

Diseño de un sistema digital que mide y transmite el nivel de agua de forma inalámbrica

Amaya Amaya Over José / Muñoz López Víctor Hugo

over2194667, victor2194227, (@ correo.uis.edu.co)

Resumen:

En este proyecto se realizó el diseño de una PCB de 4 capas para las conexiones de un sistema digital que mide y transmite el nivel de un tanque de forma inalámbrica a un celular móvil por medio de una antena impresa en la PCB por protocolo WIFI, dicho sistema es alimentado por un conector USB tipo C, utilizando un regulador de tensión y protecciones contra descargas electroestáticas (ESD).

Introducción:

Los microcontroladores actuales tienen una gran capacidad de procesamiento, y son muy útiles para procesar y transmitir datos de forma inalámbrica de diversos tipos de sensores para aplicaciones industriales, es por esto que se elaboró un proyecto del diseño de una PCB de 4 capas de un sistema digital, que es capaz de medir y transmitir de forma inalámbrica a un celular haciendo uso de una antena RF diseñada en una placa PCB, el nivel de profundidad de un tanque subterráneo para el almacenamiento de agua de lluvia, de 3 metros de longitud, 2 metros de ancho y 2 metros de profundidad, este sistema es alimentado por medio de un conector USB tipo C, que a su vez por medio del bus de datos carga el programa para realizar la lectura del sensor de nivel de agua, al microcontrolador se le agrego una fuente de reloj externa para aumentar la velocidad de procesamiento del microcontrolador y se le agregaron memorias FLASH y SRAM externas para aumentar el tamaño de la memoria de instrucciones y de datos del microcontrolador respectivamente. El sistema digital diseñado usa protecciones contra descargas electroestáticas ESD en señales de interfaz de usuario u otras entradas, tales como la Antena diseñada

en la PCB, y los pines diferenciales del conector USB tipo C.

Objetivos:

- Diseñar un sistema digital que sea capaz de medir el nivel de un tanque y transmitirlo de forma inalámbrica.
- Seleccionar los componentes para el montaje del sistema a diseñar.
- Conexión de los componentes del sistema digital.
- Diseñar una PCB de 4 capas para ensamblar los componentes del sistema digital.
- Programar código del microcontrolador para medir y transmitir datos del sensor.

I. Selección de componentes:

Microcontrolador:

En un sistema digital lo más importante es el microcontrolador, ya que es el cerebro que controla el comportamiento de los diferentes componentes del sistema, es por esto que realizando una búsqueda entre varios microcontroladores en el mercado que poseen comunicaciones inalámbricas como Wi-Fi y/o Bluetooth, se decantó por revisar más a fondo las diversas familias de microcontroladores ESP32 de la empresa Espressif, revisando que el micro elegido tenga la posibilidad de conectar un sistema de reloj, memorias FLASH y SRAM externas. En la tabla 1, se muestra una comparativa de los 3 microcontroladores que mejor se ajustaban a los requerimientos del diseño.



Microcontrolador	Máxima Frecuencia de operación	Conectividad	Memoria Flash Externa	Velocidad Transmisión de datos	Periféricos	Frecuencia Reloj y Oscilador Externo	Condición de operación	Dimensiones	Memoria SRAM	Precio (Precio Catálogo)	Links para comprar
ESP32-C3 (32-bit RISC-V single-core processor with a four-stage pipeline)	160 MHz	2.4 GHz Wi-Fi & Bluetooth 5.0 LE	Si	150 Mbps	22 or 16 pins	Si	-40°C = 105°C 10% ~ 3.6V	5×3 mm	No	\$43,183.53	https://www.digikey.com/Products/Espressif-Systems/ESP32-C3
ESP32-S3 (thetaFO 32-bit dual-core processor)	240 MHz	2.4 GHz Wi-Fi & Bluetooth 5.0 LE SoC	Si	150 Mbps	• Peripherals include 45 programmable GPIOs, SPI, I2C, PWM, I2S, ADC and UART • 50-MAC net • 28-TWIM	Si	-40°C = 105°C 3.3 V1.0-V	7x7 mm	Si	\$9,299	https://www.espressif.com/Products/Espressif-Systems/ESP32-S3
Nordic nRF52840/32 (48-bit ARM Cortex-M4 CPU)	64 MHz	Bluetooth LE, BLE, Thread, ZigBee, 802.15.4, ANT	1 MB	2 Mbps	128-bit AES CCM, ACM Cryptography UART, SPI TWI, I2C, I2S, I2C PWM 12-bit ADC NFC-A USB 2.0	No (32 MHz crystal oscillator internal)	1.7 V to 5.5 V 7 pins CPUM4=64k range mm 1.8 V to 3.3 V 3.6mm	40QFN73-7x7	No	\$ 20500 Omnimatrix Electronics \$25500 MAGUSYS \$ 26900 (Digikey)	https://infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52840.pdf https://www.magnetics.com/Products/Espressif-Systems/ESP32-S3 https://www.infocenter.nordicsemi.com/pdf/nRF52840.pdf

Tabla 1. Comparación Microcontroladores

Es por esto por lo que se eligió la ESP32-S3 que cuenta con un procesador Xtensa® de 32-bit LX7 Dual Core que puede operar hasta una frecuencia de 240 MHz, este microcontrolador cuenta 45 periféricos programables (GPIOs, SPI, I2S, I2C, PWM, RMT, ADC y UART). El SoC ESP32-S3 cuenta con diferentes variantes que se diferencian con la distribución de las memorias FLASH y PSRAM internas.

Ordering Code ¹	In-Package Flash	In-Package PSRAM	Ambient Temp. ² (°C)	VDD_SPI Voltage ³
ESP32-S3	—	—	~40 ~ 105	3.3 V/1.8 V
ESP32-S3FN8	8 MB (Quad SPI) ⁴	—	~40 ~ 85	3.3 V
ESP32-S3R2	—	2 MB (Quad SPI)	~40 ~ 85	3.3 V
ESP32-S3R8	—	8 MB (Octal SPI)	~40 ~ 65	3.3 V
ESP32-S3R8V	—	8 MB (Octal SPI)	~40 ~ 65	1.8 V
ESP32-S3FH4R2	4 MB (Quad SPI)	2 MB (Quad SPI)	~40 ~ 85	3.3 V

Tabla 2. Comparación ESP32-S3 Series

En la tabla 1 se puede observar la comparación de las variantes de la ESP32-S3, donde se puede observar que la ESP32-S3 no posee una memoria FLASH integrada, además de esto por medio del protocolo SPI se puede realizar la conexión de FLASH y SRAM externas, así como la conexión de un sistema reloj de cristal principal externo de hasta 40 MHz.

Como se dijo anteriormente otra razón por la que se eligió el microcontrolador ESP32-S3 es por que posee Wi-Fi 2.4 GHz y Bluetooth® Low Energy (Bluetooth LE) integrados, que pueden ser usados al diseñar una antena en PCB o un conector para antena externa.

En la figura 1 se puede observar el diagrama de bloques funcional del microcontrolador ESP32-S3.

