



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Diseño, validación e implementación de un dispositivo
electrónico programable modular.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

AUTOR/A: Quero Carboneras, Jose Manuel

Tutor/a: Orts Grau, Salvador

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

Este proyecto consiste en el desarrollo de un dispositivo electrónico programable modular, desde la concepción y el diseño hasta su validación y montaje.

El dispositivo se ha concebido como una plataforma de desarrollo para el aprendizaje de la programación de sistemas embebidos. La infraestructura del dispositivo se compone del cuerpo, que encapsula la PCB principal, la batería y la pantalla, y varios módulos adicionales que se conectan al cuerpo. Por medio de estos módulos se pueden expandir las capacidades funcionales del dispositivo.

La PCB principal se compone de un ESP32-S3-WROOM-2 como microcontrolador principal y un ATSAMD21 para gestionar el encoder y los LEDs. Además, integra una IMU, un slot para tarjetas micro SD, un micrófono, sistema de sonido, alimentación por batería y conectividad USB-C.

Por otro lado, los módulos diseñados son:

- Módulo de GPS y sensor BME280 (temperatura, humedad y presión atmosférica).
- Módulo de cámara con sensor OV5640.
- Módulo de desarrollo.

El dispositivo está enfocado a crear una plataforma de desarrollo en la que aprender a programar sistemas embebidos sea una tarea sencilla y divertida.

Agradecimientos

Gracias.

Gracias a mi madre y a mi hermano por apoyarme siempre en mis inventos.

Gracias a mi círculo cercano, por apoyarme, aguantarme y haber hecho quien soy hoy.

Y sobre todo gracias a todas las personas que he conocido en esta etapa, por haberme hecho crecer ya no solo como ingeniero, sino como persona.

Dedicatoria

Abuelo, te dedico este proyecto a ti.

Desde que era pequeño sabías que llegaría a ser ingeniero, y aquí estoy.

Gracias por seguir acompañandome todos los días.

Índice general

I Memoria	1
1. Objeto	3
2. Antecedentes	5
2.1. Sistemas Embebidos y placas de desarrollo	5
2.2. PCBs	7
2.3. Open Source Hardware	8
2.4. Proceso de Ciclo de Vida de Desarrollo de Productos	8
3. Estudio de necesidades	11
4. Soluciones alternativas y solución adoptada	13
4.1. Pantalla	14
4.2. Batería	14
4.3. PCB Principal	15
4.3.1. Microcontrolador Principal	15
4.3.2. Sistema de Audio	17
4.3.3. Micrófono	18
4.3.4. MicroSD Slot	19
4.3.5. Unidad de Medición Inercial	20
4.3.6. Leds, Endoder y ATSAMD	21
4.3.7. Sistema de Alimentación	22
4.4. Altavoz	24
4.5. Módulo de Cámara	24
4.5.1. Cámara	24
4.5.2. EEPROM	25
4.6. Módulo de Montaña	25
4.6.1. PA1010D	25
4.6.2. Sensor Ambiental	25
4.6.3. EEPROM	26

ÍNDICE GENERAL

4.7. Módulo Maker	26
5. Descripción detallada de la solución adoptada	27
5.1. Prueba de Concepto	27
5.1.1. Implementación de Módulos y componentes principales	30
5.1.2. Verificación de Módulos y Concepto	54
5.2. Pruebas de Validación de Ingeniería	56
5.2.1. USB-C	56
5.2.2. Sistema de Alimentación	57
5.2.3. Microcontrolador principal	63
5.2.4. Microcontrolador secundario	64
5.2.5. Encoder	65
5.2.6. Leds	65
5.2.7. Micrófono	66
5.2.8. Pantalla	66
5.2.9. Unidad de Medida Inercial	67
5.2.10. Tarjeta microSD	68
5.2.11. Sistema de audio	69
5.2.12. Conexión de los módulos externos	69
5.2.13. Módulo de cámara	70
5.2.14. Módulo de Montaña	73
5.2.15. Módulo de Desarrollo	74
5.2.16. Diseño del Layout	76
5.2.17. Verificación de la PCB	77
5.3. Pruebas de Validación del Diseño	77
5.3.1. Arreglo de fallos	77
5.3.2. Panelización de las tarjetas	79
5.4. Diseño mecánico	82
5.5. Influencias en el diseño del proyecto	82
5.5.1. Módulos	82
5.5.2. Diseño exterior	82
6. Objetivos de Desarrollo Sostenible	87
6.1. ODS 4: Educación de Calidad	87
6.2. ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura	87
6.3. ODS 12: Producción y Consumo Responsables	89
6.4. ODS 13: Acción por el Clima	89
6.5. ODS 17: Alianzas para Lograr los Objetivos	89
7. Conclusiones	91

ÍNDICE GENERAL

II Planos	93
8. Prueba de Concepto	95
8.1. Esquemático	95
8.2. Layout	109
9. Pruebas de Validación de Ingeniería	117
9.1. Esquemático	117
9.2. Layout	131
10. Pruebas de Validación del Diseño	143
10.1. Esquemático	143
10.2. Layout	157
11. Planos mecánicos	203
III Pliego de Condiciones	215
12. Objeto	217
13. Condiciones de los materiales	219
13.1. Descripción de los materiales principales	219
13.2. Control de calidad	219
14. Plazos y condiciones de entrega	221
14.1. Plazos	221
14.2. Condiciones de entrega	221
IV Presupuesto	223
V Anexos	227
Códigos	229
Hojas de Datos	231
Bibliografía	233

ÍNDICE GENERAL

Parte I

Memoria

1. Objeto

El presente Trabajo Final de Grado tiene como objetivo principal el diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular. Este dispositivo se concibe como una plataforma de desarrollo para la exploración y manejo de diversos componentes, tales como microcontroladores y sensores, facilitando la comprensión, programación y aplicación práctica de estos.

El proyecto no solo busca crear un dispositivo funcional, sino también proporcionar una plataforma versátil que pueda ser utilizada en diversos contextos educativos. La modularidad del dispositivo permite su adaptación y expansión mediante la incorporación de nuevos módulos con diferentes sensores y características, potenciando así sus capacidades funcionales.

CAPÍTULO 1. OBJETO

2. Antecedentes

2.1. Sistemas Embebidos y placas de desarrollo

Un sistema embebido es un sistema de computación dedicado a una función específica o a un conjunto de funciones dentro de un sistema más grande. A diferencia de los ordenadores de propósito general, los sistemas embebidos están diseñados para realizar tareas específicas, generalmente con restricciones de tiempo real.

Estos sistemas se encuentran en una amplia variedad de dispositivos, desde electrodomésticos y automóviles hasta equipos médicos y sistemas industriales.

Historia de los Sistemas Embebidos

Los sistemas embebidos han existido desde la década de 1960, cuando los primeros microcontroladores fueron desarrollados. Estos dispositivos eran utilizados en aplicaciones industriales y militares, y eran programados en lenguaje ensamblador.

En la década de 1970, la introducción de los microprocesadores como el Intel 4004 marcó un hito significativo, permitiendo el desarrollo de sistemas embebidos más pequeños y eficientes. Estos avances continuaron en la década de 1980 con la aparición de los microcontroladores, que integraban en un solo chip un procesador, memoria y periféricos, simplificando así el diseño y reduciendo costos.

Con el avance de la tecnología, los sistemas embebidos han evolucionado significativamente. Los microcontroladores se han vuelto más potentes y eficientes, lo que ha permitido la creación de dispositivos más complejos y sofisticados.

Además, el desarrollo de lenguajes de programación de alto nivel y entornos de desarrollo integrados (IDE) ha facilitado la programación de sistemas embebidos, permitiendo a los desarrolladores escribir código en lenguajes como C o C++ en lugar de lenguaje ensamblador.



Figura 2.1: Foto del Intel 4004.

Placas de Desarrollo

Las placas de desarrollo son herramientas esenciales en el diseño y la implementación de sistemas embebidos. Estas placas proporcionan una plataforma de hardware sobre la cual los desarrolladores pueden construir y probar sus aplicaciones embebidas. A continuación, se describen algunas de las placas de desarrollo más relevantes en la historia de los sistemas embebidos.

- Arduino: es una plataforma de hardware de código abierto basada en microcontroladores AVR de Atmel. Fue desarrollada en 2005 por el Instituto de Interacción de Diseño de Ivrea en Italia. Arduino se ha convertido en una de las placas de desarrollo más populares en la comunidad de sistemas embebidos debido a su facilidad de uso y su amplia gama de aplicaciones.
- Raspberry Pi: es una serie de computadoras de placa única (SBC) desarrolladas por la Fundación Raspberry Pi en el Reino Unido. La primera Raspberry Pi fue lanzada en 2012 y desde entonces se ha convertido en una de las SBC más populares del mercado. Raspberry Pi se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, desde proyectos educativos hasta sistemas de automatización industriales.
- Espressif: es una empresa china que desarrolla microcontroladores y módulos de comunicación inalámbrica basados en la arquitectura Xtensa de Tensilica. Espressif es conocida por su serie de microcontroladores ESP8266 y ESP32, que se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones IoT. En la actualidad fabrican procesadores más potentes y eficientes como el ESP32-S3.

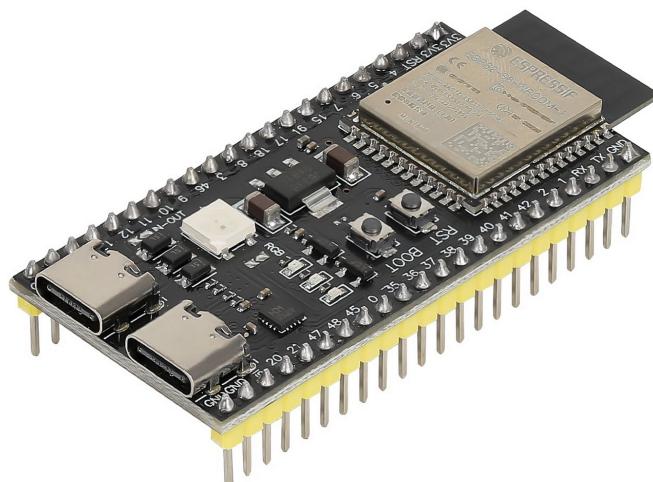


Figura 2.2: Foto del módulo de desarrollo ESP32-S3-DevKitC-1.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

Los sistemas embebidos y las placas de desarrollo han transformado significativamente el campo de la educación, facilitando el aprendizaje práctico de la programación, la electrónica y la ingeniería. A través de estas herramientas, los estudiantes pueden desarrollar habilidades técnicas y creativas que son esenciales en el mundo moderno.

2.2. PCBs

Las Placas de Circuito Impreso (PCBs, por sus siglas en inglés) son componentes esenciales en casi todos los dispositivos electrónicos modernos. Proporcionan una base física para la integración de componentes electrónicos y permiten la interconexión de estos componentes mediante pistas conductoras. La evolución de las PCBs ha sido fundamental en el desarrollo de la electrónica y ha permitido la miniaturización y mejora de la eficiencia de los dispositivos.

El concepto de PCB fue propuesto por primera vez por el inventor alemán Albert Hanson en 1903, quien patentó una placa de circuito que consistía en múltiples capas de láminas conductoras separadas por aislantes.

Así han ido evolucionado hasta llegar hoy en dia a tener la siguiente estructura:

- **Núcleo:** es la capa central de la PCB y proporciona la base estructural para la placa. Está compuesto por un material aislante, como FR-4 o poliimida, que proporciona rigidez y resistencia mecánica a la placa.
- **Capas de cobre:** son láminas de cobre que se adhieren a ambas caras del núcleo y se utilizan para crear las pistas conductoras de la PCB. Estas capas de cobre se aplican mediante un proceso de deposición química o laminación en caliente.
- **Máscara de soldadura:** es una capa de polímero que se aplica sobre las capas de cobre para proteger las pistas conductoras de la corrosión y facilitar la soldadura de los componentes electrónicos.
- **Serigrafía:** es una capa de tinta que se aplica sobre la máscara de soldadura para identificar los componentes y las pistas conductoras de la PCB. La serigrafía se utiliza para facilitar el montaje y la reparación de la placa.

Cogiendo esa base se pueden crear PCBs de diferentes tamaños y formas, con diferentes números de capas y con diferentes tecnologías.

Las PCBs se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde dispositivos electrónicos de consumo hasta sistemas industriales y aeroespaciales. Además, en la actualidad hay en empresas que se dedican a la fabricación de PCBs a muy bajo precio y con una calidad muy alta, como PCBWay o JLCPCB. Esto permite a los diseñadores amateurs de hardware prototipar y producir sus propios diseños de PCBs de manera rápida y económica.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

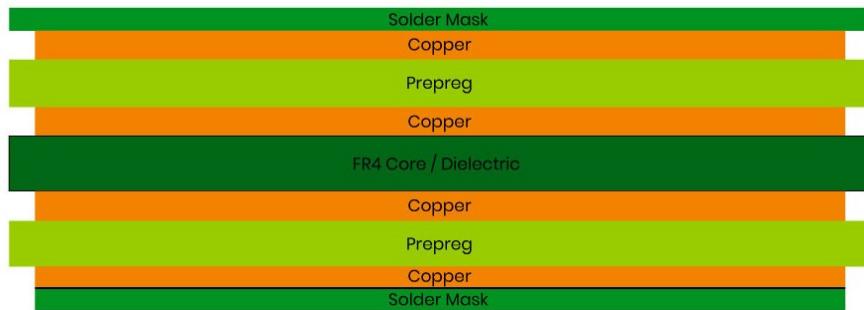


Figura 2.3: Estructura de una PCB de cuatro capas.

2.3. Open Source Hardware

El hardware de código abierto (Open Source Hardware, OSH) se refiere a los diseños de hardware cuyos planos y especificaciones son públicos. Esto permite a cualquier persona estudiar, modificar, distribuir y fabricar el hardware.

Similar al software de código abierto, el OSH promueve la colaboración y la innovación a través de la transparencia y el intercambio de conocimientos. Este movimiento ha ganado popularidad en las últimas décadas y ha influido significativamente en diversos campos, incluyendo la educación, la investigación y el desarrollo de productos.

La principal organización que promueve el hardware de código abierto es la Open Source Hardware Association (OSHWA). Esta organización define los principios y las prácticas del OSH y certifica los productos que cumplen con estos estándares.

Algunos ejemplos de proyectos de hardware de código abierto son Arduino, Opulo o Expressif.

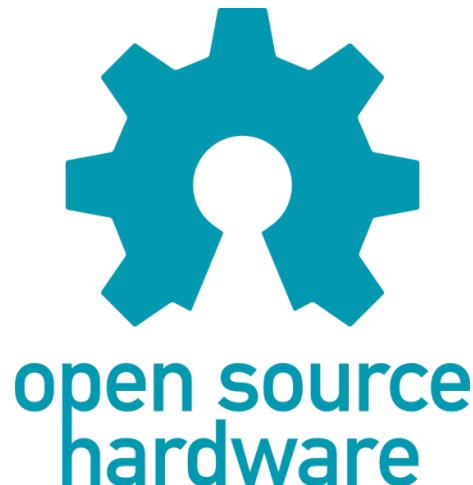


Figura 2.4: Logo de la Open Source Hardware Association.

2.4. Proceso de Ciclo de Vida de Desarrollo de Productos

El Proceso de Ciclo de Vida de Desarrollo de Productos (PDLC, Product Development Life Cycle) es una metodología estructurada que guía el desarrollo de

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

productos desde la concepción inicial hasta su retiro del mercado. Este proceso es fundamental para asegurar que los productos cumplan con los requisitos del mercado, sean de alta calidad y se desarrolle de manera eficiente y rentable.

El PDLC abarca múltiples etapas, cada una con actividades específicas y entregables. En este TFG se han incluido las siguientes etapas del PDLC:

- **Concepción y Planificación:** en esta etapa se definen los objetivos y requisitos del proyecto. Además se genera una lluvia de ideas para el diseño del producto.
- **Diseño y Desarrollo:** en esta etapa se definen los requisitos funcionales y técnicos del producto. Además se genera un documento de especificaciones que guiará el desarrollo del producto. Se crean modelos y prototipos iniciales para validar conceptos y explorar alternativas de diseño. A esta fase se la denomina Prueba de Concepto (POC, Proof of Concept).
- **Desarrollo y Pruebas:** se hace un diseño detallado del producto y se desarrolla un prototipo funcional. Además, se realizan pruebas para asegurar que cumple con las especificaciones iniciales. Esta fase se puede dividir en:
 - **EVT (Engineering Validation Test):** se centra en validar los aspectos fundamentales del diseño del producto y asegurar que todos los componentes y sistemas funcionen conforme a las especificaciones técnicas iniciales. En esta etapa se construyen los primeros prototipos funcionales completos del producto y se identifican y corriente problemas de diseño que podrían afectar la funcionalidad del producto.
 - **DVT (Design Validation Test):** se enfoca en validar que el diseño final del producto no solo funcione según lo previsto, sino que también cumpla con los estándares de calidad y las expectativas del usuario final. En esta etapa se construyen los prototipos que son prácticamente idénticos a la versión final del producto. También incluye la optimización de los procesos de fabricación para asegurar que el producto pueda ser producido de manera eficiente y con alta calidad.

El Proceso de Ciclo de Vida de Desarrollo de Productos ha evolucionado significativamente desde sus primeras aplicaciones hasta convertirse en una metodología esencial en diversas industrias. Su enfoque estructurado y adaptable permite a las empresas desarrollar productos de alta calidad, que satisfacen las necesidades del mercado y se lanzan de manera eficiente.

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

3. Estudio de necesidades

El objetivo de este proyecto es diseñar, validar y montar un dispositivo electrónico programable modular. Para garantizar el éxito del proyecto, es crucial identificar y comprender las necesidades que deben ser satisfechas. Estas necesidades abarcan tanto los requisitos técnicos del dispositivo como las expectativas y demandas de los usuarios finales. A continuación, se presenta un análisis detallado de las necesidades del proyecto.

Necesidades funcionales

- **Programabilidad:** el dispositivo debe ser programable, permitiendo a los usuarios cargar y ejecutar diferentes programas según sus necesidades. Esto incluye la posibilidad de actualizar y modificar el software del dispositivo de manera sencilla.
- **All-In-One:** el dispositivo debe integrar todas las funcionalidades necesarias para el desarrollo de proyectos electrónicos, incluyendo un microcontrolador versátil, sensores básicos y entradas y salidas para la interacción con el usuario.
- **Modularidad:** el dispositivo debe ser modular, permitiendo la adición o sustitución de módulos según las necesidades del usuario.
- **Compatibilidad con futuros sensores y módulos:** el dispositivo debe ser compatible con futuros diseños de módulos y sensores, permitiendo a los usuarios expandir las capacidades del dispositivo a medida que surjan nuevas tecnologías y aplicaciones. Estos módulos se han de fabricar y diseñar siguiendo unos requerimientos electrónicos y mecánicos.
- **Conectividad:** el dispositivo debe contar con opciones de conectividad, como USB-OTG, Wi-Fi o Bluetooth, para facilitar el aprendizaje de distintos sistemas de comunicación.
- **Portabilidad:** el dispositivo tiene que estar continuamente alimentado con batería, pudiéndose además conectar un USB para cargar la batería y alimentar

CAPÍTULO 3. ESTUDIO DE NECESIDADES

el dispositivo simultáneamente. Esto permitirá que el dispositivo sea portátil y no se necesite una fuente de alimentación externa. Además se tiene que poder encender y apagar a través de un único botón.

- **Compatibilidad:** el dispositivo debe ser compatible con una amplia variedad de lenguajes de programación y entornos de desarrollo, permitiendo a los usuarios programar el dispositivo con las herramientas que prefieran.

Necesidades de Usuario

- **Facilidad de uso:** los usuarios deben poder utilizar el dispositivo de manera sencilla y sin necesidad de conocimientos técnicos avanzados. Así su diseño mecánico debe ser ergonómico y fácil de manipular.
- **Interfaz física amigable:** el dispositivo debe incluir entradas y salidas para que el usuario pueda interactuar con el dispositivo de manera intuitiva.
- **Sencillez:** los módulos deben de ser fáciles de conectar y desconectar, permitiendo a los usuarios modificar el dispositivo de manera rápida y sencilla sin necesidad de herramientas especiales.

Necesidades de Producción

- **Fabricabilidad:** el diseño del dispositivo debe ser optimizado para la fabricación en masa. Esto incluye la selección de componentes activos en el mercado y la consideración de procesos de ensamblaje eficientes.
- **Facilidad de montaje:** el dispositivo debe ser fácil de montar y ensamblar, permitiendo a los fabricantes producir el dispositivo de manera rápida y sin complicaciones.
- **Calidad:** el dispositivo debe ser robusto y confiable, cumpliendo con unos estándares de calidad y durabilidad requeridos para su uso en entornos educativos.

El éxito del proyecto depende de la identificación y satisfacción de estas necesidades. Un enfoque integral que considere estas necesidades va a garantizar que el dispositivo final no solo cumpla con las expectativas técnicas, sino que también sea bien recibido por los usuarios finales.

Este análisis de necesidades servirá como base para guiar el desarrollo del proyecto y asegurar su éxito.

4. Soluciones alternativas y solución adoptada

Para la elección de componentes se ha seguido una serie de criterios que se detallan a continuación:

- **Disponibilidad en breakouts:** una “breakout board” es una PCB que incluye un componente en concreto y que permite su uso y conexión de manera sencilla. Este concepto ha sido muy importante en la etapa de la Prueba de Concepto, ya que ha permitido probar los componentes de manera rápida y sencilla, además de probar su conexión y compatibilidad con el microprocesador y el resto de componentes. Por ello se ha tenido en cuenta que estos estuvieran disponibles en el mercado en forma de breakout. En la figura 4.1 se puede ver un ejemplo de breakout del GPS PA1010D.

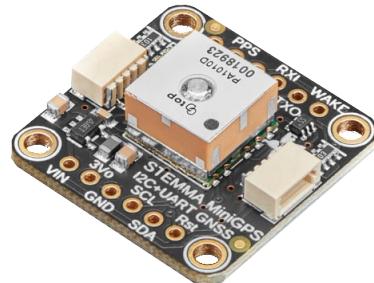


Figura 4.1: Breakout del GPS PA1010D.

- **Documentación, librerías y ejemplos:** este criterio ha sido muy importante a la hora de elegir los componentes. Se ha optado por componentes que tuvieran una amplia documentación y ejemplos de uso, ya que esto facilita su posterior implementación y programación.
- **Disponibilidad en el mercado:** se ha optado por componentes activos y disponibles en el mercado, ya que esto facilita su adquisición y reduce los costes del proyecto.

- **Estandarización:** se ha reducido al máximo el número de componentes diferentes, para reducir la lista de componentes (BOM, Bill of Materils) y facilitar la fabricación. Esto se ha hecho por ejemplo en el tamaño de resistencias y condensadores, que se han elegido de tamaños de 0402 y 0603. También para los breakouts se ha optado por usar todos de la marca Adafruit, ya que son ampliamente utilizados en la comunidad de sistemas embebidos y tienen una amplia documentación y ejemplos de uso.

4.1. Pantalla

La pantalla es uno de los componentes más importantes del dispositivo, ya que permite a los usuarios interactuar con el dispositivo y visualizar la información de los programas.

En la etapa de la Prueba de Concepto se ha probado la usabilidad de dos pantallas distintas, una de 2.4 pulgadas y otra táctil de 2 pulgadas. Las dos pantallas usan tecnología de Transistor de Película Fina (TFT, Thin Film Transistor), tienen una resolución de 320x240 píxeles y se controlan mediante el driver ST7789. Sin embargo, la pantalla de 2.4 pulgadas no incorpora tecnología táctil, lo que limita la interacción con el dispositivo.

Además de la tecnología táctil, la pantalla de 2 pulgadas es más compacta y robusta, ya que incorpora una capa de vidrio que protege la pantalla de arañazos y golpes.

Por esta razón, se ha optado por integrar la pantalla táctil de 2 pulgadas en el dispositivo, ya que ofrece una mejor experiencia de usuario y una mayor versatilidad en la interacción con él.

4.2. Batería

La batería es otro componente esencial del dispositivo, ya que proporciona la energía necesaria para su funcionamiento. Este Trabajo no tiene como objetivo explicar las distintas tecnologías de baterías, pero se puede decir que las baterías de polímero de litio son una de las tecnologías más usadas en dispositivos portátiles por su alta densidad energética y su compacto tamaño.

Las baterías de polímero de litio tienen un voltaje de trabajo entre 3.0V y 4.2V, lo que las hace ideales para alimentar dispositivos electrónicos. Además, son recargables y tienen una vida útil de varios cientos de ciclos de carga y descarga.

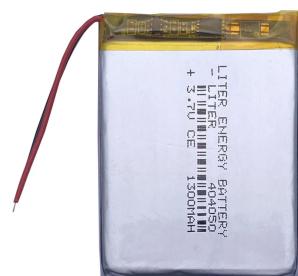


Figura 4.2: Foto de la batería de Liter seleccionada.

Existen varios modelos de baterías LiPo en el mercado, según su capacidad y tamaño, como el modelo 504070 de 2000mAh de la marca Liter o el modelo 404050 de esta misma marca, que es la que se ha elegido. Esta batería tiene una capacidad de 1300mAh y un tamaño de 40x40x5mm, lo que la hace ideal para el diseño compacto del dispositivo. En la Figura 4.2 se puede ver esta batería.

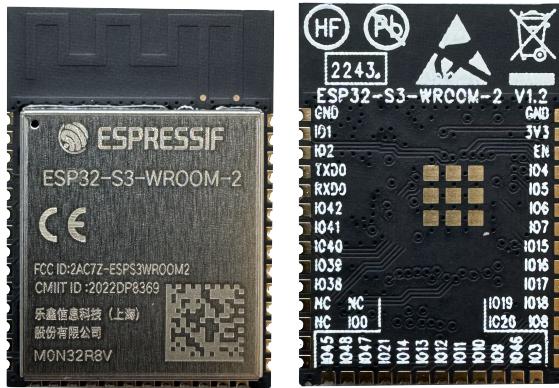
4.3. PCB Principal

4.3.1. Microcontrolador Principal

En la enseñanza de sistemas embebidos se utilizan mayoritariamente microcontroladores de tres marcas distintas: STMicroelectronics, Microchip y Espressif.

- **STM32 de STMicroelectronics** es una familia de controladores de 32 bits basada en el núcleo ARM Cortex-M. Estos microcontroladores son muy populares en el mundo de los sistemas embebidos por su potencia y documentación. Sin embargo, su programación es más compleja que la de otros microcontroladores y se necesita una base de conocimientos más amplia para programarlos. Además, no tienen conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada.
- **ATSAMD de Microchip** es otra familia de microcontroladores de 32 bits basada en el núcleo ARM Cortex-M. Estos microcontroladores son muy populares en el mundo de la electrónica y se utilizan en placas de desarrollo de Arduino, por lo que tiene una gran cantidad de documentación y ejemplos de uso. Sin embargo, estos microcontroladores no tienen conectividad Wi-Fi y Bluetooth integrada y sus pines no tienen mucha capacidad de adaptabilidad a distintas situaciones.
- **ESP32-S3 de Espressif** el cual se ha optado por implementar en este proyecto debido a su amplia gama de funcionalidades y su potencia. Además, en vez de implementar directamente el empaquetado, se ha optado por implementar el módulo ESP32-S3-WROOM-2 de la Figura 4.3. Este módulo incluye los componentes necesarios para el funcionamiento del micróprocesador, además de una antena y un chip de memoria flash integrados. De igual forma, el uso de este módulo ha facilitado su montaje en la PCB.

CAPÍTULO 4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS Y SOLUCIÓN ADOPTADA



(a) Vista superior. (b) Vista inferior.

Figura 4.3: Módulo ESP32-S3-WROOM-2.

En concreto, se ha implementado el modelo ESP32-S3-WROOM-2-N32R8V, cuyas principales características son:

- Procesador Xtensa LX7 de doble núcleo, pudiendo llegar a una frecuencia de 240MHz.
- Memorias de 8MB de PSRAM interna y flash externa de 32 MB.
- Conectividad Wi-Fi 802.11 b/g/n y Bluetooth 5.0.
- 45 GPIOs programables.
- Voltaje de trabajo de 3.0V a 3.6V.
- Certificación RoHS y REACH.
- Integración con multitud de periféricos, como I2C, SPI, UART o I2S. En la Figura 4.4 se puede ver un diagrama de bloques del ESP32-S3-WROOM-2 donde se pueden ver los distintos periféricos que incluye.

Además de las características técnicas, se ha optado por este módulo por su integración con multitud de frameworks y lenguajes de programación. Es compatible su programación con todo el ecosistema de Arduino y también con opciones más nuevas que están saliendo como micropython o circuitpython.

Su punto más positivo es que la propia marca Espressif proporciona un SDK de desarrollo propio, el ESP-IDF, que permite un control total del microprocesador y de sus periféricos. Además, este SDK es de código abierto y tiene un amplio número de ejemplos y documentación, lo que facilita su uso y aprendizaje.

CAPÍTULO 4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS Y SOLUCIÓN ADOPTADA

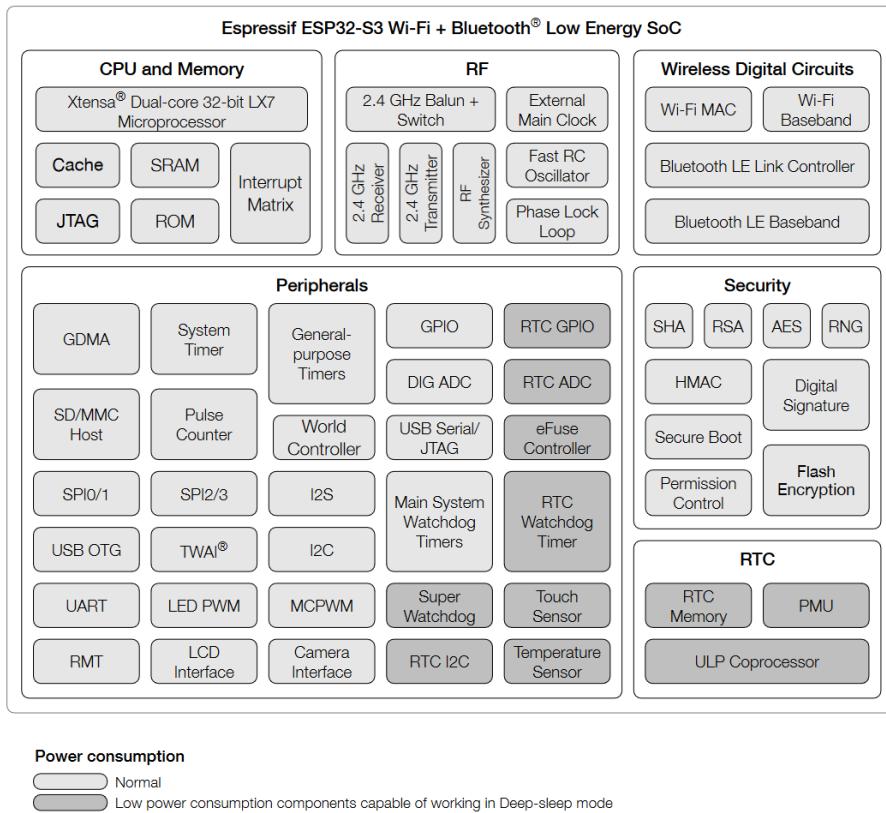


Figura 4.4: Diagrama de bloques del ESP32-S3-WROOM-2.

4.3.2. Sistema de Audio

Para dotar al dispositivo de capacidades de audio las principales opciones que existen son usar un buzzer o un altavoz.

Existen dos tipos de buzzer, los pasivos y los activos. Los buzzers pasivos son más sencillos de implementar ya que se controlan directamente con un pin del microprocesador, pero suelen ofrecer una calidad de sonido limitada. Por otro lado, los buzzers activos, aunque también son fáciles de implementar, proporcionan una mejor calidad de sonido al tener un oscilador interno que genera el tono. Sin embargo, ambos tipos de buzzer tienen aplicaciones limitadas ya que solo pueden emitir un único tono, lo que limita su uso en entornos educativos.

Por ello se ha optado por implementar un altavoz, ya que da más posibilidades de programación y aprendizaje.

Para implementar un altavoz en un sistema embebido hay varias opciones, conectarlo directamente al microprocesador o usar un amplificador de audio.

Para no sobrecargar el microprocesador se ha optado por usar un integrado externo que se encargue de amplificar la señal de audio. Siguiendo los criterios de elección de componentes se han propuesto dos opciones, el MAX98357 de la marca

CAPÍTULO 4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS Y SOLUCIÓN ADOPTADA

Analog Devices y el TPA2012 de la marca Texas Instruments. Ambos integrados son muy similares siendo su principal diferencia la forma de controlarlos. El MAX98357 se controla mediante comunicación I2S, mientras que el TPA2012 se controla mediante 4 señales, R+ y R- para el canal derecho y L+ y L- para el canal izquierdo.

Se ha optado por implementar el MAX98357 por la facilidad de comunicarse con él mediante I2S y por tener más documentación y ejemplos de uso.

Su voltaje de entrada es de 2.5V a 5.5V, teniendo una potencia máxima de salida de 1.3W a 4 ohmios y 3.3V y de 0.8W a 8 ohmios y 3.3V. Esta información se tendrá en la selección del altavoz, en la sección Altavoz 4.4.

Este integrado funciona mediante comunicación I2S (Inter-IC Sound), un protocolo de comunicación utilizado para transmitir datos de audio digital entre dispositivos integrados. Este protocolo es ideal en aplicaciones de audio donde se requiere una alta calidad de sonido y una baja latencia. Se compone de tres líneas de comunicación:

- **Serial Data Line (SD):** es la línea de datos que se utiliza para transmitir la información de audio.
- **Word Select Line (WS) o LRCK (Left-Right Clock):** Señal que indica si los datos actuales pertenecen al canal izquierdo o derecho del audio estéreo.
- **Serial Clock Line (SCK) o BCLK (Bit Clock):** Señal de reloj que se utiliza para sincronizar la transmisión de datos de audio.

En la Figura 4.5 se puede ver un diagrama de tiempos de la comunicación I2S.

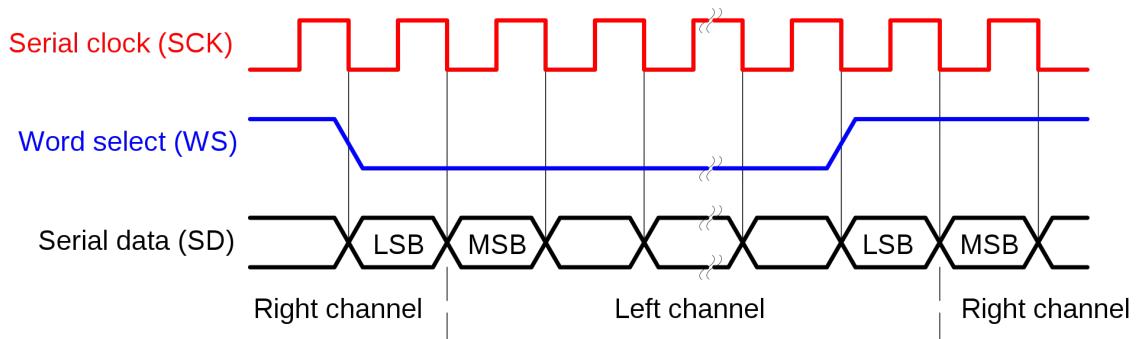


Figura 4.5: Diagrama de tiempos de la comunicación I2S.

4.3.3. Micrófono

Existen varias tecnología de micrófonos disponibles, como los micrófonos de condensador o los micrófonos Electret. Pero para este proyecto se ha implementado un

tipo de micrófono ampliamente utilizado en la electrónica de consumo, los micrófonos MEMS (Micro Electro-Mechanical Systems). Estos micrófonos son muy pequeños y ofrecen una alta calidad de sonido, por lo que se incluyen en móviles, tablets y otros dispositivos portátiles.

Además, aprovechando que se ha optado por usar comunicación I2S para el amplificador de audio, se ha buscado un micrófono que también use esta comunicación, ya que las líneas de *Word Select* y *Serial Clock* se pueden compartir.

Existen varios modelos, la mayoría muy similares como el SPH0645LM4H de Knowles o el ICS-43434 de InvenSense. Se ha optado por implementar el ICS-43434 por el soporte y la calidad que ofrece la marca InvenSense.

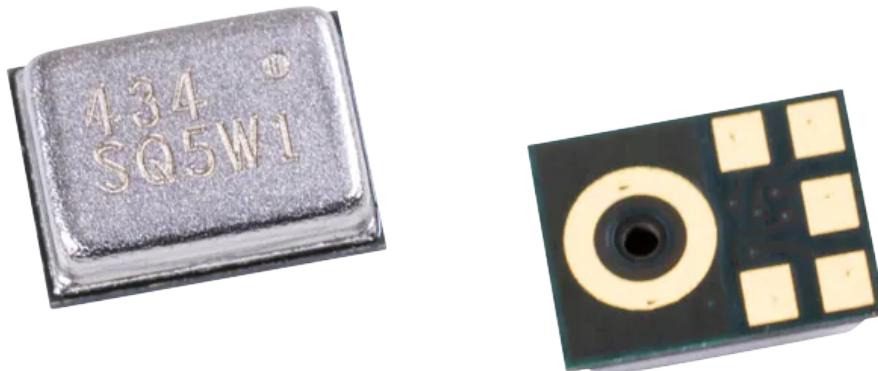


Figura 4.6: Foto del micrófono ICS-43434 de InvenSense.

4.3.4. MicroSD Slot

Una de las características más importantes de los sistemas embebidos es la capacidad para gestionar archivos de manera eficiente. Para su aprendizaje se ha implementado una ranura para tarjetas MicroSD.

Las tarjetas MicroSD proporcionan una solución de almacenamiento externa compacta y mucho más económica que un chip integrado de memoria flash. Estas tarjetas permiten almacenar desde gigabytes hasta terabytes (las más modernas) y son compatibles con sistemas de archivo estándares como FAT32 o exFAT.

En un sistema embebido una ranura para tarjetas microSD se puede utilizar para una variedad de aplicaciones:

- **Almacenamiento de datos:** se pueden almacenar desde datos de sensores, archivos de configuración o archivos generados por el usuario.
- **Almacenamiento de archivos multimedia:** se pueden almacenar y reproducir archivos de audio, video o imágenes.

- **Copias de seguridad y restauración:** se pueden realizar copias de seguridad de los datos del dispositivo y restaurarlos en caso de fallo.

Generalmente, se utilizan dos protocolos distintos para comunicar la microSD con el microcontrolador, dependiendo de la velocidad de transferencia y la cantidad de pines que se quieran utilizar:

- **SPI (Serial Peripheral Interface):** Es un protocolo de comunicación serie síncrono que permite la transferencia de datos entre dispositivos a través de cuatro líneas de comunicación: *Master In Slave Out (MISO)*, *Master Out Slave In (MOSI)*, *Serial Clock (SCK)* y *Chip Select (CS)*. Este protocolo es más lento que SDIO, pero requiere menos pines y es más fácil de implementar.
- **SDIO (Secure Digital Input Output):** Es una extensión de la especificación de tarjetas SD que permite la transferencia de datos a alta velocidad y proporciona capacidades adicionales. SDIO utiliza una interfaz de comunicación de 6 pines: CMD, CLK, DAT0, DAT1, DAT2, DAT3.

La utilización de SPI es la forma más ampliamente utilizada y la que más se adapta a las necesidades de este proyecto.

4.3.5. Unidad de Medición Inercial

Una Unidad de Medición Inercial (IMU, Inertial Measurement Unit) es un componente que mide y reporta la velocidad, orientación y fuerzas gravitacionales de un objeto. Se ha decidido implementar una IMU en el dispositivo para permitir a los usuarios experimentar y aprender sobre la física de los movimientos y la orientación.

Existen varios tipos de IMUs, pero en general encapsulan los siguientes sensores:

- **Acelerómetro:** mide la aceleración lineal a lo largo de uno o más ejes. Se utiliza para detectar cambios en la velocidad y dirección del movimiento.
- **Giróscopo:** mide la velocidad angular y la rotación alrededor de uno o más ejes. Se utiliza para determinar la orientación y detectar movimientos de rotación.
- **Magnetómetro:** mide el campo magnético a lo largo de uno o más ejes, permitiendo la detección de la dirección con respecto al campo magnético terrestre (actúa como una brújula).

Los datos que sacan cada uno de los sensores por separado son útiles, pero la sinergia entre ellos es lo que hace que una IMU sea tan potente. Por ejemplo, un acelerómetro puede medir la aceleración lineal, pero no puede determinar la orientación del objeto. Por otro lado, un giróscopo puede medir la velocidad angular,

CAPÍTULO 4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS Y SOLUCIÓN ADOPTADA

pero no puede determinar la posición del objeto por lo que combinando ambos sensores se puede determinar la orientación completa del objeto.

Existen varios integrados como el ICM-20948 de TDK InvenSense o el LSM6DS33 de STMicroelectronics que son muy populares. Sin embargo, para la fusión de los datos de estos sensores se utilizan algoritmos de filtrado y fusionado como el filtro de Kalman o el filtro de Madwick por lo que el uso de estos algoritmos puede ser complejo de entender y programar. Por esta razón, se ha optado por implementar la IMU BNO085.

La IMU BNO085, desarrollada por CEVA Hillcrest Laboratories, es una IMU que integra un acelerómetro triaxial, un giroscopio triaxial y un magnetómetro. Pero además integra un 32-bit ARM® Cortex™-M0+ para manejar y procesar las lecturas de los sensores. Lleva grabado un firmware que fusiona los datos y devuelve las lecturas tanto tratadas como sin tratar, además de otras clasificaciones como detector de pasos, conteo de pasos, detector de vibraciones o detector de golpes.

Soporta varias interfaces de comunicación con el microcontrolador: I²C, UART, SPI y UART-RCV. Se ha optado por usar comunicación I²C por su facilidad de uso.

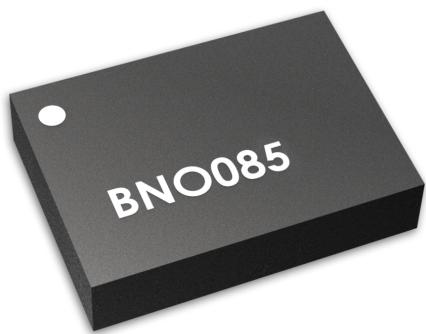


Figura 4.7: Foto de la IMU BNO085.

4.3.6. Leds, Endoder y ATSAMD

Para la implementación de la interfaz con el usuario, se ha optado por utilizar un encoder rotativo junto con una serie de LEDs. Esta elección permite una interacción intuitiva y visual con el dispositivo, facilitando tanto el control como la retroalimentación inmediata para el usuario.

Se ha optado por un encoder de 24 pulsos por revolución, ya que ofrece un buen equilibrio entre precisión y velocidad de rotación. Además, se ha optado por un encoder con pulsador integrado para facilitar la interacción con el dispositivo. La Figura 4.8a es el encoder rotativo PEC11R-4215F-S0024 de la marca Bourns que se ha implementado.

Para la implementación de los LEDs, se ha optado por utilizar Neopíxeles en lugar de LEDs comunes de un solo color. Los Neopíxeles son LEDs RGB que incorporan un chip de memoria, permitiendo el control individual del color de cada LED. Estos se gestionan a través de comunicación serie, uniéndolos en cadena y conectando el primer LED a un pin de salida del microcontrolador.

Para conseguir un efecto visual atractivo se han implementado 24 Neopíxeles en forma de anillo alrededor del encoder. En la Figura 4.8b se puede ver el SK6812-EC3210F de la marca Adafruit que se ha implementado.



Figura 4.8: Componentes para la interfaz con el usuario.

Para la gestión de estos componentes se ha implementado un microcontrolador Microchip de la familia ATSAMD. Este microcontrolador se ha programado con un framework de código abierto llamado Seesaw, que convierte al microcontrolador en un dispositivo I²C esclavo del ESP32-S3. Este framework soporta los microcontroladores ATSAMD09 y ATSAMD21.

De esta forma toda la gestión del encoder y los Neopíxeles se hace automáticamente dentro del ATSAMD, liberando al ESP32-S3 de esta tarea y liberando pines. Para leer la posición del encoder o cambiar el color de un LED, desde el ESP32-S3 se usan funciones incluidas en librerías ya creadas y probadas.

Para la fase de la Prueba de Concepto (POC) se ha implementado el ATSAMD09D14A, pero para la fase de Pruebas de Validación de Ingeniería (EVT) y posterior se ha sustituido por el ATSAMD21G18A ya que con el primero se ha tenido problemas de falta de memoria.

4.3.7. Sistema de Alimentación

Una de las necesidades funcionales del proyecto ha sido que el dispositivo esté continuamente alimentado por una batería, pudiendo además conectar un USB para simultáneamente cargar la batería y alimentar el dispositivo. Además, para que se pueda encender y apagar el dispositivo mediante un botón se ha tenido que implementar un circuito dedicado para esta tarea. Todo el sistema de alimentación se puede dividir en cuatro bloques:

- **Gestión de la batería:** para la gestión de la batería se han implementado dos integrados. Por un lado se ha implementado un integrado que se encargue de cargar la batería. Para esta tarea existen varios integrados como el MCP73831

CAPÍTULO 4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS Y SOLUCIÓN ADOPTADA

o el MCP73833 de la marca Microchip. Se ha optado por implementar este último por ser un modelo más nuevo y superior.

Por otro lado, se ha implementado un integrado que se encargue de monitorizar la batería y reportar información sobre su estado a través de comunicación I²C. Para esta tarea existen varios modelos como el LC709203F de la marca ON Semiconductor o el MAX17048G de la marca Maxim Integrated. Se ha optado por implementar el MAX17048G por ser más económico y de menor tamaño.

- **Selector de bus de alimentación:** este bloque se encarga de seleccionar la fuente de alimentación del dispositivo, dependiendo de si se conecta un USB o no. En la sección 5.2 EVT se explica qué circuito se ha implementado, los componentes utilizados y cómo funciona.
- **Circuito de encendido/apagado suave:** este bloque se encarga de encender y apagar el dispositivo de manera suave, evitando picos de corriente y protegiendo los componentes.

Su funcionamiento consiste en, una vez pulsado el botón del encoder, se activa el bloque momentáneamente dejando pasar corriente y encendiéndolo el ESP32-S3. Inmediatamente el ESP32-S3 bloquea el paso de corriente configurando un GPIO como pull-up y poniéndolo a 1. En el momento en el que se quiera apagar el dispositivo solo hace falta configurar el GPIO poniéndolo a 0. De igual forma en la sección Pruebas de Validación de Ingeniería 5.2 se explica cómo se ha implementado.

- **Regulador a 3.3V:** una vez seleccionada la fuente de alimentación y encendido el dispositivo, se necesita una fuente de alimentación estable a 3.3V para alimentar el ESP32-S3 y el resto de componentes. Para ello se ha implementado un regulador de tensión conmutado NCV6324BMTAATBG, de la marca onsemi, consiguiendo en su salida un voltaje de 3.3V continuo y una corriente máxima de 2A para alimentar los componentes. Se ha implementado un regulador conmutado debido a que la caída de tensión entre su entrada y su salida es mínima. En la sección Pruebas de Validación de Ingeniería 5.2 se explica cómo se ha implementado.

Se ha descartado la implementación de un regulador lineal (LDO, Low Drop Out) debido a la caída de tensión que presentan entre su entrada y su salida a altas corrientes, lo que los hacen ineficientes y reduce la duración de encendido del dispositivo. Esto ocurre debido a que, estableciendo un rango de trabajo de la batería entre 4.2V y 3.0V, si usamos un LDO con una caída de tensión de 300mV a 2A, el voltaje de trabajo de la batería se reduciría hasta 3.3V.

4.4. Altavoz

Como se ha visto en la subsección Sistema de Audio 4.3.2 se ha optado por implementar un altavoz en el dispositivo usando el integrado MAX98357. La elección de un altavoz ha venido restringida por dos factores:

- **Tamaño y forma:** se ha seleccionado un altavoz ovalado de tamaño 15 x 10 mm. Existe otro tamaños como 13 x 18 mm o 24 x 15 pero se han descartado por no ajustarse al diseño del dispositivo.
- **Impedancia y potencia:** el altavoz seleccionado tiene una potencia de 8 ohmios y una potencia nominal de 1W. Esta restricción ha venido impuesta por el integrado MAX98357 y cumple con las especificaciones de este.

4.5. Módulo de Cámara

Hoy en día las cámaras son un componente esencial en cualquier dispositivo electrónico. Además, cada día se están implementando en más proyectos de sistemas embebidos y proyectos de IoT. Por ello se ha optado por diseñar un módulo de cámara para que los usuarios puedan experimentar y aprender cómo funcionan.

4.5.1. Cámara

Existen multitud de sensores disponibles en el mercado, como el OV2640 que tiene una resolución de 1600 x 1200 píxeles o el OV7670 que tiene una resolución de 640 x 480 píxeles. El criterio de selección principal ha sido la documentación y el número de proyectos existentes. El modelo que destaca por encima de todos es el sensor OV5640 de la marca OmniVision, teniendo una resolución de 2592 x 1944 píxeles.

Este sensor necesita tres buses de alimentación, 1.8V, 2.8V y 3.3V, usa una interfaz de comunicación de 8 bits para transmitir los datos capturados por el sensor y se conecta a través de I²C con el microprocesador.

Hay varios modelos de cámaras que integran el sensor OV5640 y se ha elegido implementar la cámara de la Figura 4.9 que permite controlar el enfoque. Sin embargo, cualquier cámara que integre el sensor OV5640 es compatible con este módulo ya todas usan la misma forma y número de pines del cable FPC.

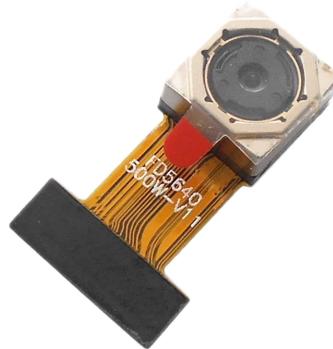


Figura 4.9: Cámara con sensor OV5640.

4.5.2. EEPROM

Cada módulo lleva integrado una EEPROM para identificarlo en el momento en el que se conecte en el dispositivo. De esta forma se puede saber qué módulo se ha conectado para configurar el ESP32-S3 de manera adecuada. Se ha optado por implementar la EEPROM DS28E07P+ de la marca Analog Devices. Este integrado tiene una memoria de 1024 Bits y se organiza en cuatro páginas de 256 bits cada una. Además, utiliza un protocolo llamado 1-Wire, que permite la comunicación con el microprocesador a través de un único cable.

4.6. Módulo de Montaña

El diseño de este módulo se ha pensado para usarlo en actividades al aire libre, como senderismo. Esto puede ser de gran utilidad para que los usuarios puedan aplicar los conceptos aprendidos en situaciones reales, motivando así su aprendizaje. Para ello en este módulo se ha optado por implementar dos sensores, un GPS y un sensor ambiental que mide temperatura, humedad y presión atmosférica.

4.6.1. PA1010D

Existen varias opciones de GPS disponibles en el mercado según sus características: antena integrada o con antena externa, redes de satélites soportadas, tamaño e interfaz de comunicación con el microprocesador. Los modelos más usados en proyectos de Hardware Libre son el PA1616D, el PA1010D y el NEO-6M. Para este módulo, el principal criterio de selección ha sido el tamaño, por lo que se ha elegido el módulo PA1010D de la marca CDTOP. Este módulo lleva la antena integrada, soporta las redes GPS GLONASS y Galileo, y se comunica con el microprocesador a través de I²C con el microprocesador. En la Figura 4.1 se puede ver el GPS.

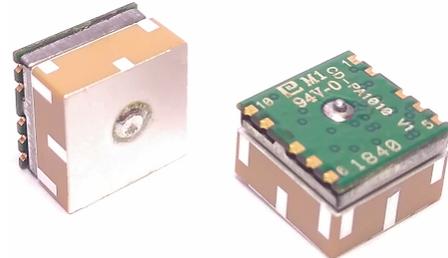


Figura 4.10: Módulo PA1010D.

4.6.2. Sensor Ambiental

Existen multitud de sensores ambientales disponibles, midiendo cada uno distintas magnitudes. Se ha optado por implementar uno que mide temperatura, humedad y presión atmosférica, ya que son las magnitudes ambientales más características. Para ello hay disponibles varias opciones en el mercado como el BME688, MS8607 o el



Figura 4.11: Sensor BME280.

CAPÍTULO 4. SOLUCIONES ALTERNATIVAS Y SOLUCIÓN ADOPTADA

BME280. La diferencia entre ellos es mínima y se basa en la precisión de las medidas y el rango de trabajo. Para mantener un balance entre precio y prestaciones se ha optado por implementar el sensor BME280 de la marca Bosch, que se comunica a través de I²C con el microprocesador. En la Figura 4.11 se puede ver el sensor BME280.

4.6.3. EEPROM

De igual forma, se ha implementado una EEPROM DS28E07P+ en este módulo para identificarlo en el momento en el que se conecte en el dispositivo.

4.7. Módulo Maker

Este módulo está enfocado en los usuarios que ya tienen una base de electrónica y que quieren explorar el uso de otros sensores y componentes. El diseño de este módulo es muy simple, ya que solo tiene dos conectores para poder conectar cables a las señales que vienen del ESP32-S3 y del ATSAMD. Además, como en los otros módulos, se ha implementado una EEPROM DS28E07P+ para identificarlo en el momento en el que se conecte.

5. Descripción detallada de la solución adoptada

5.1. Prueba de Concepto

Esta fase del proyecto ha consistido en validar la Prueba de Concepto inicial (POC, Proof of Concept) y se ha realizado una lista de requerimientos que se deben cumplir para validar el correcto funcionamiento de los distintos componentes:

- **Microcontrolador principal:** se requiere que se pueda cargar un programa en el ESP32-S3 a través de USB-OTG. Además que los distintos buses de comunicación como I²C o SPI que conectan los distintos componentes funcionen correctamente.
- **Pantallas:** se requiere que se puedan probar dos pantallas distintas y que se pueda mostrar un texto en ellas.
- **Cámara:** se requiere que se pueda capturar una imagen o video con la cámara, además de que su conexión con el ESP32-S3 funcione correctamente.
- **MicroSD:** se requiere que se pueda leer y escribir en la tarjeta MicroSD usando un archivo de prueba. Además que su conexión con el ESP32-S3 por SPI funcione correctamente.
- **PA1010D:** se requiere que se pueda leer la posición del módulo y que se pueda configurar el módulo. Además que su conexión con el ESP32-S3 por I²C funcione correctamente.
- **BME280:** se requiere que se pueda leer la temperatura, humedad y presión atmosférica del módulo. Además que su conexión con el ESP32-S3 por I²C funcione correctamente.
- **MAX98357:** se requiere que se pueda controlar el volumen del altavoz y que se pueda reproducir un archivo de prueba. Además que su conexión con el ESP32-S3 por I²S funcione correctamente. La validación de este componente

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

sirve también para validar el funcionamiento del micrófono ya que usan la misma interfaz de comunicación.

- **BNO085:** se requiere que se pueda leer la orientación del módulo y que se pueda configurar el módulo. Además que su conexión con el ESP32-S3 por I²C funcione correctamente.
- **Supply:** se requiere la integración del MAX17048G para monitorizar la batería y que se pueda leer su estado. Además la integración del MCP73833 para cargar la batería y que se pueda leer su estado de carga.
- **EEPROM:** se requiere que se pueda leer la información de la EEPROM y que se pueda identificar su ID en el momento en el que se conecte en el dispositivo.
- **LEAT:** se requiere que se pueda leer la posición del encoder y que se pueda cambiar el color de los Neopíxeles. Además que su conexión con el ESP32-S3 por I²C funcione correctamente y que las funciones de Seesaw se puedan usar.

La forma de probar las conexiones entre distintos componentes ha sido mediante el uso mayoritario de módulos breakouts de la marca Adafruit. La Figura 5.1 es un renderizado de la PCB que se ha diseñado y en la que se insertan estos módulos.

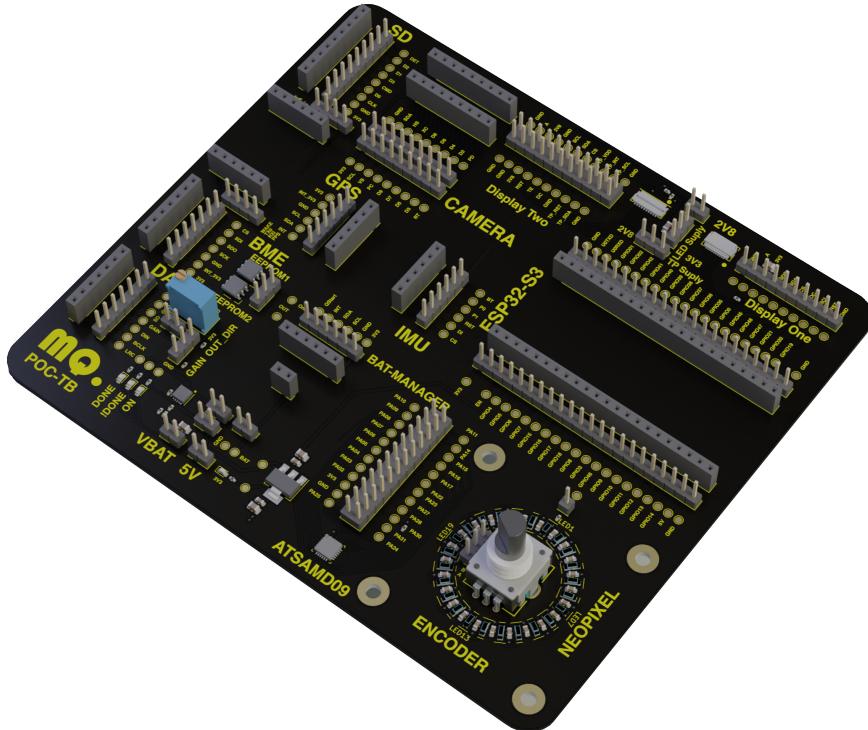


Figura 5.1: Render de la PCB del POC.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Mediante cables externos como los que se ven en la Figura 5.2 se pueden ir probando distintas conexiones y comprobar que los componentes funcionan correctamente tanto de manera individual como en conjunto.

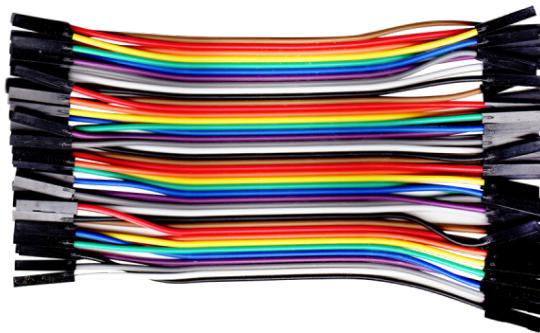


Figura 5.2: Cables para conectar los módulos.

Se ha diseñado la PCB de dos capas con un tamaño de 140x120 mm. Se ha optado por este tamaño para que quepan todos los módulos y que sea fácil de manejar y transportar. En el parte de los Planos II se encuentran los esquemáticos y el layout completo de la placa. Sin embargo, a continuación se ha detallado la implementación de los distintos módulos y componentes.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

5.1.1. Implementación de Módulos y componentes principales

Los módulos de prueba elegidos para probar los componentes son de la marca Adafruit, reconocida en el mundo de los sistemas embebidos por su calidad y ofrecer documentación detallada. Sin embargo hay otros componentes que se han implementado directamente soldandolos en la placa.

Microcontrolador Principal

Para la implementación y prueba del ESP32-S3-WROOM-2 se ha optado por usar la placa de desarrollo de la propia marca Espressif, la ESP32-S3-DevKitC-1-N32R8V. Esta placa lleva todos los componentes necesarios para poder usar el ESP32-S3-WROOM-2 y además tiene un conector USB-OTG para poder cargar el programa. En la Figura 5.3 se puede ver la placa.

Para su implementación en la placa se han añadido dos conectores hembra de 2x22 pines (Figura 5.4a) donde se inserta la placa y otros conectores machos de 2x22 pines donde se conectan los cables externos (Figura 5.4b). Además se han añadido Test Points a las señales para poder medir señales o soldar cables.

Por la parte del layout, se ha optado por poner la placa de desarrollo en un lateral de la PCB para que sea fácil de conectar y desconectar el USB. En la Figura 5.5 se observa cómo se han conectado los distintos pines mediante pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación.

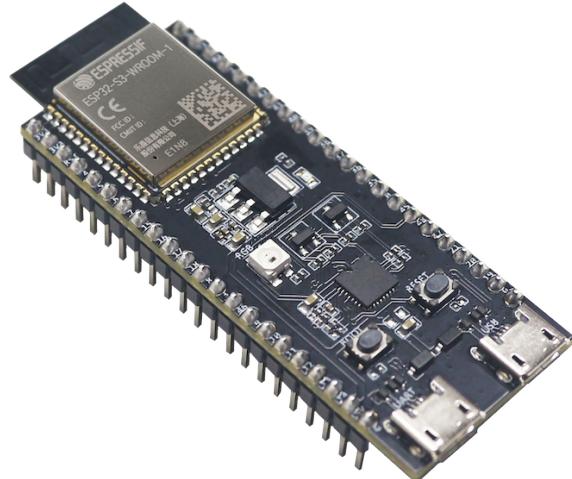
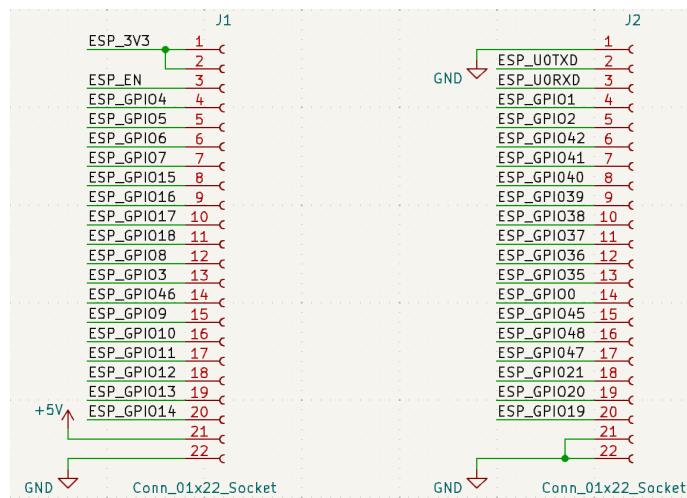
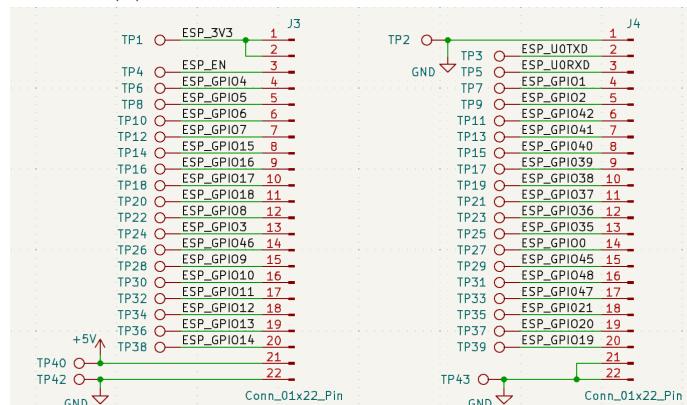


Figura 5.3: ESP32-S3-DevKitC-1.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA



(a) Esquemático del conector hembra.



(b) Esquemático del conector macho.

Figura 5.4: Conectores para el ESP32-S3.

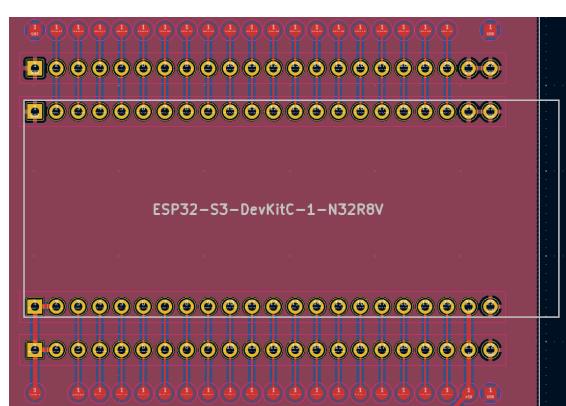


Figura 5.5: Layout del ESP32-S3-DevKitC-1-N32R8V

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Pantalla de 2.4 pulgadas sin táctil

En la Figura 5.6 se ve la pantalla TFT de 2.4 pulgadas que se ha utilizado. Se ha elegido esta pantalla por ser un tamaño muy utilizado en proyectos de electrónica.



Figura 5.6: Foto de la pantalla de 2.4 pulgadas sin táctil.

