otros dispositivos se conecten a este.

El microcontrolador fue programado para que inicie en modo AP cuando no tiene una configuración de red previa. A este se podrá acceder mediante un celular y desde la aplicación móvil otorgar las credenciales de una red WiFi, permitiendo así tener conexión a internet. El dispositivo permanece en este modo durante 3 minutos y luego cierra el punto de acceso si no se le asigna ninguna red válida, ya que al estar en este modo consume mayor cantidad de energía.

3.5.1 Indicador de conexión

Se incorporó un led RGB indicador al dispositivo el cual queda encendido de color azul cuando el punto de acceso se encuentra disponible para el usuario y queda parpadeando con el mismo color cuando se cumplió el tiempo permitido para establecer la conexión. Es posible volver a activar el punto de acceso si se reinicia el dispositivo.



El led indicador se pondrá de color verde si se pudo establecer una conexión con la red y esta tiene acceso a internet. En caso de que no se pueda acceder a internet el led se pondrá de color rojo.

Color	Descripción
Azul	Punto de acceso disponible
Azul intermitente	Punto de acceso no disponible
Verde	Con conexión a internet
Rojo	Sin conexión a internet

Tabla 2. Estados del led indicador

3.5.2 Reseteo de credenciales

Se agregó un pulsador que permite borrar las credenciales previamente guardadas en el dispositivo, permitiendo establecer una nueva configuración con otra red WiFi. Para esto hay que mantener presionado el pulsador durante 3 segundos. Es importante tener en cuenta que es necesario que el sistema cuente con alimentación de red, ya que si está siendo alimentado desde la batería el ESP-12F se deshabilita y todas las funcionalidades relacionadas a la conexión WiFi no se encontraran disponibles.

3.5.3 Envío y recepción de datos

Una vez establecida la conexión a internet, el dispositivo es capaz de recibir y enviar datos hacia la aplicación móvil del usuario.

Respecto a la recepción de mensajes vía MQTT, se decidió que la comunicación fuese totalmente agnóstica por parte del ESP, enviando así todos los mensajes que llegan hacia el ATMEGA, siendo este último el encargado de procesar y filtrar los mensajes.

Diferente es el caso en la recepción serie de mensajes en el ESP, donde el mensaje recibido se filtra en búsqueda de ciertos parámetros de validación, evitando así enviar hacia la app datos erróneos que puedan producirse durante la comunicación serial.

3.5.4 Diagrama de flujo ESP-12F

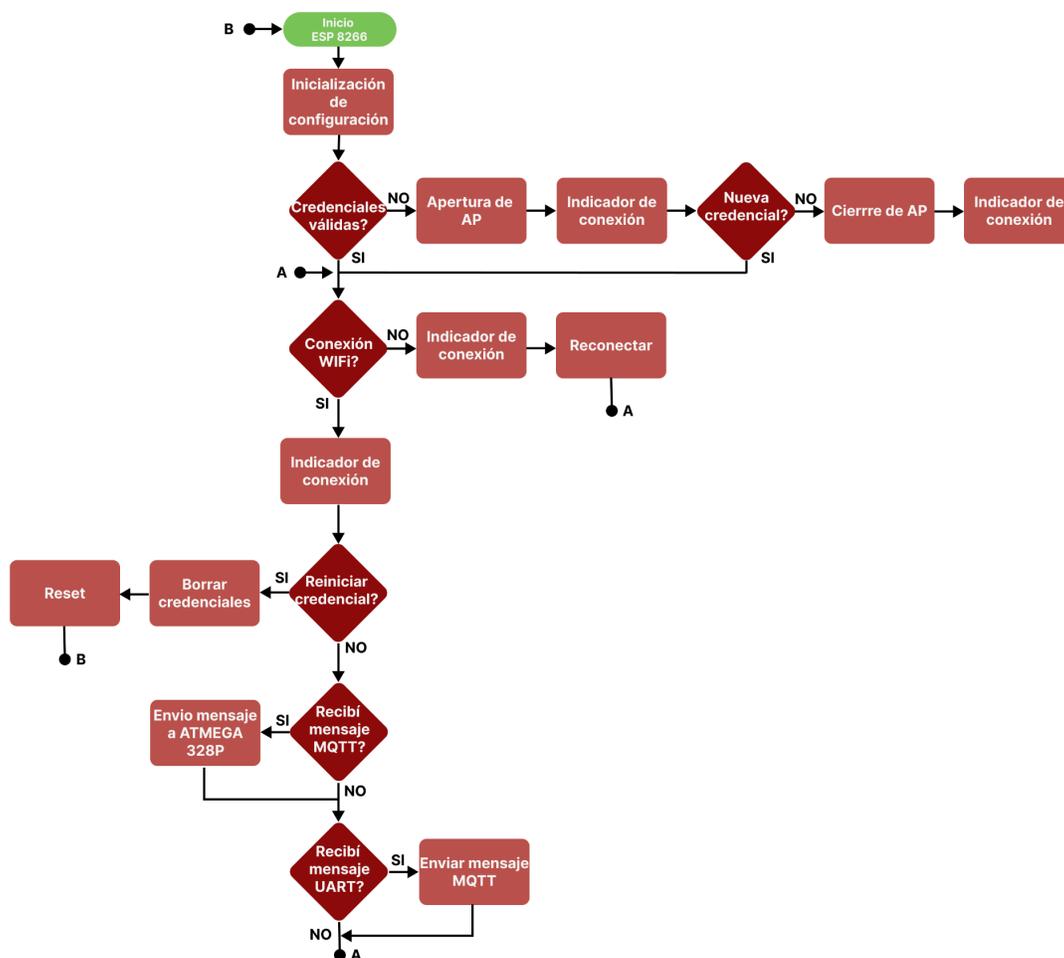


Fig. N° 8. Diagrama de flujo del funcionamiento del ESP-8266.

3.6 Desarrollo sobre ATMEGA-328P

El desarrollo sobre el ATMEGA-328P se hizo de igual manera con el IDE de Arduino. Dentro de las funciones que realiza este microcontrolador se encuentran: el control del motor paso a paso según fecha y hora, el control de la bomba de agua según el estado de alimentación del dispositivo, la lectura de los sensores de nivel de reserva de agua y alimento, la lectura del estado de la alimentación principal, el almacenamiento y lectura de datos en memoria para dispensar el alimento, la adquisición de la fecha y hora desde el RTC, el filtrado en el envío y recepción de datos por el puerto serie y por último de gestionar las diferentes notificaciones que tienen que ser enviadas hacia la app.

3.6.1 Envío y recepción de datos

Como se dijo anteriormente, este microcontrolador se encarga de filtrar los mensajes que le llegan desde el ESP-12F por comunicación serie, por lo tanto dependiendo del mensaje que recibe, se realizará alguna de las siguientes acciones:

- Lectura de memoria EEPROM y envío de calendario almacenado.
- Escritura en memoria EEPROM de los nuevos valores de calendario.
- Dispensado de 'n' porciones de alimento de forma inmediata.
- Lectura y envío de hora y fecha actual del RTC.
- Actualización de hora y fecha en el RTC.
- Desactivación de alarma número 'n'.

3.6.2 Control de fecha y hora

Para obtener la fecha y hora en todo momento, se utilizó un RTC (Real Time Clock), el cual permite establecer y mantener sincronizado el dato de tiempo previamente cargado. Esto permite saber los segundos, minutos, horas, días, semanas, meses y año en el que se encuentra el dispositivo.

Para saber en qué momento se debe entregar las porciones de alimento se utilizó un módulo en el cual están integrados, el RTC DS1307 quien da su nombre al módulo, un cristal de 32.768 KHz, una memoria EEPROM AT24C32 con capacidad para 32 Kbit y un zócalo para colocar una una batería CR2032 de 3.3V que le permite al módulo mantener la información del tiempo aunque se desconecte su alimentación principal. La duración de esta batería es de 3 a 10 años aproximadamente, dependiendo del uso que se le de.

En el anexo C se presentan las principales características del módulo. y su esquemático.

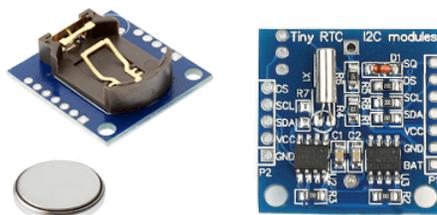


Fig. N° 9. Módulo RTC-1307

3.6.2.1 Registros del RTC-1307

En la Figura 10 se muestra el mapa de direcciones del RTC y los registros RAM. Los registros del RTC están ubicados en las direcciones 00h a 07h, mientras que los RAM están ubicados en las direcciones 08h a 3Fh. Los datos de tiempo y del calendario se obtienen/setean, leyendo/escribiendo los registros correspondientes a estos datos según corresponda. El contenido de estos registros está en formato BCD.

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00H	CH	10 Seconds			Seconds			Seconds	Seconds	00-59
01H	0	10 Minutes			Minutes			Minutes	Minutes	00-59
02H	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours			Hours	1-12 +AM/PM	
		24	PM/AM							
03H	0	0	0	0	DAY			Day	01-07	
04H	0	0	10 Date		Date			Date	Date	01-31
05H	0	0	0	10 Month	Month			Month	Month	01-12
06H	10 Year			Year			Year	Year	00-99	
07H	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08H-3FH									RAM	56 x 8

Fig. N° 10. Registros del RTC-1307 [9].

3.6.2.2 Comunicación con el controlador

El protocolo de comunicación utilizado para poder leer y escribir diferentes datos sobre el RTC es I2C (Inter Integrated Circuit).

En este protocolo se utilizan únicamente dos cables, uno para la señal de reloj (SCL) y otro para el envío de datos (SDA). Cada dispositivo debe tener una dirección única que es usada para acceder a ellos de forma individual. Este protocolo tiene una arquitectura del tipo maestro-esclavo, donde el maestro es el que inicia la comunicación con los esclavos, enviando o recibiendo datos. Los esclavos no pueden comunicarse entre sí directamente, como tampoco iniciar una conversación con el maestro. En el bus de datos pueden existir más de un maestro, pero solo puede ser uno a la vez.

El bus I2C es síncrono, y el dispositivo maestro es el que tiene que proporcionar una señal de reloj con la que se sincronizan los demás dispositivos.

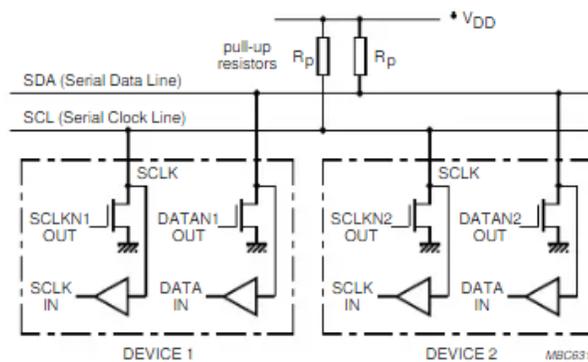


Fig. N° 11. Ejemplo conexión para un bus I2C [10].

Como se ve en la Fig N° 11, son necesarias resistencias de pull-up a Vcc. En el Atmega-328P (dispositivo maestro) se activan las resistencias de pull-up internas, mientras que en el RTC DS1307 (esclavo) son incluidas en el módulo utilizado.

En este protocolo se emplean tramas de datos grandes, donde 7 bits se utilizan para indicar la dirección del dispositivo esclavo con el que se va a comunicar, más un bit que indica si se quiere enviar o recibir información, más otro bit de validación. Luego de esta trama le siguen los bytes de datos enviados o recibidos del esclavo, junto con un bit de validación. Al tener una trama de datos tan grande por cada byte enviado hace que la velocidad de transmisión de este protocolo se vea reducida en comparación a otros.

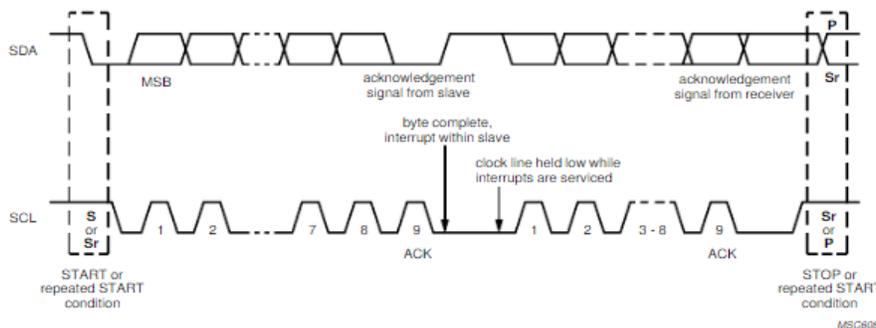


Fig. N° 12 Trama de datos del protocolo I2C. [10]



3.6.3 Guardado de información

Para el almacenamiento de los días y horas de alimentación definidas por el usuario, se utilizó la memoria interna EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) del propio microcontrolador Atmega-328P, ya que es necesario que estos datos persistan y no se borren una vez que el sistema está desenergizado o no cuente con conexión con internet.

En este microcontrolador se encuentran tres tipos de memorias:

- **Memoria Flash**, la cual es no volátil y es donde se almacena el código escrito.
- **Memoria SRAM** (Static Random Acces Memory), la cual es volátil y se encarga del almacenamiento temporal de las variables de código.
- **Memoria EEPROM**, la cual es no volátil y es donde se almacenan los valores de las variables que se quieren persistir.

El microcontrolador ATmega-328P tiene una memoria EEPROM disponible de 1024 bytes segmentado a 1 byte por dirección o celda.

Dirección	0	1	2	3	...	1022	1023
Tamaño	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	...	1 byte	1 byte

Tabla 3. Distribución de la memoria EEPROM del ATMEGA-328P.

El guardado de datos se activa cuando desde la aplicación se actualiza el calendario de alimentación el cual tiene la siguiente estructura.

Hn	T	D	L	M	W	J	V	S	n
----	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Tabla 4. Estructura de datos almacenados.

- Hn: indicador de hora configurada (2 bytes).
- T: indica el valor de la hora seteada (4 bytes).
- D, L, M, W, J, V y S: indican los días de la semana que estarán activados (1 byte c/u).
- n: indica las porciones a dispensar (1 byte).

3.6.4 Sensado de niveles

Para el control de reservas se utilizó una lógica con la cual se obtienen los datos de cada cierto tiempo, sin leer constantemente el valor de los sensores, evitando falsas alarmas. El intervalo de verificación de alarmas se fijó en un minuto. Estas alarmas son enviadas al usuario, quien las puede visualizar desde la aplicación y una vez que éste las recibe se dejan de enviar.

3.6.4.1 Sensor infrarrojo

Para controlar el nivel de comida en el depósito se utilizó un sensor infrarrojo, el cual tiene el emisor (diodo emisor de luz infrarroja) y receptor (fotodiodo de detección) en un mismo punto, detectando así cuando el nivel de comida está por debajo de cierto punto. Esto genera un aviso hacia la aplicación del cliente alarmando sobre la situación. Este sensor está acompañado de un comparador LM393 que permite obtener la lectura del estado como un valor digital, cuyo valor umbral está regulado por un potenciómetro.

