

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE
TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO DE FIN DE GRADO

DISEÑO DE MÓDULO DE PERIFÉRICOS Y COMUNICACIONES DE SISTEMA DOMÓTICO DISTRIBUIDO

Alumno: Rada Dafonte, Unai

Director: Zuloaga Izaguirre, Aitzol

Curso: 2018 - 2019

Fecha: Bilbao, 16 de julio de 2019

Resumen Laburpena Abstract

El trabajo de fin de grado presentado en este documento se basa en un módulo de comunicaciones y un módulo de periféricos que forman parte del sistema domótico distribuido diseñado a través del Proyecto Domus. En este documento se expone la descripción del proceso de desarrollo de un módulo capaz de cumplir con las necesidades de alimentación de todos los componentes del sistema final y de establecer un control de la comunicación entre los diferentes módulos del sistema mediante la creación de un protocolo de comunicación sencillo y modular. Además, se aborda el desarrollo de un módulo de periféricos que proporcione al sistema final la capacidad de reproducir sonido. El producto final se caracteriza por su servicio de intercomunicación entre los diferentes módulos que conforman el sistema. Gracias a su diseño modular, se puede aplicar en una gran cantidad de dispositivos con diferentes medios de comunicación sin suponer un mayor trabajo por lo que se trata de un proyecto con vista hacia posibles líneas futuras con las que seguir dotando de funcionalidades al sistema de una forma simple y económica.

Palabras Clave: domótica, modular, comunicación, distribuido, económico.

Dokumentu honetan aurkeztutako gradu amaierako lana Domus Proiektuaren bidez diseinatutako sistema domotiko banatuta osatzen duten komunikazioen modulu batean eta periferikoen modulu batean oinarritzen da. Dokumentu honetan modulu baten sistemako osagai guztiei elikatze-tentsioaz hornitzeko gaitasuna eta sistemako moduluen arteko komunikazioaren kontrola ezartzeko komunikazio protokolo erraz eta modular baten garapenaren prozesuaren deskribapena erakusten da. Soinua erreproduzitzeko gaitasunaz azkeneko sistemari hornitzen duen Periferikoen modulu baten garapena azaltzen da gainera. Azkeneko produktuak sistema osatzen duten modulu ezberdinen arteko interkomunikazioaren zerbitzua du ezauzgarri. Diseinu modularrari esker, komunikabide ezberdinak erabiltzen dituzten dispositibo askotan aplikatu ahal da lan nagusirik suposatu gabe. Etorkizuneko hobekuntza potentzialak kontsideratzen dituen proiektua da hau. Horrez gain, sistemari funtzionaltasun gehiagoz hornitzeko ahalmena dauka modu erraz eta ekonomiko batean.

Gako-hitzak: domotika, modularra, komunikazioa, banatuta, ekonomikoa.

The final degree project presented in this document is based on a communications module and a peripheral module that are part of a distributed home automation system designed for the Domus Project. This paper shows the description of the designing process of a module that is able to supply power to every component of the final system and monitoring the communication among the different modules of the system by creating a simple and modular communication protocol. Moreover, the development of a peripheral module that provides the final system the ability to reproduce sound is presented. The final product is characterized by its intercommunication service among

the different modules that define the system. Thanks to its modular design, it can be applied to a large amount of devices with different means of communication without being a great deal so it is considered to be a project with sight into future's potential improvements to equip into the system in a simple and economic way.

Keywords: domotics, modular, communication, distributed, economic.

Índice

Resumen Laburpena Abstract	1
Lista de figuras	5
Lista de tablas	7
Lista de acrónimos	8
1. Introducción	9
2. Contexto	11
2.1. Estado del arte	13
3. Objetivos y alcance	16
4. Beneficios	18
4.1. Ámbito económico	18
4.2. Ámbito profesional	19
4.3. Ámbito social	19
5. Análisis de alternativas	20
6. Análisis de riesgos	23
6.1. Identificación de los riesgos	23
6.2. Estudio de los riesgos	24
6.3. Plan de contingencia	25
7. Descripción de la solución	27
7.1. Módulo de Alimentación	27
7.2. Módulo de Audio	38

7.3. Software	48
8. Descripción de los resultados	52
9. Planificación y descripción de tareas	55
9.1. Diagrama de Gantt	56
10.Descripción del presupuesto	58
10.1. Horas Internas	58
10.2. Amortizaciones	58
10.3. Subcontrataciones	59
10.4. Gastos	59
10.5. Coste Total	62
11.Conclusiones	64
11.1. Lineas futuras	65
Referencias	67
12.Anexo I: Normativa aplicable	69
13.Anexo II: Planos del proyecto	70

Lista de figuras

1.	Switch inteligente de la empresa Sonoff.	21
2.	Controlador de temperatura de la gama Sky Niessen de la empresa ABB.	21
3.	Termostato inteligente de la empresa Netatmo.	22
4.	Esquemático del Módulo de Alimentación.	29
5.	Circuito de alimentación del Módulo de Alimentación.	29
6.	Circuito ejemplo para el control de la comunicación RS485 mediante MAX485.	30
7.	Circuito de control de la comunicación serie del Módulo de Alimentación.	31
8.	Circuito de control del Relé del Módulo de Alimentación.	32
9.	Circuito de interconexión de módulos del Módulo de Alimentación.	32
10.	Diseño de la huella del relé SRD-5VDC-SL-C.	33
11.	Vista axonométrica del modelo 3D del relé SRD-5VDC-SL-C.	33
12.	Visor 3D del relé SRD-5VDC-SL-C sobre su huella en la herramienta de diseño KiCad.	34
13.	Emplazamiento del Módulo de Alimentación.	35
14.	Resultado final del diseño del Módulo de Alimentación.	36
15.	Visor 3D de la cara A del Módulo de Alimentación.	37
16.	Visor 3D de la cara A del Módulo de Alimentación.	37
17.	Visualización de los Gerbers del Módulo de Alimentación	38
18.	Esquemático del Módulo de Audio.	40
19.	Circuito propuesto de la hoja de datos del LM386 con Ganancia = 20 [14].	41
20.	Circuito de control del amplificador de audio del Módulo de Audio.	41
21.	Circuito de control del amplificador de audio del Módulo de Audio.	43
22.	Circuito de control del relé del Módulo de Audio.	44
23.	Circuito de interconexión de módulos del Módulo de Audio.	44
24.	Huella del altavoz del Módulo de Audio.	45

25.	Emplazamiento del Módulo de Audio.	46
26.	Resultado final del diseño del Módulo de Audio.	47
27.	Visualización de los Gerbers del Módulo de Audio	48
28.	Diagrama de estados de la comunicación serie entre módulos	51
29.	Montaje de la cara TOP del Módulo de Alimentación.	52
30.	Montaje de la cara BOTTOM del Módulo de Alimentación.	52
31.	Montaje de la cara TOP del Módulo de Audio.	53
32.	Montaje de la cara BOTTOM del Módulo de Audio.	53
33.	Vista frontal del montaje del sistema junto al Módulo de Control	54
34.	Vista lateral del montaje del sistema junto al Módulo de Control	54
35.	Lista de tareas asociadas al proyecto	56
36.	Diagrama de Gantt del proyecto.	57
37.	Parte 1/2 del esquemático del Módulo de Alimentación.	71
38.	Parte 2/2 del esquemático del Módulo de Alimentación.	72
39.	Emplazamiento de la cara TOP del Módulo de Alimentación.	73
40.	Emplazamiento de la cara BOTTOM del Módulo de Alimentación.	74
41.	Rutado de la cara TOP del Módulo de Alimentación.	75
42.	Rutado de la cara BOTTOM del Módulo de Alimentación.	76
43.	Parte 1/2 del esquemático del Módulo de Audio.	77
44.	Parte 2/2 del esquemático del Módulo de Audio.	78
45.	Emplazamiento de la cara TOP del Módulo de Audio.	79
46.	Emplazamiento de la cara BOTTOM del Módulo de Audio.	80
47.	Rutado de la cara TOP del Módulo de Audio.	81
48.	Rutado de la cara BOTTOM del Módulo de Audio.	82

Lista de tablas

1.	Identificación de riesgos del proyecto	23
2.	Matriz Probabilidad-Impacto del Proyecto Domus	25
3.	Tabla de la verdad del CI MAX485CSA[12]	30
4.	Clases de red para el rutado del Módulo de Alimentación	35
5.	Ficheros Gerber empleados para el Módulo de Alimentación	38
6.	Tabla de la verdad del CI CD4051BM [15].	42
7.	Cálculos realizados para hallar los valores de las resistencias de cada canal de salida del 4051BM	43
8.	Clases de red para el rutado del Módulo de Audio	46
9.	Ficheros Gerber empleados para el Módulo de Audio	47
10.	Partida de horas internas.	58
11.	Partida de amortizaciones.	59
12.	Partida de subcontrataciones.	59
13.	Bill Of Materials del Módulo de Alimentación.	60
14.	Bill Of Materials del Módulo de Audio.	61
15.	Costes totales	62
16.	Costes totales de la producción de un segundo sistema	62

Lista de acrónimos

- 3D** 3 Dimensiones
- HW** Hardware
- SW** Software
- PCB** Printed Circuit Board
- V** Voltios
- CA** Corriente Alterna
- CC** Corriente Continua
- Hz** Hertz
- CI** Circuito Integrado
- SMD** Surface Mount Design
- W** Watt
- LED** Light Emitting Diode
- LCD** Liquid Crystal Display
- BOM** Bill Of Materials
- EIB** Bus de Instalación Europeo
- LON** Local Operating Networks
- LAN** Local Area Network
- ICT** Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones

1. Introducción

Este proyecto tiene como finalidad realizar el diseño y producción de un sistema domótico distribuido que proporciona un servicio determinado con respecto a la vida en el hogar. Se trata de un sistema modular que puede ser configurado con módulos diferentes en función de las preferencias del usuario y ha recibido el nombre de "Proyecto Domus". Cada módulo cuenta con varias funcionalidades distintas. En este documento, se va a exponer el proceso de desarrollo de dos de esos módulos. Concretamente, se presentará el Módulo de Alimentación y el Módulo de Audio.

Una de las características destacables del proyecto consiste en la capacidad del sistema de comunicarse con otros módulos iguales. Es decir, el proyecto se ha pensado de forma que se instale más de un módulo en la misma casa y estos puedan comunicarse para crear una red (de ahí el término *distribuido*) en la que compartan datos y funcionalidades. De esta manera, los módulos se mantienen comunicados para sincronizar la hora en todos los dispositivos, así como permitir la reproducción de la radio en determinadas estancias y apagar o encender la calefacción de las habitaciones de forma independiente. El módulo encargado de esta funcionalidad es el Módulo de Alimentación, el cual cuenta con el circuito de control de la comunicación serie. Por otro lado, mediante el Módulo de Audio, se le proporciona al sistema completo la capacidad de reproducir señales de audio provenientes de módulos externos.

Para llevar a cabo el proyecto, se ha realizado un trabajo de investigación previo sobre el sector de la domótica, el cual se expone en el apartado de contexto. Tras estudiar el estado del mercado en función de los productos disponibles por diferentes empresas y las necesidades de los clientes en la actualidad, se ha optado por realizar el proyecto e irrumpir en el mercado de la domótica con un producto innovador y funcional.

En este documento, se presentan varias de las alternativas disponibles similares al proyecto presentado y se justifica la necesidad de este frente a las características de sus competidores. Además, se incluye un apartado de metodología, en el que se detalla el procedimiento de diseño (HW y SW) y montaje de dos de los módulos que conforman el sistema: Módulo de Alimentación y Módulo de Audio. Debido a que el proyecto ha sido realizado conjuntamente entre varias personas, cada uno ha realizado módulos diferentes, siendo de esta manera imprescindible el trabajo de todos para el éxito del proyecto.

Al comenzar el proyecto, se establece un objetivo inicial y se determina el alcance del mismo. Una vez completado el objetivo, se puede dar el proyecto por finalizado y se plantean las conclusiones obtenidas tras la realización del trabajo. En las conclusiones se valoran los resultados obtenidos desde el punto de vista profesional y personal. Este documento cuenta con ambas secciones.

Por último, en este documento también se muestran los apartados con los que debe

contar cualquier proyecto de ingeniería: presupuesto, análisis de riesgos, beneficios y planificación. Estas secciones son de gran ayuda para valorar la viabilidad del proyecto y establecer un plan de trabajo en el que se valoren los posibles problemas que puedan surgir durante la ejecución del trabajo.

2. Contexto

La tecnología desarrollada por el ser humano a través de los años se ha convertido en uno de los pilares principales en los cuales se basa la prosperidad de la sociedad hacia un futuro con mejor calidad de vida. A lo largo de la historia, un gran número de hallazgos científicos, avances e innovaciones tecnológicas han potenciado el progreso de grandes sectores como la comunicación, la industria o la salud, entre otros [1]. De esta manera, numerosas organizaciones e instituciones tales como el Estado, centros de investigación u organizaciones multinacionales invierten en el desarrollo y descubrimiento de nuevas tecnologías referentes a los sectores más importantes con el fin de generar rentabilidad (principalmente económica) y mejorar la calidad de vida. El pensador, filósofo y político inglés Francis Bacon, en vista de esta correlación entre la prosperidad de una sociedad y el desarrollo tecnológico, realizó la siguiente declaración: "El conocimiento es poder". En esta frase se ve reflejado el resultado del conocimiento en una sociedad en la que el poder representa uno de los deseos más significativos del hombre a lo largo de la historia. Gracias a esa ardua tarea por parte de la sociedad de ampliar sus capacidades tecnológicas, se han creado una gran variedad de aplicaciones diferentes a través de los años, donde uno de los más beneficiados y en el cual se centra el proyecto presentado en este documento, es el sector de las comunicaciones.

A lo largo de la historia de la humanidad, el ser humano se ha comunicado de diferentes maneras, desde la comunicación mediante señas hasta la comunicación a distancia por medio de dispositivos tecnológicos avanzados[2]. El área de las telecomunicaciones ha logrado avances que han permitido que las personas trabajen de forma más eficiente. Dicha eficiencia se considera uno de los principales motivantes de las empresas para establecer mayores retos entre sus trabajadores. De esta manera, se han descubierto alternativas de gran impacto a través de los años como son el Internet, los trenes de alta velocidad, medios de transporte eléctricos, medios de comunicación inalámbricos, la telefonía inteligente, la inteligencia artificial, etc. En cuanto a este proyecto le concierne, una de las aplicaciones recientemente descubierta para el sector de las comunicaciones se encuentra en la automatización de sistemas.

Los sistemas de automatización han supuesto una revolución en plantas de fabricación de numerosas empresas a lo largo del mundo. Hoy en día, la automatización de los procesos industriales constituye uno de los objetivos más importantes de las empresas en la siempre incesante tarea de la búsqueda de la competitividad en un entorno cambiante y agresivo. Históricamente, los objetivos de la automatización han sido el procurar la reducción de costes de fabricación, una calidad constante en los medios de producción, y liberar al ser humano de las tareas tediosas, peligrosas e insalubres. Desde los años 60, debido a la alta competitividad empresarial y a la internacionalización creciente de los mercados, estos objetivos han sido ampliamente incrementados [3]. Tanto ha sido así, que la automatización ha dejado de ser exclusiva para los procesos de fabricación de nuevos productos en grandes empresas y ha logrado abrirse un hueco en un nuevo mercado:

automatización para el hogar. Se define así, el término “domótica”.

“La tecnología aplicada al hogar”, conocida como Domótica (del latín domus, casa, e informática), integra automatización, informática, robótica y nuevas tecnologías de comunicación; todas ellas dirigidas a mejorar la comodidad, la seguridad y, en definitiva, el bienestar dentro de los hogares. El desarrollo del concepto “vivienda inteligente” nace para facilitar la vida de sus habitantes, haciendo esta más cómoda y segura e incorporando mayores posibilidades de comunicación y ahorro energético. Sin embargo, varios de los aspectos asociados a la domótica no son únicamente aplicables en hogares, sino que también pueden ser aplicados en otros lugares. Se distinguen tres sectores distintos dependiendo del alcance de aplicación de esta tecnología:

- Domótica, para el sector doméstico.
- Inmótica, para el sector terciario e industrial (residencias, hoteles, zonas comunitarias, etc.).
- Urbótica, para las ciudades (control de la iluminación pública, gestión de semáforos, telecomunicaciones, medios de pago, etc.).

La definición de una vivienda domótica se basa en al menos dos puntos de vista diferentes: el punto de vista del usuario y el punto de vista técnico.

El usuario concibe una vivienda domótica como un hogar capaz de proporcionarle una mayor calidad de vida mediante el uso de las nuevas tecnologías, ofreciendo una reducción del trabajo doméstico, un aumento del bienestar, de seguridad de sus habitantes y un control y racionalización de los distintos consumos. Además, considera que debe ser fácil de utilizar por todos los inquilinos, incluso si alguno de ellos presenta alguna discapacidad o deficiencia. El grado en el que se cumplan dichos requerimientos afecta en la visión del usuario sobre la domótica en un mayor o menor nivel.

Desde el punto de vista tecnológico, se considera una vivienda domótica aquella en la que se integran los diferentes equipos domésticos que tienen la capacidad de intercomunicarse entre ellos a través de un soporte de comunicaciones, con el fin de realizar tareas que tradicionalmente se han hecho de forma manual.

Inicialmente, la instalación domótica se realizaba mediante la unión de sensores y actuadores a través de una arquitectura centralizada a un autómata o controlador en el que se implementaba toda la inteligencia que se exigía a la vivienda. Habitualmente, se trataban de sistemas propietarios, poco flexibles y que hacían difícil y costoso el aumento de las prestaciones que el sistema ofrecía. Sin embargo, el avance en este sector en los últimos años ha supuesto una bajada de los precios del hardware electrónico, lo cual ha posibilitado la construcción de sensores y actuadores con inteligencia suficiente como para implementar una red de control distribuido. A través de una arquitectura distribuida y mediante el apoyo en tecnologías o estándares como el X-10 (transmisión de corrientes portadoras), el EIB, el LonWorks, entre otros, se ha logrado facilitar el uso y la instalación en flexibilidad y en interconectividad, al mismo tiempo que se ha reducido su coste de producción y ampliado el abanico de productos, de fabricantes y de técnicos de instalación que trabajan en este sector.

2.1. Estado del arte

El vertiginoso avance tecnológico experimentado en los últimos años ha contribuido eficazmente al desarrollo de la domótica en aspectos tan cotidianos como la iluminación, climatización, seguridad, comunicación, etc [4]. Estos avances han permitido su rápida penetración en el mercado inmobiliario y son la razón por la que actualmente, todas las nuevas viviendas tienen múltiples opciones de implementación de esta tecnología desde el momento del comienzo de obra. La domótica se encuentra en auge y se espera que en los próximos años alcance su plena expansión, gracias a su comodidad, facilidad de uso y precio cada vez más competitivo. Por lo tanto, son muchas las empresas que se involucran cada vez más en esta tecnología y aportan nuevos productos que el usuario puede instalar en su hogar. Estos se pueden clasificar en función de los servicios que ofrecen:

Confort

El concepto de confort está enfocado principalmente en las instalaciones CVC (climatización, ventilación y calefacción). Sin embargo, también se incluyen en este término todos los sistemas que contribuyen al bienestar y la comodidad, así como la reducción del trabajo doméstico. Entre los sistemas destinados al confort, destacan los siguientes:

- Control por infrarrojos o RF de distintos automatismos.
- Control local y remoto de la iluminación.
- Encendido y apagado remoto de electrodomésticos.
- Accionamiento automático de sistemas como toldos y persianas, en base a datos del entorno (tormenta, viento, etc.).

Control energético

En este apartado se incluyen todos los sistemas cuya funcionalidad se basa en controlar la energía requerida para la vida en hogar de una forma eficiente. Se pueden distinguir tres aspectos diferentes:

- Regulación: con la que se pueda obtener el control sobre el consumo energético de la vivienda o edificio.
- Programación: para automatizar distintos parámetros como la temperatura según horarios, días de la semana, mes, etc.
- Optimización: uno de los objetivos principales en la instalación de un sistema domótico se basa en el aprovechamiento de la energía y reducción de su consumo. Se trata de revertir a medio y largo plazo la inversión del usuario en el sistema domótico. A continuación se reúnen varias de las acciones orientadas a reducir el consumo:
 - Reducción del consumo para climatización mediante la detección automática de personas ausentes en la estancia.
 - Actuación sobre automatismos de persianas para el aprovechamiento de la luz solar.

- Aprovechamiento de las diferentes franjas de tarificación para hacer trabajar aquellos equipos que lo permitan en las franjas de menor tarificación (tarifas nocturnas).
- Detección de fuentes de pérdidas (ventanas o puertas abiertas) en sistemas de climatización para su futura suspensión en las estancias correspondientes.

Seguridad

Se trata de la función más desarrollada y ya dispone de multitud de aplicaciones integrada en un sistema domótico en cuanto a seguridad de personas y seguridad de bienes se refiere.

Aplicaciones enfocadas a la seguridad de las personas:

- Alumbrado automático en zonas de riesgo por detección de presencia.
- Detectores de fugas de gas o de agua que cierren las válvulas de paso a la vivienda en el caso de producirse escapes.
- Desactivación de enchufes de corriente para evitar contactos.

Aplicaciones enfocadas a la seguridad de bienes:

- Avisos a distancia. En ausencia del usuario se emiten avisos en caso de alarma, (bien acústicos o telefónicos).
- Detección de intrusos. Incluye la instalación de diversos sensores (sensores volumétricos para detección de presencia, sensores de hiperfrecuencia para detectar rotura de cristales o sensores magnéticos para la detección de apertura de puertas y ventanas)
- Simulación de presencia.

Telecomunicaciones

En el área de las telecomunicaciones, se encuentran las siguientes aplicaciones:

- Sistemas de comunicación entre las estancias de la vivienda.
- Megafonía, difusión de audio/video, intercomunicadores, etc.
- Red de área local doméstica (LAN).
- Sistemas de comunicación con el exterior. Telefonía básica, video-conferencia, Internet, TV digital, TV por cable, etc.

2.1.1. Sistemas domóticos distribuidos

Entre los sistemas domóticos, recientemente están ganando más popularidad aquellos que se denominan sistemas domóticos distribuidos. Son aquellos sistemas en los que sus funcionalidades se encuentran distribuidas por todo el lugar de instalación y no solo en una de las instancias. Se conoce como Red Doméstica la red de comunicación entre los diferentes dispositivos mediante la que se intercambian información y recursos. La

Red Doméstica necesita hacer uso de distintas redes físicas así como pasarelas domésticas e interfaces de usuario.

Según la normativa existente en España, ICT (Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones), las viviendas de nueva construcción deben disponer de dos redes, una de telefonía, a la que están conectados los teléfonos convencionales, y la de distribución de televisión. La normativa ICT exige que se garanticen la provisión de los servicios de telefonía, televisión y telecomunicaciones por cable en las nuevas viviendas.

Sin embargo, la Red Doméstica debe expandirse a fin de poder ofrecer al usuario una amplia gama de servicios. Las Redes Domésticas que amplían la infraestructura básica pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Red de datos: se trata de una red que permite usar el mismo medio de comunicación para la distribución de ficheros entre ordenadores, la compartición de aplicaciones y las llamadas de teléfono. Además, esta red permite acceder a internet desde cualquier estancia del hogar y compartir esta conexión con otros dispositivos simultáneamente.
- Red de entretenimiento: es una red que se enfoca principalmente a la distribución de video y audio en el hogar. Dispone de interfaz de usuario como altavoces o pantallas y de dispositivos de recepción y distribución (decodificadores, Set Top Boxes, etc).
- Red domótica: Es aquella que integra los dispositivos y sensores encargados de la automatización y control del hogar.

Los tres tipos de redes comentados, se han diseñado para cubrir las necesidades actuales del usuario doméstico, en los ámbitos de comunicación, control y automatización, y entretenimiento. Estas subredes pueden estar construidas sobre el mismo soporte físico o en soportes físicos diferentes. La realidad es que no existe ningún soporte físico que sea óptimo en todos los aspectos para todas las subredes presentes en el hogar, por tanto se tendrán distintos soportes físicos según los dispositivos que quieran conectarse y el tipo de información que quiera transmitirse o compartirse. La tendencia actual es utilizar el mismo soporte físico para la red de entretenimiento y datos, y un soporte físico diferente para la red domótica [5].

Finalmente, el gran progreso tecnológico sufrido por los sistemas de telecomunicación y el desarrollo y proliferación de Internet, han incrementado exponencialmente la capacidad del ser humano para crear información, almacenarla, transmitirla, recibirla, y procesarla. El mayor acceso a la información, ha venido además asociado a una mayor facilidad para comunicarse, para establecer nuevas vías de diálogo con el resto del mundo, en cualquier momento y desde cualquier lugar. Tras una etapa de introducción lenta de la tecnología digital, ahora la sociedad se encuentra en los comienzos de una revolución de servicios para el hogar, donde las pasarelas residenciales, apoyadas con conexiones de banda ancha, conectarán inteligentemente todos los dispositivos del hogar, soportando servicios interactivos y de valor añadido de diversa índole. No cabe duda de que la denominación de la Era de la Información tiene justificación.