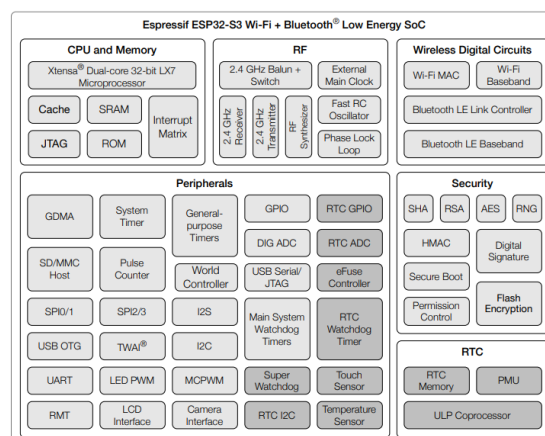


Figura 1. Diagrama de bloques funcional ESP32-S3

Sistema de reloj:

- **Fuente de reloj externa:**

La ESP32-S3 posee un oscilador RC fast interno típicamente alrededor de 17.5 MHz y puede ser ajustado, sin embargo, se puede conectar un reloj de cristal principal de forma externa, con una frecuencia hasta 40 MHz ya que el firmware de la ESP32-S3 solo admite un cristal de dicho valor de frecuencia. La aplicación puede seleccionar la fuente de reloj entre las disponibles, dicha fuente de reloj seleccionada acciona la CPU directamente o después de un divisor, además una vez reiniciada la CPU, se utiliza por default la fuente del oscilador externo dividido en 2. Es por esto, que con base a lo dicho anteriormente se eligió el oscilador de cristal [CX2016DB40000D0FLJCC](#) que posee una frecuencia típica de 40 MHz y capacitancia de carga CL de 8 pF. Las conexiones del oscilador con la ESP32-S3, se muestran en sección de conexiones.

Dimensiones: 2.0x1.6 mm

- **Fuente de reloj RTC:**

El reloj slow RTC se utiliza para el contador RTC, watchdog RTC y controlador de bajo consumo, utilizando 3 posibles fuentes, estas son el oscilador slow RC interno con frecuencia típica alrededor de 136 KHz que puede ser ajustable, el oscilador fast RC interno que se divide por 256 y el reloj de cristal de baja velocidad externo con frecuencia de 32 KHz. en este

proyecto se consideró conectar un reloj de cristal RTC externo para que el sistema pueda operar en SLEEP Mode, el reloj elegido es el [AB26TRB-32.768KHZ-T](#) con frecuencia típica de 32.768 kHz, y una capacitancia de carga CL de 12.5 pF que se debe tener en cuenta en las conexiones con el microcontrolador. Dimensiones: 6.0xϕ1.9 mm

Memoria FLASH Externa:

La memoria flash externa se puede asignar al espacio de memoria de instrucciones de la CPU, y a la memoria de datos de solo lectura, debido a que el microcontrolador elegido no contiene FLASH interna, es necesario que la memoria FLASH Externa pueda guardar las instrucciones de memoria del código programado para la realización del proyecto. Es por esto se escogió una memoria FLASH de 2 MB [W25Q16JVUXIQ TR](#), que utiliza la interfaz DUAL/QUAD SPI, que es una de las interfaces que soporta la ESP32-S3, esta memoria se puede organizar en bloques individuales de 64 KB. El rango de alimentación de la memoria FLASH es de 2.7 a 3.6 V. En la tabla 3 se muestra la comparativa de las memorias FLASH que se mostraban como alternativas.

Interfaz	Modelo	Características	Link
SPI NOR	Winbond W25Q16V	Capacidad de 2MB y utilizan una interfaz SPI para la comunicación con el microcontrolador.	https://listado.mercadolibre.com.co/winbond-w25qxx#D[A:Winbond-W25QXX] https://www.digikey.com/en/products/detail/winbond-electronics/W25Q16JVUXIQ-TR/15182017
SPI NAND	Micron MT29FxxG	ofrecen capacidades más grandes en comparación con las NOR, pero a menudo son un poco más complejas de manejar.	https://co.mouser.com/c/semiconductors/memory-ics/nand-flash/?m=MicronTechnology&series=MT29F

Tabla 3. Comparación Memorias FLASH

Memoria SRAM Externa:

La memoria SRAM externa se utiliza para extender la memoria de datos, para guardar los datos medidos o variables utilizadas en el código del proyecto. Se seleccionó la memoria SPI Serial SRAM [23LC512-](#)

[I/SN](#) con 512-Kbit con interfaz SDI y SQI, con organización de 64K x 8-bit con un rango de alimentación de 2.5 V a 5.5 V. En la tabla 4, se muestra la comparación con las diferentes alternativas de memorias SRAM.

Interfaz	Modelo	Características	Link
SPI	23LC512- I/SN 512-Kbit	se conecta mediante SPI y ofrece una memoria rápida para el almacenamiento temporal de datos.	https://co.mouser.com/ProductDetail/ISSI/IS62WV51216BLL-55BL?qs=YdQ7Kj7W0bww1198r%252Bu3A%3D%3D
I2C	Adafruit 32KB I2C FRAM	Estos módulos son fáciles de usar y se pueden conectar directamente a los pines I2C del ESP32-C3.	https://www.adafruit.com/product/1895

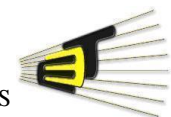
Tabla 4. Comparación Memorias SRAM

Puerto USB Tipo C:

El sistema se alimenta por medio de un puerto USB tipo C, ya que esta opción a su vez soluciona la forma de programar el microprocesador ya que este puerto puede transportar múltiples señales simultáneamente además de las señales USB estándar (Vbus, D+, D-, GND). Para el conector USB-C se eligió el [USB4105-GF-A-060](#) que cuenta con USB 2.0 y soporta un voltaje hasta de 48 VDC. Se utilizó el componente [TPDIS514-1](#), para protecciones de sobrevoltaje y ESD en los rieles de alimentación de conector USB tipo C, ya que es una solución de un solo chip para la línea USB VBUS u otros buses de alimentación, ya que el interruptor bidireccional nFET garantiza un flujo de corriente seguro tanto en modo de carga como en modo host, a su vez protege los circuitos internos para cualquier condición de sobretensión en el pin VBUS_CON.



Figura 2. Puerto USB tipo C



Alimentación del sistema:

- **Regulador de tensión:**

Debido a que todos los componentes del sistema tienen en sus rangos de alimentación 3.3V, se decidió utilizar un regulador lineal de tensión [SPX3819M5-L-3-3/TR](#) de bajo ruido para reducir los 5 V dados por el conector USB tipo C a 3.3V para alimentar los componentes del circuito.

Antena RF:

Para la transmisión de los datos medidos por el sensor de nivel se necesitaba diseñar una antena en PCB para hacer uso de los protocolos de Wi-Fi y Bluetooth con los que dispone la ESP32-S3, por lo que con base a la nota de aplicación [AN043](#) de Texas instruments, se diseñó la antena en PCB, teniendo en cuenta las dimensiones dadas en el documento, esta antena diseñada es de pequeño tamaño (15,3x5,7 mm), y capaz de operar hasta 2.4 GHz, a su vez asegura una relación VSWR inferior a 2 en la banda ISM de 2,4 GHz, cuando se conecta una fuente de 50 Ω.

