

GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y  
AUTOMÁTICA

## TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN MÓDULO DE  
RED CON CONECTIVIDAD INALÁMBRICA PARA  
LAS BALANZAS DE DIBAL***

***DOCUMENTO I - MEMORIA***

**Alumno:** Duo Angulo, Jon

**Director:** Casquero Oyarzabal, Oscar

**Codirector:** Egiraun Martinez, Harkaitz

**Curso:** 2017-2018

**Fecha:** 29/06/2018

## RESUMEN

Dibal, es una empresa que ofrece soluciones de pesaje y etiquetado para los sectores del comercio y la industria. Entre sus productos más vendidos se encuentran las balanzas de uso comercial, utilizadas en la gran mayoría de supermercados. Dichas balanzas requieren comunicarse con ciertos servicios del supermercado con el objetivo de tener un control de ventas, cargar nuevos artículos, cargar un nuevo firmware, configurar balanzas en modo maestro o esclavo, etc. Esta comunicación se logra insertando una tarjeta de red inalámbrica en el interior de cada balanza, configurada para que se conecte al punto de acceso del supermercado. Hasta ahora, Dibal ha buscado, comprado y adaptado tarjetas de red de terceros, lo cual ha acarreado diversos problemas relacionados con la adaptabilidad de la tarjeta a la balanza.

En el marco de la realización de unas prácticas en cooperación educativa en Dibal, la Dirección Técnica de la empresa propuso al autor de este trabajo la realización de un Trabajo Fin de Grado (TFG) que tuviera por objeto el diseño de una tarjeta de comunicaciones inalámbricas adecuada a las necesidades de las balanzas de Dibal para superar los problemas derivados de la dependencia de tarjetas de terceros. Como resultado de la realización de este TFG, hay que destacar dos aspectos: a) el diseño de una solución abierta y modular que facilita la actualización de los componentes de la tarjeta y la migración del software incluido en ella, y b) el desarrollo integral de una tarjeta de red que responde totalmente a los requisitos hardware planteados. Sin embargo, los requisitos software han sido cubiertos parcialmente: se ha configurado el sistema operativo OpenWRT de la tarjeta de acuerdo a las necesidades de operación en red (es decir, la tarjeta es totalmente funcional), pero no ha sido posible personalizar su interfaz de configuración tal y como se pretendía, debido a la complejidad que esconde el sistema de plantillas LuCI utilizado en OpenWRT.

**Palabras clave:** Wi-Fi, libre, OpenWRT, PCB, PCBA, Dibal

## LABURPENA

Dibal, sektore industrial eta komertzialean pisatze eta etiketatze soluzioak eskaintzen dituen enpresa bat da. Gehien saltzen dituen produktuen artean, supermerkatu gehienetan erabiltzen diren erabilera komertzialeko balantzak daude. Balantza horiek supermerkatuko zenbait zerbitzurekin komunikatu behar dira salmenten kontrol bat izateko, produktu berriak kargatzeko, firmwarea eguneratzeko, balantzak maisu edo morroi bezala konfiguratzeko, etab. Komunikazio hau balantza bakoitzaren barnealdean haririk gabeko sare txartel sartuz lortzen da, supermerkatuko sarbide-puntura konektatuta dagoelarik. Orain arte, Dibalek, beste enpresa bateko sare txartelak hautatu, erosi eta egokitu ditu, moldatze arazoak gertaraziz.

Dibalekin hezkuntza praktikak errealizatzeko esparruan, moldatze arazoak kentzeko asmoz, arlo teknikoko zuzendariak Dibalen eskakizunak betetzen dituen sare txartel bat diseinatzea proposatu zion lan honen egileari gradu amaierako lan (GrAL) moduan. GrAL honen emaitza moduan hurrengo bi atal hauek nabarmentzen dira: a) Osagaien eguneratzea eta software migrazioa errazten duen soluzio ireki eta modular baten diseinua egitea, eta b) Planteaturiko hardware eskakizunak guztiz betetzen dituen sare txartel bat garatzea. Ordea, software eskakizunak partzialki bete dira: OpenWRT sistema konfiguratu da sarearen beharrianak betetzen (hau da, guztiz funtzionala da), baina LuCi-aren txantilo sistema konplexua dela eta, ez da izan posible hasieran planteatu genuen bezala konfigurazio interfazea pertsonalizatzea.

**Gako-hitzak:** Wi-Fi, askea, OpenWRT, PCB, PCBA, Dibal

## ABSTRACT

Dibal is a Company that offers weighing and labelling solutions for the commerce and industry sectors. Among their most sold products are the scales for commercial use, used in the vast majority of supermarkets. This scale require communication with certain supermarket services such as sales control, load new products, load new firmware, configure scales in master or slave modes, etc. This communication is achieved by introducing a wireless network card inside each scale configured to connect to the supermarket access point. Until now, Dibas has searched, bought and adapted third-party network cards, which has led to several problems related to the adaptability of the card to the scale.

In the framework of the realization of practices in educational cooperation in Dibal, the technical manager of the company proposed to the author of this work the completion of the Final Degree Project (FDP) that had the purpose to solve the problems arising from the dependence of third-party cards. As a result of the realization of this FDP, two aspects must be highlighted: a) the design of an open and modular solution that facilitates the updating of the components of the card and the migration of the software included in it, and b) the integral development of a network card that fully meets the hardware requirements. However, the software requirements have been partially covered: The OpenWRT operating system of the card has been configured according to the needs of network operation (the card is fully functional), but it has not been possible to customize the configuration interface as it was intended due to the complexity hidden by LuCi template system used in OpenWRT.

**Keywords:** Wi-Fi, open, OpenWRT, PCB, PCBA, Dibal

## GLOSARIO / ACRÓNIMOS

**AP:** Access Point. Punto de acceso inalámbrico.

**BBP:** Ftalato de butilbenzilo, compuesto restringido en RoHS.

**Beacon:** Paquete emitido inalámbricamente por un dispositivo para notificar su presencia a los demás dispositivos.

**CR VI:** Cromo hexavalente, compuesto restringido en RoHS.

**CSS:** Cascading StyleSheets. Lenguaje de marcado que define el estilo de un documento escrito mediante otro lenguaje de marcado, por ejemplo, HTML.

**Datasheet:** Ficha técnica u hoja de características de un componente.

**DBP:** Ftalato de dibutilo, compuesto restringido en RoHS.

**DEHP:** Di(2-etilhexil) ftalato, grupo de compuestos restringidos en RoHS.

**DIBP:** Ftalato de diisobutilo, compuesto restringido en RoHS.

**DIY:** Do It Yourself. Práctica de fabricación o reparación de cosas por uno mismo.

**EOL:** End of Life. Se refiere a la fecha de discontinuación del producto.

**Footprint:** Huella que identifica físicamente la posición de un componente en la PCB.

**FW:** Firmware. Es un programa que contiene una serie de instrucciones que permite al hardware interactuar con el software.

**Github:** Plataforma para alojar proyectos utilizando el Sistema de Control de Versiones (VCS o Version Control System por sus siglas en inglés) Git.

**HTML:** HyperText Markup Language. Lenguaje de marcado estándar para desarrollar páginas web.

**HW:** Hardware.

**LAN:** Local Area Network. Red que abarca un uso local.

**Lua:** Lenguaje de programación basado en C.

**LuCI:** Interfaz de gestión web.

**MOQ:** Minimum Order Quantity. Número mínimo de unidades que un fabricante pide a la hora de desarrollar una solución de un producto personalizado.

**MVC:** Model View Controller. Patrón de arquitectura software basado en los componentes modelo, vista y controlador.

**NDA:** Non-Disclosure Agreement. Contrato legal entre dos entidades para compartir material confidencial restringiendo su uso público.

**Open Source:** Código abierto.

**OSI:** Open System Interconnection. Modelo de referencia normalizado de una pila de protocolos de comunicación de datos.

**PBB:** Bifenilos polibromados, grupo de compuestos restringidos en RoHS.

**PBDE:** Éteres difenil polibromados, grupo de compuestos restringidos en RoHS.

**PCB:** Printed Circuit Board. Placa de circuito impreso.

**PCBA:** Printed Circuit Board Assembly. Placa de circuitos impresos con componentes incluidos.

**Pcs:** Piezas.

**Ping:** Herramienta de diagnóstico de red que comprueba la comunicación entre varios dispositivos mediante la emisión y recepción de paquetes que utilizan el protocolo ICMP.

**Pool:** Rango de direcciones IP que el servidor DHCP puede asignar dinámicamente a sus clientes.

**Roaming:** Itinerancia. En redes WiFi, la capacidad de un cliente de ir registrándose en diferentes redes inalámbricas.

**RoHS:** Restriction of Hazardous Substances. Directiva de la Unión Europea que restringe ciertas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos.

**SMD:** Surface Mount Device. Componentes de montaje superficial.

**Sniffer:** Dispositivo de captura de paquetes de red.

**SoC:** System on Chip. Chip que integra todos o la mayoría de los módulos necesarios que forman un computador en un único encapsulado.

**SoM:** System on Module. Módulo que integra todos o la mayoría de los componentes necesarios que forman un computador en una única placa.

**SSH:** Secure Shell. Protocolo seguro para la administración remota de un dispositivo.

**SSR:** Solid State Relay. Relé en estado sólido.

**STP:** Spanning Tree Protocol. Protocolo de red de capa 2 (modelo OSI) con la función de gestionar los bucles de red.

**SW:** Software.

**THD:** Through Hole Device. Componentes de montaje a través de la placa impresa.

**TTL:** Time To Live. En el proyecto hace referencia al tiempo de vida de determinados paquetes de red.

**UART:** Universal Asynchronous Receiver-Transmitter. Bus universal para la comunicación serie.

**WEEE:** Waste Electrical and Electronic Equipment. Ley de la Unión Europea con el objetivo de promover el reciclaje, la reutilización y la recuperación de residuos eléctricos y electrónicos.

**WLAN:** Wireless Local Area Network. Red inalámbrica que abarca un uso local.

**WPA:** Wi-Fi Protected Access. Estándar de seguridad inalámbrica poco usado actualmente por su vulnerabilidad a la intrusión.

**WPA2:** Wi-Fi Protected Access version 2. Estándar de seguridad inalámbrica con mejor cifrado que el WPA.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. CONTEXTO.....	2
3. OBJETIVOS.....	5
4. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS .....	6
4.1. CARACTERÍSTICAS HARDWARE.....	6
4.2. CARACTERÍSTICAS SOFTWARE .....	6
5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE .....	8
6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS .....	9
6.1. HARDWARE .....	10
6.1.1. PCB .....	10
6.1.1.1. MATERIAL .....	10
6.1.1.2. CAPAS .....	11
6.1.2. COMPONENTES .....	12
6.1.2.1. MÓDULO SYSTEM ON MODULE.....	12
6.1.2.2. CONECTOR RJ45 .....	15
6.1.2.3. REGULADOR DE TENSIÓN .....	17
6.1.2.4. TRANSFORMADORES ETHERNET .....	18
6.1.2.5. LED .....	20
6.1.2.6. BOTON RESET .....	22
6.1.2.7. COMPONENTES PASIVOS .....	24
6.1.2.8. ANTENA.....	24
6.1.3. SW DE DISEÑO DE CIRCUITO Y PCB .....	27
6.2. SOFTWARE.....	28
6.2.1. SISTEMA OPERATIVO EMPOTRADO .....	28
7. SELECCIÓN/DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.....	30
8. METODOLOGIA.....	32
8.1. METODOLOGIA: HARDWARE.....	32
8.1.1. DISEÑO TEÓRICO DE CIRCUITO.....	32
8.1.1.1. ALIMENTACIÓN.....	34
8.1.1.2. ETHERNET .....	35

8.1.1.2.1 TRANSFORMADOR ETHERNET .....	35
8.1.1.2.2 PUERTO RJ45 .....	36
8.1.1.2.3 COMPONENTES PASIVOS .....	37
8.1.1.3. RESET .....	38
8.1.1.4. LEDS .....	38
8.1.2. DISEÑO EN PROTOBOARD .....	41
8.1.3. DISEÑO PCB .....	43
8.1.3.1. FORMA .....	43
8.1.3.2. DISTRIBUCIÓN DE CAPAS Y GROSOR TOTAL .....	44
8.1.3.3. COMPONENTES, PISTAS, VÍAS, Y PLANOS DE MASAMASA ....	45
8.1.3.3.1 ALIMENTACIÓN .....	46
8.1.3.3.2 ETHERNET .....	47
8.1.3.3.3 LEDS .....	48
8.1.3.3.4 RESET .....	49
8.1.3.3.5 SOM .....	49
8.1.3.4. VECTORES .....	50
8.1.3.5. FICHEROS DE PRODUCCIÓN .....	59
8.1.4. PRODUCCIÓN .....	68
8.2. METODOLOGIA: SOFTWARE .....	74
8.2.1. CONFIGURACIÓN FUNCIONAL .....	74
8.2.2. DISEÑO TEÓRICO DE LUCI .....	75
9. PRUEBAS .....	76
9.1. PRUEBAS: HARDWARE .....	76
9.1.1. CONSUMO .....	76
9.1.2. CÁMARA CLIMÁTICA .....	77
9.1.3. QUEMADO .....	78
9.1.4. CAMARA TERMOGRÁFICA .....	80
9.2. PRUEBAS: SOFTWARE .....	81
9.2.1. FUNCIONALIDAD .....	82
9.2.2. RENDIMIENTO Y ESTABILIDAD .....	83
9.3. PRUEBAS: SOM ALTERNATIVO .....	84
10. DIAGRAMA GANTT .....	86



10.1. PAQUETES DE TRABAJO.....	88
11. PRESUPUESTO Y COSTES DE PRODUCCIÓN.....	94
11.1. GASTOS MATERIALES.....	94
11.2. GASTOS DE AMORTIZACIÓN.....	95
11.3. GASTOS DE CONSUMO ELECTRICO.....	96
11.4. GASTOS DE MANO DE OBRA.....	96
11.5. GASTO TOTAL DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	97
11.6. COSTES DE PRODUCCIÓN EN MASA.....	97
12. RESULTADOS.....	99
13. CONCLUSIONES.....	100
14. TRABAJO FUTURO.....	101
15. AGRADECIMIENTOS.....	102
16. BIBLIOGRAFIA.....	103
17. SOFTWARE UTILIZADO.....	106
18. HOJA DE DATOS.....	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Antes y después de desmontar el módulo TP-link 710N .....	3
Figura 2.2. Antes y después de desmontar el módulo Leotec 3003 .....	3
Figura 2.3. TP-link 710N montado en la cama .....	4
Figura 2.4. Leotec 3003 montado en la cama.....	4
Figura 4.1. Migración de sistema .....	7
Figura 6.1. SoM Domino core .....	13
Figura 6.2. SoM Skylab SKW72 .....	13
Figura 6.3. SoM Onion Omega 2 (Wikipedia Onion Omega, 2018) .....	14
Figura 6.4. SoM Dragino.....	14
Figura 6.5. Conector WE 74990110030 (Digikey, 2018) .....	15
Figura 6.6. Conector WE 615016137621 (We Online, 2018).....	16
Figura 6.7. Conector Conexcon 7642 – T881 (Conexcon, 2018).....	16
Figura 6.8. Regulador LM317 SMD (Pining, 2018) y THD (Potentiallabs, 2018).....	17
Figura 6.9. Regulador MPM3510AGQV-Z (Codicoo, 2018) .....	17
Figura 6.10. Regulador TRACO TSR 1-2433 (Asset Conrad, 2018) .....	18
Figura 6.11. Transformador Ethernet CP H1601CG (Mnc-tek, 2018).....	19
Figura 6.12. Transformador Ethernet Pulse HX1188NL (TME, 2018) .....	19
Figura 6.13. Transformador Ethernet Atech ATPL-046 (CDR, 2018) .....	20
Figura 6.14. Botón SMD (Sparkfun, 2018) .....	22
Figura 6.15. Botón THD (Mechatronic Store, 2018) .....	23
Figura 6.16. Botón alargado .....	23
Figura 6.17. Funcionamiento antena dipolo (Wikipedia Antena Dipolo, 2018).....	24
Figura 6.18. Antenas disponibles en Dibal.....	26
Figura 6.19. Antena 2J.....	26
Figura 6.20. Diagrama arquitectura MVC (Wikipedia MVC, 2018) .....	28
Figura 7.1. Concepto PCBA en 3D .....	31
Figura 7.2. Concepto interfaz web.....	31
Figura 8.1. Domino Core pinout (Domino, 2018).....	33
Figura 8.2. Pinout MPM3510AGQV (Monolithicpower, 2018).....	34
Figura 8.3. Circuito de alimentación .....	35
Figura 8.4. Topología transformador Ethernet .....	36
Figura 8.5. Pinout RJ45 hembra y macho (Pbxbook, 2018).....	36
Figura 8.6. Conexiones RJ45.....	37
Figura 8.7. Circuito Ethernet .....	37
Figura 8.8. Circuito RESET .....	38
Figura 8.9. Circuito LEDs .....	39
Figura 8.10. Circuito entero.....	40
Figura 8.11. Circuito LM317.....	41
Figura 8.12. Protoboard de SoM, LED, reset y alimentación .....	42
Figura 8.13. Protoboard de Ethernet.....	42
Figura 8.14. Cama base y módulo anterior con cama .....	43
Figura 8.15. Plano en KiCad, 2D y 3D.....	44

Figura 8.16. Estructura MPM3510AGQV recomendado (Monolithicpower, 2018) .....	46
Figura 8.17. Circuito alimentación PCB en 2D y 3D .....	47
Figura 8.18. Circuito Ethernet PCB en 2D y 3D .....	48
Figura 8.19. Circuito LED PCB en 2D y 3D .....	48
Figura 8.20. Circuito reset PCB en 2D y 3D .....	49
Figura 8.21. Modelo 3D del SoM .....	49
Figura 8.22. Circuito SoM PCB en 2D y 3D .....	50
Figura 8.23. Vector logo Dibal e identificativo interno de la placa .....	50
Figura 8.24. Vectores RoHS y WEEE .....	51
Figura 8.25. Capa 1 2D .....	52
Figura 8.26. Capa 2 2D .....	53
Figura 8.27. Capa 3 2D .....	54
Figura 8.28. Capa 4 2D .....	55
Figura 8.29. Todas las capas en 2D .....	56
Figura 8.30. PCBA 3D imagen 1 de 3 .....	57
Figura 8.31. PCBA 3D imagen 2 de 3 .....	58
Figura 8.32. PCBA 3D imagen 3 de 3 .....	59
Figura 8.33. Fichero de fabricación TOP.gbr .....	61
Figura 8.34. Fichero de fabricación L2.gbr .....	61
Figura 8.35. Fichero de fabricación L3.gbr .....	62
Figura 8.36. Fichero de fabricación BOTTOM.gbr .....	62
Figura 8.37. Fichero de fabricación SMCS.gbr .....	63
Figura 8.38. Fichero de fabricación SMPS.gbr .....	63
Figura 8.39. Fichero de fabricación SSCS.gbr .....	64
Figura 8.40. Fichero de fabricación SPCS.gbr .....	64
Figura 8.41. Fichero de fabricación P_DRILLS.drl .....	65
Figura 8.42. Fichero de fabricación NP_DRILLS.drl .....	65
Figura 8.43. Fichero de fabricación DRILL_MAP.pdf .....	66
Figura 8.44. Fichero de fabricación ASCS.pdf .....	67
Figura 8.45. PCB sin componentes .....	69
Figura 8.46. A la izquierda las cámaras de control y a la derecha la estantería robotizada. ....	69
Figura 8.47. Máquina pick & place .....	70
Figura 8.48. Máquina AOI .....	71
Figura 8.49. Mi compañero Aitor Sanepifanio y yo en la planta de Lantegi Batuak .....	71
Figura 8.50. Placa terminada, vista lateral .....	72
Figura 8.51. Placa terminada, vista superior .....	72
Figura 8.52. Placa terminada, vista inferior .....	73
Figura 8.53. Placa terminada montada en cama y con botón reset .....	73
Figura 8.54. Placa terminada montada en balanza .....	74
Figura 9.1. Captura intensidad osciloscopio .....	76
Figura 9.2. Cámara climática con la balanza en el interior, punto de acceso y PC .....	78
Figura 9.3. Genuino y SSR .....	79
Figura 9.4. Evolución de la temperatura en función del tiempo .....	80

Figura 9.5. Imagen termográfica del funcionamiento estacionario del borde de la placa base de la balanza (izquierda) y del módulo (derecha) .....	81
Figura 9.6. Captura paquetes STP con Wireshark.....	82
Figura 9.7. Captura paquetes EAPOL con wireshark.....	83
Figura 9.8. Skylab SKW72 a la izquierda, Dragino a la derecha .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6.1. Acrónimos .....	9
Tabla 6.2. Alternativas de materiales .....	11
Tabla 6.3. Alternativas de capas .....	12
Tabla 6.4. Alternativas de SoM .....	14
Tabla 6.5. Alternativas de conectores RJ45 .....	16
Tabla 6.6. Alternativas de reguladores de tensión .....	18
Tabla 6.7. Alternativas de encapsulado LED .....	20
Tabla 6.8. Propiedades de colores LED .....	21
Tabla 6.9. Alternativas de colores LED .....	21
Tabla 6.10. Alternativas de botones .....	23
Tabla 6.11. Alternativas de componentes pasivos .....	24
Tabla 6.12. Alternativas de formato de antenas .....	25
Tabla 6.13. Alternativas de SW de diseño .....	27
Tabla 6.14. Alternativas de firmware .....	29
Tabla 8.1. Fichero de fabricación BOM.xls .....	68
Tabla 9.1. Comparación tiempos envío de 10k artículos .....	84
Tabla 9.2. Comparación de resultados de carga de FW .....	84
Tabla 10.1. Planteamiento del problema .....	88
Tabla 10.2. Definición de requisitos .....	88
Tabla 10.3. Planteamiento teórico .....	89
Tabla 10.4. Presentación viabilidad .....	89
Tabla 10.5. Desarrollo HW, diseño teórico del circuito .....	90
Tabla 10.6. Desarrollo HW, pruebas en protoboard .....	90
Tabla 10.7. Desarrollo HW, diseño del circuito PCBA .....	90
Tabla 10.8. Desarrollo HW, proceso de fabricación PCBA .....	91
Tabla 10.9. Desarrollo HW, pruebas de PCBA .....	91
Tabla 10.10. Desarrollo SW, estudio e investigación .....	92
Tabla 10.11. Desarrollo SW, pruebas en protoboard .....	92
Tabla 10.12. Desarrollo SW, pruebas en PCBA .....	93
Tabla 10.13. Redacción memoria .....	93
Tabla 11.1. Presupuesto de gastos materiales .....	94
Tabla 11.2. Presupuesto de amortización de maquinaria .....	95
Tabla 11.3. Presupuesto de gastos de consumo eléctrico .....	96
Tabla 11.4. Presupuesto de gastos de mano de obra .....	97
Tabla 11.5. Gastos totales del desarrollo del proyecto .....	97
Tabla 11.6. Costes producción 3000pcs considerando gastos del desarrollo .....	98
Tabla 11.7. Costes producción de 3000pcs sin considerar los gastos del desarrollo .....	98

## **1. INTRODUCCIÓN**

DIBAL S.A., con presencia desde 1985, es una empresa que ofrece soluciones de pesaje y etiquetado para los sectores del comercio y la industria. Actualmente, es el principal fabricante español en el sector del comercio y cuenta, además, con una importante presencia internacional, exportando más del 60% de su producción a más de 60 países.

En el proceso de fabricación de HW, los componentes como carcasas, PCBA, teclados etc. son de fabricación externa, pero de diseño propio. También se dispone de una planta de fabricación en Kunshan, China, donde se fabrican algunas de las piezas. Finalmente, todas las balanzas se ensamblan y testean en la planta ubicada en Derio.

El proceso de desarrollo de SW se realiza completamente en la planta de Derio.

## 2. CONTEXTO

Actualmente, las balanzas de Dibal llevan integrados módulos Wi-Fi comerciales. El proceso comienza con un estudio de las alternativas disponibles en el mercado que puedan cumplir los requisitos. Dicho estudio se realiza de dos pasos: haciendo uso del buscador Google y contactando con fabricantes de módulos Wi-Fi. Después, se adquieren los módulos candidatos y se evalúa y compara el rendimiento y funcionalidad de cada uno de ellos. Una vez evaluados, se escoge el módulo que ha obtenido los mejores resultados, se extrae la PCB de su carcasa (Figura 2.1 y Figura 2.2) y se realizan algunos cambios de hardware, por ejemplo, cambiar el conector de alimentación, añadir un transformador o alargar el botón de reset. Por último, las placas se anclan sobre camas de plástico (Figura 2.3 y Figura 2.4) y se introducen en las balanzas. Algunos de los módulos usados son, por ejemplo, TP-link 710N, Leotec 3003 y Alfa AP121.

Este modo de trabajo no es sostenible por las siguientes razones:

- Depende de la búsqueda constante de nuevos módulos Wi-Fi por el EoL limitado por el fabricante.
- Genera incertidumbre acerca de la disponibilidad de módulos que cumplan los requisitos en un futuro.
- Hace que las características de software y hardware vengan dadas por el fabricante en lugar de estar definidas por Dibal.
- Requiere de constantes modificaciones de las instrucciones de montaje y configuración cada vez que se introduce un modelo de módulo distinto.
- Adolece de un mayor abanico de posibles problemas futuros al tener varios modelos distintos en el los clientes.
- Utiliza sistemas operativos cerrados con posibilidad nula de personalización propia.
- Presenta una interfaz de configuración no propia de Dibal, dando una imagen poco corporativa y poco profesional.

Para hacer frente a estos inconvenientes, este TFG propone el diseño y fabricación ad-hoc, desde cero, de una tarjeta de red que ofrezca la conectividad inalámbrica que requieren las balanzas fabricadas por la Dibal.

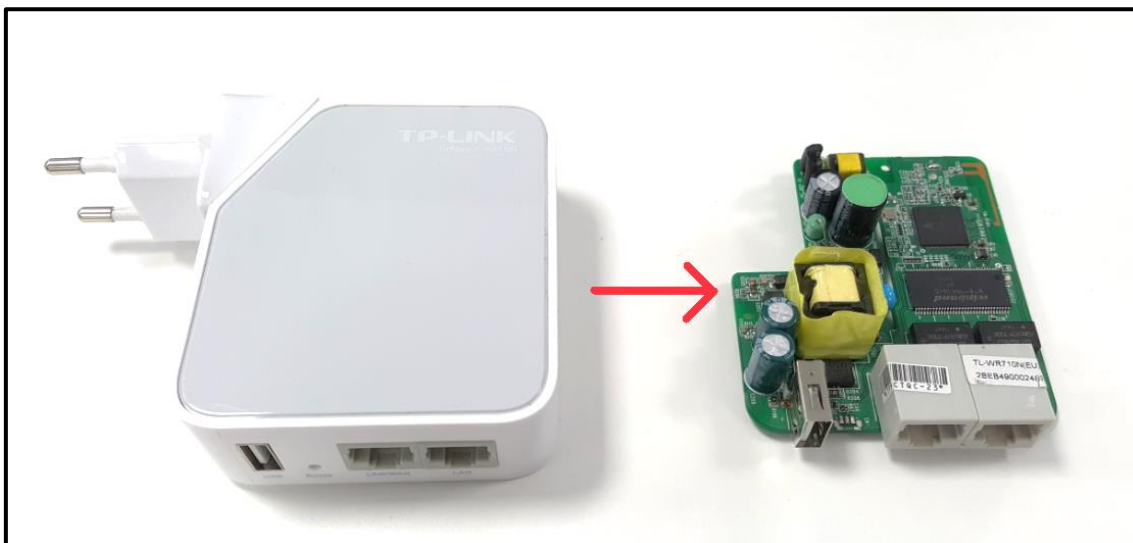


Figura 2.1. Antes y después de desmontar el módulo TP-link 710N

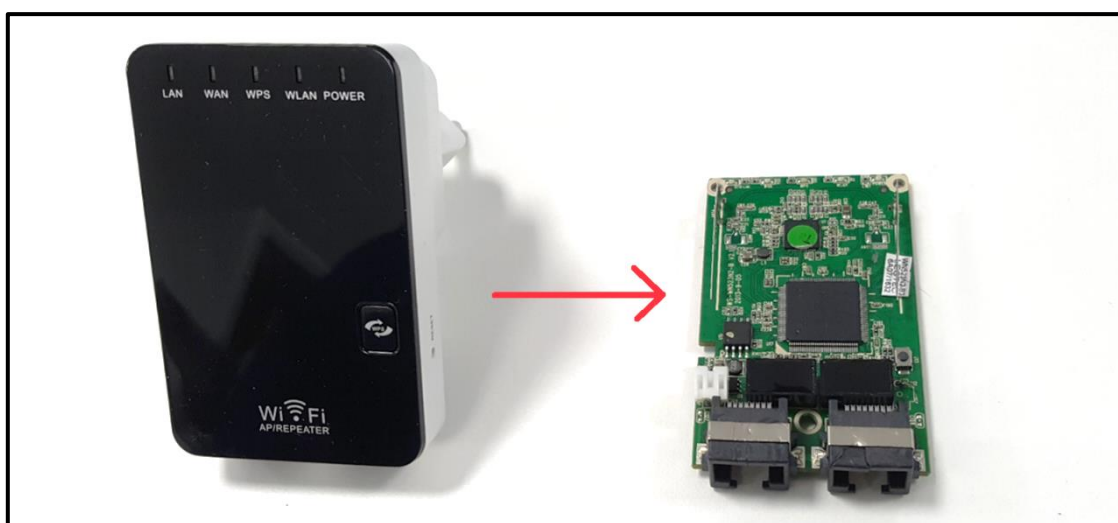


Figura 2.2. Antes y después de desmontar el módulo Leotec 3003





Figura 2.3. TP-link 710N montado en la cama

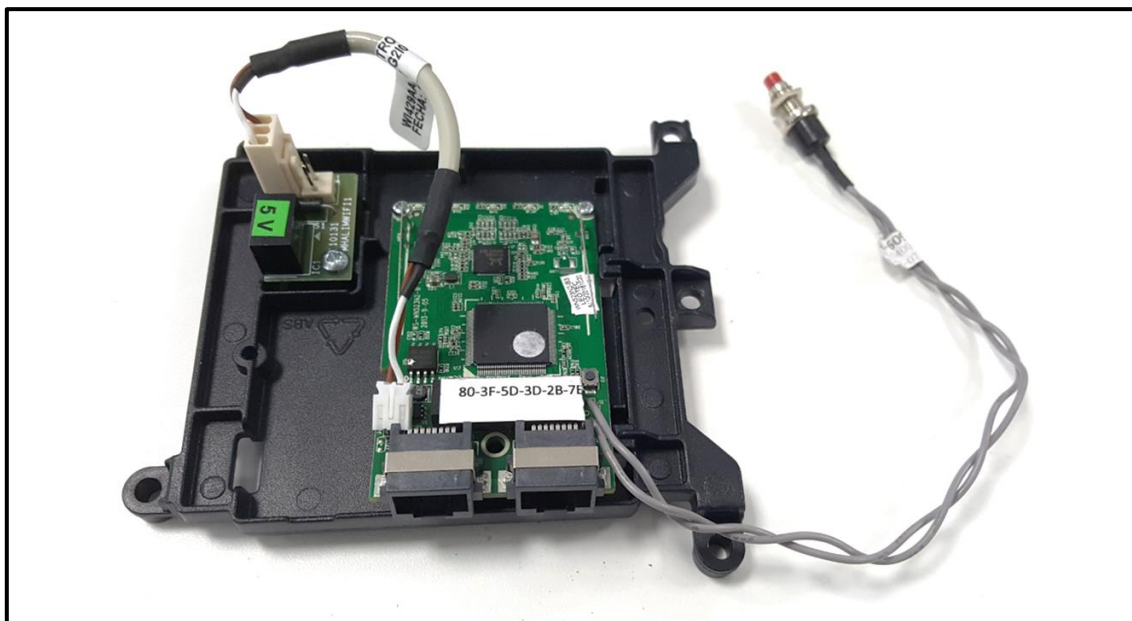


Figura 2.4. Leotec 3003 montado en la cama

## 3. OBJETIVOS

El objetivo principal del este Trabajo Fin de Grado consiste en el diseño ad-hoc, desde cero, de una tarjeta de red que ofrezca la conectividad inalámbrica que requieren las balanzas fabricadas por la Dibal. Para alcanzar dicho objetivo principal, se plantean los siguientes objetivos secundarios:

- HW:
  - Diseño del circuito y PCB mediante software de código abierto.
  - Análisis de las alternativas para la selección de la PCB.
  - Análisis de las alternativas para la selección de los componentes.
  - Fabricación de la PCB y montaje de los componentes.
  - Pruebas de estrés térmico, consumo y quemado.
- SW:
  - Instalación de un sistema operativo de código abierto en el SoM.
  - Modificación y diseño de las plantillas web de configuración y gestión del sistema operativo.
  - Pruebas de rendimiento y funcionalidad.

### 4. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS

Como solución se plantea el diseño ad-hoc de una tarjeta de red inalámbrica, tanto el HW como el SW. De este modo nosotros vamos a poder definir todas las características del módulo que interesen, las cuales se indican a continuación.

#### 4.1. CARACTERÍSTICAS HARDWARE

- Tamaño del PCB: Para aprovechar la base de montaje de los módulos anteriores y minimizando costos finales, debe ser menor que 100x90x20mm.
- Cantidad de puertos RJ45: dos, uno para conectar a la CPU de la balanza y otra al puerto exterior.
- Antenas: Antena interna o conector UFL para antena externa.
- Periféricos: Botón reset.
- Voltaje de entrada a la fuente de alimentación: 5V.
- Cantidad de LEDs: cuatro, ON, WLAN, LAN1 y LAN2.

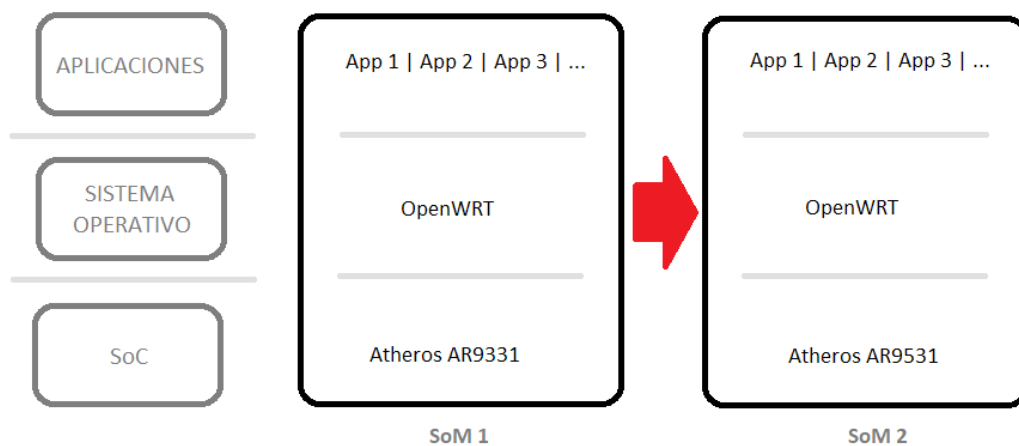
#### 4.2. CARACTERÍSTICAS SOFTWARE

- Modo de funcionamiento: Modo cliente.
- Puente entre interfaces: Interfaces WLAN, LAN1 y LAN2 puenteados.
- Configuración IP: Estática o dinámica.
- Estándar inalámbrico: IEEE 802.11n
- Encriptación: WPA2-PSK AES
- Introducción del SSID: Manual y mediante escaneo.
- Protocolo para evitar bucles de red: STP.
- Parámetros por defecto.
- Crear/cargar fichero de configuración.
- Tipos de reset: 2, fabrica y pre-configurado.
- Herramientas de diagnóstico: Emisión de ping.
- Interfaz web personalizada.

Además, el proyecto está enfocado con una filosofía "Open Source". Un punto fuerte de un software de código abierto es la compatibilidad entre distintos módulos que parten de una misma base. Esto nos brinda la posibilidad de migrar el sistema entero a un HW

#### 4. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS

distinto tan solo realizando pequeños cambios de HW o SW para asociar los pines del nuevo SoM a los periféricos. En la Figura 4.1 se muestra un ejemplo de la migración del sistema a un SoM con SoC distinto. Al no estar sujetos al HW de un solo fabricante, se minimiza drásticamente el problema del EoL.