Utiliza el driver ST7789 y usa un cable FPC de 10 pines para su conexión. En la Tabla 5.1 se puede ver el pinout del cable FPC.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
GND	VCC	SDA	SCK	CS	RESET	BL_A	BL_K	NC	RS

Tabla 5.1: Pinout del cable FPC.

Para su implementación se ha optado por utilizar un conector FPC donde se inserta el flex de la pantalla. Se ha usado el conector 1-2328702-0 de la marca TE Connectivity y se ha unido mediante pistas a otro conector macho de 2x5 pines para conectar los cables externos.

Además se han añadido Test Points a las señales para poder medirlas o soldar cables. En la Figura 5.6 se puede ver los esquemáticos diseñados, donde C30 y C31 son condensadores de desacoplo y R13 se utiliza para limitar la corriente de los leds de retroiluminación.

En cuanto al layout se ha utilizado el enfoque de la Figura 5.8 para colocar los componentes de la pantalla usando pistas de 0,25 mm.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

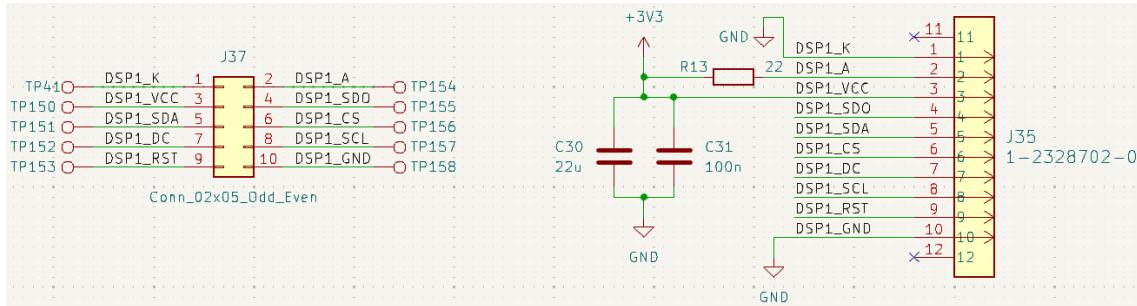


Figura 5.7: Esquemático de los componentes para la pantalla de 2.4 pulgadas.

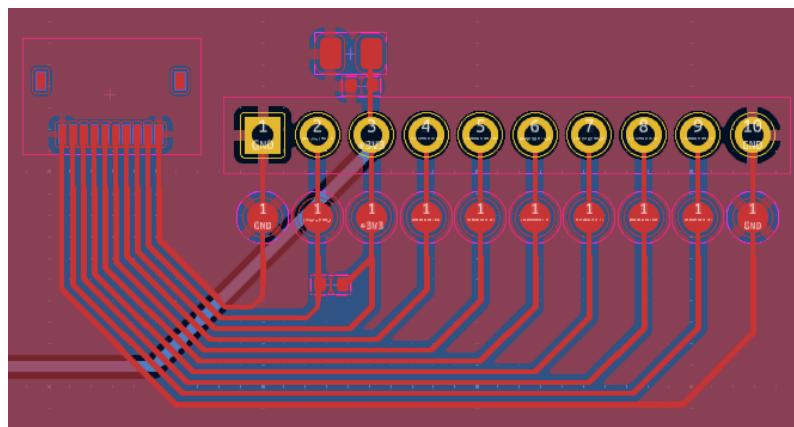


Figura 5.8: Layout de los componentes para la pantalla de 2.4 pulgadas.

Pantalla 2 pulgadas con táctil

En la Figura 5.9 se ve la pantalla TFT de 2 pulgadas que se ha utilizado. A diferencia de la anterior, esta incluye una pantalla táctil capacitiva y un cristal sobre la pantalla.

Utiliza el mismo driver ST7789 y el controlador CST816D para la pantalla táctil. Además usa un cable FPC de 21 pines para su conexión por lo que se ha optado por implementar el conector FH35C-21S-0.3SHW(50) de la marca Hirose para conectar el flex a la PCB.

De igual forma, se han usado pistas de 0,25 mm para conectar este conector a uno macho de 2x11 pines para conectar cables externos. En la Tabla 5.2 se puede ver el pinout del cable FPC.

En la Figura 5.10 se puede ver los esquemáticos diseñados. Los condensadores C32, C33, C34 son de desacoplo y R14 se utiliza para limitar la corriente de los leds de retroiluminación. Además, se ha añadido el conector J39, J40 y J41 para hacer pruebas de alimentación entre 2.8V y 3.3V.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA



Figura 5.9: Foto de la pantalla de 2 pulgadas con táctil.

1	2	3	4	5	6	7
GND	BL_K	BL_A	GND	VCC	VCC	GND
8	9	10	11	12	13	14
RST	SCL	TE	SDA	RS	CS	GND
15	16	17	18	19	20	21
TP_VDD	TP_RST	TP_INT	TP_SDA	TP_SCL	GND	GND

Tabla 5.2: Pinout del cable FPC.

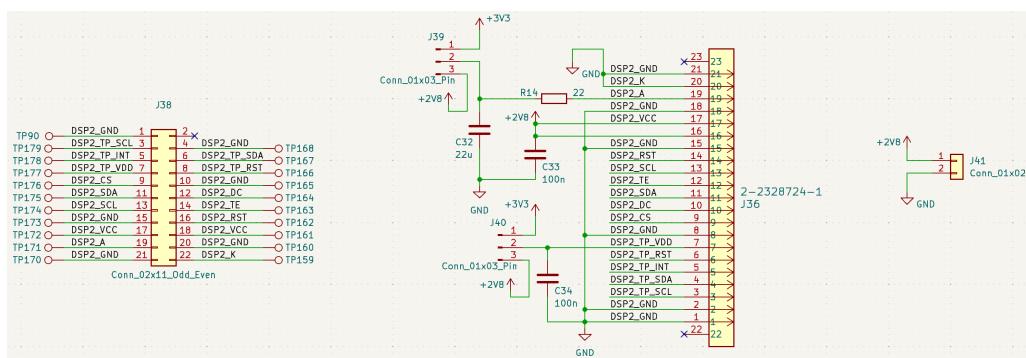


Figura 5.10: Esquemático de los componentes para la pantalla de 2 pulgadas.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

En cuanto al layout se ha utilizado el enfoque de la Figura 5.11 para colocar los componentes de la pantalla usando pistas de 0,25 mm.

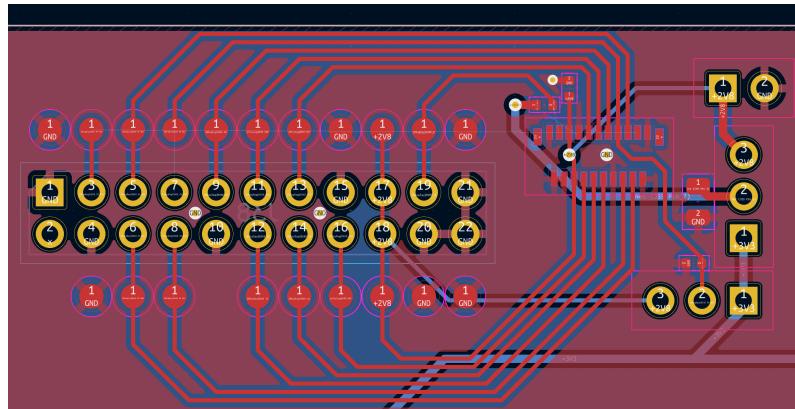


Figura 5.11: Layout de los componentes para la pantalla de 2 pulgadas.

Cámara OV5640

Para probar el sensor OV5640 se ha optado por usar el módulo de prueba de la marca Adafruit de la Figura 5.12.



Figura 5.12: Módulo de prueba del sensor OV5640.

Este sensor se alimenta a 3.3V y se utilizan los siguientes pines para su conexión:

- **PD (powerdown):** es un pin opcional y se utiliza de modo que cuando se pone a en alto se apaga el sensor y cuando esta en bajo se enciende.
- **RT (reset):** es un pin opcional que se utiliza para resetear el sensor. Cuando se pone en bajo se reinicia el sensor y cuando se pone en alto se activa.
- **SCL y SDA:** son los pines de I²C que se utilizan para la configuración del sensor.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

- **XC (external clock):** si no se quiere usar el reloj implementado en el módulo, se puede utilizar este pin para conectar un reloj externo de 24MHz.
- **PC (pixel clock):** este pin informa al microcontrolador de cuando hay una nueva imagen disponible.
- **VS y HS:** son los pines de sincronización vertical y horizontal.
- **D0-D7:** son los pines de datos de la imagen.

Para su conexión, en la tarjeta se han implementado dos conectores hembra de 1x9 donde se inserta el módulo y otros dos conectores machos de 1x9 para conectar los cables externos. Además se han añadido Test Points a las señales para poder medirlas o soldar cables. En la Figura 5.13 se puede ver los esquemáticos diseñados.

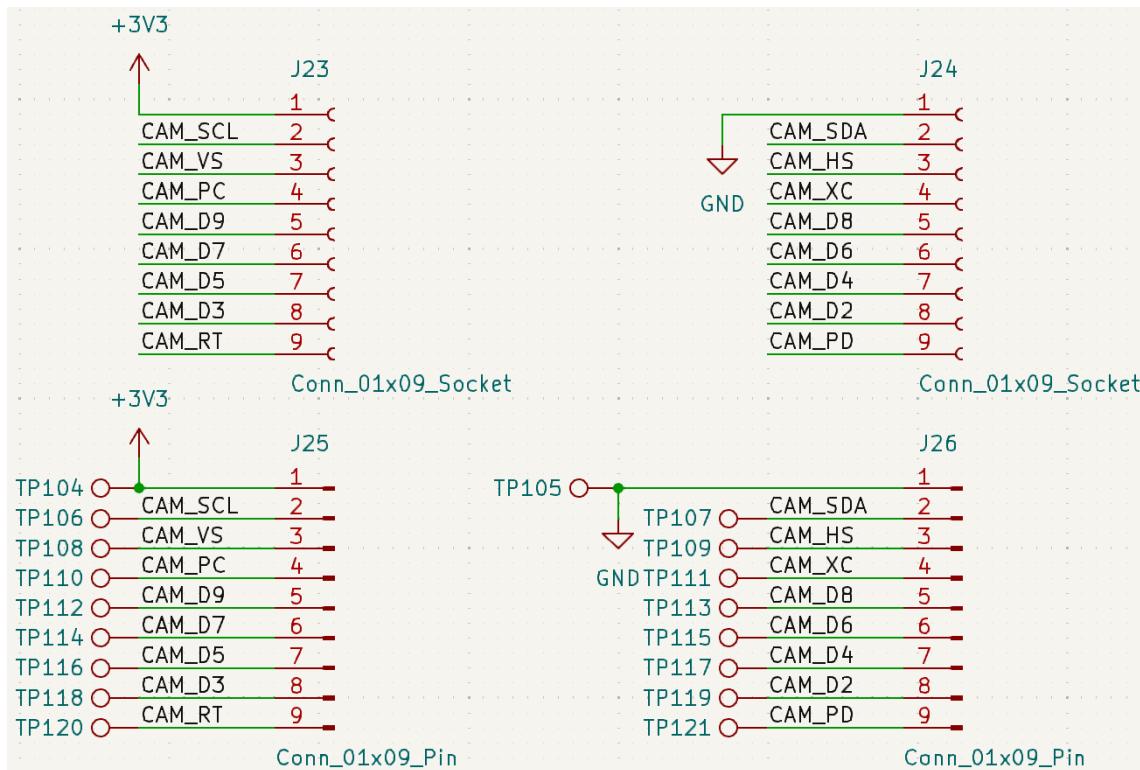


Figura 5.13: Esquemático de los componentes para la cámara OV5640.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Para el layout se han usado pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación. En la Figura 5.14 se puede ver cómo se han conectado los distintos pines del módulo.

MicroSD

Para implementar la microSD se ha optado por usar el módulo de prueba de la marca Adafruit de la Figura 5.15. Este módulo lleva un conector para la tarjeta microSD y los siguientes pines para su conexión tanto SPI como por SDIO:

- **CLK:** es el reloj del SPI o el Serial Clock del SDIO.
- **SO/D0:** es el pin de entrada de datos del SPI (Microcontroller In Serial Out, MISO) o el Data 0 del SDIO.
- **SI/CMD:** es el pin de salida de datos del SPI (Microcontroller Out Serial In, MOSI) o el Command del SDIO.
- **CS/D3:** es el pin de selección del SPI o el Data 3 del SDIO.
- **D1:** es el pin de datos 1 del SDIO.
- **D2:** es el pin de datos 2 del SDIO.
- **DET:** este pin detecta cuando se inserta una microSD. Cuando no hay tarjeta insertada esta conectado a GND y cuando se inserta se pone a 3.3V.

Para la conexión del módulo, se ha implementado en la tarjeta un conector hembra de 1x9 pines donde se inserta el módulo y otro conector macho de 1x9 pines para conectar los cables externos. Además se han añadido Test Points a las señales para poder medirlas o soldar cables. En la Figura 5.16 se puede ver los esquemáticos diseñados.

En cuanto al layout, se han usado pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación. En la Figura 5.17 se puede ver cómo se han conectado los distintos pines del módulo.

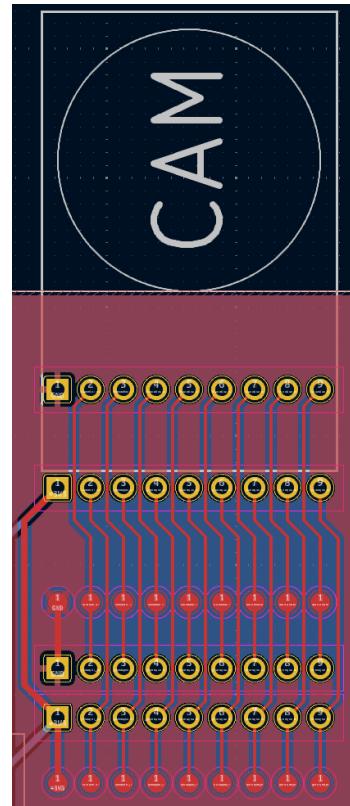


Figura 5.14: Layout de los componentes para la cámara OV5640.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA



Figura 5.15: Módulo de prueba de la MicroSD.

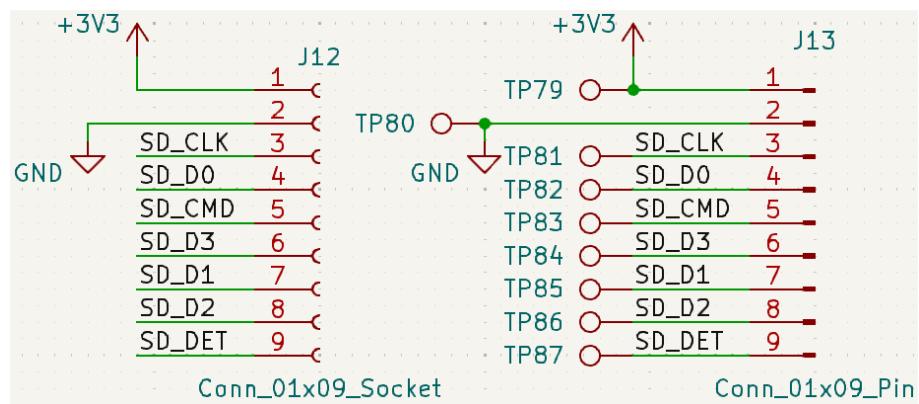


Figura 5.16: Esquemático de los componentes para la microSD.

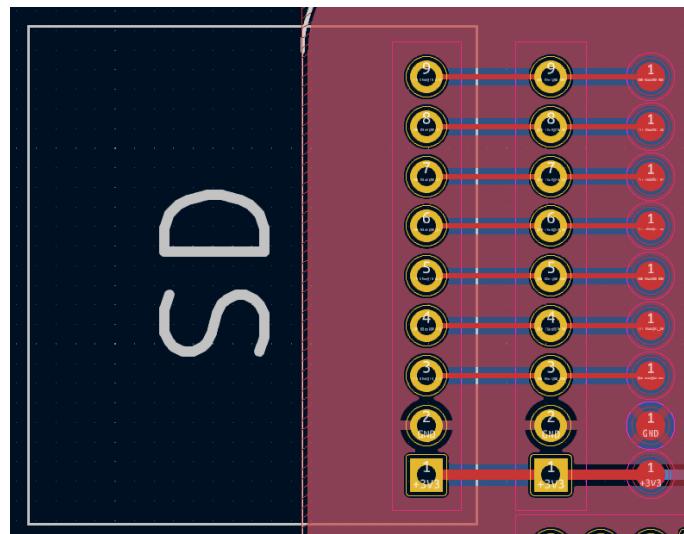


Figura 5.17: Layout de los componentes para la microSD.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

GPS PA1010D

Se ha implementado el módulo GPS PA1010D usando el módulo de Adafruit de la Figura 5.18. Se alimenta a 3.3V y usa los siguientes pines para su funcionamiento:

- **SCL y SDA:** son los pines de I²C que se utilizan para comunicarse con el microcontrolador.
- **RST:** es el pin de reset del módulo. El módulo se reinicia cuando se pone a 0.
- **PPS:** este pin da un pulso de 1Hz cuando el módulo tiene una posición válida.
- **Wake:** este pin se utiliza para despertar el módulo de su modo de bajo consumo.
- **TX0 y RXI:** son los pines de comunicación por UART.

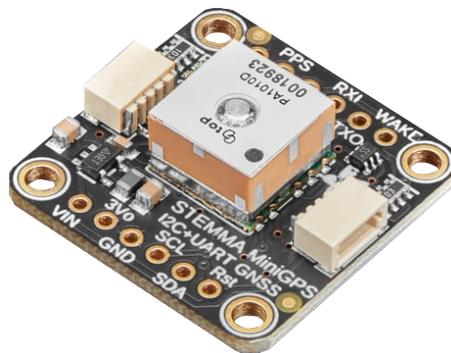


Figura 5.18: Módulo de prueba del GPS PA1010D.

Se han implementado dos conectores hembras de 1x6 pines donde se inserta el módulo y otros dos conectores machos de 1x4 pines para conectar los cables externos. Además se han añadido Test Points a las señales para poder medirlas o soldar cables. En la Figura 5.19 se puede ver los esquemáticos diseñados.

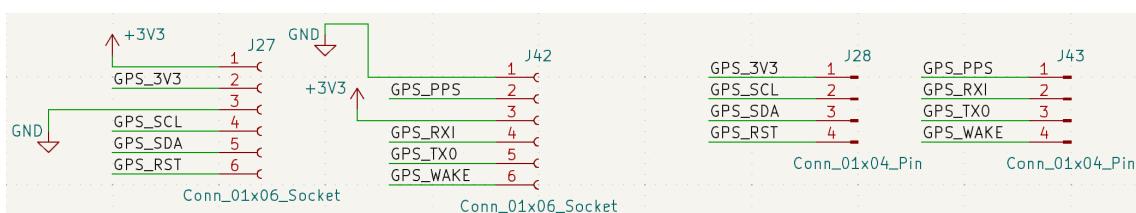


Figura 5.19: Esquemático de los componentes para el GPS PA1010D.

Para el layout, se han usado pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación. En la Figura 5.20 se puede ver cómo se han conectado los distintos pines del módulo.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

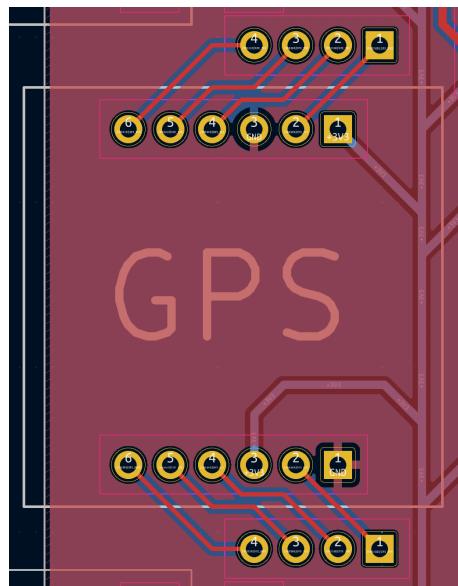


Figura 5.20: Layout de los componentes para el GPS PA1010D.

Sensor BME280

Para implementar el sensor BME280 se ha optado por usar el módulo de prueba de la marca Adafruit de la Figura 5.21. Este módulo se puede controlar tanto por I²C como por SPI y usa los siguientes pines para su funcionamiento:

- **SCK:** es el pin de reloj del SPI o del I²C.
- **SDO:** este pin es el MISO (Master In Slave Out) del SPI y es por donde se envian los datos al microcontrolador.
- **SDI:** este pin es el MOSI (Master Out Slave In) del SPI o el SDA del I²C y es por donde se reciben los datos del microcontrolador.
- **CS:** es el pin de selección del SPI.

De igual forma, se ha implementado un conector hembra de 1x7 pines donde se inserta el módulo y otro conector macho de 1x7 pines para conectar los cables externos. Además se han añadido Test Points a las señales para poder medirlas o soldar cables. En la Figura 5.22 se puede ver los esquemáticos diseñados.

En el layout, se han usado pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación. En la Figura 5.23 se puede ver cómo se han conectado los distintos pines del módulo.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

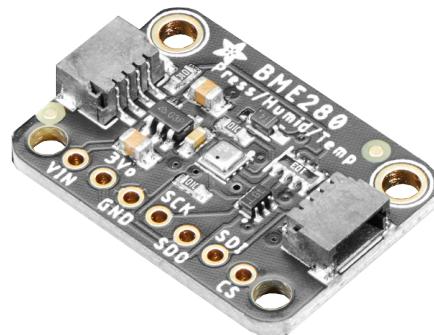


Figura 5.21: Módulo de prueba del sensor BME280.

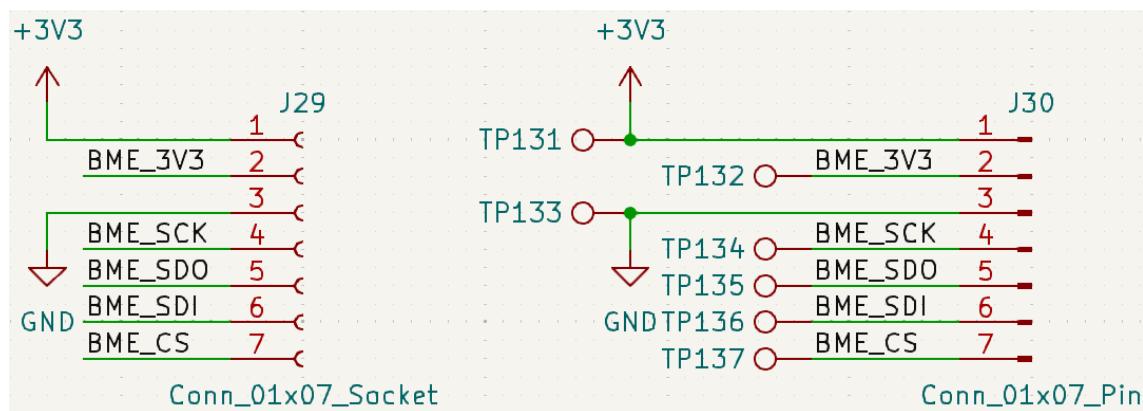


Figura 5.22: Esquemático de los componentes para el sensor BME280.

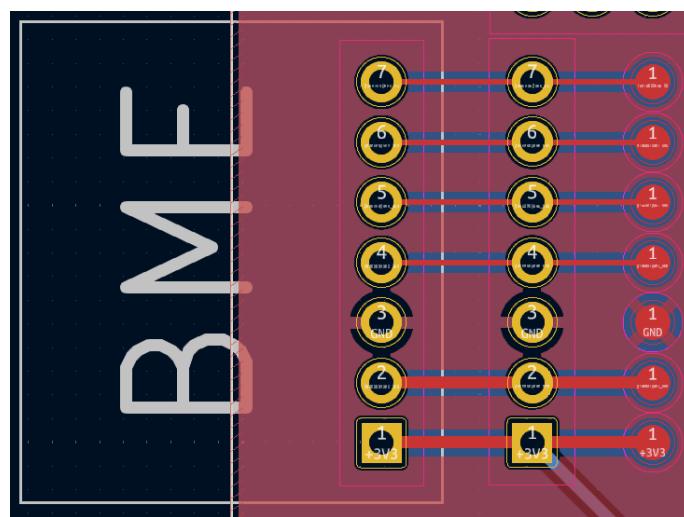


Figura 5.23: Layout de los componentes para el sensor BME280.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Sistema de Audio

Para implementar el sistema de audio se ha optado por usar el módulo de prueba de la marca Adafruit de la Figura 5.24. Este módulo lleva el amplificador MAX98357 y usa los siguientes pines para su funcionamiento:

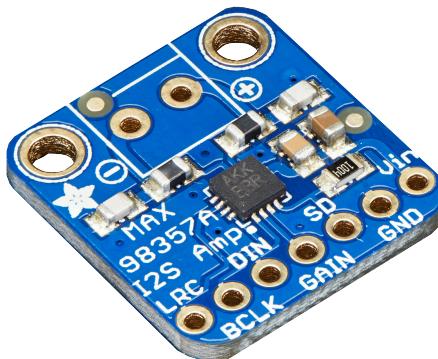


Figura 5.24: Módulo de prueba del MAX98357.

- **LRC (Left/Right Clock):** este pin se utiliza para seleccionar el canal izquierdo o derecho.
- **BCLK (Bit Clock):** este pin se utiliza para avisar al amplificador de cuando leer datos del pin de datos.
- **DIN (Data In):** este pin es por donde se envian los datos al amplificador.
- **GAIN:** mediante este pin se puede ajustar la ganancia del amplificador. En la Tabla 5.3 se puede ver los distintos valores de ganancia.

Ganancia	Configuración
15 dB	Resistencia de 100 kΩ entre GND y Gain
12 dB	Gain conectado a GND
9 dB	Valor por defecto
6 dB	Gain conectado a Vin
3dB	Resistencia de 100 kΩ entre Vin y Gain

Tabla 5.3: Valores de ganancia del MAX98357.

- **SD:** este pin se utiliza para apagar el amplificador y para configurar que canal se quiere usar. Si se conecta a GND se apaga el amplificador. Si el voltaje en este pin esta entre 0.16V y 0.77V, la salida es en estereo. Si el voltaje en este pin esta entre 0.77V y 1.4V, la salida es solo el canal derecho y si es mayor de 1.4V, la salida es solo el canal izquierdo.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Se ha implementado un conector hembra de 1x7 pines donde se inserta el módulo y otro conector macho de 1x7 pines para conectar los cables externos. Además de los Test Points, se ha añadido el conector J10 y las resistencias de R3 y R4 para probar distintas configuraciones de ganancia. También se ha añadido el conector J9 y el potenciómetro RV1 para ajustar el voltaje del pin SD. En la Figura 5.25 se puede ver los esquemáticos diseñados.

En la Figura 5.26 se puede ver cómo se han conectado los distintos pines del módulo y los componentes añadidos. Se ha unido todo con pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación.

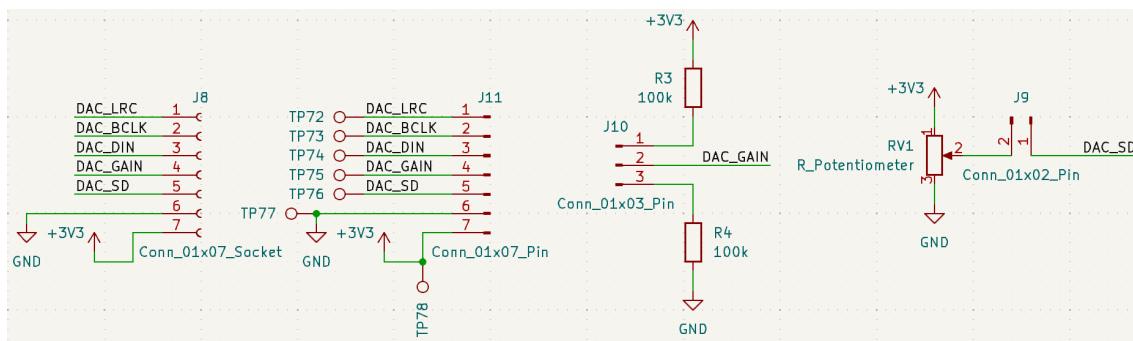


Figura 5.25: Esquemático de los componentes para el MAX98357.

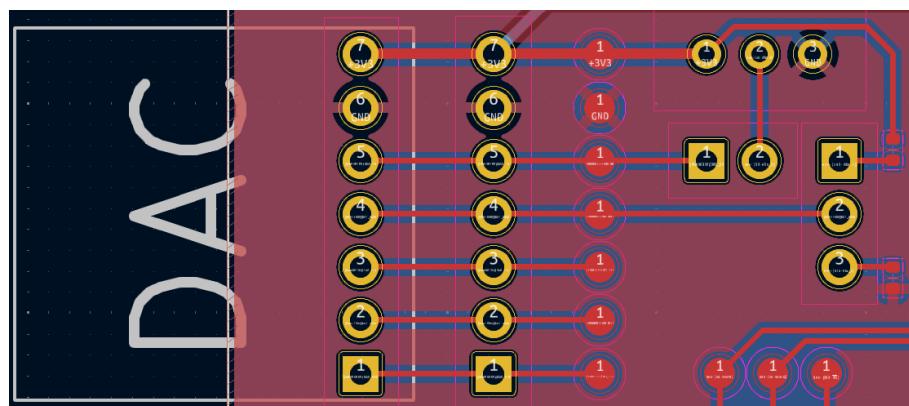


Figura 5.26: Layout de los componentes para el MAX98357.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

IMU BNO085

Para implementar el sensor BNO085 se ha optado por usar el módulo de prueba de la marca Adafruit de la Figura 5.27. Este módulo lleva el sensor BNO085 y usa los siguientes pines para su funcionamiento:

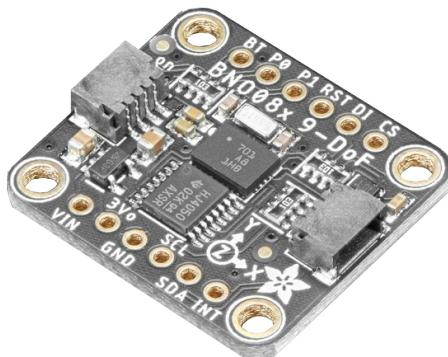


Figura 5.27: Módulo de prueba del BNO085.

- **SCL:** es el pin de reloj del I²C y del SPI.
- **SDA:** este pin es el SDA del I²C y el MISO (Master Input Slave Output) del SPI.
- **INT:** este pin se utiliza para avisar al microcontrolador de que hay una nueva lectura disponible.
- **RST:** este pin se utiliza para resetear el sensor. Cuando se pone a 0 se reinicia el sensor.
- **BT:** se utiliza para poner el sensor en modo bootloader.
- **DI:** es el pin de MOSI (Master Out Slave In) del SPI.
- **CS:** es el pin de selección del SPI.
- **PS1 y PS0:** estos pines se utilizan para configurar el modo de comunicación del sensor. En la tabla 5.4 se puede ver los distintos modos de comunicación. Por defecto, el módulo viene configurado para usar I²C.

Para la conexión del módulo se han implementado dos conectores hembra de 1x6 pines donde se inserta el módulo y otros dos conectores machos de 1x6 pines para conectar los cables externos. Además se han añadido Test Points a las señales para poder medirlas o soldar cables. En la Figura 5.28 se puede ver los esquemáticos diseñados.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

PS1	PS0	Mode
LOW	LOW	I2C
LOW	HIGH	UART-RVC
HIGH	LOW	UART
HIGH	HIGH	SPI

Tabla 5.4: Modos de comunicación del BNO085.

En el layout, se han usado pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación. En la Figura 5.29 se puede ver cómo se han conectado los distintos pines del módulo.

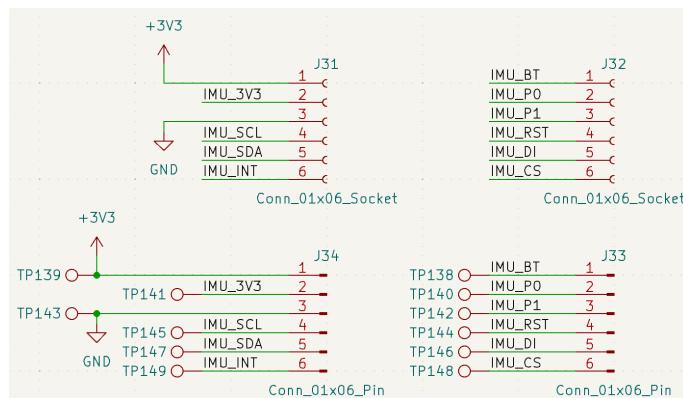


Figura 5.28: Esquemático de los componentes para el BNO085.

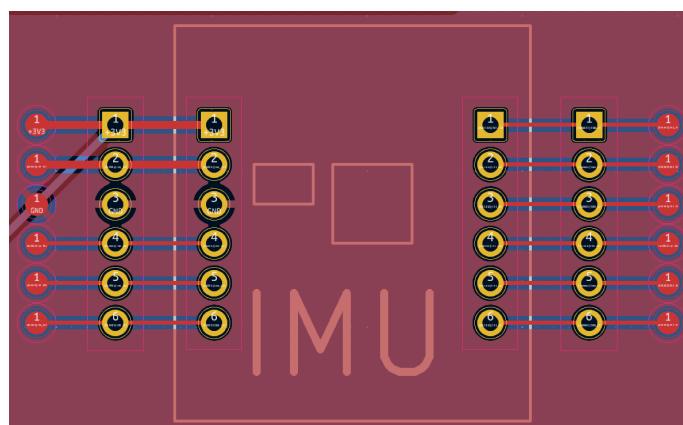


Figura 5.29: Layout de los componentes para el BNO085.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Monitor de Batería MAX17048G

Para implementar el monitor de batería MAX17048G se ha optado por usar el módulo de prueba de la marca Adafruit de la Figura 5.30. Este módulo usa los siguientes pines para su funcionamiento:

- **SCL y SDA:** son los pines de I²C que se utilizan para comunicarse con el microcontrolador.
- **INT:** se activa cuando la batería pasa de un umbral configurado.
- **QStart:** mediante este pin se puede reiniciar el integrado.
- **BAT y GND:** pines de conexión de la batería.

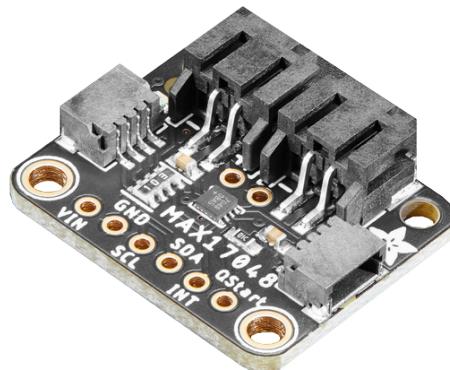


Figura 5.30: Módulo de prueba del MAX17048G.

Se han implementado dos conectores hembra para insertar el módulo, uno de 1x6 pines y otro de 1x2 pines. Además se han añadido Test Points a las señales para poder medirlas o soldar cables. En la Figura 5.31 se puede ver los esquemáticos diseñados.

En la Figura 5.32 se puede ver cómo se han conectado los distintos componentes para el módulo. Se ha unido todo con pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

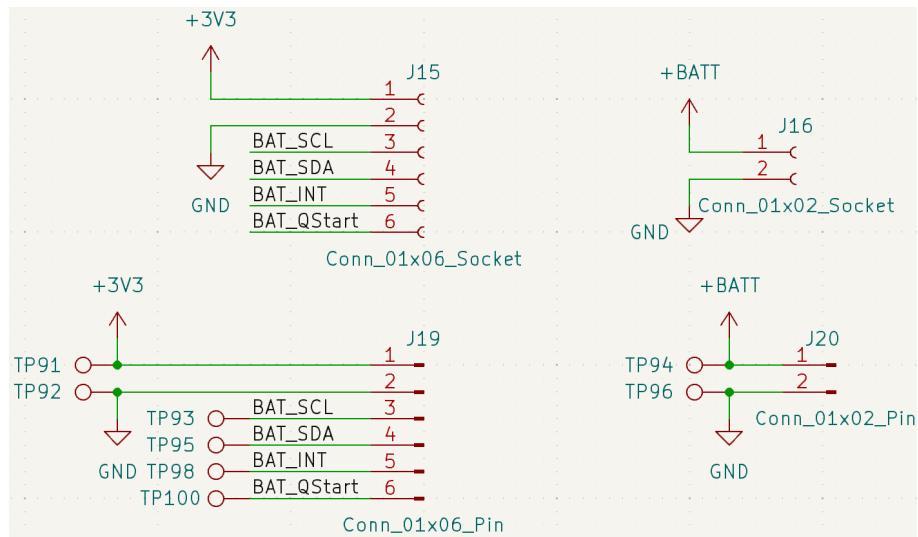


Figura 5.31: Esquemático de los componentes para el MAX17048G.

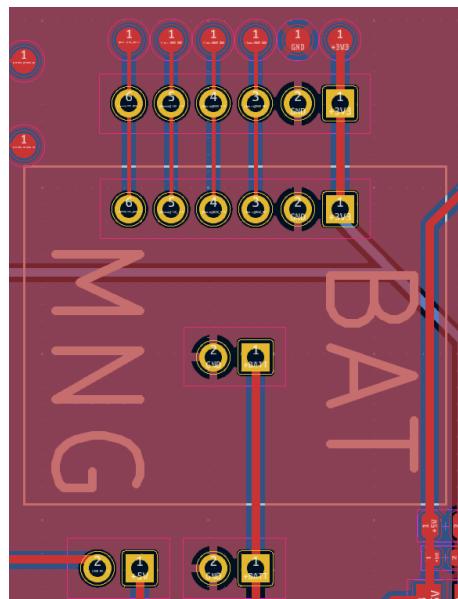


Figura 5.32: Layout de los componentes para el MAX17048G.

EEPROM DS28E07P+

Para implementar la EEPROM DS28E07P+ se ha optado por soldarla directamente en la PCB. En la Figura 5.33 se puede observar los esquemáticos donde se han implementado dos EEPROM y un conector macho de 1x3 pines para conectar los cables externos.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

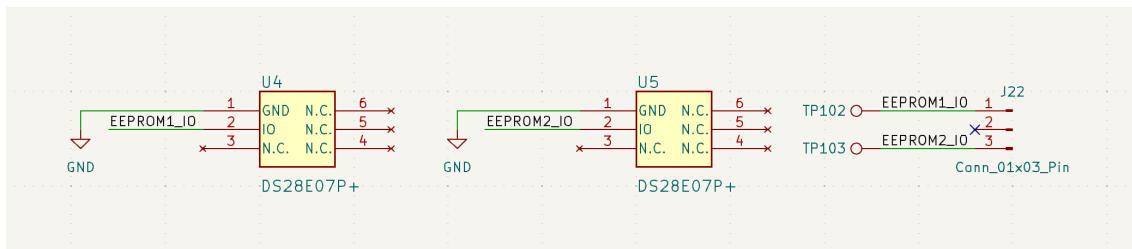


Figura 5.33: Esquemático de los componentes para la EEPROM DS28E07P+.

Para el layout se han usado pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación. En la Figura 5.34 se puede ver cómo se han conectado los distintos pines de la EEPROM.

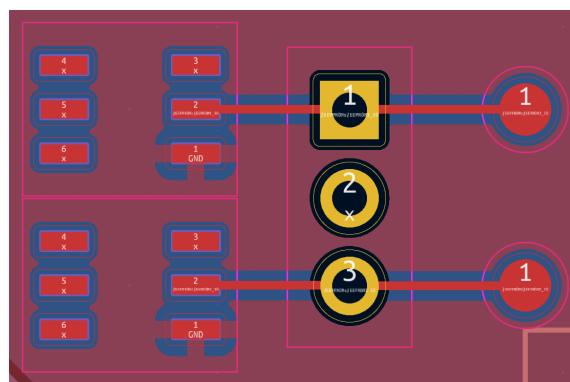


Figura 5.34: Layout de los las EEPROM DS28E07P+.

Cargador de Batería MCP73833

De igual forma, se ha optado por integrar el cargador para la batería MCP73833 en la PCB. En la Figura 5.35 se puede observar los esquemáticos donde se han implementado el integrado.

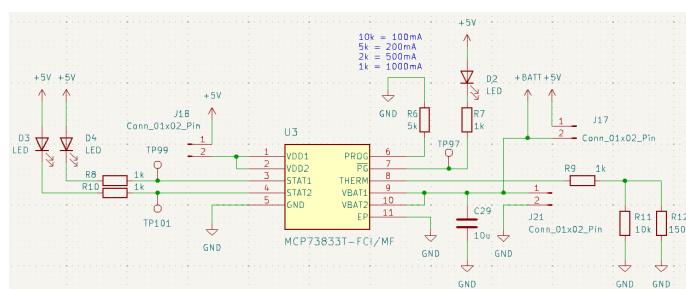


Figura 5.35: Esquemático de los componentes para el cargador MCP73833.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Este integrado lleva 11 pines para su conexión a los que se ha añadido diversos componentes para su correcto funcionamiento:

- **VDD1 y VDD2:** son las entradas de alimentación del integrado. Se tiene que alimentar a un voltaje entre 3.75V y 6V por lo que se ha conectado al bus de 5V. Además, se ha añadido un conector de 1x2 pines que actúa como jumper para alimentar o no el integrado.
- **STAT1 y STAT2:** son salidas "open-drain" que se activan según el estado de la carga de la batería. El pin "STAT1" se pone a 0 cuando la batería se está cargando mientras que "STAT2" se pone a 0 cuando ya está completamente cargada. Se han implementado los leds D3 y D4 para indicar el estado de la carga y las resistencias R8 y R10 para limitar la corriente de los leds.
- **GND:** es la tierra del integrado y se ha conectado al bus de GND.
- **PROG:** este pin se utiliza para configurar la corriente de carga de la batería. Se ha conectado a una resistencia de $1k\Omega$ y a GND. La Fórmula 5.1 se utiliza para calcular la corriente de carga, donde R_{PROG} = kilo-ohms y I_{REG} = miliamperios. Así, se ha configurado para que la corriente de carga sea de 1000mA.

$$I_{REG} = \frac{1000V}{R_{PROG}} \quad (5.1)$$

- **\overline{PG} (Power Good):** es un pin con salida "open-drain" que se pone a 0 cuando el voltaje en los pines VDD1 y VDD2 es mayor que 3.55V. Así, se ha implementado el led D2 y la resistencia R6 para indicar cuando el integrado está alimentado.
- **THERM:** este pin sirve como entrada para un termistor. Sin embargo, no se ha implementado en la PCB por lo que, siguiendo la hoja de datos, se han colocado las resistencias R9, R11 y R12 con valores de $1k\Omega$, $10k\Omega$ y $150k\Omega$ respectivamente.
- **VBAT1 y VBAT2:** son las salidas para el control de la carga de la batería. El condensador C29 con valor de $10\mu F$ se ha colocado como desacoplo. Además, se ha añadido el conector J21 para conectar la batería y el conector J17 para usar de "jumper" elegir si se usa la batería para alimentar el sistema o no.
- **EP:** es el pad inferior del integrado y se ha conectado a GND.

Para el layout de los componentes, en la Figura 5.36 se puede ver cómo se han conectado usando pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación del integrado y la batería.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

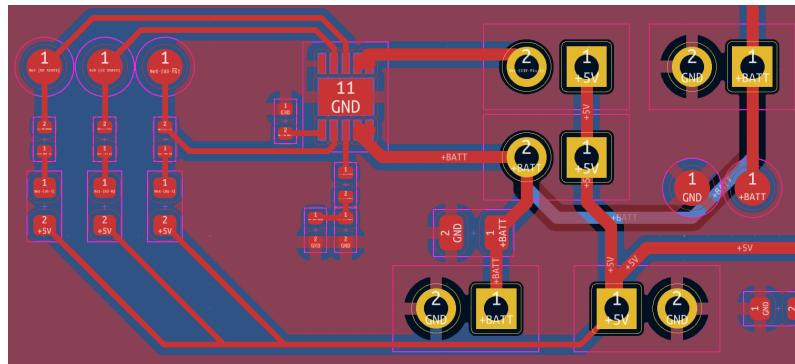


Figura 5.36: Layout de los componentes para el cargador MCP73833.

Leds, Encoder y ATSAMD09D14A

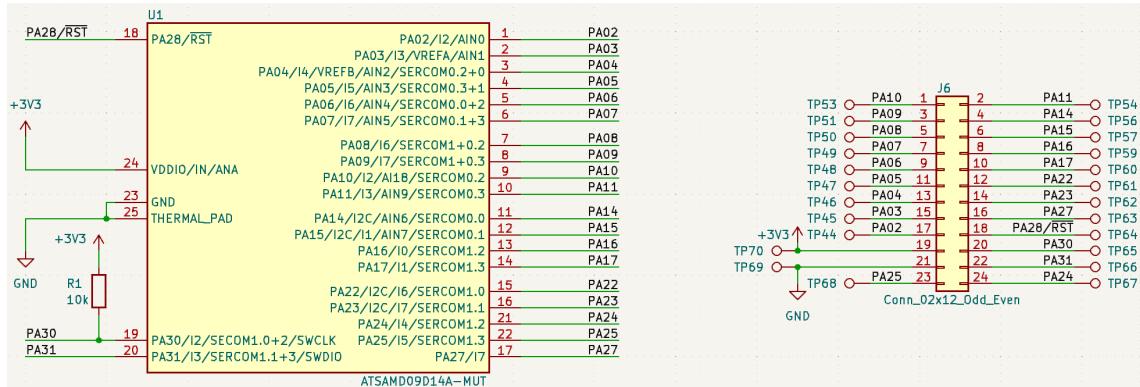
Para implementar los leds, el encoder y el microcontrolador ATSAMD09D14A se han optado por soldarlos directamente en la PCB. En la Figura 5.37 se pueden observar los esquemáticos diseñados.

Para poder usar y programar el ATSAMD09D14A se ha añadido un conector macho de 2x12 pines donde se conectan los cable externos, como se ve en la Figura 5.37a. Además, siguiendo la hoja de datos, se ha añadido una resistencia de "pull-up" de $10\text{k}\Omega$ en el pin PA30 para poder programar el microcontrolador a través de SWD (Serial Wire Debug).

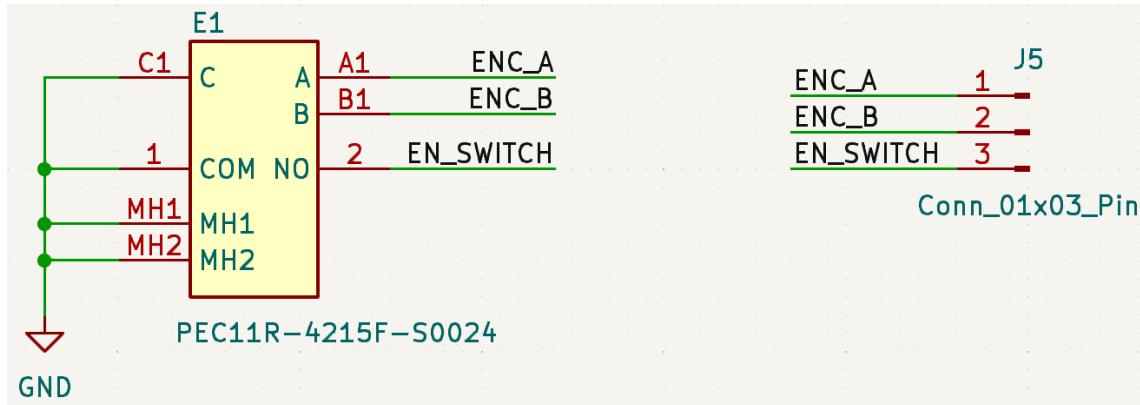
En la Figura 5.37b se puede ver cómo se ha conectado el encoder. Se ha añadido un conector macho de 1x3 pines para conectar los cables externos.

Para integrar los 24 leds, como se ve en la Figura 5.37c, se han conectado en serie y se ha añadido la resistencia R2 de 470Ω al inicio de la cadena según los requerimientos para el correcto funcionamiento de los leds. Además, se han añadido los condensadores C1-C24 de 100nF para filtrar la alimentación, uno para cada led.

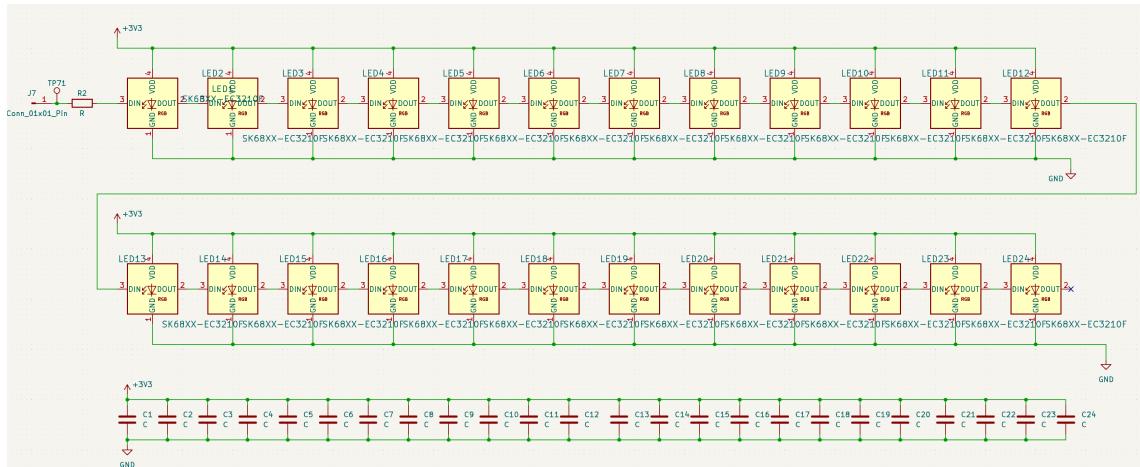
CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA



(a) Esquemático del ATSAMD09D14A.



(b) Esquemático del encoder.



(c) Esquemático de los leds.

Figura 5.37: Esquemáticos de los componentes para el ATSAMD09D14A, el encoder y los leds.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

En la Figura 5.38 se puede ver cómo se han conectado los distintos componentes y los leds. Se ha unido todo con pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación. Los leds se han distribuido en forma de circunferencia alrededor del encoder de forma que se parezca a la distribución final del dispositivo.

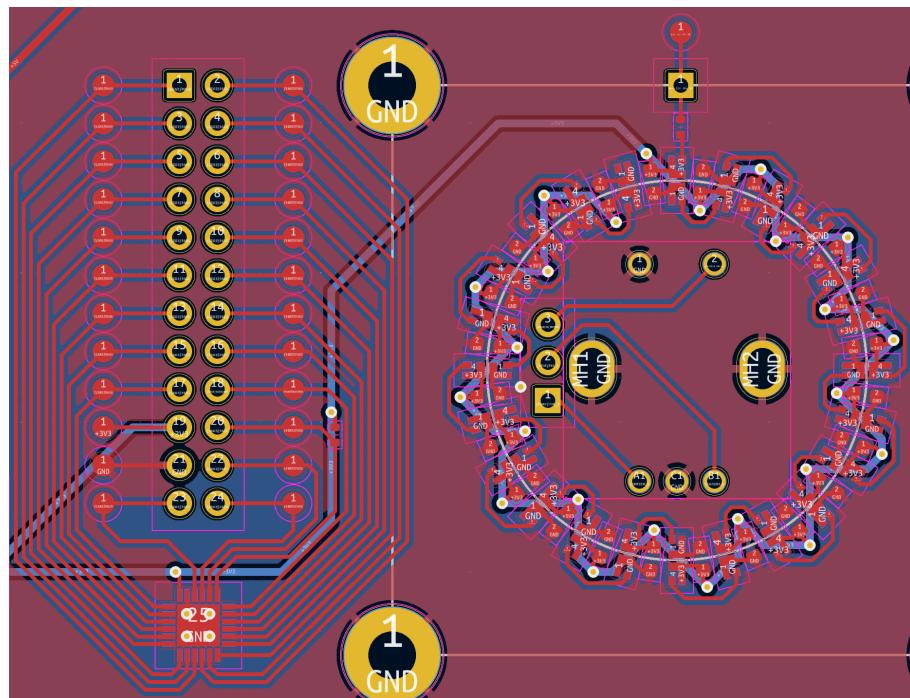


Figura 5.38: Layout de los leds, el encoder y el ATSAMD09D14A.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Regulador Lineal AMS1117-3.3

Para regular tanto el voltaje de 5V del USB del módulo del ESP32-S3 como del voltaje de la batería se ha integrado el regulador lineal AMS1117-3.3 directamente en la PCB. Este regulador es muy usado en sistemas embebidos por su bajo costo, su fiabilidad y su facilidad de uso.

En la Figura 5.39 se pueden ver los esquemáticos diseñados donde los condensadores C25 y C28 de $10\mu F$ se han colocado como desacoplo y los condensadores C26 y C27 de $100nF$ se han colocado para filtrar el ruido de alta frecuencia. Además se ha añadido el led D1 y la resistencia R5 para indicar cuando el regulador está alimentado.

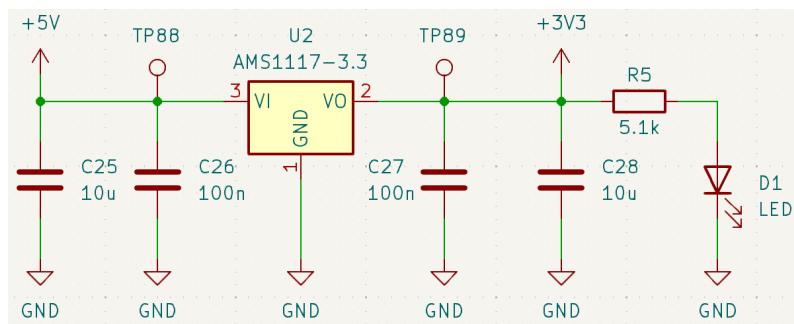


Figura 5.39: Esquemático de los componentes para el regulador AMS1117-3.3.

Para el layout de los componentes, en la Figura 5.40 se puede ver cómo se han conectado usando pistas de 0,254 mm para las señales y 0,508 mm para la alimentación del regulador.

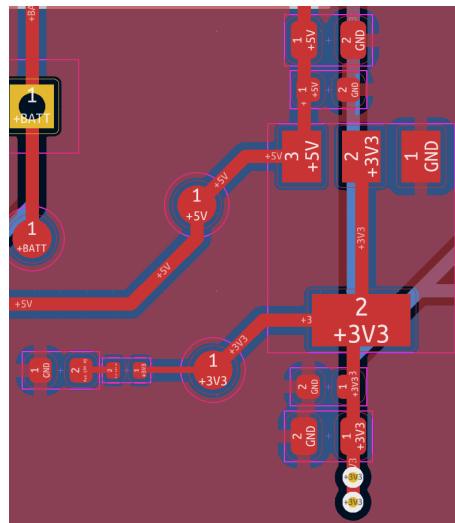


Figura 5.40: Layout de los componentes para el regulador AMS1117-3.3.

5.1.2. Verificación de Módulos y Concepto

Para verificar que los módulos y el concepto de la tarjeta funciona correctamente, se han escrito una serie de programas en la plataforma de Arduino para cumplir los requerimientos propuestos. En la parte de Anexos V se pueden ver los códigos completos de los programas. No se va a entrar a explicarlo ya que no es objeto de este Trabajo.

Tras probar varias opciones de conexión, se ha llegado a la conclusión de establecer las conexiones de la siguiente manera:

- **Bus I²C principal:** este bus se ha usado específicamente dentro de la tarjeta principal. Este bus se ha configurado de forma que los pines GPIO21 y GPIO47 del ESP32-S3 sean SCL y SDA respectivamente. Mediante este se ha conectado el ATSAMD21G18A, el BNO085, el MAX17048G y el driver táctil de la pantalla de 2 pulgadas.
- **Bus I²C secundario:** este bus se ha usado específicamente para la comunicación con los módulos externos del dispositivo. Este bus se ha configurado de forma que los pines GPIO10 y GPIO9 del ESP32-S3 sean SCL y SDA respectivamente. Mediante este se ha conectado el sensor OV5640, el sensor BME280 y el GPS PA1010D.
- **MicroSD:** se ha decidido usar la microSD a través de SPI. Para ello se han usado los pines GPIO1, GPIO2, GPIO43 y GPIO44 del ESP32-S3 como Chip Select (CS), Master Output Slave Input (MOSI), Clock (CLK) y Master Input Slave Output (MISO) respectivamente.
- **Pantalla:** como se ha comentado en el capítulo Soluciones alternativas y solución adoptada 4, se ha decidido usar la pantalla de 2 pulgadas táctil. Para su conexión se han establecido los pines según la Tabla 5.5.

Pines ESP32-S3	Configuración
GPIO42	Data/Command (DC)
GPIO41	Reset
GPIO40	Chip Select (CS)
GPIO39	Master Output Master Input (MOSI)
GPIO38	Clock (CLK)
GPIO48	Táctil IRQ

Tabla 5.5: Configuración de los pines para la pantalla de 2 pulgadas.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

- **Sistema de Audio:** para el sistema de audio se ha decidido configurar los siguientes pines del ESP32-S3 para la interfaz I²S: GPIO14 como LRCLK, GPIO13 como Din del micrófono, GPIO12 como BCLK y GPIO11 como Dout del altavoz.
- **USB OTG:** siguiendo la hoja de datos del ESP32-S3, se ha configurado el pin GPIO19 como D- y GPIO20 como D+.
- **Pulsador del encoder:** se ha configurado el pin GPIO0 para el pulsador del encoder.
- **Resto de pines:** se han reservado los pines GPIO4, GPIO5, GPIO6, GPIO7, GPIO15, GPIO15, GPIO17, GPIO18, GPIO8, GPIO3 y GPIO46 para conexiones con los módulos externos. Por ejemplo, mediante estos pines se conecta la interfaz de comunicación de 8 bits del sensor OV5640. En la sección Pruebas de Validación de Ingeniería 5.2 se explica en detalle cómo se han conectado y usado estos pines.
- **ATSAMD:** en esta fase se ha tenido problemas para programar el ATSAMD09D14A ya que no tiene suficiente memoria para contener el framework Seesaw configurado para los 24 leds y el encoder. Por este motivo, en las fases posteriores se ha decidido por sustituirlo por el ATSAMD21G18A, que es el mismo microcontrolador que integra el Arduino Zero. Aún así, se ha validado que el ATSAMD09D14A puede controlar los leds y el encoder ya que se han probado por separado.

5.2. Pruebas de Validación de Ingeniería

Esta fase del proyecto llamada Pruebas de Validación de Ingeniería (EVT, Engineering Validation Test) se ha centrado en diseñar y verificar las tarjetas del dispositivo final. Se han creado las tarjetas con las formas y tamaños definitivos y se han incluido todos los componentes necesarios para el correcto funcionamiento del dispositivo, cumpliendo los requerimientos del proyecto.

Para fabricar las tarjetas que se han diseñado en este fase se han juntado para formar un panelizado. En la Figura 5.41 es un renderizado del panel fabricado.

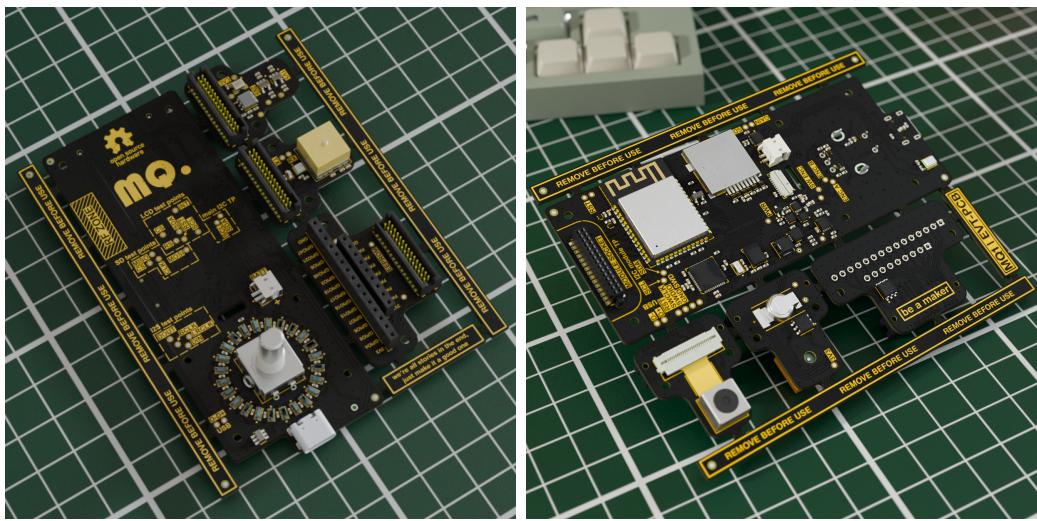


Figura 5.41: Diseño del panelizado de las tarjetas.

5.2.1. USB-C

Para implementar el USB-C se ha optado por implementar el componente USB4105-GF-A de la marca GCT. Para su correcta implementación se han seguido los estándares de este tipo de USB y se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.42.

Por protocolo, se han añadido las resistencias de pull-down R303 y R302 de $5.1\text{k}\Omega$ en los pines CC1 y CC2 respectivamente. Además, se ha añadido el integrado D301 USBLC6-2SC6 como protección contra descargas ESD y se ha añadido el condensador C301 de $22\mu\text{F}$ en el bus de 5V para filtrar picos de tensión y estabilizar la carga.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

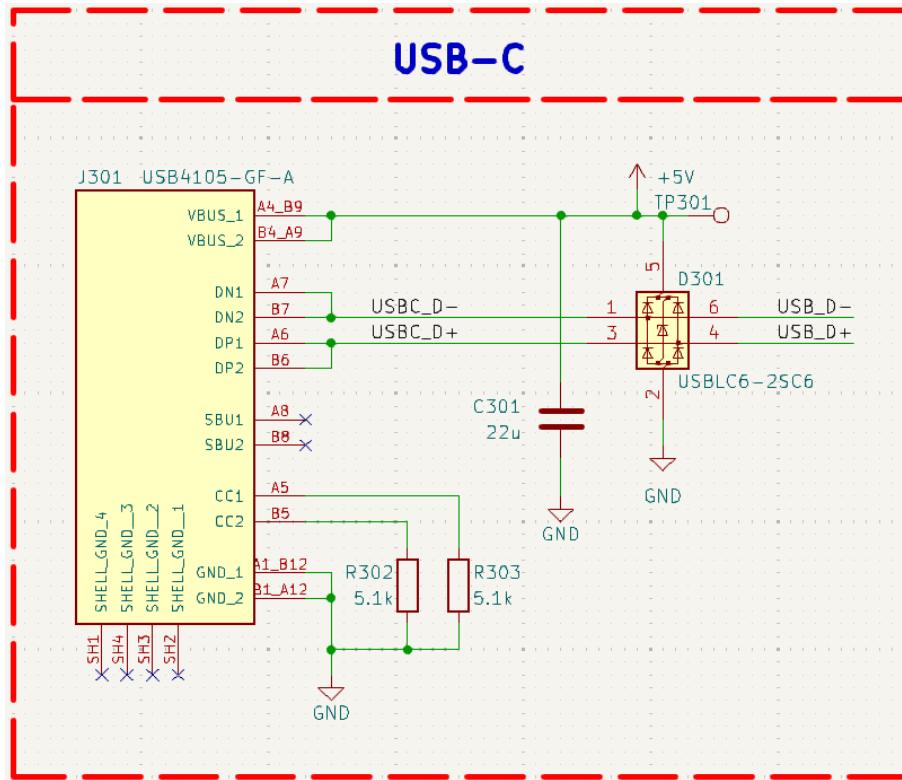


Figura 5.42: Esquemático del USB-C.

5.2.2. Sistema de Alimentación

Como se ha comentado anteriormente se ha dividido el sistema de alimentación en cuatro bloques. A continuación se explican en detalle cada uno de ellos.

Gestión de la batería

Para conectar la batería se ha implementado el conector S2B-ZR-SM4A-TF de JST y se ha añadido el condensador C403 de $22\mu F$ para filtrar y estabilizar la alimentación, como se ve en la Figura 5.43.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

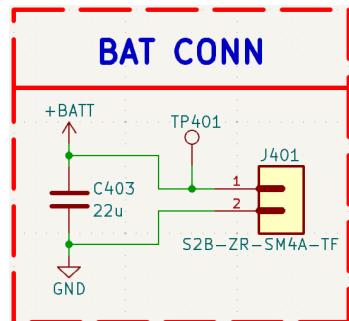


Figura 5.43: Esquemático del conector de la batería.