3. Objetivos y alcance

En este apartado, se presentará el objetivo principal de la realización de este proyecto y se determinará el alcance del mismo, proporcionando razones por las que sea conveniente precisar de ciertas características y prescindir de otras. Debido a que en este documento se presentan dos bloques funcionales que complementan un proyecto mayor, se expondrá el objetivo del proyecto global y a continuación, se presentará el objetivo específico que se trata en este trabajo. En caso de que el proyecto sea exitoso, se tendrá en cuenta la posibilidad de mejora en un futuro. Además, se distinguirá el alcance desde el punto de vista funcional, económico y profesional.

El objetivo global del proyecto trata de lograr diseñar y montar un sistema domótico distribuido económico y funcional que cumpla con las características establecidas desde el inicio y que sea capaz de competir con el resto de productos del mercado. Se pretende realizar un producto competente y preparado para su instalación en cualquier tipo de vivienda que cumpla con determinadas funcionalidades, las cuales se desarrollan a lo largo de esta sección.

Para considerar el trabajo exitoso, el diseño del Módulo de Alimentación y el del Módulo de Audio deben cumplir el **objetivo principal** que se aborda a lo largo de este documento.

Este se trata de desarrollar un módulo capaz de cumplir con las necesidades de alimentación de todos los componentes del sistema final y establecer un control de la comunicación entre los diferentes módulos del sistema, así como desarrollar un módulo que proporcione al sistema final la capacidad de reproducir sonido. Así mismo, se crearán los programas que posibiliten la comunicación y que deben ser integrados en los módulos de control.

Desde el ámbito del hardware, una de las características principales con las que debería contar el sistema es un tamaño reducido. Debido a que se desea implementar en el hueco de la pared para una toma de corriente estándar, el dispositivo cuenta con una gran limitación de tamaño, por lo que también deberán elegirse los componentes en función del tamaño de sus empaquetados. De esta manera, el sistema deberá contar con una interfaz de usuario muy visual y completa, tratando de incluir el número adecuado de componentes como displays, botones o LEDs en el módulo visible de forma que las limitaciones funcionales para el usuario sean mínimas y este pueda utilizar el sistema sin mayor dificultad.

En cuanto a la funcionalidad del proyecto global, se espera que el sistema muestre la hora y la temperatura del lugar en el que se encuentra instalado. Además, mediante la comunicación serie, se sincronizará la hora entre los distintos módulos de control y se permitirá apagar o encender la calefacción de una habitación en el que esté instalado el sistema sin que el usuario se encuentre en dicha estancia. La comunicación serie también

permitirá seleccionar el dispositivo desde el que se quiera escuchar la radio, en caso de configurar el sistema con el Módulo de Radio. El usuario también dispondrá del control del volumen de reproducción mediante los botones disponibles en el Módulo de Radio. En la configuración con el Módulo de Reloj, el Módulo de Audio se utilizará como otro tipo de interfaz de usuario mediante el cual se emitirán sonidos al pulsar los diferentes botones.

Se espera diseñar el sistema de forma modular. Es decir, no se realizará un único producto como bloque sino que se dividirá en bloques funcionales y se conectarán en función de las necesidades correspondientes del cliente. Además, debido a que este proyecto será llevado a cabo por varias personas, esta división facilitará el trabajo individual. Gracias a esta modularidad, también se espera facilitar la actualización de sus funcionalidades en el futuro de forma simple añadiendo un módulo al sistema con nuevas características y utilidad.

Por otra parte, se ha decidido realizar un sistema distribuido por lo que se espera lograr que los módulos funcionen de forma conjunta gracias a la comunicación serie. De esta manera, se pretende sincronizar los diferentes módulos para proporcionar los mismos datos y funcionalidades en cualquiera de las habitaciones del domicilio en el que se instale.

Desde el ámbito del software, se pretende realizar un programa modular, en el que el código escrito por los participantes del proyecto sea fácil de unir y modificar en caso de encontrar errores en su funcionamiento. El software establece el funcionamiento del sistema. En este documento, se aborda el objetivo de diseñar un protocolo de comunicación que compartan los diferentes módulos en función de garantizar una correcta comunicación entre módulos de control, minimizando así la pérdida de mensajes en el trayecto estableciendo un orden de transmisión de mensajes.

Se trata de un proyecto equiparable a los que realizan todo tipo de empresas y organizaciones del sector, por lo que se espera que llevar a cabo este proyecto proporcione a sus participantes experiencia y conocimientos aplicables a su futura vida laboral. Debido a que se trata de un proyecto principalmente didáctico, los participantes deberán de tomar decisiones que afectarán al resultado del proyecto. Desde el proceso de diseño hasta el proceso de montaje de componentes y codificación del programa de software, se espera que los participantes aprendan a llevar a cabo todas las tareas de la planificación y resuelvan los problemas que puedan ir surgiendo.

Para la realización del proyecto, será necesario efectuar un trabajo previo de investigación que proporcione a sus participantes una visión del estado del mercado en el que se pretende irrumpir. En vista de la ya comentada investigación previa, se decidirá la gama del producto a diseñar en comparación con los de otras empresas y se estimará un precio de venta sobre el que se espera basar la toma de decisiones como la elección de los componentes o la cantidad de funcionalidades del sistema final.

4. Beneficios

A lo largo de este apartado, se presentan los beneficios que aporta la ejecución del proyecto desde el punto de vista económico, social y profesional.

4.1. **Ámbito económico**

Un proyecto de estas características, tiene como principal objetivo lograr un cierto nivel de beneficio económico. Debido a que la finalidad del proyecto es ofrecer un producto novedoso a un sector en concreto, su producción se basa primordialmente en la acogida del mismo por un grupo específico de consumidores. En caso de que no se produzca una buena admisión del producto, puede resultar en pérdidas económicas para la organización encargada del proyecto, lo cual supone, con gran probabilidad, la cancelación inmediata del mismo. Por esta razón, previamente a la toma de decisión sobre la ejecución del proyecto, es necesario desarrollar el presupuesto y el análisis de los riesgos que la realización de este conlleva. De esta manera, se analiza el beneficio esperado y el riesgo de no obtener dicho beneficio.

En este caso, el proyecto se ha realizado teniendo en cuenta en cada toma de decisiones que se trata de un producto *low-cost*. Por lo tanto, ha sido pensado para que el precio de venta esté muy reducido y se ofrezcan la mayor cantidad de funcionalidades posibles. Los consumidores actuales conciben el sector de la domótica como un tipo de mercado lujoso que no cuenta con una gran oferta de productos de todas las gamas [6], por lo que, la mayoría de personas no dispone de productos de automatización inteligentes en sus hogares. Con la irrupción en el mercado de asistentes inteligentes, a lo largo de los próximos años, se prevé un aumento de oferta de productos en el sector [7]. En vista de estos datos, se ha visto un hueco en la gama baja del sector de la domótica y es por ello que se ha decidido realizar este proyecto.

Finalmente, no solo se puede obtener beneficio de las ventas del producto sino que, en caso de que los resultados de ventas sean óptimos, pueden surgir ofertas de compra de la tecnología de la organización por parte de otras empresas, o incluso inversores interesados que aporten ayudas a la organización para el desarrollo de nuevos productos. Además, debido a las características de la comunicación serie y su precio reducido, su funcionalidad puede expandirse no solo a hogares sino también a entornos de trabajo como oficinas o plantas de fabricación.

4.2. Ámbito profesional

Para la realización del proyecto, ha sido necesario realizar un trabajo previo de investigación del mercado. Gracias a ese estudio, se ha llegado a comprender el estado del mercado actual en el sector que le corresponde. Es necesario comprender la situación del resto de empresas contra las que se pretende competir y entender las necesidades de los clientes en la actualidad y en etapas futuras. Es por ello por lo que los participantes del proyecto adquieren conocimiento que les será útil en el futuro si se ven implicados de nuevo en un proyecto similar. Este conocimiento se conoce en el mundo laboral como experiencia. Además, los aspectos técnicos aprendidos durante la ejecución del producto también pueden ser útiles en la realización de proyectos similares.

La introducción de un nuevo producto en el mercado también puede alterar de forma significativa el estado de las ventas del resto de empresas. Cada empresa debe valorar su estado económico y decidir si invertir en un equipo de investigación encargado de mejorar su tecnología o si paralizar el desarrollo de sus productos. En caso de decantarse por la primera opción, este proyecto puede convertirse en un incentivo a cierto nivel para que el resto de empresas mejoren sus productos. La competencia entre empresas obliga a sus trabajadores a esforzarse por destacar. De esta manera, no solo beneficia a los integrantes de esta organización, sino que, a largo plazo, puede beneficiar al resto de empresas también.

4.3. Ámbito social

Uno de los principales beneficios en el ámbito social es el hecho de proporcionar una solución a una necesidad de clientes potenciales. Este proyecto ayuda al desarrollo de la sociedad hacia un futuro con más opciones y posibilidades donde las personas sean capaces de adquirir el producto que más se adapte a sus necesidades. Este proyecto ayuda a establecer las bases del estilo de vida del futuro, en el que los hogares se convertirán en casas inteligentes en las que todos los dispositivos y electrodomésticos podrán comunicarse entre sí a un coste no demasiado alto.

Por otro lado, al igual que se ha comentado previamente, la competencia acelera el desarrollo tecnológico de cada empresa, lo cual beneficia directamente a los consumidores. Cuanta más rivalidad exista entre las empresas del sector para mejorar sus productos, los clientes obtendrán mejores ofertas en un intervalo de tiempo menor. Por otro lado, esto también tiene un lado oscuro, ya que cuantos más productos oferte una empresa, antes se quedarán estos anticuados. Por lo tanto, debido a que este proyecto se ha realizado pensando en un precio de venta bajo, puede facilitar a sus consumidores la decisión de renovarlo sin apenas consecuencias económicas.

5. Análisis de alternativas

A pesar de que la domótica comenzara a dar sus primeros pasos a finales del siglo XIX [9], no ha sido hasta la segunda década del siglo XX cuando ha empezado a generar interés real por los consumidores. Este interés, ha hecho que las empresas dediquen sus recursos a producir dispositivos de todo tipo de características y funcionalidades involucrando la vida en el hogar. En este apartado, se van a agrupar varios de los productos ajenos a este proyecto realizados por diferentes empresas que presentan características similares a las del producto expuesto en este informe. Además, se compararán sus funcionalidades y se proporcionarán razones por las que el proyecto de este documento destaca frente a dichas opciones.

Sonoff WiFi Smart Switch

Por lo que se puede comprobar en su página web [8], Sonoff es una empresa de origen chino que cuenta con numerosos distribuidores en países de todo el mundo. El producto que se presenta es un termostato inteligente con conectividad wifi que monitoriza la temperatura y la humedad. Su funcionalidad principal se basa en controlar la temperatura del hogar en función de diferentes variables como por ejemplo, el momento del día. Se alimenta directamente conectándolo a una toma de corriente y cuenta con una aplicación que el usuario se instala en el móvil y se comunica con el dispositivo vía wifi. De esta manera, el usuario puede configurar la automatización del conmutador.

Se trata de un dispositivo con una funcionalidad muy reducida, ya que solo sirve para establecer la temperatura del hogar a un valor determinado de forma automática. Sin embargo, el proyecto presentado en este documento cuenta con esa misma funcionalidad, entre otras. Debido a que su control se realiza desde un teléfono inteligente, no dispone de ningún tipo de interfaz de usuario. En definitiva, su utilidad es muy reducida en comparación con el Proyecto Domus. Además, su precio de venta puede parecer un tanto alejado del que se espera ofrecer con este proyecto. Es decir, los usuarios de este dispositivo podrían agradecer una alternativa con una funcionalidad superior y un precio más reducido.



Figura 1: Switch inteligente de la empresa Sonoff.

ABB Sky Niessen. Room temperature controller with value display.

La empresa responsable de este dispositivo es Busch-Jaeger, una empresa alemana que pertenece al grupo ABB. De nuevo, se presenta un termostato con un diseño minimalista y una interfaz de usuario muy visual y atractiva. Sin embargo, las funcionalidades que se ofrecen son muy reducidas. Se promociona el producto como un termostato que trabaja de forma independiente y con el que se puede controlar la temperatura de cada habitación individualmente (Instalando un dispositivo en cada habitación). La pantalla, de tipo LCD, ocupa gran tamaño y ofrece la posibilidad de mostrar la temperatura y la hora, entre otros. Por otro lado, no se ilumina de la misma manera que un panel LED, por lo que puede resultar un inconveniente en situaciones de baja luminosidad.

Para la creación de este producto, se puede comprobar que el objetivo principal ha sido un diseño elegante y no tanto su funcionalidad. Se trata de un producto que puede aportar valor a una casa desde el punto de vista decorativo más que desde el punto de vista funcional. De esta manera, su precio de venta también representa el dispositivo como un producto de lujo, lo que puede no crear la sensación de necesidad en los consumidores que se ha tratado de abordar con el Proyecto Domus.

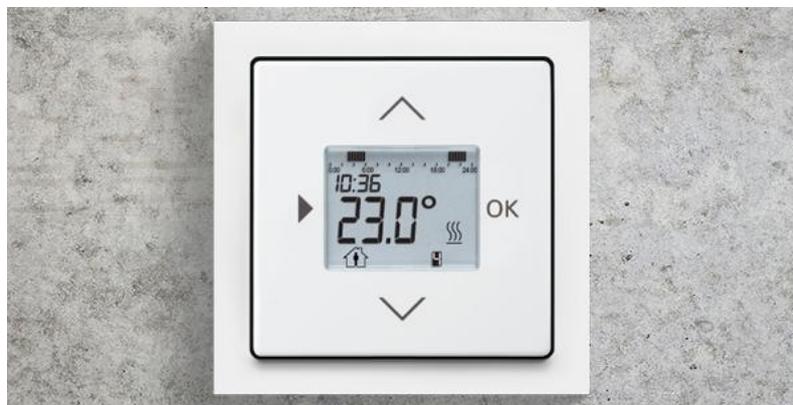


Figura 2: Controlador de temperatura de la gama Sky Niessen de la empresa ABB.

Netatmo Smart Thermostat

Netatmo es una empresa francesa que ofrece el siguiente termostato inteligente en su gama de productos. Se trata del producto más propenso a competir directamente con el presentado en este documento. En este caso, también se trata de un termostato inteligente con un diseño minimalista que puede ser controlado directamente desde los botones con los que cuenta el dispositivo o desde una aplicación móvil. También ha contado con un gran trabajo de diseño y tiene un display LCD en el que se muestra la temperatura. Además, no necesita ser conectado a la toma de corriente al igual que en el resto de productos mostrados sino que cuenta con una batería que le proporciona movilidad al dispositivo ya que no será necesario instalarlo en ningún lugar. Uno de los inconvenientes con los que cuenta es que no puede controlar la temperatura de todas las habitaciones al mismo tiempo, sino que dependerá de la posición en la que se encuentre. Sin embargo, gracias a la aplicación móvil, le permite al usuario controlar la temperatura de su casa desde cualquier lugar, incluso cuando se encuentra fuera de casa.

Una vez resumida su funcionalidad, es un dispositivo de gran valor económico. Lo que se pretende mediante el Proyecto Domus es realizar un dispositivo enfocado a una gama de precios mucho menor, siendo capaz de ofrecer las mismas funcionalidades, pero sin focalizar tanto el diseño del dispositivo como una de sus principales características. Por otro lado, el Proyecto Domus permite incluir módulos extra que le aporten más funcionalidades. Por ejemplo, mediante la conexión de este a un módulo wifi, también puede ser controlado mediante una aplicación móvil. Debido a que esta es la primera versión, se ha considerado mantener un precio de venta bajo por lo que se ha sido muy cuidadoso a la hora de escoger sus diferentes características y funcionalidades.



Figura 3: Termostato inteligente de la empresa Netatmo.

6. Análisis de riesgos

En vista de las alternativas presentadas en el apartado anterior, se confirma la existencia de productos similares en el mercado al que se enfoca este proyecto. Al igual que la ya mencionada competencia, durante la realización de un proyecto de estas características, pueden surgir diferentes tipos de problemas que perjudican la ejecución de este en un menor o en un mayor grado.

En este apartado, se presenta el análisis de riesgos del proyecto, cuya principal función se basa en identificar y evaluar los posibles imprevistos que pueden afectar de forma negativa en el desarrollo del mismo. Las diferentes observaciones que se van a presentar resultan de especial interés, ya que permiten el estudio de las causas y sus correspondientes consecuencias con respecto al éxito del proyecto. En caso de que se cumpla alguno de los riesgos identificados durante la ejecución del proyecto, los participantes pueden anticiparse al mismo y revertirlo a tiempo.

Además de la identificación y el análisis de los riesgos, también se va a realizar un plan de contingencia para buscar soluciones que minimicen el impacto de estos problemas. Para ello, se considerará que el proyecto se ha llevado a cabo por una organización de la cual se considerará su situación económica, sus recursos financieros y los detalles de inserción del proyecto en el mercado correspondiente.

6.1. Identificación de los riesgos

En este apartado, se identifican los riesgos a los que se enfrenta la ejecución del proyecto en cuestión:

Posibles riesgos

- Presupuesto insuficiente
- Cálculo erróneo del presupuesto
- Superación de la fecha límite fijada
- Interrupción del desarrollo del proyecto
- Desinterés del público al que está enfocado el producto
- Nuevas tecnologías desarrolladas por la competencia

Tabla 1: Identificación de riesgos del proyecto

6.2. Estudio de los riesgos

A continuación, se evaluarán los riesgos identificados previamente mediante una breve explicación de cada uno, el impacto que supondría en el proyecto y la posibilidad de que dicho inconveniente ocurriera:

A. Presupuesto insuficiente.

Durante la realización del proyecto, pueden surgir costes inesperados que encarezcan el proyecto y resulte más caro de lo que la organización dispone.

El impacto de este riesgo puede considerarse alto. Sin presupuesto, el proyecto no podrá llevarse a cabo y tendrá que paralizarse hasta disponer de fondos suficientes, con las consecuencias que eso conlleva para la organización.

La probabilidad de que ocurra es baja. Las empresa que se dispone a realizar un proyecto de este calibre, se suele asegurar de que cuenta con fondos suficientes teniendo en cuenta los imprevistos.

B. Cálculo erróneo del presupuesto.

Se han considerado factores innecesarios a la hora de calcular el presupuesto del proyecto, resultando este más barato, o bien se han despreciado factores que han encarecido el proyecto.

El impacto de este riesgo puede considerarse moderado, debido a que el grado de impacto depende de si el error en el cálculo ha supuesto mayor o menor asignación de fondos al proyecto de los necesarios. Afecta en un desequilibrio en cuanto a la contabilidad de fondos de la empresa.

La probabilidad de que ocurra es alta. Los errores humanos son los más comunes en un proyecto de este tipo.

C. Superación de la fecha límite fijada.

Debido a razones inesperadas, el proyecto puede llevar más tiempo de lo planeado. Esto puede comprometer el resto de proyectos de la organización.

El impacto no es de mayor importancia, aunque dependiendo del proyecto, puede resultar en la pérdida de ventas o clientes. En este caso, no se considera grave.

La probabilidad de que ocurra es media.

D. Interrupción del desarrollo del proyecto.

En un entorno en el que la organización que está llevando a cabo el proyecto considera que, debido a posibles eventos, no es suficientemente lucrativo proceder con la ejecución del mismo, puede ser cancelado.

El impacto que tendría esto sería muy alto, puesto que no da pie a ningún tipo de solución.

La probabilidad de que ocurra es media.

E. Desinterés del público al que está enfocado el producto.

Una vez presentado el producto final, las ventas no resultan ser las que se esperaban. El producto no ha logrado destacar frente a la competencia directa.

El impacto es alto. El proyecto se realiza esperando un beneficio económico. Las ventas pueden afectar a la evolución del proyecto.

La probabilidad de que ocurra es alta.

F. Nuevas tecnologías desarrolladas por la competencia.

La evolución de la tecnología a lo largo del siglo XXI se ha incrementado de forma exponencial[10]. Siendo la domótica un mercado no demasiado explotado, muchas empresas comienzan a investigar en el área y sus nuevos descubrimientos pueden dejar los productos actuales obsoletos.

El impacto es medio. Si el proyecto es exitoso, la empresa no lo cancelará y seguirá investigando en nuevas funcionalidades y tecnologías.

La probabilidad de que ocurra es baja-media.

6.3. Plan de contingencia

Mediante la matriz de probabilidad-impacto, se pueden clasificar los riesgos de forma visual y ver el grado de atención que requiere cada uno al elaborar el plan de contingencia. El plan de contingencia debe realizarse sobre cada uno de los riesgos y su finalidad puede ser tratar de reducir la probabilidad de que ocurran, prevenir el riesgo o preparar una solución viable en caso de que algún riesgo ocurra.

Impacto →					
Probabilidad ↓	Muy bajo (0.1)	Bajo (0.3)	Moderado (0.5)	Alto (0.7)	Muy Alto (0.9)
Muy bajo (0.1)					
Bajo (0.3)				A (0.21)	
Moderado (0.5)		C (0.15)	F (0.25)		D (0.45)
Alto (0.7)			B (0.35)	E (0.49)	
Muy Alto (0.9)					

Tabla 2: Matriz Probabilidad-Impacto del Proyecto Domus

Una vez se obtiene la matriz probabilidad-impacto, se pueden ordenar los riesgos de mayor a menor atención requerida:

$$E \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow F \rightarrow A \rightarrow C$$

De esta manera, el riesgo más importante al que se enfrenta la realización de este proyecto, es el de no captar el interés del público al que está enfocado el producto. Para tratar

de reducir dicho riesgo, se puede prevenir en el presupuesto el gasto correspondiente a la subcontratación de una empresa especializada en marketing. Gracias a esto, se puede esperar dar a conocer el producto a un mayor número de personas, ofreciendo las funcionalidades del mismo como una necesidad para los clientes, lo que se traduce en un mayor número de ventas.

Los riesgos económicos pueden prevenirse mediante la inclusión de una partida de imprevistos en el presupuesto. Debido a que en la realización del proyecto pueden surgir nuevos problemas, se puede asignar una parte de los fondos del proyecto a la solución de dichos problemas. Aunque no sea una solución definitiva, proporciona un rango de error más amplio para disminuir la probabilidad de superar el presupuesto establecido al comienzo.

Los riesgos correspondientes con los errores en la ejecución del proyecto (humanos o no) pueden ser solventados mediante una breve fase de comprobación después de cada tarea. Una vez fabricado el circuito impreso, puede ser de gran utilidad dedicar un breve periodo de tiempo al testeado de las conexiones electrónicas. El software también puede ser controlado mediante informes eventuales que evalúen la correcta ejecución del código y la cantidad de código escrito. La calidad del producto es una de las características que más interesa a los clientes hoy en día[11], por lo que el acabado del producto debe ser revisado atentamente.

Finalmente, para evitar que el producto se quede obsoleto por nuevos hallazgos tecnológicos realizados por diferentes empresas del sector, la organización encargada del proyecto puede considerar la posibilidad de organizar un equipo de investigación que trate de mejorarlo para versiones posteriores.

7. Descripción de la solución

Tras analizar el estado del área del mercado en el cual se pretende irrumpir, valorar las distintas alternativas, tener en cuenta los riesgos relativos a la realización del proyecto y establecer los detalles funcionales del producto final, se procede a definir la solución del mismo. A lo largo de este apartado, se van a desarrollar las características referentes al HW y SW para la realización del producto. Con el fin de esclarecer el proceso, se van a aportar las justificaciones y ejemplos necesarios de las tomas de decisiones más importantes.

7.1. Módulo de Alimentación

El módulo de alimentación adopta dicho nombre debido a que contiene el componente encargado de proporcionar la alimentación necesaria al resto de módulos del sistema. Se trata de un módulo de gran importancia ya que también cuenta con la conectividad serie del sistema. El usuario final no interactúa con este módulo, por lo que no cuenta con ningún tipo de interfaz de usuario. Sin embargo, esta PCB sirve de puente entre el *Módulo de Reloj/Radio* y el *Módulo de Audio*. A continuación se pasa a exponer las características HW y SW del módulo presentado:

7.1.1. Hardware

El Hardware en un producto electrónico representa la base de su funcionamiento. Pese a que HW y SW son ámbos necesarios para la realización de este proyecto, el HW establece los límites en las características y funcionalidades físicas del sistema. Se ha optado por dividir este apartado de forma paulatina desde la selección de componentes para cumplir con las especificaciones requeridas, hasta el resultado final del montaje de estos en la PCB.

Primero, se van a listar los componentes empleados junto a una breve explicación de sus características más importantes:

HLK-PM01. Es el regulador de tensión escogido para reducir la tensión alterna de 230 V a 5 V estables que alimentarán el resto de componentes del sistema (Módulo de alimentación, Módulo de audio y Módulo de reloj/radio). Su rango de tensión de entrada admite desde los 90 V a los 264 V y cuenta con unas dimensiones suficientemente reducidas para ajustarse al tamaño final de la PCB.

MAX485. Se trata de un transmisor - receptor de baja potencia para la comunicación serie RS-485. Se alimenta a 5 V y alcanza una tasa de datos de 2.5 Mbps. Este

driver será utilizado para la comunicación entre los distintos sistemas que conforman el proyecto.

