

Memorias
LDH
Diseño de PCB

Jesús Carrascosa Carro
Antonio Membrive Martínez

20 de enero de 2026

Índice general

1. Fundamentos teóricos	3
1.1. Definición y Características de las Placas de Circuito Impreso	3
1.1.1. Concepto Fundamental	3
1.1.2. Ventajas de las Placas de Circuito Impreso	3
1.2. Componentes y Estructura de una Placa de Circuito Impreso	4
1.2.1. Elementos Constitutivos	4
1.3. Proceso de Implementación de un Sistema Electrónico en PCB	5
1.3.1. Fases del Proceso de Implementación	5
1.4. Empaquetados de Componentes: Through-Hole y SMD	6
1.4.1. Componentes Through-Hole (Inserción en Agujeros)	6
1.4.2. Componentes de Montaje Superficial (SMD)	7
1.5. Terminología Específica del Diseño de PCB	7
1.5.1. Términos Fundamentales de Diseño	7
1.5.2. Términos de Fabricación y Proceso	8
1.5.3. Formatos de Archivo y Estándares	8
1.6. Normas y Recomendaciones en el Diseño de PCB	8
1.6.1. Recomendaciones para el Esquemático	9
1.6.2. Recomendaciones para el Layout de la PCB	9
1.6.3. Recomendaciones para el Rutado de Pistas	9
1.7. Software empleado	10
1.7.1. KiCAD	10
1.7.2. FreeRouting	10
2. Diseño de la 1ª Placa	11
2.1. Propósito	11
2.1.1. Lista de materiales(Bill of Materials)	12
2.2. Diseño	15
2.2.1. Diseño del Esquemático	15
2.2.2. Diseño del Layout	16
2.3. Verificación del Fabricante	18
2.3.1. Generación de Gerbers	18
2.3.2. Verificación por parte de los fabricantes	19
2.4. Comprobación del Hardware	24
2.4.1. Mediante trazas	25
2.4.2. Mediante HomeAssistant	26

3. Diseño de la 2ª Placa	31
3.1. Propósito	31
3.1.1. Lista de materiales(Bill of Materials)	33
3.2. Diseño	36
3.2.1. Diseño del Esquemático	36
3.2.2. Diseño del Layout	37
3.3. Comprobación	42
3.3.1. Mediante trazas	42
3.3.2. Mediante HomeAssistant	43
3.4. Verificación del Fabricante	45

Capítulo 1

Fundamentos teóricos

Introducción

Las placas de circuito impreso (PCB, del inglés Printed Circuit Boards) constituyen la tecnología fundamental para la implementación física de sistemas electrónicos. Desde su desarrollo en la década de 1930 hasta la actualidad, las PCB han permitido la miniaturización, la producción en masa y el aumento de la confiabilidad de dispositivos electrónicos. Este capítulo presenta a modo de resumen de lo impartido en clase, los conceptos esenciales relacionados con el diseño, fabricación e implementación de placas de circuito impreso, incluyendo definiciones, procesos de implementación, herramientas de ensamblaje, tipos de componentes, terminología específica, y normas de diseño aplicables.

1.1. Definición y Características de las Placas de Circuito Impreso

1.1.1. Concepto Fundamental

Una placa de circuito impreso se define como un sustrato no conductor que proporciona soporte mecánico y estructura eléctrica para el montaje e interconexión de componentes electrónicos a través de pistas o rutas de material conductor grabadas en su superficie. La PCB actúa simultáneamente como plataforma mecánica, red de distribución eléctrica y elemento de facilitación de ensamblaje.

El componente estructural básico de una PCB consiste en una lámina de material aislante, típicamente resina epoxi reforzada con fibra de vidrio, denominada sustrato. Sobre las superficies de este sustrato se adhieren capas delgadas de cobre, material conductor de excelente conductividad eléctrica, que se graban selectivamente para formar las trazas o pistas. Estas trazas funcionan como el equivalente al cableado eléctrico en sistemas convencionales. Los componentes electrónicos se montan sobre los *pads* conductores de la placa y se unen mediante soldadura para establecer las conexiones eléctricas y mecánicas necesarias.

1.1.2. Ventajas de las Placas de Circuito Impreso

- La reducción del tamaño del ensamblaje total y la disminución del peso son beneficios clave, especialmente en aplicaciones donde existen restricciones de espacio o masa.

- La producción en masa se logra a costos unitarios mucho menores en comparación con los métodos tradicionales de cableado.
- El montaje y ensamblaje de componentes pueden automatizarse en gran medida, lo que reduce tanto los costos de fabricación como la probabilidad de errores en las conexiones.
- Las características eléctricas del circuito se mantienen consistentes entre unidades producidas, evitando variaciones significativas en parámetros como la capacitancia entre pistas o circuitos.
- Las PCB garantizan uniformidad eléctrica de una unidad a otra, algo esencial en aplicaciones que exigen alta precisión.
- La colocación fija de los componentes facilita las tareas de identificación, mantenimiento y reparación del equipo.
- El tiempo de inspección se reduce considerablemente, ya que la estructura de cableado impreso elimina casi por completo los errores de conexión comunes en el cableado manual.
- El personal encargado del montaje requiere un nivel mínimo de entrenamiento técnico en comparación con los sistemas cableados tradicionales.
- Los riesgos de conexiones incorrectas o cortocircuitos accidentales se minimizan gracias a la estructura predefinida y controlada de la placa.

1.2. Componentes y Estructura de una Placa de Circuito Impreso

1.2.1. Elementos Constitutivos

Una PCB está constituida por varios elementos funcionales integrados. El sustrato base proporciona tanto la estructura mecánica como el aislamiento eléctrico requerido. En la mayoría de aplicaciones comerciales, el sustrato está compuesto de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio, designado como FR4 (*Flame Retardant 4*), aunque existen materiales alternativos para aplicaciones especializadas.

Las capas de cobre adheridas a las superficies del sustrato funcionan como material conductor y se graban selectivamente para crear las pistas o trazas que distribuyen señales eléctricas y alimentación. La calidad y precisión de estas trazas resulta crítica para el funcionamiento correcto del circuito, particularmente en aplicaciones de alta frecuencia.

Los *pads* son áreas de contacto donde se sueldan los terminales de los componentes. Su diseño debe proporcionar suficiente área de cobre para crear uniones de soldadura confiables desde el punto de vista mecánico y eléctrico. En PCB multicapa, las vías metalizadas permiten la conexión eléctrica entre capas diferentes.

Una máscara de soldadura de color oscuro se aplica sobre las trazas de cobre y *pads* para proteger el cobre de oxidación y prevenir cortocircuitos accidentales por puentes de soldadura involuntarios. Sobre esta máscara se imprime una capa de serigrafía que contiene información visual útil como designadores de componentes, referencias de orientación e información adicional de identificación.

1.3. Proceso de Implementación de un Sistema Electrónico en PCB

La transformación de una especificación electrónica en una PCB funcional requiere múltiples fases coordinadas, cada una con requisitos técnicos específicos.

1.3.1. Fases del Proceso de Implementación

El proceso de implementación comprende cuatro fases fundamentales: diseño, fabricación, ensamblaje y prueba.

Fase de Diseño

La fase de diseño comienza con la creación del layout o artwork de la PCB basado en el esquema electrónico que especifica las interconexiones de componentes. Las herramientas CAD generan una visualización inicial donde aparecen todos los componentes en su forma de huella (footprint) junto con las conexiones requeridas entre pines.

La colocación de componentes por lo general suele ser manual, aunque asistida por herramientas que sugieren disposiciones óptimas. Durante esta fase deben considerarse factores eléctricos, mecánicos, térmicos y de manufacturabilidad. Los componentes con múltiples conexiones se ubican típicamente en zonas centrales para minimizar longitudes de traza.

El rutado de pistas es el proceso de establecer las conexiones de cobre que unen los pines de los componentes. Aunque existen herramientas de enrutamiento automático como *Freerouting*, normalmente la intervención manual es requerida en la mayoría de los casos para obtener diseños óptimos. El diseñador debe considerar longitud de trazas, ancho de conductores, distancias entre trazas paralelas, minimización de cruces de señales, e integridad de la señal.

Las herramientas modernas incorporan verificadores de reglas de diseño (DRC, Design Rule Check) que validan automáticamente el cumplimiento de criterios de validez como anchos mínimos de pista, separaciones mínimas, y parámetros configurables adicionales.

Una vez completado el diseño físico, se genera un conjunto de ficheros Gerber. Estos ficheros contienen información geométrica de todas las capas de la placa en un formato estándar que puede ser interpretado por cualquier fabricante. Los ficheros Gerber incluyen información de trazas de cobre, máscaras de soldadura, serigrafía, posiciones de taladros y dimensiones generales de la placa. Este formato estándar permite que un diseño sea fabricado en cualquier ubicación manteniendo especificaciones exactas.

Fase de Fabricación

La fase de fabricación comprende operaciones químicas y mecánicas complejas que transforman láminas de material laminado en placas de circuito impreso.

La selección del material base debe cumplir requisitos específicos de rigidez mecánica, mecanizabilidad, propiedades dieléctricas, resistencia térmica y comportamiento dimensional bajo variaciones de temperatura. El material más ampliamente utilizado es FR4 (epoxy glass), que ofrece balance adecuado entre costo y desempeño.

El grosor estándar del sustrato es de 1.6 milímetros, aunque existen variaciones para aplicaciones específicas. El cobre, principal material conductor, se adhiere al sustrato en láminas cuyo espesor se especifica en onzas por pulgada cuadrada. Una onza equivale a 35 micras. La mayoría de aplicaciones utilizan cobre de 1 onza, aunque espesores mayores se emplean cuando se requiere conducir grandes corrientes.

El patrón del circuito se puede transferir al cobre mediante varias técnicas disponibles. La serigrafía utiliza tinta resistente a ataque químico para marcar el patrón. El fotograbado utiliza luz ultravioleta y una máscara fotográfica para endurecer selectivamente una resina fotosensible. El fresado es un proceso mecánico donde máquinas CNC utilizan herramientas rotativas para eliminar físicamente el cobre no requerido.

Posterior a la definición del patrón de cobre, se realiza el taladrado de agujeros y su metalización en el caso de PCB multicapa. Posteriormente, se aplican máscaras de soldadura y serigrafía para completar el proceso de fabricación.

Fase de Ensamblaje

El ensamblaje es el proceso de montar componentes electrónicos sobre la placa fabricada. Los procesos de ensamblaje difieren significativamente según el tipo de componentes a montar.

Para componentes through-hole, los terminales se insertan a través de los agujeros de la placa desde el lado de componentes. Para componentes SMD (Surface Mount Device), estos se colocan directamente sobre la superficie de la placa en sus pads respectivos.

Los métodos de soldadura también difieren entre tipos de componentes. Los componentes through-hole se sueldan mediante máquinas de ola de soldadura donde la placa es inmersa en estaño fundido. Los componentes SMD se sueldan mediante horno de reflujo, donde se aplica calor controlado a toda la placa para que la pasta de soldadura fusione y establezca las uniones.

Fase de Prueba

Posterior al ensamblaje, la placa debe someterse a pruebas exhaustivas para verificar funcionamiento correcto. Las pruebas pueden incluir inspección visual, pruebas de continuidad eléctrica, pruebas funcionales, y en algunos casos pruebas de estrés térmico o mecánico para validar confiabilidad.

1.4. Empaquetados de Componentes: Through-Hole y SMD

La selección del empaquetado apropiado para cada componente constituye un aspecto crítico en el diseño de PCB. El empaquetado determina tanto el montaje físico del componente como tiene consecuencias significativas para manufacturabilidad, confiabilidad y costo del diseño.

1.4.1. Componentes Through-Hole (Inserción en Agujeros)

Los componentes through-hole son aquellos cuyos terminales atraviesan agujeros taladrados en la placa. Este método fue estándar durante décadas y continúa utilizándose en aplicaciones donde el tamaño no es crítico.

Los componentes through-hole ofrecen varias ventajas. Permiten soldadura manual relativamente simple, siendo el agujero una guía para el terminal. Proporcionan conexión mecánica robusta debido a que el terminal está sujeto mecánicamente por el material de la placa además de estar soldado eléctricamente.

Sin embargo, presentan limitaciones significativas. Requieren considerable espacio vertical en la placa, limitando la densidad de componentes alcanzable. El taladrado de agujeros añade un paso de proceso costoso. El tamaño físico grande hace que estos componentes sean inadecuados para muchas aplicaciones modernas donde espacio es extremadamente limitado.

Los componentes discretos through-hole típicamente poseen terminales axiales o radiales. Terminales axiales emergen de los dos extremos del componente y requieren doblarse para inserción

en agujeros. Terminales radiales salen del extremo del componente en forma de dos cables que se insertan en agujeros adyacentes.

1.4.2. Componentes de Montaje Superficial (SMD)

Los componentes SMD (Surface Mount Device) tienen sus conexiones directamente sobre la superficie de la placa sin requerimiento de perforación de agujeros. Esta tecnología, desarrollada en los años ochenta, ha revolucionado la industria electrónica permitiendo densidades de empaquetado significativamente mayores.