Para implementar el cargador de la batería MCP73833 se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.44. El funcionamiento de este integrado se ha explicado previamente. Sin embargo, se han hecho una serie de cambios:

- Se ha añadido el condensador C402 de $1\mu F$ para estabilizar el bus de 5V que viene del USB.
- En las señales de STAT1 y STAT2 se han conectado a los pines PA04 y PA05 del ATSAMD21G18A respectivamente para poder leer el estado de la carga de la batería. Para ello se han añadido las resistencias de pull-up R403 y R404 de $10k\Omega$ ambas.
- Se han conectado los pines VBAT1 y VBAT2 directamente a la batería.
- Se ha reemplazado la resistencia R401 que controla la corriente de carga por una de $2k\Omega$ para que la corriente sea de 500mA.
- El pin \overline{PG} se ha dejado desconectado.

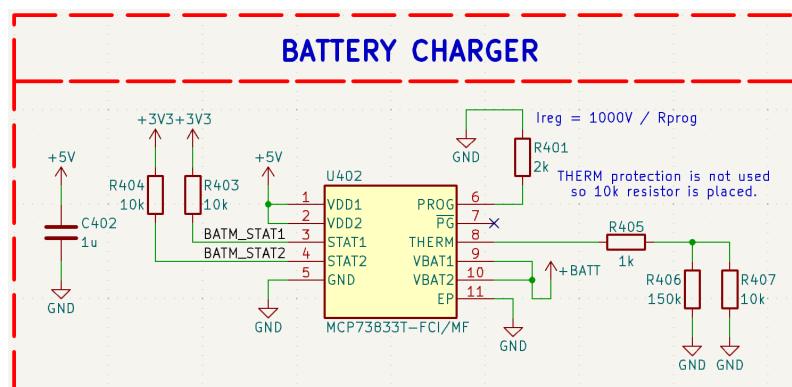


Figura 5.44: Esquemático del cargador de la batería MCP73833.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Para el implementar el integrado MAX17048G que monitoriza la batería se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.45. Para diseñar este esquemático se ha tenido como referencia el módulo de prueba que se ha usado en la fase de Prueba de Concepto. Siguiendo la hoja de datos, las conexiones de los pines se han diseñado de la siguiente manera:

- Los pines CTG, GND, QSTRT y EP se han conectado directamente a GND.
- Los pines CELL y VDD se han conectado al bus de alimentación de la batería. Además, se ha añadido el condensador C401 de 100nF para filtrar y estabilizar la alimentación.
- Los pines SDA y SCL del bus I²C se han conectado al bus I²C principal del dispositivo.
- El pin *ALRT* se ha conectado al pin PA11 del ATSAMD21G18A. Para ello se ha añadido la resistencia de pull-up R402 de 10kΩ.

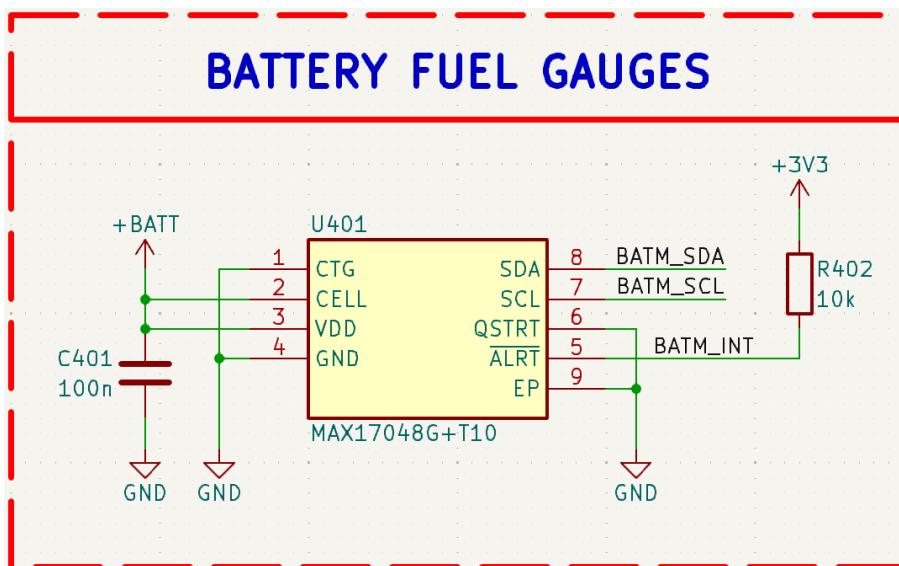


Figura 5.45: Esquemático del monitor de batería MAX17048G.

Selector del bus de alimentación

Dentro del dispositivo existen dos fuentes de alimentación: la batería y el USB. El voltaje proveniente de la batería siempre va a estar presente, mientras que el voltaje del USB solo va a estar presente cuando este conectado.

El voltaje del USB es de alrededor de 5V constantes, sin embargo, el voltaje de la batería varía entre 4.2V y 3.0V según su capacidad. Por tanto se ha decidido

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

implementar un selector de alimentación que mantenga aisladas ambas fuentes una de la otra.

Se ha diseñado el concepto de la Figura 5.46, donde el bus +5V es el voltaje proveniente del USB, +BATT es el voltaje de la batería y VDC es el voltaje seleccionado. Este circuito funciona de forma que si no está el USB conectado, mediante la resistencia de pull-down, se deja pasar la corriente por el Mosfet de canal P y alimentar el dispositivo con la batería. Si el USB está conectado, la puerta del Mosfet se pone en alto y no deja pasar corriente procedente de la batería. En este caso, mediante el diodo pasa la corriente del USB al dispositivo. El diodo es de tipo Schottky para impedir que la corriente de la batería pase al USB.

Para reducir el número de componentes se ha implementado el integrado NTLJF3117PT1G de ON Semiconductor que integra un Mosfet de canal P y un diodo Schottky. La resistencia de pull-down R301 se le ha dado un valor de $10k\Omega$. El esquemático final se puede ver en la Figura 5.47.

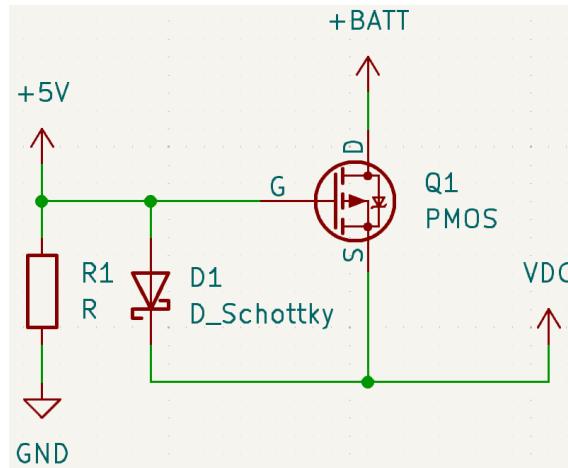


Figura 5.46: Concepto Inicial del selector de alimentación.

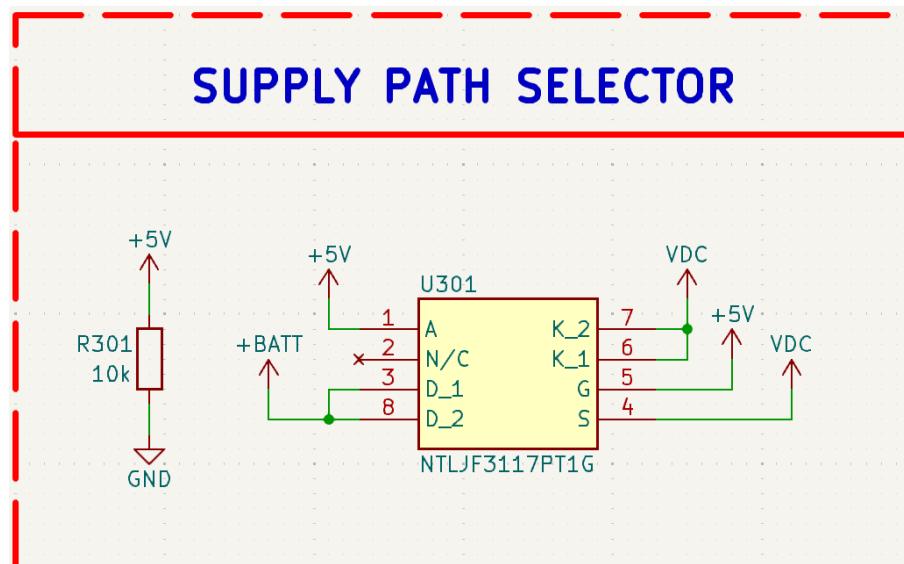


Figura 5.47: Esquemático del selector de alimentación.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Circuito de encendido/apagado suave

Para cumplir el requerimiento de encendido del dispositivo mediante un único botón, se ha diseñado e implementado un circuito de encendido/apagado suave. Para este circuito se ha usado como referencia un artículo llamado “Soft Latching Power Circuits” de Andrew Levido. La referencia inicial se puede ver en la Figura 5.48 mientras que el esquemático que se ha implementado se puede ver en la Figura 5.49.

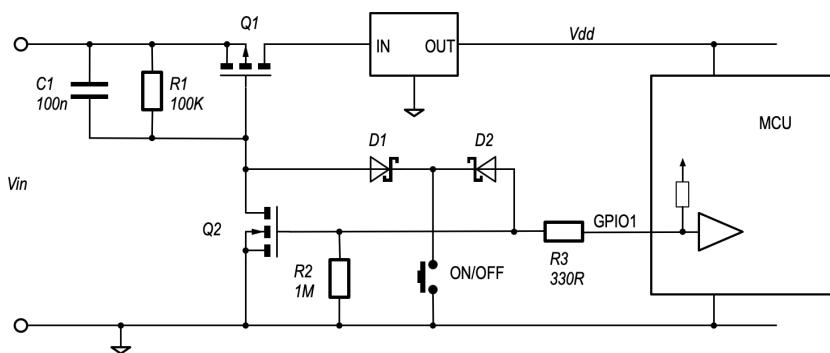


Figura 5.48: Concepto Inicial del circuito de encendido/apagado suave.

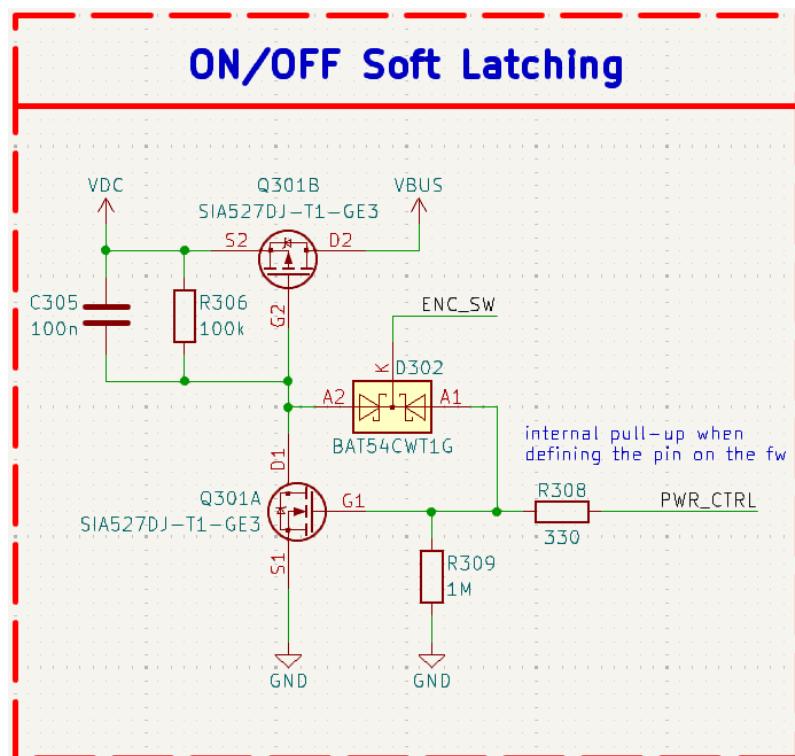


Figura 5.49: Esquemático del circuito de encendido/apagado suave.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Los buses de alimentación del circuito son VDC, que es la salida del circuito de selección de alimentación y VBUS, que es la salida de este circuito. Tomando como inicio un estado de apagado, el circuito funciona de la siguiente manera.

El mosfet Q301B de canal P deja pasar la corriente entre S2 y D2, ya que el voltaje en su puerta G2 está a nivel alto por medio de la resistencia de pull-up R306. En el momento en el que se pulsa el encoder (señal ENC SW), la puerta G2 se pone a nivel bajo por medio del diodo D302 y sus pines A2-K. Así, mientras se esté pulsando el encoder, el mosfet Q3BB deja pasar la corriente entre S2 y D2.

Como ya hay potencia en la tarjeta, mediante el ESP32-S3 se bloquea la señal en G2 para que tenga un nivel LOW y poder soltar el pulsador del encoder. Esto se hace mediante el mosfet Q301A de canal N y un pin del ESP32-S3. Para ello, se configura el pin del ESP32-S3 como entrada y en pull-up, que está conectado a la puerta G1 del mosfet Q301A dejando pasar la corriente entre S1 y D1.

En el momento en el que se quiera apagar el dispositivo, se puede configurar por código por ejemplo que a los tres segundo se configure el GPIO a salida y a nivel bajo para deterner el paso de corriente.

Regulador de 3.3V

Para regular la corriente del USB de 5V y la de la batería de 4.2V a 3.3V se ha implementado un regulador conmutado de tipo Buck. Se ha elegido el integrado NCV6324BMTAATBG de la marca onsemi, capaz de suministrar hasta 2A de corriente. Siguiendo la hoja de datos se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.50.

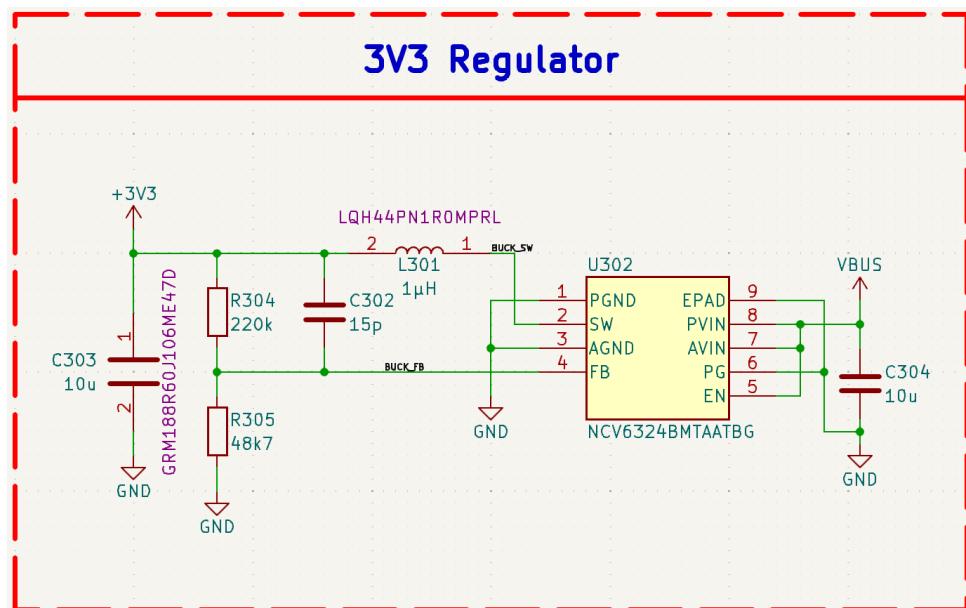


Figura 5.50: Esquemático del regulador de 3.3V NCV6324BMTAATBG.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Por la parte de su entrada, se ha añadido el condensador C304 de $10\mu F$ para filtrar y estabilizar la alimentación. Para ajustar el valor de voltaje de salida a 3.3V se han calculado los componentes R304 y R305 según la Fórmula 5.2. Siendo V_{FB} una constante de valor 0.6V y seleccionando R304 con un valor recomendado de $220k\Omega$. Así, R305 da un valor calculado de $48.9k\Omega$ y se ha seleccionado un valor normalizado de $48.7k\Omega$.

$$V_{OUT} = V_{FB} \cdot \left(1 + \frac{R_{304}}{R_{305}} \right) \quad (5.2)$$

Además, se ha añadido el condensador C302 de $15pF$ recomendado por la hoja de datos.

En la salida, se han añadido la bobina L301 de $10\mu H$ y el condensador C303 de $10\mu F$, eligiendo estos valores según la Tabla 5.51 sacada de la hoja de datos.

R1 ($k\Omega$)		L (μH)				
Cfb (pF)		0.47	0.68	1	2.2	3.3
C (μF)	4.7	220	220	220	220	330
	3	5	8	15	15	22
	10	220	220	220	330	330
	8	10	15	27	27	39
	22	220	220	220	330	330
	15	22	27	39	47	56

Figura 5.51: Valores recomendados para la bobina y el condensador del regulador NCV6324BMTAATBG.

5.2.3. Microcontrolador principal

Para implementar el módulo ESP32-S3-WROOM-2, se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.52. Se han añadido los condensadores C201 de $10\mu F$ para estabilizar la alimentación y C202 de $100nF$ para filtrar el ruido de alta frecuencia. Además, se ha añadido el diodo D201 para proteger ante picos de tensión.

Para el pin de reset, se ha añadido la resistencia R201 de $10k\Omega$ y el condensador C203 de $1\mu F$ siguiendo la hoja de datos y dos test points externos TP201 y TP202 para poder reiniciar el microcontrolador manualmente. De igual forma se ha añadido el diodo D202 para proteger ante picos de tensión.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

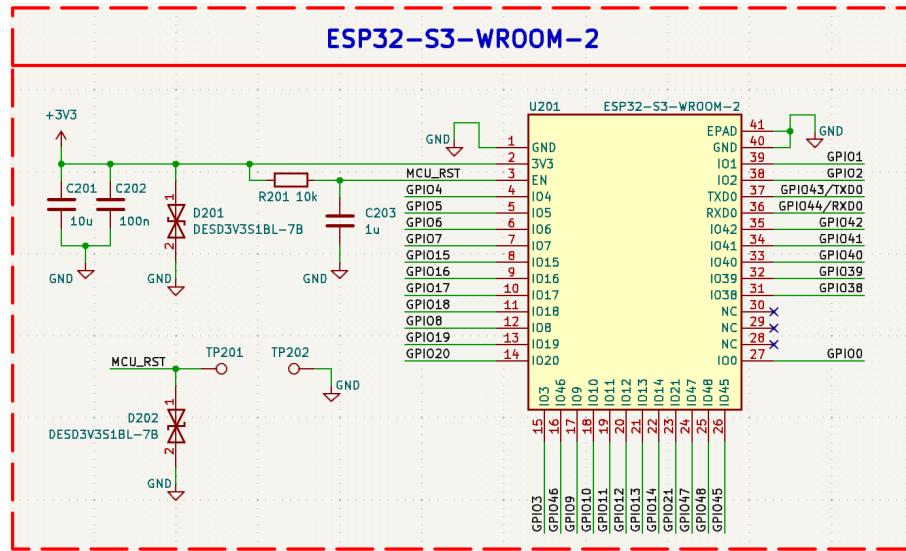


Figura 5.52: Esquemático del ESP32-S3-WROOM-2.

5.2.4. Microcontrolador secundario

Para la implementación del ATSAMD21G18A se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.53. Se han añadido los condensadores C501 y C531 de $10\mu F$ para estabilizar la alimentación y los condensadores C502, C529, C530 y C532 de $100nF$ para filtrar el ruido de alta frecuencia. Además, se ha añadido el condensador C528 de $1\mu F$ en el pin VDDCORE siguiendo la hoja de datos y la resistencia R501 de $1k\Omega$ en el pin PA30 para programarlo mediante SWD (Serial Wire Debug).

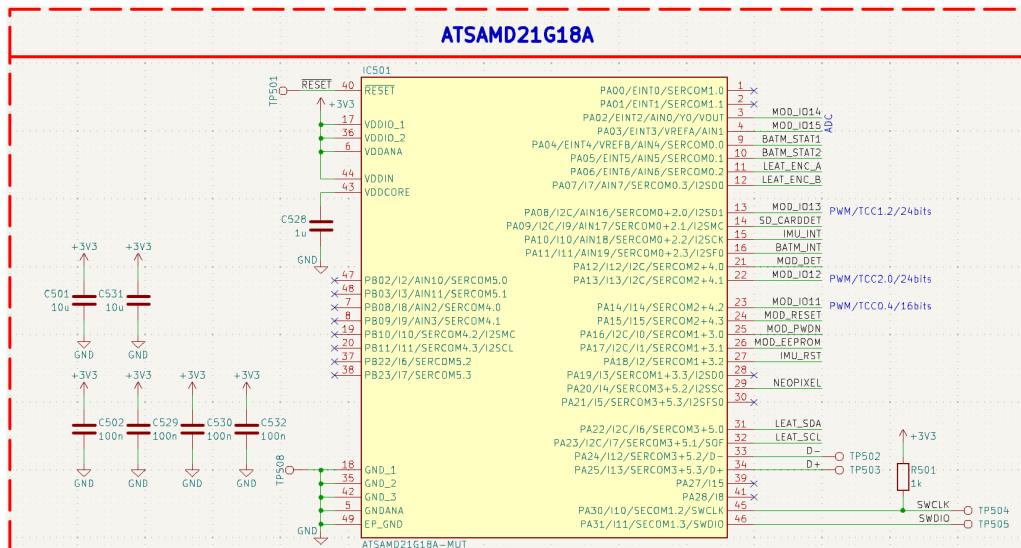


Figura 5.53: Esquemático del ATSAMD21G18A.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

En la misma figura se ven como se han realizado las conexiones.

5.2.5. Encoder

Para implementar el encoder se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.54. Se han añadido las resistencias R506, R507 y R508 de $10\text{k}\Omega$ y los condensadores C503, C533 y C534 de $1\mu\text{F}$ a modo de filtro ante ruido. Además, se han añadido los diodos D525, D526 y D527 para proteger ante picos de tensión y las resistencias R503, R504 y R505 de $10\text{k}\Omega$ para limitar la corriente.

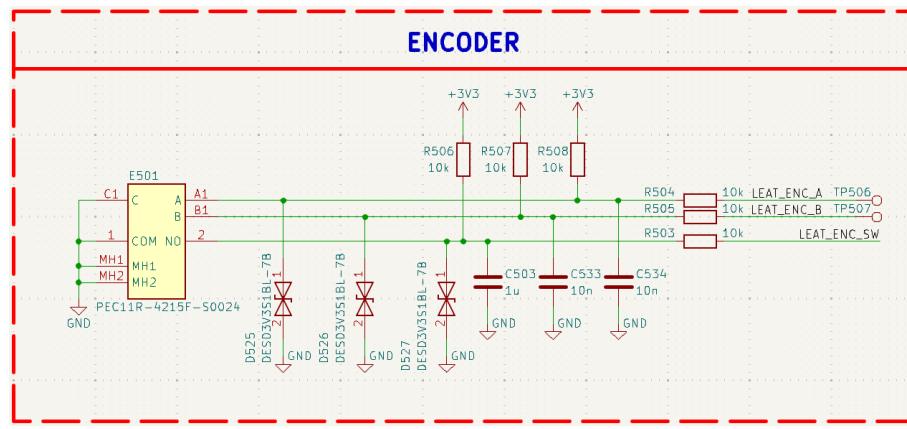


Figura 5.54: Esquemático del encoder.

5.2.6. Leds

Para implementar los leds Neopixel se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.55. Para cada led, se ha añadido un condensador de 100nF para filtrar y estabilizar la alimentación y una resistencia R502 de 470Ω según recomienda el protocolo.

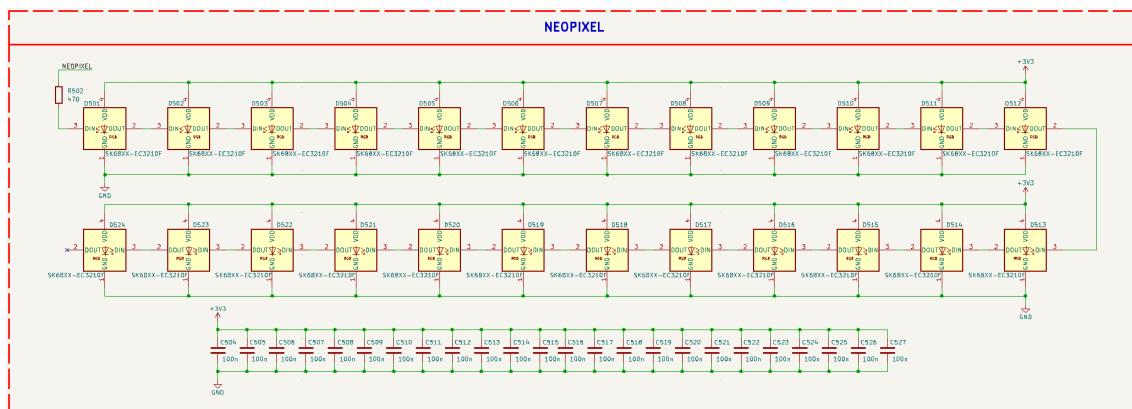


Figura 5.55: Esquemático de los leds Neopixel.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

5.2.7. Micrófono

El diseño del esquemático del micrófono se puede ver en la Figura 5.56. Siguiendo la recomendación de la hoja de datos, se ha añadido el condensador C601 de 100nF para filtrar y estabilizar la alimentación y la resistencia R601 de 100kΩ.

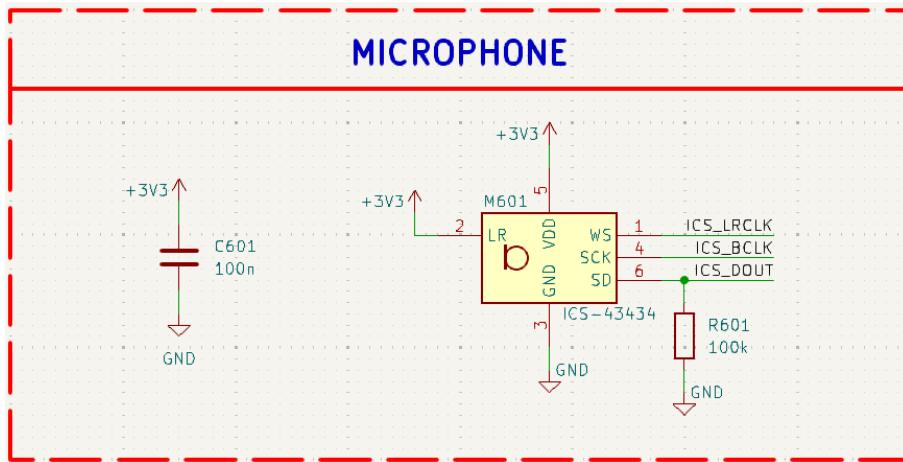


Figura 5.56: Esquemático del micrófono.

5.2.8. Pantalla

Para implementar la pantalla de 2 pulgadas se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.57. Se ha añadido el conector J701 para conectar el cable FPC de la pantalla y se han añadido los condensadores C701 de 22μF y C703 de 10μF para estabilizar la alimentación de los leds de retroiluminación. Además se ha añadido el condensador C705 de 10μF para estabilizar la alimentación del controlador de táctil.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

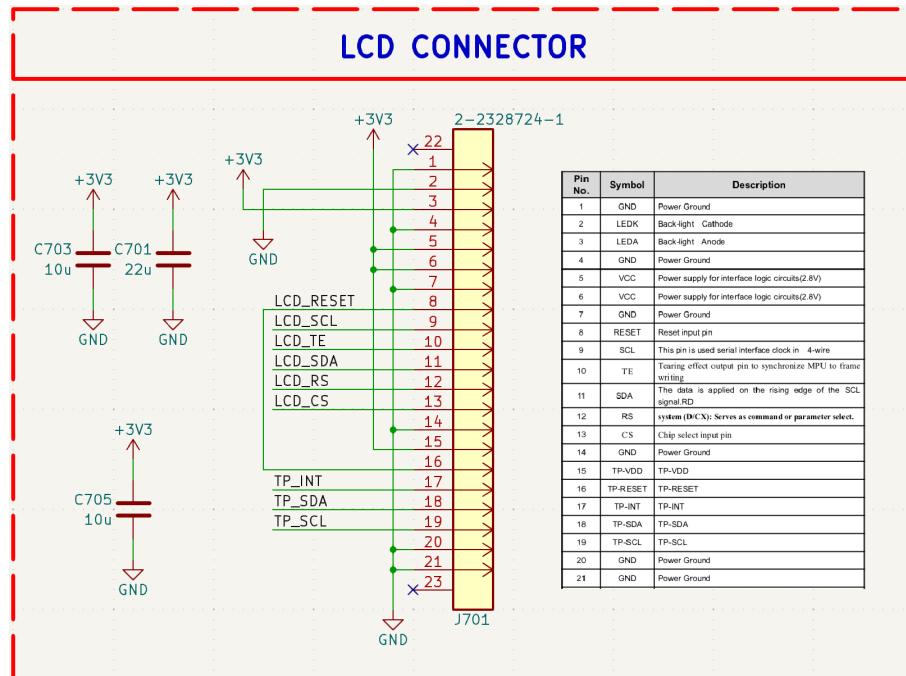


Figura 5.57: Esquemático de la pantalla de 2 pulgadas.

5.2.9. Unidad de Medida Inercial

Se ha diseñado el esquemático de la figura Figura 5.58 para implementar el sensor BNO085. Se han añadido los condensadores C802 y C803 de 100nF para estabilizar la alimentación, además del condensador C801 de 100nF al pin 9 según la hoja de datos.

Además, se ha añadido la resistencia necesaria R801 de $10k\Omega$ en el pin 4, se ha conectado el pin 17, 5 y 6 a GND para comunicarse con él mediante I²C y se ha conectado el pin 10 a GND para usar un cristal externo.

Para el cristal, se ha seleccionado el 9HT10-32.768KBZF-T de TXC y se ha conectado al pin 26 y 27 añadiéndole los condensadores C804 y C805 de 22pF según la hoja de datos.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

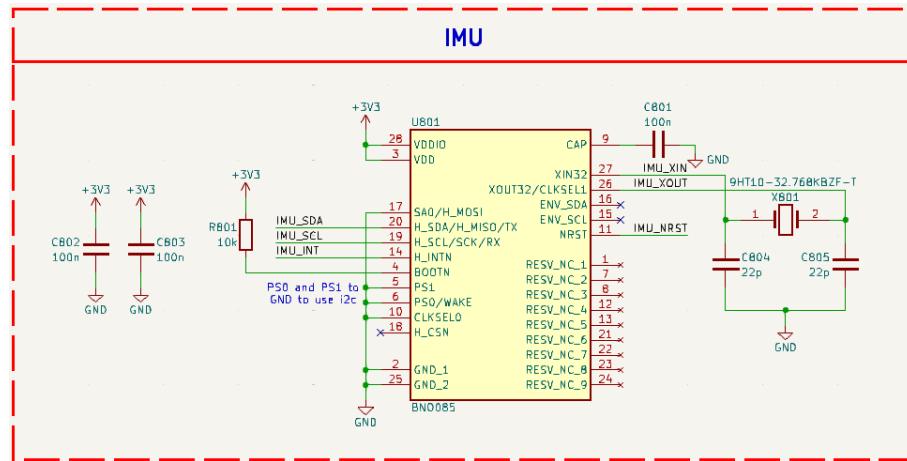


Figura 5.58: Esquemático del sensor BNO085.

5.2.10. Tarjeta microSD

Para implementar la tarjeta microSD se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.59. Se ha añadido el conector MSD-1-A de CUIDevices para conectar la tarjeta microSD. Para estabilizar la alimentación, se ha añadido el condensador C901 de $10\mu F$ y para filtrar el ruido de alta frecuencia, se ha añadido el condensador C902 de $100nF$. Además, por protocolo se han añadido resistencias de pull-up a todas las señales de un valor de $47k\Omega$. Para evitar daños por picos de tensión, se han añadido diodos TVS a las señales.

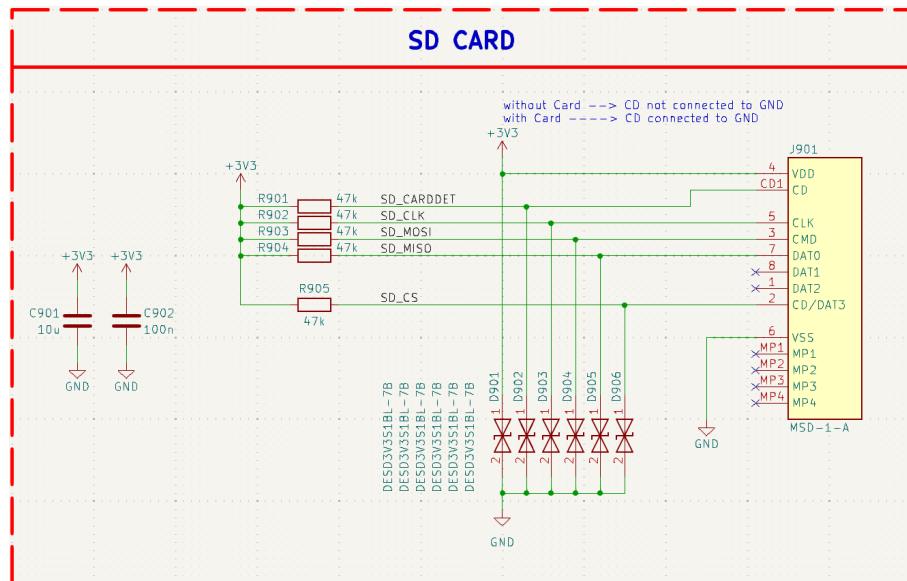


Figura 5.59: Esquemático de la tarjeta microSD.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

5.2.11. Sistema de audio

Se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.60 para implementar el sistema de audio mediante el integrado MAX98357AETE+T. Se han añadido los condensadores C1001 de $10\mu F$ y C1002 de $100nF$ para estabilizar la alimentación y la resistencia R1001 de $620k\Omega$ para seleccionar que en el canal de salida salga el audio en estéreo. Además, se ha añadido el mismo conector que la batería S2B-ZR-SM4A-TF para conectar el altavoz.

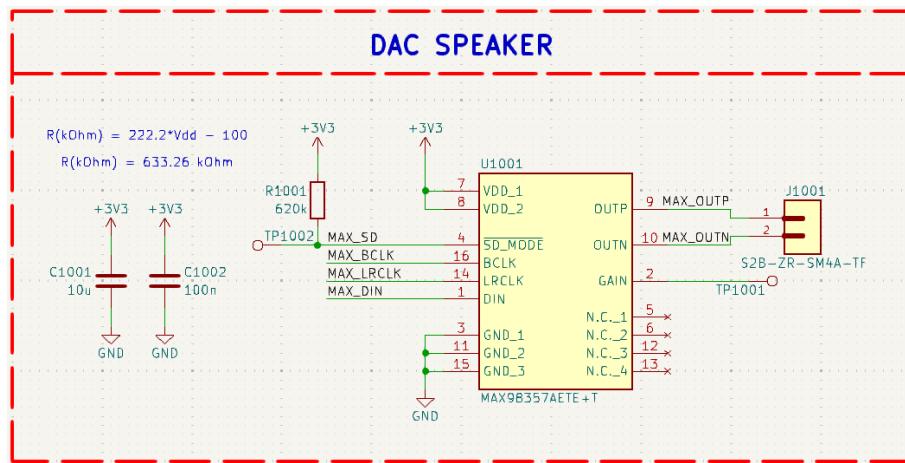


Figura 5.60: Esquemático del sistema de audio.

5.2.12. Conexión de los módulos externos

Se ha elegido usar el conector SFC-115-T2-F-D-A-K de Samtec para la tarjeta principal, mientras que los módulos llevan el conector análogo TFC-115-02-F-D-A.

Para implementar la conexión de los módulos externos se ha diseñado un esquemático base que sirva como norma a la hora de diseñar las conexiones de los módulos externos. Este esquemático se puede ver en la Figura 5.61, que es el que se ha implementado en la tarjeta principal. De esta forma, se tienen todos los pines necesarios para usar los módulos externos ya diseñado y una base que seguir para los módulos que se diseñen en un futuro.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

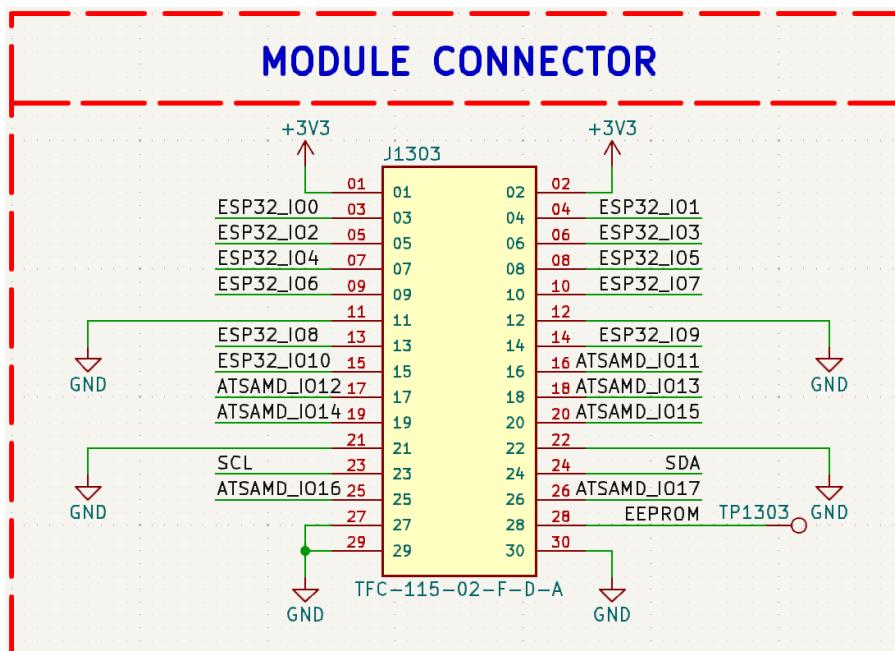


Figura 5.61: Esquemático del conector de los módulos externos.

5.2.13. Módulo de cámara

Para implementar el módulo de la cámara se han utilizado varios componentes. La implementación de la EEPROM DS28E07P+ se puede ver en la Figura 5.62.

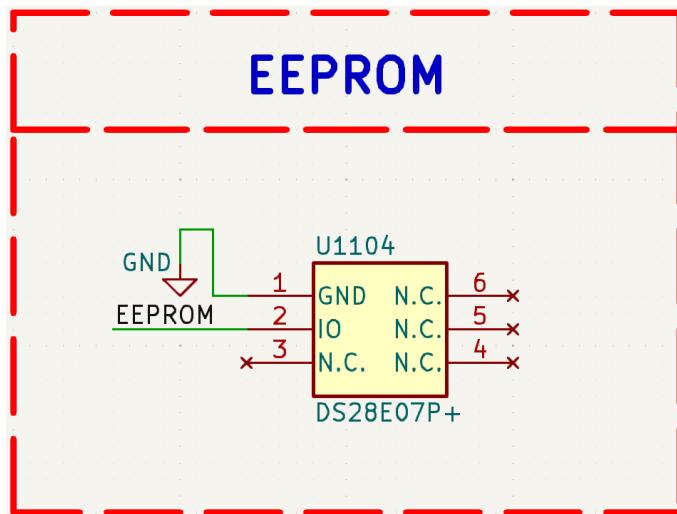


Figura 5.62: Esquemático de la EEPROM DS28E07P+.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

El sensor OV5640 utiliza dos buses de alimentación a parte del de 3.3V, uno de 1.5V y otro de 2.8V. Por tanto, se han implementado los dos reguladores lineales de la Figura 5.63:

- **TLV74328PDBVR:** regula el voltaje de 3.3V a 2.8V. Se han añadido los condensadores a la entrada y a la salida para estabilizar la alimentación siguiendo la recomendación de la hoja de datos.
- **TLV74315PDBVR:** regula el voltaje de 3.3V a 1.5V. Se han añadido los condensadores a la entrada y a la salida para estabilizar la alimentación siguiendo la recomendación de la hoja de datos.

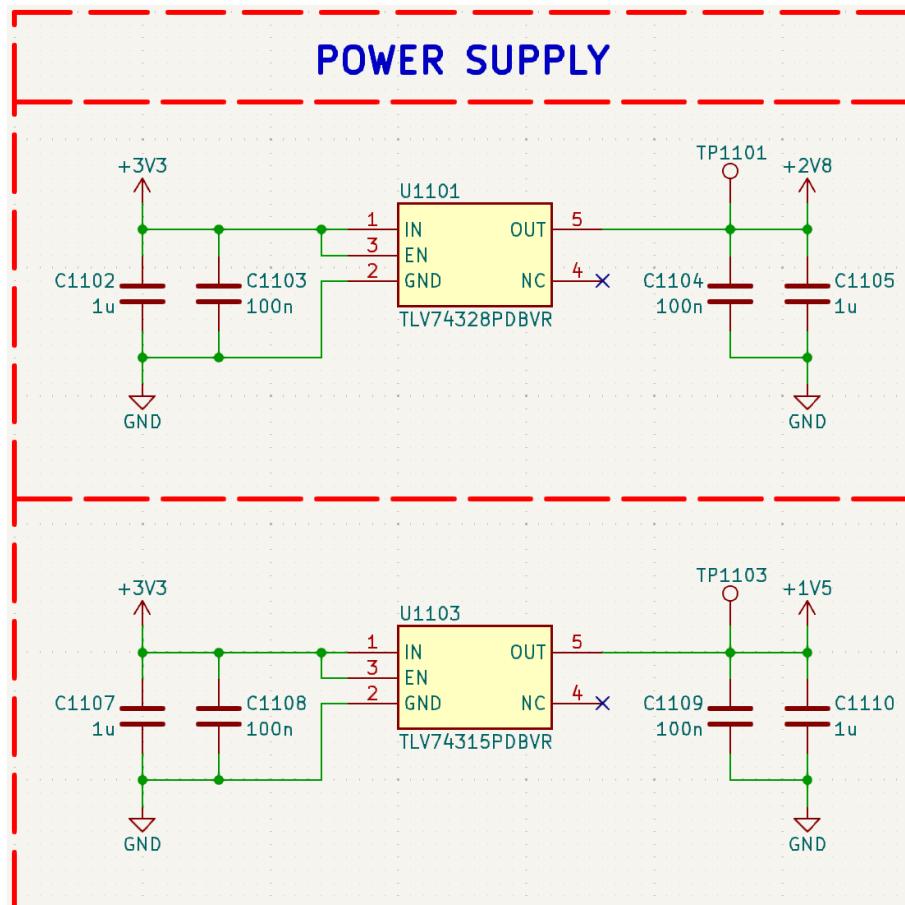


Figura 5.63: Esquemático de los reguladores de 1.5V y 2.8V para el sensor OV5640.

Para implementar el sensor OV5640 se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.64. Se ha integrado el cristal ASE-24.000MHZ-L-R-T de 24MHz para ahorrar un pin del microcontrolador y se han añadido las resistencias R1101 Y R1102 de $10\text{k}\Omega$ y los condensadores C1106 de 100nF y C1101 de 22p siguiendo la hoja de datos.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Además, se ha unido la GND digital y la GND analógica mediante una resistencia de 0Ω para evitar ruidos en la alimentación.

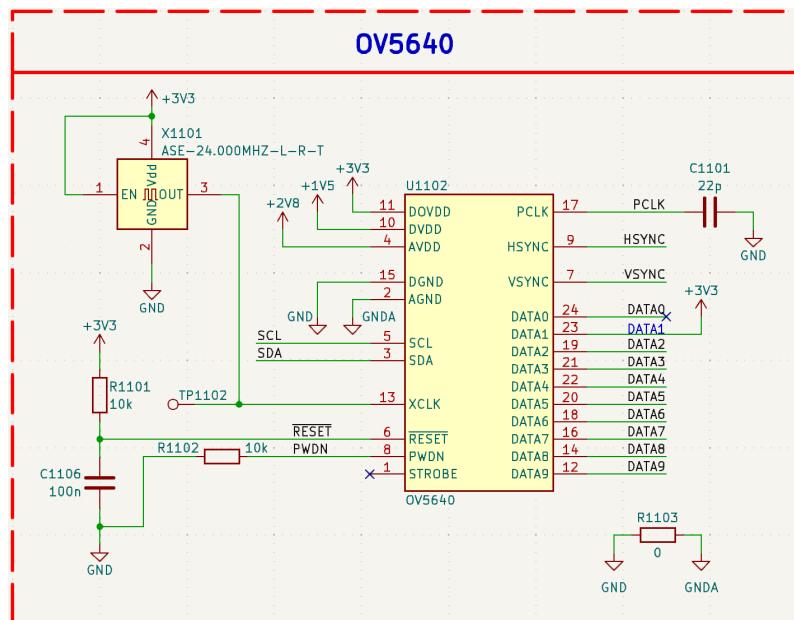


Figura 5.64: Esquemático del sensor OV5640.

En cuanto al conector, siguiendo el esquemático implementado en la tarjeta principal, se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.65.

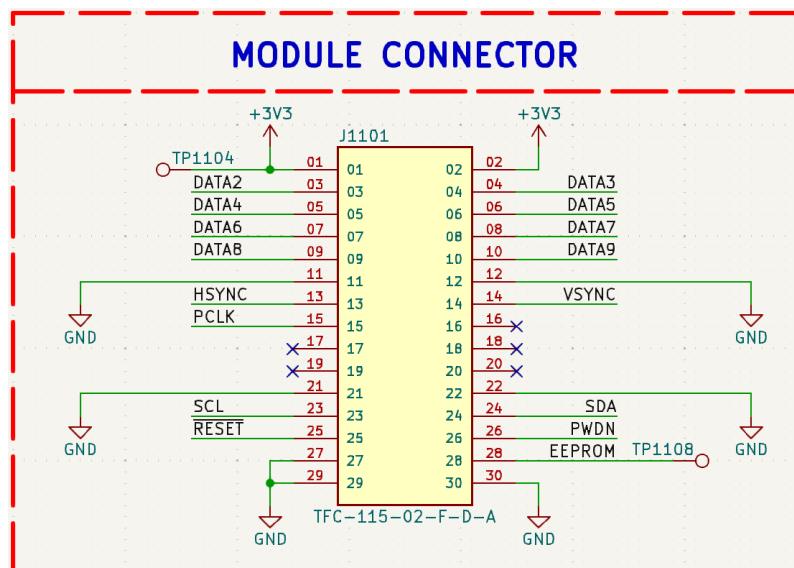


Figura 5.65: Esquemático del conector del sensor OV5640.

5.2.14. Módulo de Montaña

La eeprom en este módulo se ha implementado de la misma manera que en el módulo de la cámara. Sin embargo, las conexiones del conector se han modificado para adaptarse a las necesidades de este módulo, como se puede ver en la Figura 5.66.

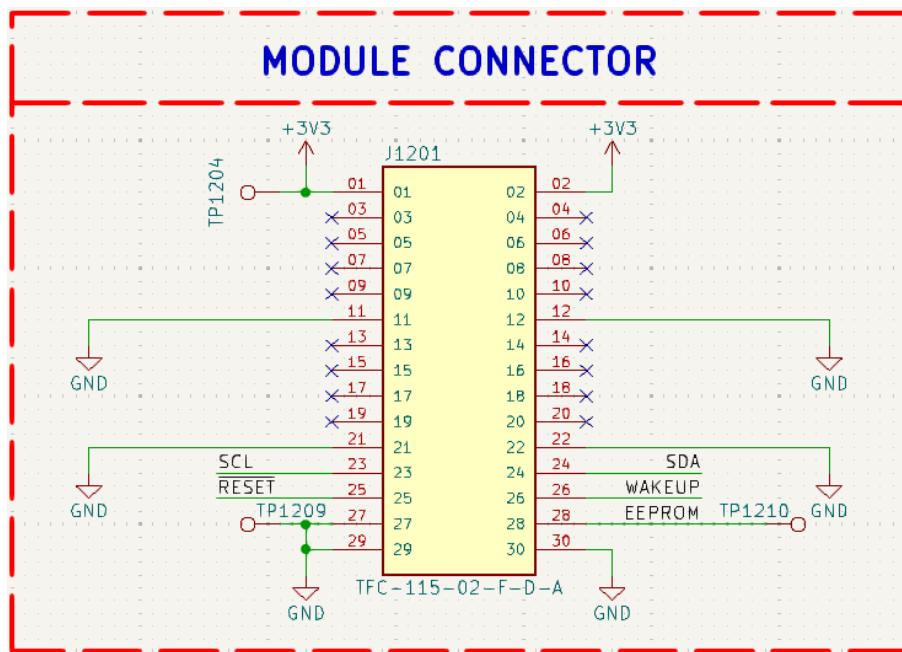


Figura 5.66: Esquemático del conector del módulo de montaña.

Para integrar el módulo GPS se ha diseñado el esquemático de la Figura 5.67. Se han añadido los condensadores C1201 de $10\mu F$ y C1202 de $100nF$ para estabilizar la alimentación. Además, se ha añadido el led D1201 para indicar cuando el GPS ha adquirido señal y la resistencia R1201 de 330Ω para limitar la corriente.

El condensador C1204 es el DSK-3R3H224U-HL de la marca DSK de $0,22F$ que se ha añadido para mantener la alimentación del GPS cuando se apaga el dispositivo. Además, se ha añadido el condensador C1203 de $1\mu F$ para estabilizar esta alimentación.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

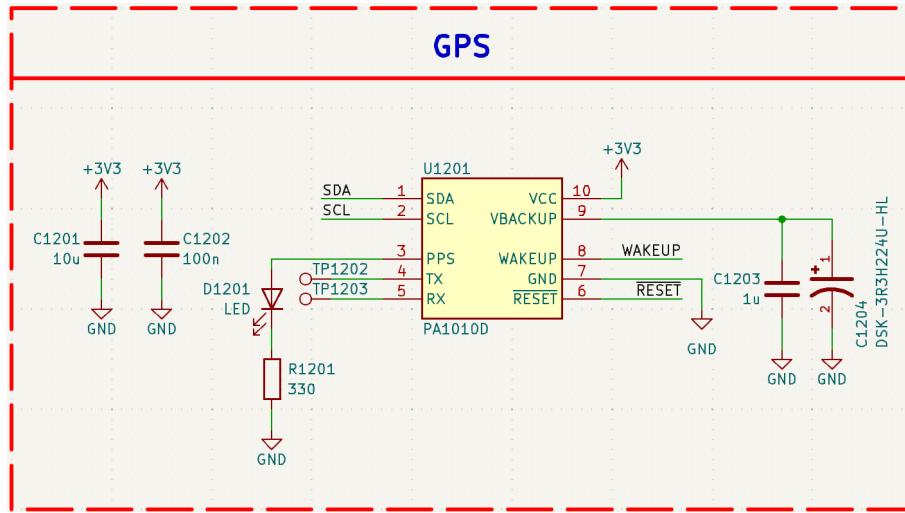


Figura 5.67: Esquemático del módulo GPS PA1010D.

Para integrar el sensor BME280, únicamente se han añadido dos condensadores de 10nF para estabilizar y filtrar la alimentación como se puede ver en la Figura 5.68.

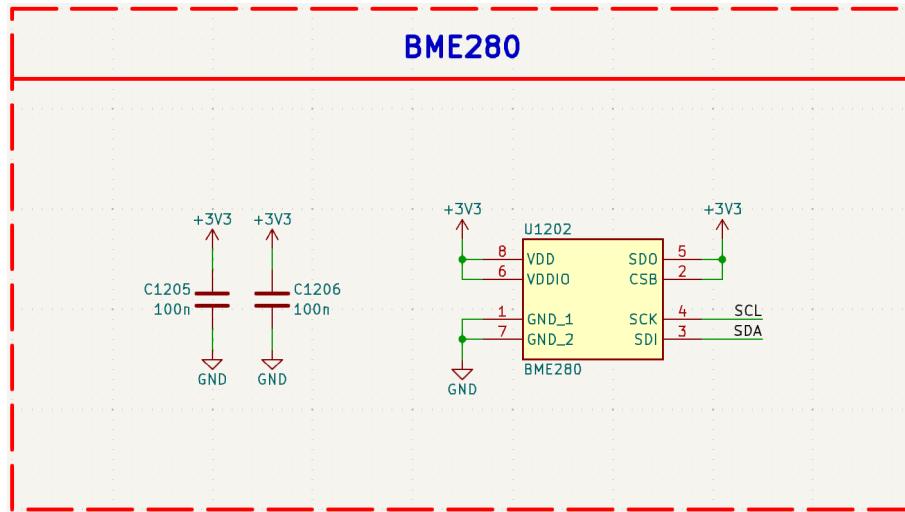


Figura 5.68: Esquemático del sensor BME280.

5.2.15. Módulo de Desarrollo

En este módulo se ha implementado la EEPROM de la misma manera y el conector se ha diseñado como se puede ver en la Figura 5.69. Además, se han añadido otros dos conectores, uno de 15 pines y otro de 9 pines, para poder conectar cables externos de otros periféricos. El diseño de estos conectores se puede ver en la Figura 5.70.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

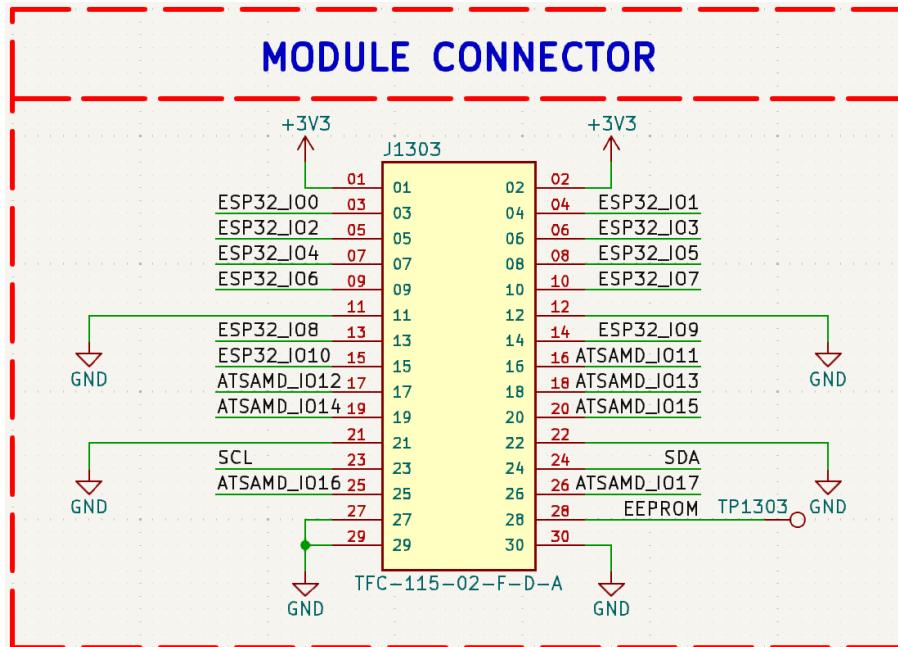


Figura 5.69: Esquemático del conector del módulo de desarrollo.

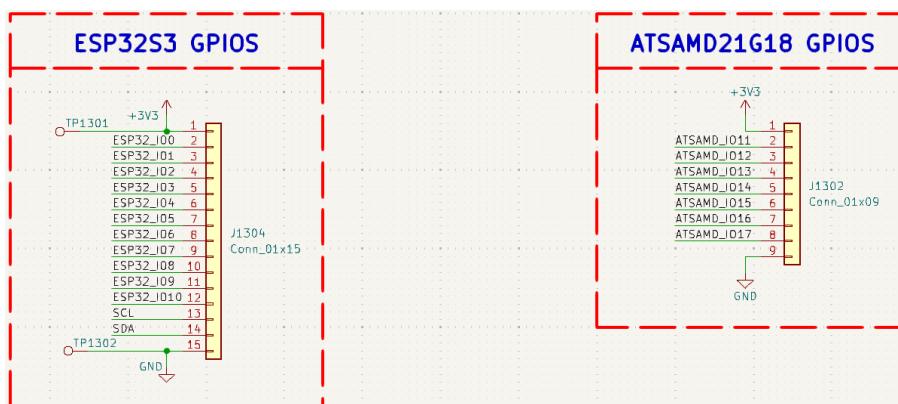


Figura 5.70: Esquemático de los conectores del módulo de desarrollo.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

5.2.16. Diseño del Layout

Una vez diseñado el esquemático, se ha procedido a diseñar el layout de las tarjetas. Para ello, se ha empezado seleccionando el stack-up general para todas, seleccionando un stack-up de 4 capas con la siguiente distribución:

- **Capa 1:** señales y alimentación.
- **Capa 2:** GND.
- **Capa 3:** GND y Alimentación.
- **Capa 4:** señales.

Además se ha seleccionado el stack-up de la Figura 5.71 del fabricante PCBWay y se han usado señales de 0.3mm de ancho para mantener una impedancia aproximada de 50Ω .

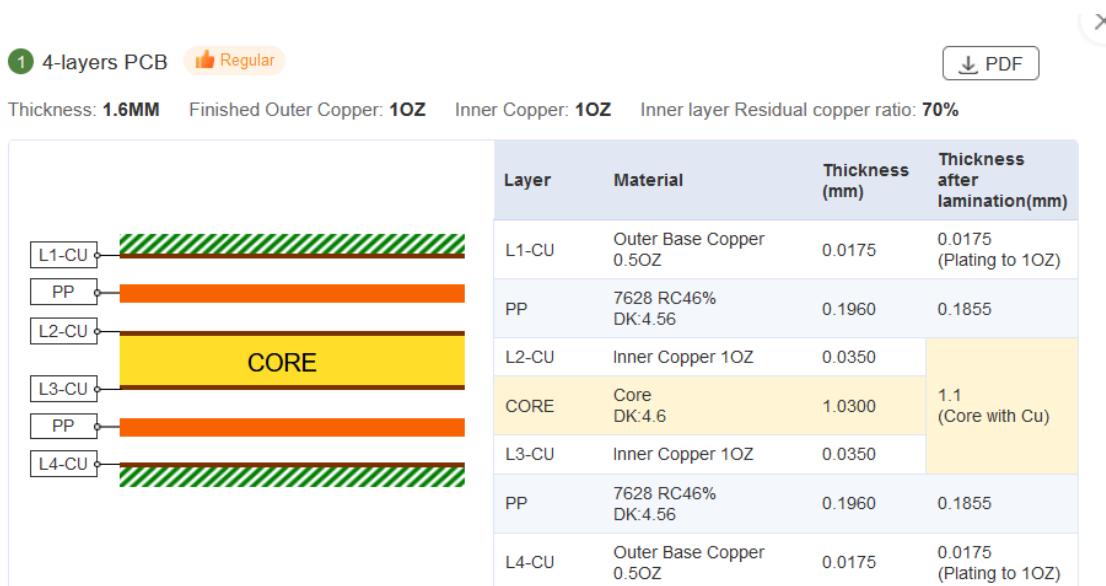


Figura 5.71: Stack-up seleccionado para la PCB.

Los planos de la PCB se pueden encontrar en la parte de Planos 9.2.

5.2.17. Verificación de la PCB

La tarjeta de esta fase del proyecto ha sido fabricada por PCBWay y se ha soldado a mano siguiendo el esquemático y el layout diseñado.

Tras soldar los componentes y comprobar que no hay cortocircuitos, se ha procedido a probar los mismos códigos utilizados en la fase de Prueba de Concepto. Se han utilizado estos códigos ya que se han comprobado que funcionan correctamente, por lo que cualquier fallo al usarlos sería debido a un fallo en el diseño de la tarjeta.

Tras probar los códigos, se validado que funciona la mayoría de las funciones de la tarjeta y validando que cumple los requerimientos propuestos. Sin embargo, se han encontrado los problemas que se describen a continuación:

- **Huella del regulador de 3.3V:** la huella implementada en el diseño no se ajusta al regulador. Sin embargo, se ha podido solventar soldandolo mediante cables de 0.2mm.
- **Señal de reset de la Pantalla:** el circuito implementado para negar la señal de reset de la pantalla no hace falta. Por lo que se ha solventado eliminando el mosfet Q1101 y la resistencia R105 y concitando el pad G y D del mosfet mediante un cable de 0.2mm.
- **Huella del conector de la batería:** un fallo en el diseño ha hecho que no se pueda soldar correctamente el conector de la bateria. Sin embargo, esto no ha interferido en el funcionamiento de la tarjeta.
- **Pull-up del botón del encoder:** este pull-up ha generado un error en el circuito de encendido. Se ha solventado dessoldando la resistencia R506.

Estos problemas se han solventado en la fase de DVT que se describe en la Sección 5.3.

5.3. Pruebas de Validación del Diseño

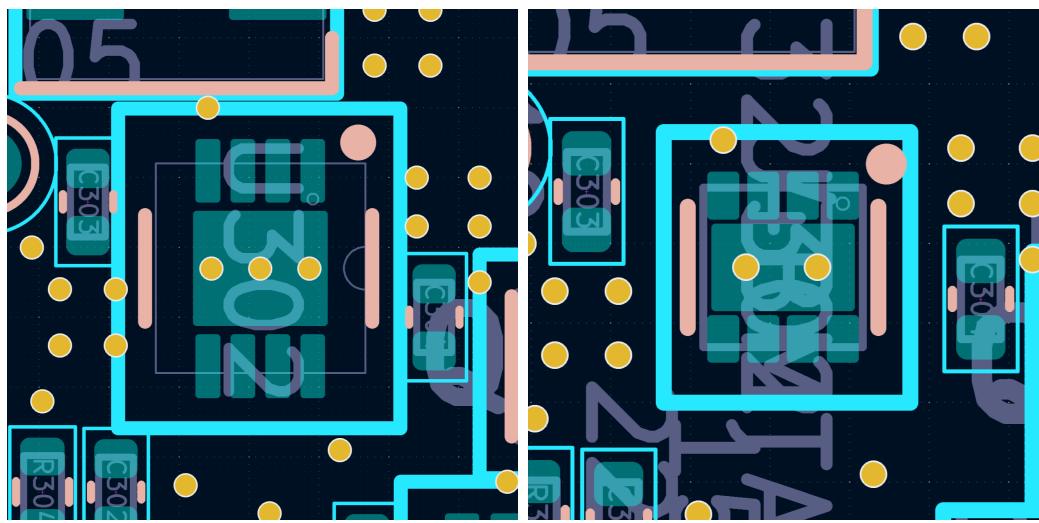
En esta fase de Pruebas de Validación del Diseño (DVT, Design Validation Test) se han realizado los cambios necesarios en el esquemático y en el layout para solventar los problemas de la anterior fase. Además, se ha enfocado a mejorar la fabricación de las tarjetas panelizandolas.

5.3.1. Arreglo de fallos

Huella del regulador de 3.3V

En la anterior fase se ha detectado que la huella del regulador de 3.3V no era la correcta. Para solventar este problema se ha rediseñado la huella como se ve en la Figura 5.72.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA



(a) Huella antigua.

(b) Huella nueva.

Figura 5.72: Comparación de la huella del regulador de 3.3V.

Señal de reset de la Pantalla

En la anterior fase del diseño se ha añadido el circuito de la Figura 5.73. Este circuito sirve para negar la señal de reset de la pantalla. Sin embargo, se ha detectado que no hace falta incorporarlo ya que por firmware se puede configurar. Por tanto, se ha eliminado este circuito.

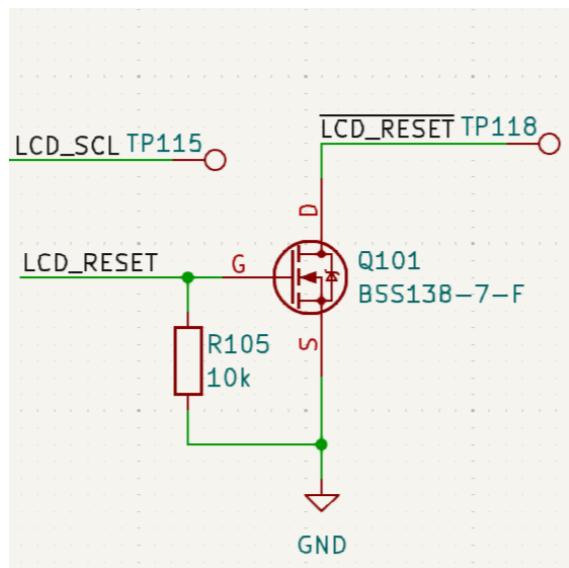


Figura 5.73: Circuito de negación de la señal de reset de la pantalla.

Huella del conector de la batería

En el diseño de la tarjeta de la anterior fase se ha detectado que hay un fallo de ruteo que hace que los dos pads mecánicos del conector de la batería no se fabriquen correctamente. Esto hace que no se pueda soldar el conector a estos pads y únicamente se suelde a los pads eléctricos.

Aunque no ha generado problemas en la anterior fase, a la larga puede generar problemas de fiabilidad, por lo que en esta fase se ha solventado este problema. En la Figura 5.74 se puede ver la comparación de la huella antigua y la nueva.