En el anexo D se presentan las especificaciones técnicas del mismo y su esquemático de referencia.

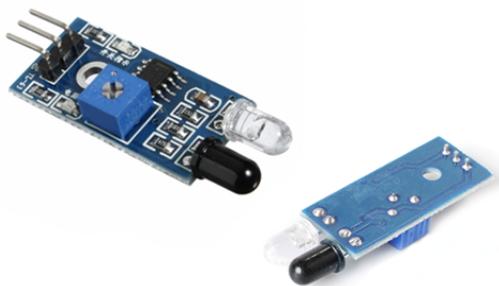


Fig. N° 13 . Sensor infrarrojo utilizado.

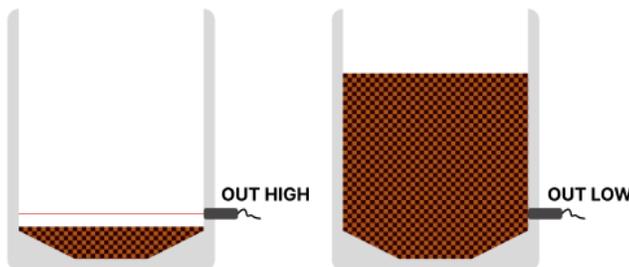


Fig. N° 14. Ubicación del sensor infrarrojo.

3.6.4.2 Sensor de nivel de agua en reserva

Para controlar el nivel de agua en la reserva se utilizó un sensor de nivel de líquido. Este sensor trabaja con un interruptor de contacto y un flotador magnético el cual abre o cierra el contacto eléctrico.

En el anexo E se presentan las principales especificaciones técnicas del sensor.



Fig. N° 15. Sensor de nivel de agua utilizado.

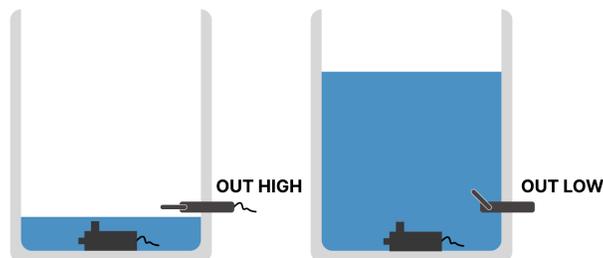


Fig. N° 16. Ubicación del sensor de nivel de agua.

3.6.5 Bomba de Agua

Para transportar el agua desde el tanque de reserva hacia el recipiente se utilizó una bomba de agua sumergible, a la cual se le conecta una manguera de goma en forma de gancho la cual vierte el agua en el recipiente para que esta vuelva a caer en la reserva.

Para controlar esta bomba se utiliza un transistor mosfet IRF540N CH-N (Q2) como interruptor que controla el encendido y apagado de la misma ya que no puede ser utilizada solo la salida del ATMEGA-328P para alimentarlo, dado que estas entregan una corriente máxima de 40 mA.

Considerando que el motor es una carga inductiva, se agrega un diodo de protección flyback (D2), el cual proporciona un recorrido de mínima resistencia que permite disipar las corrientes inducidas producidas por el campo magnético de la carga inductiva cuando esta se desconecta y evitar así dañar la entrada del microcontrolador o el transistor.

Con el fin de maximizar la duración de la batería, se implementa una lógica de desactivación y reactivación. Esto permite que durante los periodos que el dispositivo no cuente con su fuente de alimentación principal, la bomba se desactiva, reactivando su funcionamiento nuevamente cada un minuto durante un lapso de 5 segundos, evitando así que el plato se quede sin agua. Se programó la reactivación con un periodo de un minuto a modo demostrativo.

En el anexo F se presentan las especificaciones técnicas de la bomba.

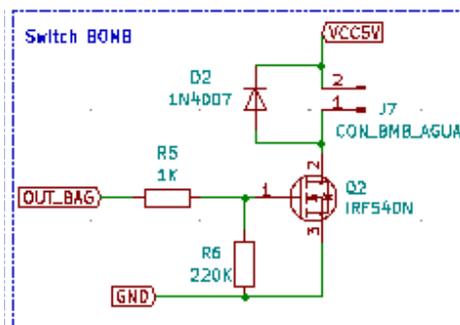


Fig. N° 17. Circuito de control de bomba de agua. [anexo I]



Fig. N° 18. Bomba de agua sumergible.

3.6.6 Control de motor paso a paso

Para dispensar el alimento se utilizó un motor paso a paso bipolar, ya que permite efectuar movimientos precisos en pequeños ángulos y en ambas direcciones. Estos motores son de corriente continua y se mueven a pasos discretos, tienen múltiples bobinas internas organizadas en grupos o fases, que serán las que se energizan en una determinada secuencia para que el motor rote. En este caso, los pasos del motor son controlados por el microcontrolador junto con un driver, logrando controlar el posicionamiento y velocidad del motor.

3.6.6.1 Motor NEMA 17

El motor elegido para este proyecto fue el NEMA 17, cuyo nombre viene dado por las normas de la “National Engine Motors Associations”, quien define los estándares de los motores eléctricos. Este motor es relativamente pequeño y cuenta con una buena capacidad de torque, necesario para mover los granos de alimento a través del sistema de dosificación. El paso de este motor es de 1.8° , por lo que son necesarios 200 pasos para dar una vuelta completa. La corriente nominal de cada bobina es de 1.3 A, valor que se utiliza para regular el driver del motor para que esté protegido por sobrecorriente.

En el anexo G se presentan las especificaciones más importantes del motor.



Fig. N° 19. Motor Nema 17 serie 17HS4402. [11]

3.6.6.2 Driver DRV8825

El módulo DRV8825 cuenta con un integrado que lleva su mismo nombre y es utilizado para controlar motores paso a paso bipolar. Este cuenta internamente con dos puentes H NMOS, sensado de corriente y con un indexador de pasos. El integrado se puede alimentar con un voltaje de entre 8-45 V y es capaz de entregar hasta 2.5 A por salida.

Este controlador cuenta con hasta 6 configuraciones de pasos diferentes y puede controlar



un motor utilizando solo dos pines de salida, uno para la dirección y otro para la velocidad de rotación.



Fig. N° 20. Diagrama de pines del módulo drv8825. [12]

VMOT y GND MOT son los pines de conexión que alimentan el motor. Este driver no tiene con un pin de alimentación propia ya que cuenta con un regulador interno de 3.3V cuya entrada es la alimentación del motor. GND LOGIC es el pin donde se conecta la masa del microcontrolador a utilizar.

M0 M1 y M2 son pines de entrada que definen la resolución del paso. Estos pines de selección están puestos en Low por resistencias pull-down internas, por lo que si no se configuran, el motor funciona en el modo de paso completo. En este modo se puede obtener un mayor torque por lo que fue el modo utilizado.

STEP y DIR son los pines de control. La entrada STEP controla los pasos del motor, cada pulso en High que reciba este pin da la orden de mover el motor la cantidad de pasos definida por los pines de resolución.

El módulo cuenta con tres pines de entrada para controlar su estado. EN es el pin que habilita el uso del driver, cuando está Low, el driver queda habilitado. Por defecto este pin está en Low. SLP es el pin que pone al driver en sleep, reduciendo su consumo al mínimo.. Este modo se activa en Low. RST es el pin que resetea el driver, cuando este pin está en Low, entra en modo reset, ignorando lo que pase con los demás pines.

FAULT es un pin de salida que se pone en Low cuando el puente H interno del driver se deshabilita como respuesta a la protección de sobrecorriente o por sobrecalentamiento. Cuando este pin se pone en Low, todo el driver queda deshabilitado, por lo que es necesario activar el pin RST o sacar y volver a alimentar al módulo.

Los pines A1, A2 B1 y B2 se conectan con las bobinas del motor a controlar.



M0	M1	M2	Resolución
Low	Low	Low	1
High	Low	Low	1/2
Low	High	Low	1/4
High	High	Low	1/8
Low	Low	High	1/16
High	Low	High	1/32
Low	High	High	1/32
High	High	High	1/32

Tabla 5. Diferentes configuraciones según número de pasos

3.6.6.3 Limitador de corriente

El driver cuenta con un limitador de corriente interno para evitar que se supere la corriente nominal (I_N) del motor. Este valor puede ser ajustado desde el potenciómetro incorporado de dos maneras diferentes. Una de estas es medir la tensión sobre un pin de referencia y la otra midiendo la corriente que circula por una de las bobinas del motor. Se utilizó el primer método, donde se mide el voltaje sobre una referencia (V_{Ref}), en este caso el voltaje sobre el potenciómetro.

Sabiendo la corriente nominal del motor a utilizar, se desconectan los pines de selección de pasos y se ponen los 4 pines EN, RST, DIR Y STEP en High, para dejar al motor en una posición fija. Se mide el voltaje de referencia y se ajusta hasta obtener el valor dado por la siguiente relación.

$$V_{Ref} = I_N / 2 \quad (1)$$

En este caso el motor utilizado es un NEMA 17 serie 17HS4402 cuya corriente nominal es de 1.3 A, por lo que se ajustó el valor de referencia a 0.65V

$$V_{Ref} = 1.3A / 2 = 0.65V \quad (2)$$

3.6.7 Diagrama de flujo

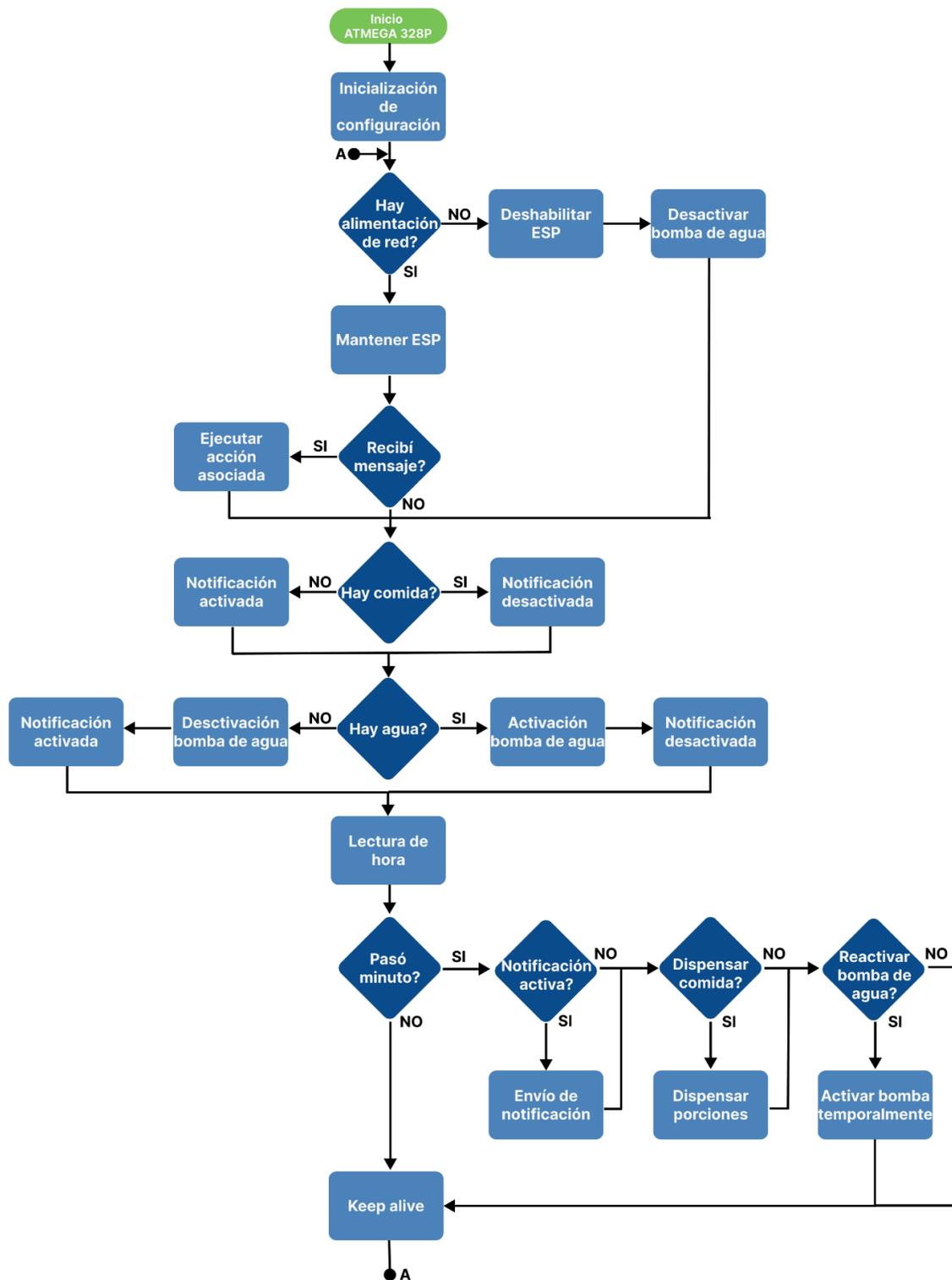


Fig. N° 21. Diagrama de flujo del funcionamiento del Atmega-328P.

3.7 Diseño de placa

El diseño de la placa de control y comunicación WiFi fue realizado con KiCad, la cual es una aplicación de software libre destinada al diseño automatizado de circuitos electrónicos. En el anexo I se presentan el esquemático completo, el layout y la lista de los componentes con sus respectivos valores y referencias.

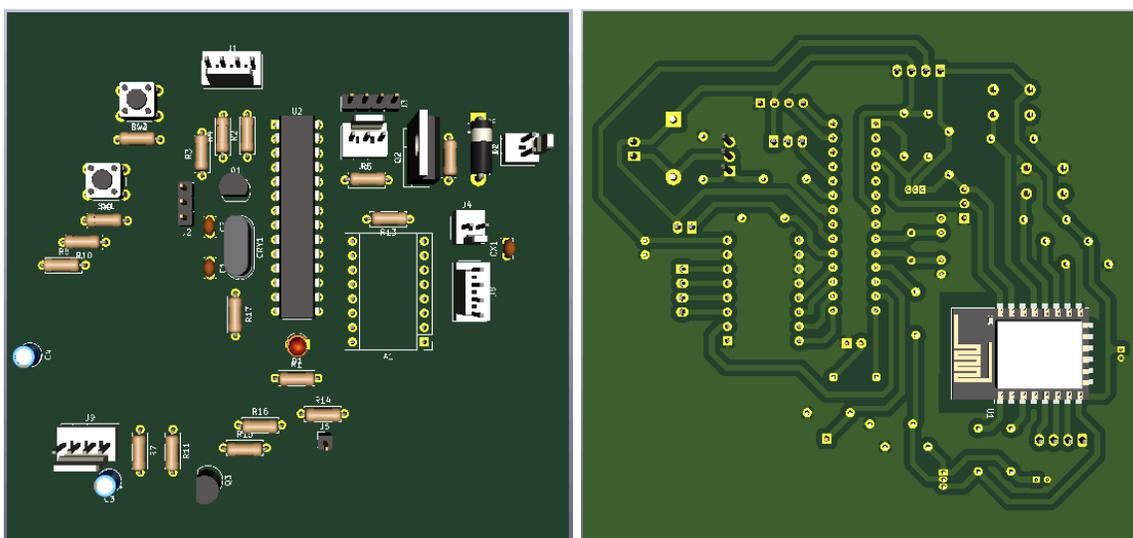


Fig. N° 22. Vista 3D frontal y posterior del circuito para el sistema de control y comunicación WiFi.

