



Universidad Nacional de Mar del Plata

FACULTAD DE INGENIERÍA

INTERFAZ INALÁMBRICA DE SENTENCIAS NMEA PARA
SISTEMAS DE NAVEGACIÓN



Proyecto Fin de Carrera

Autores:

Cosmai, Diego Fernando
Scuppa, Matías Eduardo

Directores:

Cebedio, Maria Celeste
Fontanella, Gonzalo Roberto

Noviembre 2024



RINFI es desarrollado por la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Universidad Nacional de Mar del Plata

FACULTAD DE INGENIERÍA

INTERFAZ INALÁMBRICA DE SENTENCIAS NMEA PARA
SISTEMAS DE NAVEGACIÓN



Proyecto Fin de Carrera

Autores:

Cosmai, Diego Fernando
Scuppa, Matías Eduardo

Directores:

Cebedio, Maria Celeste
Fontanella, Gonzalo Roberto

Noviembre 2024

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo final representa la culminación de un importante capítulo de nuestra vida académica, y no hubiera sido posible sin el apoyo de varias personas a las que nos gustaría expresar nuestro más sincero agradecimiento.

En primer lugar, queremos agradecer profundamente a nuestras familias, por creer en nosotros y por su constante apoyo emocional.

También deseamos expresar nuestra gratitud a nuestros directores, por su orientación, dedicación y compromiso para la realización de este proyecto, siempre estaremos agradecidos por su apoyo y sus consejos.

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	4
1.1. Propósito del documento	4
1.2. Alcance del proyecto	5
1.3. Personal Involucrado	5
2. Especificación de requerimientos	6
2.1. Introducción	6
2.1.1. Propósito	6
2.2. Proyecto	6
2.2.1. Definiciones, acrónimos y abreviaturas	6
2.3. Descripción general	6
2.3.1. Perspectiva del producto	6
2.3.2. Funcionalidad del producto	7
2.3.3. Características de los usuarios	7
2.3.4. Restricciones	7
2.4. Requisitos específicos	7
2.4.1. Requisitos de las interfaces	7
2.4.2. Interfaz de hardware	7
2.5. Requerimientos funcionales	8
2.6. Requerimientos no funcionales	9
2.7. Requisitos de rendimiento	9
2.8. Restricciones de diseño	9
3. Especificación funcional	10
3.1. Introducción	10
3.2. Descripción del dispositivo	10
3.3. Especificaciones funcionales	11
4. Desarrollo del proyecto	13
4.1. Introducción	13
4.2. Hardware	13
4.2.1. Prototipo	13
4.2.2. Aislación de señal	16
4.2.3. Acondicionamiento de señal	18
4.2.4. Multiplexación	19
4.2.5. Etapa inalámbrica	21
4.2.6. Interfaz visual	22
4.3. Diseño del Esquemático	23
4.4. Desarrollo del firmware	24
5. Resultados obtenidos	25
5.1. Introducción	25
5.2. Banco de Pruebas	25
5.2.1. Simulador NMEA 0183	26
5.2.2. Analizador lógico	27
5.3. Pruebas de componentes	28
6. Conclusiones	32
7. Manual de usuario	33

8. ANEXOS	37
8.1. Anteproyecto	37
8.2. Descripción General	37
8.2.1. Acondicionamiento	37
8.2.2. Aislación de datos	39
8.2.3. Aislación de alimentación	39
8.2.4. Multiplexado	40
8.2.5. Transmisión	40
8.3. Especificaciones Técnicas	41
8.3.1. Aislación con optoacoplador 6N137	41
8.3.2. Multiplexación	42
8.3.3. Etapa inalámbrica	45
8.3.4. Entradas RS232 y RS422	47
8.3.5. Conversión de señales	48
8.3.6. Aisladores de tensión	50
8.3.7. Etapas reguladoras de tensión	52
8.3.8. Esquemático Final	55
8.3.9. Calculo de potencia	56
8.3.10. Pantalla	56
8.4. Firmware	57
8.4.1. Código ATMEGA2560	57
8.4.2. Código ESP32	60
8.5. Acerca de NMEA0183	63
8.6. BOM - Lista de Materiales	64
8.7. PCB	65

1 INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la navegación marítima, la integración y transmisión de datos es crucial para mejorar tanto la seguridad como la eficiencia operativa a bordo de embarcaciones. La creciente digitalización del entorno náutico ha incrementado la cantidad de sensores y dispositivos que proporcionan información vital, como los sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de identificación automática (AIS), y otros sistemas de navegación como los anemómetros y ecosondas. Estos dispositivos se comunican generalmente mediante el protocolo NMEA0183, que permite compartir datos entre equipos a bordo, pero muchas veces de forma limitada y con cables.

Sin embargo, el ecosistema actual presenta varios desafíos. Uno de los problemas recurrentes es la dificultad de acceder y visualizar en tiempo real los datos provenientes de múltiples fuentes, especialmente cuando se trata de pequeñas embarcaciones que no disponen de sistemas avanzados de integración. En situaciones de navegación complejas, la sobrecarga de información puede llevar a una gestión ineficiente de los datos y, en el peor de los casos, comprometer la toma de decisiones críticas. Esto es aún más evidente cuando el acceso a la información se ve limitado por el uso de interfaces cableadas y dispositivos con capacidad de procesamiento restringida.

El estado del arte en la integración de datos de navegación incluye soluciones comerciales que permiten la interconexión de sistemas NMEA a través de redes cableadas y, en algunos casos, inalámbricas. Sin embargo, muchas de estas soluciones tienden a ser costosas, difíciles de instalar, o carecen de flexibilidad para embarcaciones de menor escala. Al mismo tiempo, el acceso a los datos desde dispositivos móviles en tiempo real sigue siendo un desafío en muchas embarcaciones más pequeñas o recreativas, que no pueden implementar las costosas infraestructuras de redes.

Este proyecto busca ofrecer una solución eficiente y accesible para centralizar la recepción de señales NMEA y distribuir las de manera inalámbrica a dispositivos móviles mediante un punto de acceso WiFi. El multiplexor de señales que se propone es capaz de recibir hasta cuatro fuentes distintas, con soporte para tanto interfaces RS-232 como RS-422/RS-485, y publicarlas a través de una red local que puede ser accedida desde cualquier dispositivo con capacidad WiFi. Esto permite que la tripulación, o cualquier otro usuario, tenga acceso en tiempo real a información crucial sobre la posición, velocidad, dirección del viento, y otros datos relevantes de navegación, directamente desde sus dispositivos móviles o tablets, sin necesidad de cableados adicionales.

El objetivo es resolver el problema de acceso en tiempo real a los datos de navegación en embarcaciones que, de otra manera, estarían limitadas por infraestructura o costos elevados de integración de sistemas. Mediante la solución propuesta, se ofrece una alternativa que simplifica la gestión de datos, incrementa la movilidad y reduce el tiempo de instalación, al mismo tiempo que proporciona una herramienta poderosa para mejorar la toma de decisiones durante la navegación.

1.1. Propósito del documento

La finalidad de este escrito es explorar en detalle los requisitos y especificaciones necesarios para el desarrollo exitoso de la “Interfaz Inalámbrica de Sentencias NMEA para Sistemas de Navegación”. Este proyecto representa un paso significativo hacia la mejora de la conectividad y la disponibilidad de datos críticos en el sector marítimo y, en última instancia, contribuirá al avance de la tecnología aplicada a la navegación.

1.2. Alcance del proyecto

El objetivo del proyecto es desarrollar un dispositivo que facilite la integración y transmisión de datos NMEA0183 de hasta cuatro dispositivos de navegación marítima, como GPS y sistemas AIS, a través de una red WiFi local. El sistema no incluirá soporte para la norma NMEA 2000, limitando su uso a dispositivos que empleen NMEA0183. Además, no se contemplará una interfaz Ethernet ni soporte para actualizaciones OTA (Over-the-Air).

El prototipo generará una red de datos independiente de la red central del buque mediante un punto de acceso WiFi, protegido con seguridad WPA para garantizar la integridad de los datos transmitidos. El alcance de la red WiFi se limitará a las áreas cercanas al puente de mando, permitiendo el acceso a los datos desde dispositivos móviles conectados dentro de esta zona.

Para asegurar la integridad y seguridad de los datos, el dispositivo contará con aislación eléctrica de la fuente de alimentación y optoacopladores que aislarán las señales entrantes, previniendo posibles interferencias o daños provocados por diferencias de potencial entre los dispositivos conectados y el sistema central.

El sistema se integrará en un único gabinete, diseñado para facilitar su instalación y mantenimiento a bordo. Los conectores se ubicarán en los laterales del mismo, permitiendo la fácil conexión de los dispositivos de navegación. En el frente se dispondrá un display que proporcionará información clara sobre el funcionamiento del sistema, facilitando el monitoreo de su actividad.

El proyecto incluirá una interfaz de usuario básica para realizar configuraciones esenciales, como la velocidad de transmisión de los datos. Además, se ofrecerá soporte para la representación visual en cartas náuticas de los datos recibidos, lo que permitirá una interacción más intuitiva con la información. Este enfoque facilitará que el sistema sea accesible y útil para los navegantes en entornos marítimos, simplificando la gestión de los datos críticos para la navegación.

1.3. Personal Involucrado

Nombre	Cosmai, Diego Fernando
Rol	Desarrollador
Categoría Profesional	Estudiante
Responsabilidad	Diseño y desarrollo del proyecto
Información de Contacto	diegocosmai@hotmail.com

Nombre	Scuppa, Matías Eduardo
Rol	Desarrollador
Categoría Profesional	Estudiante
Responsabilidad	Diseño y desarrollo del proyecto
Información de Contacto	matiasscuppa@gmail.com

Nombre	Cebedio, Celeste Maria
Rol	Director
Categoría Profesional	Profesor Adjunto, dedicación exclusiva
Responsabilidad	Tutelar y orientar en el diseño y seguimiento del desarrollo del proyecto
Información de Contacto	celestecebedio@fi.mdp.edu.ar

Nombre	Fontanella, Gonzalo Roberto
Rol	Director
Categoría Profesional	Jefe de Trabajos Prácticos - Dedicación exclusiva
Responsabilidad	Tutelar y orientar en el diseño y seguimiento del desarrollo del proyecto
Información de Contacto	g.fonta@fi.mdp.edu.ar

2 ESPECIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS

2.1. Introducción

Este fragmento del documento corresponde a la Especificación de Requerimientos (SRS) para el proyecto “Interfaz Inalámbrica de Sentencias NMEA para Sistemas de Navegación”. Esta especificación se ha estructurado basándose en las directrices dadas por el estándar IEEE 830, 1998.

2.1.1. Propósito

La finalidad de esta sección es explorar en detalle los requisitos y especificaciones necesarios para el desarrollo exitoso de la Interfaz Inalámbrica de Sentencias NMEA para Sistemas de Navegación”. Este proyecto representa un paso significativo hacia la mejora de la conectividad y la disponibilidad de datos críticos en el sector marítimo y, en última instancia, contribuirá al avance de la tecnología aplicada a la navegación.

2.2. Proyecto

2.2.1. Definiciones, acrónimos y abreviaturas

Nombre	Descripción
NMEA	National Marine Electronics Association (Asociación Nacional de Electrónica Marina)
OTA	Over-the-air (permite comunicar, reconfigurar y gestionar los dispositivos sin tener que acceder físicamente a ellos)
WPA	Wi-Fi Protected Access (especificación de codificación de datos para LAN inalámbrica)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global)
AIS	Automatic Identification System (Sistemas de Identificación Automática)
TTL	Transistor-Transistor Logic (Lógica Transistor a Transistor)
RS-422 y RS-232	Normas técnicas de la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones que especifican características eléctricas de un circuito de señalización digital
UART	Universal Asynchronous Receiver / Transmitter (Transmisor-Receptor Asíncrono Universal)

2.3. Descripción general

Este proyecto tiene como objetivo el diseño y la implementación de una interfaz inalámbrica que permita la recopilación de datos NMEA desde dispositivos de navegación, como por ejemplo el GPS, el AIS o el girocompás de una embarcación, y su posterior distribución a través de un punto de acceso WiFi. Esto, a su vez, posibilitará el acceso a estos datos en tiempo real desde dispositivos móviles, computadoras portátiles y otros sistemas de navegación, lo que mejorará significativamente la toma de decisiones y la seguridad en el entorno marítimo.

2.3.1. Perspectiva del producto

En un mundo cada vez más conectado, la necesidad de acceder a información precisa y en tiempo real es fundamental para garantizar la seguridad y eficiencia en la navegación. Este proyecto se enfoca en abordar esta

necesidad al facilitar la adquisición y distribución de datos NMEA, provenientes de sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas de identificación automática (AIS) a bordo de embarcaciones, de manera inalámbrica y accesible desde cualquier dispositivo con capacidad de conexión WiFi.

2.3.2. Funcionalidad del producto

Las funciones que realiza el producto se muestran en el diagrama en bloques de la Figura 2.1. Estas funciones se describen a grandes rasgos y sin entrar en profundidad en cada una.

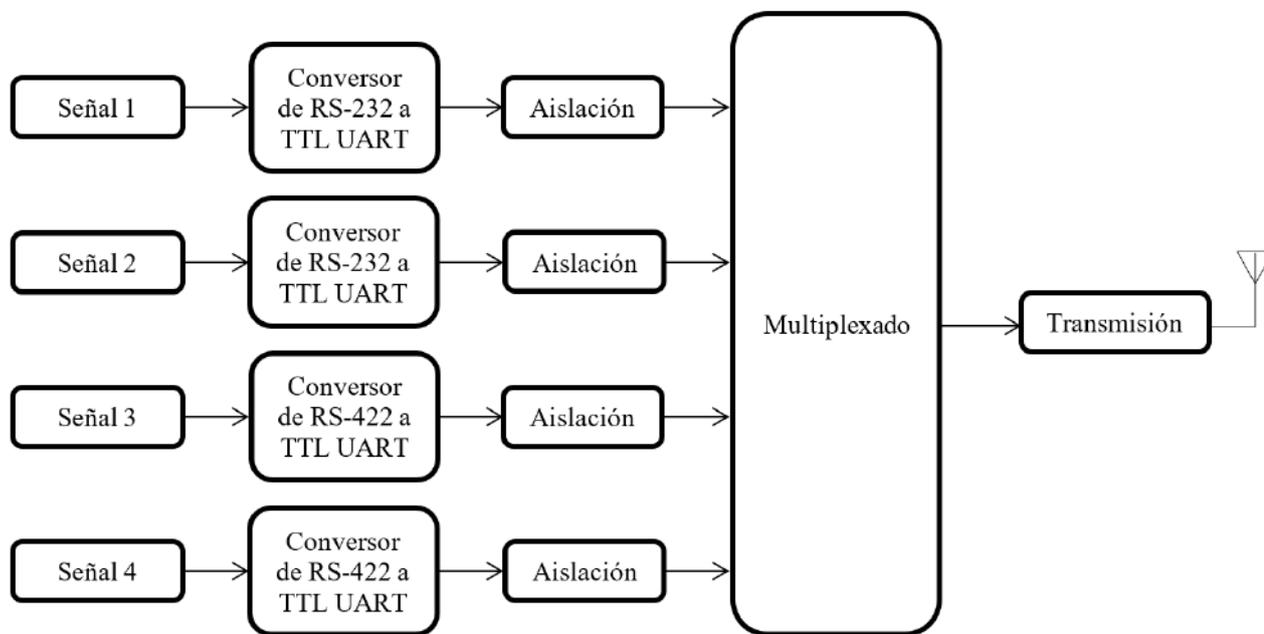


Figura 2.1: Diagrama en bloques del sistema

2.3.3. Características de los usuarios

El proyecto apunta a cubrir la necesidad planteada por usuarios del puente de comando de los buques OPV (Offshore Patrol Vessels) de la Armada Argentina, donde su inquietud principal fue la obtención y ploteo de los datos de navegación en equipos inalámbricos.

2.3.4. Restricciones

Adquisición de datos no invasivo al sistema de navegación. No es una posibilidad utilizar la red inalámbrica del buque para transmitir.

2.4. Requisitos específicos

2.4.1. Requisitos de las interfaces

Se requiere que la interfaz de visualización para usuario sea una aplicación que permita observar los datos adquiridos de los diversos dispositivos conectados. Para la interfaz de configuración es necesario de un portal web.

2.4.2. Interfaz de hardware

Para la interfaz de hardware, es necesario que el dispositivo cuente con conexión Wi-Fi, de manera que pueda conectarse inalámbricamente a la aplicación en cuestión y representar los datos adquiridos.

2.5. Requerimientos funcionales

Identificación del requerimiento	RF01
Nombre del requerimiento	Cuatro entradas NMEA 0183 con aislamiento eléctrico
Descripción	Señales de entrada acondicionadas y aisladas
Prioridad del requerimiento	Alta

Identificación del requerimiento	RF02
Nombre del requerimiento	Puertos USB dedicados
Descripción	Acceso para soporte y mantenimiento del código que controla el chip ESP32 y el ATMEGA2560
Prioridad del requerimiento	Baja

Identificación del requerimiento	RF03
Nombre del requerimiento	Velocidades de baudios de entrada configurables
Descripción	Se debe tener acceso a la configuración de la velocidad de los puertos de entrada dado que varía según el dispositivo conectado.
Prioridad del requerimiento	Alta

Identificación del requerimiento	RF04
Nombre del requerimiento	Aislación Eléctrica de la Fuente de Alimentación
Descripción	La fuente de alimentación debe estar aislada eléctricamente para evitar problemas relacionados con la alimentación eléctrica y mantener la integridad de los datos.
Prioridad del requerimiento	Alta

Identificación del requerimiento	RF05
Nombre del requerimiento	Punto de acceso WiFi
Descripción	Punto de acceso inalámbrico para que el usuario disponga de la información en el software de navegación náutica.
Prioridad del requerimiento	Alta

Identificación del requerimiento	RF06
Nombre del requerimiento	Indicadores visuales de funcionamiento
Descripción	Indicador de encendido/apagado y de estado del punto de acceso
Prioridad del requerimiento	Media

Identificación del requerimiento	RF07
Nombre del requerimiento	Procesamiento de datos
Descripción	Multiplexado de datos serie de entrada y preparación de los mismos para ser transmitidos por el punto de acceso.
Prioridad del requerimiento	Alta

2.6. Requerimientos no funcionales

Identificación del requerimiento	RNF01
Nombre del requerimiento	Sistema de montaje
Descripción	Orificios en la carcasa para facilitar el montaje del dispositivo.
Prioridad del requerimiento	Media

2.7. Requisitos de rendimiento

No se requiere de gran potencia de procesamiento. Adquiriendo los datos y trabajándolos una o dos veces por segundo es más que suficiente para esta aplicación. Además, el área de cobertura de la señal WiFi no precisa abarcar zonas más allá del puente de comando.

2.8. Restricciones de diseño

El tamaño del dispositivo es una limitación fundamental que garantiza su disposición en un espacio específico en el barco, el rack de navegación. Esta restricción se deriva de la necesidad de mantener el dispositivo lo más cercano posible a los sistemas de navegación existentes, permitiendo una instalación sencilla y sin modificaciones significativas en la estructura de la embarcación. La adecuación del gabinete al rack de navegación es esencial para garantizar que el dispositivo no interfiera con otras operaciones y equipos en el puente de comando, y que su acceso y mantenimiento sean prácticos.

3 ESPECIFICACIÓN FUNCIONAL

3.1. Introducción

Este capítulo aborda la especificación funcional del dispositivo diseñado para permitir el acceso inalámbrico a datos NMEA provenientes de sistemas de navegación en embarcaciones, como GPS y AIS. La “Interfaz Inalámbrica de Sentencias NMEA para Sistemas de Navegación” permite la recopilación y transmisión eficiente de estos datos mediante un punto de acceso WiFi, facilitando su disponibilidad en tiempo real en cualquier dispositivo compatible. A lo largo del capítulo, se especificarán las funciones esenciales y los requerimientos técnicos que garantizan su operatividad y rendimiento en distintos entornos de navegación.

3.2. Descripción del dispositivo

En esta sección se describe el funcionamiento general del dispositivo, dividido en cuatro etapas clave: adquisición, procesamiento, transmisión y alimentación. A continuación, se presenta un diagrama de bloques que ilustra el flujo completo de estas etapas y detalla cada una.

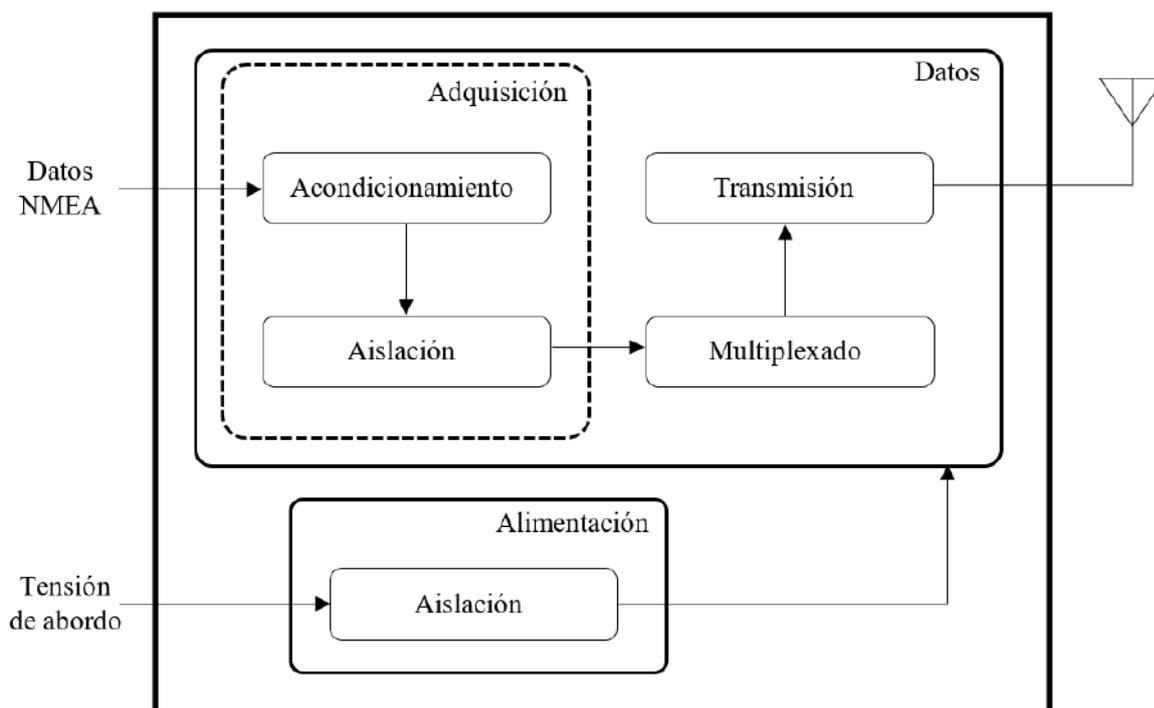


Figura 3.1: Diagrama dispositivo completo

Etapas 1: Adquisición

Captura de datos de los dispositivos de navegación marítima, acondicionamiento de las señales y aislación de las mismas mediante optoacopladores.

Etapas 2: Procesamiento

Multiplexado de las señales y filtrado de sentencias NMEA.

Etapa 3: Transmisión

Envío de datos por medio de un punto de acceso generado por el mismo MCU ESP32.

Etapa 4: Alimentación

Aislación y filtrado de la tensión de abordo.

3.3. Especificaciones funcionales

- **RF01: Cuatro entradas NMEA 0183 con aislamiento óptico.** Señales de entrada acondicionadas y optoacopladas.

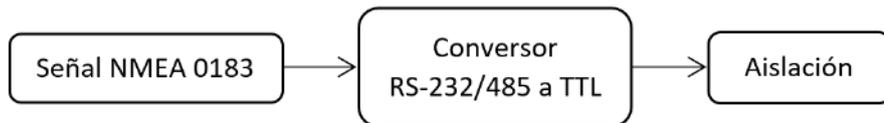


Figura 3.2: RF01

- **RF02: Puertos USB dedicados.** Acceso para soporte y mantenimiento del código que controla el chip ESP32 y el ATMEGA2560.

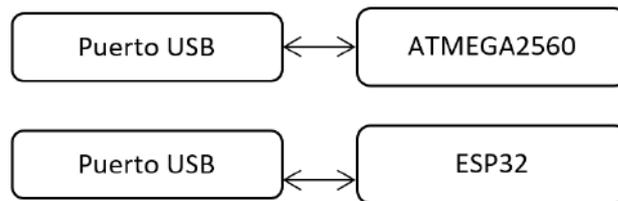


Figura 3.3: RF02

- **RF03: Velocidades de baudios de entrada configurables.** Se debe tener acceso a la configuración de la velocidad de los puertos de entrada dado que varía según el dispositivo conectado.

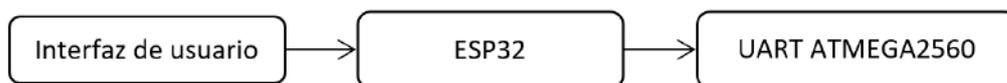


Figura 3.4: RF03

- **RF04: Aislación eléctrica de la fuente de alimentación.** La fuente de alimentación debe estar aislada eléctricamente para evitar problemas relacionados con la alimentación eléctrica y mantener la integridad de los datos.

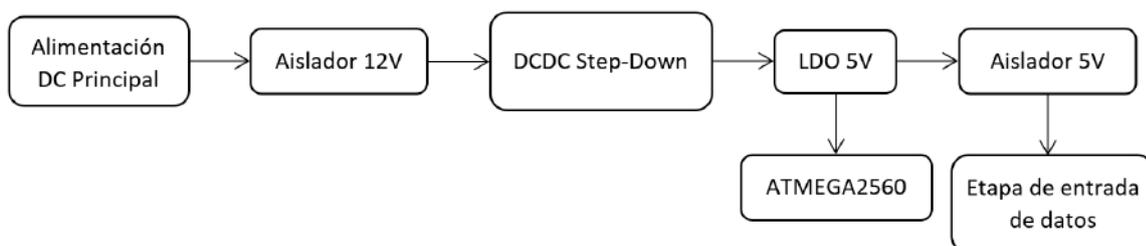


Figura 3.5: RF04

- **RF05: Punto de acceso WiFi.** Punto de acceso inalámbrico para que el usuario disponga de la información en el software de navegación náutica.