SRD-5VDC-SL-C. Es un mini-relé que funciona a 5 V y cuenta con tres salidas: el selector, la salida abierta y la salida cerrada. El tamaño y la alimentación son las características principales por las que se ha escogido este componente.

KF301-2P. Son los conectores de tornillo que se utilizarán junto a los tres componentes ya listados. Por lo tanto, este circuito contará con tres de estos conectores. Uno de ellos será el medio de entrada de la CA al circuito, el segundo estará conectado a la salida del relé y el último de ellos se utilizará para conectar los sistemas adyacentes, es decir, formará parte de la comunicación serie.

Interconexión de módulos. Debido a que el microcontrolador se encuentra en otro módulo, es necesario contar con un conector de puertos que proporcione al Módulo de Alimentación y al Módulo de Audio las señales digitales provenientes del PIC-16F887 para controlar el funcionamiento de todos los componentes que lo requieran. Para solventar eso, se utilizarán varios conectores con un número de terminales distintos:

- Un **conector vertical de 1×06 terminales** que acoplará el Módulo de Reloj con este. Mediante este conector se transportan las señales digitales necesarias para el control del relé y para el control del Módulo de Audio.
- Un **conector vertical de 2×03 terminales** para proporcionar al Módulo de Reloj/Radio la alimentación proporcionada por el regulador de tensión y junto a este, otro **conector vertical de 1×03 terminales** para los puertos de la comunicación serie.
- Ya que este módulo sirve de puente entre el Módulo de Reloj/Radio y el Módulo de Audio (no hay unión directa entre los dos módulos), también se utilizará un **conector horizontal de 1×08** para proporcionar al Módulo de Audio las señales digitales necesarias y la alimentación correspondiente para alimentar todos los componentes.
Además, con el fin de poder acoplar el Módulo de Audio a cualquier lado del Módulo de Alimentación, dicho conector estará duplicado de forma simétrica, al lado opuesto de la PCB.

7.1.1.1. Esquemático

A continuación, se muestra el esquemático del Módulo de Alimentación, en el que se pueden distinguir los siguientes bloques funcionales:

- Alimentación
- Comunicación serie
- Relé
- Interconexión de módulos

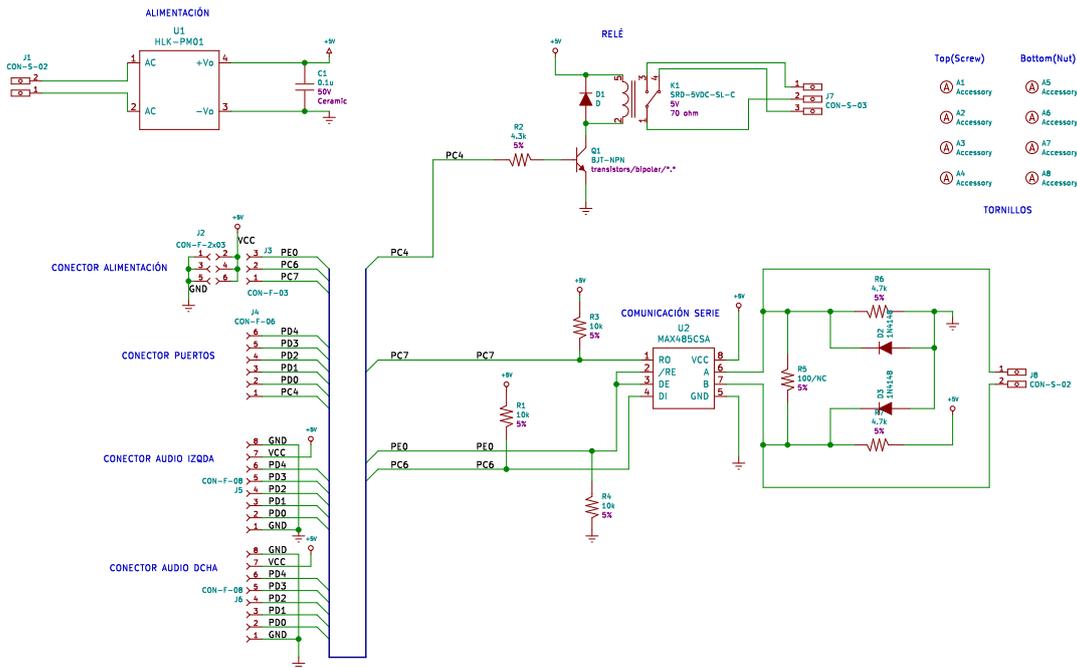


Figura 4: Esquemático del Módulo de Alimentación.

Alimentación

La alimentación de todo el sistema la proporciona el regulador de tensión HLK-PM01, tal y como se ha comentado anteriormente. Este componente cuenta con dos terminales de entrada y dos de salida. Mediante dos conectores de tornillo, se recibe la CA de 230 V a 50 Hz que llega al hogar de la central eléctrica y esta se conecta directamente a la entrada del componente. Los terminales de salida del regulador de tensión proporcionan 5 V de CC, distribuidos de forma que en uno de sus terminales se obtienen 0 V (-Vo) y en el otro, 5 V (+Vo). Además, para asegurar el desacoplo de la CA de la señal de CC, se ha añadido un condensador de 0.1 μ F entre los terminales de salida.

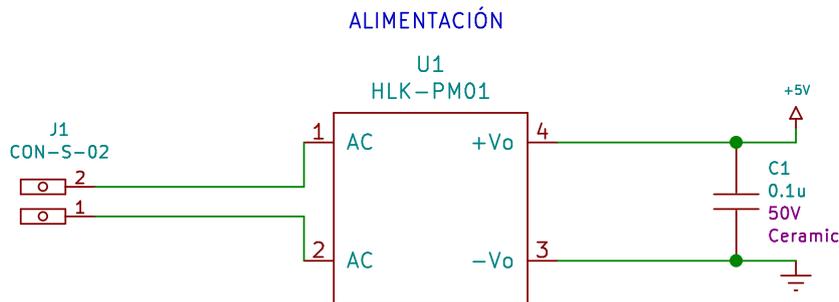


Figura 5: Circuito de alimentación del Módulo de Alimentación.

Comunicación serie

El diseño del circuito de control de la comunicación serie mediante el CI MAX485CSA parte del siguiente modelo:

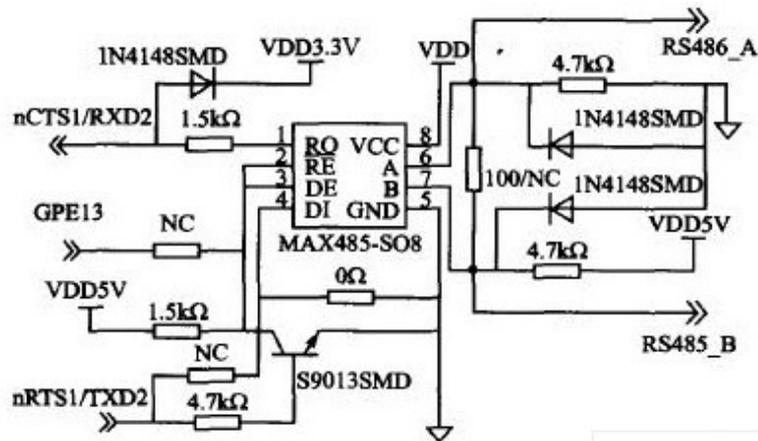


Figura 6: Circuito ejemplo para el control de la comunicación RS485 mediante MAX485.

Se puede observar que el circuito de salida del CI se ha mantenido exáctamente como en la Figura 6, mientras que el circuito de entrada se ha modificado notablemente. Esto es debido a que en la Figura 6 se presentan dos tipos de alimentación diferentes: 3.3 V y 5 V. En este módulo, la alimentación de todo el circuito va a ser únicamente de 5 V. En los terminales 1-4 se han incluido resistencias *pull-up* y *pull-down* en función del valor por defecto que se pretenda obtener. A continuación se muestra la descripción de los pines junto a la tabla de la verdad del CI:

Transmitting					Receiving			
Inputs			Outputs		Inputs			Outputs
/RE	DE	DI	A	B	/RE	DE	A-B	RO
X	1	1	1	0	0	0	+0.2 V	1
X	1	0	0	1	0	0	-0.2 V	0
0	0	X	Z	Z	0	0	open	1
1	0	X	Z	Z	1	0	X	Z

Z = high impedance
X = don't care

Tabla 3: Tabla de la verdad del CI MAX485CSA[12]

/RE es el terminal que habilita la escucha para recibir información o la deshabilita para enviar información. Por ello, su valor por defecto debe ser "low"(0 V), es decir, necesita una resistencia *pull-down*.

DE habilita y deshabilita el driver de salida. Cuando se necesite enviar información por el terminal *DI*, *DE* se habilita con el valor lógico "high"(5 V) y en función de si el valor a enviar es 1 ó 0, las salidas A y B obtendrán los valores correspondientes que se muestran en la tabla de la verdad de la Tabla 3.

Los terminales *DE* y */RE* se encuentran cortocircuitados debido a que, como se muestra en la tabla de la verdad, en el proceso de transmisión el valor de */RE* no es relevante (Se considera que en cuanto *DE* es activado, se sale del estado de escucha) y en el proceso de recepción, ámbos pines deben tomar los mismos valores excepto

en el estado en el que el terminal *RO* se encuentra en alta impedancia, el cual no se corresponde con el correcto funcionamiento de la comunicación serie.

RO y *DI* son los terminales por los que se propaga la información. En el caso de *RO*, se transmiten los valores lógicos recibidos al microcontrolador por el puerto PC7. Por el contrario, el microcontrolador transmite los valores lógicos por el puerto PC6 hasta el terminal *DI* del MAX485CSA. Dichos puertos se han seleccionando teniendo en cuenta la hoja de datos del microcontrolador utilizado para el proyecto. En este caso, se trata del PIC16F887, como ya se ha comentado en apartados previos, y estos son sus puertos predefinidos para la comunicación serie. El puerto PE0 tan solo se trata de un puerto de control para alternar entre el modo transmisión y el modo recepción a través del microcontrolador.

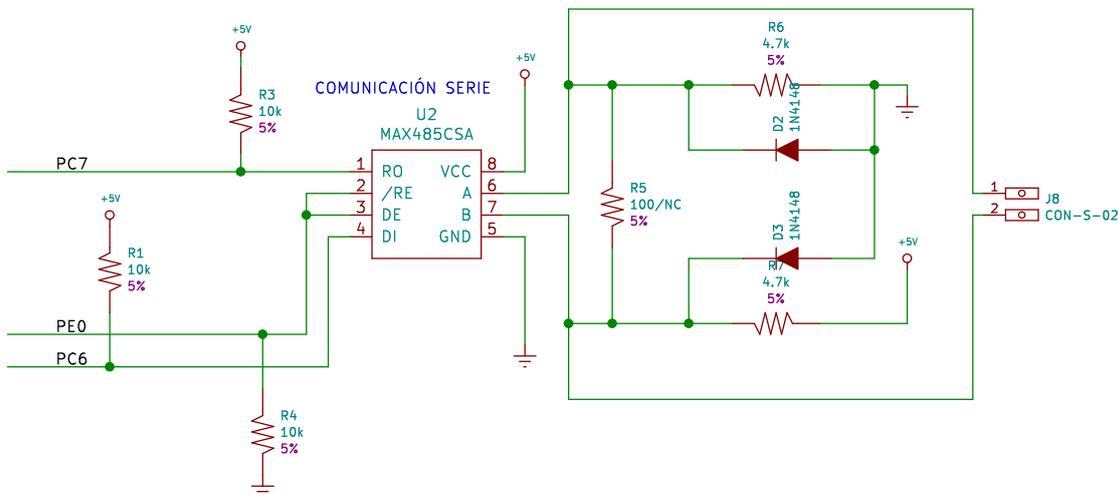


Figura 7: Circuito de control de la comunicación serie del Módulo de Alimentación.

Relé

El control del relé se hace mediante el puerto de control del microcontrolador PC4. Los componentes externos al relé son necesarios para el correcto funcionamiento de este. Por defecto, el puerto PC4 se encuentra en "low"(0 V) y cuando el microcontrolador lo activa, el selector del relé, que se encuentra en su terminal 1, cambia de posición y se cortocircuita con el terminal 3. Esta funcionalidad se ha pensado para encender y apagar la caldera del hogar, por lo que la salida del relé se conectará a la caldera encargada de regular la temperatura de casa.

Aunque para la funcionalidad que se le ha decidido proporcionar al relé tan solo hacen falta sus terminales de salida 1 y 3, se ha optado por utilizar también el pin 4 en caso de que en un futuro se necesite desactivar/activar algún otro elemento en el momento en que se active el relé. Por lo tanto, a pesar de que el conector de tornillo que se muestra en el esquemático incluya las tres salidas del relé, en un principio tan solo se utilizarán dos de ellas (terminales 1 y 3).

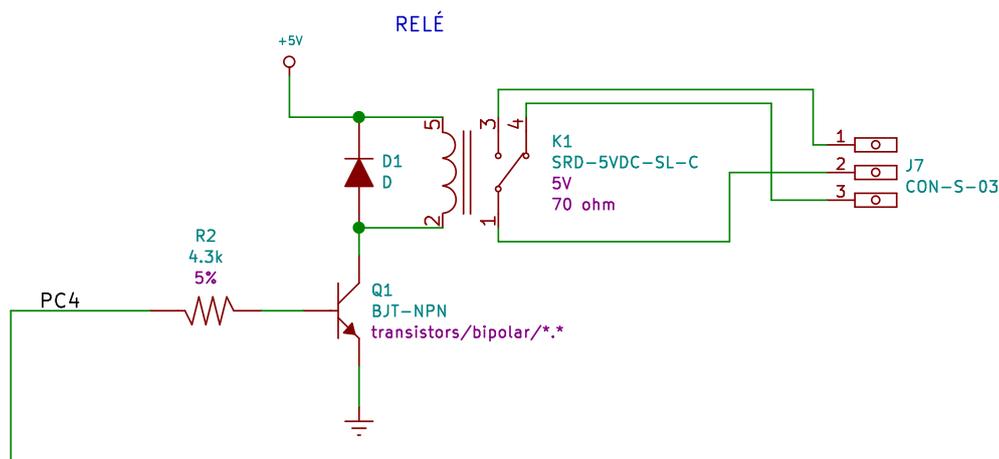


Figura 8: Circuito de control del Relé del Módulo de Alimentación.

Interconexión de módulos

El circuito de interconexión de módulos se basa simplemente en los conectores de tipo *Pin header* necesarios para transportar las señales entre los diferentes circuitos impresos. El conector de puertos y el conector de alimentación crean un nexo con el Módulo de Reloj/Radio y, por otro lado, el conector de audio, tanto el izquierdo como el derecho (no al mismo tiempo), se acoplan al Módulo de Audio.

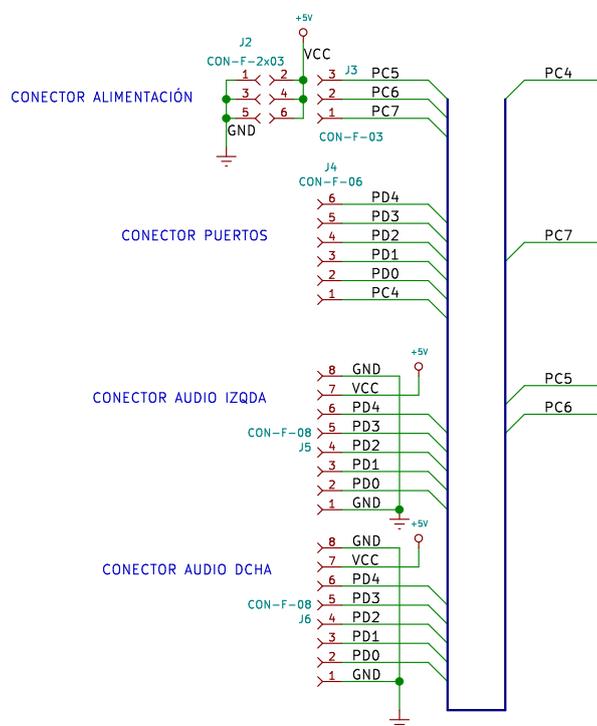


Figura 9: Circuito de interconexión de módulos del Módulo de Alimentación.

7.1.1.2. Diseño de huellas

Una de las características por las que se ha decidido utilizar estos componentes para realizar el proyecto es que son convencionales y por lo tanto, las huellas de muchos de ellos se pueden encontrar fácilmente por defecto en las librerías de la mayoría de herramientas de diseño de circuitos electrónicos. A pesar de ello, para garantizar la calidad del proyecto, se ha optado por diseñar las huellas de los siguientes componentes: HLK-PM01, SRD-5VDC-SL-C, los diodos D_1 - D_3 y los conectores de tornillo J_1 , J_6 y J_7 .

A continuación se muestra, a forma de ejemplo, una ilustración del diseño de un componente del proyecto:

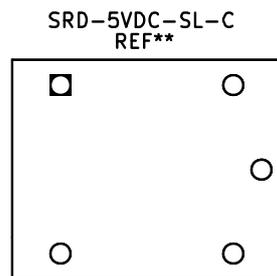


Figura 10: Diseño de la huella del relé SRD-5VDC-SL-C.

7.1.1.3. Diseño 3D de componentes

La vista 3D de la PCB a la hora de emplazar los componentes puede ser muy útil para hallar posibles problemas en el posicionamiento de cada uno de estos. En este caso, debido a la altura de componentes como el regulador de tensión o el relé, es necesario que estos se encuentren en la capa inferior o *bottom* del circuito impreso. Al igual que en el diseño de huellas, los modelos 3D de los componentes empleados no han sido difíciles de encontrar. Sin embargo, con el fin de aprender a usar la herramienta de diseño 3D *FreeCad*, se ha realizado el diseño 3D de uno de los componentes.

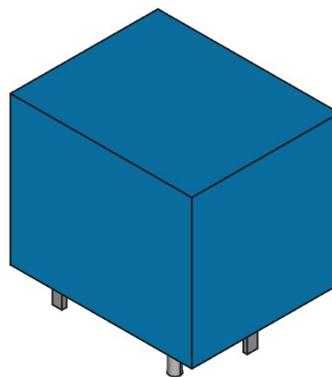


Figura 11: Vista axonométrica del modelo 3D del relé SRD-5VDC-SL-C.

A continuación, se muestra el modelo 3D del relé que se muestra en la Figura 11 sobre la huella presentada en la Figura 10:

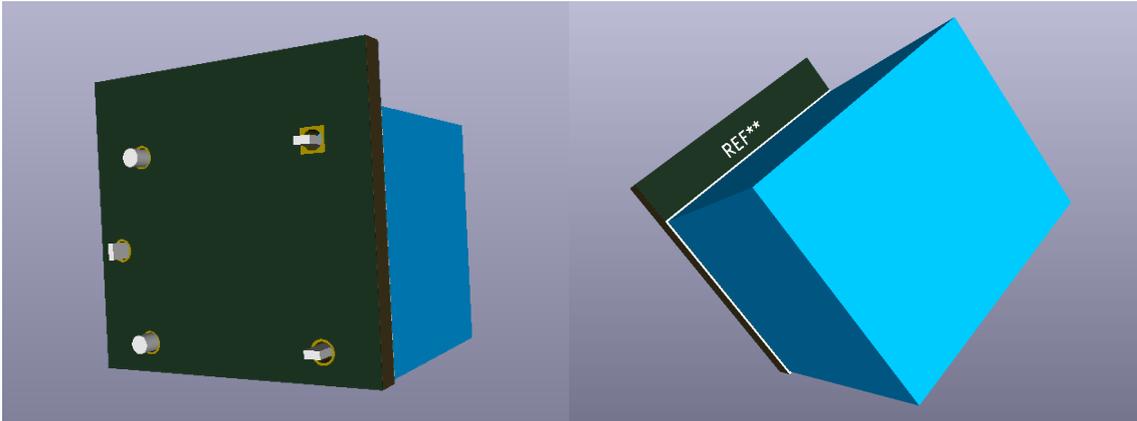


Figura 12: Visor 3D del relé SRD-5VDC-SL-C sobre su huella en la herramienta de diseño KiCad.

7.1.1.4. Diseño de la PCB

El sistema se encuentra implementado dentro de la estructura de un enchufe de corriente estándar. Por lo tanto, las dimensiones del circuito impreso vienen limitadas por las de dicha estructura. En este caso, se ha optado por unas dimensiones cuadradas de 52×52 mm.

Debido a que el usuario final no interactúa con el Módulo de Alimentación, no cuenta con ningún tipo de interfaz de usuario. Por lo tanto, la posición de los componentes se ha de decidir únicamente en base a la funcionalidad y el tamaño de estos. Como ya se ha comentado en el anterior apartado, debido a la compacidad del sistema completo, los distintos módulos se encuentran muy próximos entre sí. Esta limitación de espacio influye en la decisión de colocar los componentes en la capa *top* o en la capa *bottom*.

Además, ya que la posición de los conectores "*Pin header*" no solo afecta a este módulo, ha sido acordada entre todos los participantes del proyecto de forma que no haya errores en el montaje del sistema. Dicha priorización de la posición de los conectores es otro factor que limita la posición del resto de componentes. Sin embargo, el tamaño de la placa no ha supuesto un problema en el emplazamiento de los componentes SMD debido a que en la capa *top* hay espacio suficiente.

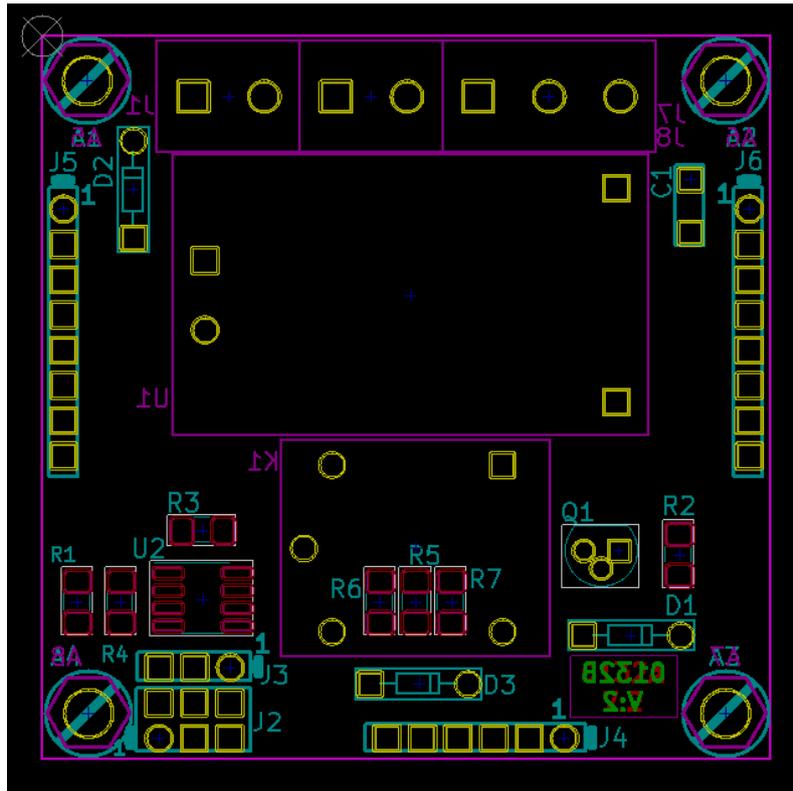


Figura 13: Emplazamiento del Módulo de Alimentación.

7.1.1.5. Rutado de la PCB

Una vez decidido el tamaño de la PCB y realizado el emplazamiento de los componentes, es necesario crear las conexiones electrónicas mediante pistas. En vista de que la limitación de espacio no ha supuesto un mayor problema, se ha decidido diseñar el circuito impreso mediante dos capas (*top* y *bottom*). De esta forma, se simplifica el rutado y se abarata el producto, lo cual es muy importante en un proyecto de este tipo. Las reglas de diseño se han configurado de forma que la red de alimentación este compuesta por pistas de una anchura superior al resto.

Nombre	Margen	Ancho de pista	Diámetro vía	Tdro vía
Default	0.2 mm	0.2 mm	0.8 mm	0.5 mm
Alimentación	0.2 mm	0.5 mm	0.8 mm	0.5 mm

Tabla 4: Clases de red para el rutado del Módulo de Alimentación

En consecuencia con la Tabla 4, a las conexiones de 5 V y *Earth* (0 V) se les ha asignado la clase de red *Alimentación*, mientras que el resto de conexiones han permanecido en la clase de red *Default*.