4. Aplicación móvil

Para la creación de la aplicación se decidió utilizar App Inventor. Este es un entorno de desarrollo de software destinado a sistemas operativos Android, con el cual podemos crear aplicaciones a partir de bloques lógicos, lo que facilita la creación de aplicaciones en menos tiempo, evitando tener que desarrollar en lenguajes nativos para diferentes sistemas operativos como Android o iOS, siendo necesario tener conocimientos de lenguajes de programación como Java/Kotlin o Swift respectivamente. Esta herramienta es gratuita, puede utilizarse en línea y es mantenido por el MIT (Massachusetts Institute of Technology). Esto permite crear un prototipo de aplicación haciendo foco en cómo solucionar los diferentes problemas del proyecto sin tener que en aprender a desarrollar una aplicación en un nuevo lenguaje y en cómo integrar todas las dependencias necesarias.

Una de las desventajas o limitantes del desarrollo en este tipo de plataformas es que no se puede acceder a todas las herramientas disponibles del sistema operativo. Es por esto que la aplicación no puede correr en segundo plano, por lo tanto no puede recibir notificaciones cuando la aplicación está cerrada.

4.1 Comunicación en IoT

Para poder comunicar dos o más dispositivos es necesario utilizar un conjunto de normas y reglas para que estos puedan entenderse. A esto se le llama protocolo de comunicación, y en IoT no existe aún un estándar a la hora de elegir qué protocolo utilizar, sino que depende



de las necesidades y del contexto del sistema en el que se va a utilizar. Los más comunes en la comunicación entre dispositivos a través de internet son:

- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) se destaca por ser ligero, sencillo de implementar. Resulta apropiado para dispositivos de baja potencia. Está optimizado para el routing activo de un gran número de clientes conectados de forma simultánea.
- AMQP (Advanced Message Queuing Protocol) está diseñado para asegurar la confiabilidad e interoperabilidad. Está pensado para aplicaciones corporativas, con mayor rendimiento y redes de baja latencia. No resulta tan adecuado para aplicaciones de IoT con dispositivos de bajos recursos.
- WAMP (Web Application Messaging Protocol) es un protocolo abierto que se ejecuta sobre WebSockets.
- CoAP (Constrained Application Protocol) es un protocolo pensado para emplearse en dispositivos de IoT de baja capacidad. Emplea el modelo REST de HTTP.
- STOMP (Streaming Text Oriented Messaging Protocol), es un protocolo sencillo que emplea HTTP y mensajes de texto para buscar el máximo de interoperabilidad.
- XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) es un protocolo abierto basado en XML diseñado para aplicaciones de mensajería instantánea.

En este proyecto se decidió utilizar MQTT ya que es un protocolo ampliamente utilizado y uno de los que más se adecua a las necesidades del proyecto.

4.1.1 Características del protocolo MQTT

MQTT es un protocolo del tipo publicación/suscripción, muy simple y liviano el cual fue diseñado para dispositivos con recursos limitados y redes con un bajo ancho de banda, alta latencia o poco confiables, haciendo de este protocolo el ideal para el internet de las cosas siendo IBM el desarrollador del mismo.

A continuación se describen las principales características de este protocolo:

- *Interoperabilidad:* Asegura que el protocolo funcione en la mayor cantidad de dispositivos independientemente de su sistema operativo y lenguaje de programación. Por lo que MQTT es un protocolo abierto teniendo este un estándar ISO (ISO/IEC 20922:206).
- *Gestión:* Para gestionar la comunicación entre dispositivos se utiliza un servicio de notificaciones centralizado llamado Broker, siendo este el encargado de distribuir los mensajes que entran hacia los receptores correspondientes. Se puede definir como un servicio de mensajería con publicadores y suscriptores, en donde un dispositivo publica un mensaje en un cierto tópico, y los dispositivos que estén suscritos a ese tópico son los que recibirán este mensaje.
- *Escalabilidad:* Este protocolo permite diseñar una estructura de comunicación con gran escalabilidad ya que los métodos para agregar nuevos usuarios es muy sencillo, además de soportar gran cantidad de mensajes en simultáneo sin congestionar los servidores. Al momento en el que se realizó este trabajo, algunos de los servidores



en la nube pueden soportar hasta un millón de mensajes en simultáneo.

- *Seguridad:* Cada cliente que está autorizado en el bróker tiene una identidad, es decir un nombre y una autorización. Cada cliente envía un certificado que será autenticado por el broker. Desde el mismo broker se pueden gestionar los derechos que se le otorgan a un cliente.

4.1.2 Broker

El bróker es el encargado de distribuir los mensajes entre los clientes que se encuentren conectados a él. Este puede ser auto alojado, donde el servidor existe desde un servidor propio o puede estar en la nube, usando los servidores de otras empresas.

Para poder interactuar desde un dispositivo con un bróker, es necesario que desde el dispositivo en cuestión se pueda hacer una publicación o suscribirse a distintos tópicos. Entendiendo a la publicación como la acción que envía información hacia el broker y la suscripción como la acción que indica que tópicos le interesan escuchar al dispositivo para leer los mensajes que se publican en él. Un dispositivo puede publicar, suscribirse a un tópico o las dos al mismo tiempo.

4.1.3 Trama de mensaje MQTT

La estructura del mensaje que se utiliza en el protocolo MQTT consta de 3 partes. Una cabecera fija, que está presente en todos los mensajes y que se subdivide en dos partes, una que se utiliza como cabecera de control y otra que indica la longitud del mensaje.

La cabecera de control está dividida en 2 secciones, en los bits del 7 al 4 se especifica el tipo de paquete de control y del 3 al 0 están referidos a la calidad de servicio. En la cabecera fija la longitud del mensaje indica como dice su nombre, la cantidad de bytes que se encuentran en el mensaje actual, teniendo en cuenta todas las partes del mismo.

Una cabecera variable, que es un paquete que puede estar o no presente en algunos mensajes y su contenido depende del tipo de mensaje de control.

El payload es un paquete que se ubica al final del mensaje y representa el mensaje útil que se quiere transmitir. Este mensaje útil, es requerido sólo por algunos mensajes de control.

Cabecera fija		Opcional	Opcional
Cabecera de control	Longitud del mensaje	Cabecera Variable	Payload
1 byte	1 a 4 byte	0 a n byte	0 a 256 Mbyte

Tabla 6. Estructura del mensaje MQTT.

4.1.4 Servidor utilizado

En este proyecto se utilizó MyQTTHub, el cual es un bróker en la nube que ofrece un servidor gratuito, el cual aunque esté limitado a cierta cantidad de mensajes por día, cumple con los requisitos para el presente proyecto. Se puede optar por contratar un plan con más funcionalidades disponibles en caso de que sea necesario.



4.2 Desarrollo de la aplicación

Al desarrollar una aplicación móvil cada pantalla tiene una funcionalidad específica. A continuación se explica en resumen el funcionamiento de cada una de ellas.

En la pantalla 1 es necesario ingresar el nombre de usuario y contraseña correcta para poder avanzar dentro de la aplicación. En este trabajo se omite la creación y gestión de nuevos usuarios, creando un único usuario de prueba, cuyas credenciales tienen que coincidir con las credenciales creadas para el cliente registrado en el servidor de MyQttHub. Una vez que se ingresan las credenciales correctas, se puede avanzar dentro de la aplicación presionando sobre la imagen de la casa que aparecerá.

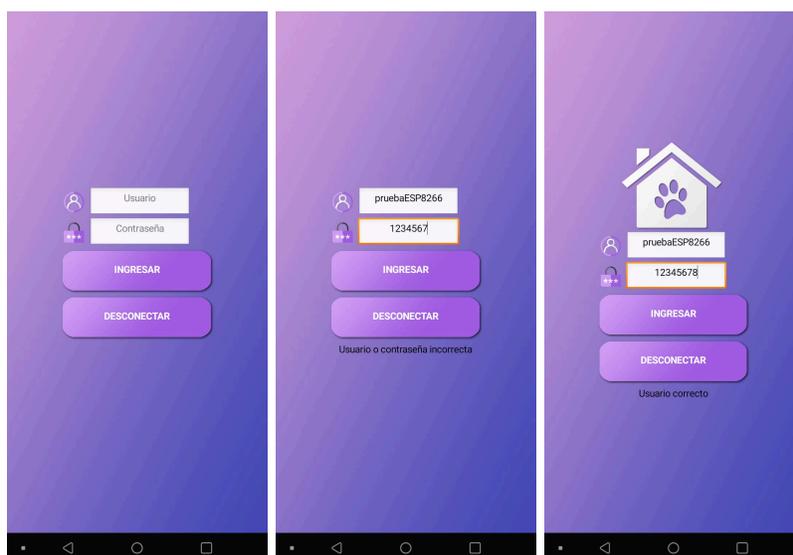


Fig. N° 23. Pantalla 1, logueo de usuario.

En la pantalla 2 se podrá ver el nombre de usuario con el que se ingresó y las diferentes opciones disponibles dentro de la aplicación.

Para configurar el dispositivo y conectarlo a una red WiFi, hay que ingresar a la sección “configuración de red”, representada por el icono de red.

Para configurar la hora, hay que ingresar a la sección “hora del dispositivo”, representada por el icono de la rueda dentada.

Para dispensar porciones manualmente hay que ingresar a la sección “dispensador manual”, representada por el icono de la mano.

Para configurar el calendario de comidas, hay que ingresar a la sección “calendario”, representada por el icono del calendario.

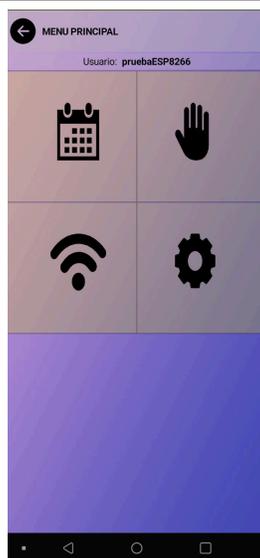


Fig. N° 24. Pantalla 2, menú principal.

Para configurar el dispositivo en la pantalla 3, primero hay que ingresar a la red ESP que crea el mismo. Una vez dentro, aparecerá un menú que permite elegir entre las diferentes redes encontradas y colocar la respectiva contraseña.

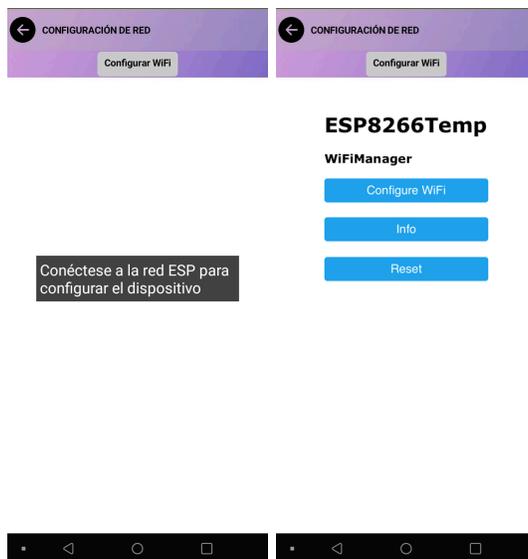


Fig. N° 25. Pantalla 3, configuración de red.

En la pantalla 4 se puede configurar y ver la hora que tiene el dispositivo. Para ver la hora, es necesario presionar sobre el icono del ojo, donde se intenta comunicar con el dispositivo y traer la hora de este. Para setear o actualizar la hora, hay que presionar sobre el botón, “actualizar”, el cual tomará la hora y la fecha actual de celular, y la enviará hacia el dispositivo para configurarlo, mostrando sobre la aplicación, la hora a la que se configuró.

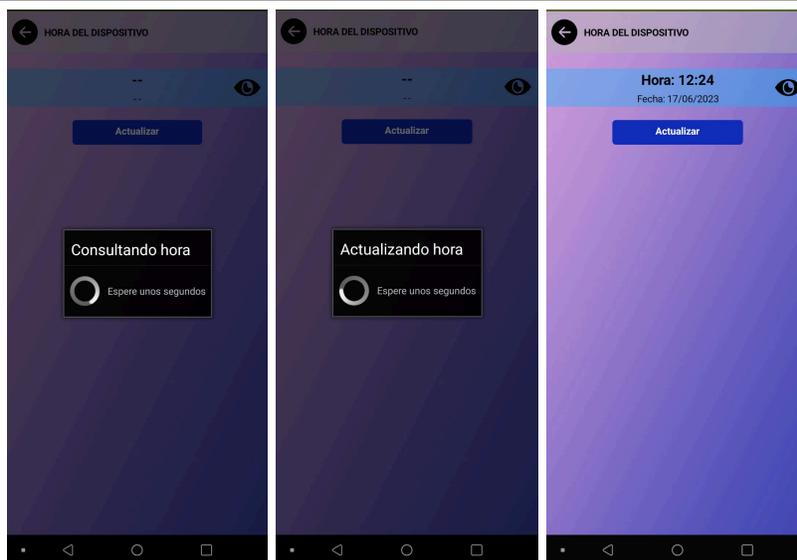


Fig. N° 26. Pantalla 4, hora del dispositivo.

En la pantalla 5 se podrá enviar la orden al dispositivo que dispense entre 1 y 5 porciones en el momento que se presione el botón, “Alimentar ahora!”.

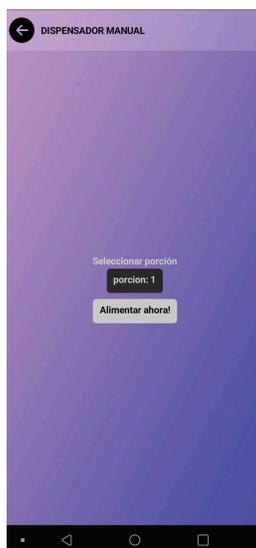


Fig. N° 27. Pantalla 5, dispensador manual.

En la pantalla 6, se muestra el calendario configurado sobre el dispositivo, permitiendo agregar como máximo hasta 3 horas diferentes del día para dispensar el alimento. En esta misma pantalla se pueden seleccionar los días que se quiere activar el dispensador así como la cantidad de porciones entregadas por el mismo.