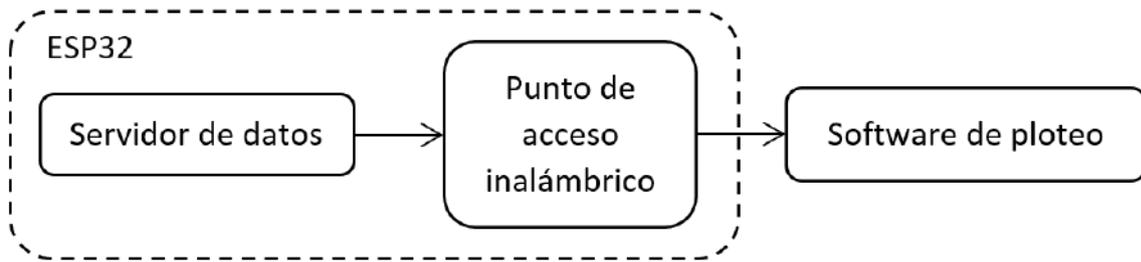


Figura 3.6: RF05

- **RF06: Indicadores visuales de funcionamiento.** Indicador de encendido/apagado y de estado del punto de acceso.

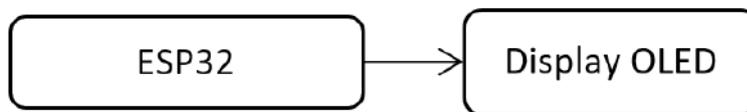


Figura 3.7: RF06

- **RF07: Procesamiento de datos.** Multiplexado de datos serie de entrada y preparación de los mismos para ser transmitidos por el punto de acceso.

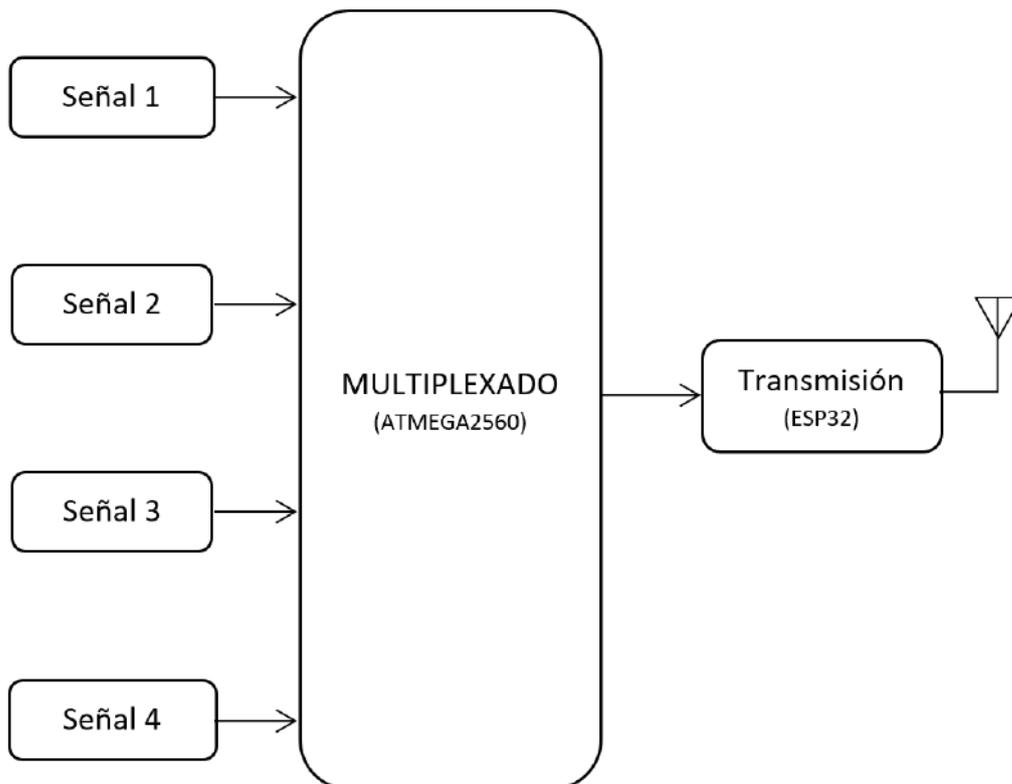


Figura 3.8: RF07

- **RNF01: Sistema de montaje.** Orificios en la carcasa para facilitar el montaje del dispositivo.

4 DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1. Introducción

En este capítulo se expone el desarrollo completo del sistema, abarcando tanto el diseño del hardware como el software necesario, así como los protocolos de comunicación que permiten su funcionamiento. Este enfoque integral busca asegurar que el sistema no solo cumpla con los requisitos funcionales previstos, sino que también ofrezca una operación confiable y proporcione una experiencia de usuario óptima. A lo largo del capítulo se detallarán los procesos y decisiones técnicas que permitieron implementar cada una de las partes del proyecto de manera efectiva.

4.2. Hardware

El proyecto parte de un prototipo inicial, el cual, a medida que se desarrolla, sufre los cambios necesarios para alcanzar la configuración final del dispositivo. A lo largo de este proceso, se realizan diversas pruebas por etapas, superando desafíos técnicos en varias oportunidades.

A continuación, se describe el desarrollo del hardware:

4.2.1. Prototipo

El prototipo se desarrolla en dos etapas aisladas: por un lado, un módulo denominado *UART BOARD*, que incluye un HUB USB para cuatro dispositivos y cuatro conversores USB a TTL; y por otro lado, un módulo denominado *MAIN BOARD*, en el que se integran los aisladores, el multiplexor y el ESP32. Ambos módulos se interconectan mediante un cable plano IDC, tal como se aprecia en la Figura 4.1.

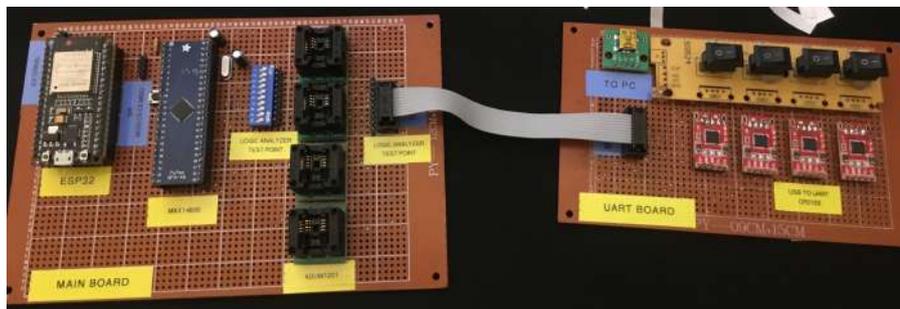


Figura 4.1: Prototipo

A continuación se detallarán los dos módulos presentados:

UART Board

La decisión de armar dos módulos responde a la necesidad de probar primero la etapa de conversión de USB a señales TTL. Una vez que esta etapa funciona correctamente, se inyectan las señales al módulo *MAIN BOARD* para su aislamiento, multiplexación y transmisión inalámbrica.

Se elabora un diagrama, como se muestra en la figura 4.2, con imágenes que permiten identificar la disposición de cada componente y su conexionado, para luego implementarlo en una placa experimental (Figura 4.3). Cada entrada y etapa dentro de la placa experimental se etiqueta para facilitar su uso durante las pruebas posteriores.

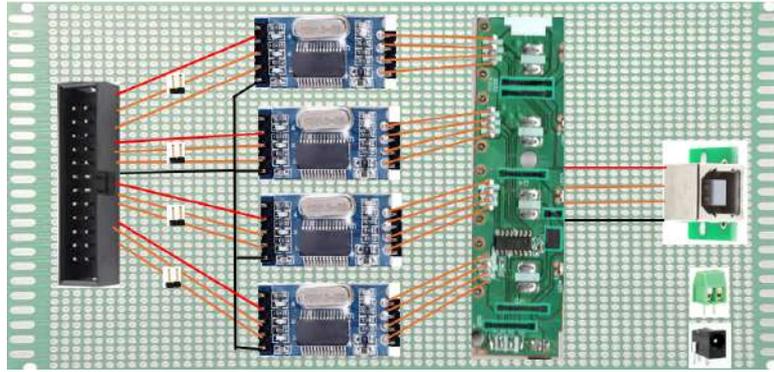


Figura 4.2: Esquema UART Board



Figura 4.3: Módulo UART Board

Conversor UART

El módulo de conversión alberga cuatro conversores USB a TTL que utilizan el circuito integrado CP2102. Este módulo es un dispositivo utilizado para la comunicación serie a través de USB.

El módulo conversor CP2102 brinda en sus pines de salida señales TTL, correspondientes tanto a la recepción (RX) como a la transmisión (TX). Estas señales son un estándar de lógica digital utilizado para la comunicación entre dispositivos. Las características principales son los niveles de tensión que representan los estados lógicos:

- Nivel Lógico Bajo (0): Voltaje entre 0V y 0.8V.
- Nivel Lógico Alto (1): Voltaje entre 2V y 5V.

La figura 4.4 muestra el modulo utilizado y la figura 4.5 su correspondiente esquemático:

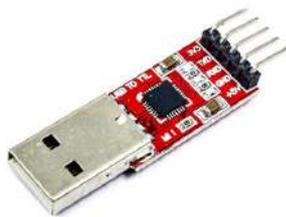


Figura 4.4: Modulo USB-UART CP2102

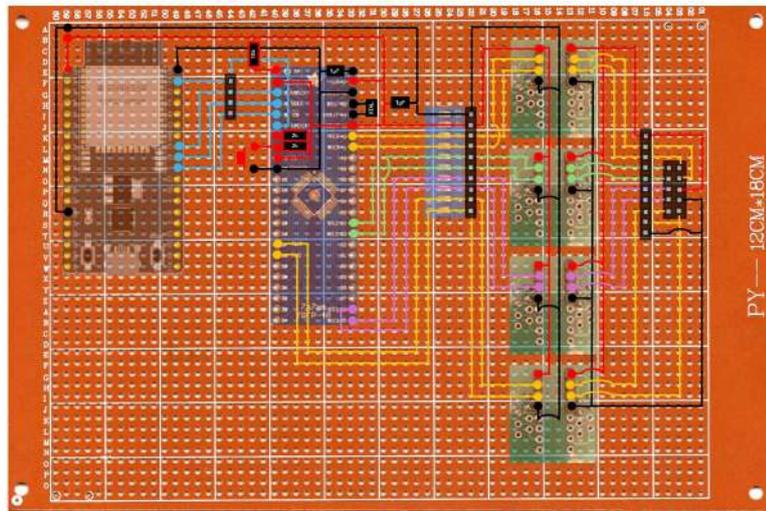


Figura 4.7: Esquema MAIN Board

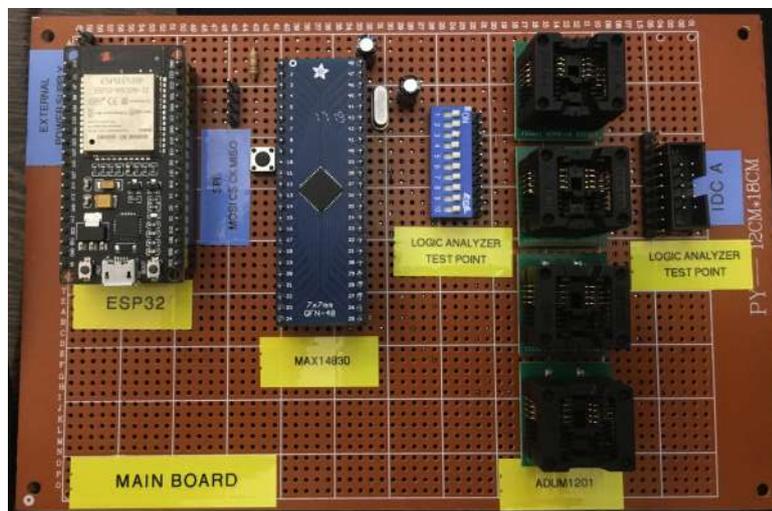


Figura 4.8: Módulo MAIN Board

4.2.2. Aislación de señal

En esta etapa se realizan diversas pruebas. En una primera instancia, se utiliza un aislador galvánico, modelo ADuM1201, el cual presenta dificultades durante su implementación. Aunque el ADuM1201 ofrece un excelente aislamiento galvánico, la mayoría de las aplicaciones NMEA 0183 no requieren aislamiento de alta velocidad, característica para la que está diseñado este integrado (hasta 25 Mbps).

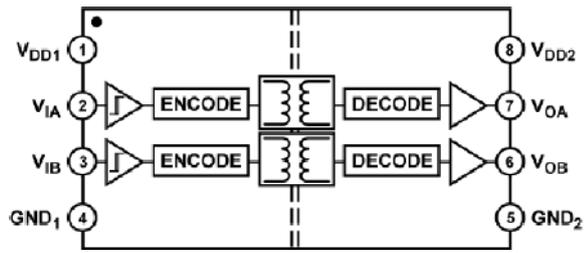
Sus características:

- Aislamiento galvánico
- Canales de datos: ofrece dos canales de datos bidireccionales.
- Velocidad de datos: soporta velocidades de hasta 25 Mbps, adecuado para aplicaciones de alta velocidad.
- Bajo retardo de propagación: retardo típico de 50 ns, asegurando una rápida transmisión de datos.
- Rechazo al ruido: alto rechazo a modos comunes (CMRR), lo que mejora la inmunidad al ruido en entornos eléctricos ruidosos.
- Bajo consumo de energía.

Si bien el ADuM1201 es ideal para aislar señales RS-232/RS-422/RS-485, en los ensayos realizados no se logran obtener datos a la salida del mismo. Por lo tanto, se continúa buscando una aislación para baja velocidad, priorizando tiempos de respuesta e inmunidad al ruido.



(a) Encapsulado



(b) Diagrama interno

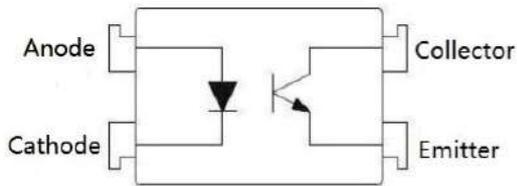
Figura 4.9: ADMU1201

Como segunda opción, se contempla el circuito integrado PC817.

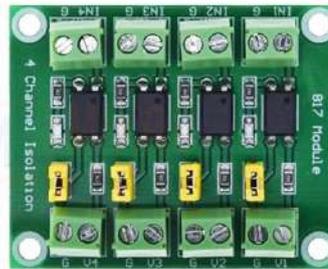
Sus características:

- Aislamiento galvánico.
- Compatibilidad TTL.
- Corriente de entrada de aproximadamente 20 mA.

Las pruebas se realizan sobre un módulo comercial con 4 canales aislados, como se muestra en la figura 4.10b.



(a) Diagrama interno



(b) Modulo aislador

Figura 4.10: PC817

Luego de realizar diversas pruebas, se concluye que el PC817 es útil para muchas aplicaciones donde se requiere aislamiento galvánico, pero no es ideal para NMEA 0183 debido a sus limitaciones en velocidad de conmutación.

Finalmente, luego de una extensa búsqueda y comparación de características, se opta por el optoacoplador modelo 6N137, un integrado de alta velocidad y alto aislamiento. Su compatibilidad con niveles TTL lo hace versátil y fácil de integrar en sistemas digitales.

Sus características:

- Alta velocidad: puede operar a velocidades de hasta 10 Mbps.
- Proporciona aislamiento galvánico de hasta 5000 VRMS.
- Requiere una corriente entorno a 10 mA para activar el LED interno.
- Salida de transistor: el fotodetector de salida es un transistor con una resistencia de pull-up interna.
- Puede operar con señales de nivel TTL y CMOS, lo que facilita su integración en una variedad de sistemas digitales.
- Tiene un tiempo de retardo de propagación típico de 50 ns, permitiendo una respuesta rápida en aplicaciones de alta velocidad.

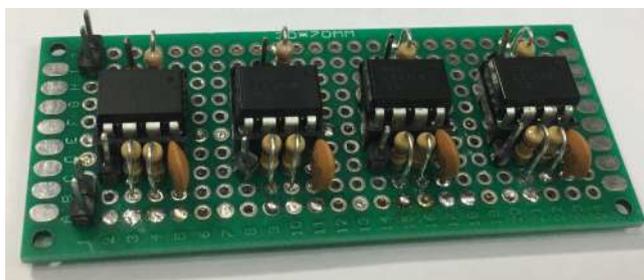


Figura 4.11: Modulo 6N137

Para más información sobre el aislador 6N137, consulte la Sección 8.3 en el Anexo.

4.2.3. Acondicionamiento de señal

Durante el desarrollo del proyecto, se implementan dos entradas dedicadas para señales RS-232 y dos entradas adicionales para señales RS-485, con el objetivo de permitir la recepción y transmisión de distintos tipos de datos en el concentrador. Las interfaces RS-232 y RS-485 se eligen por su capacidad para adaptarse a diferentes estándares de comunicación en entornos industriales, así como por su robustez frente a interferencias, lo cual resulta fundamental en aplicaciones que requieren estabilidad en la transmisión de datos.

Para integrar las señales RS-232 y RS-485 con el microcontrolador ATmega2560, se emplean módulos de conversión de señal MAX232 y MAX485, los cuales adaptan los niveles de voltaje de cada interfaz a los niveles TTL necesarios para el funcionamiento del microcontrolador. Estos módulos garantizan una transmisión de datos segura y estable, permitiendo que el sistema gestione múltiples conexiones sin interferencias ni distorsiones en la señal.

Estos módulos de conversión no solo cumplen con la función de adaptación de niveles de voltaje, sino que también contribuyen a la protección del sistema ante posibles variaciones en las señales de entrada, aumentando así la confiabilidad del dispositivo. La combinación de estos componentes permite que el microcontrolador gestione de manera simultánea varias entradas de datos, garantizando la correcta operación del concentrador y su capacidad para recibir información de diferentes fuentes de manera eficiente.

4.2.4. Multiplexación

En esta etapa, se opta por un controlador con cuatro UARTs. La primera implementación utiliza un MAX14830. Este es un CI de alta velocidad que ofrece una serie de características avanzadas, haciéndolo ideal para aplicaciones que requieren múltiples interfaces seriales.

Sus características:

- Cuatro UARTs independientes: integra cuatro controladores UART en un solo chip, permitiendo múltiples conexiones serie simultáneas.
- Alta velocidad de datos: soporta velocidades de datos de hasta 12 Mbps, adecuado para aplicaciones de alta velocidad.
- Interfaces de tensión flexibles: opera con tensiones de entrada/salida que van desde 1.62V hasta 3.63V.
- FIFO de 128 bytes: cada UART tiene un FIFO (First In, First Out) de 128 bytes tanto para transmisión como para recepción, lo que reduce la carga de trabajo del procesador y mejora el rendimiento en aplicaciones de alta velocidad.
- Modos de operación flexible: soporta modos de operación de 8, 7, 6 y 5 bits de datos, con paridad par, impar, sin paridad, marcación y espacio.
- Interfaz SPI: se puede controlar a través de una interfaz SPI, proporcionando flexibilidad en la integración con diferentes microcontroladores.
- Detección de errores: incluye detección de errores de paridad, frame y break, mejorando la integridad de los datos.
- GPIOs programables: dispone de ocho pines GPIO (General Purpose Input/Output) programables, que pueden ser usados para señales de control adicionales.
- Baudios independientes: cada UART puede ser configurado con una velocidad de baudios independiente, permitiendo comunicación con diferentes dispositivos a diferentes velocidades.

Sus beneficios:

- Alta integración: al integrar cuatro UARTs en un solo chip, reduce el número de componentes y el espacio necesario en la PCB.
- Flexibilidad: la capacidad de configurar cada UART de manera independiente permite una gran flexibilidad en el diseño del sistema.
- Reducción de carga del procesador: los FIFOs de 128 bytes y las características avanzadas de manejo de errores reducen la carga de trabajo del procesador, mejorando el rendimiento del sistema.
- Ahorro de energía: los modos de operación de bajo consumo y la capacidad de operar a bajos voltajes ayudan a reducir el consumo de energía del sistema.

Diagrama interno:

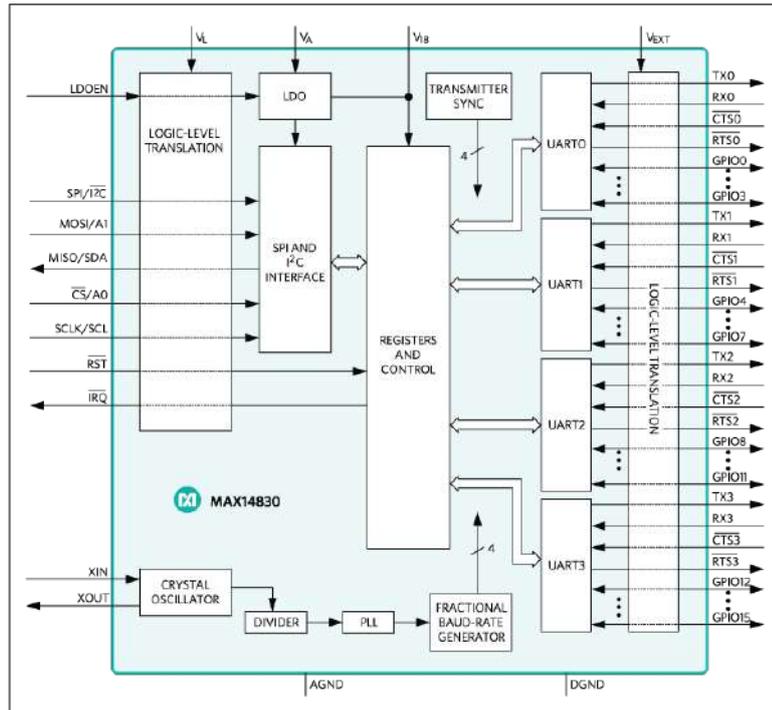


Figura 4.12: MAX14830

El MAX14830 tiene un encapsulado TQFN, por lo tanto, para realizar las pruebas en la placa experimental, se requiere una placa adaptadora y luego soldar el circuito integrado a la misma. Esto se desarrolla con la técnica de soldado con estaño en pasta de 138 grados y una estación de soldado Atten GT-8102, la cual permite configurar la curva de temperatura proporcionada por la hoja de datos del MAX14830.



(a) Encapsulado

(b) Adaptador para protoboard

Figura 4.13: TQFN

Se procede a estudiar la hoja de datos, construyendo una tabla de direcciones de registro a usar para la lectura. Se inician las pruebas configurando los registros correspondientes del MAX14830 y estableciendo la interfaz SPI entre éste y el ESP32. Luego de reiteradas iteraciones, no se logra realizar ninguna lectura.

A continuación se enumeran los posibles problemas durante esta etapa de pruebas:

- Configuración incorrecta de la interfaz SPI
- Errores en la dirección de los registros
- Problemas con la sincronización de lectura/escritura
- Configuración incorrecta de la velocidad en baudios de cada UART

El MAX14830 es un integrado flexible para manejar múltiples interfaces serie, pero la falta de notas de aplicación y detalles en el datasheet impide resolver los problemas necesarios para asegurar su operación fiable en aplicaciones como NMEA 0183.

En este punto del proyecto, se produce un avance clave que desbloquea su desarrollo. Tras dedicar un tiempo considerable a entender el MAX14830 sin éxito, se opta por buscar una alternativa que cumpla los objetivos sin alterar el propósito del proyecto.

La alternativa seleccionada es un MCU ATMEGA2560 de la familia AVR de 8 bits. Una de sus características destacadas es la inclusión de cuatro UARTs, lo cual permite la comunicación serie con varios dispositivos simultáneamente. A continuación, se describen en detalle las características e implementación de las UARTs:

- Registros de control y estado
- Registro de datos
- Registros de velocidad de baudios
- Interrupciones

Para más información sobre la implementación de este MCU, consulte la Sección 8.3 en el Anexo.

4.2.5. Etapa inalámbrica

Esta etapa es fundamental para garantizar que las señales se transmitan de manera eficiente, segura y con mínima tasa de error, permitiendo una comunicación efectiva en una amplia gama de aplicaciones.

El ESP32-WROOM-32 es un módulo de bajo costo y alto rendimiento basado en el microcontrolador ESP32 de Espressif Systems. Incluye una antena PCB (Printed Circuit Board) integrada, diseñada para proporcionar una buena conexión inalámbrica tanto para Wi-Fi como para Bluetooth. El diseño de la antena está directamente impreso en la placa del módulo, lo cual elimina la necesidad de una antena externa y simplifica el diseño del hardware. Esta antena está optimizada para operar tanto en las bandas de frecuencia Wi-Fi (2.4GHz) como en las de Bluetooth, y tiene una ganancia típica de aproximadamente 2dBi. Esto es adecuado para la mayoría de las aplicaciones de corto a mediano alcance, garantizando una buena transmisión y recepción de señales.



Figura 4.14: Módulo ESP32 WROOM-32

4.2.6. Interfaz visual

La interfaz desarrollada cuenta con los elementos básicos de identificación de dispositivo y configuración de baudrate de cada uno de ellos (Figura 4.16). A su vez cuenta con un display que posee información del estado en que se encuentra el dispositivo, alternando entre “Connection OK” o “Waiting” dependiendo si está conectado o esperando que el usuario se conecte (Figura 4.15).

Con esta estructura se pretende ofrecer una visión clara y completa de la configuración de forma inalámbrica del dispositivo.