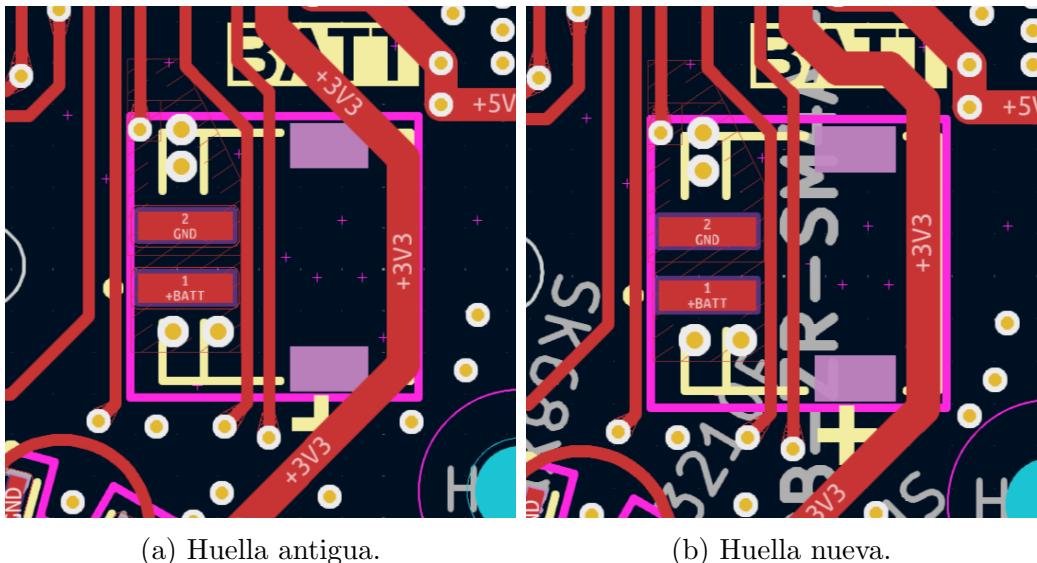


Figura 5.74: Comparación de la huella del conector de la batería.

Pull-up del botón del encoder

En la anterior fase se ha detectado que la resistencia de pull-up del botón del encoder produce que el bloque que se encarga de encender y apagar el dispositivo no funcione correctamente. Esto es debido a que el pull-up en esta señal lo tiene que generar el microcontrolador una vez se enciende y que lo desactive para apagar el dispositivo. Con la presencia de esta resistencia, el microcontrolador no puede desactivar la señal y por tanto no se puede apagar el dispositivo. Por tanto, se ha eliminado esta resistencia.

5.3.2. Panelización de las tarjetas

Para mejorar la fabricación de las tarjetas se han separado las distintas tarjetas y se han panelizado. Para la tarjeta principal, se ha creado un panel de 4 tarjetas, como se puede ver en la Figura 5.75.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

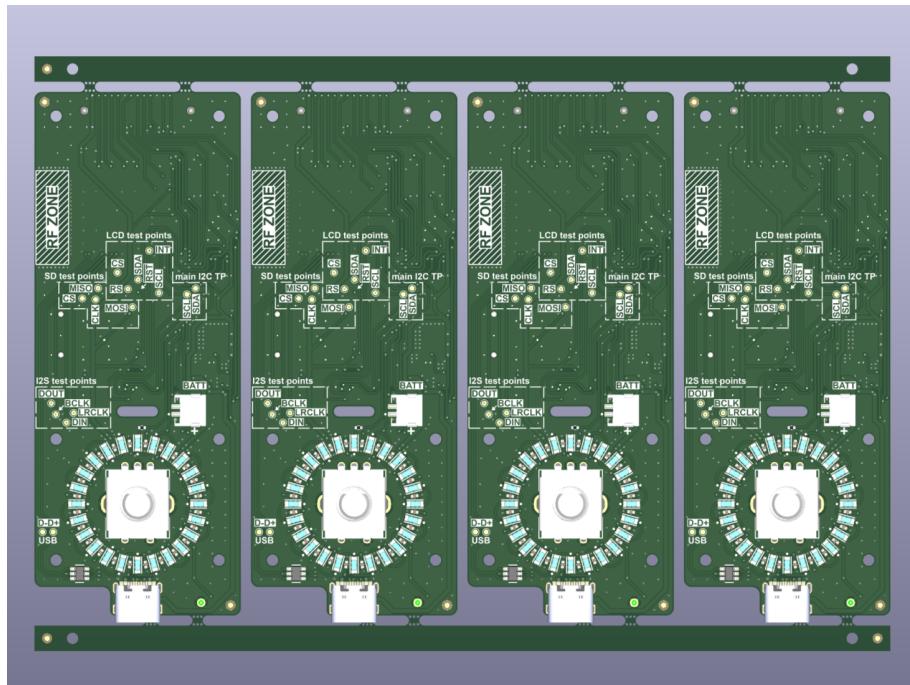
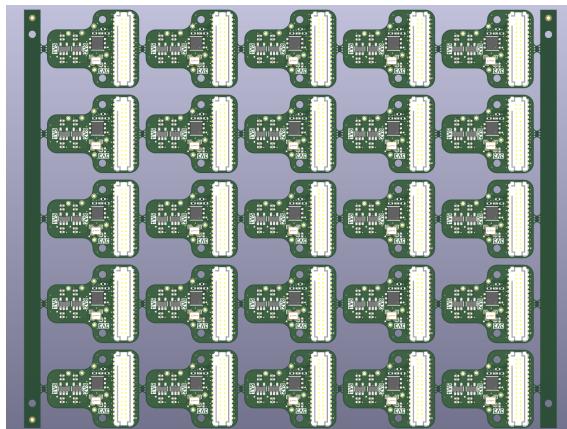


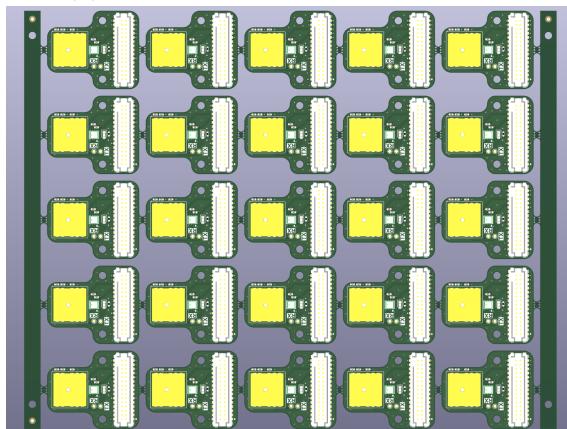
Figura 5.75: Panel de la tarjeta principal.

Para las tarjetas de los módulos, se han creado paneles de 5 x 5 tarjetas, como se puede ver en la Figura 5.76.

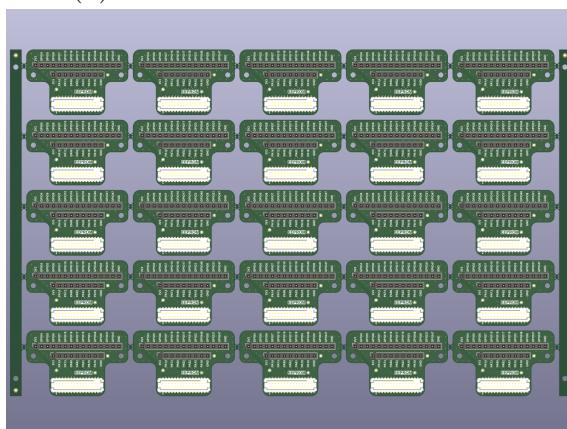
CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA



(a) Panel del módulo de la cámara.



(b) Panel del módulo de montaña.



(c) Panel del módulo de desarrollo.

Figura 5.76: Paneles de las tarjetas de los módulos.

5.4. Diseño mecánico

5.5. Influencias en el diseño del proyecto

El diseño del dispositivo se ha inspirado en dispositivos electrónicos portátiles y modulares de gran popularidad, como la Nintendo DS y el iPod Classic. Estos dispositivos se caracterizan por su diseño compacto y ergonómico, que permite a los usuarios interactuar con ellos de manera intuitiva y cómoda.



(a) Nintendo DS

(b) iPod Classic

Figura 5.77: Referencias para el diseño del proyecto.

5.5.1. Módulos

El concepto de modularidad del dispositivo se ha inspirado en la Nintendo DS (Figura 5.77a), que permite a los usuarios conectar diferentes módulos, como cartuchos de juegos y accesorios, para expandir las capacidades de la consola. De esta forma se ha diseñado el dispositivo para que los usuarios puedan conectar y desconectar módulos desde la parte superior a través de un conector.

5.5.2. Diseño exterior

De la misma forma, el diseño exterior del dispositivo se ha inspirado en el iPod Classic (Figura 5.77b), que presenta un diseño minimalista y elegante con una pantalla central y la interfaz de control en la parte inferior. Así se ha diseñado el dispositivo para contar con una pantalla táctil central y la interfaz de control en la parte inferior.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

Con estas influencias al principio del proyecto se diseñó un boceto inicial sobre cómo se vería el dispositivo y las principales características que incluiría (Figura 5.78).

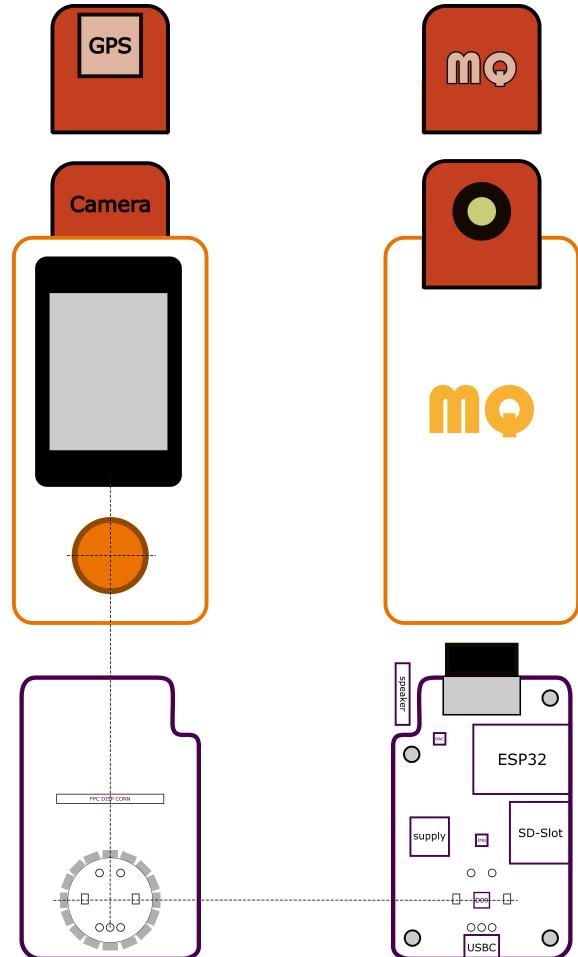


Figura 5.78: Boceto inicial sobre la idea del proyecto.

Para el diseño de la carcasa se ha utilizado el software Fusion 360 de Autodesk. Se ha diseñado la carcasa de la Figura 5.79 donde se puede ver la vista superior, inferior y del conector USB.

Esta carcasa se ha dividido en dos partes, para poder integrar todos los componentes en su interior. Además, se han diseñado dos piezas interiores para llevar la luz de los leds directamente a la tapa superior y que no se distribuya por el interior del dispositivo. Estas piezas se pueden ver en la Figura 5.80.

Todas las piezas, sus medidas y cómo se ensamblan se puede ver en el Capítulo Planos Mecánicos 11.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

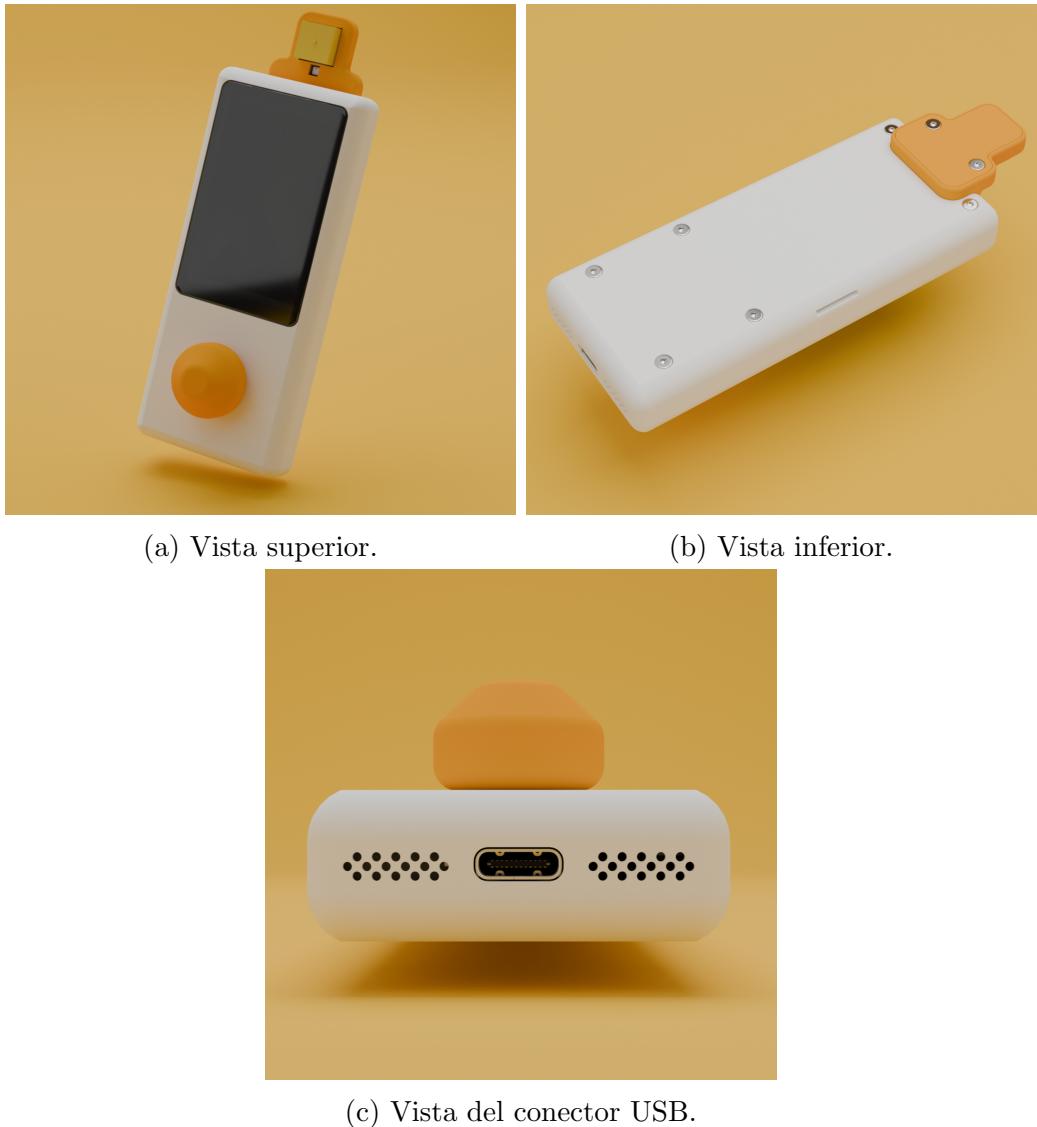


Figura 5.79: Diseño de la carcasa.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

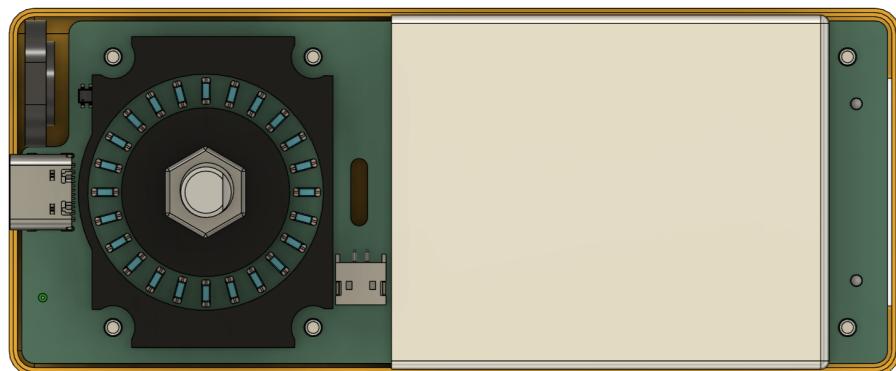


Figura 5.80: Piezas para dirigir la luz de los leds.

CAPÍTULO 5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

6. Objetivos de Desarrollo Sostenible

El desarrollo de este dispositivo electrónico programable modular aborda varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Los ODS relacionados con el proyecto son los que se ven en la Tabla 6.1.

A continuación, se detallan los objetivos relevantes y cómo el proyecto contribuye a cada uno de ellos.

6.1. ODS 4: Educación de Calidad

El dispositivo está diseñado como una plataforma de desarrollo para la exploración y manejo de diversos sensores. Su modularidad permite a los estudiantes y profesionales comprender, programar y aplicar distintos sensores, lo que facilita el aprendizaje práctico y la adquisición de habilidades técnicas avanzadas.

Además, al proporcionar una herramienta versátil y programable, el proyecto hace que la educación tecnológica sea más accesible, permitiendo a más personas experimentar y aprender sobre electrónica y programación de manera interactiva y práctica.

6.2. ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura

El proyecto fomenta la innovación al permitir la creación y expansión de funcionalidades a través de módulos adicionales. Esta capacidad de adaptarse y crecer con nuevas tecnologías impulsa la creatividad y el desarrollo de nuevas aplicaciones.

Además, el dispositivo, con sus múltiples componentes y sensores, contribuye al desarrollo de infraestructuras tecnológicas avanzadas que pueden ser utilizadas en diversos sectores industriales, mejorando la eficiencia y la productividad.

CAPÍTULO 6. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

ODS	Efecto No Apreciable	Efecto Apreciable
Fin de la pobreza		
Hambre cero		
Salud y bienestar		X
Educación de calidad		
Igualdad de género		
Agua limpia y saneamiento		
Energía asequible y no contaminante		
Trabajo decente y crecimiento económico		
Industria, innovación e infraestructura		X
Reducción de las desigualdades		
Ciudades y comunidades sostenibles		
Producción y consumo responsables		X
Acción por el clima		X
Vida submarina		
Vida de ecosistemas terrestres		
Paz, justicia e instituciones sólidas		
Alianza para lograr los objetivos		X

Tabla 6.1: Tabla de los ODS y su efecto en el proyecto.

6.3. ODS 12: Producción y Consumo Responsables

El diseño modular del dispositivo permite reutilizar y actualizar componentes, lo que reduce la necesidad de fabricar dispositivos completamente nuevos. Esto promueve un uso más eficiente de los recursos y disminuye el desperdicio electrónico.

Además, al integrar la educación sobre el uso de tecnologías sostenibles y eficientes, el proyecto ayuda a crear conciencia sobre la importancia de prácticas responsables en la producción y el consumo de dispositivos electrónicos.

6.4. ODS 13: Acción por el Clima

Al utilizar componentes eficientes en términos de energía, como el módulo ESP32-S3-WROOM-2 y otros sensores de bajo consumo, el dispositivo minimiza su huella de carbono. Esta característica es fundamental en la lucha contra el cambio climático.

Además, el dispositivo puede ser utilizado en la recopilación y análisis de datos ambientales, como la temperatura, humedad y presión atmosférica, a través de sus sensores integrados. Esto facilita la investigación y el monitoreo del clima, contribuyendo a esfuerzos globales para mitigar el cambio climático.

6.5. ODS 17: Alianzas para Lograr los Objetivos

El proyecto se presta a la colaboración entre instituciones educativas, industriales y de investigación. Estas alianzas son cruciales para el desarrollo, validación y mejora continua del dispositivo, asegurando que se mantenga a la vanguardia de la tecnología y cumpla con los objetivos globales de sostenibilidad.

CAPÍTULO 6. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

7. Conclusiones

El desarrollo de este dispositivo electrónico programable modular ha sido un proceso complejo y desafiante. Sin embargo, los resultados obtenidos son muy satisfactorios y prometedores, que demuestran el potencial de esta plataforma para la educación, la innovación y la sostenibilidad.

Este proyecto no ha terminado con la finalización de la fase de Diseño y Validación, sino que es un proyecto vivo y en constante evolución.

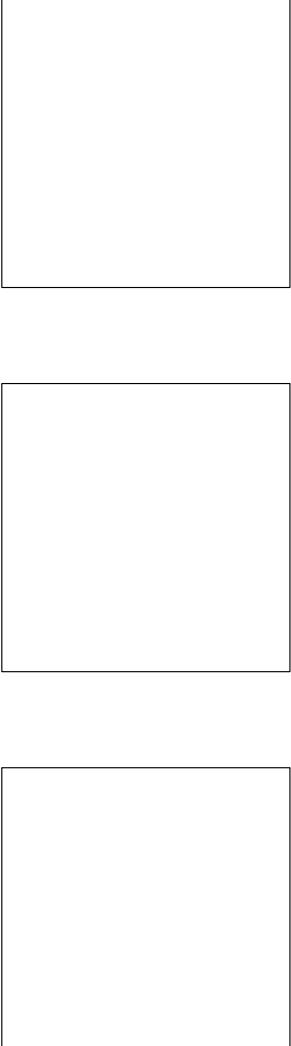
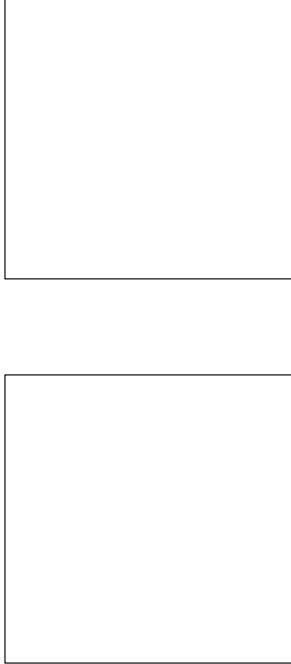
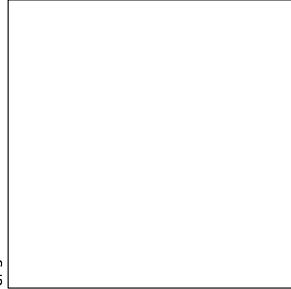
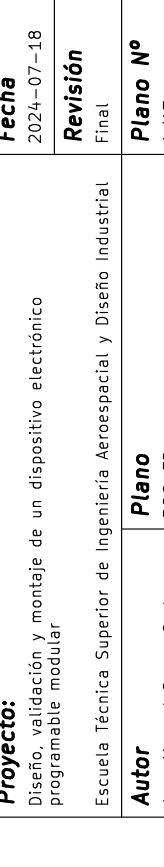
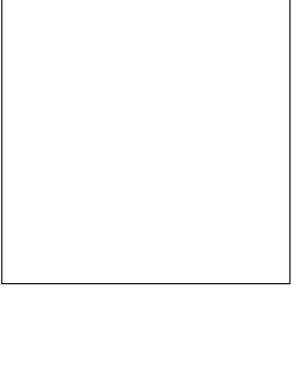
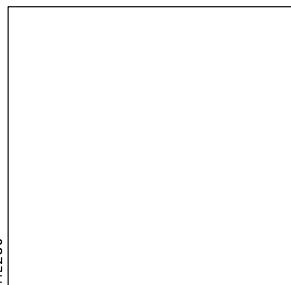
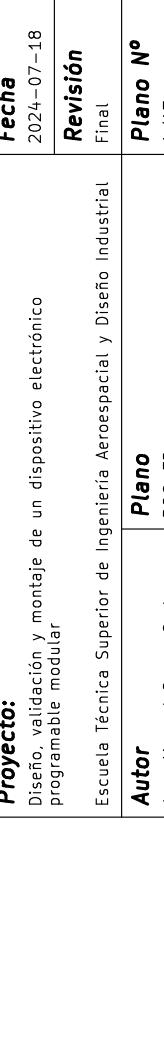
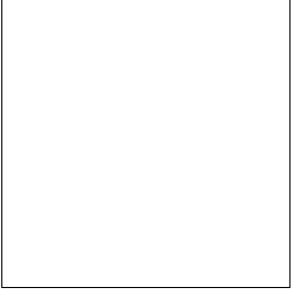
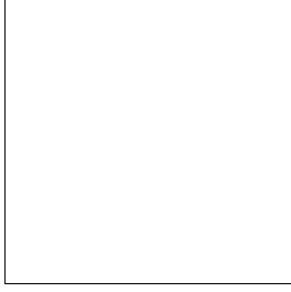
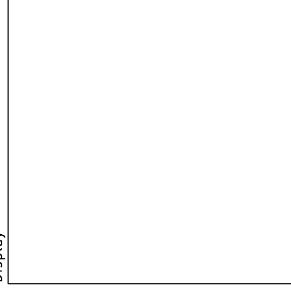
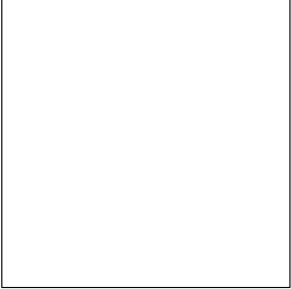
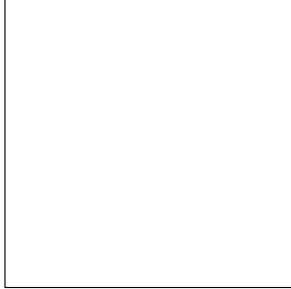
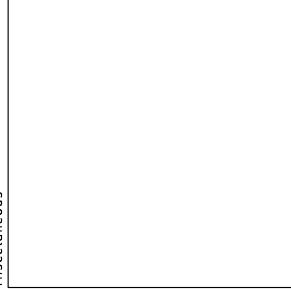
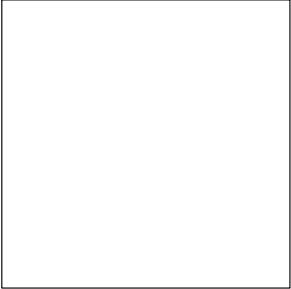
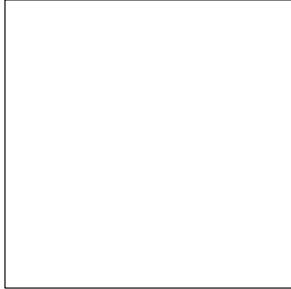
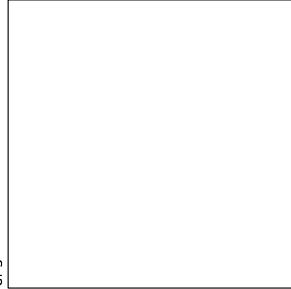
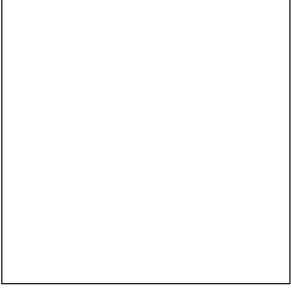
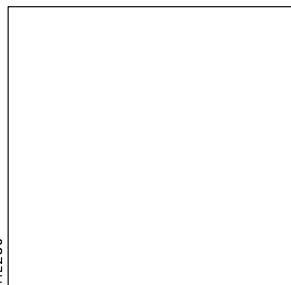
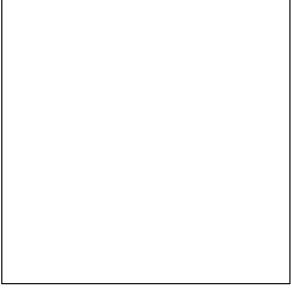
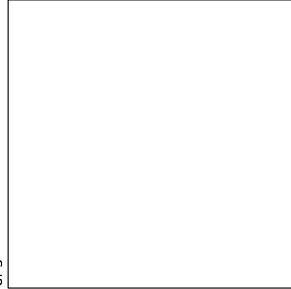
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

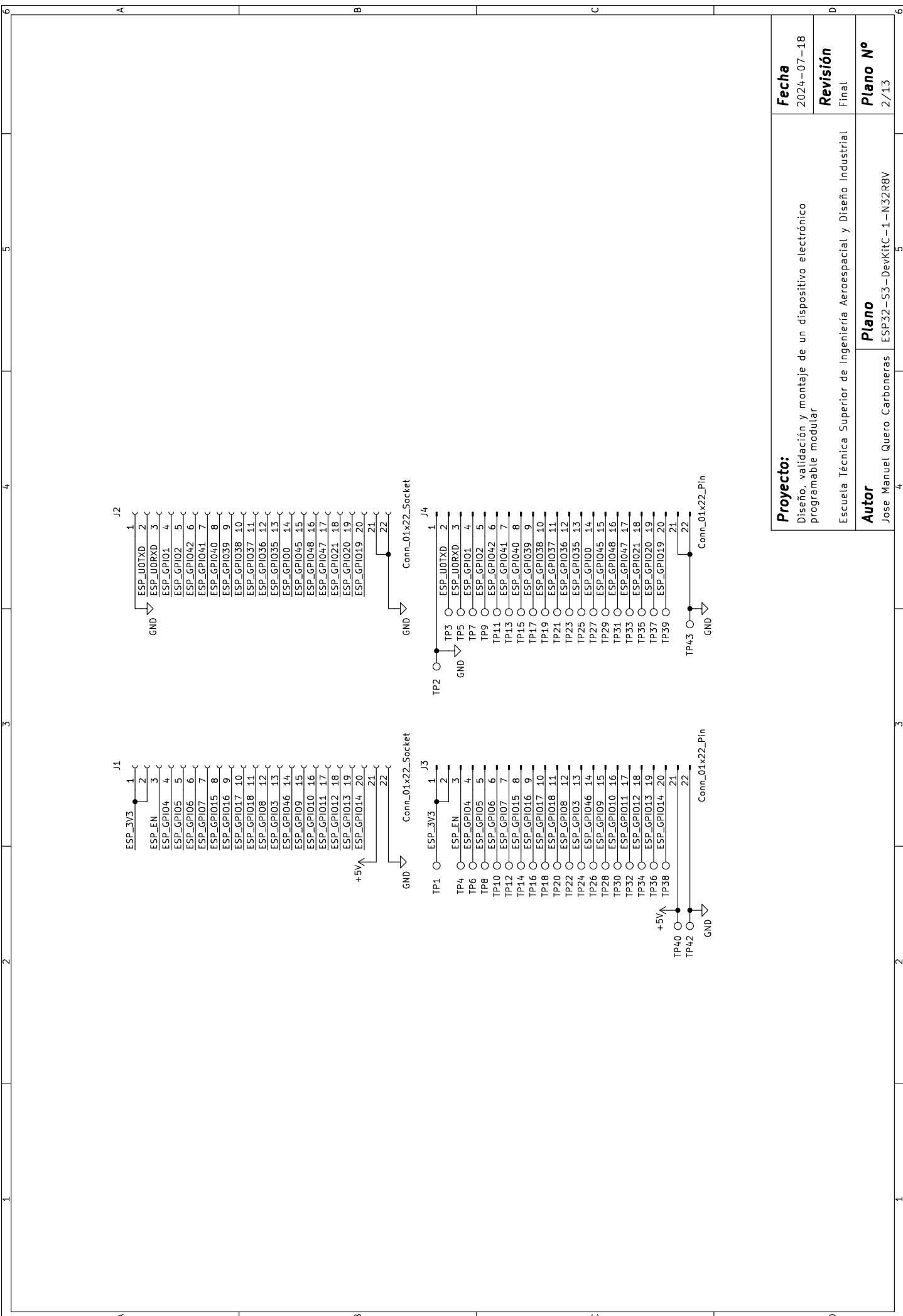
Parte II

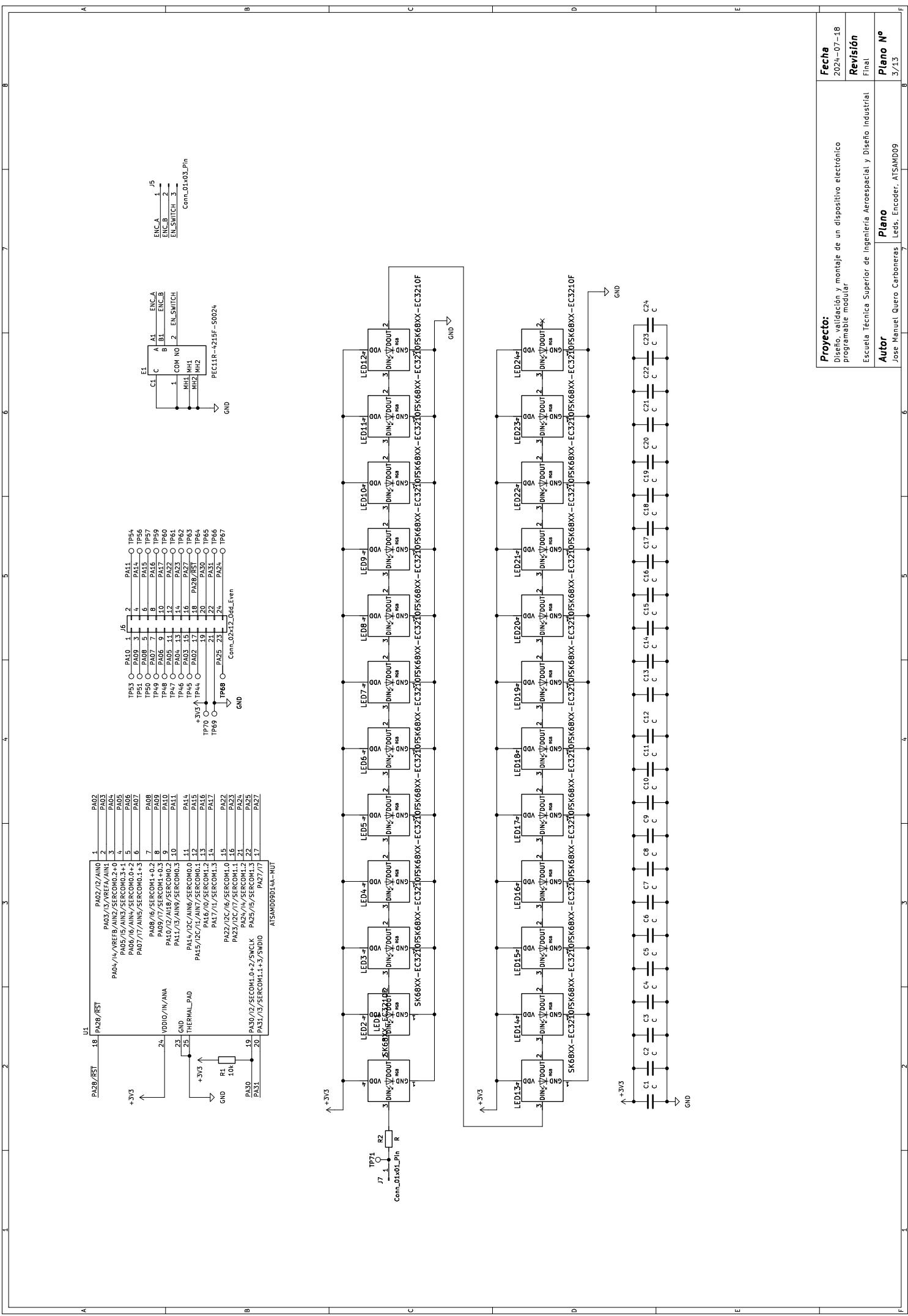
Planos

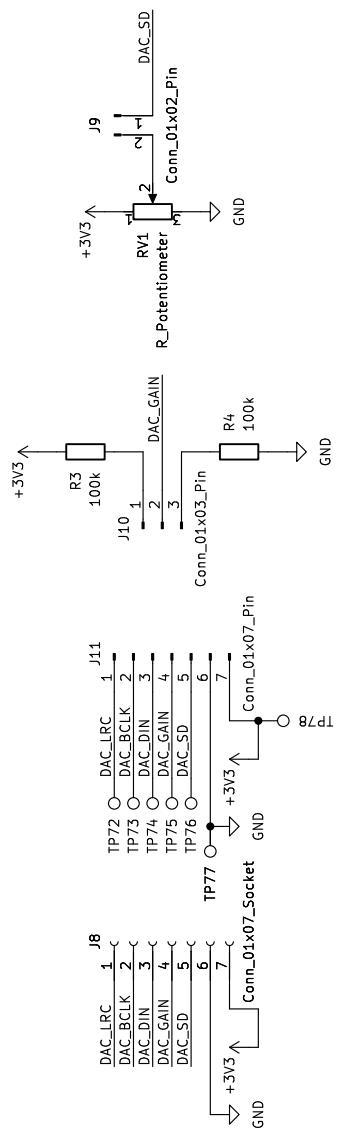
8. Prueba de Concepto

8.1. Esquemático

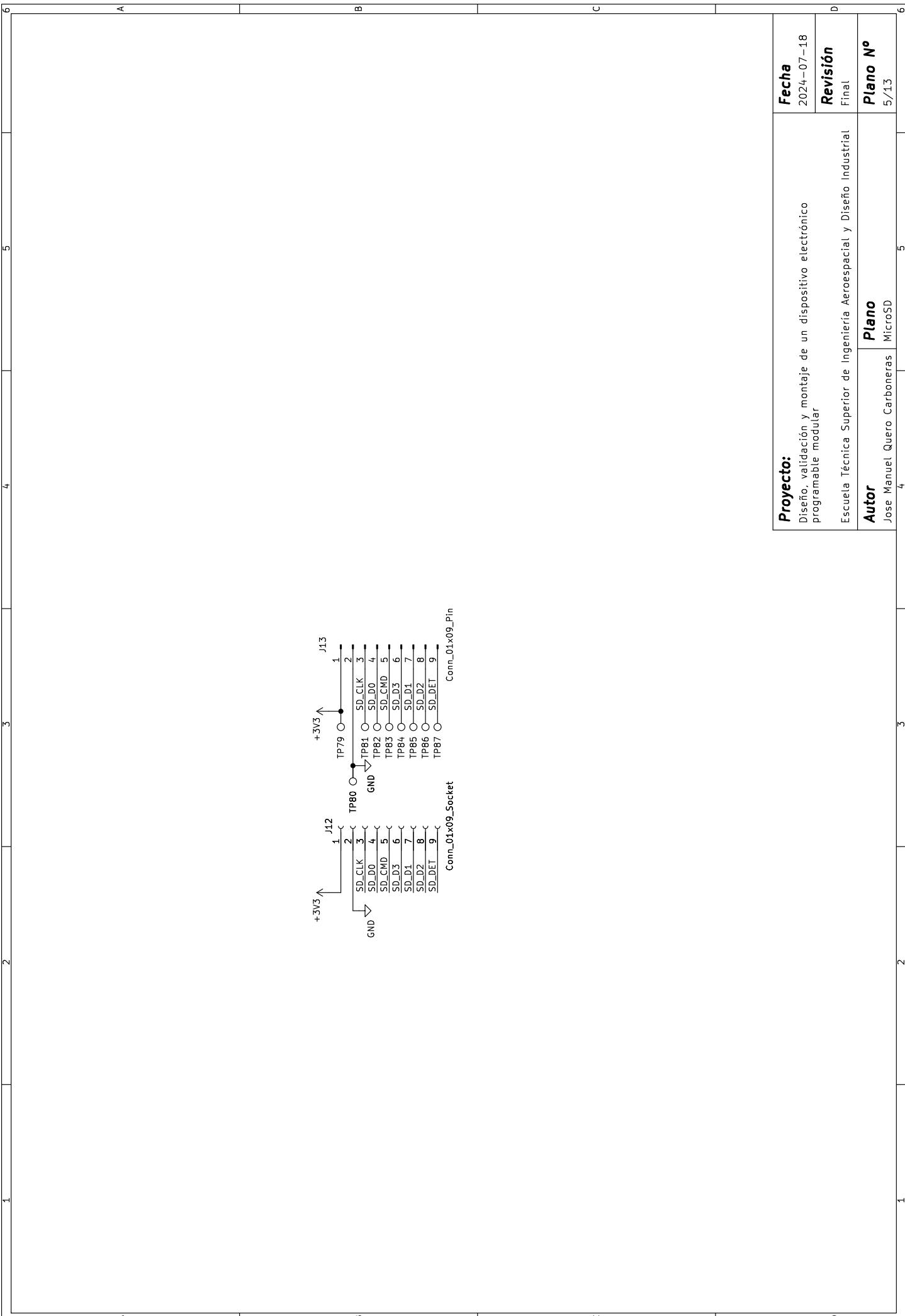
	A	B	C	D
1				
2				
3				
4				
5				
6				
ESP32				
Power				
LEAT				
BN0085				
MAY98357				
EEPROMs				
SD-Slot				
File: ESP32.kicad_sch	File: MAX98357.kicad_sch	File: BME280.kicad_sch	File: PA116D.kicad_sch	File: Miscellaneous.kicad_sch
File: Power.kicad_sch	File: EEPROMs.kicad_sch	File: SD-Slot.kicad_sch	File: Display.kicad_sch	File: BN0085.kicad_sch
File: LEAT.kicad_sch	File: EEPROMs.kicad_sch	File: MAX98357.kicad_sch	File: PA116D.kicad_sch	File: Camera.kicad_sch
File: BN0085.kicad_sch	File: Camera.kicad_sch	File: MAX98357.kicad_sch	File: PA116D.kicad_sch	File: Miscellaneous.kicad_sch

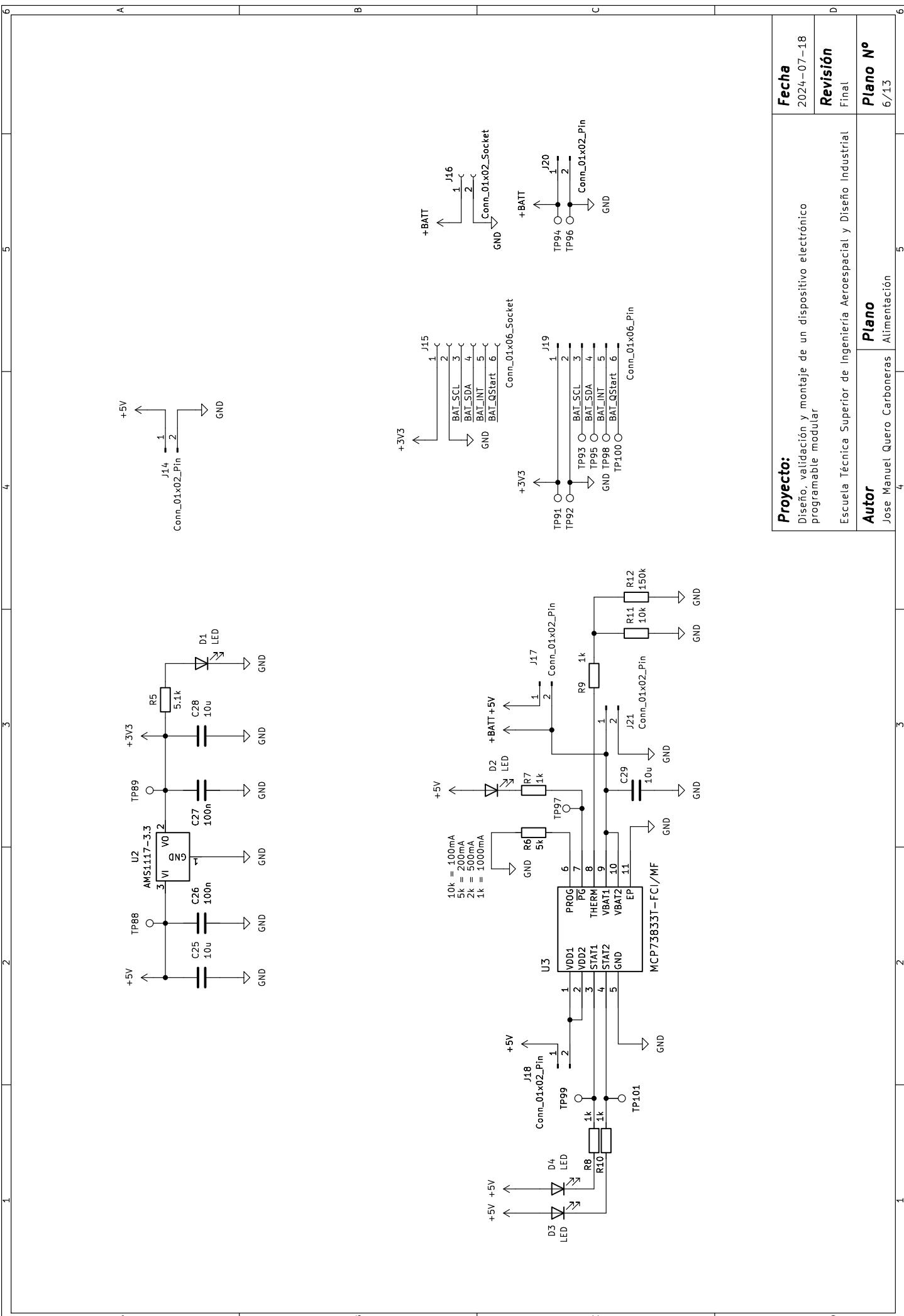


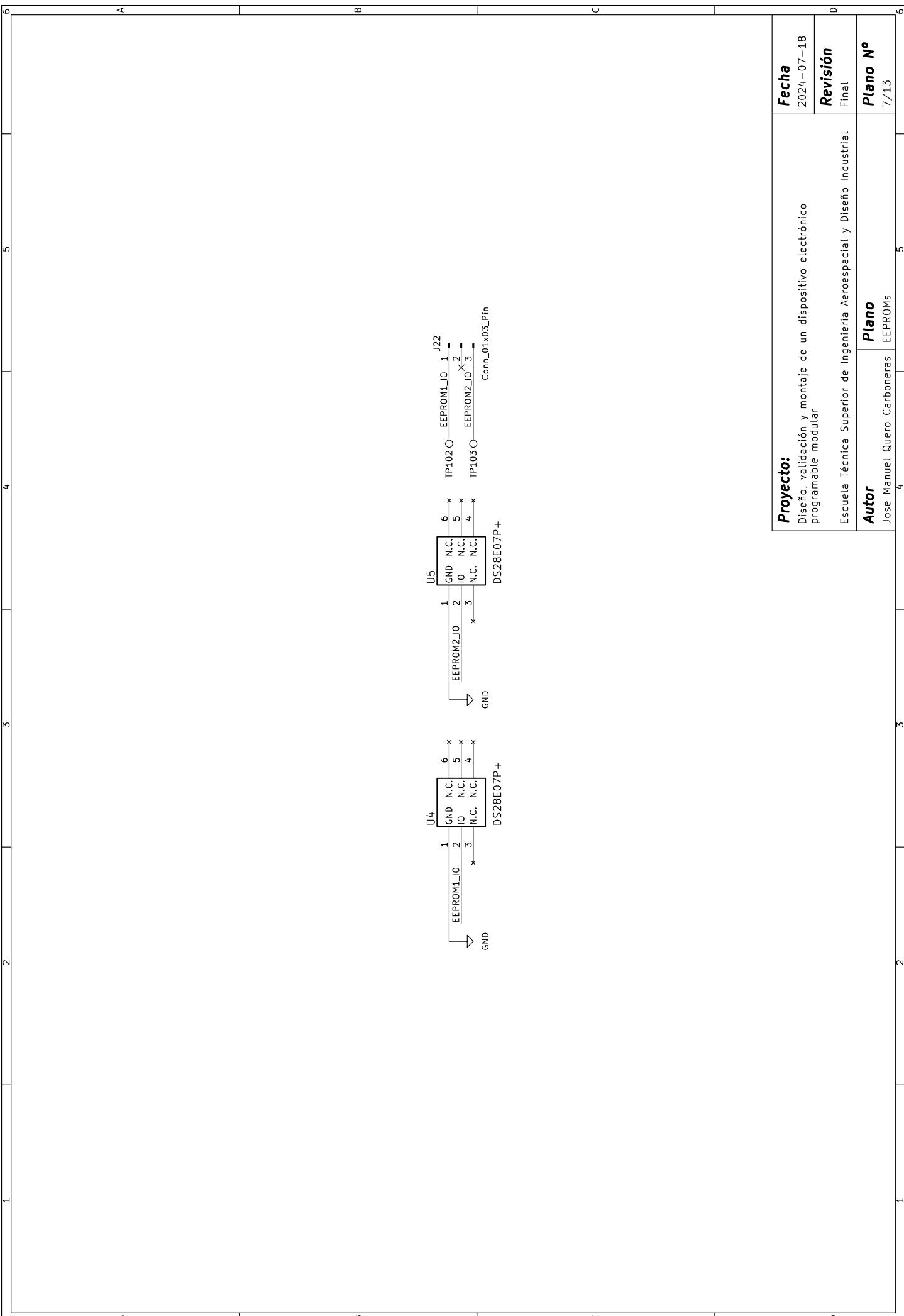


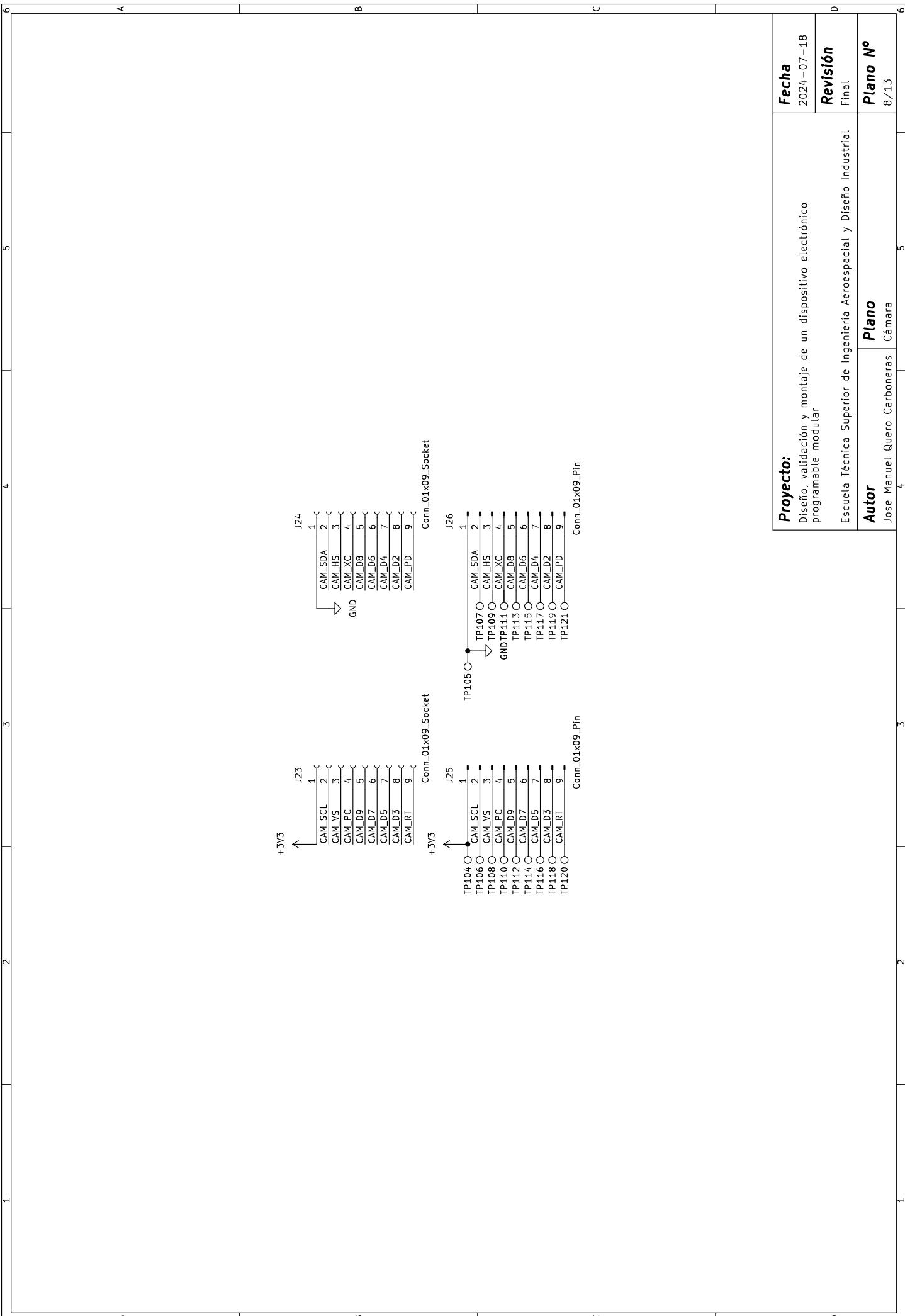


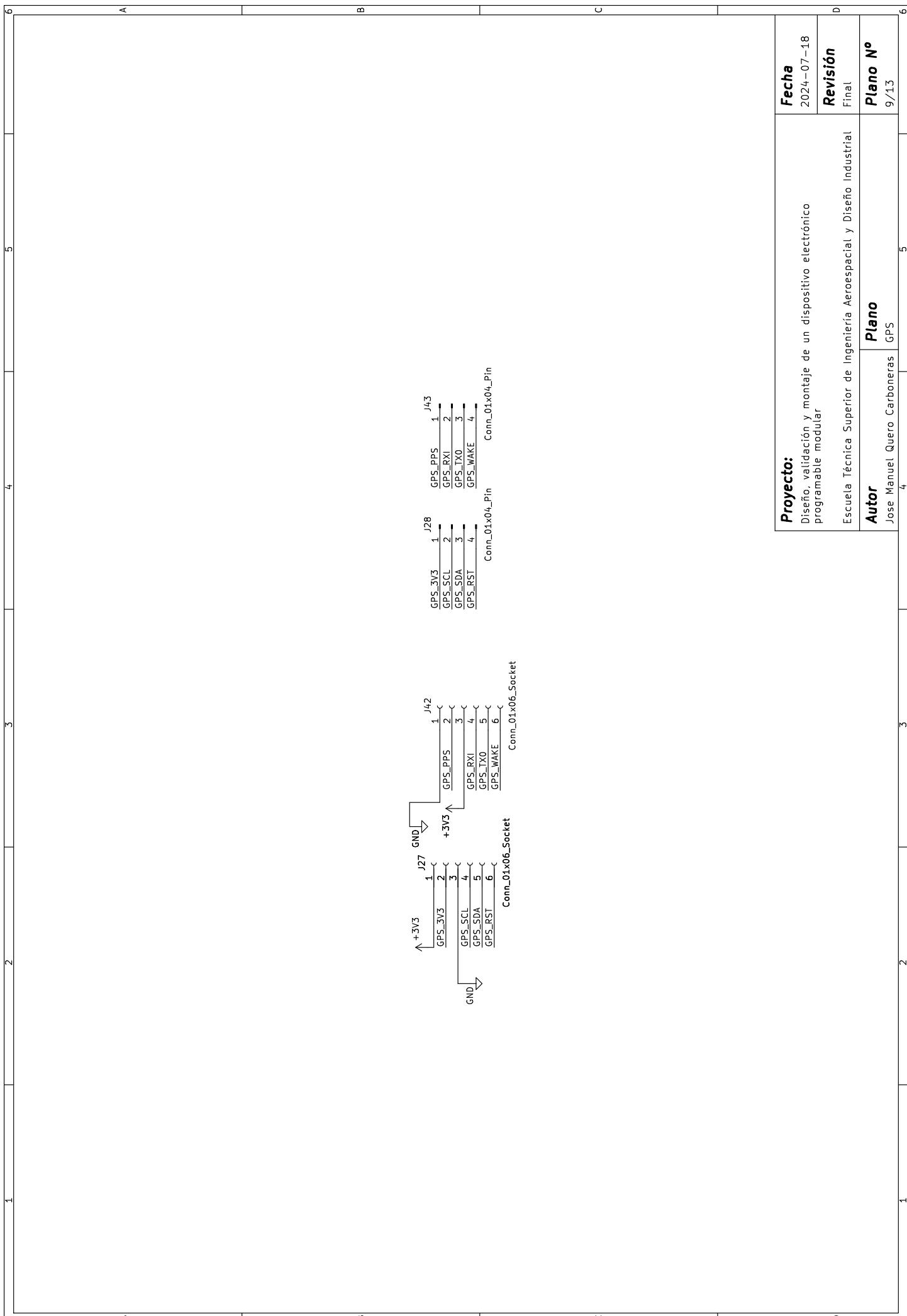
Proyecto:	Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular		
Fecha	2024-07-18		
Revisión	Final		
Autor	Jose Manuel Quero Carboneras	Plano	Plano Nº
	4	Audio	4/13
	3		
	2		
	1		

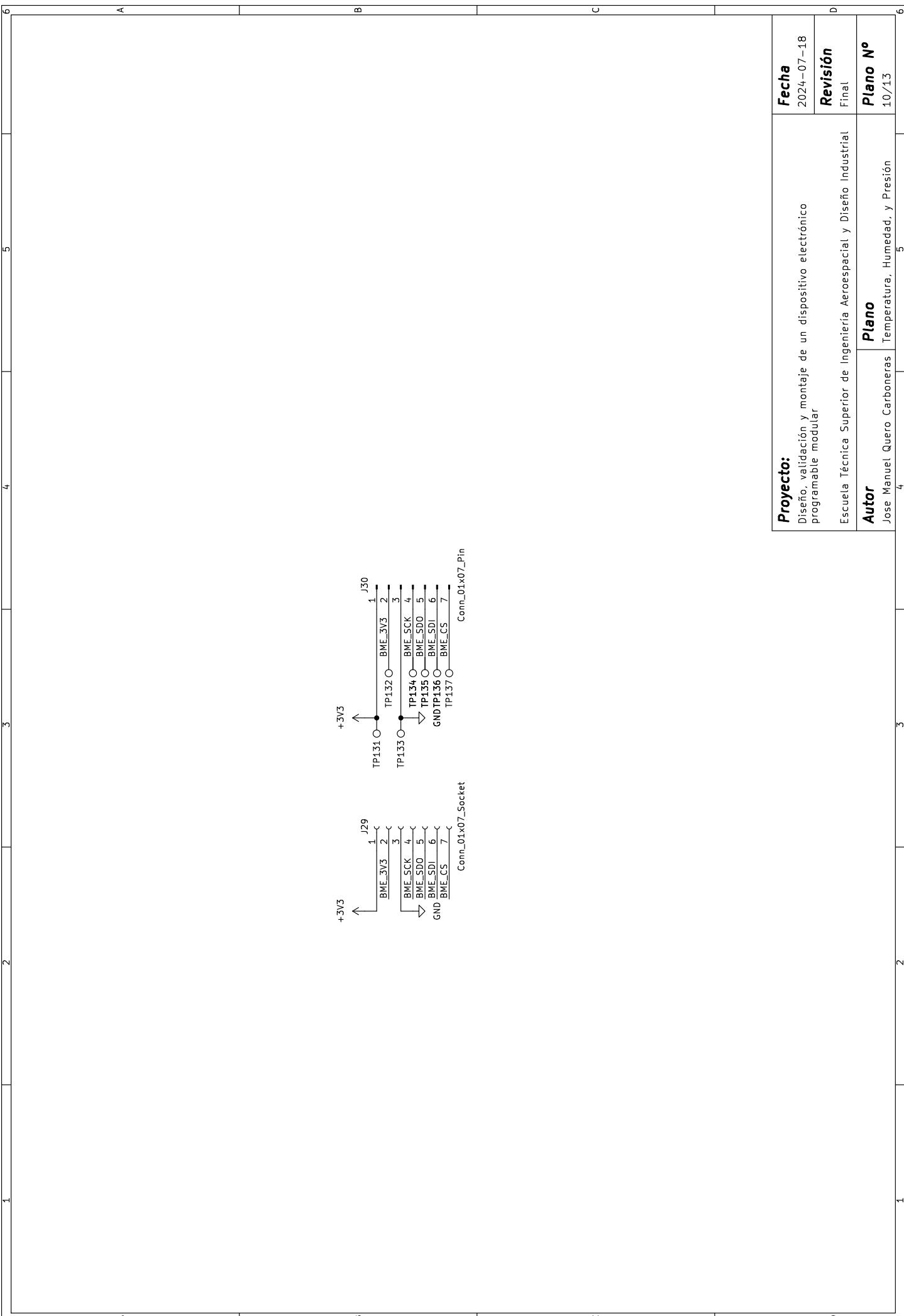


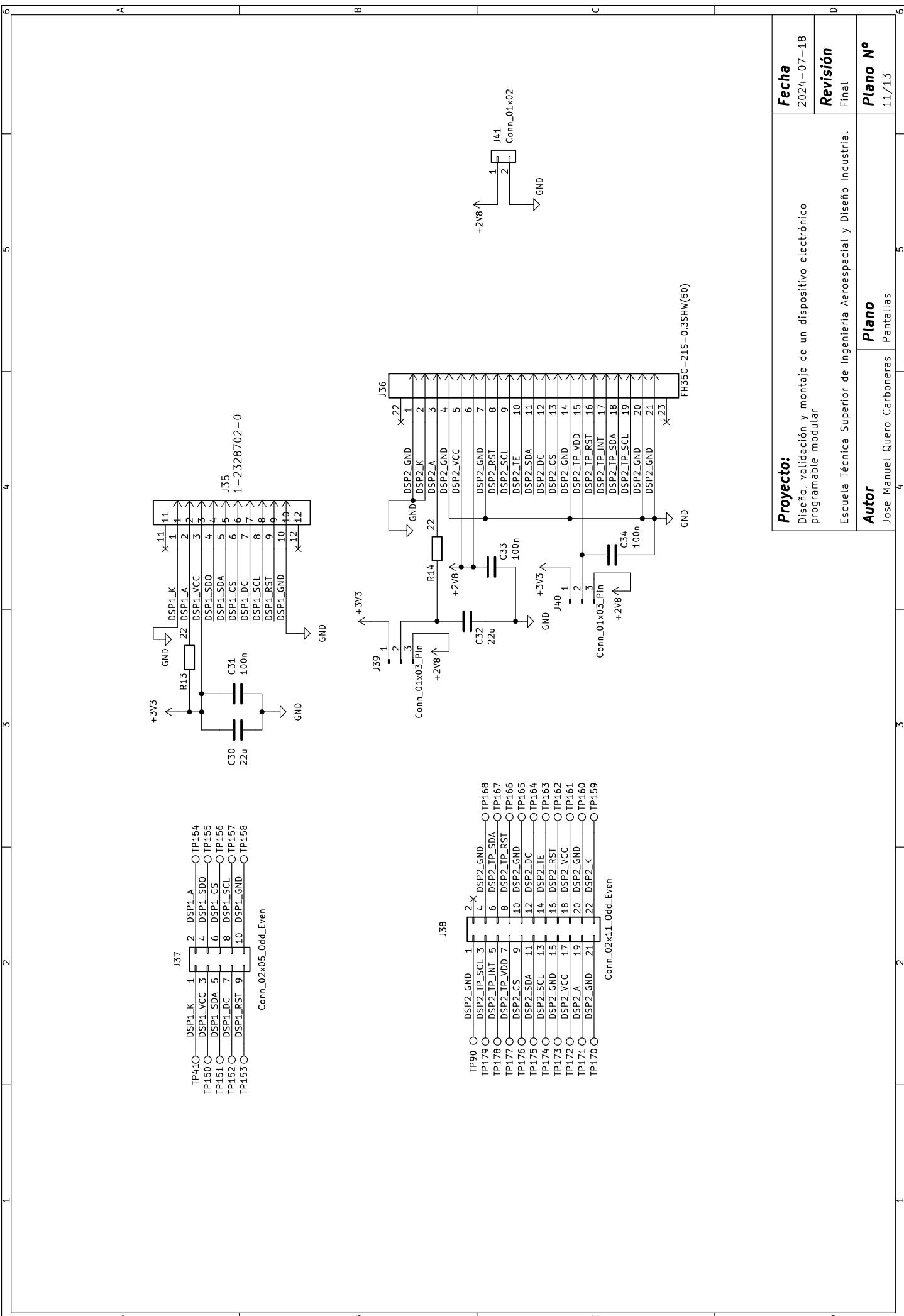


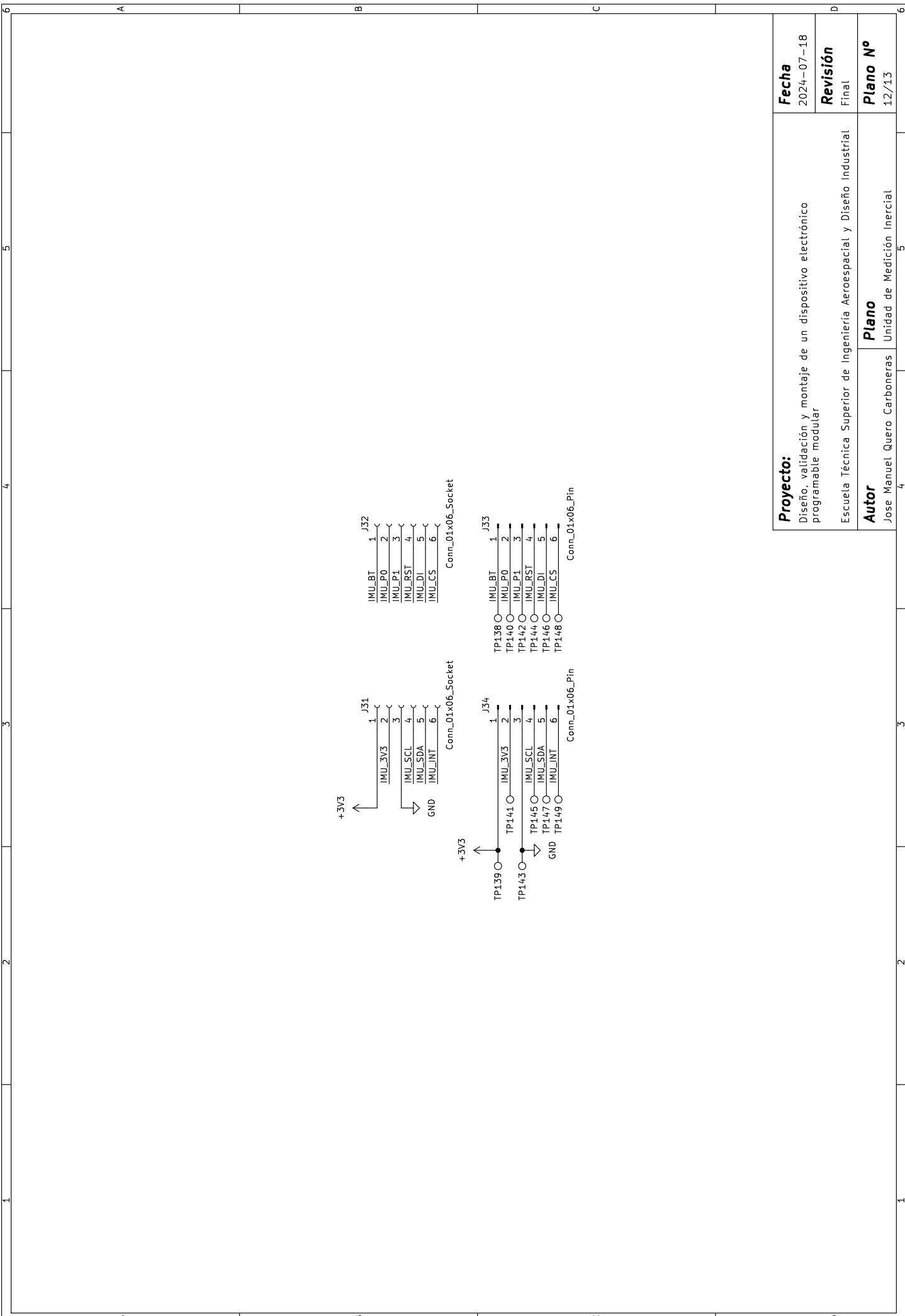




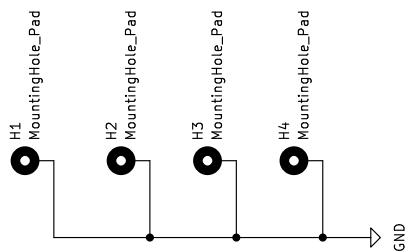








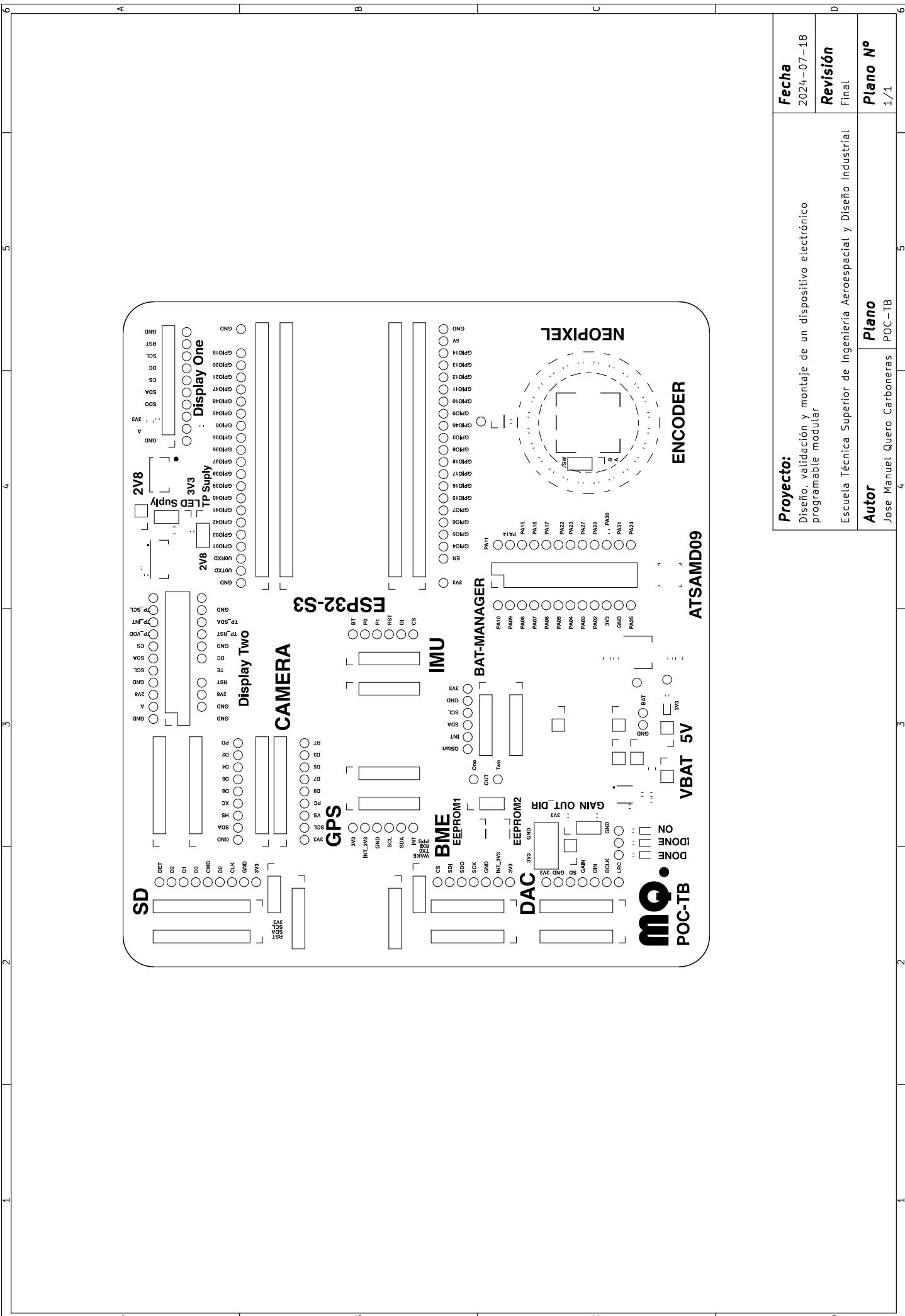
A	B	C	D																		
1	2	3	4																		
5	6																				
			<p>Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular</p> <p>Revisión: Final</p> <p>Fecha: 2024-07-18</p> <p>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial</p>																		
			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Autor</th> <th>Plano</th> <th>Plano №</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Jose Manuel Quero Carboneras</td> <td>Miscellaneous</td> <td>13/13</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>3</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>2</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>1</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Autor	Plano	Plano №	Jose Manuel Quero Carboneras	Miscellaneous	13/13		4			3			2			1	
Autor	Plano	Plano №																			
Jose Manuel Quero Carboneras	Miscellaneous	13/13																			
	4																				
	3																				
	2																				
	1																				



8.2. Layout

A	B	C	D
1			
2			
3			
4			
5			
6			
			
A	B	C	D

Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular	Fecha 2024-07-18
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	Revisión Final
Autor José Manuel Quero Carboneras	Plano POC-TB
	Plano № 1/1



Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular	Fecha: 2024-07-18
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	Revisión: Final
Author: José Manuel Quero Carboneras	Plano POC-TB
	Plano Nº 1/1

The figure shows a printed circuit board (PCB) layout. The board features a central circular component with a dense arrangement of small pads. Surrounding this center are several groups of pads, some in vertical columns and others in horizontal rows. There are also various tracks and vias connecting these pads. The entire layout is contained within a rectangular boundary.