**Figura 4.1. Migración de sistema**

Otra ventaja es que el desarrollo de SW deja de estar centralizado en el fabricante. Gracias a esto, existe la posibilidad de encontrar mucha información en la comunidad de Open Source, disponible en Internet.

## **5. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE**

Tal y como se ha indicado anteriormente en el Capítulo 2, no existe ningún módulo Wi-Fi con un diseño de HW y SW específico para ofrecer conectividad inalámbrica a las balanzas de Dibal.

## 6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

A continuación, se analizan todas las alternativas disponibles para la elección de los elementos necesarios para la realización diseño integral, separando los elementos necesarios para diseño del HW y de los del SW.

Dentro del apartado de HW las alternativas a analizar son:

- **PCB:** Material, capas, programa de diseño de circuito y PCB.
- **Componentes:** SoM, Leds, conector RJ45, regulador de tensión, transformador Ethernet, antena y componentes pasivos.
- **SW para desarrollar el HW**

En el apartado de SW las alternativas a analizar son los sistemas operativos empotrados. Al final de cada análisis de alternativa, se ponderan del 1 al 10 los distintos criterios argumentando cada selección. En la Tabla 5.1 se muestran los acrónimos de los criterios utilizados para valorar las alternativas:

Tabla 6.1. Acrónimos

Criterio	Acrónimo
Inmunidad ruido	INM
Tamaño	TAM
Eficiencia	EFI
Potencia	POT
Precio	PRE
Rendimiento	REN
Propiedades mecánicas	PRO
Acabados	ACA
Comunidad	COM
Soporte	SOP
Densidad	DEN
Estética	EST
Información disponible	INF
Facilidad	FAC
Funciones	FUN
Accesibilidad	ACC
Compatibilidad	COP

## 6.1. HARDWARE

### 6.1.1. PCB

En el mercado existen decenas de tipos de PCB de distintos grosores, materiales, capas, etc. Por lo tanto, a la hora de elegir la PCB es necesario hacer un estudio de alternativas para ver cuál es la que mejor se adapta a nuestras necesidades.

#### 6.1.1.1. MATERIAL

Los tipos de materiales más comunes son las series FRx y CEMx, las cuales hacen referencia a Fire Retardant y a su composición, respectivamente. Dentro de cada serie hay PCB de distintos materiales con diferentes características.

- **FR2:** Compuesto de capas de papel prensado impregnados en una resina fenólica. Permite capas de cobre en ambas caras, pero ninguna interior. Resistente al fuego, bajo coste, propiedades mecánicas pobres y no se recomiendan perforaciones metalizadas. Se usa para acabados de baja calidad. (Microensamble FR2, 2018)
- **FR4:** Compuesto de capas de fibra de vidrio impregnados en una resina de Epoxi. Permite capas de cobre en ambas caras y varias capas en el interior. Resistente al fuego, coste medio, propiedades mecánicas excelentes y se permiten perforaciones metalizadas. Se usa para acabados de media y alta calidad. (Microensamble FR4, 2018)
- **FR5:** Compuesto de capas de fibra de vidrio impregnados en una resina de Epoxi a alta temperatura. Permite capas de cobre en ambas caras y varias capas en el interior. Resistente al fuego a temperaturas más elevadas que el FR4, coste alto, propiedades mecánicas excelentes y se permiten perforaciones metalizadas. Se usa para acabados de alta calidad. (Microensamble FR5, 2018)
- **CEM1:** Compuesto por un núcleo de láminas de papel de celulosa recubierto de una tela de vidrio impregnada en una resina de Epoxi. Resistente al fuego, coste bajo, propiedades mecánicas medias y no se recomiendan perforaciones metalizadas. Se usa para acabados de baja/media calidad. (Microensamble CEM1, 2018)
- **CEM3:** Compuesto por un núcleo de láminas de fibra de vidrio no tejidas, recubiertas de una tela de vidrio impregnada en una resina de Epoxi. Permite capas de cobre en ambas caras y varias capas en el interior. Resistente al fuego, coste medio, propiedades mecánicas buenas y se permiten perforaciones metalizadas. Se usa para acabados de media y alta calidad. (Microensamble CEM3, 2018)

Además de los tipos mencionados, hay otros muchos tipos para aplicaciones muy específicas, por ejemplo: núcleo de aluminio, flexibles, núcleo de cerámica, de teflón, etc. Estos tipos se descartan directamente al no necesitar dichas propiedades específicas.

Tabla 6.2. Alternativas de materiales

Material	PRE	ACA	PRO	CAP	Resultado
Peso (%)	30	30	20	20	100
FR2	9	2	3	3	4.5
FR4	7	7	9	9	7.8
FR5	4	9	9	9	7.5
CEM1	9	3	4	3	5
CEM3	6	6	9	9	7.2

Las características más importantes son el precio y el acabado. Se busca un material de buenos acabados manteniendo un precio ajustado. También interesa que la PCB tenga buenas propiedades mecánicas para no dañarla en los distintos procesos de montaje y manipulación; por ejemplo, en el proceso de inserción del módulo en su base. Por último, interesa que sea posible insertar varias capas en la PCB para tener un diseño más compacto.

El material que mejor cumple los criterios ponderados es el FR4.

### 6.1.1.2. CAPAS

Dependiendo de la densidad, el tamaño, la inmunidad al ruido y el precio, la PCB precisará de un mayor o menor número de capas. A mayor cantidad de capas, mayor densidad, posiblemente mejor inmunidad al ruido (por tener la opción de incluir capas GND) y mayor precio.

- **1 capa:** Pistas y componentes sólo por una cara de la PCB. Usado en circuitos simples.
- **2 capas:** Pistas y componentes por ambas caras de la PCB. Se usa en circuitos que requieren mayor densidad.
- **3 capas:** Pistas por ambas caras y una por el interior de la PCB. Componentes en ambas caras. Requiere CEM3, FR4 o FR5.
- **4 capas:** Pistas por ambas caras y dos por el interior de la PCB. Componentes en ambas caras. Requiere CEM3, FR4 o FR5.
- **Más de 4 capas:** Pistas por ambas caras y más de dos por el interior de la PCB. Componentes en ambas caras. Requiere CEM3, FR4 o FR5.



Tabla 6.3. Alternativas de capas

Capas	PRE	DEN	INM	Resultado
Peso (%)	40	30	30	100
1 CAPA	9	2	2	4.8
2 CAPAS	8	4	6	6.2
3 CAPAS	7	6	7	6.7
4 CAPAS	6	7	8	6.9
> 4 CAPAS	3	9	9	6.6

A medida que se incluyen más capas, la PCB tendrá mayor densidad y mejor inmunidad al ruido si se diseña correctamente; sin embargo, el precio será mayor.

Tal y como se puede observar en la Tabla 5.3, la opción que mejor se ajusta a los criterios planteados en la Tabla 5.1 es la de 4 capas.

### 6.1.2. COMPONENTES

A continuación, se van a analizar las distintas opciones de componentes necesarios para el diseño de la PCB. Todas las referencias de precios son considerando una compra de 500 pcs en las tiendas online Farnell o Digikey.

#### 6.1.2.1. MÓDULO SYSTEM ON MODULE

El SoM es el núcleo del módulo Wi-Fi: en él están la CPU, RAM y memoria Flash, entre otros componentes. Actualmente todos los System On Module que ofrecen conectividad inalámbrica trabajan en el estándar 802.11n en la banda de 2,4Ghz. En un futuro se implementará también el estándar 802.11ac (banda 5Ghz) en este tipo de dispositivos.

El TFG se basará en SoC Atheros AR9331 por su excelente relación calidad/precio y por ser el más usado para módulos Wi-Fi. Además, los módulos utilizados anteriormente por Dibal basados en este SoC han tenido un rendimiento bueno en velocidad y estabilidad de transmisión de datos, mientras que de otras marcas como Mediatek o Realtek han tenido problemas de estabilidad y funcionalidad.

Partiendo del AR9331, los distintos fabricantes de SoM los diseñan con las características que ellos deciden (tamaño de memoria Flash y RAM, dimensiones de la PCB, cantidad de GPIO...). El consumo es el mismo en todos los dispositivos encontrados: 0,5W.

- **Domino Core:** SoM con 64Mb de RAM y 16Mb de Flash, ofrece pines para 3 puertos RJ45. De fábrica viene con un sistema operativo Linux para sistemas empotrados muy popular en la comunidad open-source y de amplia difusión en routers domésticos y ordenadores de placa reducida, OpenWRT. Los fabricantes

del módulo, GL-inet, ofrecen soporte de SW y HW para adaptar su módulo a las necesidades del cliente. Precio de 11€.



Figura 6.1. SoM Domino core

- **Skylab SKW72:** SoM con 64Mb de RAM y 8Mb de Flash, soporta hasta 5 puertos RJ45. De serie lleva instalado un software propio del fabricante y en Internet no hay información para compilar un sistema abierto para este módulo. Precio de 10€.

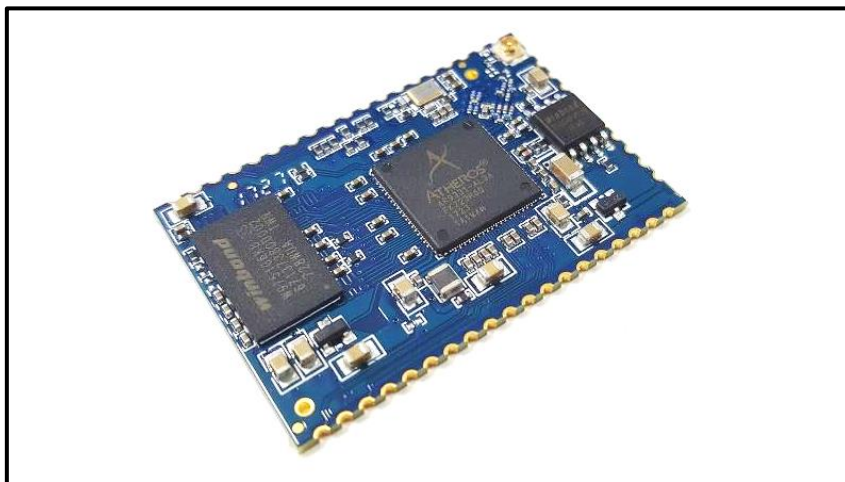


Figura 6.2. SoM Skylab SKW72

- **Onion Omega 2:** SoM con 64Mb de RAM y 16Mb de Flash. De fábrica lleva instalado una distribución de OpenWRT con una capa de personalización del propio fabricante. Ofrecen un gran soporte para el desarrollo del SW y HW. La mayor desventaja es que solo ofrece pines para un solo puerto RJ45. Precio de 10€.



Figura 6.3. SoM Onion Omega 2 (Wikipedia Onion Omega, 2018)

- **Dragino:** SoM con 64Mb de RAM y 16Mb de Flash. De fábrica lleva instalado un OpenWRT genérico. Los fabricantes ofrecen soporte de Software y Hardware. Precio de 11€.

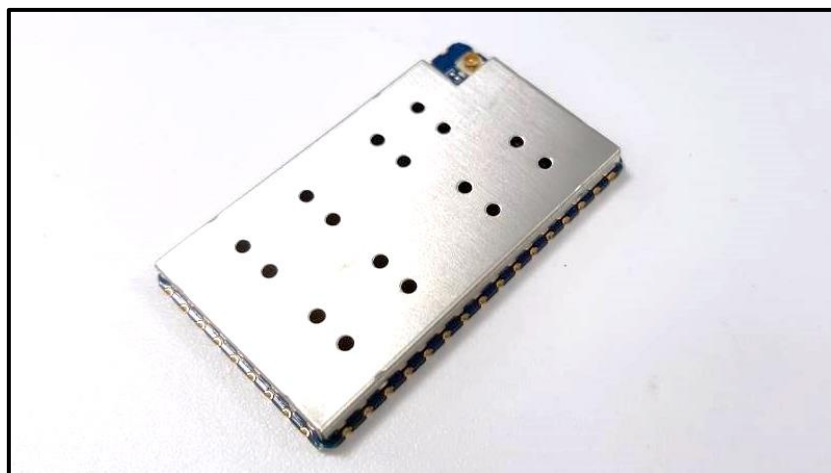


Figura 6.4. SoM Dragino

Tabla 6.4. Alternativas de SoM

SoM	PRE	REN	TAM	SOP	Resultado
Peso (%)	20	20	20	40	100
Domino Core	7	9	8	8	8
Skylab SKW72	8	6	9	1	5
Dragino	7	9	8	6	7.2

Para escoger el módulo, lo más importante es el soporte/comunidad que tiene porque este aspecto servirá de mucha ayuda en el diseño del HW y el SW. Otras variables a tener en cuenta son el precio, rendimiento (RAM y Flash) y tamaño.

El que mejor se adapta a los criterios definidos es el “Domino Core”, no obstante, se obtendrán unidades de las otras dos opciones para estudiar si valen como sustituto del Domino Core.

### 6.1.2.2. CONECTOR RJ45

Para poder ofrecer comunicación vía cable Ethernet al SoM hace falta utilizar conectores RJ45 hembra.

Algunos modelos de conectores RJ45 tienen un apantallado metálico alrededor del conector para poder conectarlo a un pequeño circuito de la PCB, con el objetivo de eliminar el ruido electromagnético proveniente del exterior. Los precios del apantallado son ligeramente mayores en comparación a los que no lo llevan. Sin embargo, la decisión dependerá más del entorno en el que se trabaje, ya que en situaciones de mucho ruido electromagnético un conector sin apantallado puede llegar a tener un funcionamiento errático. Para el proyecto, se utilizará un conector con apantallado que garantice el correcto funcionamiento del dispositivo en cualquier situación.

Otro punto importante a considerar son la cantidad de pines del conector: el SoM requiere un conector de 8 pines (el estándar en la mayoría de dispositivos), por lo que directamente se descartan los que no tengan esa cantidad de pines.

Todos los modelos estudiados son de formato THD, entre ellos, estas son las opciones más interesantes:

- **WE 74990110030:** Conector individual con transformador Ethernet integrado, no haría falta instalar transformadores Ethernet aparte. Precio de 3,90€.



Figura 6.5. Conector WE 74990110030 (Digikey, 2018)

- **WE 615016137621:** Conector dual. Precio de 3€.

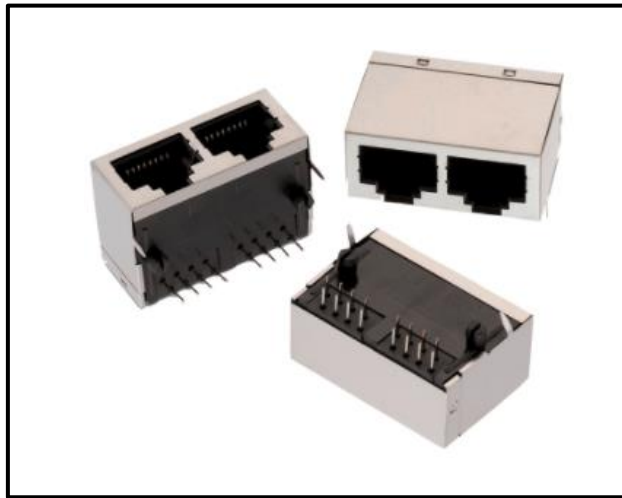


Figura 6.6. Conector WE 615016137621 (We Online, 2018)

- **Conexcon 7642 – T881:** Conector individual. Precio de 1€.

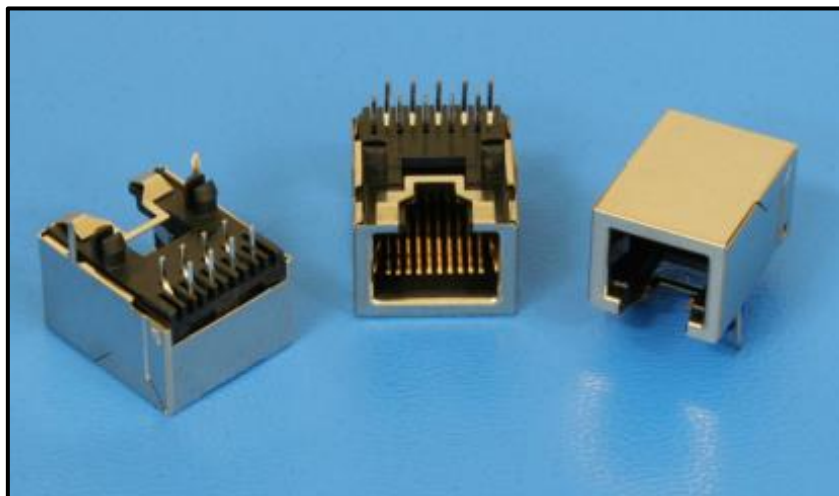


Figura 6.7. Conector Conexcon 7642 – T881 (Conexcon, 2018)

Tabla 6.5. Alternativas de conectores RJ45

Conector RJ45	PRE	TAM	Resultado
Peso (%)	90	10	100
WE 74990110030	7	8	7.1
WE 615016137621	7	8	7.1
Conexcon 7642– T881	9	6	8.7

De las tres posibles opciones, las características adicionales de las dos primeras darían como resultado un diseño más compacto, pero más caro, por esta razón, se ha seleccionado la última opción por su mejor equilibrio entre tamaño y precio.

### 6.1.2.3. REGULADOR DE TENSION

La alimentación para módulo Wi-Fi de la balanza es de 24V de corriente continua, mientras que el SoC Atheros AR9331 funciona con 3,3V, por lo tanto, es necesario un convertidor de tensión que ofrezca una tensión de 3,3V. Éstas son las opciones más interesantes:

- LM317:** Conversor de tensión lineal de uso general con amplio rango de tensiones de salida, ofreciendo desde un mínimo de 1,2V hasta un máximo de 37V. La intensidad máxima que puede ofrecer es de carácter variable, dependiendo de la diferencia de tensión entre entrada y la salida. Dicha tensión de salida se ajusta mediante dos resistencias. Su mayor desventaja es su baja eficiencia: una gran parte de la energía se pierde en forma de calor ya que la potencia disipada en este tipo de regulador será la diferencia entre el voltaje de entrada y salida multiplicado por la intensidad que circula. Encapsulado SMD o THD. El precio es de 0,235€.

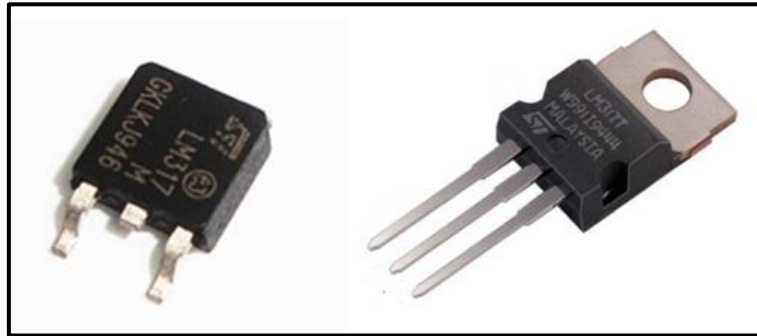


Figura 6.8. Regulador LM317 SMD (Pinimg, 2018) y THD (Potentiallabs, 2018)

- MPM3510AGQV-Z:** Regulador de tensión de conmutación alta eficiencia. Puede ofrecer desde 1V hasta 5V de salida dependiendo de la configuración de los componentes externos. Ofrece un máximo de 1,2 de salida. Encapsulado SMD (3mm x 5mm x 1.6mm). Precio de 2,94€.

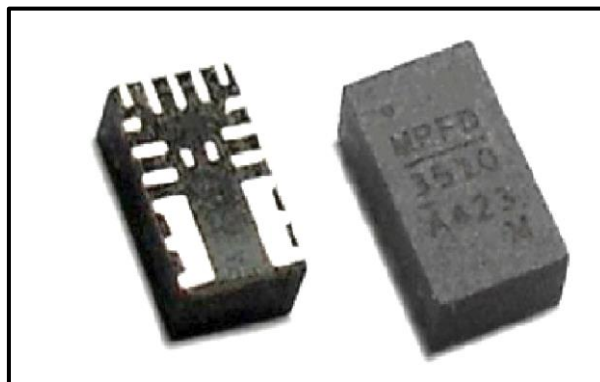


Figura 6.9. Regulador MPM3510AGQV-Z (Codigo, 2018)

- **TRACO TSR 1-2433:** Regulador de tensión de conmutación de alta eficiencia. Esta versión ofrece una tensión de salida de 3,3V. La versión de 12V y 5V de salida son usados por Dibal en algunas PCBA. En su circuito requiere la instalación de un diodo de ruptura. Ofrece un máximo de 1A. Formato THD. Precio de 4.15€.



Figura 6.10. Regulador TRACO TSR 1-2433 (Asset Conrad, 2018)

Tabla 6.6. Alternativas de reguladores de tensión

Reg. Tensión	PRE	EFI	TAM	Resultado
Peso (%)	20	40	40	100
LM317	9	3	6	5
MPM3510AGQV	4	8	9	7.6
TRACO	2	8	4	5.2

Para el prototipo de la protoboard se puede utilizar cualquiera de los 3 modelos, puesto que el voltaje de salida es el mismo y la intensidad máxima que pueden ofrecer supera el mínimo requerido por los SoM. Para la PCB se utilizará un regulador más eficiente para que el dispositivo tenga un consumo menor y evitar problemas de sobrecalentamiento. La primera opción es el MP3510AGQV, pero tras la buena experiencia de Dibal con los transformadores de la casa TRACO, sería interesante incluir su footprint por si surgiera algún problema con la primera opción.

#### 6.1.2.4. TRANSFORMADORES ETHERNET

La especificación de Ethernet, IEEE 802.3, requiere la instalación de un transformador magnético por cada puerto RJ-45. La principal función de este componente es la proteger el dispositivo ante el offset del GND de otro dispositivo cuando el cable Ethernet esté conectado. También sirve para eliminar el ruido proveniente del mismo cable.

Dependiendo de la velocidad de transmisión de datos, existen distintos transformadores, por ejemplo, 10Base-T, 100Base-T o Gigabyte.

El SoC Atheros 9331 trabaja a 10/100 Mbit/s, por lo tanto, hay que seleccionar un transformador 10/100Base-T. Dibal usa transformadores Ethernet con las mismas especificaciones en varios modelos de placas de balanza, por lo que haremos uso de los mismos para ahorrar costes y tener la seguridad de que funcionen correctamente.

- **CP H1601CG:** No disponible en Farnell/Digikey. Esto supone un problema al ser los principales distribuidores de componentes Dibal.



Figura 6.11. Transformador Ethernet CP H1601CG (Mnc-tek, 2018)

- **Pulse HX1188NL:** Precio de 2,5 €

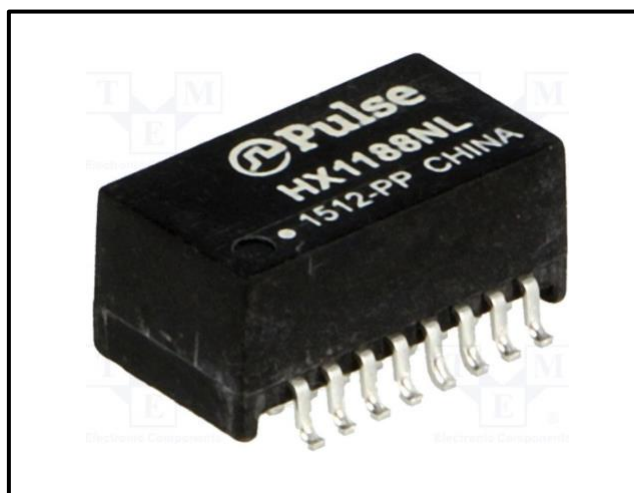


Figura 6.12. Transformador Ethernet Pulse HX1188NL (TME, 2018)



- **Atech ATPL-046:** No disponible en Farnell/Digikey



Figura 6.13. Transformador Ethernet Atech ATPL-046 (CDR, 2018)

Los tres modelos mencionados tienen un tamaño de encapsulado parecido y un bobinado interior con la misma topología, las únicas variables son la disponibilidad y el precio. Para el prototipo se hará uso de cualquier modelo disponible en Dibal, sin embargo, para la producción en masa se utilizará el que el distribuidor disponga al mejor precio.

#### 6.1.2.5. LED

En este apartado no se comparan distintos fabricantes porque los precios de los modelos LED son muy parecidos.

Los puntos a analizar tienen el objetivo de definir las características y que después el montador de la PCBA escoja el LED más barato del momento.

- **Encapsulado:** Existen Leds en formato SMD y THD. Dentro cada formato también hay varios tamaños o diámetros distintos.

Tabla 6.7. Alternativas de encapsulado LED

LED-Encapsulado	PRE	TAM	Resultado
Peso (%)	10	90	100
SMD 0805	8	9	8.9
SMD 1206	7	7	7
THD 3mm	7	4	4.3
THD 5mm	7	2	2.5

Para integrarlo en la PCB interesa que los LED tengan el menor tamaño posible para evitar problemas de espacio dentro de las balanzas. El precio no tiene mucha importancia porque la diferencia entre los distintos encapsulados es minúscula.

- **Color:** En el mercado hay LEDs de todos colores. Cada longitud de onda del espectro visible representa un color, por ejemplo, el color rojo se da entre 620-750nm, verde 495-570nm, etc. Para lograr que el LED emita en la frecuencia deseada, se utilizan emisores de distinta composición química. La eficiencia, tensión de funcionamiento y precio dependerán del mismo.

El voltaje de funcionamiento aproximado de cada color es el siguiente:

Tabla 6.8. Propiedades de colores LED

Colores	Temperatura (K)	Longitud onda (nm)	V funcionamiento (V)
<b>Rojo</b>	-	635	2
<b>Naranja</b>	-	605	2.1
<b>Amarillo</b>	-	590	2.1
<b>Verde</b>	-	555	2.1
<b>Azul</b>	-	470	3.8
<b>Violeta</b>	-	410	3.2
<b>Blanco<sup>1</sup></b>	4000	-	3.6

El SoM ofrece 3,3 voltios de salida en sus pines, y aunque los voltajes de referencia sean un valor aproximado, se evitará utilizar LEDs que requieran mayor voltaje porque podrían iluminar muy poco o incluso no llegar a encenderse. También se descarta el violeta al estar muy cerca del límite, ciertos modelos podrían estar por encima del voltaje máximo.

Tabla 6.9. Alternativas de colores LED

LED-color	PRE	EST	Resultado
Peso (%)	80	20	100
ROJO	8	10	8.4
NARANJA	6	1	6
AMARILLO	7	1	5.8
VERDE	7	1	5.8

La variable más importante es el precio, todos los colores tienen un precio muy parecido pero el distribuidor recomienda instalar leds rojos por existir mayor Stock y tener un precio ligeramente menor que los otros colores. Estéticamente el rojo también es la mejor opción porque la PCBA de la CPU de la balanza utiliza leds rojos, dando una mayor sensación de integración.

<sup>1</sup> El “color” blanco no tiene una longitud de onda específica, es una mezcla de varias longitudes. Se mide en grados kelvin, haciendo referencia al “color” que emite un cuerpo negro ideal a esa temperatura. Va desde un blanco cálido (3000K) hasta un blanco frío (6000K). En la tabla se ha considerado el blanco neutro (4000K).

- **Potencia:** Dependiendo del uso que se le dé, se escogerá un LED de más o menos potencia. El objetivo de los LED del proyecto es indicar un estado del módulo, por lo que se utilizará uno de baja potencia.

En resumen, en la PCBA se instalarán LED rojos SMD 0805 de baja potencia. Para el prototipo en protoboard se puede utilizar cualquier LED de baja potencia.

### 6.1.2.6. BOTON RESET

Para efectuar un reseteo de fábrica del módulo sin acceder a la interfaz web, hace falta un botón externo. El objetivo del botón es enviar una señal de control temporal al SoM, para ello se escogerá un pulsador de baja potencia. Existen 3 formatos:

- **SMD:** Pulsador de montaje superficial, existen de todos los tamaños y son baratos. Precio alrededor de 0,1€.

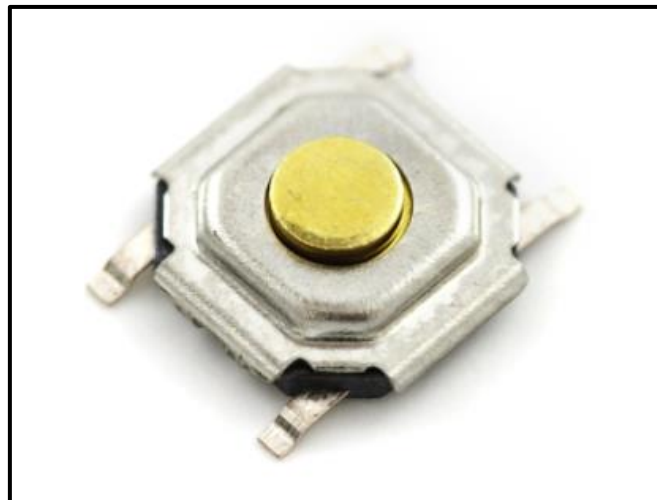


Figura 6.14. Botón SMD (Sparkfun, 2018)

- **THD:** Pulsador de inserción en placa, son algo más grandes que los SMD y también son económicos. Precio alrededor de 0,1€.



Figura 6.15. Botón THD (Mechatronic Store, 2018)

- Alargado:** Los módulos Wi-Fi actualmente instalados en las balanzas, de fábrica instalan un pulsador SMD que se sustituye por otro pulsador alargado con cable procesado por Dibal, común para todos los módulos. Este pulsador se inserta en un orificio de la balanza diseñado específicamente para poder resetear el módulo Wi-Fi del exterior. Para el cliente es mucho más cómodo poder resetear el módulo Wi-Fi desde el exterior de la balanza que tener que abrirla. El precio es superior a los dos formatos anteriores.

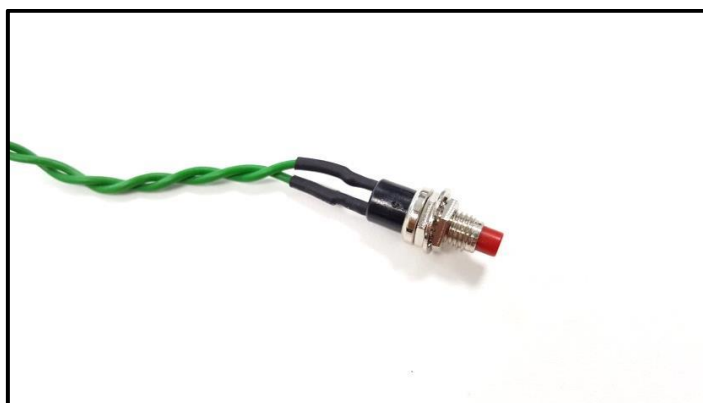


Figura 6.16. Botón alargado

Tabla 6.10. Alternativas de botones

BOTON	PRE	TAM	ACC	Resultado
Peso (%)	20	20	60	100
SMD	9	9	2	4.8
THD	9	5	2	4
ALARGADO	5	6	10	8.2

En este componente la característica más importante es su accesibilidad para la comodidad del cliente. Además, se puede reutilizar el mismo conjunto cable/pulsador usado anteriormente.

### 6.1.2.7. COMPONENTES PASIVOS

El circuito requiere condensadores y resistencias en sus distintas partes lógicas, por lo tanto, se debe de analizar cuál es el formato más adecuado.

- **SMD:** Los componentes de este formato pueden llegar a tener un tamaño minúsculo, dando la posibilidad de diseñar una PCBA muy densa.
- **THD:** Estos componentes son de mayor tamaño que los SMD, sin embargo, resultan muy sencillos de soldar/desoldar para cualquier reparación o cambio.

Tabla 6.11. Alternativas de componentes pasivos

COMP. PASIVOS	PRE	TAM	FAC	Resultado
Peso (%)	10	80	10	100
SMD	9	9	2	8.3
THD	6	3	9	3.9

Para lograr la mayor densidad de componentes posible, se ha escogido el formato SMD. Sin embargo, en la protoboard se utilizarán THD por su facilidad de montaje.

### 6.1.2.8. ANTENA

Para transmitir los datos de la comunicación Wi-Fi hace falta una antena. El diseño depende principalmente de la frecuencia de trabajo, en este caso de 2,4 GHz. Las antenas más comunes son del tipo dipolo simple, estas deben de tener de largo la mitad de la longitud de onda de 2,4 GHz para que la onda electromagnética polarice correctamente e induzca corriente en la misma.

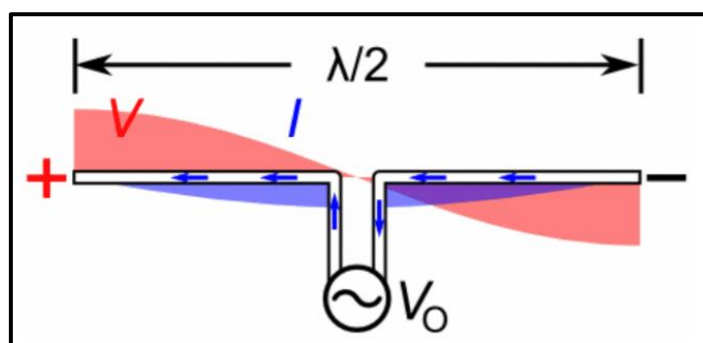


Figura 6.17. Funcionamiento antena dipolo (Wikipedia Antena Dipolo, 2018)

Una antena de mayor longitud no se polarizará correctamente y una de menor longitud disminuirá el rendimiento. Para calcular el tamaño ideal de la antena para 2,4 Ghz:

$$\lambda(m) = v(m/s)/f(Hz)$$

$$\lambda(m) = 300.000.000/2.400.000.000$$

$$\lambda(m) = 0,125 \text{ m}$$

La mitad será 6,25 cm, es decir, 3,125 cm por cada polo.

Todos los SoM analizados previamente tienen 2 opciones de integrar la antena:

- **Antena PCB:** Los SoM ofrecen un pin para soldar una antena impresa en la propia PCB. Con este tipo de antenas no hace falta añadir ningún componente extra, aunque como punto negativo, su diseño puede resultar muy complejo debido a las posibles interferencias originadas por la propia PCB. También hay que tener en cuenta el grosor y anchura de la pista, grosor de la PCB, distancias al plano de masa, etc. Por lo general, tienen un rendimiento más pobre que las antenas externas.
- **Antena UFL:** Además, los SoM ofrecen un conector UFL para poder conectar una antena externa. En el mercado hay muchísimos modelos y tipos de antenas con este tipo de conector, por lo que no haría falta diseñar una. Como punto negativo, el producto final tendrá un mayor tamaño y precio.

Tabla 6.12. Alternativas de formato de antenas

Tipo antena	PRE	REN	TAM	FAC	Resultado
Peso (%)	20	40	30	10	100
PCB	9	6	8	2	6.8
UFL	6	8	6	9	7.1

Una vez seleccionado el tipo de antena, se tiene que seleccionar el modelo. Uno de los requisitos definidos por Dibal es que la antena esté dispuesta en el interior de la balanza, por lo tanto, se descartan directamente las antenas que se instalen en el exterior de la balanza.

Los modelos de antenas restantes son las planas. Dibal actualmente tiene varios modelos de estas antenas que se usan para otros módulos Wi-Fi de 2,4 Ghz.