La ventaja más significativa de los componentes SMD es la reducción drástica de tamaño. Un resistor SMD típico mide pocos milímetros, comparado con 10-15 milímetros de un resistor axial tradicional. Esta reducción permite que miles de componentes se monten en una placa que de otro modo albergaría únicamente cientos.

Los componentes SMD permiten utilización de ambas caras de la placa, duplicando efectivamente el espacio disponible. La automatización de colocación y soldadura es más eficiente con componentes SMD, reduciendo costos en producción masiva. Para prototipado manual, los componentes SMD presentan desafíos inherentes debido a su pequeño tamaño.

1.5. Terminología Específica del Diseño de PCB

Los términos empleados a lo largo de la fase de diseño varía

1.5.1. Términos Fundamentales de Diseño

El **esquemático** o diagrama esquemático constituye la representación visual de las interconexiones de elementos del circuito. Presenta componentes mediante símbolos estandarizados y sus conexiones como líneas, siendo el equivalente al diagrama de cableado de sistemas tradicionales. El esquemático es el primer documento generado en el proceso de diseño.

El **board file** o layout es el archivo donde se realiza el diseño físico de la tarjeta. Mientras el esquemático es abstracto y enfocado en funcionalidad, el layout aborda la implementación física, incluyendo posiciones exactas de componentes, recorrido y ancho de pistas, ubicación de vías, y consideraciones mecánicas y de manufacturabilidad.

Un **pad** es una zona de contacto en la PCB donde un pin o terminal de un componente se solda. Los pads through-hole son típicamente circulares, consistiendo en un área extensa de cobre rodeada de un anillo más fino, con un agujero central. Los pads SMD son típicamente rectangulares, consistiendo únicamente en un área de cobre en la cara superior de la placa.

Una **huella** o **footprint** constituye el diseño completo de los pads para un componente específico. Especifica la localización y tamaño de cada pad, así como el espacio total requerido por el componente. Las huellas pueden ser estándar, como las definidas para empaquetados DIP de 14 o 16 pines, o específicas de un componente particular.

El **pitch** es la distancia entre terminales adyacentes en una huella, medida típicamente de centro a centro de pad. El pitch determina la dificultad de soldadura e inspección. Pitch amplios (como los 2.54 mm de DIP) facilitan soldadura manual, mientras que pitch reducidos (como los 0.4 mm de algunos BGA) requieren equipamiento especializado.

Los **agujeros de montaje** son perforaciones amplias en esquinas o bordes de la placa que permiten fijación de la placa a un chasis o marco mecánico mediante tornillos. Estos agujeros, típicamente de 3 a 4 milímetros de diámetro, no están conectados eléctricamente al circuito.

El **AWG** (American Wire Gauge) es el estándar utilizado para especificar el calibre o grosor de conductores y terminales. Números menores corresponden a calibres mayores.

1.5.2. Términos de Fabricación y Proceso

PCBA significa Printed Circuit Board Assembly, refiriéndose al proceso completo desde fabricación de la PCB virgen hasta adición de componentes y realización de pruebas funcionales.

El **BOM** (Bill of Materials) es un documento que lista cada componente requerido para la construcción del diseño, incluyendo designador, descripción, valor, tolerancia, empaquetado, cantidad y referencias de números de parte de proveedores. Un BOM preciso y completo es crítico para fabricación sin errores.

La **soldermask** es la máscara de soldadura, una capa de material no conductor que cubre todas las trazas de cobre excepto en los pads destinados a soldadura de componentes. Su función es prevenir puentes de soldadura involuntarios entre pistas adyacentes y proteger las trazas de corrosión y daño mecánico.

El **silkscreen** es la capa de serigrafía, una capa de tinta que proporciona información visual útil como designadores de componentes, valores, polaridades e referencias de orientación. Aunque carece de función eléctrica, proporciona información esencial durante ensamblaje y mantenimiento.

Una **red** o **señal** es un segmento lógico de conexión que une dos o más terminales de componentes. En el contexto de PCB, una red puede existir en estados diferentes: como conexión en el esquemático, como “rat” o conexión no rutada en el board file, o como “traza” en cobre.

Una **vía** es un agujero metalizado que permite que una traza se transfiera entre capas de cobre en una PCB multicapa. Las vías tienen parámetros críticos: el diámetro del pad y el diámetro del agujero.

Las **capas** son cada nivel de diseño en una PCB que corresponde a un proceso de fabricación. Las capas típicas incluyen capas de cobre (cara superior e inferior para PCB de dos capas), máscaras de soldadura, serigrafía, taladros e información. PCB multicapas incluyen capas de cobre internas adicionales.

1.5.3. Formatos de Archivo y Estándares

El **formato Gerber** es el estándar de la industria para comunicar información de PCB a un fabricante. Un archivo Gerber contiene información geométrica en 2D de una capa del diseño. Un diseño completo requiere múltiples archivos Gerber para trazas de cobre superior e inferior, máscaras de soldadura superior e inferior, serigrafía superior e inferior, y posiciones de agujeros.

El **formato Excellon** o NC drill files contiene información sobre posición y tamaño de todos los agujeros que deben ser taladrados en la placa. Aunque técnicamente parte de los datos de Gerber, se envía como archivo separado debido a sus requisitos de procesamiento específico en máquinas de taladrado CNC.

Existen varias versiones del estándar Gerber. El Gerber estándar (RS-274-D) es considerado obsoleto desde 2012. Gerber X (RS-274X) es el estándar moderno ampliamente utilizado. Gerber X2, adoptado en 2014, añade metadatos adicionales útiles para procesos de manufactura y prueba. La mayoría de fabricantes modernos aceptan formato Gerber X o X2.

1.6. Normas y Recomendaciones en el Diseño de PCB

A continuación se describen una serie de normas y recomendaciones para facilitar el correcto diseño y funcionamiento de la PCB resultante.

1.6.1. Recomendaciones para el Esquemático

- Mantener orden y alineación de componentes para maximizar legibilidad.
- Organizar señales de izquierda a derecha (entradas a salidas).
- Disponer los componentes de forma similar a su ubicación esperada en el layout.
- Asignar designadores únicos y coherentes automáticamente.
- Evitar cruces de señales; usar puntos de unión claros en conexiones múltiples.
- Agrupar componentes según bloques funcionales del circuito.
- Ajustarse a cuadrículas CAD y usar buses en esquemáticos complejos.
- Emplear conectores globales para Vcc y GND (Vcc hacia arriba, GND hacia abajo).
- Incluir datos completos para generar una BOM detallada (tipo, valor, tolerancia, encapsulado).

1.6.2. Recomendaciones para el Layout de la PCB

- Definir cuadrícula antes de colocar componentes (50 mil y 25 mil como referencia).
- Establecer límites físicos del PCB según restricciones del proyecto (capa EGDE CUTS en KiCAD).
- Colocar primero componentes de E/S y grandes componentes críticos.
- Minimizar longitud de trazas para reducir parásitos e interferencias.
- Separar secciones de potencia, señal débil, analógicas y digitales.
- Agrupar componentes por función y área del circuito.
- Mantener componentes SMD en un solo lado de la PCB para facilitar ensamblaje.
- Usar ambos lados sólo para componentes through-hole si es necesario.

1.6.3. Recomendaciones para el Rutado de Pistas

- Dimensionar ancho de pistas según corriente esperada:
 - 4 mm / 10 A, 2 mm / 5 A, 1.5 mm / 4 A, 1 mm / 3 A, 0.5 mm / 2 A, 0.2 mm / 0.5 A.
- Mantener separación según tensión:
 - <50V: 0.5 mm; 50–100V: 0.7 mm; 100–170V: 1.0 mm; 170–250V: 1.2 mm; 250–500V: 3.0 mm.
- Evitar ángulos de 90°; usar 45° o curvas suaves.
- No rutear entre pines activos adyacentes; permitido entre pasivos si necesario.
- Respetar distancia de 5 mm entre bordes y pistas.

- Mantener separación constante entre pistas paralelas para reducir acoplamientos.
- Usar planos de potencia y tierra internos en placas multicapa para mejorar integridad de señal.
- Ancho mínimo recomendable para prototipos: 0.5 mm (mínimo absoluto comercial: 0.2 mm).

1.7. Software empleado

1.7.1. KiCAD

KiCAD es un software libre para automatización del diseño electrónico (EDA) que proporciona un entorno integrado para el diseño completo de PCBs. Incluye módulos especializados: editor de esquemáticos (Eeschema) para captura de circuitos, editor de PCB (PCBnew) para rutado y posicionamiento de componentes, editor de huellas (Footprint Editor), y herramientas de generación de Gerber para fabricación.

El software destaca por su interfaz de fácil manejo aunque no necesariamente intuitiva¹, soporte de bibliotecas extensibles, compatibilidad multiplataforma (Windows, Linux, macOS) y capacidad de trabajar con PCBs de hasta 32 capas (cobre y técnicas). Como herramienta de código abierto, permite transparencia total y personalización según necesidades específicas. En el contexto del presente proyecto, KiCAD fue utilizado para el posicionamiento de componentes, rutado manual y en el caso de la segunda placa para exportación de archivos en formato .dsn para posterior procesamiento automático con *FreeRouting*.

1.7.2. FreeRouting

FreeRouting es una herramienta de software libre especializada en enrutado automático de pistas, complementando KiCAD mediante integración directa como plugin² desde la versión 6.0. Automatiza el proceso de interconexión de componentes mediante trazas de cobre, resolviendo restricciones complejas simultáneamente: ancho mínimo de trazas, separación requerida entre conductores, número de vías y optimización del espacio.

El flujo operativo es directo: tras posicionar componentes y definir reglas de diseño en KiCAD, se exporta el proyecto en formato .dsn, se importa en FreeRouting, se configuran parámetros de enrutado, y se ejecuta el algoritmo de optimización que genera automáticamente todas las conexiones. Los resultados se reimportan a KiCAD para revisión y ajustes manuales si fuera necesario. Esta integración reduce significativamente el tiempo de diseño y minimiza errores de conexión, aunque requiere validación posterior mediante comprobadores de reglas de diseño.

¹Es de muy fácil manejo y simplificada, pero al igual que muchos programas especializados, requiere de una explicación previa.

²En este caso se ha usado de forma *standalone*

Capítulo 2

Diseño de la 1ª Placa

2.1. Propósito

El objetivo de diseño de esta primera placa, es diseñar, fabricar y que integre un sistema electrónico básico aplicando el flujo completo a partir de esquemático, siendo la especificación verbal proporcionada por el profesor:

“ Diseñar una PCB que integre un Arduino Pro Mini, un módulo NRF24L01, un sensor BMP280 y conectores auxiliares para implementar un nodo MySensors de medida de temperatura y humedad. ”

Siendo los 3 elementos principales:

1. **Arduino Pro Mini:** Microcontrolador basado en ATmega328P. El mismo que se empleó en la práctica de anterior de HomeAssistant.
2. **Módulo nRF24L01:** Transceptor de radiofrecuencia a 2.4GHz para comunicación inalámbrica. También empleado en la práctica de HomeAssistant.
3. **Sensor BMP280:** Que nos proporcionará los datos de presión y temperatura. Pese a que la versión que se va a utilizar es de 6 pines (puesto que incluye el todo pinout necesario para comunicación por SPI e I2C) solo se usarán la conexión I2C (la comunicación SPI del arduino la reservamos para el módulo de radiofrecuencia) por lo que 2 pines se quedan desconectados.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de alimentación: 3.3V DC
- Voltaje de operación: 1.8V - 3.3V DC
- Chip principal: Sensor BMP280
- Interfaz de comunicación (3.3V): I2C o SPI
- Rango de Presión: 300 a 1100 hPa (0.3-1.1bar)
- Resolución: 0.16 Pa
- Precisión absoluta: 1 hPa
- Medición de temperatura incluida
- Resolución de temperatura: 0.01°C
- Precisión Temperatura: 1°C
- Frecuencia de Muestreo: 157 Hz (máx.)
- Rango de altura medible: 0-9100 metros
- Ultra-bajo consumo de energía
- Completamente calibrado
- No incluye regulador en placa, se debe alimentar con 3.3V
- Dimensiones: 15*12 mm
- Peso: 1.3 gramos

Figura 2.1: Especificaciones del sensor BMP280 según <https://naylampmechatronics.com/sensores-posicion-inerciales-gps/358-sensor-de-presion-bmp280.html>

Las restricciones y consideraciones de diseño vienen determinadas por las capacidades de la máquina de fabricación (Voltera One) disponible en el laboratorio:

- Dimensiones máximas de 5cm x 7cm.
- Diseño "monocara" empleando el uso de la cara frontal como cara principal).
- Ausencia del plano de tierra. Por lo que la interconexión de tierras se hará mediante trazas.
- Componentes de tipo SMD. No se emplearán componentes *Through-Hole*
- Para facilitar el posicionado de los componentes y su posterior soldado, todas las trazas conectadas al Arduino entrarán en recta.