Otra de las características de diseño destacables es que las pistas de la capa *top* son horizontales y, por el contrario, las de la capa *bottom*, son verticales. El resultado del rutado se puede observar en la siguiente figura:

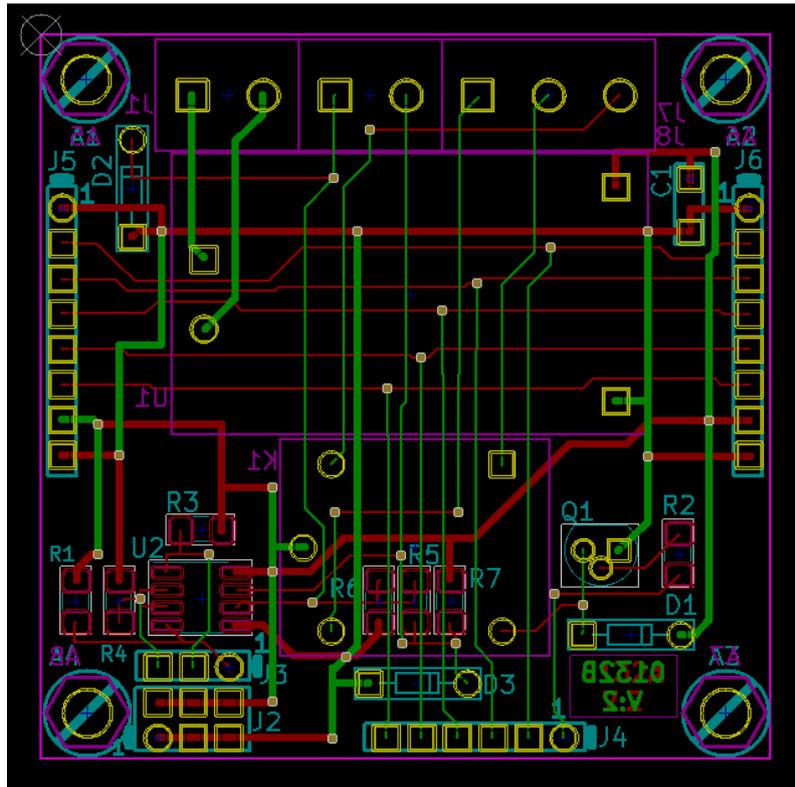


Figura 14: Resultado final del diseño del Módulo de Alimentación.

7.1.1.6. Creación de los Gerbers

El último paso antes de realizar los *Gerbers* es comprobar que el diseño completo de la PCB es correcto. Para ello, una de las mejores herramientas es el visor 3D integrado en KiCad. De esta manera, es posible analizar de una forma muy visual el resultado final del diseño tal y como se espera recibir después de su fabricación y montaje. En caso de existir algún tipo de error difícil de detectar por el ojo humano, KiCad, al igual que muchas otras herramientas de diseño de circuitos electrónicos, cuenta con un sistema de detección de errores denominado DRC (Design Rule Checking). Mediante este sistema se pueden detectar cortocircuitos o conexiones en mal estado, así como la superposición de componentes, vías y huellas.

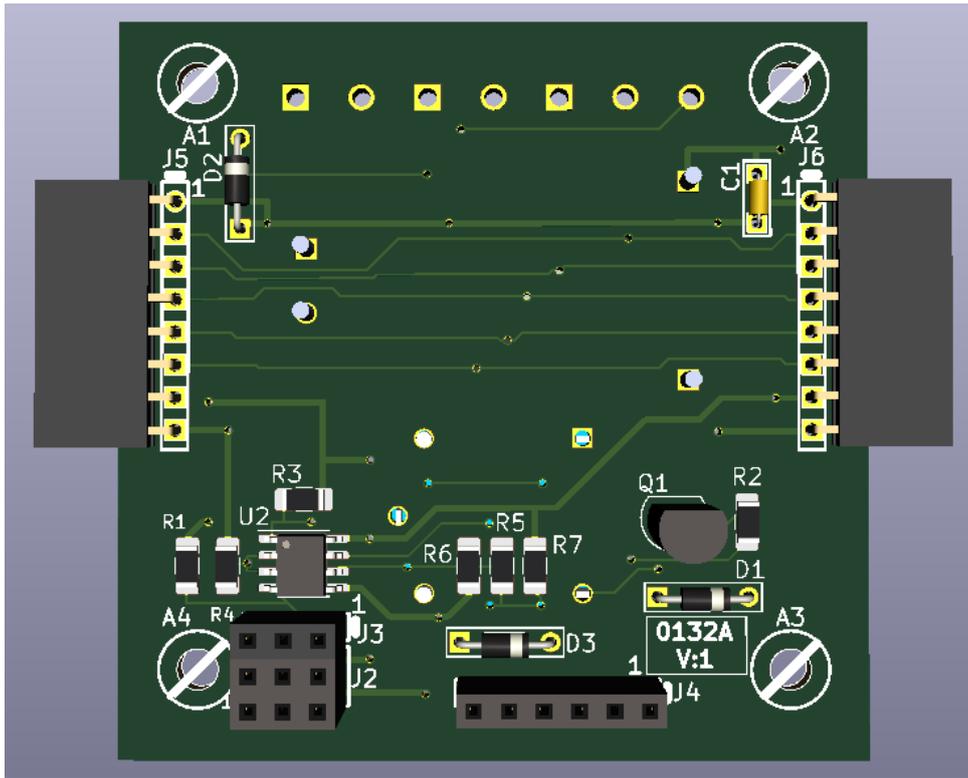


Figura 15: Visor 3D de la cara A del Módulo de Alimentación.

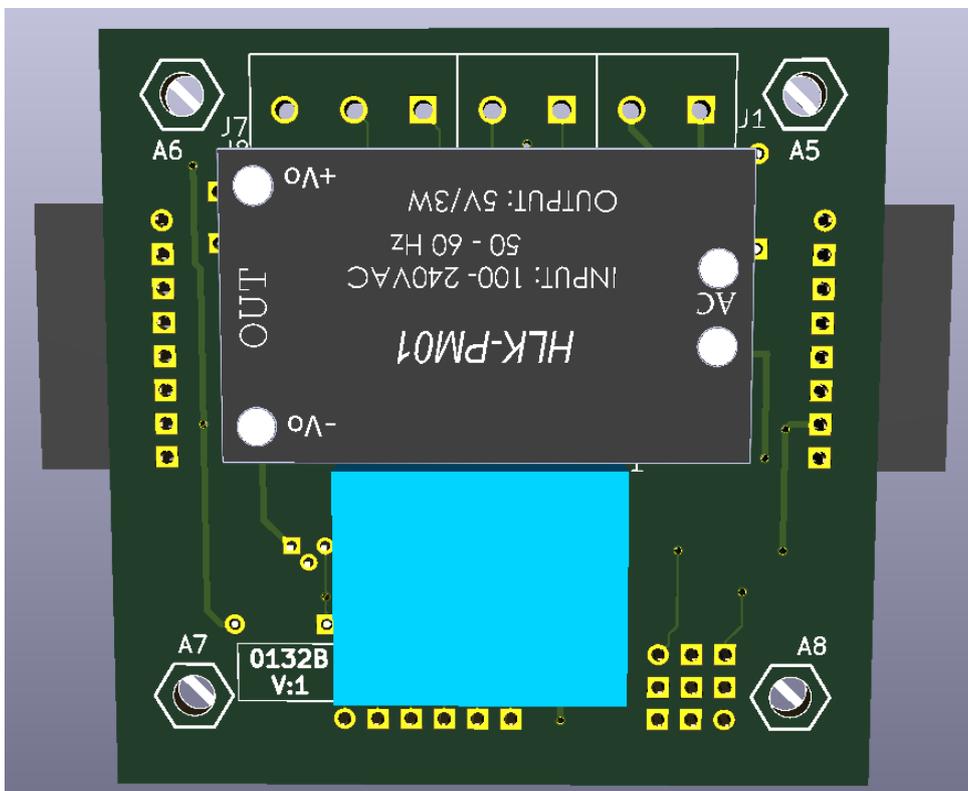


Figura 16: Visor 3D de la cara A del Módulo de Alimentación.

Una vez comprobado que no hay ningún error, se han realizado los siguientes gerbers:

PCB NAME	A-0132-1
LAYERS	2
COMPONENT SIDE LAYOUT	A-0132-1-F.Cu.gtl
SOLDER SIDE LAYOUT	A-0132-1-B.Cu.gbl
COMPONENT SIDE SOLDERSTOP	A-0132-1-F.Mask.gts
SOLDER SIDE SOLDERSTOP	A-0132-1-B.Mask.gbs
COMPONENT SIDE MARKING-PRINT	A-0132-1-F.SilkS.gto
SOLDER SIDE MARKING-PRINT	A-0132-1-B.SilkS.gbo
DRILL PLACEMENT MAP	A-0132-1-drl_map.gbr
DRILL PLACEMENT PLATED (EXCELLON)	A-0132-1.drl
DRILL PLACEMENT NON-PLATED (EXCELLON)	A-0132-1-NPTH.drl
EXTERNAL CUTTING	A-0132-1-Margin.gbr

Tabla 5: Ficheros Gerber empleados para el Módulo de Alimentación

En internet se pueden encontrar herramientas para visualizar el resultado de los Gerbers obtenidos. A estas herramientas se les denomina *Gerber viewer*[13]. En este módulo, se han subido los archivos obtenidos a dicha herramienta y se han obtenido los siguientes resultados:

Drill Map:

- 0.50mm / 0.020" (31 holes)
- 0.75mm / 0.030" (3 holes)
- 0.89mm / 0.035" (8 holes)
- 1.02mm / 0.040" (35 holes)
- 1.20mm / 0.047" (5 holes)
- 1.40mm / 0.055" (7 holes)
- * 3.17mm / 0.125" (8 holes) (not plated)

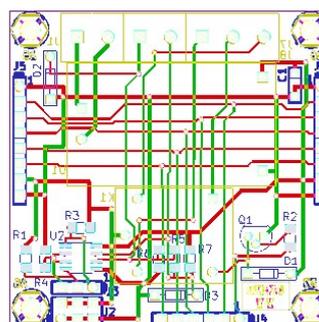


Figura 17: Visualización de los Gerbers del Módulo de Alimentación

Una vez comprobado que los Gerbers son correctos, se han enviado los archivos a la empresa especializada en fabricación de circuitos impresos.

7.2. Módulo de Audio

El módulo introducido en este apartado contiene todos los componentes necesarios para dotar al sistema de audio. Se trata de una funcionalidad orientada al usuario final, ya

que este será capaz de utilizar el dispositivo para reproducir diferentes sonidos durante su interacción con el Módulo de Reloj, así como reproducir la señal de radio proporcionada por el Módulo de Radio. Al igual que el Módulo de Alimentación, se ha diseñado de modo que pueda ser utilizado con cualquiera de los dos módulos mencionados (Módulo de Reloj y Módulo de Radio), pero debe ir conectado al Módulo de Alimentación. A continuación, se pasa a exponer las características HW y SW del módulo presentado.

7.2.1. Hardware

Como se ha comentado en la sección previa, el HW establece los límites en las características y funcionalidades físicas del sistema. En este caso, las especificaciones físicas de este módulo se basan en el volumen máximo al que se pretenda emitir el sonido y el diseño de la interfaz de usuario (el altavoz). Por lo tanto, antes de escoger los componentes, se ha tomado una decisión sobre esas dos especificaciones físicas.

Al igual que con el Módulo de Alimentación, la división del apartado se realizará explicando los procesos que se han llevado a cabo desde la selección de componentes hasta el montaje final de la PCB.

Primero, se van a listar los componentes empleados junto a una breve explicación de sus características más importantes:

LM386M. Se trata del amplificador de audio de baja potencia del circuito. Este amplificador proporciona una señal de potencia inferior a 1 W. Su voltaje de operación está entre 4 y 12 V y su empaquetado es el estándar SOIC-8.

CD4051BM. Es un multiplexor-demultiplexor analógico (*switches* analógicos) controlado por señales digitales de entre 3 y 20 V. En este caso, se va a utilizar en su función de demultiplexor. Debido a que tiene una impedancia ON muy baja, apenas tiene pérdidas de potencia. Se alimenta con una tensión en el rango de -0.5 a 20 V. Su función es alterar la impedancia de entrada del amplificador de audio para variar así el volumen de audio mediante señales digitales.

SRD-5VDC-SL-C. Es el mismo relé utilizado en el Módulo de Alimentación. Sin embargo, en este caso, su función es diferente. Solo se realizarán las conexiones de dos de sus salidas para conectar el altavoz al amplificador cuando se precise su uso. Cuando no se utilice el altavoz, el relé desconecta este del amplificador de forma que el usuario no escuche ruido eléctrico del sistema constantemente. Sus características principales son su alimentación de 5 V y su tamaño reducido.

Altavoz. Se ha escogido un altavoz de 4 Ω . Debido a que el producto final se ha diseñado para espacios pequeños, la potencia proporcionada por un altavoz de 4 Ω se ha considerado suficiente.

Interconexión de Módulos. El Módulo de Audio cuenta con dos tipos diferentes de conectores mediante los cuales recibe la alimentación del módulo y las señales digitales o analógicas necesarias para reproducir los sonidos especificados previamente:

- **KF301-2P.** La recepción de la señal de radio proporcionada por el Módulo de Radio se produce mediante este conector de tornillo de dos terminales.
- Un **conector horizontal de 1 × 08** a cada lado de la PCB para poder acoplar este módulo tanto a un lado como al otro del Módulo de Alimentación

en función del lugar de instalación. Mediante estos conectores se recibe la alimentación para todos los componentes del módulo, así como las señales digitales generadas en el microcontrolador del Módulo de Reloj.

Es importante recordar que el sistema tiene dos configuraciones diferentes:

- Módulo de Reloj - Módulo de Alimentación - Módulo de Audio
- Módulo de Radio - Módulo de Alimentación - Módulo de Audio

En función de la configuración que se utilice, la función de los conectores listados varía.

7.2.1.1. Esquemático

A continuación, se muestra el esquemático del Módulo de Audio, en el que se pueden distinguir los siguientes bloques funcionales:

- Amplificación de audio
- Control de volumen
- Relé
- Interconexión de módulos

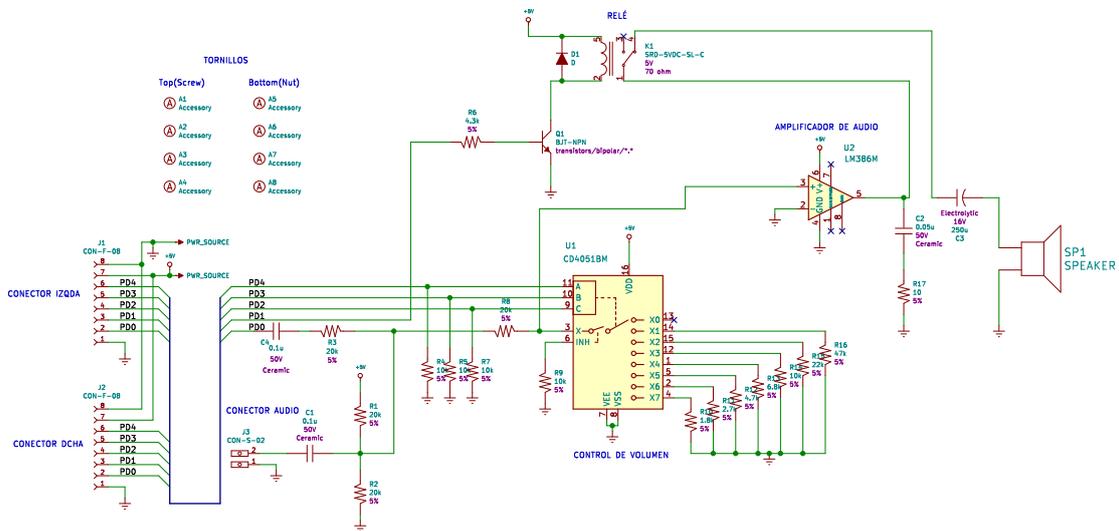


Figura 18: Esquemático del Módulo de Audio.

Amplificación de audio

El diseño del circuito de control del amplificador de audio LM386M parte de la ganancia de la señal de entrada que se pretenda obtener a la salida de este. Observando la hoja de datos del CI, se presenta una configuración típica de ganancia 20 (26 dB).

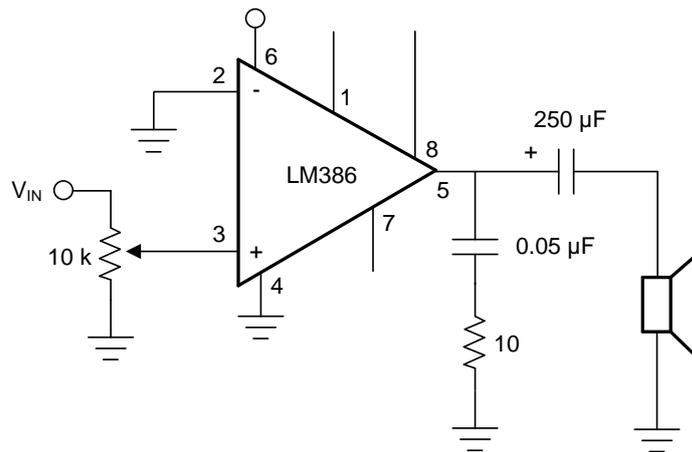


Figura 19: Circuito propuesto de la hoja de datos del LM386 con Ganancia = 20 [14].

El control de la ganancia se realiza mediante los pines 1 y 8. Finalmente se ha optado por una ganancia de 20 (26 dB), por lo que dichos terminales permanecen sin conectar. El resto de componentes a la salida del CI se han mantenido como en la hoja de especificaciones del LM386.

La entrada al amplificador de audio se realiza mediante la entrada no inversora, por lo que la entrada inversora permanece conectada a tierra. Por último, el terminal 7 sirve para añadir un condensador de desacoplo que puede ser útil para otro tipo de configuraciones en las que se quiera obtener una mayor ganancia. En este caso, no es de interés, por lo que se deja en circuito abierto.

Por último, a la salida del CI se cierra el circuito a través de las salidas del relé (cerrada y de control), de modo que cuando se quieran evitar los ruidos eléctricos, se activa el *switch* del relé y el circuito entre el LM386N y el altavoz queda abierto.

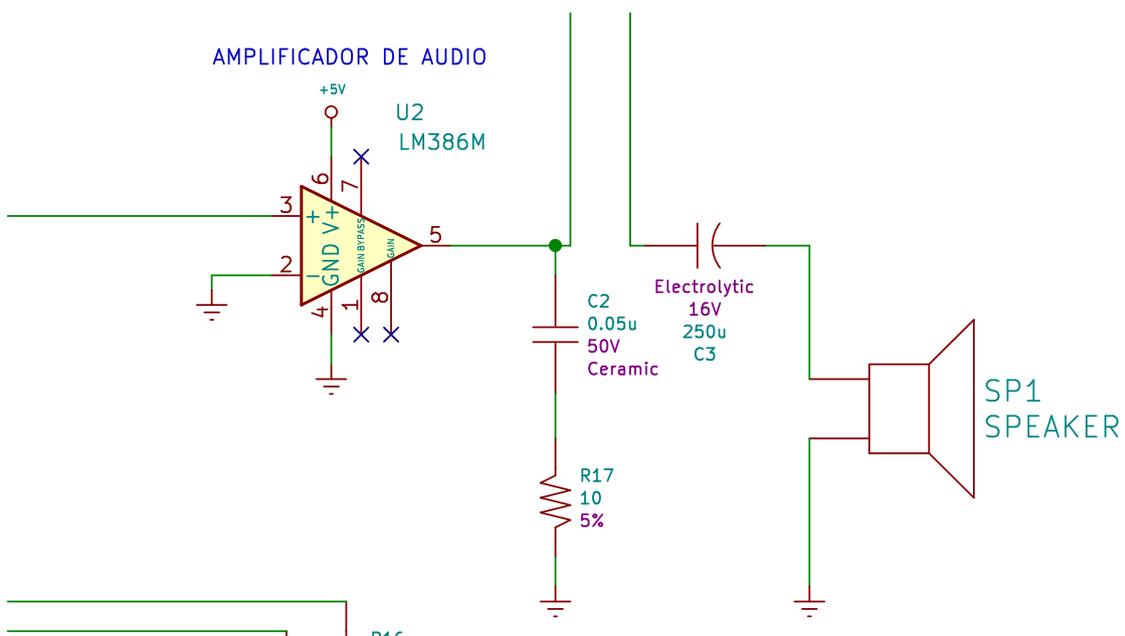


Figura 20: Circuito de control del amplificador de audio del Módulo de Audio.

Control de volúmen

El circuito del control de volumen se basa en el demultiplexor CD4051. La salida se escoge mediante tres señales digitales en los terminales 9, 10 y 11 (puertos del microcontrolador PD2, PD3 y PD4 respectivamente). A estas tres entradas se las añade una resistencia *pull-down* debido a que por defecto tomarán el valor 0.

INPUT STATES				ON CHANNEL
Inhibit	C	B	A	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	X	X	X	None

Tabla 6: Tabla de la verdad del CI CD4051BM [15].

Mediante la Tabla 6, la cual se encuentra en la hoja de datos del CI, se puede ver la relación entre el valor de entrada de las señales digitales mencionadas y la salida del demultiplexor. Además, también se muestra la relación con el terminal *Inhibit*, el cual debe tomar un valor de 0 siempre que se pretenda tomar una de las salidas del CD4051BM.

Debido a que las entradas de selección toman por defecto el valor 0, la salida preseleccionada se corresponde con el canal 0, el cual se encuentra en circuito abierto. Los valores de las resistencias del resto de canales de salida se han tomado de forma que haya una diferencia de 3 dB entre cada canal, disminuyendo de forma inversamente proporcional con el número de canal de salida seleccionado. Para calcular la ganancia en función de los dB correspondientes a cada canal de salida, se ha de utilizar la siguiente ecuación:

$$x \text{ dB} = 20 \times \log(A_v)$$

A continuación, se realiza esta operación para cada valor de x desde 0 hasta -21 dB en saltos de -3 dB y se obtienen los valores de la Ganancia (A_v) en función de cada canal de salida. Para calcular el valor de las resistencias de cada canal se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{R_{Channel}}{R_{Channel} + R_8}$$

Teniendo en cuenta que $R_8 = 20 \text{ k}\Omega$, se puede hallar $R_{Channel}$ para cada valor de A_v , logrando así la tabla 7:

Channel	dB	Av	Rchannel (kΩ)
0	0	1.00	2000000.00
1	-3	0.71	48.48
2	-6	0.50	20.09
3	-9	0.35	11.00
4	-12	0.25	6.71
5	-15	0.18	4.33
6	-18	0.13	2.88
7	-21	0.09	1.96

Tabla 7: Cálculos realizados para hallar los valores de las resistencias de cada canal de salida del 4051BM

Como se puede comprobar en la Figura 21, los valores de las resistencias de cada canal no coinciden exactamente con los calculados en la Tabla 7. Esto se debe a que se ha establecido un encapsulado específico para todas las resistencias del circuito (SMD1206). De esta manera, se han de adaptar los valores teóricos a los valores más próximos disponibles en ese encapsulado. Consecuentemente, la diferencia de ganancia entre cada canal de salida no es exactamente igual que en los cálculos teóricos. Sin embargo, esta diferencia se ha considerado irrelevante debido a que el usuario final no será capaz de distinguir la variación de ganancia entre los cálculos teóricos y la real.

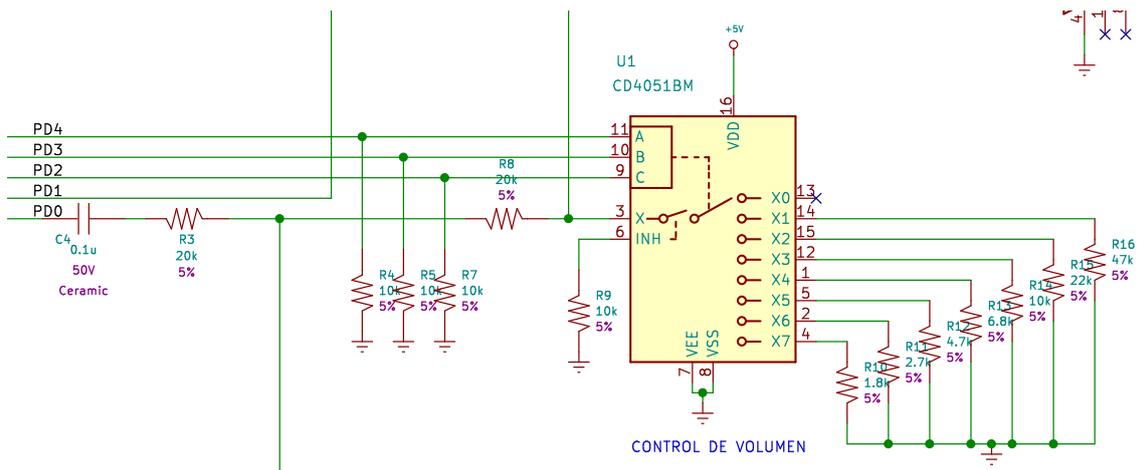


Figura 21: Circuito de control del amplificador de audio del Módulo de Audio.

Relé

El diseño de control del relé es exactamente igual que en el Módulo de Alimentación. En este caso, el gobierno del relé se hace mediante el puerto de control del microcontrolador PD1, cuya activación se produce cuando se desea desconectar el altavoz del amplificador de audio. Este control se realiza vía software. Físicamente, cuando se activa el puerto PD1, el relé alterna su conexión de salida a los terminales 1 y 3, por lo que el terminal 1 y 4 quedan en circuito abierto, evitando así que el ruido eléctrico alcance el altavoz.