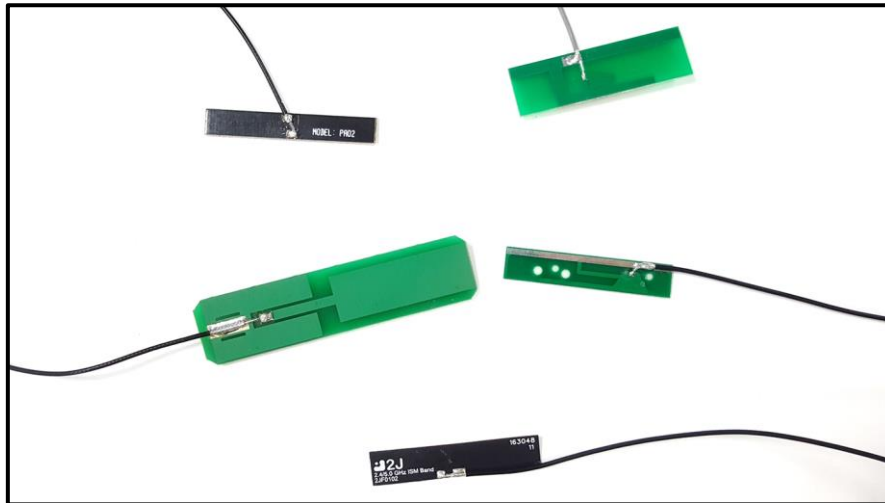


Figura 6.18. Antenas disponibles en Dibal

Todas estas antenas tienen una longitud menor a la ideal teórica, sin embargo, los centros donde se instalan las balanzas con los módulos Wi-Fi tienen muy buena cobertura, por lo tanto, merece la pena sacrificar un alcance que no se necesita a cambio de tener un tamaño de antena más reducido. La antena que mejores resultados de atenuación muestra en pruebas empíricas con los módulos Wi-Fi anteriores es la antena de la casa 2J, la cual, además de ser flexible, tiene un adhesivo en la parte trasera para colocarlo donde más interese. Además, esta antena está diseñada para funcionar a 2,4 GHz y a 5 GHz, lo que significa un ahorro de tiempo si en un futuro se decidiese sustituir el SoM por uno de 5 GHz.



Figura 6.19. Antena 2J

### 6.1.3. SW DE DISEÑO DE CIRCUITO Y PCB

Existen varios programas para diseñar circuitos y PCB, los más interesantes son los siguientes:

- **Altium Designer:** Pack de aplicaciones de diseño de circuitos de uso profesional con excelentes opiniones, es usada por empresas como NASA, Microsoft, Dell, Siemens, etc. Permite crear circuitos muy complejos y simular en 3D el producto integral. El precio de una licencia permanente es de alrededor de 9000 \$.
- **KiCad:** Suite de diseño de circuitos que se caracteriza por la gran flexibilidad que ofrece, permite crear y personalizar todo tipo de componentes. Incluye características interesantes como un script de auto ruteado y visor 3D de la PCBA. En la red hay una gran comunidad activa. El programa es de código abierto y totalmente gratuito.
- **Eagle:** Programa de diseño de diagramas y PCB famoso en el mundo “DIY” por su facilidad de uso. Incluye un auto ruteado muy eficiente y visor 3D de la PCBA. En 2016 fue adquirido por Autodesk pasando de ser gratuito a tener un precio de 100 \$/año.
- **OrCad PCB Designer:** Software de diseño de circuitos de uso profesional usado por empresas como Raspberry Pi o Tata Motors. Permite crear circuitos muy complejos y simular la PCBA en 3D. La licencia de por vida tiene un precio de alrededor de 2300 \$.

Tabla 6.13. Alternativas de SW de diseño

SW Diseño	PRE	FAC	FUN	COM	Resultado
Peso (%)	40	10	30	20	100
Altium	1	5	9	3	4.2
KiCad	10	7	7	8	8.4
Eagle	7	8	5	7	6.5
OrCad	3	6	9	3	5.1



## 6.2. SOFTWARE

### 6.2.1. SISTEMA OPERATIVO EMPOTRADO

En la red existen varios sistemas operativos gratuitos y de código abierto compatibles con sistemas embebidos:

- **OpenWRT:** Es una distribución de Linux diseñado para sistemas empujados, específicamente para tarjetas de red inalámbricas. Su configuración se realiza mediante el sistema de configuración de interfaz unificada (UCI). El objetivo de UCI es unificar y centralizar el formato de configuración de distintas aplicaciones haciendo más fácil y directa la configuración global de OpenWRT. Dicho sistema incluye por defecto la interfaz de configuración "LuCI", el cual usa el lenguaje Lua y divide la interfaz en 3 partes lógicas, modelo, vista y controlador (MVC). Cada una de esas partes lógicas tiene una función específica:
  - Modelo: Se encarga de la extracción e inserción de los datos en los ficheros en los que se almacenan.
  - Vista: Se encarga de la representación visual de los datos.
  - Controlador: Esta capa funciona a modo de enlace entre el modelo y la vista. Al recibir órdenes de usuario esta capa solicita los datos al modelo y se los devuelve a la vista.

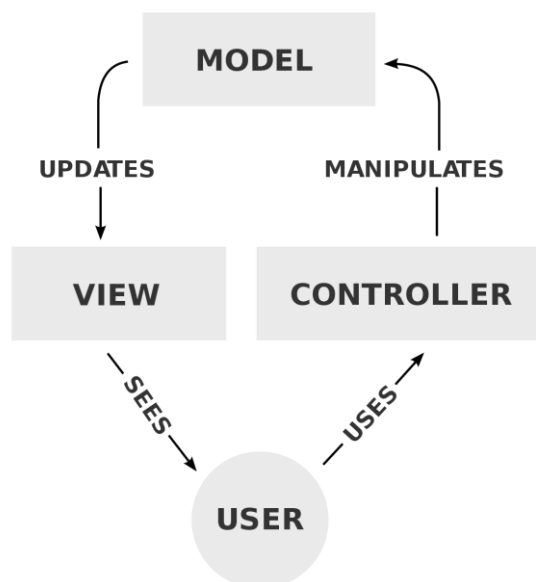


Figura 6.20. Diagrama arquitectura MVC (Wikipedia MVC, 2018)

Un punto fuerte es el uso de un mismo formato de ficheros de configuración para la mayoría de los servicios. Tiene una comunidad activa enorme y su última versión estable es del 2018.

- **Gargoyle:** Firmware abierto para dispositivos Wi-Fi basado en Linux. Este sistema lo crearon unos usuarios que consideraban OpenWRT demasiado complejo y poco intuitivo de configurar. Por lo tanto, tomaron OpenWRT como punto de partida y lo modificaron diseñando una interfaz mucho más simplificada. Aunque tenga también su propia comunidad, no es tan grande como la de OpenWRT.
- **Ångström:** Distribución basada en Debian diseñada para dispositivos móviles. Este firmware es el resultado de la unificación de los proyectos OpenEmbedded, OpenZaurus y OpenSimpad, creando así una interfaz limpia y estable. La última versión estable es el 2008 y apenas tiene comunidad.
- **DD-WRT:** Firmware abierto diseñado para routers inalámbricos, principalmente de la marca Linksys. Ejecuta un sistema operativo reducido basado en Linux. La última versión estable es del 2008.

Tabla 6.14. Alternativas de firmware

S. O.	FAC	COP	COM	INF	Resultado
Peso (%)	10	40	20	30	100
OpenWRT	5	9	9	9	8.6
DD-WRT	6	7	7	7	6.9
Gargoyle	8	8	7	3	6.3
Ångström	9	2	1	2	2.5

El criterio de mayor peso es la compatibilidad con distintos dispositivos, porque se requiere un FW que se pueda migrar fácilmente de un dispositivo a otro. También es muy importante el soporte y la comunidad alrededor del sistema operativo, puesto que puede ayudar mucho a la hora de hacer frente a las dificultades que surjan en el desarrollo. Como parte del proyecto va a tratarse de desarrollar una interfaz de usuario personalizada, lo menos importante es la facilidad de uso de la interfaz por defecto.

Teniendo en cuenta lo mencionado, la mejor opción es OpenWRT.

## **7. SELECCIÓN/DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.**

A continuación, se listan todas las selecciones del análisis de alternativas para el producto final:

### **Hardware: PCB**

- Material: FR4
- Capas: 4 capas
- Programa de diseño de circuito: KiCad

### **Hardware: Componentes**

- SoM: Domino Core
- LEDs: Formato SMD 0805, color rojo y baja potencia
- Conector RJ45: Conexcon 7642– T881
- Regulador de tensión: MP3510AGQV
- Transformador Ethernet: CP H1601CG, Pulse HX1188NL o Atech ATPL-046:
- Antena: Formato UFL, marca 2J
- Componentes pasivos: Formato SMD

### **Software:**

- Sistema operativo: OpenWRT

Partiendo de los requisitos definidos, en la Figura 7.1. Concepto PCBA en 3D se esboza un diseño aproximado del aspecto que tendrá la PCBA y en la figura Y se presenta un mockup de la interfaz web.

## 7. SELECCIÓN/DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA.

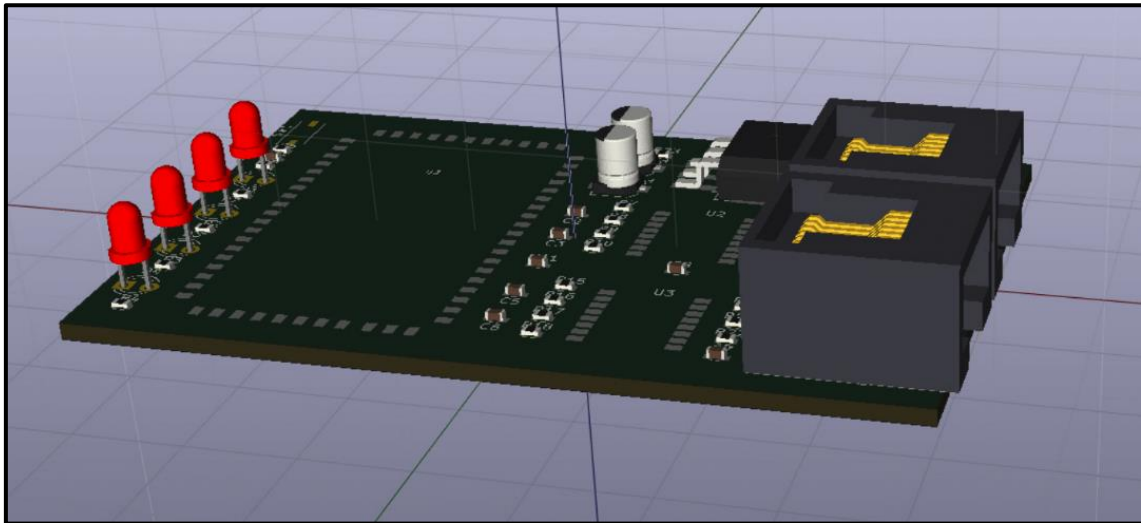


Figura 7.1. Concepto PCBA en 3D

<p><b>DIBAL WIFI</b></p> <p>ESTADO</p> <p>CONFIGURACION CLIENTE</p> <p>CONFIGURACION RED</p> <p>SISTEMA</p> <p>Estado de conexión:          RSSI:          Ratio:          Canal:          SSID:          IP módulo:          MAC AP:          MAC LAN:          MAC WLAN:          Firmware:</p>	<p><b>DIBAL WIFI</b></p> <p>ESTADO</p> <p>CONFIGURACION CLIENTE</p> <p>CONFIGURACION RED</p> <p>SISTEMA</p> <p>SSID: <input type="text"/> Escanear</p> <p>Contraseña: <input type="text"/> WPA2 ▼ AES ▼          WPA... TKIP</p> <p>Potencia: 1-18</p> <p>Pais: España ▼          Rusia...</p> <p>Aplicar</p>
<p><b>DIBAL WIFI</b></p> <p>ESTADO</p> <p>CONFIGURACION CLIENTE</p> <p>CONFIGURACION RED</p> <p>SISTEMA</p> <p>IP: <input type="text"/> Estático ▼          DHCP</p> <p>Mascara subred: <input type="text"/></p> <p>STP: Activado ▼          Desactivado</p> <p>Aplicar</p>	<p><b>DIBAL WIFI</b></p> <p>ESTADO</p> <p>CONFIGURACION CLIENTE</p> <p>CONFIGURACION RED</p> <p>SISTEMA</p> <p>Firmware: <input type="text"/> Sel. archivo Subir Fabrica</p> <p>Backup: <input type="text"/> Sel. archivo Subir Generar</p> <p>Idioma: Castellano ▼          English</p> <p>Aplicar</p>

Figura 7.2. Concepto interfaz web

## 8. METODOLOGIA

En esta sección se expone el desarrollo técnico del proyecto.

En el apartado de Hardware se expone el desarrollo integral del circuito:

- Diseño teórico del circuito: alimentación, Ethernet, reset y leds.
- Diseño en protoboard.
- Diseño de la PCB: forma, pistas, planos de masa, vectores y ficheros para la producción.
- Proceso de producción.

En el apartado de software se explicará el proceso de desarrollo del sistema operativo.

### 8.1. METODOLOGIA: HARDWARE

#### 8.1.1. DISEÑO TEÓRICO DE CIRCUITO

Antes de empezar con el diseño del circuito se debe analizar el pinout del núcleo de la placa Wi-Fi, el Domino Core ().

GL-inet no puede compartir el diseño interno de su SoM porque usan un diseño de referencia de Qualcomm protegido por un NDA. Sin embargo, con el pinout ofrecido es suficiente para cumplir los objetivos.

Cada parte del proyecto hará uso de varios pines con distintas finalidades:

- **Alimentación:** El SoM necesita ser alimentado con 3,3V para que funcione. Pines 24, 25, 26 para la entrada de 3,3V y pines 1, 2, 3, 10, 22, 27, 35, 45, 51, 54, 57, 58, 60 para el GND.
- **Ethernet:** Los dos puertos RJ45 necesitan ser conectados a ciertos pines del SoM para que el protocolo funcione correctamente. Pines 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44 para la transmisión de datos y los pines 40, GND para el correcto funcionamiento del protocolo.
- **LED:** El Domino Core ofrece varias salidas para alimentar los LED. Pines 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19 para la alimentar los LED y los pines GND.
- **Reset:** En la compilación del SW hay pines pre-programados para el control del reset. Pin 23, 54, GND.

- **UART:** El dispositivo tiene pines para comunicar vía serie. Pines 20, 21 para la comunicación y GND.

KiCad ofrece librerías con miles de componentes y conectores distintos, sin embargo, no dispone de los siguientes componentes: transformadores Ethernet, el SoM Domino Core y la fuente de alimentación MPM3510AGQV. Para solucionar este problema se han diseñado a mano.

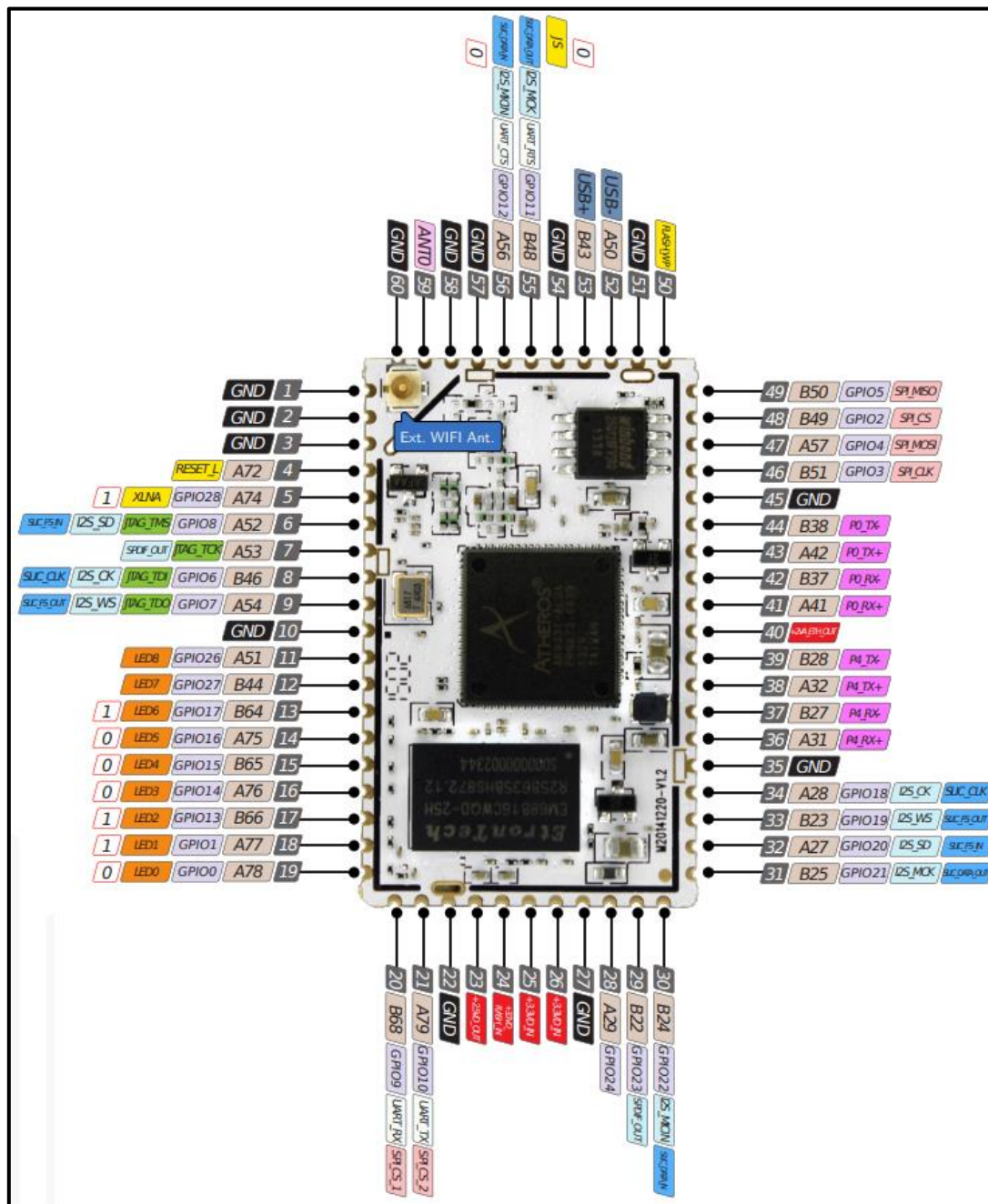


Figura 8.1. Domino Core pinout (Domino, 2018)

### 8.1.1.1. ALIMENTACIÓN

En el análisis de alternativas se ha optado por el regulador de tensión MPM3510AGQV para transformar 24V de entrada en 3,3V de salida. Este es el pinout extraído de su datasheet:

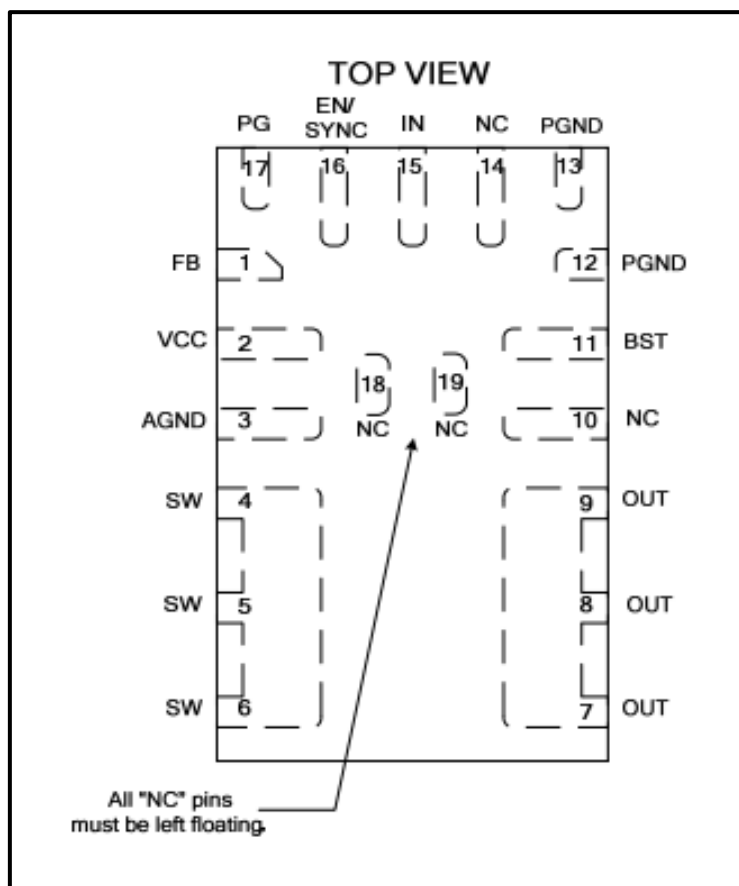


Figura 8.2. Pinout MPM3510AGQV (Monolithicpower, 2018)

No es necesario hacer un cálculo de todos los componentes pasivos, porque la hoja de datos muestra una tabla de las configuraciones más comunes, entre ellos la de 3,3V de salida. Por otra parte, se dejará un footprint vacío del regulador TRACO junto a un diodo de ruptura, por si el regulador principal deja de funcionar y precisa una reparación rápida. Con esta información se procede a dibujar el circuito en KiCad.

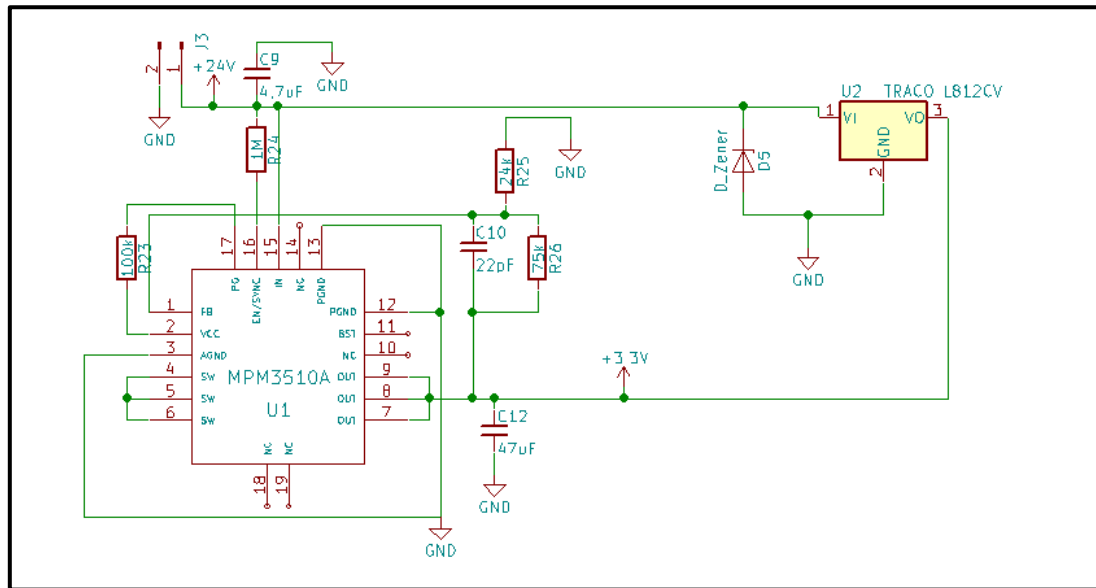


Figura 8.3. Circuito de alimentación

En la hoja de datos no se especifican las tolerancias necesarias para los componentes pasivos. Se considerará un 5% de tolerancia máxima.

Los 3,3V obtenidos se conectan directamente a los pines 24, 25 y 26 del SoM. Los GND se conectan a la misma masa del Domino Core.

### 8.1.1.2. ETHERNET

El proyecto incluye 2 interfaces Ethernet, por cada interfaz se requiere un transformador, un puerto RJ45 y componentes pasivos. El circuito se basa en un módulo de Ethernet dual que la misma empresa GL-inet vende. A continuación, se muestran las conexiones necesarias para cada uno de los componentes.

#### 8.1.1.2.1 TRANSFORMADOR ETHERNET

En el interior del encapsulado de los transformadores seleccionados hay una serie de transformadores de relación 1:1 con la topología indicada en la Figura 8.4. Topología transformador Ethernet.



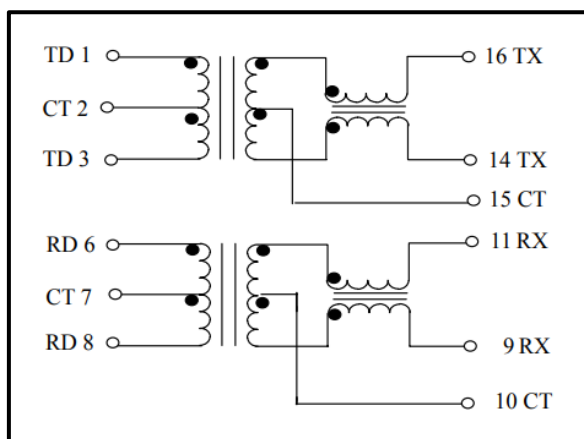


Figura 8.4. Topología transformador Ethernet

Los TD y TX son los pares diferenciales para la emisión de datos, mientras que los RD y RX son para la recepción. En este caso los pines 1-8 corresponden a las conexiones dirigidas al Domino Core, mientras los pines 9-16 van dirigidos al puerto RJ45. Los pines 2 y 7 deben conectarse a la salida específica de +2V del Domino Core.

#### 8.1.1.2.2 PUERTO RJ45

El conector Ethernet “Conexcon 7642 – T881” tiene una topología simple, cada pin corresponde directamente al pin del conector hembra adyacente. Conocer su pinout es imprescindible para conectar correctamente los cables al transformador.

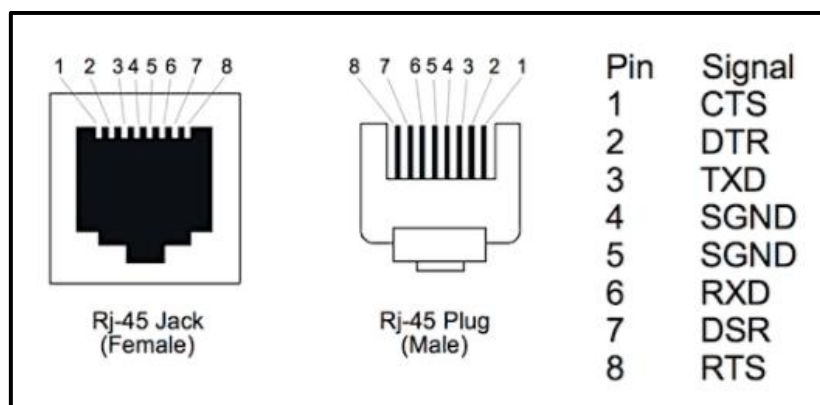


Figura 8.5. Pinout RJ45 hembra y macho (Pbxbook, 2018)

El apantallado tiene dos pines que se conectan a masa pasando por un condensador de 2KV 2n2 protegiendo el SoM.

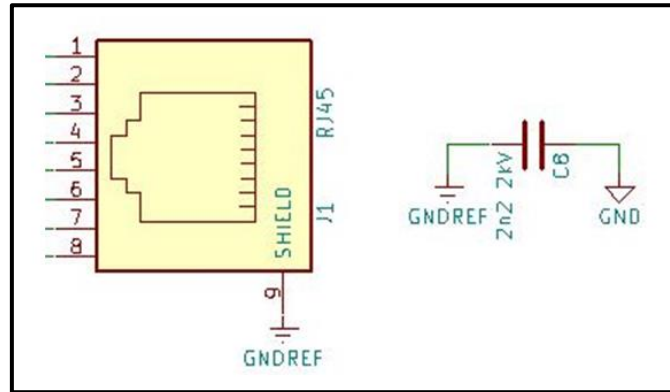


Figura 8.6. Conexiones RJ45

### 8.1.1.2.3 COMPONENTES PASIVOS

Cada pin de transmisión de datos lleva una resistencia de  $50\ \Omega$  con la tolerancia mínima posible, por tratarse de un par diferencial se permitirá un máximo de un 1% de tolerancia. Los demás componentes pasivos no requieren tolerancias especiales. Las resistencias agrupadas en packs se han insertado en matrices con el objetivo de ahorrar espacio. En la Figura 8.7. Circuito Ethernet se muestra circuito completo de Ethernet resultante:

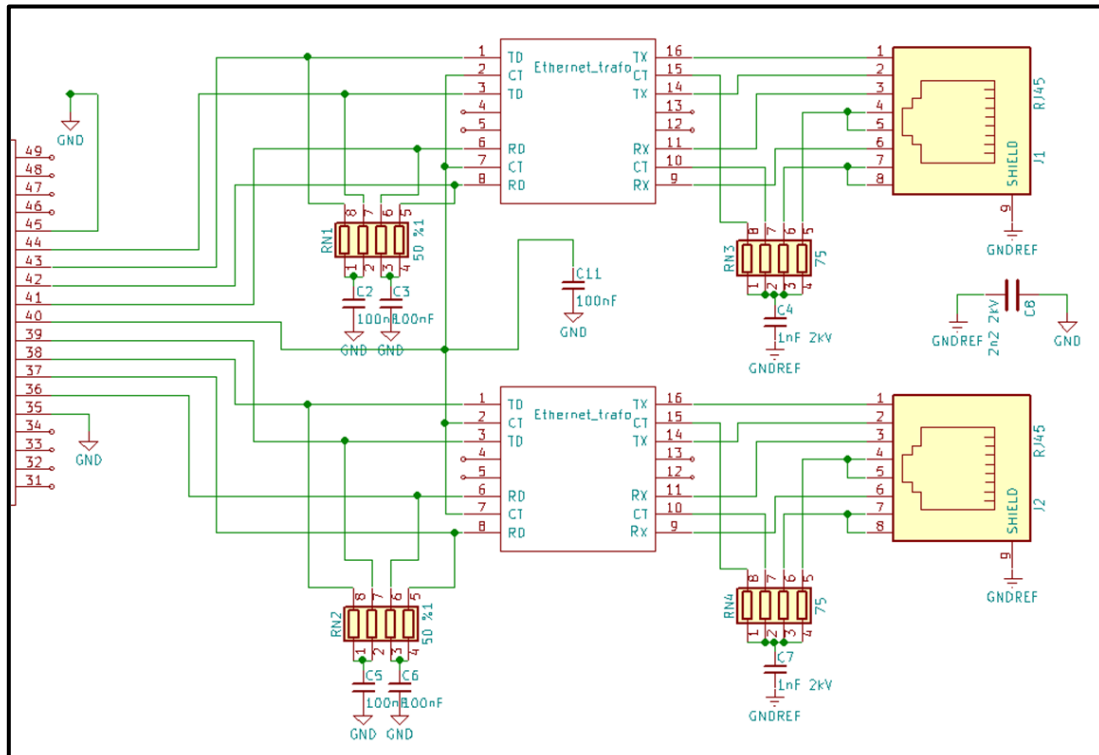


Figura 8.7. Circuito Ethernet

### 8.1.1.3. RESET

El datasheet del Domino Core especifica que el pin de reseteo de fábrica es el 55 (también para el UART\_RTS), por lo tanto, se utilizará ese mismo pin como entrada de señal Reset. La otra parte del circuito, encargada de generar dicha señal, tiene la topología recomendada por GL-inet. Cuando el botón del Reset no esté pulsado, el pin del Domino Core estará en estado lógico bajo a causa del circuito “pull down”. En el momento que se pulse el botón, el pin pasará al estado alto.

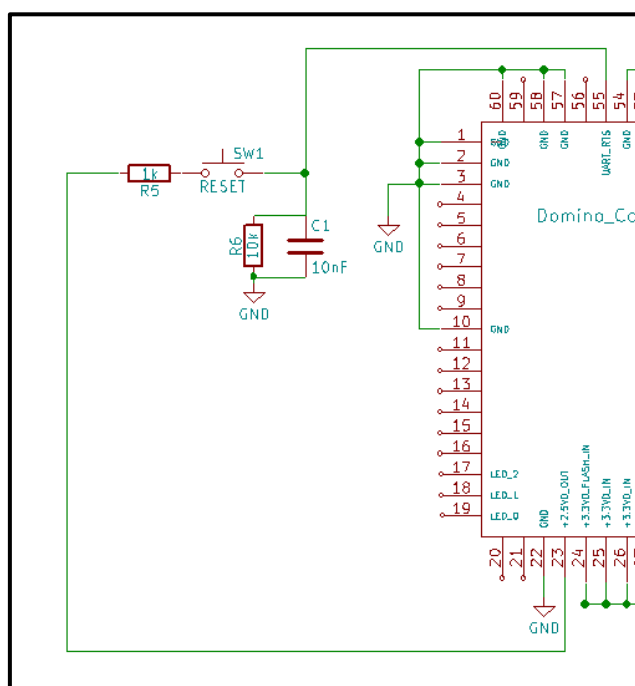


Figura 8.8. Circuito RESET

### 8.1.1.4. LEDS

El SoM tiene 8 pines dedicados para alimentar los LED a 3,3V. En el proyecto se hace uso de 4 LED:

- Indicador ON: Encendido siempre que el dispositivo este alimentado. En vez de utilizar un pin programable se conecta directamente al pin de entrada de la fuente de alimentación del SoM, no hace falta programarlo.
- Indicador tráfico RJ45 N°1: Parpadeo cuando entra o sale un paquete del puerto. Se conecta al pin 17, después hace falta programarlo por SW.
- Indicador tráfico RJ45 N°2: Parpadeo cuando entra o sale un paquete del puerto. Se conecta al pin 18, después hace falta programarlo por SW.
- Indicador estado conexión Wi-Fi: Encendido cuando establezca la comunicación con el punto de acceso Wi-Fi. Se conecta al pin 19, después hay que programarlo por SW.

El componente seleccionado tiene un consumo de unos 10-20mA a una tensión de 2V, por lo tanto, necesita una resistencia en serie:

$$R = \frac{V}{I}$$

$$R = \frac{3,3V-2V}{0,01A} = 130 \Omega$$

Sin embargo, el fabricante recomienda una resistencia de 330  $\Omega$  para reducir su consumo e intensidad de brillo. En pruebas empíricas se ha verificado que con ese valor el funcionamiento es correcto.