2.1.1. Lista de materiales(Bill of Materials)

Los materiales empleados son los siguientes:

- **Arduino Pro Mini:** Dado que se parte de una plantilla de proyecto para Arduino Pro Mini, en la fase de layout será necesario ajustar la geometría, PROPIEDADES y posición de los pads, habilitando además la capa F.Paste para soldadura SMD, ya que existen variaciones en la disposición de pines entre distintos fabricantes de la placa y es preciso adaptar correctamente la huella.
- **Módulo nrF24L01:** Por razones de facilitar la soldadura en SMD con la voltera ONE, se empleará una huella correspondiente a una tira de 2x4 con un pitch de 2.54 milímetros, a la que posteriormente se acoplará el módulo.
- **Sensor BMP280:** No se usará una huella en particular sino una de las tiras de pines que se detallan en uno de los ítem posteriores.
- **Conector WAGO:** Específicamente se empleará en conector WAGO 2060 de entradas con la finalidad de poder alimentar el circuito de forma externa. Es necesario importar¹ la

¹Se han seguido las instrucciones de la siguiente página web <https://www.snapeda.com/about/import/#KiCad6>

Huella correspondiente de la página de SNAPEDA importándola en el gestor de Huellas y símbolos

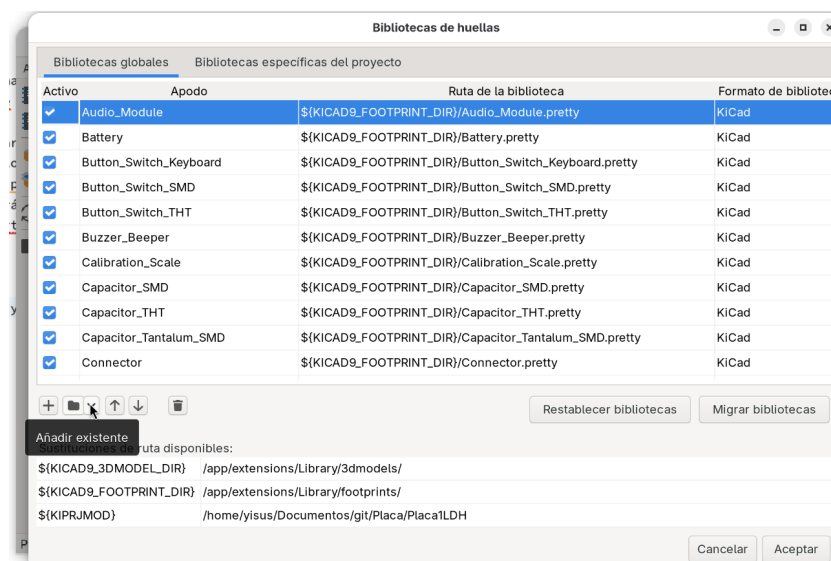


Figura 2.2: Captura de pantalla del gestor de huellas con el cursor en añadir existente. El proceso de añadir símbolos es muy similar.

- **2x Tiras de pines 1x6:** Ambas con un pitch de 2.54 milímetros, que se usarán para conectar el programador de Arduino(dado que por el proceso de soldadura SMD los pines no pueden posicionar encima del Arduino) y el sensor BMP280.

Como adelanto de la fase de esquemático, se ha generado mediante KiCad el BOM(del inglés *Bill of Materials*)

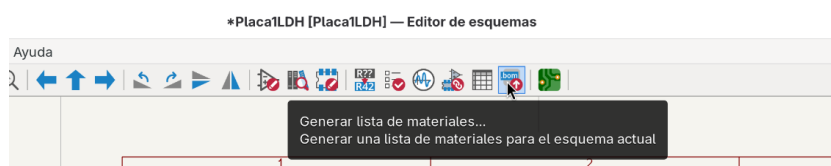


Figura 2.3: Captura de pantalla donde el cursor está ubicado sobre el botón generar lista de materiales.

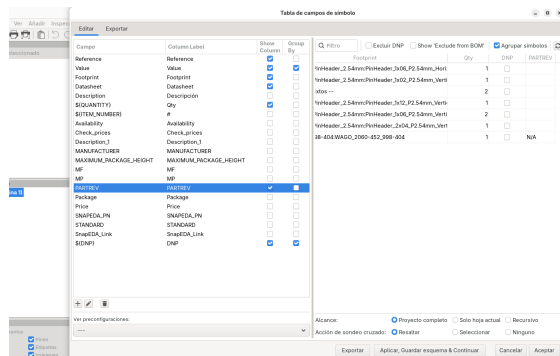


Figura 2.4: Opciones seleccionadas y disponibles para la generación del BOM.

Lo que genera el siguiente BOM en CSV:

```
"Reference","Value","Datasheet","Footprint","Qty","DNP"
"J11","ETDI1","","Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x06_P2.54mm_Horizontal","1",""
"J12","J2C","","Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x02_P2.54mm_Vertical","1",""
"J13","J8","Analog","","Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x02_P2.54mm_Vertical,Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x12_P2.54mm_Vertical","2",""
"J17","Digital","","Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x12_P2.54mm_Vertical","1",""
"J18","J288","ProgramadorArduino1","Conn_01x06_Pin","","Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_1x06_P2.54mm_Vertical_SMD_PinRight","2",""
"J19","NRF24L01-Breakout","http://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2736/34165/file/nRF24L01-Product_Specification_v2.0.pdf","Connector_PinHeader_2.54mm:PinHeader_2x04_P2.54mm_Vertical_SMD","1",""
"J20","Wago1","2060-452-998-404","","2060-452-998-404:WAGO_2060-452-998-404","1",""
```

Figura 2.5: Captura de pantalla del fichero BOM.csv

Sin embargo, el BOM tal cual está formateado, no suele ser compatible con el formato o nomenclatura de componentes que exigen la mayoría de tiendas distribuidoras de componentes como Mouser o Farnell.

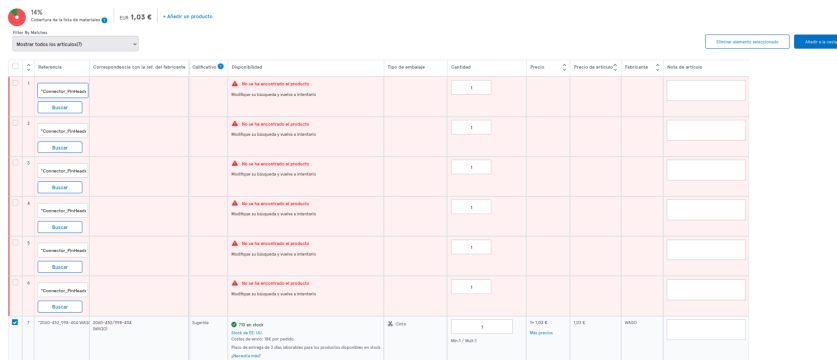


Figura 2.6: Resultado de subir el BOM a Farnell

Por lo que suele haber complementos para KiCad² que los suelen adaptar al formato o nomenclatura preferidos.

²Como <https://github.com/prrvchr/KiCad-BOM-CPL-Plugin> que se suelen combinar con gestores de inventario como <https://partsbox.com/>.

2.2. Diseño

2.2.1. Diseño del Esquemático

El proceso de diseño del esquemático(tras haber incluido las huellas y símbolos necesarios) transcurrió sin ninguna incidencia. resultando en el siguiente esquemático:

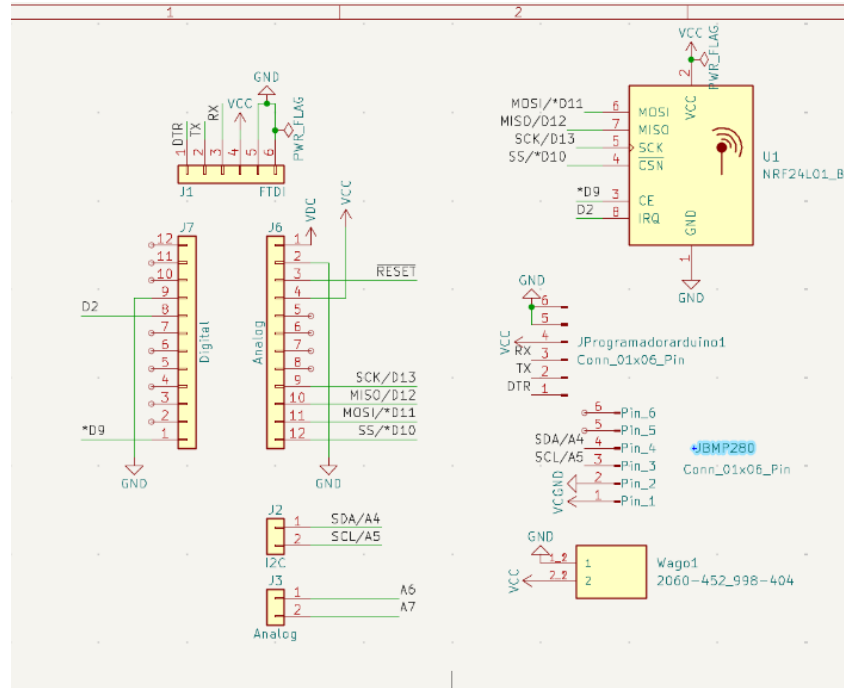


Figura 2.7: El esquemático resultante.

Como se puede observar, pese a que no hay muchos componentes, se ha empleado los siguientes criterios de colocación y ordenación:

- En la zona izquierda del esquemático se ha situado el Arduino(exceptuando las salidas al programador).
- En la zona derecha superior-media se encuentran los componentes externos al Arduino y la comunicación con el exterior, incluyendo el pinout para el programador. Finalmente, en la zona inferior derecha se encuadra el conector WAGO de alimentación y tierra.

Si bien como se verá más adelante, esta disposición no es coincidente con el *layout*.

Comprobación de reglas eléctricas

Para la comprobación de reglas eléctricas se usó la configuración que se muestra en la siguiente figura 2.8

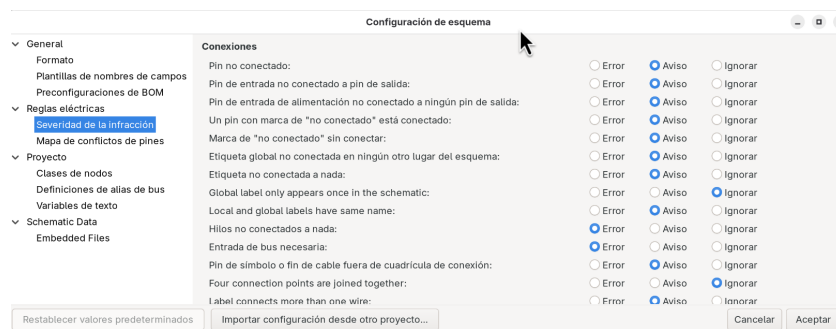


Figura 2.8: Configuración de reglas eléctricas empleada.

Esto se debe a que diversas etiquetas y pines del Arduino no se van a emplear, por lo que es recomendable que para evitar acostumbrarse a ver "errores que no son errores" y posiblemente ignorar errores relevantes en el proceso, bajarlos de nivel.

Lo que resulta en:

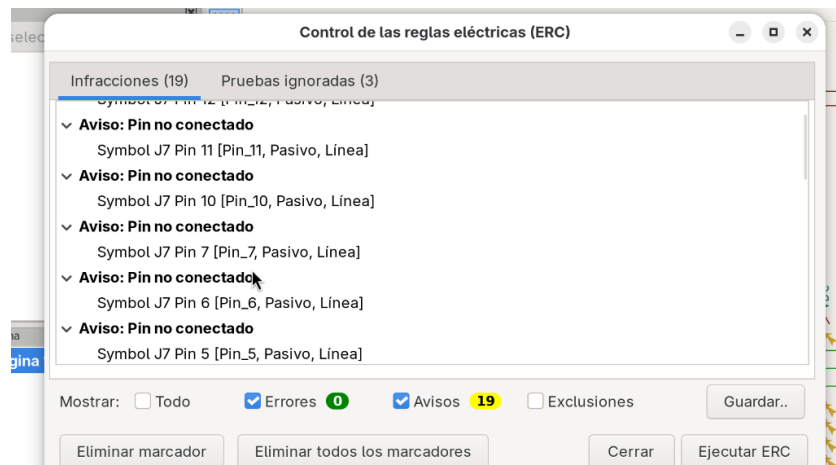


Figura 2.9: Resultado de ejecutar el control de reglas eléctricas

2.2.2. Diseño del Layout

Al igual que en la subsección anterior, no ha habido dificultades en la realización del diseño del layout, exceptuando la dificultad intrínseca del trazado de rutas³

Como inspiración y referencia para el posicionado de los componentes se ha empleado la imagen del resultado final proporcionada por el profesor:

³Esto se debe a que generalmente, el trazado óptimo de rutas y colocación de componentes se reduce al problema de coloración de grafos, el cual es NP-Completo. Algo similar sucede con la asignación de registros.