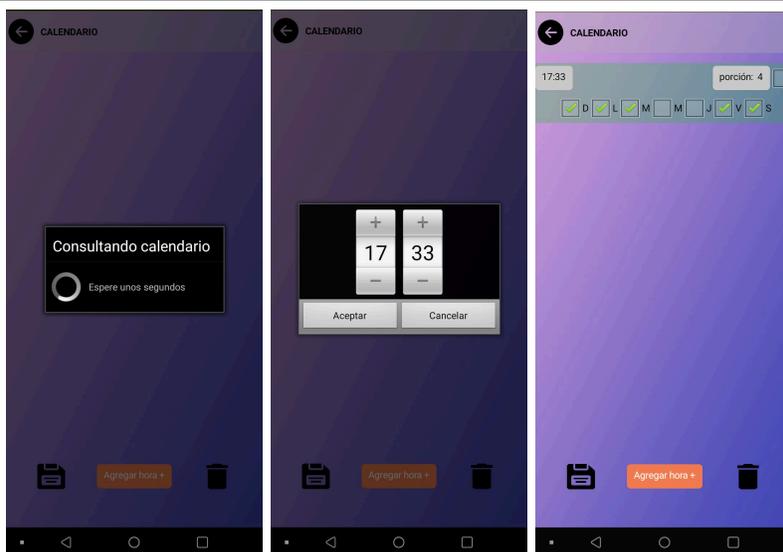


Fig. N° 28. Pantalla 6, calendario.

Sobre esta misma pantalla podremos eliminar o modificar configuraciones previas. Para eliminarlas hay que seleccionar la configuración deseada y presionar sobre el icono del tacho de basura. Para modificar una configuración, hay que presionar sobre la hora configurada y simplemente escoger otro horario.

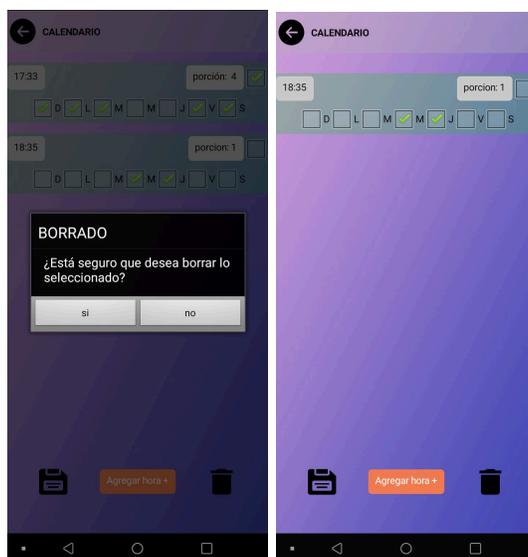


Fig. N° 29. Pantalla 6, calendario.

En todas las pantallas, exceptuando la de inicio y la de configuración de red, se pueden recibir notificaciones sobre el estado de las reservas de agua y comida del dispensador. Una vez que son recibidas y se presiona “OK”, se envía al dispensador el mensaje de confirmación, evitando que se vuelvan a enviar hasta que recargamos las reservas, activándose otra vez el sistema de notificaciones.

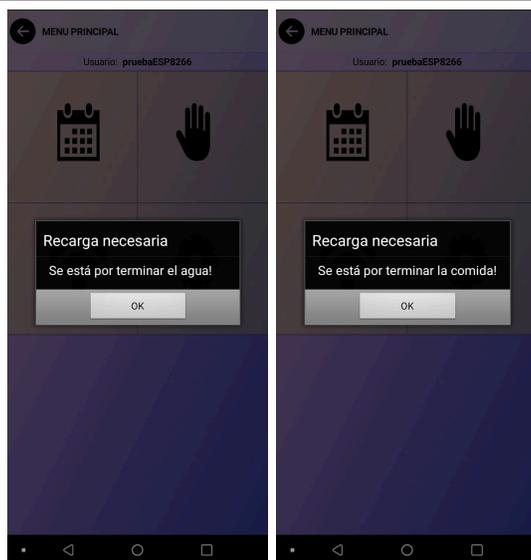


Fig. N° 30. Notificaciones de estado.

5. Respaldo de energía

El dispositivo cuenta con un sistema de respaldo de energía en caso de que se produzcan cortes de luz por periodos prolongados. Este cuenta con una batería y la electrónica necesaria que se encarga de cargarla y protegerla en casos de sobredescarga, ya que si la batería cae por debajo de ciertos niveles de tensión, esto disminuiría su vida útil.

Se escogió una batería de gel de 12V 7000mAh dado que estas se destacan por su gran rendimiento y durabilidad. Estas baterías están selladas haciéndolas más seguras para instalaciones aisladas, por lo que tampoco requieren mantenimiento. Cuentan con una vida útil de unos 15 años aproximadamente, tienen una gran resistencia frente a las descargas profundas y tienen un factor de auto descarga bajo.

5.1 Ciclo de carga de una batería

Existen diversas maneras de cargar una batería, siendo el ciclo de carga más común el que consta de 3 etapas, la fase de carga o bulk, la de absorción y la de flotación.

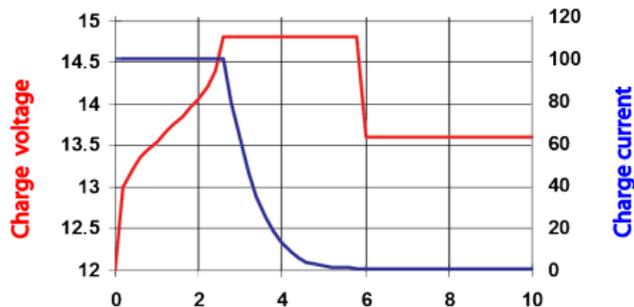


Fig. N° 31. Ciclo de carga de 3 etapas de una batería. [15].

Durante la fase de carga o bulk, la batería se carga con una tensión superior a la tensión nominal de la batería. El valor óptimo de la corriente de carga en la mayoría de las baterías



es la décima parte de la capacidad de la batería. Para cargas rápidas se puede utilizar como máximo un tercio de su capacidad. Durante esta etapa la corriente se mantiene constante. Durante la fase de absorción, el voltaje de la batería llega al máximo valor de carga, quedando en un valor constante mientras que disminuye la corriente de carga. Durante la fase de flotación la batería se pone a la tensión de flotación, siendo este el valor al que se mantiene una batería después de haber sido completamente cargada manteniendo así su capacidad, compensando la autodescarga de la batería. La tensión podría mantenerse constante todo el tiempo de operación o podría mantenerse solo para una fase particular de la carga. La tensión de flotación adecuada varía significativamente con la química y la construcción de la batería, y con la temperatura ambiente. Con la tensión adecuada para el tipo de batería y con una compensación adecuada de la temperatura, un cargador de flotación puede mantenerse conectado indefinidamente sin dañar la batería.

BATERÍA DE GEL		
VALOR NOMINAL	VOLTAJE DE CARGA	VOLTAJE DE FLOTACIÓN
12V	14.2V	13.8V
24V	28.4V	27.5V
48V	56.8V	55.2V

Tabla 7. Voltajes de carga y flotación recomendados para diferentes baterías.

5.2 Cargador de batería

Para determinar qué tipo de cargador de batería es necesario diseñar hay que definir la forma en la que esta se va a utilizar, es decir de forma cíclica o en espera (standby).

Se dice que una batería se usa de modo cíclico, cuando se utiliza como fuente de energía de forma regular, teniendo ciclos de carga y descarga muy frecuentes. El factor determinante en la vida útil de esta batería es el número de ciclos de carga/descarga que se pueden completar. En aplicaciones cíclicas, se pueden esperar hasta 1,000 ciclos de carga/descarga dependiendo de la profundidad promedio de descarga.

Por otro lado se dice que una batería se usa en modo stand by, cuando se utilizan para actuar como una fuente de respaldo cuando la fuente principal de energía ha fallado por alguna razón. En consecuencia, las baterías de reserva se mantienen completamente cargadas para que puedan "activarse" inmediatamente. Estas pueden permanecer conectadas a un cargador lento que mantendrá la batería completamente cargada y lista para usar. En modo de espera, las baterías tienen una vida útil de hasta cinco años.

5.2.1 Carga de batería en standby.

Cuando una batería va a ser usada en casos de emergencia, es decir que la batería queda en estado de standby esperando el suceso y no es frecuentemente usada, se puede usar un ciclo de carga de dos fases. Durante la primera fase, la batería se carga a corriente constante

(bulk) y una vez que la batería llegó a cierto voltaje pasa a la fase de flotación quedando conectada a ese mismo voltaje. Este método es usado para las baterías de algunos automóviles y en fuentes de alimentación ininterrumpidas (UPS).

A continuación se muestra la curva de carga de la batería que se utilizó para este proyecto, la cual puede verse en la datasheet de la misma. En la Fig N° 32 se puede ver que el voltaje de carga tiene un valor de 2.3 ya que la batería cuenta con 6 celdas, por lo que al multiplicar esas 6 celdas por los 2.3 nos da un voltaje de 13.8 V.

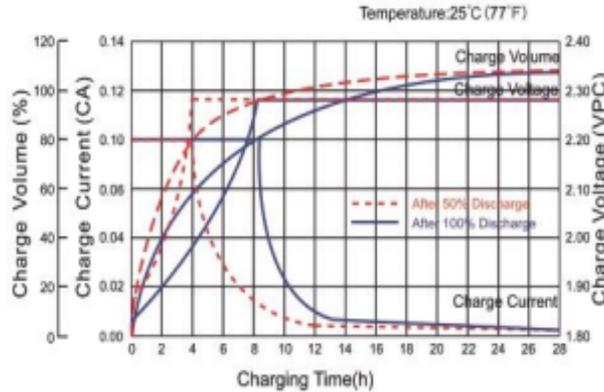


Fig. N° 32. Curva de carga para uso en standby. [16]

5.3 Diagrama de bloques.

En las siguientes secciones se detalla el funcionamiento del sistema de respaldo de energía utilizando como referencia el esquemático del circuito realizado.

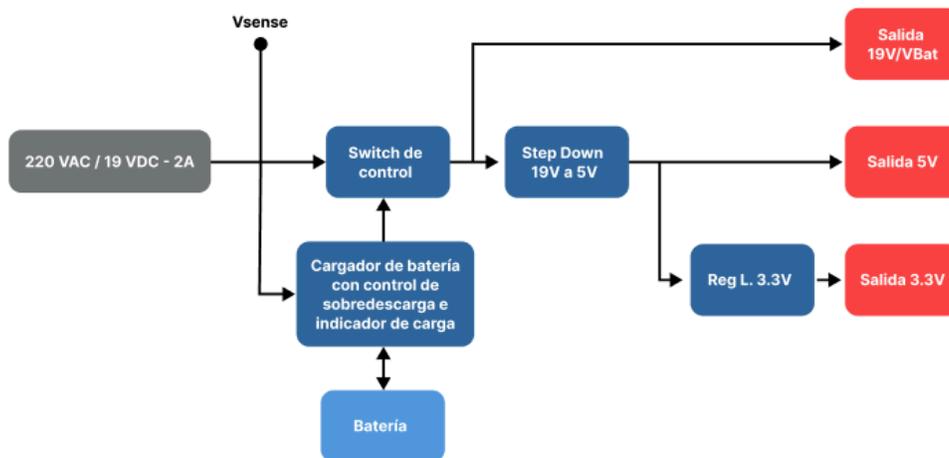


Fig. N° 33. Diagrama de bloques del circuito de respaldo de energía.

5.3.1 Limitador de corriente

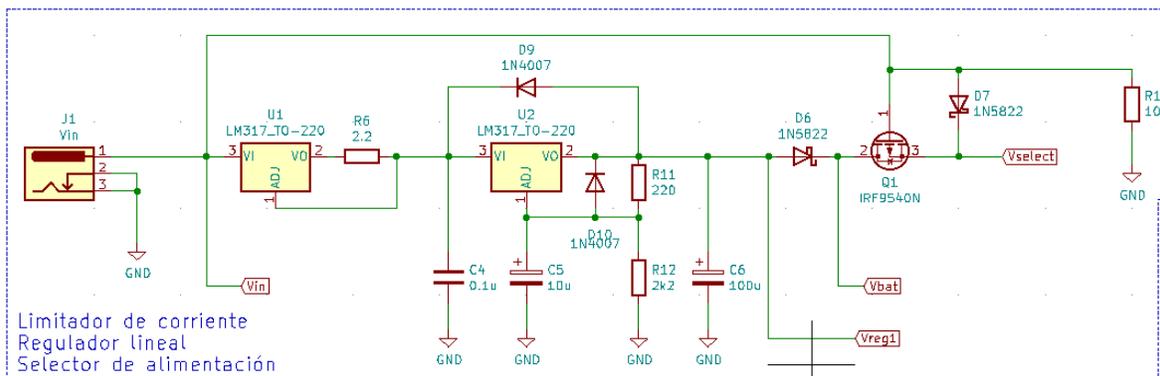


Fig. N° 34. Esquemático circuito de respaldo de energía. Secciones de limitador de corriente, regulador y selector de alimentación. [Anexo J]

El dispositivo está alimentado por una fuente de 220VAC/19VDC 2A, la cual se encarga de alimentar todo el sistema además de cargar la batería.

El LM317 es un regulador ajustable capaz de suministrar hasta 1.5A, con un rango de tensión de salida entre 1.25 V a 37 V. Este también cuenta con protección interna por sobre corriente y sobre temperatura que protegen al dispositivo de operar en condiciones que lo pueden dañar. En este circuito, el primer LM317 (U1) se encarga de limitar la corriente máxima (I_{max}) que puede entregar la fuente hacia el sistema de control y la batería. Según la hoja de datos se puede calcular la corriente máxima de U1 de la siguiente forma:

$$I_{max} = 1.2/R \quad (3)$$

Se utilizó una resistencia cerámica de 2.2 Ohms 5W por lo tanto:

$$I_{max} = 1.2/2.2 \Omega = 0.545A \quad (4)$$

Se eligió esta I_{max} ya que la hoja de datos de la batería recomienda cargarla con un máximo del 10% de su capacidad para aumentar su vida útil.

$$I_{Recomendada} = 7000mAh * 0.1 = 700mAh \quad (5)$$

5.3.2 Regulación a voltaje de carga de batería

El segundo LM317 (U2) se encarga de regular la entrada de 19 V a 13.8 V, necesarios para cargar la batería. Según la hoja de datos, se puede calcular la tensión de salida de la siguiente forma:

$$V_{out} = V_{Ref} (1 + R2/R1) + (I_{Adj} * R2) \quad (6)$$

La corriente de ajuste I_{Adj} suele ser de 50uA en la mayoría de las aplicaciones por lo que es despreciable. $R1$ es la resistencia entre el pin de salida y el de ajuste, $R2$ es la resistencia

entre el pin de ajuste y masa. V_{ref} es el voltaje de referencia del propio LM317 el cual tiene un valor de 1.25V según la hoja de datos. Por lo tanto, si se quiere cargar la batería con su voltaje de flotación (13.8 V), necesitamos escoger una resistencia R1 que sea 10 veces más chica que R2. El voltaje de salida por lo tanto es:

$$V_{out} = 1.25 (1 + 2K2\Omega / 220 \Omega) \quad (7)$$

$$V_{out} = 13.75V \quad (8)$$

El capacitor C5 sirve para mejorar el ripple en el voltaje de salida. El capacitor C4 se coloca para evitar problemas de filtrado debido a la lejanía del regulador respecto a la fuente de alimentación. El capacitor C6 mejora la respuesta transitoria a la salida. El diodo D10 proporciona una ruta de descarga de baja impedancia para evitar que el capacitor C5 se descargue en la salida del regulador. El diodo D9 cumple la misma función, con respecto al capacitor C6. El diodo D6 es un diodo schottky 1N5822 ya que puede hacer conmutaciones rápidas, tiene una tensión de conducción baja de aproximadamente 0.3 V y soporta hasta 3A.