En la Figura 8.9. Circuito LEDs se muestra el circuito de los LED:

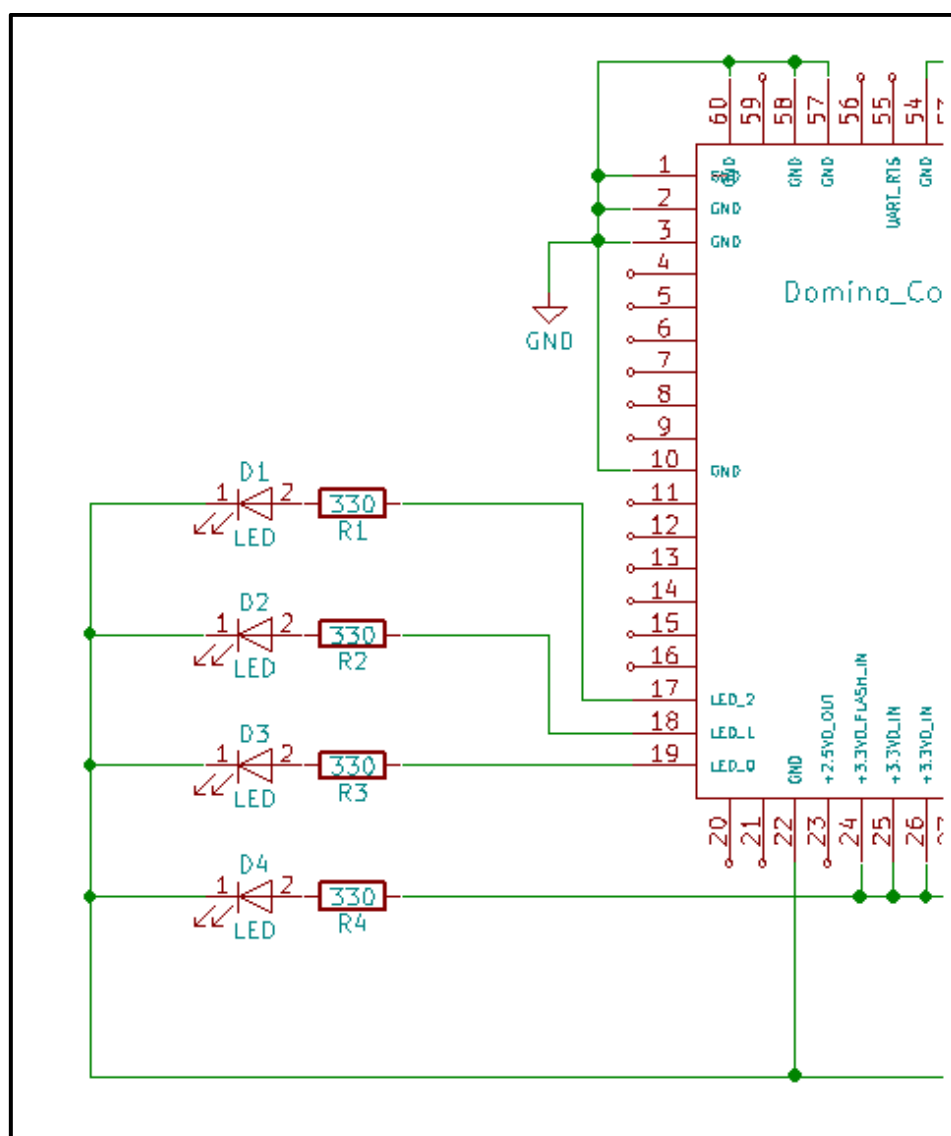


Figura 8.9. Circuito LEDs

Este es el circuito íntegro resultante (se puede observar al detalle en el anexo I):

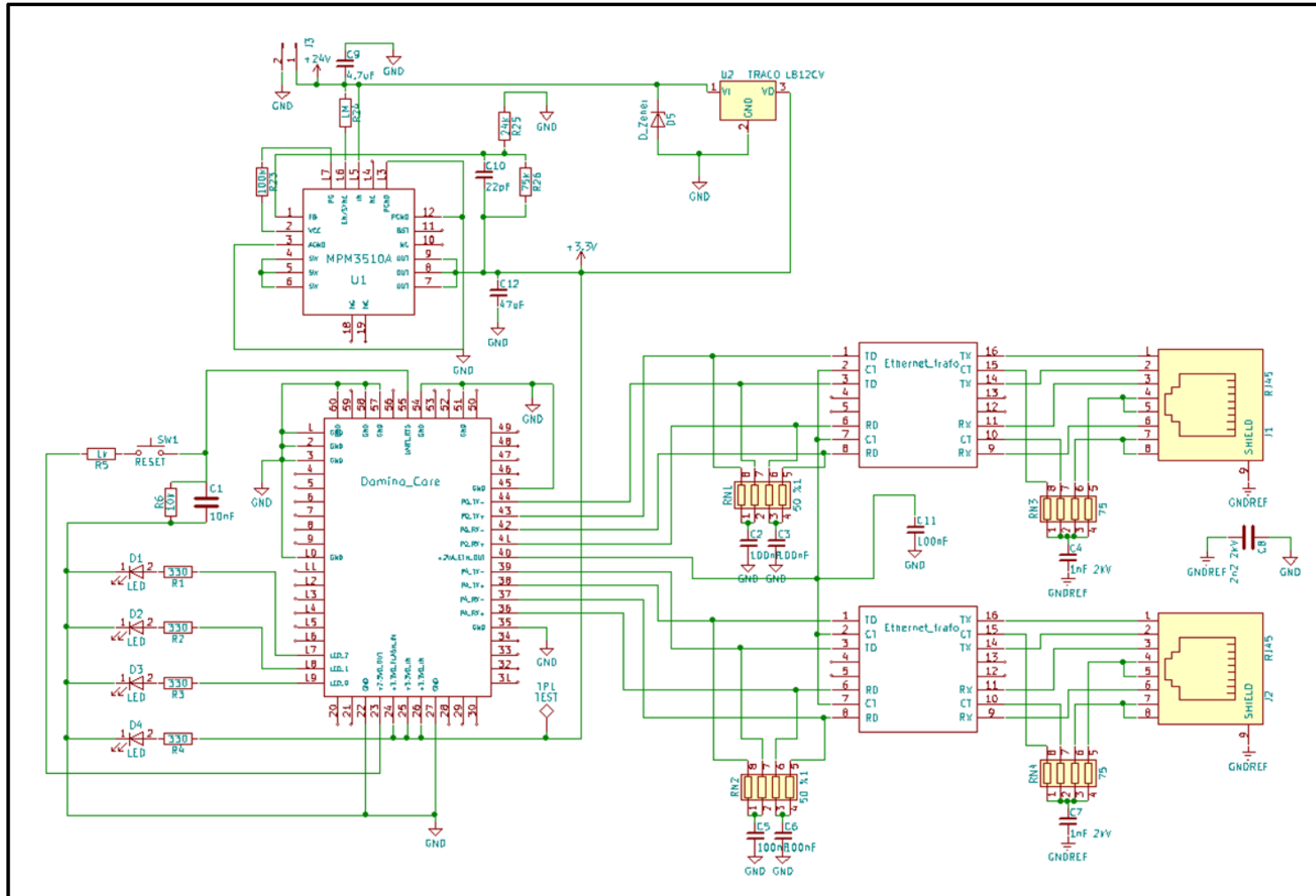


Figura 8.10. Circuito entero

### 8.1.2. DISEÑO EN PROTOBOARD

Para comprobar que el diseño teórico es correcto se ha montado el circuito de KiCad en una protoboard. Además de verificar si el circuito es funcional, el hecho de tener el circuito entero en la protoboard facilitará mucho las posibles modificaciones o reparaciones futuras.

Los componentes utilizados en la protoboard pueden tener un encapsulado distinto, siempre que el valor y características sean las mismas. En este caso, se han utilizado componentes pasivos, botón Reset y LED de formato THD por su fácil inserción. Los transformadores y puertos RJ45 han sido reutilizados de balanzas estropeadas.

La fuente de alimentación es lo que más cambia respecto a la circuitería del diseño teórico. En vez de utilizar las opciones elegidas en el análisis de alternativas (MPM3510AGQV o TRACO) se utilizará el LM317, porque ser el único disponible en el momento de montaje en la protoboard. Funcionalmente ofrece la misma tensión de salida, además no será tan ineficiente, porque la protoboard nos permite alimentar el LM317 a 5V en vez a 24V como en el producto final.

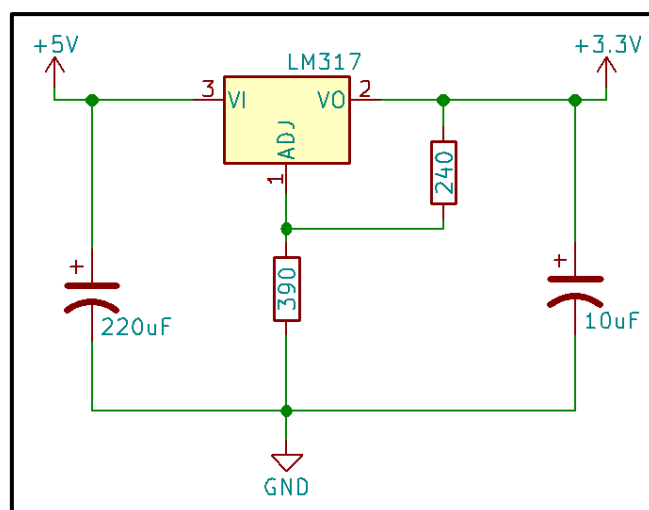


Figura 8.11. Circuito LM317

A continuación, se muestra el prototipo en protoboard, en la figura 7.12 se encuentra el SoM y los circuitos de LED, reset y alimentación. En la figura 7.13 se encuentra el circuito Ethernet.

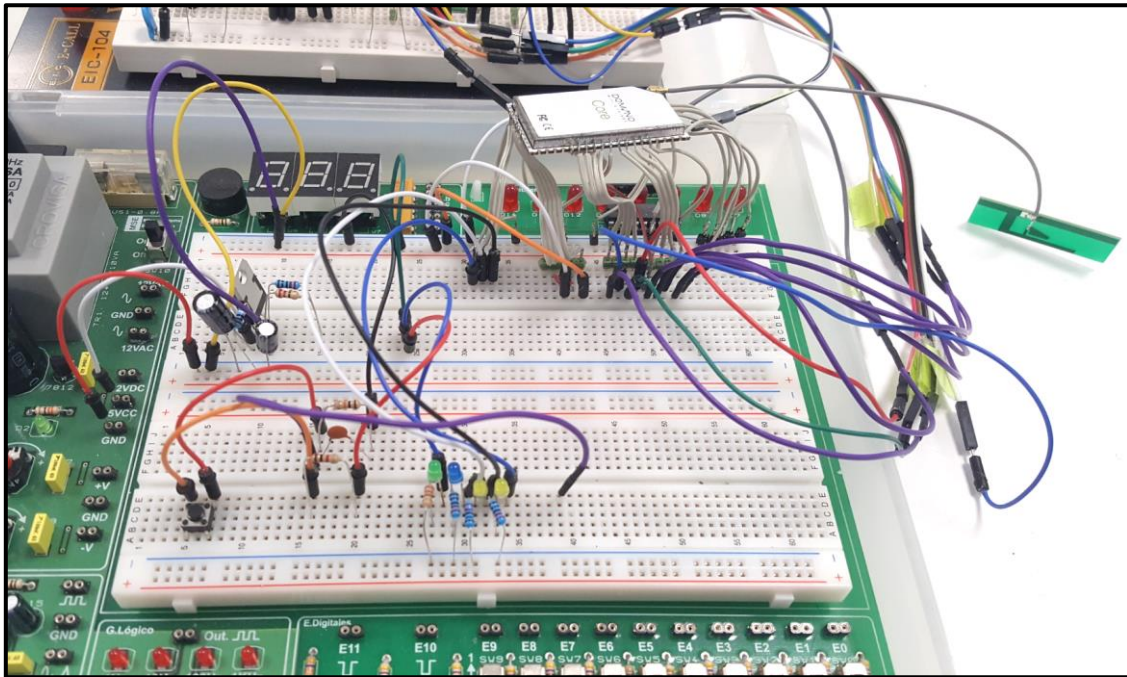


Figura 8.12. Protoboard de SoM, LED, reset y alimentación

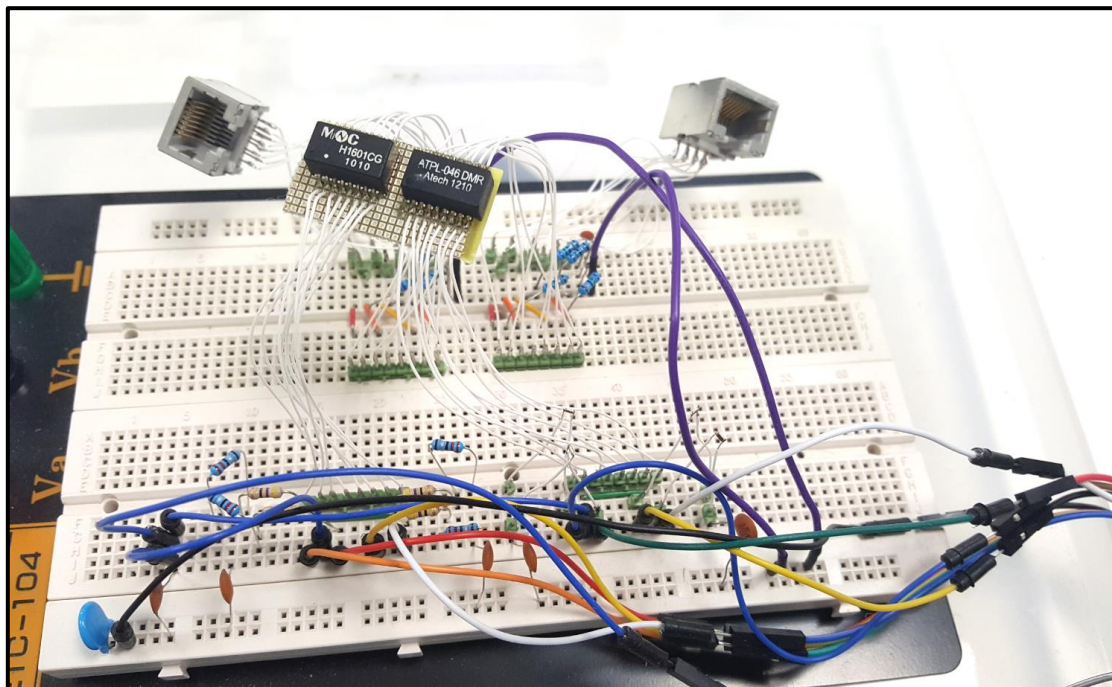


Figura 8.13. Protoboard de Ethernet

Nota: En las pruebas de comunicación Ethernet se ha observado un funcionamiento errático que se ha solucionado cambiando las resistencias de  $50\Omega$  con un 20% de tolerancia de formato THD por unas de un 1% de tolerancia de formato SMD.

### 8.1.3. DISEÑO PCB

Para el diseño la PCB también se ha utilizado KiCad. En los siguientes apartados se van a explicar los siguientes desarrollos:

- Forma de la PCB.
- Distribución de capas y grosor total.
- Componentes, pistas, vías, y planos de masa.
- Vectores de imágenes.
- Ficheros de producción.

#### 8.1.3.1. FORMA

Uno de los requisitos del proyecto es que la PCB tenga un tamaño menor a 100x90x20mm para que pueda entrar en la cama base que se habilitó dentro de la balanza para los las anteriores tarjetas de red.

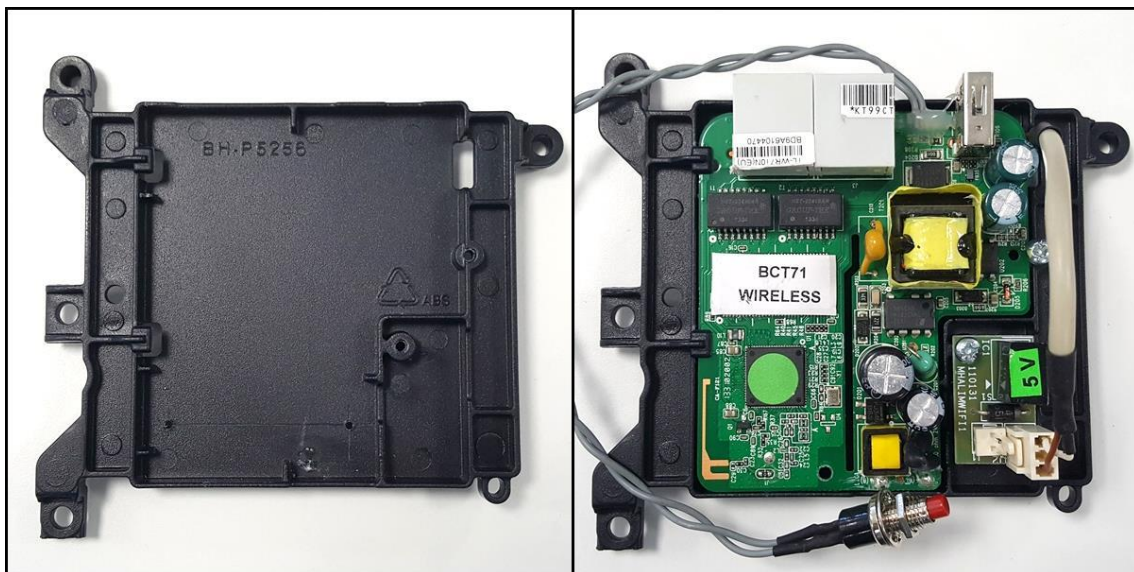


Figura 8.14. Cama base y módulo anterior con cama

La cama que actualmente se usa fue diseñada para el obsoleto TP-link 710N. Todos los módulos posteriores se han ido adaptando a dicha cama mediante el uso de separadores, tornillos, etc. Al tener la libertad de diseñarlo a medida, se ha optado por darle exactamente las mismas dimensiones que el TP-Link 710N, de este modo encajará perfectamente en la cama. Se han tomado las medidas del módulo Wi-Fi anterior (TP-Link 710N) con un calibre milimétrico digital para pasarlo al KiCad.



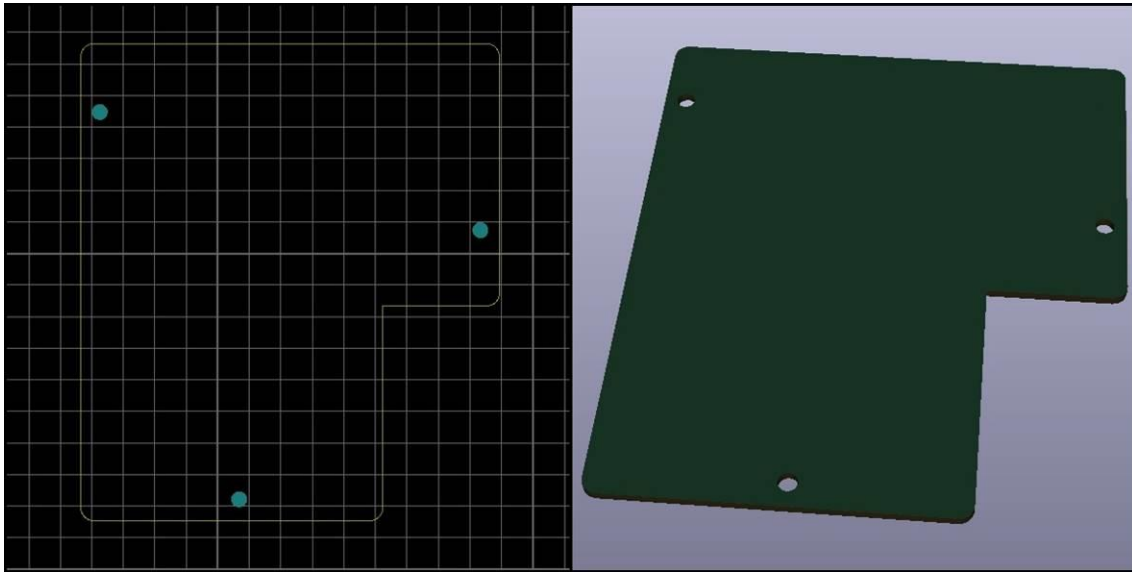


Figura 8.15. Plano en KiCad, 2D y 3D

### 8.1.3.2. DISTRIBUCIÓN DE CAPAS Y GROSOR TOTAL

Como resultado del análisis de alternativas, se decidió hacer un diseño de PCB de 4 capas. Con esta cantidad de capas a cada una se le puede dar un uso distinto: capa de pistas, capa de plano masa, capa de alimentación, etc. Para el proyecto se ha decidido la siguiente configuración:

- **Capa 1 (exterior):** Plano de masa y pistas de señal. Representado en KiCad con color rojo.
- **Capa 2 (interior):** Pistas de alimentación. Color rosa.
- **Capa 3 (interior):** Pistas de señal. Color verde.
- **Capa 4 (exterior):** Plano de masa. Color azul.

Con este orden se obtiene una excelente inmunidad al ruido al tener las pistas de señal y de alimentación en capas distintas y por tener planos de masa por ambas caras de la PCB. Además, los planos de masa actúan a modo de disipador, disminuyendo la temperatura de trabajo de la placa.

Los componentes pueden ser instalados en cualquiera de las dos capas exteriores. Sin embargo, al tener que instalar el módulo sobre una cama, los componentes irán en la capa superior (capa 1) para evitar que toquen la cama y la ventilación sea mejor.

El grosor total de la PCB es de 1.2mm por recomendación del Departamento de HW de Dibal, resultando ser el grosor recomendado para circuitos que trabajan con radiofrecuencias de 2.4Ghz.

### 8.1.3.3. COMPONENTES, PISTAS, VÍAS, Y PLANOS DE MASAMASA

KiCad tiene un plugin de auto rutado para ayudar a dibujar las pistas en la PCB, pero no es lo suficientemente completo como para definir en qué capas y con qué reglas de diseño se quiere realizar el rutado. Por lo tanto, el circuito de la PCB se ha diseñado manualmente.

En los siguientes apartados se analizará individualmente el diseño de la PCB de cada grupo lógico (alimentación, Ethernet, LED, reset y SoM), pero primero se exponen las reglas genéricas de diseño:

- **Ancho de pista:** Dependiendo de la corriente que circula por una pista, requiere cierta anchura mínima para que no se funda, en el caso de las pistas de señales se ha escogido una anchura de 0.25mm y para las pistas de alimentación 0,8mm. El diámetro de las vías es el mismo que el ancho de las pistas.
- **Separación entre pistas:** La distancia mínima de separación es proporcional al diferencial de potencial entre pistas. Las pistas de señal tendrán una separación mínima de 0.2mm y las de alimentación 0.3mm.
- **Ángulos de trazado:** En un buen diseño de pistas se debe evitar el trazado de ángulos de 90°, para evitar el desgaste de las pistas a causa de la corriente. En tal caso se debe dibujar en chaflán.
- **Planos de masa:** Los planos de masa tienen que cubrir las zonas vacías de la PCB, a menos que se requiera de un diseño especial. Para mejorar la conductividad térmica y eléctrica entre ambos planos se usarán varias vías repartidas por toda la PCB.
- **Identificación de componentes:** Cada componente debe de tener junto a él un identificativo único, escrito mediante serigrafía.
  - Rx: Resistencia
  - RNx: Matriz de resistencias
  - Cx: Condensador
  - Dx: Diodo
  - Sx: Diodo ruptura
  - Tx: Transformador
  - Jx: Conector
  - SWx: Interruptor
  - Ux: Circuito integrado
  - TPx: Punto de testeo

### 8.1.3.3.1 ALIMENTACIÓN

Esta parte del circuito se instala lo más cercano posible al cable de la balanza que alimenta el módulo, para no tener que modificar la longitud de dicho cable.

El datasheet del MPM3510AGQV recomienda estructura que se muestra en la Figura 8.16:

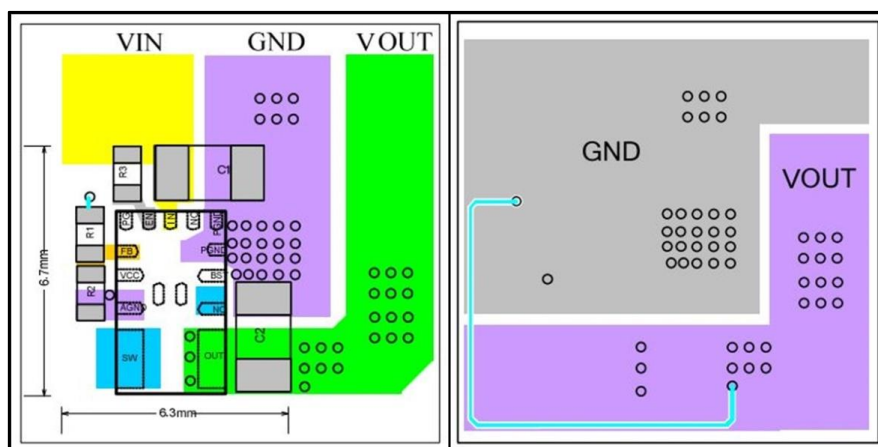


Figura 8.16. Estructura MPM3510AGQV recomendado (Monolithicpower, 2018)

En la PCB se ha replicado la estructura recomendada en la medida de lo posible. Como este regulador no está incluido en las librerías de KiCad, partiendo del datasheet, se ha diseñado su modelo en 3D con el programa “FreeCad”. Su huella se ha creado con el creador de huellas del KiCad.

La huella THD del regulador opcional secundario se instala junto al regulador principal en una zona donde no tenga problemas de falta de espacio. También se añade un “test point” en la salida de 3,3V para poder diagnosticar la alimentación de la placa.

Por último, se instala un conector Molex THD 2x2,54mm al borde de la PCB para conectar el cable de alimentación.

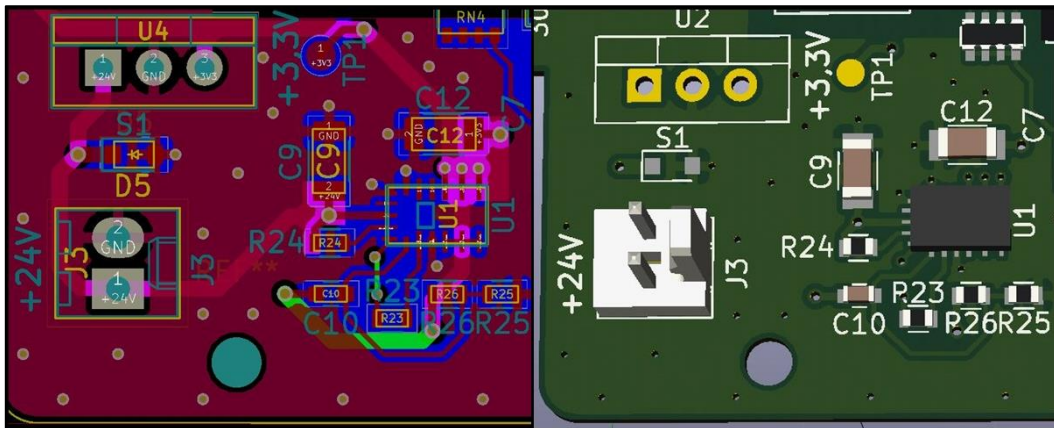


Figura 8.17. Circuito alimentación PCB en 2D y 3D

### 8.1.3.3.2 ETHERNET

En esta parte lógica lo más importante son los planos de masa. El plano de masa compartido por los apantallamientos de los RJ45 (Referenciado como GNDREF) es distinto al resto del circuito (Referenciado como GND). Esto se debe a que la masa del dispositivo conectado por cable Ethernet puede ser distinta a la masa del circuito, por lo tanto, se aísla. Además, protegerá el circuito de posibles cargas estáticas externas provenientes del cable. La zona de los transformadores Ethernet también debe de aislarse por posibles cargas estáticas exteriores.

En el diseño se ha utilizado un condensador 2kV para proteger el circuito del plano de masa GNDREF, por lo tanto, se debe de tener en cuenta ese valor para calcular la distancia mínima entre el GNDREF y el GND para evitar un arco voltaico. El cálculo exacto es muy complejo, incluye variables como la temperatura, composición y presión del aire, forma del conductor, etc. Por lo tanto, se ha usado una formula simplificada (Hackaday, 2018) para calcular la distancia aproximada a la que se produce el arco eléctrico.

$$\text{Distancia mínima (mm)} = \frac{\text{Voltaje (kV)}}{3}$$

$$\text{Distancia mínima (mm)} = \frac{2 \text{ kV}}{3}$$

$$\text{Distancia mínima} = 0.67\text{mm}$$

Al no ser una fórmula muy precisa, se aplicará un margen mínimo de 1mm entre los planos GND y GNDREF y entre las partes metálicas de los componentes instalados en ellos.

Los puertos RJ45 se han instalado en el mismo lugar de las placas Wi-Fi anteriores, con el objetivo de no tener que modificar la longitud de los cables Ethernet que se utilizan actualmente para puentear el módulo con la balanza. Para identificar cada puerto, se ha

serigrafiado el número del puerto LAN al lado de cada uno de ellos. La huella y modelo 3D de los transformadores Ethernet se han diseñado a mano.

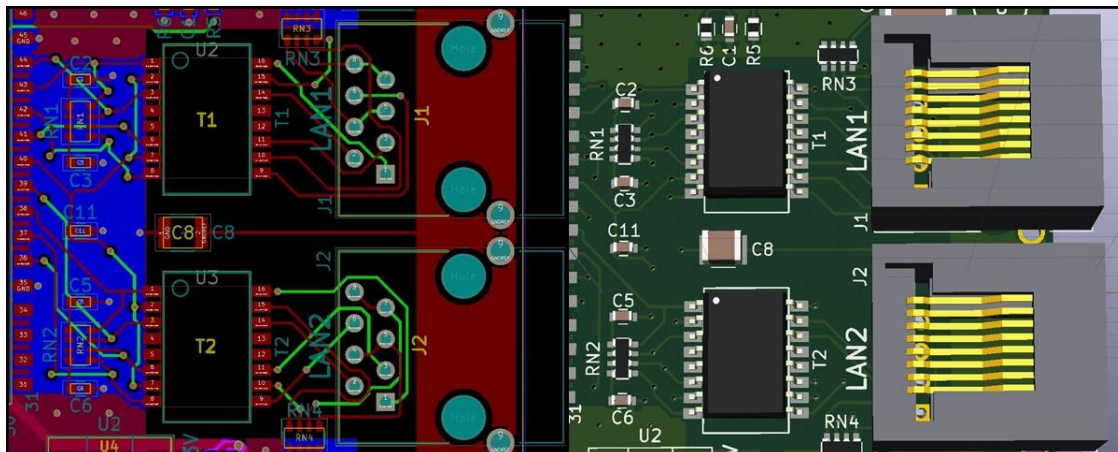


Figura 8.18. Circuito Ethernet PCB en 2D y 3D

### 8.1.3.3.3 LEDS

Los LED de la PCB se instalan directamente en un lugar donde no haya componentes elevados para que puedan ser observados por todos los ángulos.

Aunque estos LED sean de baja potencia, la zona bajo ellos se rellena con el plano GND (aislado con resina) para disipar mejor el calor y alargar su vida útil.

Por último, se ha serigrafiado el identificativo de cada uno y su polo positivo para que el montador tenga bien definido la orientación del componente.

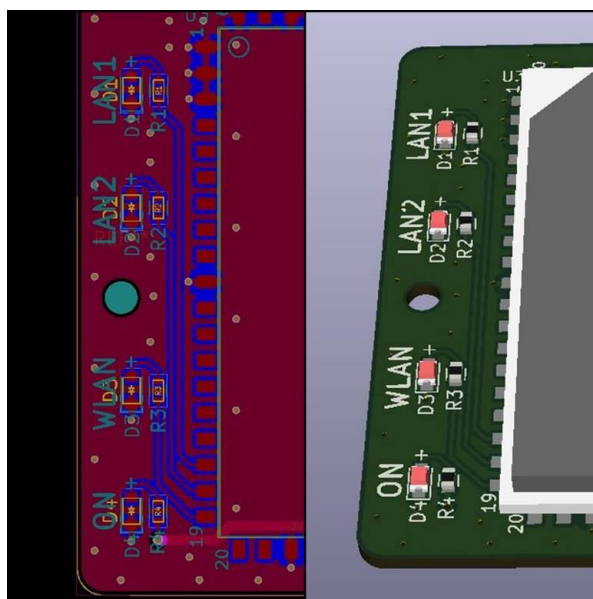


Figura 8.19. Circuito LED PCB en 2D y 3D

### 8.1.3.3.4 RESET

Esta parte lógica se coloca lo más cerca posible del lugar de la balanza donde irá insertado el botón de reset. Se ha instalado un conector “PH series JST THD 2x2,00mm” para poder insertar el cable reset fácilmente hacia el lugar de instalación en la balanza. Se ha serigrafiado la función del conector.

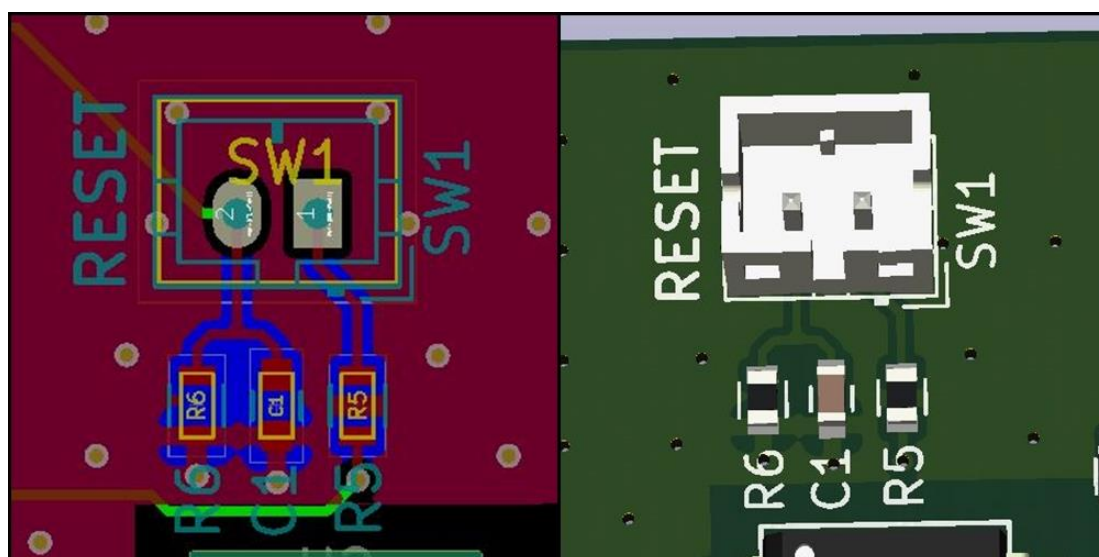


Figura 8.20. Circuito reset PCB en 2D y 3D

### 8.1.3.3.5 SOM

Se ha diseñado el modelo 3D del Domino Core con el “FreeCad” con las dimensiones extraídas de su propio datasheet. Su huella se ha creado con KiCad.

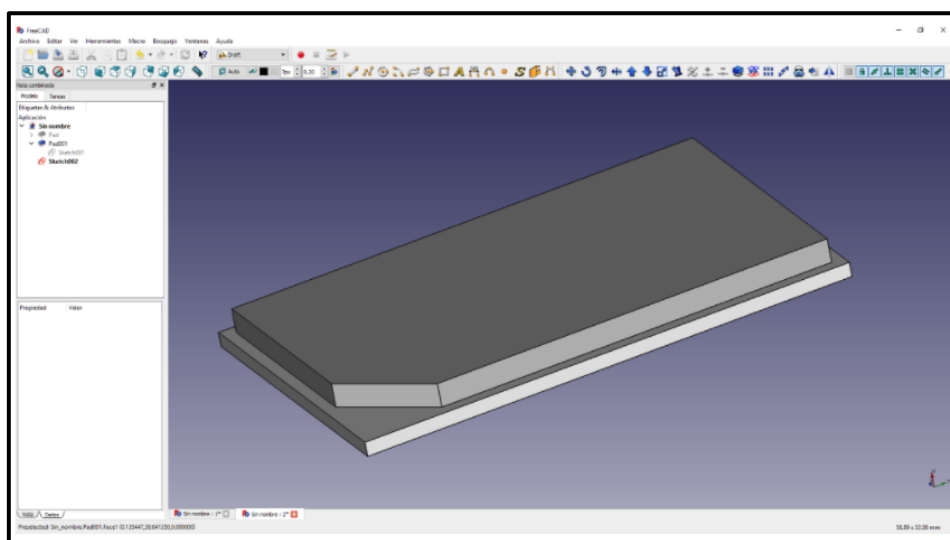


Figura 8.21. Modelo 3D del SoM

Bajo el SoM se ha insertado un plano de masa en la capa superior. En él, se instalan varias vías al plano de masa inferior para mejorar la conductividad térmica y evitar cualquier ruido eléctrico en el SoM. Finalmente, se han serigrafiado ciertos pines para que sea más sencillo identificarlos en caso de reparación o testeo.

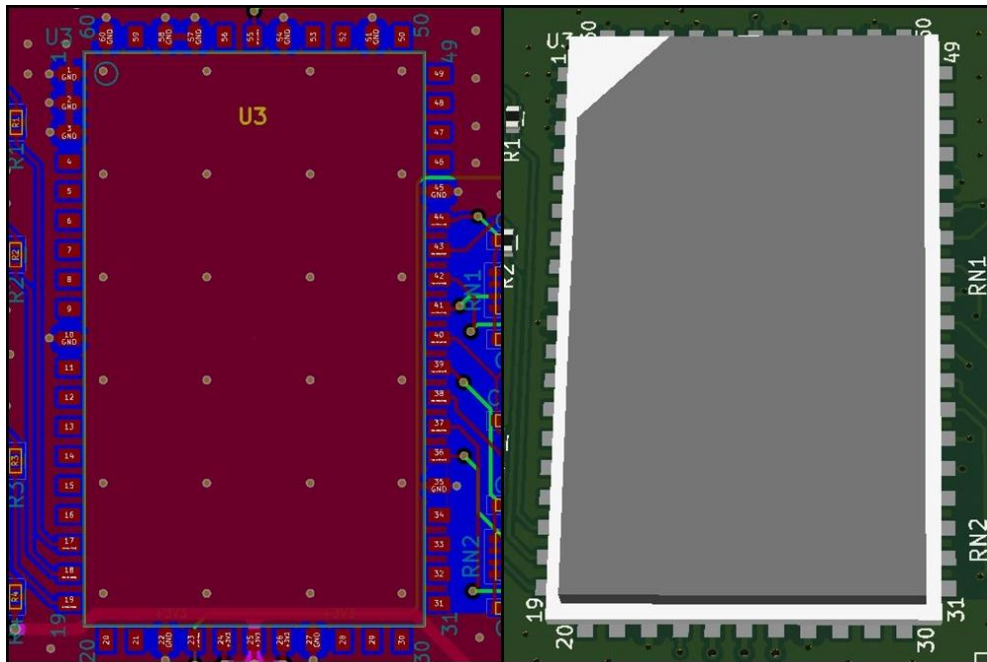


Figura 8.22. Circuito SoM PCB en 2D y 3D

### 8.1.3.4. VECTORES

En la PCB se serigrafian los siguientes vectores:

- **Logo de Dibal:** Todas las PCB que lleva la balanza tienen el logo de Dibal, por lo tanto, se ha creado el logo con el programa “Librecad” y se ha insertado en un borde de la placa. Junto a él, se escribe el identificativo interno de Dibal asignado a la placa del proyecto (MHWIFI0170030).