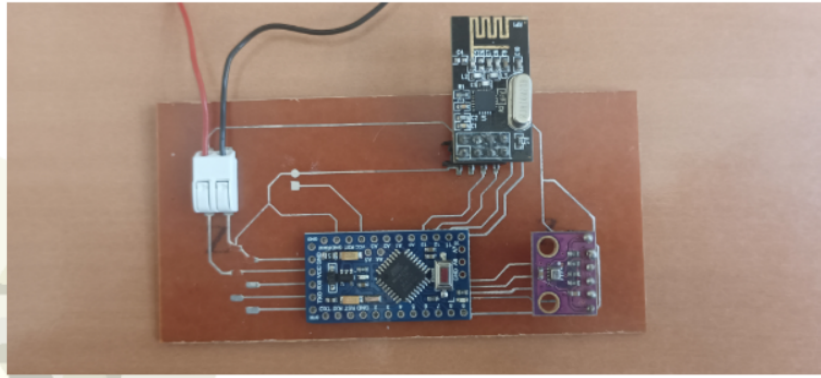


Figura 2.10: Placa usada como referencia para el layout.

Siendo el *layout* resultante:

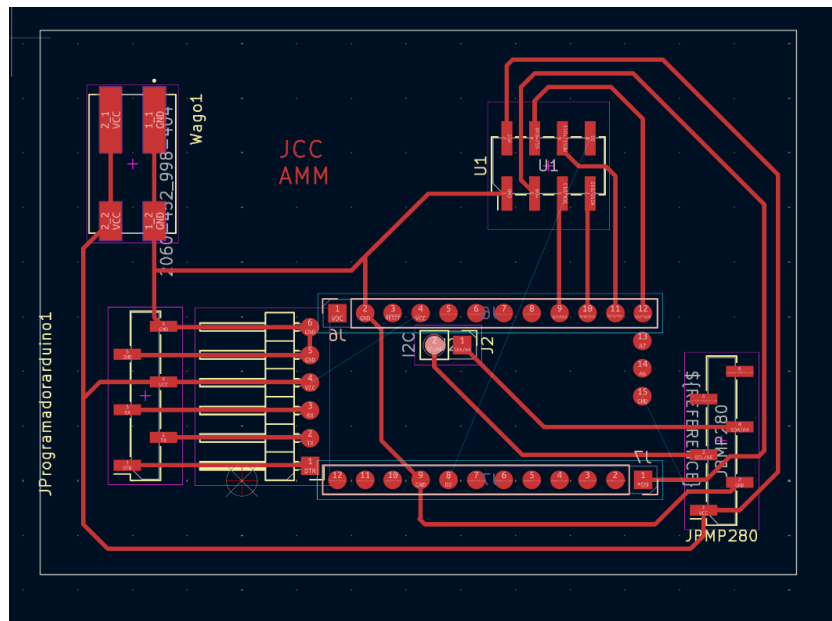


Figura 2.11: Layout resultante.

Comprobación de reglas de diseño.

Tras ejecutar la verificación de reglas de diseño, obtuvimos:

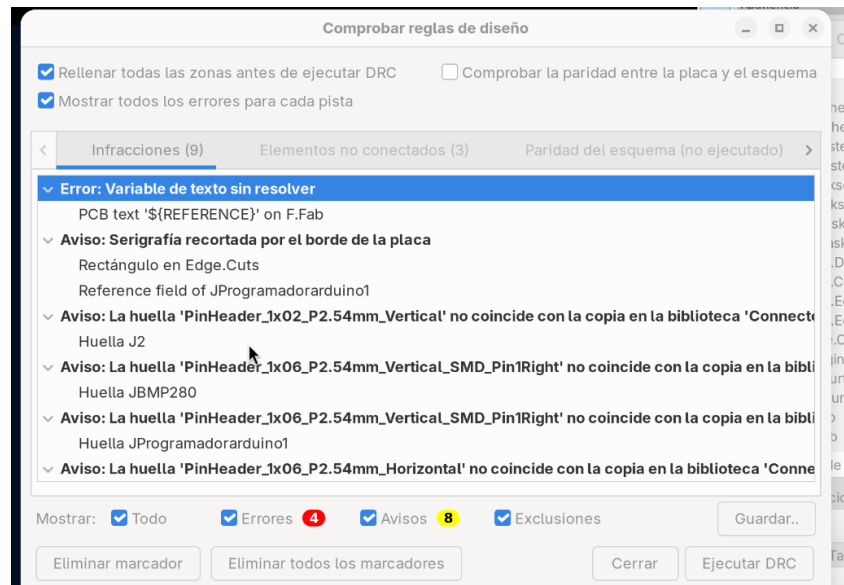


Figura 2.12: Resultados de la verificación de reglas de diseño. Los errores no mostrados (elementos no conectados) se deben a la creación accidentada por parte del usuario de microtrazas en los *pads*.

2.3. Verificación del Fabricante

2.3.1. Generación de Gerbers

Tras completar todos los pasos se generó los gerbers de los proyectos, siendo solamente necesarios los de las capas:

- Edge Cuts.
- Frontal cobre.
- Frontal pasta.

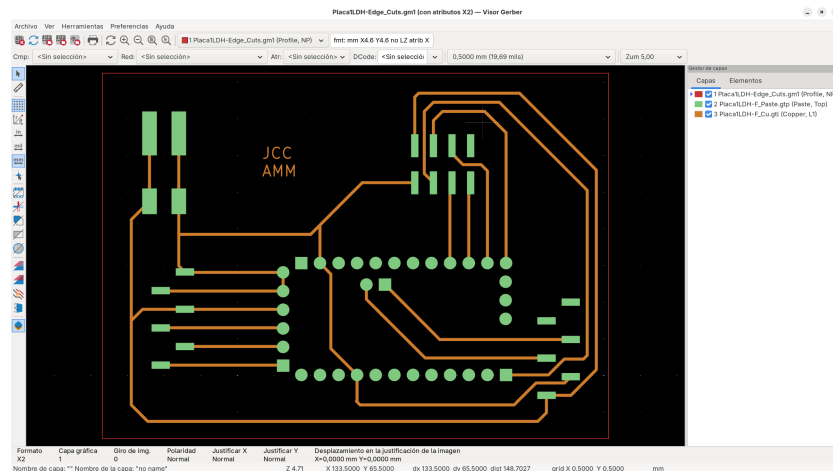


Figura 2.13: Visionado de las 3 capas mediante el visor gerber de KiCad.

2.3.2. Verificación por parte de los fabricantes

Pese a solamente ser necesario los ficheros gerbers de las anteriormente mencionadas capas, para este paso se regeneraron todos los gerbers posibles.

PCBWAYS

1. Especificación del Hardware

PCB Specification Selection
[Simple tutorial \(suitable for beginners\)](#)
[Online Gerber Viewer](#)

PCB file (optional): **salidas.zip (25 kb) 100% Success**

Detected 2 layers board of 69.1 x 49.8mm(2.72 x 1.96 inches).

You have uploaded the file successfully and please check the parameters below. We'll continue to check all the individual layers to make sure that they're correct.

[<< Back to Upload File](#)

Board type:

Single pieces
Panel by Customer
Panel by Supplier

Different design in panel:

1 2 3 4 5 6

Size (single):

69.1 X 49.8 mm inch*mm

Quantity (single):

5 pcs

Layers:

1 Layer 2 Layers 4 Layers 6 Layers 8 Layers 10 Layers 12 Layers 14 Layers

Material:

FR-4 Aluminum Rogers HDI(Buried/blind vias) 4 Layers Copper Base

*Material model can be remarked below. HDI is available for 4-layer or more.

FR4-TG:

TG 130-140 TG 150-160 TG 170-180 S1000H TG150 S1000-2M TG170

*The base material of 2-layer PCBs is automatically upgraded to S1000H TG150 for FREE with more stable and higher quality.

Thickness:

0.2 0.3 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.6 2.0 2.4 2.6 2.8 3.0 3.2

≥1.7-6.0 * Unit: mm

Min track/spacing:

3/3mil 4/4mil 5/5mil 6/6mil 8/8mil

Min hole size:

0.15mm 0.2mm 0.25mm 0.3mm 0.8mm 1.0mm No Drill

Solder mask:

Green Red Yellow Blue White Black Purple Matte black Matte green None

Silkscreen:

White Black Yellow None

UV printing Multi-color:

None Single-sided: Top Single-sided: Bottom Double-sided

*The uploaded PCB file should contain color renderings, [learn more >>](#)

Edge connector:

Yes No

Surface finish:

HASL with lead HASL lead free Immersion gold(ENIG) OSP Hard gold Immersion silver(Ag) Immersion tin HASL lead free + Selective Immersion gold HASL lead free + Selective Hard gold Immersion gold + Selective Hard gold ENEPIG None/Plain copper

☐ Tick means you accept we might change "HASL" to "ENIG" at our discretion without extra charge.

Via process:

Tenting vias Plugged vias with solder mask Vias not covered

*For Gerber files this choice will not affect anything, PCB will be made using the parameters of the files.

Finished copper:

Bare board(0 oz Cu) 1 oz Cu 2 oz Cu 3 oz Cu 4 oz Cu 5 oz Cu 6 oz Cu 7 oz Cu 8 oz Cu 9 oz Cu 10 oz Cu 11 oz Cu 12 oz Cu 13 oz Cu

*Requirement of Min Track/Spacing: ≥ 3/3mil for sample orders, or ≥ 3.5/3.5mil for bulk orders.

Remove product No.:

No Yes (extra+\$ 1.5) Specify a location

+ Customized Services and Advanced Options (Castellated holes,Edge plating,Impedance control...)
More

Other special request:

Fill in any PCB details to make it as clear as possible for us to understand your requirements.

+ Add PO No.

Figura 2.14: Especificación del Hardware a partir de los ficheros gerbers subidos. Obsérvese que en lugar de una capa el sistema ha determinado automáticamente 2.

2. Especificaciones de ensamblado Nótese que el BOM fue especificado posteriormente.

☒ **Assembly Service** The PCBs above need assembly

3 flexible options:

☒ **Turnkey**
PCBWay supply parts

☐ **Kitted or Consigned**
Customer supply parts

☐ **Combo**
You supply some parts we do the rest

Board type :

☒ **Single pieces** ☐ Panelized PCBs

We suggest choose to do panel if single PCB qty is more than 20pcs or any side of single board is smaller than 50mm.

Assembly side(s):

☒ **Top side** ☐ Bottom side ☐ Both sides

* Quantity:

Please fill in total quantity of single PCBs.

* Pay attention:

☒ **No** ☐ Yes

Contains sensitive components/parts

Do you accept alternatives/substitutes made in China?

☒ **No** ☐ Yes

+ Add PO No.

— Other Parameters (Fill in to get the exact price, or leave it blank to wait for final quote.)

Hide ^

They can be left blank if you're not sure about the number of Unique Parts, SMT Parts, BGA/QFP Parts or THT parts.

Number of Unique Parts:

       **Example no. of Unique Parts: 6 kinds**

Number of SMD Parts:



Number of BGA/QFP Parts:

Number of Through-Hole Parts:

+ Customized Services and Advanced Options

More v

Detailed information of assembly:

Please fill in detailed technical information about the PCB assembly, other shell assembly, cable soldering, fuse wires, rivets, etc.

Price does not include PCB fabrication or the cost of components, exact quotation will be updated after all the files you uploaded pass review or contact service31@pcbway.com for help. Need a quick and accurate quote? Need an efficient production? Please read [SMT Ordering Necessary Files & Info](#) in 1 minute. Thank you very much!

Figura 2.15: Especificaciones del servicio de ensamblado.

3. Coste

21

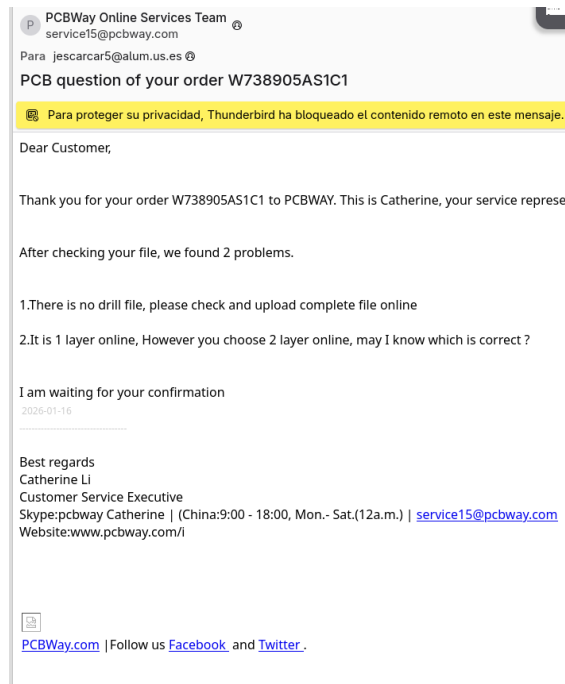


Figura 2.18: Correo que pone de manifiesto los problemas ocurridos en la generación automática de la especificación de PCB a partir de los ficheros gerber.

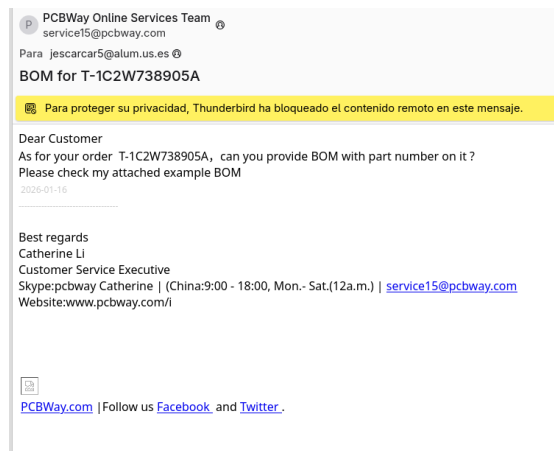


Figura 2.19: Correo por parte de PCBWays solicitando un nuevo BOM.