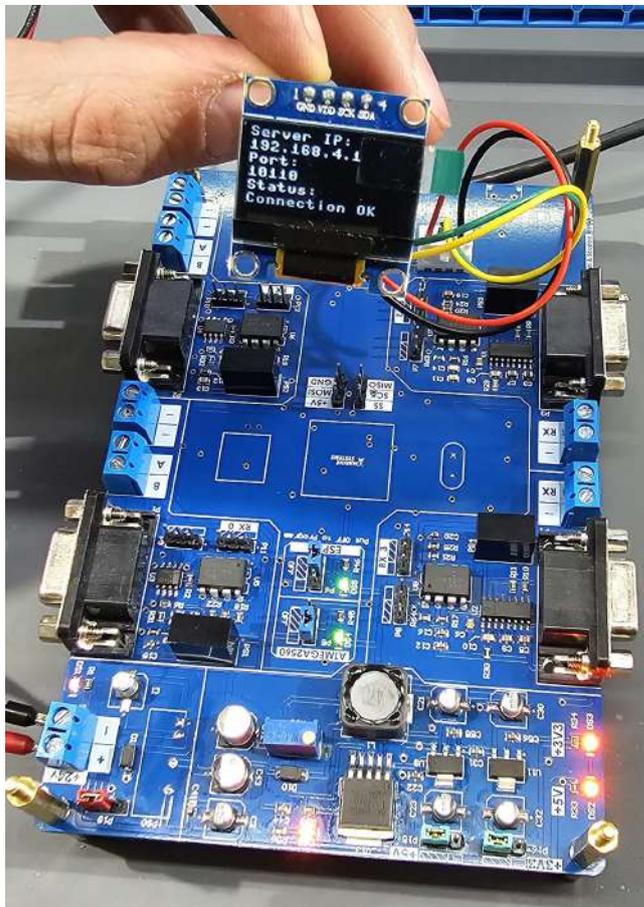


Figura 4.15: Pantalla OLED

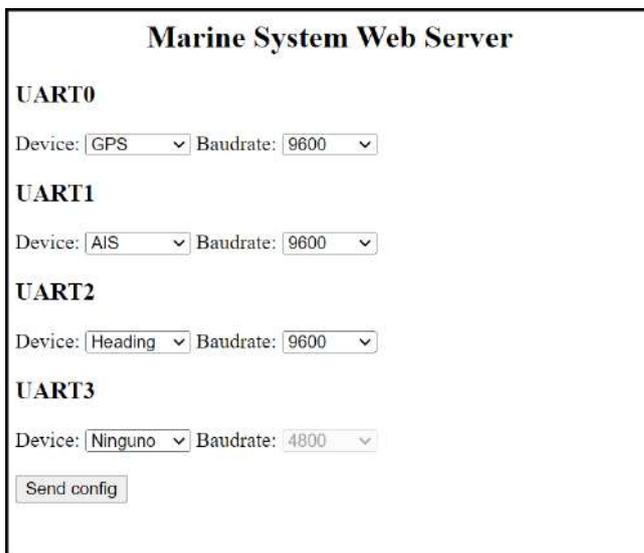
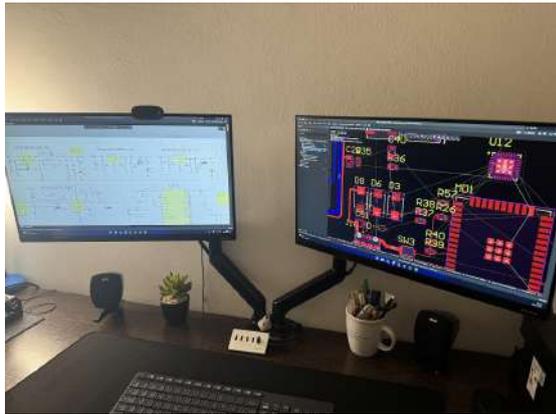


Figura 4.16: Interfaz Web

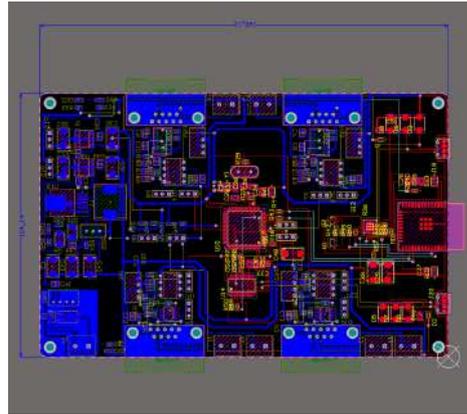
4.3. Diseño del Esquemático

El diseño esquemático se desarrolla en Altium Designer, aprovechando herramientas de enrutado y organización para asegurar claridad y precisión en cada etapa. Previamente, se realiza un scouting exhaustivo de componentes disponibles a nivel nacional, seleccionando aquellos que cumplen con los requisitos técnicos del proyecto para facilitar la adquisición y reemplazo en caso necesario. El diagrama se estructura en secciones delimitadas con líneas punteadas, lo cual facilita la comprensión y visualización de cada etapa y su función específica en el sistema. Esta segmentación incluye el sistema de alimentación, la interfaz de comunicación y los circuitos de multiplexado, permitiendo una interpretación ágil y clara del flujo de señales. En la Figura 4.18 pueden apreciarse dos renders del PCB finalizado.

Imágenes del proceso pueden observarse en las Figuras 4.17a y 4.17b:

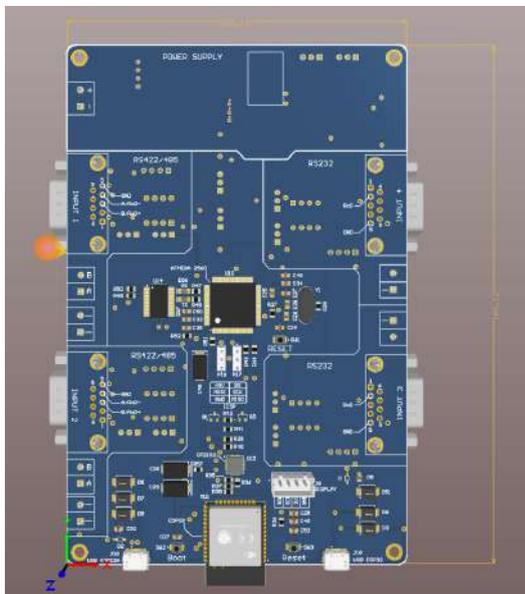


(a) Setup para diseño

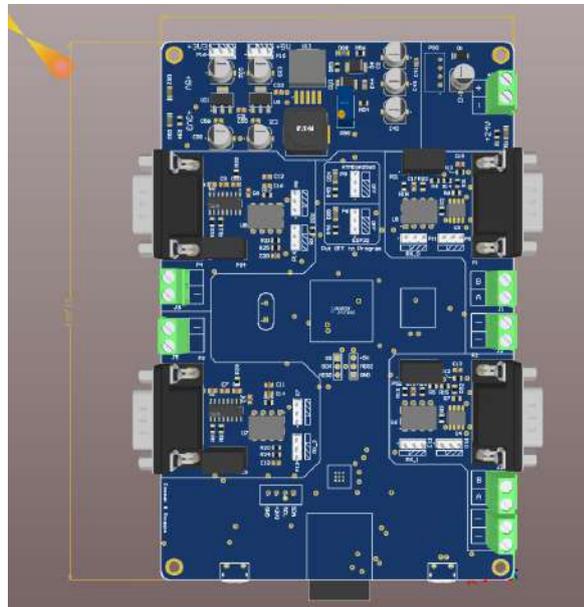


(b) Diseño capas PCB

Figura 4.17: Diseño en Altium



(a) Lado superior



(b) Lado inferior

Figura 4.18: Renderizado de PCB

Para más información acerca del esquemático final, consulte la Sección 8.3 en el Anexo.

4.4. Desarrollo del firmware

El desarrollo del firmware se estructura en dos componentes principales: uno dedicado al ESP32 y otro al ATMEGA2560. El firmware del ESP32 se diseña para gestionar la configuración proporcionada por el usuario, crear un punto de acceso WiFi, recibir datos a través del puerto serie y publicar estos datos en la dirección IP 192.168.4.1:10110. Al iniciar el dispositivo, el ESP32 revisa si ya cuenta con información guardada de los baudrates de cada UART del ATMEGA2560. En caso afirmativo, se envían estos datos por comunicación serie al ATMEGA2560, que espera esta información para comenzar con el bucle de lectura. Si no se dispone de esta información, el ESP32 espera a que el usuario ingrese los datos necesarios desde el portal de configuración en 192.168.4.1.

Por otro lado, el firmware del ATMEGA2560 se encarga de recibir tramas NMEA, multiplexarlas y transmitir las mediante el puerto serie al ESP32. Esta separación de responsabilidades permite optimizar el procesamiento de datos y aumentar la eficiencia en la comunicación entre los microcontroladores.

La lógica correspondiente al firmware de ambos, analizados como un todo, se muestra en la Figura 4.19.

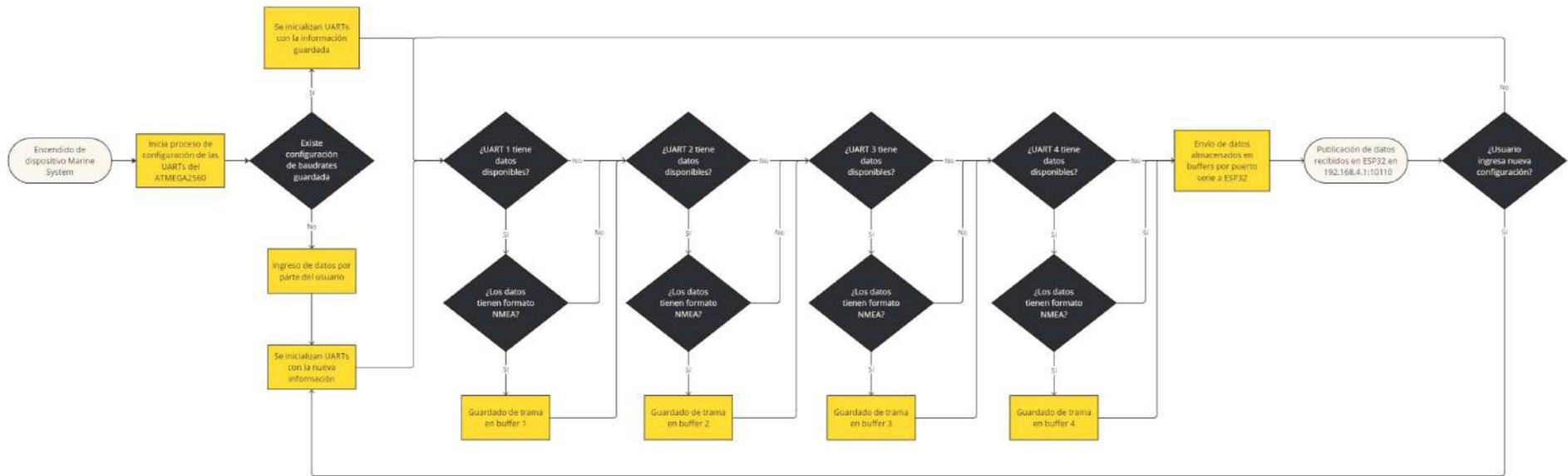


Figura 4.19: Diagrama de flujo

5 RESULTADOS OBTENIDOS

5.1. Introducción

En este capítulo, se describen las pruebas realizadas para validar la funcionalidad y el desempeño del prototipo desarrollado, el cual actúa como un concentrador de sentencias NMEA0183 con transmisión inalámbrica de datos. Para asegurar la precisión y estabilidad de las comunicaciones, se implementa un banco de pruebas que comprende una serie de instrumentos y herramientas electrónicas, permitiendo la evaluación de cada etapa y de las interacciones entre ellas.

El banco de pruebas incluye osciloscopio, analizador lógico, fuente de alimentación regulada y generador de funciones, cada uno seleccionado por su función específica en la verificación de los subsistemas del prototipo. También se emplean herramientas de simulación en una notebook para analizar el comportamiento del sistema bajo distintas condiciones de operación, y conversores RS232 a MAX485 para examinar las conexiones de comunicación serial, esenciales en la interoperatividad del dispositivo.

A través de este banco de pruebas, se obtiene una visión integral de la respuesta del prototipo ante condiciones reales, lo que facilita la identificación y resolución de problemas potenciales antes de su implementación final.

5.2. Banco de Pruebas

El banco de prueba empleado para validar el prototipo está compuesto por los siguientes equipos:

- Osciloscopio: se utiliza para verificar las señales eléctricas y analizar la integridad de las comunicaciones entre los dispositivos.
- Fuente de alimentación regulada: suministra la energía necesaria al prototipo y los circuitos asociados.
- Notebook con simuladores: proporciona un entorno para la simulación y análisis de los datos generados por el prototipo, así como la programación del mismo.
- Conversores RS232 a RS485: permiten las pruebas de comunicación serial entre los dispositivos del sistema (Figura 5.2a).
- Cable USB a Serie: se emplea para la conexión de las cuatro entradas del prototipo con la notebook (Figura 5.2b).
- Analizador lógico: se utiliza para capturar y analizar las señales digitales en la comunicación entre los componentes del prototipo.
- Generador de funciones: se emplea para generar señales de prueba, lo que permite evaluar el desempeño de los optoacopladores.

Parte de los equipos utilizados pueden observarse en la Figura 5.1.

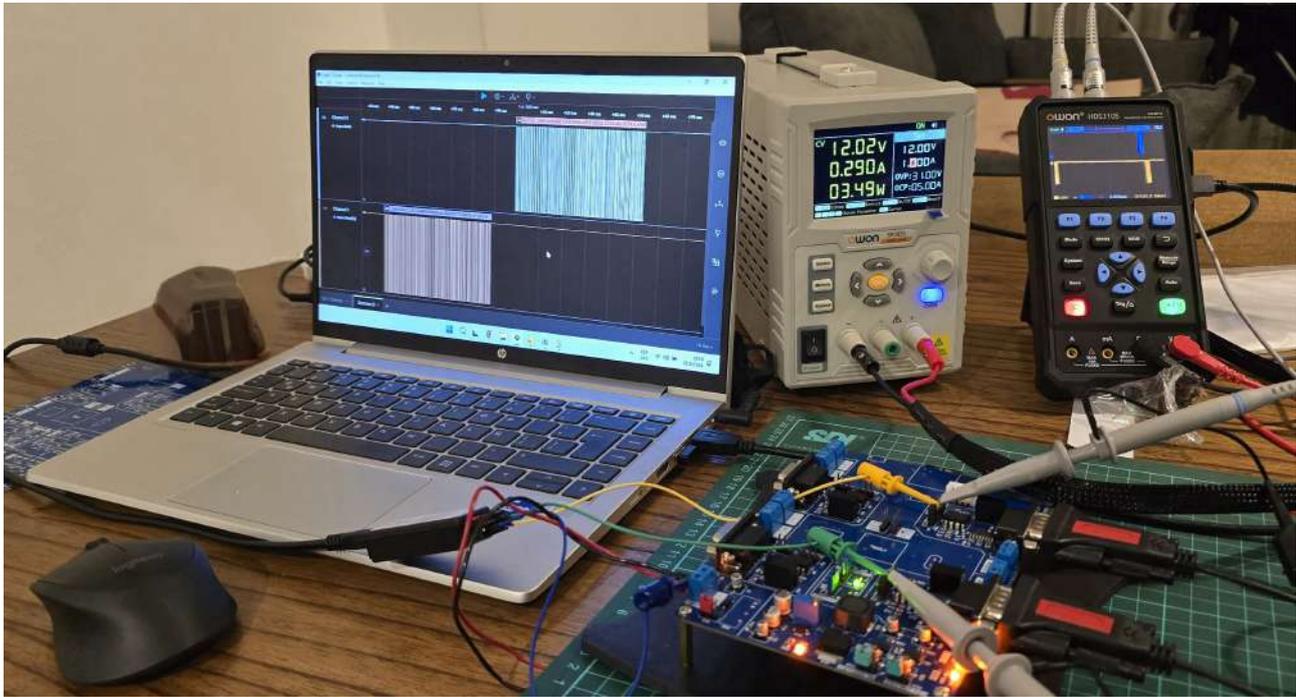


Figura 5.1: Banco de pruebas



(a) Conversor RS-232 a RS-485



(b) Cable USB a 4 Serie

Figura 5.2: Conversores

5.2.1. Simulador NMEA 0183

Se generan señales NMEA 0183 de GPS, AIS, Anemómetro y Velocidad de la embarcación mediante un simulador de dispositivos de navegación en la computadora. Estas se visualizan a la salida de cada conversor por medio de un analizador lógico, Figura 5.5, el cual proporciona la información para constatar que los datos son convertidos de forma correcta.

Cada dispositivo está configurado en un puerto de salida para cada conversor USB-UART, de esta forma se identifica el dispositivo de navegación con su conversor, como se detalla en la figura 5.4.

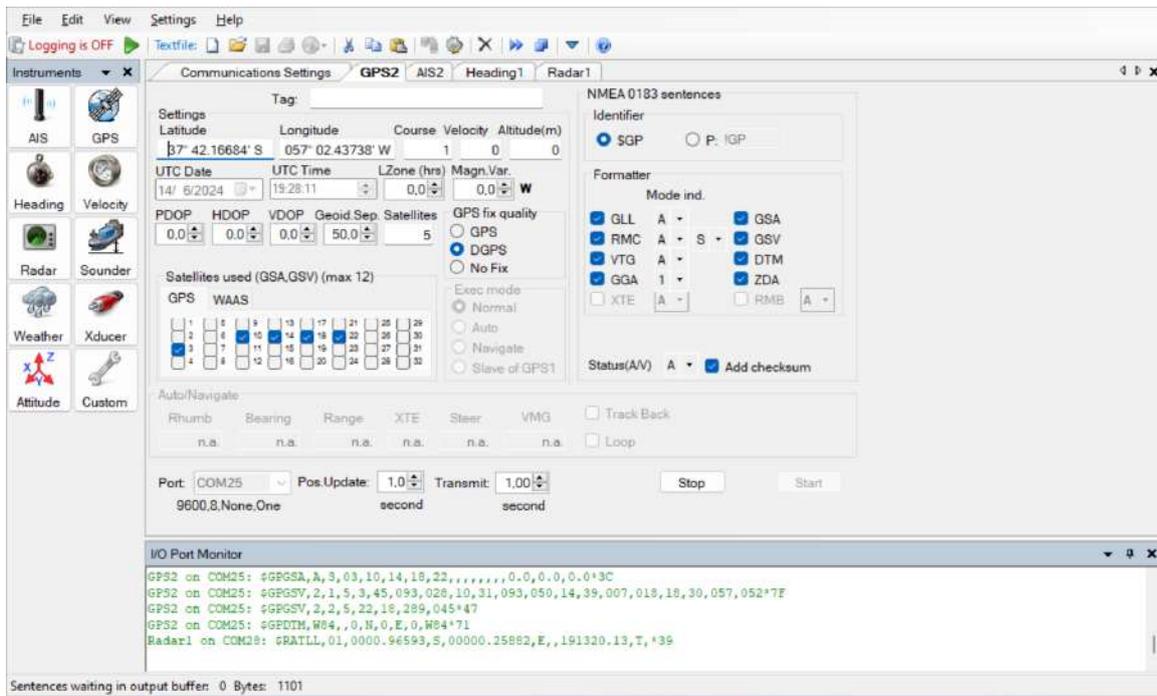


Figura 5.3: Simulador NMEA 0183

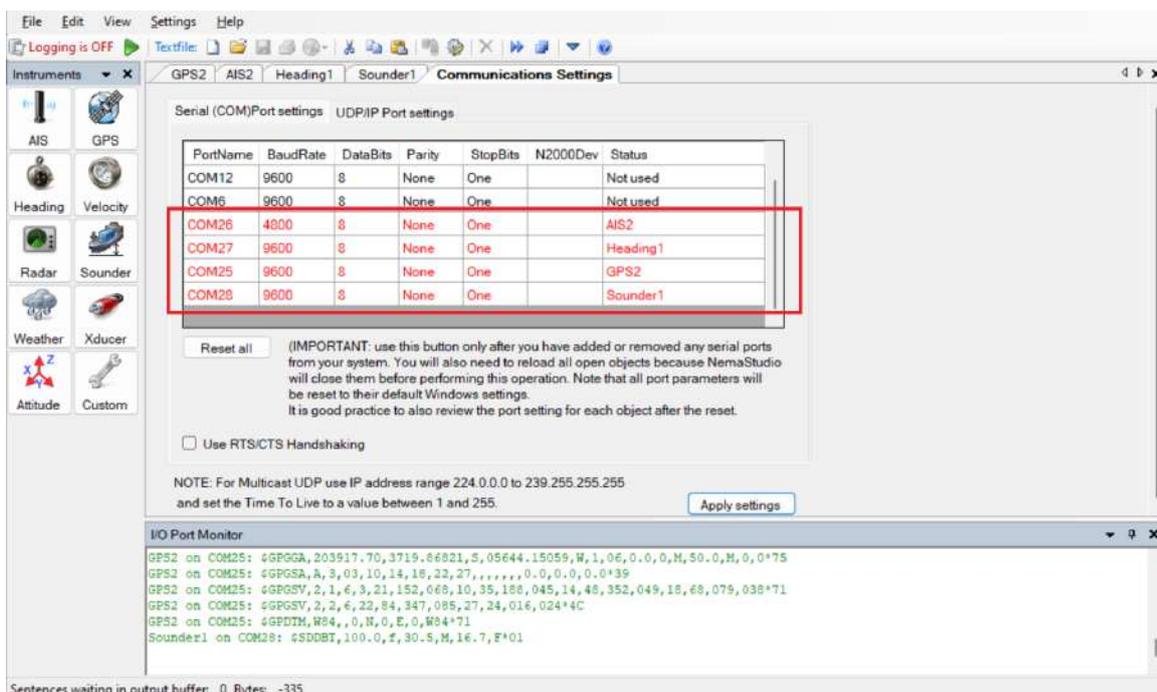


Figura 5.4: Configuración de simulador

5.2.2. Analizador lógico

El analizador lógico USB (Figura 5.5) es una herramienta muy útil para el proyecto, ya que, con una mínima inversión, permite visualizar las tramas NMEA y diagnosticar/depurar los inconvenientes que se presenten durante la etapa de adquisición y acondicionamiento.

Características:

- Velocidad de muestreo del canal lógico de 24MHz.
- 8 canales de entrada: se pueden recopilar al mismo tiempo. Con análisis de señal, como I2C, UART y otros análisis de muestreo.
- Puede muestrear hasta 10 mil millones de muestras