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha:
2024-07-18

Revisión:
Final

Plano Nº:
1/1

Auto:
Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:
POC-TB

The figure displays two side-by-side printed circuit boards (PCBs) on a white background. The PCBs are black and feature a complex network of white traces and pads. The left PCB has a large central octagonal area with a grid of pads, surrounded by several vertical columns of pads. The right PCB also has a central circular area with a grid of pads, surrounded by vertical columns of pads. There are various other pads and traces distributed across both boards.

A horizontal scale bar at the bottom is labeled 'A' on the left, 'B' in the middle, and 'C' on the right. Vertical scale bars on the left and right edges are labeled from 1 to 6.

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

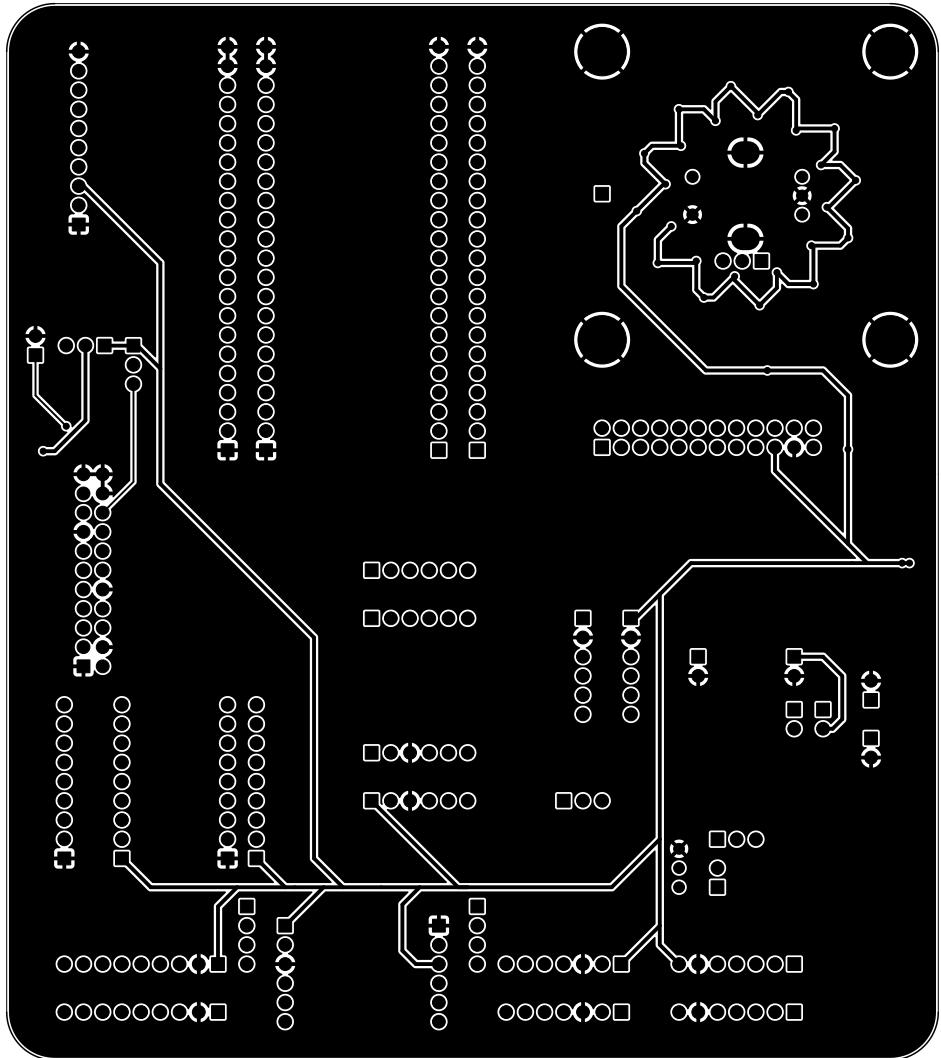
Fecha:
2024-07-18

Revisión:
Final

Plano Nº:
1/1

Autor:
Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:
POC-TB



Proyecto:	Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular		
Autor:	Jose Manuel Quero Carboneras	Plano:	POC-1B
Fecha:	2024-07-18		
Revisión:	Final		
Plano Nº:	1/1		

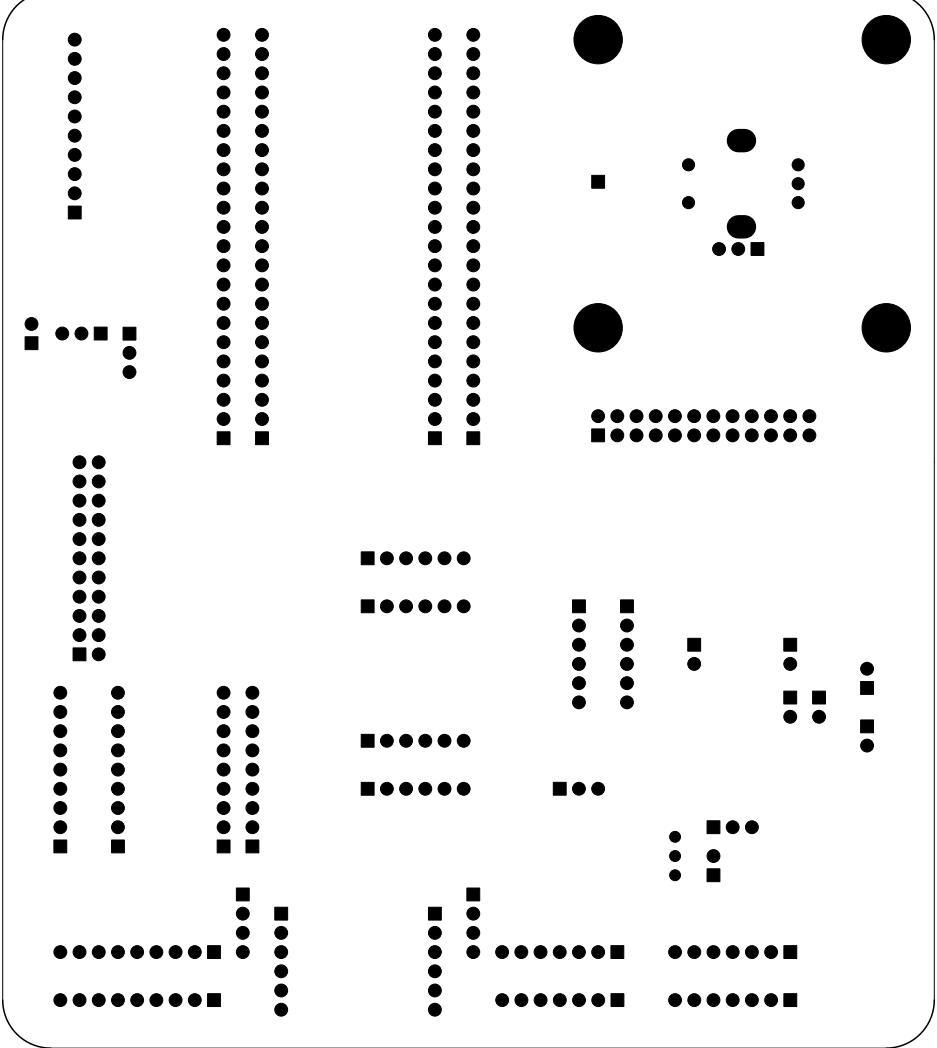
Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

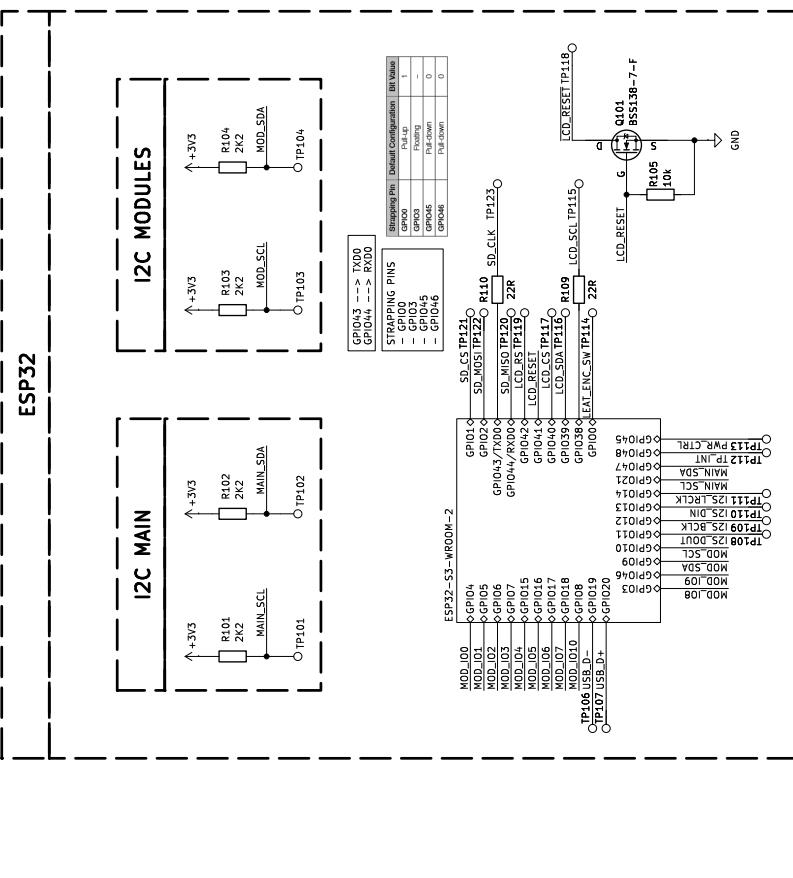
Plano Nº _____

6

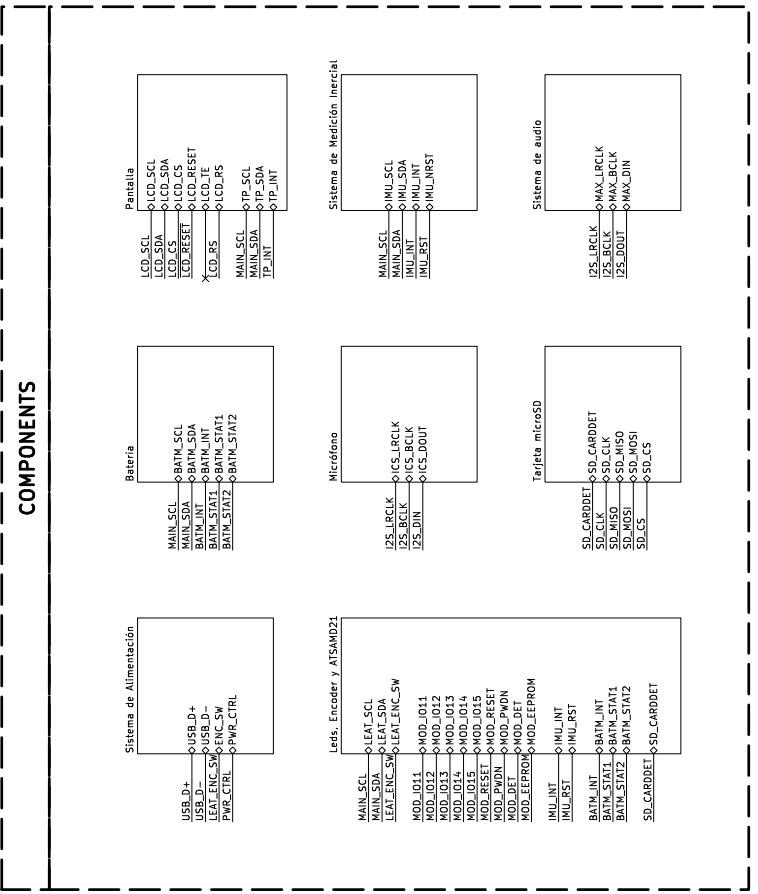
A	B	C	D
1			
2			
3			
4			
5			
6			
			
<p>Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular</p>		<p>Fecha: 2024-07-18</p> <p>Revisión: Final</p>	
<p>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial</p>		<p>Plano Nº: 1/1</p>	
<p>Autor: José Manuel Quero Carboneras</p>		<p>Plano: POC-TB</p>	
1	2	3	4
1	2	3	4
1	2	3	4
1	2	3	4

9. Pruebas de Validación de Ingeniería

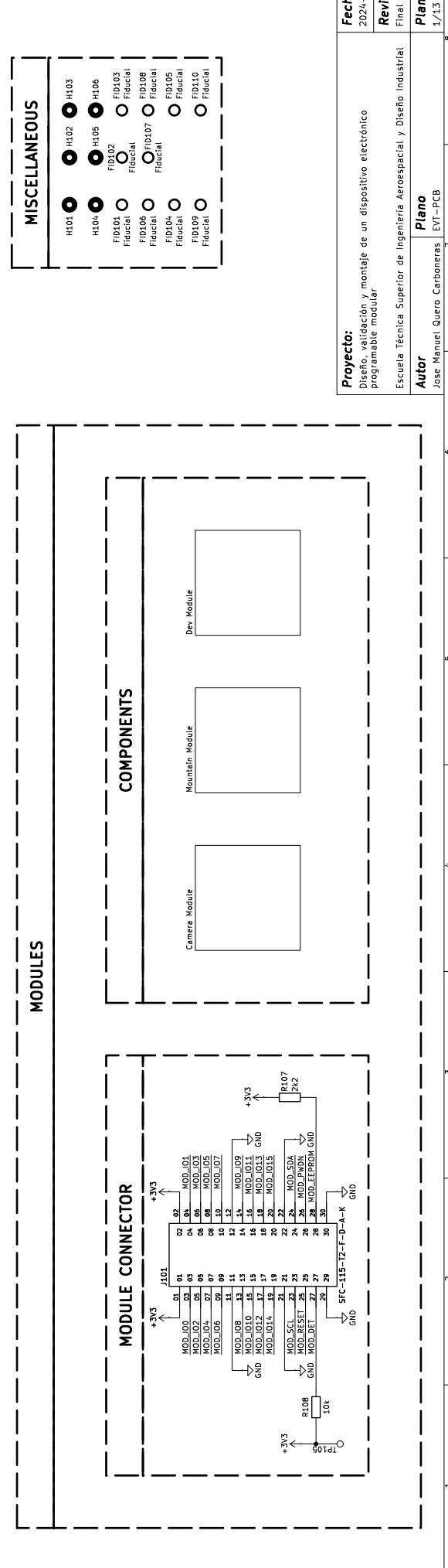
9.1. Esquemático



ESP32



COMPONENTS



Proyecto:

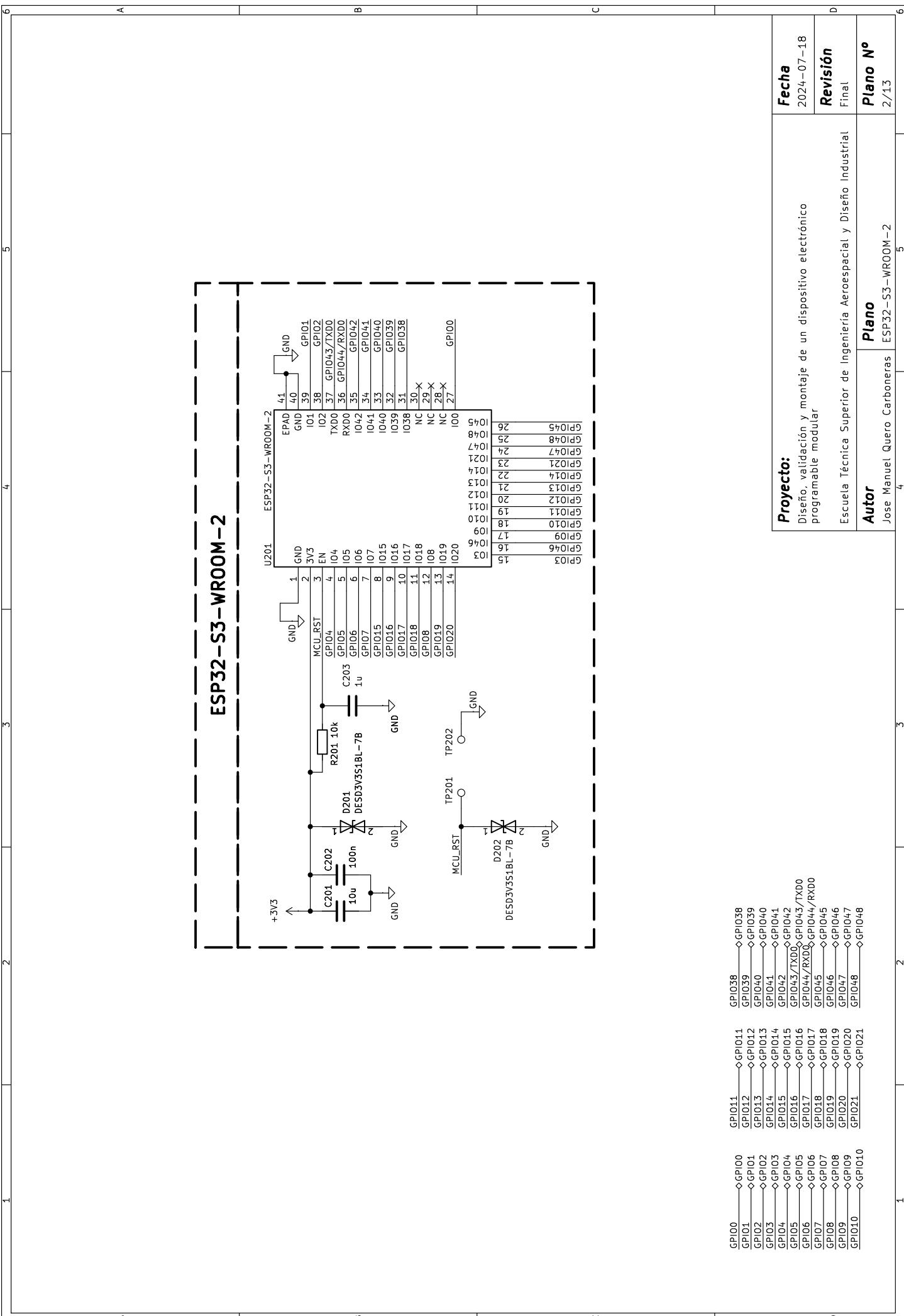
卷之三

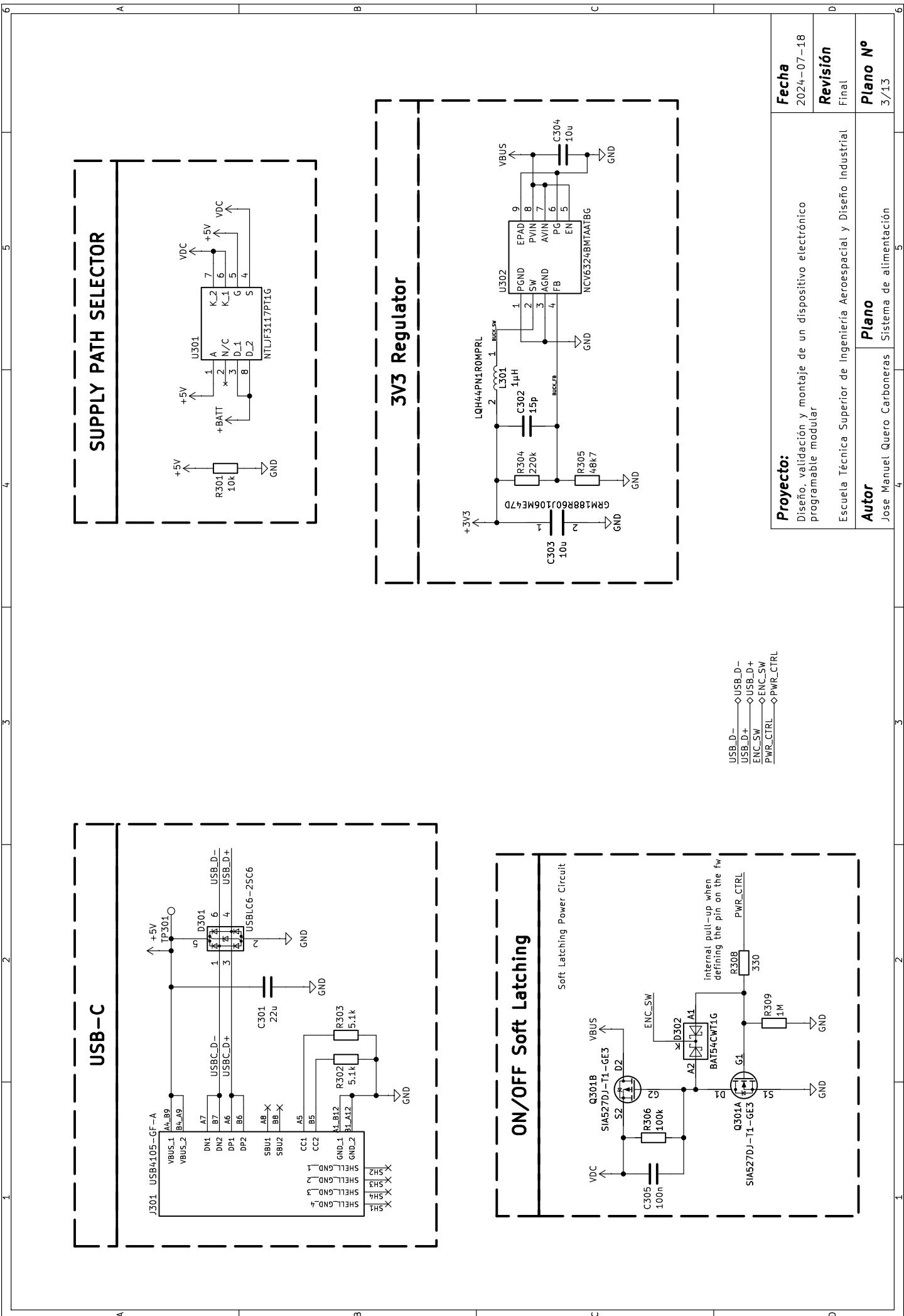
16

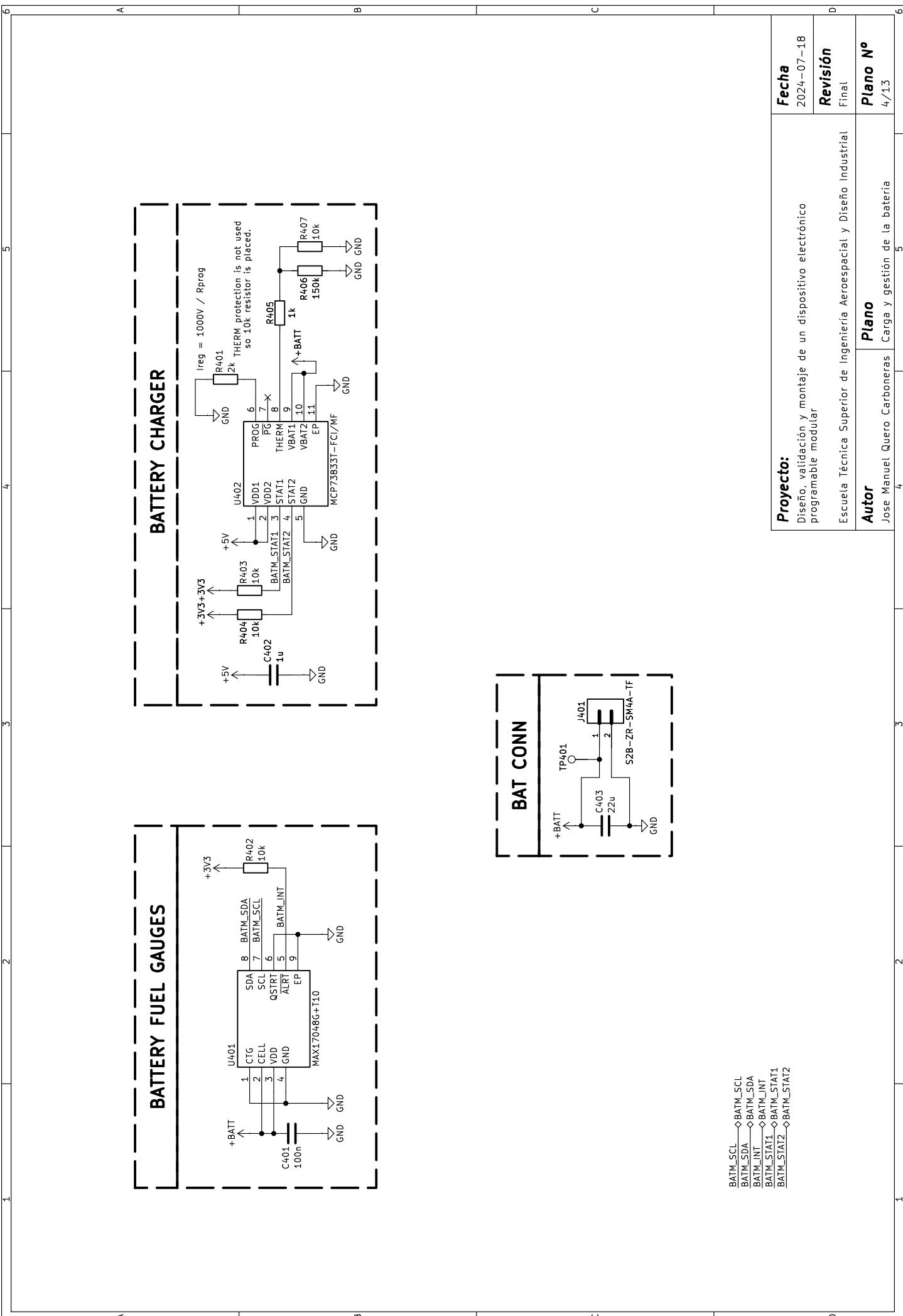
18

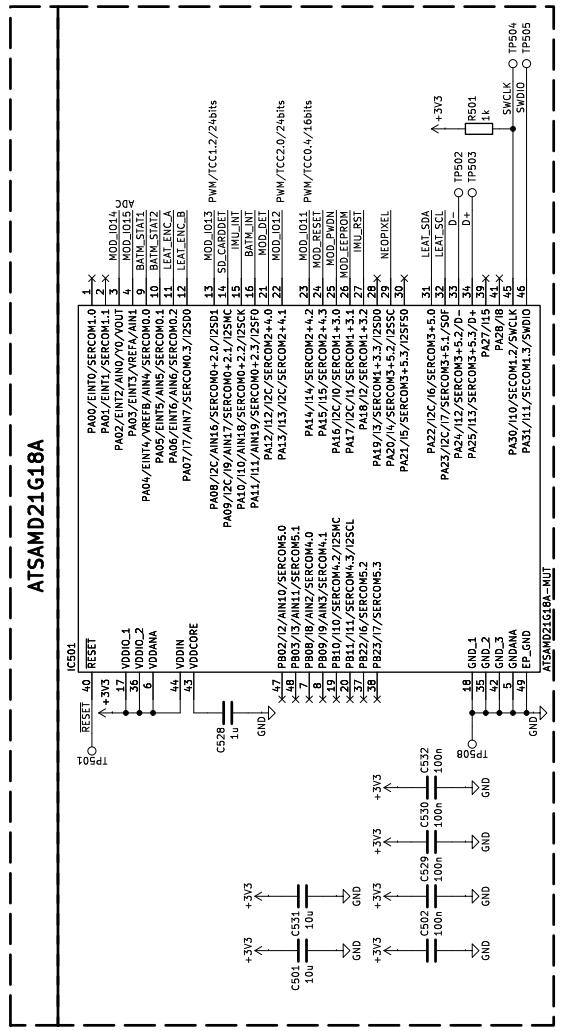
17

3

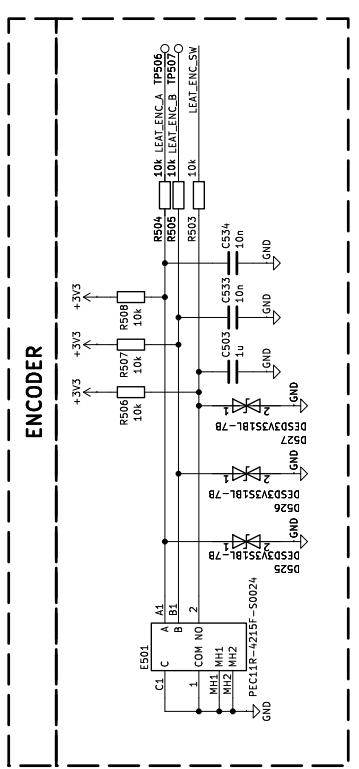




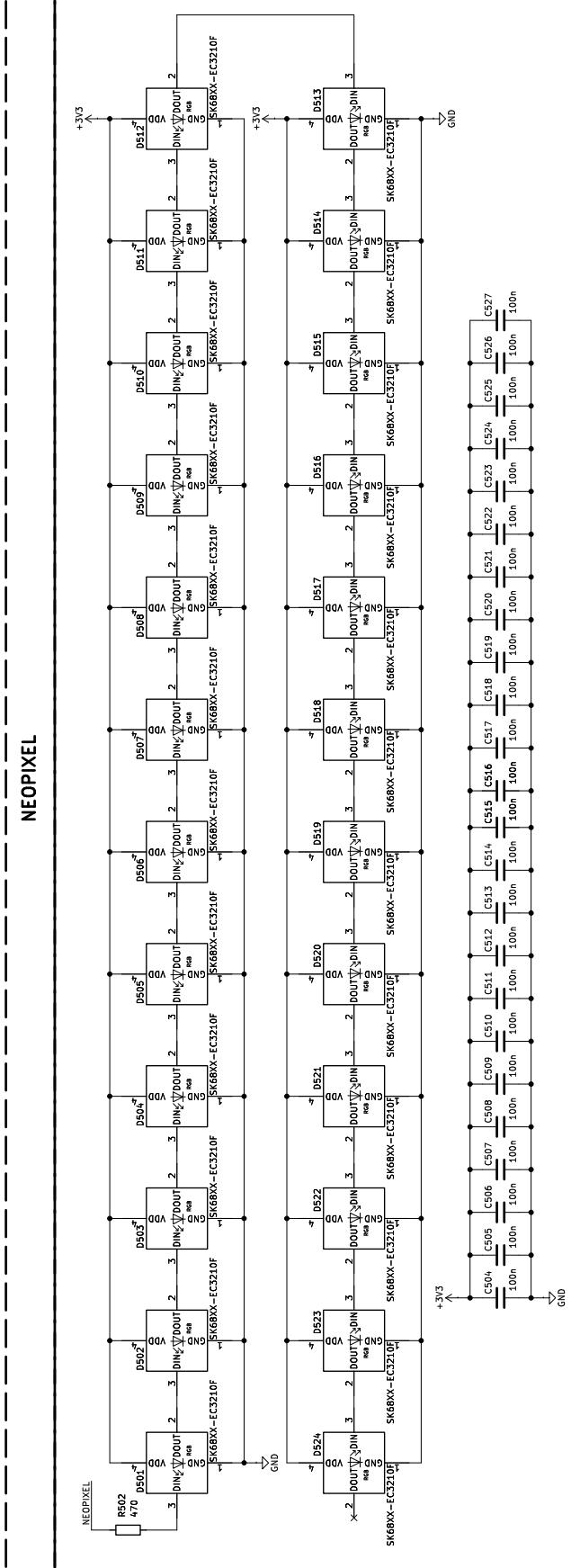




ATSAMD21G18A



ENCODER



LEAT_SCL \diamond LEAT_SDA
LEAT_SDA \diamond LEAT_SDA
LEAT_ENC_SW \diamond LEAT_ENC

```

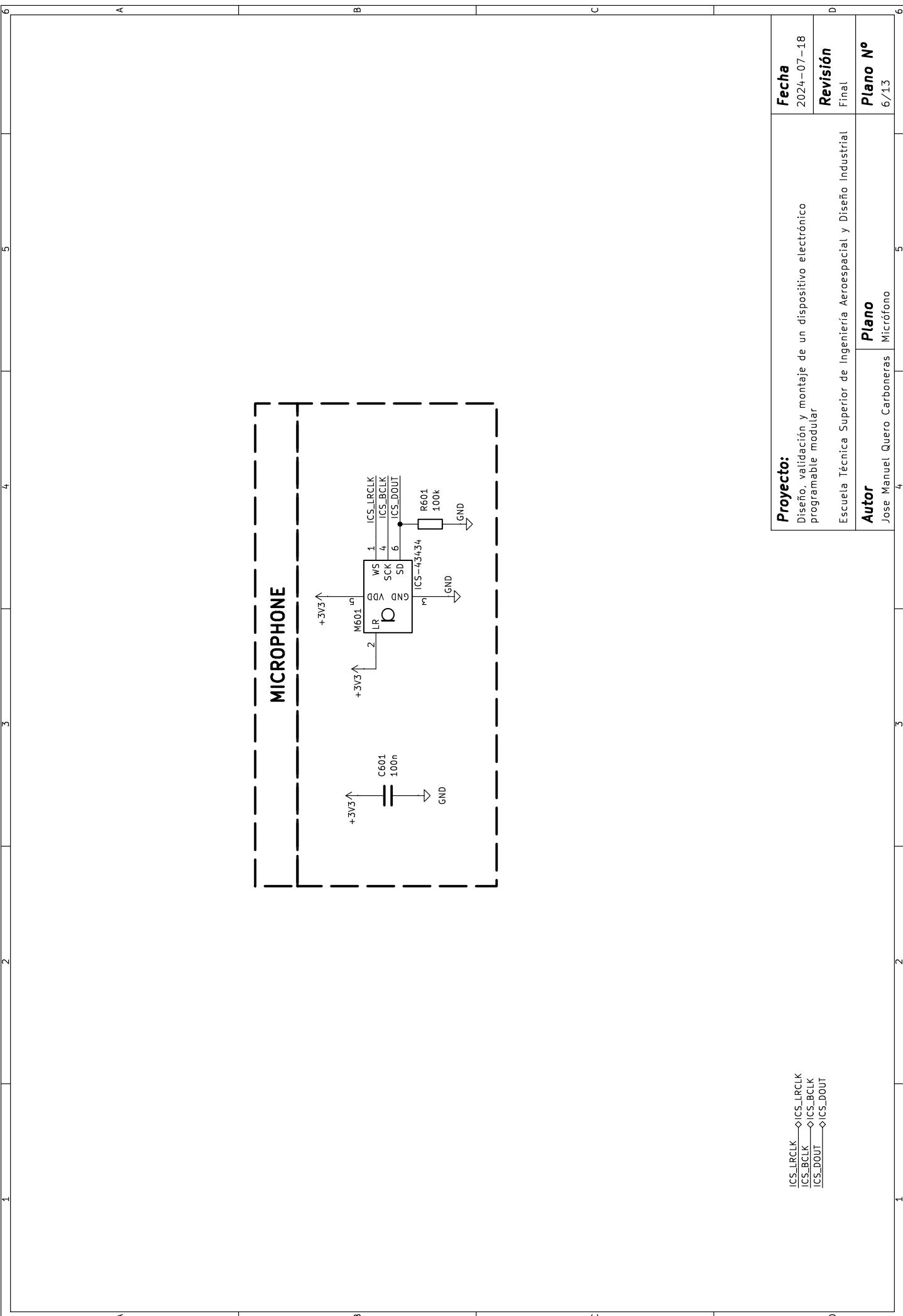
graph TD
    ATM_STAT1 --> BATM_INT
    BATM_INT --> SD_CARDET
    SD_CARDET --> MOD_EEPROM
    MOD_EEPROM --> ATM_STAT2
    ATM_STAT2 --> BATM_STAT2
    BATM_STAT2 --> ATM_STAT1

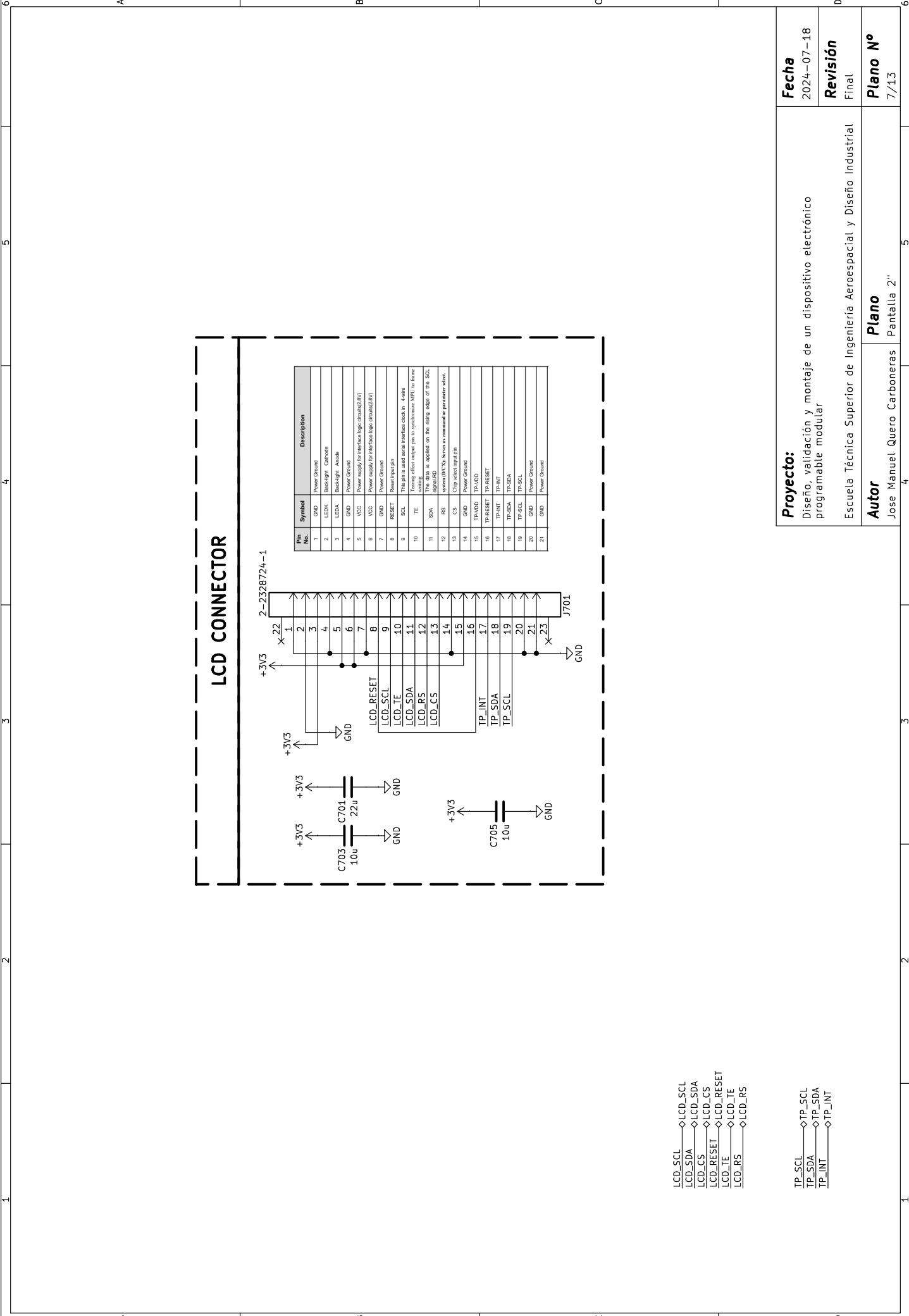
```

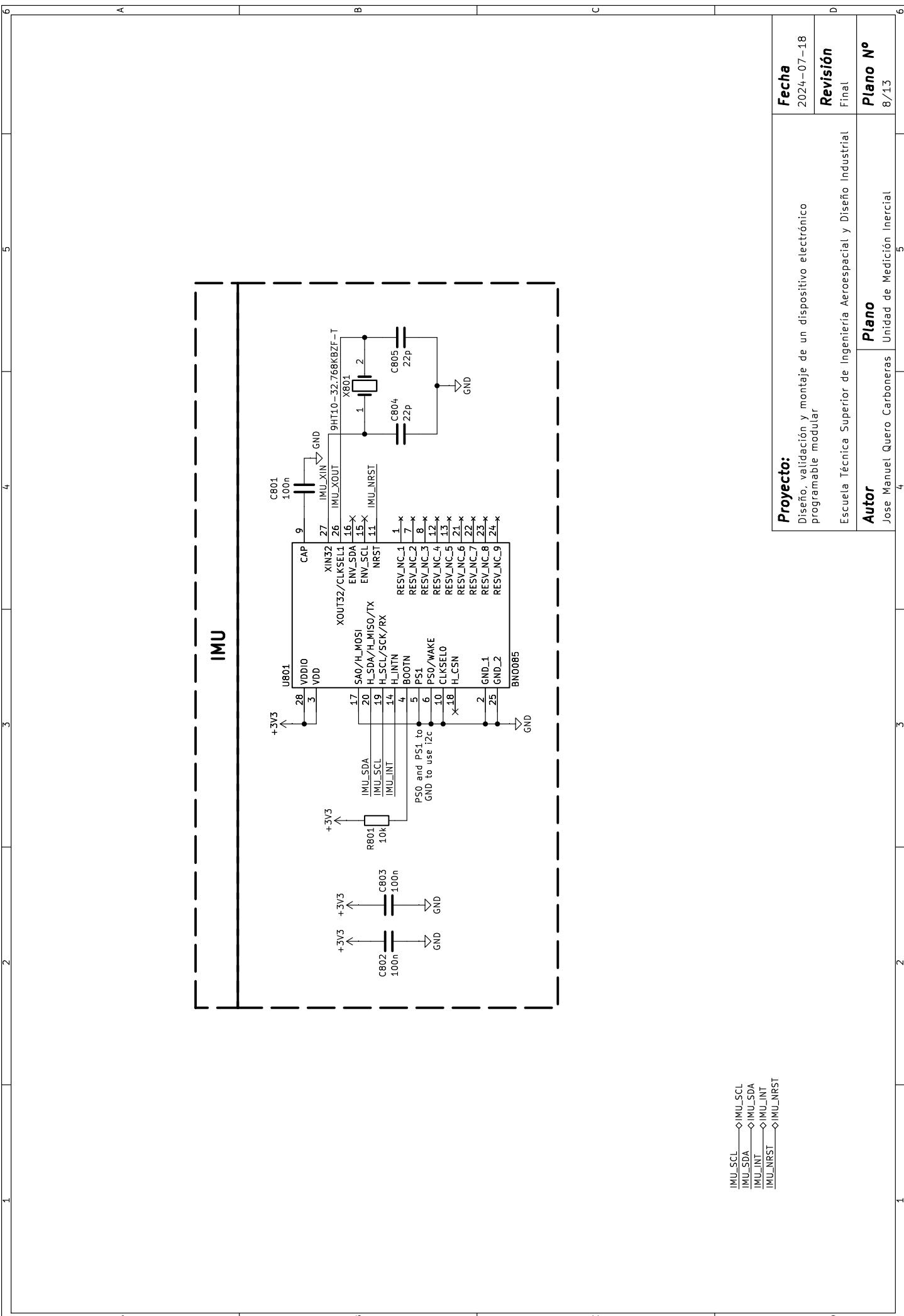
The diagram shows a state transition between ATM_STAT1 and ATM_STAT2. ATM_STAT1 transitions to BATM_INT, which then leads to SD_CARDET. SD_CARDET leads to MOD_EEPROM, which then leads to ATM_STAT2. ATM_STAT2 transitions to BATM_STAT2, which then loops back to ATM_STAT1.

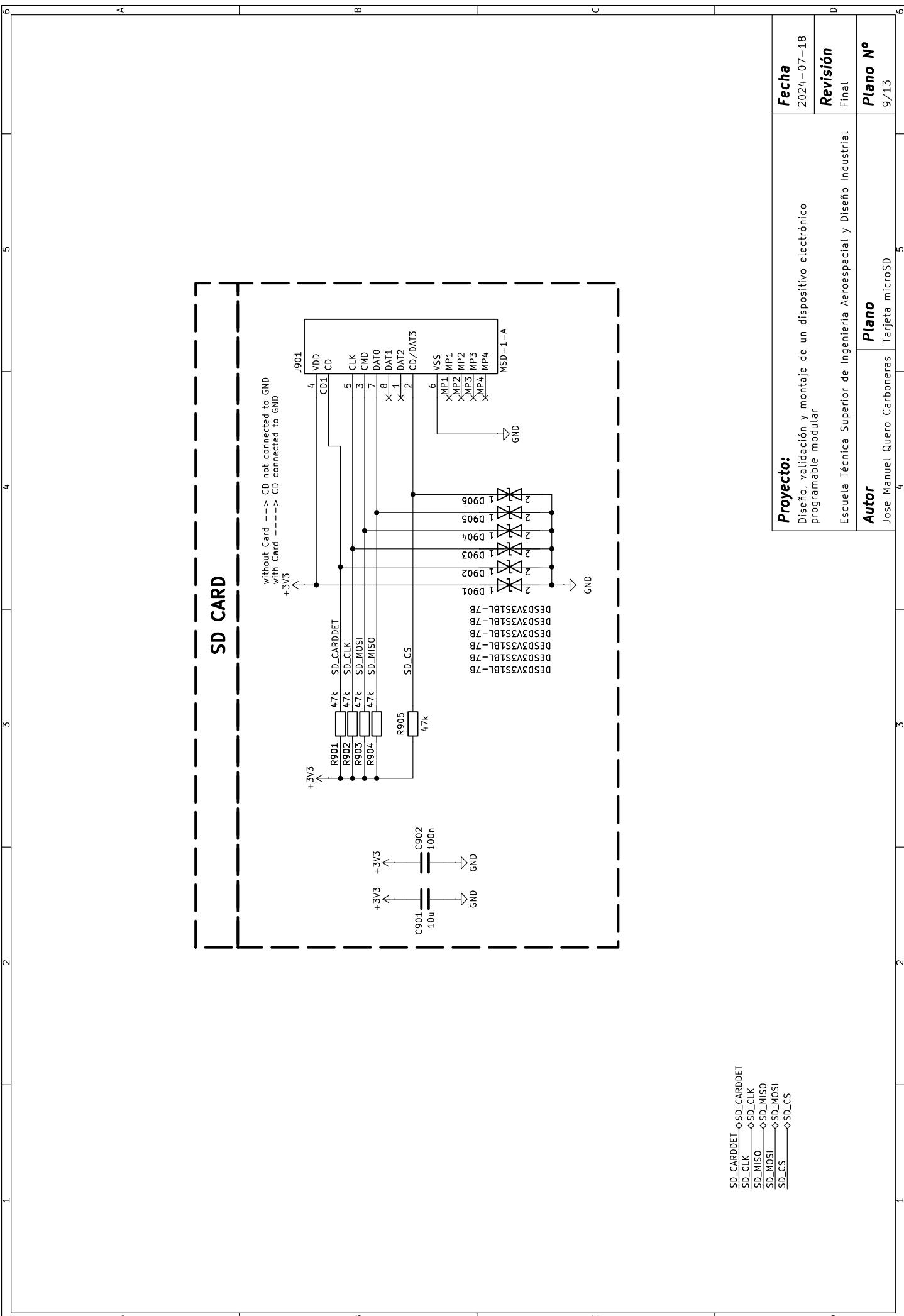
Revisión
2024-0
Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

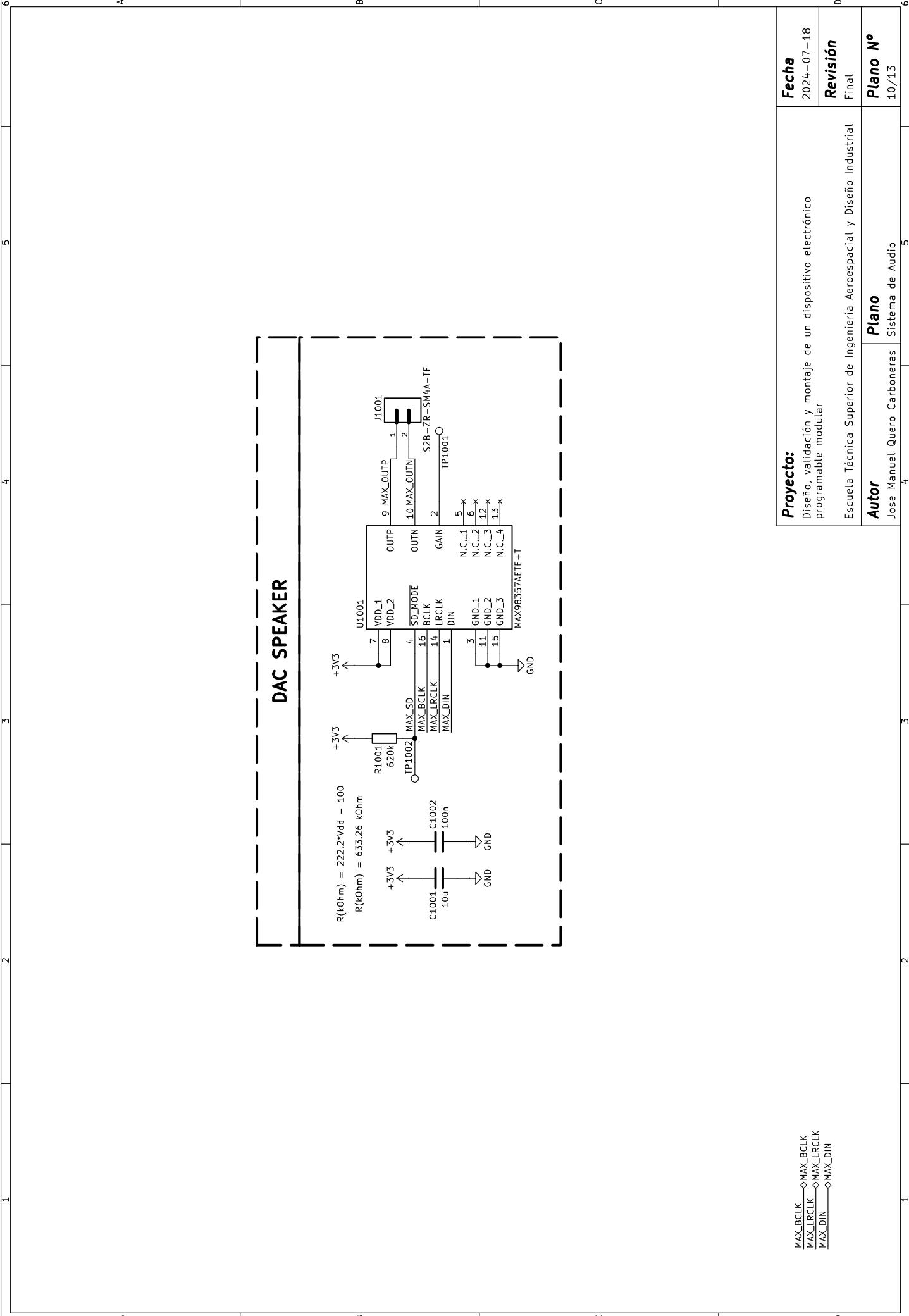
Med.0105 → Med.0115
Auto → Auto
Plano → Plano
Jose Manuel Quero Carboneras → Jose Manuel Quero Carboneras
5j/13 → 5j/13

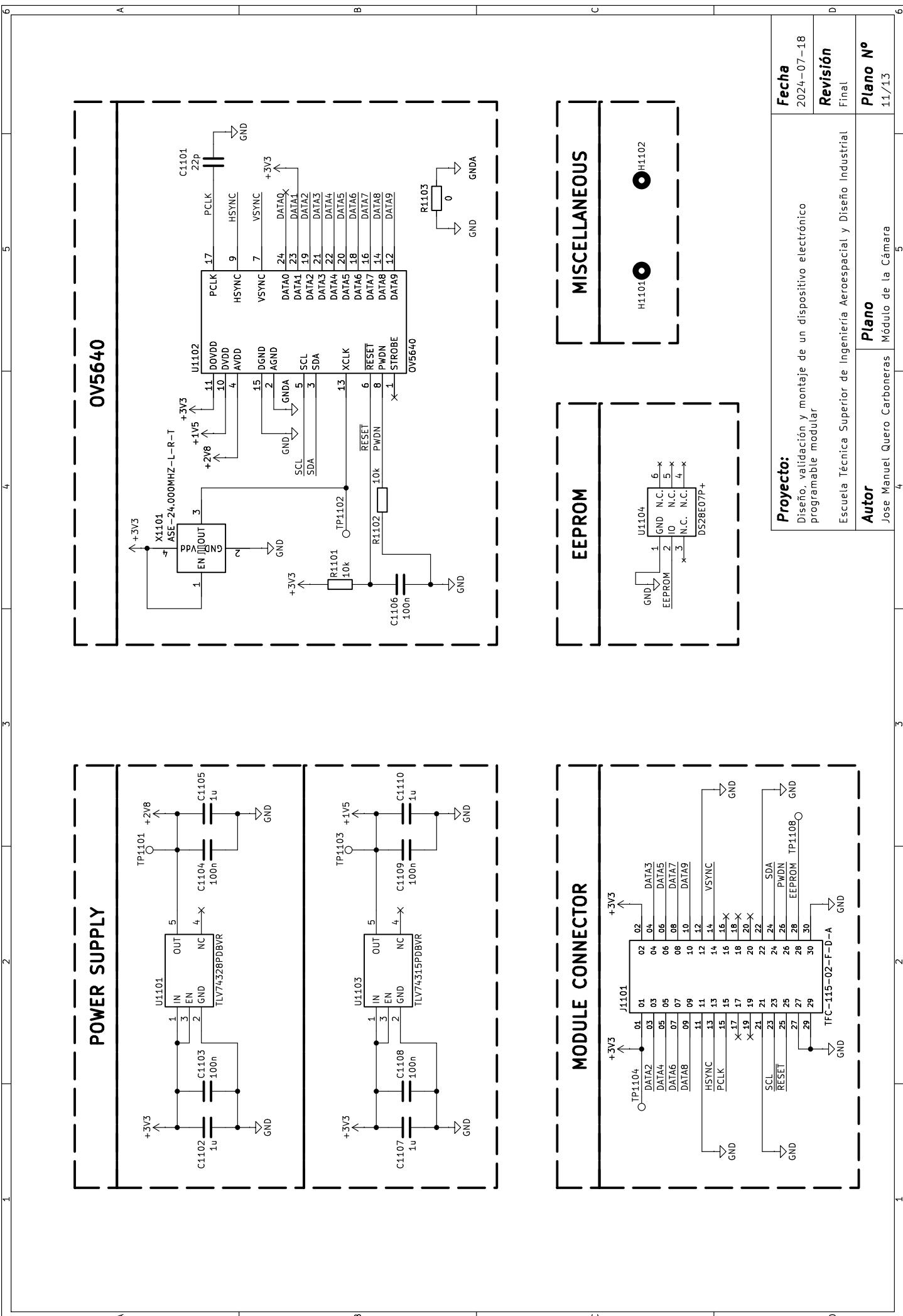


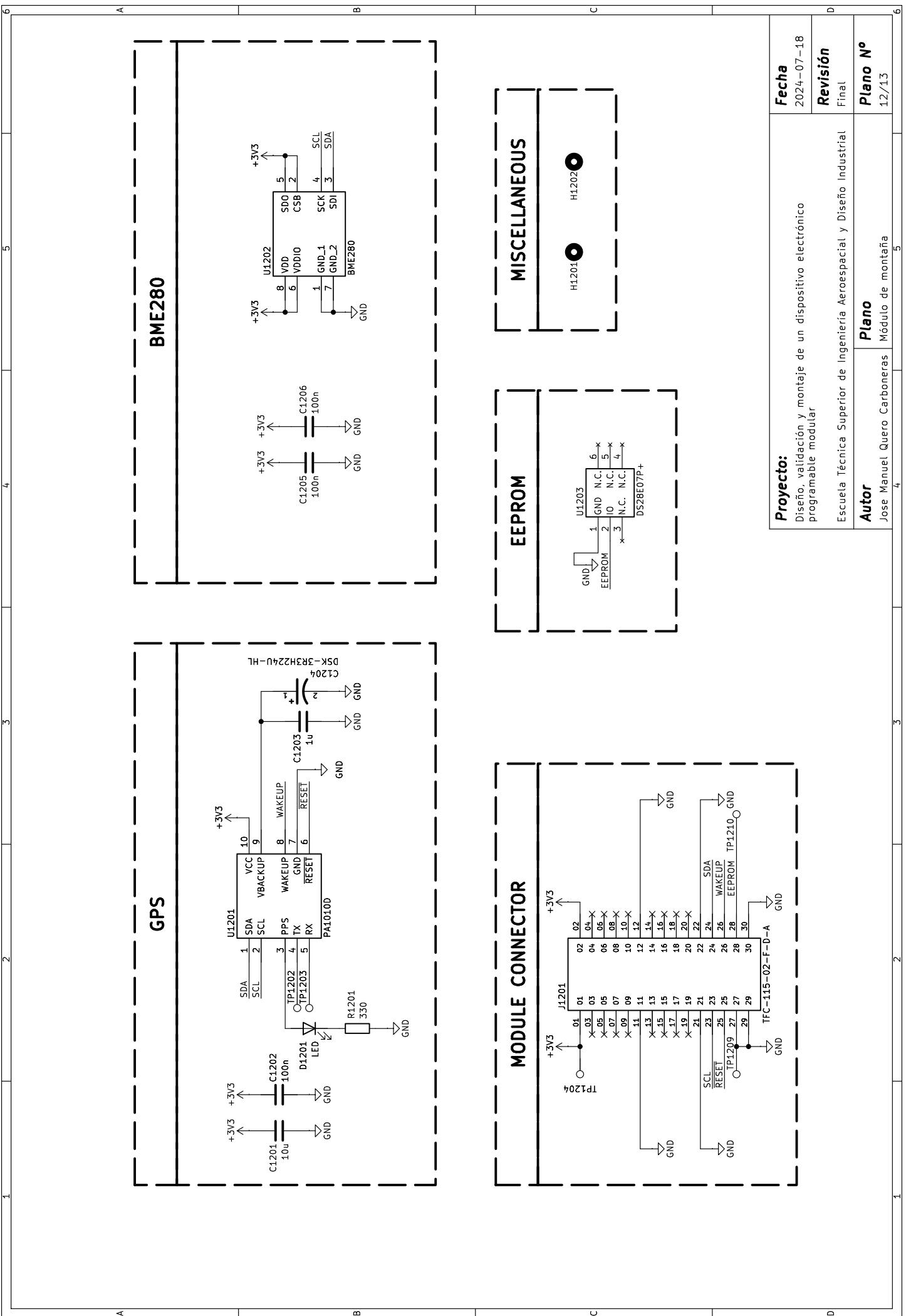


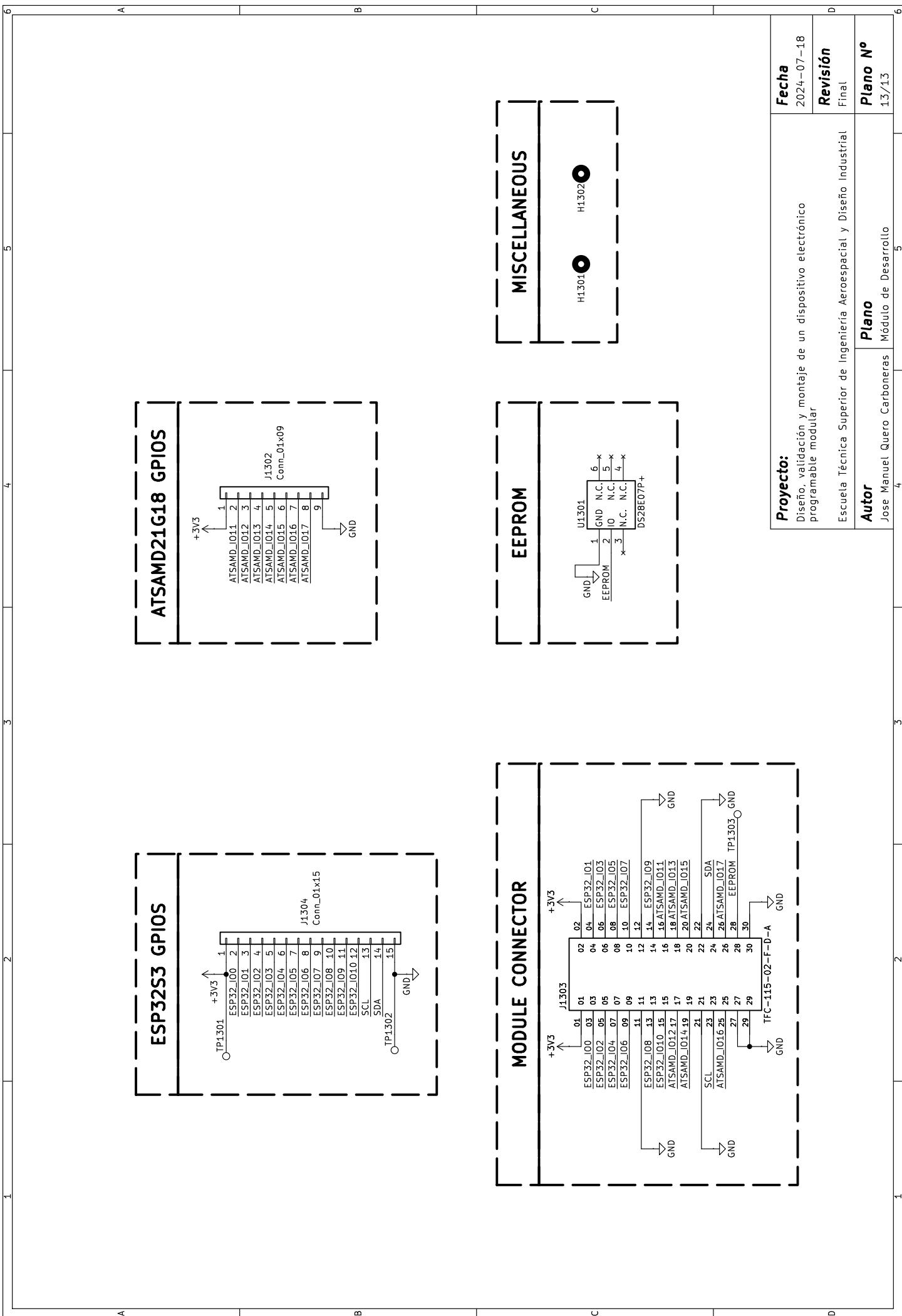








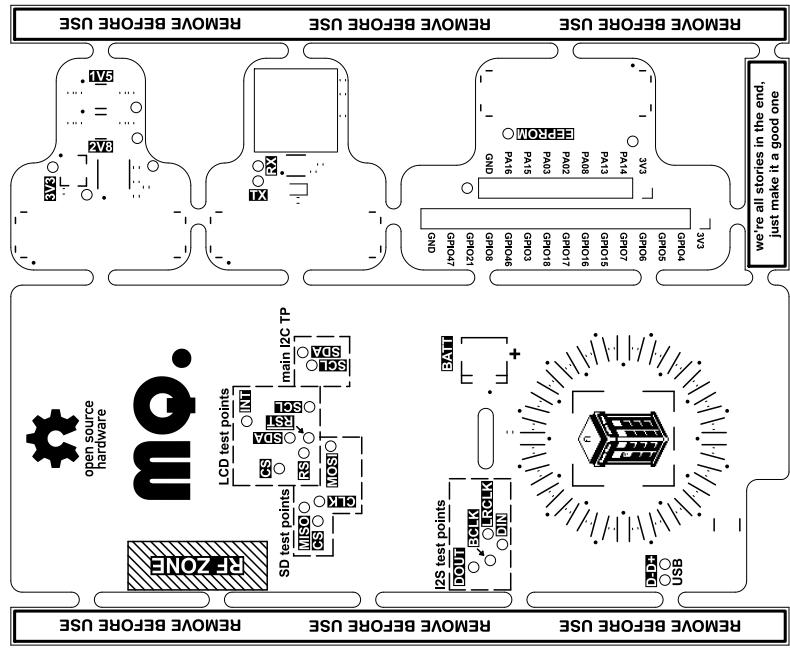




9.2. Layout

The diagram shows a PCB layout. It features a central rectangular area with four U-shaped cutouts on its top and bottom edges. In the center of this area is a small, horizontal oval hole. The entire central area is surrounded by a frame with various notches and a row of circular pads along the bottom edge. The entire layout is set against a background with vertical grid lines and numerical labels from 1 to 6 on the left side.