2.4. Comprobación del Hardware

Tras realizar estos pasos, recibimos por parte del profesor la PCB ya elaborada y montada.

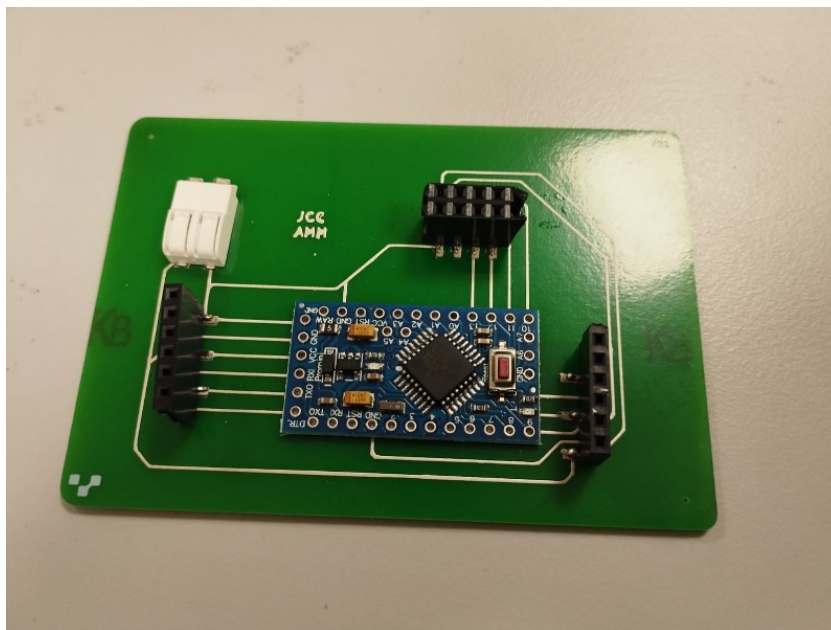


Figura 2.20: Placa entregada por el profesor.

Sin embargo, tras intentar manipularla para el comienzo del testado con el polímetro, el pin out correspondiente al BMP280 se desprendió.

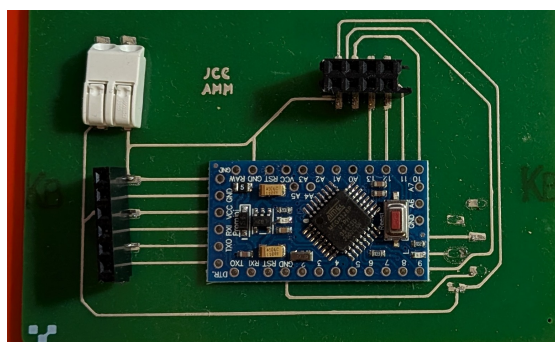


Figura 2.21: PCB con el pinout del BMP280 roto.

No obstante, se puede notar que la mayoría de los *solder pads* relevantes del pinout mantienen su integridad de manera parcial, a excepción del *solder pad* conectado a A5. Por lo tanto, es posible que aún haya continuidad medible.

2.4.1. Mediante trazas

Tras la inspección visual, se hizo la comprobación de la continuidad de las trazas mediante el modo de *continuity test* del polímetro

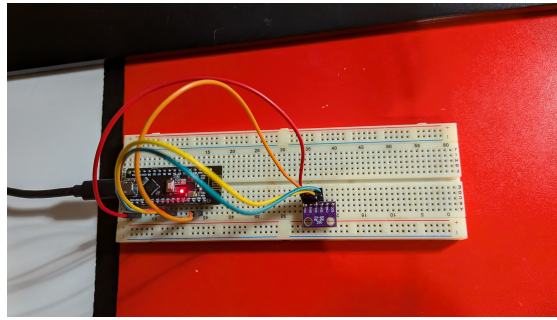


Figura 2.23: Montaje funcionalmente equivalente a la PCB.

Código

```
//REquiere la instalación de la librería adafruitBMP280
// ----- MySensors -----
#define MY_RADIO_NRF24

#define MY_DEBUG
#define MY_NODE_ID 57
#define MY_RF24_CE_PIN 10
#define MY_RF24_CS_PIN 9
#define MY_RF24_CHANNEL 15

#include <MySensors.h>

// ----- BME280 -----
#include <Wire.h> //i2c
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include <Adafruit_BMP280.h>

Adafruit_BMP280 bme;

// Child IDs para MySensors
#define CHILD_ID_TEMP 4
#define CHILD_ID_PRES 7

MyMessage msgTemp(CHILD_ID_TEMP, V_TEMP);
MyMessage msgPres(CHILD_ID_PRES, V_PRESSURE);

// Intervalo de envío
const unsigned long SEND_INTERVAL = 60* 1000;    // 0.5 minuto

void presentation() {
    sendSketchInfo("Nodo BMP280", "1.0");
}
```

```

    present(CHILD_ID_TEMP, S_TEMP, "Temperatura");
    present(CHILD_ID_PRES, S_BARO, "Presion");
}

void setup() {
    delay(1000);
    if (!bme.begin(0x76)) {        // Dirección común: 0x76; algunas placas usan 0x77
        Serial.println("No se detecta BME280");
    }
}

void loop() {
    float temp = bme.readTemperature();        // Celsius
    float pres = bme.readPressure() / 100.0F;  // hPa

    send(msgTemp.set(temp, 1));                // 1 = 1 decimal
    send(msgPres.set(pres, 1));

    Serial.print("Temp: "); Serial.println(temp);
    Serial.print("Pres: "); Serial.println(pres);
    wait(SEND_INTERVAL);
}

```

Resultados

Durante la integración del nodo Arduino Nano + NRF24L01 con MySensors, el nodo falló en descubrir el gateway padre (TSM:FPAR:FAIL tras 4 intentos sin respuesta). El gateway permaneció aislado sin recibir presentación del nodo, indicando fallo de comunicación RF.

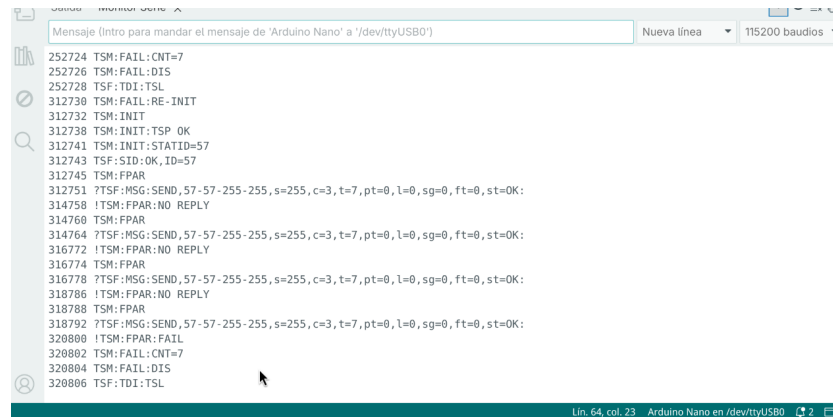


Figura 2.24: Monitor serie Arduino, donde se observan múltiples FPAR:FAIL.

```
practic@raspberrypiLDH: ~ -- practicas@raspberrypiLDH: x ylsus@fedora:~/Descargas
Jan 18 17:55:31 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:55:41 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:55:51 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:56:01 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:56:11 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:56:22 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:56:32 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:56:42 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:56:52 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:57:02 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:57:12 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:57:22 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:57:32 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:57:42 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:57:52 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:58:03 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:58:13 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:58:23 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:58:33 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:58:43 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:58:53 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:59:03 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
Jan 18 17:59:13 DEBUG GWT:RFC:C=0,MSG=0;255;3;0;2;
```

Figura 2.25: Captura del terminal debug de MySensors, donde se encuentra aislado sin recibir comunicaciones.

Tras múltiples intentos infructuosos entre los que se incluyen, la suministración de corriente externa utilizando otro módulo arduino, se elaboró otro montaje –que resultó ser infructuoso– utilizando un *knock-off* Arduino UNO v3, el sensor BMP280 y una antena externa nrf24. El conexionado entre el arduino uno⁷ y el módulo nrf24 es el mismo que el Arduino pro mini y el susodicho módulo.

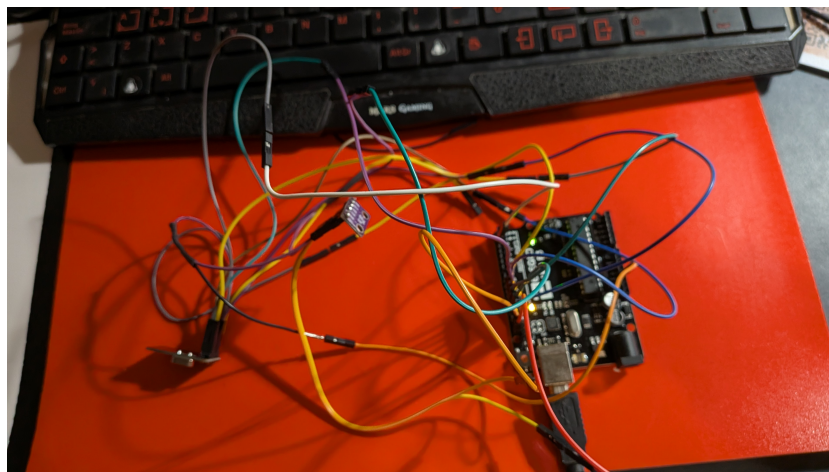


Figura 2.26: Intento infructuoso de montaje con un Arduino UNO.

Sin embargo, tras intentar el montaje de la figura 2.23 en el laboratorio de la asignatura sin

⁷<https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-nRF24L01-with-arduino-uno>

ninguna modificación hardware o software aparente, este procedió a funcionar correctamente⁸:

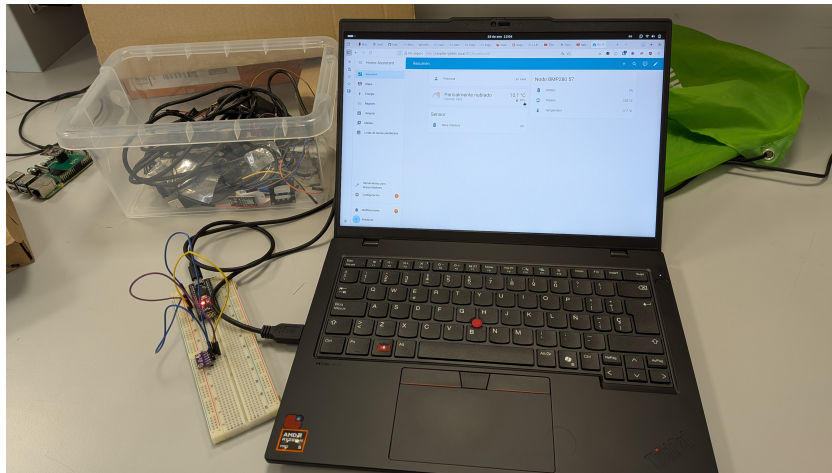


Figura 2.27: Funcionamiento correcto.

⁸Aunque en un momento fue atribuido a interferencias, posteriormente fue necesario cambiar la antena del gateway. durante la comprobación de la segunda placa.

Capítulo 3

Diseño de la 2ª Placa

3.1. Propósito

Al Igual que la 1ª placa, el objetivo de diseño de la 2ª placa, es diseñar, fabricar e integrar un sistema electrónico básico a partir del esquemático, siendo la especificación verbal en este caso:

“Diseñar una placa PCB para implementar un nodo MySensor dedicado al control de encendido/apagado de luces mediante relé, con alimentación desde red AC 220V.”

Debido a su complejidad y diversidad en funcionalidad— aparte de incluir componentes SMD y *Through-Hole*— este circuito se puede dividir en 3 subcircuitos atendiendo a los criterios de voltaje y funcionalidad:

- Circuito 1: Entrada de red y conversión AC–DC mediante el módulo HLK-PM01, con fusibles y varistor de protección.
- Circuito 2: Etapa de control del relé a partir de la señal digital del Arduino Pro Mini, incluyendo transistor de conmutación, resistencia de base y fusible de salida.
- Circuito 3: Etapa de control y comunicaciones, formada por el Arduino Pro Mini, el módulo NRF24L01 y el bloque de terminales para interruptores de usuario (S1, S2).

Circuito 1: Entrada AC y regulación de potencia

El Circuito 1 se encarga de la interfaz con la red de 220 V AC y de la generación de la alimentación en continua necesaria para la electrónica de control. Sus elementos principales son:

- **Terminal Block TB1:** Conector de entrada de red (IN: 220 V AC).
- **Fusible 1:** Fusible de intensidad de 0,25 A a 250 V para protección de la entrada.
- **Fusible 2:** Fusible térmico de 73 °C para protección por sobrettemperatura.
- **Varistor:** Varistor dimensionado para tensión de 220 V AC como protección frente a sobretensiones.
- **Módulo HLK-PM01:** Convertidor AC–DC con entrada 100–240 V AC (50–60 Hz) y salida de 5 V DC (3 W).