Módulo	ID	Prueba	Tipo de Prueba	Procedimiento	Instrumental	Resultado Esperado	Fecha de Prueba	Iteración	Responsable	Resultado Obtenido	Observaciones																								
Aislador 12V DC	1	Verificación de Voltaje de Entrada y Salida	Prueba unitaria	1. Conectar la fuente de alimentación a la entrada del aislador. 2. Ajustar la fuente a 12V DC. 3. Medir el voltaje de salida con el multímetro. 4. Registrar los resultados.	Fuente de alimentación, multímetro digital	Voltaje de salida de 12V DC \pm 5%	17/12/2023	1	Scuppa, Matias	Voltaje de entrada (Vin): 12.05V DC Voltaje de salida medido (Vout): 12.05V DC Corriente de entrada (Iin): 123mA Corriente de salida (Iout): 100mA Potencia de entrada (Pin): 12.05V * 123mA = 1.475W Potencia de salida (Pout): 12.05V * 100mA = 1.205W Cálculo de eficiencia: Eficiencia medida: (Pout / Pin) * 100 = (1.205W / 1.475W) * 100 = 81.44%																									
	2	Prueba de Eficiencia	Prueba unitaria	1. Conectar la carga ajustable a la salida del aislador. 2. Ajustar el voltaje de entrada especificado. 3. Variar la carga y medir la corriente y el voltaje de salida. 4. Calcular la eficiencia para diferentes niveles de carga. 5. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, fuente de alimentación	Eficiencia \geq 80% para diferentes niveles de carga	17/12/2023	1	Scuppa, Matias	- Carga ligera (10% de carga máxima, 16.7mA): Po=0.205W / Pi=0.253W \Rightarrow 81% - Carga media (50% de carga máxima, 83.5mA): Po=1.001W / Pi=1.244W \Rightarrow 81.2% - Carga alta (100% de carga máxima, 167mA): Po=1.977W / Pi=2.400W \Rightarrow 82.4%	Se realizaron pruebas sobre un B1212S-2WR3 ya que era el único disponible localmente. Para el proyecto es necesario conseguir un aislador de más de 4W. Para la prueba de respuesta transitoria fue bastante complejo realizar la medición ya que los tiempos son muy pequeños y al no poder hacer una variación de carga periódica, fue difícil capturar la transición por disparo único en el osciloscopio.																								
	3	Prueba de Regulación de Línea y Carga	Prueba unitaria	1. Conectar la carga ajustable a la salida del aislador. 2. Variar el voltaje de entrada dentro de los límites especificados (p. ej., \pm 10%). 3. Medir y registrar el voltaje de salida. 4. Variar la carga de 0% a 100% y medir el voltaje de salida. 5. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, fuente de alimentación	Variaciones mínimas en el voltaje de salida (dentro de \pm 5%) durante cambios en el voltaje de entrada y la carga	17/12/2023	1	Scuppa, Matias	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Carga</th> <th>Entrada 10.8V</th> <th>Entrada 12V</th> <th>Entrada 13.2V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0% (sin carga)</td> <td>11.78V</td> <td>12.30V</td> <td>12.99V</td> </tr> <tr> <td>25%</td> <td>11.70V</td> <td>12.24V</td> <td>12.77V</td> </tr> <tr> <td>50%</td> <td>11.66V</td> <td>12.10V</td> <td>12.62V</td> </tr> <tr> <td>75%</td> <td>11.62V</td> <td>11.92V</td> <td>12.45V</td> </tr> <tr> <td>100% (máxima carga)</td> <td>11.58V</td> <td>11.84V</td> <td>12.30V</td> </tr> </tbody> </table>	Carga	Entrada 10.8V	Entrada 12V	Entrada 13.2V	0% (sin carga)	11.78V	12.30V	12.99V	25%	11.70V	12.24V	12.77V	50%	11.66V	12.10V	12.62V	75%	11.62V	11.92V	12.45V	100% (máxima carga)	11.58V	11.84V	12.30V	
	Carga	Entrada 10.8V	Entrada 12V	Entrada 13.2V																															
	0% (sin carga)	11.78V	12.30V	12.99V																															
25%	11.70V	12.24V	12.77V																																
50%	11.66V	12.10V	12.62V																																
75%	11.62V	11.92V	12.45V																																
100% (máxima carga)	11.58V	11.84V	12.30V																																
4	Prueba de Aislamiento	Prueba unitaria	1. Utilizar un equipo de prueba de aislamiento. 2. Aplicar el voltaje de aislamiento especificado (1000V DC). 3. Verificar la resistencia de aislamiento. 4. Registrar los resultados.	Equipo de prueba de aislamiento	Resistencia de aislamiento \geq 1000 M Ω	17/12/2023	1	Scuppa, Matias	Se aplica 1000 V DC durante 60 segundos, y el dispositivo mantiene un alto nivel de resistencia sin ruptura del aislamiento (>1000 M Ω). No se evidencia degradación o fallos durante la prueba.																										
5	Prueba de Respuesta Transitoria	Prueba unitaria	1. Conectar una carga que pueda cambiar rápidamente (transitoria). 2. Monitorizar la salida con un osciloscopio. 3. Registrar las formas de onda de la salida durante los cambios de carga. 4. Analizar la estabilidad y el tiempo de recuperación.	Carga transitoria, osciloscopio	Estabilidad de salida y tiempo de recuperación dentro de los límites especificados por el fabricante (p. ej., recuperación en menos de 100 μ s)	17/12/2023	1	Scuppa, Matias	Carga transitoria aplicada: 50% a 100% de la carga nominal Undershoot (caída de voltaje Vo): 100 mV Overshoot (sobrepulso): 120 mV Tiempo de recuperación: 400 μ s Estabilidad: Rápida estabilización sin oscilaciones notables																										
Fuente: DCDC Step-Down Input: 12V Output: 8V	6	Verificación de Voltaje de Entrada y Salida	Prueba unitaria	1. Conectar la fuente de alimentación a la entrada de la fuente step-down. 2. Ajustar la fuente a 12V DC. 3. Medir el voltaje de salida con el multímetro. 4. Registrar los resultados.	Fuente de alimentación, multímetro digital	Voltaje de salida de 8V DC \pm 5%	18/12/2023	1	Cosmal, Diego	Se obtiene un voltaje de salida de 8,03V DC.	Se ajusta el trimmer para obtener el valor lo más cercano al ideal.																								
	7	Prueba de Eficiencia	Prueba unitaria	1. Conectar la carga ajustable a la salida de la fuente step-down. 2. Aplicar el voltaje de entrada especificado. 3. Variar la carga y medir la corriente y el voltaje de salida. 4. Calcular la eficiencia para diferentes niveles de carga. 5. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, fuente de alimentación	Eficiencia \geq 80% para diferentes niveles de carga	18/12/2023	1	Cosmal, Diego	- Carga ligera (10% de carga máxima, 0.1A): Po=0.8W / Pi=1.14W \Rightarrow 70% - Carga media (50% de carga máxima, 0.5A): Po=4W / Pi=4.4W \Rightarrow 90% - Carga alta (100% de carga máxima, 1A): Po=8W / Pi=9.41W \Rightarrow 85%	La eficiencia de un convertidor DC-DC step-down es peor a cargas ligeras debido a varios factores que afectan el balance entre las pérdidas fijas y la energía entregada a la carga. En condiciones de baja carga, las pérdidas inherentes del circuito se vuelven significativas en comparación con la potencia útil que se entrega.																								
	8	Prueba de Regulación de Línea y Carga	Prueba unitaria	1. Conectar la carga ajustable a la salida de la fuente step-down. 2. Variar el voltaje de entrada dentro de los límites especificados (p. ej., \pm 10%). 3. Medir y registrar el voltaje de salida. 4. Variar la carga de 0% a 100% y medir el voltaje de salida. 5. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, fuente de alimentación	Variaciones mínimas en el voltaje de salida (dentro de \pm 5%) durante cambios en el voltaje de entrada y la carga	18/12/2023	1	Cosmal, Diego	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Carga</th> <th>Entrada 10.8V</th> <th>Entrada 12V</th> <th>Entrada 13.2V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0% (sin carga)</td> <td>7.9V - 8.1V</td> <td>7.88V - 8.02V</td> <td>7.9V - 8.1V</td> </tr> <tr> <td>25%</td> <td>7.9V - 8.1V</td> <td>7.85V - 8.05V</td> <td>7.9V - 8.1V</td> </tr> <tr> <td>50%</td> <td>7.85V - 8.1V</td> <td>7.8V - 8.1V</td> <td>7.8V - 8.1V</td> </tr> <tr> <td>75%</td> <td>7.85V - 8.05V</td> <td>7.85V - 8.05V</td> <td>7.85V - 8.05V</td> </tr> <tr> <td>100% (máxima carga)</td> <td>7.8V - 8.0V</td> <td>7.8V - 8.0V</td> <td>7.8V - 8.0V</td> </tr> </tbody> </table>	Carga	Entrada 10.8V	Entrada 12V	Entrada 13.2V	0% (sin carga)	7.9V - 8.1V	7.88V - 8.02V	7.9V - 8.1V	25%	7.9V - 8.1V	7.85V - 8.05V	7.9V - 8.1V	50%	7.85V - 8.1V	7.8V - 8.1V	7.8V - 8.1V	75%	7.85V - 8.05V	7.85V - 8.05V	7.85V - 8.05V	100% (máxima carga)	7.8V - 8.0V	7.8V - 8.0V	7.8V - 8.0V	Se realizaron múltiples pruebas, dando como resultados los rangos especificados en la columna "Resultado Obtenido".
	Carga	Entrada 10.8V	Entrada 12V	Entrada 13.2V																															
	0% (sin carga)	7.9V - 8.1V	7.88V - 8.02V	7.9V - 8.1V																															
	25%	7.9V - 8.1V	7.85V - 8.05V	7.9V - 8.1V																															
50%	7.85V - 8.1V	7.8V - 8.1V	7.8V - 8.1V																																
75%	7.85V - 8.05V	7.85V - 8.05V	7.85V - 8.05V																																
100% (máxima carga)	7.8V - 8.0V	7.8V - 8.0V	7.8V - 8.0V																																
9	Prueba de Ripple y Ruido	Prueba unitaria	1. Conectar la carga a la salida de la fuente step-down. 2. Usar el osciloscopio para medir el ripple y ruido en el voltaje de salida. 3. Registrar las formas de onda.	Osciloscopio	Ripple y ruido en el voltaje de salida dentro de los límites especificados por el fabricante (p. ej., \leq 30mV)	18/12/2023	1	Cosmal, Diego	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Condición de carga</th> <th>Vpp Ripple</th> <th>Vpp Ruido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Carga ligera (10%)</td> <td>10 mV - 15 mV</td> <td>7 mV - 12 mV</td> </tr> <tr> <td>Carga media (50%)</td> <td>22 mV - 28 mV</td> <td>14 mV - 17 mV</td> </tr> <tr> <td>Carga completa (100%)</td> <td>29 mV - 34 mV</td> <td>26 mV - 35 mV</td> </tr> </tbody> </table>	Condición de carga	Vpp Ripple	Vpp Ruido	Carga ligera (10%)	10 mV - 15 mV	7 mV - 12 mV	Carga media (50%)	22 mV - 28 mV	14 mV - 17 mV	Carga completa (100%)	29 mV - 34 mV	26 mV - 35 mV	Se realizaron múltiples pruebas, dando como resultados los rangos especificados en la columna "Resultado Obtenido".													
Condición de carga	Vpp Ripple	Vpp Ruido																																	
Carga ligera (10%)	10 mV - 15 mV	7 mV - 12 mV																																	
Carga media (50%)	22 mV - 28 mV	14 mV - 17 mV																																	
Carga completa (100%)	29 mV - 34 mV	26 mV - 35 mV																																	
10	Prueba de Respuesta Transitoria	Prueba unitaria	1. Conectar una carga que pueda cambiar rápidamente (transitoria). 2. Monitorizar la salida con un osciloscopio. 3. Registrar las formas de onda de la salida durante los cambios de carga. 4. Analizar la estabilidad y el tiempo de recuperación.	Carga transitoria, osciloscopio	Estabilidad de salida y tiempo de recuperación dentro de los límites especificados por el fabricante (p. ej., recuperación en menos de 100 μ s)	18/12/2023	1	Cosmal, Diego	Undershoot: Caída de 0.1V (7.7V) Overshoot: Pico de 0.2V (8.2V) Tiempo de recuperación: aproximadamente de 100 μ s Estabilidad: Rápida estabilización sin oscilaciones notables	Undershoot: caída momentánea de voltaje cuando la carga aumenta bruscamente Overshoot: pico de voltaje cuando la carga disminuye bruscamente Tiempo de recuperación: tiempo que tarda el convertidor en volver a su valor de salida nominal tras un cambio transitorio en la carga.																									
11	Prueba de Protección Contra Sobrecarga	Prueba unitaria	1. Conectar una carga que exceda la corriente máxima especificada. 2. Monitorizar la salida para detectar la activación de la protección contra sobrecarga. 3. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, osciloscopio	La fuente debe activar la protección contra sobrecarga y evitar fallos (la salida debería caer a 0V o al nivel de protección especificado).	18/12/2023	1	Cosmal, Diego	Comportamiento: Apagado por sobrecarga. La fuente DCDC se apaga para protegerse y tenemos 0V a la salida																										

Figura 5.7: Pruebas de aislador 12V DC y fuente DCDC Step-Down

Módulo	ID	Prueba	Tipo de Prueba	Procedimiento	Instrumental	Resultado Esperado	Fecha de Prueba	Iteración	Responsable	Resultado Obtenido	Observaciones																		
LDO 3V	12	Verificación de Voltaje de Entrada y Salida	Prueba unitaria	1. Conectar la fuente de alimentación a la entrada del LDO. 2. Ajustar la fuente a un voltaje dentro del rango especificado (en este caso 5V DC). 3. Medir el voltaje de salida con el multímetro. 4. Registrar los resultados.	Fuente de alimentación, multímetro digital	Voltaje de salida de 5V DC \pm 2%	23/12/2023	1	Scuppa, Matias	Voltaje de salida 5.02V DC																			
	13	Prueba de Eficiencia	Prueba unitaria	1. Conectar la carga ajustable a la salida del LDO. 2. Aplicar el voltaje de entrada especificado. 3. Variar la carga y medir la corriente y el voltaje de salida. 4. Calcular la eficiencia para diferentes niveles de carga. 5. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, fuente de alimentación	Eficiencia \geq 60% para diferentes niveles de carga	23/12/2023	1	Scuppa, Matias	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Carga (Iout)</th> <th>Vout</th> <th>Eficiencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>100 mA</td> <td>4.95V - 5.05V</td> <td>62.5%</td> </tr> <tr> <td>500 mA</td> <td>4.9V - 5.05V</td> <td>62.5%</td> </tr> <tr> <td>1A</td> <td>4.85V - 5V</td> <td>62.5%</td> </tr> </tbody> </table>	Carga (Iout)	Vout	Eficiencia	100 mA	4.95V - 5.05V	62.5%	500 mA	4.9V - 5.05V	62.5%	1A	4.85V - 5V	62.5%	Se realizaron múltiples pruebas, dando como resultados los rangos especificados en la columna "Resultado Obtenido".						
	Carga (Iout)	Vout	Eficiencia																										
	100 mA	4.95V - 5.05V	62.5%																										
	500 mA	4.9V - 5.05V	62.5%																										
1A	4.85V - 5V	62.5%																											
14	Prueba de Regulación de Línea y Carga	Prueba unitaria	1. Conectar la carga ajustable a la salida del LDO. 2. Variar el voltaje de entrada dentro de los límites especificados (p. ej., \pm 10%). 3. Medir y registrar el voltaje de salida. 4. Variar la carga de 0% a 100% y medir el voltaje de salida. 5. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, fuente de alimentación	Variaciones mínimas en el voltaje de salida (dentro de \pm 2%) durante cambios en el voltaje de entrada y la carga	23/12/2023	1	Scuppa, Matias	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Vin</th> <th>Carga (Iout)</th> <th>Vout</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">8.8V</td> <td>0A</td> <td>4.95V a 5.05V</td> </tr> <tr> <td>100 mA</td> <td>4.95V a 5.05V</td> </tr> <tr> <td>500 mA</td> <td>4.9V a 5.05V</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">7.2V</td> <td>0A</td> <td>4.85V a 5V</td> </tr> <tr> <td>100 mA</td> <td>4.95V a 5.05V</td> </tr> <tr> <td>500 mA</td> <td>4.9V a 5.05V</td> </tr> <tr> <td>1A</td> <td>4.85V a 5V</td> </tr> </tbody> </table>	Vin	Carga (Iout)	Vout	8.8V	0A	4.95V a 5.05V	100 mA	4.95V a 5.05V	500 mA	4.9V a 5.05V	7.2V	0A	4.85V a 5V	100 mA	4.95V a 5.05V	500 mA	4.9V a 5.05V	1A	4.85V a 5V	Se realizaron múltiples pruebas, dando como resultados los rangos especificados en la columna "Resultado Obtenido".
Vin	Carga (Iout)	Vout																											
8.8V	0A	4.95V a 5.05V																											
	100 mA	4.95V a 5.05V																											
	500 mA	4.9V a 5.05V																											
7.2V	0A	4.85V a 5V																											
	100 mA	4.95V a 5.05V																											
	500 mA	4.9V a 5.05V																											
1A	4.85V a 5V																												
15	Prueba de Respuesta Transitoria	Prueba unitaria	1. Conectar una carga que pueda cambiar rápidamente (transitoria). 2. Monitorizar la salida con un osciloscopio. 3. Registrar las formas de onda de la salida durante los cambios de carga. 4. Analizar la estabilidad y el tiempo de recuperación.	Carga transitoria, osciloscopio	Estabilidad de salida y tiempo de recuperación dentro de los límites especificados por el fabricante (p. ej., recuperación en menos de 100 μ s)	23/12/2023	1	Scuppa, Matias	Undershoot: aprox 40 mV Overshoot: aprox 40mV Tiempo de recuperación 70 μ s Estabilidad final +/- 5 mV alrededor de 5V Variación de voltaje (carga transitoria): 10 mV - 50 mV	Fue bastante complejo realizar la medición ya que los tiempos son muy pequeños y al no poder hacer una variación de carga periódica, fue difícil capturar la transición por disparo único en el osciloscopio.																			
16	Prueba de Protección Contra Sobrecarga	Prueba unitaria	1. Conectar una carga que exceda la corriente máxima especificada. 2. Monitorizar la salida para detectar la activación de la protección contra sobrecarga. 3. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, osciloscopio	El LDO debe activar la protección contra sobrecarga y evitar daños (la salida debería caer a 0V o al nivel de protección especificado).	23/12/2023	1	Scuppa, Matias	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetro</th> <th>Valor obtenido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Corriente máxima especificada</td> <td>1.0 A</td> </tr> <tr> <td>Carga aplicada (sobrecarga)</td> <td>1.2 A</td> </tr> <tr> <td>Activación de protección</td> <td>SI</td> </tr> <tr> <td>Comportamiento de Vo</td> <td>Caída del voltaje Vo a 0V</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de respuesta</td> <td>Menor a 10 ms</td> </tr> </tbody> </table>	Parámetro	Valor obtenido	Corriente máxima especificada	1.0 A	Carga aplicada (sobrecarga)	1.2 A	Activación de protección	SI	Comportamiento de Vo	Caída del voltaje Vo a 0V	Tiempo de respuesta	Menor a 10 ms	Las pruebas se realizaron con la carga electrónica de 60W configurada con los parámetros especificados en la columna "Resultado Obtenido"							
Parámetro	Valor obtenido																												
Corriente máxima especificada	1.0 A																												
Carga aplicada (sobrecarga)	1.2 A																												
Activación de protección	SI																												
Comportamiento de Vo	Caída del voltaje Vo a 0V																												
Tiempo de respuesta	Menor a 10 ms																												
LDO 3V3	17	Verificación de Voltaje de Entrada y Salida	Prueba unitaria	1. Conectar la fuente de alimentación a la entrada del LDO. 2. Ajustar la fuente a un voltaje dentro del rango especificado (en este caso 5V DC). 3. Medir el voltaje de salida con el multímetro. 4. Registrar los resultados.	Fuente de alimentación, multímetro digital	Voltaje de salida de 3.3V DC \pm 2%	30/12/2023	1	Scuppa, Matias	Voltaje de salida 3.3V DC																			
	18	Prueba de Eficiencia	Prueba unitaria	1. Conectar la carga ajustable a la salida del LDO. 2. Aplicar el voltaje de entrada especificado. 3. Variar la carga y medir la corriente y el voltaje de salida. 4. Calcular la eficiencia para diferentes niveles de carga. 5. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, fuente de alimentación	Eficiencia \geq 60% para diferentes niveles de carga	30/12/2023	1	Scuppa, Matias	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Carga (Iout)</th> <th>Vout</th> <th>Eficiencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.25 A</td> <td>3.3 V</td> <td>~66.0%</td> </tr> <tr> <td>0.50 A</td> <td>3.3 V</td> <td>~66.0%</td> </tr> <tr> <td>1.0 A</td> <td>3.3 V</td> <td>~66.0%</td> </tr> </tbody> </table>	Carga (Iout)	Vout	Eficiencia	0.25 A	3.3 V	~66.0%	0.50 A	3.3 V	~66.0%	1.0 A	3.3 V	~66.0%	Se realizaron múltiples pruebas, dando como resultados los valores especificados en la columna "Resultado Obtenido".						
	Carga (Iout)	Vout	Eficiencia																										
	0.25 A	3.3 V	~66.0%																										
	0.50 A	3.3 V	~66.0%																										
1.0 A	3.3 V	~66.0%																											
19	Prueba de Regulación de Línea y Carga	Prueba unitaria	1. Conectar la carga ajustable a la salida del LDO. 2. Variar el voltaje de entrada dentro de los límites especificados (p. ej., \pm 10%). 3. Medir y registrar el voltaje de salida. 4. Variar la carga de 0% a 100% y medir el voltaje de salida. 5. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, fuente de alimentación	Variaciones mínimas en el voltaje de salida (dentro de \pm 2%) durante cambios en el voltaje de entrada y la carga	30/12/2023	1	Scuppa, Matias	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Vin</th> <th>Carga (Iout)</th> <th>Vout</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">5.5V</td> <td>0A</td> <td>3.29V a 3.31V</td> </tr> <tr> <td>100 mA</td> <td>3.29V a 3.31V</td> </tr> <tr> <td>500 mA</td> <td>3.28V a 3.30V</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">4.5V</td> <td>0A</td> <td>3.25V a 3.30V</td> </tr> <tr> <td>100 mA</td> <td>3.29V a 3.31V</td> </tr> <tr> <td>500 mA</td> <td>3.28V a 3.30V</td> </tr> <tr> <td>1A</td> <td>3.25V a 3.30V</td> </tr> </tbody> </table>	Vin	Carga (Iout)	Vout	5.5V	0A	3.29V a 3.31V	100 mA	3.29V a 3.31V	500 mA	3.28V a 3.30V	4.5V	0A	3.25V a 3.30V	100 mA	3.29V a 3.31V	500 mA	3.28V a 3.30V	1A	3.25V a 3.30V	Se realizaron múltiples pruebas, dando como resultados los rangos especificados en la columna "Resultado Obtenido".
Vin	Carga (Iout)	Vout																											
5.5V	0A	3.29V a 3.31V																											
	100 mA	3.29V a 3.31V																											
	500 mA	3.28V a 3.30V																											
4.5V	0A	3.25V a 3.30V																											
	100 mA	3.29V a 3.31V																											
	500 mA	3.28V a 3.30V																											
1A	3.25V a 3.30V																												
20	Prueba de Respuesta Transitoria	Prueba unitaria	1. Conectar una carga que pueda cambiar rápidamente (transitoria). 2. Monitorizar la salida con un osciloscopio. 3. Registrar las formas de onda de la salida durante los cambios de carga. 4. Analizar la estabilidad y el tiempo de recuperación.	Carga transitoria, osciloscopio	Estabilidad de salida y tiempo de recuperación dentro de los límites especificados por el fabricante (p. ej., recuperación en menos de 100 μ s)	30/12/2023	1	Scuppa, Matias	Undershoot: 20 mV a 100 mV Overshoot: 20 mV a 100 mV Tiempo de recuperación: 30 μ s a 200 μ s Estabilidad final: \pm 10 mV alrededor de 3.3V Variación de voltaje (carga transitoria): 40 mV a 200 mV	Fue bastante complejo realizar la medición ya que los tiempos son muy pequeños y al no poder hacer una variación de carga periódica, fue difícil capturar la transición por disparo único en el osciloscopio.																			
21	Prueba de Protección Contra Sobrecarga	Prueba unitaria	1. Conectar una carga que exceda la corriente máxima especificada. 2. Monitorizar la salida para detectar la activación de la protección contra sobrecarga. 3. Registrar los resultados.	Carga ajustable, multímetro digital, osciloscopio	El LDO debe activar la protección contra sobrecarga y evitar daños (la salida debería caer a 0V o al nivel de protección especificado).	30/12/2023	1	Scuppa, Matias	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetro</th> <th>Valor obtenido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Corriente máxima especificada</td> <td>1.0 A</td> </tr> <tr> <td>Carga aplicada (sobrecarga)</td> <td>1.2 A</td> </tr> <tr> <td>Activación de protección</td> <td>SI</td> </tr> <tr> <td>Comportamiento de Vo</td> <td>Caída del voltaje Vo a 0V</td> </tr> <tr> <td>Tiempo de respuesta</td> <td>Menor a 10 ms</td> </tr> </tbody> </table>	Parámetro	Valor obtenido	Corriente máxima especificada	1.0 A	Carga aplicada (sobrecarga)	1.2 A	Activación de protección	SI	Comportamiento de Vo	Caída del voltaje Vo a 0V	Tiempo de respuesta	Menor a 10 ms	Las pruebas se realizaron con la carga electrónica de 60W configurada con los parámetros especificados en la columna "Resultado Obtenido"							
Parámetro	Valor obtenido																												
Corriente máxima especificada	1.0 A																												
Carga aplicada (sobrecarga)	1.2 A																												
Activación de protección	SI																												
Comportamiento de Vo	Caída del voltaje Vo a 0V																												
Tiempo de respuesta	Menor a 10 ms																												

Figura 5.8: Pruebas de LDO de 3.3V y 5V

Módulo	ID	Prueba	Tipo de Prueba	Procedimiento	Instrumental	Resultado Esperado	Fecha de Prueba	Iteración	Responsable	Resultado Obtenido	Observaciones
Convertor RS-485 a TTL	22	Prueba de Comunicación RS-485 a TTL	Prueba unitaria	1. Conectar el dispositivo RS-485 al módulo MAX485. 2. Conectar la salida TTL del MAX485 a un microcontrolador o a un módulo de prueba TTL. 3. Enviar datos desde el dispositivo RS-485. 4. Monitorizar y registrar los datos recibidos en el lado TTL.	Dispositivo RS-485, microcontrolador/módulo de prueba TTL, osciloscopio o analizador lógico	Los datos enviados desde el dispositivo RS-485 deben ser correctamente recibidos en el formato TTL sin errores ni pérdidas.	17/12/2023	1	Cosmal, Diego	Se realizan las pruebas indicadas en el procedimiento, dando resultados positivos como los esperados.	Durante el inicio de la prueba la señal era errática debido al ruido que ocasionaba la fuente de laboratorio que estaba siendo utilizada en ese momento. Se cambió la misma al detectar esto y se solucionó el inconveniente.
Convertor RS-232 a TTL	23	Prueba de Comunicación RS-232 a TTL	Prueba unitaria	1. Conectar el dispositivo RS-232 al módulo MAX232. 2. Conectar la salida TTL del MAX232 a un microcontrolador o a un módulo de prueba TTL. 3. Enviar datos desde el dispositivo RS-232. 4. Monitorizar y registrar los datos recibidos en el lado TTL.	Dispositivo RS-232, microcontrolador/módulo de prueba TTL, osciloscopio o analizador lógico	Los datos enviados desde el dispositivo RS-232 deben ser correctamente recibidos en el formato TTL sin errores ni pérdidas.	17/12/2023	1	Cosmal, Diego	Se realizan las pruebas indicadas en el procedimiento, dando resultados positivos como los esperados.	
Aislador óptico 6N137	24	Prueba de Transferencia de Datos	Prueba unitaria	1. Conectar el transmisor TTL al pin de entrada del 6N137. 2. Conectar el receptor TTL a la salida del 6N137. 3. Enviar una señal de datos desde el transmisor. 4. Monitorizar y registrar la señal de salida.	Transmisor y receptor TTL, osciloscopio o analizador lógico	La señal de salida debe seguir la señal de entrada con una mínima distorsión o retardo.	13/5/2024	1	Scuppa, Matias	Se verifica correcta recepción de la señal enviada	
	25	Prueba de Tiempo de Propagación	Prueba unitaria	1. Conectar un generador de señal al pin de entrada del 6N137. 2. Monitorizar la señal de entrada y salida con un osciloscopio. 3. Medir el tiempo de retardo entre la señal de entrada y salida. 4. Registrar los resultados.	Generador de señal, osciloscopio	El tiempo de propagación debe estar dentro de los límites especificados por el fabricante (p. ej., ≤ 100 ns).	13/5/2024	1	Scuppa, Matias	Time to high 43 ns Time to low 44 ns	
	26	Prueba de Consumo de Corriente	Prueba unitaria	1. Conectar la fuente de alimentación al 6N137. 2. Ajustar la fuente a 5V DC. 3. Medir la corriente consumida por el dispositivo en estado activo y en reposo. 4. Registrar los resultados.	Fuente de alimentación, multímetro digital	El consumo de corriente debe estar dentro de los límites especificados por el fabricante (p. ej., ≤ 13 mA en estado activo).	13/5/2024	1	Scuppa, Matias	Input current low level 50 uA Input current high level 11mA	
	27	Prueba de Respuesta a Señal de Alta Frecuencia	Prueba unitaria	1. Conectar un generador de señal al pin de entrada del 6N137. 2. Enviar señales de alta frecuencia (p. ej., 1 MHz). 3. Monitorizar la señal de salida con un osciloscopio. 4. Registrar los resultados.	Generador de señal, osciloscopio	La señal de salida debe seguir la señal de entrada con precisión, sin distorsiones significativas, dentro del rango de frecuencias operativas especificadas por el fabricante (rango utilizado en el proyecto 5Hz $< f < 150$ Hz).	13/5/2024	1	Scuppa, Matias	Se realiza un barrido de frecuencias desde 5Hz hasta 150Hz, obteniendo resultados satisfactorios.	
Comunicación Serie ATmega2560 ESP32	28	Prueba de Comunicación Serie	Prueba de Integración	1. Programar el ATmega2560 para enviar datos seriales continuamente a 9600 baudios. 2. Programar el ESP32 para recibir datos seriales a 9600 baudios. 3. Registrar los datos recibidos en el ESP32.	ATmega2560, ESP32, cable USB, monitor serial	Los datos enviados desde el ATmega2560 deben ser recibidos correctamente en el ESP32 sin errores.	30/12/2023	1	Cosmal, Diego	Se verifica que los datos enviados y recibidos son exactamente iguales en todas las pruebas.	
	29	Prueba de Comunicación Serie	Prueba de Integración	1. Programar el ESP32 para enviar datos seriales continuamente a 9600 baudios. 2. Programar el ATmega2560 para recibir datos seriales a 9600 baudios. 3. Registrar los datos recibidos en el ATmega2560.	ATmega2560, ESP32, cable USB, monitor serial	Los datos enviados desde el ESP32 deben ser recibidos correctamente en el ATmega2560 sin errores.	30/12/2023	1	Cosmal, Diego	Se verifica que los datos enviados y recibidos son exactamente iguales en todas las pruebas.	
	30	Prueba de Integridad de Datos	Prueba de Integración	1. Enviar una secuencia conocida de datos desde el ATmega2560 al ESP32. 2. Verificar que la secuencia de datos recibida en el ESP32 coincide exactamente con la secuencia enviada.	ATmega2560, ESP32, cable USB, monitor serial	La secuencia de datos recibida en el ESP32 debe coincidir exactamente con la secuencia enviada desde el ATmega2560.	30/12/2023	1	Cosmal, Diego	Se verifica que las secuencias enviadas y recibidas son exactamente iguales en todas las pruebas.	
	31	Prueba de Integridad de Datos	Prueba de Integración	1. Enviar una secuencia conocida de datos desde el ESP32 al ATmega2560. 2. Verificar que la secuencia de datos recibida en el ATmega2560 coincide exactamente con la secuencia enviada.	ATmega2560, ESP32, cable USB, monitor serial	La secuencia de datos recibida en el ATmega2560 debe coincidir exactamente con la secuencia enviada desde el ESP32.	30/12/2023	1	Cosmal, Diego	Se verifica que las secuencias enviadas y recibidas son exactamente iguales en todas las pruebas.	
Multiplexado ATmega2560	32	Prueba de Comunicación UART0	Prueba unitaria	1. Programar el ATmega2560 para recibir datos en UART0 y reenviarlos por SoftSerial. 2. Enviar datos desde un dispositivo externo a UART0. 3. Registrar los datos recibidos por SoftSerial.	ATmega2560, dispositivo externo, monitor serial	Los datos enviados al UART0 deben ser recibidos correctamente por SoftSerial sin errores.	16/5/2024	1	Cosmal, Diego	Se verifica correcta recepción de los datos enviados por SoftSerial	
	33	Prueba de Comunicación UART1	Prueba unitaria	1. Programar el ATmega2560 para recibir datos en UART1 y reenviarlos por SoftSerial. 2. Enviar datos desde un dispositivo externo a UART1. 3. Registrar los datos recibidos por SoftSerial.	ATmega2560, dispositivo externo, monitor serial	Los datos enviados al UART1 deben ser recibidos correctamente por SoftSerial sin errores.	16/5/2024	1	Cosmal, Diego	Se verifica correcta recepción de los datos enviados por SoftSerial	
	34	Prueba de Comunicación UART2	Prueba unitaria	1. Programar el ATmega2560 para recibir datos en UART2 y reenviarlos por SoftSerial. 2. Enviar datos desde un dispositivo externo a UART2. 3. Registrar los datos recibidos por SoftSerial.	ATmega2560, dispositivo externo, monitor serial	Los datos enviados al UART2 deben ser recibidos correctamente por SoftSerial sin errores.	16/5/2024	1	Cosmal, Diego	Se verifica correcta recepción de los datos enviados por SoftSerial	
	35	Prueba de Comunicación UART3	Prueba unitaria	1. Programar el ATmega2560 para recibir datos en UART3 y reenviarlos por SoftSerial. 2. Enviar datos desde un dispositivo externo a UART3. 3. Registrar los datos recibidos por SoftSerial.	ATmega2560, dispositivo externo, monitor serial	Los datos enviados al UART3 deben ser recibidos correctamente por SoftSerial sin errores.	16/5/2024	1	Cosmal, Diego	Se verifica correcta recepción de los datos enviados por SoftSerial	
	36	Prueba de Multiplexado de Señales	Prueba unitaria	1. Programar el ATmega2560 para recibir datos en las 4 UARTs y reenviarlos por SoftSerial. 2. Enviar datos simultáneamente desde dispositivos externos a UART0, UART1, UART2 y UART3. 3. Registrar los datos recibidos por SoftSerial.	ATmega2560, 4 dispositivos externos, monitor serial	Los datos enviados a las 4 UARTs deben ser recibidos correctamente y de manera multiplexada por SoftSerial, sin errores ni pérdida de datos.	19/5/2024	1	Cosmal, Diego	Se reciben correctamente los datos de las 4 UARTs por SoftSerial.	
	37	Prueba de Integridad de Datos	Prueba unitaria	1. Enviar secuencias de datos conocidas desde los dispositivos externos a las 4 UARTs del ATmega2560. 2. Verificar que las secuencias recibidas por SoftSerial coincidan exactamente con las secuencias enviadas.	ATmega2560, 4 dispositivos externos, monitor serial	Las secuencias de datos recibidas por SoftSerial deben coincidir exactamente con las secuencias enviadas desde las 4 UARTs, confirmando la integridad de los datos durante la multiplexación.	19/5/2024	1	Cosmal, Diego	Se reciben correctamente las secuencias de las 4 UARTs por SoftSerial.	