A	B	C	D
			Fecha: 2024-07-18 Revisión: Final Plano Nº: 1/1
Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial			
Author: José Manuel Quero Carboneras		Plano: EVT-PCB	
1	2	3	4
5	6		



Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular	Fecha 2024-07-18
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	Revisión Final
Autor José Manuel Quero Carboneras	Plano EVT-PCB
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6
7	7
8	8
9	9
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	31
32	32
33	33
34	34
35	35
36	36
37	37
38	38
39	39
40	40
41	41
42	42
43	43
44	44
45	45
46	46
47	47
48	48
49	49
50	50
51	51
52	52
53	53
54	54
55	55
56	56
57	57
58	58
59	59
60	60
61	61
62	62
63	63
64	64
65	65
66	66
67	67
68	68
69	69
70	70
71	71
72	72
73	73
74	74
75	75
76	76
77	77
78	78
79	79
80	80
81	81
82	82
83	83
84	84
85	85
86	86
87	87
88	88
89	89
90	90
91	91
92	92
93	93
94	94
95	95
96	96
97	97
98	98
99	99
100	100
101	101
102	102
103	103
104	104
105	105
106	106
107	107
108	108
109	109
110	110
111	111
112	112
113	113
114	114
115	115
116	116
117	117
118	118
119	119
120	120
121	121
122	122
123	123
124	124
125	125
126	126
127	127
128	128
129	129
130	130
131	131
132	132
133	133
134	134
135	135
136	136
137	137
138	138
139	139
140	140
141	141
142	142
143	143
144	144
145	145
146	146
147	147
148	148
149	149
150	150
151	151
152	152
153	153
154	154
155	155
156	156
157	157
158	158
159	159
160	160
161	161
162	162
163	163
164	164
165	165
166	166
167	167
168	168
169	169
170	170
171	171
172	172
173	173
174	174
175	175
176	176
177	177
178	178
179	179
180	180
181	181
182	182
183	183
184	184
185	185
186	186
187	187
188	188
189	189
190	190
191	191
192	192
193	193
194	194
195	195
196	196
197	197
198	198
199	199
200	200
201	201
202	202
203	203
204	204
205	205
206	206
207	207
208	208
209	209
210	210
211	211
212	212
213	213
214	214
215	215
216	216
217	217
218	218
219	219
220	220
221	221
222	222
223	223
224	224
225	225
226	226
227	227
228	228
229	229
230	230
231	231
232	232
233	233
234	234
235	235
236	236
237	237
238	238
239	239
240	240
241	241
242	242
243	243
244	244
245	245
246	246
247	247
248	248
249	249
250	250
251	251
252	252
253	253
254	254
255	255
256	256
257	257
258	258
259	259
260	260
261	261
262	262
263	263
264	264
265	265
266	266
267	267
268	268
269	269
270	270
271	271
272	272
273	273
274	274
275	275
276	276
277	277
278	278
279	279
280	280
281	281
282	282
283	283
284	284
285	285
286	286
287	287
288	288
289	289
290	290
291	291
292	292
293	293
294	294
295	295
296	296
297	297
298	298
299	299
300	300
301	301
302	302
303	303
304	304
305	305
306	306
307	307
308	308
309	309
310	310
311	311
312	312
313	313
314	314
315	315
316	316
317	317
318	318
319	319
320	320
321	321
322	322
323	323
324	324
325	325
326	326
327	327
328	328
329	329
330	330
331	331
332	332
333	333
334	334
335	335
336	336
337	337
338	338
339	339
340	340
341	341
342	342
343	343
344	344
345	345
346	346
347	347
348	348
349	349
350	350
351	351
352	352
353	353
354	354
355	355
356	356
357	357
358	358
359	359
360	360
361	361
362	362
363	363
364	364
365	365
366	366
367	367
368	368
369	369
370	370
371	371
372	372
373	373
374	374
375	375
376	376
377	377
378	378
379	379
380	380
381	381
382	382
383	383
384	384
385	385
386	386
387	387
388	388
389	389
390	390
391	391
392	392
393	393
394	394
395	395
396	396
397	397
398	398
399	399
400	400
401	401
402	402
403	403
404	404
405	405
406	406
407	407
408	408
409	409
410	410
411	411
412	412
413	413
414	414
415	415
416	416
417	417
418	418
419	419
420	420
421	421
422	422
423	423
424	424
425	425
426	426
427	427
428	428
429	429
430	430
431	431
432	432
433	433
434	434
435	435
436	436
437	437
438	438
439	439
440	440
441	441
442	442
443	443
444	444
445	445
446	446
447	447
448	448
449	449
450	450
451	451
452	452
453	453
454	454
455	455
456	456
457	457
458	458
459	459
460	460
461	461
462	462
463	463
464	464
465	465
466	466
467	467
468	468
469	469
470	470
471	471
472	472
473	473
474	474
475	475
476	476
477	477
478	478
479	479
480	480
481	481
482	482
483	483
484	484
485	485
486	486
487	487
488	488
489	489
490	490
491	491
492	492
493	493
494	494
495	495
496	496
497	497
498	498
499	499
500	500

The figure shows a printed circuit board (PCB) layout. The board has a rectangular shape with several irregular cutouts along its perimeter. In the center, there is a large circular component, possibly a microcontroller or sensor, surrounded by a grid of small square pads. To the left of this central circle, there are two vertical columns of resistors. Above the central circle, there are two vertical columns of capacitors. On the right side, there is a vertical column of larger components, likely connectors or inductors. The entire layout is designed to fit into a specific housing or to provide clearance for other components.

A	B	C	D
			Fecha: 2024-07-18 Revisión: Final Plano Nº: 1/1
Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial			Author: José Manuel Quero Carboneras Plano: EVT-PCB
1	2	3	4
5	6		

A B C

6
5
4
3
2
1

6
5
4
3
2
1

Proyecto:		Fecha
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular		2024-07-18
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial		Revisión
Autor		Final
Jose Manuel Quero Carboneras		Plano Nº
		1/1
Plano	EVT-PCB	
5		
4		
3		
2		
1		

A technical drawing of a printed circuit board (PCB) design. The PCB consists of two main black rectangular components at the top and a central black star-shaped component at the bottom, all interconnected by various traces and pads. The drawing is set against a white background with a vertical scale on the left ranging from 1 to 6 and horizontal labels A, B, C, D at the top.

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha:
2024-07-18

Revisión:
Final

Plano Nº:
1/1

Autor:
Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:
EVT-PCB

The figure displays a PCB layout diagram. It consists of two stacked PCBs. The top PCB is white and features three black rectangular pads arranged horizontally. The bottom PCB is black and contains numerous white circular pads of different sizes, some with internal patterns like crosses or circles. Both PCBs have several white rectangular pads along their outer edges. The entire assembly is set against a white background with vertical grid lines and numerical labels (1, 2, 3, 4, 5, 6) on the left and top edges.

A horizontal line with tick marks at A, B, C, and D is positioned above the top PCB. The top edge of the top PCB has labels A, B, and C, while the bottom edge has labels B, C, and D. The right edge of the bottom PCB has labels 1, 2, 3, 4, 5, and 6.

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha:
2024-07-18

Revisión:
Final

Plano Nº:
1/1

Auto:
Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:
EVT-PCB

A technical drawing of a printed circuit board (PCB) assembly. The PCB is shown from a top-down perspective, featuring two distinct components. The upper component is a smaller, rectangular PCB with a complex internal circuit layout, including various resistors, capacitors, and integrated circuits. It is mounted on a larger, more complex base board. The base board has a dark, solid-colored central area with intricate routing traces connecting to the smaller module and other peripheral components. The entire assembly is set against a white background with a vertical scale on the left side ranging from 1 to 6 and horizontal reference lines labeled A, B, and C across the top.

Proyecto:	Fecha
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular	2024-07-18
Revisión	Final
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	
Author	Plano
Jose Manuel Quero Carboneras	EVT-PCB
	5
	5
	4
	4
	3
	3
	2
	2
	1
	1
Plano №	6
1/1	

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha:
2024-07-18

Revisión:
Final

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor Jose Manuel Quero Carboneras	Plano EVT-PCB	Plano Nº 1/1
4	3	5
3	2	4
2	1	1

The figure shows a printed circuit board (PCB) layout. The board features a central integrated circuit (likely a microcontroller or FPGA) surrounded by numerous surface-mount components, including resistors, capacitors, and connectors. The board is densely populated with solder paste pads and tracks. A large, multi-pin connector is located on the left side. The PCB is mounted on a light blue background, which is itself positioned on a white sheet of paper with horizontal and vertical scale markings.

A, B, C, D

6
5
4
3
2
1

6
5
4
3
2
1

A, B, C, D

Projecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha
2024-07-18

Revisión
Final

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Author
José Manuel Quero Carboneras

Plano Nº
1/1

Plano
EVT-PCB

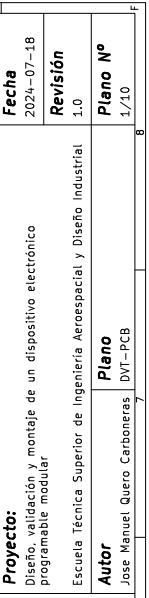
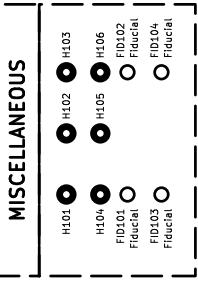
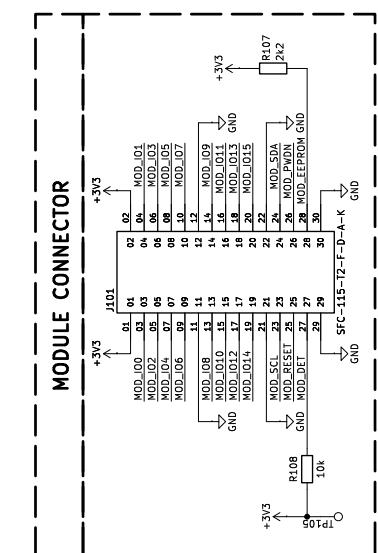
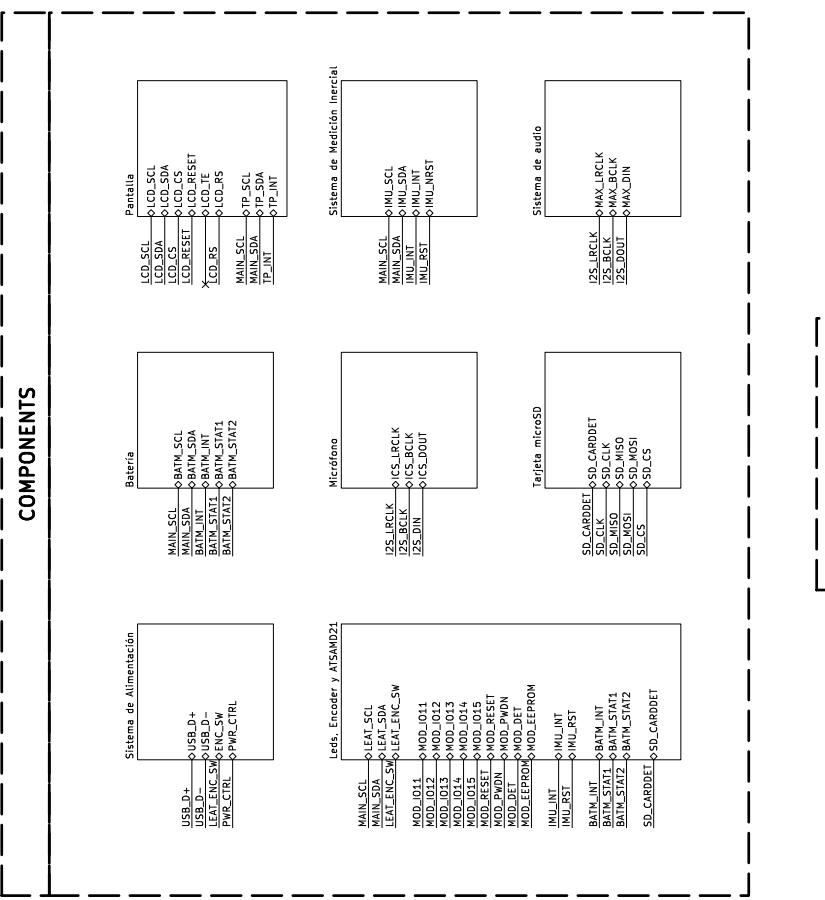
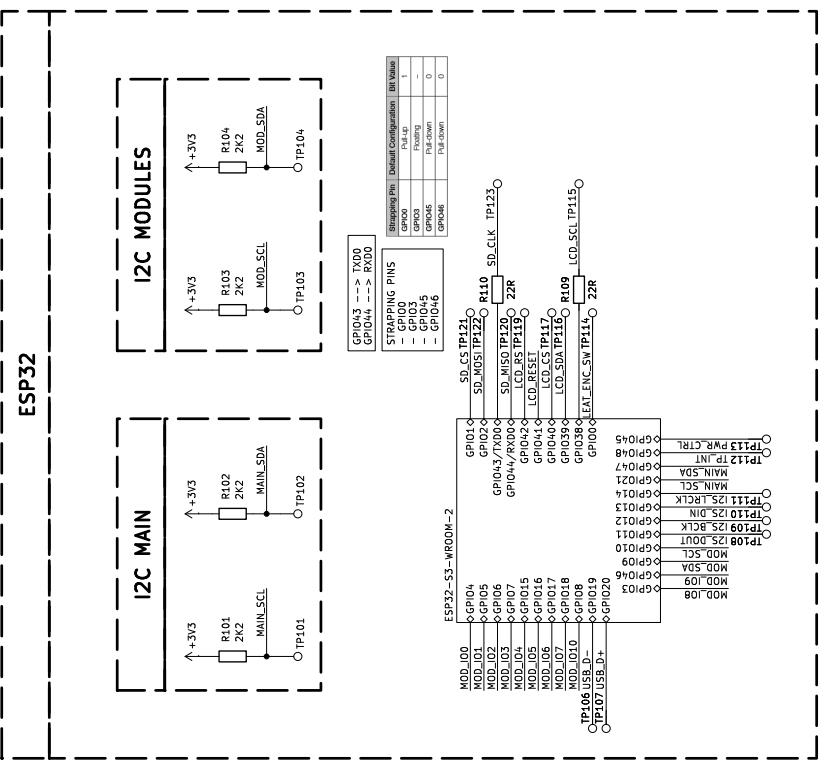
A	B	C	D
6	5	4	6
5	4	3	5
4	3	2	3
3	2	1	3
2	1	1	2
1	1	1	1

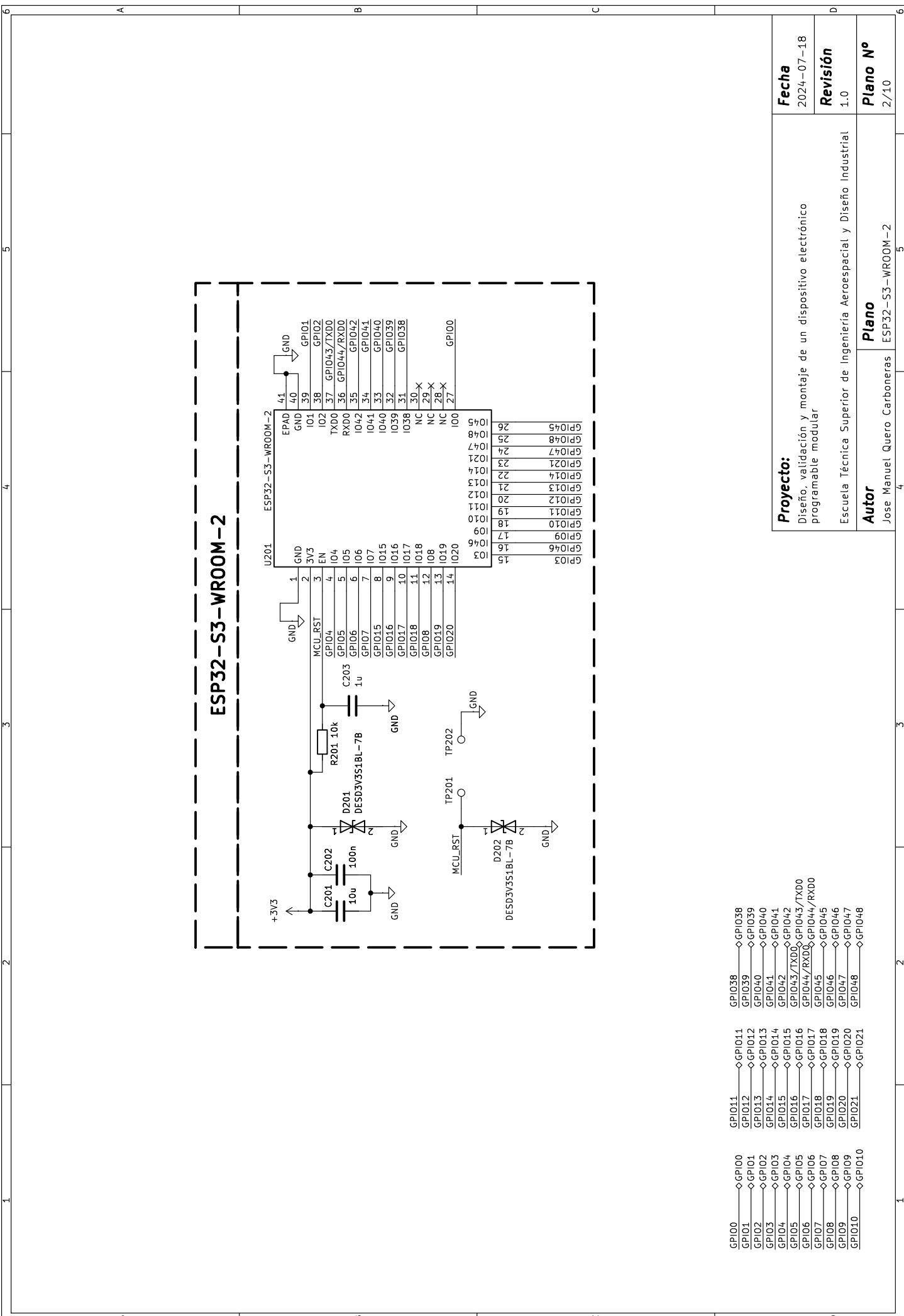
The diagram shows a detailed PCB layout. At the top right, there is a component labeled 'JTAGM 9 ad'. To its left, a large rectangular area is labeled 'MODULE SOCKET'. Below this, a shaded rectangular region is labeled 'R2-LZONE'. Further down, there are several smaller components and pads labeled 'GAIN', 'SW', and 'SP'. The entire board is surrounded by a frame with the text 'SUSU BEFORE ASSEMBLY' repeated four times at the top and bottom.

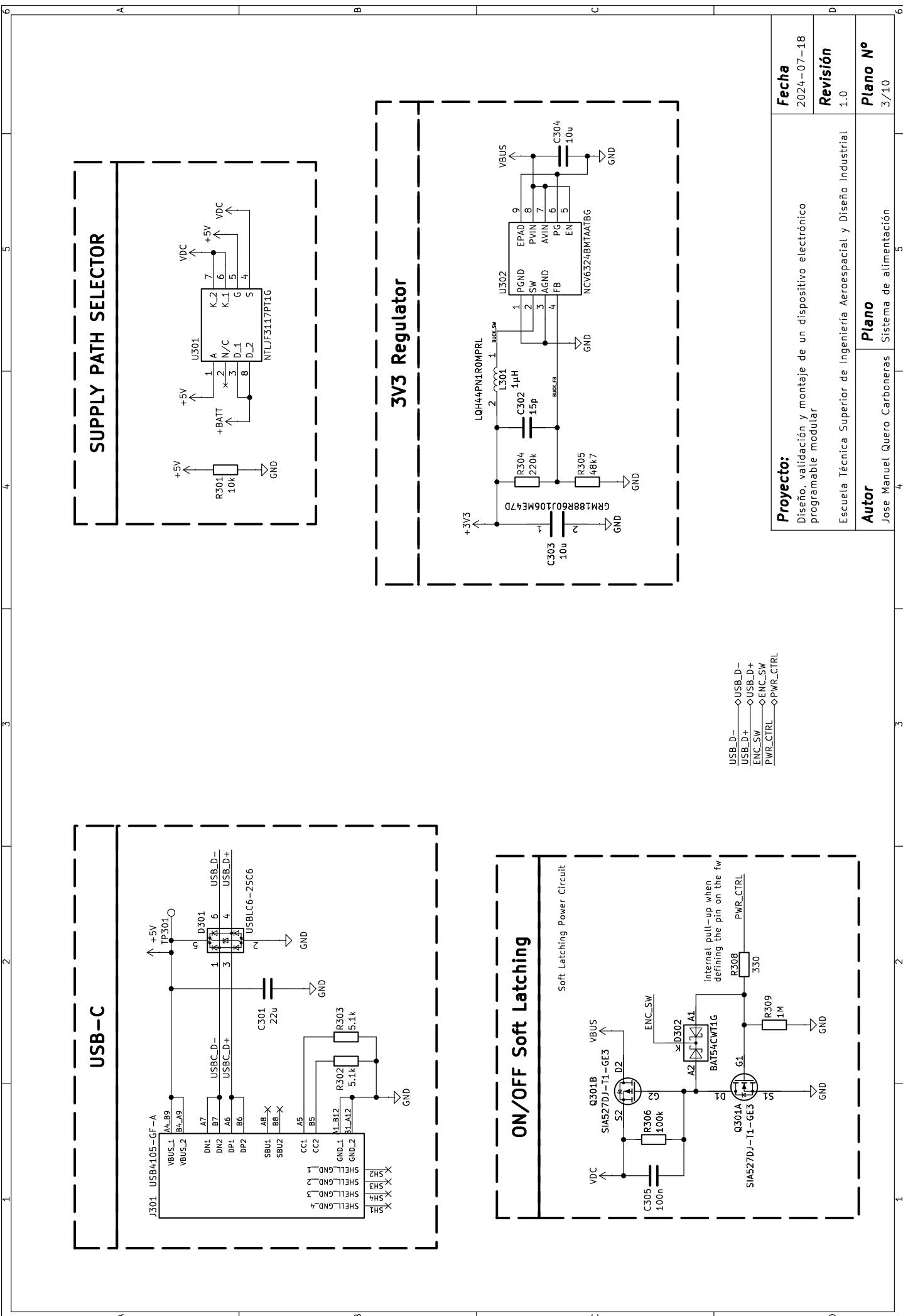
Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular	Fecha: 2024-07-18
Revisión: Final	
Author: Jose Manuel Quero Carboneras	Plano: EVT-PCB
	Plano Nº: 1/1

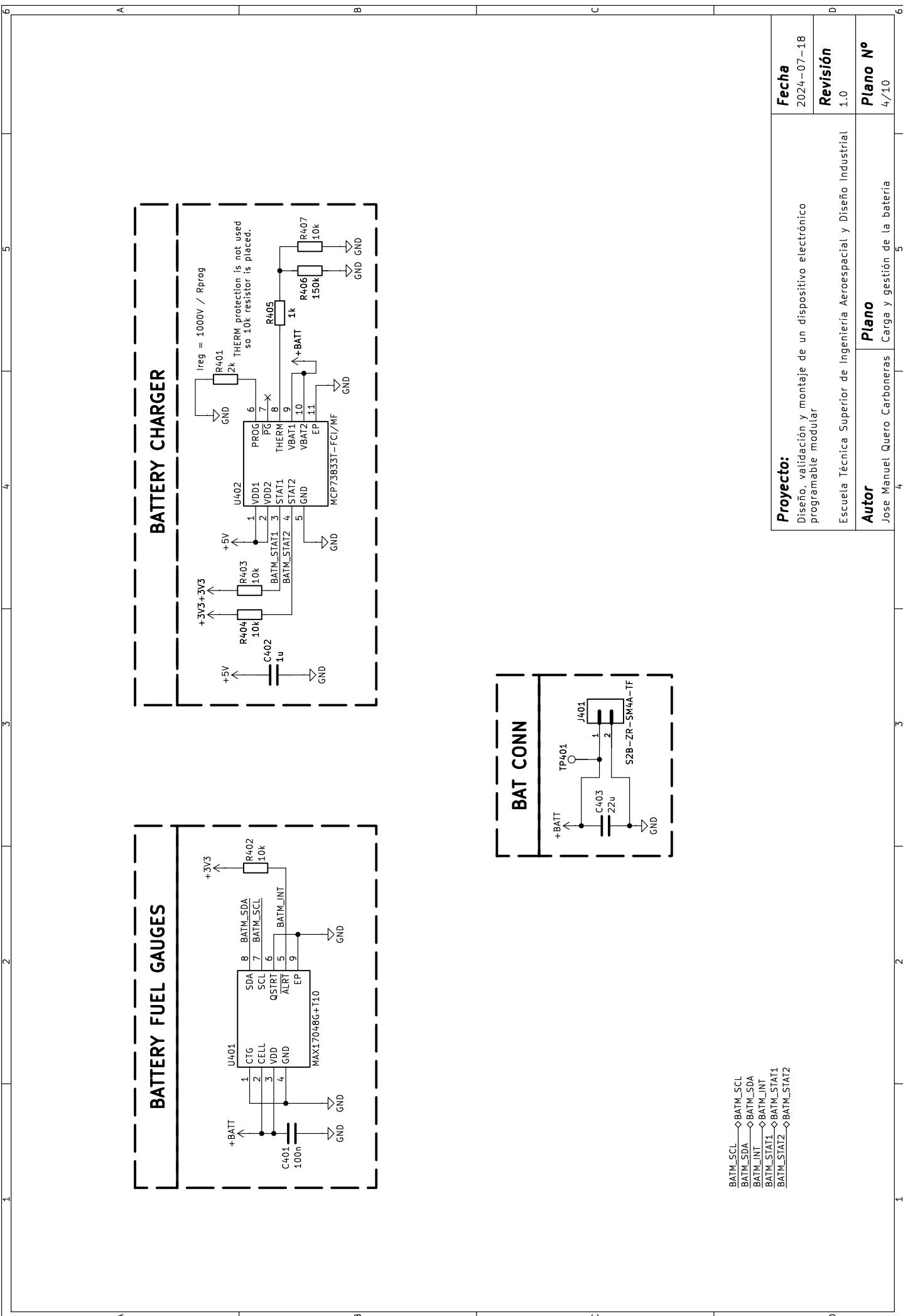
10. Pruebas de Validación del Diseño

10.1. Esquemático









Fecha:
2024-07-18

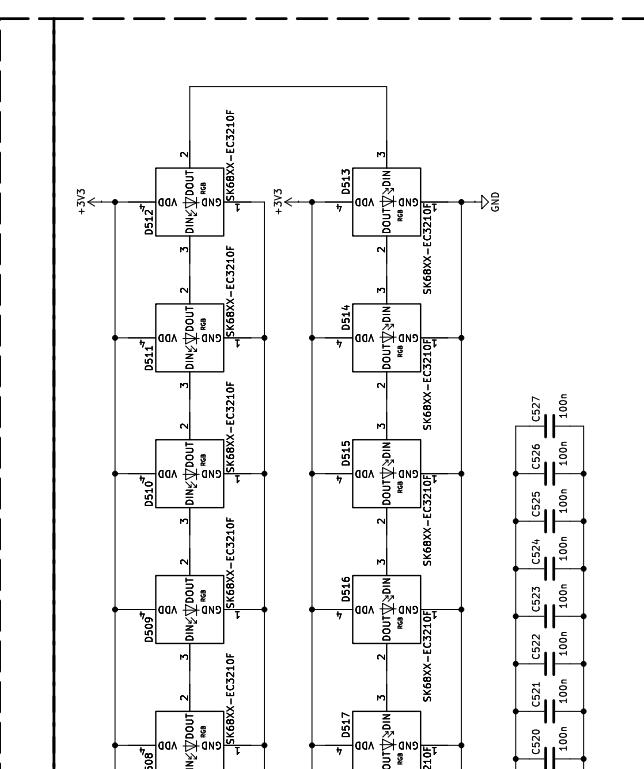
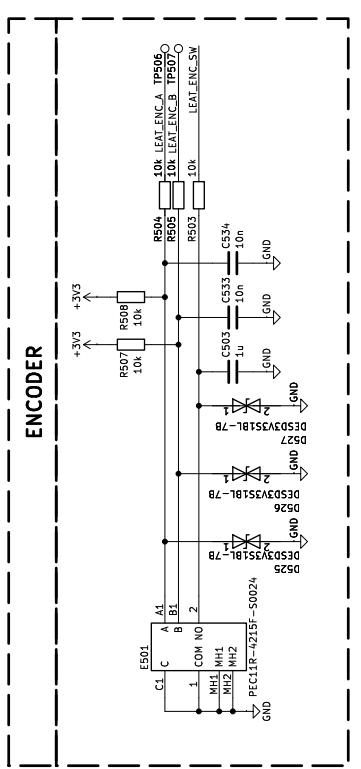
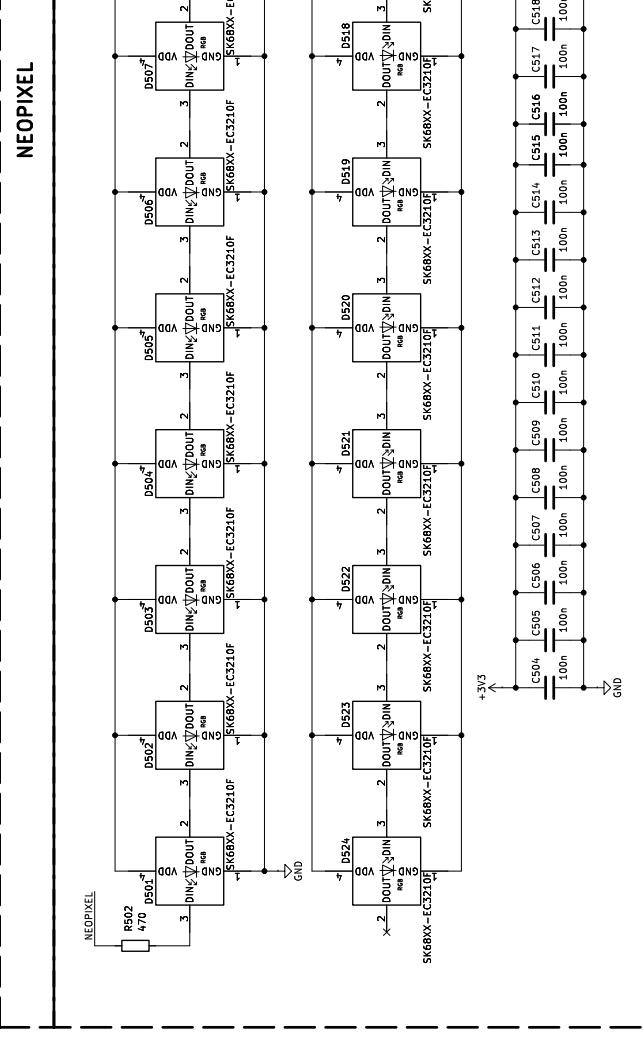
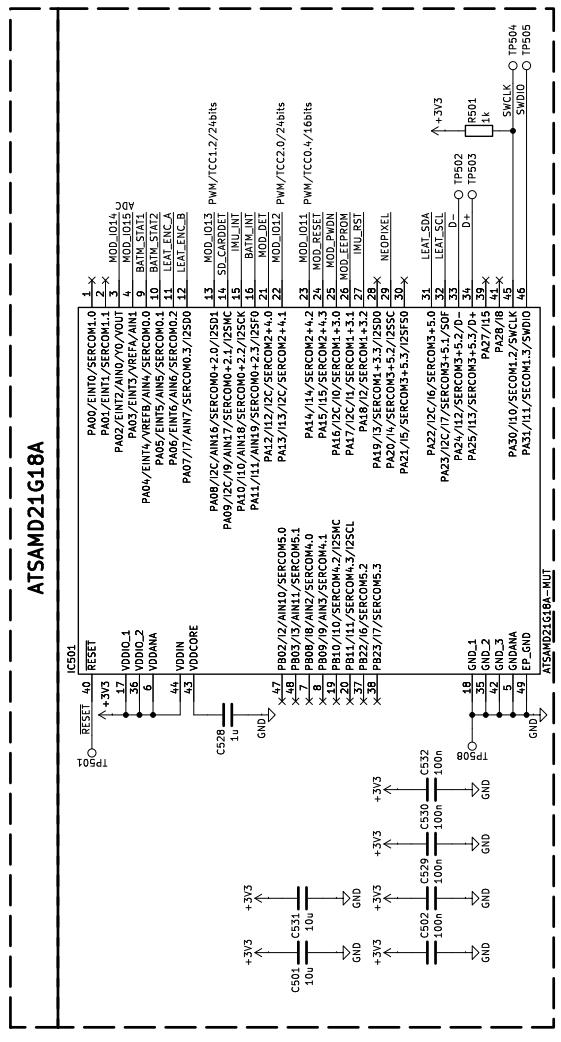
Revisión:
1.0

Plano Nº:
4/10

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

BATM_SCL → BATM_SDA
BATM_SDA → BATM_SCL
BATM_INT → BATM_INT
BATM_STAT1 → BATM_STAT1
BATM_STAT2 → BATM_STAT2



ATSAMD21G18A

ENCODER

NEOPIXEL

SD_CARDDET → SD_CARDRDY
MOD EEPROM → MOD_EEPROM

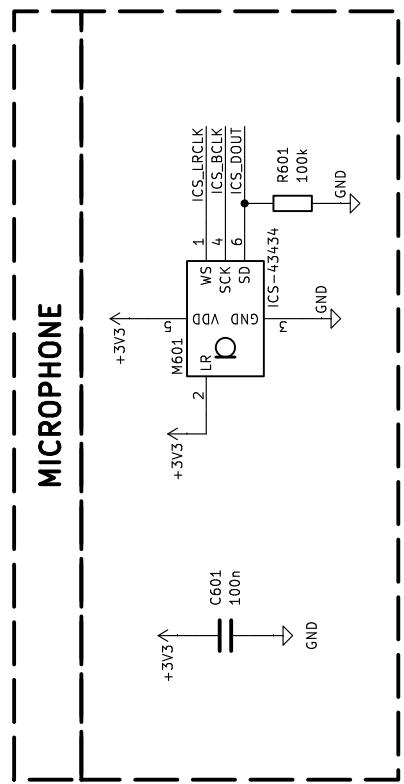
MOD_RESET ◊ MOD_PWDN ◊ MOD_DET

LEAT_SCL
LEAT_SDA
LEAT_ENC_SW

BATM_INT

Fecha:	2024-07-18
Revisión:	

Plano N°
5/10

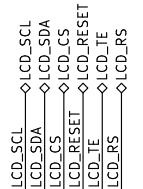
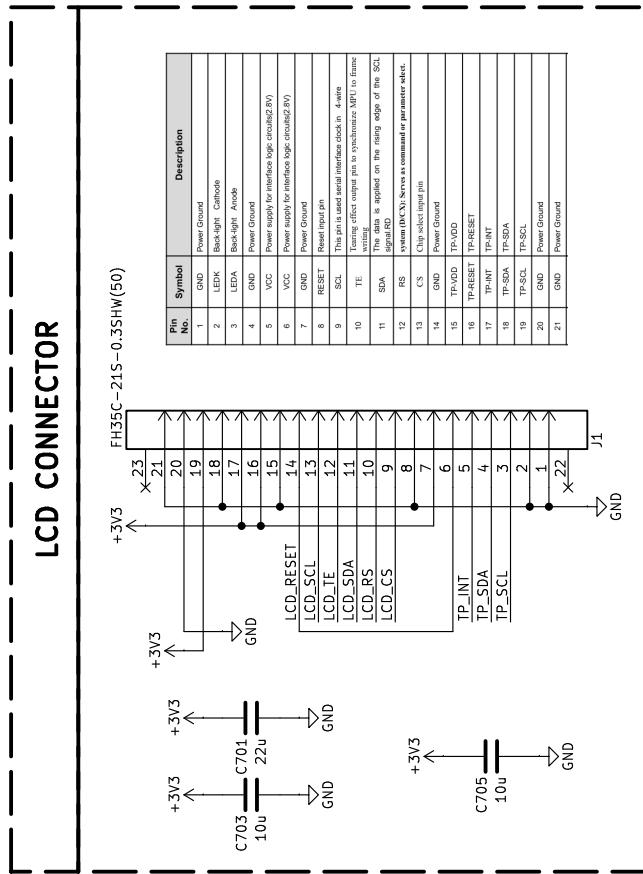


```

graph LR
    CS_LRCLK[CS_LRCLK] --> ICs_LRCLK[ICs_LRCLK]
    CS_BCLK[CS_BCLK] --> ICs_BCLK[ICs_BCLK]
    CS_DOUT[CS_DOUT] --> ICs_DOUT[ICs_DOUT]

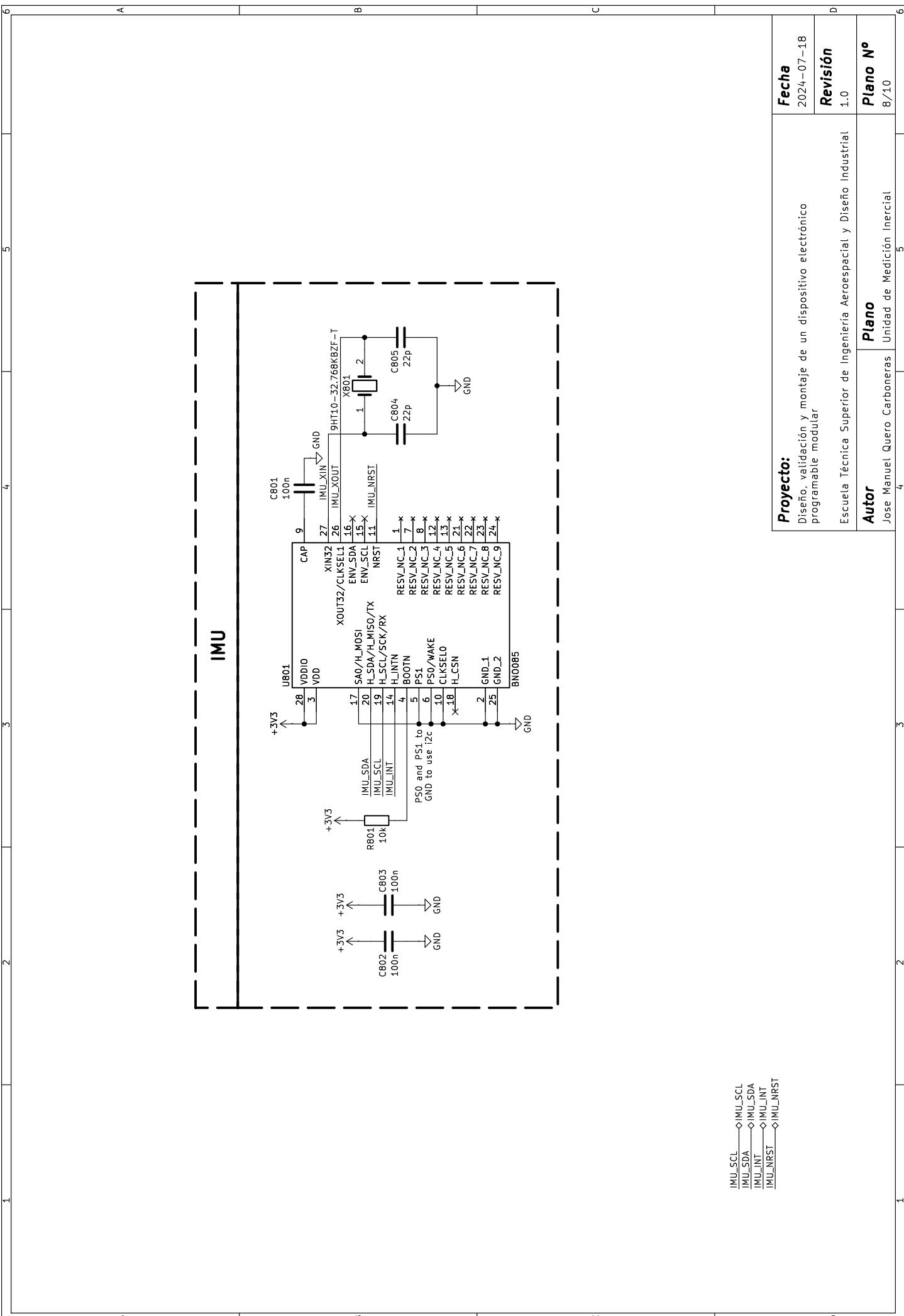
```

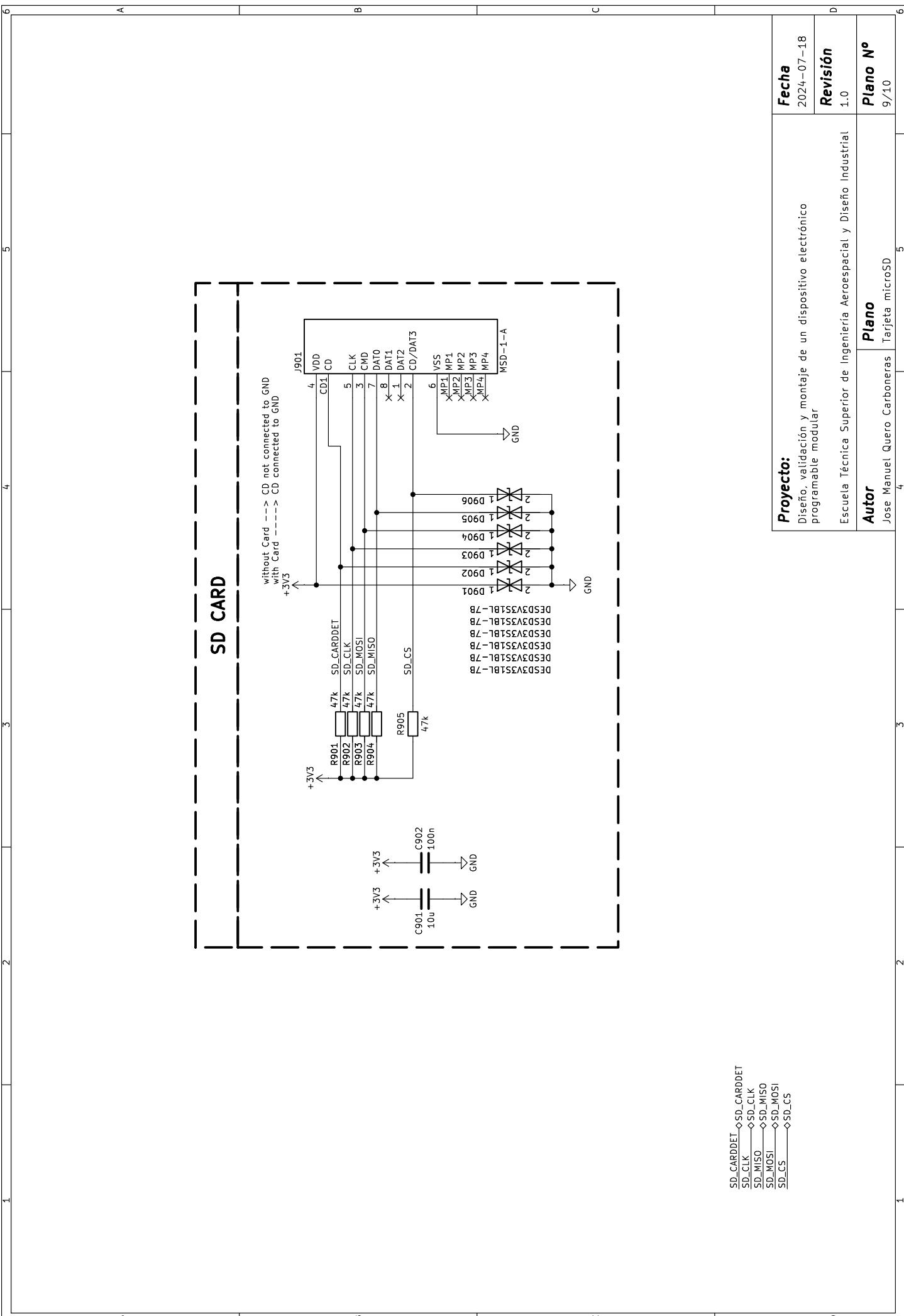
Proyecto:	Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular		
Autor:	Jose Manuel Quero Carboneras	Plano	Micrófono
Fecha	2024-07-18	Revisión	1.0
Plano Nº	6/10		5

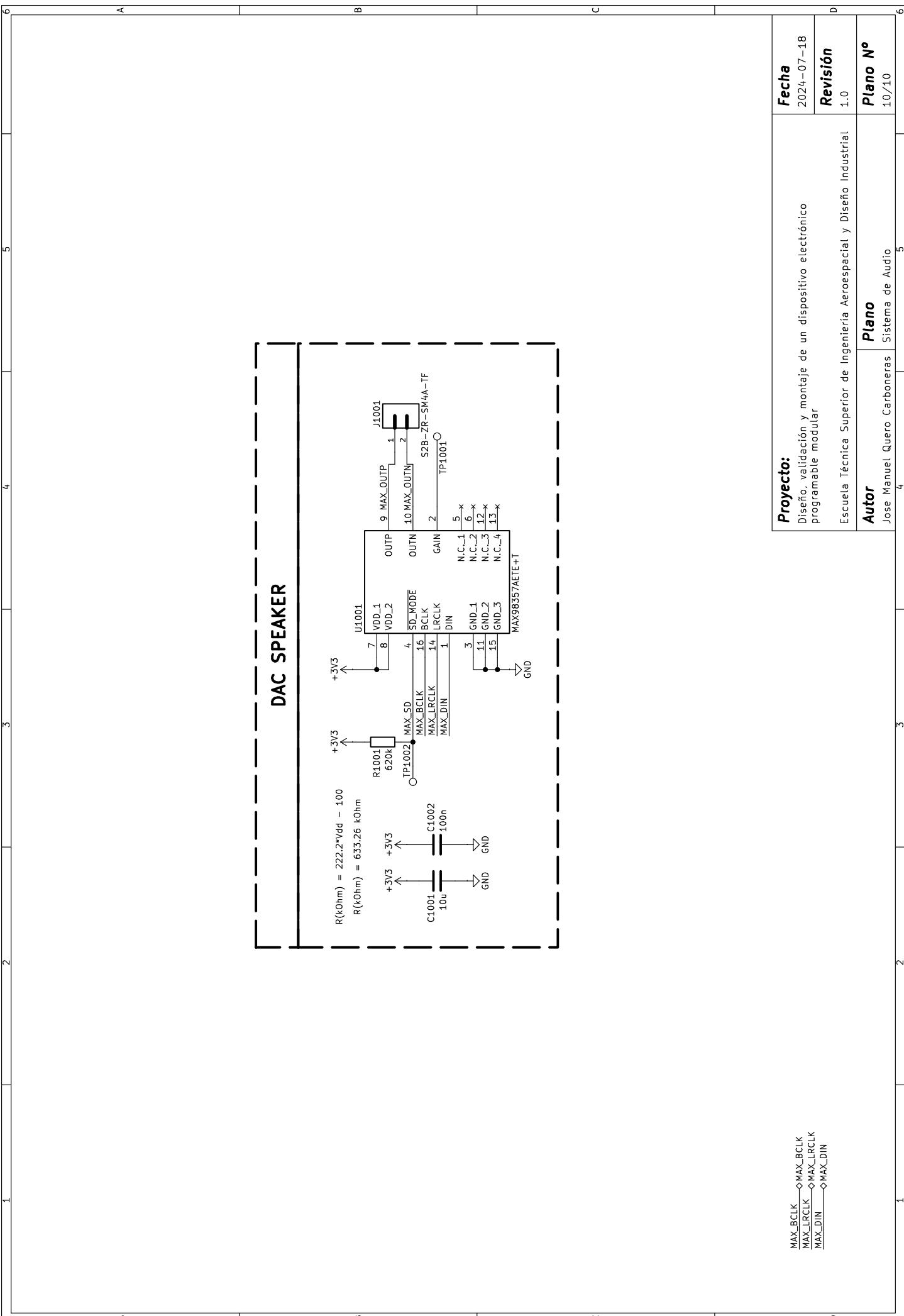


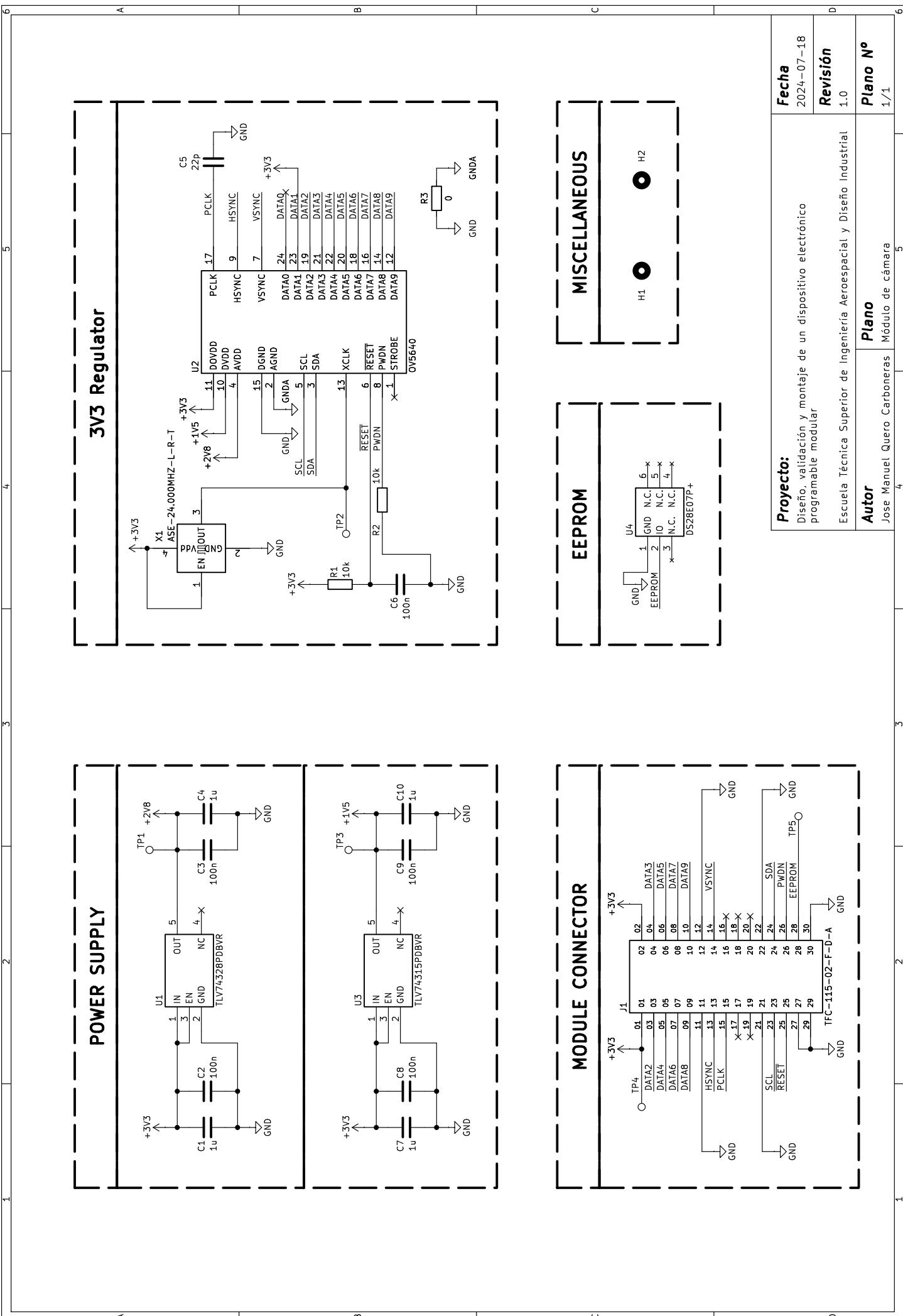
Proyecto:	Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular		
	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial		
Autor	Jose Manuel Quero Carboneras	Plano	5
	4	Pantalla 2"	7/10

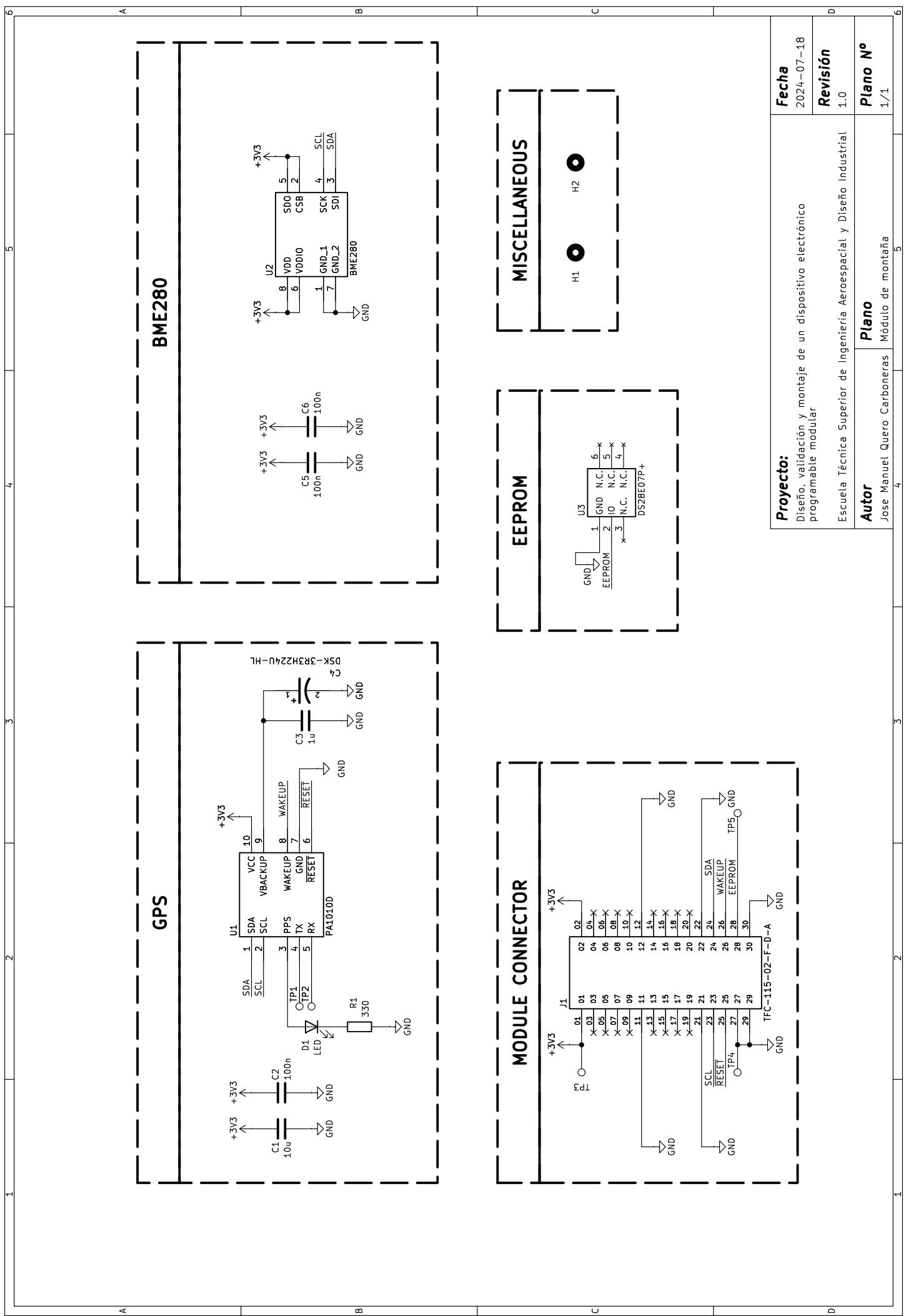
Proyecto:	Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular		
Fecha	2024-07-18		
Revisión	1.0		
Autor	Jose Manuel Quero Carboneras	Plano	Plano Nº
		Pantalla 2''	7/10