Sensor de nivel:

Existen muchos tipos de sensor de nivel en el mercado, que se pueden utilizar para diversas aplicaciones, por lo que para la aplicación de lectura de nivel pareció adecuado seleccionar el sensor de presión diferencial [MPX5100DP](#) dado que puede medir presiones hasta 100 KPa ya que sabemos que la altura del tanque está dada por la siguiente ecuación:

$$h = \frac{P}{g\rho}$$

donde P es la presión del tanque, g es la gravedad y ρ es la densidad del agua. Por lo que este sensor nos permite medir hasta profundidades de tanques de 10 metros aproximadamente. El rango de alimentación del sensor es de 4.75 V a 5.25 V, una precisión de ±2.5 %VFSS y una sensibilidad de 45 mV/kPa.

Protecciones ante descargas electrostáticas ESD:

Como se sabe cualquier PCB puede sufrir ESD si hace contacto con personas, cables, o cualquier otro objeto que posea carga opuesta, por lo que cuando estos objetos se tocan, dicho voltaje se descarga generando un pico de tensión comparativamente masivo, a medida que se descarga el pico de tensión, la corriente de descarga genera campos electromagnéticos a través de la PCB, es por esto que para minimizar cualquier impacto sobre las descargas electrostáticas que se deben usar protecciones contra ESD, en una PCB una descarga generalmente se origina en la interfaz de usuario u otra entrada, por lo que en este proyecto se hizo uso del circuito de protecciones ESD x4 [TPD4E110](#) que cuenta con 4 niveles para proteger 4 diferentes señales contra ESD, hasta descargas por contacto de ±12KV, 2 de los pines se usaron para proteger las señales diferenciales DP y DN del conector USB tipo C, otra protección se usó para la señal de alimentación de la antena diseñada en la PCB, finalmente la última protección se usó en el pin 16 de los puertos de salida utilizados para los periféricos GPIO.

II. Conexiones de los componentes:

Puerto USB tipo C:

Para las conexiones del conector tipo USB tipo C se necesitaban dos resistencias en los pines CC1 y CC2 de valor de 5.11 K para establecer el rango de voltaje, y obtener en la salida 5 V. En los GPIOs 19 y 20 del microcontrolador se conectaron las salidas diferenciales del conector USB tipo C, en el que se pusieron resistencias de 0 Ω en el camino de estas señales. A las salidas VBUS se conectó un protector de sobretensión ya que en este pin se obtienen 5V, este voltaje es demasiado grande para alimentar el microcontrolador elegido, por lo que se usó un regulador de voltaje lineal, en medio para reducir el voltaje a 3.3 V.

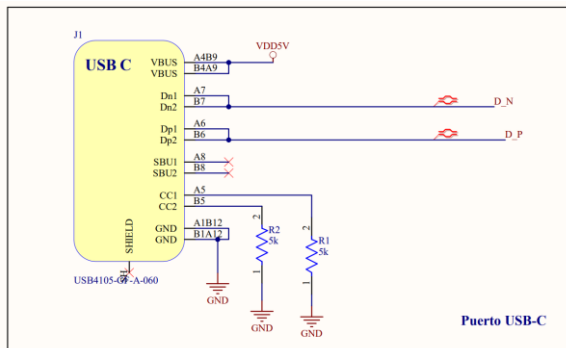
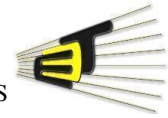


Figura 3. Esquemático de las conexiones de la USB tipo C.

Fuente de alimentación:

Utilizando la tensión que entrega el regulador de tensión LDO, al convertir la tensión de 5v del conector USB tipo C a 3.3V, se alimentó la memoria FLASH, SRAM, y se alimentó el sensor de nivel a 5V.

En la figura 4 se puede observar las conexiones del regulador de tensión lineal, donde se añadió un diodo Schottky que se utiliza como protección de polaridad inversa, a su vez se agregaron condensadores de 10 μF y 100 nF a la entrada del regulador, y condensadores de 100 nF y 22 μF a la salida del regulador.

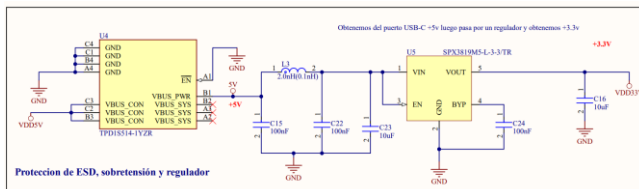


Figura 4. Esquemático de las conexiones de las protecciones contra sobretensiones y regulador de tensión.

El pin46 VDD3P3_CPU y pin20 VDD3P3_RTC de la ESP32-S3 suministra alimentación a la CPU IO y al RTC respectivamente en un rango de 3,0V~3,6V, se añadió un condensador de desacoplamiento de 0,1 uF cerca de los pines VDD3P3_CPU y VDD3P3_RTC para reducir el ruido en la alimentación.

El pin 29 VDD_SPI que puede servir como salida de alimentación a 1.8 V o 3.3 V, se agregaron dos

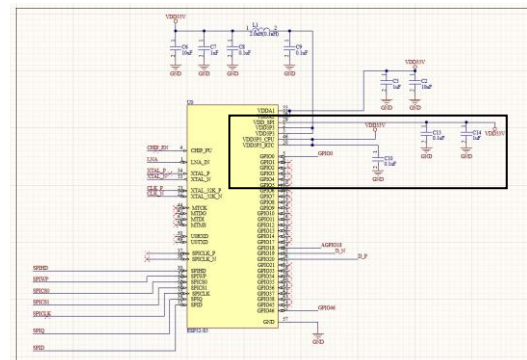


Figura 5. Esquemático de los pines de la fuente de alimentación digital.

Los pines, pin2 VDD3P3, pin3 VDD3P3, pin55 VDDA1 y el pin56 VDDA2 son los pines de alimentación analógica que trabajan en un rango de 3.0V a 3.6V. Debido al aumento repentino en el consumo de corriente, cuando la ESP32-S3 está transmitiendo señales, se pueden generar un colapso en el carril de alimentación, por lo que la guía de diseño de hardware de la ESP32-S3 recomienda añadir un condensador de 10 uF al pin2 de alimentación y al pin 3 de alimentación VDD3P3, que puede funcionar junto con un condensador de 1 uF, además es necesario añadir un circuito de filtro CLC cerca de los pines VDD3P3 para suprimir los armónicos de alta frecuencia, por lo que siguiendo la guía se agregó dicha configuración, que se observa en la figura 3.

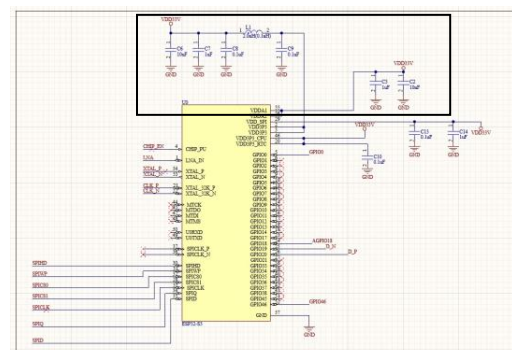


Figura 6. Esquemático de los pines de la fuente de alimentación analógicos.