Figura 5.9: Pruebas de convertidores, aislador óptico y MCUs

6 CONCLUSIONES

El desarrollo de este proyecto —un concentrador de sentencias NMEA0183 con transmisión inalámbrica— representó un desafío técnico significativo que consolidó conocimientos fundamentales en diseño y desarrollo de sistemas electrónicos. A lo largo del proceso, se identificaron y abordaron diversas problemáticas funcionales que, aunque no críticas, permitieron poner en práctica y fortalecer las habilidades de resolución técnica.

Un primer desafío importante surgió en la etapa de multiplexado, originalmente implementada con el componente MAX14830. Sin embargo, debido a dificultades en su configuración, este componente fue reemplazado exitosamente por el microcontrolador ATMEGA2560, lo cual aseguró la correcta funcionalidad de la etapa de multiplexado en el sistema.

Otro obstáculo relevante estuvo relacionado con un dimensionamiento incorrecto de la potencia del aislador en la fuente principal de alimentación. Este inconveniente impactó temporalmente en la eficiencia del sistema, ya que el suministro se interrumpía al alcanzar su límite de corriente. Tras ajustes en el diseño, se decidió omitir el uso del mismo saltando esta etapa, debido a la imposibilidad de conseguir en el mercado nacional un componente que cumpliera con las características requeridas. Durante el desarrollo, también surgieron problemas con los aisladores magnéticos ADuM1201, que no resultaron adecuados para esta aplicación y se optó por usar el 6N137.

Además, se detectó un error en el diseño del esquemático en relación con las fichas DB9. En este caso, se utilizó un conector macho en el PCB en lugar de hembra, lo que provocó una inversión en la disposición de los pines de transmisión y recepción. Esta equivocación fue corregida en versiones posteriores del diseño y, de manera temporal, se realizaron puentes en el propio PCB para las entradas RS-232, y cables adaptadores para las RS-485.

También se presentaron problemas en la selección de los diodos de protección TVS en los puertos USB, lo que requirió modificaciones adicionales para garantizar la adecuada protección del circuito frente a sobrecargas y picos de tensión en las interfaces de comunicación.

Por último, aunque el diseño general fue funcional, se observó una inversión en la serigrafía del PCB en la capa de programación. Este detalle, aunque no comprometió el funcionamiento del dispositivo, destacó la necesidad de un control más exhaustivo en los aspectos finales de fabricación.

En conclusión, a pesar de los desafíos presentados, el dispositivo final alcanzó los objetivos propuestos y funcionó conforme a las expectativas iniciales. Estos problemas no críticos constituyeron una valiosa oportunidad de aprendizaje, subrayando la importancia de la adaptabilidad y el pensamiento crítico en las etapas de diseño y desarrollo de proyectos de ingeniería electrónica.

7 MANUAL DE USUARIO

Introducción

Este dispositivo permite recibir hasta 4 señales NMEA de dispositivos de navegación marítima (como GPS, AIS, anemómetros, etc.) y transmitir las mediante una red Wi-Fi a la que los dispositivos móviles del usuario pueden conectarse para plotear los datos en tiempo real. A continuación, se detallan los pasos para la correcta instalación, configuración y uso del dispositivo.

1. Conexión a la Alimentación

- **Paso 1:** Conecte el dispositivo a una fuente de alimentación de **12V DC**. Asegúrese de que el equipo esté correctamente energizado antes de continuar con los siguientes pasos. El terminal positivo y negativo de la fuente de alimentación debe insertarse en los conectores “+” y “-” de la bornera que se observa en la Figura 7.1 respectivamente.

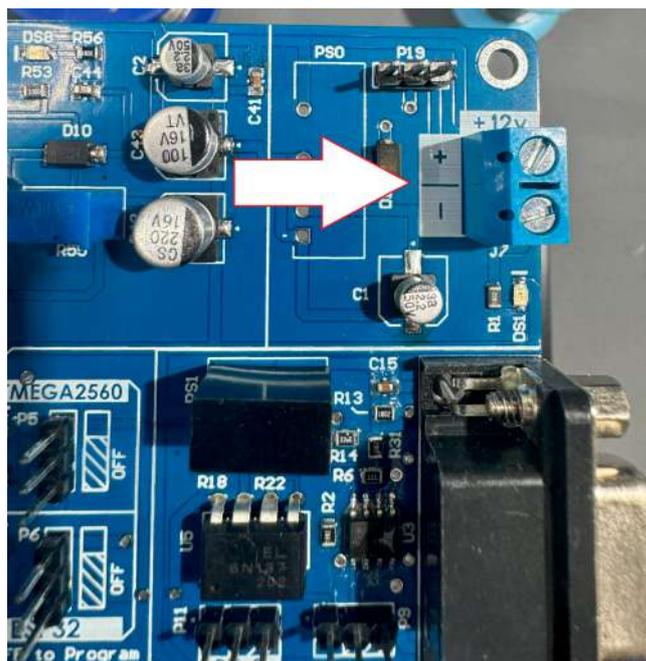


Figura 7.1: Bornera de alimentación

2. Conexión de los Dispositivos de Navegación

- **Paso 2:** Conecte los dispositivos de navegación marítima (como GPS, AIS, anemómetro, etc.) a las entradas del concentrador de señales. El dispositivo dispone de **cuatro entradas**:
 - Dos entradas para señales **RS-232**.
 - Dos entradas para señales **RS-422/RS-485**.

Puede utilizar cables **DB9** o las **borneras** correspondientes según el tipo de conexión de los dispositivos.

3. Conexión a la Red Wi-Fi del Concentrador

- **Paso 3:** En su dispositivo móvil o computadora, busque y conéctese a la red Wi-Fi creada por el concentrador de señales, tal como se muestra en la Figura 7.2. Los detalles de la red son los siguientes:
 - **SSID (Nombre de la red):** Marine.Systems
 - **Contraseña:** 01830183

Espere a que la conexión Wi-Fi sea estable antes de proceder.



Figura 7.2: Red Wifi

4. Acceso a la Interfaz de Configuración Web

- **Paso 4:** Abra un navegador web en el dispositivo conectado a la red Wi-Fi del concentrador. Ingrese la siguiente dirección IP en la barra de navegación:
 - **IP:** 192.168.4.1

Esto le permitirá acceder a la interfaz de configuración del dispositivo (Figura 7.3).

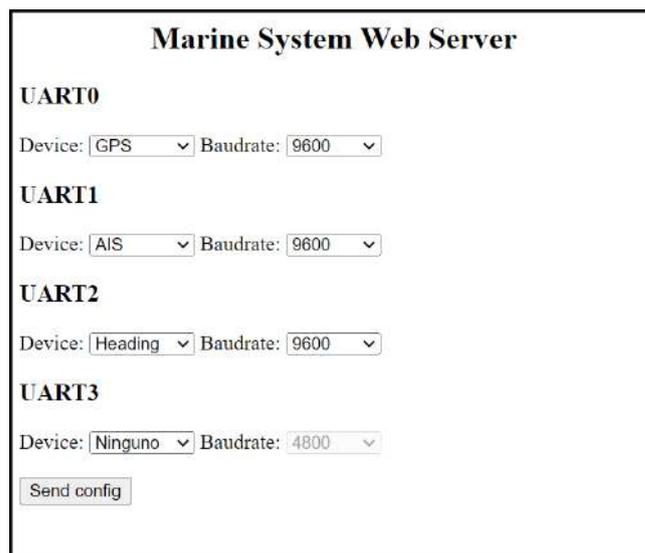


Figura 7.3: Interfaz Web

5. Configuración de las Entradas

- **Paso 5:** En la interfaz web, verá las opciones para configurar las entradas del concentrador. Para cada una de las cuatro entradas:
 - Seleccione el **tipo de dispositivo** conectado (por ejemplo, GPS, AIS, etc.).
 - Establezca la **velocidad en baudios** (baudrate) correspondiente a cada dispositivo. Las opciones de baudrate dependerán de las especificaciones de cada dispositivo de navegación conectado.

6. Guardar Configuración

- **Paso 6:** Una vez configuradas las entradas, haga clic en el botón **“Send config”** para guardar la configuración realizada. El dispositivo comenzará a recibir y procesar los datos de los dispositivos de navegación conectados.

7. Configuración del Programa de Ploteo

- **Paso 7:** En el software de ploteo que esté utilizando en su dispositivo (por ejemplo, un programa de mapas o gráficos), configure una nueva conexión **TCP/IP** (ejemplo en Figura 7.4) utilizando los siguientes parámetros:
 - **IP:** 192.168.4.1
 - **Puerto:** 10110

Esto permitirá que el programa reciba los datos NMEA transmitidos por el concentrador.

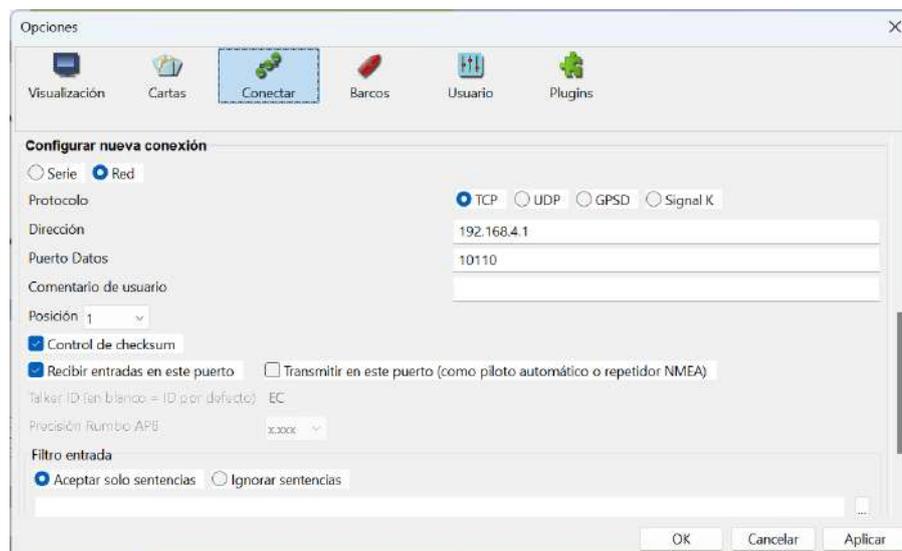


Figura 7.4: Ejemplo de configuración de programa de ploteo “OpenCPN”

Especificaciones Técnicas

- **Alimentación:** 12V DC
- **Entradas:**
 - 2 entradas RS-232
 - 2 entradas RS-422/RS-485
- **Transmisión de datos:** Wi-Fi (IEEE 802.11 b/g/n)
- **Protocolo de datos:** NMEA 0183
- **Puerto de transmisión de datos:** TCP/IP, Puerto 10110

Solución de Problemas

No me puedo conectar a la red Wi-Fi del dispositivo

- Verifique que el dispositivo esté correctamente alimentado.
- Asegúrese de que el SSID y la contraseña ingresados sean correctos.
- Asegúrese de estar dentro del alcance de la red Wi-Fi del concentrador.

No recibo datos en el software de ploteo

- Verifique que los dispositivos de navegación estén correctamente conectados a las entradas del concentrador.
- Asegúrese de haber configurado correctamente la velocidad en baudios (baudrate) de cada dispositivo en la interfaz web.
- Asegúrese de que el software de ploteo esté correctamente configurado con la IP y el puerto correctos.

Si tiene más preguntas o necesita asistencia técnica, no dude en ponerse en contacto con el soporte del fabricante.

8 ANEXOS

8.1. Anteproyecto

En el contexto de la navegación marítima, la integración y transmisión de datos provenientes de diferentes dispositivos es un desafío constante, especialmente en embarcaciones que no cuentan con infraestructuras avanzadas. Los sistemas de posicionamiento global (GPS), sistemas de identificación automática (AIS), y otros equipos de navegación generan información esencial para la operación segura y eficiente de las embarcaciones, pero en muchos casos estos datos se encuentran dispersos entre diversos dispositivos, lo que dificulta su monitoreo y uso en tiempo real.

El proyecto propuesto busca solucionar esta problemática mediante el desarrollo de un multiplexor de señales NMEA0183 capaz de recibir, acondicionar y distribuir la información generada por hasta cuatro dispositivos de navegación de manera inalámbrica. Esta solución se fundamenta en la necesidad de un acceso unificado y eficiente a la información crítica de navegación, con un diseño que prioriza la facilidad de uso, la seguridad de los datos, y la simplicidad en la instalación a bordo. El sistema proporcionará una red WiFi local independiente, donde los datos serán accesibles desde cualquier dispositivo con conectividad inalámbrica, simplificando la visualización de la información en tiempo real.

Este proyecto también responderá a la demanda de contar con un equipo que ofrezca la suficiente flexibilidad y robustez en su integración, sin recurrir a costosos y complejos sistemas de redes centralizadas o cableadas. Se abordará la importancia de mantener la seguridad y fiabilidad de la información, implementando mecanismos de aislamiento eléctrico y de datos, así como la protección del sistema de alimentación.

8.2. Descripción General

El presente proyecto contempla el desarrollo de un sistema integrado de multiplexado de señales NMEA0183, que permita la recepción y transmisión de datos desde dispositivos de navegación de manera inalámbrica y centralizada. El sistema será capaz de recibir información de hasta cuatro dispositivos a través de interfaces RS-232 y RS-422/RS-485, acondicionar las señales para su procesamiento, y transmitir los datos vía WiFi a dispositivos conectados en tiempo real.

Cada etapa del proyecto se explica a continuación:

8.2.1. Acondicionamiento

Para poder procesar las sentencias NMEA0183 que se obtuvieron de los diferentes dispositivos de navegación, se debió hacer una conversión de señales de NMEA0183 a TTL. De esta forma los datos pudieron ser procesados por los microcontroladores.

Esto se logra mediante circuitos integrados conversores, para las entradas diferenciales RS-422/485 se utilizó un MAX485 y para las entradas RS-232 se utilizó un MAX232.

RS-232

RS-232 (EIA-232) es un estándar de comunicación serial que define cómo los datos se transfieren entre dos dispositivos. Este estándar define los niveles de tensión, los tiempos de señal y la configuración de los pines para la comunicación serie, tal como se ve en la Figura 8.1.

Características:

- Especifica una velocidad máxima de datos de 20 kbps.
- La especificación RS-232 define únicamente la capa física.
- Utiliza niveles de tensión que pueden variar entre +3V a +15V para un estado lógico bajo y -3V a -15V para un estado lógico alto. La versión TTL de NMEA 0183 suele operar entre 0V (bajo) y 5V (alto).

- Generalmente utiliza una configuración de 8 bits de datos, sin paridad, y 1 bit de parada (8N1), que es compatible con el estándar RS-232.
- Puede operar a largas distancias (hasta 15 metros) y ofrece una comunicación robusta en entornos ruidosos.
- Define una conexión punto a punto, generalmente utilizando conectores DB9. En NMEA 0183, se suele utilizar una configuración de tres cables: transmisión (TXD), recepción (RXD) y tierra (GND).

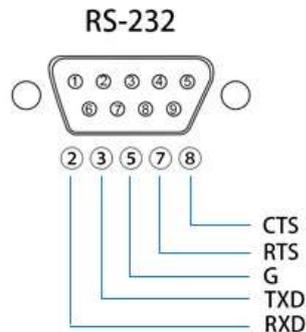


Figura 8.1: Pinout RS-232

Este protocolo tiene sus limitaciones y consideraciones:

- Puede no ser adecuado para aplicaciones que requieren alta velocidad de transferencia de datos.
- Los conectores DB9 son relativamente grandes y pueden no ser adecuados para dispositivos compactos.
- A veces es necesario agregar aislamiento galvánico para evitar problemas de ruidos eléctricos, lo cual no está intrínsecamente presente en RS-232.

RS-422/485

El protocolo NMEA 0183 puede ser implementado usando tanto RS-422 como RS-485, son estándares de comunicación serie más robustos que RS-232 y ofrecen mejor inmunidad al ruido y capacidad para comunicarse a mayores distancias. La disposición de los pines según estos se aprecia en la Figura 8.2.

RS-422 es un estándar de comunicación serie que utiliza una señal diferencial para transmitir datos, lo que proporciona una mejor inmunidad al ruido y permite la comunicación a distancias mayores que RS-232. Puede soportar comunicaciones de hasta 1200 metros y velocidades de hasta 10Mbps.

RS-485 es una evolución de RS-422 que permite la comunicación multipunto, es decir, múltiples transmisores y receptores pueden compartir el mismo bus de comunicación. RS-485 también utiliza señales diferenciales, ofreciendo inmunidad al ruido y comunicación a largas distancias, similar a RS-422.

NMEA 0183 originalmente fue diseñado para operar sobre RS-232, pero el uso de RS-422/485 ha aumentado debido a sus ventajas en términos de inmunidad al ruido y capacidad de comunicación a largas distancias. La implementación de NMEA 0183 sobre RS-422/485 se puede ver en dispositivos que requieren una comunicación confiable en entornos ruidosos, como en una embarcación.

Características de RS-422/485 aplicadas a NMEA 0183:

- Utiliza pares diferenciales de señales (A y B), lo que mejora la inmunidad al ruido y permite la comunicación a mayores distancias.
- Permiten la transmisión de datos a distancias mucho mayores que RS-232 (hasta 1200 metros) y a velocidades de hasta 10 Mbps.
- RS-422: Utiliza dos pares de cables trenzados, uno para transmisión (Tx+ y Tx-) y otro para recepción (Rx+ y Rx-).
- RS-485: Utiliza un solo par de cables trenzados (A y B) para comunicación bidireccional.
- La configuración de trama de datos en NMEA 0183 (4800 o 9600 baudios, 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada) sigue siendo la misma, independientemente de si se usa RS-232, RS-422 o RS-485.

Beneficios de Usar RS-422/485 en NMEA 0183:

- Mayor Distancia: Permite la comunicación a distancias mucho mayores que RS-232.
- Mejor Inmunidad al Ruido: Las señales diferenciales son menos susceptibles a interferencias electromagnéticas.

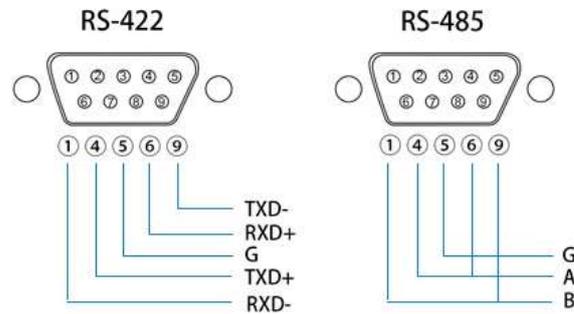


Figura 8.2: Pinout RS-422/485

8.2.2. Aislación de datos

Dado que los dispositivos conectados a los sistemas de navegación pueden estar expuestos a transitorios de tensión, se propuso aislar de forma óptica todas las señales que ingresan al dispositivo. De esta forma, además mejora la claridad y la integridad de la señal NMEA0183, asegurando que los datos se reciban correctamente y sin errores.

Para lograr dicho objetivo, se utilizó un circuito integrado 6N137 el cual es un optoacoplador o aislador óptico, para aislar las diferentes etapas. El mismo proporciona aislamiento galvánico entre la entrada y la salida, lo que ayuda a evitar la transferencia de ruidos eléctricos y picos de tensión entre etapas.

- Los dispositivos pueden tener diferentes niveles de referencia, la aislación asegura que los datos se transfieran de manera efectiva entre sistemas de diferentes configuraciones eléctricas.
- Las conexiones directas entre dispositivos sin aislamiento pueden crear diferencias a tierra, que generan interferencias y ruidos eléctricos. Esto puede degradar la calidad de los datos transmitidos y causar errores en la comunicación.

En resumen, la aislación de datos NMEA 0183 protege el dispositivo y garantiza una comunicación de datos fiable y segura.

8.2.3. Aislación de alimentación

La aislación de la alimentación en un dispositivo que será parte del puente integrado de navegación es un aspecto crítico para garantizar su funcionamiento seguro y eficiente. La separación eléctrica entre la fuente de alimentación y las etapas de procesamiento de señales es esencial por varias razones:

- Las etapas de manejo de señales son sensibles y deben protegerse de fluctuaciones de tensión y ruidos generados por la fuente de alimentación.
- La aislación previene que el ruido eléctrico introducido por la fuente de alimentación degrade la calidad de las señales.
- La aislación reduce el riesgo de sobretensión y protege el circuito.

Este tipo de aislación evita que las interferencias y las fluctuaciones de la alimentación afecten el rendimiento del dispositivo y asegura que las señales se mantengan limpias y precisas. Esto no solo mejora la fiabilidad y precisión del dispositivo, sino que también asegura la seguridad eléctrica en entornos exigentes.

8.2.4. Multiplexado

El protocolo NMEA0183 es un estándar de comunicación ampliamente utilizado en dispositivos de navegación. Este protocolo transmite datos en forma de sentencias de texto ASCII que contienen información específica sobre la posición, velocidad, tiempo, profundidad y otros parámetros relevantes para la navegación.

El protocolo NMEA0183 define un formato estándar para las sentencias de datos, cada una de las cuales comienza con un signo \$ y termina con un retorno de carro y un salto de línea. Cada sentencia incluye un identificador de tipo de datos, seguido de una serie de campos de datos separados por comas, y opcionalmente, un campo de verificación de errores.

Ejemplo de una sentencia NMEA0183:

```
$GPGGA,123456.00,4807.038,N,01131.000,E,1,08,0.9,545.4,M,46.9,M,,*47
```

El multiplexado de sentencias NMEA0183 es una técnica que permite combinar múltiples flujos de datos NMEA de diferentes dispositivos en un único flujo de datos, facilitando así la integración y gestión.

El proceso de multiplexado de sentencias sigue los siguientes pasos:

1. Recepción de sentencias: El multiplexor recibe sentencias NMEA de múltiples dispositivos a través de sus puertos de entrada.
2. Buffer y sincronización: Las sentencias recibidas se almacenan temporalmente en un buffer. El multiplexor sincroniza la recepción para evitar conflictos y pérdida de datos.
3. Combinación de sentencias: Las sentencias se combinan en un flujo único, como una combinación de todas las sentencias recibidas.
4. Salida multiplexada: El flujo combinado de sentencias se envían por un puerto de salida.

El multiplexado de sentencias NMEA ofrece varios beneficios:

- Reducción de complejidad: Simplifica la configuración del sistema al reducir el número de conexiones físicas necesarias.
- Eficiencia en la gestión de datos: Facilita la integración y el procesamiento de datos provenientes de múltiples fuentes.
- Flexibilidad: Permite la adición y eliminación de dispositivos sin necesidad de reconfigurar el sistema completo.

En este proyecto se optó por realizar el multiplexado de cuatro señales de sentencias NMEA, desarrollado en un microcontrolador ATMEGA2560 el cual cuenta con cuatro UART's para tal caso. Cada UART representa una entrada de sentencias NMEA 0183.

8.2.5. Transmisión

Una vez multiplexada las sentencias NMEA 0183 son transmitidas en un único flujo, mediante una salida UART programada por software en el ATMEGA2560 hacia el módulo ESP32. Este se encarga de poner a disposición dicha señal en la red generada por el mismo para luego ser leída por el dispositivo portátil utilizado. Esto permite que los datos de navegación sean accesibles de forma inalámbrica.

El ESP32 es un microcontrolador versátil que incluye conectividad Wi-Fi, lo que lo hace ideal para esta aplicación. En este caso es un nodo central para los sistemas de navegación, proporcionando accesibilidad y flexibilidad en la gestión de datos de navegación.