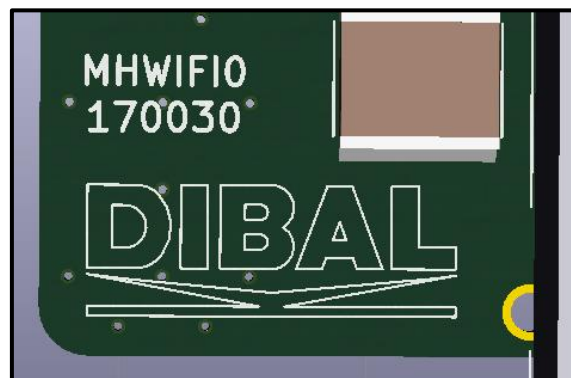


Figura 8.23. Vector logo Dibal e identificativo interno de la placa

- **WEEE:** Toda placa electrónica debe ser reciclable para reducir el impacto ecológico que supone y cumplir la directiva europea sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos EN-50419 L197/49 punto 4 (Eur-lex, 2018). Para fomentar el reciclaje se ha estampado el símbolo pertinente (Ec Europa, 2018).
- **RoHS:** Por norma, todas las PCB nuevas (exceptuando casos especiales) deben cumplir la directiva de “Restriction of Hazardous Substances”. La norma vigente es la 2015/863 y restringe el uso de los siguientes 10 materiales: Plomo, Mercurio, Cadmio, CR VI, PBB, PBDE, DEHP, BBP, DBP y DIBP (Rosh guide, 2018). Para fabricar la PCB se notifica al fabricante que apliquen dicha norma, además se ha comprobado que todos los componentes seleccionados para la PCB cumplan la directiva. Para certificar el uso de la normativa se ha estampado el vector de RoHS.

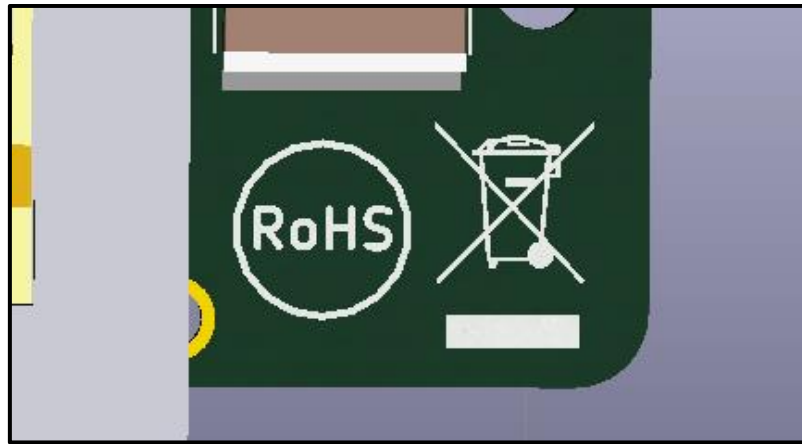


Figura 8.24. Vectores RoHS y WEEE

A continuación, se muestran la placa capa a capa y su aspecto en 3 dimensiones:



**Capa 1:** Pistas, plano GND, plano GNDREF, serigrafía, componentes, agujeros y vías.

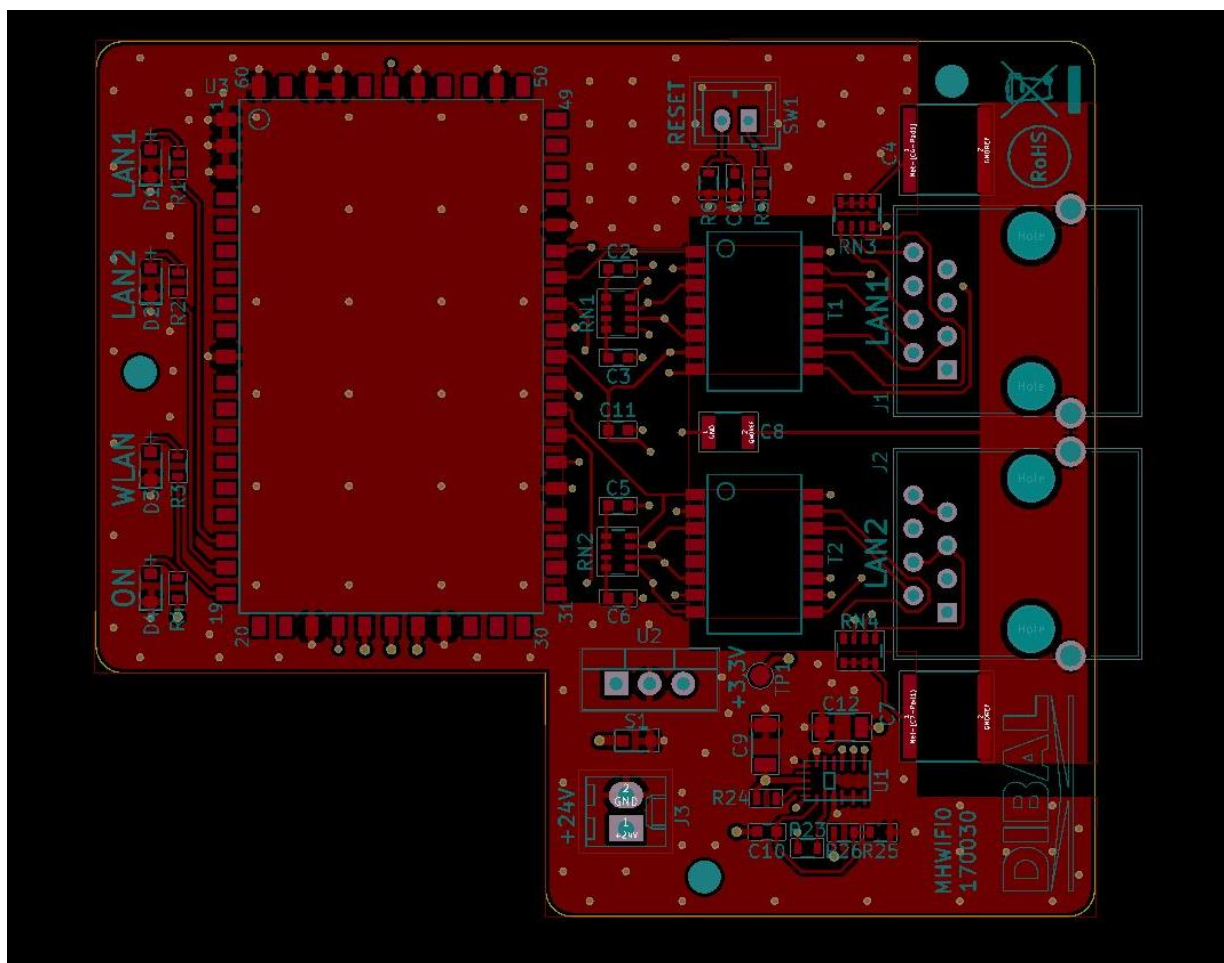


Figura 8.25. Capa 1 2D

Capa 2: Pistas alimentación, agujeros y vías.

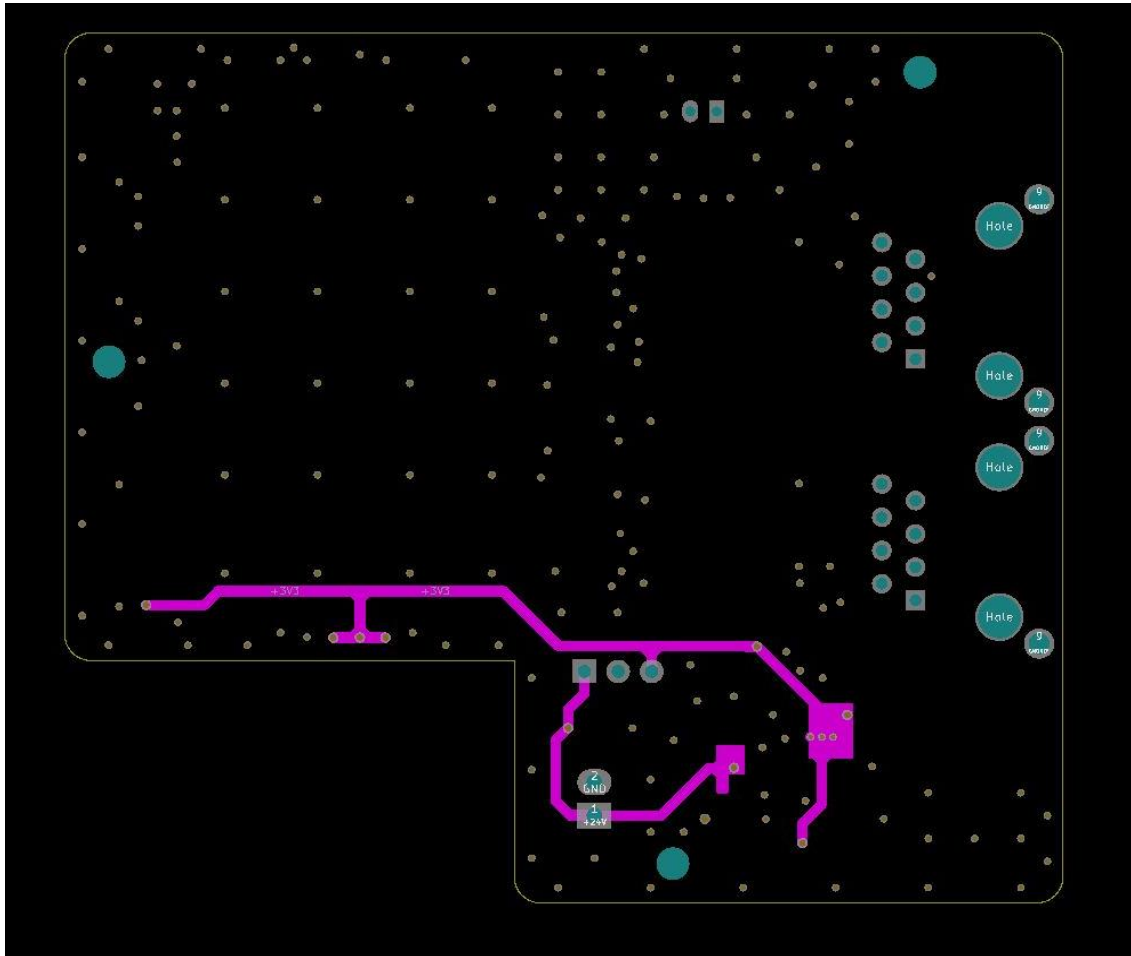


Figura 8.26. Capa 2 2D

Capa 3: Pistas, agujeros y vías.

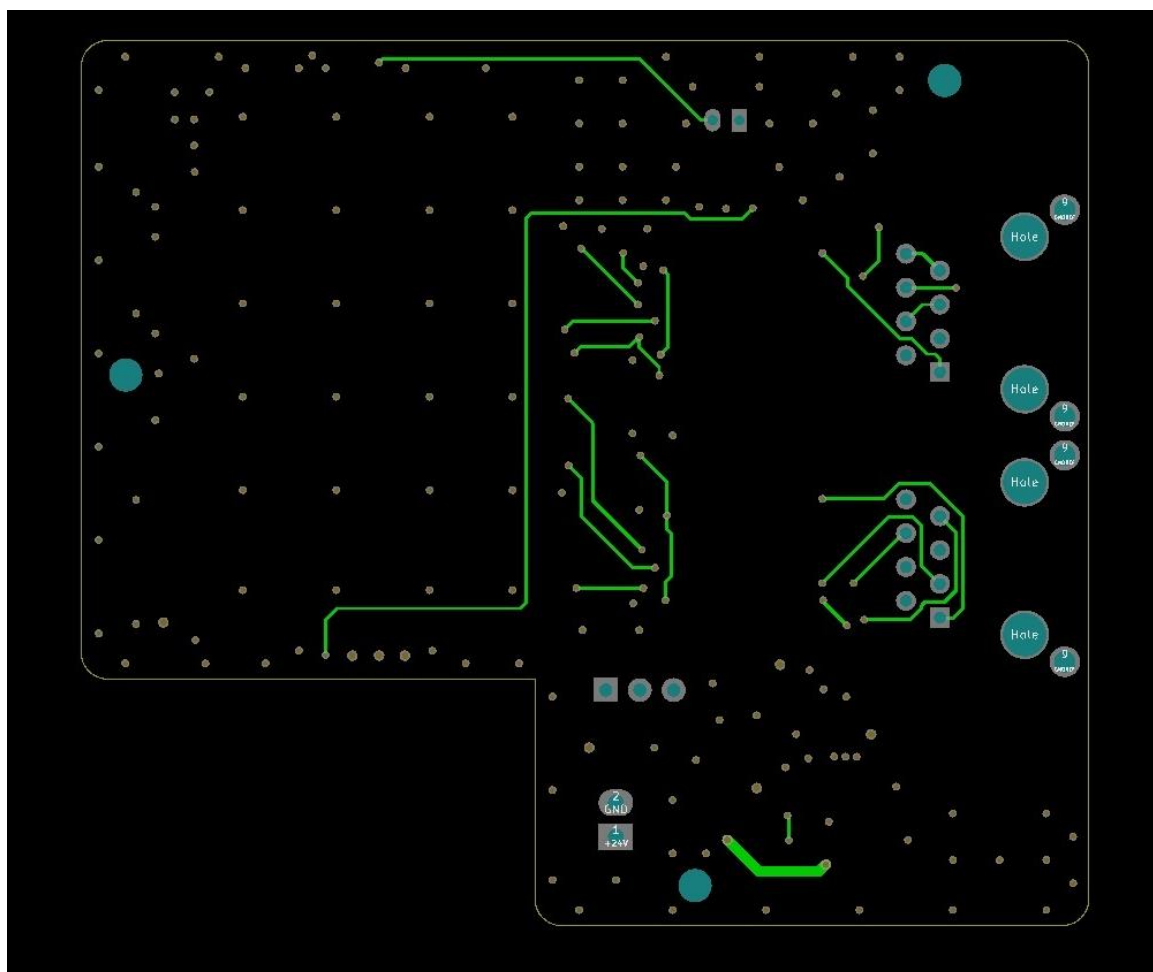


Figura 8.27. Capa 3 2D

**Capa 4:** Capa de plano de GND, agujeros y vías.

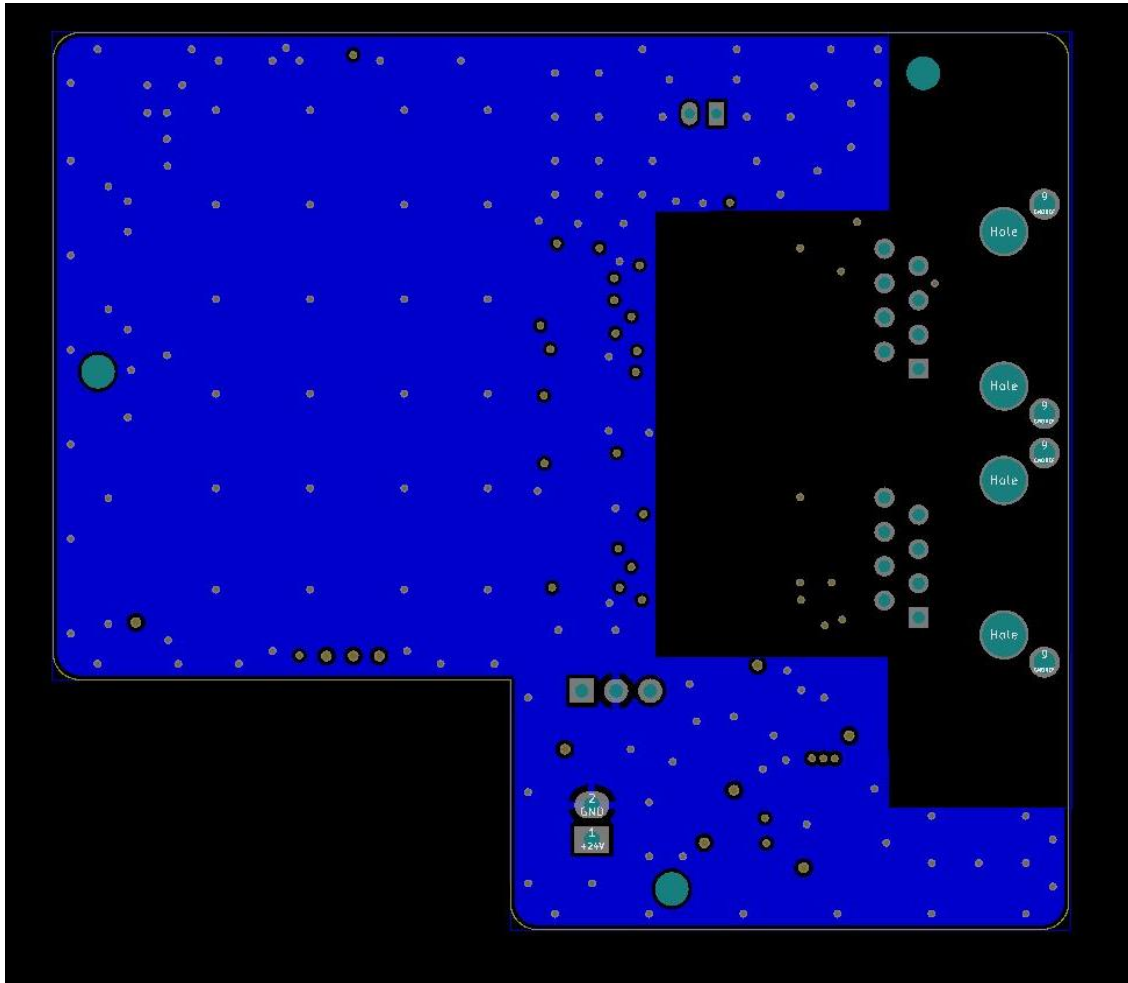


Figura 8.28. Capa 4 2D

PCBA TODAS LAS CAPAS:

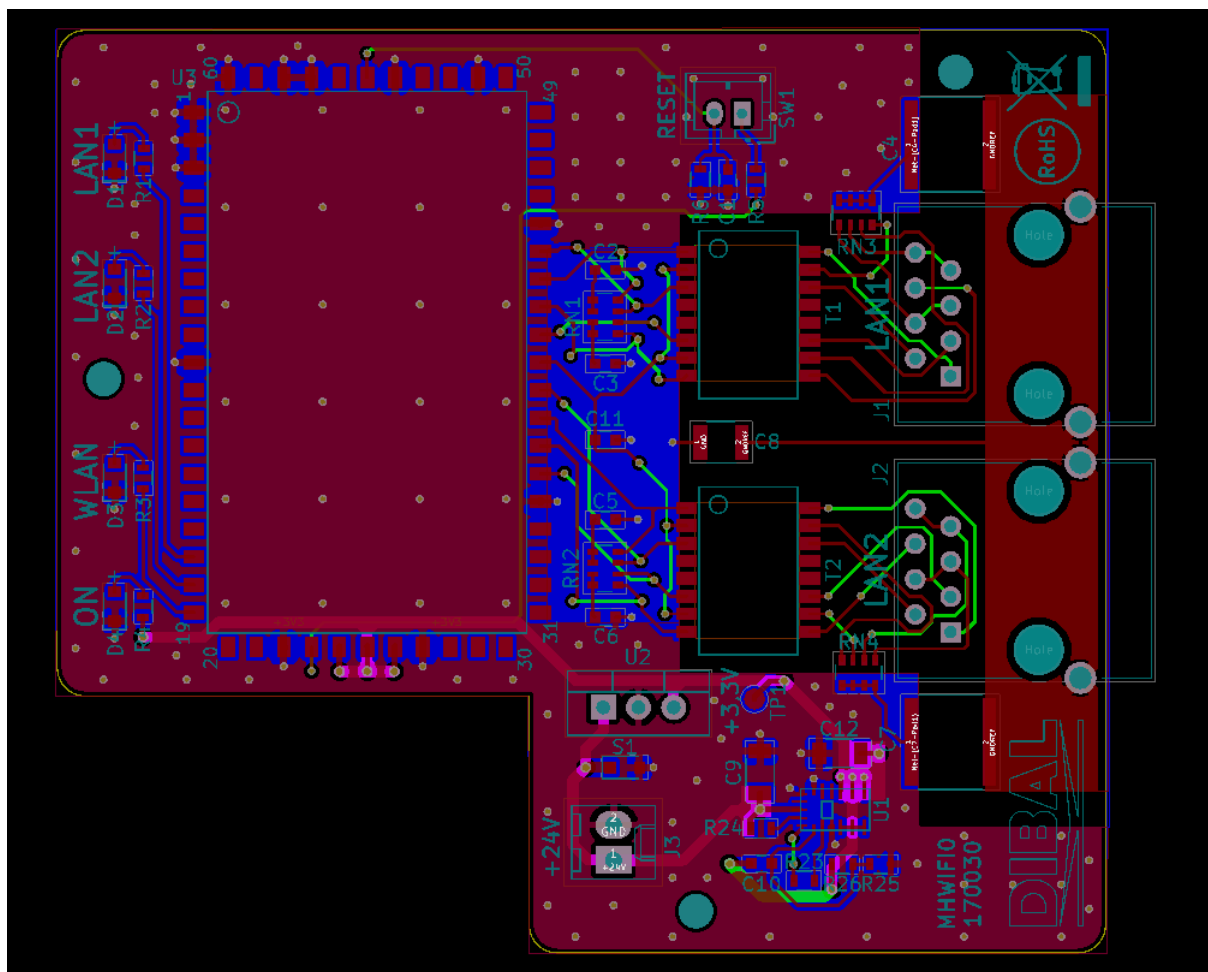


Figura 8.29. Todas las capas en 2D

### PCBA 3D:

En las siguientes imágenes se muestra el aspecto real aproximado de la PCBA.

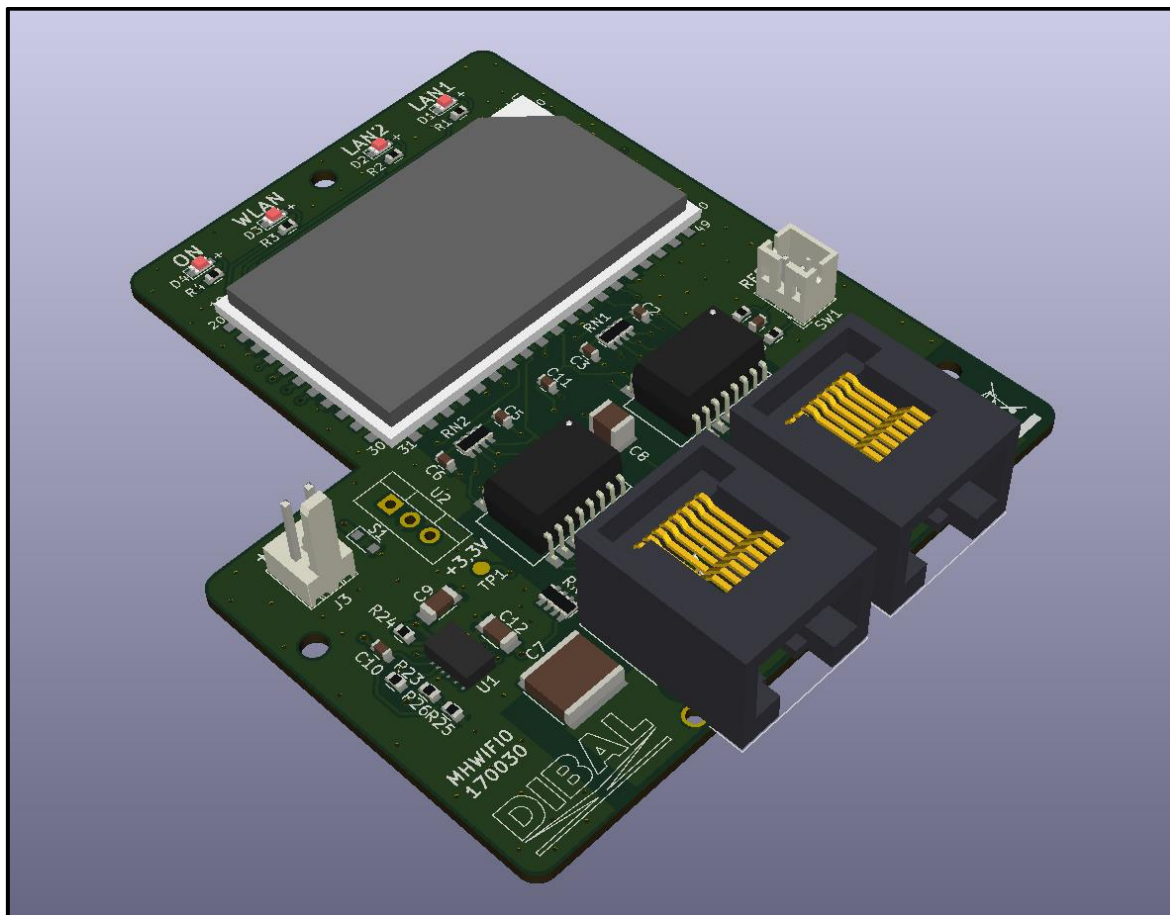


Figura 8.30. PCBA 3D imagen 1 de 3

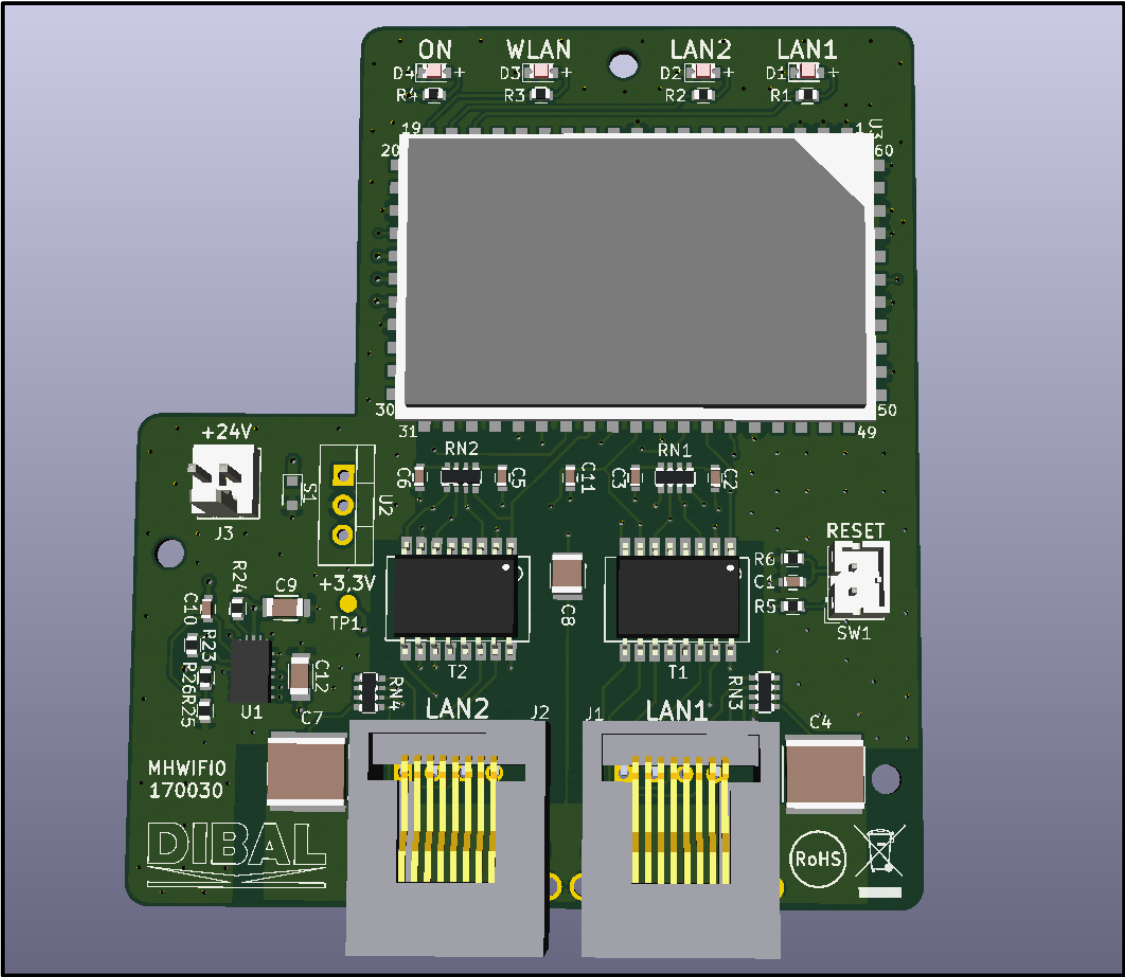


Figura 8.31. PCBA 3D imagen 2 de 3

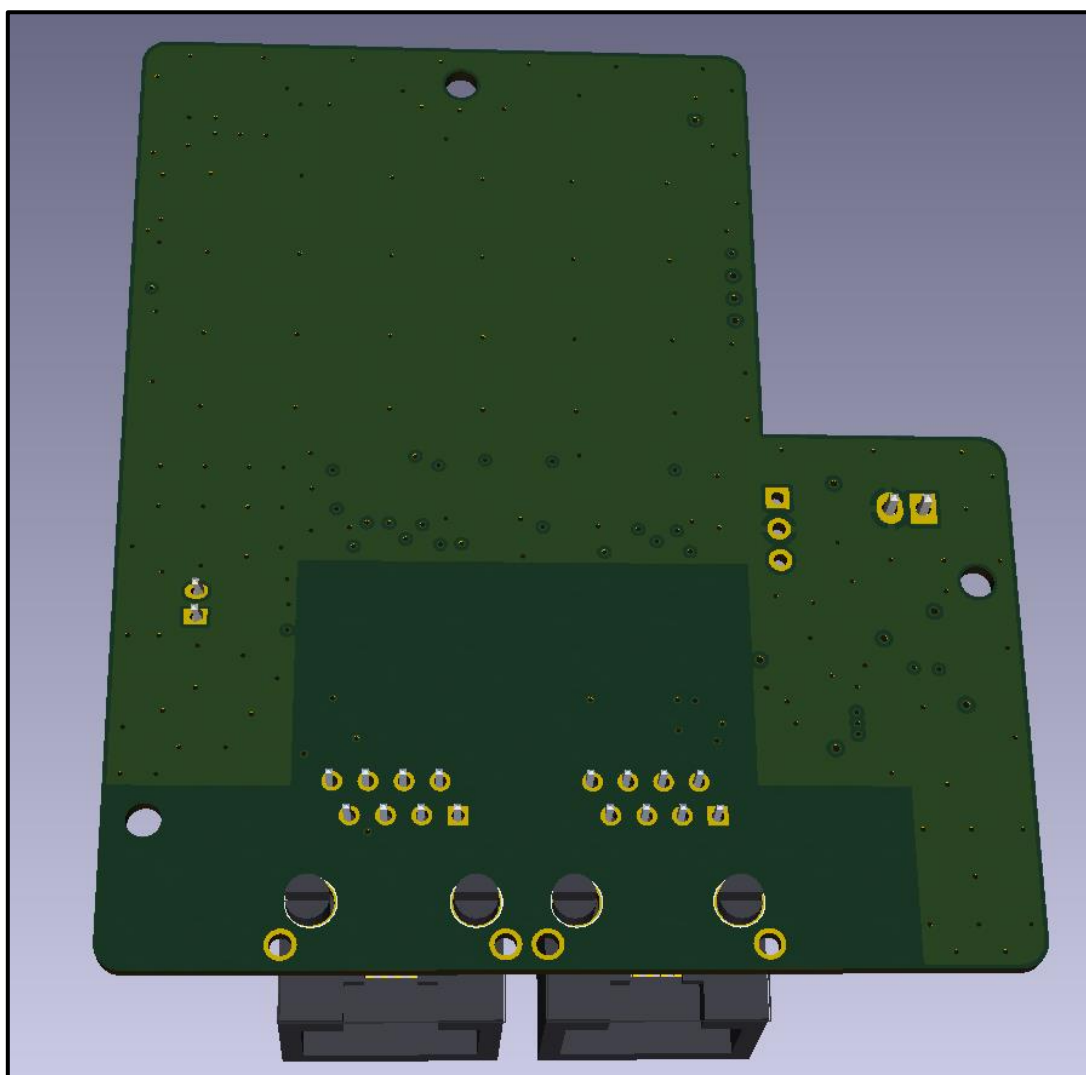


Figura 8.32. PCBA 3D imagen 3 de 3

### 8.1.3.5. FICHEROS DE PRODUCCIÓN

Para fabricar la placa se tienen que crear los ficheros correspondientes para que los fabricantes puedan interpretarlos. El software KiCad incluye las herramientas necesarias para la creación de los ficheros de producción.