Sistema de reloj:

- Fuente de reloj externa:**

Como se dijo anteriormente el reloj externo elegido es un oscilador de cristal con una frecuencia típica de 40 MHz, y una capacitancia de carga CL de 8 pF. Se conectaron los pines XIN y XOUT del oscilador a los pines XTAL_P y XTAL_N de la ESP32-S3, poniendo una resistencia de 0 Ω en la traza del reloj XTAL_P para reducir la fuerza del acondicionamiento del cristal, así como para minimizar el impacto de los armónicos del cristal en el rendimiento de RF, para esto se usó el componente [RMCF0402ZT0R00](#).

Los capacitores C1 y C4 se usaron para eliminar el ruido en la entrada y la salida del oscilador. Estos valores de capacitancia se eligieron con valores de capacitancia de 5.6 pF, con el fin de obtener una capacitancia de carga CL de 8 pF, que corresponde al valor típico en la hoja de datos del oscilador de cristal. Esto asumiendo que la capacitancia parasita del diseño de la PCB, tiene un valor inferior a 5.2 pF.

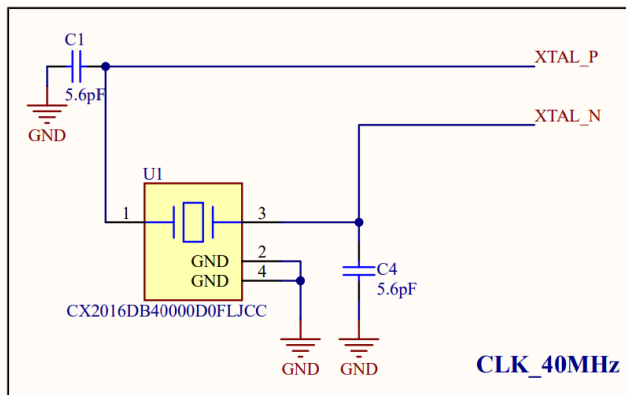


Figura 7. Esquemático de conexiones del oscilador de cristal externo.

La capacitancia de carga CL del oscilador de cristal, dadas las conexiones descritas anteriormente está dada por la siguiente expresión:

$$C_L = \frac{C_1 * C_4}{C_1 + C_4} + C_{stray}$$

Es por esto que se optó por el componente [0402J5R6BBSTR](#), ya que posee una capacitancia de 5.6 pF, para usar dos de estos para C1 y C4.

- Fuente de reloj para Sleep Mode:**

Las conexiones de este oscilador se realizaron utilizando una resistencia de 5.6 MΩ ([R33](#)) en paralelo con el oscilador de cristal, con el fin de polarizar el circuito de cristal, esta resistencia puede estar en el rango de 5 MΩ a 10 MΩ. Debido a que la capacitancia de carga del cristal CL está dada por:

$$C_L = \frac{C_{28} * C_{29}}{C_{28} + C_{29}} + C_{shunt}$$

La capacitancia de carga del oscilador CL tiene un valor de 12.5 pF, y la capacitancia Cshunt tiene un valor 1.35 pF, donde la capacitancia Cshunt es la capacidad de derivación del cristal, por lo que asumiendo un valor igual entre la capacitancia C28 y C29, se propuso un valor de capacitancia de 22 pF, para estos dos capacitores.

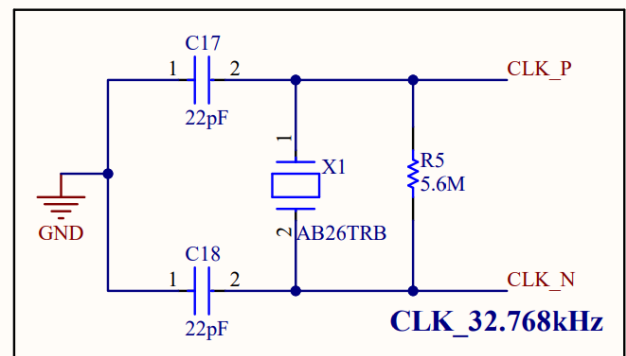


Figura 8. Esquemático de conexiones del oscilador de cristal externo (RTC).

Memoria FLASH Externa:

La memoria flash se alimentó por medio del pin VDD_SPI de la ESP32-S3 ya que la memoria FLASH tiene un rango de alimentación de 2.7 V a 3.6 V, por lo que se alimentó a 3.3 V, estas conexiones se muestran en la figura 8 y 9.

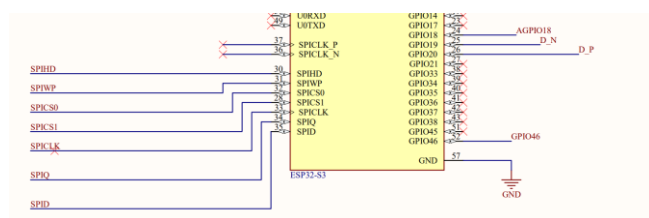


Figura 9. Esquemático de las resistencias propuestas en las líneas de comunicación SPI.

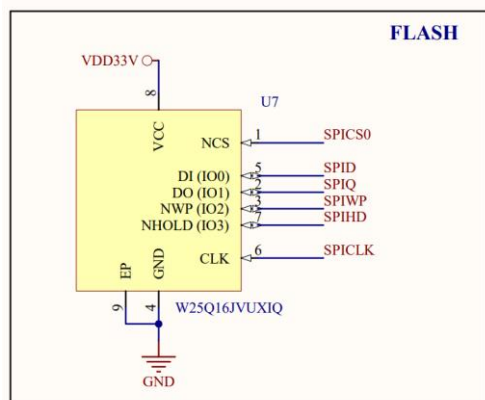


Figura 10. Esquemático conexiones de la memoria FLASH con la ESP32-S3.

Memoria SRAM Externa:

Debido a que la memoria FLASH y SRAM usan la comunicación SPI para su funcionamiento con la ESP32-S3, se aprovecharon las conexiones realizadas en la figura 6, y se conectó la memoria SRAM teniendo en cuenta sus pines de comunicación SPI y de alimentación, como se muestra en la figura 8.

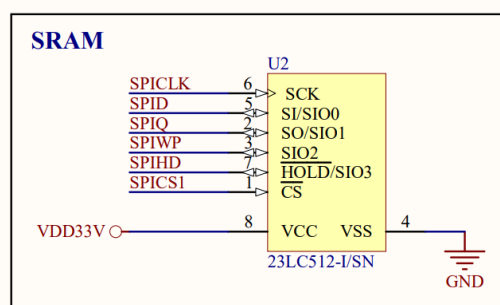


Figura 11. Esquemático conexiones de la memoria SRAM con la ESP32-S3.

Antena RF:

Para la realización del circuito RF para la ESP32-S3 se tuvieron en cuenta 3 partes, las trazas de RF en la PCB, el circuito de adaptación del chip, la antena y el circuito de adaptación de la antena. Con la antena diseñada con base a la nota de aplicación [AN043 de Texas instruments](#), que posee un control de impedancia de 50Ω . Se utilizó como circuito de adaptación del chip una estructura CLC para ajustar la impedancia y suprimir armónicos como se observa en la figura 9.