8.3. Especificaciones Técnicas

8.3.1. Aislación con optoacoplador 6N137

Sus características:

- Alta velocidad: puede operar a velocidades de hasta 10 Mbps.
- Proporciona aislamiento galvánico de hasta 5000 VRMS.
- Requiere una corriente de entrada entorno a 10 mA para activar el LED interno.
- Salida de transistor: el fotodetector de salida es un transistor con una resistencia de pull-up interna.
- Puede operar con señales de nivel TTL y CMOS, lo que facilita su integración en una variedad de sistemas digitales.
- Tiene un tiempo de retardo de propagación típico de 50 ns, permitiendo una respuesta rápida en aplicaciones de alta velocidad.

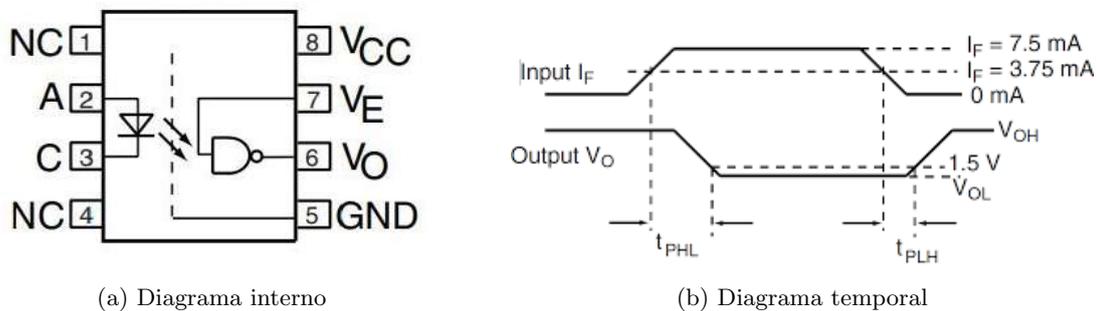
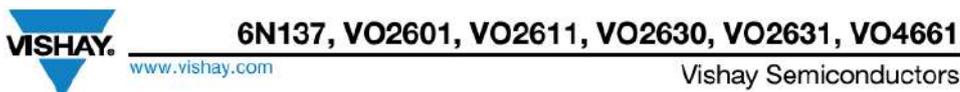


Figura 8.3: 6N137

El integrado 6N137 tiene un diodo emisor led en la etapa de entrada y un fotodetector en la etapa de salida (Figura 8.3a). Para garantizar un funcionamiento correcto del led, es necesario calcular la resistencia de limitación de corriente adecuada.

Antes de realizar el cálculo, es importante conocer algunos parámetros específicos del 6N137, obtenidos de su hoja de datos:



ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)						
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
INPUT						
Input forward voltage	$I_F = 10\text{ mA}$	V_F	1.1	1.4	1.7	V
Reverse current	$V_R = 5\text{ V}$	I_R	-	0.01	10	μA
Input capacitance	$f = 1\text{ MHz}$, $V_F = 0\text{ V}$	C_i	-	55	-	pF
OUTPUT						
High level supply current (single channel)	$V_E = 0.5\text{ V}$, $I_F = 0\text{ mA}$	I_{CCH}	-	4.1	7	mA
	$V_E = V_{CC}$, $I_F = 0\text{ mA}$	I_{CCH}	-	3.3	6	mA
High level supply current (dual channel)	$I_F = 0\text{ mA}$	I_{CCH}	-	6.5	12	mA
Low level supply current (single channel)	$V_E = 0.5\text{ V}$, $I_F = 10\text{ mA}$	I_{CCL}	-	4	7	mA
	$V_E = V_{CC}$, $I_F = 10\text{ mA}$	I_{CCL}	-	3.3	6	mA
Low level supply current (dual channel)	$I_F = 10\text{ mA}$	I_{CCL}	-	6.5	12	mA
High level output current	$V_E = 2\text{ V}$, $V_{CC} = 5.5\text{ V}$, $I_F = 250\text{ }\mu\text{A}$	I_{OH}	-	0.002	1	μA
Low level output voltage	$V_E = 2\text{ V}$, $I_F = 5\text{ mA}$, $I_{OL}(\text{sinking}) = 13\text{ mA}$	V_{OL}	-	0.2	0.5	V
Input threshold current	$V_E = 2\text{ V}$, $V_{CC} = 5.5\text{ V}$, $I_{OL}(\text{sinking}) = 13\text{ mA}$	I_{TH}	-	2.4	5	mA
High level enable current	$V_E = 2\text{ V}$	I_{EH}	-	-0.6	-1.6	mA
Low level enable current	$V_E = 0.5\text{ V}$	I_{EL}	-	-0.8	-1.6	mA
High level enable voltage		V_{EH}	2	-	-	V
Low level enable voltage		V_{EL}	-	-	0.8	V

Figura 8.4: Hoja de datos 6N137

- Tensión del emisor led (V_f): 1.7V
- Corriente directa del emisor led (I_f): 10 mA típico para asegurar el encendido correcto del fototransistor.
- Tensión de alimentación (V_{in}): 5V

Cálculo de la resistencia del diodo:

$$R = (V_{in} - V_f) / I_f$$

Siendo R la resistencia de limitación de corriente del diodo emisor led, se requiere que el valor de la misma sea 330Ω para una alimentación de 5V.

Basados en las notas de aplicación del mismo, se confecciona un esquemático acorde a las necesidades del proyecto:

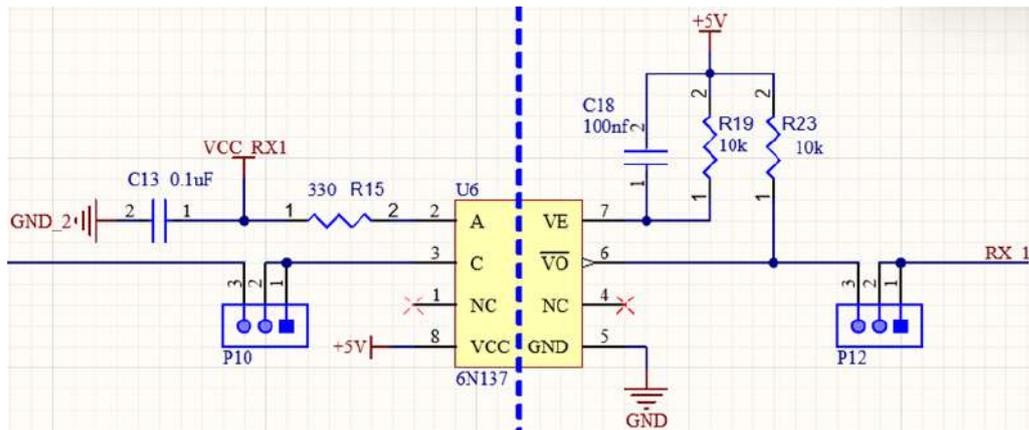


Figura 8.5: Esquemático propuesto 6N137

Descripción circuital:

- C13: está en la entrada del circuito, actúa como un filtro para eliminar ruido de alta frecuencia.
- R15: limita la corriente que entra al diodo LED del 6N137 para protegerlo y asegurar su funcionamiento correcto.
- 6N137: aísla eléctricamente la entrada y la salida mientras permite la transmisión de la señal a través de un enlace óptico interno.
- C18: actúa como un filtro de desacoplamiento, eliminando picos de ruido de alta frecuencia.
- R19: ayuda a descargar el capacitor C18 cuando el sistema está desconectado o la alimentación cambia.
- R23: resistencia de pull-up que mantiene la línea de salida VO del optoacoplador en un estado alto cuando no hay una señal activa.

8.3.2. Multiplexación

Para la etapa de multiplexado en el proyecto, se selecciona el microcontrolador ATMEGA2560 debido a sus características técnicas y su capacidad para manejar múltiples interfaces de comunicación. Este microcontrolador ofrece un equilibrio óptimo entre capacidad de procesamiento y un conjunto amplio de puertos UART, esenciales para gestionar de manera eficiente varios flujos de datos en paralelo, como se requiere en un concentrador de sentencias NMEA0183.

El ATMEGA2560 cuenta, además, con una arquitectura flexible y de bajo consumo de potencia, lo cual lo hace adecuado para aplicaciones que demandan eficiencia y estabilidad. La extensa documentación y el soporte de desarrollo disponibles para este microcontrolador facilitan el proceso de diseño y la resolución de problemas, optimizando los tiempos de implementación. Por estas razones, el ATMEGA2560 se presenta como una elección técnica fundamentada para cubrir las necesidades de multiplexado y gestión de datos de este proyecto.

Procedimiento de multiplexado de UARTs:

1. Configuración de baudrate: Inicialmente, se configura el baudrate de cada una de las cuatro UARTs de acuerdo con los valores especificados por el usuario a través de la interfaz web proporcionada. Este paso asegura que la velocidad de comunicación serial sea la correcta para cada puerto.

2. Lectura de la primera UART: Una vez configuradas las UARTs, se procede a leer la primera, esperando como condición de inicio de trama la recepción de los caracteres “\$” o “!”. Estos caracteres indican el comienzo de una trama de datos válida.
3. Almacenamiento de datos: Una vez que se ha detectado el inicio de la trama y se ha recibido la información completa, los datos se almacenan en una variable temporal para su posterior procesamiento.
4. Repetición del proceso para las otras UARTs: El proceso descrito en los pasos anteriores se repite de manera secuencial para las otras tres UARTs. Para cada una de ellas, se espera la recepción de un “\$” o “!” para iniciar la captura de datos, que luego se almacena en variables correspondientes.
5. Concatenación y envío al ESP32: Una vez completada la lectura de las cuatro UARTs, la información recibida de cada una de ellas se concatena en una única trama de datos. Esta trama consolidada se envía al microcontrolador ESP32 utilizando un software serial, lo que permite transmitir toda la información en un solo paquete.
6. Este procedimiento garantiza la sincronización correcta de las comunicaciones UART y facilita el envío eficiente de datos al ESP32 para su posterior procesamiento.

Para más información, refiérase al código con el cual se programa el ATMEGA2560 en la sección del Anexo.

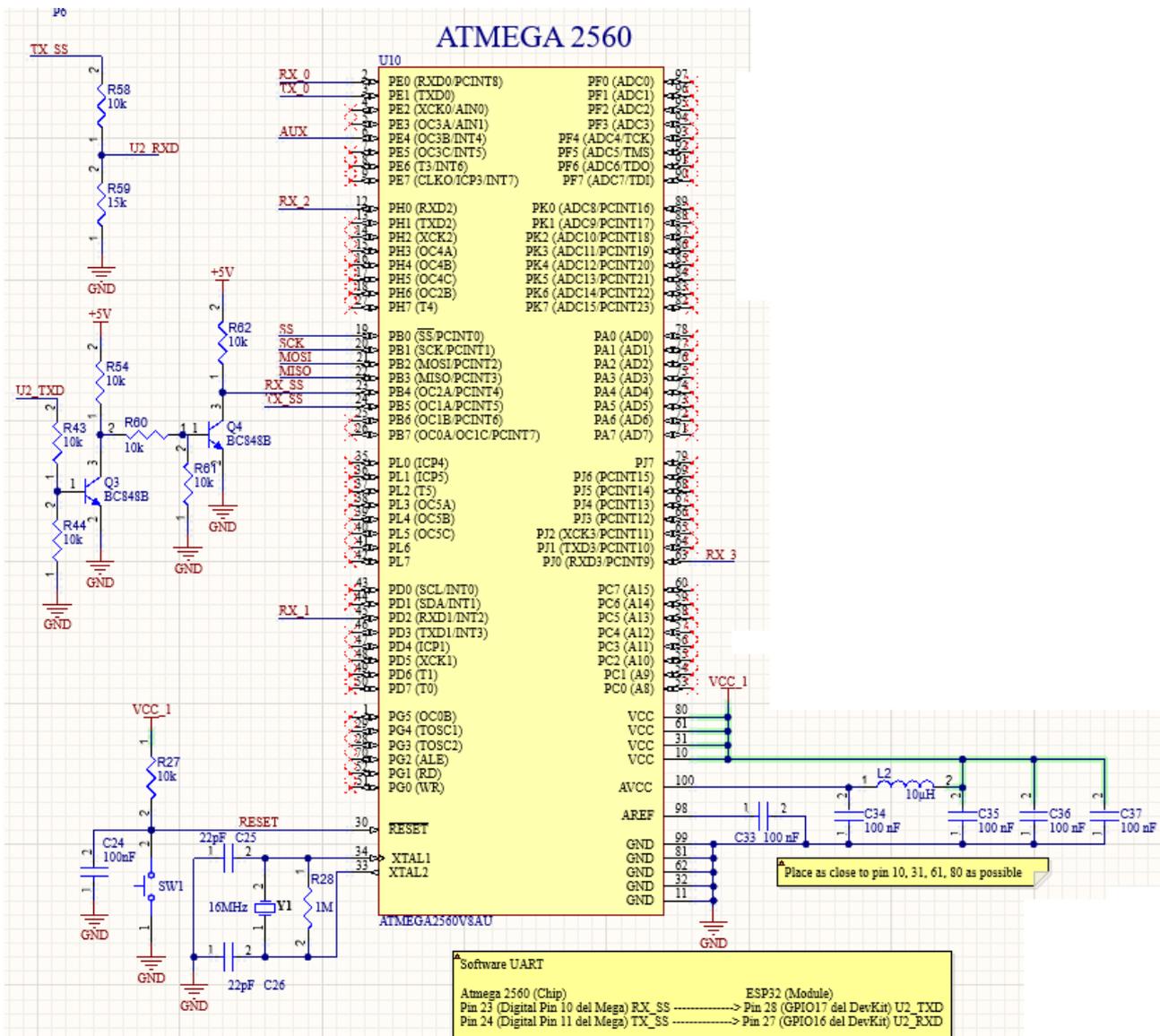


Figura 8.6: Esquemático ATMEGA2560

Interfaz USB - ATMEGA2560

La interfaz utilizada para la comunicación entre el ATMEGA2560 y la computadora se diseña con el circuito integrado FTDI232. Este facilita la conexión entre el MCU y una computadora, ya que el ATMEGA2560 no tiene una interfaz USB nativa. Esta se usa únicamente para la carga del código desde una computadora.

Características:

- Convierte señales USB a TTL (lógica de 5V o 3.3V).
- Soporta una amplia gama de velocidades de baudrate (desde 300 hasta 3 Mbps en modo TTL).
- Protocolo USB 2.0 Full Speed: trabaja a una velocidad máxima de 12 Mbps, suficiente para la mayoría de aplicaciones con microcontroladores.
- Autenticidad de datos: incorpora mecanismos de manejo de control de flujo como RTS, CTS, DSR, DTR para asegurar la integridad de la comunicación.

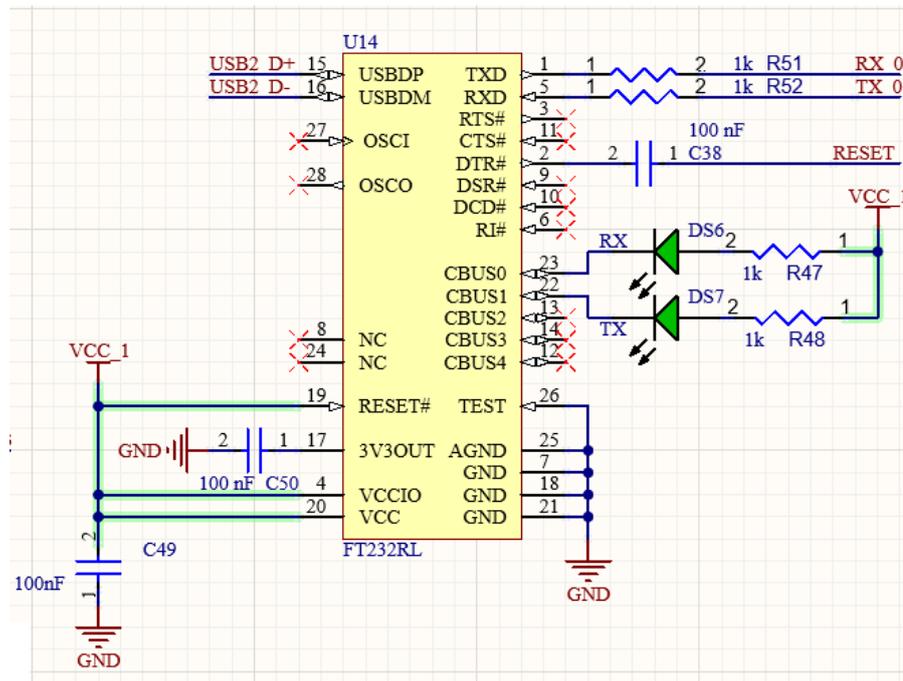


Figura 8.7: FTDI232

Los diodos TVS (Transient Voltage Suppression), observados en las líneas de los puertos USB en la Figura 8.8, cumplen una función importante de protección. En este caso, protegen las líneas D+ y D- del puerto USB ante posibles picos de tensión, transitorios o descargas electrostáticas (ESD). Estos picos pueden dañar los componentes sensibles, como el propio FTDI232 o el microcontrolador.

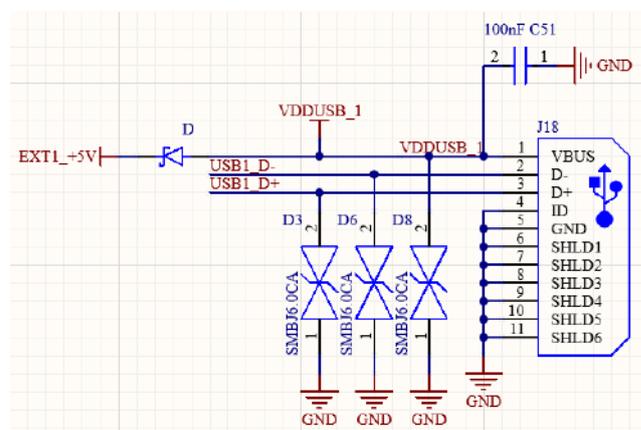


Figura 8.8: Entrada USB

8.3.3. Etapa inalámbrica

Para la etapa de interfaz inalámbrica en el proyecto, se selecciona el microcontrolador ESP32 debido a su capacidad integrada de conectividad Wi-Fi, lo cual permite una comunicación inalámbrica eficiente y con un alcance suficiente para los fines prácticos de este proyecto. El ESP32 combina una arquitectura de doble núcleo y un procesador de alta velocidad, facilitando el manejo de tareas en paralelo y garantizando un rendimiento óptimo en la transmisión y recepción de datos.

Además, el bajo consumo de potencia del ESP32 lo hacen ideal para aplicaciones donde la eficiencia y la autonomía son prioritarias. Su amplio soporte en la comunidad de desarrollo y la disponibilidad de bibliotecas de comunicación también simplifican la implementación y permiten una integración rápida con otros componentes del sistema. Estas características hacen del ESP32 una elección sólida y justificada para la etapa de interfaz inalámbrica del proyecto.

Características:

- Microcontrolador: ESP32, SoC (System on Chip) con doble núcleo Tensilica Xtensa LX6.
- Frecuencia: hasta 240 MHz.
- Memoria: 520 KB de SRAM, 448 KB de ROM y 16 KB de SRAM RTC.
- Conectividad: Wi-Fi 802.11 b/g/n, Bluetooth Dual-mode (BLE y Bluetooth Classic).
- Almacenamiento: flash de 4 MB integrada.
- Interfaz de Periféricos: GPIOs (pines de entrada/salida de propósito general), ADC (Convertidor Analógico a Digital) de 12 bits, DAC (Convertidor Digital a Analógico).
- Interfaces de comunicación: SPI, I2C, I2S, UART, PWM.
- Consumo de Energía: soporte para varios modos de bajo consumo, incluidos el modo Deep Sleep.
- Rango de Voltaje de Alimentación: 2.2V a 3.6V.

Ventajas:

1. Alto Rendimiento: procesador de doble núcleo y conectividad integrada.
2. Versatilidad: gran cantidad de interfaces de comunicación y periféricos.
3. Compatibilidad: amplia comunidad de soporte, bibliotecas y ejemplos disponibles.

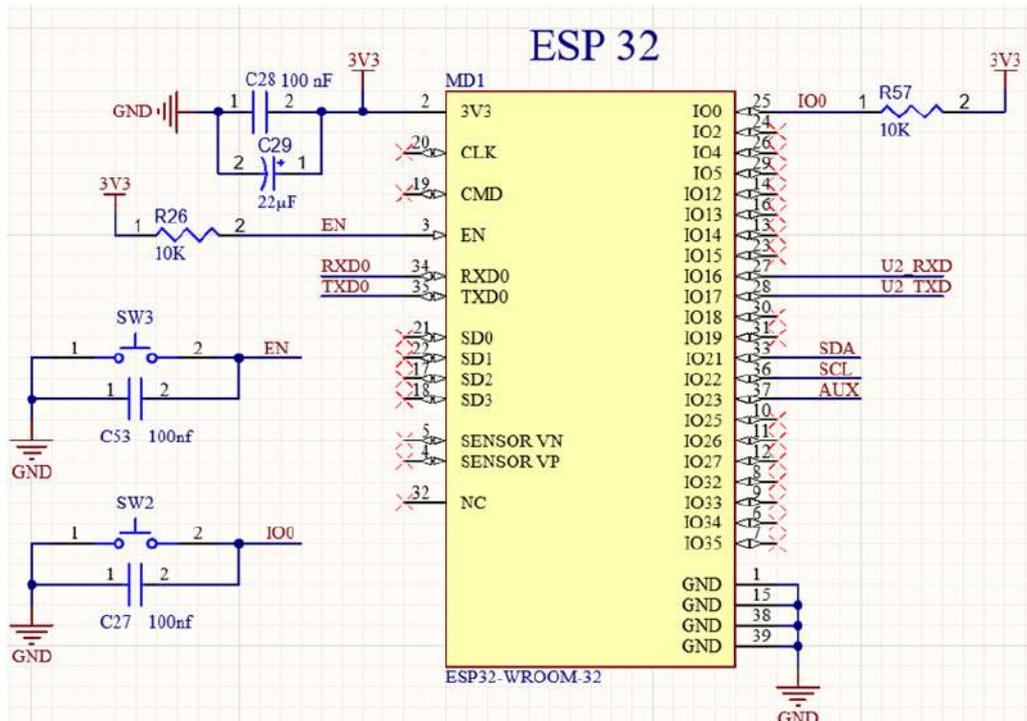


Figura 8.9: Esquemático etapa inalámbrica

Interfaz USB - ESP32

El ESP32 utiliza el CP2102, un convertidor USB a UART, para permitir la comunicación entre el puerto USB de una computadora y los pines UART del microcontrolador. Similar al caso del FTDI232, el CP2102 convierte las señales USB en señales UART compatibles con el ESP32, facilitando la programación y la depuración del microcontrolador. Características:

- Velocidades de transmisión: Soporta tasas de baudrate hasta 1 Mbps
- Soporte de control de flujo: Incluye señales de control de flujo como RTS y CTS para garantizar la correcta transmisión de datos.
- USB 2.0 Full Speed: Trabaja con una velocidad de hasta 12 Mbps.

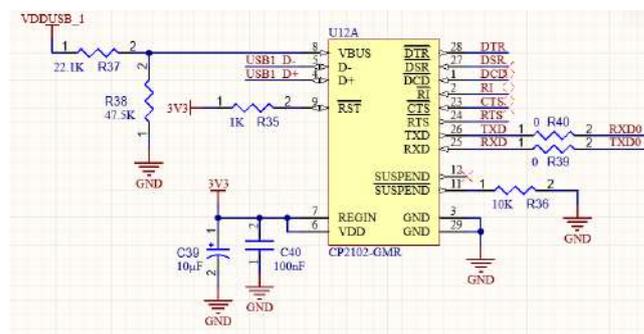


Figura 8.10: CP2102

Al igual que el FTDI232, el CP2102 cuenta con diodos TVS. Esta protección es esencial en dispositivos que se conectan y desconectan frecuentemente de puertos USB, ya que ayuda a aumentar la vida útil del circuito y proteger los componentes más sensibles de la interfaz USB.

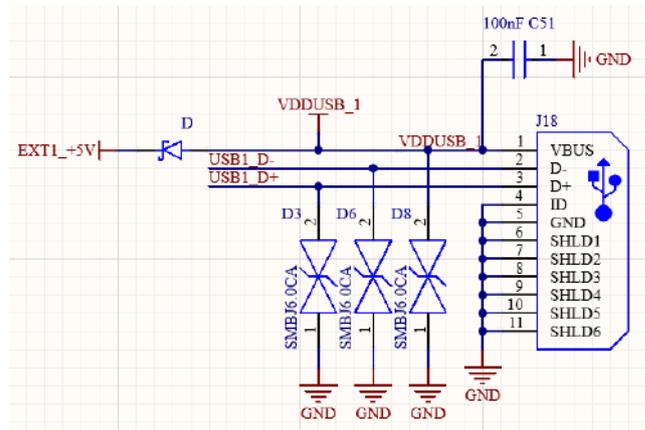
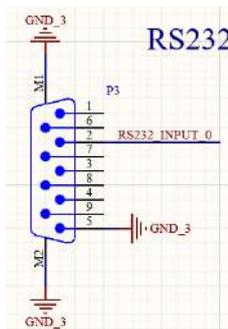


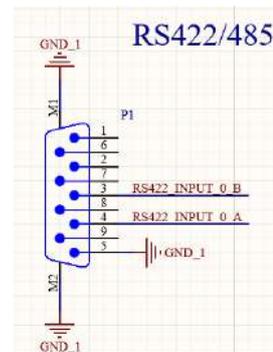
Figura 8.11: Entrada USB

8.3.4. Entradas RS232 y RS422

La norma NMEA 0183 es un estándar para la comunicación de datos entre dispositivos electrónicos marinos. Las especificaciones técnicas de conexionado para las entradas de señales según la norma NMEA 0183 son los que se muestran en la Figura 8.12



(a) Conector RS232



(b) Conector RS422/485

Figura 8.12: Conectores de entrada DB9

1. Señalización Eléctrica:

- La comunicación se realiza mediante un sistema de puerto serie asíncrono.
- Se utilizan dos líneas de comunicación: Transmit Data (TxD) y Receive Data (RxD).
- La señalización sigue el estándar RS-232 para dispositivos a bordo o el estándar RS-422 para distancias mayores y entornos más ruidosos.
- Los niveles de voltaje para RS-232 suelen estar entre +3V a +15V para un “0” lógico y -3V a -15V para un “1” lógico. En RS-422, los niveles diferenciales se mantienen generalmente dentro de un rango de $\pm 2V$ a $\pm 6V$.