Los ficheros necesarios para fabricar la placa son los siguientes:

- **TOP.gbr:** Fichero de formato “.gbr” (los ficheros “gerber” son un formato de plano de pistas interpretado por todos los fabricantes de placas), Pistas por lado de componentes, capa 1. Figura 8.33
- **L2.gbr:** Pistas por capa 2. Figura 8.34
- **L3.gbr:** Pistas por capa 3. Figura 8.35



- **BOTTOM.gbr:** Pistas por el lado de soldadura, capa 4. Figura 8.36
- **SMCS.gbr:** Anti-soldadura del lado de componentes. Toda la zona que no está marcada se cubre con resina aislante. Figura 8.37
- **SMPS.gbr:** Anti-soldadura del lado de soldadura. Figura 8.38
- **SSCS.gbr:** Serigrafía del lado de componentes. Figura 8.39
- **SSPS.gbr:** Serigrafía del lado de soldadura. En este caso no hay serigrafía por el lado de la soldadura.
- **SPCS.gbr:** Pasta de soldadura del lado de componentes. Figura 8.40
- **SPPS.gbr:** Pasta de soldadura del lado de soldadura. En este caso no hay que aplicar pasta de soldadura por el lado trasero.
- **P\_DRILLS.drl:** Fichero formato “.drl” (los ficheros “drill” son el formato de planos de taladrado interpretados por todos los fabricantes de placas). Agujeros plateados, es decir, con metal por el interior. Figura 8.41
- **NP\_DRILLS.drl:** Agujeros sin platear, sin metal por el interior. Figura 8.42
- **DRILL CUSTOMIZATION.rpt:** Fichero de formato “.rpt” (los ficheros “report” son el formato reconocido para el informe del tamaño de los taladros)
- **DRILL MAP.pdf:** Mismo contenido que el “Drill\_customization” pero en este caso, se visualizan gráficamente todos los orificios. Figura 8.43
- **XY.pos:** Fichero de formato “.pos” (los ficheros de “position” son unos ficheros donde todos los componentes están listados junto a sus coordenadas y orientación)
- **ASCS.pdf:** En este fichero se observa gráficamente la posición y orientación de todos los componentes. Sirve de ayuda para el montador. Figura 8.44
- **BOM.xls:** Bill of materials. Se listan todos los componentes que se van a montar en la placa en un Excell. En cada componente se especifica la cantidad, referencia de la huella, fabricante, formato y características. Se recalca que todos los componentes deben cumplir la normativa RoHS. En el BOM tan solo se deben incluir los componentes que se van a montar, por lo tanto, no se añaden los componentes del regulador de tensión secundario U2 (TRACO) y S1 (su diodo).  
Tabla 8.1

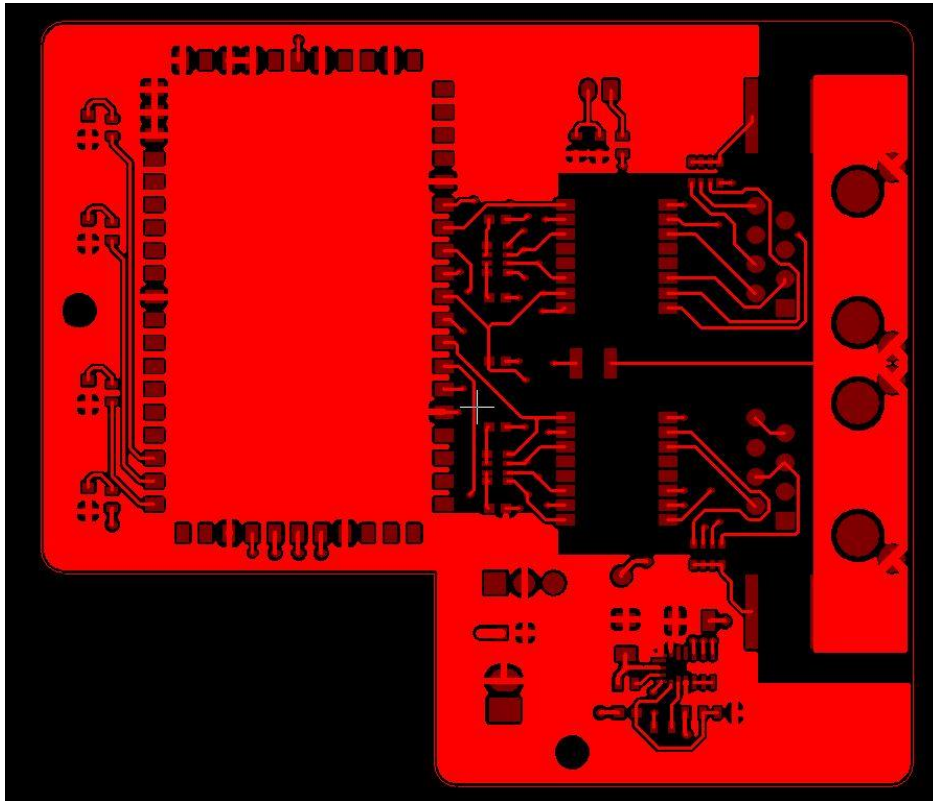


Figura 8.33. Fichero de fabricación TOP.gbr

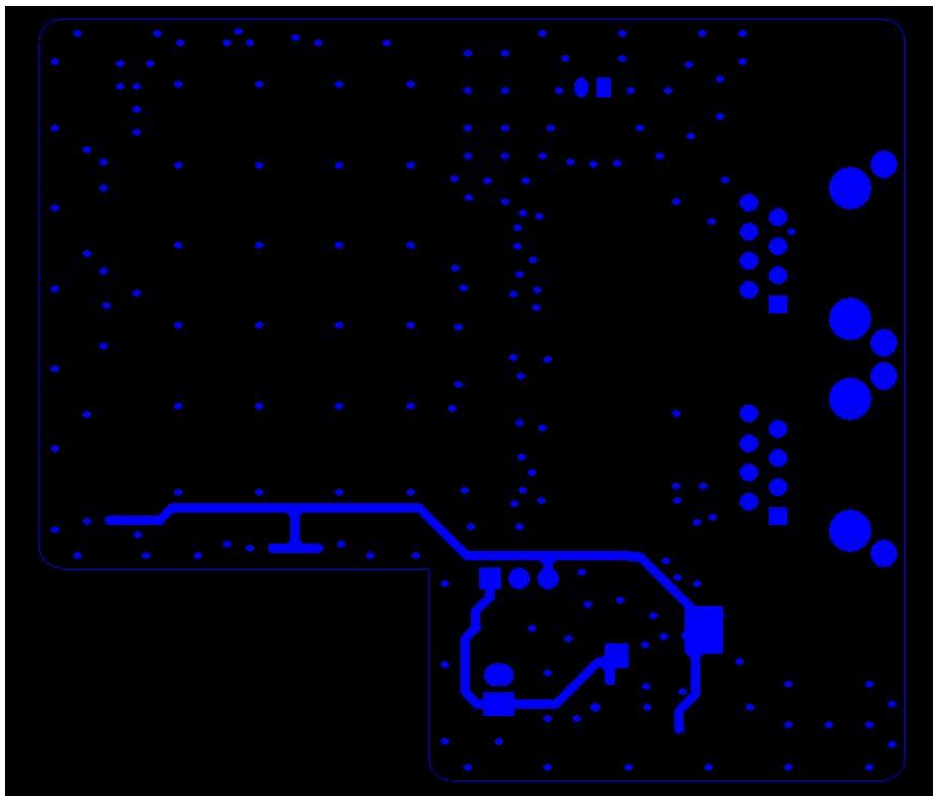


Figura 8.34. Fichero de fabricación L2.gbr

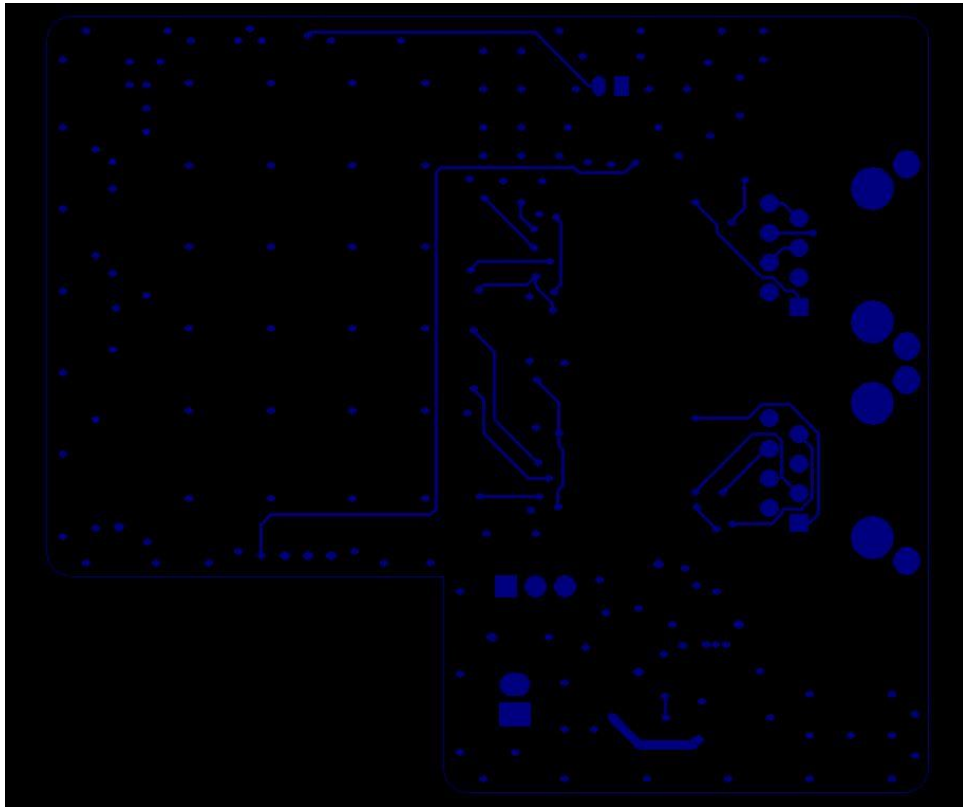


Figura 8.35. Fichero de fabricación L3.gbr

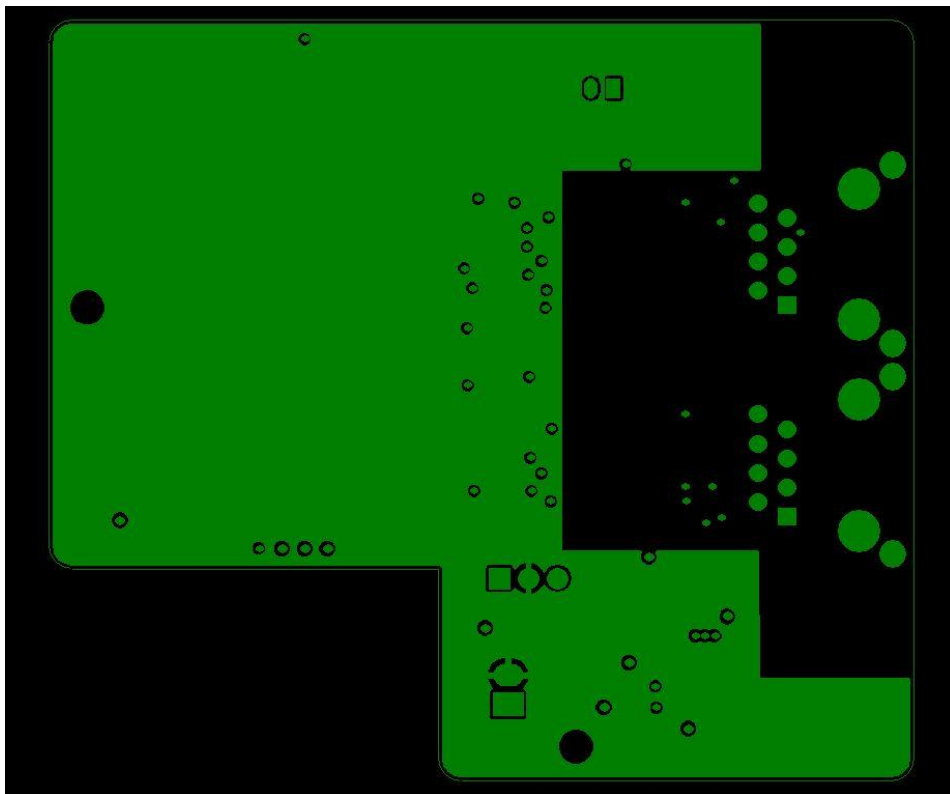


Figura 8.36. Fichero de fabricación BOTTOM.gbr

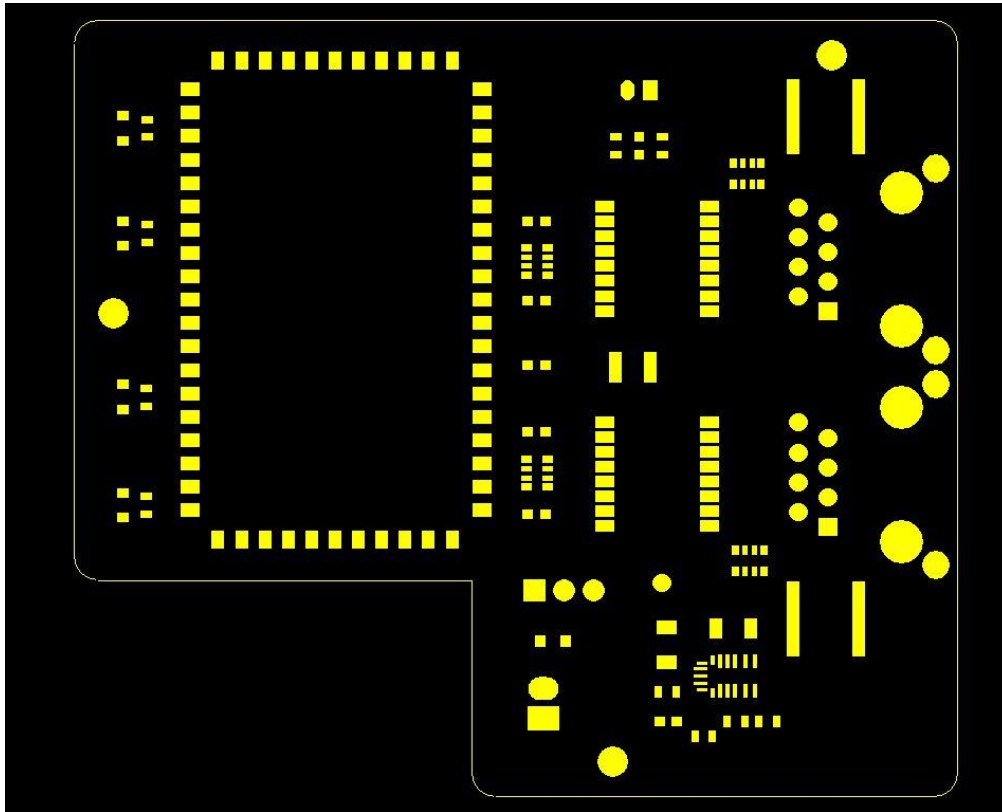


Figura 8.37. Fichero de fabricación SMCS.gbr

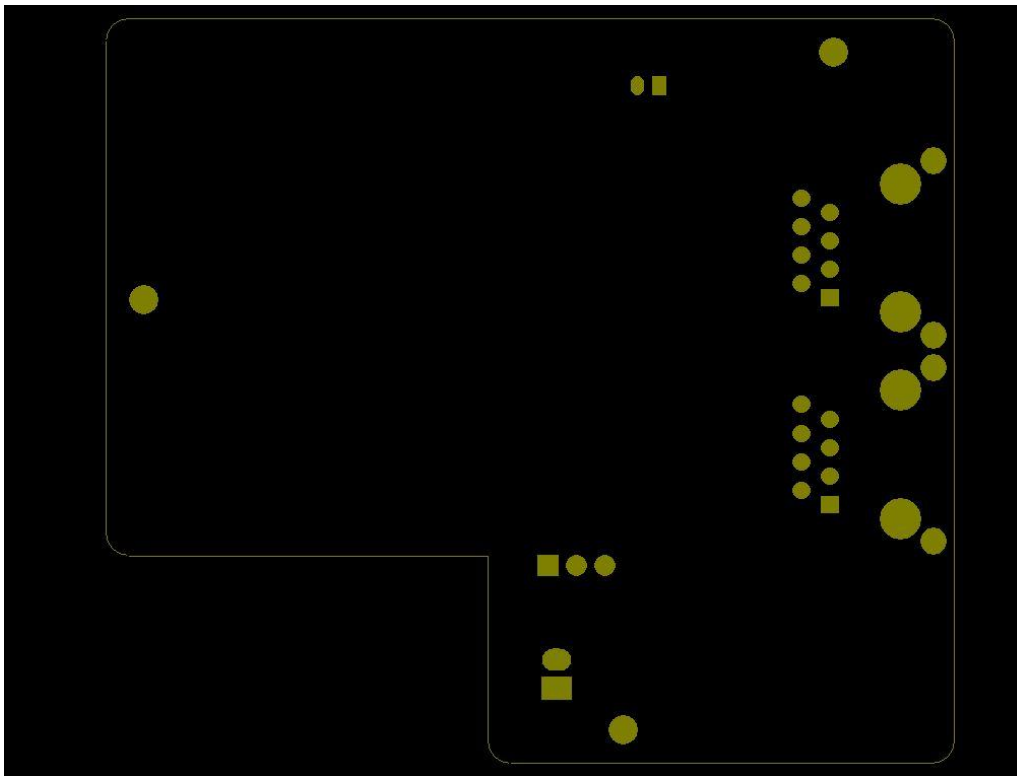


Figura 8.38. Fichero de fabricación SMPS.gbr

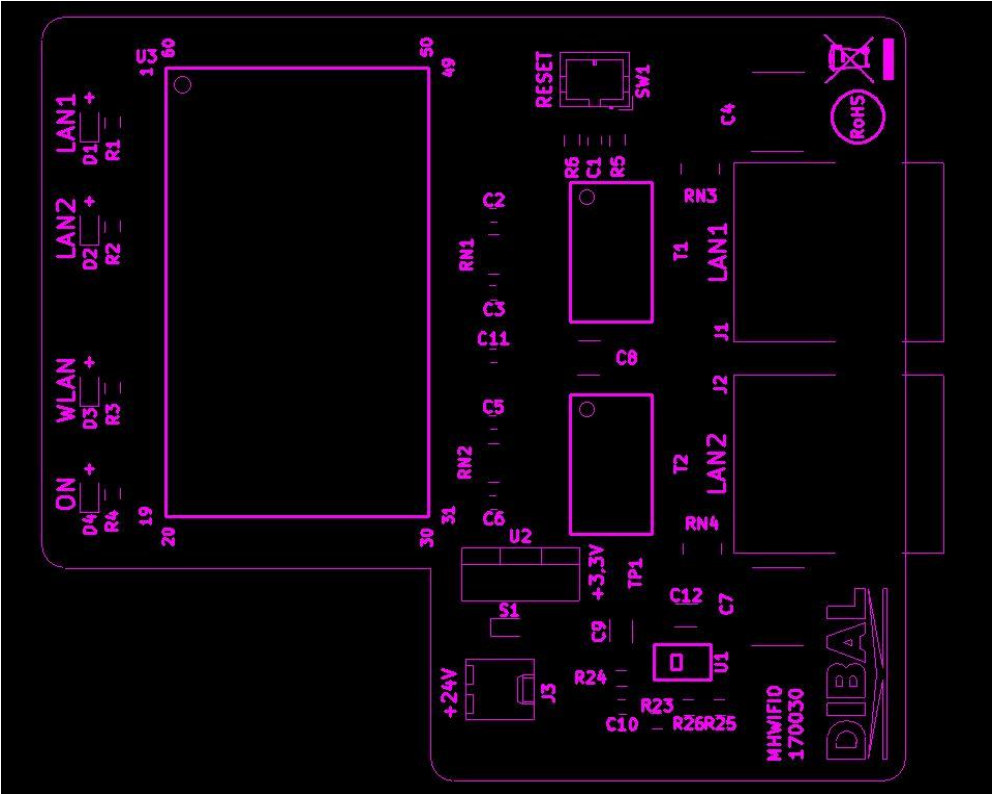


Figura 8.39. Fichero de fabricación SSCS.gbr

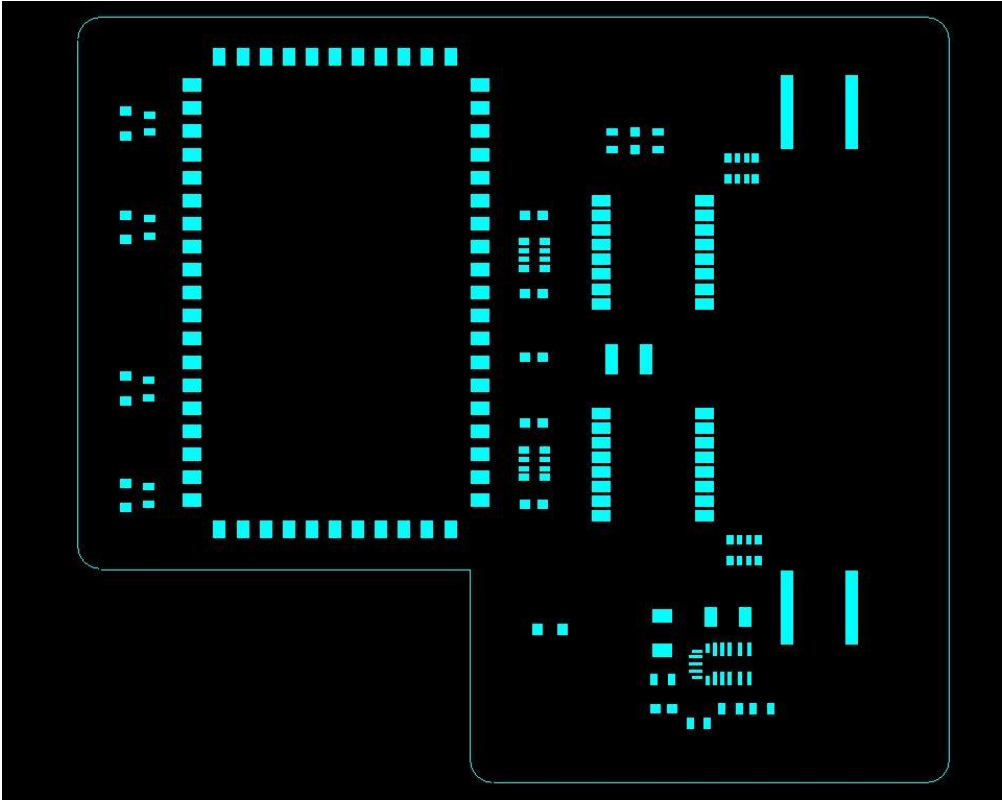


Figura 8.40. Fichero de fabricación SPCS.gbr

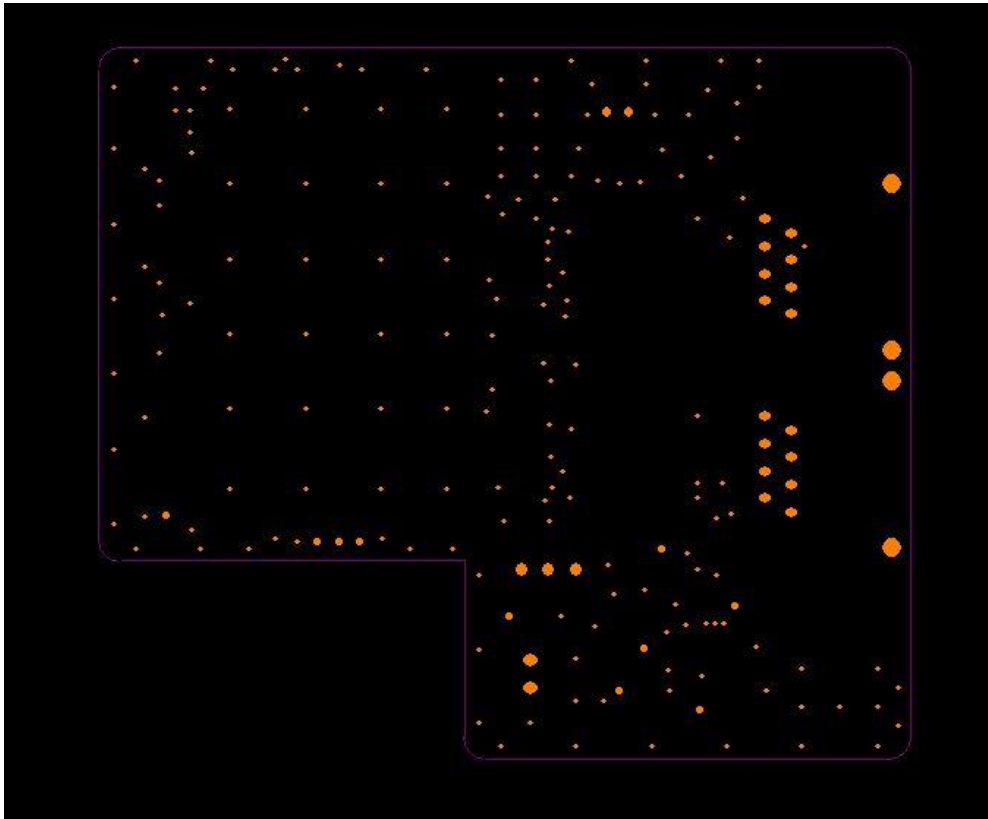


Figura 8.41. Fichero de fabricación P\_DRILLS.drl

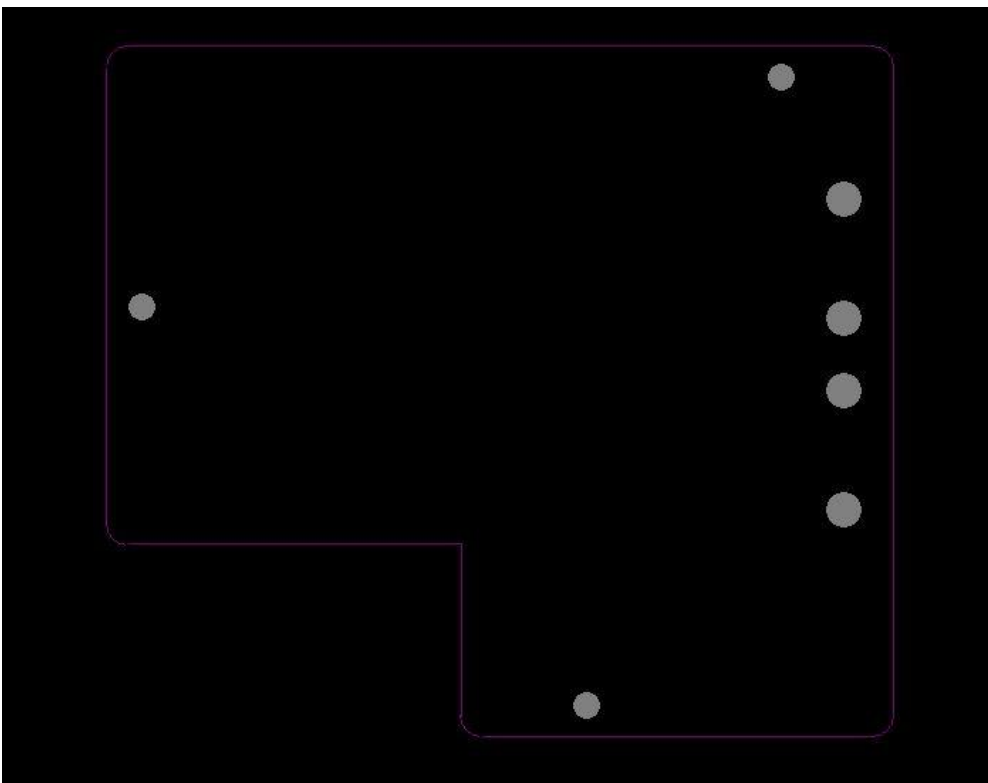


Figura 8.42. Fichero de fabricación NP\_DRILLS.drl

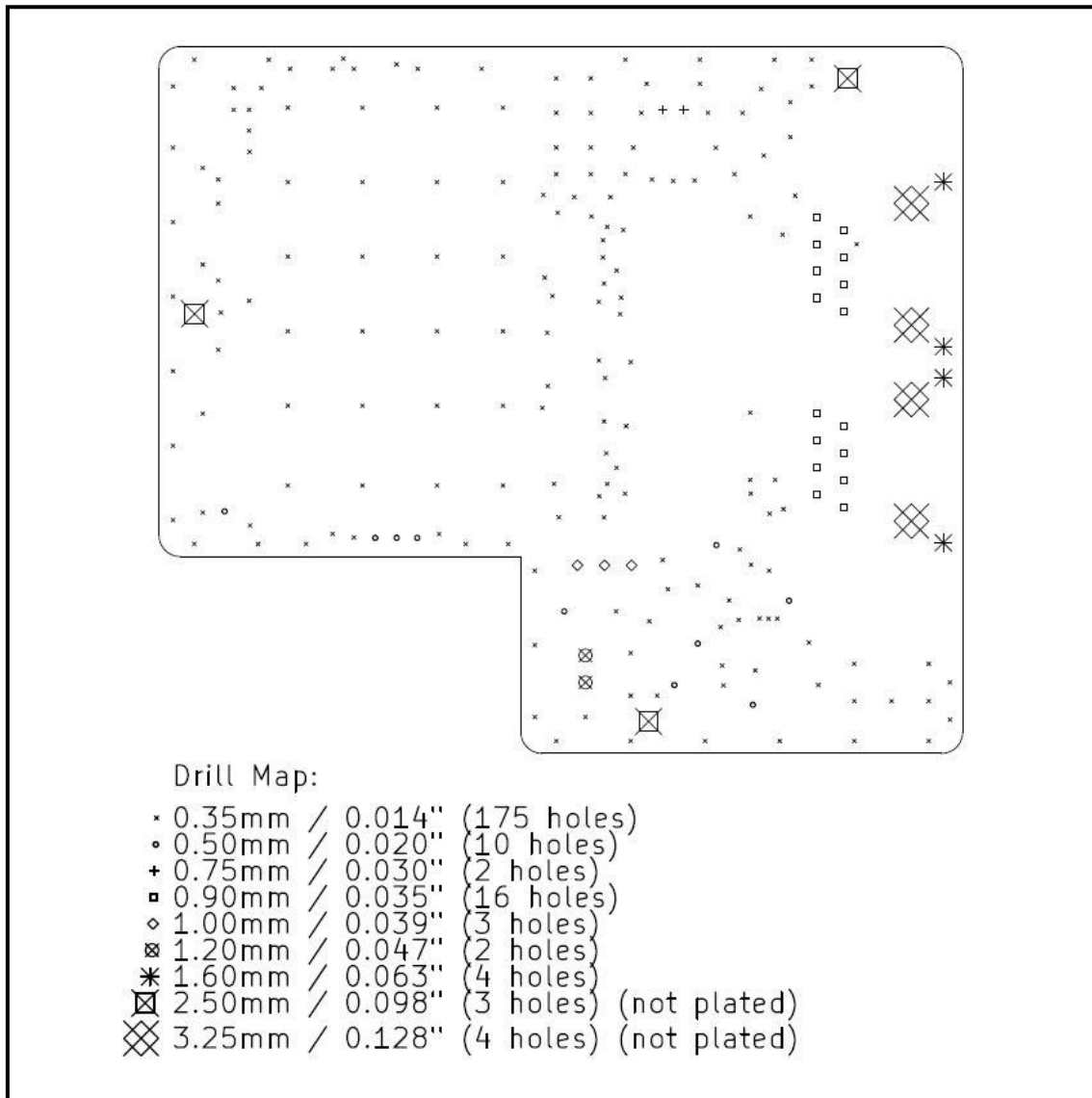


Figura 8.43. Fichero de fabricación DRILL\_MAP.pdf

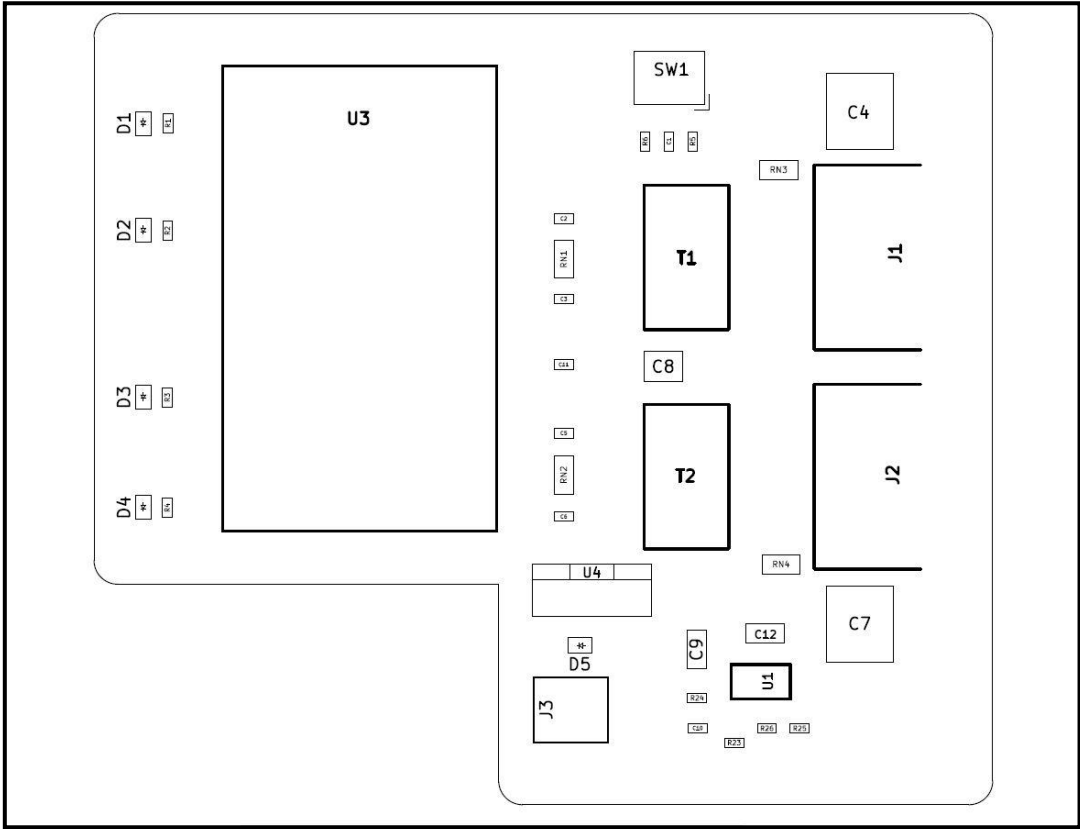


Figura 8.44. Fichero de fabricación ASCS.pdf



Tabla 8.1. Fichero de fabricación BOM.xls

<b>BOM451700300001_MHWIFIO</b>					
Item	Quantity	Reference	Description	Manufacturer	P/N Manufacturer - Value
1	1	C1	C SMD CER 10nF,X7R,>=50V,5%,0603	ANY	10nF
2	5	C2,C3,C5,C6,C11	C SMD CER 100nF,X7R,>=50V,10%,0603	ANY	100nF
3	2	C4,C7	C SMD CER 1nF,NPO/G0G,2KV,5%,2225	ANY	1nF
4	1	C8	C SMD CER 2,2nF,X7R,2KV,10%,1210	ANY	2,2nF
5	1	C9	C SMD CER 4,7uF,X7R,>=63V,10%,1206	ANY	4,7uF
6	1	C10	C SMD CER 22pF,NPO/C0G,>=50V,10%,0603	ANY	22pF
7	1	C12	C SMD CER 47uF,X5R,>=16V,20%,1206	ANY	47uF
8	4	D1,D2,D3,D4	LED,SMD,0805	AVAGO	HSMH-C170
9	2	J1,J2	RJ45	CONEXCON Molex	7642-T881 85505-5113
10	1	J3	2x2,54mm straight connector	MOLEX	22-27-2021
11	4	R1,R2,R3,R4	R SMD 330R,5%,0603	ANY	330R
12	1	R5	R SMD 1K,5%,0603	ANY	1K
13	1	R6	R SMD 10K,1%,0603	ANY	10K
14	1	R23	R SMD 100K,1%,0603	ANY	100K
15	1	R24	R SMD 1M,5%,0603	ANY	1M
16	1	R25	R SMD 24K,1%,0603	ANY	24K
17	1	R26	R SMD 75K,1%,0603	ANY	75K
18	2	RN1,RN2	R SMD 50R,Array,1%,4x0603 RES-YC16	ANY	50R
19	2	RN3,RN4	R SMD 75R,Array,1%,4x0603 RES-YC16	ANY	75R
20	1	SW1	2x2.00mm straight connector	CviLux JST	CI0102P1V00-NH B2B-PH-K-S(LF)(SN)
21	2	T1,T2	Ethernet magnetic transformer, single port, 10/10	Compass power tech. Würth Elektronik Ycl Yuan Dean Mnc Pulse	H1601CG 749013010 PH163539 11BS-05IS H1601CG HX1188NL ATPL-046DMR
22	1	U1	Voltage regulator	MPS	MPM3510A
23	1	U3	Domino Core	GL-INET	Domino Core

**ALL COMPONENTS MUST BE RoHS COMPLIANT**

### 8.1.4. PRODUCCIÓN

Con todos los ficheros preparados se ha procedido a fabricar 10 unidades para verificar que el diseño planteado es el correcto. Tras enviar los ficheros y contrastar los precios de producción en distintas empresas, se ha decidido desarrollar la placa con Lantegi Batuak.

A continuación, se explica brevemente el proceso de fabricación:

1. Lantegi Batuak subcontrata una empresa para fabricar las PCB, les envía todos los ficheros necesarios y les devuelve las PCB materializadas. Estas placas llegan sin la pasta de soldadura ni componentes.