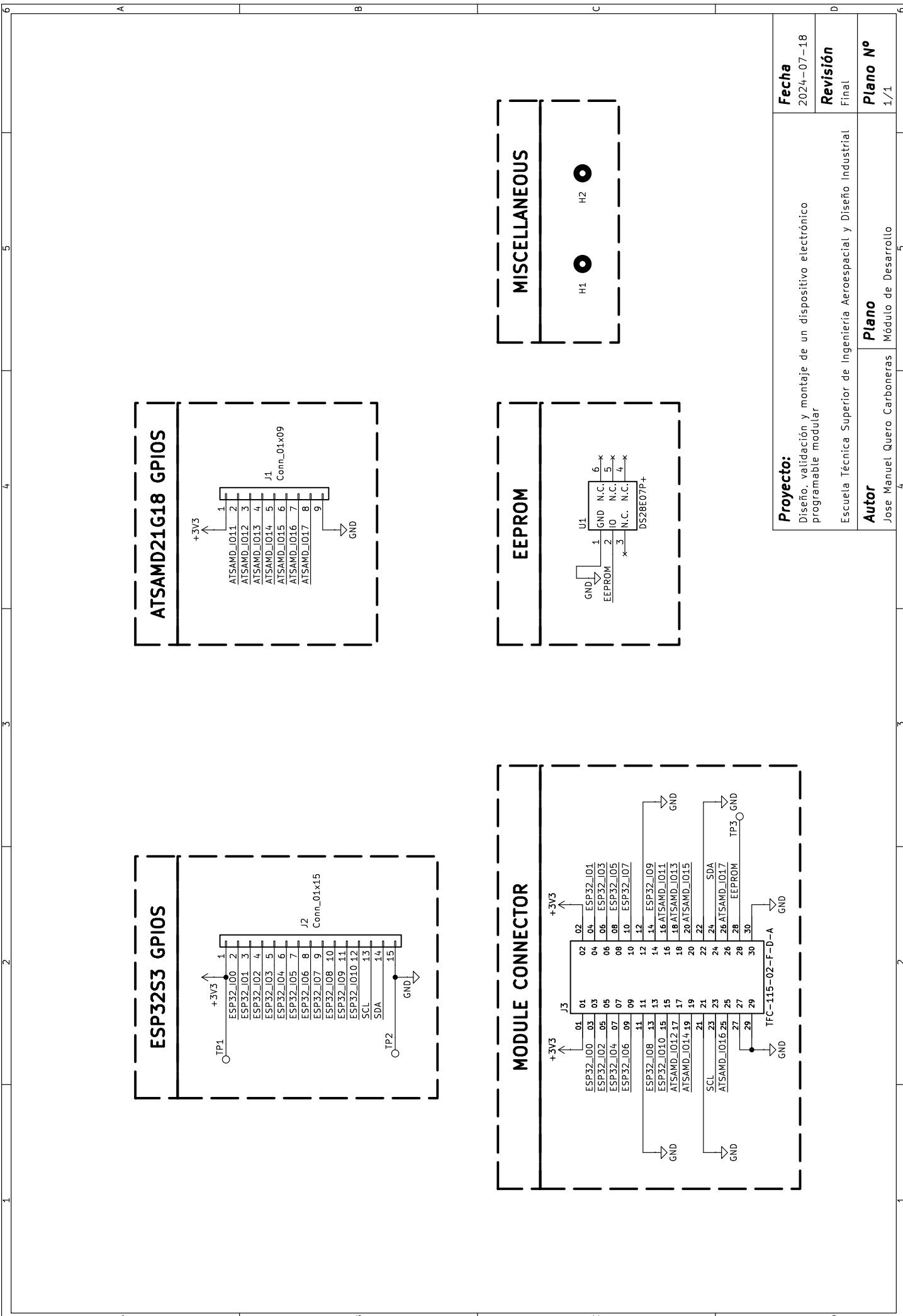








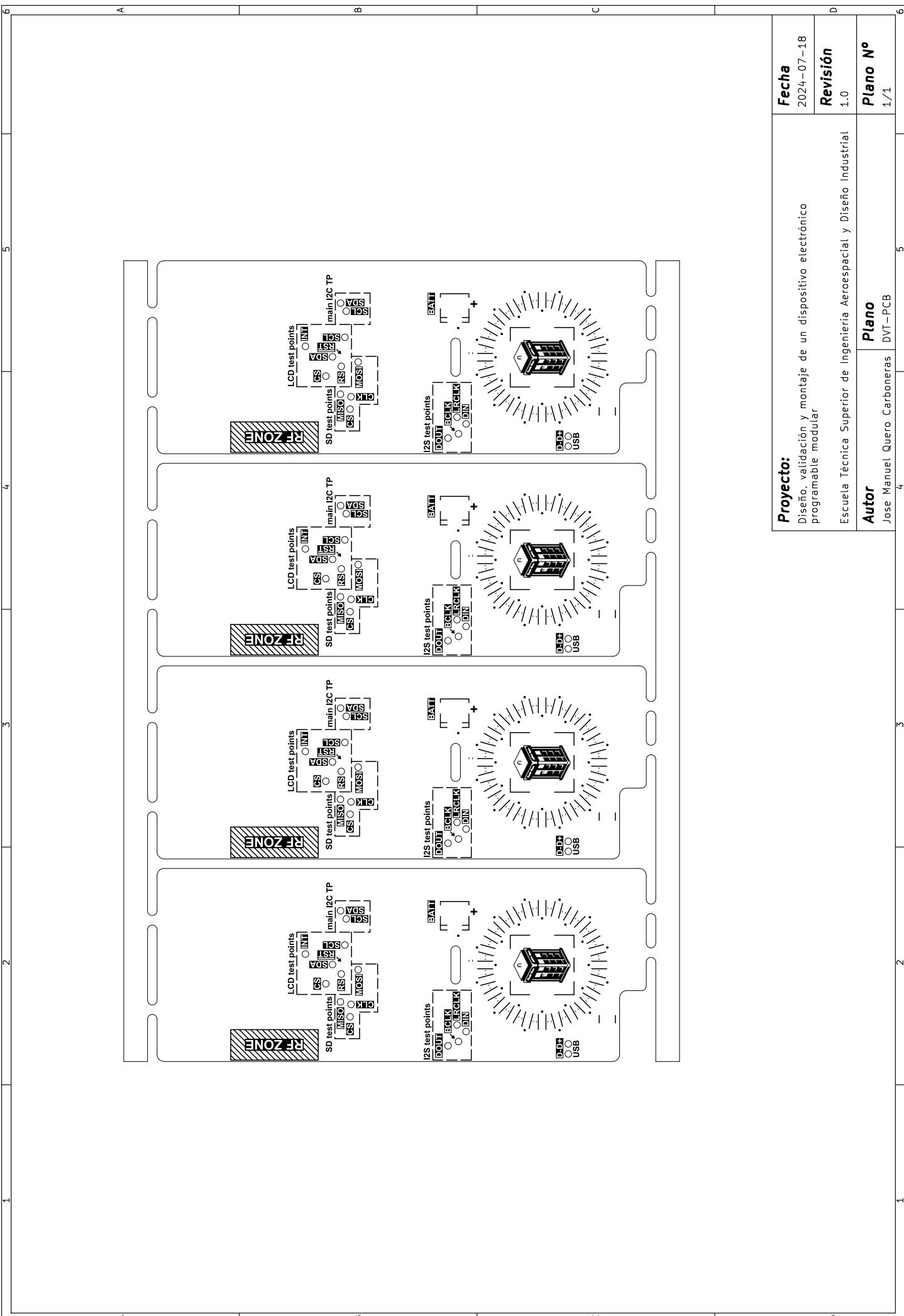




10.2. Layout

This figure is a blank technical drawing template. It features a large rectangular workspace in the center, divided into four quadrants by horizontal and vertical grid lines. The vertical axis on the left ranges from 1 to 6, and the horizontal axis at the bottom ranges from 1 to 6. The top edge has labels A, B, and C, while the right edge has labels D, E, F, and G. In the top right corner, there is a table with project details:

Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular	Fecha: 2024-07-18
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	Revisión: 1.0
Author: José Manuel Quero Carboneras	Plano: DVT-PCB
	Plano Nº: 1/1



Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular

Fecha
2024-07-18

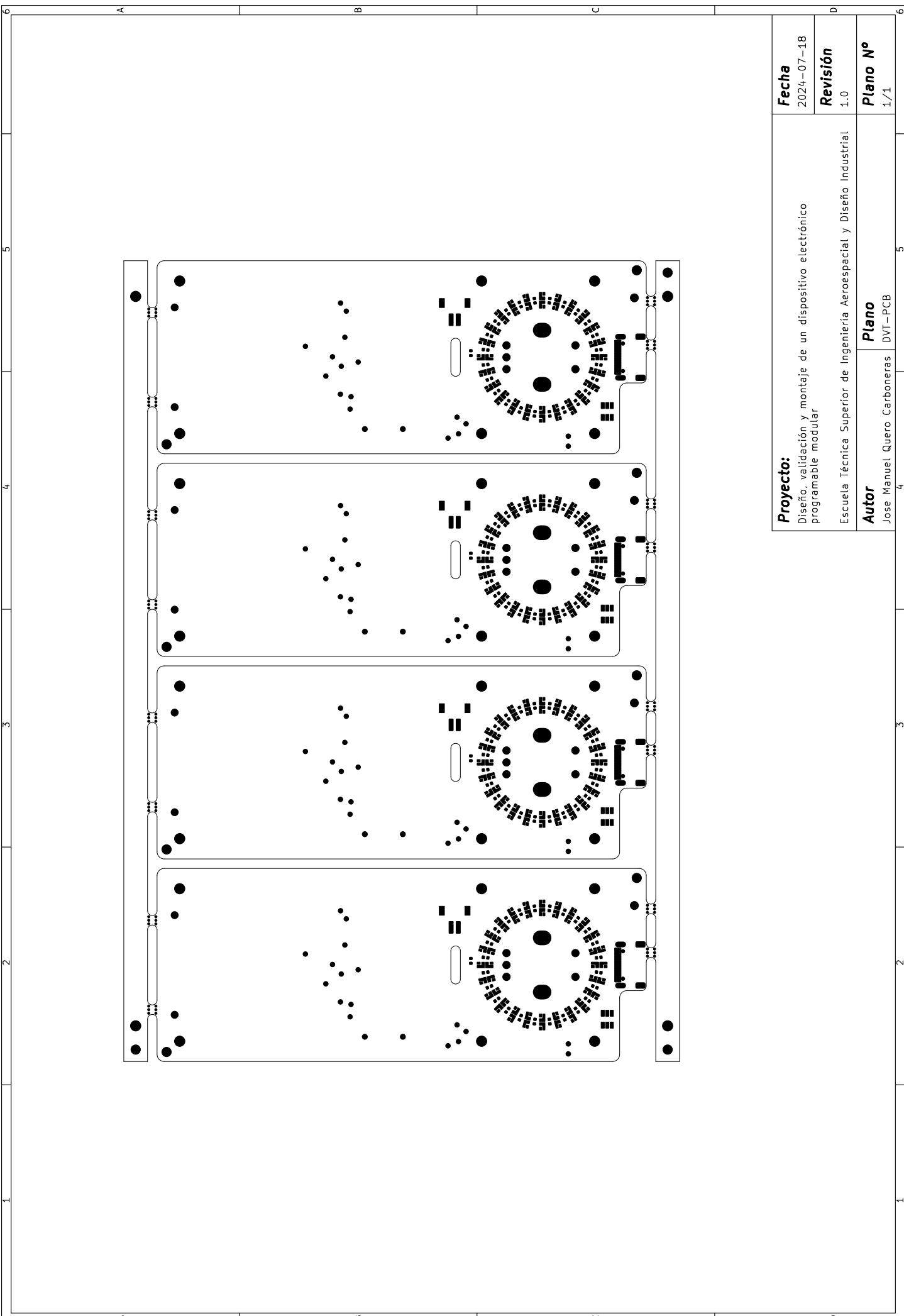
Revisión
1.0

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

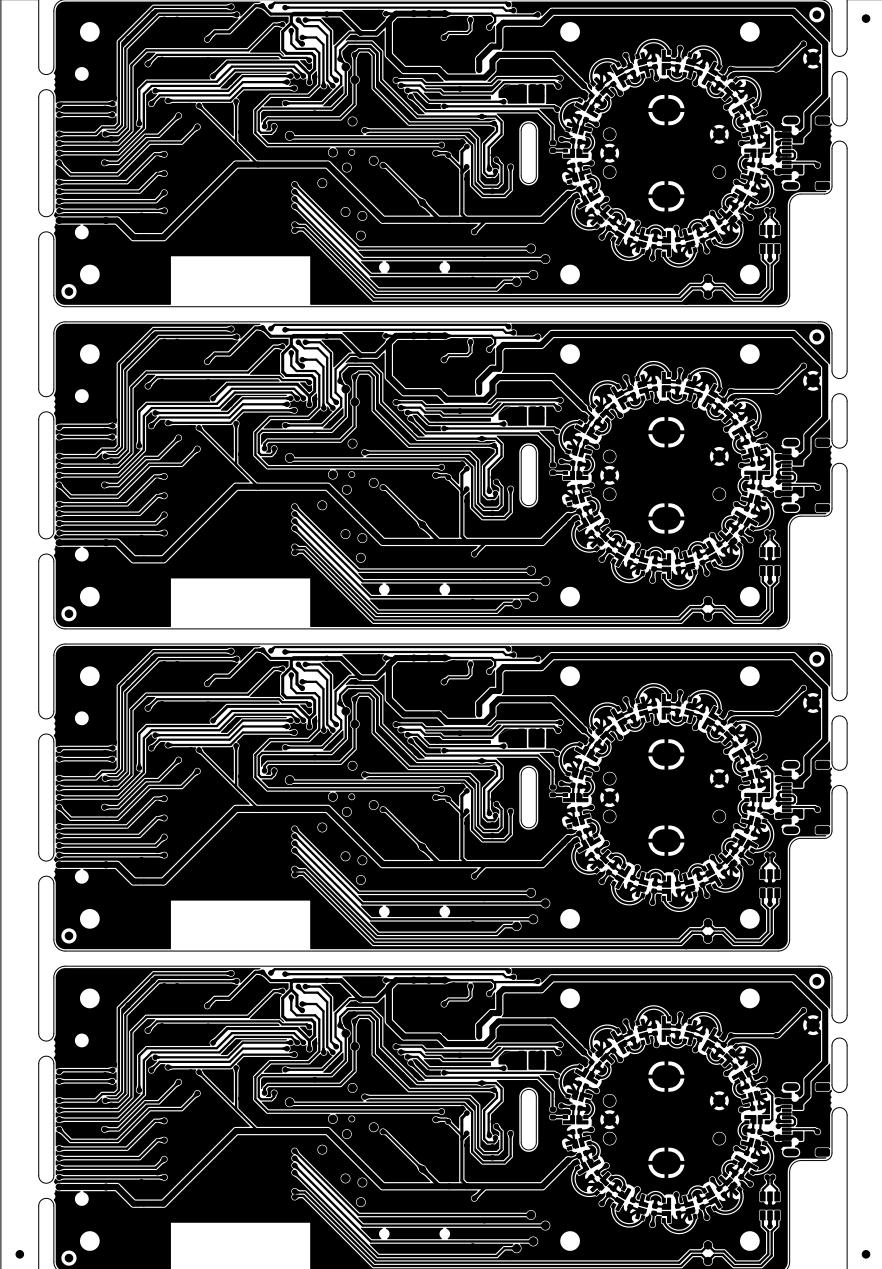
Autor
José Manuel Quero Carboneras

Plano
DVT-PCB

Plano №
1/1



A	B	C	D
6			
5			
4			
3			
2			
1			
A	B	C	D



Proyecto:	Fecha 2024-07-18
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular	Revisión 1.0
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	Plano Nº 1/1
Autor Jose Manuel Quero Carboneras	Plano DVT-FCB

A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Fecha 2024-07-18

Revisión 1.0

Plano Nº 1/1

Autores Jose Manuel Quero Carboneras

Plano DVT-PCB

6

5

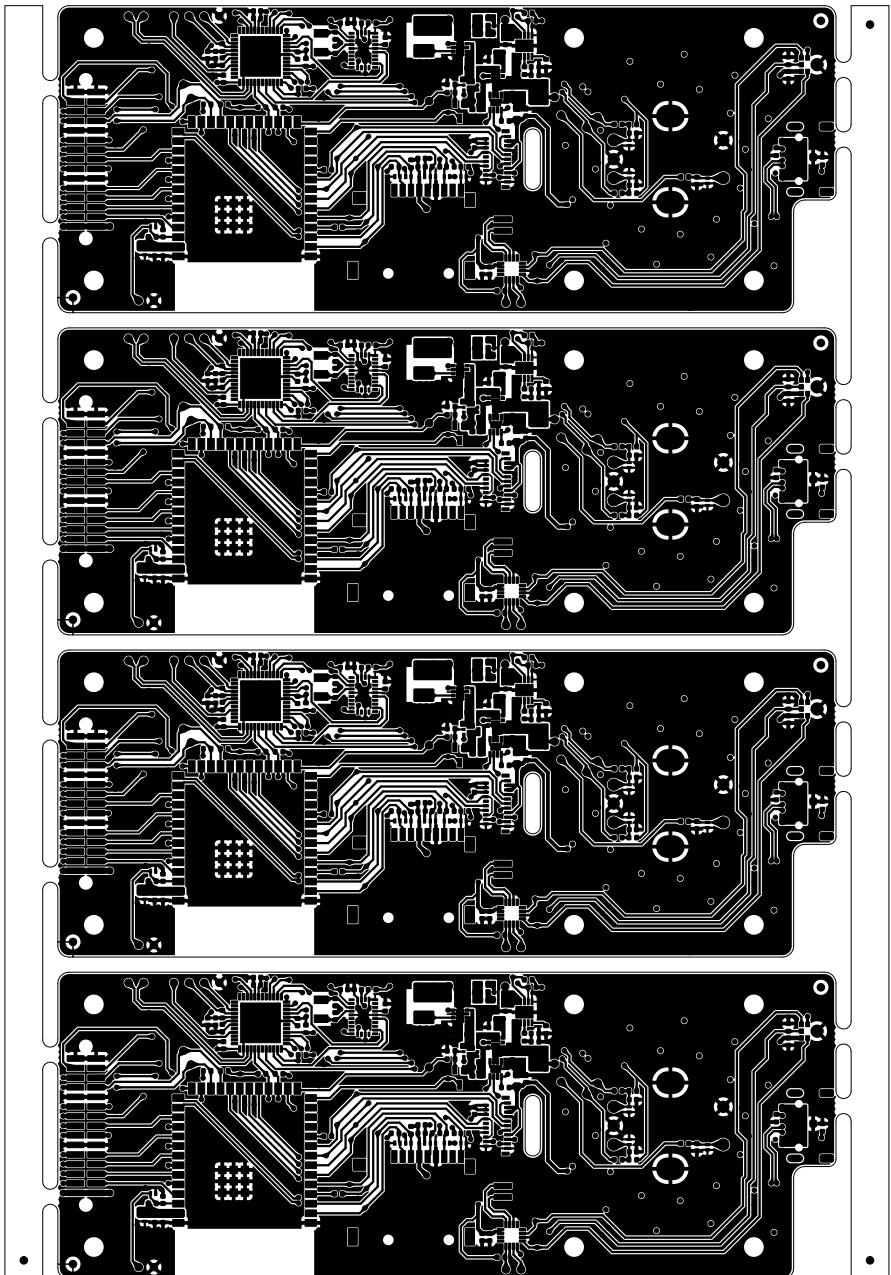
4

3

2

1

Proyecto:	Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular		
Autor:	Jose Manuel Quero Carboneras	Plano:	DVT-PCB
Fecha:	2024-07-18		
Revisión:	1.0		
Plano Nº	1/1		



A

B

C

6

5

4

3

2

1

Projecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Fecha
2024-07-18

Revisión
1.0

Plano Nº
1/1

Author
José Manuel Quero Carboneras

Plano
DVT-PCB

5

4

3

2

1

A

B

C

D

6

5

4

3

2

1

Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Fecha: 2024-07-18

Revisión: 1.0

Plano Nº: 1/1

Author: Jose Manuel Quero Carboneras

Plano: DVT-PCB

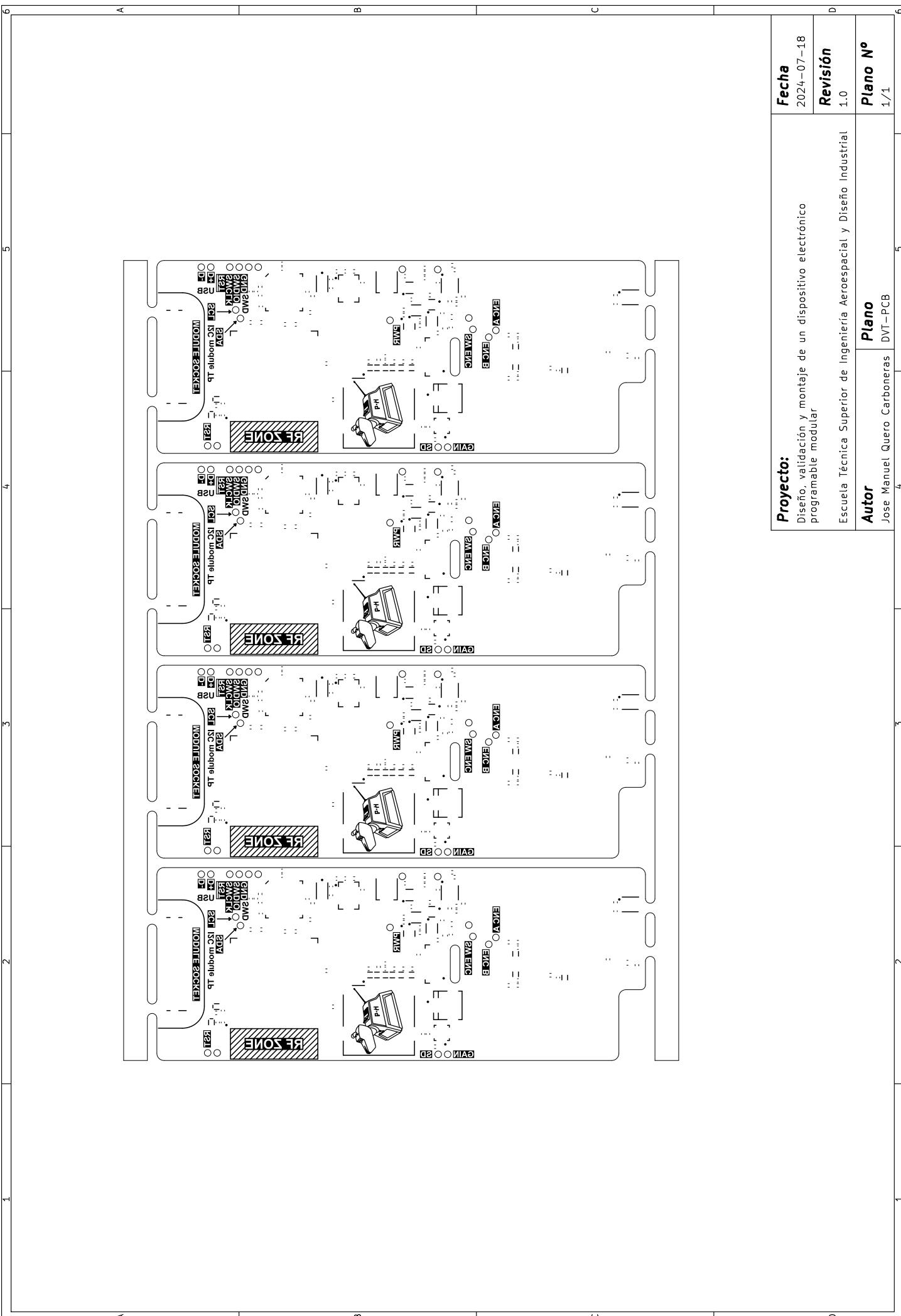
5

4

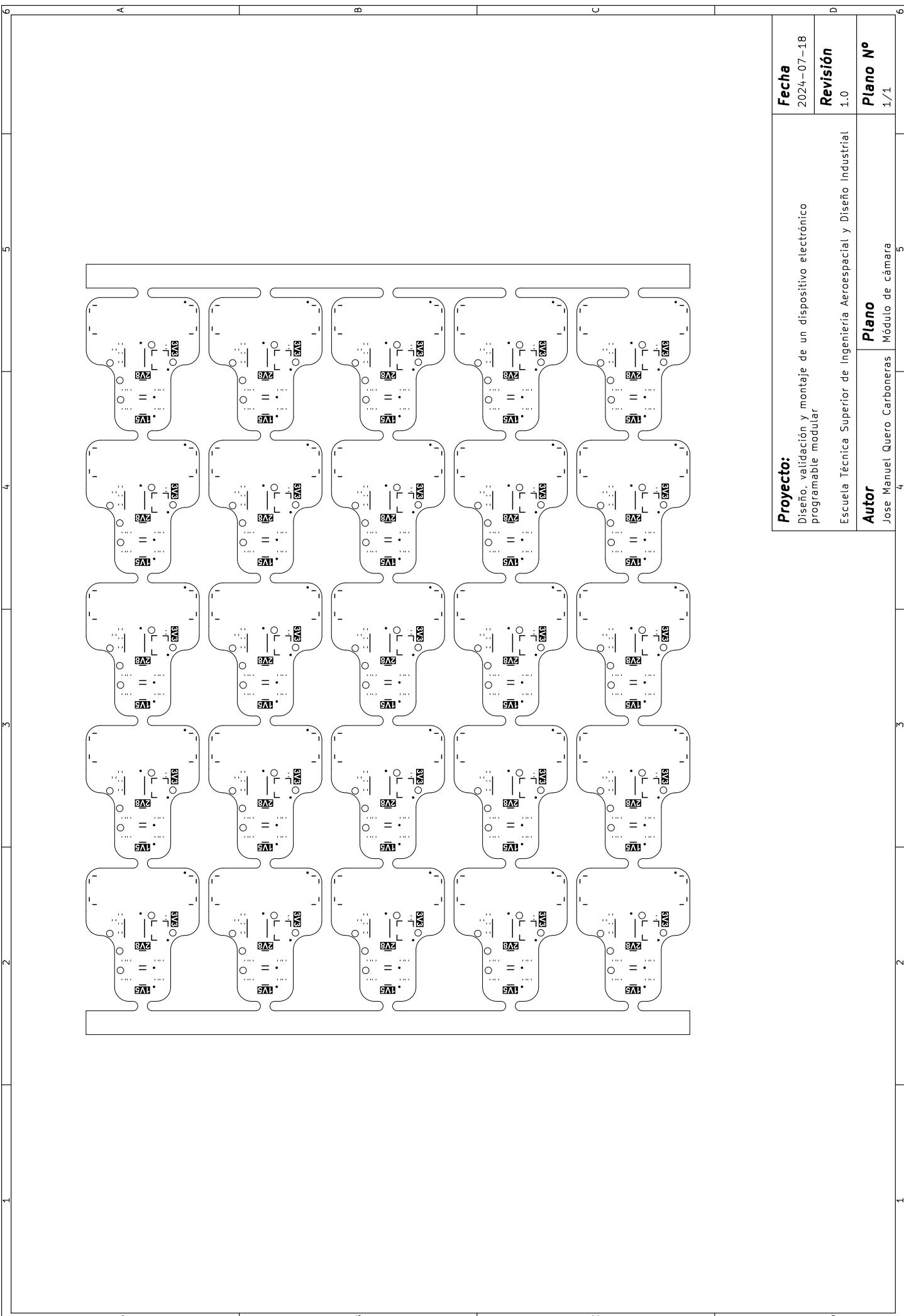
3

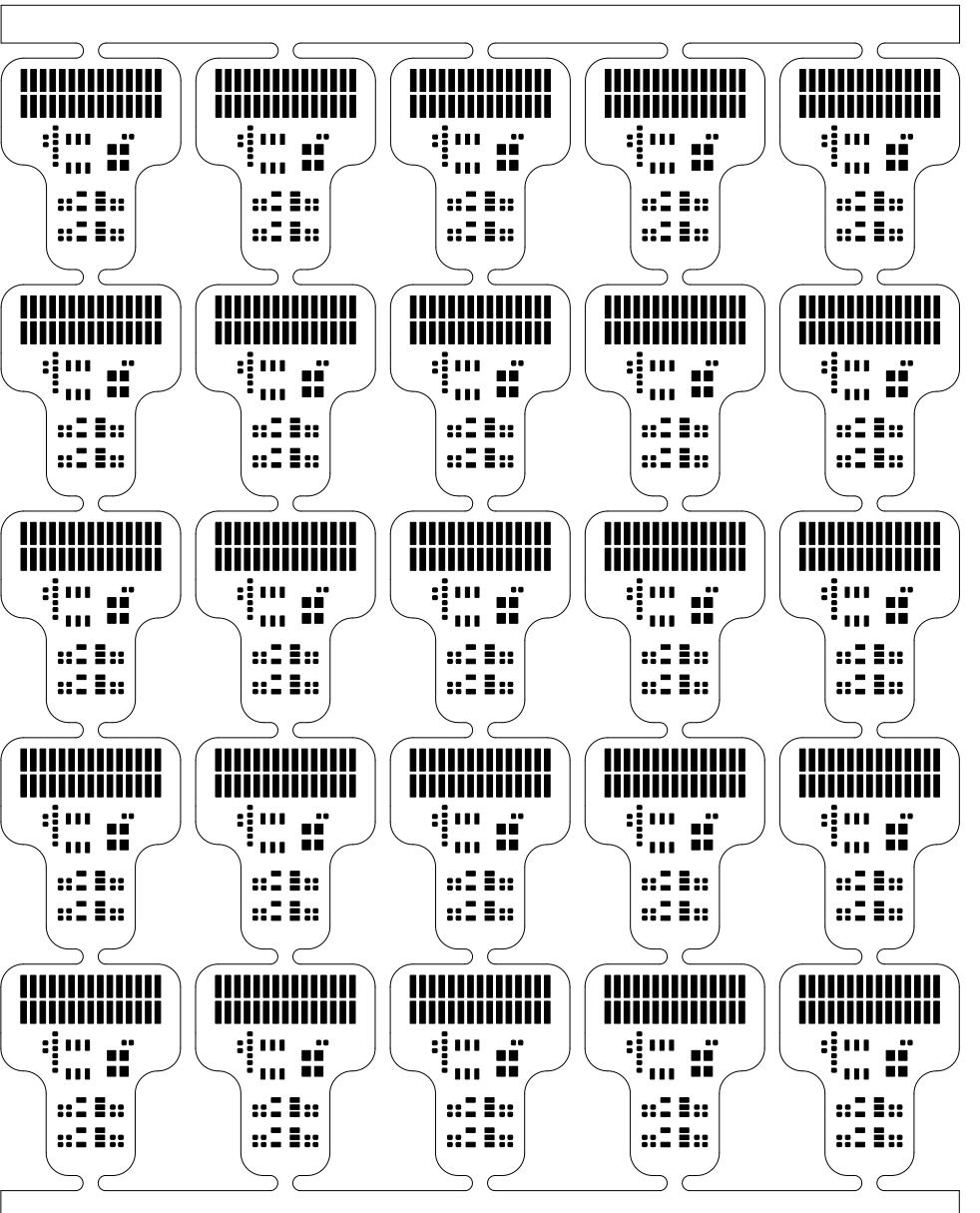
2

1



Proyecto:	Fecha 2024-07-18
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular	Revisión 1.0
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	Plano Nº 1/1
Autor José Manuel Quero Carboneras	Plano DVT-FCB



A	B	C	D
			6
			5
			4
			3
			2
			1
			
Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial		Fecha	2024-07-18
		Revisión	1.0
Autor	Jose Manuel Quero Carboneras	Plano	Modulo de cámara
			5
			4
			3
			2
			1

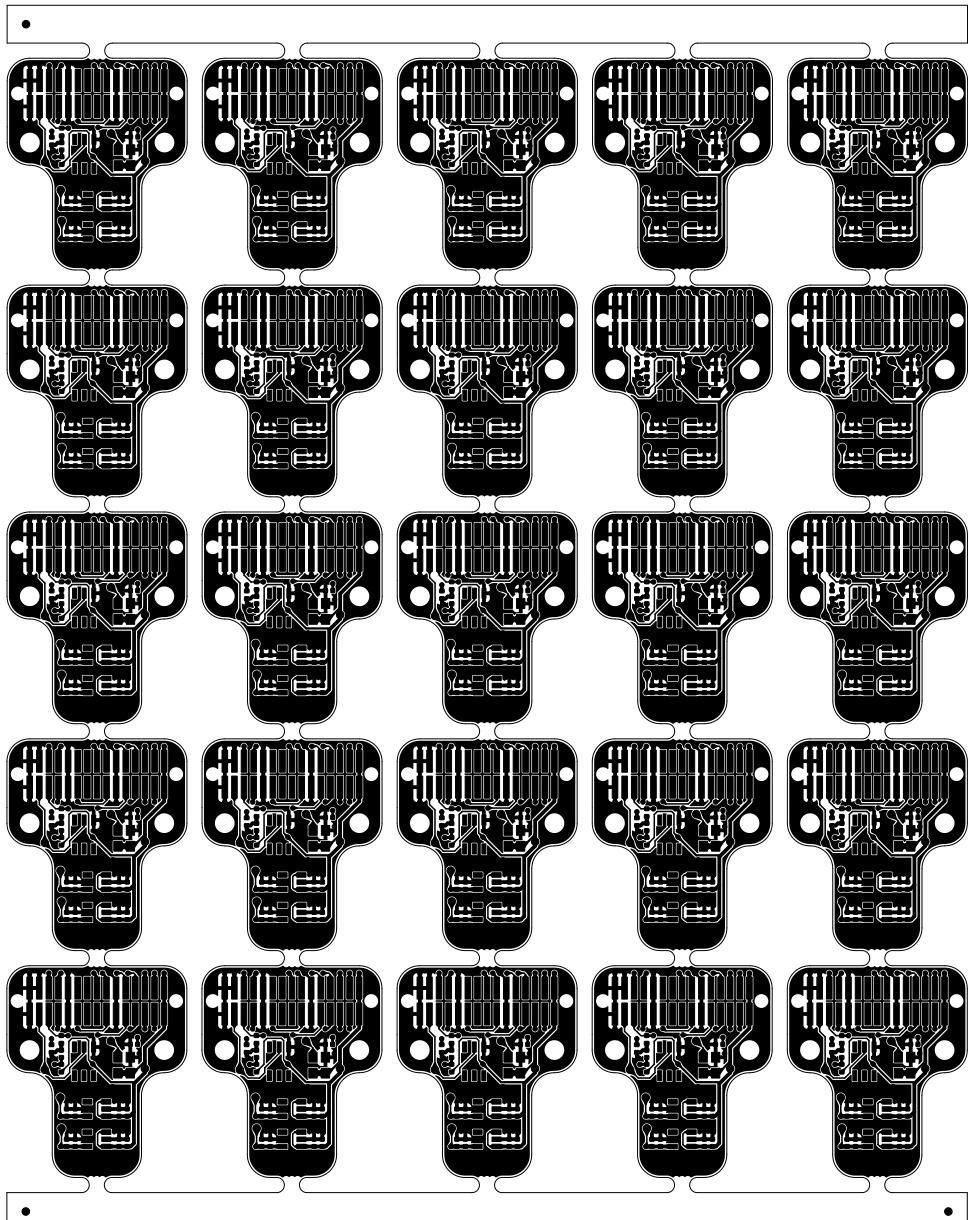
	A	B	C	D
6				
5				
4				
3				
2				
1				
	A	B	C	D

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor	Plano	Fecha
Jose Manuel Quero Carboneras	Módulo de cámara	2024-07-18
		Revisión 1.0
		Plano Nº 1/1

Proyecto:	Fecha 2024-07-18
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular	Revisión 1.0
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	Plano Nº 1/1
Autor José Manuel Quero Carboneras	Plano Modulo de cámara



Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha:
2024-07-18

Revisión:
1.0

Plano Nº:
1/1

Auto:
Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:
Módulo de cámara

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha:
2024-07-18

Revisión:
1.0

Plano Nº:
1/1

Auto:
Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:
Módulo de cámara

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

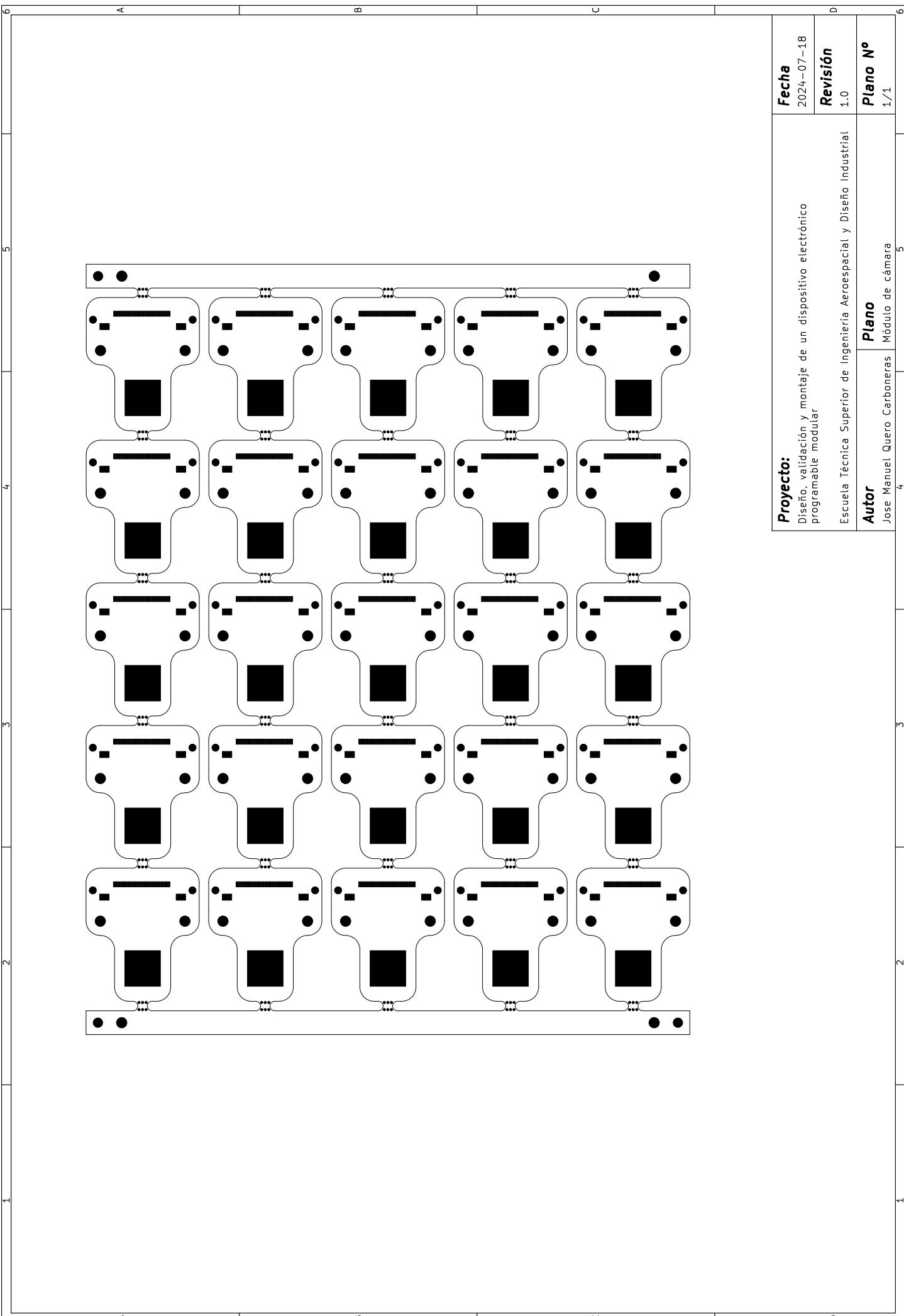
Fecha
2024-07-18

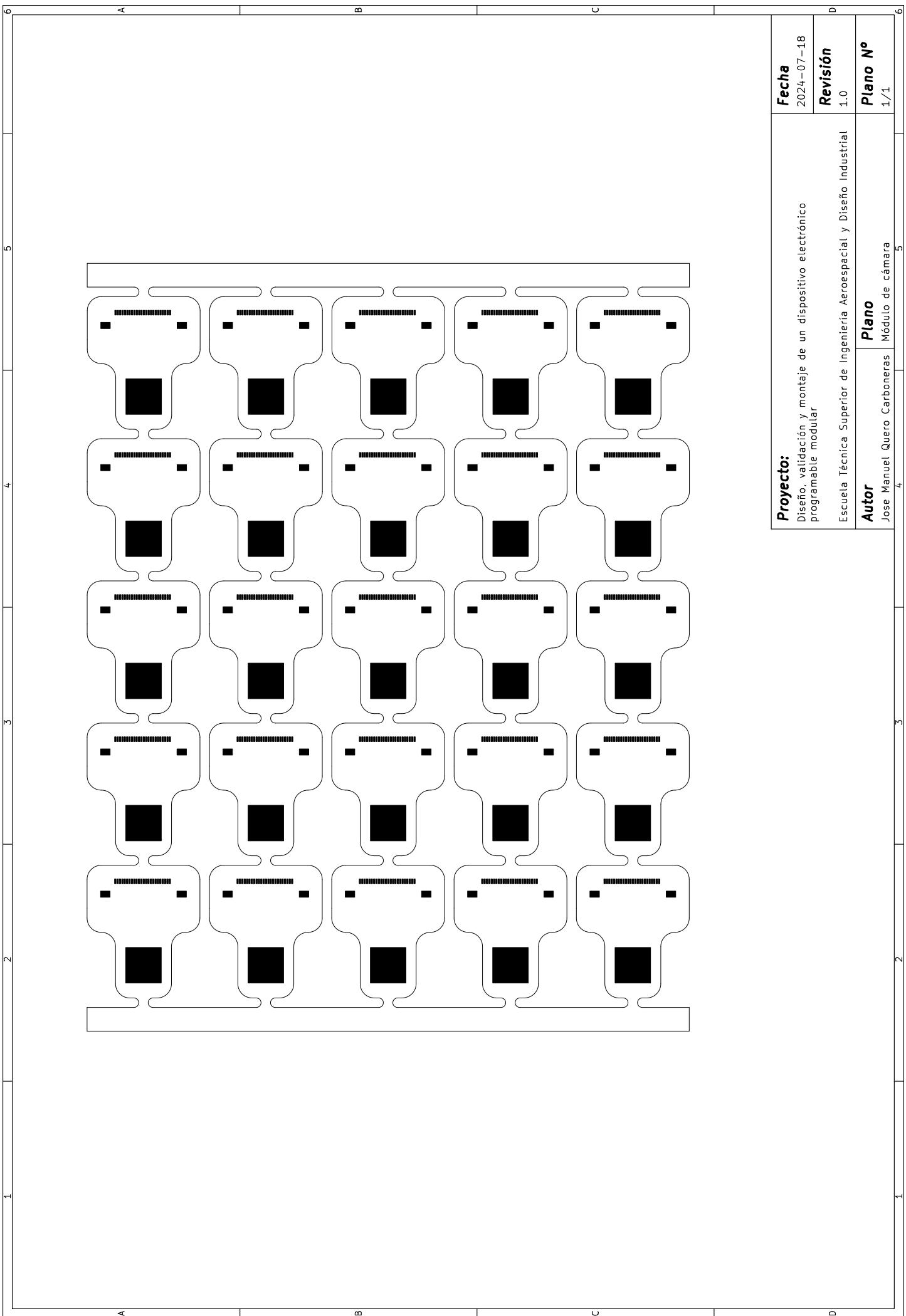
Revisión
1.0

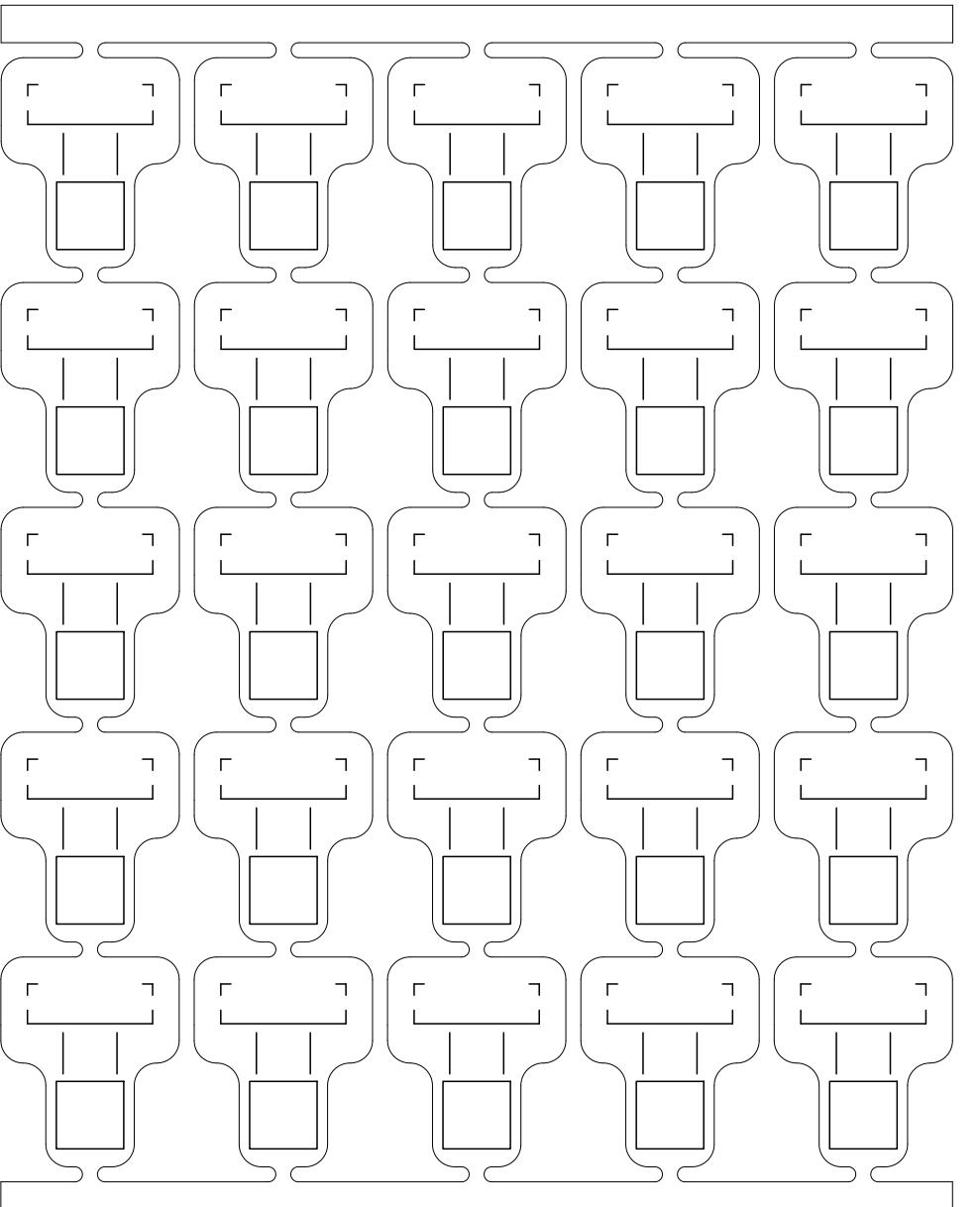
Autor
Jose Manuel Quero Carboneras

Plano
Módulo de cámara

Plano Nº
1/1





A	B	C	D
6			
5			
4			
3			
2			
1			

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha:
2024-07-18

Revisión:
1.0

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Author	Plano	Plano Nº
Jose Manuel Quero Carboneras	Módulo de cámara	1/1
	5	
	4	
	3	
	2	
	1	

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular

Fecha:
2024-07-18

Revisión:
1.0

Plano Nº:
1/1

Auto:
José Manuel Quero Carboneras

Plano:
Módulo de montaña

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha
2024-07-18

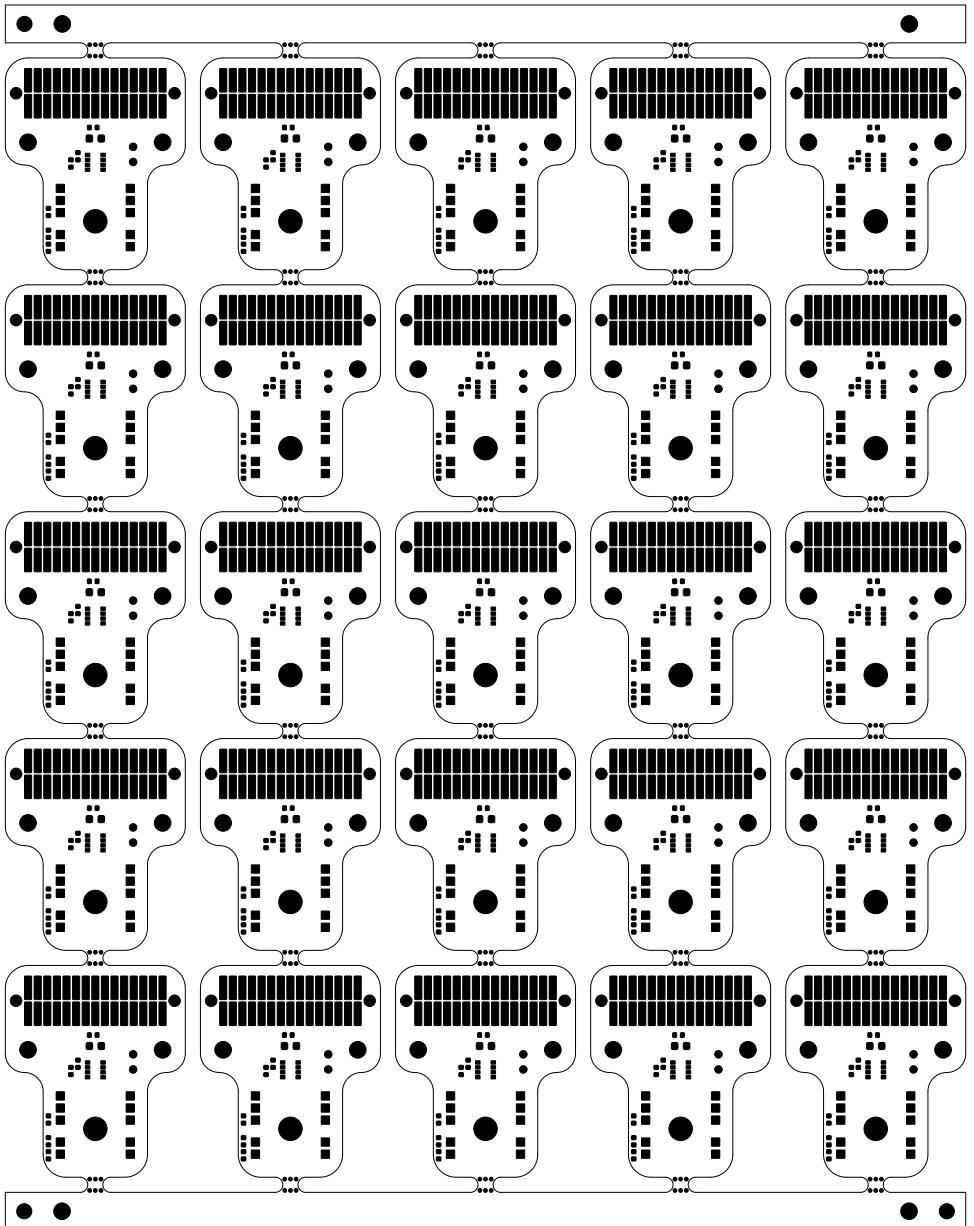
Revisión
1.0

Autor
Jose Manuel Quero Carboneras

Plano
Módulo de montaje

Plano Nº
1/1

A	B	C	D
1	2	3	4
2	3	4	5
3	4	5	6
4	5	6	
5	6		
6			
A	B	C	D



Proyecto:	Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular		
Fecha	2024-07-18		
Revisión	1.0		
Autor	Plano	Plano N°	6
Jose Manuel Quero Carboneras	Módulo de montaña	1/1	
4	5		

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular

Fecha
2024-07-18

Revisión
1.0

Autor
Jose Manuel Quero Carboneras

Plano №
1/1

Plano
Módulo de montaje

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha
2024-07-18

Revisión
1.0

Autor
José Manuel Quero Carboneras

Plano Nº
1/1

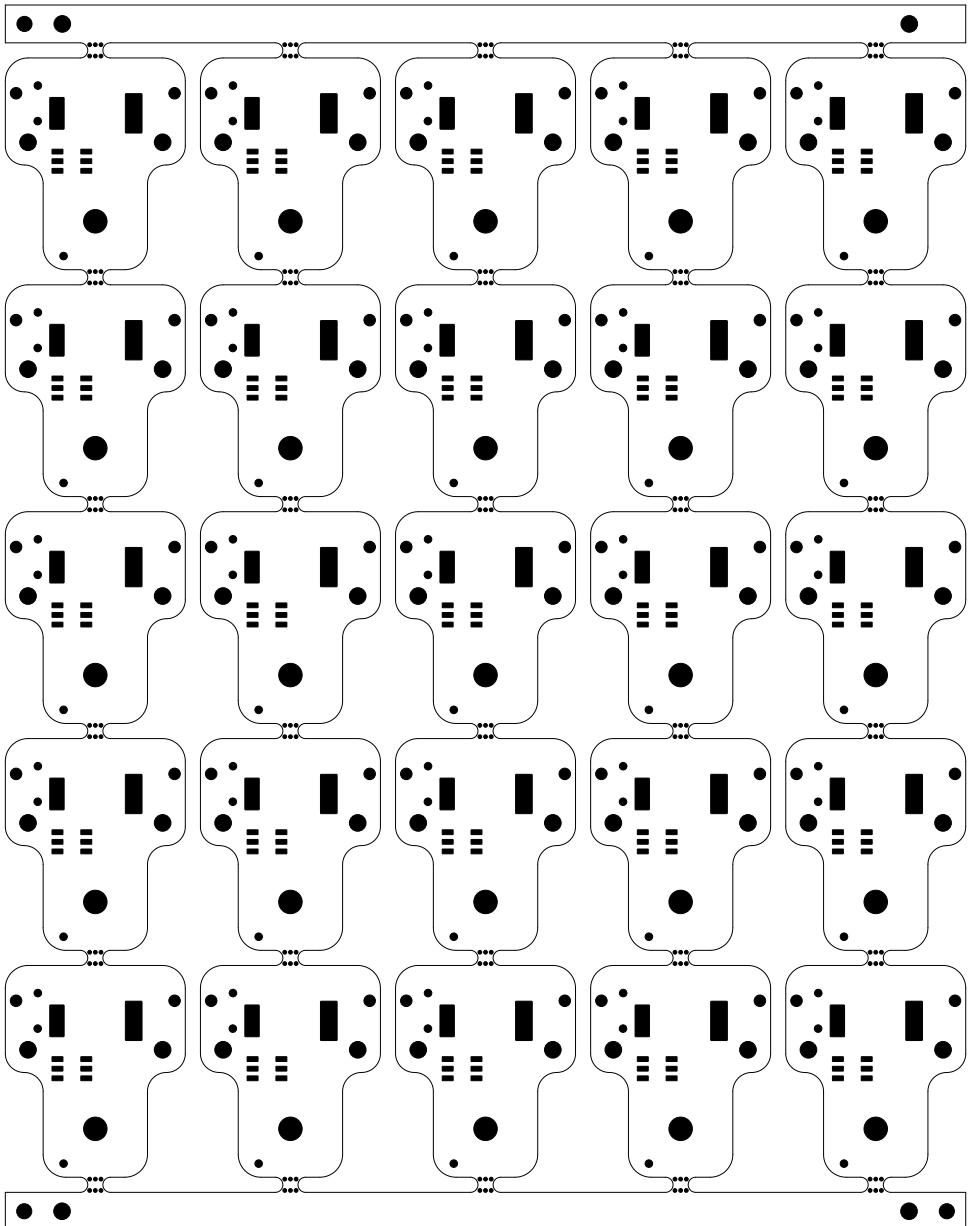
Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha
2024-07-18

Revisión
1.0

Autor
José Manuel Quero Carboneras

Plano Nº
1/1



Proyecto:	Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular		
Fecha	2024-07-18		
Revisión	1.0		
Autor	Jose Manuel Quero Carboneras	Plano	Plano Nº
		Módulo de montaña	1/1
	4	5	6
	3		
	2		
	1		

A	B	C	D
			Fecha: 2024-07-18 Revisión: 1.0 Plano Nº: 1/1
<p>Proyecto: Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular</p> <p>Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial</p> <p>Autor: José Manuel Quero Carboneras Plano: Módulo de montaje</p>			
6	5	4	3
5	4	3	2
4	3	2	1
3	2	1	
2	1		
1			

A	B	C	D
6			
5			
4			
3			
2			
1			
A	B	C	D

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor	Plano
Jose Manuel Quero Carboneras	Módulo de montaña

Fecha:
2024-07-18

Revisión:
1.0

Plano Nº:
1/1

This image shows a blank technical drawing template. The top section contains labels A, B, and C, with numerical scales from 1 to 6 along the left and bottom edges. The main area is a large, empty rectangle with rounded corners, intended for drawing the technical plan.