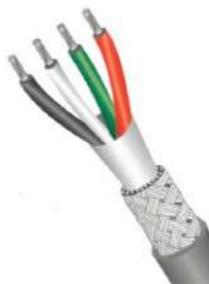
2. Conectores y Cableado:

- La norma no especifica un tipo de conector en particular, pero comúnmente se utilizan conectores DB-9 o bloques de terminales de tornillo para facilitar las conexiones (Figura 8.13a).
- Se recomienda el uso de cables apantallados para reducir la interferencia electromagnética (EMI), como el de la Figura 8.13b.

Estos son aspectos claves que deben considerarse para las entradas bajo la norma NMEA 0183. Cumplir con estas especificaciones asegura la compatibilidad y la comunicación efectiva entre los dispositivos electrónicos marinos.



(a) Conector DB9



(b) Cable apantallado

Figura 8.13

8.3.5. Conversión de señales

En esta sección se aborda el proceso de conversión de señales, fundamental para la integración de diferentes estándares de comunicación en el sistema. Se examinan los circuitos conversores de RS-232 a TTL y de RS-485 a TTL, que permiten adaptar las señales de entrada y salida a los niveles de voltaje requeridos por el microcontrolador. Estas conversiones son esenciales para garantizar la correcta transmisión y recepción de datos entre el sistema y los dispositivos externos, asegurando así la interoperabilidad y la estabilidad en la comunicación.

Circuito conversor de RS-232 a TTL

Se emplea un MAX232 para convertir las señales de nivel RS-232 a nivel TTL.

Características:

- Número de Canales: Contiene dos transmisores (drivers) y dos receptores (receivers) independientes, lo que permite la conversión bidireccional de dos señales simultáneamente.
- Diseñado para un bajo consumo de energía, haciéndolo ideal para aplicaciones portátiles y alimentadas por batería.
- Velocidad de Transmisión: Soporta velocidades de transmisión de hasta 120 kbps
- Incorpora protección contra sobrecargas en las líneas de entrada y salida, proporcionando mayor seguridad al circuito.
- Convierte niveles de señal RS-232 (+/-12V típicamente) a niveles TTL (0V a 5V o 0V a 3.3V, dependiendo del sistema TTL).

Descripción circuital:

- C7 y C8 (330nF) están conectados entre los pines 1-3 y 4-5 respectivamente, que son necesarios para el funcionamiento del convertidor de tensión interno del MAX232
- C11 (0.1µF) está conectado entre Vcc (pin 16) y tierra (GND) para desacoplar el ruido en la fuente de alimentación.
- C3 y C4 ayudan en la conversión de tensión dentro del IC, permitiendo que el MAX3232 pueda comunicarse entre interfaces con diferentes niveles de tensión.
- R8, R9 y R29 (10kΩ) su función es asegurar que las entradas se mantengan en un estado bajo (0 lógico) cuando no hay ninguna señal conectada.
- R63 (10kΩ) asegura que la línea de salida se mantenga en un estado alto cuando no hay datos siendo transmitidos, proporcionando estabilidad en el nivel lógico de la salida.
- El pin 16 (VCC) del MAX232 está conectado a VCC_RX2, que es la fuente de alimentación de 5V.
- El pin 15 (GND) y otros puntos de tierra están conectados a GND_3.
- El pin 8 (R2IN) es la entrada de la señal RS-232 a ser convertida.
- El pin 9 (R2OUT) es la salida TTL correspondiente de la señal convertida, que se conecta al aislador de la etapa siguiente.

El MAX232 es crucial para garantizar una comunicación segura y efectiva entre dispositivos con diferentes niveles de tensión, haciendo posible la integración de equipos NMEA0183 con sistemas digitales.

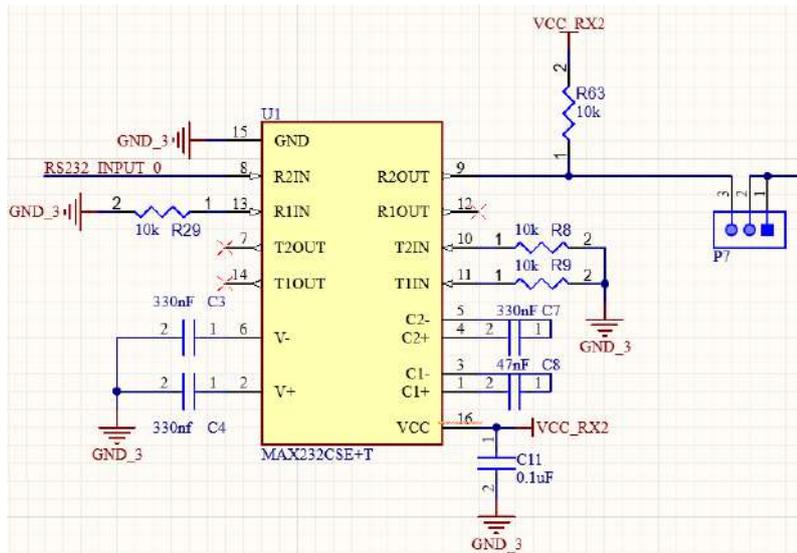


Figura 8.14: Conversor RS-232 a TTL MAX232

Circuito conversor de RS-422/485 a TTL

Se utiliza un MAX485 para convertir señales NMEA 0183 RS485/RS422 a TTL.

Características:

- Bajo consumo de energía: Ideal para aplicaciones donde la eficiencia energética es crucial.
- Protección contra el ruido: La señal diferencial de RS485/RS422 es menos susceptible al ruido electro-magnético, y el MAX485 mantiene esta robustez mientras convierte las señales.
- Económico: El MAX485 es un componente de bajo costo
- Su tamaño compacto permite que se integre fácilmente en diseños de PCB (placa de circuito impreso) pequeños.
- Interfaz Simple: El MAX485 es fácil de integrar en circuitos, con conexiones claras para entrada diferencial (A y B) y salida TTL (RO). Requiere pocos componentes adicionales, como resistencias de terminación y de polarización, para asegurar la calidad de la señal.

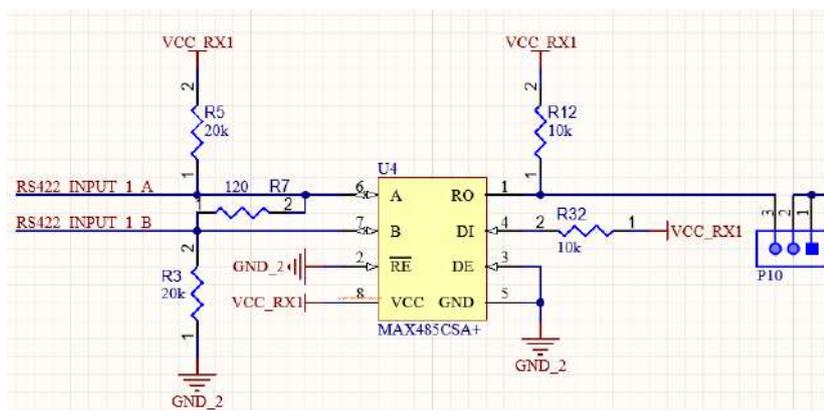


Figura 8.15: Conversor RS-422/485 a TTL MAX485

Descripción circuital:

- Los pines 6 y 7 (A y B respectivamente) son las entradas diferenciales del protocolo RS485/RS422.
- R3 y R5 son resistencias de polarización (pull-up y pull-down) de 20kΩ cada una, conectadas a las líneas A y B, respectivamente. Estas resistencias aseguran que las líneas A y B tengan un estado definido cuando no hay ninguna señal presente.

- R7 es una resistencia de terminación de 120Ω entre las líneas A y B, que se utiliza para reducir las reflexiones de señal en la línea de transmisión, asegurando una comunicación más limpia en distancias largas.
- El pin 1 (RO: Receiver Output) es la salida de datos TTL. La señal recibida de las líneas A y B es convertida a una señal TTL en este pin.
- R12 asegura que la línea de salida se mantenga en un estado alto cuando no hay datos transmitidos, proporcionando estabilidad en el nivel lógico de la salida.
- R32 permite configurar la salida del CI como no inversora.
- El pin 2 (RE: Receiver Output Enable) está conectado a tierra (GND), lo que habilita el receptor del MAX485.
- El pin 3 (DE: Driver Output Enable) también está conectado a tierra (GND), deshabilitando el transmisor del MAX485.
- El pin 5 (GND) está conectado a tierra (GND_2).
- El pin 8 (VCC) está conectado a la fuente de alimentación VCC_RX1.

El uso del MAX485 para convertir señales NMEA 0183 RS485/RS422 a TTL es una solución práctica y efectiva debido a su compatibilidad con ambos tipos de señal, su robustez frente al ruido, facilidad de implementación y costo-efectividad.

8.3.6. Aisladores de tensión

En esta sección se exploran los aisladores de tensión, componentes clave en el diseño del sistema que garantizan la protección de los circuitos frente a sobrecargas y picos de tensión. Estos dispositivos permiten separar eléctricamente las distintas etapas del sistema, minimizando el riesgo de daños y mejorando la seguridad general del dispositivo. Además, se presentan las ventajas de utilizar aisladores de tensión, destacando su capacidad para reducir las interferencias, lo que resulta en un rendimiento más confiable y estable del sistema.

Ventajas de su uso:

- Protección de Componentes: El aislamiento galvánico protege los componentes sensibles de los picos de tensión y las diferencias de potencial que podrían dañarlos.
- Reducción de Interferencias: Al separar eléctricamente las diferentes partes del circuito, se minimizan las interferencias eléctricas y los ruidos que podrían afectar la precisión de las señales de comunicación NMEA 0183.
- Prevención de Bucles de Tierra: Los bucles de tierra pueden causar corrientes no deseadas que interfieren con la comunicación de datos. Al aislar las tierras, se evita este problema.
- Seguridad: Aislar las partes del circuito también puede mejorar la seguridad del sistema, especialmente en entornos donde las diferencias de potencial pueden ser significativas.

Aislación de entrada de alimentación principal con B1212S



Figura 8.16: B1212S-3WR2

Características del componente:

- Tensión de Entrada:

- Nominal: 12V DC.
- Rango de entrada: Generalmente $\pm 10\%$ del valor nominal.
- Tensión de Salida Nominal: 12V DC.
- Aislamiento Galvánico: tensión de aislamiento 1kV DC.
- Eficiencia típica: Generalmente alrededor del 80 %, puede variar ligeramente dependiendo de las condiciones de carga.
- Protección: Contra cortocircuitos y sobrecarga.
- Capacitancia de Aislamiento: generalmente baja para minimizar las interferencias entre los circuitos aislados.
- Corriente de Salida: 250mA

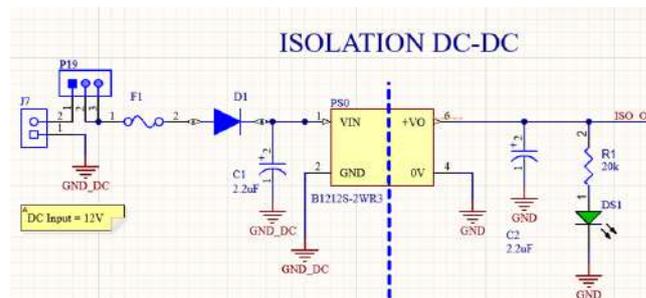
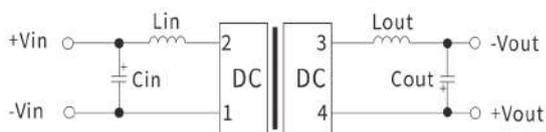


Figura 8.17: Aislación DC-DC 12V 3W

Aislación de alimentación de etapas de entrada con B0505S



(a) Circuito interno B0505



(b) B0505S-1WR3

Figura 8.18

Características del componente:

- Tensión de Entrada:
 - Nominal, 5V DC.
 - Rango de entrada: Generalmente $\pm 10\%$ del valor nominal.
- Tensión de Salida Nominal: 5V DC.
- Aislamiento Galvánico: tensión de aislamiento 1kV DC.
- Eficiencia típica: Generalmente alrededor del 80 %, pero esto puede variar ligeramente dependiendo de las condiciones de carga.
- Protección: Contra cortocircuitos y sobrecarga.
- Capacitancia de Aislamiento: generalmente baja para minimizar las interferencias entre los circuitos aislados.
- Corriente de Salida: 200mA

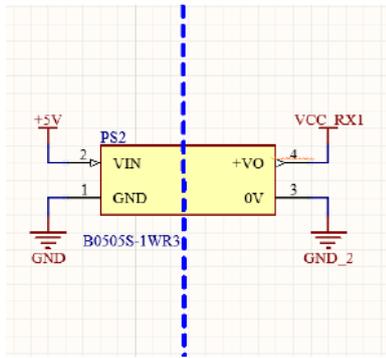


Figura 8.19: Aislación DC-DC 5V 1W

8.3.7. Etapas reguladoras de tensión

Entrada de alimentación

LM2596S es un regulador de tensión de modo conmutado “step-down” (reductor) que puede proporcionar una salida de tensión ajustable. Es conocido por su alta eficiencia y capacidad de manejar corrientes elevadas. El circuito está diseñado para convertir una entrada de 12V a una salida regulada de 8V. Características del CI:

- Tensión de entrada: 4.5V a 40V.
- Corriente de salida: hasta 3A.
- Frecuencia de conmutación: 150 kHz.
- Eficiencia: Alta eficiencia, hasta el 90 %.
- Protecciones Integradas: Protección contra sobrecorriente, térmica y contra cortocircuito.

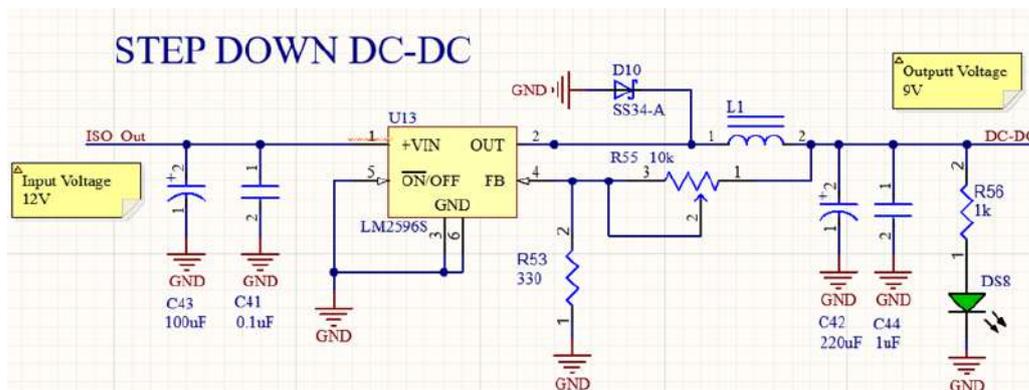


Figura 8.20: Step Down DC-DC

Descripción circuital:

- Input Voltage (12V): La entrada del circuito es una fuente de alimentación de 12V DC.
- C43 (100µF) y C41 (0.1µF): Estos condensadores están conectados en paralelo a la entrada de 12V para filtrar el ruido y estabilizar la tensión de entrada, proporcionando una alimentación limpia al regulador LM2596S.
- LM2596S: Es un regulador de conmutación de modo buck que convierte un voltaje de entrada más alto a un voltaje de salida más bajo con alta eficiencia.
- R53 (330Ω) y R55 (10 kΩ variable): Forman un divisor de voltaje que realimenta la señal al pin 4 (FB) del LM2596S. Esta red de realimentación es crucial para mantener la salida regulada a 8V. La relación entre estas resistencias determina el voltaje de salida.

- L1: El inductor es una parte esencial del regulador buck, ya que almacena energía en su campo magnético cuando el transistor del LM2596S está encendido y la libera cuando está apagado, suavizando la corriente de salida.
- D10 (SS34-A): El diodo Schottky permite el flujo de corriente en una única dirección y proporciona un camino para la corriente cuando el transistor del LM2596S está apagado, mejorando la eficiencia del regulador.
- C42 (220 μ F) y C44 (1 μ F): Estos condensadores filtran la tensión de salida, reduciendo el ripple y asegurando que esta sea lo más estable y limpia posible.
- Diodo LED Indicador: El conjunto DS8 (LED) y R56 (1k Ω) funciona como un indicador de encendido. El LED se enciende cuando hay una salida de voltaje, y la resistencia R56 limita la corriente que pasa a través del LED para protegerlo.

Etapas LDO (Low Dropout Regulator)

Un LDO es un tipo de regulador de tensión lineal que puede operar con una pequeña diferencia entre la tensión de entrada y la tensión de salida. Esto significa que puede mantener una salida de tensión constante incluso si la tensión de entrada es apenas mayor que la tensión de salida. En este proyecto se utiliza el regulador AMS1117, en dos variantes, para cada necesidad.



Figura 8.21: AMS1117

Características:

- Tensión de salida: +5v, +3.3v respectivamente para cada variante.
- Caída de tensión (Dropout Voltage): Típicamente alrededor de 1.1V a una corriente de salida de 1A.
- Corriente de salida: Hasta 1A.
- Precisión de tensión de salida: $\pm 1\%$.
- Protección térmica: Incluye protección contra sobrecalentamiento.
- Protección contra sobrecorriente: Incluye protección contra cortocircuitos y sobrecorriente.
- Consumo de corriente en reposo: típicamente 5mA

En este dispositivo se utilizan dos LDO:

LDO +5v

Circuito que convierte una entrada de tensión proveniente del convertidor DC-DC, en una salida de +5v:
Descripción circuital:

- C21 (10 μ F) y C22 (100nF): Estos son capacitores de desacople que se utilizan para suavizar el voltaje de entrada proveniente del DC-DC converter. Ayudan a filtrar cualquier ruido o fluctuaciones de tensión de la entrada antes de llegar al regulador.
- C23 (10 μ F) y C55 (100nF): Estos capacitores de desacople están conectados a la salida del regulador de tensión. Ayudan a estabilizar la tensión de salida y a reducir el ruido y las fluctuaciones.
- R33 (300 Ω) y DS2 (LED Verde): Esta es una configuración común para un LED indicador. La resistencia R33 limita la corriente que pasa a través del LED para evitar que se quemé. El LED DS2 se enciende cuando el circuito está funcionando, indicando visualmente que la fuente de alimentación está activa.

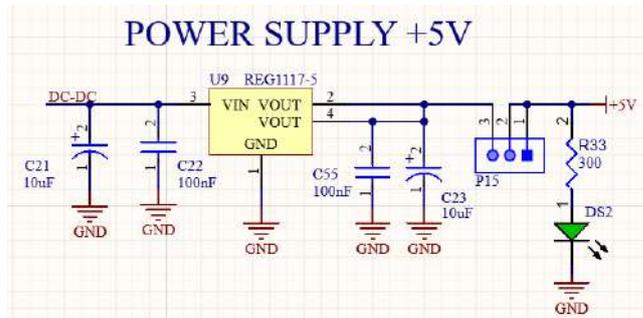


Figura 8.22: LDO +5v

- U9 (REG1117-5): Este es un regulador de tensión lineal y tiene tres pines principales: VIN (tensión de entrada proveniente del DC-DC converter), VOUT (tensión de salida regulada) y GND (Tierra o referencia del circuito). El regulador se encarga de mantener una salida constante de 5V a pesar de las variaciones en el voltaje de entrada o en la carga conectada a la salida.

LDO +3.3v

Circuito que convierte una entrada de tensión proveniente del LDO de +5v, en una salida de +3.3v:

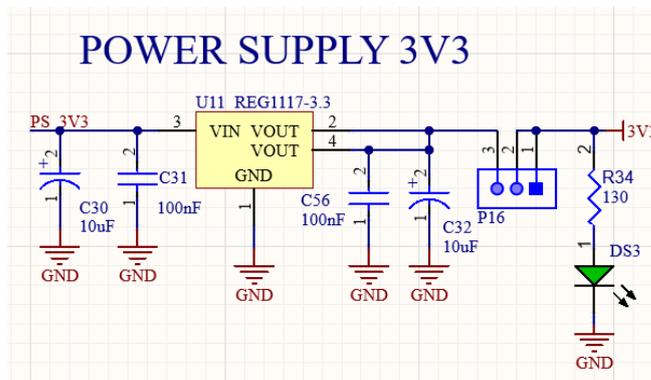


Figura 8.23: LDO +3.3v

Descripción Circuital:

- C30 (10µF) y C31 (100nF): Estos son capacitores de desacople que se utilizan para suavizar la tensión de entrada proveniente del LDO +5v. Ayudan a filtrar cualquier ruido o fluctuaciones de tensión en la entrada antes de llegar al regulador.
- C32 (10µF) y C56 (100nF): Estos capacitores de desacople están conectados a la salida del regulador de tensión. Ayudan a estabilizar la tensión de salida y a reducir el ruido y las fluctuaciones.
- R34 (130Ω) y DS3 (LED Verde): Esta es una configuración común para un LED indicador. La resistencia R34 limita la corriente que pasa a través del LED para evitar que se queme. El LED DS3 se encenderá cuando el circuito esté funcionando, indicando visualmente que la fuente de alimentación está activa.
- U11 (REG1117-3.3): Este es un regulador de tensión lineal y tiene tres pines principales: VIN (tensión de entrada proveniente del DC-DC converter), VOUT (tensión de salida regulada) y GND (Tierra o referencia del circuito). El regulador se encarga de mantener una salida constante de 3.3V a pesar de las variaciones en el voltaje de entrada o en la carga conectada a la salida.

8.3.8. Esquemático Final

En la Figura 8.24 se puede apreciar el esquemático resultante de las etapas anteriormente explicadas, y que fue enviado a producción para el posterior ensamble del prototipo final.

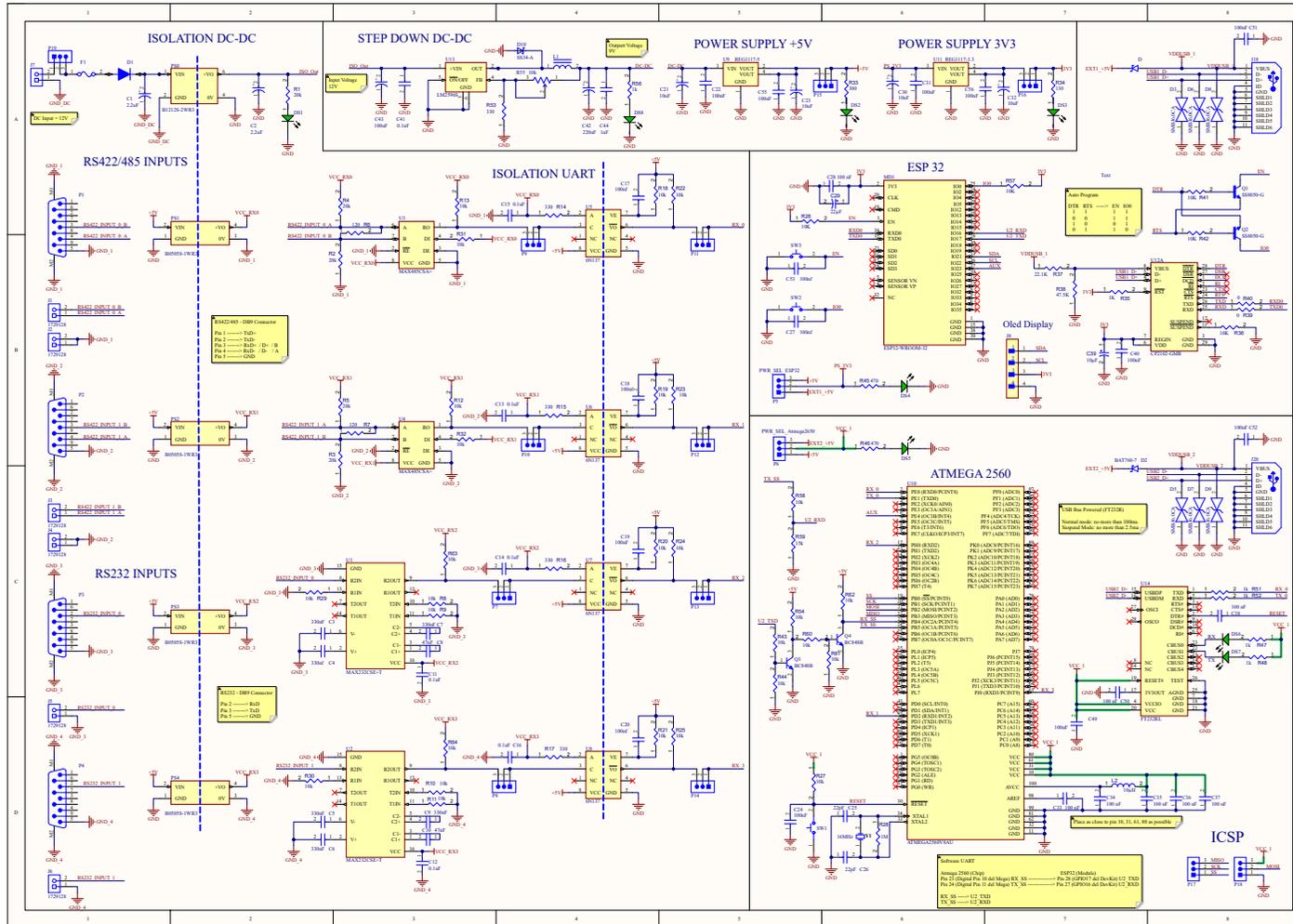


Figura 8.24: Esquemático

8.3.9. Cálculo de potencia

En la Figura 8.25 se presenta un cuadro que detalla el consumo de potencia del prototipo. Inicialmente, se suministran 3.55W al convertidor DCDC Step-Down. Dada la eficiencia de este dispositivo, se entregan 3.2W a la entrada del regulador lineal LDO de 5V. Este regulador convierte la potencia de entrada en 2W de salida útil, mientras que la diferencia (1.2W) se disipa en forma de calor debido a la naturaleza del regulador lineal.

La potencia de 2W se distribuye entre dos subsistemas. El primero es la etapa de aislación de señales, que consume 0.76 W y está compuesta por cuatro aisladores de tensión B0505S, dos integrados MAX485 y dos MAX232. El segundo subsistema es el conjunto de integrados y circuitería adicional, que requieren 1.24W. Esta etapa incluye un regulador LDO de 3.3V, los microcontroladores ATMEGA2560 y ESP32, así como los circuitos integrados de control de la interfaz USB.