Interconexión de módulos

La interconexión de módulos se basa en los conectores revisados previamente. Los conectores horizontales de 1x08 transportan los puertos necesarios para el control de volumen que realizará el Módulo de Reloj. Dichos puertos no se utilizarán en el sistema formado por el Módulo de Radio debido a que el control de volumen se hace

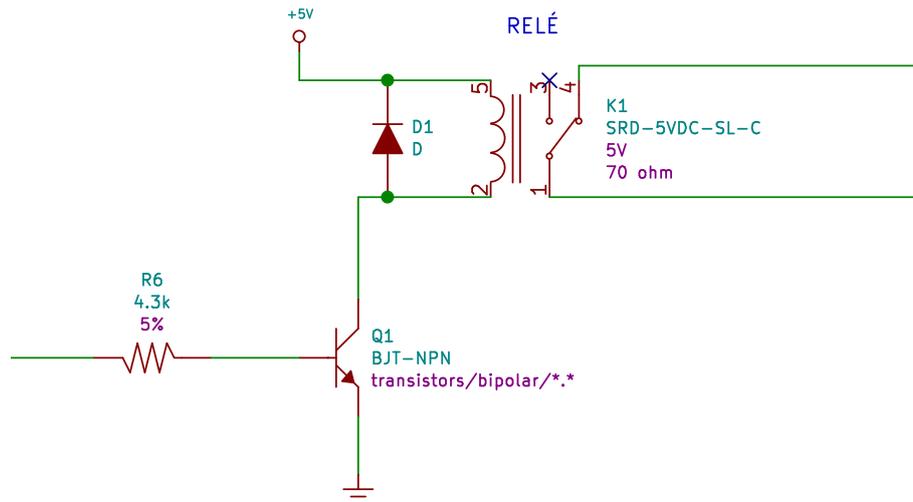


Figura 22: Circuito de control del relé del Módulo de Audio.

directamente en ese módulo. Por el contrario, en esa configuración se empleará el conector de tornillo, mediante el cual se transporta la señal de audio de la radio. Es necesario añadir un condensador de desacoplo y un divisor de tensión para elevar el valor medio de la señal de audio hasta que su valor mínimo sea positivo y su valor máximo no sea superior a 5 V.

Mediante el puerto PD0, se recibe una señal digital que se utilizará para reproducir sonidos momentáneos en determinadas situaciones. Tanto esta señal como la recibida por el conector de tornillo del módulo de Radio se conectan a la entrada del amplificador de audio, pasando previamente por el demultiplexor CD4051BM, a pesar de que la señal de radio no varíe su potencia desde este módulo.

Por último, la alimentación de este módulo la proporciona el conector horizontal de 1×08 en cualquiera de las configuraciones del sistema.

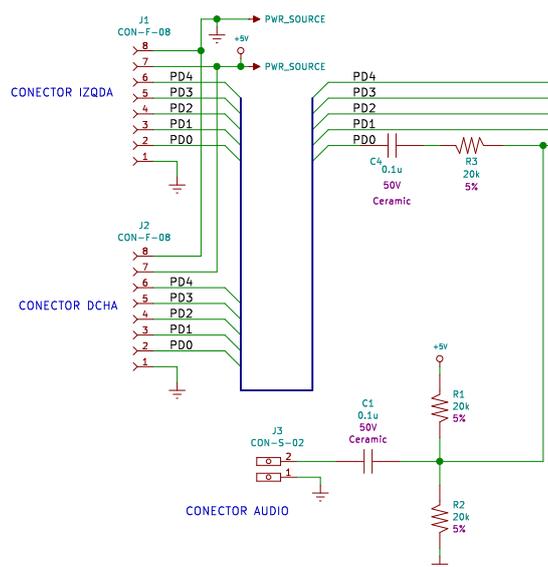


Figura 23: Circuito de interconexión de módulos del Módulo de Audio.

7.2.1.2. Diseño de huellas

De la misma manera que con el Módulo de Alimentación, las huellas de la mayoría de los componentes se encuentran en las librerías de *KiCad*. Para el relé, al tratarse del mismo que el del Módulo de Alimentación, se ha utilizado la misma huella presentada en la Figura 10. La única huella que se ha necesitado diseñar es la del altavoz. Para el diseño de esta huella, al no tener una hoja de datos ni tener un punto específico donde colocar los pads, se ha decidido posicionar los mismos en una posición cómoda para soldar los cables que conecten el circuito impreso con el componente.

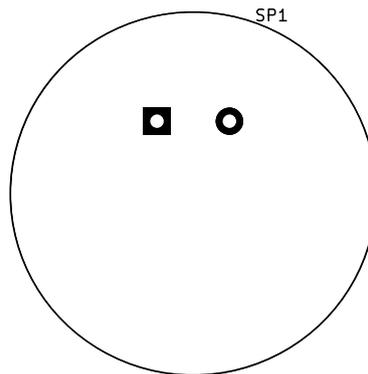


Figura 24: Huella del altavoz del Módulo de Audio.

7.2.1.3. Diseño 3D de componentes

En este caso, se ha utilizado el mismo modelo 3D del relé que el presentado en la Figura 11, pero se ha decidido no diseñar los modelos 3D de los componentes que no se encuentran ya en las librerías de *KiCad*. Esta PCB tiene menos aglomeración de componentes, por lo que se ha considerado que no se precisa de esa visualización extra.

7.2.1.4. Diseño de la PCB

El circuito impreso debe ser del mismo tamaño que el acordado para el resto de módulos, debido a que la estructura de soporte será la misma. De esta manera, se mantienen las dimensiones de 52×52 mm. Por otro lado, los conectores horizontales deben de posicionarse en el mismo lugar que en el módulo con el que lo anexan (Módulo de Alimentación).

El altavoz pertenece a la interfaz de usuario debido a que este debe estar visible para el usuario final. Se ha optado por utilizar la capa *Top* para posicionar únicamente este componente. El resto de componentes se han colocado en la capa *Bottom*, donde no se ha encontrado ningún problema de espacio.

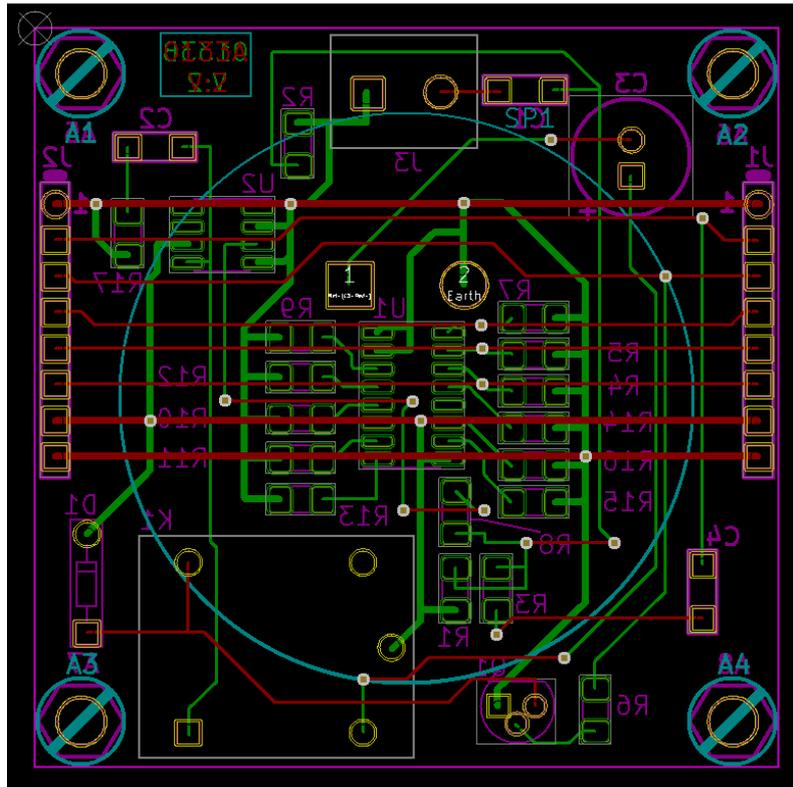


Figura 26: Resultado final del diseño del Módulo de Audio.

7.2.1.6. Creación de los Gerbers

Tras comprobar que no se han realizado errores mediante las dos herramientas presentadas previamente (el DRC y el Visor 3D) se ha procedido a realizar los *Gerbers*.

PCB NAME	A-0133-1
LAYERS	2
COMPONENT SIDE LAYOUT	A-0133-1-F.Cu.gtl
SOLDER SIDE LAYOUT	A-0133-1-B.Cu.gbl
COMPONENT SIDE SOLDERSTOP	A-0133-1-F.Mask.gts
SOLDER SIDE SOLDERSTOP	A-0133-1-B.Mask.gbs
COMPONENT SIDE MARKING-PRINT	A-0133-1-F.SilkS.gto
SOLDER SIDE MARKING-PRINT	A-0133-1-B.SilkS.gbo
DRILL PLACEMENT MAP	A-0133-1-drl_map.gbr
DRILL PLACEMENT PLATED (EXCELLON)	A-0133-1.drl
DRILL PLACEMENT NON-PLATED (EXCELLON)	A-0133-1-NPTH.drl
EXTERNAL CUTTING	A-0133-1-Margin.gbr

Tabla 9: Ficheros Gerber empleados para el Módulo de Audio

De la misma manera que con el Módulo de Alimentación, utilizando una herramienta online para visualizar los Gerbers, se han obtenido los siguientes resultados:

- Drill Map:**
- 0.50mm / 0.020" (21 holes)
 - 0.75mm / 0.030" (3 holes)
 - 0.89mm / 0.035" (10 holes)
 - 1.02mm / 0.040" (16 holes)
 - 1.20mm / 0.047" (5 holes)
 - 1.40mm / 0.055" (4 holes)
 - * 3.17mm / 0.125" (8 holes) (not plated)

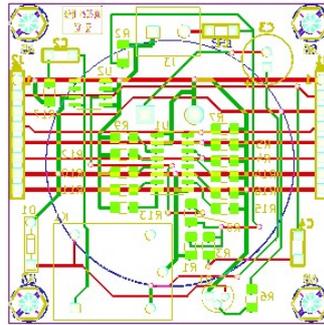


Figura 27: Visualización de los Gerbers del Módulo de Audio

Una vez comprobado que los Gerbers son correctos, se han enviado los archivos a la empresa especializada en fabricación de circuitos impresos.

7.3. Software

Tras realizar el montaje del circuito y asegurarse de que todas las conexiones y soldaduras son correctas, es necesario programar el microcontrolador, que será el encargado de controlar el funcionamiento de todo el sistema. Pese a que el microcontrolador se encuentra en el Módulo de Control, el cual no ha sido revisado en este documento, en este apartado se va a proceder a presentar el código empleado para generar un protocolo de comunicación para la conectividad serie entre módulos de control. Se presentará el diagrama de estados correspondiente a la comunicación serie explicando todos los eventos que se esperan recibir y presentando la acción correspondiente que se ejecutará tras la llegada de cada uno de esos eventos.

Previamente al diagrama de estados, ha sido necesario establecer un protocolo de comunicación. Debido a que se trata de una red con un maestro y varios esclavos, para evitar colisiones en la transmisión de mensajes, se ha decidido diferenciar los mensajes del maestro con el identificador "\$" y los mensajes de los esclavos con el identificador "%". De esta manera, la comunicación será del tipo pregunta-respuesta, donde el maestro enviará un mensaje cada cierto tiempo a cada uno de los esclavos para preguntarles si tienen algo que enviar. En ese momento, los esclavos transmitirán un mensaje de respuesta para comunicar al maestro si tienen algo que enviar o no.

La estructura de los mensajes enviados tanto por el maestro como por los esclavos será igual. Es decir, la única diferencia será la del identificador de maestro(\$) frente al identificador de esclavo(%). A continuación, se muestra la estructura de los mensajes transmitidos por el maestro:

\$XAY@ZZZZ

Como se ha comentado, el símbolo del dolar(\$) representa el identificador de maestro y el símbolo del porcentaje(%) el identificador de esclavo. El resto de elementos que conforman el mensaje coinciden para ambos. La "X" representa un valor numérico del 0 al 9 que indicará quién es el destinatario del mensaje. El identificador de función viene representado por una "A". La "Y" indica el tipo de función que debe ejecutarse, el cual también será un número cuyo valor también podrá oscilar entre el 0 y el 9. El "@" se trata del identificador de valor y, por último, "ZZZZ" indica que se espera recibir cuatro valores numéricos entre el 0 y el 9, los cuales serán considerados como datos y dependerán únicamente del tipo de función recibido previamente. Además, a pesar de haberse reservado cuatro Bytes para dichos datos (ZZZZ), dependiendo de la función se transmitirán más o menos datos. A continuación se muestra la estructura de los mensajes transmitidos por los esclavos:

%XAY@ZZZZ

Se puede concluir, observando la similitud entre la estructura de ambos tipos de mensaje, que el protocolo de comunicación es simple y eficiente. Además, no resulta de gran complicación alterarlo de forma que puedan incluirse más módulos o funcionalidades en el futuro.

La máquina de eventos de las comunicación serie, representada en la Figura 28, muestra la división del mensaje recibido en cuatro estados diferentes. Los identificadores se utilizan para hacer saber al receptor qué tipo de dato se espera recibir después. Por lo tanto, mediante el protocolo diseñado en este proyecto, tras recibir el identificador de maestro/esclavo, se espera recibir el destino, tras recibir el identificador de función, se espera recibir la función, y tras recibir el identificador de datos, se esperan recibir los datos correspondientes a dicha función. Los cuatro estados en los que se basa la comunicación serie son las esperas a la recepción de dichos identificadores.

Como es común en cualquier comunicación serie, los mensajes necesitan tener un identificador de fin de mensaje, en este caso, se trata del valor *Line Feed (LF)*. A continuación, se detalla cada uno de los estados y las acciones que se ejecutan en función del evento recibido.

Espera Inicio (\$/%)

En este estado se espera el identificador de inicio de mensaje (\$) en caso de que el transmisor sea el maestro y % en el caso de que el emisor sea un esclavo). Además, en el caso del maestro, cada cierto tiempo, únicamente cuando se encuentra en este estado, se envía un mensaje de reconocimiento al resto de módulos del sistema individualmente. La acción que se encarga de esto es la denominada "AC_PULL", que se ejecuta cada vez que se activa el evento "even_pull". Solo se cambiará de estado cuando se haya recibido cualquiera de los identificadores de inicio (even_ini). El resto de eventos no tienen efecto en cuanto a la variación de estado.

Espera Id Función (A)

Tras haber salido del estado de "Espera Inicio", se espera al identificador de función (even_a) mientras se recibe el valor del destino. Por lo tanto, si se recibe un valor numérico

(even_num) se ejecuta una acción que almacena dicho valor en una variable para su futuro procesamiento(AC_SAFEDEST).

Si se recibe el identificador de función (even_a), se comprueba el valor almacenado del destinatario. Si no se trata del destinatario, se inicializan todas las variables de nuevo y se vuelve al estado inicial, asumiendo que no debe realizar ninguna función. Si se trata del destinatario, continuará procesando el mensaje y se pasará al estado de espera identificador de valor. La acción encargada de realizar esto se denomina AC_PRFUN.

En el caso de que se reciba de nuevo un identificador de inicio de mensaje, se inicializan todas las variables de nuevo permaneciendo en el mismo estado (AC_PRDEST). Es decir, en caso de haber recibido ya un valor de destino, se descarta.

Si se reciben los identificadores de datos (even_val) o de fin de mensaje (even_lf), se retorna al estado inicial inicializando todas las variables al valor inicial (AC_NEW).

El evento "even_pull" no tiene efecto en ningún otro estado que no sea el de inicio, por lo que no ejecutará ninguna acción.

Espera Id Valor (@)

La mecánica de este estado es igual que la del estado anterior. La diferencia es que en vez de esperar al identificador de función (A), se espera el identificador de valor (@). Por lo tanto, debido a que el identificador de función ya ha sido procesado para llegar a este estado, el valor numérico que se reciba mientras se encuentra en este estado se guardará en una variable (AC_SAFEFUN). Tras recibir el identificador de valor (@), se pasa al estado de espera fin de mensaje (AC_PRDAT).

En caso de recibir algún otro evento que no se corresponda con el identificador de valor (even_val), un valor numérico (even_num) o el identificador de inicio, se inicializan todas las variables de nuevo y se vuelve al estado de inicio (AC_NEW). Si se recibe el identificador de inicio, se descarta todo lo recibido hasta ese momento, se inicializan las variables de nuevo y se pasará al estado de espera identificador de función mediante la acción AC_PRDEST.

El evento "even_pull" no tiene efecto en ningún otro estado que no sea el de inicio, por lo que no ejecutará ninguna acción.

Espera Fin Mensaje (LF)

Se trata del último estado correspondiente a la comunicación serie. Mientras se encuentra en este estado, se van recibiendo y almacenando valores numéricos correspondientes a los datos referentes a la función recibida previamente (AC_SAFEDAT) hasta recibir el identificador de fin de mensaje (even_lf), en cuyo caso se procesa todo el mensaje recibido y se ejecuta la función correspondiente mediante la acción AC_ENDOK. En dicho caso, el mensaje habrá sido recibido correctamente y la transmisión habrá sido exitosa.

Si se recibe un evento correspondiente a los identificadores de valor(even_val) o de función(even_a), se retorna al estado inicial (AC_NEW).

En caso de recibir el identificador de inicio (even_ini), al igual que en los estados anteriores, se retorna al estado de espera identificador de función (AC_PRDEST).

El evento "even_pull" no tiene efecto en ningún otro estado que no sea el de inicio, por lo que no ejecutará ninguna acción.

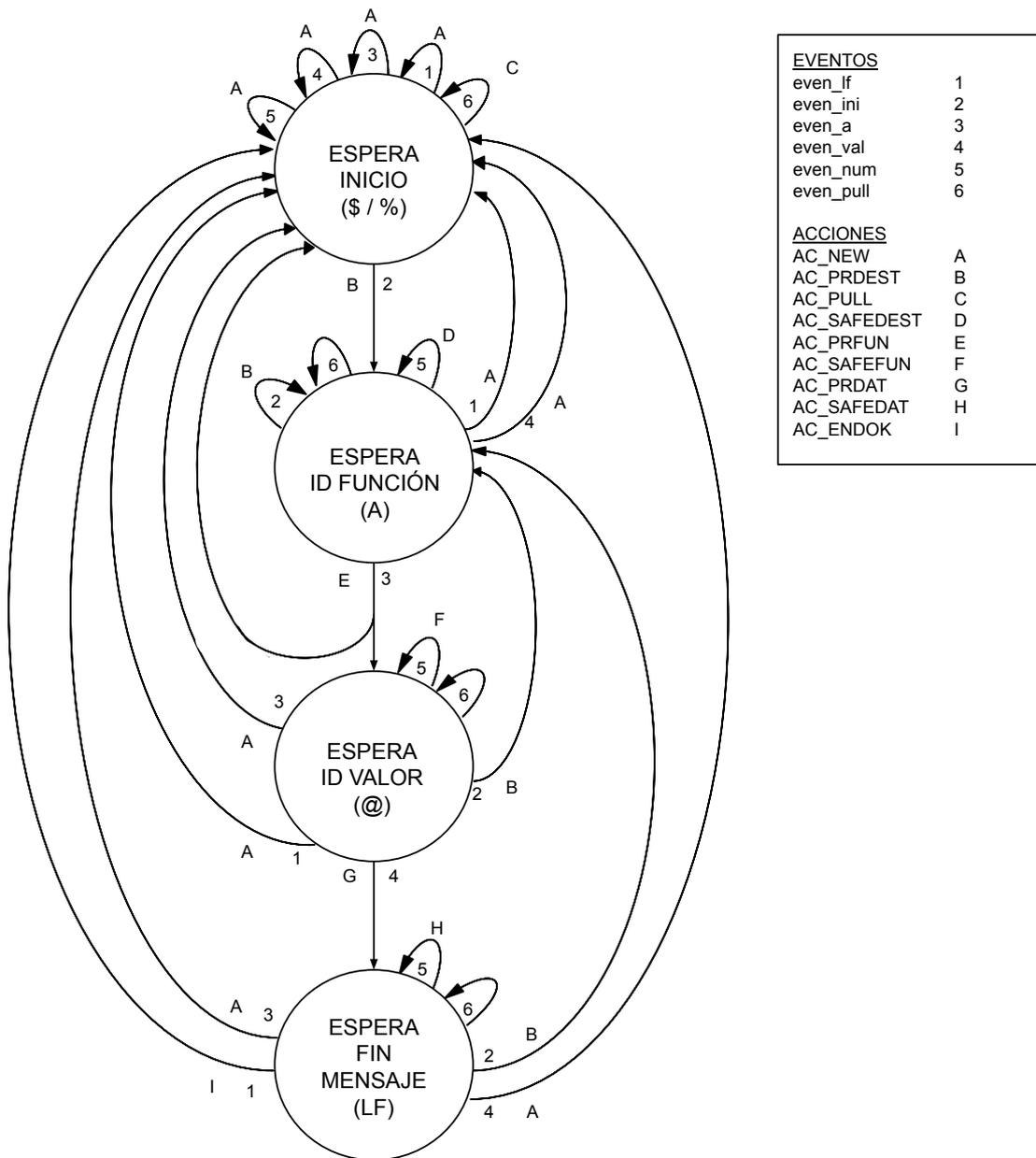


Figura 28: Diagrama de estados de la comunicación serie entre módulos

8. Descripción de los resultados

En este apartado se muestra el resultado del montaje de los módulos presentados en el documento. Además, se incluyen también dos imágenes con el resultado de los módulos acoplados junto al módulo de control.

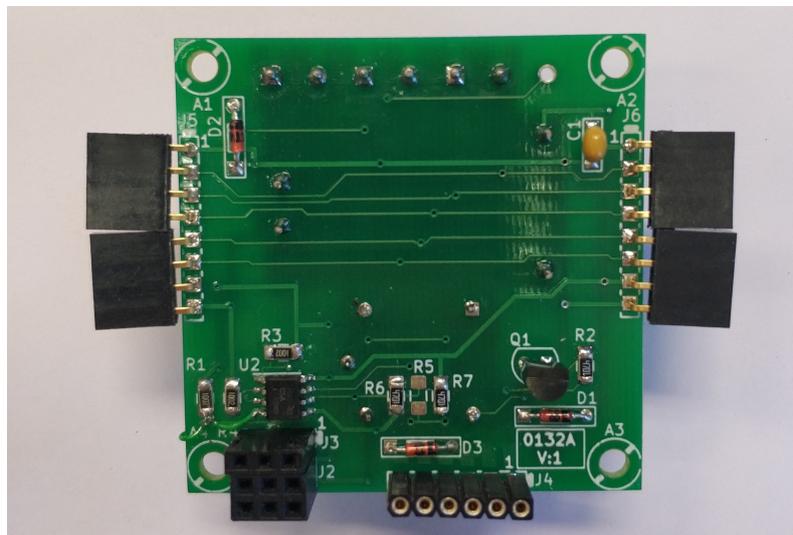


Figura 29: Montaje de la cara TOP del Módulo de Alimentación.

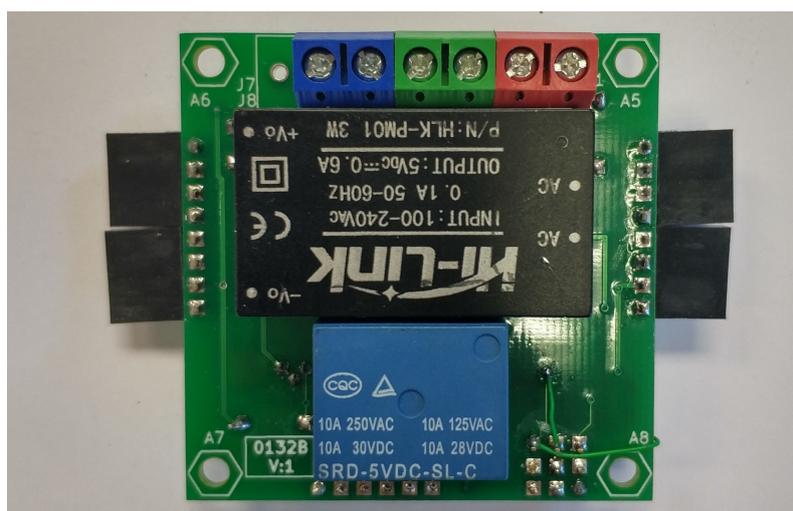


Figura 30: Montaje de la cara BOTTOM del Módulo de Alimentación.

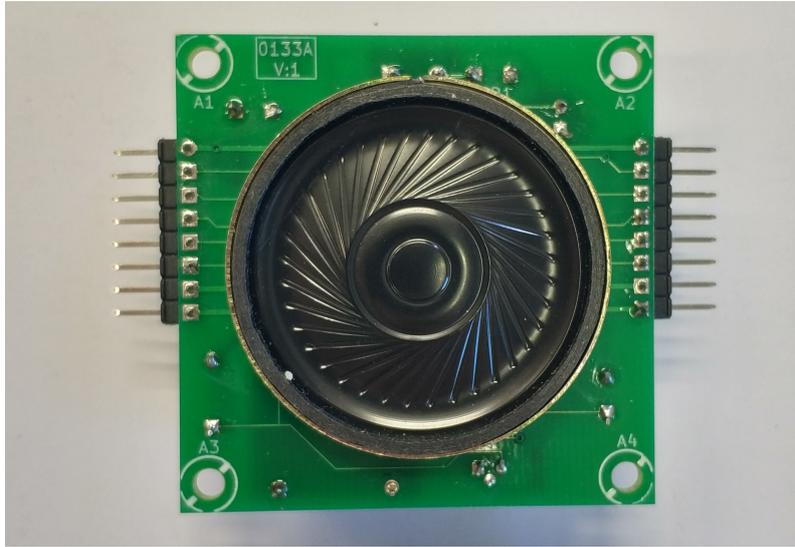


Figura 31: Montaje de la cara TOP del Módulo de Audio.