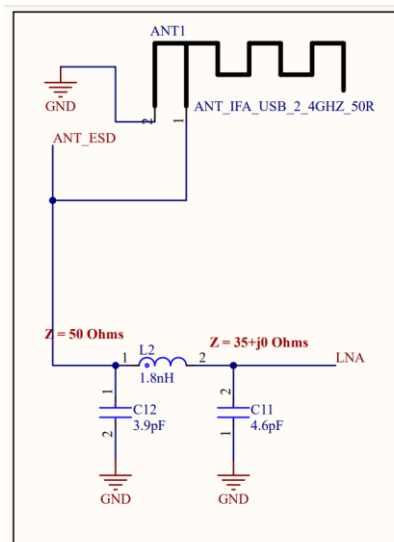


Figura 12. Esquemático conexiones Antena RF con la ESP32-S3.

Dado que la guía de diseño recomienda configurar el parámetro S11 en $35+j0 \Omega$ y la frecuencia central es de 2442 MHz, se procedió a calcular los valores del filtro CLC para la antena utilizando una conexión Pi-match para mejorar la coincidencia de la impedancia, para maximizar la transferencia de potencia, esto se debe a que cuando tenemos una fuente de señal dada por el transmisor del microcontrolador, y se quiere transmitir dicha señal a una carga, en este caso la antena, cada uno tiene una impedancia característica, que describe la oposición al flujo de corriente, tanto estática como dinámica, por lo que se puede asegurar la transferencia máxima de potencia si la impedancia de carga es igual al conjugado de la impedancia de la fuente.

Utilizando la página de [Impedance Matching Calculator](#) para obtener una frecuencia de 2442 MHz, cuando se tiene factor Q de 3, para las impedancias descritas anteriormente. Dando como resultado una inductancia L de 1.776 nH, una capacitancia en la fuente de 4.561 pF, y una capacitancia de carga CL de 3.9104 pF. La teoría que realiza dicha calculadora se muestra en el documento [AN1275](#) de SILICON LABS, donde habla de las diferentes arquitecturas de redes para acople de impedancias.

Sensor de nivel:

Para las conexiones del sensor de nivel, se hizo uso del pin 24 de la ESP32-S3 que corresponde a un GPIO analógico conectado a la salida +Vout, que puede leer el nivel de presión dado por el sensor, a su vez este se alimentó con un voltaje de 5 V, que salen del conector USB tipo C.

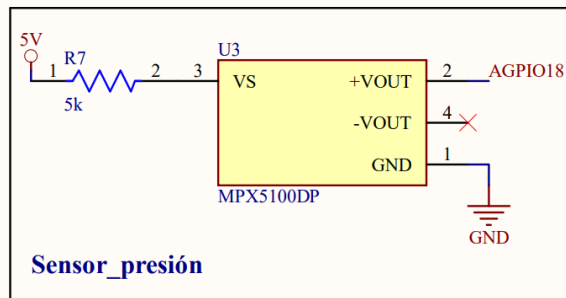


Figura 13. Esquemático conexiones Sensor de presión con la ESP32-S3.

Boot mode control y circuito de encendido y reset:

Se agregó un circuito de control para el modo Boot, que carga el programa cuando se realiza la compilación de este, por lo que se utilizó una resistencia Pull-up y Pull-down en los pines GPIO0 y GPIO46 respectivamente para realizar dicha función (Ver figura 10).

Debido a que el pin CHIP_PU sirve como pin de reinicio de ESP32-S3, cuando CHIP_PU está en un nivel bajo, el voltaje de reinicio debe estar en el rango de $(-0.3 \sim 0.25 \times VDD3P3_RTC)$ V. Por lo que se agregó una resistencia Pull-up y un capacitor a tierra,

para la implementación del sistema de Reset del microcontrolador.

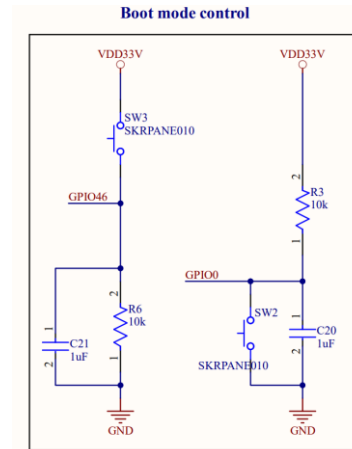


Figura 14. Resistencias Pull-Up y Pull-Down para el control Boot mode

Boot Mode	GPIO0	GPIO46
Default Configuration	1 (Pull-up)	0 (Pull-down)
SPI Boot (default)	1	Any value
Joint Download Boot ¹	0	0

Tabla 5. Tabla de verdad configuración Boot Mode

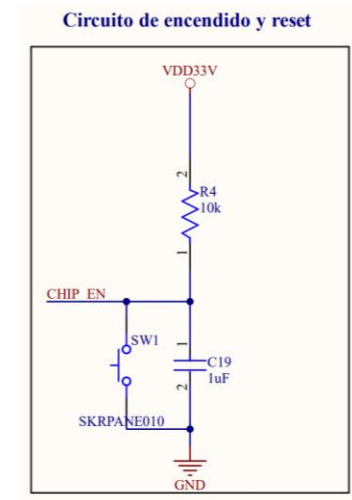


Figura 15. Resistencias Pull-Up para el control del sistema de Reset

Strapping Pin	Default Configuration	Bit Value
GPIO0	Pull-up	1
GPIO3	Floating	—
GPIO45	Pull-down	0
GPIO46	Pull-down	0

Tabla 6. Tabla de verdad configuración encendido y Reset

Protecciones ante descargas electroestáticas ESD:

Como se dijo anteriormente se utilizó un protector de descargas electroestáticas ESD con disponibilidad de 4 conexiones, donde se usaron dos de estas para proteger las señales diferenciales DN y DP del conector USB tipo C, a su vez se conectó a la alimentación de la Antena diseñada en PCB en el pin de alimentación de esta con el fin de protegerla ante ESD, ya que al ser una antena es propensa a recibir contactos.

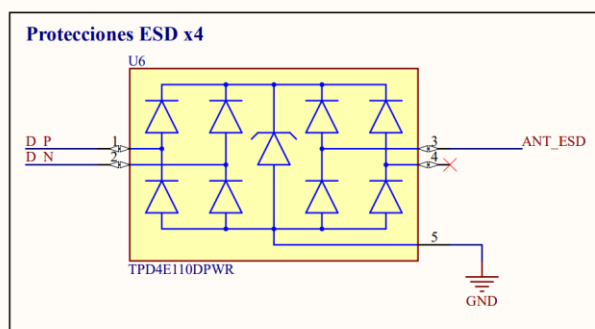


Figura 16. Conexiones protecciones contra ESD.

III. Diseño de la PCB de 4 capas:

Para el diseño de la PCB se utilizaron algunas recomendaciones de la guía de diseño de la ESP32-S3, primero que todo se seleccionaron las capas, fueron 4 capas en las que se utilizaron 3 para ruteo y una de plano de tierra.