5.3.3 Selector de alimentación

El transistor IRF9540 (Q1) es un MOSFET CH-P de conmutación rápida el cual es utilizado como selector de fuente de alimentación. Cuando el gate (pin 1) recibe un voltaje positivo el transistor se encuentra abierto, por lo tanto el voltaje sobre source (pin 3) es el mismo que se aplica sobre el gate debido al diodo schottky D7. Cuando el voltaje aplicado sobre el gate es menor o igual a 0 V el transistor se encuentra cerrado y su gate puesto a masa por la resistencia de pull down R15, por lo tanto el voltaje sobre source es el mismo que se aplica sobre el drain (pin 2). Esta conmutación es útil para no usar la batería mientras se está cargando.

5.3.4 Protección por sobredescarga

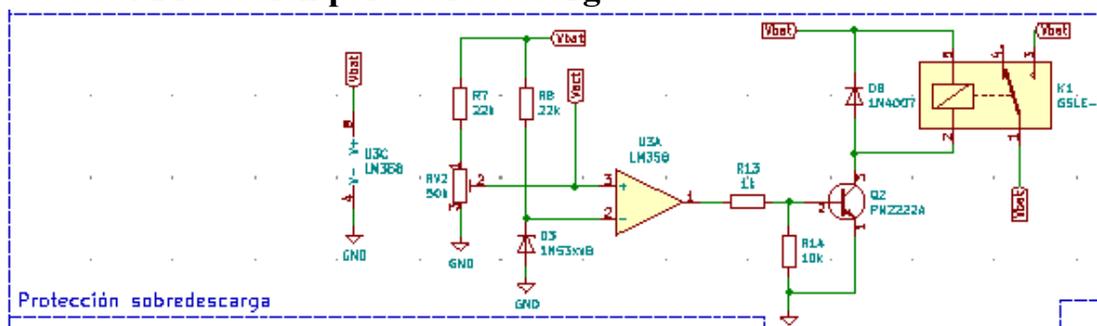


Fig. N° 35. Esquemático circuito de respaldo de energía. Sección de protección de sobredescarga. [Anexo J]

Para proteger la batería de sobredescarga se utilizó el amplificador operacional LM358 (U3-A) en modo comparador. Este circuito de control se encuentra alimentado por el mismo voltaje de la batería (V_{bat}), así al momento de cortar, la batería quedará desconectada por completo gracias al relay K1, cuya bobina tiene un voltaje nominal de



12V, manteniéndose enclavada hasta que el voltaje de su bobina caiga por debajo de los 9V. El voltaje en la entrada inversora del U3-A queda ajustado por el diodo zener D3 (1N5338) el cual es de 5.1 V. Sobre la entrada no inversora del U3-A se coloca un divisor resistivo variable, permitiendo ajustar así el valor de voltaje de batería deseado para el corte por sobredescarga. Se decidió que el voltaje de corte esté sobre los 11 V, por lo tanto se puede encontrar el valor de RV2 de la siguiente manera:

$$V_o = V_{in} * RV2 / (RV2 + R7) \quad (9)$$

Vo tiene que ser menor a 5.1 V debido al diodo zener, entonces:

$$5V = 11V * RV2 / (RV2 + 22 kOhms) \quad (10)$$

$$18.33 kOhms = RV2 \quad (11)$$

Por lo tanto, mientras la batería tenga un voltaje mayor a 11 V, la salida del LM358 será Vbat, en caso contrario, será 0 V.

Vact es un simple divisor resistivo conectado sobre la alimentación principal, el cual cumple la función de poner la entrada no inversora a un valor superior de los 5.1 V de la entrada inversora, permitiendo que la batería se cargue cuando su voltaje es menor al voltaje de protección.

Para activar y desactivar el relay K1 se utilizó el transistor 2.2222A (Q2) como conmutador. Utilizando una resistencia R13 para llevar el transistor a la saturación. Se utiliza la resistencia R14 como pulldown para asegurar el corte.

El diodo D8 sirve para proteger al transistor Q2 cuando se desenergiza la bobina del relay K1, disipando en este la energía almacenada. Este diodo es comúnmente llamado flyback.

5.3.5 Regulación a 5V

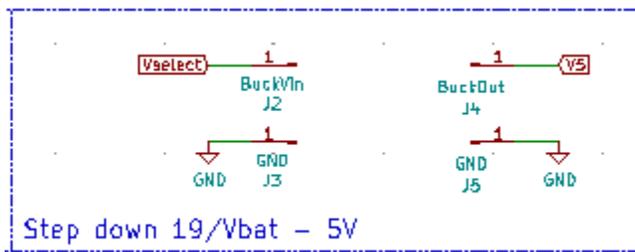


Fig. N° 36. Esquemático circuito de respaldo de energía. Sección de conexión para fuente DC/DC. [Anexo J]

Para reducir la tensión entregada por la fuente de alimentación/batería se utilizó un convertidor buck, el cual es una fuente conmutada DC-DC obteniendo una alta eficiencia en la conversión en comparación con los reguladores lineales, los cuales consumen mucha energía en forma de calor.

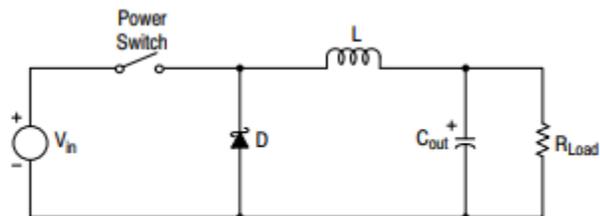


Fig. N° 37. *Convertor buck básico.* [20]

El funcionamiento básico de este convertidor se separa en dos periodos diferentes. El primer periodo ocurre cuando el switch está cerrado (ON), entonces la bobina está conectada a este voltaje, quedando el diodo polarizado en inversa. En este periodo, la corriente sobre el inductor comienza a incrementar linealmente según:

$$IL(on) = (Vin - Vout)ton/L \quad (12)$$

Durante este periodo el inductor almacena la energía necesaria para seguir alimentando la carga cuando comienza el otro periodo.

En el segundo periodo, cuando el switch está abierto (OFF), el voltaje sobre el inductor invierte su polaridad y el diodo se polariza de forma directa, haciendo que la corriente circule por este y se mantenga la corriente sobre la carga, disminuyendo así la energía almacenada en la bobina. La corriente en la bobina durante este periodo es:

$$IL(off) = (Vout - VD) * toff/L \quad (13)$$

Este periodo termina cuando el switch se cierra otra vez, definiendo así la regulación de este convertidor según el ciclo de trabajo del switch:

$$d = ton/T \quad (14)$$

Suponiendo componentes ideales, el voltaje de salida es:

$$Vin * d = Vout \quad (15)$$

Por cuestiones de simplicidad y disponibilidad de componentes se utilizó el módulo LM2596 el cual es un convertor DC-DC reductor de salida variable. Este está compuesto por el integrado LM2596 quien le da su nombre al módulo. La hoja de datos del integrado LM2596 nos da un circuito típico de aplicación y aunque no se utilizan exactamente los mismos componentes, nos da una idea de los valores utilizados.

En el anexo K se presentan las principales especificaciones del módulo y un esquemático aproximado del mismo.



Fig. N° 38. Módulo reductor DC-DC LM2596.

5.3.6 Regulación a 3.3V

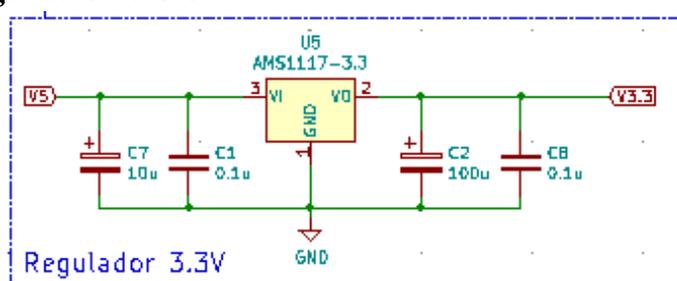


Fig. N° 39. Esquemático circuito de respaldo de energía. Sección de regulación a 3.3V. [Anexo J]

El AMS1117-3.3 (U5) es un regulador lineal LDO (Low Drop Output), este se utiliza para reducir el voltaje de 5V a 3.3V, necesarios para alimentar al ESP-12F. Los capacitores C7 y C2 se colocan en la entrada y salida respectivamente para reducir los efectos transitorios debidos a las variaciones de voltaje. Los capacitores C1 y C8 son capacitores de derivación, cuyo propósito es filtrar el ruido y las distorsiones de alta frecuencia obteniendo así un valor de DC lo más estable posible.

5.3.7 Indicador de carga.

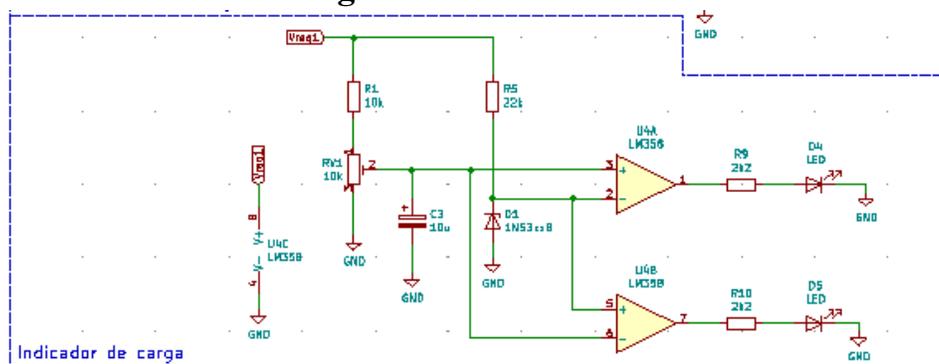


Fig. N° 40. Esquemático del circuito de respaldo de energía. Sección de indicador de carga.

Para indicar el estado de carga de la batería cuando ésta se encuentra conectada a la red



principal se utilizó un LM358 (U4-A , U4-B) en modo comparador. Para obtener un voltaje de referencia se utilizó un diodo zener D1 de 5.1 V(1N5338), el cual está conectado en la entrada inversora en el caso del U4-A y en la no inversora para el U4-B. Para ajustar el voltaje que indique que la batería está totalmente cargada se utilizó un divisor resistivo variable. Como el voltaje de carga objetivo de la batería es su voltaje de flotación se sabe que cuando la batería llegue a los 13.8 V esta estará totalmente cargada. Hay que tener en cuenta que el diodo schottky de protección, va a bajar este valor aproximadamente 0.3V por lo tanto el valor de RV1 puede calcularse de la siguiente forma:

$$V_o = V_{in} * RV1/(RV1 + R1) \quad (16)$$

V_o tendría que ser superior a los 5.1V del diodo zener para indicar que la batería está cargada por lo tanto:

$$5.2 V = 13.8 V * RV1/(RV1 + 10kOhms) \quad (17)$$

$$RV1 = 6k Ohms \quad (18)$$

El comparador U4-B tiene las mismas referencias de voltaje pero con sus entradas invertidas, por lo tanto cuando un indicador está prendido, el otro está apagado. El capacitor C3 sirve para evitar posibles parpadeos por fluctuaciones en la referencia del voltaje.

5.3.8 Sensado de alimentación de red

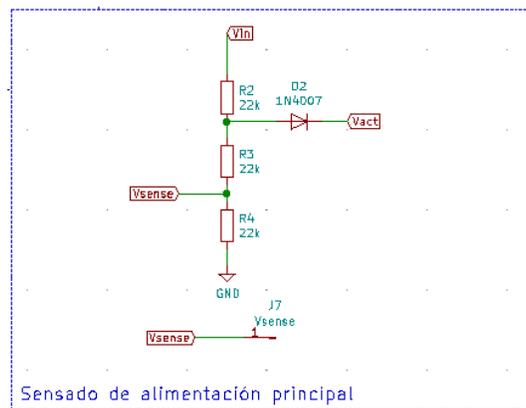


Fig. N° 41. Esquemático del circuito de respaldo de energía. Sección de sensado de alimentación de red.

El sensado de la alimentación principal se mide simplemente con un divisor resistivo, este valor va hacia un pin de entrada del microcontrolador de control para tomar decisiones respecto al estado de la bomba de agua y el estado del ESP-12F. La salida del diodo D2 se conecta con la entrada no inversora del LM358 (U3-A) para comenzar a cargar la batería, evitando problemas de comparación cuando esta está descargada o muy cerca de su límite de sobredescarga.

5.4 Diseño de placa

El diseño de la placa de respaldo de energía fue realizado con KiCad, el cual es una aplicación de software libre destinada al diseño automatizado de circuitos electrónicos.

En el anexo J se presentan el esquemático completo, el layout y la lista de los componentes con sus respectivos valores.