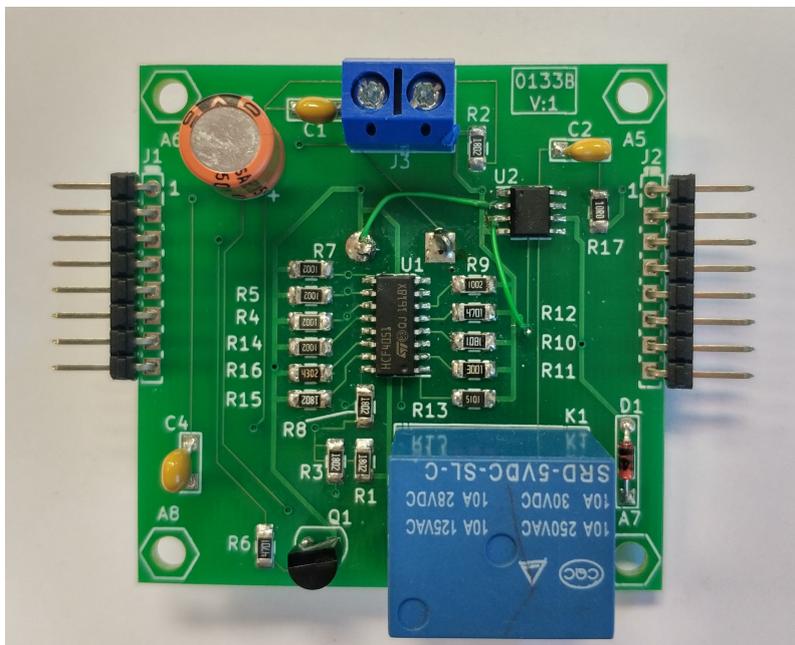


Figura 32: Montaje de la cara BOTTOM del Módulo de Audio.

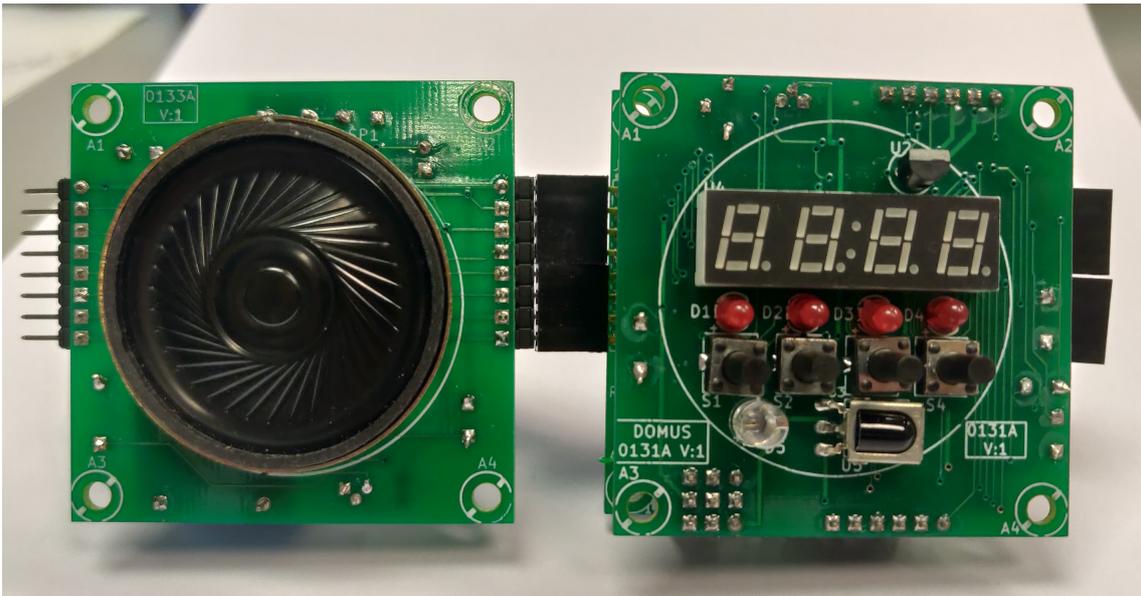


Figura 33: Vista frontal del montaje del sistema junto al Módulo de Control

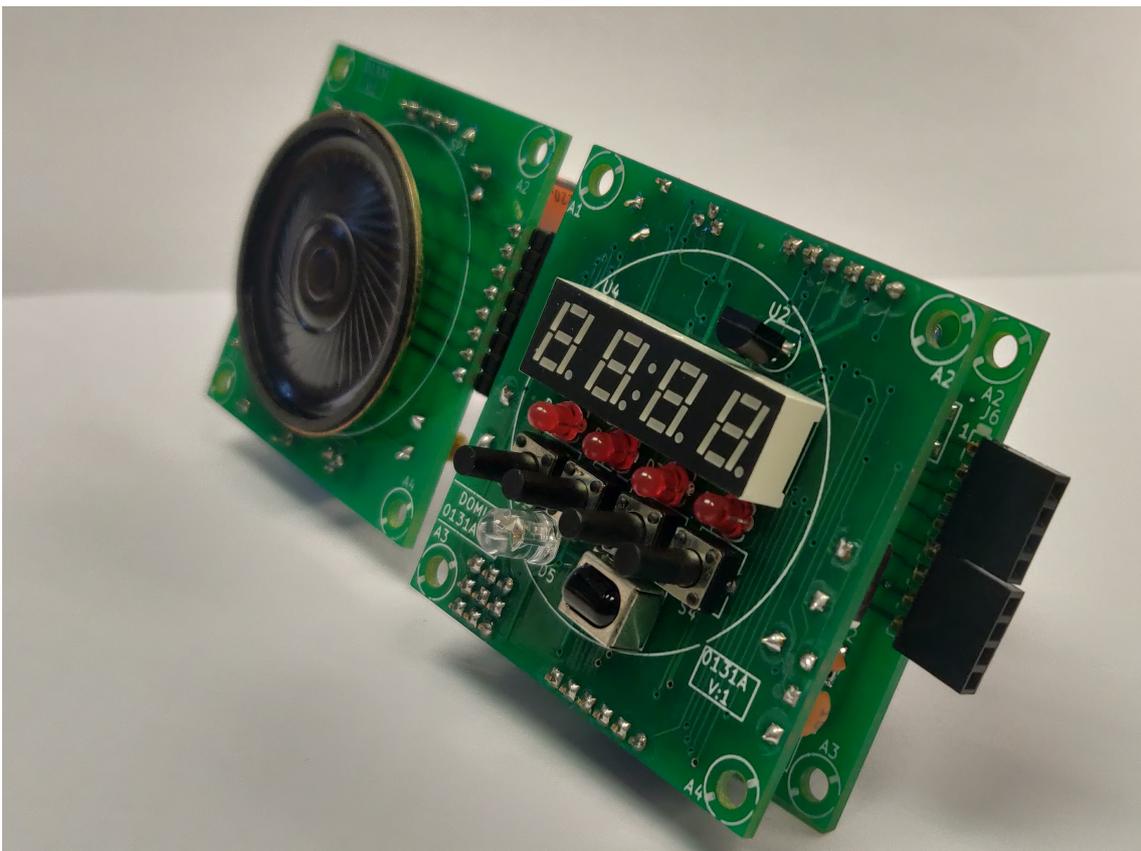


Figura 34: Vista lateral del montaje del sistema junto al Módulo de Control

9. Planificación y descripción de tareas

La planificación de un proyecto es uno de los recursos más importantes para valorar la viabilidad del mismo. Se ha de hacer previamente al comienzo del proyecto para organizar el trabajo y crear una estructura de tareas que marcan el progreso de este. Realizar una correcta planificación ayuda a completar los objetivos iniciales a tiempo y no debe contemplar el fracaso.

Para planificar el Proyecto Domus, se ha optado por la realización de un Diagrama de Gantt. Las tareas se escogen de forma genérica y sin entrar demasiado en aspectos técnicos. Sin embargo, es útil contemplar en la planificación la posibilidad de cometer errores a lo largo del proyecto, debido a las dificultades que pueden ir surgiendo durante la realización del mismo. Para realizar la planificación, se ha de estimar un tiempo correspondiente a cada tarea. Ese periodo de tiempo asignado a cada tarea puede ser sobrepasado, pero se tratará de cumplir en la medida de lo posible. A continuación, se pasa a detallar las tareas más importantes que conforman el proyecto en función de tres grupos temporales principales:

Tareas previas a la realización del proyecto

Antes de iniciar el proyecto, se debe realizar un análisis previo de la propuesta. Se trata de un primer filtro para valorar si se corresponde con una idea ejecutable o no. En caso de que si lo sea, la siguiente tarea es realizar una primera estructuración del trabajo a realizar.

Tareas durante la realización del proyecto

Una vez comenzado el proyecto, la primera tarea se corresponde con analizar la normativa y los requerimientos que se deben cumplir para poder ejecutar el mismo. Debido a que se trata de un producto electrónico, se han de implantar las características que se van a cumplir y por lo tanto, seleccionar los componentes a utilizar. Una vez preparado el entorno de trabajo, se comienza el diseño del circuito esquemático. Después, se realiza el diseño de la PCB, cuyo último paso es generar los gerbers. Tras la fabricación de los circuitos integrados, se montan los componentes y se dedica un tiempo a la corrección de posibles errores cometidos durante el diseño y montaje del dispositivo.

La siguiente tarea se corresponde con una fase de pruebas sobre el dispositivo en la cual se desarrolla el SW mientras se prueba su correcto funcionamiento.

Tareas tras la finalización del proyecto

En este caso, se considera la tarea de documentar el proceso completo, detallando las conclusiones obtenidas al finalizar y el proceso que se ha seguido durante la ejecución del proyecto. Es necesario presentar las decisiones que se han tomado sobre posibles

dificultades a lo largo de la realización de las tareas de forma que se puedan evitar errores cometidos en proyectos futuros.

9.1. Diagrama de Gantt

Id	Texto1	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Proyecto Domus	Proyecto Domus	117 días	lun 04/02/19	mar 16/07/19	
2	A	Análisis de la propuesta	4 días	lun 04/02/19	jue 07/02/19	
3	B	Estructuración del trabajo	2 días	vie 08/02/19	lun 11/02/19	2
4	C	Análisis de requerimientos y componentes necesarios	5 días	mar 12/02/19	lun 18/02/19	3
5	C.1	Cálculos de dimensiones	2 días	mar 12/02/19	mié 13/02/19	3
6	C.2	Definición de componentes necesarios	3 días	jue 14/02/19	lun 18/02/19	5
7	D	Diseño del esquemático	15 días	mar 19/02/19	lun 11/03/19	4
8	D.1	Creación de símbolos	5 días	mar 19/02/19	lun 25/02/19	6
9	D.2	Diseño del circuito	5 días	mar 26/02/19	lun 04/03/19	8
10	D.3	Interconexión de componentes	2 días	vie 08/03/19	lun 11/03/19	9
11	E	Diseño del PCB	20 días	mar 12/03/19	lun 08/04/19	7
12	E.1	Creación de huellas	5 días	mar 12/03/19	lun 18/03/19	10
13	E.2	Posicionamiento de componentes	6 días	mar 19/03/19	mar 26/03/19	12
14	E.3	Rutado del circuito	4 días	mié 27/03/19	lun 01/04/19	13
15	E.4	Creación y revisión de Gerbers	5 días	mar 02/04/19	lun 08/04/19	14
16	F	Montaje de los componentes	10 días	mar 09/04/19	lun 22/04/19	15
17	G	Corrección de errores	10 días	mar 23/04/19	lun 06/05/19	16
18	H	Pruebas	47 días	mar 07/05/19	mié 10/07/19	17
19	H.1	Pruebas de conectividad	7 días	mar 07/05/19	mié 15/05/19	17
20	H.2	Desarrollo de SW	33 días	jue 16/05/19	lun 01/07/19	19
21	H.3	Pruebas de SW	7 días	mar 02/07/19	mié 10/07/19	20
22	I	Documentación	8 días	vie 05/07/19	mar 16/07/19	

Figura 35: Lista de tareas asociadas al proyecto

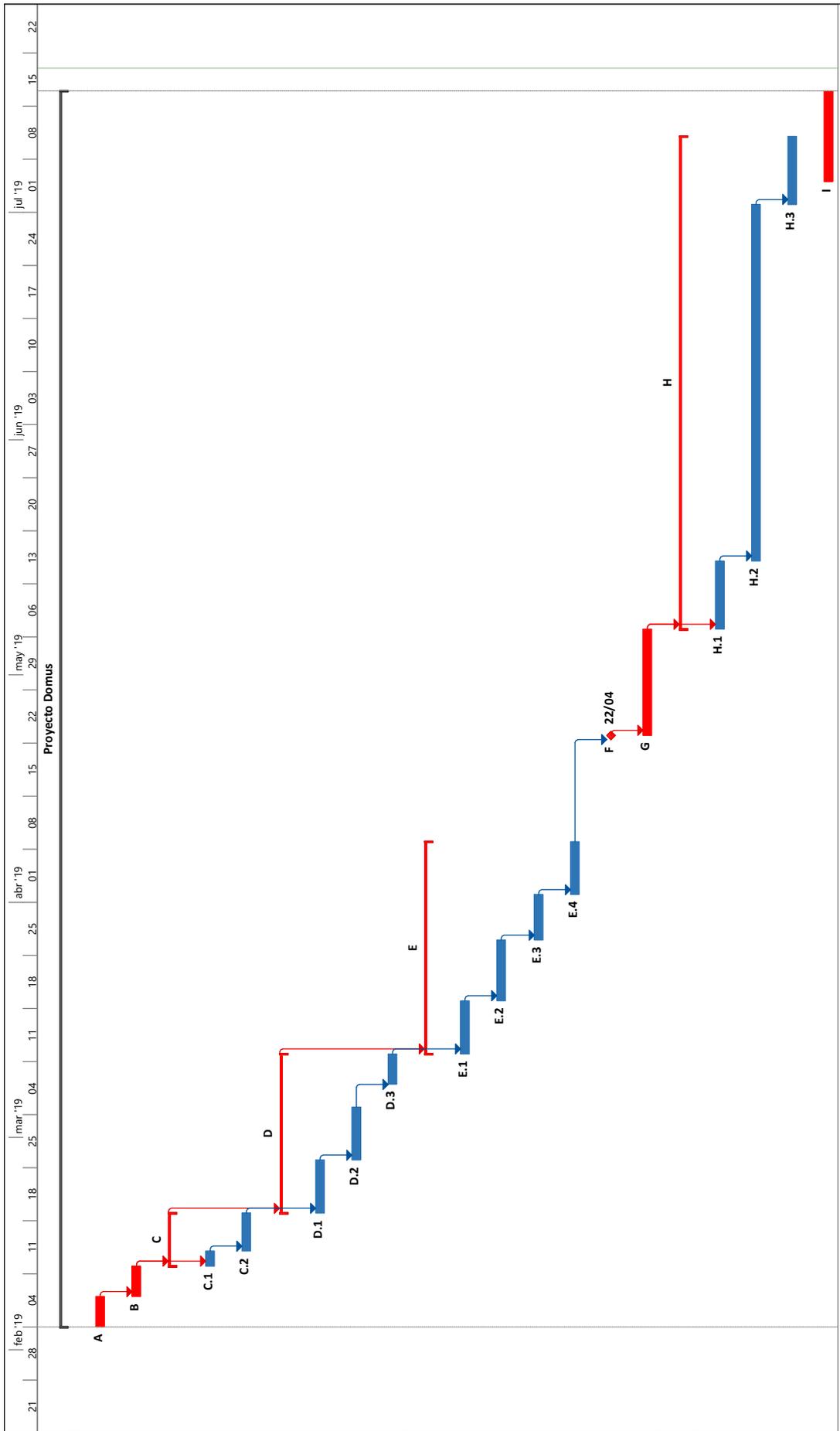


Figura 36: Diagrama de Gantt del proyecto.

10. Descripción del presupuesto

Al igual que se ha comentado a lo largo del documento, el Proyecto Domus se trata de un proyecto en el que se presenta un producto simple, funcional y económico. En el análisis de alternativas se ha justificado la necesidad de este proyecto frente a dichas alternativas debido al precio reducido de este producto. Debido a que los módulos presentados en este documento forman parte de un proyecto mayor formado con otros módulos como el módulo de control o el módulo de radio, en este apartado se presenta el coste de diseño y producción de los módulos que conforman el módulo global, desglosando el coste de cada uno de los componentes empleados para el montaje de los módulos de alimentación y de audio, en correspondencia con los anteriores apartados del documento.

Al igual que en cualquier proyecto de ingeniería, se divide el presupuesto en cuatro partidas diferentes:

10.1. Horas Internas

En la partida de horas internas se incluyen los costes relacionados con el personal encargado de llevar a cabo el proyecto. En este caso se ha considerado un ingeniero técnico para realizar todas las tareas de diseño de HW y SW y un técnico para realizar el montaje y la instalación del sistema.

Trabajador	Nº	Coste horario	Horas	Coste
Ingeniero técnico	1	40 €/h	250	10.000,00 €
Técnico	1	17 €/h	50	850,00 €
Subtotal				10.850,00 €

Tabla 10: Partida de horas internas.

10.2. Amortizaciones

Para realizar esta partida se han tenido en cuenta los costes asociados a equipo del que ya se disponía previamente a la realización del proyecto. Se han utilizado dos ordenadores en los que se ha realizado el diseño HW y SW y una estación de soldadura y un microscopio para el montaje de los componentes.

Activo	Coste de Adquisición	Vida útil (meses)	Tiempo de uso	Amortización
			en el proyecto (meses)	
Macbook Pro mid 2015 (i7 16 GB 256 GB)	1.900,00 €	50	5	190,00 €
PC 2019 (i7 16 GB 3 TB)	1.600,00 €	50	5	160,00 €
Estación de soldadura	2.500,00 €	75	1	33,33 €
Microscopio	6.000,00 €	75	0.75	60,00 €
Subtotal				443,33 €

Tabla 11: Partida de amortizaciones.

10.3. Subcontrataciones

En la partida de subcontrataciones se incluyen las organizaciones ajenas al proyecto a las que se les ha encargado una tarea que afecta la realización del proyecto. En este caso, los circuitos impresos han sido fabricados por una empresa de terceros.

Concepto	Cantidad	Coste unitario	Coste
Módulo de Alimentación	8	6,59 €	52,72 €
Módulo de Audio	4	8,88 €	35,52 €
Subtotal			88,24 €

Tabla 12: Partida de subcontrataciones.

10.4. Gastos

En la sección de gastos se incluye el coste asociado a los componentes que se han montado en los circuitos impresos. A continuación se desglosan los componentes del Módulo de Alimentación y del Módulo de Audio, ya que son los módulos presentados en este documento.

Módulo de Alimentación					
Identificador	Descripción	Código	Cantidad	Coste unitario	Coste
R4,R1,R3	10 k Ω	B-6-10-1206	3	0.023 €	0.069 €
U1	HLK-PM01	HR-230-5-X	1	1.02 €	1.02 €
D3,D2,D1	1N4148	F-X-X-1	3	0.091 €	0.273 €
A8,A7,A6,A5	Tuerca	L-X-X-F	4	0.500 €	2.000 €
A4,A3,A2,A1	Tornillo	L-X-X-M	4	0.500 €	2.000 €
J7	CON-S-03	I-1-3-S	1	0.590 €	0.590 €
J8,J1	CON-S-02	I-1-2-S	2	0.590 €	1.180 €
J4	CON-F-06	I-1-6-FV	1	0.700 €	0.700 €
U2	MAX485CSA	HC-X-X-SOIC8	1	1.690 €	1.690 €
R7,R6, R2	4.7 k Ω	B-6-4.7-1206	3	0.022 €	0.066 €
Q1	BJT-NPN	MN-X-X-TO92L	1	1.210 €	1.210 €
K1	SRD-5VDC-SL-C	K-X-X-SRD	1	0.288 €	0.288 €
J6,J5	CON-F-08	I-1-8-FH	2	0.700 €	1.400 €
J3	CON-F-03	I-1-3-FV	1	0.650 €	0.650 €
J2	CON-F-2x03	I-2-3-FV	1	0.505 €	0.505 €
C1	0.1 μ F	E-3-100-1032	1	0.386 €	0.386 €
				Subtotal	14.027 €

Tabla 13: Bill Of Materials del Módulo de Alimentación.

Módulo de Audio					
Identificador	Descripción	Código	Cantidad	Coste Unitario	Coste
SP1	Altavoz 4 Ω	T-0-4-X	1	3.530 €	3.530 €
D1	1N4148	F-X-X-1	1	0.091 €	0.091 €
A8,A7,A6,A5	Tuercas	L-X-X-F	4	0.500 €	2.000 €
A4,A3,A2,A1	Tornillos	L-X-X-M	4	0.500 €	2.000 €
C3	Electrolítico 230 μ F	E-2-230-1032	1	0,815 €	0,815 €
R3,R8,R2,R1	18 k Ω	B-6-18-1206	4	0.022 €	0.088 €
U2	LM386M	HA-X-X-SOIC8	1	1.040 €	1.040 €
U1	CD4051BM	HD-X-X-SOIC16	1	0.488 €	0.488 €
R17	10 Ω	B-0-10-1206	1	0.023 €	0.023 €
R16	43 k Ω	B-6-43-1206	1	0.020 €	0.020 €
R15	18 k Ω	B-6-18-1206	1	0.019 €	0.019 €
R14,R9,R7,R5,R4	10 k Ω	B-6-10-1206	5	0.023 €	0.115 €
R13	5.1 k Ω	B-6-5.1-1206	1	0.020 €	0.020 €
R12, R6	4.7 k Ω	B-6-4.7-1206	2	0.022 €	0.044 €
R11	3 k Ω	B-6-3-1206	1	0.011 €	0.011 €
R10	1.8 k Ω	B-6-1.8-1206	1	0.018 €	0.018 €
Q1	2n2222	MN-X-X-TO92L	1	1,21 €	1.21 €
K1	Relé	K-X-X-SRD	1	0.288 €	0.288 €
J3	CON-S-02	I-1-2-S	1	0.590 €	0.590 €
J2,J1	CON-F-08	I-1-8-FH	2	0.700 €	1.400 €
C4,C1	0.1 μ F	E-3-100-1032	2	0.386 €	0.772 €
C2	0.05 μ F	E-3-50-1032	1	0.350 €	0.350 €
				Subtotal	14.932 €

Tabla 14: Bill Of Materials del Módulo de Audio.

10.5. Coste Total

Una vez obtenido el coste de cada partida, se suman y se les añade un 5 % extra del precio total por los imprevistos que puedan surgir a lo largo del desarrollo del proyecto. A continuación se muestra el resultado del coste total del proyecto:

Concepto	Coste Total
Horas Internas	10.850,00 €
Amortizaciones	443,33 €
Subcontrataciones	88,24 €
Gastos	28,96 €
Subtotal	11.410,53 €
Imprevistos (5 %)	570,53 €
TOTAL	11.981,05 €

Tabla 15: Costes totales

Como se puede observar, el coste total del desarrollo del Módulo de Audio y del Módulo de Alimentación es de 11.981,05 €. Sin embargo, este coste solo es válido para el primer sistema producido. Una vez completada la producción del primer sistema, los siguientes no contarán con los costes asociados al diseño del HW y SW. Por lo tanto, el resto de sistemas supondrían los siguientes costes:

Concepto	Coste Total
Horas Internas	850,00 €
Amortizaciones	93,33 €
Subcontrataciones	88,24 €
Gastos	28,96 €
Subtotal	1.060,53 €
Imprevistos (5 %)	53,02 €
TOTAL	1.113,55 €

Tabla 16: Costes totales de la producción de un segundo sistema

Además, la producción en masa de sistemas también abarataría el coste en la adquisición de componentes, fabricación de estos por una empresa de terceros, incluso

el montaje de los componentes, el cual podría abaratare subcontratando una empresa externa especializada en la soldadura de componentes en circuitos impresos.

11. Conclusiones

Llevar a cabo un proyecto de estas características requiere de un alto nivel de compromiso por parte de sus participantes. Es necesario sentir vocación por la tecnología y, sin ninguna duda, ha supuesto un reto importante lograr que resulte exitoso. En este apartado, se van a reunir las conclusiones obtenidas tras finalizar el proyecto, incluyendo una valoración sobre las dificultades encontradas a lo largo del proceso y proporcionando ideas acerca de posibles mejoras para el proyecto en el futuro.