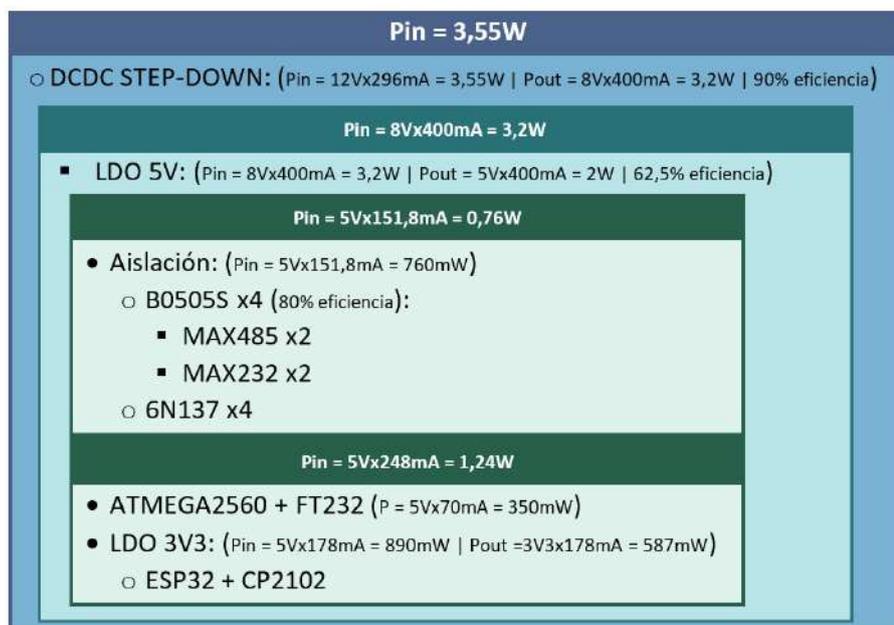


Figura 8.25: Cuadro de potencia del proyecto

8.3.10. Pantalla

Para la interacción con el usuario se dispuso de una pantalla OLED de 0.96 pulgadas al frente del dispositivo. Esta muestra el estado de conexión, el IP del gateway donde el usuario debe acceder para configurar las cuatro entradas de señales NMEA 0183, y el puerto de conexión para configurar la herramienta de ploteo.

Características principales:

- Dimensiones del módulo: aproximadamente 27mm x 27mm
- Resolución: 128 x 64 píxeles
- Tipo de pantalla: OLED, monocromo blanco
- Controlador integrado: SSD1306
- Interfaz de comunicación: I2C
- Consumo de energía muy bajo
- Vida útil de más de 10.000 horas

Conexiones I2C del módulo display:

- VCC: alimentación (3.3V o 5V)
- GND: Tierra
- SCL: línea de reloj
- SDA: Línea de datos

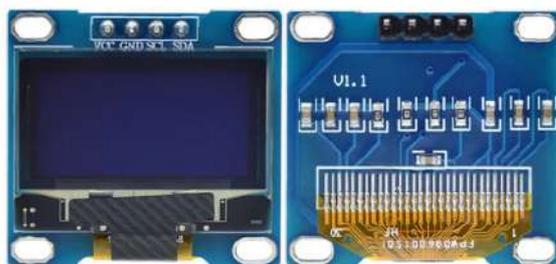


Figura 8.26: Pantalla OLED 0.96" I2C

8.4. Firmware

8.4.1. Código ATMEGA2560

El ATMEGA2560 fue programado en C. A continuación se describirá cada parte del código:

Inclusión de Librerías y Definición de Constantes

- SoftwareSerial.h: Esta librería permite crear puertos seriales en software, para usar más pines como RX/TX que los UARTs disponibles en el hardware.
- BUFFER_SIZE: Define el tamaño de los buffers donde se almacenan las sentencias NMEA recibidas.
- TIMEOUT: Tiempo de espera en milisegundos que determina cuándo se considera que una sentencia ha terminado de llegar si no se recibe más información.

```
#include <SoftwareSerial.h>
#define BUFFER_SIZE 1024
#define TIMEOUT 10
```

Definición de Variables

- Buffers: Cada UART tiene su propio buffer para almacenar los datos que llegan. buffer0 es para UART0 (Serial), buffer1 para UART1, y así sucesivamente.
- Índices: Se usan para indicar en qué posición del buffer se va a escribir el próximo byte recibido.
- lastCharTime: Guarda el tiempo en el que se recibió el último carácter. Sirve para calcular si ha pasado el tiempo definido por el TIMEOUT para procesar los datos.
- sentence_ready: Estas banderas indican si una sentencia NMEA completa está lista para ser procesada.
- new_sentence: Controlan si se está recibiendo una nueva sentencia NMEA.

```
char buffer0 [BUFFER_SIZE];
char buffer1 [BUFFER_SIZE];
char buffer2 [BUFFER_SIZE];
char buffer3 [BUFFER_SIZE];

int index0 = 0;
int index1 = 0;
int index2 = 0;
int index3 = 0;

unsigned long lastCharTime0 = 0;
unsigned long lastCharTime1 = 0;
unsigned long lastCharTime2 = 0;
unsigned long lastCharTime3 = 0;

volatile bool sentence_ready0 = false;
volatile bool sentence_ready1 = false;
volatile bool sentence_ready2 = false;
volatile bool sentence_ready3 = false;
```

```

bool new_sentence0 = true;
bool new_sentence1 = true;
bool new_sentence2 = true;
bool new_sentence3 = true;

```

SoftwareSerial y Configuración de Baudrates

- softwareRxBPin y softwareTxPin: Se asignan los pines para el puerto serial de software.
- baudrates: Se definen los baudrates (velocidad de comunicación) para cada UART.
- enabled: Estas banderas indican si cada UART está habilitada para recibir datos.

```

const int softwareRxBPin = 10;
const int softwareTxPin = 11;
SoftwareSerial mySerial(softwareRxBPin, softwareTxPin);

unsigned long baudrates[4] = {9600, 9600, 9600, 9600};
bool enabled[4] = {true, true, true, true};

String configBuffer = "";

```

Funciones de Configuración

Función waitForConfig(): Espera la configuración inicial de baudrates y dispositivos a través del puerto serial de software. Cuando recibe una configuración completa (identificada por un salto de línea “\n”), llama a parseConfig() para procesarla y luego ajusta los baudrates con configureBaudrates().

```

void waitForConfig() {
while (true) {
if (mySerial.available() > 0) {
char c = mySerial.read();
configBuffer += c;
if (c == '\n') {
if (parseConfig(configBuffer)) {
configureBaudrates();
configBuffer = "";
break;
}
}
}
}
}
}

```

Función parseConfig(): Lee la configuración recibida, extrae el número de la UART, el nombre del dispositivo y el baudrate. Si el dispositivo es “Ninguno”, deshabilita esa UART.

```

bool parseConfig(String config) {
int uartNum1, uartNum2;
char device[50];
char baudrate[50];
bool success = false;

int currentPosition = 0;
while (currentPosition < config.length()) {
int scanned = sscanf(config.c_str() + currentPosition, "Device%d: %[^,], Baudrate%d: %[^-]",
&uartNum1, device, &uartNum2, baudrate);

if (scanned == 4 && uartNum1 == uartNum2) {
if (String(device) == "Ninguno") {
enabled[uartNum1] = false;
baudrates[uartNum1] = 0;
} else {
enabled[uartNum1] = true;
baudrates[uartNum1] = strtoul(baudrate, NULL, 10);
}
success = true;
currentPosition = config.indexOf('-', currentPosition) + 1;
} else {
currentPosition++;
}
}

return success;
}

```

Función `configureBaudrates()`: Reinicia las UARTs y ajusta los baudrates para cada una según la configuración recibida.

```
void configureBaudrates () {
  Serial.end();
  Serial1.end();
  Serial2.end();
  Serial3.end();

  if (enabled[0]) {
    Serial.begin(baudrates[0]);
  }
  if (enabled[1]) {
    Serial1.begin(baudrates[1]);
  }
  if (enabled[2]) {
    Serial2.begin(baudrates[2]);
  }
  if (enabled[3]) {
    Serial3.begin(baudrates[3]);
  }

  for (int i = 0; i < 4; i++) {
    mySerial.print("--UART");
    mySerial.print(i);
    mySerial.print("-baudrate:-");
    mySerial.print(baudrates[i]);
    mySerial.print("-enabled:-");
    mySerial.print(enabled[i] ? "true" : "false");
  }
}
```

Interrupción para Reinicio

Esta rutina de interrupción reinicia el programa saltando al inicio de la memoria de programa (como un reset).

```
void resetProgram () {
  asm volatile ("--jmp-0");
}
```

`setup()`: Inicializa el puerto serial de software y configura una interrupción en el pin 2 para reiniciar el programa. Luego llama a `waitForConfig()` para esperar la configuración de baudrates.

```
void setup () {
  mySerial.begin(9600);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), resetProgram, RISING);
  waitForConfig();
}
```

Procesamiento de Sentencias

- Procesa las sentencias que llegan por las UARTs.
- Cuando una nueva sentencia empieza \$ o !, reinicia el índice del buffer.
- Si se recibe una nueva sentencia completa (cuando llega "\n"), marca la bandera `sentence_readyX`.
- Envía las sentencias completas a través de `mySerial` cuando el tiempo de espera ha pasado.

```
void loop () {
  unsigned long currentMillis = millis();
  // Procesar UART0
  if (enabled[0] && Serial.available() > 0) {
    char c = Serial.read();
    if (new_sentence0 && (c == '$' || c == '!')) {
      index0 = 0;
      new_sentence0 = false;
    }
    if (!new_sentence0) {
      if (index0 < BUFFER_SIZE - 1) {
        buffer0[index0++] = c;
      }
      lastCharTime0 = currentMillis;
      if (c == '\n') {
```

```

        sentence_ready0 = true;
    }
}
// (Procesamiento similar para UART1, UART2 y UART3)
// Enviar sentencias si estan listas
if (sentence_ready0 && (currentMillis - lastCharTime0 >= TIMEOUT) && Serial.available() ==
    0) {
    buffer0[index0] = '\0';
    mySerial.write(buffer0);
    index0 = 0;
    sentence_ready0 = false;
    new_sentence0 = true;
}
// Envio similar para UART1, UART2 y UART3
}

```

8.4.2. Código ESP32

El ESP32 fue programado en Python. A continuación se describirá cada parte del código:

Importación de módulos

Se importan varios módulos necesarios para controlar el hardware (como pines, UART y temporizadores) y para manejar la red, sockets

```

from machine import Pin, SoftI2C, UART, Timer
import ssd1306
import time
import network
import socket
import ubinascii
import _thread
import esp
import uos
import ujson
from errno import ECONNRESET, EAGAIN

```

Variables y configuración inicial

Se definen algunas variables y objetos de control. Se desactivan los mensajes de depuración de ESP para reducir el ruido en la consola.

```

uart_reading = False
uart_timer = Timer(1)
uart_lock = _thread.allocate_lock()
opencpn_conns = []
max_opencpn_conns = 5
max_socket_http_conns = 5
puerto = 10110

esp.osdebug(None)

```

Configuración del punto de acceso (AP)

Se configura el ESP32 como un punto de acceso Wi-Fi con SSID y contraseña especificados.

```

ap = network.WLAN(network.AP_IF)
ap.active(True)
ap.config(essid='Marine-System', password='01830183', authmode=network.AUTH.WPA.WPA2.PSK)

while not ap.active():
    pass

ip_address = ap.ifconfig()[0]
print('Network config:', ap.ifconfig())

```

Configuración del Socket HTTP

Se configura un socket para escuchar en el puerto 80 y permitir hasta un máximo X de conexiones simultáneas.

```

http_socket = socket.socket(socket.AF_INET, socket.SOCK_STREAM)
http_socket.bind(('', 80))
http_socket.listen(max_socket_http_conns)

```

Configuración UART y pin de interrupción

Se definen las configuraciones por defecto para los UART y se configura un pin para la señal de interrupción.

```
uart_configs = {
    'UART0': {'device': 'Ninguno', 'baudrate': 'Ninguno'},
    'UART1': {'device': 'Ninguno', 'baudrate': 'Ninguno'},
    'UART2': {'device': 'Ninguno', 'baudrate': 'Ninguno'},
    'UART3': {'device': 'Ninguno', 'baudrate': 'Ninguno'}
}
interrupt_pin = Pin(23, Pin.OUT)
```

Funciones de configuración y señal de interrupción

Estas funciones manejan el envío de una señal de interrupción y la carga/guardado de configuraciones en un archivo JSON.

```
def send_interrupt_signal():
    interrupt_pin.on()
    time.sleep(0.1)
    interrupt_pin.off()

def save_config(config_dict):
    with open('config.json', 'w') as f:
        ujson.dump(config_dict, f)

def load_config():
    try:
        with open('config.json', 'r') as f:
            return ujson.load(f)
    except (OSError, ValueError):
        return {}
```

Inicialización de UART y pantalla OLED

Se cargan configuraciones almacenadas (si las hay), se inicializa UART2 y la pantalla OLED.

```
stored_configs = load_config()
if stored_configs:
    uart_configs.update(stored_configs)

uart2 = UART(2, baudrate=9600, tx=17, rx=16, rxbuf=1024)

i2c = SoftI2C(scl=Pin(22), sda=Pin(21))
oled_width = 128
oled_height = 64
oled = ssd1306.SSD1306.I2C(oled_width, oled_height, i2c)
```

Funciones para mostrar información en la pantalla OLED

Se definen funciones para mostrar texto y una barra de carga en la pantalla OLED. Luego se muestra un mensaje de bienvenida y una barra de progreso.

```
def show_centered_text(oled, text, y):
    width = len(text) * 8
    x = (oled_width - width) // 2
    oled.text(text, x, y)

oled.fill(0)
show_centered_text(oled, "Marine-Systems", 10)
oled.show()

def show_loading_bar(oled, progress):
    bar_width = 100
    bar_height = 10
    bar_x = (oled_width - bar_width) // 2
    bar_y = 30
    oled.rect(bar_x, bar_y, bar_width, bar_height, 1)
    fill_width = int(progress * bar_width)
    oled.fill_rect(bar_x, bar_y, fill_width, bar_height, 1)
    oled.show()

for i in range(11):
    show_loading_bar(oled, i / 10)
    show_centered_text(oled, "FW-1.0", 50)
    oled.show()
    time.sleep(0.05)

time.sleep(0.5)
```

Funciones para Manejar la Pantalla OLED

Se definen funciones para mostrar diferentes estados (espera y conexión) en la pantalla OLED.

```
def pantalla_espera():
    oled.fill(0)
    oled.text("Server-IP:", 0, 0)
    oled.text(ip_address, 0, 10)
    oled.text("Port:", 0, 20)
    oled.text(str(puerto), 0, 30)
    oled.text("Status:", 0, 40)
    oled.text("Waiting...", 0, 50)
    oled.show()

def pantalla_conectada():
    oled.fill(0)
    oled.text("Server-IP:", 0, 0)
    oled.text(ip_address, 0, 10)
    oled.text("Port:", 0, 20)
    oled.text(str(puerto), 0, 30)
    oled.text("Status:", 0, 40)
    oled.text("Connection-OK", 0, 50)
    oled.show()
```

Función para Decodificar URL

Esta función decodifica una URL reemplazando los caracteres codificados por sus correspondientes caracteres.

```
def url_decode(url):
    replacements = {
        '%20': ' ', '%21': '!', '%22': '"', '%23': '#', '%24': '$',
        '%25': '%', '%26': '&', '%27': "'", '%28': '(', '%29': ')',
        '%2A': '*', '%2B': '+', '%2C': ',', '%2D': '-', '%2E': '.',
        '%2F': '/', '%3A': ':', '%3B': ';', '%3C': '<', '%3D': '=',
        '%3E': '>', '%3F': '?', '%40': '@', '%5B': '[', '%5C': '\\',
        '%5D': ']', '%5E': '^', '%5F': '_', '%60': '`', '%7B': '{',
        '%7C': '|', '%7D': '}', '%7E': '~'
    }
    for k, v in replacements.items():
        url = url.replace(k, v)
    return url
```

Generación de página web de configuración

```
def web_page():
    if uart_reading:
        return """
        <html>
        <head>
            <meta content="width=device-width, initial-scale=1" name="viewport"></meta>
        </head>
        <body>
            <center><h2>Marine System Web Server</h2></center>
            <form action="/" method="get">
                <button type="submit" name="ChangeConfig" value="Change">Change config</button>
            </form>
            <h3>Current UART Configurations:</h3>
            <ul>
                <li><strong><u>UART0:</u></strong></u><br> Device: {}, Baudrate: {}</li><br>
                <li><strong><u>UART1:</u></strong></u><br> Device: {}, Baudrate: {}</li><br>
                <li><strong><u>UART2:</u></strong></u><br> Device: {}, Baudrate: {}</li><br>
                <li><strong><u>UART3:</u></strong></u><br> Device: {}, Baudrate: {}</li><br>
            </ul>
        </body>
        </html>
        """ .format(uart_configs['UART0']['device'], uart_configs['UART0']['baudrate'],
                    uart_configs['UART1']['device'], uart_configs['UART1']['baudrate'],
                    uart_configs['UART2']['device'], uart_configs['UART2']['baudrate'],
                    uart_configs['UART3']['device'], uart_configs['UART3']['baudrate'])
    else:
        html_page = """
        <html>
        <head>
            <meta content="width=device-width, initial-scale=1" name="viewport"></meta>
            <script>
                function disableBaudrate(deviceId) {
                    var deviceValue = document.getElementById('device' + deviceId).value;
```

```
var baudrateDropdown = document.getElementById('baudrate' + deviceId);
if (deviceValue === 'Ninguno') {
    baudrateDropdown.value = 'Ninguno';
    baudrateDropdown.disabled = true;
} else {
    if (baudrateDropdown.value === 'Ninguno') {
        baudrateDropdown.value = '4800';
    }
    baudrateDropdown.disabled = false;
}
```

8.5. Acerca de NMEA0183

NMEA 0183 es un estándar de interfaz que define los requisitos de las señales eléctricas, el protocolo, el tiempo de transmisión de datos, y los formatos de oraciones específicos para un bus de datos serie. Cada bus puede tener solo un emisor, pero muchos oyentes. Este estándar está destinado a admitir la transmisión de datos serie unidireccional desde un solo emisor a uno o más oyentes. Estos datos están en formato ASCII y pueden incluir información como tiempo, posición, velocidad, profundidad, etc.

Hay diferentes velocidades NMEA:

- 9600 baudios es la velocidad más baja de NMEA y es la más utilizada especialmente por plotters cartográficos, antenas GPS, instrumentos marinos, etc.
- 38400 baudios es utilizado principalmente por sistemas AIS tales como transpondedores AIS, receptores AIS, etc.
- 115200 baudios es la velocidad más alta de NMEA y se utiliza principalmente en barcos de competición para obtener una actualización rápida de los datos de navegación.



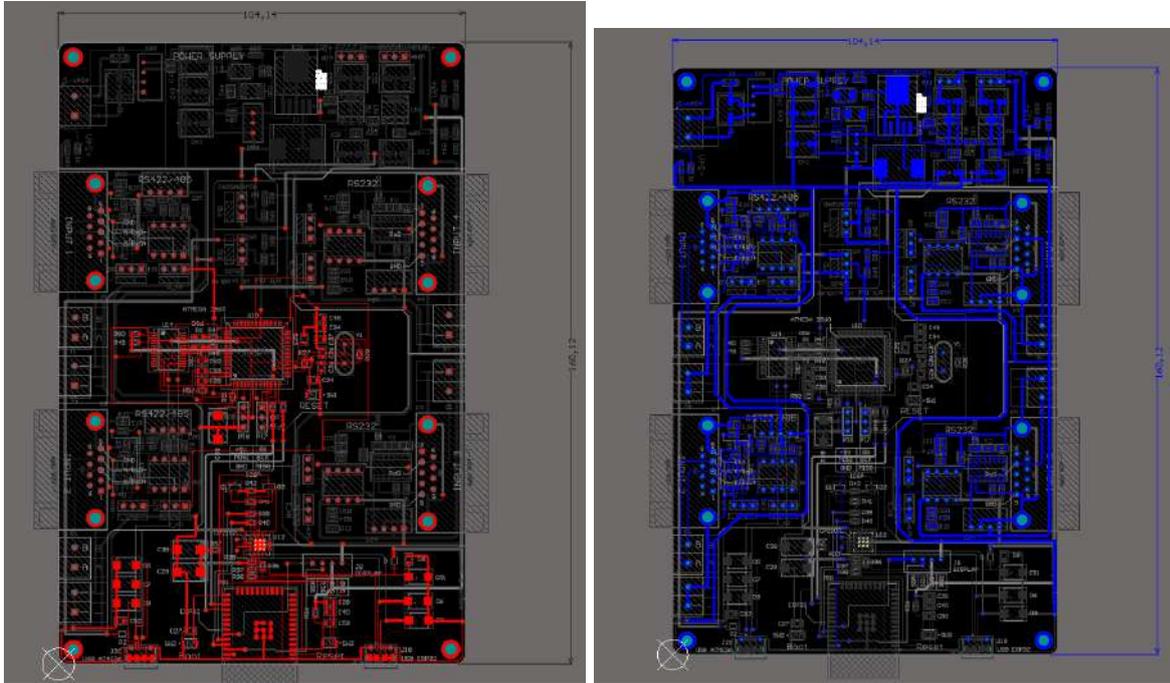
Figura 8.27: Logo NMEA 0183

8.6. BOM - Lista de Materiales

Designador	Valor	Tamaño	Descripcion	Cantidad
C1, C2, C21, C23, C30, C32, C42, C43	2.2uF x50v		Capacitor Electroлитico SMD	8
C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20, C22, C24, C25, C26, C27, C28, C31, C33, C34, C35, C36, C37, C38, C40, C41, C44, C49, C50, C51, C52, C53, C55, C56	100nF x16v	0805 (2012 Metric)	Capacitor Cerámico SMD	41
C29	22uF x16v	1210 (3225 Metric)	Capacitor Tantalio SMD	1
C39	10uF x35v	7343 (D)	Capacitor Tantalio SMD	1
D1	1N4007	SOD-123	Diodo Rectificador SMD	1
D3, D5, D6, D7, D8, D9	SMJ5.0	D0-214AA	Diodo TVS 5V SMD, Supresor de Transitorios	6
D10	SS34-A	DO-214AC	Diodo SMD	1
D, D2	1N5819	SOD-323	Diodo Schottky SMD	2
DS1, DS2, DS3, DS4, DS5, DS6, DS7, DS8	Led	0805 (2012 Metric)	Led SMD	8
F1			Porta Fusible	1
J1, J2, J3, J4, J5, J6, J7			Bornera 2 Contactos con tornillo	7
J8			Conector JST 4mm, 4 Pines, Hembra	1
J18, J20	Micro USB		Conector Micro USB	2
L1	470uH		Inductor Blindado SMD	1
L2	10uH	1008 (2520 Metric)	Inductor SMD	1
MD1	ESP32 Wroom 32	Modulo	Modulo ESP32	1
P1, P2, P3, P4			Ficha DB9 Hembra	4
P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19			Tira poste, 3 Pines	15
PS0	B1212S 3WR2	SIP-4 Module	Aisaldor DC-DC	1
PS1, PS2, PS3, PS4	B0505S	SIP-4 Module	Aisaldor DC-DC	4
Q1, Q2	SS8050-G	SOT-23	Transistor NPN SMD	2
Q3, Q4	BC848B	SOT-23	Transistor NPN SMD	2
R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11, R12, R13, R14, R15, R16, R17, R18, R19, R20, R21, R22, R23, R24, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R31, R32, R33, R34, R35, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42, R43, R44, R45, R46, R47, R48, R51, R52, R53, R54, R56, R57, R58, R59, R60, R61, R62, R63, R64	1KΩ	0805 (2012 Metric)	Resistencia SMD	61
R55	Trimmer 10KΩ		TRIMMER 10KΩ	1
SW1, SW2, SW3			Tactile Switch 2-Pin SMD	3
U1, U2	MAX232	SOIC-16	Conversor RS-232	2
U3, U4	MAX485	SOIC-8	Conversor RS-485/422	2
U5, U6, U7, U8	1N137	DIP-8	Octocoplador de Alta Velocidad	4
U9, U11	AMS1117	SOT-223	Regulador de Tension LDO	2
U10	ATMEGA2560	TQFP-100	Atmel Microcontrolador, 8 bit, 256 KByte, 8 MHz	1
U12	CP2102	QFN-28	USB to UART	1
U13	LM2596S	TO-263	Regulador de Tensión Step-Down	1
U14	FT232RL	SSOP-28	USB to UART	1
Y1	16Mhz		Cristal	1

8.7. PCB

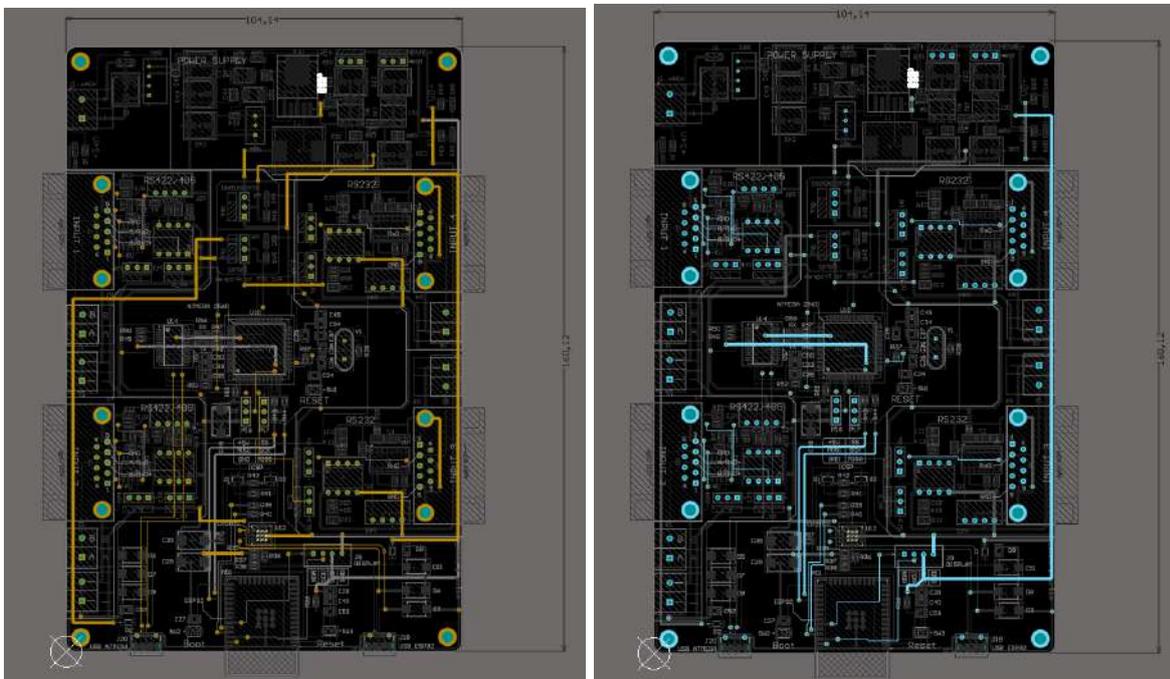
En la Figura 8.28, se muestran las cuatro capas que integran el PCB diseñadas en Altium Designer, sin los planos de GND de cada etapa para una mejor visualización.



(a) Capa superior

(b) Capa inferior

Figura 8.28: Capa superior e inferior



(a) Subcapa 1

(b) Subcapa 2

Figura 8.29: Capas internas