La salida del HLK-PM01 proporciona la tensión de 5 V DC que alimentará al Arduino Pro Mini y a la lógica asociada del sistema.

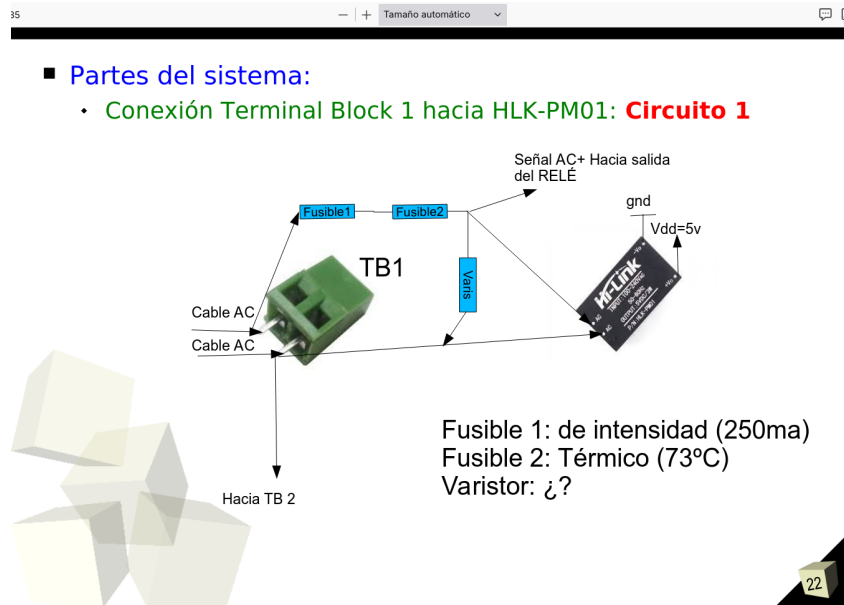


Figura 3.1: Diapositiva de clase sobre el montaje del circuito 1.

Circuito 2: Control del relé y salida AC

El Circuito 2 implementa el control de la carga en alterna a través de un relé manejado por el Arduino Pro Mini . Sus elementos principales son:

- **Terminal Block TB2:** Conector de salida AC hacia la carga (bombilla u otro receptor).
- **Relé OJE-SS-105LMH:** Relé mecánico con corriente máxima de 10 A, encargado de conmutar la línea AC.
- **Transistor BJT NPN (BC547B):** Transistor en configuración de conmutación para excitar la bobina del relé.
- **Resistencia SMD 1206:** Resistencia de 1 k Ω o 2,2 k Ω en la base del transistor.
- **Fusible SSR:** Fusible de 10 A a 250 V en serie con la salida de potencia.

La señal de control del relé procede de un pin digital del Arduino Pro Mini, y la referencia de masa es común con la de la etapa de alimentación.

Diseño del PCB: Diseño básico del sistema

- Partes del sistema:
 - Conexión Arduino con Relé (SSR), y TB2: **Circuito 2**

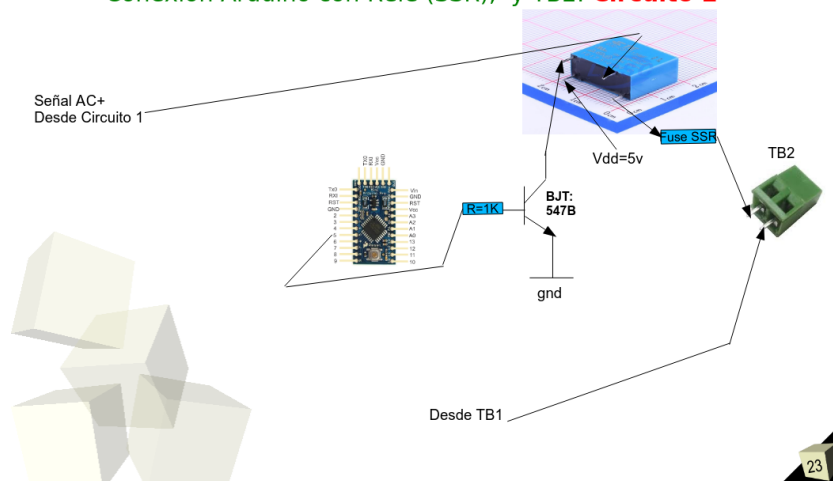


Figura 3.2: Diapositiva de clase sobre el montaje del circuito 2.

Circuito 3: Control digital y comunicaciones

El Circuito 3 contiene la lógica de control y el enlace de comunicaciones inalámbricas con el resto de la red MySensor. Está compuesto por:

- **Arduino Pro Mini:** Microcontrolador principal del nodo, alimentado a partir de la salida de 5 V DC del HLK-PM01, utilizando el pin RAW según la configuración indicada en la práctica.
- **Módulo NRF24L01:** Módulo de radiofrecuencia para comunicaciones MySensor, alimentado a 3,3 V desde el pin VCC del Arduino Pro Mini.
- **Terminal Block TB3:** Bloque de terminales para conexión de interruptores S1 y S2, que permiten el control manual del encendido y apagado.

La conexión entre el Arduino Pro Mini y el NRF24L01 seguirá el esquema propuesto en la documentación de MySensor, respetando la alimentación a 3,3 V del módulo de radio.

3.1.1. Lista de materiales(Bill of Materials)

El listado de componentes principales incluidos en la PCB del Nodo 1 de control de relé, junto con la procedencia¹ de sus huellas en KiCad, es el siguiente:

¹Tal y como se mencionará más adelante, la guía de huellas proporcionadas por el profesor, no es exacta y ha requerido de modificaciones.

Parte 1: Entrada de potencia y protección

- **Terminal Block TB1, TB2, TB3:** Bloque de terminales de 6 conexiones, paso 5,08 mm (5 mm). Procedencia: <https://es.rs-online.com/web/p/bornes-para-pcb/8970828> Huella en KiCad: librería TerminalBlock, conector 1x6.
- **Fusible 1:** Fusible de 0,25 A a 250 V. Procedencia: <https://es.rs-online.com/web/p/portafusibles/0563756?gb=s> Huella en KiCad: Fuseholder_Cylinder-5x20mm_Schurter_0031_8201_Horiz
- **Fusible 2 (térmico):** Fusible térmico de 73 °C. Procedencia: <https://es.rs-online.com/web/p/fusibles-termicos/7976046> Huella en KiCad: huella de resistencia TH (*through-hole*) de paso 15 mm y diámetro aproximado 4 mm (librería estándar de KiCad).
- **Varistor:** Varistor para tensión de 220 V. Procedencia: <https://es.rs-online.com/web/p/varistores-de-oxido-metalico/1069895/> Huella en KiCad: librería estándar de KiCad para varistores.
- **HLK-PM01:** Transformador AC-DC 220 V a 5 V (750 mA). Procedencia: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1247406/Hi-Link/HLK-PM01/1> Huella en KiCad: librería específica de KiCad para el módulo HLK-PM01.

Parte 2: Conexión HLK-PM01 con Arduino Pro-Mini y NRF24

- **Arduino Pro Mini:** Módulo Arduino Pro Mini utilizado como microcontrolador principal. Huella en KiCad: plantilla de KiCad para Arduino Pro Mini (es posible eliminar los pads de programación del diseño).
- **Módulo NRF24L01:** Módulo de radiofrecuencia NRF24L01 para comunicación MySensors. Huella en KiCad: librería estándar de KiCad, símbolo nRF24L01_Breakout.

Parte 3: Conexión Arduino con Relé (SSR) y Terminal Block TB2

- **Relé OJE-SS-105LMH:** Relé mecánico con corriente máxima de 10 A. Procedencia (Datasheet): <https://www.onlinecomponents.com/en/te-connectivity-p-b-brand/ojess105lmh000-4488396.html> Huella en KiCad: disponible en SnapEDA (<https://www.snapeda.com/>), utilizar el símbolo y la huella del modelo compatible OJE-SS-112LMH.
- **Resistencia 1 k Ω o 2,2 k Ω SMD 1206:** Resistencia de base del transistor BJT. Huella en KiCad: librería Resistor_SMD, elegir la variante marcada como «handsolder» (facilita soldadura manual).
- **Transistor BJT NPN BC547B:** Transistor en configuración de driver para el relé. Huella en KiCad: librería estándar de KiCad, utilizar huella de *pinheader* de 1x3 vertical (facilita soldadura manual).
- **Fusible SSR:** Fusible de 10 A a 250 V para protección de la salida del relé. Procedencia: <https://es.rs-online.com/web/p/portafusibles/0563756?gb=s> Huella en KiCad: Fuseholder_5x20mm_Schurter_0031_8201_Horizontal_Open (idéntica al Fusible 1).

BOM Generado Por KiCAD

A continuación se adjunta el BOM generado por KiCAD en cuanto a materiales empleados:

```
"Reference","Value","Datasheet","Footprint","Qty","DNP"
"E1,F2,F3,Holder","Fuse","-","Fuse:Fuseholder.Cylinder-5x28mm_Schurter.0831.6201_Horizontal_Open.Resistor.THT-R_Axial_DIN8414.L11.8mm_D4.5mm_P15.24mm_Horizontal","3",""
"J4","Conn_81x08","-","TerminalBlock.TerminalBlock_Malibu.MX120-S-0-06P-1x08_P5.08mm","1",""
"J5","Analog","-","Connector_PinHeader_2.54mm_PinHeader.1x12_P2.54mm_Vertical","1",""
"J7","Digital","-","Connector_PinHeader_2.54mm_PinHeader.1x12_P2.54mm_Vertical","1",""
"K1","DJE-SS-112L.MH.800","-","DJE-SS-112L.MH.800:IE-5-1419128-0","1",""
"PS1","HLK-FMD1","https://h.hktech.com/download/ACDCNE79494N5NE6N8AN9NE6NA1NE5NDN973NWE7N83NB8NE5N8N97/1/AC6N5N87NCE5N97N8CNE7NA7N913NWE7N83NB8NE5N8N97NE7N94N5NE6N8AN9NE6NA1NE5NDN97N8NA7N84NE6N8NCE4N8N9ABV2.8.pdf","Converter.ACDC:Converter.ACDC.HI-Link.HLK-PHex","1",""
"Q1","Q_NPN_CBE","-","Connector_PinHeader.1.00mm_PinHeader.1x03_P1.00mm_Horizontal","1",""
"R1","R61k","-","Resistor_SMD:R-1206-3210Metric_Pad1.20x1.75mm_MandSolder","1",""
"RV1","Varistor","-","Varistor:RV_Disc.012mm_N6-2mm_P2.5mm","1",""
"U1","NRF24L01-Breakout","http://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2738/34185/file/nRF24L01_Product_Specification_v2.0.pdf","RF_Module:nRF24L01-Breakout","1",""
```

Figura 3.3: BOM generado para la 2ª placa. Algunas de las huellas y símbolos son distintas a las mencionadas anteriormente, puesto que no existían las solicitadas por el profesor.

Tras subirlo a Farnell matizando los parámetros correspondientes obtuvimos:

Referencia	Value	Datasheet	Footprint	Qty	Price	Price of article	Manufacturer	Note of article
1	"Fuse"			1				
2	"Conn_81x08"			1				
3	"Analog"			1				
4	"Digital"			1				
5	"DJE-SS-112L.MH.800"	https://h.hktech.com/download/ACDCNE79494N5NE6N8AN9NE6NA1NE5NDN973NWE7N83NB8NE5N8N97/1/AC6N5N87NCE5N97N8CNE7NA7N913NWE7N83NB8NE5N8N97NE7N94N5NE6N8AN9NE6NA1NE5NDN97N8NA7N84NE6N8NCE4N8N9ABV2.8.pdf	Converter.ACDC:Converter.ACDC.HI-Link.HLK-PHex	1	1,79 €	1,79 €	TE CONNECTIVITY	
6	"HLK-FMD1"	https://h.hktech.com/download/ACDCNE79494N5NE6N8AN9NE6NA1NE5NDN973NWE7N83NB8NE5N8N97/1/AC6N5N87NCE5N97N8CNE7NA7N913NWE7N83NB8NE5N8N97NE7N94N5NE6N8AN9NE6NA1NE5NDN97N8NA7N84NE6N8NCE4N8N9ABV2.8.pdf	Converter.ACDC:Converter.ACDC.HI-Link.HLK-PHex	1				
7	"Q_NPN_CBE"			1				
8	"R61k"			1				
9	"Varistor"			1				
10	"NRF24L01-Breakout"	http://www.nordicsemi.com/eng/content/download/2738/34185/file/nRF24L01_Product_Specification_v2.0.pdf	RF_Module:nRF24L01-Breakout	1				

Figura 3.4: Resultados de subir el BOM a Farnell.