El resultado del proyecto refleja la implementación de un diseño de un protocolo de comunicaciones útil y transferible a una gran cantidad de dispositivos en un sistema modular de fácil instalación. Debido a la simpleza y modularidad de este protocolo, no resulta complicado incluir dicho sistema de comunicación en cualquier otro elemento tecnológico del hogar, por lo que en un futuro puede ampliar la funcionalidad del sistema en gran cantidad. Además, **se ha logrado implementar un sistema con un módulo que permite dotar de audio a cualquier recinto del hogar en el que se instale.** El interés de los consumidores por esta característica puede ser decisiva a la hora de escoger este producto.

En primer lugar, para realizar la selección del proyecto correctamente, se requiere tener un amplio conocimiento acerca del estado de los diferentes sectores de la tecnología, estudiando los proyectos de la competencia y valorando si se disponen de los medios necesarios para mejorar esas alternativas. El estudio previo en este proyecto ha mostrado una carencia en la oferta de productos en el mercado pensados para la comunicación entre equipos del hogar que proporcionen una variedad de funcionalidades como las que se han presentado en el presente documento. Por lo tanto, tras la realización del proyecto, se mantiene la valoración inicial acerca de la viabilidad de este. La experiencia obtenida en este ámbito facilita a los implicados la toma de decisiones en el futuro acerca de la viabilidad de un proyecto similar.

En cuanto al proceso de diseño y montaje hardware, a pesar de no ser la primera vez que se diseñaban circuitos electrónicos, no se había trabajado con varios de los componentes empleados en el proyecto, por lo que el estudio del funcionamiento de elementos como la comunicación serie o la amplificación de audio puede ser de gran utilidad en nuevos proyectos. Con relación a lo ya comentado en el apartado de descripción de la solución, los componentes escogidos para el diseño de este proyecto son comunes y su uso es habitual en organizaciones de todo el mundo. Esta característica facilita las posibles implementaciones futuras de módulos externos que proporcionen funcionalidades extra al Proyecto Domus. En lo respectivo al montaje de los componentes, el uso de elementos como el microscopio ha facilitado el proceso notablemente. Gracias a esta herramienta, se ha podido mejorar la calidad del sistema, lo cual tiene gran importancia para muchos consumidores.

El software en este proyecto, al igual que el hardware, se ha realizado de forma mo-

dular. Por lo tanto, debido a que en este documento se ha presentado el módulo de comunicaciones, se ha presentado el diseño de la máquina de estados correspondiente a la comunicación serie de la red de sistemas. **Se ha diseñado un sistema de comunicaciones simple y funcional, cumpliendo con las condiciones iniciales del proyecto.** Además, el protocolo de comunicación diseñado es aplicable a cualquier sistema basado en maestro-esclavo, por lo que sus aplicaciones en proyectos futuros pueden ser de gran utilidad. Sin embargo, se trata de un sistema pensado para un número de módulos de control y una cantidad de funciones limitadas, por lo que si se desea ampliar cualquiera de esas dos características, será necesario modificar el código del protocolo de comunicaciones. Dicha tarea no resultará complicada debido a que se ha diseñado de forma modular, es decir, solo será necesario cambiar una pequeña parte del código.

Por otro lado, se ha comprobado la cercana relación entre el trabajo de ingeniería y la contabilidad económica de una empresa. Debido a que el proyecto se ha realizado en las mismas condiciones que si se tratara de una propuesta lucrativa, se ha observado de primera mano el impacto económico de los posibles errores técnicos de los integrantes y la importancia de reducir estos lo máximo posible. La simplicidad del proyecto ha resultado en la posibilidad de mantener un **coste de producción reducido**. De esta manera, el impacto económico de los errores cometidos durante el diseño y montaje de los módulos presentados no ha sido de gran importancia. A pesar de tratar de evitar los máximos errores posibles, ha sido inevitable cometer algún fallo durante el proceso de montaje de los módulos. Sin embargo, se han resuelto empleando un periodo de tiempo conciso.

11.1. Líneas futuras

El proyecto se ha realizado de forma que las mejoras en el futuro puedan ser implementadas de forma sencilla y sin alterar el diseño actual del sistema. Gracias a la modularidad del sistema, cualquier mejora sobre el HW y SW puede ser agregada sin mayor complicación. A continuación, se presentan posibles funcionalidades extra que se podrían añadir al proyecto en un futuro en caso de que este resulte exitoso:

- Recientemente, la inteligencia artificial está comenzando a influenciar en gran nivel a los productos en el sector de la domótica. Tras el éxito de los altavoces inteligentes, se espera que muchas empresas internacionales inviertan en el desarrollo de esta tecnología con intención de mejorar sus capacidades. Por lo tanto, incluir este tipo de tecnología en el Proyecto Domus le proporcionaría un incremento significativo en sus funcionalidades. Debido a la modularidad del sistema, esto podría ser posible incluyendo un módulo con tecnología wifi en el sistema que se comunicara con el altavoz inteligente, el cual se posicionaría en cualquier lugar del hogar. Dicha comunicación se realizaría mediante el mismo protocolo de comunicación empleado en este proyecto que se especifica en el apartado de descripción de la solución.
- Otra de las posibles mejoras del sistema sería la de comunicarse con un cualquier tipo de equipos domésticos vía infrarrojos. El Módulo de Reloj ya dispone de un receptor y un transmisor infrarrojos, por lo que tan solo sería necesario preparar el software para añadir dicha funcionalidad. De esa manera, si uno de los sistemas se encuentra instalado en una estancia donde hay uno de esos equipos (cualquier equipo gobernado por control remoto), la señal de los infrarrojos podría encontrarse en un rango adecuado para mantener una comunicación segura, con pérdidas

mínimas. De nuevo, el protocolo de comunicación creado permitiría esta funcionalidad añadida.

- Una de las alternativas a este proyecto presentadas en este documento disponía de una aplicación móvil para poder controlar el sistema directamente desde el teléfono. El móvil es posiblemente uno de los dispositivos que más usan las personas en su día a día [16], por lo que proporcionar al sistema una forma de comunicación con este puede considerarse razón suficiente por la que optar por este producto. Por lo tanto, para implementar esto sería necesario añadir un módulo wifi o bluetooth al sistema y programar una aplicación móvil con la que poder comunicarse con el sistema. El lenguaje de comunicación que se utilizaría podría seguir siendo el que se detalla en este documento. Debido a que el producto se ha diseñado de forma que sea económico, el módulo bluetooth puede ser una mejor opción debido a su asequibilidad frente al módulo wifi. Además, bluetooth es una tecnología muy utilizada en todo tipo de dispositivos.
- Por último, el sistema está diseñado posibilitando la conexión con cualquier dispositivo que admita la comunicación serie como la Raspberry pi. Esto multiplica las funcionalidades del sistema debido a la cantidad de medios de conectividad de los que la Raspberry pi dispone y los diferentes sistemas operativos que soporta. Para implementar este elemento en la red, se configuraría como el maestro y controlaría la comunicación entre todos los módulos (como esclavos). Además, también puede generar señales de audio o recibirlas de dispositivos externos y enviarle estas a los diferentes módulos instalados por la vivienda.

Referencias

- [1] Alex Eduardo Pérez Cevallos. *Ciencia y tecnología al alcance de todos*. México D.F, 2007. <https://bit.ly/2yrdJai>
- [2] Juan Jesús Rueda-López. *La tecnología en la sociedad del siglo XXI: albores de una nueva revolución industrial*. The Pennsylvania State University, 2007. <https://bit.ly/2JJTn35>
- [3] E. García. *Automatización de procesos industriales*. Universitat Politècnica de València, 1999. <https://bit.ly/2XTRiKt>
- [4] Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid y Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. *La domótica como solución de futuro*. Madrid, 2007. <https://bit.ly/2SAqrNO>
- [5] CEDOM, Asociación española de domótica. *1PROYECTO PROHOME: Informe A1. Prospección de mercado*. Madrid, 2003. <https://bit.ly/2SxHCPR>
- [6] Diego Soriano de Álvaro. *Expertos concluyen que la domótica no es cara y debe abandonar la etiqueta de élitista*. Madrid, Europa press, 2014. <https://bit.ly/2JTPbN4>
- [7] Juan F. Samaniego. *¿OK, Google? La carrera de los asistentes de voz se pondrá interesante en 2019*. Nobbot, Tecnología para las personas, 2019. <https://bit.ly/2Z3swUQ>
- [8] *Sonoff*. China, 2016. <https://bit.ly/2JT0kxG>
- [9] Eusebio Naranjo. *Historia de la domótica*. ARQHYS Arquitectura, 2013. <https://bit.ly/205he15>
- [10] Aitor Carbajo. *La tecnología del siglo XXI que nos parecía imposible en el XX*. Nobbot, Tecnología para las personas, 2016. <https://bit.ly/2y1XJMe>
- [11] Tomás Álvarez García. *La Calidad de servicio para la conquista del cliente*. Salamanca, 1995.
- [12] Maxim Integrated. *MAX485 Datasheet. Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers*. Maxim Integrated Products, 2014. <https://bit.ly/2Gonhrz>
- [13] *Schindler & Schill GmbH*, 2018. <https://bit.ly/2Eyq2qv>
- [14] Texas Instruments. *LM386 Low Voltage Audio Power Amplifier*. Dallas, 2004. <https://bit.ly/2xiU3GS>

- [15] Texas Instruments. *CD405xB CMOS Single 8-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer With Logic-Level Conversion*. Dallas, 1998. <https://bit.ly/2JISPub>
- [16] Paco Rodríguez. *¿Cuánto tiempo usas el móvil a lo largo del día? Un estudio afirma que el doble de lo que crees*. Madrid, 2015. <https://bit.ly/2QND2uL>

12. Anexo I: Normativa aplicable

Un proyecto de estas características requiere de la aplicación de un gran número de normativas debido a que puede ser empleado en distintos ámbitos. Además, en el caso de producirse ampliaciones del proyecto, estas pueden requerir del cumplimiento de normas adicionales. Comentado esto, las principales normas a tener presentes durante el desarrollo del proyecto son las siguientes:

Relativas a la naturaleza electrónica del proyecto:

Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de Junio de 2011, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos. Fuente: <https://bit.ly/2YhY4cr>

Real Decreto 123/2017, de 24 de Febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre el uso del dominio público radioeléctrico. Fuente: <https://bit.ly/2Z3tHU7>

Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. Fuente: <https://bit.ly/2Z5Yi3m>

Relativas al uso en el ámbito docente del proyecto

Real Decreto 1393/2007, de 29 de Octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. Fuente: <https://bit.ly/2rUHVWD>

Orden CIN/352/2009, de 9 de Febrero, por la que se establecen los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico de Telecomunicación. Fuente: <https://bit.ly/2y1TYGC>

Relativas al sector en el que se integra el proyecto

Normas UNE-EN 50090 para Sistemas Electrónicos de Viviendas y Edificios (HBES). Estas normalizan las aplicaciones de control del sistema de comunicación abierto destinado a viviendas y edificios. Vigente desde Abril de 2004. Fuente: <https://bit.ly/2Z9Q4ri>

Normas UNE-EN 50491 para Sistemas Electrónicos de Viviendas y Edificios (HBES) y Sistemas de Automatización y Control de Edificios (BACS). Estas normas son independientes del protocolo de comunicación y recogen los requisitos generales de los sistemas electrónicos para viviendas y edificios (HBES) y sistemas de automatización y control de edificios. Cubren los requisitos ambientales, de compatibilidad electromagnética (CEM), seguridad eléctrica y seguridad funcional de los dispositivos y sistemas HBES y BACS. Vigente desde Febrero de 2010. Fuente: <https://bit.ly/2JIQFe3>

Especificación EA0026 para Instalaciones de Sistemas Domóticos de Viviendas. Establece los requisitos mínimos que debe cumplir el sistema domótico de Clase I, fijando las prescripciones generales de instalación y evaluación, y los diferentes niveles de domotización a nivel residencial. Fuente: <https://bit.ly/30Qbni2>

13. Anexo II: Planos del proyecto

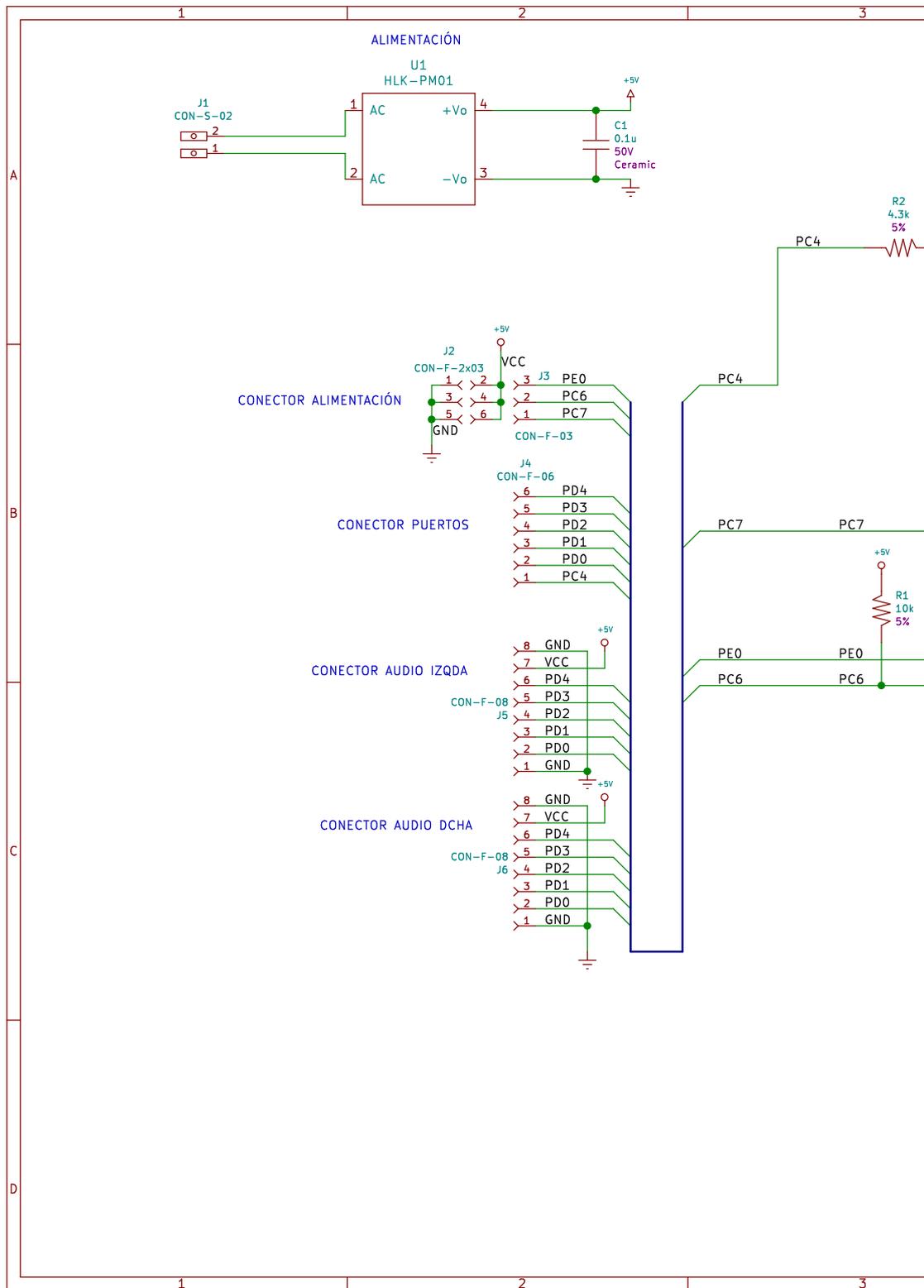


Figura 37: Parte 1/2 del esquemático del Módulo de Alimentación.

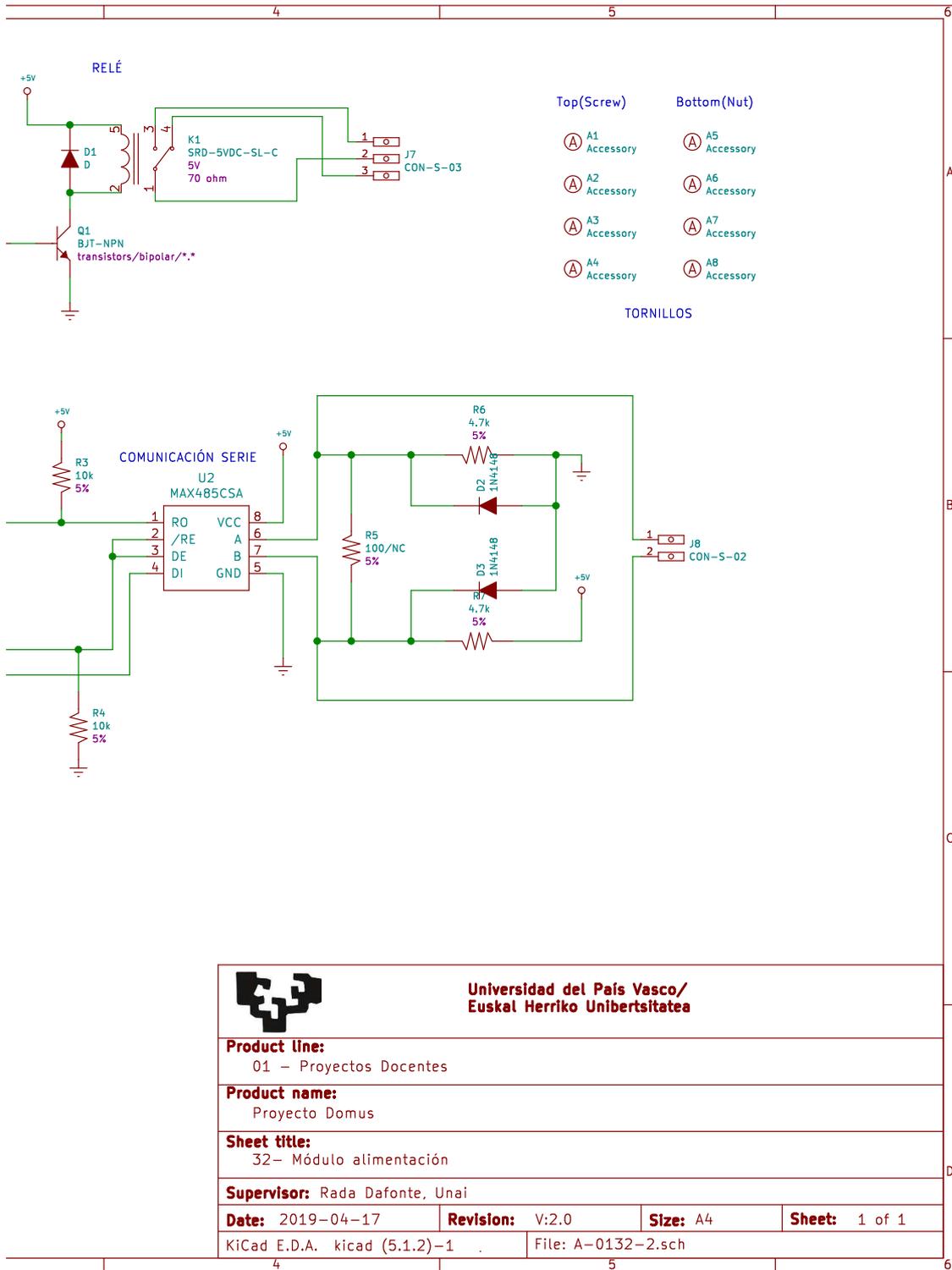


Figura 38: Parte 2/2 del esquemático del Módulo de Alimentación.

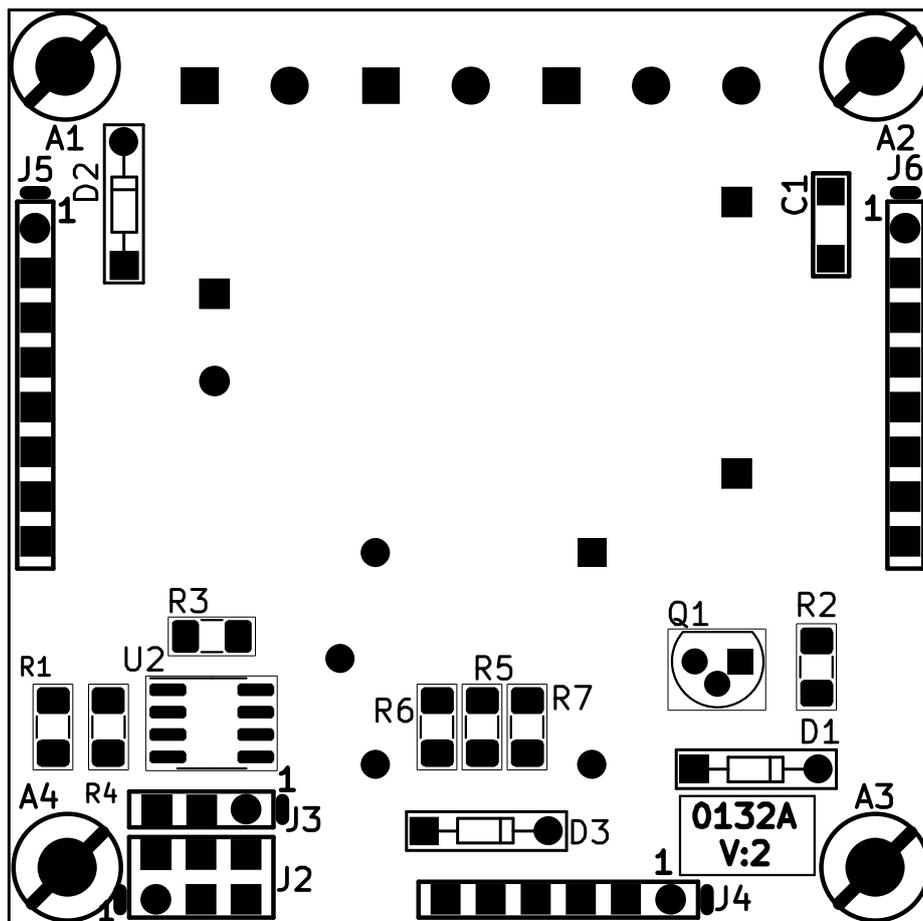


Figura 39: Emplazamiento de la cara TOP del Módulo de Alimentación.

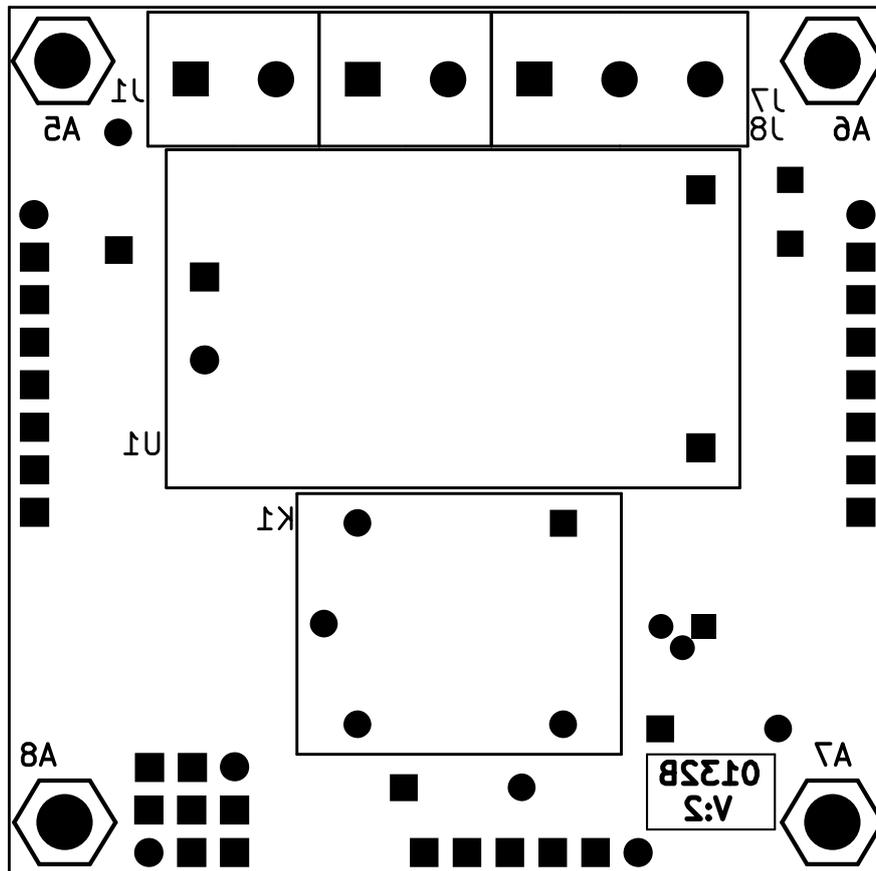


Figura 40: Emplazamiento de la cara BOTTOM del Módulo de Alimentación.