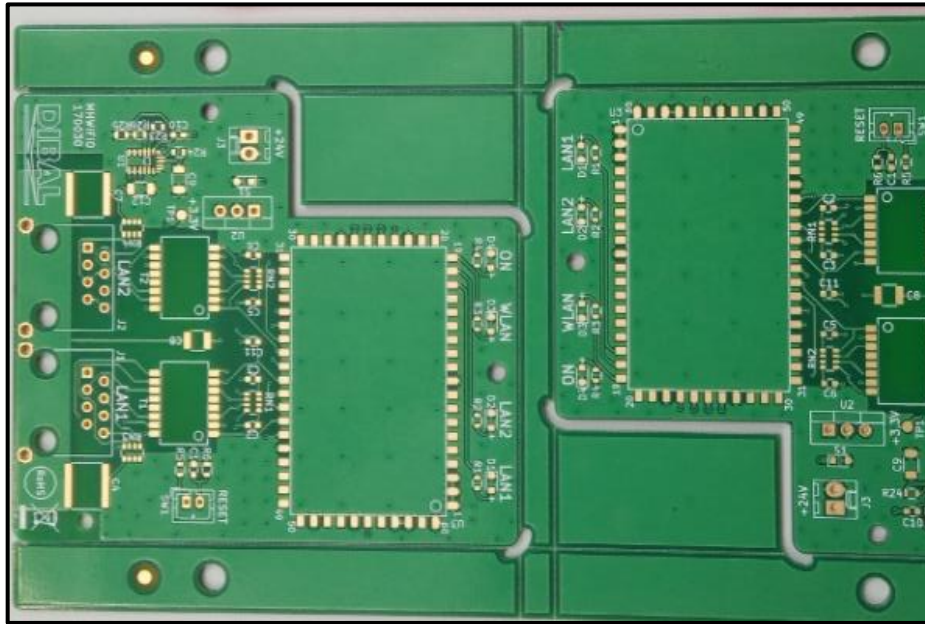


Figura 8.45. PCB sin componentes

2. Se hace el pedido de todos los componentes del BOM. Los componentes llegan en cintas o rollos para poder ser utilizados en la máquina pick&place. Hasta la hora de montaje, la mayoría de componentes se almacenan en estanterías robotizadas, mientras que los más sensibles se guardan en cámaras con control de temperatura y humedad.



Figura 8.46. A la izquierda las cámaras de control y a la derecha la estantería robotizada.

3. Se procede a aplicar la pasta de soldadura con ayuda del “Stencil”. El Stencil es una placa metálica con agujeros mecanizados en las zonas donde hay que aplicar la pasta, después, se coloca el Stencil sobre la PCB y una máquina aplica la pasta.
4. Con la máquina pick&place se colocan todos los componentes SMD sobre la pasta de soldadura. Los cabezales de este aparato cogen los componentes de las cintas/rollos mediante una ventosa de vacío y los coloca en las posiciones definidas en el fichero XY. Este proceso dura pocos segundos gracias a los 4 cabezales que trabajan simultáneamente.



Figura 8.47. Máquina pick & place

5. Se introduce la placa en un horno con una curva de temperatura progresiva y lenta para que los componentes no se vean afectados por el choque térmico. La pasta de soldadura se funde uniendo los contactos de los componentes con los “pads” de la PCB.
6. Cuando la placa sale del horno se introduce en una máquina AOI (visión artificial) que inspecciona toda la placa en busca de malas soldaduras o componentes mal colocados. En tal caso, el operario es notificado del problema y lo soluciona manualmente.



Figura 8.48. Máquina AOI

7. Finalmente, un operario suelda a mano los componentes THD y realiza una inspección visual de toda la placa.



Figura 8.49. Mi compañero Aitor Sanepifanio y yo en la planta de Lantegi Batuak

Este es el resultado de todo el trabajo de diseño hardware:



Figura 8.50. Placa terminada, vista lateral

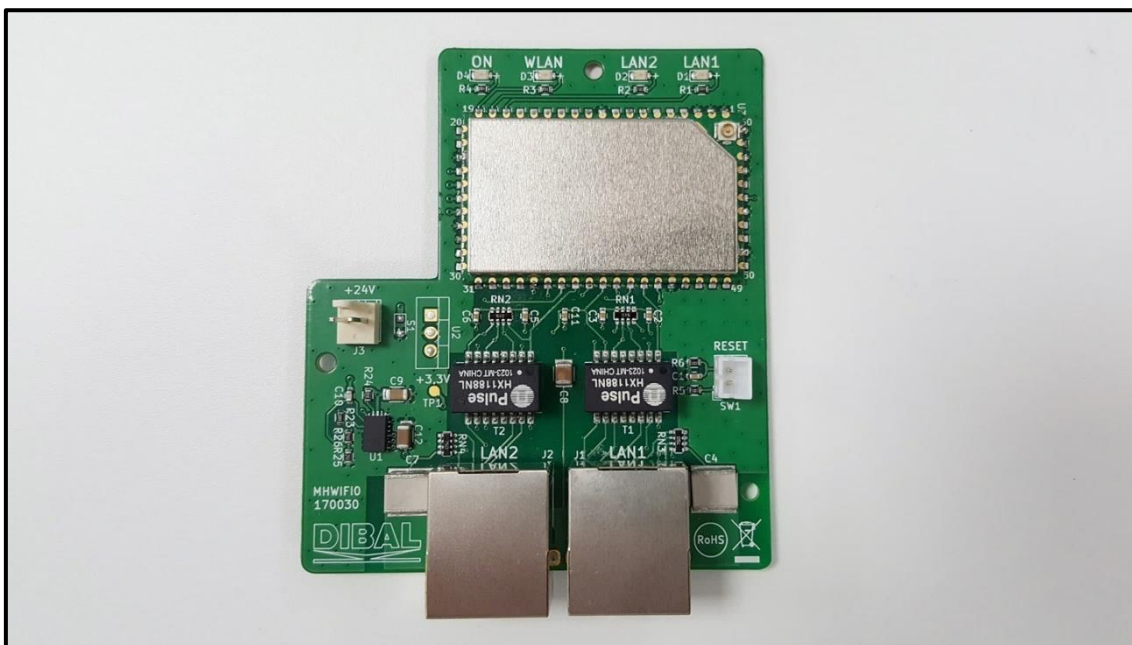


Figura 8.51. Placa terminada, vista superior

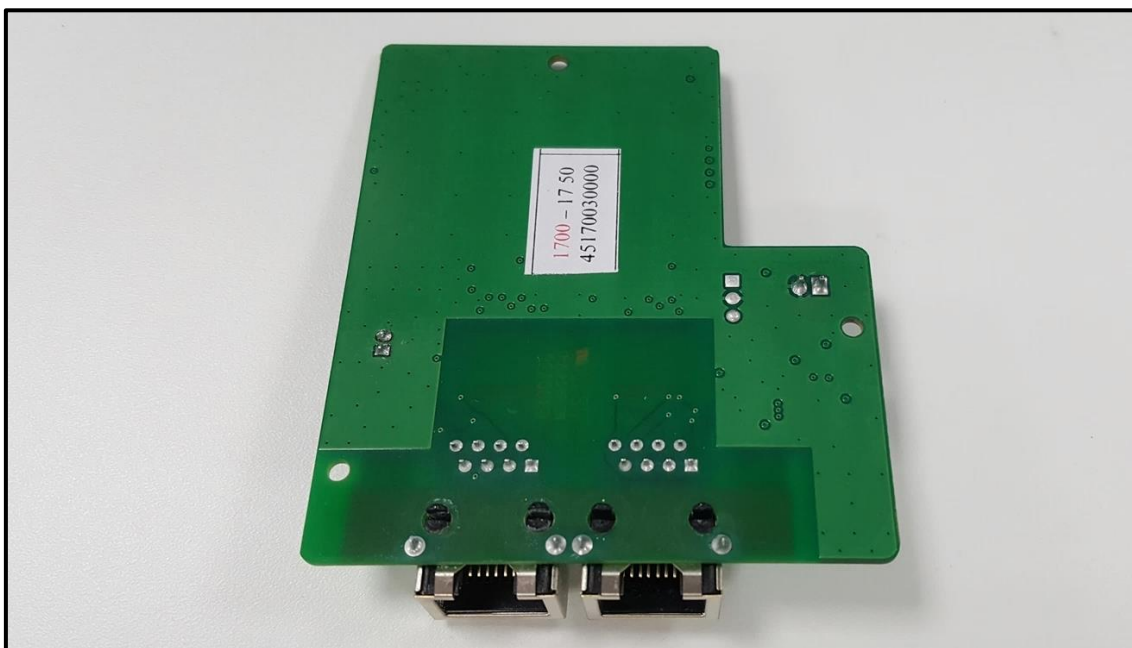


Figura 8.52. Placa terminada, vista inferior

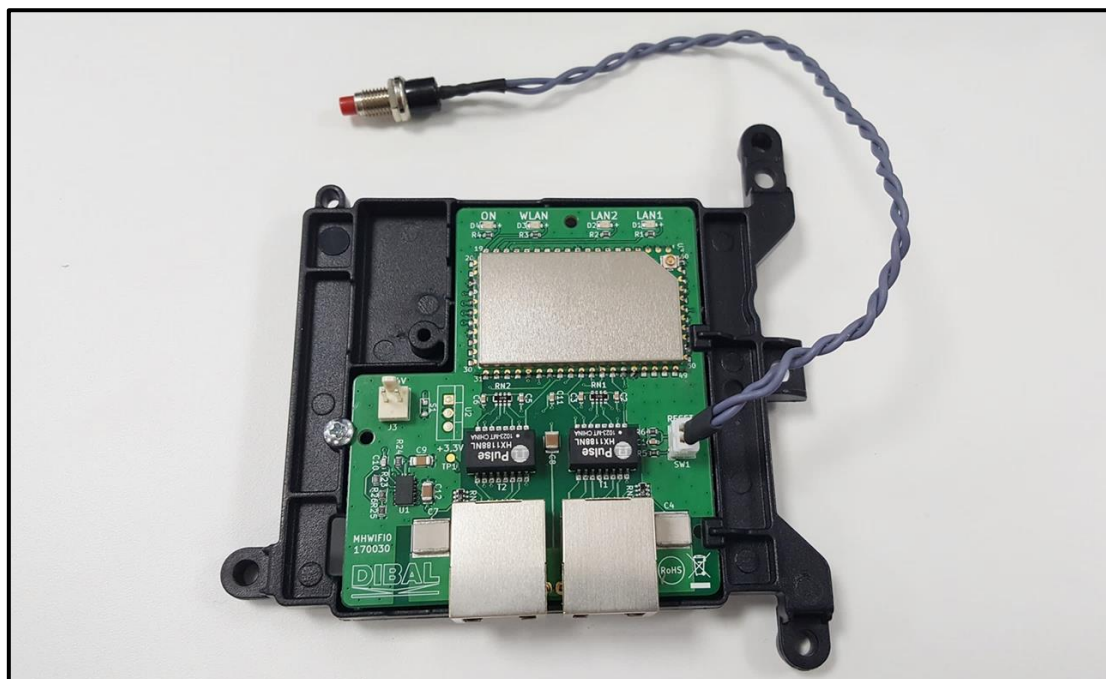


Figura 8.53. Placa terminada montada en cama y con botón reset.

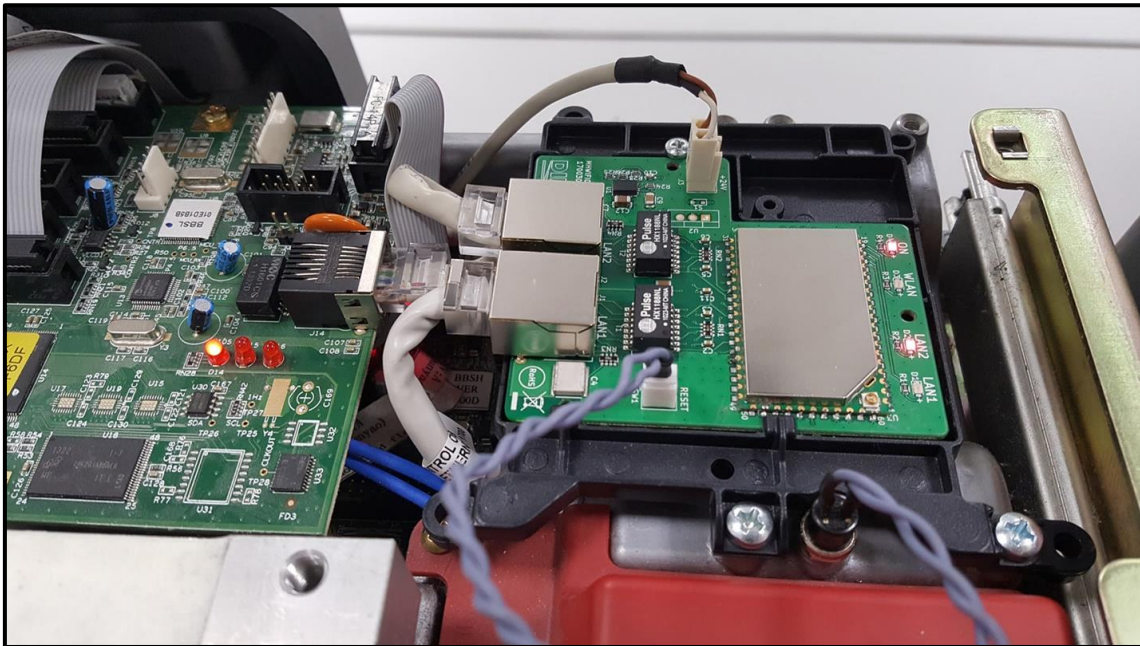


Figura 8.54. Placa terminada montada en balanza

## 8.2. METODOLOGIA: SOFTWARE

En este apartado se explica la configuración de SW de la placa para que sea funcional y el diseño teórico de LuCI.

### 8.2.1. CONFIGURACIÓN FUNCIONAL

Para que el módulo funcione correctamente cumpliendo los requisitos definidos, mediante su interfaz web, se realizarán los siguientes pasos de configuración:

1. Modo de funcionamiento: Se selecciona el modo cliente.
2. Establecer IP estática o dinámica.
3. Puentear las interfaces WLAN, LAN1 y LAN2.
4. Activar STP.
5. Introducir SSID y contraseña/criptación.

Una vez realizados estos pasos será posible la comunicación inalámbrica entre el AP y la balanza.

### 8.2.2. DISEÑO TEÓRICO DE LUCI

Para diseñar módulos propios en LuCI (LuCI, 2018) debemos de implementar un modelo MVC en el directorio /usr/lib/luarocks/rocks-3.0/luasocket-3.0.0. Para ello se debe programar cada parte en su propio directorio:

- Controlador: Se diseñan las acciones en el directorio `lucidir/controller/myapp/mymodule.lua`
- Vista: Se diseña lo que se quiere mostrar en modelo HTML en el directorio `lucidir/view/myapp-mymodule/helloworld.htm`
- Modelo: Se diseña la estructura de la interfaz en el directorio `lucidir/model/cbi/myapp-mymodule/netifaces.lua`



## 9. PRUEBAS

Es necesario hacer pruebas para comprobar la calidad, rendimiento y funcionalidad del producto. Se han realizado varias pruebas de HW y SW para verificar que el diseño es correcto.

Por último, también se va a comprobar si cumple uno de los objetivos del proyecto, la modularidad del SoM.

### 9.1. PRUEBAS: HARDWARE

En los siguientes puntos se van a realizar pruebas de consumo, cámara climática, quemado y cámara termográfica.

#### 9.1.1. CONSUMO

Para medir el consumo del dispositivo se ha conectado una pinza amperimétrica de un osciloscopio Agilent MSO-X 4034 al cable +24V de entrada con dispositivo en funcionamiento. En la Figura 9.1. Captura intensidad osciloscopio se muestra lo medido por el osciloscopio:

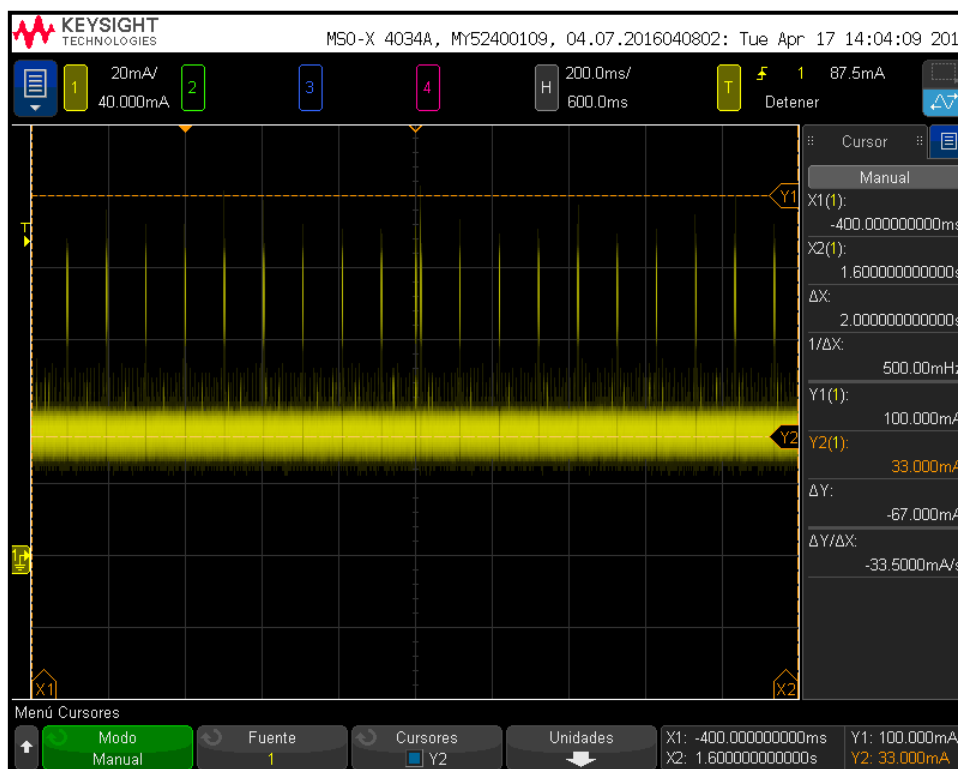


Figura 9.1. Captura intensidad osciloscopio

Como el consumo del dispositivo es variable, la curva de la intensidad mostrada también lo es, los picos corresponden al beacon inalámbrico emitido por el dispositivo cada 100ms. Para calcular el consumo medio se debe conocer la intensidad media, siendo de 33mA. Por lo tanto, el consumo medio real del dispositivo completo es el siguiente:

$$P = V * I$$

$$P = 24 V * 0.033 A$$

$$P = 0,792 W$$

El cable de alimentación para el módulo Wi-Fi puede ofrecer hasta 1A a 24V, es decir 24W. El dispositivo se encuentra lejos de ese límite con un consumo medio de 0,792W.

### 9.1.2. CÁMARA CLIMÁTICA

Las balanzas de Dibal están certificadas para que trabajen en el rango de temperaturas de -10°C a 40°C. Todos los componentes internos deben comportarse correctamente, módulo Wi-Fi incluido. Dibal, tiene en sus instalaciones una cámara climática de 1000L de la marca Ineltec para validar los dispositivos. Además, puede controlar la humedad en temperaturas positivas, a 40°C se configura a un 80%, simulando climas tropicales y a -10°C no se controla la humedad.

Dentro de la cámara se ha introducido una balanza equipada con el dispositivo Wi-Fi configurado para que se conecte a un AP. Conectando un PC al mismo punto de acceso, se puede acceder por el PC a la balanza. La prueba consiste en hacer “pings” constantes desde el ordenador a la balanza por todo el rango de temperaturas y ver que no se pierden paquetes. Se ha utilizado el programa “Colasoft Ping Tool” configurado para que emita un ping a la IP de la balanza cada 500ms.

Durante dos días se ha llevado la balanza desde los -10°C hasta los 40°C. El programa registra la cantidad de pings enviados/perdidos y no se ha observado que se haya perdido ningún paquete, por lo tanto, ha pasado satisfactoriamente la prueba de la cámara climática.



Figura 9.2. Cámara climática con la balanza en el interior, punto de acceso y PC

### 9.1.3. QUEMADO

Para asegurar que las balanzas y sus componentes no se averían con los apagados/encendidos sometidos a lo largo de su vida, en Dibal existe una máquina de quemado de grandes dimensiones. Un robot mete las balanzas a sus estanterías (tiene 970 estanterías) y hace apagados/encendidos cada 15 minutos. Mientras la máquina está en funcionamiento no se puede acceder a las balanzas, hay que pararlo completamente para poder entrar.

Para tener más flexibilidad a la hora de configurar los ciclos y poder acceder siempre al módulo Wi-Fi de la balanza, se ha utilizado un “Genuino” (la versión europea de Arduino) junto a un relé en estado sólido SSR (para que no sufra desgaste mecánico) en serie con el cable de alimentación de la balanza a modo de máquina de quemado.

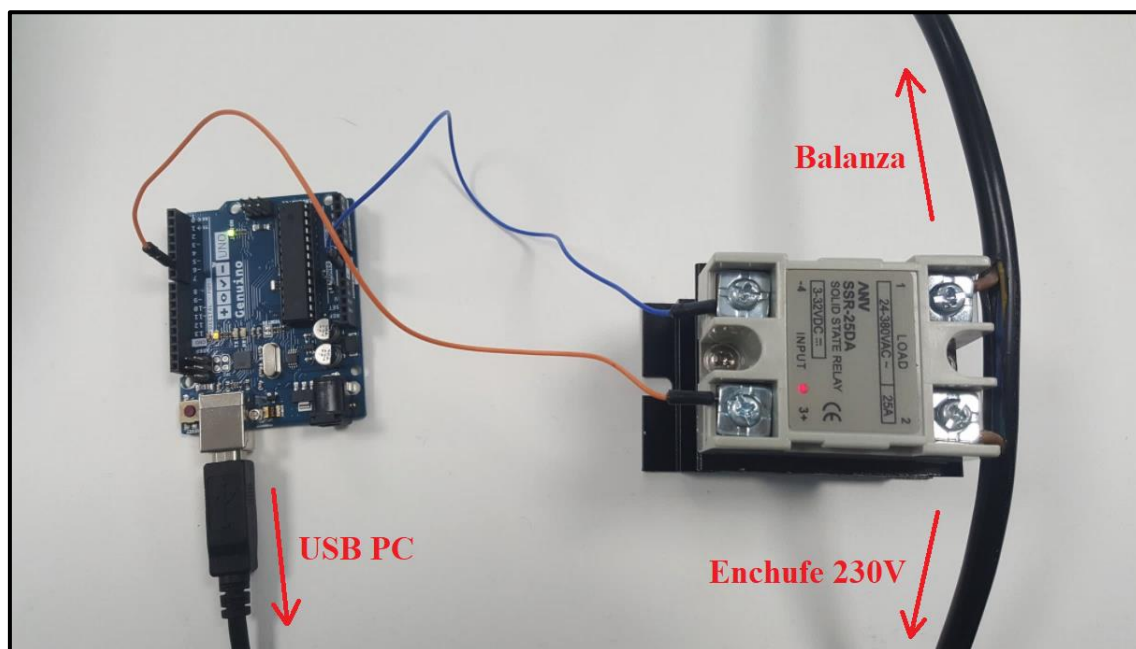


Figura 9.3. Genuino y SSR

Se han realizados dos pruebas:

- **Tiempo de apagado/encendido constante:** Con este código se programan encendidos de 5 segundos y apagados de 1 segundo en bucle. En el siguiente link de Github se puede ver el código creado: [https://github.com/jondu94/proyectowifi/blob/master/Arduino/Quemado\\_tiempo\\_constante.ino](https://github.com/jondu94/proyectowifi/blob/master/Arduino/Quemado_tiempo_constante.ino)

El programa se ha dejado encendido durante 5 días.

- **Tiempo de encendido en aumento con tiempo de apagado constante:** Gracias a esta prueba se comprobará que el módulo no se avería si se corta la alimentación en un instante determinado después de encenderse. Para esta prueba de quemado se ha creado un código más complejo que el anterior. El tiempo de encendido va incrementándose y en el monitor serie se muestra el tiempo restante para finalizar la prueba. Para las pruebas se ha optado por un tiempo constante de apagado de 2 segundos, un tiempo de encendido inicial de 0.01s incrementos de 0.001s y el límite de tiempo de encendido de 20s. El código diseñado está alojado en el siguiente link de Github: [https://github.com/jondu94/proyectowifi/blob/master/Arduino/Quemado\\_tiempo\\_incremental.ino](https://github.com/jondu94/proyectowifi/blob/master/Arduino/Quemado_tiempo_incremental.ino)

En este caso, la duración de la prueba está definida por el propio programa, mostrada en el monitor serie.

El módulo ha pasado ambas pruebas satisfactoriamente, en ninguno de los casos ha perdido la configuración ni ha dejado de funcionar.

### 9.1.4. CAMARA TERMOGRÁFICA

Se ha estudiado la placa con una cámara termográfica Fluke Ti25 para visualizar la temperatura de trabajo. Este estudio es importante para verificar que la placa tiene un diseño correcto en cuanto a disipación de calor y que los componentes no sean afectados por las altas temperaturas. La prueba se ha realizado en un entorno con una temperatura de ambiente de 22°C. En la siguiente imagen se muestra la evolución de la temperatura en función del tiempo (0 min, 1 min, 5 min y 15 min).

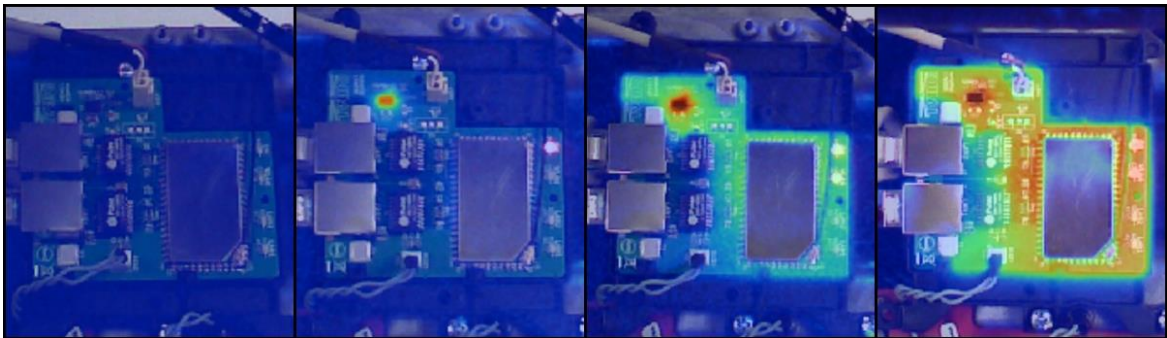


Figura 9.4. Evolución de la temperatura en función del tiempo

Lo que primero se calienta es el regulador de tensión. Después se observa como todo el plano de masa aumenta de temperatura actuando a modo de disipador. La temperatura del SoM y de los puertos RJ45 no ha podido ser registrada por tener una superficie refractaria. Se ha observado que la temperatura de la placa se estabiliza al de 20 minutos.

En la Figura 9.5 se muestran las temperaturas de funcionamiento estacionario.

El punto más caliente de la placa es el MPM3510AGQV-Z, alcanzando 35.8°C (lejos de su temperatura máxima de operación de 85°C). La temperatura promedio del módulo es de 30°C. En comparación a la placa base de la balanza, de media, el módulo alcanza 3,4°C más. Las temperaturas observadas entran dentro del funcionamiento normal de todos los componentes garantizando su funcionamiento a largo plazo.

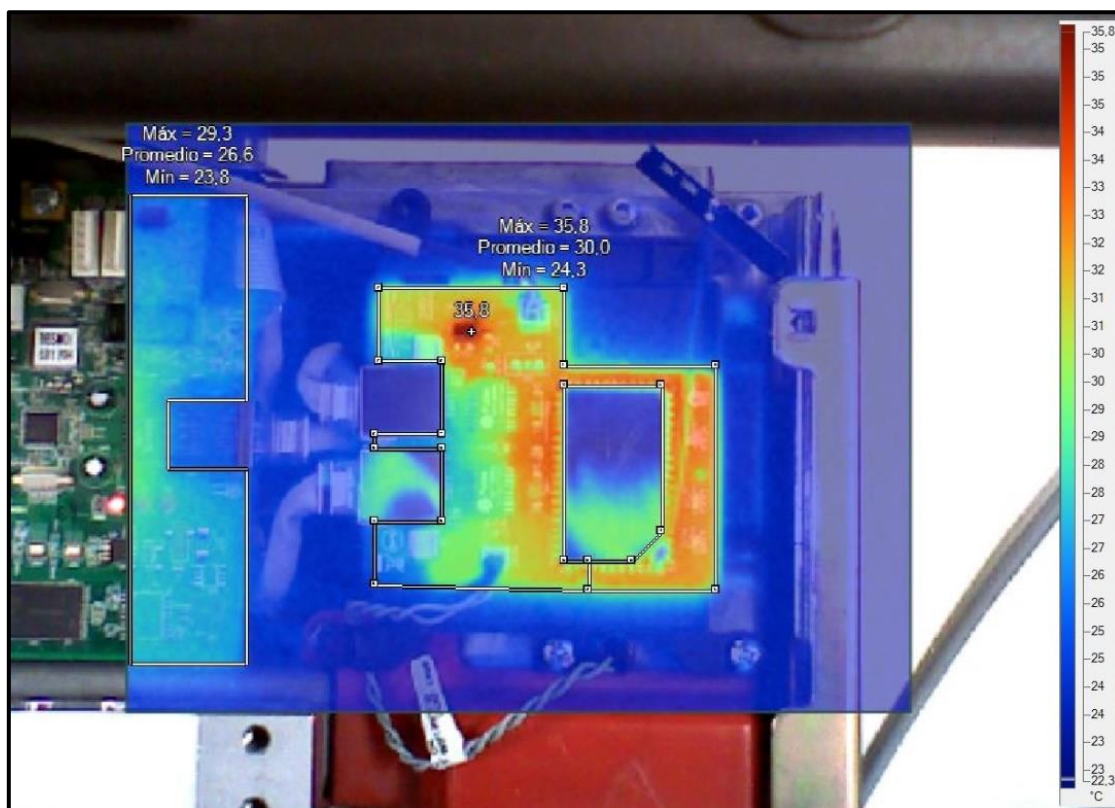


Figura 9.5. Imagen termográfica del funcionamiento estacionario del borde de la placa base de la balanza (izquierda) y del módulo (derecha)

## 9.2. PRUEBAS: SOFTWARE

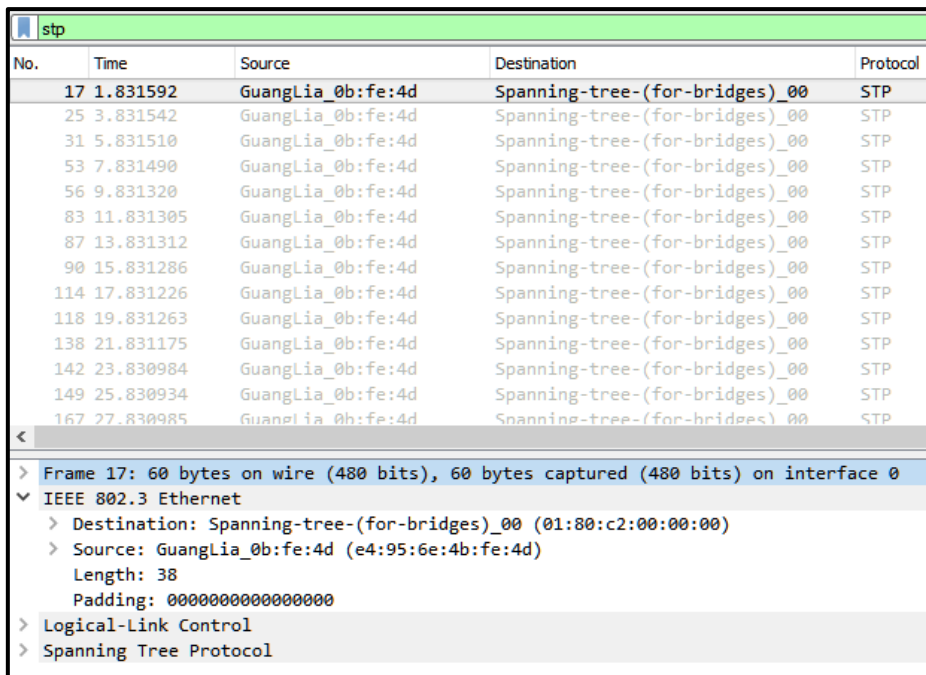
En este capítulo se realizan todas las pruebas relacionadas con el software para verificar que módulo el Wi-Fi funcionará correctamente en las instalaciones de los clientes. Las pruebas se dividen en dos bloques:

- 1) Las de funcionalidad: STP, cliente DHCP, AP oculto, WPA y WPA2, reconexión al AP, largo tiempo en silencio, tiempo EAPOL, generar/cargar configuración, roaming AP, M/S en balanzas y canales 12 y 13
- 2) Las de rendimiento y estabilidad: envío de ficheros la balanza y cargar FW de la balanza.

Las pruebas de funcionalidad se hacen con un AP Cisco 1142, mientras que las de rendimiento y estabilidad se realizan con el Cisco 1142, Cisco 1602 y TP-link C7. El FW de los puntos de acceso están actualizados a la última versión de la fecha.

### 9.2.1. FUNCIONALIDAD

- **STP:** En las instalaciones de campo puede ser que el cliente conecte por error la balanza (haciendo referencia al módulo) tanto por cable como por Wi-Fi. Esa topología generaría un bucle de red en la capa de enlace (capa 2 en OSI) congestionando y haciendo inservible la red entera. Esto se debe a que los paquetes de tipo broadcast circularían eternamente en el bucle al tener un TTL indeterminado. Si el AP y el módulo soportan este protocolo y detecta un bucle red, entre ellos negociarían un cambio de topología rompiendo el bucle. Con el analizador de protocolos Wireshark se ha comprobado que el módulo emite paquetes STP cada 2 segundos y que cambia la topología cuando detecta un bucle.



No.	Time	Source	Destination	Protocol
17	1.831592	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
25	3.831542	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
31	5.831510	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
53	7.831490	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
56	9.831320	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
83	11.831305	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
87	13.831312	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
90	15.831286	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
114	17.831226	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
118	19.831263	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
138	21.831175	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
142	23.830984	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
149	25.830934	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP
167	27.830985	GuangLia_0b:fe:4d	Spanning-tree-(for-bridges)_00	STP

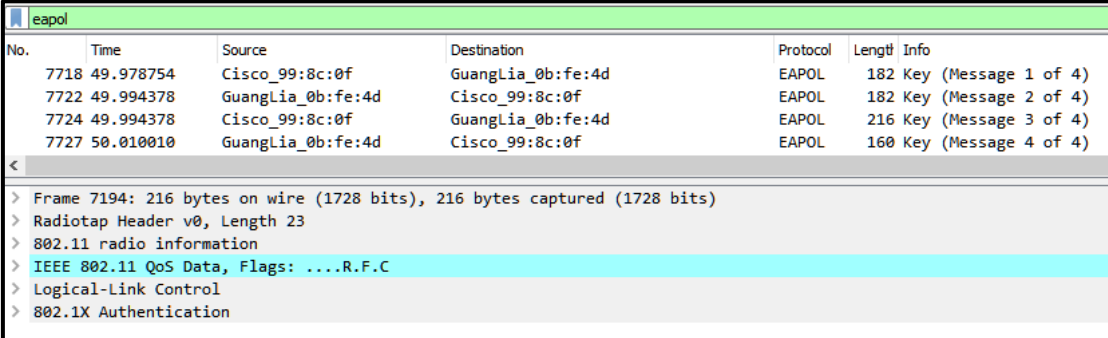
Frame 17: 60 bytes on wire (480 bits), 60 bytes captured (480 bits) on interface 0

- IEEE 802.3 Ethernet
  - Destination: Spanning-tree-(for-bridges)\_00 (01:80:c2:00:00:00)
  - Source: GuangLia\_0b:fe:4d (e4:95:6e:4b:fe:4d)
  - Length: 38
  - Padding: 0000000000000000
- Logical-Link Control
- Spanning Tree Protocol

Figura 9.6. Captura paquetes STP con Wireshark

- **Cliente DHCP:** Algunos clientes asignan IP dinámicas a los módulos utilizando un AP a modo de servidor DHCP. Cuando el módulo está en modo cliente DHCP adquiere correctamente una IP del pool del servidor.
- **AP oculto:** Cuando el SSID del AP se encuentra en modo oculto se ha observado que el módulo se conecta correctamente.
- **WPA y WPA2:** Aunque el protocolo WPA está obsoleto, algunos clientes lo siguen usando en sus puntos de acceso, por lo tanto, el módulo debe soportar WPA y WPA2. Las pruebas han sido satisfactorias.
- **Reconexión AP:** Cuando se realiza un apagado/encendido de la balanza el módulo se vuelve a conectar correctamente al AP.