Capas de la PCB:

- Layer 1 (TOP): Componentes y trazas de conexión.
- Layer 2: (GND): Plano de tierra

- Layer 3: (BOTTOM 1) Ruteo.
- Layer 4 (BOTTOM): Componentes y ruteo de señales

Esto siguiendo las recomendaciones de la guía de diseño, a continuación, las layer utilizadas.

#	Name	Material	Type	Weight	Thickness	Dk	Df
	Top Overlay		Overlay				
	Top Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.012mm	3.8	
1	Top	CF-004	Signal	1oz	0.035mm		
	Dielectric 2	PP-023	Prepreg		0.2104mm	4.4	0.02
2	GND		Signal	1/2oz	0.0152mm		
	Dielectric 1	FR-4	Dielectric		1.065mm	4.43	
3	Bottom 1		Signal	1/2oz	0.0152mm		
	Dielectric 3	PP-023	Prepreg		0.2104mm	4.4	0.02
4	Bottom	CF-004	Signal	1oz	0.035mm		
	Bottom Solder	Solder Resist	Solder Mask		0.012mm	3.8	
	Bottom Overlay		Overlay				

Figura 17. Layer PCB

Las layer se configuración de acuerdo con lo que ofrece [JLCPCB](#).

Layer	Material Type	Thickness	
Layer	Copper	0.035mm	
Prepreg	7628*1	0.2104mm	
inner Layer	Copper	0.0152mm	1.1mm (with copper core)
Core	Core	1.065mm	
inner Layer	Copper	0.0152mm	
Prepreg	7628*1	0.2104mm	
Layer	Copper	0.035mm	

Figura 18. Configuración utilizada de JLCPCB.

Posicionamiento de los elementos:

Antena: La guía de diseño nos mencionaba que este elemento es muy afectado por la interferencia por lo que se optó por ponerla en un lugar aislado y además que tuviera un espacio alrededor al extremo de la antena y que no lleve conexiones ahí como se observa en la figura 18, también se tuvo en cuenta que el procesador estuviera cerca de la antena, además esta no debía tener ningún plano debajo de esta.

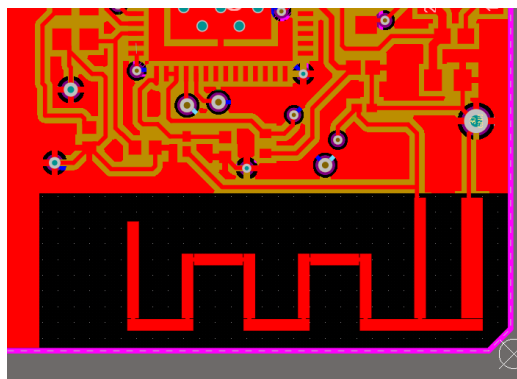


Figura 19. PCB antena.

Suministro de alimentación: Para este apartado se hizo lo posible para que los capacitores que se utilizan para filtrar la alimentación estuvieran cerca del procesador además se tuvo en cuenta que los elementos que se utilizan para adquirir la alimentación estén lo más cerca posible, esto se hizo poniendo los capacitores en la capa bottom de forma que quedaran debajo del procesador.

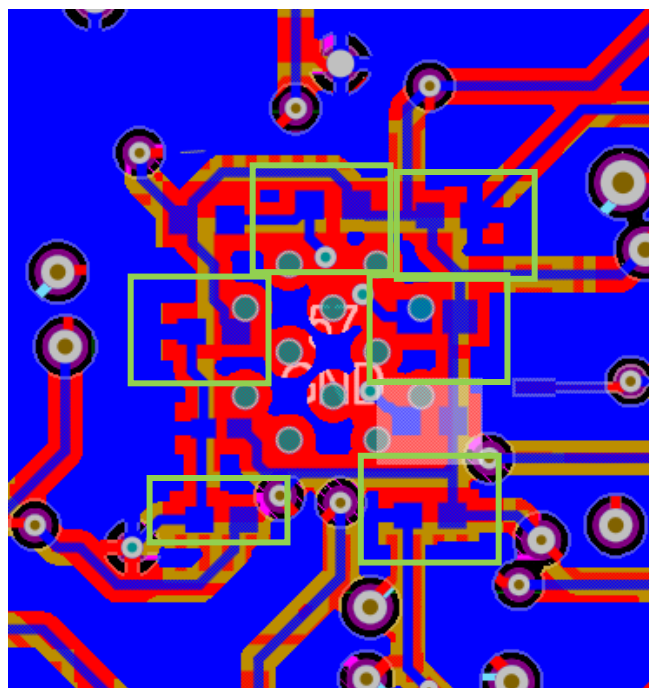


Figura 20. Capacitores de filtrado

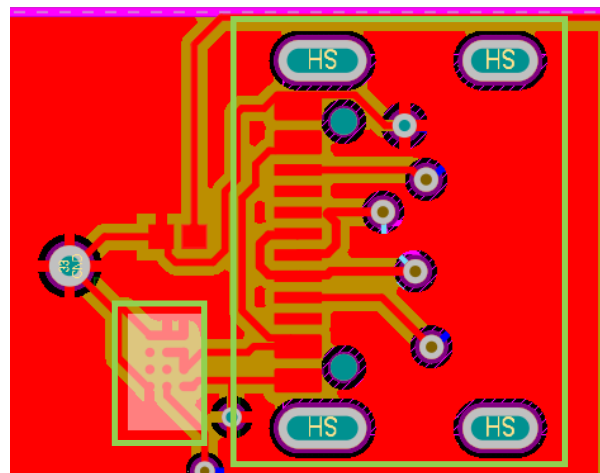


Figura 21. Adquisición de alimentación.

Para la adquisición de alimentación desde el conector USB-C, está en la capa TOP y dos resistencias asociadas van en la capa Bottom lo más cerca posible del conector.

Osciladores: Para los dos relojes se llevó a cabo algunas recomendaciones como que la alimentación no esté cerca de los relojes, también al reloj U1 se le puso un plano de tierra alrededor para aislar.

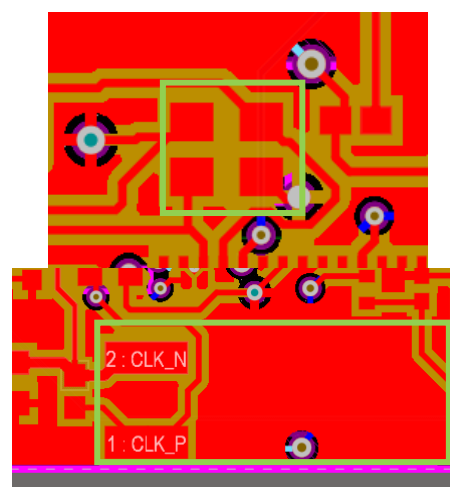


Figura 22. Relojes.

Memorias externas (FLASH Y SRAM): Se optó porque las dos memorias estuvieran cerca del procesador.