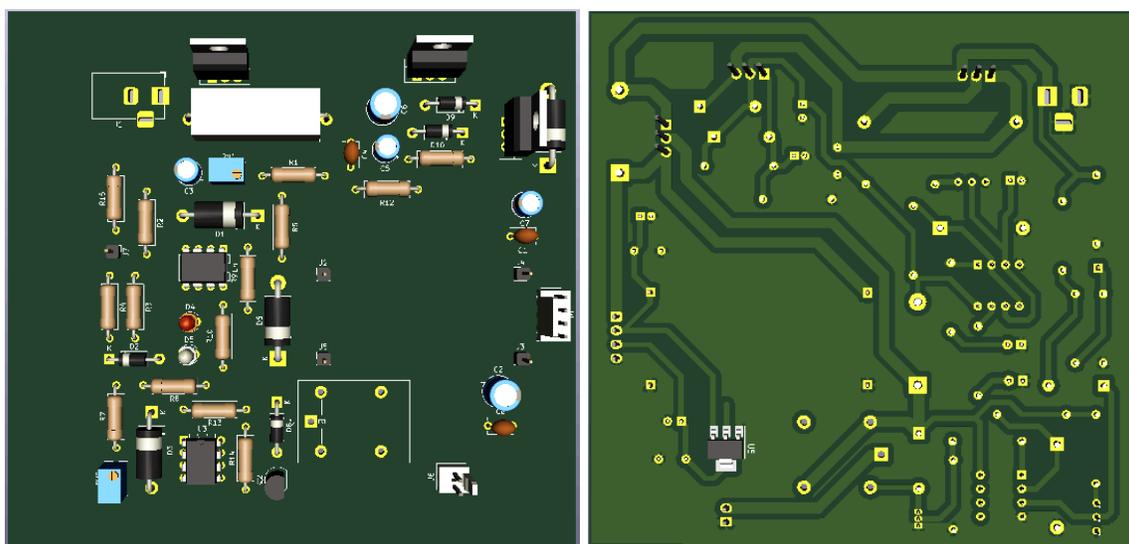


Fig. N° 42. Vista 3D frontal y posterior del circuito para el sistema de respaldo de energía.

6. Diseño de piezas mecánicas

Los dispositivos comerciales suelen tener todos el mismo diseño base para dispensar el alimento. Este es en forma de plato con separaciones y cuenta con un eje inferior unido al eje del motor. Algunas empresas llegaron a generar patentes de sus propios diseños.

Este y otros tipos de diseños se probaron generando diferentes maquetas sin éxito ya que los granos de alimento quedaban atascados en diferentes partes del mismo, por lo que se optó por crear otro tipo de diseño de piezas mecánicas, el cual se puede ver en la Fig. N° 43. Estas piezas fueron diseñadas con Tinkercad, una aplicación web gratuita para diseño 3D, para luego ser impresas en 3D.

La pieza número 1 cuenta una abertura en la parte superior donde se monta el contenedor de comida, la abertura frontal es por donde caerá la comida hacia el exterior y la abertura en la parte trasera cuenta con 4 agujeros pasantes destinados al montaje del motor.

La pieza número 2 fue diseñada para montar el motor sobre la pieza número 1 y que esta quede sujeta con tornillos.

La pieza número 3 estará unida al eje del motor y es la pieza que se mueve, llevando los granos hacia el exterior. Este eje tiene sus paletas de un diámetro menor a medida que se acercan a la salida para evitar que el alimento se atasque. Esta pieza está dividida en 2 partes por cuestiones de impresión 3D.

El tamaño promedio del alimento balanceado está entre los 5 mm y 25 mm, por lo que la separación entre las paletas de la pieza 3 se diseñó para poder soportar estos tamaños mínimos y máximos.

Como se explicó anteriormente, en caso de que el alimento se atasque, el driver del motor se encarga de comunicarse con el microcontrolador para que este haga un giro de unos pocos grados en sentido contrario destrabando así los granos de alimento y permitiendo que el dispositivo continúe con su funcionamiento normal.

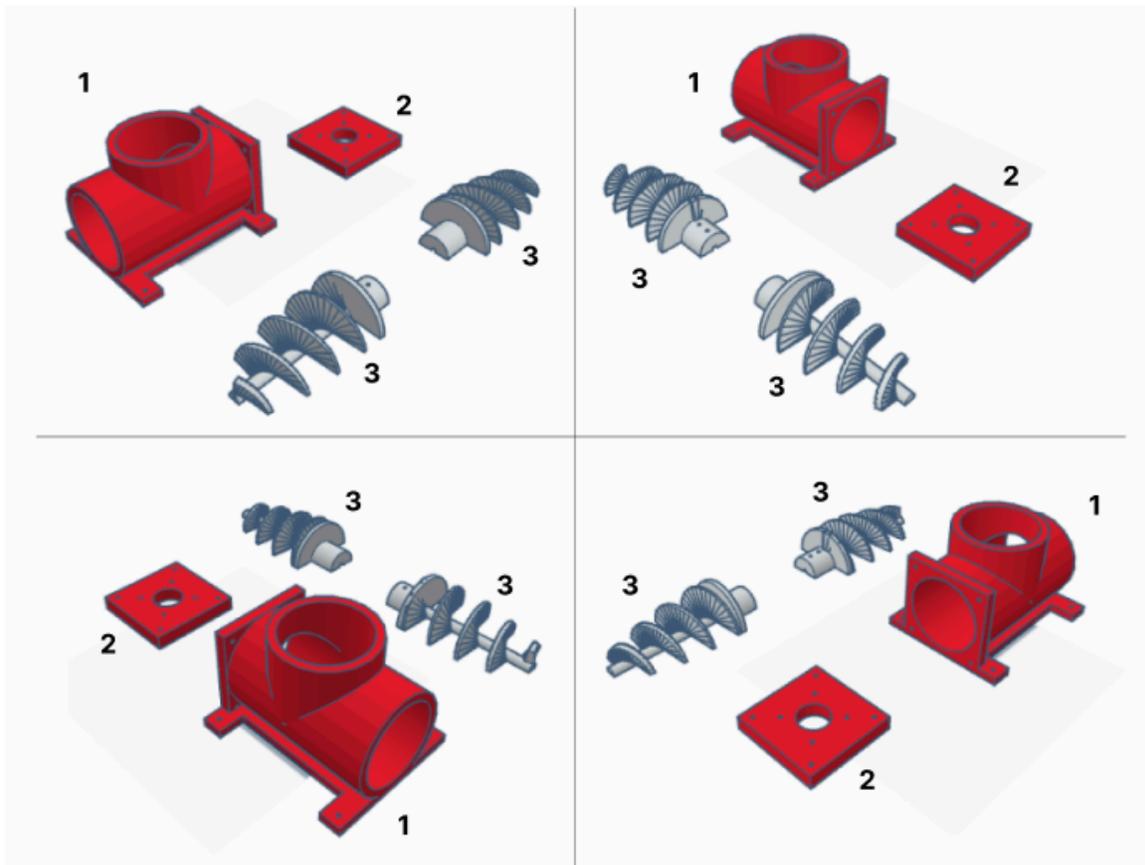


Fig. N° 43. Diferentes vistas de las piezas diseñadas.

7. Evaluación Final del Sistema

Dentro de las pruebas de funcionamiento general del sistema se obtuvieron los siguientes resultados:

- Respecto al RTC-1307 se vio que el tiempo seteado en este se retrasaba unos 10-15 segundos por día. Se encontró que el mismo no es muy robusto respecto a la persistencia de su configuración, reseteando sus valores sin razón aparente cuando se utiliza su batería de mantenimiento. Una de las opciones es reemplazarlo por el DS3231 el cual presenta un comportamiento más estable.
- Respecto a la bomba de agua, ésta tuvo que ser reemplazada por una de mejor calidad y con mayor protección (la utilizada en este informe), ya que son susceptibles a quemarse por el ingreso de agua en su interior.
- Respecto al sensor infrarrojo, no se detectaron problemas de lectura por la grasa



- propia del alimento utilizado, aunque es recomendable que se le haga un mantenimiento limpiando el contacto que tiene este con el alimento.
- Respecto al sensor de agua se vieron algunos fallos por falso sensado debido al movimiento del agua cuando esta está muy cerca de su límite de recarga.
 - Gracias al diseño en forma decreciente de la pieza que está unida al eje del motor se evitó que el alimento se atasque de forma recurrente.
 - Respecto a la corriente de carga de la batería, ésta quedó por debajo de su límite (700mA) ya que no se encontraron valores de resistencias que permitan cargarla lo más rápido posible. Esta podría tardar aproximadamente 12 horas en cargarse por completo debido a que la corriente está limitada a 550mA, menos el consumo general del dispositivo que son unos 82mA.
 - No se detectaron problemas en la comunicación MQTT entre la aplicación y el dispositivo.
 - No se detectaron problemas en la comunicación serie entre microcontroladores.

Se puede decir entonces que el proyecto cumple con sus objetivos iniciales, logrando un prototipo funcional del mismo.

7.1 Análisis de la autonomía del sistema.

Como el dispositivo tiene consumos variables debido a la activación del motor y la bomba de agua, la autonomía del sistema cuando este está siendo alimentado con baterías puede estimarse de la siguiente manera (Consumo = C ; Consumo promedio = CP):

$$CP_{motor} = C_{motor} * Tiempo_{activo} / Tiempo_{total} \quad (19)$$

$$CP_{motor} = 130mA * 5s / 3600s = 0.18mA \quad (20)$$

Como el motor tarda 1 segundo aproximadamente en dispensar cada porción y la cantidad máxima de porciones por configuración es de 5, se utilizan 5 segundos como tiempo activo por hora para el cálculo del consumo promedio del motor.

$$CP_{bomba} = C_{bomba} * Tiempo_{activo} / Tiempo_{total} \quad (21)$$

$$CP_{bomba} = 150mA * 300s / 3600s = 12.5mA \quad (22)$$

Como la bomba de agua se activa durante 5 segundos cada vez que pasa un minuto en el RTC, se estima entonces que el tiempo activo de la bomba de agua por hora es de 300 segundos.

$$CP_{estimado} = C_{nominal} + CP_{motor} + CP_{bomba} \quad (23)$$

$$CP_{estimado} = 70mA + 0.18mA + 12.5mA = 82.68mA \quad (24)$$

$$Autonomía = Capacidad_{de\ batería} / CP_{estimado} \quad (25)$$

$$Autonomía = 7000mAh / 82.68mAh = 84.66\ horas = 3.5\ días \quad (26)$$

El consumo normal del circuito cuando este está siendo alimentado por baterías es de unos

70 mA según las mediciones durante las pruebas, por lo que se calcula que la autonomía del sistema es de unos 3 días y medio suponiendo que la batería está en plena carga.

7.2 Prototipo final

En este trabajo se utilizaron dos placas de cobre pertinax de 10x10cm, una para cada circuito, facilitando así el desarrollo en conjunto de las diferentes partes del sistema. La lista de componentes, el layout y el esquemático de cada placa se pueden ver en los anexos I y J.

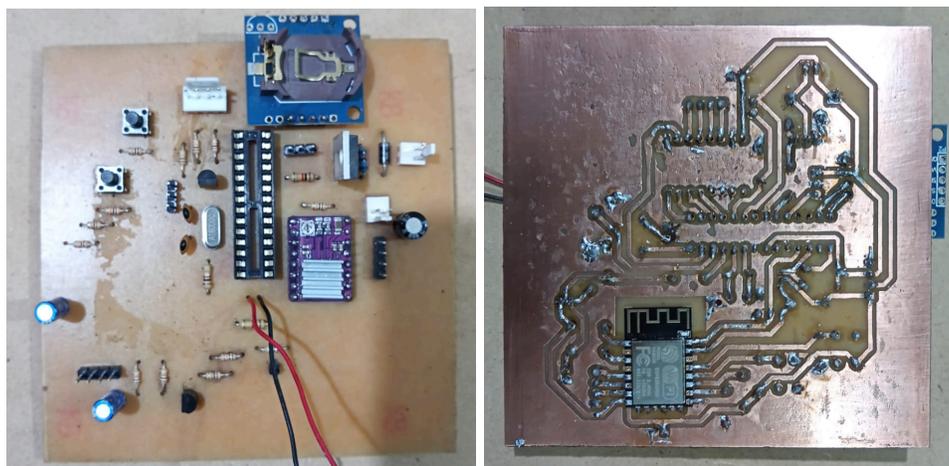


Fig. N° 44. Vista frontal y posterior del circuito para el sistema de control y comunicación WiFi.

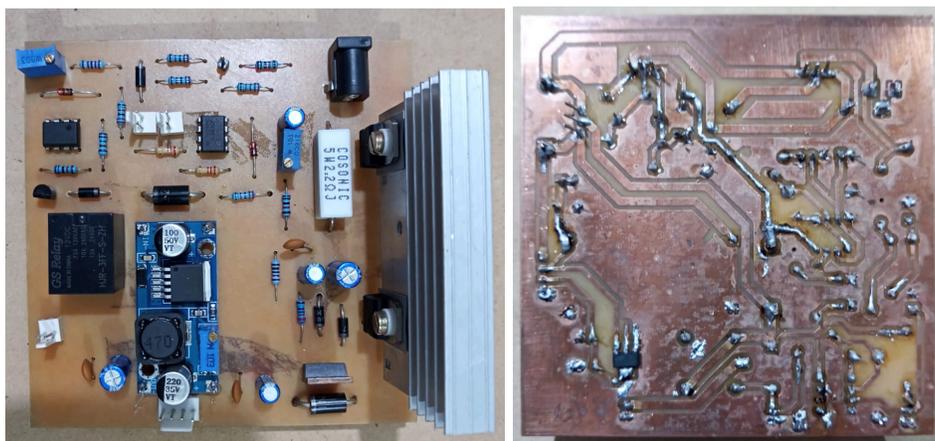


Fig. N° 45. Vista frontal y posterior del circuito para el sistema de respaldo de energía.

El prototipo final del dispositivo fue construido con paneles de fibra de madera MDF (Medium Density Fibreboard), ya que utilizar una impresión 3D para la estructura externa elevaba demasiado el costo del proyecto.

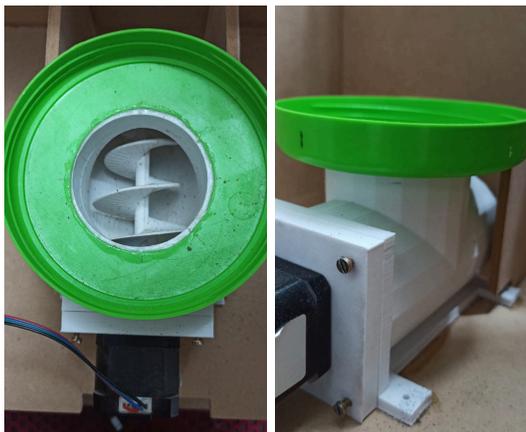


Fig. N° 46. Estructura dispensadora de alimento.



Fig. N° 47. Estructura externa y vista interna del prototipo.



8. Conclusiones

En este proyecto se han utilizado muchos de los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, sumando también el aprendizaje de nuevos conocimientos sobre el uso de diferentes protocolos de comunicación, diseño de circuitos y de piezas mecánicas.

Se ha aprendido mucho sobre la electrónica de consumo y como es desarrollar un dispositivo con intenciones de comercialización.

Por último, se obtuvieron los resultados esperados al iniciar este trabajo, quedando el dispositivo final funcionando de manera óptima y funcional, aunque el costo de producción fue más elevado de lo que se había estimado.