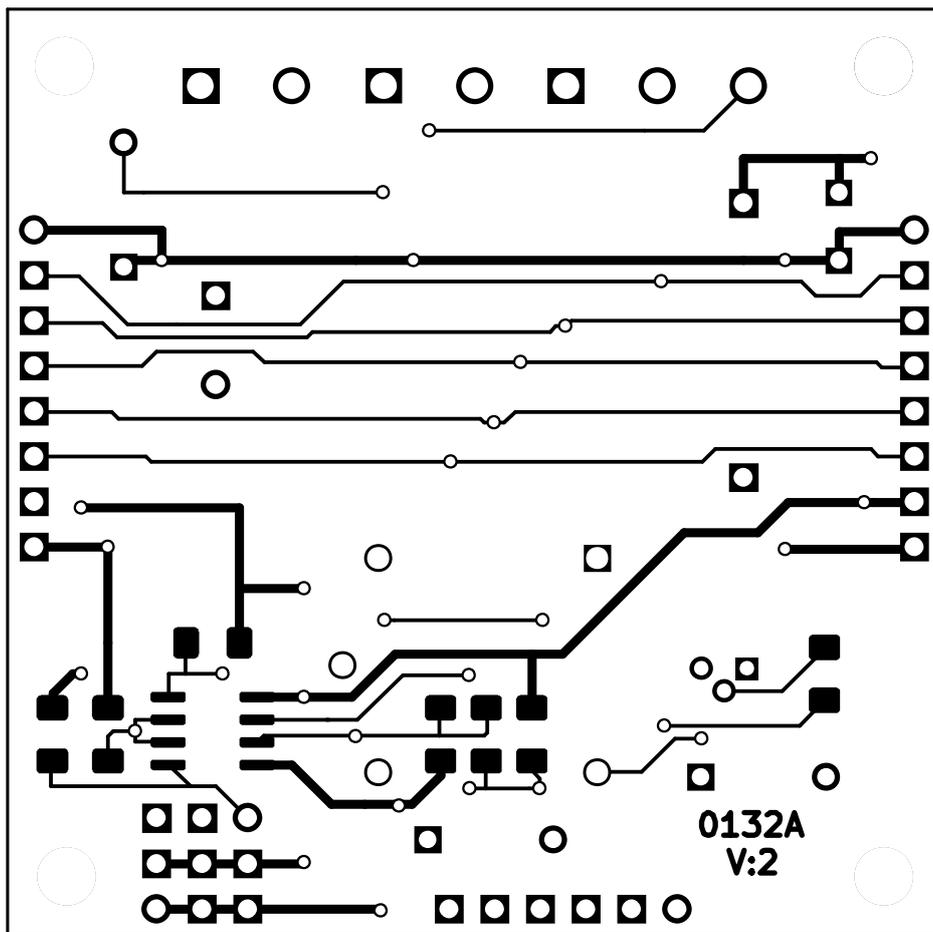


Figura 41: Rutado de la cara TOP del Módulo de Alimentación.

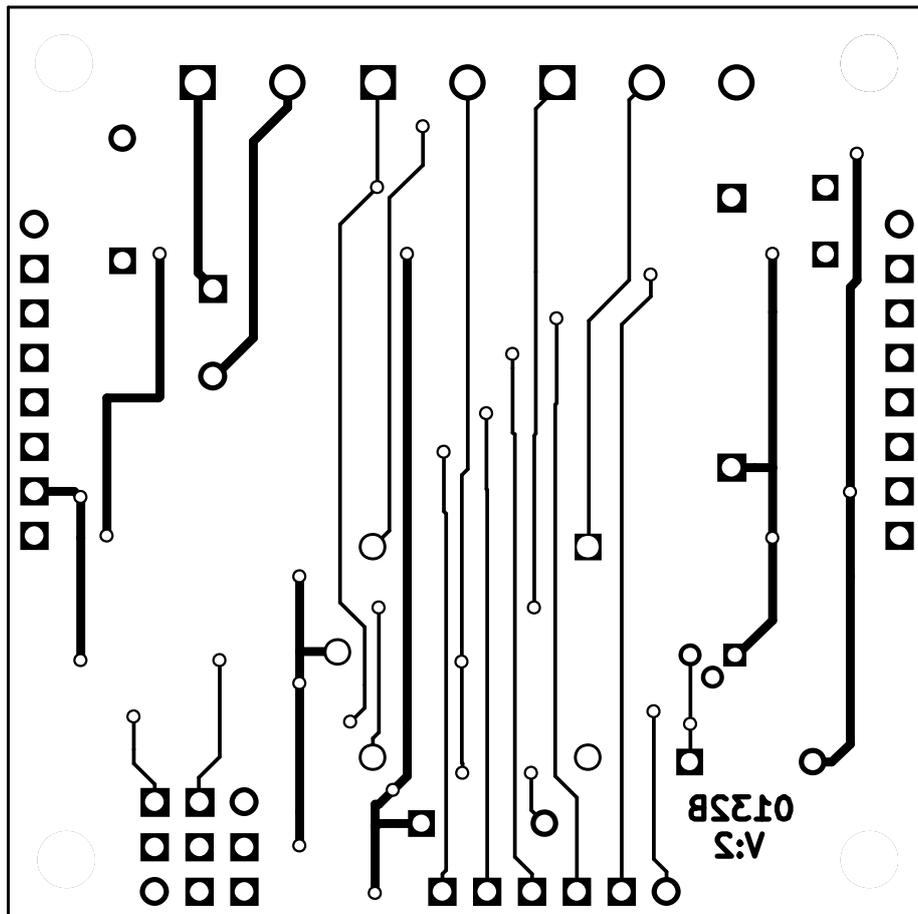


Figura 42: Rutado de la cara BOTTOM del Módulo de Alimentación.

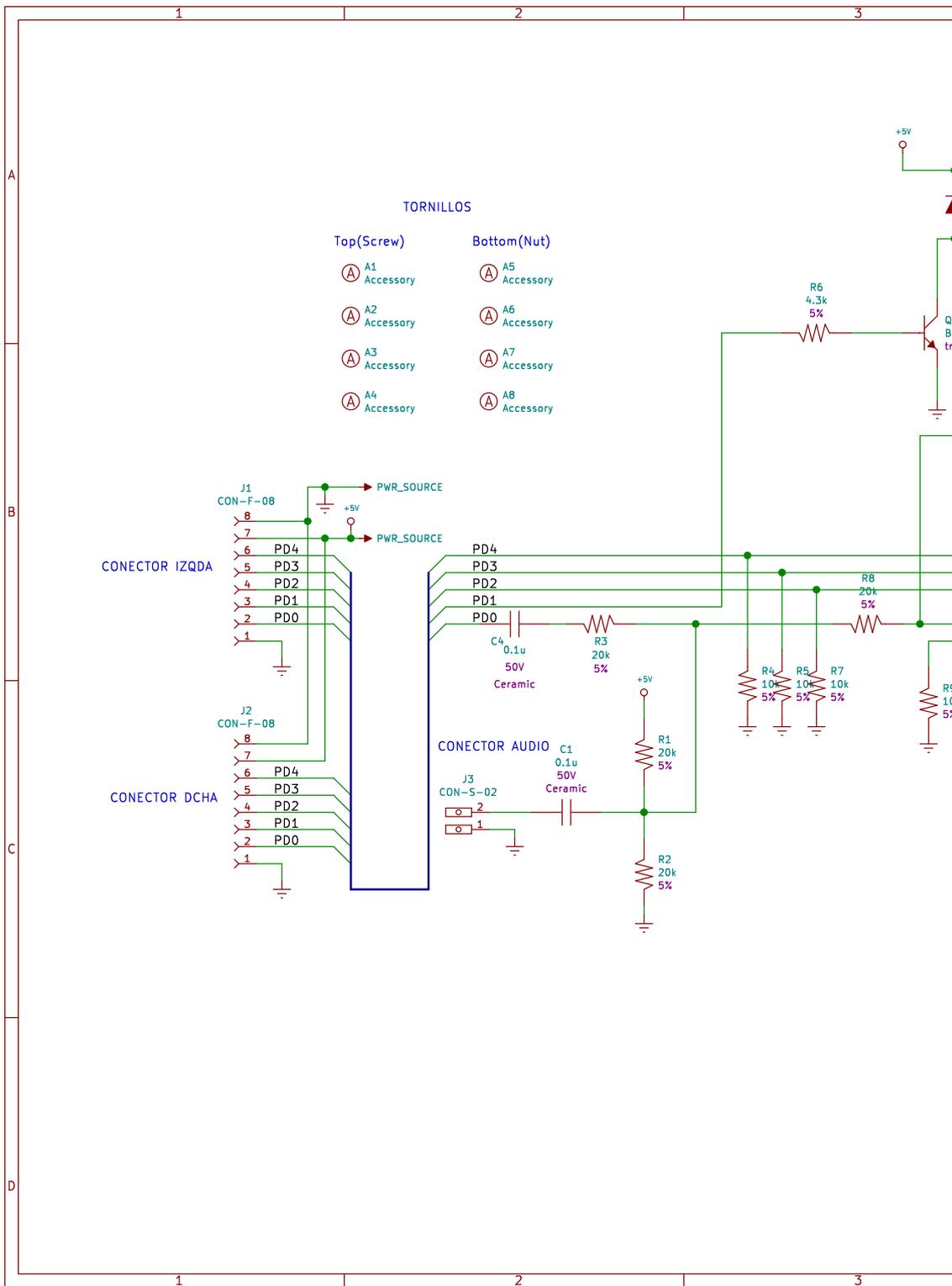


Figura 43: Parte 1/2 del esquemático del Módulo de Audio.

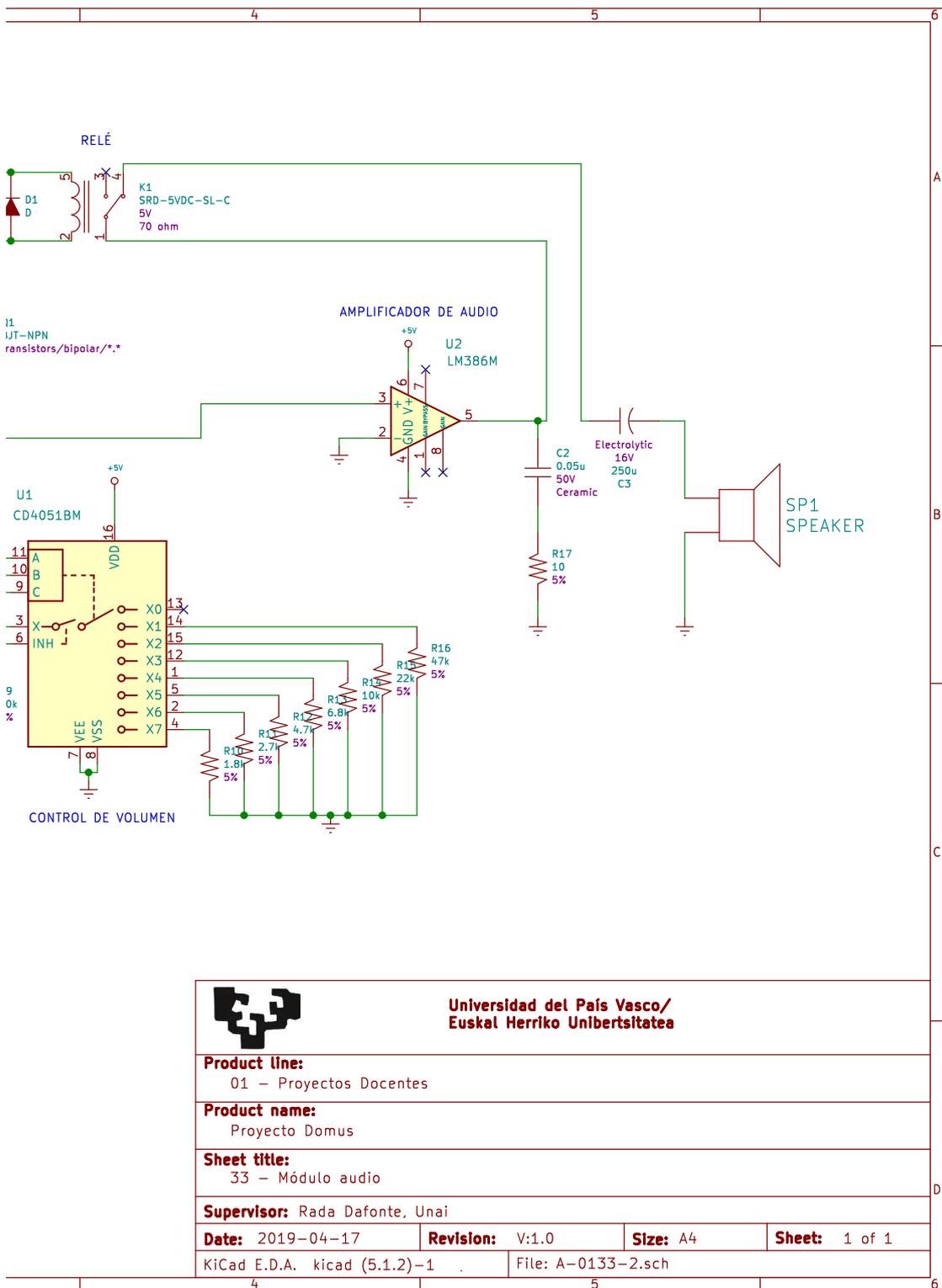


Figura 44: Parte 2/2 del esquemático del Módulo de Audio.

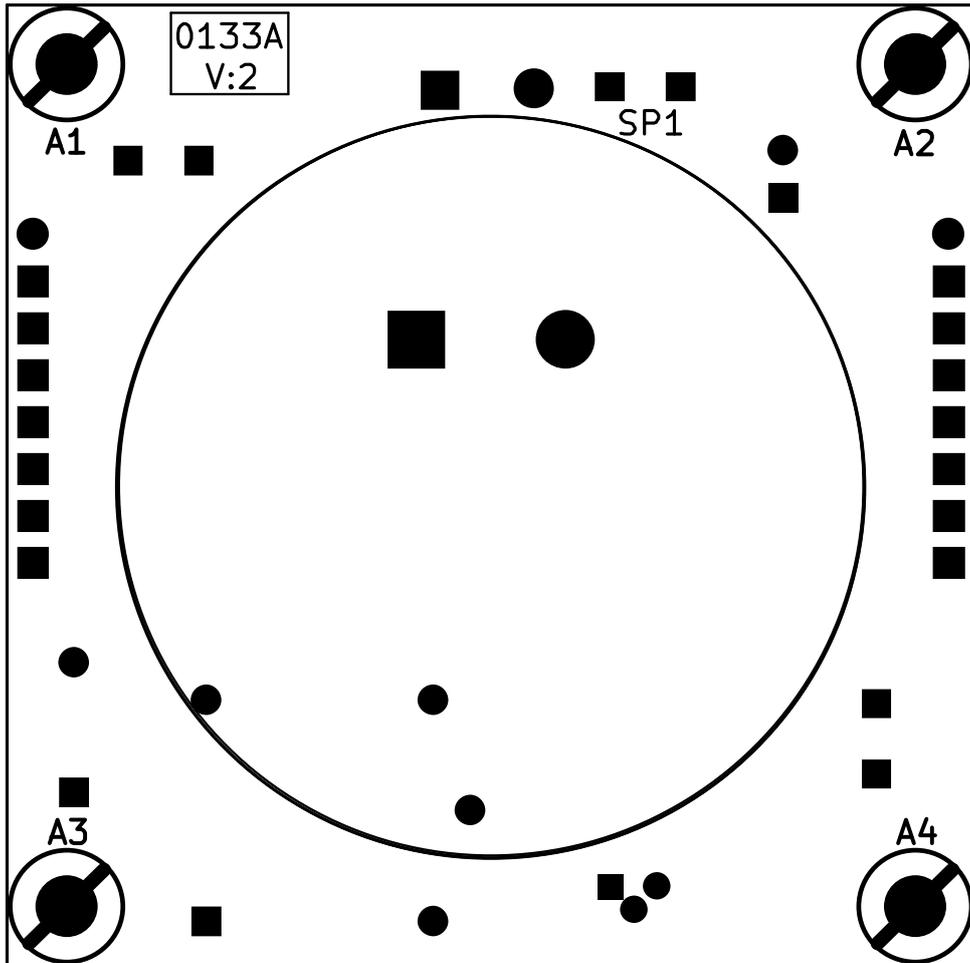


Figura 45: Emplazamiento de la cara TOP del Módulo de Audio.

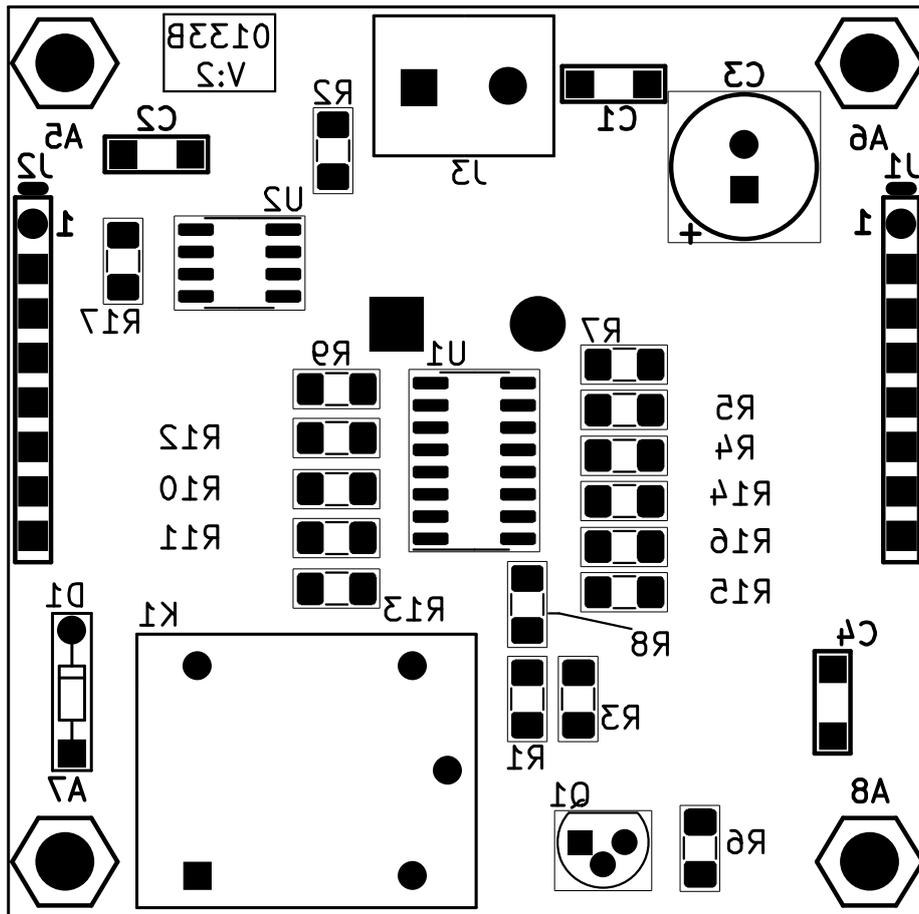


Figura 46: Emplazamiento de la cara BOTTOM del Módulo de Audio.

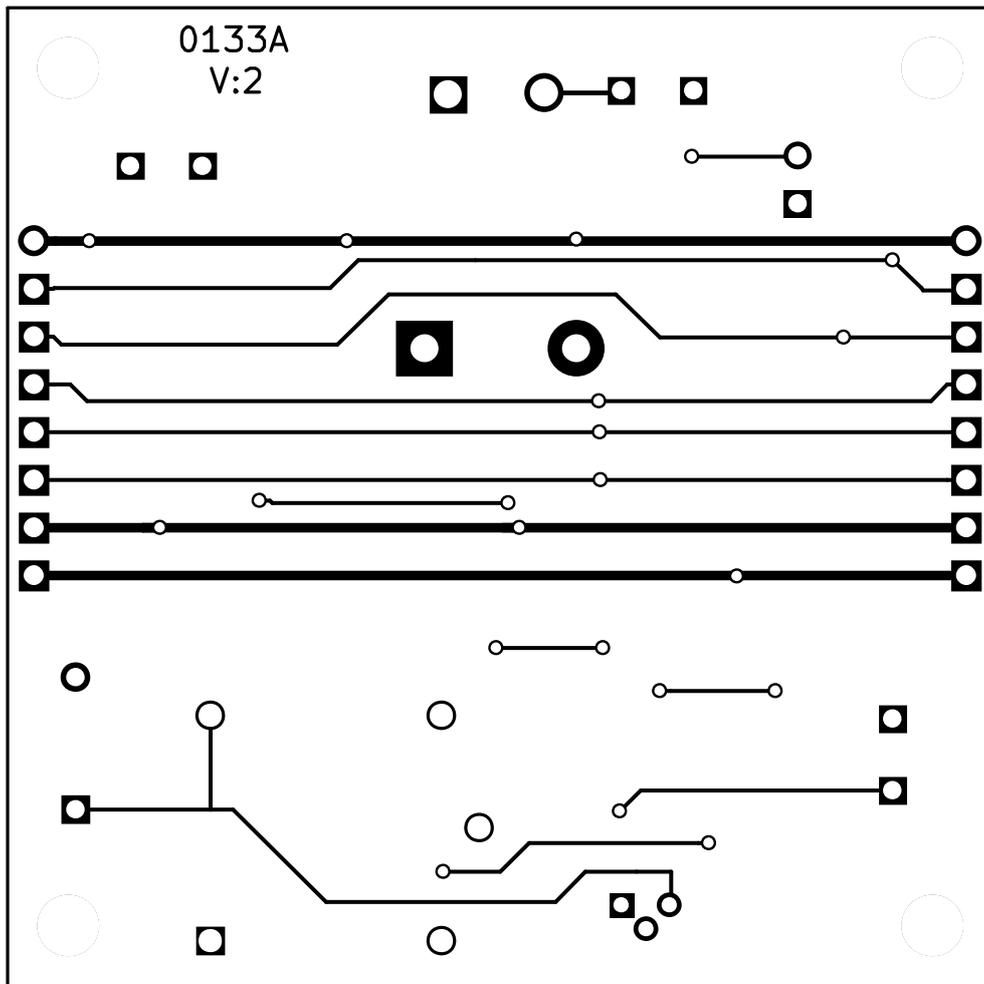


Figura 47: Rutado de la cara TOP del Módulo de Audio.

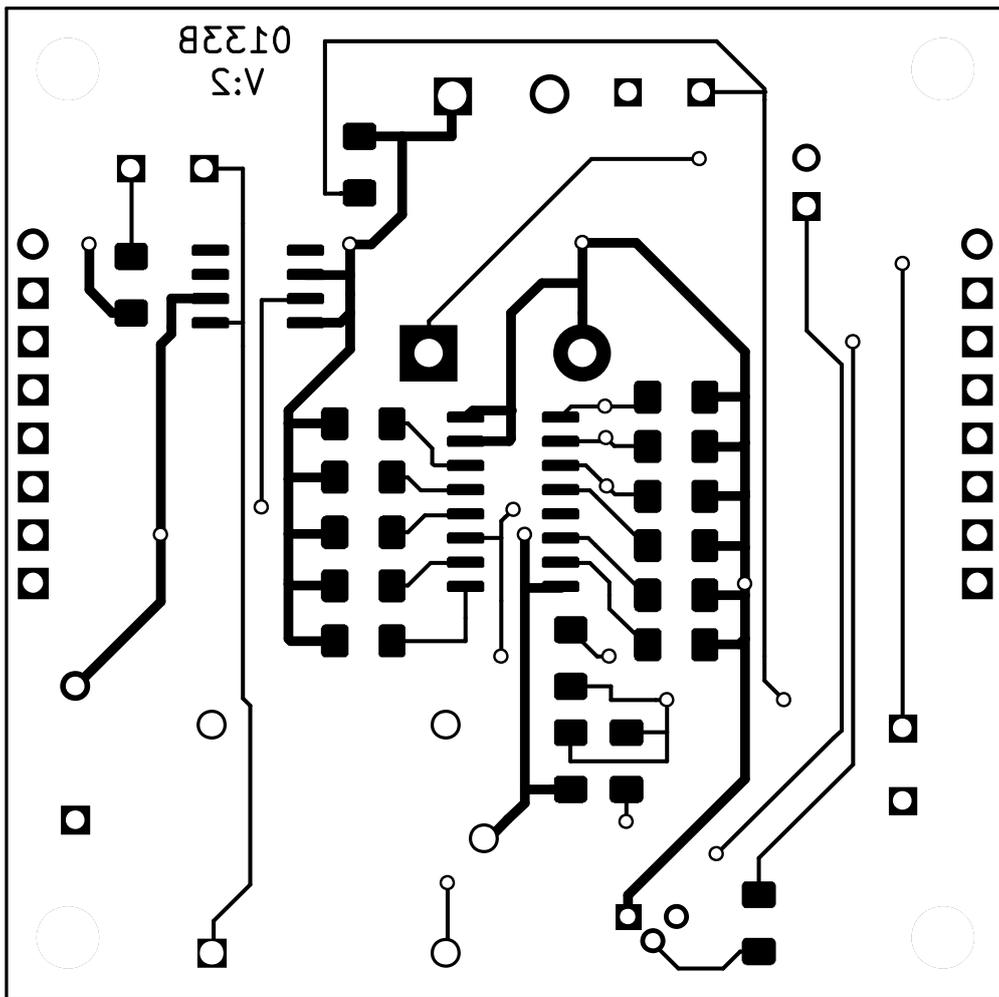


Figura 48: Rutado de la cara BOTTOM del Módulo de Audio.