3.2. Diseño

3.2.1. Diseño del Esquemático

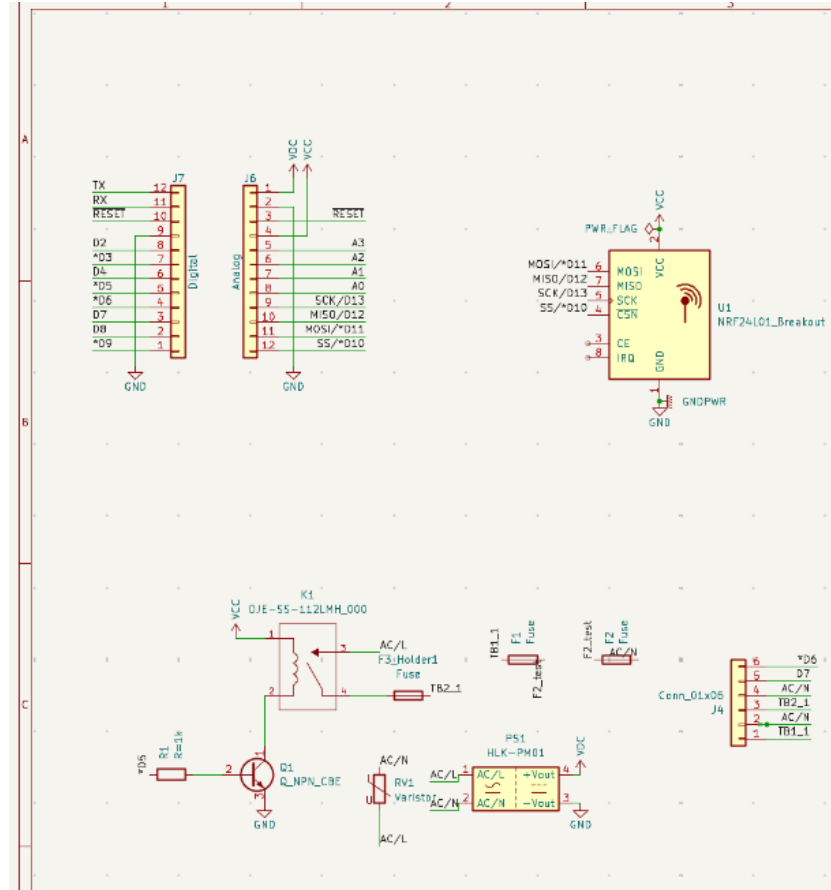


Figura 3.5: Esquemático elaborado.

Tal y como se puede observar, se ha vuelto a emplear una organización semántico-funcional por lo que el esquemático elaborado se puede dividir en las siguientes zonas:

- **Zona del Arduino** Ubicado en la esquina superior izquierda. Se observa que se han eliminado los pines del programador, por ser irrelevantes en el contexto del esquemático.
- **Zona de comunicación inalámbrica** Situada en la esquina superior derecha, está compuesta por el módulo nrf24.
- **Zona eléctrica** Ubicada en la zona inferior del esquemático. y organizada de izquierda a derecha según la **proximidad funcional** al Arduino, por lo que el circuito de control digital se encuentra situado lo más a la izquierda, mientras que los circuitos de potencia y conexiones al exterior se encuentran en la zona media hasta abarcar la zona derecha.

Verificación de reglas eléctricas

Al igual que en la primera placa, se ha decidido configurar la falta de conexión de pines y etiquetas como aviso, y no como error. Esto se debe a que varios de estos elementos no serán utilizados, pero se han conservado en el diseño en lugar de eliminarlos. No obstante, algunos pines más destacados, como los del programador, sí se han suprimido para evitar confusión visual.

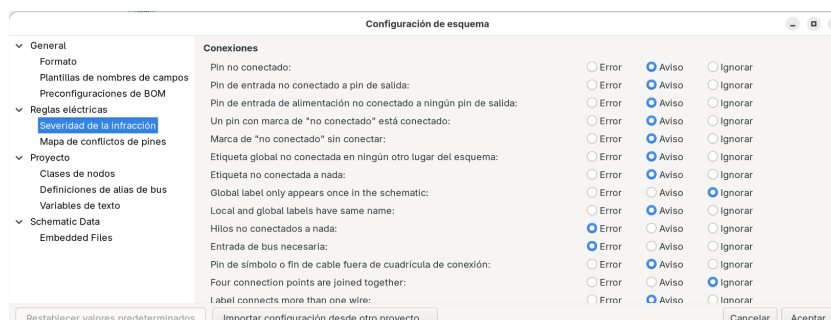


Figura 3.6: Configuración de reglas eléctricas empleadas.

Resultando en los siguientes avisos, consistiendo principalmente de falta de conexión de etiquetas y pines no utilizados

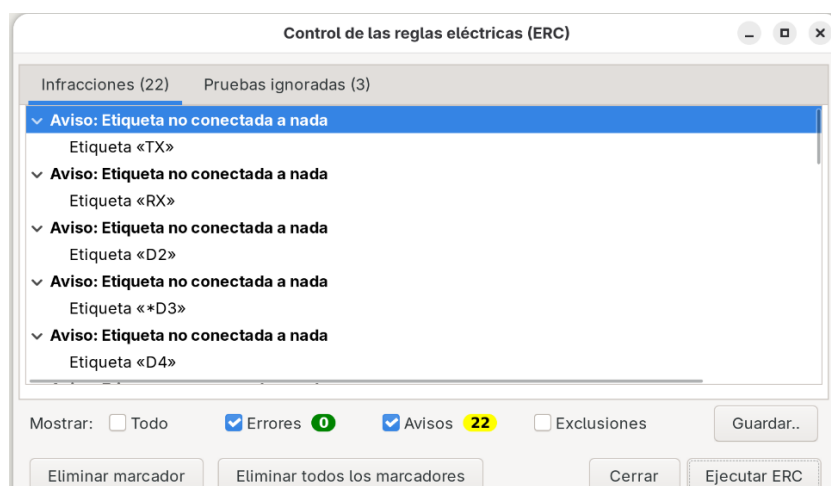


Figura 3.7: Resultados de la comprobación de reglas eléctricas.

3.2.2. Diseño del Layout

Para el diseño del layout de la PCB sea optado por una división diagonal. En la cual la diagonal derecha superior se compone por los elementos de trazas digitales. Mientras que la diagonal inferior izquierda se compone de los elementos que requieren las trazas de potencia.

Respecto al trazado, las trazas de potencia (de 1 milímetro de grosor) se han dibujado manualmente, mientras que las trazas digitales (0.4 milímetros) se han trazado empleando ², por los que los pasos a seguir han sido los siguientes:

²Freerouting es un software de código abierto para enrutamiento de circuitos impresos que como su nombre

1. **Posicionado de los componentes en KiCAD.**
2. **Enrutado manual de las pistas de potencia en KiCAD.**
3. **Exportación del proyecto en formato .dsn en KiCAD.**

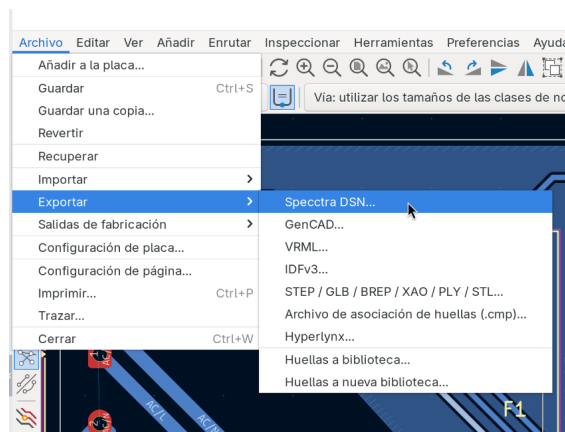


Figura 3.8: Exportación a formato spectra.

4. Importación del proyecto en Freerouting

indica, permite el enrutado automático de las pistas optimizando caminos y trazas.

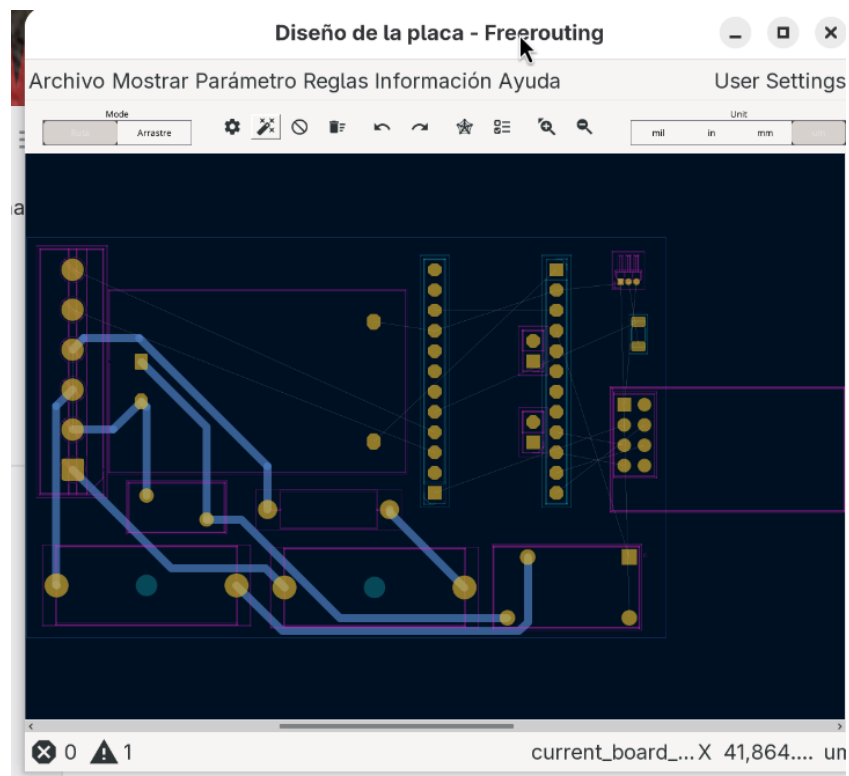


Figura 3.9: Proyecto en freerouting.

5. Establecimiento de reglas y trazado de pistas³

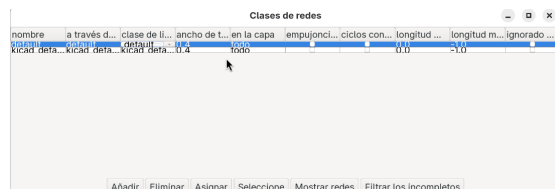


Figura 3.10: Establecimiento del grosor de pistas.

³Las imágenes que se muestran son una recreación de los pasos.

Parámetro de la ruta automática

Capa:	Activo:	Dirección preferida:						
F.Cu	☒	horizontal						
B.Cu	☐	vertical						
Vías permitidas: ☐								
☐ Fanout ☒ Autoroute ☐ Post-ruta								
A través de los costes:	50							
Powerplane a través de los costes:	5							
Pase de salida:	1							
Costes de inicio de la ruptura:	100							
La velocidad:	rápido							
Trazar los costes en la capa: <table border="1"> <tr> <td>En la dirección preferida:</td> <td>En contra de la dirección preferida:</td> </tr> <tr> <td>F.Cu: 1.0</td> <td>4.1</td> </tr> <tr> <td>B.Cu: 1.0</td> <td>3.1</td> </tr> </table>			En la dirección preferida:	En contra de la dirección preferida:	F.Cu: 1.0	4.1	B.Cu: 1.0	3.1
En la dirección preferida:	En contra de la dirección preferida:							
F.Cu: 1.0	4.1							
B.Cu: 1.0	3.1							

(note: you need to press Enter to apply the new values)

Figura 3.11: Parámetros de autoenrutado

6. Exportación e importación del resultado

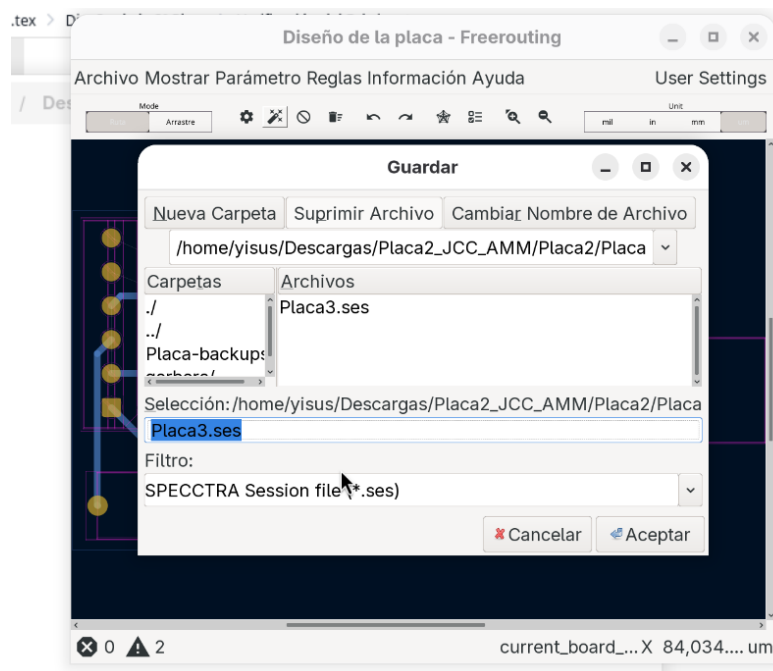


Figura 3.12: Exportación del resultado.