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico
programable modular

Fecha:
2024-07-18

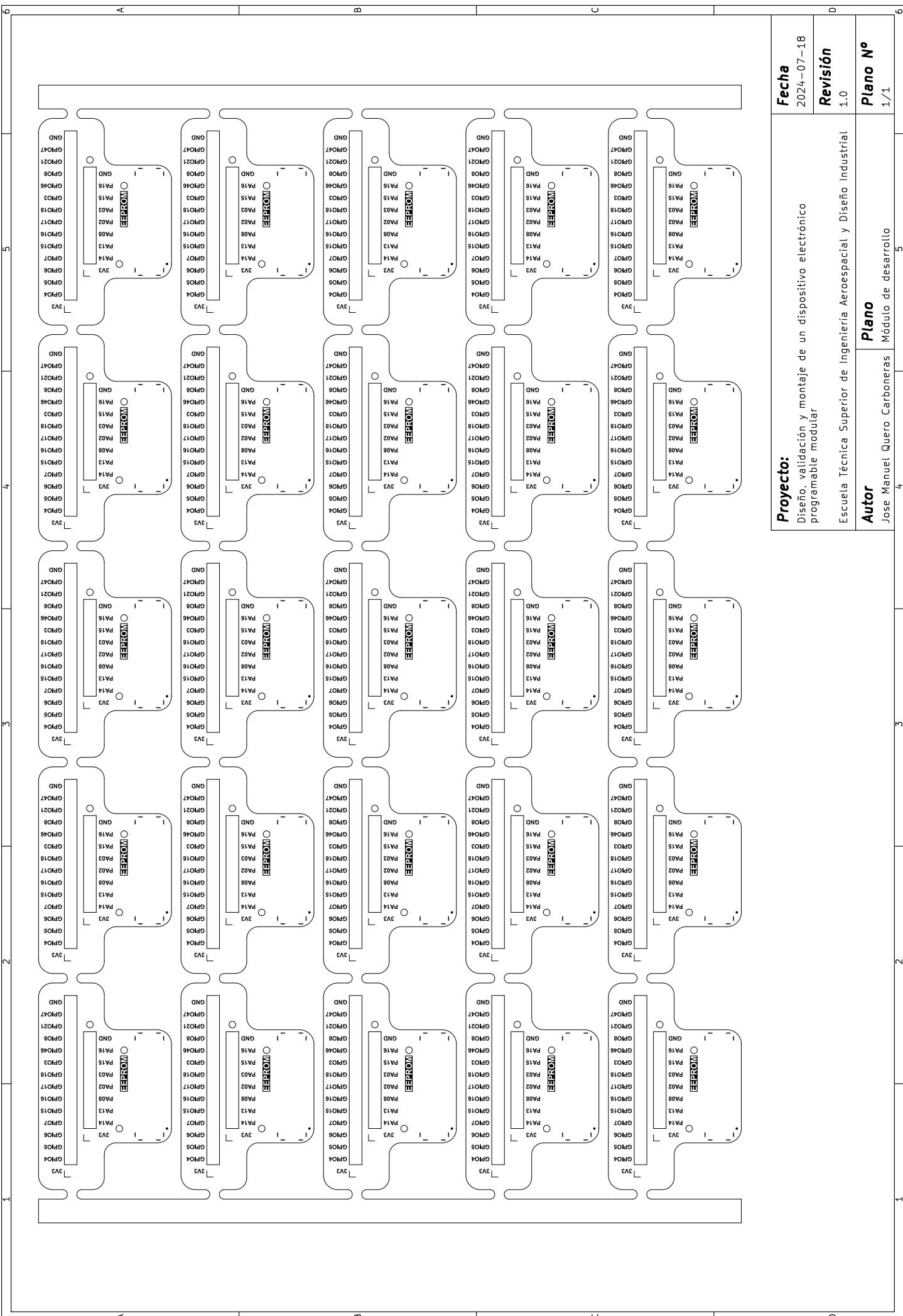
Revisión:
1.0

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Author:
José Manuel Quero Carboneras

Plano:
Módulo de desarrollo

Plano Nº:
1/1



Proyecto:

Diseno, validacion y montaje de un dispositivo electronico
programable modular

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Fecha

2024-07-18

Revisión

1.0

Plano №

1/1

Autor
Jose Manuel Quero Carboneras
Plano
Módulo de desarrollo

4

2

1

5

3

2

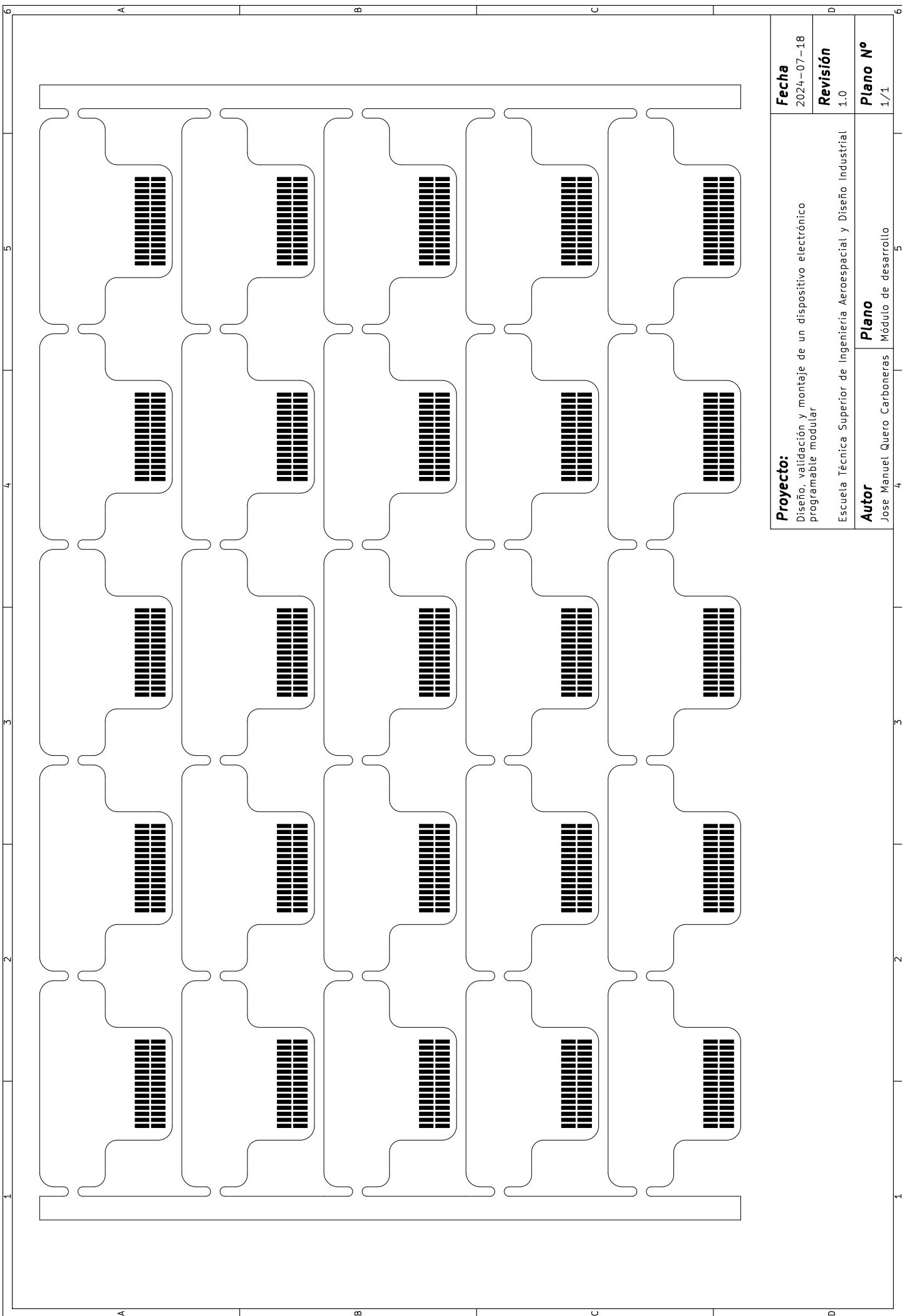
1

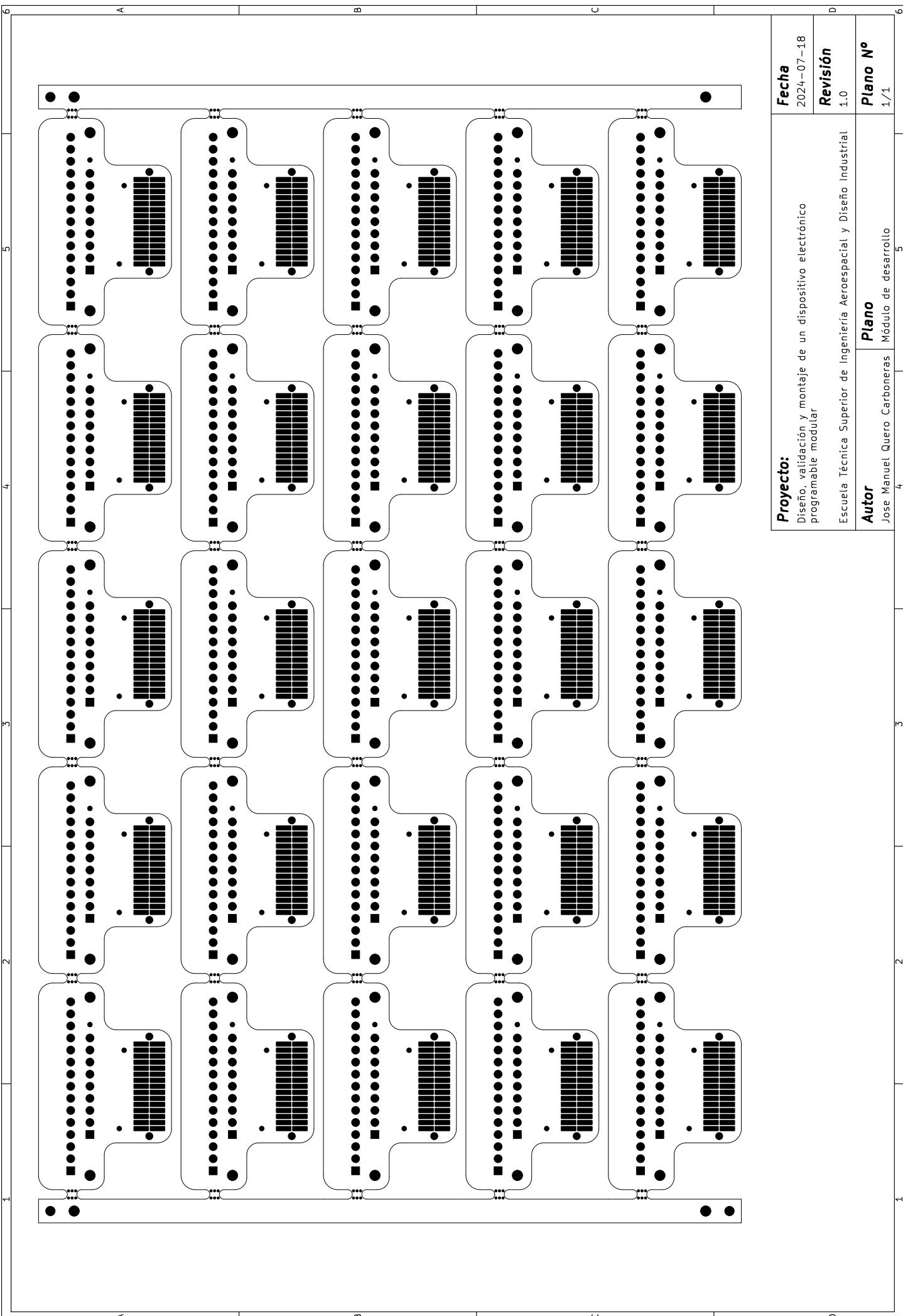
4

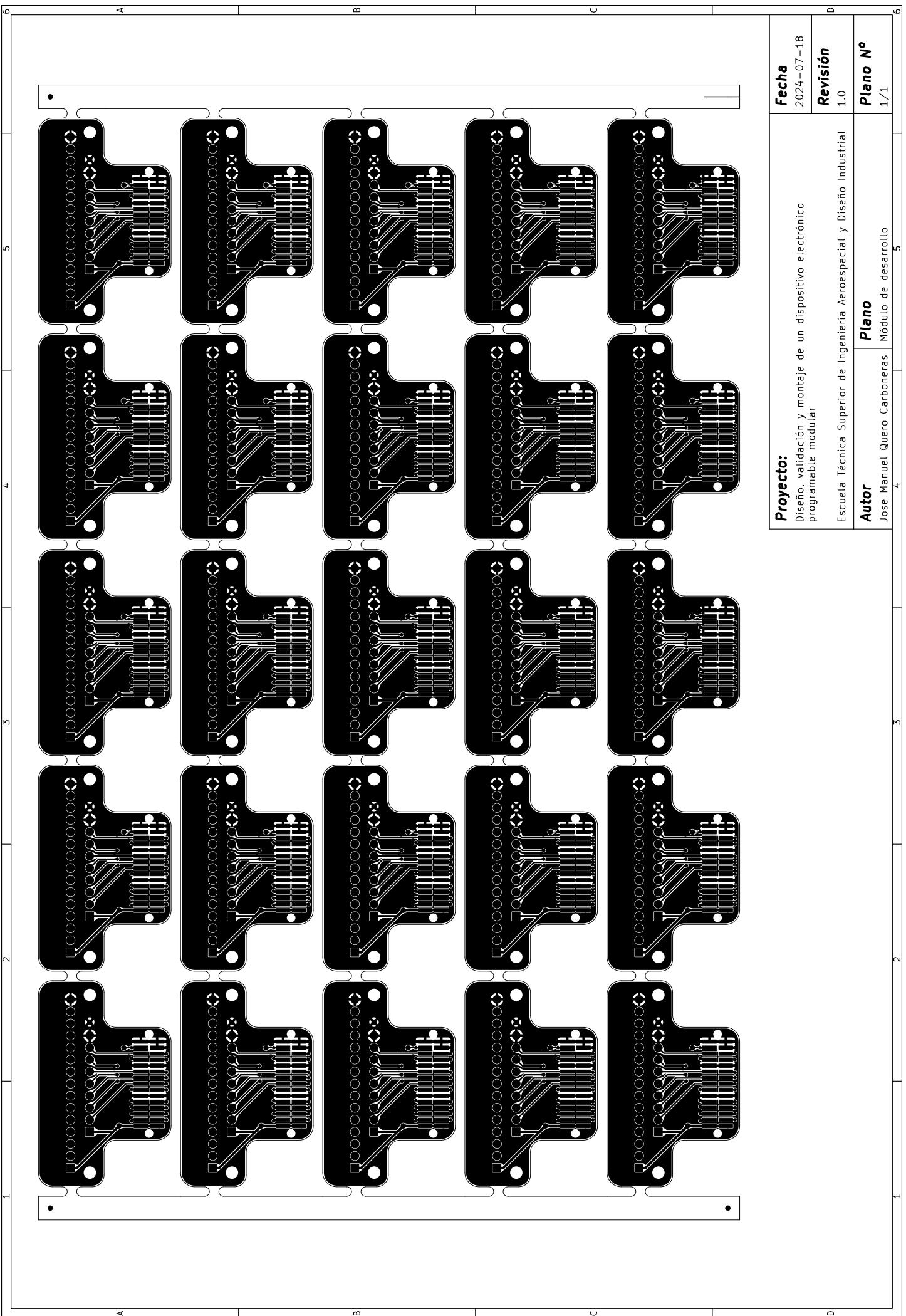
3

5

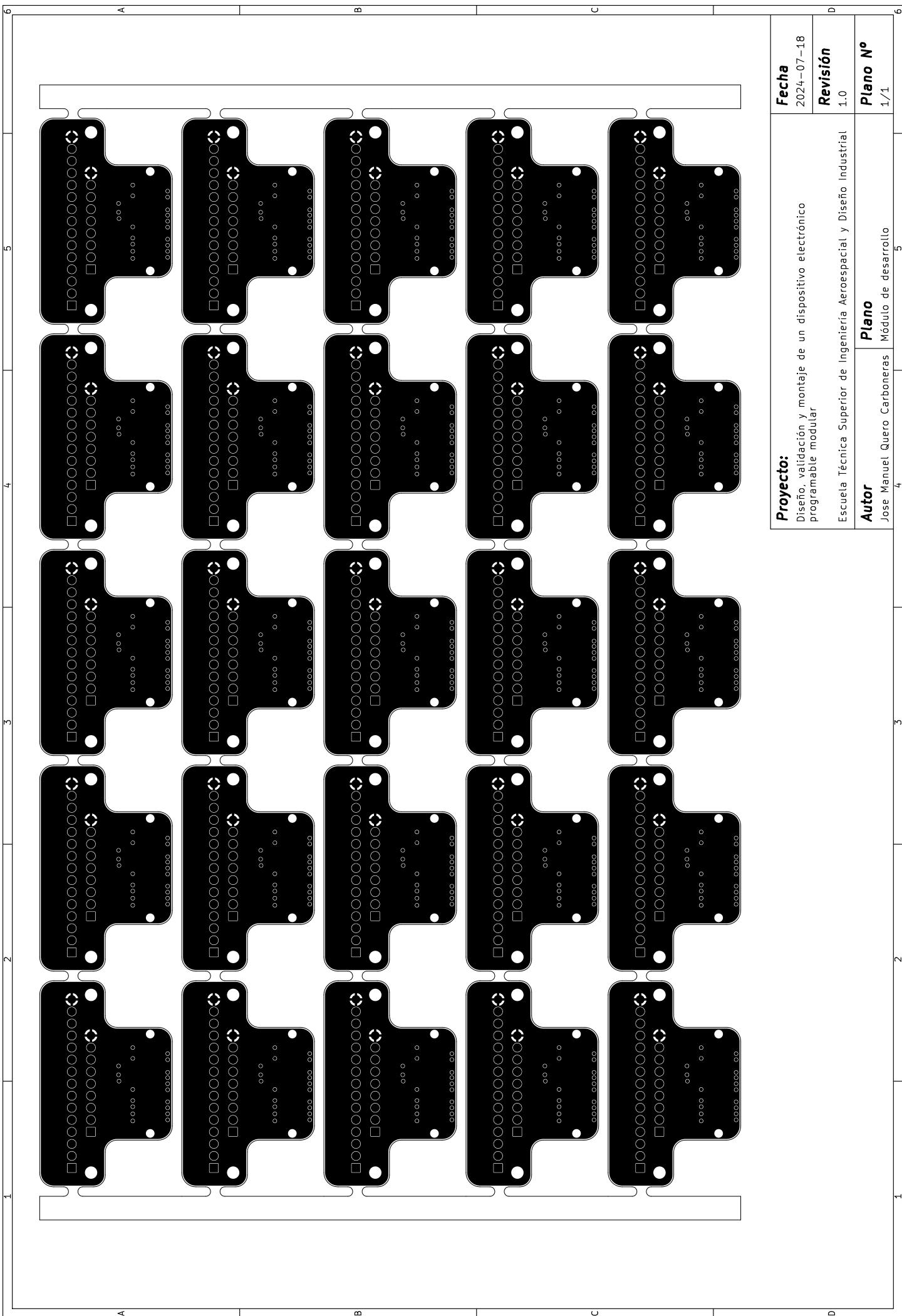
6

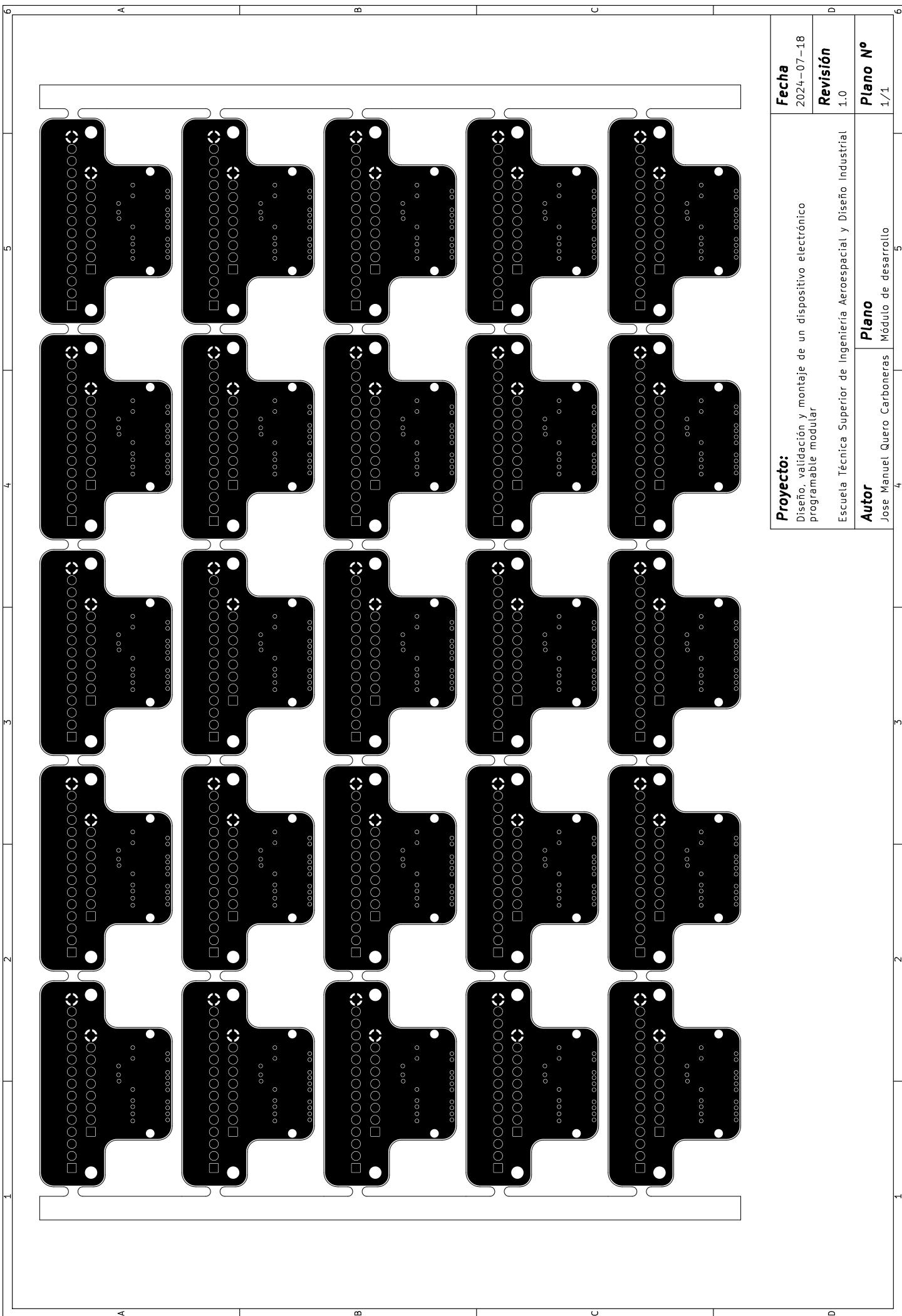


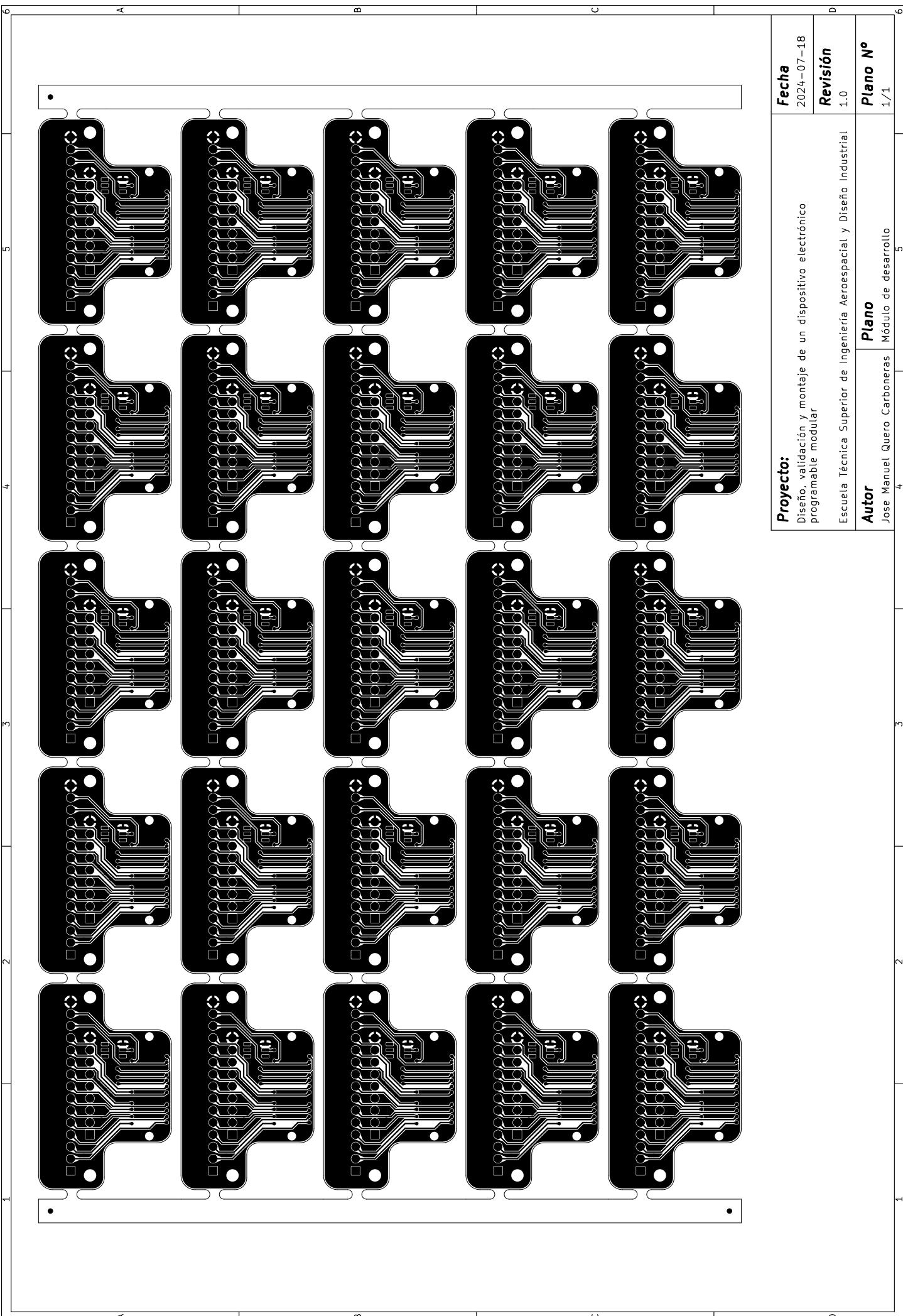




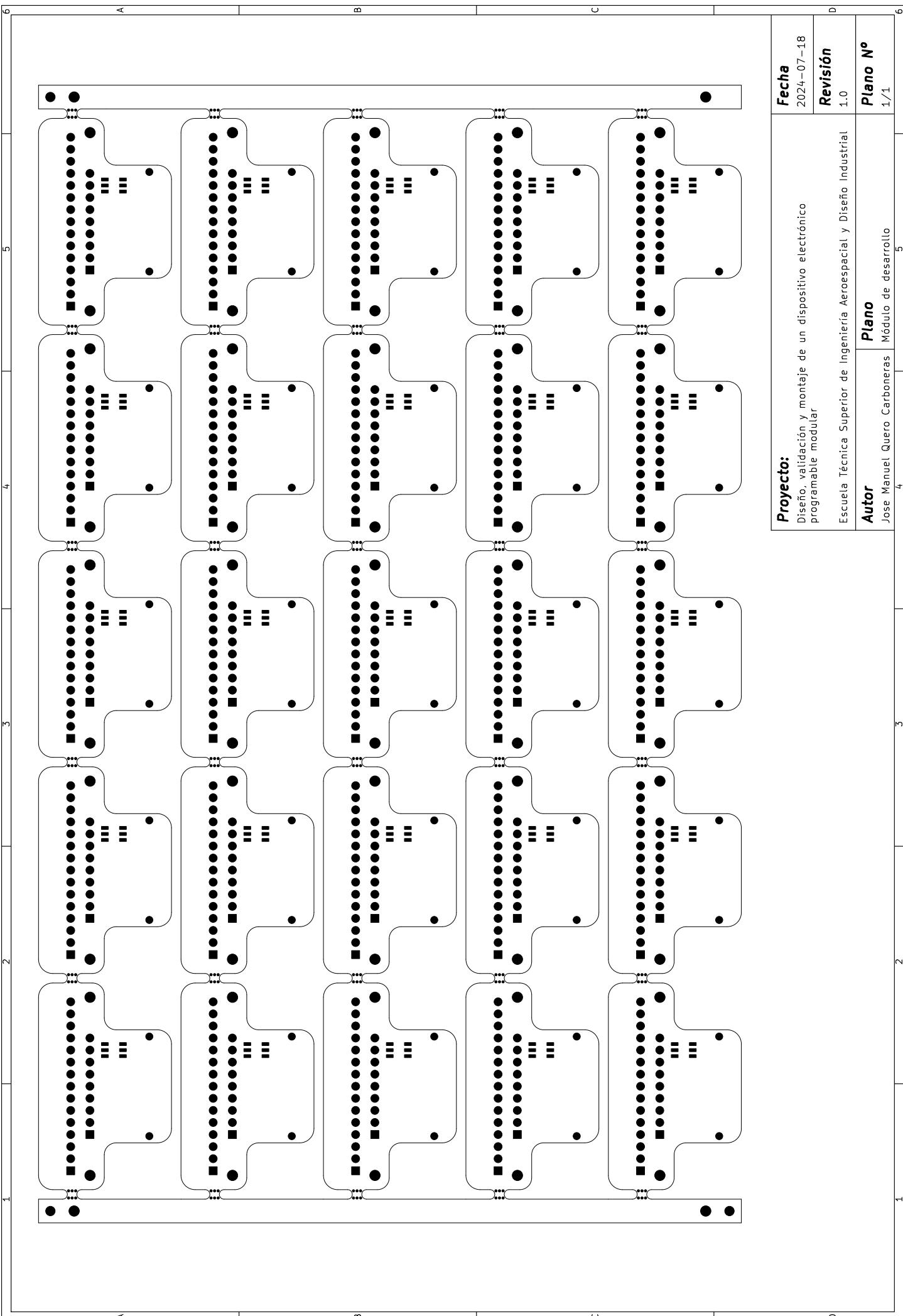
Fecha	2024-07-18
Revisión	1.0
Plano N°	1/1
Proyecto:	Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	
Autor	Jose Manuel Quero Carboneras
Plano	Módulo de desarrollo







Fecha	2024-07-18
Revisión	1.0
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	
Autor	Jose Manuel Quero Carboneras
Plano	Módulo de desarrollo
Plano Nº	1/1



Proyecto:	Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular
Fecha:	2024-07-18
Revisión:	1.0
Autor:	Jose Manuel Quero Carboneras
Plano:	Módulo de desarrollo
Plano Nº:	1/1

	A	B	C	D
6				
5				
4				
3				
2				
1				
	A	B	C	D

Proyecto:
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Fecha 2024-07-18	Revisión 1.0	Plano N° 1/1
Autor José Manuel Quero Carboneras	Plano Módulo de desarrollo	

A	B	C	D
1	2	3	4
5	6		
A	B	C	D

Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor

Jose Manuel Quero Carboneras

Plano

Módulo de desarrollo

Fecha

2024-07-18

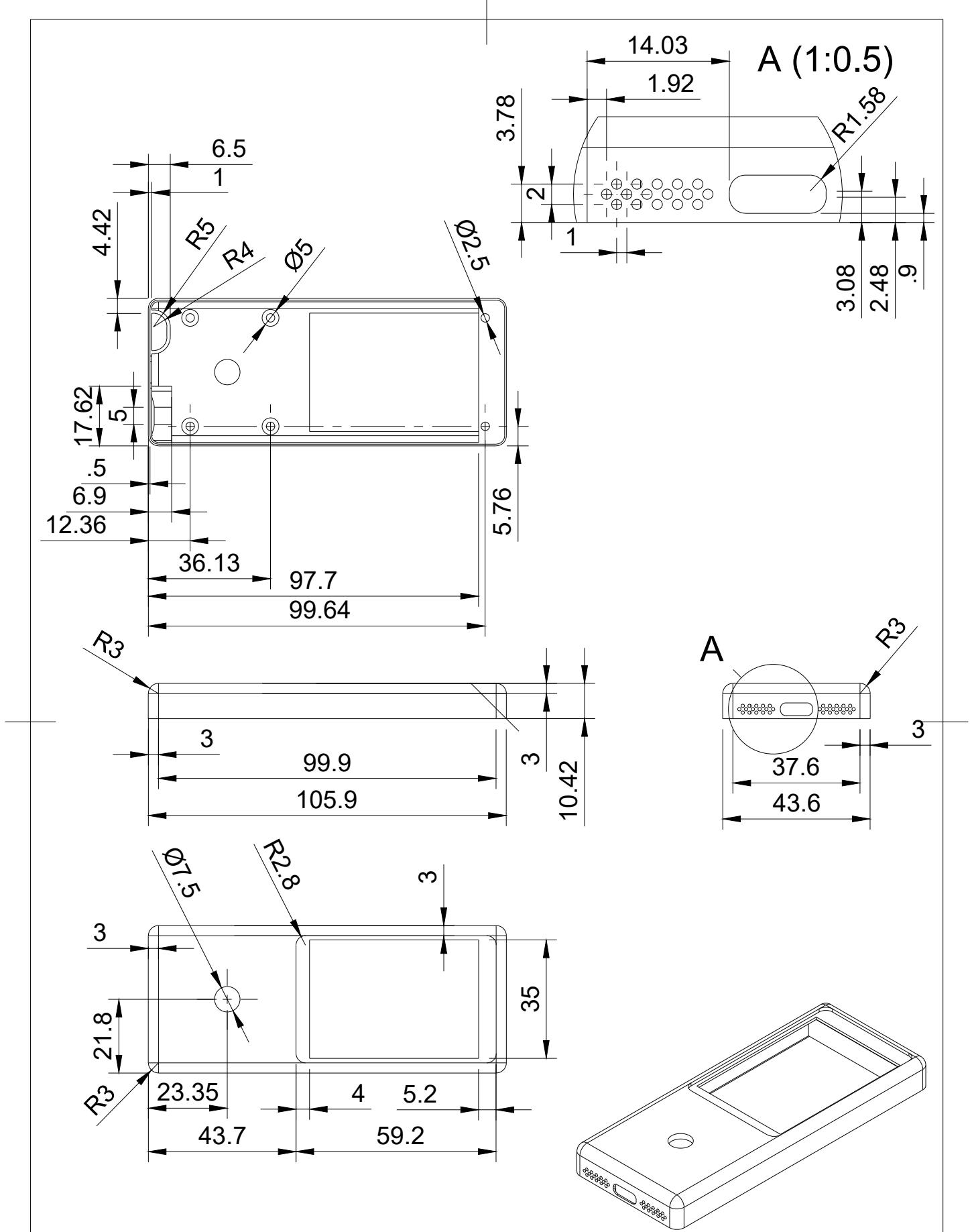
Revisión

1.0

Plano Nº

1/1

11. Planos mecánicos



Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor:

Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:

Parte superior de la carcasa

Fecha

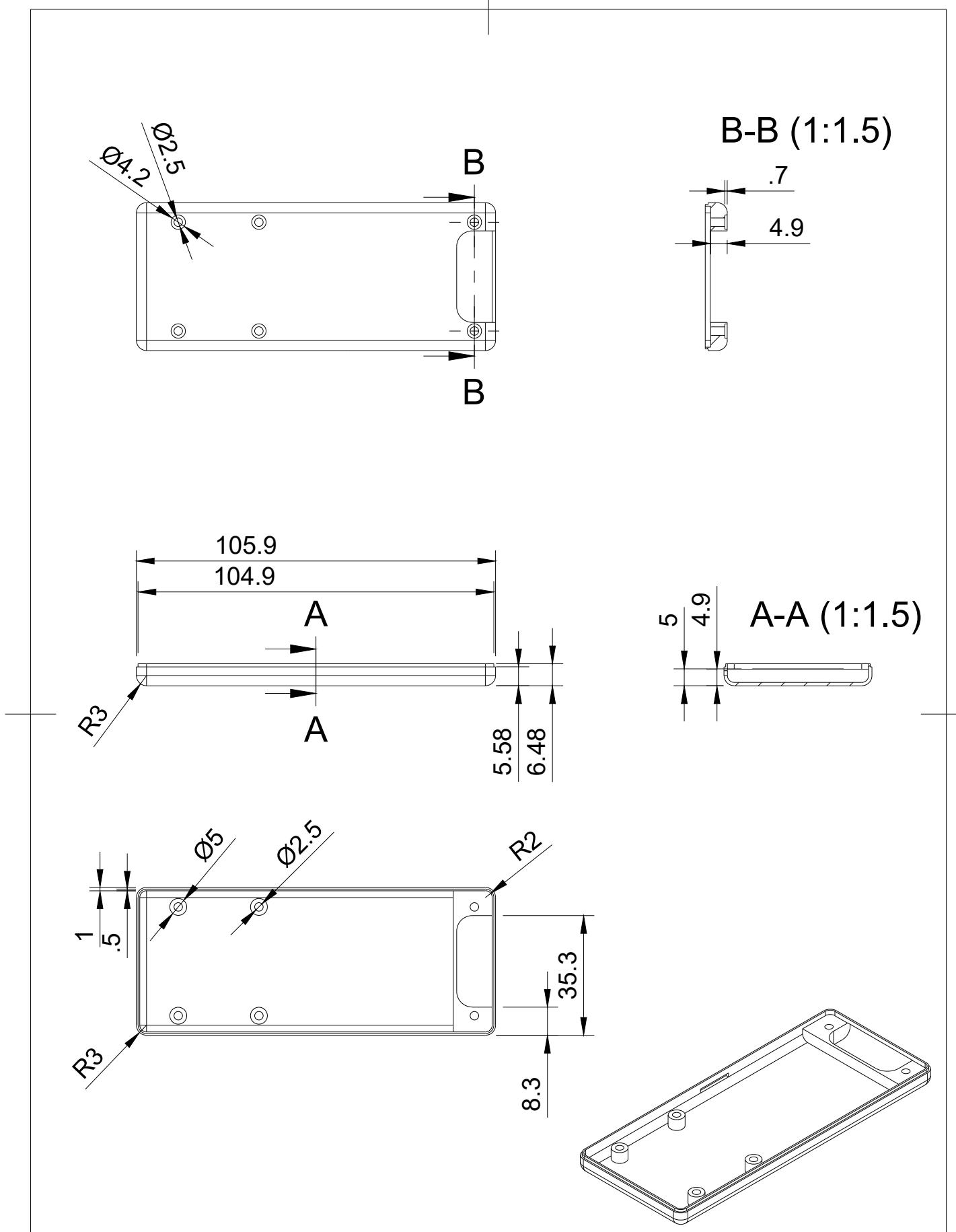
17/07/2024

Escala

1:1,5

Plano N°

01



Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor:

Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:

Parte Inferior de la carcasa

Fecha

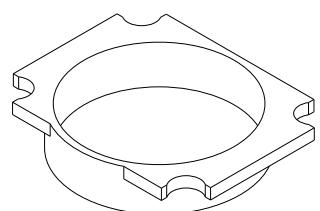
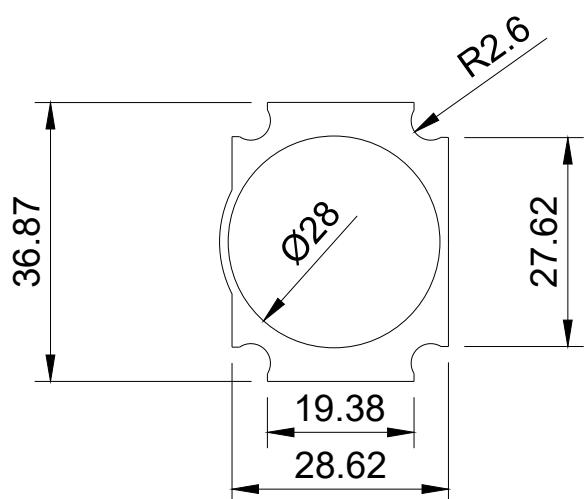
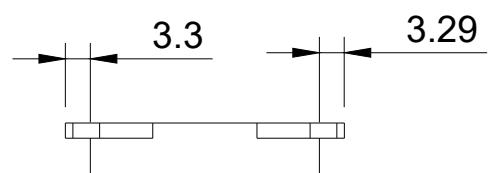
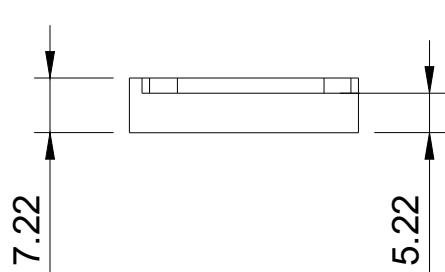
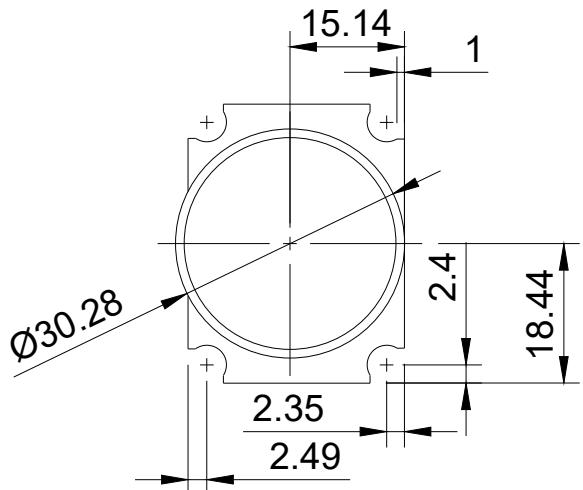
17/07/2024

Escala

1:1,5

Plano N°

02



Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor:

Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:

Espaciador exterior

Fecha

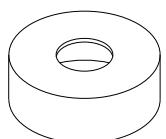
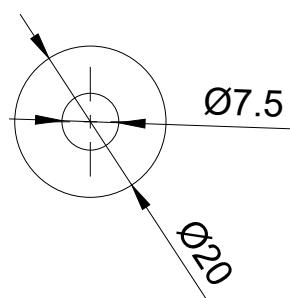
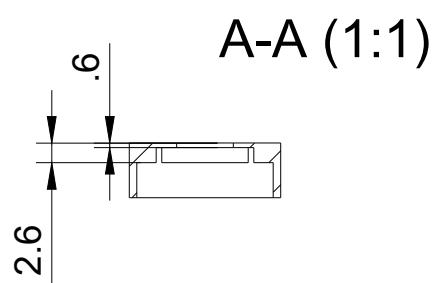
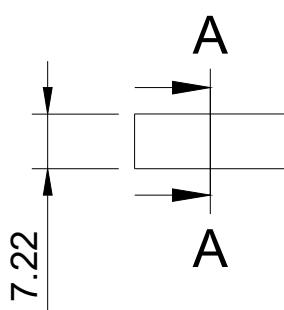
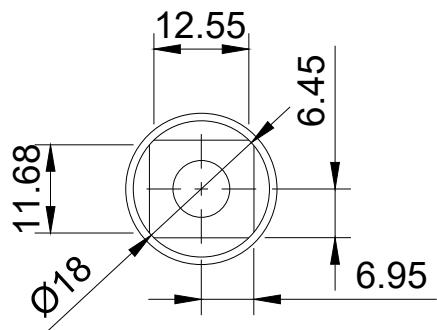
17/07/2024

Escala

1:1

Plano N°

03



Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor:

Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:

Espaciador Interior

Fecha

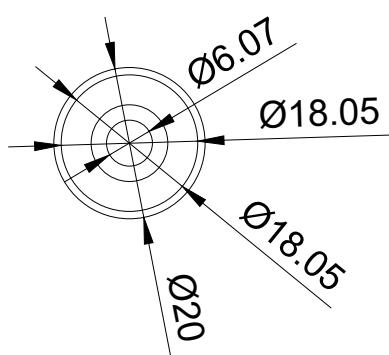
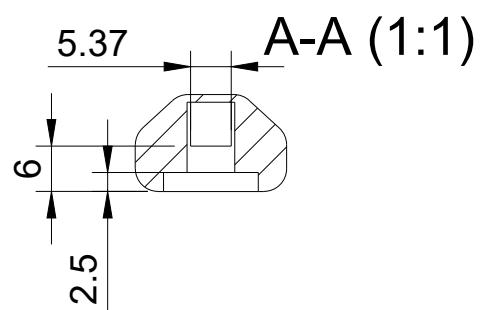
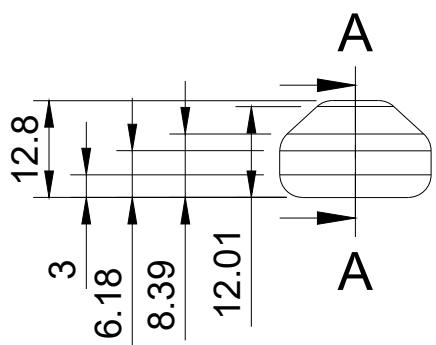
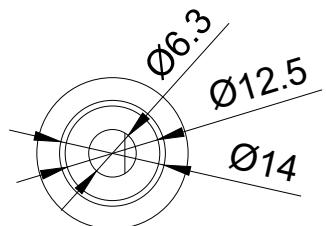
17/07/2024

Escala

1:1

Plano N°

04



Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor:

Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:

Capucha del encoder

Fecha

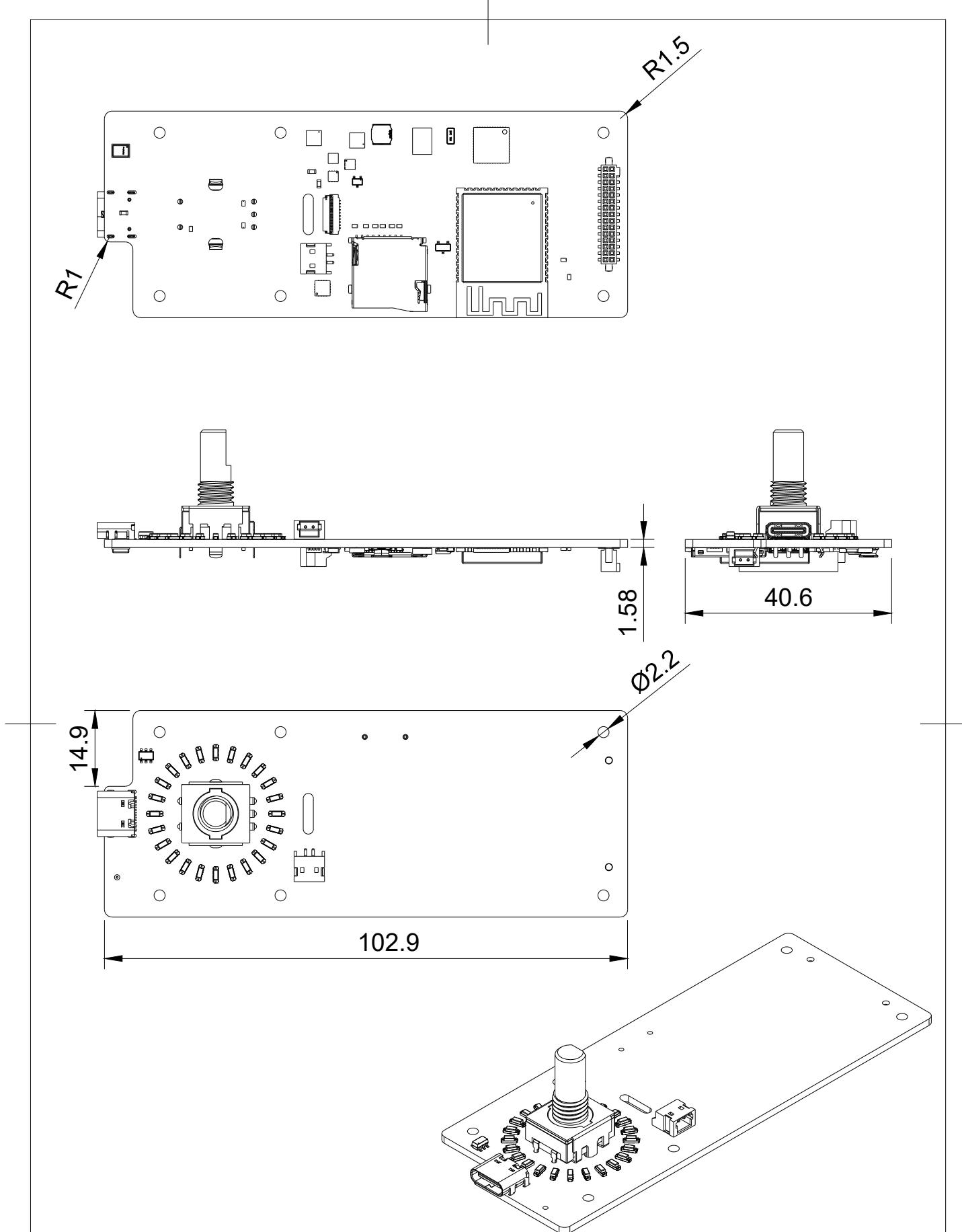
17/07/2024

Escala

1:1

Plano N°

05

**Proyecto:**

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor:

Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:

EVT-PCB

Fecha

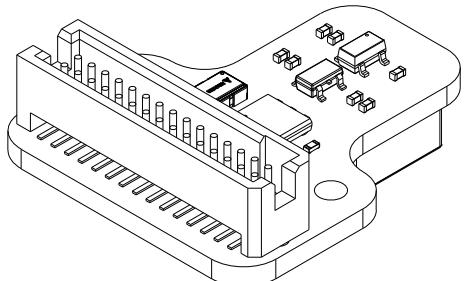
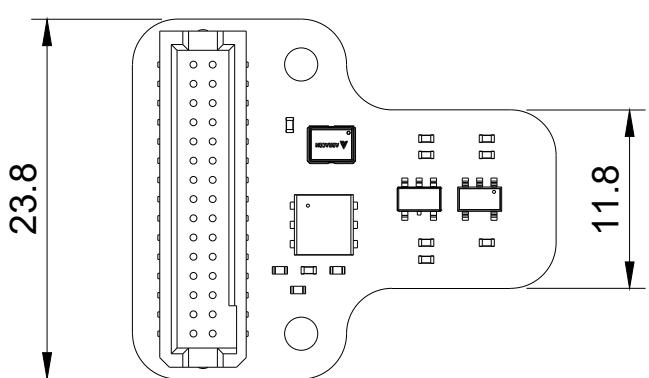
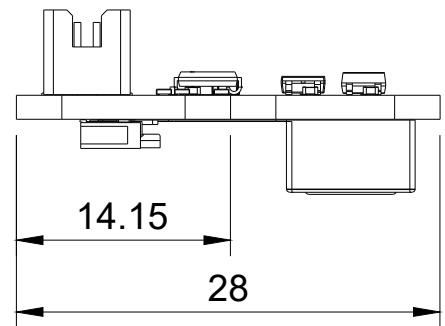
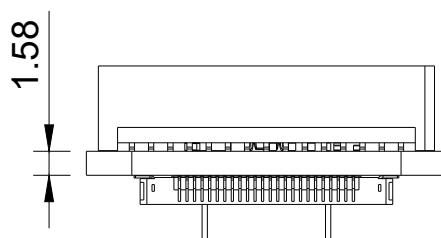
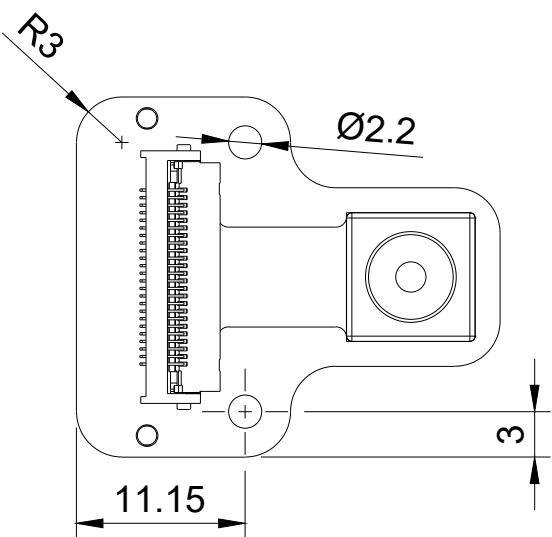
17/07/2024

Escala

1:1

Plano N°

06



Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

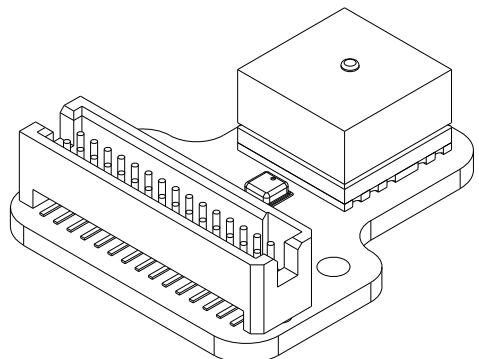
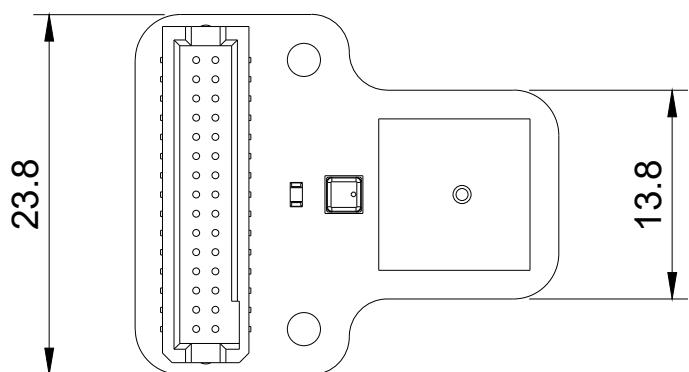
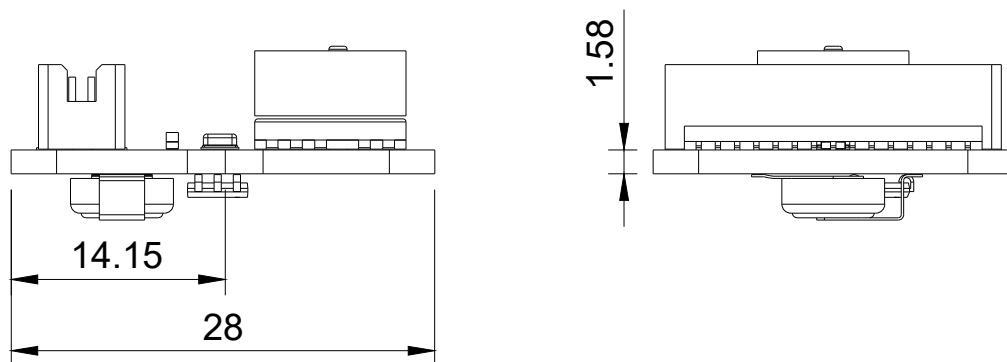
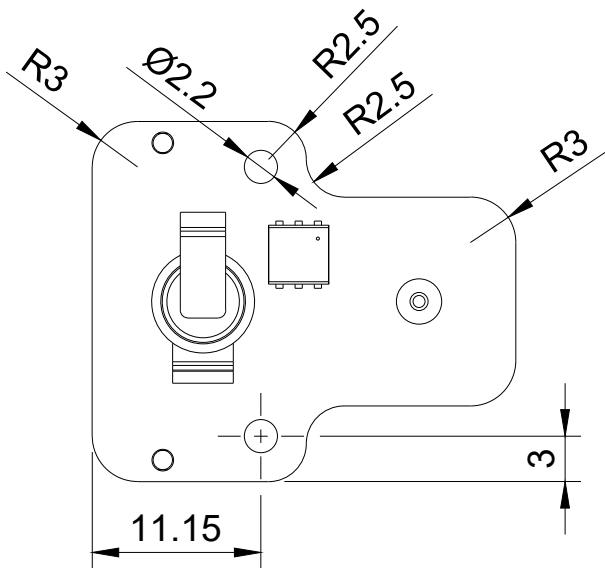
Autor:
Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:
cameraPCB

Fecha
17/07/2024

Escala
2:1

Plano N°
07



Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor:

Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:

mountainPCB

Fecha

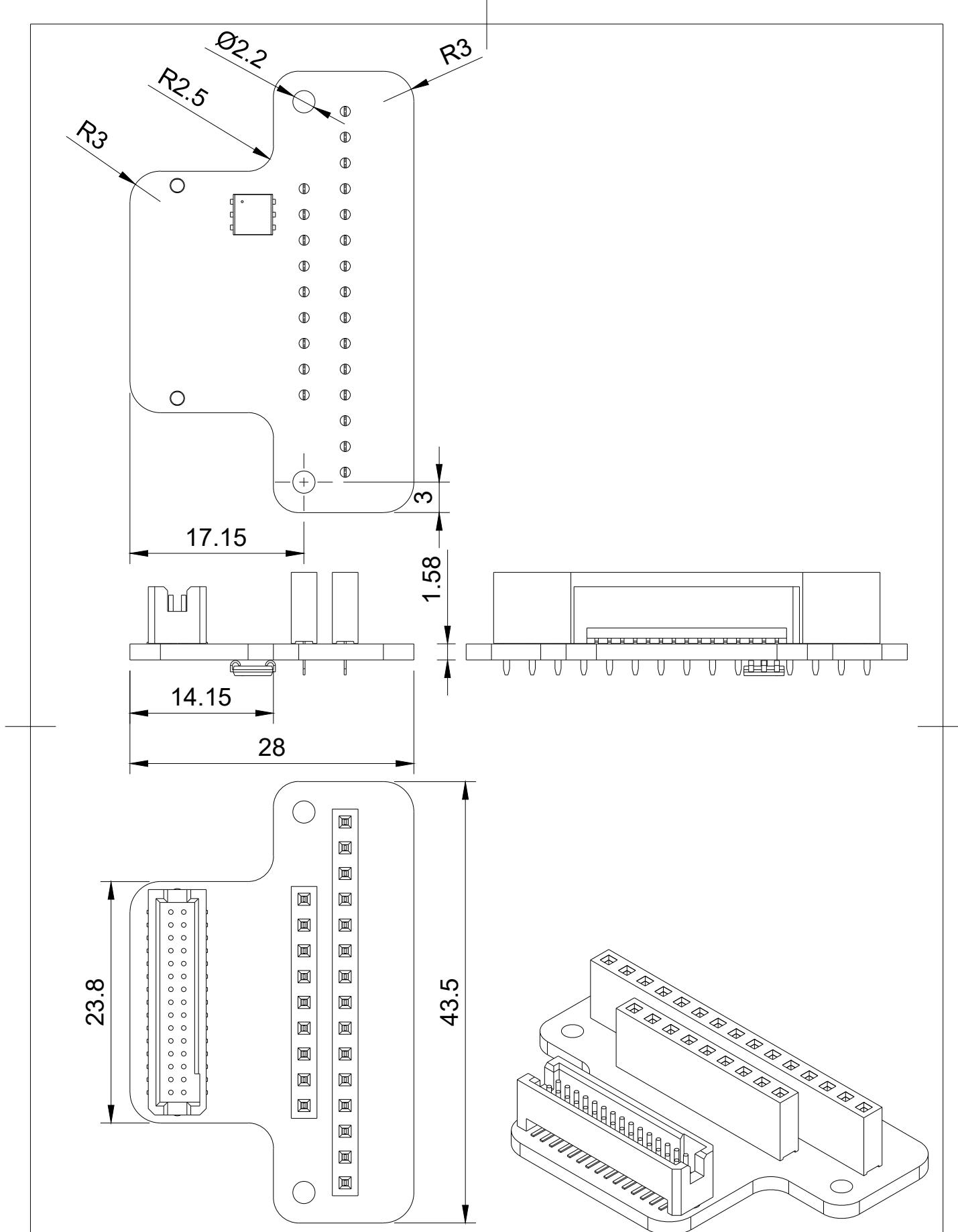
17/07/2024

Escala

2:1

Plano N°

08



Proyecto:

Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular.

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial

Autor:

Jose Manuel Quero Carboneras

Plano:

devPCB

Fecha

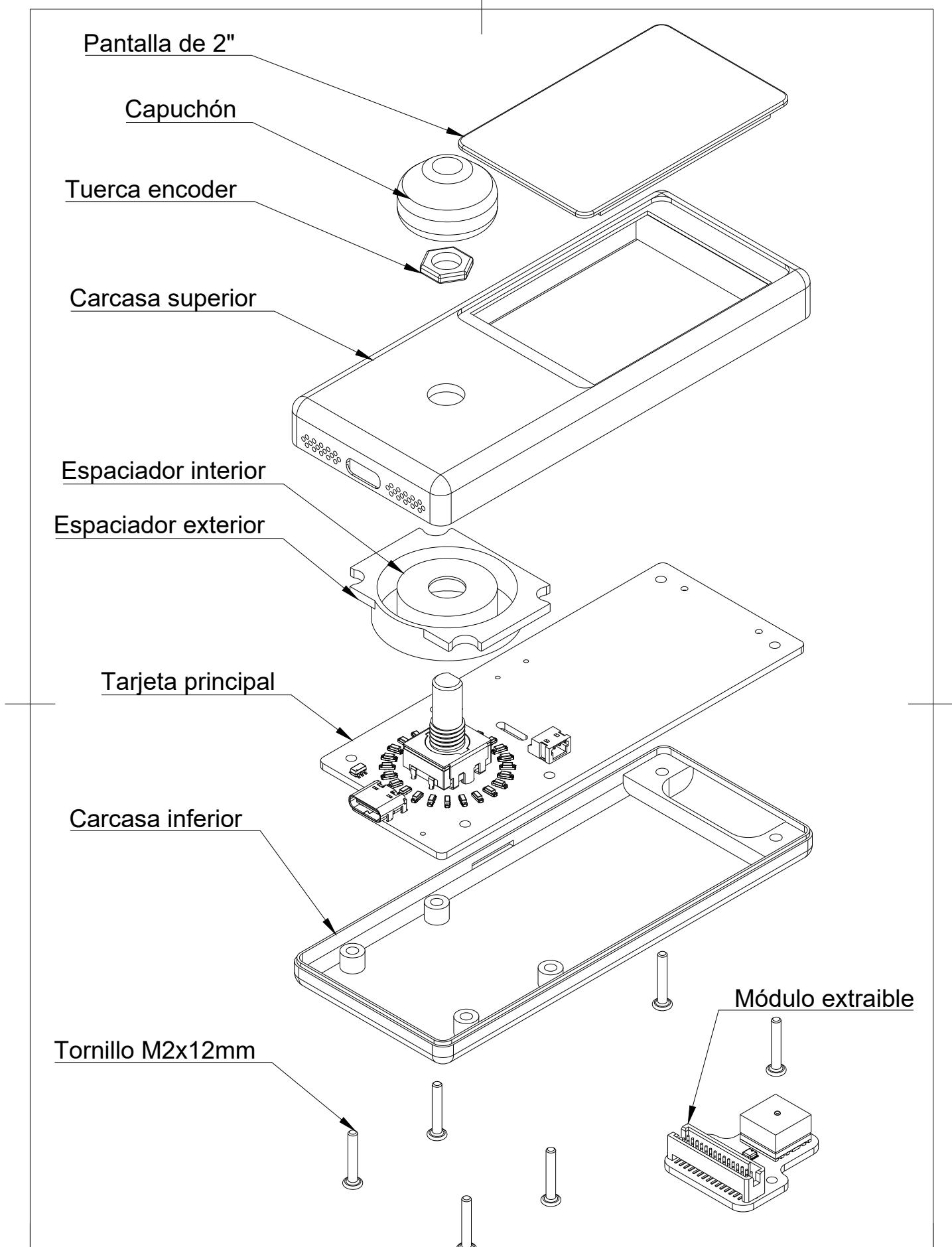
17/07/2024

Escala

2:1

Plano N°

09



Proyecto:	Fecha: 17/07/2024
Diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular.	Escala 1:1
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeroespacial y Diseño Industrial	
Autor: Jose Manuel Quero Carboneras	Plano Nº 10
Plano: Ensamblaje	

CAPÍTULO 11. PLANOS MECÁNICOS

Parte III

Pliego de Condiciones

12. Objeto

El presente pliego de condiciones tiene por objeto definir los requisitos técnicos y las condiciones necesarias para el diseño, validación y montaje de un dispositivo electrónico programable modular. Este dispositivo está concebido como una plataforma de desarrollo para la exploración y manejo de diversos sensores, permitiendo la expansión de sus capacidades funcionales a través de módulos adicionales.

CAPÍTULO 12. OBJETO

13. Condiciones de los materiales

13.1. Descripción de los materiales principales

- **ESP32-S3-WROOM-2**
- **ATSAMD21G18A-MUT**
- **Encoder PEC11R-4215F-S0024**
- **Neopixel SK68XX-EC3210F**
- **USB-C USB4105-GF-A**
- **Regulador 3.3V NCV6324BMTAATBG**
- **Micrófono ICS-43434**
- **Slot para microSD MSD-1-A**
- **Pantalla táctil 2.8”**
- **Unidad de Medición Inercial BNO085**
- **Cámara OV5640**
- **GPS PA1010D**
- **Sensor de temperatura, humedad y presión BME280**
- **Batería de litio 3.7V 1300mAh**

13.2. Control de calidad

- **Inspección de materiales:** todos los componentes deberán ser inspeccionados a su recepción para garantizar que cumplen con las especificaciones técnicas.

CAPÍTULO 13. CONDICIONES DE LOS MATERIALES

- **Certificación:** todos los materiales deberán contar con la certificación correspondiente que garantice su calidad y seguridad y cumplir con la directiva RoHS.

14. Plazos y condiciones de entrega

14.1. Plazos

El plazo de entrega del primer lote del dispositivo será de 3 meses a partir de la firma del contrato. El plazo de entrega de los lotes sucesivos será de 1 mes.

A lo largo de todo el proceso de fabricación, se realizarán reuniones de seguimiento cada 2 semanas para evaluar el estado del proyecto y garantizar el cumplimiento de los plazos.

14.2. Condiciones de entrega

El dispositivo se entregará en embalajes individuales que garanticen su protección durante el transporte. Cada embalaje deberá incluir una etiqueta con la descripción del contenido y el número de serie correspondiente.

CAPÍTULO 14. PLAZOS Y CONDICIONES DE ENTREGA

Parte IV

Presupuesto

Diseño y Selección de Componentes			
Mano de obra			
Tarea	Tiempo (h)	Precio hora (h)	Precio total (h)
Diseño	75	15	1125
Selección de componentes	25	13	325
		Total mano de obra:	1450 (€)

Prueba de Concepto (POC)				
Materiales				
Componente	Distribuidor	Cantidad	Precio Ud (€)	Precio Total (€)
Electrónica	Mouser	BOM 1	-	178,75
Pantalla 2 pulgadas	Aliexpress	1	8,34	8,34
Pantalla 2,4 pulgadas	Aliexpress	1	6,28	6,28
Batería Liter	Aliexpress	1	2,3	2,3
Altavoz	Aliexpress	1	0,7	0,7
Fabricación PCBs	PCBWay	5	16,054	80,27
Bobina PLA 1Kg	Sunlu	1	20	20
Varios	-	1	50	50
			Total Materiales:	346,64 (€)
Mano de obra				
Tarea	Tiempo (h)	Precio hora (h)	Precio total (h)	
Diseño esquemáticos	25	15	375	
Diseño layout	15	13	195	
Soldadura	5	10	50	
Pruebas de soldadura	2	10	20	
Programación	25	15	375	
Pruebas	25	13	325	
		Total mano de obra:	1340 (€)	

Pruebas de Validación de Ingeniería (EVT)				
Materiales				
Componente	Distribuidor	Cantidad	Precio Ud (€)	Precio Total
Electrónica	Digikey	BOM 2	-	175,57
Pantalla 2 pulgadas	Aliexpress	1	8,34	8,34
Pantalla 2,4 pulgadas	Aliexpress	1	6,28	6,28
Batería Liter	Aliexpress	1	2,3	2,3
Altavoz	Aliexpress	1	0,7	0,7
Fabricación PCBs	PCBWay	5	38,7	193,5
Bobina PLA 1Kg	Sunlu	1	20	20
Varios			100	100
				Total Materiales: 506,69 (€)

Mano de obra			
Tarea	Tiempo (h)	Precio hora (h)	Precio total (h)
Diseño esquemáticos	150	15	2250
Diseño layout	100	13	1300
Soldadura	15	10	150
Pruebas de soldadura	5	10	50
Programación	1	15	15
Total mano de obra: 3765 (€)			

Pruebas de Validación del Diseño (DVT)			
Mano de obra			
Tarea	Tiempo (h)	Precio hora (h)	Precio total (h)
Diseño esquemáticos	10	15	150
Diseño layout	100	13	1300
Soldadura	15	10	150
Pruebas de soldadura	5	10	50
Programación	1	15	15
Pruebas	50	13	650
Total mano de obra: 2315 (€)			

Resumen Presupuesto	
Materiales (€)	853,33
Mano de Obra (€)	8870
Total (€)	9723,33

El presupuesto general asciende a la cantidad de nueve mil setecientos veintitres euros con treinta y tres céntimos.

Parte V

Anexos

Códigos

Todos los códigos completos se encuentran en un repositorio de GitHub al que se puede acceder a través del siguiente enlace:

<https://github.com/mquerostudio/TFG-Codes>

CAPÍTULO 14. CÓDIGOS

Hojas de Datos

Microcontrolador ESP32-S3-WROOM-2:

https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-s3-wroom-2_datasheet_en.pdf

Microcontrolador ATSAMD21G18A-MUT:

<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/SAM-D21-DA1-Family-Data-Sheet-DS40001882H.pdf>

Microcontrolador ATSAMD09D14A-MUT:

https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42414-SAM-D09_Datasheet.pdf

USB-C USB4105-GF-A:

<https://mm.digikey.com/Volume0/opasdata/d220001/medias/docus/5492/USB4105.pdf>

USB-C TVS USBLC6-2SC6:

<https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/06/1d/48/9c/6c/20/4a/b2/CD00050750.pdf/files/CD00050750.pdf/jcr:content/translations/en.CD00050750.pdf>

Selector alimentación NTLJF3117PT1G:

<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/NTLJF3117P-D.PDF>

Circuito encendido SIA527DJ-T1-GE3:

<https://www.vishay.com/docs/64162/sia527dj.pdf>

Circuito encendido BAT54CWT1G:

<https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/bat54cwt1-d.pdf>

Regulador 3.3V NCV6324BMTAATBG:

<https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/ncp6324-d.pdf>

Controlador de la batería MAX17048G+T10:

<https://www.analog.com/MAX17048/datasheet>

CAPÍTULO 14. HOJAS DE DATOS

Cargador de la batería USB4105-GF-A:

<https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22005b.pdf>

Encoder PEC11R-4215F-S0024:

https://www.bourns.com/docs/product-datasheets/pec11r.pdf?sfvrsn=bb617cbf_12

Neopixel SK68XX-EC3210F:

https://cdn-shop.adafruit.com/product-files/4892/4892_SK68XX-EC3210F__REV.A.pdf

Micrófono ICS-43434:

https://invensense.tdk.com/wp-content/uploads/2016/02/DS-000069-ICS-43434-v1.2.pdf?ref_disty=digikey

IMU BNO085:

https://www.ceva-ip.com/wp-content/uploads/2019/10/BNO080_085-Datasheet.pdf

Conector microSD MSD-1-A-SD-1-1:

<https://www.cuidevices.com/product/resource/msd-1-a.pdf>

Amplificador MAX98357AETE+T:

<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX98357A-MAX98357B.pdf>

Regulador TLV74328PDBVR:

https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlv743p.pdf?HQS=dis-dk-null-digikeymode-dsf-pf-null-wwe&ts=1710761150043&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fgeneral%252Fdocs%252Fsuppproductinfo.tsp%253FdistId%253D10%2526gotoUrl%253Dhttps%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Flit%252Fgpn%252Ftlv743p

Regulador TLV74315PDBVR:

<https://www.ti.com/general/docs/suppproductinfo.tsp?distId=10&gotoUrl=https%3A%2F%2Fwww.ti.com%2Flit%2Fgpn%2Ftlv743p>

EEPROM DS28E07P+T:

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/DS28E07.pdf>

Sensor OV5640:

https://cdn-learn.adafruit.com/assets/assets/000/118/306/original/ov5640_datasheet.pdf?1675869959

GPS PA1010D:

https://cdn-learn.adafruit.com/assets/assets/000/084/295/original/CD_PA1010D_Datasheet_v.03.pdf?1573833002

Sensor BME280:

<https://www.bosch-sensortec.com/media/boschsensortec/downloads/datasheets/bst-bme280-ds002.pdf>

Bibliografía

Placa desarrollo ESP32-S3-WROOM-2:

<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32s3/hw-reference/esp32s3/user-guide-devkitc-1.html>

Guía uso USB-C:

<https://hackaday.com/2023/08/07/all-about-usb-c-example-circuits/>

Artículo sobre el circuito de encendido:

<https://circuitcellar.com/resources/quickbits/soft-latching-power-circuits/>

Guía MAX17048G+T10:

<https://learn.adafruit.com/adafruit-max17048-lipoly-liion-fuel-gauge-and-battery-monitor>

Guía BNO085:

<https://learn.adafruit.com/adafruit-9-dof-orientation-imu-fusion-breakout-bno085>

Guía microSD:

<https://learn.adafruit.com/adafruit-microsd-spi-sdio>

Guía MAX98357:

<https://learn.adafruit.com/adafruit-max98357-i2s-class-d-mono-amp>

Framework Seesaw:

<https://learn.adafruit.com/adafruit-seesaw-atsamd09-breakout/overview>

Guía Neopixel:

<https://learn.adafruit.com/adafruit-neopixel-uberguide>