9. Bibliografía

- [1] Robert L. Boylestad, Louis Nashelsky, *Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos - 10ma edición.*
- [2] Thomas L. Floyd, *Fundamentos de sistemas digitales - 9na edición.*
- [3] N-Economía, *Pet Tech: el multimillonario negocio de la tecnología para mascotas.*
<https://n-economia.com/noticias/pet-tech-el-multimillonario-negocio-de-la-tecnologia-para-mascotas>
- [4] AiThinker, *ESP12F Datasheet - Versión V1 (2018).*
- [5] Microchip, *ATmega328P Datasheet - Version 2020.*
- [6] Rohde & Schwarz, *Qué es UART.*
https://www.rohde-schwarz.com/es/productos/test-y-medida/osciloscopios/educational-content/que-es-uart_254524.html
- [7] Luis Llamas, *Protocolos de comunicación para IoT.*
<https://www.luisllamas.es/protocolos-de-comunicacion-para-iot/>
- [8] ESP8266 Arduino Core, *ESP8266 documentation.*
<https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/esp8266wifi/readme.html>
- [9] Maxim Integrated Products, *DS1307 Datasheet (PDF), Revision 121906.*
- [10] Philips Semiconductor, *The I2C-bus specification, version 2.1 (2000).*
- [11] MotionKing, *HB Stepper Motor Catalog.*
<https://datasheetspdf.com/pdf-file/928655/MotionKing/17HS2408/1>
- [12] Last Minute Engineers, *Control Stepper Motor with DRV8825 Driver Module & Arduino.* <https://lastminuteengineers.com/drv8825-stepper-motor-driver-arduino-tutorial>
- [13] Tzapu, *WiFiManager library.* <https://github.com/tzapu/WiFiManager#readme>
- [14] Knolleary, *PubSubClient library.* <https://github.com/knolleary/pubsubclient#readme>
- [15] Victron Energy, *Gel and AGM Batteries.*
<https://www.victronenergy.com/upload/documents/Datasheet-GEL-and-AGM-Batteries-EN.pdf>
- [16] Mundobaterias, *KeyPower 12V 7Ah datasheet.*
<https://www.mundobaterias.com.ar/wp-content/uploads/bateria-keypower-12v7ah-datasheet.pdf>
- [17] Sealed Performance, *What is the difference between cycle use and standby use?.*
<https://www.sealedperformance.com.au/faq/what-is-the-difference-between-cycle-use-and-s>
-



tandby-use/

[18] Farnell, *NP7-12 datasheet*. <http://www.farnell.com/datasheets/612553.pdf>

[19] WCC Solar, *Que es Voltaje de Flotación y Voltaje de carga*.
<https://www.wccsolar.net/post/comparativa-bater%C3%ADAs-wccsolar>

[20] Onsemi, *3.0 A, Step-Down Switching Regulator*.
<https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/lm2596-d.pdf>

[21] e-Gizmo mechatronix central, *TinyRTC I2C Module datasheet*.
<https://pdf.direnc.net/upload/tinyrtc-i2c-modul-datasheet.pdf>

[22]Espressif, *ESP8266 Technical Reference Version 1.3*.

[23] OASIS Standard, *MQTT Version 3.1.15.0 (2014)*.
<http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.html>



10. Anexo A - ESP-12F

Module Model	ESP-12F
Package	SMD22
Size	24*16*3(±0.2)mm
Certification	FCC、CE、IC、REACH、RoHS
SPI Flash	Default 32Mbit
Interface	UART/GPIO/ADC/PWM
IO Port	9
UART Baud rate	Support 300 ~ 4608000 bps , Default 115200 bps
Frequency Range	2412 ~ 2484MHz
Antenna	PCB Antenna
Transmit Power	802.11b: 16±2 dBm (@11Mbps) 802.11g: 14±2 dBm (@54Mbps) 802.11n: 13±2 dBm (@HT20, MCS7)
Receiving Sensitivity	CCK, 1 Mbps : -90dBm CCK, 11 Mbps: -85dBm 6 Mbps (1/2 BPSK): -88dBm 54 Mbps (3/4 64-QAM): -70dBm HT20, MCS7 (65 Mbps, 72.2 Mbps): -67dBm
Power (Typical Values)	Continuous Transmission=>Average: ~71mA, Peak: 500mA Modem Sleep: ~20mA Light Sleep: ~2mA Deep Sleep: ~0.02mA
Security	WEP/WPA-PSK/WPA2-PSK
Power Supply	Voltage 3.0V ~ 3.6V, Typical 3.3V, Current >500mA
Operating Temperature	-20 °C ~ 85 °C
Storage Environment	-40 °C ~ 85 °C , < 90%RH

Fig. N° 48. Especificaciones del módulo ESP-12F [4]

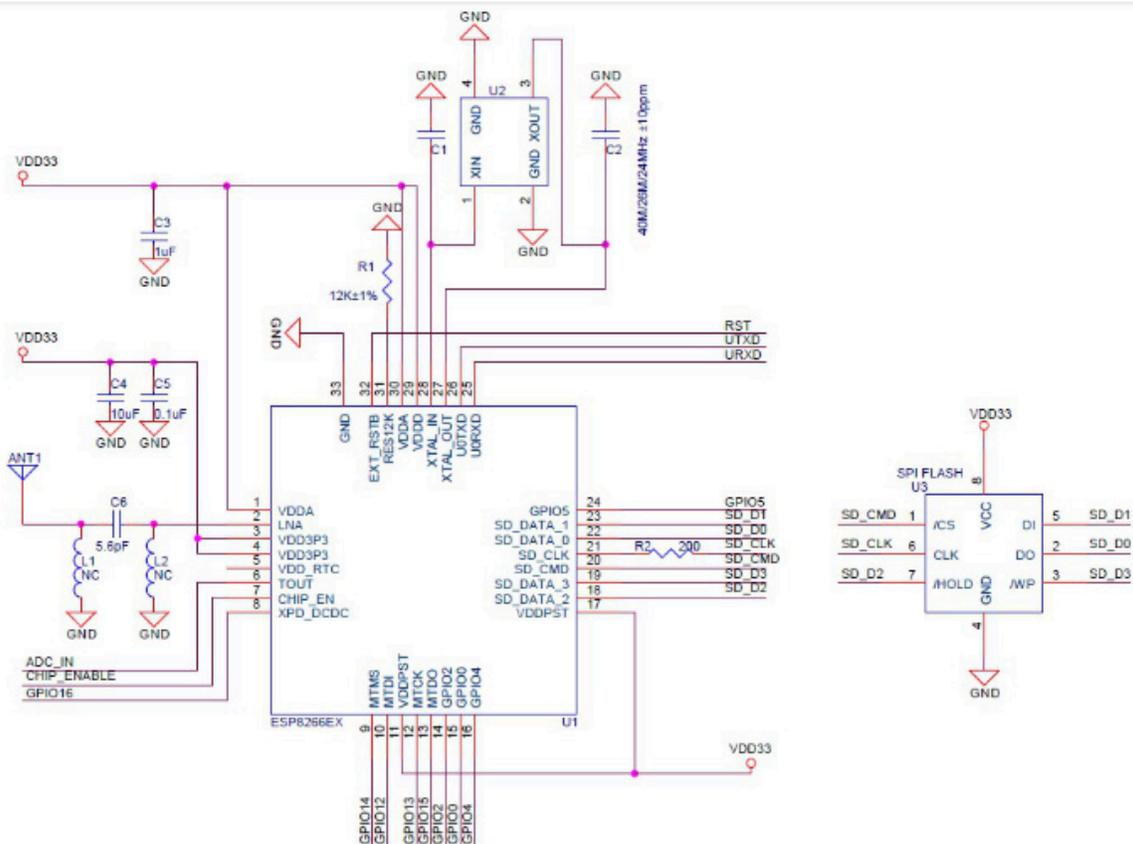


Fig N° 49. Esquema interno del módulo ESP-12F. [4]

11. Anexo B - ATmega-328P

Especificaciones:

- CPU: AVR 8 Bit
- Memoria flash: 32Kb
- SRAM: 2 Kb
- Cantidad de pines 28 (23 I/O).
- Frecuencia maxima de operacion 20MHz
- Interrupciones internas: 24
- Canales ADC: 8 (10 bits)
- Programmable Serial USART
- EEPROM: 1Kb
- PWM: 6
- Voltaje de operación: 1.8V - 5.5V
- Timers: 3
- Consumo de potencia a 1 MHz, 1.8V 25°C: 0.2mA

12. Anexo C - RTC DS-1307

Especificaciones:

- 56 Bytes de NV SRAM
- circuito de detección de falla de energía y batería de respaldo
- RAM de propósito general sin limitación de escritura
- interfaz serial I2C
- Señal cuadrada de salida programable
- Consumo de 200uA y menor a 500nA cuando entra en funcionamiento la batería
- Temperatura de operación entre los -40°C y 85°C
- Voltaje de alimentación 5V
- Voltaje de batería entre 2V y 3.5V

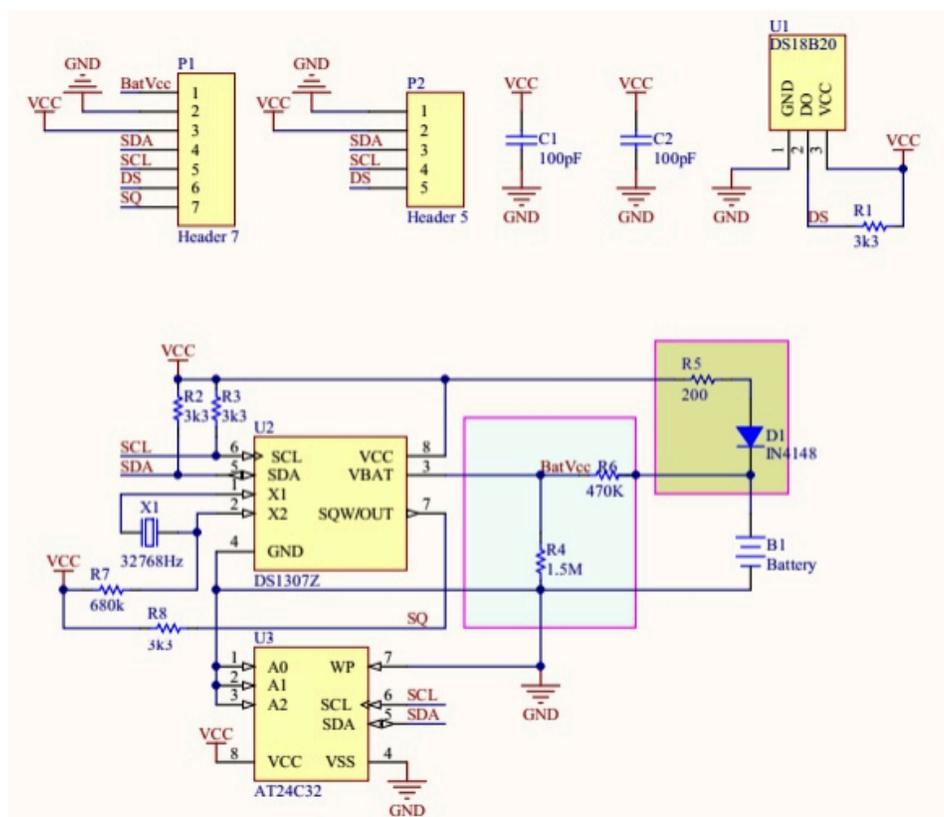


Fig N° 50. Esquemático del módulo RTC DS-1307. [21]

13. Anexo D - Sensor IR

Especificaciones:

- Detecta la presencia de obstáculos entre 2 a 30 cm
- Ángulo de detección 35 grados

- Comparador LM393 on-board
- Orificio de instalación para facilitar su uso
- Indicador de alimentación (LED rojo)
- Indicador de salida digital (LED verde)
- Conexión de 3 hilos
- Dimensiones 31 x 15 mm
- Distribución de pines: 3 pines
- OUT: Salida de tensión digital
- GND: Masa
- VCC: Alimentación 3.3 a 5V

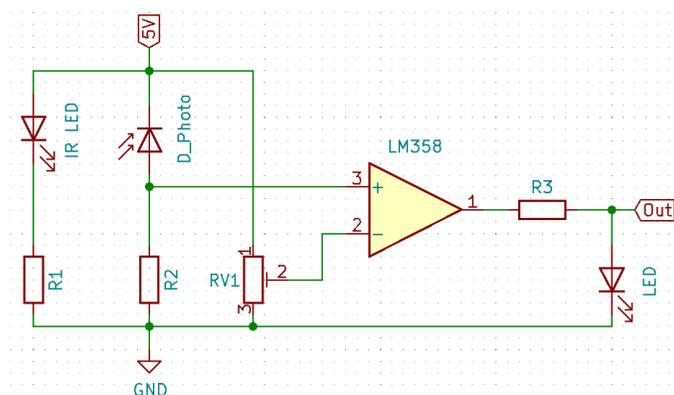


Fig N° 51. Esquemático de referencia del módulo IR.

14. Anexo E - Sensor flotador

Especificaciones:

- Tensión de conmutación máxima: 100V DC
- Corriente de conmutación máxima: 0.5A
- Voltaje de avería de Max: C.C. 220V
- Max. corriente: 1A
- Resistencia de contacto máxima: 100 ohm
- Clasificación de temperatura: -10 / Y 85° C
- Material: Plástico, PP
- Diámetro externo de la rosca: 15.3mm

15. Anexo F - Bomba de agua AD20P-0510A

Especificaciones:

- Brushless DC
- Voltaje de operación: DC 5V
- Corriente de operación: 170MA



- Altura máxima de transporte: 100CM
- Flujo máximo: 120L /H
- Tiempo de vida:> 20000 hours
- Ruido: <45 dB

16. Anexo G - Motor 17HS4402

Electrical Specifications:

Series Model	Step Angle (deg)	Motor Length (mm)	Rated Current (A)	Phase Resistance (ohm)	Phase Inductance (mH)	Holding Torque (N.cm Min)	Detent Torque (N.cm Max)	Rotor Inertia (g.cm ²)	Lead Wire (No.)	Motor Weight (g)
17HS2408	1.8	28	0.6	8	10	12	1.6	34	4	150
17HS3401	1.8	34	1.3	2.4	2.8	28	1.6	34	4	220
17HS3410	1.8	34	1.7	1.2	1.8	28	1.6	34	4	220
17HS3430	1.8	34	0.4	30	35	28	1.6	34	4	220
17HS3630	1.8	34	0.4	30	18	21	1.6	34	6	220
17HS3616	1.8	34	0.16	75	40	14	1.6	34	6	220
17HS4401	1.8	40	1.7	1.5	2.8	40	2.2	54	4	280
17HS4402	1.8	40	1.3	2.5	5.0	40	2.2	54	4	280
17HS4602	1.8	40	1.2	3.2	2.8	28	2.2	54	6	280
17HS4630	1.8	40	0.4	30	28	28	2.2	54	6	280
17HS8401	1.8	48	1.7	1.8	3.2	52	2.6	68	4	350
17HS8402	1.8	48	1.3	3.2	5.5	52	2.6	68	4	350
17HS8403	1.8	48	2.3	1.2	1.6	46	2.6	68	4	350
17HS8630	1.8	48	0.4	30	38	34	2.6	68	6	350

Fig N° 52. Especificaciones eléctricas del motor 17HS4402 [11].

17. Anexo H - DRV8825

Motor output voltage	8.2V – 45V
Logic voltage	Built-In 3.3V output
Continuous current per phase	1A
Maximum current per phase	2.5A
Microstep resolution	full, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, and 1/32

Fig N° 53. Especificaciones driver DRV8825 [12].

18. Anexo I - Placa de sistema de control y conectividad WiFi

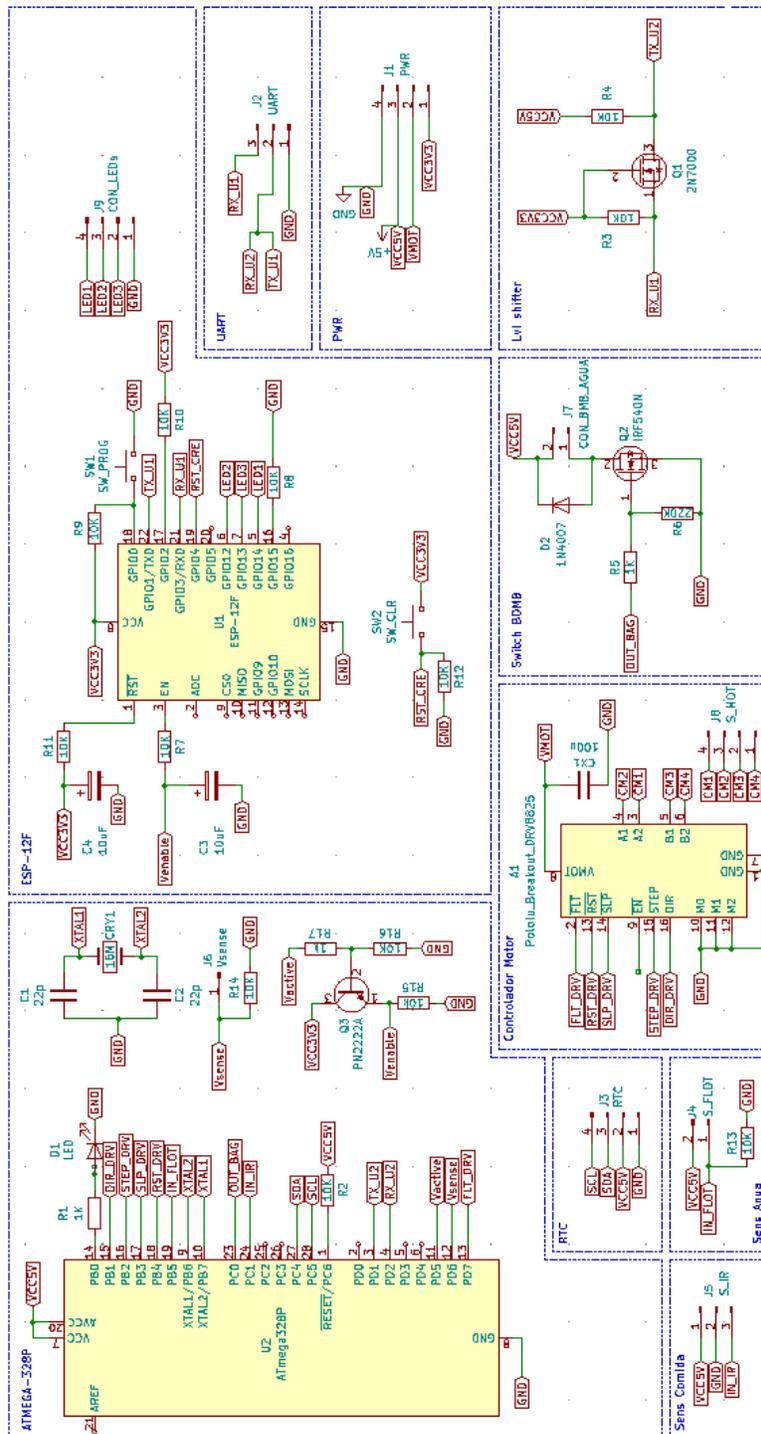


Fig N° 54. Esquemático del sistema de control y conectividad WiFi.

Symbol : Footprint Assignments		
1	A1 -	Pololu_Breakout_DI
2	C1 -	22p
3	C2 -	22p
4	C3 -	10uF
5	C4 -	10uF
6	CRY1 -	16M
7	CX1 -	100u
8	D1 -	LED
9	D2 -	1N4007
10	J1 -	PWR
11	J2 -	UART
12	J3 -	RTC
13	J4 -	S_FLOT
14	J5 -	S_IR
15	J6 -	Vsense
16	J7 -	CON_RMB_AGUA
17	J8 -	S_MOT
18	J9 -	CON_LEDs
19	Q1 -	2N7000
20	Q2 -	IRF540N
21	Q3 -	PN2222A
22	R1 -	1K
23	R2 -	10K
24	R3 -	10K
25	R4 -	10K
26	R5 -	1K
27	R6 -	220K
28	R7 -	10K
29	R8 -	10K
30	R9 -	10K
31	R10 -	10K
32	R11 -	10K
33	R12 -	10K
34	R13 -	10K
35	R14 -	10K
36	R15 -	10k
37	R16 -	10K
38	R17 -	1k
39	SW1 -	SW_PROG
40	SW2 -	SW_CLR
41	U1 -	ESP-12F
42	U2 -	ATmega328P

Fig N° 55. Lista de componentes y referencias del sistema de control y conectividad WiFi.

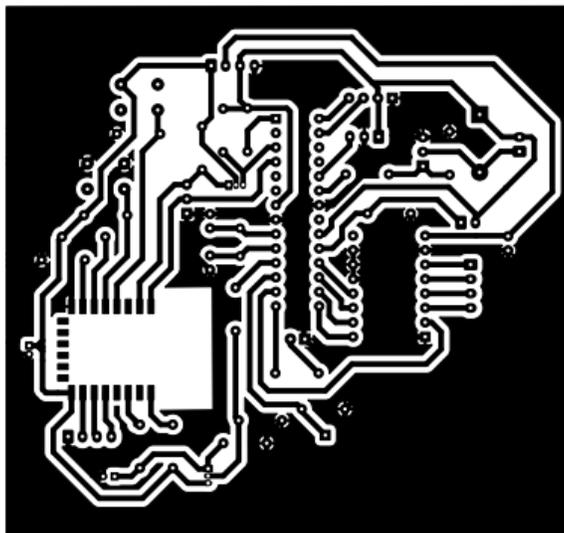


Fig N° 56. Layout del sistema de control y conectividad WiFi.

19. Anexo J - Placa de sistema de respaldo de energía

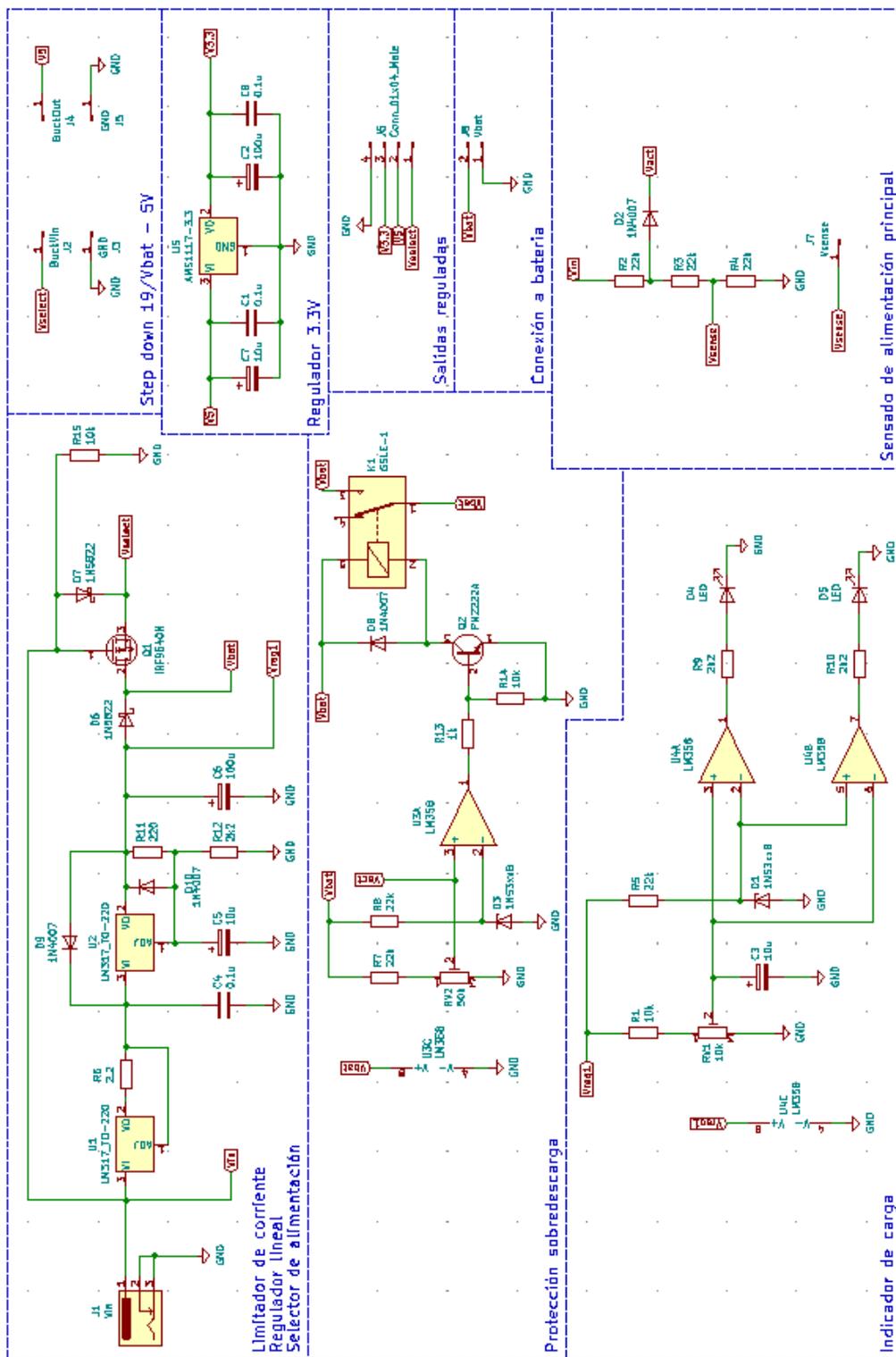


Fig N° 57. Esquemático del sistema de respaldo de energía.



Symbol : Footprint Assignments		
1	C1 -	0.1u
2	C2 -	100u
3	C3 -	10u
4	C4 -	0.1u
5	C5 -	10u
6	C6 -	100u
7	C7 -	10u
8	C8 -	0.1u
9	D1 -	1N53xxB
10	D2 -	1N4007
11	D3 -	1N53xxB
12	D4 -	LED
13	D5 -	LED
14	D6 -	1N5822
15	D7 -	1N5822
16	D8 -	1N4007
17	D9 -	1N4007
18	D10 -	1N4007
19	J1 -	Vin
20	J2 -	BuckVin
21	J3 -	GND
22	J4 -	BuckOut
23	J5 -	GND
24	J6 -	Conn_01x04_Male
25	J7 -	Vsense
26	J8 -	Vbat
27	K1 -	G5LE-1
28	Q1 -	IRF9540N
29	Q2 -	PN2222A
30	R1 -	10k
31	R2 -	22k
32	R3 -	22k
33	R4 -	22k
34	R5 -	22k
35	R6 -	2.2
36	R7 -	22k
37	R8 -	22k
38	R9 -	2k2
39	R10 -	2k2
40	R11 -	220
41	R12 -	2k2
42	R13 -	1k
43	R14 -	10k
44	R15 -	10k
45	RV1 -	10k
46	RV2 -	50k
47	U1 -	LM317_TO-220
48	U2 -	LM317_TO-220
49	U3 -	LM358
50	U4 -	LM358
51	U5 -	AMS1117-3.3

Fig N° 58. Lista de componentes y referencias del sistema de respaldo de energía.

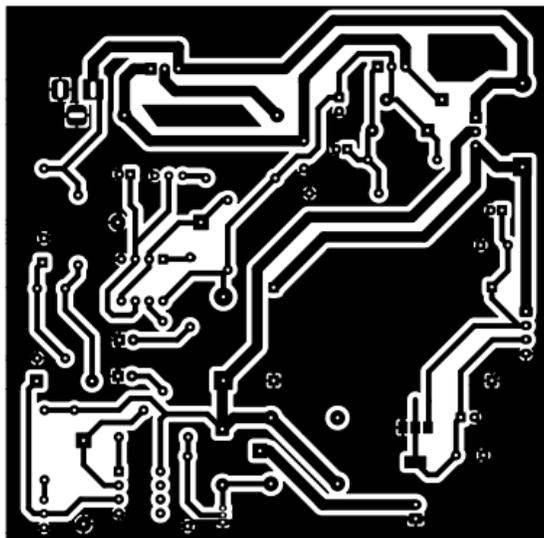


Fig N° 59. Layout del sistema de respaldo de energía.

20. Anexo K - Módulo LM2596

Especificaciones:

- Voltaje de entrada: 4.5V a 40V DC
- Voltaje de salida: 1.23V a 37V DC
- V. salida ajustable (el voltaje de entrada debe ser al menos 1.5V más que la salida).
- Corriente de Salida: máx. 3A, 2.5A recomendado (usar disipador para corrientes mayores a 2A).
- Potencia de salida: 25W
- Eficiencia de conversión: 92%
- Regulación de carga: $S(I) \leq 0.5\%$.
- Regulación de voltaje: $S(u) \leq 0.5\%$.
- Frecuencia de Trabajo: 150KHz
- Ripple en la salida: 30mV (máx.) 20M bandwidth
- Protección de sobre-temperatura: SI (apaga la salida)
- Protección de corto circuito: SI (hasta 5A)
- Protección limitadora de corriente: SI

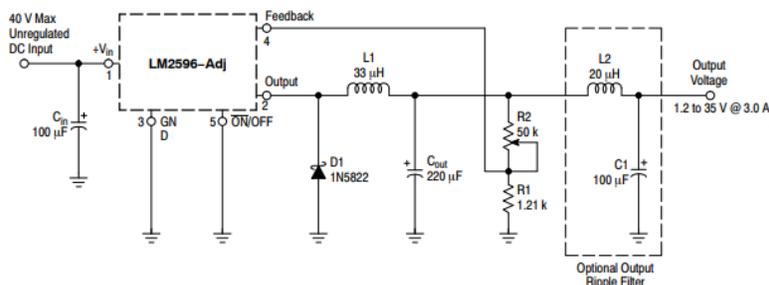


Fig N° 60. Esquemático aproximado del módulo LM2596 [20].