- **Largo tiempo en silencio:** Las balanzas pueden estar un largo periodo de tiempo encendidas sin ser usadas, por ejemplo, en los días de poca carga de trabajo. El módulo ha contestado al ping instantáneamente tras 3 días continuos sin actividad, por lo tanto, las pruebas han sido superadas.
- **Tiempo EAPOL:** El módulo debe realizar el proceso de autenticación en un tiempo menor al máximo establecido en el AP. Para medir ese intervalo de tiempo se ha capturado el tráfico con un Sniffer inalámbrico junto al programa “Acrylic Wi-Fi Free”. Posteriormente, se han analizado los tiempos respuesta de los mensajes de autenticación con el Wireshark. “Cisco\_99:8c:0f” y “GuangLia\_0b:fe:4d” son el AP y el módulo respectivamente. Los tiempos de respuesta resultantes son casi instantáneos, un tiempo medio de 0,015632 segundos.



No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
7718	49.978754	Cisco_99:8c:0f	GuangLia_0b:fe:4d	EAPOL	182	Key (Message 1 of 4)
7722	49.994378	GuangLia_0b:fe:4d	Cisco_99:8c:0f	EAPOL	182	Key (Message 2 of 4)
7724	49.994378	Cisco_99:8c:0f	GuangLia_0b:fe:4d	EAPOL	216	Key (Message 3 of 4)
7727	50.010010	GuangLia_0b:fe:4d	Cisco_99:8c:0f	EAPOL	160	Key (Message 4 of 4)

<

> Frame 7194: 216 bytes on wire (1728 bits), 216 bytes captured (1728 bits)

> Radiotap Header v0, Length 23

> 802.11 radio information

> IEEE 802.11 QoS Data, Flags: ....R.F.C

> Logical-Link Control

> 802.1X Authentication

Figura 9.7. Captura paquetes EAPOL con wireshark

- **Roaming AP:** El módulo debe ser capaz de saltar de un AP a otro con las mismas credenciales sin problema si falla un AP. En las pruebas se ha realizado roaming entre varios puntos de acceso, funcionando bien en todos los casos.

## 9.2.2. RENDIMIENTO Y ESTABILIDAD

- **Envío ficheros a balanza:** La prueba más importante es que el envío de ficheros a balanza funcione con buen rendimiento y estabilidad. Para realizar esta prueba se ha utilizado el software propietario de Dibal, el DFS. Se toma como referencia un fichero con 10k artículos de todo tipo (precios de frutas, carnes, pescado, etc.) y se envían a la balanza cronometrando el tiempo de duración del envío y observando su estabilidad. El grueso de esta prueba reside en la comparativa de tiempos de envío de los módulos Wi-Fi anteriores. En la Tabla 9.1 se pueden observar los resultados de la prueba.



Tabla 9.1. Comparación tiempos envío de 10k artículos

MÓDULO	AP / FW	TIEMPO 1	TIEMPO 2
Leotec 3003	Cisco 1142 / 153-3.JB	14min 40s	14min 14s
	Cisco 1602 / 153-3.JAB	15min 04s	16min 36s
	TP-Link C7 / 3.14.3	16min 08s	15min 38s
TP-Link TL-710N	Cisco 1142 / 153-3.JB	15min 21s	15min 22s
	Cisco 1602 / 153-3.JAB	19min 49s	18min 11s
	TP-Link C7 / 3.14.3	14min 17s	14min39s
Domino Core	Cisco 1142 / 153-3.JB	14min 32s	15min36s
	Cisco 1602 / 153-3.JAB	15min 41s	15min52s
	TP-Link C7 / 3.14.3	13min 15s	14min26s

Los resultados son muy similares con los 3 módulos, válido en todos los casos.

- **Cargar FW balanza:** En este test se carga el FW de la balanza inalámbricamente mediante el programa TLC. Esta prueba es más exigente que la anterior porque si se corta la comunicación o se pierde algún paquete la balanza no se iniciará correctamente. Sin embargo, esta tarea se realiza normalmente por USB, aunque se comprueba si funciona correctamente.

Tabla 9.2. Comparación de resultados de carga de FW

MÓDULO	AP / FW	RESULTADO
Leotec 3003	1142 / 153-3.JB	OK
	1602 / 153-3.JAB	OK
	TP-Link C7 / 3.14.3	OK
TL-710N	1142 / 153-3.JB	OK
	1602 / 153-3.JAB	OK
	TP-Link C7 / 3.14.3	OK
Domino Core	1142 / 153-3.JB	OK
	1602 / 153-3.JAB	OK
	TP-Link C7 / 3.14.3	OK

La estabilidad ha sido buena en todos los casos: el proceso no se ha cortado ni una sola vez y el FW se ha cargado correctamente en la balanza.

### 9.3. PRUEBAS: SOM ALTERNATIVO

Para que la placa sea viable a medio/largo plazo es necesario que no dependa del EoL del SoM actualmente instalado. La placa y el software tienen que ser compatible con los demás SoM del mercado tan solo realizando unos pequeños cambios. Este concepto se ha

comprobado sustituyendo el Domino Core por otros SoM estudiados previamente en el análisis de alternativas, concretamente el Skylab SKW72 y el Dragino.

Las pruebas se han realizado sobre la protoboard, debido a su versatilidad a la hora de cambiar un módulo por otro. Sólo ha sido necesario conectar los nuevos pines definidos en sus datasheets (Skylab, 2018), (Dragino, 2018) con los mismos periféricos utilizados con el Domino Core.

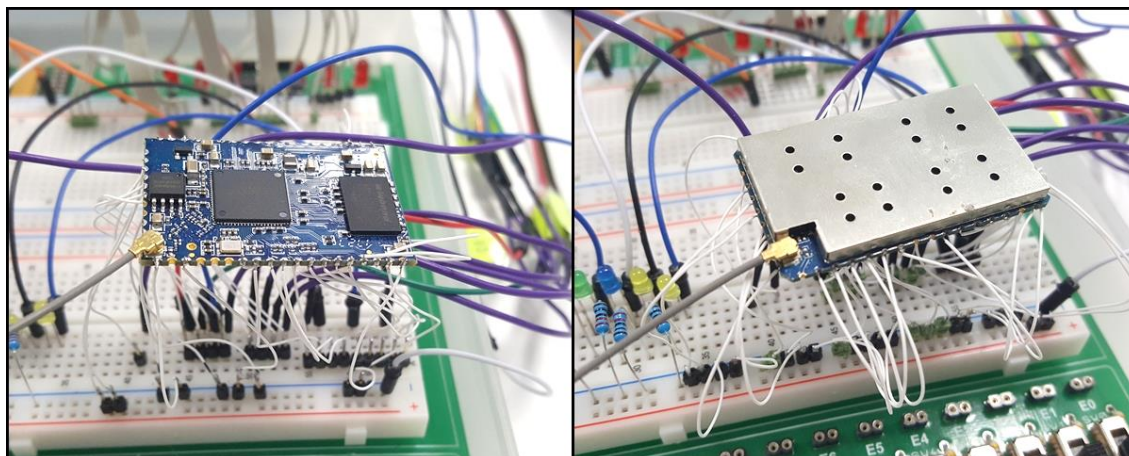


Figura 9.8. Skylab SKW72 a la izquierda, Dragino a la derecha

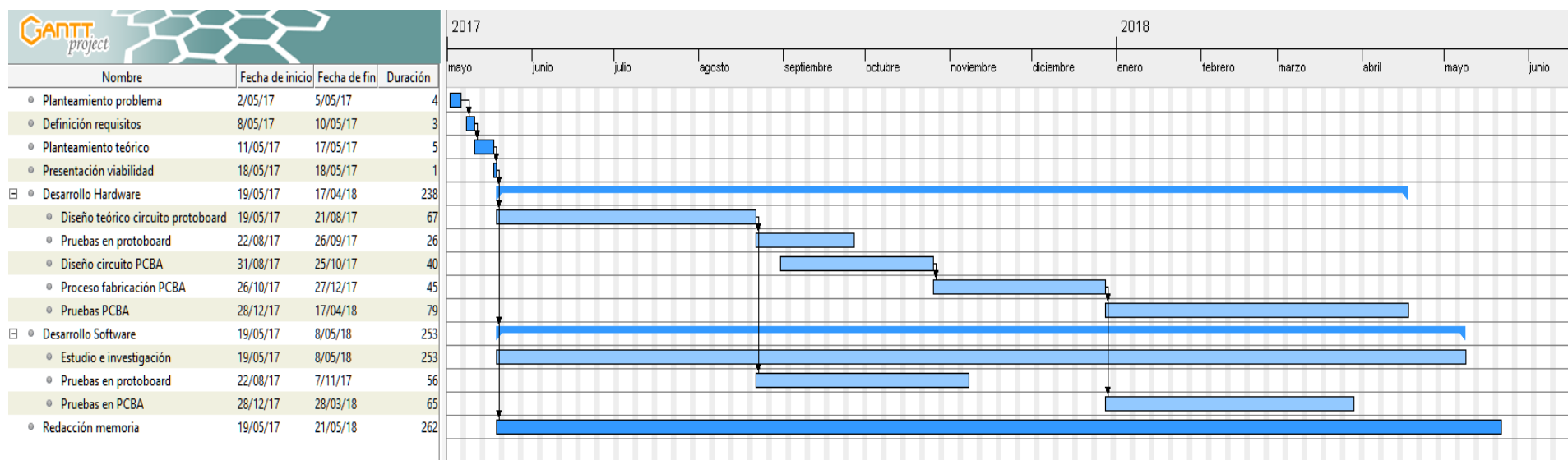
En ambos casos el funcionamiento ha sido correcto, pudiendo acceder a sus interfaces a través de los puertos Ethernet. Dragino, por defecto lleva OpenWRT y en el caso del Skylab SKW72 es posible actualizar su FW a OpenWRT. Con el OpenWRT instalado se pueden realizar las mismas modificaciones SW que las realizadas en este proyecto al Domino Core porque el sistema operativo y la CPU son iguales.

Con esta prueba queda demostrado que, realizando algunos pequeños cambios, es posible sustituir el Domino Core por otro SoM con relativa facilidad gracias al diseño abierto y modular de la tarjeta que facilita la actualización de los componentes sus componentes y la migración del software incluido en ella.

## **10. DIAGRAMA GANTT**

En el siguiente diagrama se muestra la línea de tiempo de todo el proyecto:

## 10. DIAGRAMA GANTT



## 10.1. PAQUETES DE TRABAJO

En este apartado se definirán en detalle los paquetes de trabajo definidos en el diagrama Gantt.

- **Paquete de trabajo 1:** Planteamiento del problema

Tabla 10.1. Planteamiento del problema

<b>Duración:</b>	4 días
<b>Encargado:</b>	Oskar Casquero, Inma Lopez, Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Durante esta fase se plantea y estudia el problema Wi-Fi de Dibal
<b>Entradas:</b>	-
<b>Recursos necesarios:</b>	Word
<b>Salidas:</b>	Definición del problema

- **Paquete de trabajo 2:** Definición de requisitos

Tabla 10.2. Definición de requisitos

<b>Duración:</b>	3 días
<b>Encargado:</b>	Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Definición de requisitos para solucionar el problema Wi-Fi de Dibal
<b>Entradas:</b>	Definición del problema
<b>Recursos necesarios:</b>	Word, Internet
<b>Salidas:</b>	Definición de requisitos

- **Paquete de trabajo 3: Planteamiento teórico**

Tabla 10.3. Planteamiento teórico

<b>Duración:</b>	5 días
<b>Encargado:</b>	Oskar Casquero, Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Se plantea una solución cumpliendo los requisitos definidos, revisado por Oskar
<b>Entradas:</b>	Definición del problema, definición de requisitos
<b>Recursos necesarios:</b>	Word, Internet
<b>Salidas:</b>	Documento de viabilidad del planteamiento teórico del TFG

- **Paquete de trabajo 4: Presentación viabilidad**

Tabla 10.4. Presentación viabilidad

<b>Duración:</b>	1 día
<b>Encargado:</b>	Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Se procede a entregar el documento de viabilidad para su aprobación
<b>Entradas:</b>	Documento de viabilidad del planteamiento teórico del TFG
<b>Recursos necesarios:</b>	-
<b>Salidas:</b>	Documento de viabilidad del planteamiento teórico del TFG aceptado

- **Paquete de trabajo 5:** Desarrollo HW, diseño teórico del circuito

Tabla 10.5. Desarrollo HW, diseño teórico del circuito

<b>Duración:</b>	67 días
<b>Encargado:</b>	Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Diseño del circuito para lograr los requisitos definidos
<b>Entradas:</b>	Definición de requisitos
<b>Recursos necesarios:</b>	KiCad
<b>Salidas:</b>	Diseño teórico del circuito

- **Paquete de trabajo 6:** Desarrollo HW, pruebas en protoboard

Tabla 10.6. Desarrollo HW, pruebas en protoboard

<b>Duración:</b>	26 días
<b>Encargado:</b>	Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Materializar el diseño teórico del circuito planteado y comprobar que funcione correctamente
<b>Entradas:</b>	Diseño teórico del circuito
<b>Recursos necesarios:</b>	KiCad, multímetro, soldador, pistola de calor, extractor de humo, componentes, protoboard, herramientas
<b>Salidas:</b>	Diseño en protoboard funcional

- **Paquete de trabajo 7:** Desarrollo HW, diseño del circuito PCBA

Tabla 10.7. Desarrollo HW, diseño del circuito PCBA

<b>Duración:</b>	40 días
<b>Encargado:</b>	Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Diseñar el circuito sobre la PCB
<b>Entradas:</b>	Diseño en protoboard funcional
<b>Recursos necesarios:</b>	KiCad, FreeCad, LibreCad, CAM350
<b>Salidas:</b>	Diseño PCBA

- **Paquete de trabajo 8:** Desarrollo HW, proceso de fabricación PCBA

Tabla 10.8. Desarrollo HW, proceso de fabricación PCBA

<b>Duración:</b>	45 días
<b>Encargado:</b>	Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Proceso de fabricación de la PCBA
<b>Entradas:</b>	Diseño PCBA
<b>Recursos necesarios:</b>	-
<b>Salidas:</b>	PCBA

- **Paquete de trabajo 9:** Desarrollo HW, pruebas de PCBA

Tabla 10.9. Desarrollo HW, pruebas de PCBA

<b>Duración:</b>	79 días
<b>Encargado:</b>	Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Comprobar que el funcionamiento de la PCBA es correcto
<b>Entradas:</b>	PCBA
<b>Recursos necesarios:</b>	KiCad, Fluke Smartview, Arduino IDE, multímetro, osciloscopio, cámara térmica soldador, pistola de calor, extractor de humo, cámara climática, componentes, herramientas
<b>Salidas:</b>	PCBA validada



- **Paquete de trabajo 10:** Desarrollo SW, estudio e investigación

**Tabla 10.10. Desarrollo SW, estudio e investigación**

<b>Duración:</b>	253 días
<b>Encargado:</b>	Oskar Casquero, Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Estudiar e investigar el funcionamiento interno del OpenWRT para su posterior personalización
<b>Entradas:</b>	Definición de requisitos
<b>Recursos necesarios:</b>	Internet, cable Ethernet, cable UART, WinSCP, Putty, 7zip, Oracle VM
<b>Salidas:</b>	Conocimiento sobre la personalización del OpenWRT

- **Paquete de trabajo 11:** Desarrollo SW, pruebas en protoboard

**Tabla 10.11. Desarrollo SW, pruebas en protoboard**

<b>Duración:</b>	56 días
<b>Encargado:</b>	Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Comprobar que el OpenWRT funciona correctamente en la protoboard
<b>Entradas:</b>	Definición de requisitos
<b>Recursos necesarios:</b>	Internet, cable Ethernet, WinSCP, Putty, 7zip, Colasoft ping tool, TLC, DFS, Wireshark, Acrylic Wi-Fi Free, AP, controlador AP, balanza, cable UART, cable Ethernet
<b>Salidas:</b>	SW protoboard validado

- **Paquete de trabajo 12:** Desarrollo SW, pruebas en PCBA

Tabla 10.12. Desarrollo SW, pruebas en PCBA

<b>Duración:</b>	65 días
<b>Encargado:</b>	Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Comprobar que el OpenWRT funciona correctamente en la PCBA
<b>Entradas:</b>	Definición de requisitos
<b>Recursos necesarios:</b>	Internet, cable Ethernet, WinSCP, Putty, 7zip, Colasoft ping tool, TLC, DFS, Wireshark, Acrylic Wi-Fi Free, AP, controlador AP, balanza, cable UART, cable Ethernet
<b>Salidas:</b>	SW PCBA validado

- **Paquete de trabajo 13:** Redacción memoria

Tabla 10.13. Redacción memoria

<b>Duración:</b>	262 días
<b>Encargado:</b>	Oskar Casquero, Jon Duo
<b>Descripción:</b>	Redacción y revisión de la memoria
<b>Entradas:</b>	Todos los paquetes de trabajo
<b>Recursos necesarios:</b>	Word, Excel, GanttProject, PhotoScape, cámara de fotos
<b>Salidas:</b>	Memoria TFG

### 11. PRESUPUESTO Y COSTES DE PRODUCCIÓN

En este apartado se detallan los gastos totales necesarios para llevar a cabo el proyecto. Entre ellos se encuentran los gastos materiales, amortización de maquinaria, gasto eléctrico y gastos de mano de obra. Después se resumen los gastos totales para el desarrollo del proyecto y al final se definen los costes de producción en masa.

#### 11.1. GASTOS MATERIALES

En la siguiente tabla se muestran los gastos materiales totales que han sido necesarios para desarrollar el proyecto.

Tabla 11.1. Presupuesto de gastos materiales

GASTOS MATERIALES			
COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (€)	PRECIO TOTAL (€)
Resistencia	35	0.1	3.50
Condensador	15	0.1	1.50
LED	6	0.5	3.00
Botón	2	0.4	0.80
Puerto RJ45	2	3	6.00
Trafo Ethernet	4	0.5	2.00
Domino Core	7	12.8	89.60
Skylab SKW72	2	12.6	25.20
Dragino	2	10.4	20.80
Cable protoboard	70	0.05	3.50
Antena	5	0.5	2.50
Domino Pi	3	15	45.00
Dual Ethernet	1	5	5.00
Genuino Uno	1	25	25.00
SSR	1	10	10.00
Cable UART	2	5	10.00
Cable Ethernet	2	3	6.00
Estaño	-	-	5.00
Material oficina <sup>2</sup>	-	-	5.00
Prototipo PCBA <sup>3</sup>	10	153.8	1.538.00
<b>TOTAL</b>			<b>1807.40 €</b>

<sup>2</sup> Papel, bolígrafos, lápices, cinta adhesiva, post-its...

<sup>3</sup> PCB y su Domino Core.

## 11. PRESUPUESTO Y COSTES DE PRODUCCIÓN

### 11.2. GASTOS DE AMORTIZACIÓN

A continuación, se exponen los gastos relacionados con la amortización de toda la maquinaria utilizada a lo largo del desarrollo del proyecto. Las horas de amortización son considerando el tiempo de vida aproximado de un uso continuo.

Tabla 11.2. Presupuesto de amortización de maquinaria

AMORTIZACIÓN MAQUINARIA					
MAQUINA	CANTIDAD	PRECIO (€)	AMORTIZACIÓN (AÑOS)	USO TOTAL (HORAS)	PRECIO A AMORTIZAR (€)
Ordenador <sup>4</sup>	1	600	5	1150	15.75
Cámara termográfica	1	6000	5	4	0.55
Osciloscopio	1	10000	5	4	0.91
Multímetro	1	200	5	10	0.05
Cámara climática	1	35000	10	30	11.99
Balanza	2	1733	5	60	4.75
Access point	5	300	5	4	0.14
Herramientas <sup>5</sup>	8	15	7	5	0.01
Controlador AP	1	800	5	4	0.07
Cámara de fotos	1	600	3	3	0.07
Protoboard	2	30	6	700	0.80
Soldador	1	218	4	6	0.04
Extractor humo soldador	1	671	4	6	0.11
Pistola aire caliente	1	280	4	1	0.01
<b>TOTAL</b>					<b>35.24 €</b>

<sup>4</sup> PC y todos sus periféricos

<sup>5</sup> Tijeras, alicates, lupa, destornilladores...

### 11.3. GASTOS DE CONSUMO ELECTRICO

En la siguiente tabla se muestra el consumo eléctrico de todas las maquinas utilizadas. Se ha considerado un precio de 0.10624 €/KW basándose en el precio medio de la fecha 03/05/2018 (Tarifa luz hora, 2018)

Tabla 11.3. Presupuesto de gastos de consumo eléctrico

GASTOS CONSUMO ELECTRICO				
MAQUINA	CANTIDAD	CONSUMO (W)	USO TOTAL (MINUTOS)	GASTO TOTAL (€)
Ordenador	1	50	1150	6.11
Cámara termográfica	1	15	4	0.01
Osciloscopio	1	120	4	0.05
Multímetro	1	0,5	10	0.00
Cámara climática	1	10000	30	31.88
Balanza	2	5	60	0.06
Access point	5	170	4	0.36
Cámara de fotos	1	2.5	3	0.00
Controlador AP	1	170	4	0.07
Protoboard	2	2	700	0.30
Soldador	1	90	6	0.06
Extractor humo soldador	1	40	6	0.03
Pistola aire caliente	1	1000	1	0.11
<b>TOTAL</b>				<b>39.03 €</b>

### 11.4. GASTOS DE MANO DE OBRA

Para calcular los gastos de mano de obra se ha considerado el tiempo invertido de 3 personas en el proyecto.

**Oskar Casquero:** Ingeniero Senior y tutor del proyecto.

**Aitor Sanepifanio:** Ingeniero Senior y auxiliar del proyecto.

**Jon Duo:** Ingeniero Junior y desarrollador del proyecto.

En la siguiente tabla se plasman los gastos de mano de obra.

## 11. PRESUPUESTO Y COSTES DE PRODUCCIÓN

Tabla 11.4. Presupuesto de gastos de mano de obra

GASTOS MANO DE OBRA					
PERSONAL	ROL	CANTIDAD	HORAS	PRECIO (€/h)	GASTO TOTAL (€)
Ingeniero Junior	Desarrollador del proyecto	1	1100	8	8800
Ingeniero Senior	Tutor del proyecto	1	50	15	750
	Auxiliar	1	7	12	84
<b>TOTAL</b>					<b>9634 €</b>

### 11.5. GASTO TOTAL DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

Para conocer el gasto total del proyecto hasta la fecha actual se suman los gastos de mano de obra, amortización, consumo eléctrico y material.

Tabla 11.5. Gastos totales del desarrollo del proyecto

GASTOS DESARROLLO TOTALES			
MAQUINA	CANTIDAD	PRECIO (€)	GASTO TOTAL (€)
Mano de obra	1	9334.00	9634.00
Material	1	1807.40	1807.40
Consumo eléctrico	1	39.03	39.03
Amortización maquinaria	1	35.24	35.24
<b>TOTAL</b>			<b>11515.67 €</b>

### 11.6. COSTES DE PRODUCCIÓN EN MASA

Según las previsiones de venta Dibal hacen falta alrededor de 3000 módulos Wi-Fi al año para cumplir la demanda de balanzas Wi-Fi. El presupuesto de las PCBA de Lantegi Batuak no incluye el SoM, por lo tanto se debe añadir su precio. Se han calculado dos presupuestos distintos:

## 11. PRESUPUESTO Y COSTES DE PRODUCCIÓN

**Producto final + desarrollo:** El coste total real del proyecto fabricando 3000 unidades

Tabla 11.6. Costes producción 3000pcs considerando gastos del desarrollo

COSTES DE PRODUCCIÓN CON DESARROLLO			
MAQUINA	CANTIDAD	PRECIO (€)	GASTO TOTAL (€)
PCBA	3000	15.75	47250.00
Domino Core	3000	8.9	26700.00
Desarrollo proyecto	1	11215.67	11515.67
<b>TOTAL</b>			<b>85465.67 €</b>
<b>TOTAL UNITARIO</b>			<b>28.49 €</b>

**Producto final + sin desarrollo:** El coste total de fabricación de 3000 unidades sin tener en cuenta los costes de desarrollo. Este dato es de valor por si en un futuro se siguen fabricando más unidades.

Tabla 11.7. Costes producción de 3000pcs sin considerar los gastos del desarrollo

COSTES DE PRODUCCIÓN SIN DESARROLLO			
MAQUINA	CANTIDAD	PRECIO (€)	GASTO TOTAL (€)
PCBA	3000	15.75	47250.00
Domino Core	3000	8.9	26700.00
<b>TOTAL</b>			<b>73950.00 €</b>
<b>TOTAL UNITARIO</b>			<b>24.65 €</b>

Para ponernos en situación, un módulo Wi-Fi comercial fabricado en China vale alrededor de 15€, módulos marcas reconocidas como Asus, TP-Link o D-link tienen un precio aproximado de 35€.

## 12. RESULTADOS

Como resultado de la realización de este TFG, hay que destacar dos aspectos: a) el diseño de una solución abierta y modular que facilita la actualización de los componentes de la tarjeta y la migración del software incluido en ella, y b) el desarrollo integral de una tarjeta de red que responde totalmente a los requisitos hardware planteados. Sin embargo, los requisitos software han sido cubiertos parcialmente: se ha configurado el sistema operativo OpenWRT de la tarjeta de acuerdo con las necesidades de operación en red (es decir, la tarjeta es totalmente funcional), pero no ha sido posible personalizar su interfaz de configuración tal y como se pretendía, debido a la complejidad que esconde el sistema de plantillas LuCI utilizado en OpenWRT.



## **13. CONCLUSIONES**

Con el desarrollo de este módulo Wi-Fi, Dibal ha dejado de depender casi en su totalidad de los fabricantes de módulos Wi-Fi comerciales. Ahora, en caso de que el SoM quede obsoleto, sólo habrá que sustituirlo por uno de los cientos que existen en el mercado y migrar el software. Además, tanto el HW como el SW están diseñados exclusivamente para Dibal, integrándose perfectamente en las balanzas.

Gracias al desarrollo de este TFG he podido ver de inicio a fin la creación integral de un producto comercial tal y como se hace en un entorno laboral real. Desde el planteamiento del concepto de una solución hasta la fabricación con el producto final.

A lo largo del camino no solo he aprendido mucho sobre los aspectos de técnicos de desarrollo HW y SW, también he visto el funcionamiento interno de las empresas, sus comunicaciones con proveedores nacionales e internacionales, etc. Pero, ante todo, me ha hecho ver todo el esfuerzo, tiempo y dedicación que hay detrás de un producto.

## **14. TRABAJO FUTURO**

Para dar un paso más en este proyecto, en un futuro se podría incluso no llegar a depender de los fabricantes de los SoM firmando un NDA directamente con Qualcomm o la empresa que diseña el circuito de referencia. Así, se dibujaría el circuito directamente sobre la placa sin necesidad de soldar un SoM sobre él. Por parte de SW quedaría crear una interfaz web para dotar a los usuarios de una interfaz de configuración amigable de la tarjeta que no requiera conocer el proceso (<https://wiki.openwrt.org/doc/guide-experienced>) para configurar el sistema mediante la interfaz LuCI o el sistema operativo OpenWRT.

## **15. AGRADECIMIENTOS**

Este proyecto no hubiera sido posible sin el guiado y la gran ayuda de mi director de TFG Oskar Casquero Oyarzabal.

Agradecer también a todos mis compañeros de Dibal, entre ellos la Directora del Departamento Técnico Inmaculada López por darme la oportunidad de desarrollar este proyecto, y a Aitor Sanepifanio, Angel Melendez, Xabier Vidaurrazaga, Ricardo Leon e Igor Montón por toda la ayuda técnica ofrecida.

## 16. BIBLIOGRAFIA

- Asset Conrad.* (Junio de 2018). Obtenido de [https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/de/156668\\_BB\\_00\\_FB/image.jpg?x=1000&y=1000&ex=1000&ey=1000&align=center](https://asset.conrad.com/media10/isa/160267/c1/-/de/156668_BB_00_FB/image.jpg?x=1000&y=1000&ex=1000&ey=1000&align=center)
- CDR.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://www.cdr.pl/p1956, atech-atpl-046aln-10-100-lan-transformator-separujacy.html>
- Codico.* (Junio de 2018). Obtenido de [https://www.codico.com/shop/media/catalog/product/cache/3/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/m/p/mps\\_mpm3510a\\_1.jpg](https://www.codico.com/shop/media/catalog/product/cache/3/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/m/p/mps_mpm3510a_1.jpg)
- Conexcon.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://www.conexcon.com/PDF/7642.pdf>
- Digikey.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://www.digikey.es/product-detail/es/wurth-electronics-inc/74990110030/732-4499-5-ND/4031595>
- Domino.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://glinet.com/docs/domino/hardware/src/Domino-Core-Pinout.pdf>
- Dragino.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://www.dragino.com/downloads/downloads/datasheet/HE%20WiFi%20IoT%20Module%20datasheet.pdf>
- Ec Europa.* (Junio de 2018). Obtenido de [http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/index_en.htm)
- Eur-lex.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=EN>
- Hackaday.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://hackaday.com/2016/12/08/measuring-high-voltage-in-millimeters-and-other-hv-probe-tricks/>
- LuCI.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://luci.subsignal.org/trac/wiki/Documentation/ModulesHowTo>
- Mechatronic Store.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://www.mechatronicstore.cl/product/push-button-4-pines/>
- Microensamble CEM1.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://microensamble.com/glosario/cem1/>
- Microensamble CEM3.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://microensamble.com/glosario/cem3/>
- Microensamble FR2.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://microensamble.com/glosario/fr2/>

- Microensamble FR4.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://microensamble.com/glosario/fr4/>
- Microensamble FR5.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://microensamble.com/glosario/fr5/>
- Mnc-tek.* (Junio de 2018). Obtenido de [http://en.mnc-tek.com/prod\\_view.aspx?TypeId=34&Id=678&FId=t3:34:3](http://en.mnc-tek.com/prod_view.aspx?TypeId=34&Id=678&FId=t3:34:3)
- Monolithicpower.* (Junio de 2018). Obtenido de [https://www.monolithicpower.com/pub/media/document/MPM3510A\\_r1.0.pdf](https://www.monolithicpower.com/pub/media/document/MPM3510A_r1.0.pdf)
- Mouser.* (Junio de 2018). Obtenido de [https://eu.mouser.com/datasheet/2/277/MPM3510A\\_r1.0-760718.pdf](https://eu.mouser.com/datasheet/2/277/MPM3510A_r1.0-760718.pdf)
- Pbxbook.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://pbxbook.com/images/sermriv.png>
- Pinimg.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/37/28/c5/3728c573ab65209ecb548765b3402e5f.jpg>
- Potentiallabs.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://potentiallabs.com/cart/image/cache/catalog/ICS/lm317-800x800.jpg>
- Rosh guide.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://www.rohsguide.com/>
- Skylab.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://www.skylab.com.cn/uploadfile/Download/201507101117371153.pdf>
- Sparkfun.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://www.sparkfun.com/products/8720>
- Tarifa luz hora.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://tarifaluzhora.es/>
- TI.* (Junio de 2018). Obtenido de <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>
- TME.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://www.tme.eu/en/details/hx1188nl/smd-inductors-others/pulse/>
- We Online.* (Junio de 2018). Obtenido de [http://katalog.we-online.de/en/em/MJ\\_HORIZONTAL\\_SHIELDED\\_DUAL\\_PORT\\_8P8C\\_TAB\\_DOWN](http://katalog.we-online.de/en/em/MJ_HORIZONTAL_SHIELDED_DUAL_PORT_8P8C_TAB_DOWN)
- Wikipedia Antena Dipolo.* (Junio de 2018). Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Dipolo\\_\(antena\)#/media/File:Dipole\\_antenna\\_standing\\_waves\\_animation\\_461x217x150ms.gif](https://es.wikipedia.org/wiki/Dipolo_(antena)#/media/File:Dipole_antenna_standing_waves_animation_461x217x150ms.gif)
- Wikipedia Arduino Yun.* (Junio de 2018). Obtenido de [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ArduinoYunFront\\_2.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:ArduinoYunFront_2.jpg)
- Wikipedia MVC.* (Junio de 2018). Obtenido de <https://en.wikipedia.org/wiki/Model%E2%80%93view%E2%80%93controller#/media/File:MVC-Process.svg>

*Wikipedia Onion Omega*. (Junio de 2018). Obtenido de  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Omega\\_Onion\\_2%2B.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Omega_Onion_2%2B.png)

### 17. SOFTWARE UTILIZADO

**KiCad:** Programa de código abierto de diseño de circuitos electrónicos. Se ha utilizado para diseñar el circuito teórico, la PCB y crear los ficheros de producción.

**LibreCad:** SW de código abierto de diseño gráfico en 2 dimensiones. Se ha utilizado para crear los vectores de la serigrafía.

**FreeCad:** SW de código abierto de diseño gráfico en 3 dimensiones. Se ha utilizado para crear los modelos en 3D de varios componentes.

**CAM350:** Visualizador de ficheros de producción. Se ha utilizado para verificar los ficheros de producción creados con KiCad.

**Fluke SmartView:** Editor de imágenes termográficas. Se ha utilizado para editar las imágenes termográficas.

**PhotoScape:** Programa de edición de imágenes. Se ha utilizado para recortar, corregir, redimensionar y unir las imágenes del proyecto.

**Arduino IDE:** Programa para programar Arduino en lenguaje C. Se ha utilizado para programar la máquina de quemado.

**Colasoft Ping Tool:** SW de emisión de ping. Se ha utilizado para enviar pings a la balanza.

**Wireshark:** Aplicación para capturar los paquetes de red. Se ha utilizado para capturar los paquetes de red emitidos y recibidos por el módulo.

**Acrylic Wi-Fi Free:** Programa para capturar el tráfico de red inalámbrico. Se ha utilizado para capturar los paquetes Wi-Fi en modo “Sniffer”.

**OracleVM:** Programa para crear máquinas virtuales. Se ha utilizado para simular entorno Linux.

**7zip:** Programa para extraer, visualizar, editar y comprimir ficheros. Se ha utilizado para visualizar y editar los ficheros de configuración del módulo.

**Putty:** Software para comunicación serie. Se ha utilizado para comunicación SSH serie al módulo.

**DFS:** Dibal Friendly Software. Programa desarrollado por Dibal para transmitir, visualizar y editar los ficheros a las balanzas. Se ha utilizado para transmitir artículos a la balanza.

**TLC:** Software desarrollado por Dibal para cargar el firmware a las balanzas. Se ha utilizado para cargar el firmware de la balanza.

**WinSCP:** Programa para transferir ficheros mediante distintos protocolos. Se ha utilizado para transferir ficheros mediante protocolo SCP.

**GanttProject:** Software de código abierto de creación de diagramas Gantt. Se ha usado para crear el diagrama Gantt del proyecto.

**Excell:** Programa de hojas de cálculo. Se ha utilizado para crear el BOM y el presupuesto.

**Word:** Programa de procesamiento de textos. Se ha utilizado para redactar todo el proyecto.



## 18. HOJA DE DATOS

CARACTERÍSTICAS DE HARDWARE	
Puertos	2 x 10/100Mbps LAN
Botón	1 x Reset
LED	2 x LAN, 1 x WLAN, 1 x ON
Chipset	AR9331
Flash	16MB
RAM	64MB
Alimentación	24V c.c. 0,5A
Dimensiones (W X D X H)	66,4 x 75,5 x 16 mm
Wi-Fi	
Estandar	IEEE802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n
Velocidad	11n: Hasta 300Mbps (dinámico) 11g: Hasta 54Mbps (dinámico) 11b: Hasta 11Mbps (dinámico)
Canales	1-14 (2.412~2.484 GHz)
Potencia	802.11b: 19dBm 802.11g: 19dBm 802.11n: 19dBm
Ganancia antena	1,2 dBi
Distancia	Exterior 200m, Interior 75m (Puede cambiar dependiendo del entorno)
Seguridad	WEP, WPA, WPA2, WPA-PSK, WPA2-PSK con AES y TKIP

SOFTWARE	
FW	OpenWRT
Modo	Modo cliente
Funciones	Diagnóstico de red Servidor DHCP
Ajustes DHCP	Modo servidor Modo desactivado
CERTIFICACIONES	
WEEE	EN-50419
RoHS	2011/65/EC
ENTORNO	
Temperatura funcionamiento	-10°C~40°C
Temperatura almacenado	-10 °C ~40 °C
Humedad relativa de funcionamiento	10%~80%
Humedad relativa de almacenado	10%~80%