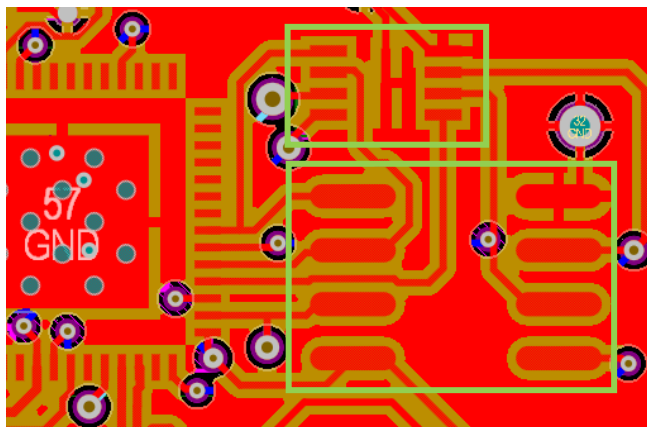


Figura 23. Memoria SRAM Y FLASH.

Protecciones ESD: Al hacer las conexiones de las protecciones se decidió que estas estuvieran lo más cerca posibles de los elementos a proteger.

Par diferencial para el USB-C: Se utilizó la configuración de Altium designer para hacer el trazado de estas rutas, estas se hicieron en la capa 3.

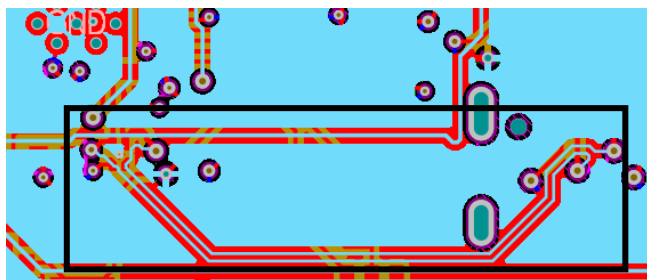


Figura 24. Par diferencial.

PCB: Al terminar las conexiones, cada capa se le puso un plano de tierra para aislar las señales ruteadas, como se ve a continuación.

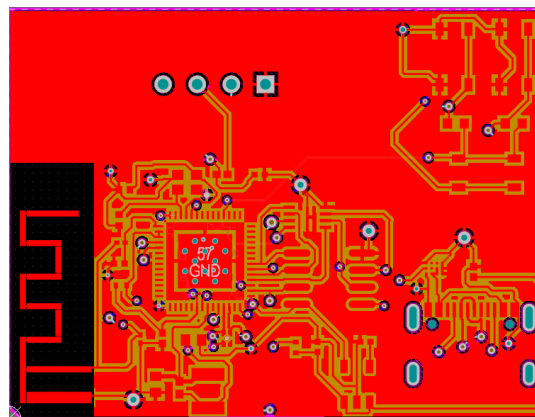


Figura 25. PCB capa TOP.

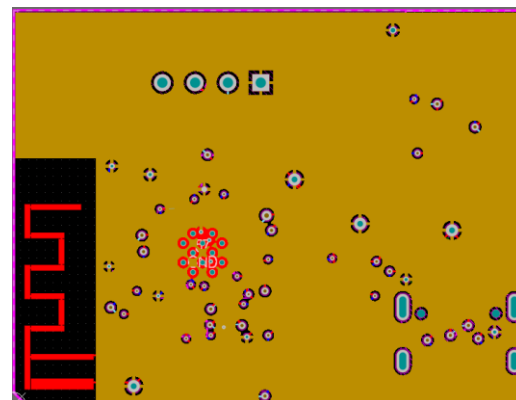


Figura 26. Plano de tierra.

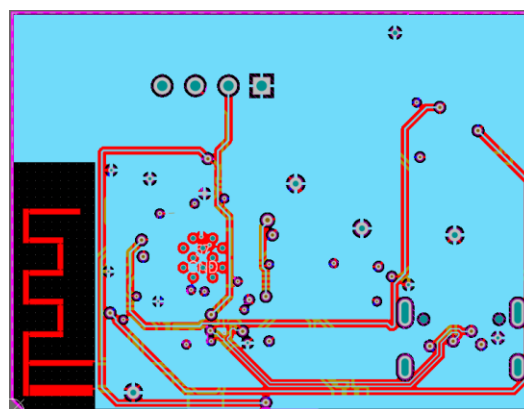


Figura 27. Capa Bottom 1.

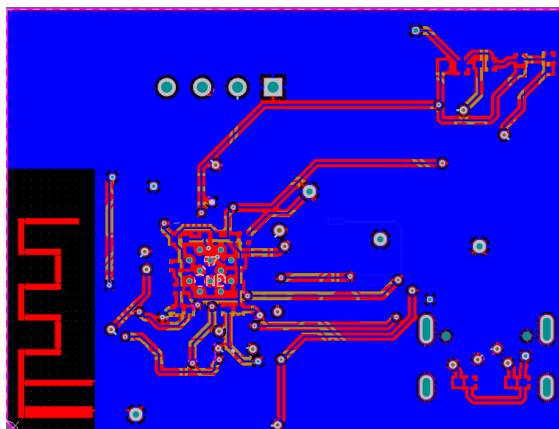


Figura 28. Capa Bottom.

Tamaño de la PCB diseñada:

Al finalizar el diseño de la PCB se consiguió un tamaño de 39.984 mm x 30.480 mm

Luego de esto se hizo una verificación de conexiones y reglas de DRC utilizando la herramienta Altium designer.

Render 3D:

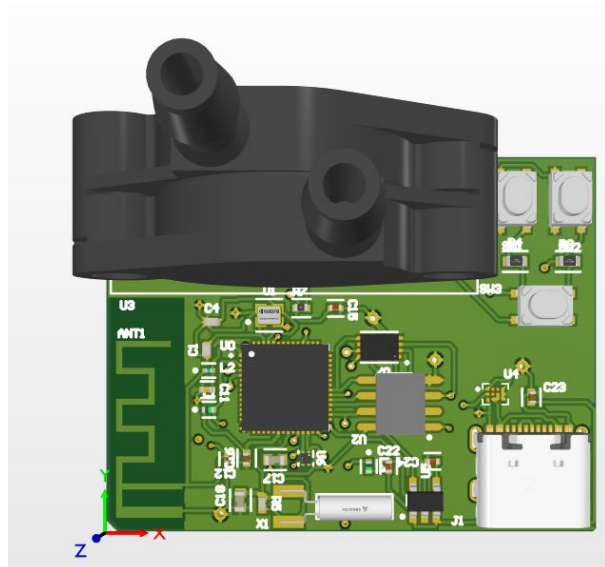


Figura 29. Render 3D vista superior

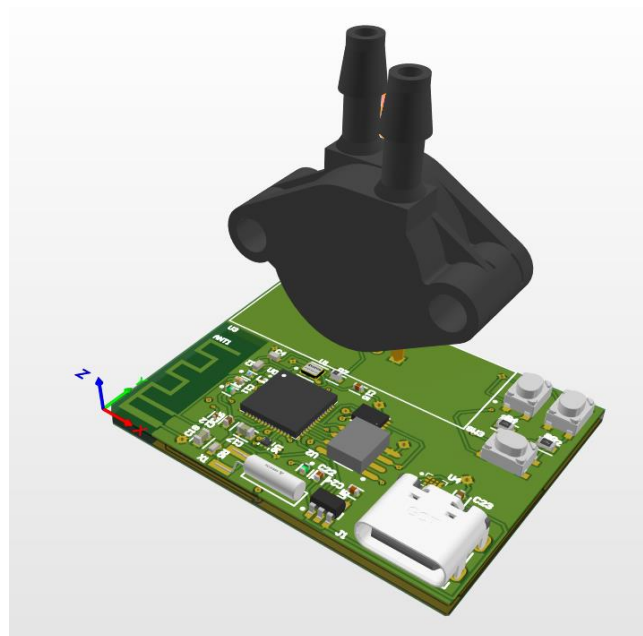


Figura 30. Render 3D.

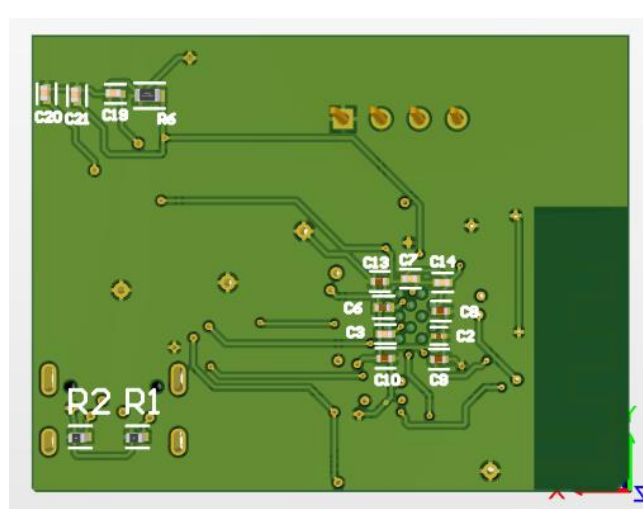


Figura 31. Render 3D vista inferior.

IV. Programación del microcontrolador para medir y transmitir de forma inalámbrica los datos del sensor

Debido a que la ESP32-S3 se puede programar por medio de la plataforma Arduino IDE, se hizo uso de este software, para escribir el programa que se le da a la ESP32-S3 para que pueda medir y transmitir los datos del sensor de presión.

El código realizado se encuentra en el siguiente repositorio de GitHub: https://github.com/overjamaya/Project_design/tree/main/Codigo.

Los datos medidos por el sensor se envían por medio de Wi-Fi a una base de datos en Adafruit, donde se puede visualizar el nivel actual de agua en el tanque y datos de las anteriores 24 horas, como se muestra en la figura 25.

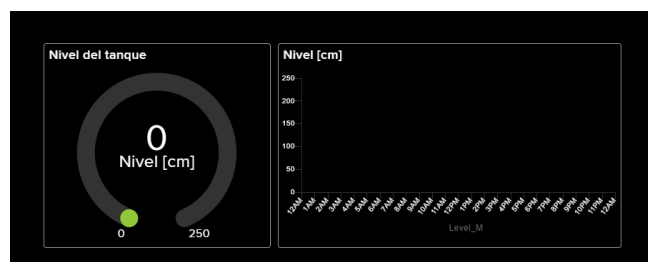


Figura 32. Datos transmitidos por el sensor de presión.

Estos datos se pueden observar por medio de la siguiente página en Adafruit que se puede visualizar en un teléfono móvil por medio de un navegador web: <https://io.adafruit.com/overjamaya/dashboards/mpx5100dp>

Costo de los componentes y tarjeta ensamblada

Utilizando la herramienta Active PCB BOM de Altium Designer se generó el presupuesto de los costos de los componentes y de la tarjeta ensamblada, donde el programa miraba los precios de los componentes en el mercado, en el siguiente enlace se encuentra el documento generado por la herramienta con el presupuesto del proyecto: https://github.com/overjamaya/Project_design/blob/main/Precios_por_componentes.pdf

	Actual	Target
Price per Board	39,99 USD	0 USD
Order Price	40,48 USD	0 USD

Figura 33. Costo total de los componentes

Como se observa en la figura 26, el costo total de los componentes que conforman el proyecto es de 40 USD.

Realizando un presupuesto básico utilizando JLCPCB, para determinar el costo de la tarjeta, se llegó a un valor de 2 USD aproximadamente con oferta.

Charge Details	
Special Offer	\$2.00
Via Covering	\$0.00
Surface Finish	\$0.00
Build Time	
PCB: 4-5 days	\$0.00
<input checked="" type="radio"/> 3-4 days	\$0.00
<input type="radio"/> 3-4 days PCBA Only	\$0.00
<input type="radio"/> 2-3 days	\$62.90
Calculated Price	\$7.00 \$2.00
Additional charges may apply for special cases	

Figura 34. Costo estimado fabricación de la PCB

Observaciones:

En el siguiente repositorio en GitHub, se encuentran todos los documentos que avalan el desarrollo del proyecto, en todas las etapas de diseño, tales como la elección de componentes, conexiones de los componentes y diseño de la PCB de 4 capas: [Project design](https://github.com/overjamaya/Project_design).

Conclusiones

- Se diseñó con éxito un sistema digital capaz de medir el nivel de un tanque y transmitirlo de forma inalámbrica.
- Se seleccionaron los componentes de la PCB de forma exitosa comparando diferentes



componentes y eligiendo el que mejor se adaptaba al diseño.

- Se diseñó de forma exitosa una PCB de 4 capas.
- Se programó de forma exitosa el código del microcontrolador para que pudiera medir y transmitir datos de forma inalámbrica.

[8] "Beginner's Guide to ESD Protection Circuit Design for PCBs," Altium, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://resources.altium.com/es/p/beginners-guide-esd-protection-circuit-design-pcb>.

[9] "Altium Designer Evaluation Guide," Altium. [En línea]. Disponible en: <https://my.altium.com/altium-designer/evaluation-guide>.

Referencias

[1] Espressif Systems, "ESP32-S3 Hardware Design Guidelines," Espressif Systems, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3_hardware_design_guidelines_en.pdf.

[2] Espressif Systems, "ESP32-S3 Datasheet," Espressif Systems, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3_datasheet_en.pdf.

[3] Texas Instruments, "SWRA117D - Ultra-Low-Power Wireless PIR Motion Detector," Texas Instruments, 2008. [En línea]. Disponible en: <https://www.ti.com/lit/an/swra117d/swra117d.pdf>.

[4] "Impedance Matching Calculator," Omni Calculator, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.omnicalculator.com/other/impedance-matching>.

[5] Silicon Labs, "AN1275: Impedance Matching for Network Architectures," Silicon Labs, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.silabs.com/documents/public/application-notes/an1275-imp-match-for-network-arch.pdf>.

[6] "How to add USB-C to your projects," PCBWay Blog, 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.pcbway.com/blog/PCB_Design_Tutorial/How_to_add_USB_C_to_your_projects.html.

[7] "What is ESD and How Does It Affect My PCB Design?" Altium, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://resources.altium.com/es/p/what-is-esd-and-how-does-it-affect-my-pcb-design>.