Verificación de Diseño

Tras ejecutar el comprobador de reglas de diseño obtuvimos:

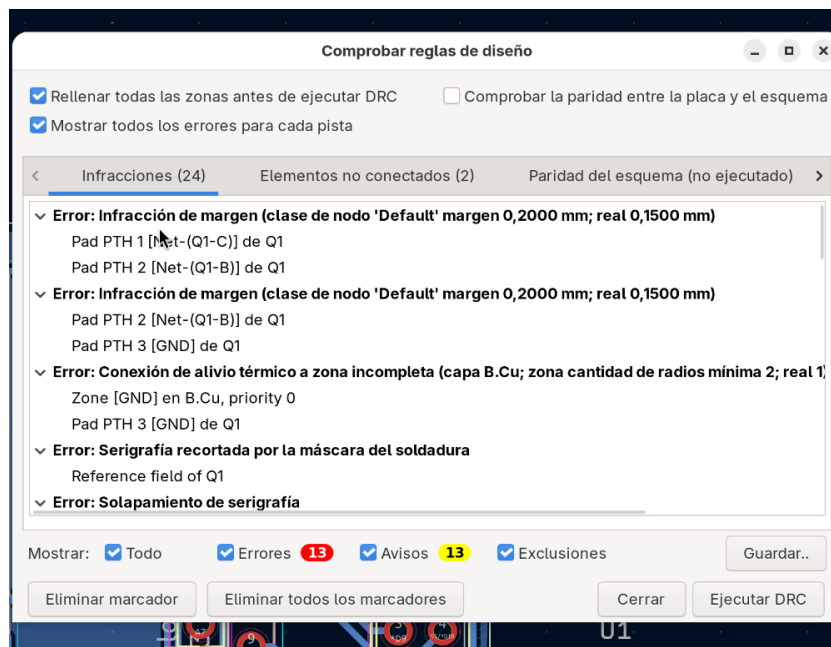


Figura 3.15: Resultado del comprobador de reglas de diseño.

Entre otros errores ocurridos en el diseño, se destacan principalmente las violaciones de los márgenes y el falso vaciado de la resistencia SMD.

3.3. Comprobación

3.3.1. Mediante trazas

Respecto al soldado, este se soldó en orden de alturas de los componentes, sin incidencia grave alguna, más allá de algunas quemaduras accidentales debidas a no tener en cuenta la conductividad térmica de las trazas.

Utilizando las mismas herramientas que en la comprobación de la primera placa (véase la figura 2.22), no se observó ningún fallo de conexión aunque si matizar que el sonido emitido por el polímetro presentaba intermitencias.

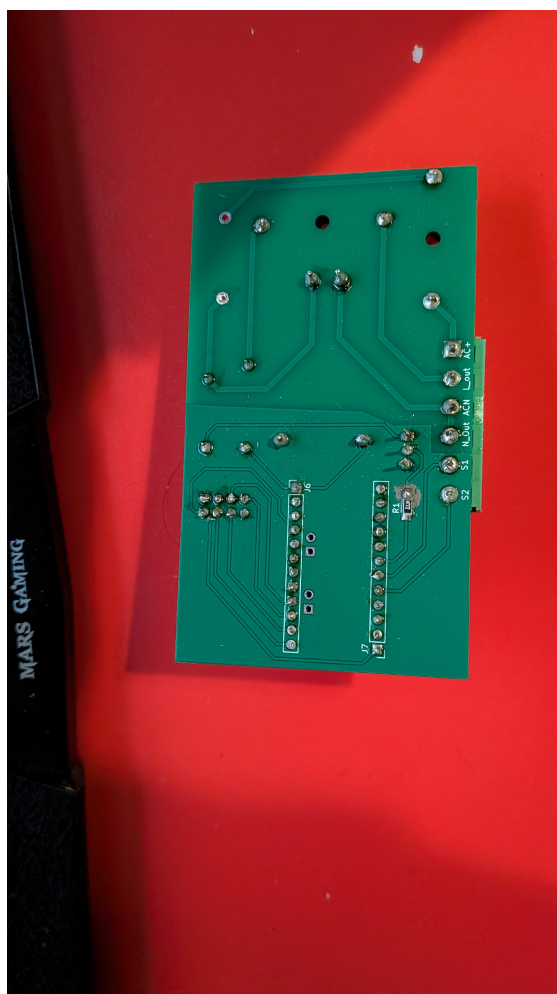


Figura 3.16: Resultado del proceso de soldado en la placa proporcionada por el profesor.

3.3.2. Mediante HomeAssistant

Durante la comprobación mediante HomeAssistant, se presentaron diversos fallos de diversa índole incluyendo de programación y comunicación por lo que fue necesario cambiar tanto el módulo nrf24, el Arduino pro mini junto con el programador.

Respecto al código, se empleó el código del Nodo 1 de la primera práctica de HomeAssistant con los pines de CE y CS intercambiados.

```
/*
 * Documentation: https://www.mysensors.org
 * Support Forum: https://forum.mysensors.org
 *
 * https://www.mysensors.org/build/relay
 */

#define MY_DEBUG
```

```

#define MY_RADIO_NRF24
#define MY_REPEATER_FEATURE
#define MY_NODE_ID 22
#define MY_RF24_CE_PIN 9
#define MY_RF24_CS_PIN 10
#define MY_RF24_CHANNEL 15
#include <SPI.h>
#include <MySensors.h>
#include <Bounce2.h>

#define RELAY_PIN 3
#define CONMUTTER_PIN 4
#define CHILD_ID 24
#define RELAY_ON 1
#define RELAY_OFF 0

Bounce debouncer = Bounce();
bool state = false;
bool initialValueSent = false;

MyMessage msg(CHILD_ID, V_STATUS);
bool prev_state = true;
void setup()
{
    pinMode(CONMUTTER_PIN, INPUT_PULLUP);
    debouncer.attach(CONMUTTER_PIN);
    debouncer.interval(10);

    // Make sure relays are off when starting up
    digitalWrite(RELAY_PIN, RELAY_OFF);
    pinMode(RELAY_PIN, OUTPUT);
}

void presentation() {
    sendSketchInfo("Relay+button", "1.0");
    present(CHILD_ID, S_BINARY);
}

void loop()
{
    if (!initialValueSent) {
        Serial.println("Sending initial value");
        send(msg.set(state?RELAY_ON:RELAY_OFF));
        Serial.println("Requesting initial value from controller");
        request(CHILD_ID, V_STATUS);
        wait(2000, C_SET, V_STATUS);
    }
    if (debouncer.update()) {
        if (debouncer.read() != prev_state) {

```

```

        state = !state;
        prev_state = !prev_state;
        // Send new state and request ack back
        send(msg.set(state?RELAY_ON:RELAY_OFF), true);
    }
}
}

void receive(const MyMessage &message) {
    if (message.isAck()) {
        Serial.println("This is an ack from gateway");
    }

    if (message.type == V_STATUS) {
        if (!initialValueSent) {
            Serial.println("Receiving initial value from controller");
            initialValueSent = true;
        }
        // Change relay state
        state = (bool)message.getInt();
        digitalWrite(RELAY_PIN, state?RELAY_ON:RELAY_OFF);
        send(msg.set(state?RELAY_ON:RELAY_OFF));
    }
}
}

```



Figura 3.17: Bombilla encendida mediante HomeAssistant.

3.4. Verificación del Fabricante

Tras generar los gerbers correspondientes a todas las capas y los archivos de taladrado, se procedió a subirlos a la web de PcbWAYS obteniendo:

PCBWay

PCB Prototype the Easy Way

Full featured custom PCB prototype service.

Online Chat

Help Center

EN / USD

Cart

0

Sign In / Join

My PCBWay (0)

New here? Get a \$5.00 Coupon!

Home

PCB Instant Quote

CNC | 3D Printing

PCB Assembly

PCB Design

OEM

Product & Capabilities

Why Us?

Feedback

Shared Projects

Module Store

Online Quote

Upload Gerber File

Payment

Fabrication

Shipment

Confirm and Review

Standard PCB

Advanced PCB

FPC/Rigid-Flex

Assembly

SMD Stencil

CNC | 3D

Reset

Calculate

Speed

What's the difference between 'Standard' and 'Quick-Turn' PCB

Learn More

PCB Specification Selection

Simple tutorial (suitable for beginners)

Online Gerber Viewer

PCB file (optional)

gerber2.zip (43 kb)100% Success

Detected 2 layers board of 80 x 50mm(2.15 x 1.97 inches).

You have uploaded the file successfully and please check the parameters below. We'll continue to check all the individual layers to make sure that they're correct.

<< Back to Upload File

Board type

Single pieces

Panel by Customer

Panel by Supplier

Different design in panel

2

3

4

5

6

e.g.

Size (single)

80

X

50

mm

inch*~mm

Quantity (single)

5

pcs

Layers

1 Layer

2 Layers

4 Layers

6 Layers

8 Layers

10 Layers

12 Layers

14 Layers

Material

FR-4

Aluminum

Rogers

HDI(Buried/blind via)

Copper Base

FR4-TG

TG 130-140

TG 150-160

TG 170-180

S1000H TG150

S1000-2M TG170

Thickness

0.2

0.3

0.4

0.6

0.8

1.0

1.2

1.6

2.0

2.4

2.6

2.8

3.0

3.2

Min track/spacing

3/3mil

4/4mil

5/5mil

6/6mil

8/8mil

No Drill

Min hole size

0.15mm

0.2mm

0.25mm

0.3mm

0.8mm

1.0mm

No Drill

Solder mask

Green

Red

Yellow

Blue

White

Black

Purple

Matte black

Matte green

None

Silkscreen

White

Black

Yellow

None

UV printing

None

Single-sided: Top

Single-sided: Bottom

Double-sided

Multi-color

None

Edge connector

Yes

No

Surface finish

HASL with lead

HASL lead free

Immersion gold(ENIG)

OSP

Hard gold

Immersion silver(Ag)

Immersion tin

HASL lead free + Selective Immersion gold

HASL lead free + Selective Hard gold

Immersion gold + Selective Hard gold

ENEPIG

None/Plain copper

Via process

Sealing vias

Plugged vias with solder mask

Vias not covered

Finished copper

Bare board(0 oz Cu)

1 oz Cu

2 oz Cu

3 oz Cu

4 oz Cu

5 oz Cu

6 oz Cu

7 oz Cu

8 oz Cu

9 oz Cu

10 oz Cu

11 oz Cu

12 oz Cu

13 oz Cu

Remove product No.

No

Yes (extra \$ 1.5)

Specify a location

Customized Services and Advanced Options (Castellated holes,Edge plating,Impedance control,...)

More

Other special request:

Fill in any PCB details to make it as clear as possible for us to understand your requirements.

SMD Stencil

Order together with PCB

Assembly Service

The PCBs above need assembly

Calculate

You acknowledge that you have read and understand our [terms and conditions](#) and certify that your technical data and any related items are not (1) controlled under the [ITAR](#) (2) subject to the [EAR](#) (3) [ECCN](#) or any similar or related item or component ban. PCBWay is a professional manufacturing enterprise. We are not a trading company and therefore do not provide standalone component sales. All components are procured exclusively from authorized distributors on a project basis and are used solely for assembly in customer PCBs orders.

Payment Method:

PCBWay accepts PayPal, TT, Credit Card and other payment methods. If you want to pay by other payment method, please contact customer service to confirm.

Shipping Method:

PCBWay can offer DHL, FedEx, UPS, TNT, Air, Sea and Sea, SF Express, Global Standard Shipping, Global Direct Shipping, Priority Mail, International Mail, USPS China Post, E-post, EMS, and Airway. Please contact customer service if you need other shipping methods.

PCB Price

Price Comparison Matrix

Build Time

Qty

Total

24hours

5

\$5.00

Extra Urgent

5

\$84.56

First price is subject to our review.

Shipping Cost:

\$25.50

SPAIN

2-4 business days, wt:0.07kg

Shipment Date

2026/1/20 AM

Delivery Date

2026/1/23

PCB Cost

\$5.00

Shipping

\$25.50

Total:

\$30.50

Notice: Customs duties and VAT are not included

Save to Cart

Professional PCB Design Solutions from PCBWay

Turn Your Ideas into Reality

Capabilities

PCB Capabilities

PCB Assembly Service

Quick turn PCB Fabrication

SMD Stencil

Prototype PCBs

Quality Control

Payment Methods

PCBWay

PCB Prototype the Easy Way!

Products/Services

PCB Instant Quote

PCB FAQs

PCB Prototyping

Our Equipment

Blog/Engineering

PCB Products

Delivery Services

Customer Support

Contact Us

Help Center

Sponsorships

Shared Projects

PCB Glossary

Referral Program

About us

About Us

Why Buy From Us?

Shipping Method Guide

Privacy Policy & Agreement

Refund Policy

Terms of Service

Link Us on

46

certified by

ISO

CE

UL

RoHS

REACH

ENIG

© 2024 PCBWay. All rights reserved.

Figura 3.18: Resultado de la subida de los gerbers a PcbWAYS.

Mientras que en la página de JLCPCB se obtuvo:

