

## GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE TELECOMUNICACIÓN

# TRABAJO FIN DE GRADO

## *DISEÑO DE MÓDULO DE CONTROL DE SISTEMA DOMÓTICO DISTRIBUIDO*

Alumno: Condori Bocanegra, Marco Antonio  
Director: Zuloaga Izaguirre, Aitzol

Curso: 2018/19

Fecha: Bilbao, 17 de Julio de 2019



## RESUMEN / ABSTRACT / LABURPENA

### RESUMEN

El proyecto que a continuación se presenta explica el diseño e implementación de un módulo de control de un sistema domótico distribuido, cuyo objetivo principal es permitir al usuario la interacción con el sistema.

El sistema domótico se conoce como *Domus* y tiene la característica de ser modular. Un módulo de este sistema está compuesto por un Módulo de Control, un Módulo de Alimentación, un Módulo de Audio y Módulo de Radio.

En esta memoria se describirá detalladamente el diseño y la implementación del Módulo de Control, el cual será una interfaz entre el usuario y el sistema domótico. Además, es el encargado de recibir y transmitir diferentes órdenes a todos los elementos del sistema. Este módulo se ha llevado a cabo mediante el microcontrolador PIC16F887 y un protocolo de comunicación serie RS-485 entre los módulos del sistema.

*Palabras clave:* domótica, PIC16F887, RS-485, KiCad

### ABSTRACT

The following project explains the design and implementation of a control module for a distributed domotic system, whose main objective is to allow the user to interact with the system.

The domotic system is known as *Domus* and has the characteristic of being modular. A module of this system is composed by a Control Module, a Power Module, an Audio Module and a Radio Module.

This report will describe in detail the design and implementation of the Control Module, which will be an interface between the user and the domotic system. In addition, it is in charge of receiving and transmitting different commands to all the elements of the system. This module has been carried out by means of the microcontroller PIC16F887 and an RS-485 serial communication protocol between the modules of the system.

*Keywords:* domotics, PIC16F887, RS-485, Kicad

## **LABURPENA**

**Jarraian aurkeztutako proiektua sistema domotiko banatu baten kontrol moduluaren diseinua eta inplementazioa azalzen du, modulu honen helburu nagusia erabiltzailea sistemarekin elkarreragitea da.**

**Sistema domotikoa Domus izenez ezagutzen da eta modularra izatearen ezaugarria du. Sistema honen modulu batek kontrol modulu batengatik, elikadura modulu batengatik, audio modulu batengatik eta irrati modulu batengatik osatuta dago.**

**Txosten honetan Kontrol moduluaren diseinua eta inplementazioa xeheki deskribatuko da, modulu hau erabiltzailearen eta domotiko sistemaren arteko interfazea izango da. Horrez gain, sistemako elementu guztiei hainbat eskaera jaso eta bidaltzeaz arduratzen da. Modulu hau PIC16F887 mikrokontrolagailua eta sistemaren moduluen artean RS-485 seriezko komunikazio protokolo baten bitartez burutu egin da.**

**Gako-hitzak: domotika, PIC16F887, RS-485, KiCad**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN / ABSTRACT / LABURPENA</b> .....	<b>1</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>3</b>
<b>LABURPENA</b> .....	<b>4</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>5</b>
<b>LISTA DE ACRÓNIMOS</b> .....	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABLAS</b> .....	<b>8</b>
<b>LISTA DE ILUSTRACIONES</b> .....	<b>9</b>
<b>MEMORIA</b> .....	<b>11</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>11</b>
1.1. Motivación del proyecto.....	11
<b>2. OBJETIVOS Y ALCANCE</b> .....	<b>13</b>
2.1. Objetivo general.....	13
2.2. Objetivos específicos .....	13
2.3. Alcance .....	14
<b>3. BENEFICIOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>15</b>
3.1. Beneficios sociales.....	15
3.2. Beneficios técnicos.....	15
3.3. Beneficios económicos .....	15
<b>4. ESTADO DEL ARTE</b> .....	<b>17</b>
4.1. La evolución de la automatización.....	17
4.2. Domótica .....	18
4.2.1. Introducción a la Domótica.....	18
4.2.2. Aplicaciones de la Domótica .....	19
4.2.3. Actualidad .....	21
4.3. Dispositivos de un Sistema Domótico .....	22
4.3.1. Sensores .....	22
4.3.2. Actuadores .....	23
4.3.3. Controlador .....	24
4.3.4. Bus.....	25
4.3.5. Interfaz .....	25
4.3.6. Arquitecturas del sistema .....	25
4.3.6.1. Arquitectura Centralizada .....	25
4.3.6.2. Arquitectura Descentralizada.....	26
4.3.6.3. Arquitectura Distribuida .....	26
4.3.6.4. Arquitectura Híbrida / Mixta .....	27
<b>5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS</b> .....	<b>28</b>
<b>6. ANÁLISIS DE RIESGOS</b> .....	<b>30</b>
6.1. Identificación de los riesgos.....	30
6.2. Planificación de la respuesta a los riesgos .....	30
<b>7. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA</b> .....	<b>32</b>
7.1. Planteamiento del problema .....	32
7.2. Descripción de la solución.....	32

7.2.1.	Diseño Hardware.....	34
7.2.2.	Diseño del esquemático.....	34
7.2.3.	Diseño de la PCB.....	41
7.2.4.	Diseño software .....	46
7.3.	Planificación del proyecto .....	50
7.4.	Presupuesto .....	52
7.4.1.	Horas Internas .....	52
7.4.2.	Amortizaciones.....	52
7.4.3.	Componentes BoM .....	53
7.4.4.	Fabricación PCB.....	54
7.4.5.	Presupuesto final.....	54
8.	NORMATIVA APLICABLE .....	56
8.1.	CENELEC .....	56
8.1.1.	Comité Técnico 205 .....	56
8.1.2.	Normas publicadas .....	56
8.2.	CEN .....	56
8.2.1.	Comité Técnico 247 .....	56
8.2.2.	Normas publicadas .....	57
8.3.	ISO/IEC .....	57
8.3.1.	Subcomité 25.....	57
8.3.2.	Normas publicadas .....	57
9.	CONCLUSIONES.....	59
9.1.	Consecución de objetivos .....	59
9.2.	Perspectivas futuras .....	61
9.2.1.	Comunicaciones Inalámbricas.....	61
10.	REFERENCIAS.....	64
	ANEXO I: Esquemático del circuito.....	66
	ANEXO II: Visualización de los ficheros de fabricación.....	69
	ANEXO III: Descripción de las Herramientas <i>Software</i> .....	80
1.	KiCad.....	80
2.	MPLAB IDE.....	81
2.1.	Ensamblado del programa .....	81

## LISTA DE ACRÓNIMOS

3D	3 Dimensiones
A/D	Analógico/Digital
APERT	Applied Electronics Research Group (Grupo de Investigación de Electrónica Aplicada)
BOM	Bill of Materials
CS	Chip Select
DRC	Design Rule Checking
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
ETSI	Escuela Técnica Superior de Ingeniería
GND	GrouND
GPIO	General Purpose I/O
HW	HardWare
I/O	Input/Output
ICSP	In-Circuit Serial Programming
IDE	Integrated Development Enviroment
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
IR	Infrarrojos
LED	Light Emitting Diode
PC	Personal Computer
PCB	Printed Circuit Board
PIC	Peripheral Interface Controller
PWM	Pulse Width Modulation
RAE	Real Academia Española
RX	Recepción
SMD	Surface Mount Device
SRAM	Static Random Access Memory
SW	SoftWare
TCP	Transmission Control Protocol
TH	Through Hole Technology
TX	Transmisión
VCC	Common Voltage

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1: Especificaciones técnicas del PIC16F887 [10] .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 2: Función de las teclas .....</b>	<b>36</b>
<b>Tabla 3: Función de los puerto del conector de audio .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 4: Conexionado de la comunicación serie RS-485.....</b>	<b>40</b>
<b>Tabla 5: Ficheros <i>gerbers</i> del circuito .....</b>	<b>44</b>
<b>Tabla 6: BoM detallado .....</b>	<b>45</b>
<b>Tabla 7: Relación de tareas del proyecto .....</b>	<b>50</b>
<b>Tabla 8: Coste total de las Horas Internas.....</b>	<b>52</b>
<b>Tabla 9: Coste total de la Amortizaciones.....</b>	<b>53</b>
<b>Tabla 10: Coste total de los componentes (BoM) .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 11: Costes de fabricación .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 12: Coste total del proyecto .....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 13: Presupuesto réplica .....</b>	<b>55</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1: Esquema de un Sistema Automatizado .....</b>	<b>18</b>
<b>Ilustración 2: Facturación de los fabricantes de sistemas de control y automatización. Años 2012-2017 (datos en M€) (Fuente: CEDOM) [6] [7] .....</b>	<b>22</b>
<b>Ilustración 3: Arquitectura centralizada [9] .....</b>	<b>26</b>
<b>Ilustración 4: Arquitectura descentralizada [9].....</b>	<b>26</b>
<b>Ilustración 5: Arquitectura distribuida [9].....</b>	<b>27</b>
<b>Ilustración 6: Arquitectura híbrida / mixta [9] .....</b>	<b>27</b>
<b>Ilustración 7: Conexiones del PIC16F887 .....</b>	<b>35</b>
<b>Ilustración 8: Teclado .....</b>	<b>36</b>
<b>Ilustración 9: LEDs de propósito general.....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 10: Conector ICSP .....</b>	<b>37</b>
<b>Ilustración 11: Diagrama de bloques driver MAX7219 con display LED [12] .....</b>	<b>38</b>
<b>Ilustración 12: Conexión del MAX7219 .....</b>	<b>38</b>
<b>Ilustración 13: Conexión del display LED .....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 14: Conexión del sensor de temperatura.....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 15: Conexión del circuito de Tensión de referencia del ADC .....</b>	<b>39</b>
<b>Ilustración 16: Conexión del conector de audio .....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 17: Conexión del conector de alimentación y comunicaciones .....</b>	<b>40</b>
<b>Ilustración 18: Captura del emplazamiento de componentes .....</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 19: Dimensiones de pistas y vías según la red asignada..</b>	<b>42</b>
<b>Ilustración 20: Resultado del rutado del circuito .....</b>	<b>43</b>
<b>Ilustración 21: Módulo de Control (Top) .....</b>	<b>46</b>
<b>Ilustración 22: Módulo de Control (Bottom) .....</b>	<b>46</b>
<b>Ilustración 23: Diagrama de estados del Módulo de Control.....</b>	<b>47</b>
<b>Ilustración 24: Módulo completo visto desde arriba .....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 25: Módulo completo.....</b>	<b>49</b>
<b>Ilustración 26: Diagrama de Gantt.....</b>	<b>51</b>
<b>Ilustración 27: Ejemplo de aplicación del Módulo Bluetooth.....</b>	<b>62</b>
<b>Ilustración 28: Esquemático del circuito (Parte 1) .....</b>	<b>66</b>
<b>Ilustración 29: Esquemático del circuito (Parte 2) .....</b>	<b>67</b>
<b>Ilustración 30: Esquemático del circuito (Parte 3) .....</b>	<b>68</b>
<b>Ilustración 31: Gerber A-0131-1-F.Cu.gtl .....</b>	<b>69</b>
<b>Ilustración 32: Gerber A-0131-1-B.Cu.gbl .....</b>	<b>70</b>
<b>Ilustración 33: Gerber A-0131-1-F.Mask.gts .....</b>	<b>71</b>
<b>Ilustración 34: Gerber A-0131-1-B.Mask.gbs .....</b>	<b>72</b>
<b>Ilustración 35: Gerber A-0131-1-F.SilkS.gto .....</b>	<b>73</b>
<b>Ilustración 36: Gerber A-0131-1-B.SilkS.gbo .....</b>	<b>74</b>
<b>Ilustración 37: Gerber A-0131-1.drl .....</b>	<b>75</b>
<b>Ilustración 38: Gerber A-0131-1-NPTH.drl .....</b>	<b>76</b>

<b>Ilustración 39: Gerber A-0131-1-Margin.gbr.....</b>	<b>77</b>
<b>Ilustración 40: Gerber A-0131-1-drl_map.gbr .....</b>	<b>78</b>
<b>Ilustración 41: All Gerbers.....</b>	<b>79</b>
<b>Ilustración 42: Captura de pantalla (Pcbnew).....</b>	<b>80</b>

# D oD GRxb

## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los avances en los sectores de la informática, la industria y las telecomunicaciones han potenciado las posibilidades de automatizar los procesos más cotidianos de las personas. Procesos tales como abrir y cerrar puertas, controlar la calefacción y la climatización, controlar un equipo de audio y sonido, etc.

El futuro tecnológico apunta a integrar todos los aparatos que realizan estos procesos cotidianos. Y es que la integración de la tecnología en el diseño inteligente del hogar se conoce con el nombre de domótica. La domótica busca satisfacer las necesidades y deseos de los usuarios ya sea para sus hogares o empresas.

La instalación domótica puede ofrecer multitud de servicios que aportan un gran valor a la vivienda. Las aplicaciones de esta instalación pueden desglosarse en 4 grandes grupos [1]:

- **Control y gestión de la energía:** por ejemplo, el alumbrado en función de la luminosidad y de la presencia con el objetivo de aprovechar al máximo la luz natural y así optimizar el consumo.
- **Seguridad:** detector de presencia, supervisión y control de roturas de cristal, alarma contra intrusos, control de cámaras y vigilancia electrónica son algunos ejemplos.
- **Automatización de sistemas:** accionamiento automático de persianas y/o toldos para un máximo aprovechamiento de la luz solar o por inclemencias del tiempo.
- **Comunicaciones:** conocimiento en tiempo real del estado del hogar, diagnóstico y control de la vivienda desde el exterior vía web, etc.

La domótica, es una tecnología que en los últimos años ha provocado grandes cambios muy significativos e importantes, con un impacto muy positivo en nuestra seguridad y confort, el cual nos permite estar en constante comunicación, control remoto y automatización con múltiples aparatos electrónicos, influyendo notablemente en el ahorro energético, debido a que se hace un uso eficiente de los diversos dispositivos.

### 1.1. Motivación del proyecto

La motivación por la que se ha elegido este proyecto se basa principalmente en el interés personal por la domótica y la electrónica

**con el fin de crear algo que fuese tangible. También la posibilidad de un proyecto con una margen de mejora y personalización aún después de haber terminado el proyecto.**

**Por otro lado, cambiar la forma de ver la domótica es otro de los motivos en los que se basa este proyecto, ya que hoy en día la gente cree que la domótica es algo únicamente disponible para personas con un alto nivel adquisitivo. Con este proyecto se quiere demostrar que con una tecnología eficiente se puede realizar un sistema asequible para todo el mundo.**

## 2. OBJETIVOS Y ALCANCE

En este apartado se describirá el objetivo principal de este proyecto, así como el alcance del mismo.

### 2.1. Objetivo general

El objetivo general que se busca con la realización de este Trabajo Fin de Grado es desarrollar un módulo electrónico que forma parte de un sistema domótico más amplio y que permita la visualización de parámetros básicos y la interacción por parte del usuario con el sistema. Además, el módulo deberá cumplir con una comunicación coherente con el resto del sistema domótico por medio de una comunicación serie apropiada. Dicho sistema se llama *Domus* y está compuesto por diversos módulos, entre los que se pueden señalar los siguientes que se encuentran ahora mismo en desarrollo:

- Módulo de Control
- Módulo de Alimentación
- Módulo de Periféricos

### 2.2. Objetivos específicos

Una vez definido el objetivo general, a continuación, se describirán los objetivos específicos que se han establecido al inicio del proyecto:

- Identificar, comparar y seleccionar componentes electrónicos en base a las características requeridas por el sistema domótico distribuido *Domus*. Algunas de sus características principales son las siguientes:
  - Las dimensiones mecánicas de los diferentes módulos se deben corresponder a la de una toma de corriente estándar.
  - El sistema deberá contar con una interfaz de usuario sencilla e intuitiva.
  - El sistema debe poseer la característica de sistema modular. Esto implica que tanto el diseño *hardware* como el diseño *software* se realizará de forma modular, es decir, se abordará una partición funcional en módulos escalables y reutilizables.
  - El sistema final ha de ser económico, funcional y de calidad. Entre sus funcionalidades básicas, se espera que el sistema muestre la hora y la temperatura del

lugar en el que se encuentra instalado. Así mismo, que permita controlar la calefacción de lugar.

- Realizar el diseño PCB del módulo de control: esquemático, *footprints*, rutado de pistas y generación de ficheros de fabricación.
- Aplicar las técnicas de soldadura y micro soldadura de componentes electrónicos, tales como condensadores, resistencias, diodos LED, circuitos integrados SMD, conectores, etc.
- Implementar la técnica de programación *estructurada* para la distribución del trabajo entre personas que forman un grupo de trabajo.
- Integrar programas que permitan la comunicación serie entre los distintos módulos del sistema.
- Integrar el módulo en una caja estándar de accionamientos eléctricos para hogares.

### 2.3. Alcance

Respecto al alcance o ámbito de aplicación del presente trabajo, el módulo de control desarrollado constará, para la parte de la interfaz con el usuario, con un *display* de 4 dígitos LED de 7 segmentos y 4 pulsadores que permitirán la interacción con el usuario. Además, también contará con 4 diodos LED de propósito general; por ejemplo, para notificar el estado de la calefacción.

En cuanto a los demás periféricos que conforman el módulo de control, hay que recordar que se dispone de unas dimensiones mecánicas de tamaño realmente reducido. Este hecho, desafortunadamente, limita el número de componentes incluidos en la placa electrónica.

Sin embargo, como se ha indicado anteriormente en las características del sistema *Domus*, el sistema es modular. La compatibilidad que ofrece el sistema modular es de vital importancia para las futuras mejoras del proyecto.

### 3. BENEFICIOS DEL PROYECTO

A continuación, se expondrán los beneficios más importantes que se obtendrían con la instalación del sistema *Domus* llevado a cabo en este proyecto.

#### 3.1. Beneficios sociales

Desde el punto de vista social, el beneficio que aporta el proyecto es el confort que ofrece a las personas que utilizan este sistema. El poder controlar la hora y la temperatura, escuchar la radio o controlar aparatos electrónicos de forma manual o remota son soluciones que facilitan la vida diaria de las personas, mejorando así su calidad de vida.

#### 3.2. Beneficios técnicos

Desde el punto de vista técnico, al diseñar un sistema modular y con una comunicación sencilla como es la comunicación serie RS-485, se facilita la ampliación e inclusión de nuevos módulos que añadan mejores prestaciones al sistema domótico. Además, la selección del microcontrolador PIC16F887 de Microchip se ha hecho por la sencillez del mismo. Gracias a este microcontrolador se puede estudiar con facilidad conceptos que se encuentran en los diferentes procesadores del mercado. La popularidad del PIC16 se ve reflejado en la gran cantidad de referencias y librerías realmente completas. Esto, añadido a la utilización de un *software* totalmente libre (Ver ANEXO III: Descripción de las Herramientas *Software*), fomenta el aprendizaje de sistemas electrónicos.

#### 3.3. Beneficios económicos

En el mercado electrónico actual el tiempo de vida de los productos es cada vez menor. Al cabo de unos meses salen al mercado una versión más actualizada de los productos. A los pocos años de vida los productos se quedan obsoletos y tenemos que renovarlos. El impacto de este ritmo frenético en la rentabilidad de los productos es enorme. Para que un producto sea rentable, hay que abaratar los costes de diseño y facilitar las actualizaciones del producto para que permanezca en el mercado lo máximo posible. Por otro lado, el tiempo de desarrollo de los nuevos productos tiene que reducirse al máximo, de lo contrario corremos el riesgo de que una vez en el mercado nuestro producto no sea tan útil como pensábamos al comenzar su diseño.

**Una posible solución a este problema la encontramos en los diseños modulares. Si separamos el diseño en varias partes, podremos reducir tanto el precio como el tiempo de desarrollo de nuevos diseños.**

## 4. ESTADO DEL ARTE

### 4.1. La evolución de la automatización

Antes de comenzar hablar de la automatización definiremos la palabra automática, según el diccionario de la real academia española (RAE) [2] “Es la ciencia que estudia la automatización y sus aplicaciones, en especial las técnicas desarrolladas con el fin de reducir y eliminar la intervención humana en la producción o en el funcionamiento de bienes y servicios”. Por otra parte, nos interesa conocer también la definición de autómata, “Es una máquina que imita la figura y movimientos de un ser animado”.

Una vez sabemos estos términos, hablaremos un poco de la historia de la automatización, para conocer la evolución y repercusión que ha ido teniendo a lo largo de nuestras vidas.

Los primeros ejemplos de autómatas eran juguetes o sistemas sencillos que realizaban movimientos repetitivos o emitían sonidos, por ejemplo, en el año 1500 a.C. en la antigua Etiopía construyeron una estatua que emitía sonidos cuando era iluminada por los rayos del sol; los griegos aportaron grandes conocimientos en este campo construyendo un pichón de madera que simulaba el vuelo entre los años 400 y 397 a.C.

Durante la Edad Media se siguió desarrollando otros autómatas, un claro ejemplo es el Gallo de Estrasburgo que funcionó desde 1352 hasta 1789, formaba parte del reloj de la catedral de Estrasburgo y al dar las horas movía el pico y las alas.

Uno de los ejemplos más relevantes fue en el siglo XVIII cuando se construyó el pato mecánico de *Vaucanson*, dicho pato estiraba el cuello para comer de la mano y luego lo tragaba y lo digería por disolución y finalmente se conducía por unos tubos hacia un ano artificial por el cual evacuaba los alimentos.

No fue hasta inicios del siglo XIX que comenzaron a introducirse el automatismo en la industria textil, como fue la hiladora giratoria de *Hargreaves*, hiladora mecánica o taladora mecánica; más tarde se incorporaron los automatismos en las industrias mineras y metalúrgicas.

Pero realmente el impulso importante del sistema de automatización surgió en el siglo XX junto a la industria del

automóvil. Los autómatas programables se introducen por primera vez en 1960 cuando General Motors quiso mejorar el sistema de control eléctrico.

El Autómata Programable Industrial (API) o *Programmable Logic Controller (PLC)* [3], es un equipo electrónico de control, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real procesos secuenciales, son gobernados por un programa de control previamente almacenado en su memoria, estos son capaces de procesar información de las entradas y establecer las salidas correspondientes.

Los autómatas actuales están formados por dos partes (ver ilustración 1), una parte operativa formada por los accionadores, que actúa directamente sobre la máquina (procesos), y una parte de mando que es la encargada de controlar el sistema mediante una unidad de control, la cual ejecuta las señales de salida necesarias para activar los accionadores.

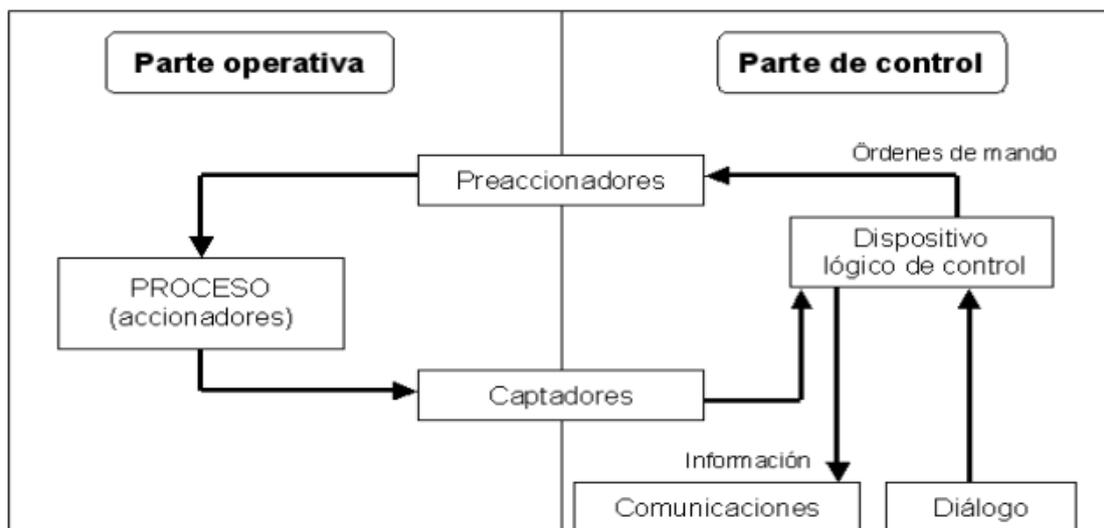


Ilustración 1: Esquema de un Sistema Automatizado

## 4.2. Domótica

### 4.2.1. Introducción a la Domótica

El término de domótica proviene de la fusión de las palabras "domo" y el sufijo "tica". En Concreto "domus", palabra que proviene del latín y significa casa. El sufijo "tica", palabra que proviene de automática, donde "tic" hace referencia a las tecnologías de la información y comunicación y la "a" hace referencia a

automatización. Según el diccionario de la Real Academia Española [2], define domótica como “el conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda”.

En algunos libros y asociaciones definen este término de forma más ampliada como “conjunto de servicios proporcionados por sistemas tecnológicos integrados en la vivienda para una mejor gestión de los recursos en aspectos como el confort, la seguridad, el ahorro, la gestión energética, las comunicaciones, la información y flexibilidad”.

Por lo que podemos concluir diciendo que la domótica es el resultado del uso de tecnología englobada en la vivienda, no el uso de aparatos aislados en la misma.

Las investigaciones muestran como se ha desarrollado la domótica, teniendo en cuenta las necesidades y deseos de las personas ya sea para sus hogares o empresas. Se nota gran diferencia de la aplicación de la misma en función de la situación del país y la posibilidad de desarrollo que este tenga. Este desarrollo de la domótica depende de la viabilidad técnica que se tenga en cada país, aunque hoy en día a las menos pequeñas incursiones de domotización es alcanzable sin grandes inversiones respecto a sus inicios.

Actualmente, el mercado domótico es de fuerte impacto, principalmente en países desarrollados, donde muchos gobiernos se han encargado de estandarizar y reglamentar la calidad de los recursos energéticos.

Generalmente, todo proyecto domótico actual, se realiza bajo premisas futuristas y el desarrollo de nuevas tecnologías, es por esto, que el mercado europeo, estandarizó protocolos y sistemas de distribución que puedan ser reemplazables de forma modular sin alterar el sistema de forma crítica.

#### **4.2.2. Aplicaciones de la Domótica**

La instalación domótica puede ofrecer multitud de servicios que aportan un gran valor a la vivienda. Las aplicaciones de esta instalación pueden desglosarse en 4 grandes grupos [4]:

- **Control y gestión de la energía:**
  - **Alumbrado interior y exterior en función de la luminosidad y de la presencia, con el objetivo de**

**aprovechar al máximo la luz natural y así optimizar el consumo.**

- **Gestión del clima que combina las persianas con la temperatura interior y exterior, para ofrecer una temperatura de confort según las zonas de la vivienda.**
  - **Racionalización de la carga eléctrica con desconexión de equipos no prioritarios en función del consumo en determinado momento.**
  - **Detección de averías de equipos domésticos, cuando se observe un aumento en su consumo.**
  - **Gestión de tarifas, encendiendo los equipos domésticos en zona horaria con tarifas más económicas.**
  - **Control de cualquier dispositivo electrónico de la vivienda a través de mando a distancia o a través de internet.**
  - **Integración del portero automático al teléfono, Tablet o televisor, permitiendo la actuación de apertura sin necesidad de levantarse.**
- **Seguridad:**
    - **Simulación de presencia con encendido y apagado de luces o dispositivos audibles.**
    - **Detector de presencia, supervisión y control de roturas de cristal, alarma contra intrusos, control de cámaras y vigilancia electrónica.**
    - **Seguridad de personas con tele asistencia y telemedicina para personas mayores o enfermos a través de pulsadores de pánico o alarmas locales o remotas.**
    - **Alarmas técnicas por detección de averías, debido a posibles errores de la instalación o mal uso involuntario de los sistemas, aviso de escapes de gas, humo, agua, etc. Aviso exacto de la zona con problema o activación de apertura de ventanas y persianas en caso de aviso por humo.**
  - **Automatización de sistemas e instalaciones domóticas:**
    - **Accionamiento automático de persianas y/o toldos para un máximo aprovechamiento de la luz solar o por inclemencias del tiempo, iluminación por detectores de movimiento o sensores de luminosidad para exterior.**
    - **Crear estado de confort o relax a través del control de luminosidad y sonido.**
  - **Comunicaciones:**
    - **Envío de alarmas a teléfonos predeterminados.**
-

- **Diagnóstico y control de la vivienda desde el exterior vía web, etc.**
- **Conocimiento en tiempo real del estado del hogar.**

La Domótica, es una tecnología que en los últimos años ha provocado grandes cambios muy significativos e importantes, con un impacto muy positivo en nuestra seguridad y confort, el cual nos permite estar en constante comunicación, control remoto y automatización con múltiples aparatos electrónicos, influyendo notablemente en el ahorro energético, debido a que se hace un uso eficiente de los diversos dispositivos.

### **4.2.3. Actualidad**

La Asociación Española de Domótica e Inmótica, CEDOM [5], nació en 1992 por iniciativa de un grupo de empresas fabricantes de material eléctrico que apostaron por el sector de la domótica, tratando de impulsar el mercado y facilitar la venta de los productos de las empresas miembro.

Inicialmente fue creado como el Comité Español de la Domótica. En el año 2001, se decidió abrir la entidad al resto de colectivos presentes en el mercado de la Domótica/Inmótica, no sólo a fabricantes, y se vio la necesidad de cambiar la denominación de Comité a la de Asociación, aunque se mantuvo el nombre de CEDOM debido a que ya era un nombre reconocido en el sector eléctrico.

Desde entonces, CEDOM ha ido adaptándose a los cambios y dificultades que ha sufrido el sector de la Domótica/Inmótica. Así, en la actualidad, CEDOM es la única Asociación a nivel nacional que reúne a todos los agentes del sector de la Domótica/Inmótica en España: fabricantes de sistemas domóticos, equipos auxiliares, distribuidores, integradores, instaladores, centros tecnológicos y de formación, universidades y medios de comunicación.

El principal objetivo de CEDOM es aumentar la implantación de la domótica y la inmótica en España a través de la promoción de la tecnología sin diferenciación de sistemas ni protocolos de comunicación.

Según el estudio de mercado (del año 2017) del sector de la domótica e inmótica [6] llevado a cabo por el CEDOM, el volumen de facturación estimado de los fabricantes de sistemas de control y automatización durante dicho año ha sido de 56,7 M€, lo cual

representa, respecto al año 2016, un aumento del 12 %. En la siguiente gráfica se puede observar esta evolución:

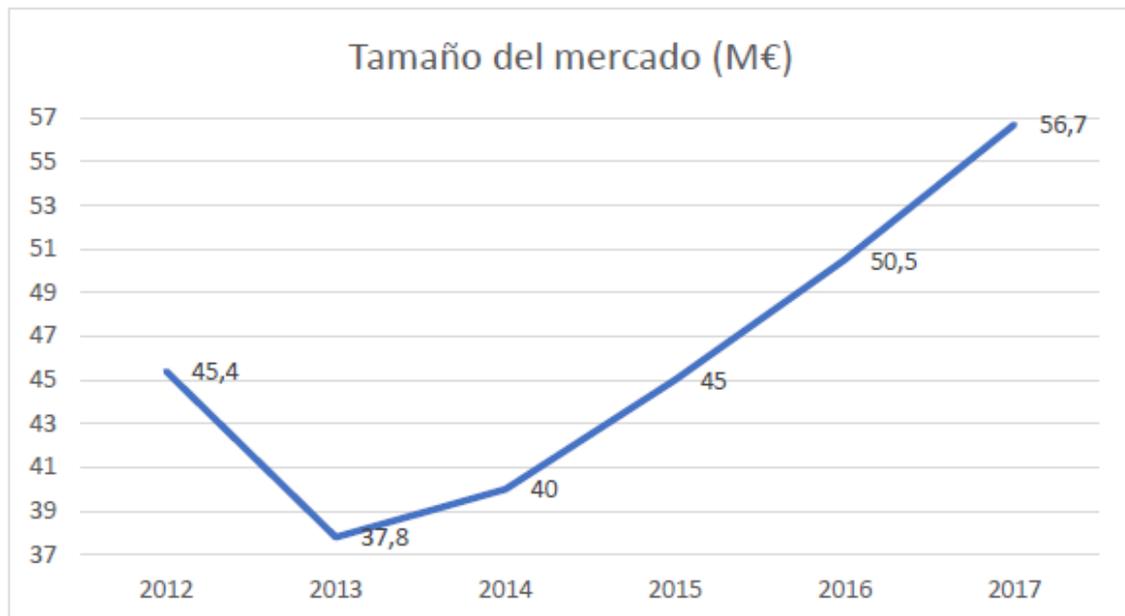


Ilustración 2: Facturación de los fabricantes de sistemas de control y automatización. Años 2012-2017 (datos en M€) (Fuente: CEDOM) [6] [7]

### 4.3. Dispositivos de un Sistema Domótico

Además de la infraestructura de cableado (en el caso de no ser inalámbrico) y de los equipos de interconexión (repetidores, concentradores, etc.), la instalación domótica requiere de diferentes dispositivos, básicamente relacionaremos a continuación los que por regla general están siempre presentes [7] [8]:

#### 4.3.1. Sensores

Los sensores también denominados captadores o detectores, son dispositivos diseñados para recibir información de las magnitudes exteriores de naturaleza física, química o biológica y transformarlas en otras magnitudes generalmente eléctricas. A través de estos dispositivos podemos obtener la información del estado de las variables colocadas en la vivienda. La calidad de un sensor viene determinada por su exactitud, fiabilidad, resistencia, sensibilidad y margen de error.

Existen diferentes tipos de sensores que se pueden agrupar en función de distintos criterios de clasificación:

- Según el principio de funcionamiento:

- **Activos:** Aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir en forma autónoma, sin requerir de fuente de alimentación.
- **Pasivos:** Aquellos que generan señales representativas de las magnitudes a medir por medio de una fuente auxiliar.
- **Según el tipo de señal eléctrica que generan:**
  - **Digitales:** Son sensores que frente a un estímulo cambian de estado de cero a uno o viceversa. No existen estados intermedios y los valores de tensión son (5 V, 0 V)
  - **Analógicos:** Son aquellos que emiten señales comprendida por un campo de valores instantáneos que varían con el tiempo, y son proporcionales a los valores que se miden.
  - **Temporales:** Aquellos que entregan señales variables en el tiempo.
- **Según el rango de valores que proporcionan:**
  - **Todo o Nada (On-Off):** Suministran una señal que tiene dos estados asociados al cierre y apertura de un contacto.
  - **De Medida:** Sensores que obtienen una salida proporcional a la señal de entrada.
  - **Discretos:** Presentan un número finito de salidas posibles, que corresponden con el estado de la variable a medir. Son sensores sencillos, baratos y muy habituales en las instalaciones domóticas.
  - **Integrados:** Sensores construidos en un mismo circuito integrado, monolítico o híbrido.
  - **Inteligentes:** Sensores que realizan cálculos numéricos, comunicación en red, auto calibración y autodiagnóstico, etc.
- **Según el tipo de variable física medida**
  - **Mecánicos**
  - **Eléctricos**
  - **Magnéticos**
  - **Térmicos**
  - **Acústicos**
  - **Químicos**
  - **Ópticos**
  - **Radiación**

#### 4.3.2. Actuadores

Los actuadores son dispositivos que al recibir una señal eléctrica realiza una función física sobre un medio exterior, por ejemplo, recibe una instrucción de un regulador o controlador y genera una instrucción para activar un motor, una válvula, etc. Por lo tanto, se puede decir que el funcionamiento de los actuadores es lo contrario a la de los sensores. Para cada tipo de carga existe un determinado tipo de actuador.

Hay diversos dispositivos que se pueden considerar como actuadores:

Los relés actúan como un interruptor controlado por un circuito eléctrico y son capaces de conmutar un circuito de salida de mayor potencia que el de entrada, permitiendo esto poder apagar o encender bombillas y otros equipos.

Los *dimmers* son dispositivos que regulan la potencia que llega a una carga, estos se utilizan para regular la intensidad de las bombillas, fluorescentes, etc.

Las electroválvulas se usan para regular la salida o entrada de fluido de líquidos y gases.

También existen los motores eléctricos, contadores, etc.

### 4.3.3. Controlador

Los controladores son aquellos encargados de procesar la información adquirida a partir de los sensores y enviar los resultados a los actuadores, es decir se ocupan de realizar la gestión en una instalación domótica.

Los diferentes tipos de dispositivos que se pueden considerar controladores son:

**Autómata programable:** Es la unidad de control de todo el sistema domótico, la encargada de la recepción de la información de las entradas de los diferentes sensores de la instalación, luego de procesarla envía señales de salida a los diversos actuadores, motores, alarmas, etc. Son dispositivos que tienen poca capacidad computacional, pero a pesar de eso pueden informar y recibir órdenes de sistemas superiores.

**Microcontroladores:** Son dispositivos fáciles de instalar y capaces de actuar sobre las luces, calefacción, persianas, etc.

Además del uso de estos tres dispositivos en la instalación debemos tener en cuenta también el uso de equipos de interconexión (repetidores, puentes, etc.) y de infraestructuras de cableado (en el caso de no ser dispositivos inalámbricos).

#### **4.3.4. Bus**

El bus es el medio de transmisión, el cual transporta la información entre diferentes dispositivos por un cable propio, por la red de otros sistemas o de forma inalámbrica.

#### **4.3.5. Interfaz**

Como interface hacemos referencia a los dispositivos (pantalla, móvil, internet) y los formatos (binario y audio) en el que se muestra la información del sistema para los usuarios y en el que los mismo pueden interactuar con el sistema.

#### **4.3.6. Arquitecturas del sistema**

Cuando hablamos de arquitectura nos referimos al lugar donde se sitúa la inteligencia del sistema domótico, es decir donde se realiza el control de la instalación. Existen diferentes tipos de arquitectura y cada una de ellas tiene sus ventajas y desventajas. A la hora de decidirse por uno u otra, depende de las prestaciones del sistema o de los motivos económicos. Seguidamente les mostraremos los principales tipos de arquitecturas.

##### **4.3.6.1. Arquitectura Centralizada**

Es aquella en la que únicamente existe una unidad de control que es la encargada de la recepción de la información de cada sensor y procesarla según los criterios e intereses del usuario, seguidamente generar las ordenes que son enviadas a los diversos actuadores distribuidos por el hogar (Ver Ilustración 3). La unidad de control es el dispositivo fundamental, ya que de él depende todo el sistema para su funcionamiento.

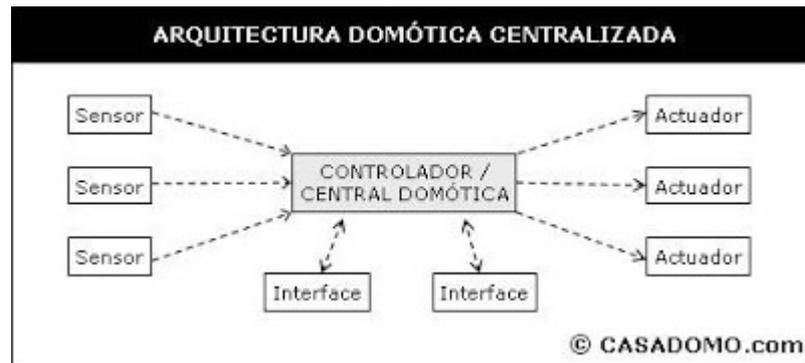


Ilustración 3: Arquitectura centralizada [9]

#### 4.3.6.2. Arquitectura Descentralizada

Es aquella en la que hay diferentes unidades de control interconectados por un bus, se envían información entre ellos y a los actuadores e interfaces conectados correspondientes a cada uno, según la información, programa o configuración que reciban de los sensores, sistemas interconectados y usuarios. A continuación, tenemos en la Ilustración 4 el esquema de esta arquitectura.

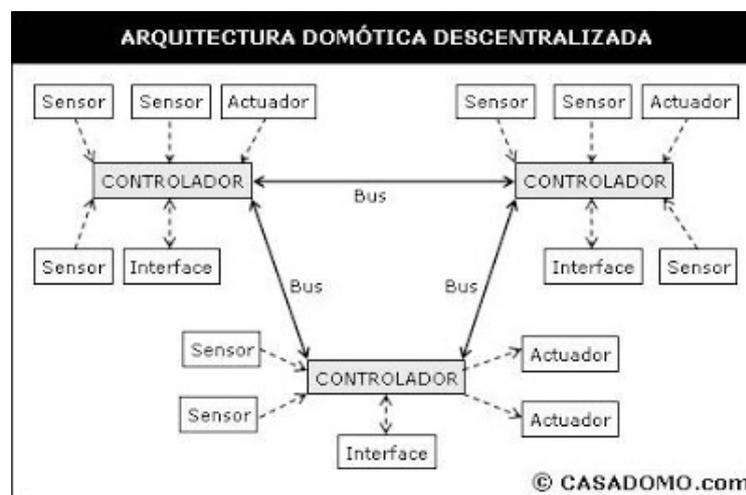


Ilustración 4: Arquitectura descentralizada [9]

#### 4.3.6.3. Arquitectura Distribuida

Es aquella en la que no existe ninguna unidad de control, sino que cada sensor o actuador disponen de inteligencia incorporada, es decir que actúan también como controladores y por lo tanto son capaces de actuar y enviar información al sistema. En este caso si algún elemento del sistema fallara, el resto seguiría funcionando correctamente. En la Ilustración 5 podemos ver el esquema de este tipo de arquitectura.

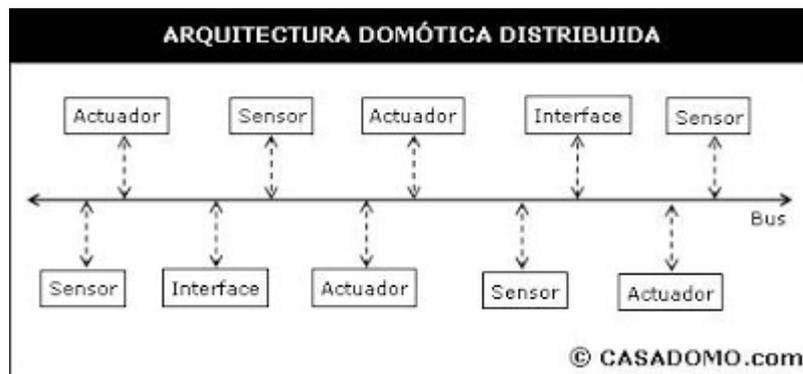


Ilustración 5: Arquitectura distribuida [9]

#### 4.3.6.4. Arquitectura Híbrida / Mixta

Esta arquitectura es una combinación entre la centralizada, descentralizada y la distribuida. A la vez que puede disponer de un controlador central o varios controladores descentralizados, los dispositivos del sistema (sensor, actuador e interfaz) también pueden ser controladores, como pasa en un sistema distribuido. En la Ilustración 6 podemos apreciar el esquema de esta arquitectura.

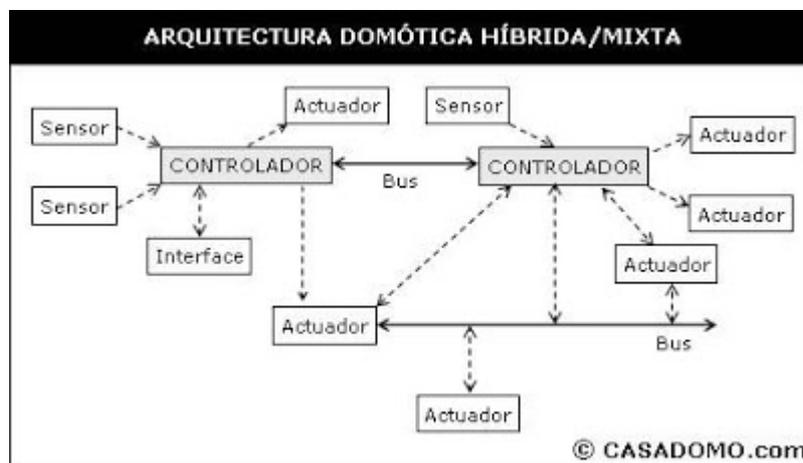


Ilustración 6: Arquitectura híbrida / mixta [9]

## 5. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

El análisis de alternativas de un proyecto permite identificar las distintas alternativas del proyecto técnicamente viables.

A continuación, se realiza un resumen de las alternativas propuestas por otras empresas del sector domótico:

- **Nest Learning Thermostat de 3<sup>o</sup> generación:**

Se trata de un termostato inteligente que funciona con la tecnología *OpenTherm* y es compatible con la mayoría de sistemas de calefacción actuales.

Su principal función es controlar la calefacción de una vivienda, pero de una forma inteligente, es decir, se adapta a los horarios y rutinas del usuario. Además, permite controlarlo de forma remota ya que está conectado a internet. Para ello, cuenta con una aplicación muy completa.

Precio: 250 €

- **Sistema *Free@home* de ABB:**

Las principales características de este sistema son:

- **Control de iluminación:** capaz de realizar las funciones de encendido/apagado y regulación de la luz.
- **Control de persianas:** control y monitorización de cortinas, persianas y toldos.
- **Calefacción y aire acondicionado:** calefacción que se adapta a unas necesidades específicas dependiendo de uso diario.
- **Control a distancia con su aplicación *myABB LivingSpace***

Precio: a pesar de que no lo especifica en su página oficial, comparando sus características con otros productos similares, se ha estimado un precio final de 500 €

Existen más alternativas diferentes a las anteriormente expuestas. Sin embargo, las características son muy similares a las dos alternativas. A continuación, se expondrán las razones por las que el proyecto realizado en el este documento es superior a esas alternativas.

Con respecto a la primera alternativa, la desventaja principal es que sólo tiene una función: controlar la temperatura. En el caso de que

se precise de alguna función extra, como por ejemplo escuchar la radio, el producto no puede ofrecer este servicio. Se tendría que fabricar un nuevo modelo que incluya la radio. En cambio, con el proyecto *Domus* este problema no ocurriría ya que, al ser un sistema modular, permite la integración de nuevos módulos sin tener que desechar los anteriores.

Con respecto a la segunda alternativa, aunque a priori tiene mejores prestaciones que el sistema *Domus*, el principal problema de esa alternativa es el elevado precio. El proyecto *Domus* fue diseñado con la idea de que fuera económico para que los usuarios disfruten de un sistema domótico de calidad a un precio asequible.

Por todo esto, se quiere demostrar que se dispone de la oportunidad en el mercado como para que el proyecto sea rentable.

## 6. ANÁLISIS DE RIESGOS

En todo proyecto existen ciertos riesgos que se deben tener en cuenta. De mayor o menor medida, es fundamental identificarlos y tenerlos controlados para saber gestionarlos adecuadamente.

El objetivo de un análisis de riesgos consiste en identificar y evaluar los posibles eventos que impactan de forma negativa en el desarrollo del proyecto. Esto resulta de especial interés porque permite estudiar las causas y las consecuencias directas e indirectas de circunstancias que pueden reducir significativamente el éxito y futuro del proyecto.

Para realizar el análisis de riesgos del proyecto llevado a cabo en esta memoria, se seguirán los siguientes procesos:

- Identificación de los riesgos
- Planificación de la respuesta a los riesgos

### 6.1. Identificación de los riesgos

- A) Costo inicial elevado: el precio de la instalación domótica suele ser elevada. La inversión inicial que se debe hacer es muy importante, pues hay que cablear la vivienda.
- B) Mantenimiento: En el caso de que se produzca algún tipo de avería, la reparación del sistema puede llegar a ser muy complejo.
- C) Competencia: es un riesgo el hecho de que surjan nuevas empresas del sector que sean una competencia.
- D) Seguridad: un sistema domótico conectado a la red es vulnerable a posibles ataques informáticos. Las nuevas tecnologías IoT (*Internet of Things*) permite a cualquier dispositivo conectarse a internet, lo cual posibilita sufrir ciberataques.

### 6.2. Planificación de la respuesta a los riesgos

- A) Costo inicial elevado:  
Para hacer frente a este riesgo se ha tenido en cuenta al inicio del proyecto la selección de componentes del módulo de modo que el precio final del producto e instalación del sistema no sea tan elevado.
- B) Mantenimiento:  
En cuanto al mantenimiento, el sistema *Domus* se caracteriza por ser modular. Gracias a esto, permite un mantenimiento

sencillo. Si se percibe un mal funcionamiento de algún servicio en concreto, por ejemplo, el altavoz, bastará únicamente con reparar el Módulo de Audio o, si la avería es irreparable, reemplazar el módulo.

**C) Competencia:**

Desde el comienzo del proyecto, se han definido unos objetivos concretos, tales como que el sistema debe ser económico, sencillo y funcional. Es por ello que se intenta conseguir un producto con una buena relación calidad-precio.

**D) Seguridad:**

Hay que mencionar que se trata del primer prototipo del sistema *Domus*, es decir, se seguirán pensando nuevos diseños que aporten nuevos servicios al sistema. Como se comentará más adelante en el apartado de Perspectivas Futuras, el módulo *Wi-Fi* es una interesante propuesta de mejora. De esta forma, se permite al sistema *Domus* acceder a internet de forma inalámbrica.

Sin embargo, este hecho trae consigo unos riesgos de los que ya se ha hablado anteriormente. En consecuencia, para solucionar este problema, se debe prestar mucha atención a la comunicación con la red y estudiar protocolos de seguridad que hagan frente a posibles ciberataques.

## **7. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA**

### **7.1. Planteamiento del problema**

Con el nacimiento del mercado de los sistemas domóticos se han establecido diferentes empresas que brindan los siguientes servicios: ahorro energético, accesibilidad, seguridad, confort, comunicaciones, entre otras [8]. Actualmente el constante avance de la tecnología, impulsado por la sociedad de consumo y la globalización, ha permitido el desarrollo de sistemas que faciliten las tareas de seguridad y de confort dentro del hogar, una empresa o simplemente una ubicación particular. Adicionalmente, la inseguridad con la que se vive actualmente motiva a que se implementen cada vez más sistemas que permitan por ejemplo la garantía de la seguridad a los bienes que constituye la vivienda.

Los sistemas domóticos que actualmente se encuentran en el mercado, no tienen la capacidad de ser ampliados hacia nuevas aplicaciones, lo que limita el atractivo del producto hacia un usuario que requiera un sistema domótico robusto en el cual se necesiten distintos tipos de aplicaciones. También, algunos sistemas domóticos en el mercado, resultan ser limitados debido a que poseen un alcance de comunicación corto y no cuentan necesariamente con un sistema de seguridad propio que lo proteja de ciberataque o manipulación malintencionada. Adicionalmente, estos sistemas no ofrecen grandes garantías y si grandes costos.

### **7.2. Descripción de la solución**

La solución que se propone al problema descrito en el anterior apartado consiste en diseñar e implementar un sistema domótico modular que permita el monitoreo de diferentes sensores/actuadores, permitiendo así la expansión hacia nuevas aplicaciones. Además, la comunicación entre sus módulos debe ser coherente. El producto final debe ser accesible a todo usuario.

El primer módulo que se desarrollará estará compuesto por los siguientes submódulos:

- **Módulo de Control (o de Reloj):** es el que permite la visualización de parámetros básicos (hora y temperatura) y la interacción por parte del usuario con el sistema. Además, el módulo deberá cumplir con una comunicación coherente

con el resto del sistema domótico por medio de una comunicación serie apropiada.

- **Módulo de Alimentación:** es el encargado de proporcionar la alimentación necesaria a todos los componentes del sistema.
- **Módulo de Audio:** es el encargado de proporcionar al sistema final la capacidad de reproducir sonido.

Para el segundo módulo del sistema, se ha pensado implementar un Módulo de Radio. Este módulo se compone de un Módulo de Alimentación y un Módulo de Audio.

A su vez, ambos módulos se comunicarán a través de una comunicación serie RS-485 coherente.

Para ofrecer al usuario un producto final económico, se ha decidido utilizar componentes de bajo coste que cumplan con las especificaciones requeridas por el sistema. Por ello, se ha utilizar como microcontrolador principal el PIC16F887.

El PIC16F887 es un microcontrolador de 8 bits que sigue una arquitectura Harvard, es decir, la memoria de datos y la memoria de instrucciones están separadas. A continuación, se muestran las principales características de este microcontrolador:

<b>Microcontrolador</b>	<b>PIC16F887</b>
<b>Anchura de bus</b>	<b>8 bits</b>
<b>Voltaje de operación</b>	<b>5 V</b>
<b>Número de I/Os digitales</b>	<b>35</b>
<b>Número de entradas analógicas</b>	<b>14</b>
<b>Memoria Flash</b>	<b>8192 words</b>
<b>SRAM</b>	<b>368 B</b>
<b>EEPROM</b>	<b>256 B</b>
<b>Frecuencia del reloj</b>	<b>4 MHz</b>

**Tabla 1: Especificaciones técnicas del PIC16F887 [10]**

Como se ha dicho al principio de la memoria, en este documento se detalla únicamente el desarrollo del Módulo de Control, el cual se ha llevado a cabo en dos fases: el diseño *hardware* y el diseño *software*.

En ambos diseños se ha hecho uso de la herramienta libre KiCad (Ver ANEXO III: Descripción de las Herramientas *Software*).

## **7.2.1. Diseño Hardware**

**El diseño hardware se divide en 3 partes: el diseño del esquemático, el diseño de la PCB y montaje final de la placa.**

### **7.2.2. Diseño del esquemático**

**Los componentes requeridos, además del microcontrolador, para este diseño son los siguientes:**

- **Sensor de temperatura analógico.** Es el encargado de medir la temperatura de la habitación. Al ser analógico, necesitará un circuito que proporcione al microcontrolador una tensión de referencia para la conversión analógica-digital.
- **Display de 4 dígitos LED de 7 segmentos.** Se utilizarán para visualización de la hora y temperatura.
- **MAX7219.** Se trata de un driver de comunicación serie para displays LED de cátodo común.
- **Pulsadores.** A través de ellos, el usuario puede interactuar con el sistema.
- **LEDs de propósito general.** Se pueden utilizar, por ejemplo, para indicar el estado de la calefacción de la vivienda.
- **Emisor y Receptor de infrarrojos (IR).** Con estos dispositivos se podría interactuar con el sistema de forma remota y también controlar algún dispositivo como un televisor.
- **Conector ICSP.** A través de este conector se puede programar el PIC16.
- **Conector de Alimentación y comunicación.** Mediante este conector el Módulo de Control recibe la alimentación requerida y también se comunica con los demás módulos.
- **Conector de control de volumen.** Gracias a este conector, se puede controlar el volumen del altavoz presente en el Módulo de Audio.

**Una vez decidido qué componentes hacen falta, ahora se puede diseñar el esquemático del circuito ( Ver ANEXO I: Esquemático del circuito). A continuación, se ven los distintos bloques del circuito:**

#### **a. Microcontrolador**

**Como se ve en la siguiente imagen, el microcontrolador necesita un reloj de 4 MHz. En este caso es proporcionado por un cristal.**

Por otro lado, se ha decidido utilizar como *reset* del circuito un conector que en realidad está compuesto por 2 *pads* a los que se soldará manualmente unos cables. Lo normal habría sido conectar el *reset* a un pulsador, pero se ha optado por esta opción dado el poco espacio del que se disponía.

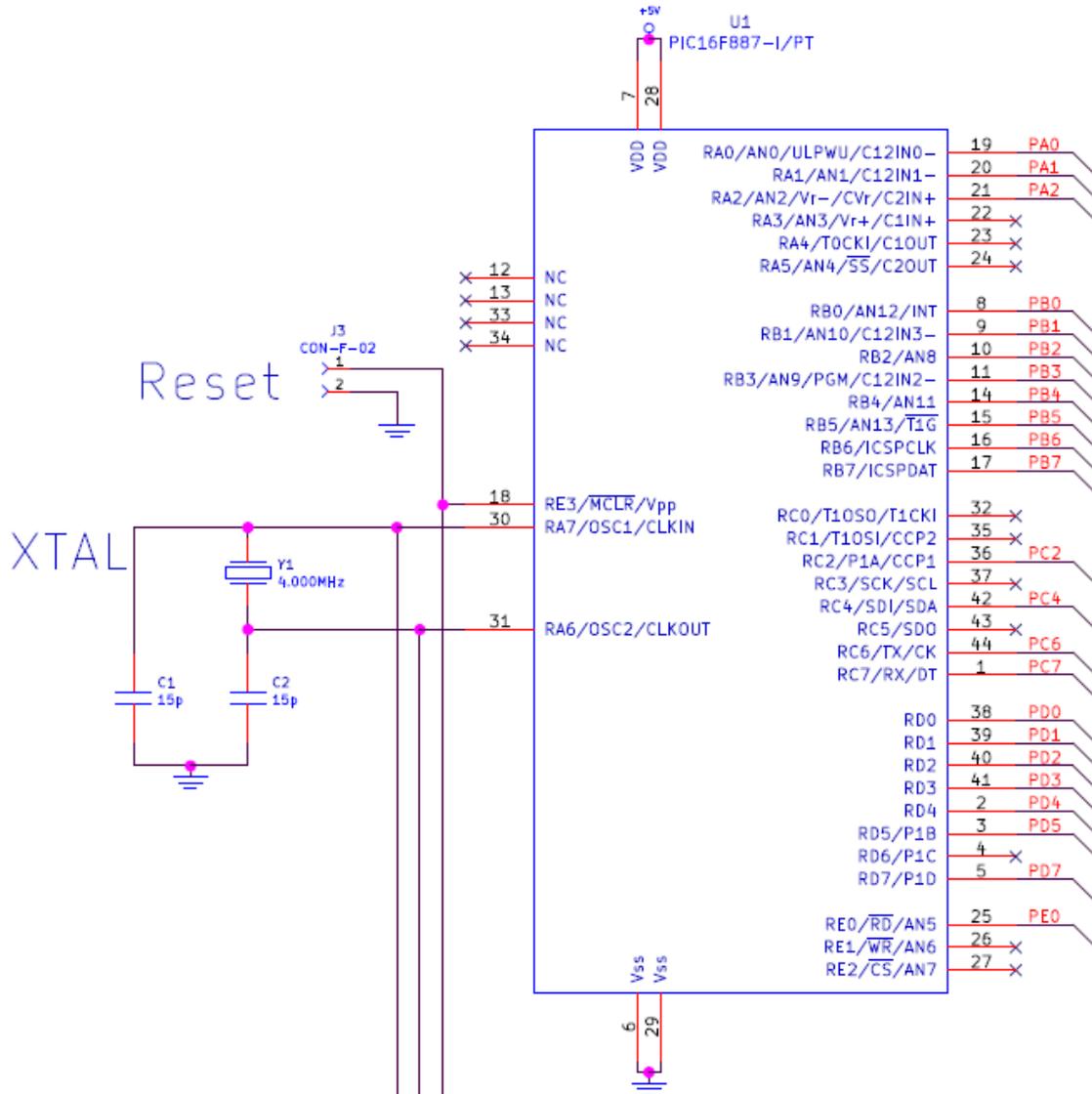


Ilustración 7: Conexiones del PIC16F887

## b. Teclado

Los 4 pulsadores que realizan la función de teclado de interacción del usuario con el sistema.

Se ha decidido utilizar el puerto B del PIC ya que éste puerto trae internamente resistencias de *pull-up*. De esta forma, se ahorra en componentes. Las teclas se dispondrán del siguiente modo:

Puerto	Nombre	Función	Descripción
PB0	→	Up	Sube volumen. Sube Canal. Desplaza a la izquierda
PB1	←	Down	Baja Volumen. Baja Canal. Desplaza a la derecha
PB2	E	Enter	Acepta la operación
PB3	C	Cancel	Cancela la operación

Tabla 2: Función de las teclas

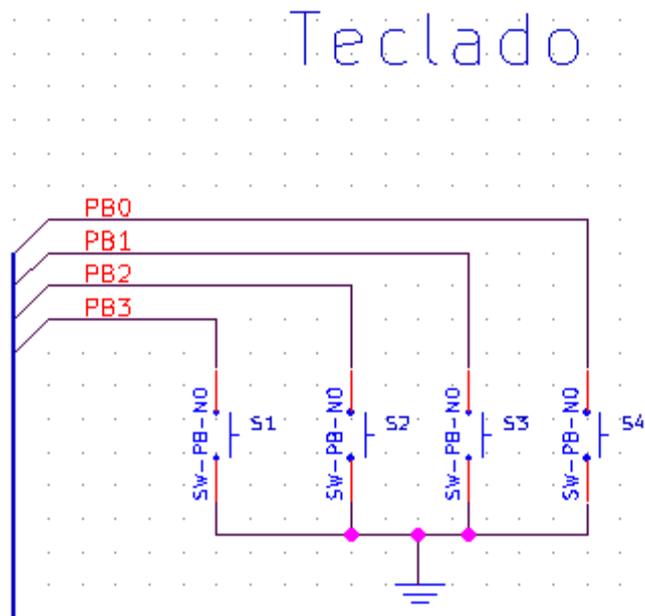


Ilustración 8: Teclado

### c. LEDs

En este caso, no se ha elegido el puerto por ningún motivo en especial, simplemente se han conectado a unos puertos GPIO. Siempre con unas resistencias para limitar la corriente y no quemar los LEDs.

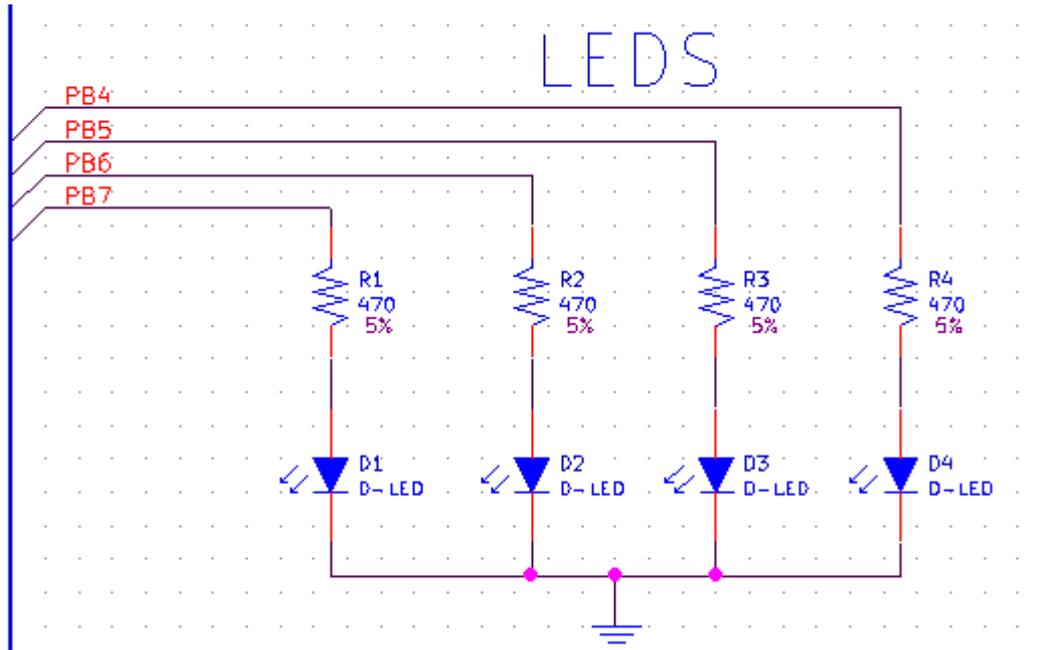


Ilustración 9: LEDs de propósito general

#### d. Conector ICSP

Para el conector ICSP se utilizan conectores de tipo *pin header*. El dispositivo programador se llama PicKit3 y a través de él se pueden cargar los programas en el módulo.

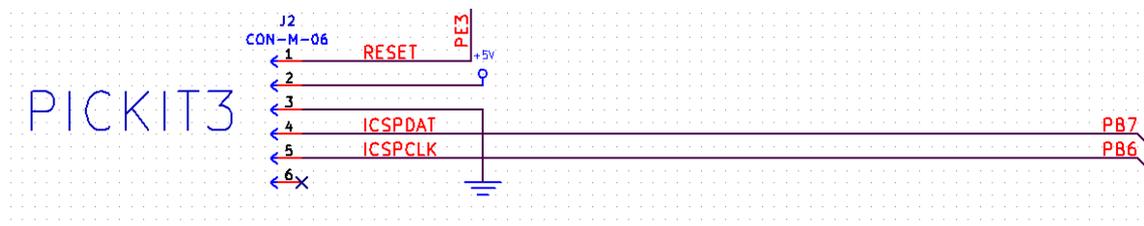


Ilustración 10: Conector ICSP

Sin embargo, estos programadores no suelen ser baratos, por lo que no sale rentable comprar un programador para un módulo.

Otra forma de grabar la memoria de programa de los microcontroladores PIC es a través de un grabador interno o *Bootloader*. Para este proyecto, utilizará el programa cargador KudeaPIC [11].

#### e. Display LED y MAX7219





Ilustración 13: Conexión del display LED

### f. Sensor de temperatura.

El sensor de temperatura elegido es el LM35DZ. Se trata de un sensor analógico. Por ello, es necesario meter el dato en el ADC del propio PIC para que realice la conversión. Sin embargo, para garantizar una conversión precisa, es necesario utilizar un circuito que proporcione al PIC una tensión de referencia estable.

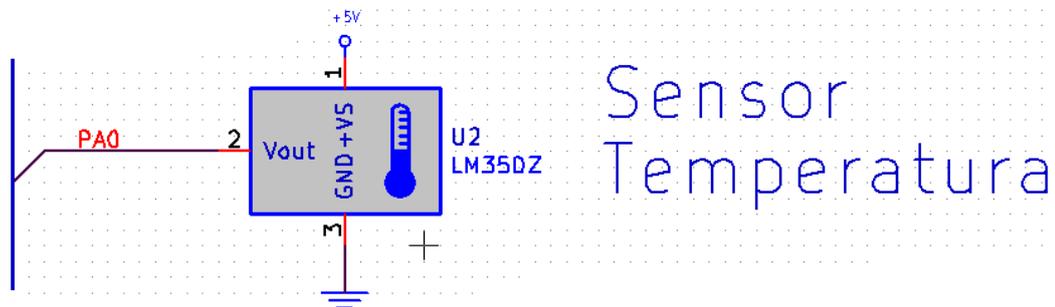


Ilustración 14: Conexión del sensor de temperatura

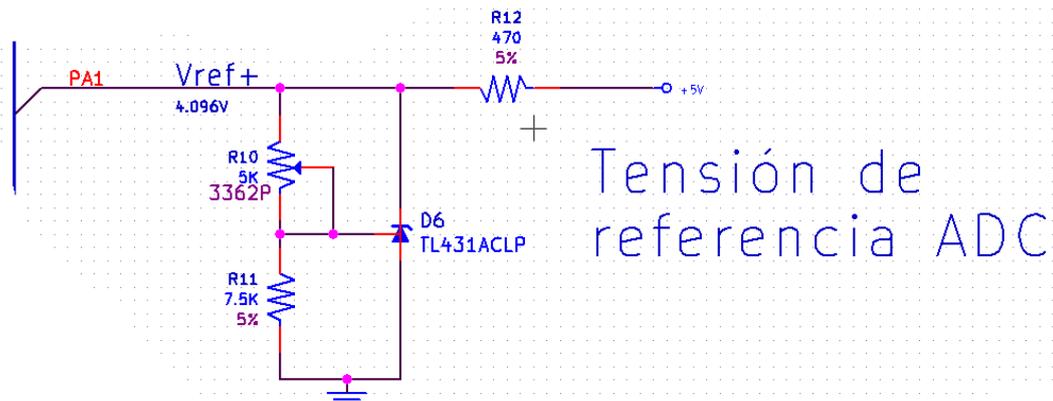


Ilustración 15: Conexión del circuito de Tensión de referencia del ADC

### g. Conector de control de audio

Puerto	Función
PD0	Señal de pitido de tecla
PD1	Relé
PD2	Control de volumen [0]
PD3	Control de volumen [1]
PD4	Control de volumen [2]

Tabla 3: Función de los puerto del conector de audio

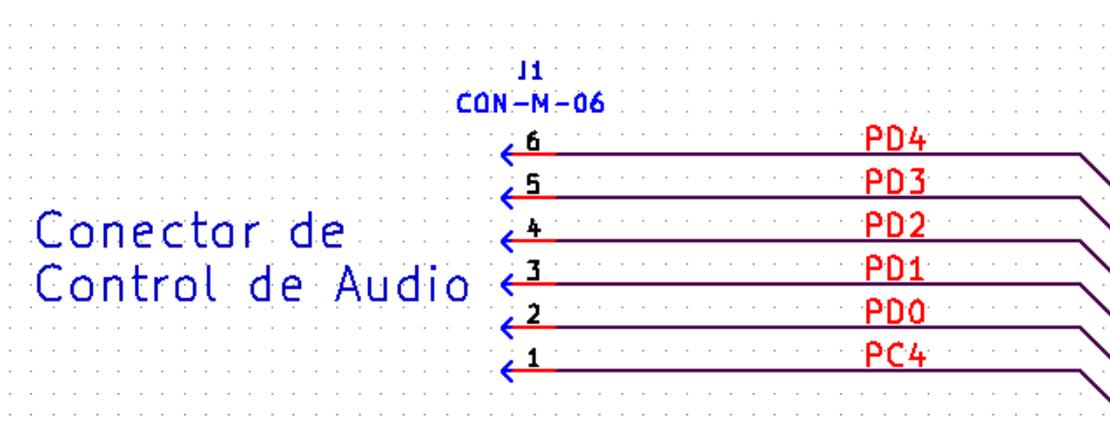


Ilustración 16: Conexión del conector de audio

### h. Conector de alimentación y comunicaciones

Todo el módulo de Control se alimenta a través de este conector. Además, la comunicación serie RS-485 se realiza a través de los siguientes pines:

Puerto	Pin Comunicación	Función
PE0	CS	Habilita TX o RX
PC7	RX	Recepción de datos
PC6	TX	Transmisión de datos

Tabla 4: Conexionado de la comunicación serie RS-485

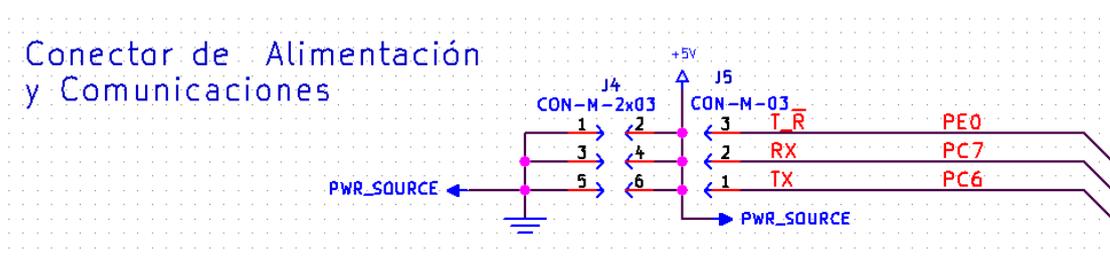


Ilustración 17: Conexión del conector de alimentación y comunicaciones

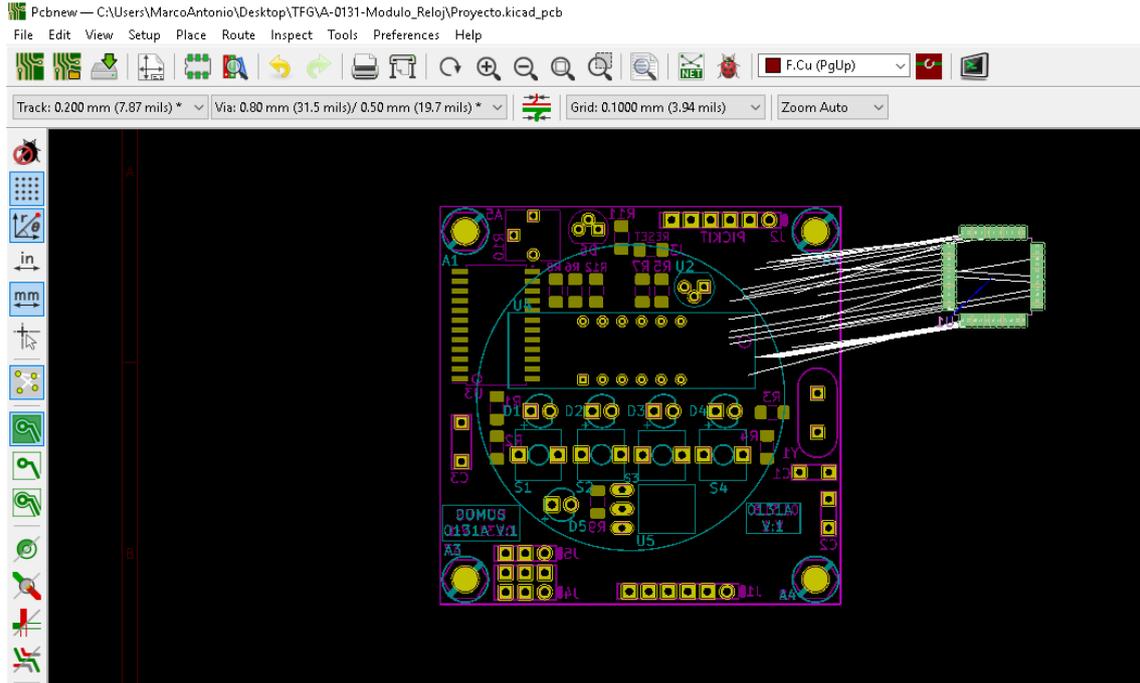
### 7.2.3. Diseño de la PCB

El objetivo final del diseño PCB es obtener los ficheros de fabricación de la placa para mandarla a fabricar. En cuanto a las capas de circuito impreso, para ahorrar costes y teniendo en cuenta que se trata de una placa sencilla, se decide fabricar a doble capa el Módulo de Control.

Lo primero que se debe tener en cuenta para el diseño de la PCB del proyecto son las dimensiones de la placa. La placa debe ser integrada en una caja estándar de accionamientos eléctricos. Por ello, se calculan unas dimensiones de la placa de 52x52 mm.

Una vez definida las dimensiones, el siguiente paso de este diseño es el emplazamiento de componentes, es decir, posicionar los componentes en la placa para su posterior rutado. Durante este paso hay que prestar atención a la elección de componentes que deben ir en la cara *Top* o en la cara *Bottom* de la placa. En el caso del Módulo de control, los componentes que obligatoriamente deben ir en la cara *Top* son: el *display*, los LEDs, las teclas, el sensor de temperatura, el transmisor y receptor de infrarrojos.

Es necesario mencionar que, al tratarse de componentes especialmente comunes, el diseño de *footprints* no ha sido necesario en la gran mayoría de componentes. Aun así, ha sido necesario la creación de *footprints* siguiendo las dimensiones que proporciona el fabricante en su hoja de especificaciones.



**Ilustración 18: Captura del emplazamiento de componentes**

Una vez decidido el emplazamiento, ahora se puede empezar a rutar la placa. Para ello, antes se deben definir el grosor de las pistas. Para este proyecto se ha decidido utilizar pistas más anchas para las de alimentación: VCC y GND. Éstas serán de 0.5 mm, mientras que las demás pistas serán, por defecto, de 0.2 mm:

	Clearance	Track Width	Via Dia	Via Drill	μVia Dia	μVia Drill	Diff Pair Width	Diff Pair Gap
<b>Default</b>	0.2	0.2	0.8	0.5	0.8	0.5	0.2	0.25
<b>Alimentación</b>	0.2	0.5	0.8	0.5	0.8	0.5	0.2	0.25

**Ilustración 19: Dimensiones de pistas y vías según la red asignada**

**El resultado final del rutado de la placa se ve a continuación:**

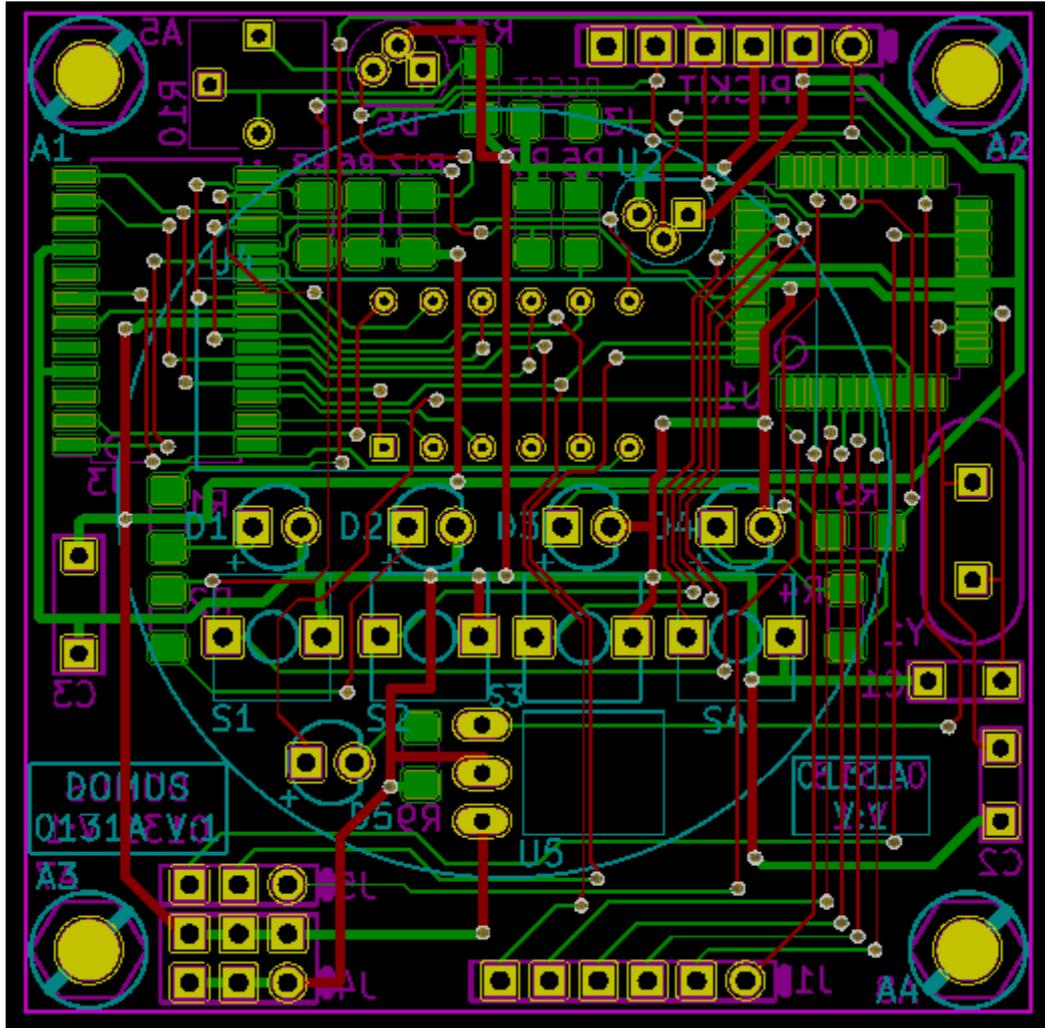


Ilustración 20: Resultado del rutado del circuito

Una vez terminado el rutado de la placa, ahora se debe comprobar verificar los posibles errores de físicos o eléctricos con la herramienta DRC (*Design Rule Checking*) que proporciona KiCad. Además, otra forma de comprobar posibles errores de rutado,

Finalmente, si no se han detectado errores en el DRC, ya se puede empezar a generar los gerbers o ficheros de fabricación del circuito. Para ello, se crearán los siguientes gerbers:

PCB NAME	A-0131-1
LAYERS	2
COMPONENT SIDE LAYOUT	A-0131-1-F.Cu.gtl
SOLDER SIDE LAYOUT	A-0131-1-B.Cu.gbl
COMPONENT SIDE SOLDERSTOP	A-0131-1-F.Mask.gts

SOLDER SIDE SOLDERSTOP	A-0131-1-B.Mask.gbs
COMPONENT SIDE MARKING-PRINT	A-0131-1-B.SilkS.gbo
SOLDER SIDE MARKING-PRINT	A-0131-1-F.SilkS.gto
DRILL PLACEMENT MAP	A-0131-1-drl_map.gbr
DRILL PLACEMENT PLATED (EXCELLON)	A-0131-1.drl
DRILL PLACEMENT NON-PLATED (EXCELLON)	A-0131-1-NPTH.drl
EXTERNAL CUTTING	A-0131-1-Margin.gbr

Tabla 5: Ficheros *gerbers* del circuito

Antes de mandar a fabricar es interesante visualizar los *gerbers* recientemente creados. La razón es para verificar el diseño en general. Con la visualización se pueden observar más claramente los posibles errores de rutado. Además, si se imprime a escala 1, se pueden comprobar las medidas de las *footprints* creadas. (Ver ANEXO II: Visualización de los ficheros de fabricación)

A continuación, se muestra el BoM detallado. Además, se ha añadido los precios estimados de los componentes, así como el precio total.

Componente	Cantidad	Descripción	Coste Unitario (€)	Coste (€)
R10	1	Potenciómetro Trimming 3362P 5K $\pm$ 10%, 250mW	1,21	1,21
U4	1	LED Display 4 digits	0,89	0,89
D2,D1,D3,D4	4	diodo LED de 3mm, TH	0,03	0,12
C1,C2	2	Condensador cerámico 15pF, 50V, TH	0,07	0,14
C3	1	Condensador cerámico multicapa 0.1uF, 50V, TH	0,08	0,08
J2,J1	2	Conector placa a placa 1x6pines, 2.54mm, TH	0,04	0,08
Y1	1	Cristal 4MHz, TH	0,44	0,44
D5	1	Diodo LED infrarrojos de 5mm	0,26	0,26
D6	1	Zener ajustable de precisión 2.5-36 TL431ACLP	0,42	0,42

U2	1	Sensor de temperatura analógico LM35DZ	1,59	1,59
S1,S2,S3,S4	4	Pulsador 6x6mm de 2 pines, TH	0,03	0,12
A1,A2,A3,A4	4	Tornillo 3mm	0,45	1,8
A5,A6,A7,A8	4	Separadores	0,6	2,4
J4	1	Conector placa a placa 2x3pines, 2.54mm, TH	0,04	0,04
J5	1	Conector placa a placa 1x3pines, 2.54mm, TH	0,03	0,03
R1,R2,R3,R4,R9,R12	6	Resistencia 470ohm 5%, 125mW,SMD 1206	0,05	0,3
R5,R6,R7,R8	4	Resistencia 10Kohm 5%, 125mW,SMD 1206	0,05	0,2
R11	1	Resistencia 7.5Kohm 5%, 125mW,SMD 1206	0,05	0,05
U1	1	Microcontrolador PIC16F887, TQFP-44	1,98	1,98
U5	1	Módulo receptor de infrarrojos HX-1838HS	0,5	0,5
U3	1	Driver display LED MAX7219, SOIC-24	9,06	9,06
J3	1	Reset de prueba		
			<b>TOTAL</b>	<b>21,71</b>

Tabla 6: BoM detallado

### 7.2.3.1. Montaje final de la placa

Para el montaje y soldadura de la placa se ha hecho uso de los conocimientos adquiridos durante el Grado. Aun así, se puso especial cuidado con las soldaduras de componentes con empaquetado SMD, ya que el hecho de que sean de tamaño reducido dificulta su soldadura. Para esos componentes ha sido imprescindible el uso del microscopio y de una estación de soldadura profesional. El resultado final de placa ha sido así:

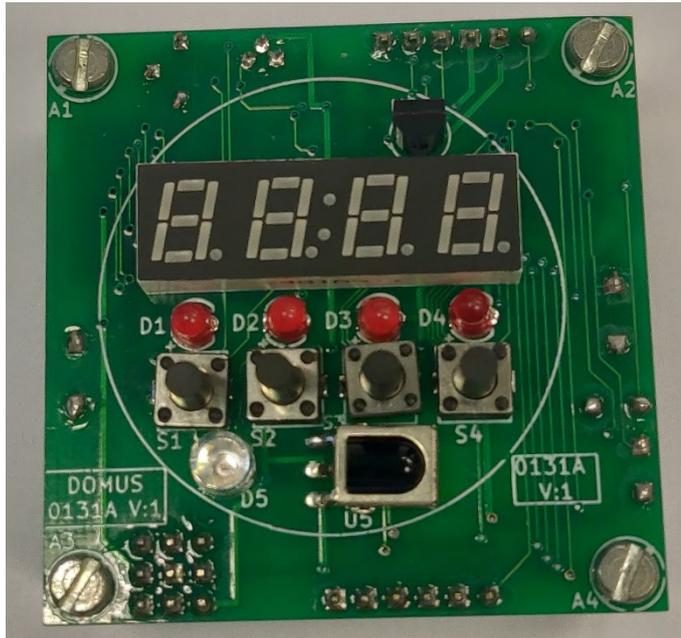


Ilustración 21: Módulo de Control (Top)

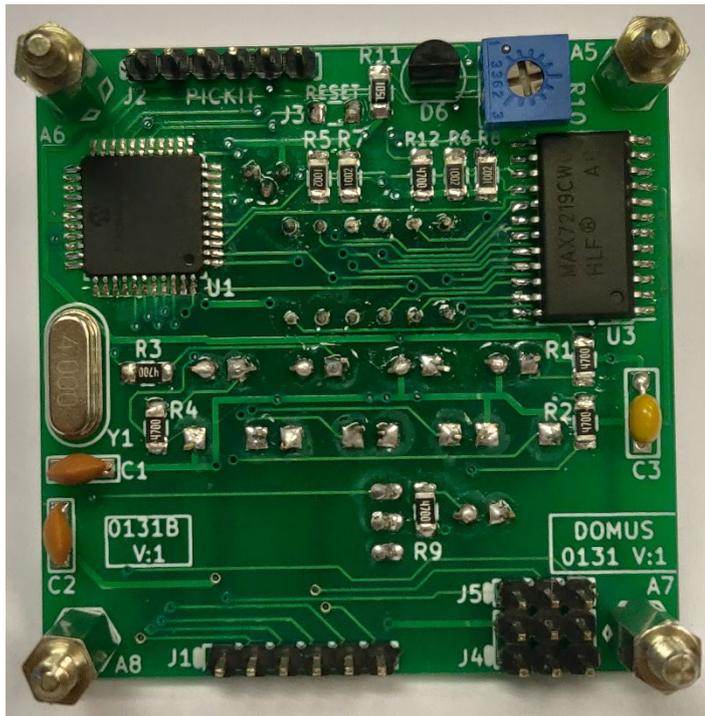


Ilustración 22: Módulo de Control (Bottom)

## 7.2.4. Diseño software

Para el diseño software se ha utilizado la herramienta MPLAB IDE (Ver ANEXO III: Descripción de las Herramientas Software).

La programación empleada en este proyecto es una programación estructurada o modular, es decir, se divide un programa en varias rutinas y subrutinas. De esta forma, el desarrollo es más rápido, la depuración del programa es más fácil y permite la distribución del trabajo entre personas que forma un grupo de trabajo [11].

El diagrama de estados que será implementado en el Módulo de Control es el siguiente:

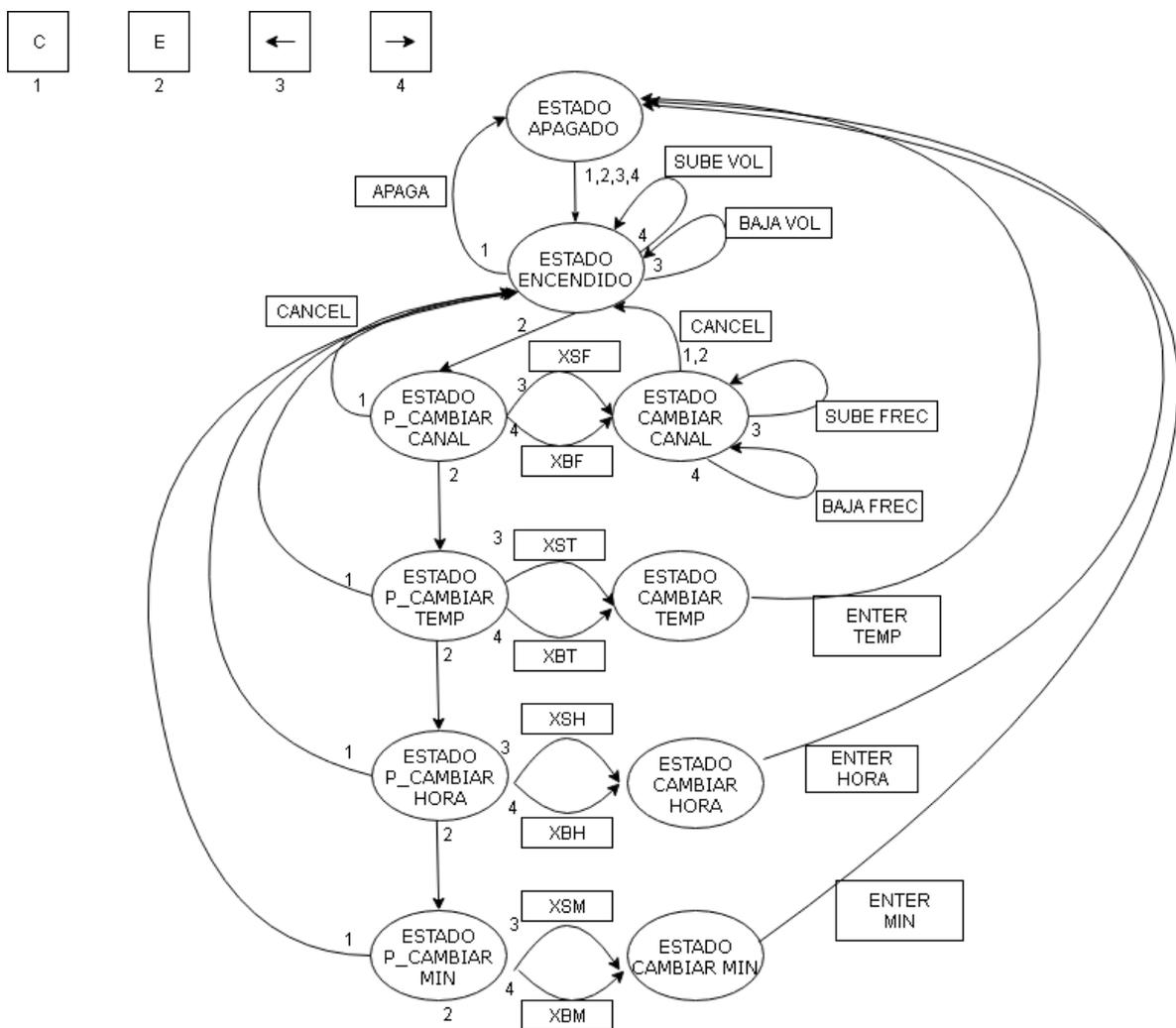


Ilustración 23: Diagrama de estados del Módulo de Control

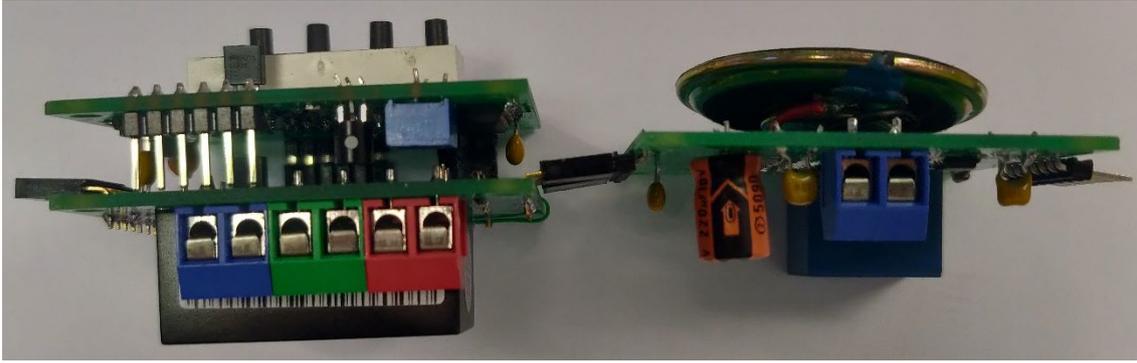
Ahora se explicará lo que representa cada estado:

- Estado Apagado:

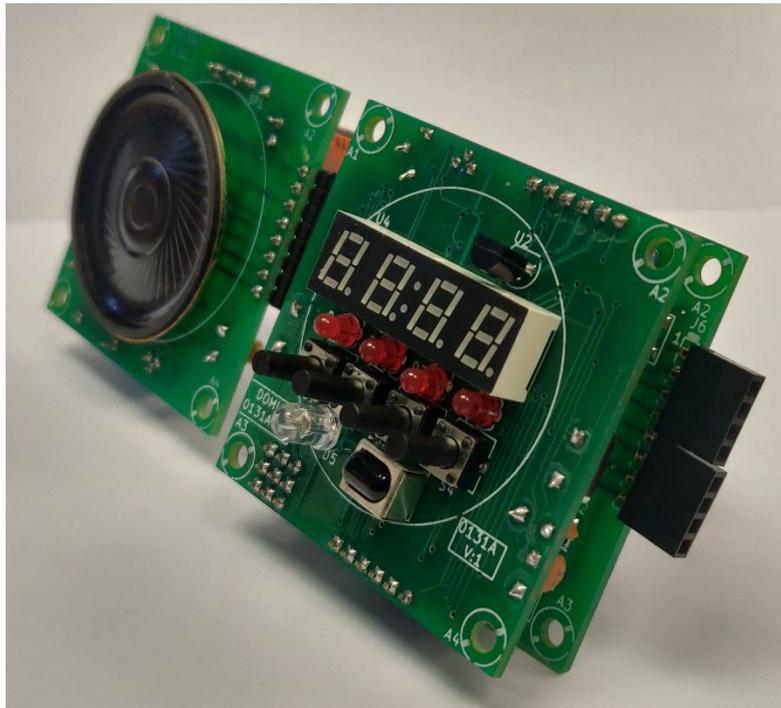
- **Se muestran el reloj y la temperatura alternadamente cada 5 segundos.**
- **El led 3 indica si la calefacción está encendida.**
  
- **Estado encendido:**
  - **Se muestran el reloj y la temperatura alternadamente cada 5 segundos.**
  - **El led 3 indica si la calefacción está encendida.**
  
- **Estado cambiar canal:**
  - **Se muestra el canal actual de la radio.**
  - **El led 0 está encendido.**
  - **El led 3 indica si la calefacción está encendida.**
  
- **Estado P\_cambia temperatura:**
  - **Se muestra la temperatura actual en el display.**
  - **El led 0 está encendido.**
  - **El led 3 indica si la calefacción está encendida.**
  
- **Estado cambia temperatura:**
  - **Se muestra la temperatura fijada.**
  - **El led 0 está encendido.**
  - **El led 3 indica si la calefacción está encendida.**
  
- **Estado cambia hora:**
  - **Se muestra la hora intermitente.**
  - **El led 0 está encendido.**
  - **El led 3 indica si la calefacción está encendida.**

**Es necesario mencionar que el diseño software todavía está en desarrollo. Sin embargo, al ya tener las placas electrónicas de todos los módulos montadas y soldadas, el desarrollo software se agilizará considerablemente.**

**Por último, se mostrarán los resultados hardware del módulo completo: Módulo de Control, Módulo de Alimentación y Módulo de Audio:**



**Ilustración 24: Módulo completo visto desde arriba**



**Ilustración 25: Módulo completo**

## PLANIFICACIÓN Y PRESUPUESTO

### 7.3. Planificación del proyecto

La planificación de un proyecto es fundamental para el buen desarrollo de éste. Cumplir con los plazos previstos, saber qué partes son críticas si no se terminan a tiempo y que relación guardan con el resto de actividades, garantizará el resultado exitoso del mismo.

Para seguir la planificación es necesario que los puntos estén definidos y que el desarrollador pueda consultarla de un vistazo y tener una idea concisa y clara. Para ello, se utiliza el diagrama de *Gantt*, el cual sitúa de forma secuencial las diferentes etapas del proyecto a lo largo de una línea temporal que representa el tiempo total para la consecución del proyecto.

Primeramente, veamos una tabla que resuma los hitos principales del proyecto, sus fechas de comienzo y fin y la duración de los mismos, para en la siguiente página, visualizar la planificación completa en el *Gantt*.

Tarea	Nombre	Fecha de inicio	Fecha de fin
	Análisis de la propuesta	5/02/19	7/02/19
	Definición de la líneas de trabajo	8/02/19	14/02/19
	Análisis de los requerimientos y componentes necesarios	15/02/19	22/02/19
	Cálculos de dimensiones	15/02/19	18/02/19
	Definición de componentes necesarios	19/02/19	22/02/19
	Diseño del esquemático	25/02/19	11/03/19
	Creación de símbolos	25/02/19	1/03/19
	Diseño del circuito	4/03/19	8/03/19
	Interconexión de componentes	5/03/19	11/03/19
	Diseño de la PCB	12/03/19	8/04/19
	Creación de footprints	12/03/19	18/03/19
	Emplazamiento	19/03/19	25/03/19
	Rutado del circuito	26/03/19	1/04/19
	Creación y revisión de gerbers	2/04/19	8/04/19
	Montaje de los componentes	9/04/19	24/04/19
	Corrección de errores	25/04/19	6/05/19
	Pruebas	7/05/19	11/07/19
	Pruebas de conectividad	7/05/19	16/05/19
	Desarrollo de software	17/05/19	2/07/19
	Pruebas de software	3/07/19	11/07/19
	Documentación	5/02/19	16/07/19

Tabla 7: Relación de tareas del proyecto

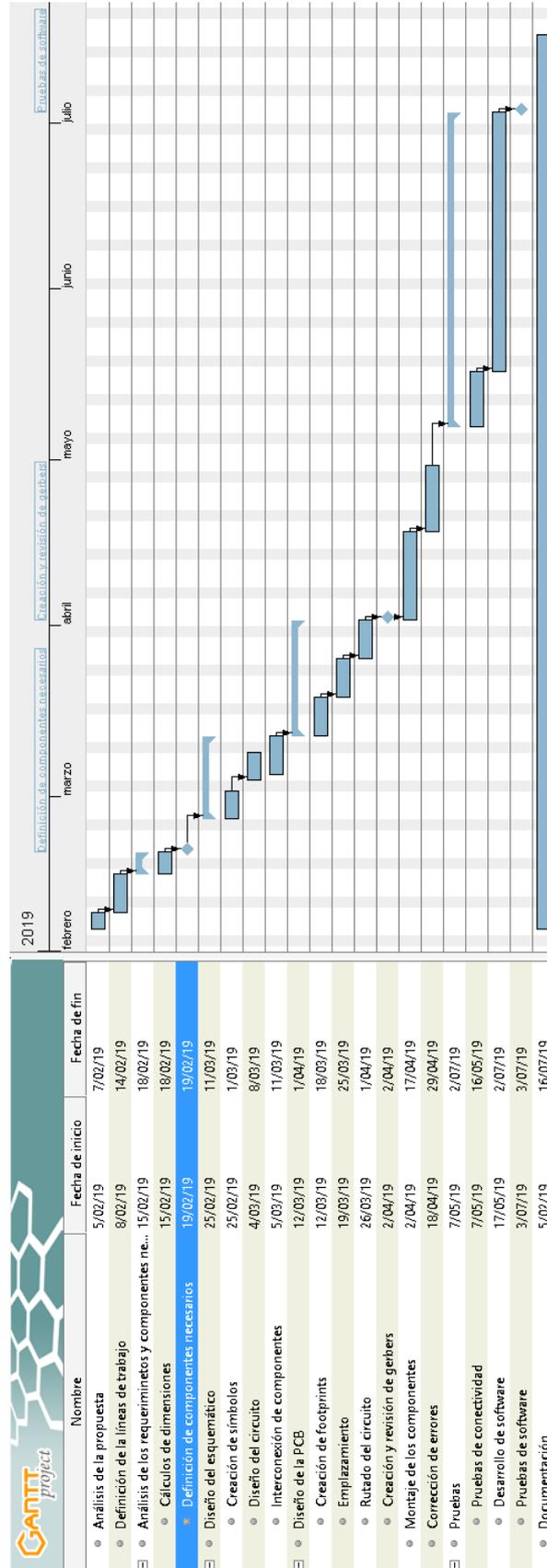


Ilustración 26: Diagrama de Gantt

## 7.4. Presupuesto

Para realizar el presupuesto del proyecto, se desglosan los tipos de costes: Horas internas, Amortizaciones, Fabricación y Componentes.

### 7.4.1. Horas Internas

En este apartado se muestran los costes estimados con respecto al equipo de trabajo de este proyecto. El equipo lo integran un Doctor ingeniero, director del presente proyecto, y un futuro ingeniero de telecomunicaciones. El director se ha hecho cargo del análisis y el estudio de la propuesta de este proyecto. Por otro lado, el diseño HW y SW ha sido trabajo del ingeniero, siempre supervisado por el director.

Es interesante mencionar que, en una empresa real, el equipo estaría formado por: un analista, un diseñador HW y un diseñador SW o programador, entre otros. Sin embargo, para este proyecto los anteriores papeles lo desempeñan tanto el Doctor ingeniero como el ingeniero técnico.

Trabajador	Coste horario (€/h)	Horas (h)	Coste (€)
Doctor Ingeniero	55	75	4.125
Ingeniero técnico	30	250	7.500
		<b>Total (€)</b>	<b>11.625</b>

Tabla 8: Coste total de las Horas Internas

### 7.4.2. Amortizaciones

En cuanto a las amortizaciones realizadas, la mayoría han sido llevadas a cabo por el grupo de investigación APERT del Departamento de Tecnología Electrónica. A continuación de desglosan las distintas amortizaciones del proyecto:

Amortizaciones	Coste de adquisición (€)	Vida útil (h)	Tiempo de uso (h)	Coste (€)
Ordenador Portátil	800,0	34.560	5040	116,67
Ordenador de mesa	750,0	34.560	1440	31,25
Estación de soldadura	550,0	25.000	36	0,79

licencia office	69,0	8.760	300	2,36
Microscopio	6.000,0	10.000	30	18,0
Impresora 3D	2.000,0	10.000	50	10,0
			<b>Total (€)</b>	<b>179,07</b>

Tabla 9: Coste total de la Amortizaciones

### 7.4.3. Componentes BoM

El BoM (Bill of Materials) es la lista completa de componentes necesarios para la fabricación de un circuito electrónico. Este fichero resulta de gran ayuda a la hora de gestionar la selección de componentes.

Componente	Cantidad	Descripción	Coste Unitario (€)	Coste (€)
R10	1	Potenciómetro <i>Trimming</i> 3362P 5K $\pm$ 10%, 250mW	1,21	1,21
U4	1	LED <i>Display</i> 4 dígitos	0,89	0,89
D2,D1,D3,D4	4	diodo LED de 3mm, TH	0,03	0,12
C1,C2	2	Condensador cerámico 15pF, 50V, TH	0,07	0,14
C3	1	Condensador cerámico multicapa 0.1uF, 50V, TH	0,08	0,08
J2,J1	2	Conector placa a placa 1x6pines, 2.54mm, TH	0,04	0,08
Y1	1	Cristal 4MHz, TH	0,44	0,44
D5	1	Diodo LED infrarrojos de 5mm	0,26	0,26
D6	1	Zener ajustable de precisión 2.5-36 TL431ACLP	0,42	0,42
U2	1	Sensor de temperatura analógico LM35DZ	1,59	1,59
S1,S2,S3,S4	4	Pulsador 6x6mm de 2 pines, TH	0,03	0,12
A1,A2,A3,A4	4	Tornillo 3mm	0,45	1,8
A5,A6,A7,A8	4	Separadores	0,6	2,4
J4	1	Conector placa a placa 2x3pines, 2.54mm, TH	0,04	0,04
J5	1	Conector placa a placa 1x3pines, 2.54mm, TH	0,03	0,03
R1,R2,R3,R4,R9,R12	6	Resistencia 470ohm 5%, 125mW,SMD 1206	0,05	0,3
R5,R6,R7,R8	4	Resistencia 10Kohm 5%, 125mW,SMD 1206	0,05	0,2

R11	1	Resistencia 7.5Kohm 5%, 125mW,SMD 1206	0,05	0,05
U1	1	Microcontrolador PIC16F887, TQFP-44	1,98	1,98
U5	1	Módulo receptor de infrarrojos HX- 1838HS	0,5	0,5
U3	1	Driver <i>display</i> LED MAX7219, SOIC- 24	9,06	9,06
J3	1	Reset de prueba		
			<b>Total (€)</b>	<b>21,71</b>

Tabla 10: Coste total de los componentes (BoM)

#### 7.4.4. Fabricación PCB

La fabricación del circuito impreso se ha llevado a cabo por una empresa *Eurocircuits*, el cual está especializado en la fabricación de prototipos y PCB de lotes pequeños.

Aunque en realidad se han mandado a fabricar 4 piezas, de cara al presupuesto final de este proyecto, sólo se tendrá en cuenta una pieza. Esto se debe a que se ha marcado como objetivo la realización de un único módulo de control.

Fabricación PCB	Descripción	Cantidad (placas)	Coste unitario (€/placa)	Coste (€)
A-0131-1	Placa Módulo Control-Reloj	4	8,88	35,52
			<b>Total (€)</b>	<b>35,52</b>

Tabla 11: Costes de fabricación

#### 7.4.5. Presupuesto final

A continuación, se obtiene el presupuesto final del proyecto con todos los gastos previamente desglosados.

Concepto	Coste (€)
Horas Internas	11.625,00
Amortizaciones	179,07
Fabricación PCB	8,88
Componentes	21,71
<b>Total (€)</b>	<b>11.834,66</b>

Tabla 12: Coste total del proyecto

A pesar de que el precio resulte significativamente elevado, hay que tener en cuenta que se trata de un primer prototipo. En consecuencia, la mayor parte de los gastos calculados en el presupuesto se deben a los gastos de diseño.

No obstante, el coste de una réplica del proyecto disminuye considerablemente ya que la parte del diseño estaría realizada. A continuación, se presenta el presupuesto estimado para una réplica. Para ello, se tiene en cuenta los siguientes costes:

- En cuanto a las horas internas, se necesita un ingeniero técnico para el montaje y puesta a punto del módulo. Se estima unas 3 horas de trabajo.
- Para las amortizaciones, solo se precisa de las herramientas de soldadura y un ordenador para la programación del módulo.
- Por último, la fabricación del circuito impreso y la compra de componentes a priori es fijo. Sin embargo, la compra de PCB y componentes en grandes lotes reduce el precio final del mismo, de manera que es otra opción a tener en cuenta.

Concepto	Coste (€)
Ingeniero técnico	90
ordenador	0,05
Herramientas de soldadura	0,67
Circuito impreso	8,88
Componentes	21,71
<b>Total (€)</b>	<b>121,31</b>

Tabla 13: Presupuesto réplica

## **8. NORMATIVA APLICABLE**

En la actualidad se están desarrollando trabajos de normalización relacionados con la domótica tanto en organismos europeos (CENELEC; CEN) como en organismos internacionales (ISO/IEC).

A continuación, se resumen estos trabajos.

### **8.1. CENELEC**

#### **8.1.1. Comité Técnico 205**

El Comité Técnico 205 "Sistemas electrónicos para viviendas y edificios", se encarga de preparar normas para todos los aspectos de sistemas electrónicos domésticos y en edificios en relación a la sociedad de la información.

En más detalle, preparar normas para asegurar la integración de un espectro amplio de aplicaciones y aspectos de control y gestión de otras aplicaciones en y entorno a viviendas y edificios, incluyendo las pasarelas residenciales a diferentes medios de transmisión y redes públicas, teniendo en cuenta todo lo relativo a EMC y seguridad eléctrica y funcional.

TC 205 no preparará normas de producto sino los requisitos de actuación necesarios y los interfaces de hardware y software necesarios. Las normas deberán especificar ensayos de conformidad.

#### **8.1.2. Normas publicadas**

La estructura normativa del TC 205 se basa en dos series de normas, la EN 50491, que especifica los requisitos generales comunes para todos los sistemas domóticos, y la EN 50090, que especifica los requisitos para el protocolo Konnex, dicho protocolo trata comunicaciones estándar, multimedia y abierto, Normalizado en Europa cuyo ámbito actuación se reduce a viviendas y, en menor medida, edificios.

### **8.2. CEN**

#### **8.2.1. Comité Técnico 247**

**El Comité Técnico 247 “Automatización de Edificios, Controles y Gestión de Edificios”, se encarga de la normalización de automatización de edificios, controles y gestión de edificios y servicios para edificios residenciales y no residenciales.**

**Estas normas incluyen definiciones, requisitos, funciones y métodos de ensayo de los productos de automatización de edificios y sistemas para control automático de instalaciones de servicios en edificios.**

**Las medidas de integración primarias incluyen interfaces de aplicación, sistemas y servicios para asegurar una gestión técnica de edificios eficiente en cooperación con la gestión comercial y de infraestructuras del edificio.**

**Se excluyen de su campo de aplicación las áreas de automatización de edificios bajo la responsabilidad de otros comités de CEN/CENELEC.**

### **8.2.2. Normas publicadas**

**La estructura normativa del TC 247 se basa en dos series de normas, la EN 14908, que trata sobre la comunicación abierta de datos para automatización, control y gestión de edificios, y la EN 13321, que especifica la comunicación de datos en automatización de edificios, los controles y la construcción de sistemas de gestión.**

## **8.3. ISO/IEC**

### **8.3.1. Subcomité 25**

**El Subcomité 25 “interconexión en la tecnología de la información” es el responsable de la interconexión en la tecnología de la información. Dentro de su campo de aplicación está la normalización de sistemas microprocesadores, así como de interfaces, protocolos y medios de interconexión asociados para equipos de tecnología de la información, generalmente para entornos comerciales y residenciales. Se excluye el desarrollo de normas para redes de telecomunicaciones e interfaces a redes de comunicación.**

### **8.3.2. Normas publicadas**

**La estructura normativa del subcomité 25 trabaja las normativas: ISO/IEC 15045, ISO/IEC 14762, ISO/IEC 15067 y ISO/IEC 14543. Todas estas normativas tratan los sistemas electrónicos en casas domóticas.**

## 9. CONCLUSIONES

Una vez concluido el desarrollo del proyecto, es momento de hacer balance. En esta sección se hace una revisión de los objetivos planteados al inicio del documento, así como el grado de satisfacción de los mismos. Y, por supuesto, se habla de las conclusiones a las que se ha llegado una vez finalizado el proyecto.

Además, al final de esta sección se hace una reflexión profunda acerca de las líneas de trabajo futuras con el objeto de completar y mejorar aspectos del sistema domótico *Domus*.

### 9.1. Consecución de objetivos

- **Objetivos específicos:**
  - **Identificar, comparar y seleccionar componentes electrónicos en base a las características requeridas por el sistema domótico distribuido *Domus*:**  
En este proyecto se ha tenido muy en cuenta la selección de componentes. Se ha optado por un microcontrolador sencillo, económico y de gran popularidad como es el PIC16F887. En cuanto a sus periféricos, se han seleccionado los más accesibles en el mercado, como, por ejemplo, el sensor de temperatura LM35, el *display* LED de 7 segmentos CPS-2841, el receptor de IR HX-1838HS, etc. Además, para respetar las dimensiones de la placa se han elegido componentes con empaquetado SMD, las cuales son ideales para nuestro diseño por su tamaño reducido.
  - **Realizar el diseño PCB del módulo de control:**  
La realización del diseño de la placa de circuito impreso (PCB) se ha llevado a cabo exitosamente. Gracias a los consejos proporcionados por el tutor de este Trabajo Fin de Grado y a los conocimientos adquiridos en las asignaturas con especialidad de Sistemas Electrónicos, se ha conseguido diseñar una placa de calidad y acorde a las características que exigía el proyecto.
  - **Aplicar las técnicas de soldadura y micro soldadura de componentes electrónicos:**  
Las técnicas empleadas para el montaje y soldadura de los componentes electrónicos se han efectuado con éxito. Para los componentes SMD de pequeño tamaño, el uso del microscopio y la pasta de soldadura han jugado un papel importante.
  - **Implementar la técnica de *programación estructurada*:**

El diseño *software* se ha hecho de en base a una *programación* del tipo *estructurada*, es decir, dividiendo un programa en varias partes. Gracias a ello, la depuración del programa se ha facilitado considerablemente y se ha permitido la distribución del trabajo.

- Integrar programas que permitan la comunicación serie entre los distintos módulos del sistema:

Se ha logrado integrar correctamente los programas encargados de realizar la comunicación serie entre los módulos del sistema. A causa de ello, se han implementado funcionalidades como: sincronizar la hora en los distintos módulos, controlar la calefacción de una vivienda y seleccionar el módulo en el que se quiera escuchar la radio.

- **Objetivo general:**

Gracias a la consecución de los objetivos específicos, se considera que el proyecto ha llegado al alcance que se propuso al inicio de esta memoria. Se ha logrado desarrollar un módulo electrónico desde la cual se puede controlar el sistema domótico *Domus*. Se ha conseguido implementar funciones tales como controlar la hora y temperatura de los diferentes módulos, controlar el volumen del altavoz del Módulo de Audio o controlar el encendido y apagado de la calefacción.

Durante el transcurso del proyecto, han surgido diferentes problemas en cuanto al diseño *hardware* que se han ido resolviendo. Por ejemplo, inicialmente el conector de alimentación y comunicación era de 2x3 y estaba pensado para 2 pines de comunicación, TX y RX. Sin embargo, no se había tenido en cuenta el pin de CS (*Chip Select*), el cual controla la operación de comunicación. Para solucionarlo, se modificó el conector a uno de 2x3 para la alimentación y de 1x3 para la comunicación, formando así un conector conjunto de 3x3. Afortunadamente, este problema se detectó antes de mandar a fabricar el circuito impreso, por lo que no afectó al proyecto.

Otro problema ha sido en relación a asignaciones erróneas de los puertos del microcontrolador. Desgraciadamente, este problema se detectó después de haber mandado fabricar la PCB. No obstante, la solución empleada ha consistido en: agrietar la pista que conectaba el periférico con el puerto erróneo, teniendo cuidado de no extender la grieta a las pistas de alrededor. Una vez hecho esto, se suelda con un cable delgado el periférico al puerto correcto.

Finalmente, resaltar que los errores detectados después la fabricación se arreglarán en una segunda versión del Módulo de Control.

Como conclusión final, se puede decir que se han resuelto satisfactoriamente los distintos objetivos propuestos al inicio del proyecto.

## 9.2. Perspectivas futuras

Una vez dado por concluido el desarrollo del proyecto, a continuación, se exponen diferentes formas de potenciar este trabajo, incluyendo nuevos módulos que están en desarrollo.

### 9.2.1. Comunicaciones Inalámbricas

El siguiente paso que se debe dar con el proyecto *Domus* es la integración de un módulo de comunicación inalámbrica. En cuanto al tipo de módulo inalámbrico se ha pensado principalmente en un Módulo *Bluetooth* y un Módulo *Wi-Fi*:

- Módulo *Bluetooth*

Para la implementación de este módulo se ha pensado utilizar el módulo de comunicación serie-*Bluetooth* HC-05. Se trata de un dispositivo relativamente económico. Es un módulo Maestro-Esclavo, lo que significa que, además de recibir conexiones desde un *smartphone*, también es capaz de generar conexiones hacia otros dispositivos *bluetooth*. Esto permite, por ejemplo, conectar dos módulos de *bluetooth* y formar una conexión punto a punto para transmitir datos entre dos microcontroladores o dispositivos.

Entre sus posibles aplicaciones en este proyecto se encuentra la posibilidad de controlar elementos del hogar como la iluminación sin necesidad de realizar instalaciones adicionales u obras específicas.

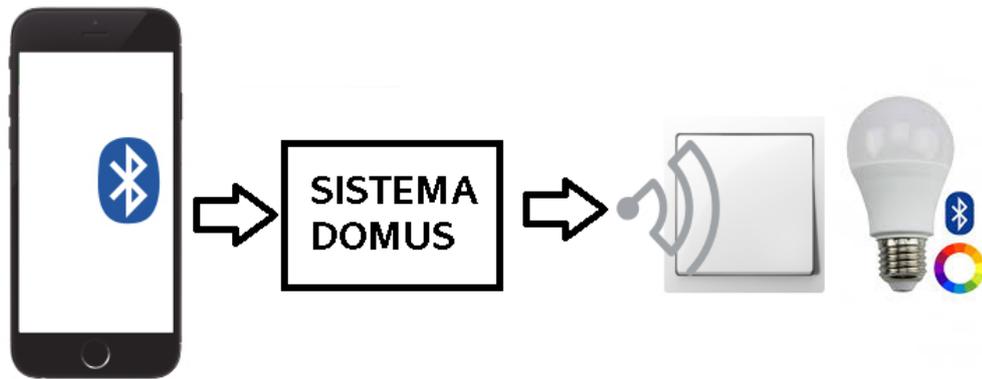


Ilustración 27: Ejemplo de aplicación del Módulo Bluetooth

- **Módulo *Wi-Fi***

En cuanto a la implementación de un Módulo *Wi-Fi*, el módulo ESP8266 sería una muy buena opción [13]. Se trata de un chip integrado con conexión *Wi-Fi* y compatible con el protocolo TCP/IP. El objetivo principal es dar acceso a cualquier microcontrolador a una red.

La capacidad de conectarse a una red, su pequeño tamaño y su precio tan asequible (aproximadamente 3 € el chip ESP), han hecho que este dispositivo sea muy conocido en el mundo *Maker*. La posibilidad de conectar el mundo físico de los sensores con el mundo del Internet abre un gran abanico de posibilidades la hora de crear proyectos con ESP8266 para el IoT.

Con respecto a sus posibles usos, cabe mencionar las siguientes aplicaciones:

- **Control de Relés.** Cualquier aparato eléctrico es susceptible de ser controlado remotamente. La forma más básica de control es un simple encendido y apagado del mismo mediante un interruptor en forma de relé.
- **Uso de sensores.** La idea de poner los datos de sensores disponibles de forma remota en Internet o utilizarlos para controlar sistemas es la base del Internet de las Cosas (IoT). Existen sensores de todo tipo que se pueden conectar a placas ESP8266. Hay sensores de temperatura, presión atmosférica, humedad, luz, concentración de gases, cámaras IP etc.
- **Envío y Recepción de información desde internet.**

**Como ya se ha mencionado en el análisis de riesgos de este documento, con la implementación de este módulo hay que poner especial énfasis en la seguridad del sistema.**

**Una vez implementado los módulos inalámbricos en el sistema *Domus*, el siguiente paso a considerar sería integrar el sistema con alguna plataforma de altavoz inteligente. Entre las plataformas más populares que existen en la actualidad se puede citar a Alexa de Amazon, Google Home o Siri. De esta forma se añadiría una nueva funcionalidad al sistema: control por voz.**

## 10. REFERENCIAS

- [1] Institut Cerdá, *La vivienda domótica: ahorro, confort, seguridad y comunicaciones*, Barcelona: Institut Cerdá, 2000.
- [2] Real Academia Española (RAE), [En línea]. Available: <http://www.rae.es/>. [Último acceso: 2019 Junio 11].
- [3] M. P. Ramón, *Ingeniería de la Automatización Industrial*. 2ª Edición, Madrid: Ra-Ma, 2004.
- [4] H. Martín Domínguez y F. Sáez Vacas, *Domótica: Un enfoque sociotécnico*, Fundación Rogelio Segovia para el Desarrollo de las Telecomunicaciones; ISBN: 84-7402-335-1, 2006.
- [5] Asociación Española de Domótica e Inmótica, «CEDOM,» [En línea]. Available: <http://www.cedom.es/quienes-somos/que-es-cedom>. [Último acceso: 07 07 2019].
- [6] Asociación Española de Domótica (CEDOM), «Estudio de mercado,» Junio de 2018.
- [7] R. J. Millán Tejedor, «Consultoría estratégica en tecnologías de la información y comunicaciones,» 2004. [En línea]. Available: <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/dispositivosviviendadomotica.php>. [Último acceso: 16 Julio 2019].
- [8] Fundación de la energía de la comunidad de Madrid (FENERCOM), «FENERCOM,» 2007. [En línea]. Available: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/la-domotica-como-solucion-de-futuro-fenercom.pdf>. [Último acceso: 16 Julio 2019].
- [9] Domótica, «Domótica,» [En línea]. Available: <http://arqucompus-domotica.blogspot.com/2009/06/arquitectura.html>. [Último acceso: 17 Julio 2019].
- [10] Microchip Technology Inc., «PIC16F887,» [En línea]. Available: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/41291d.pdf>. [Último acceso: 10 Abril 2019].
- [11] A. Zuloaga Izaguirre y A. Astarloa Cuéllar, *Sistema Digital PICTOR*, Servicio de publicaciones de la ETSI de Bilbao, ISBN 978-84-695-8595-5, 2013.
- [12] V. Ventura, «MAX7219 y MAX7221, controladores SPI de pantallas LED de 8 dígitos de 7 segmentos,» [En línea]. Available: <https://polaridad.es/max7219-controlador-spi-display-led-8-digitos-7-segmentos/>. [Último acceso: 10 Mayo 2019].
- [13] Programar fácil, «ESP8266: todo lo que necesitas saber del módulo Wi-Fi para Arduino,» [En línea]. Available: [https://programarfácil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/#Especificaciones\\_del\\_chip\\_ESP8266](https://programarfácil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/#Especificaciones_del_chip_ESP8266). [Último acceso: 15 Junio 2019].
- [14] Punto Flotante S.A., «MPLAB IDE, software profesional para el desarrollo integrado de aplicaciones para microcontroladores PIC,» [En línea]. Available: <http://www.puntoflotante.net/mplab.htm>. [Último acceso: 16 Junio 2019].

- [15] Online Gerber-Viewer, «Online Gerber-Viewer,» [En línea]. Available: <http://www.gerber-viewer.com/>. [Último acceso: 2019 Junio 10].
- [16] A. Zuloaga Izaguirre y A. Astarloa Cuéllar, *Sistemas de Procesamiento Digital*, Madrid: Delta Publicaciones, 2008.
- [17] A. Zuloaga Izaguirre, *Laboratorio de Sistemas Digitales*, Publicaciones de la ETSI de Bilbao, 2013.
- [18] KiCad, «Comenzando en KiCad,» [En línea]. Available: [http://docs.kicad-pcb.org/4.0.7/es/getting\\_started\\_in\\_kicad/getting\\_started\\_in\\_kicad.pdf](http://docs.kicad-pcb.org/4.0.7/es/getting_started_in_kicad/getting_started_in_kicad.pdf). [Último acceso: 10 10 2019].
- [19] Maxim Integrated, «MAX7219/MAX7221,» [En línea]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX7219-MAX7221.pdf>. [Último acceso: 20 Abril 2019].

## ANEXO I: Esquemático del circuito

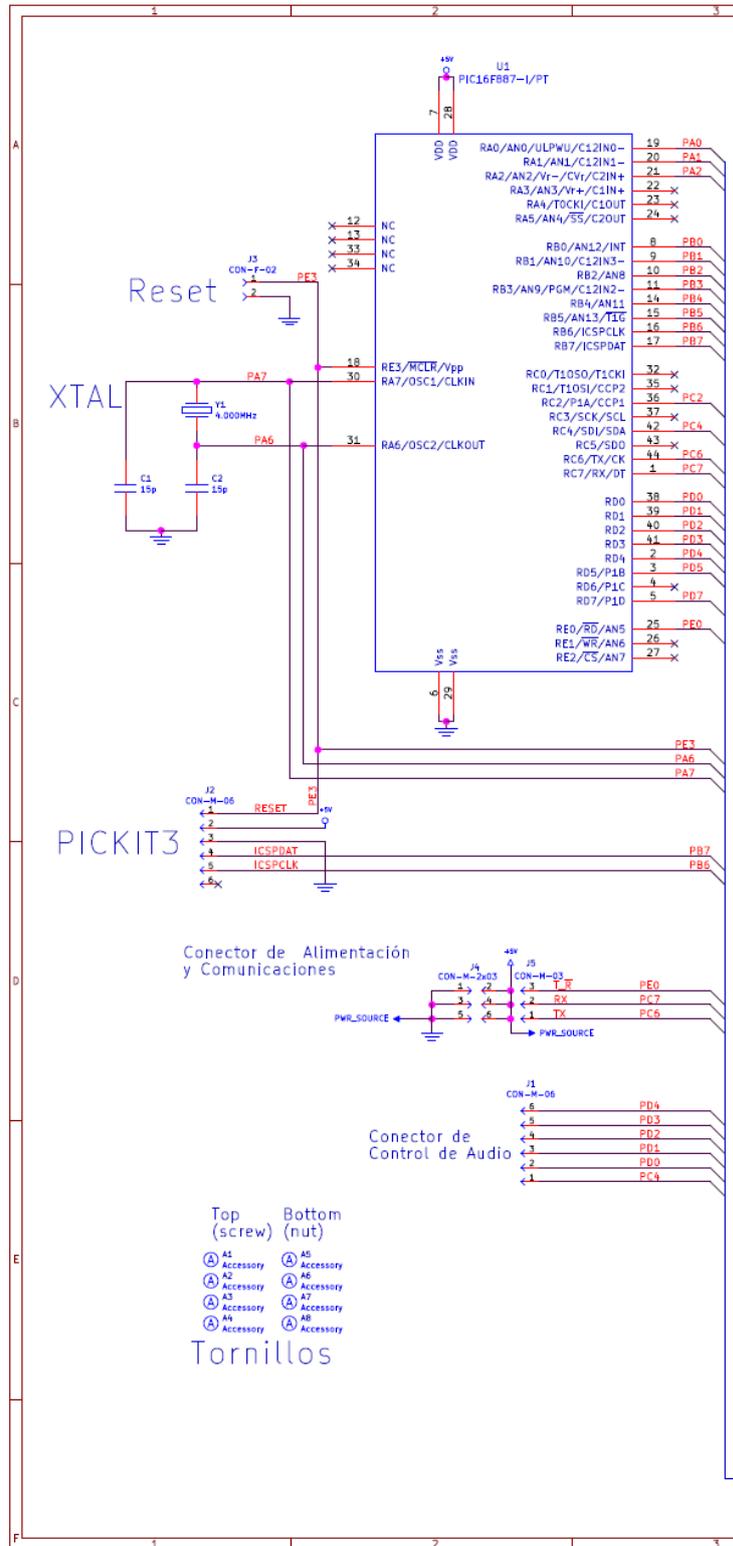


Ilustración 28: Esquemático del circuito (Parte 1)

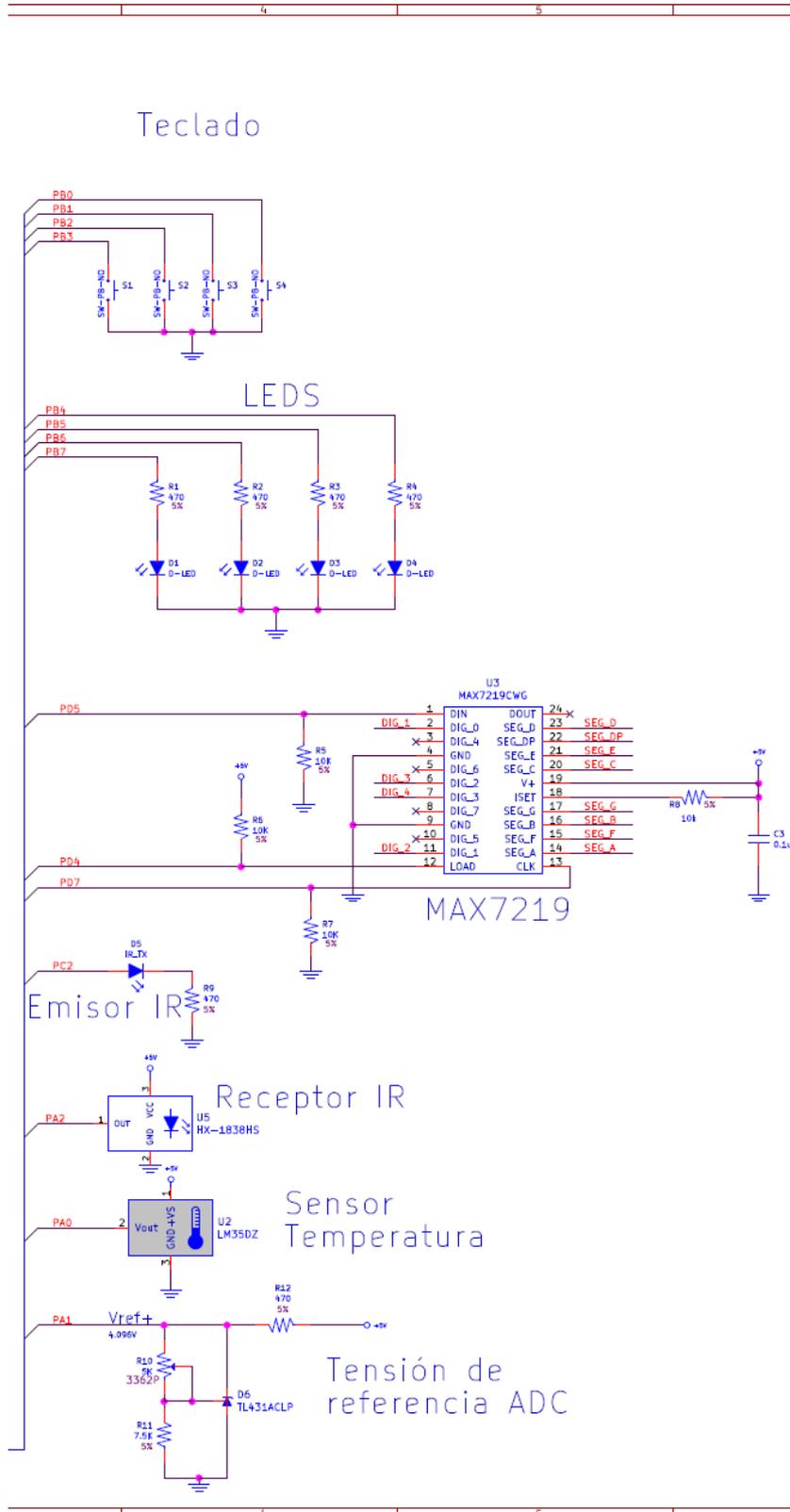
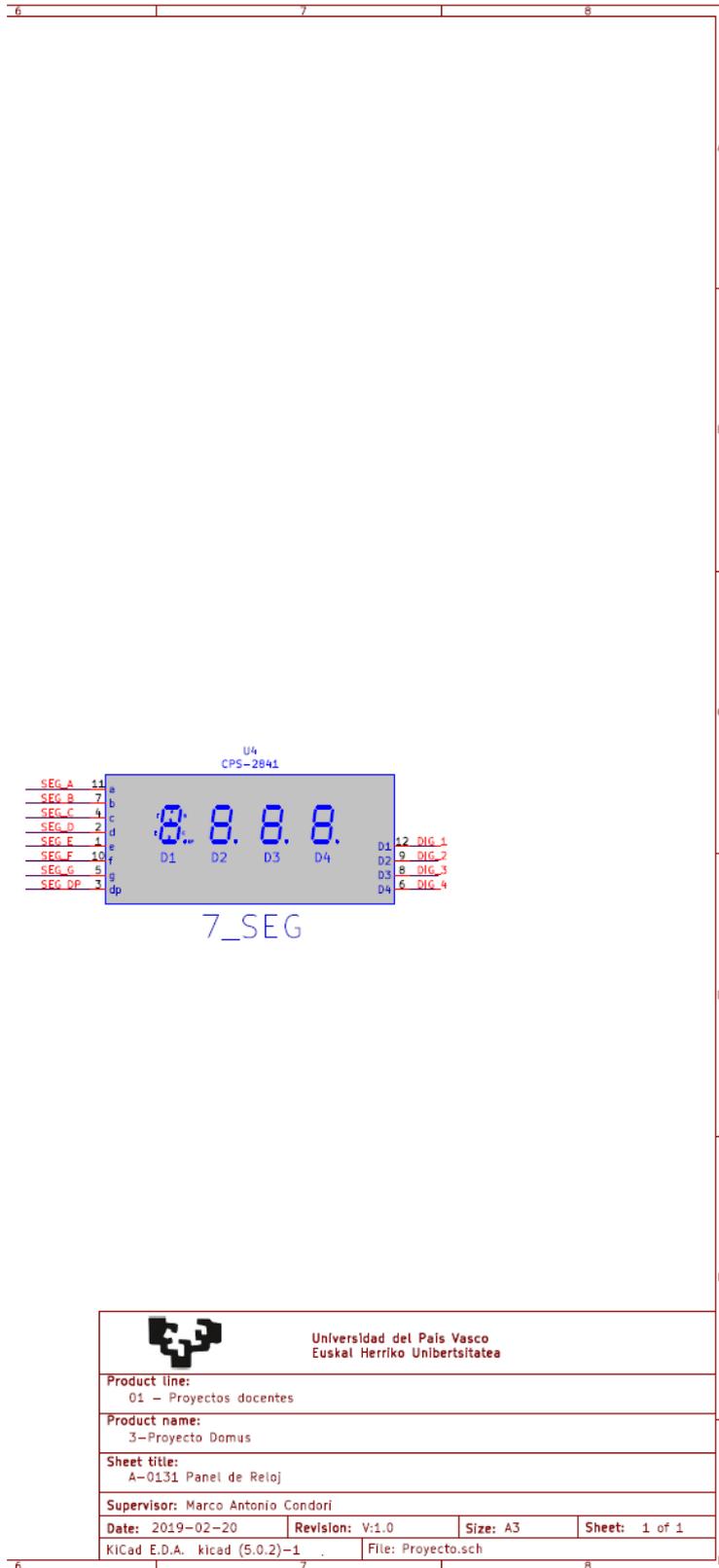


Ilustración 29: Esquemático del circuito (Parte 2)



**Ilustración 30: Esquemático del circuito (Parte 3)**

## ANEXO II: Visualización de los ficheros de fabricación

Como se ha mencionado anteriormente, para la visualización de los ficheros de fabricación, o también llamados *gerbers*, se ha utilizado la herramienta proporcionada por la página web *Online Gerber-Viewer* [2].

- **COMPONENT SIDE LAYOUT:**

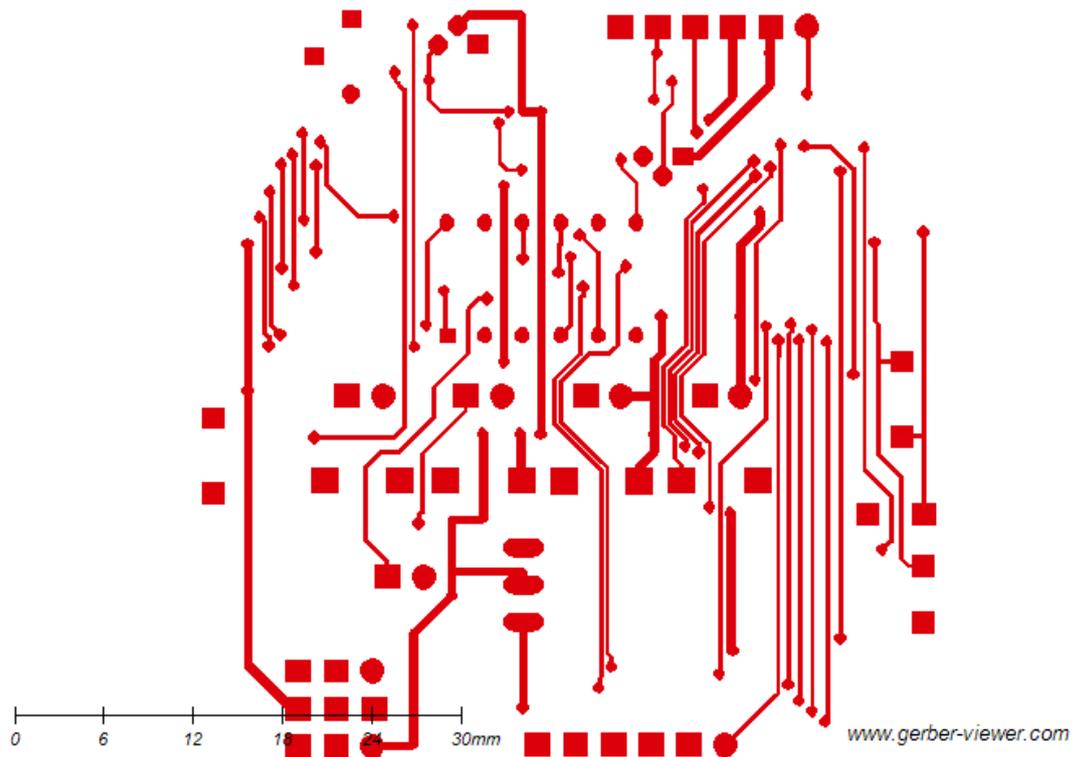
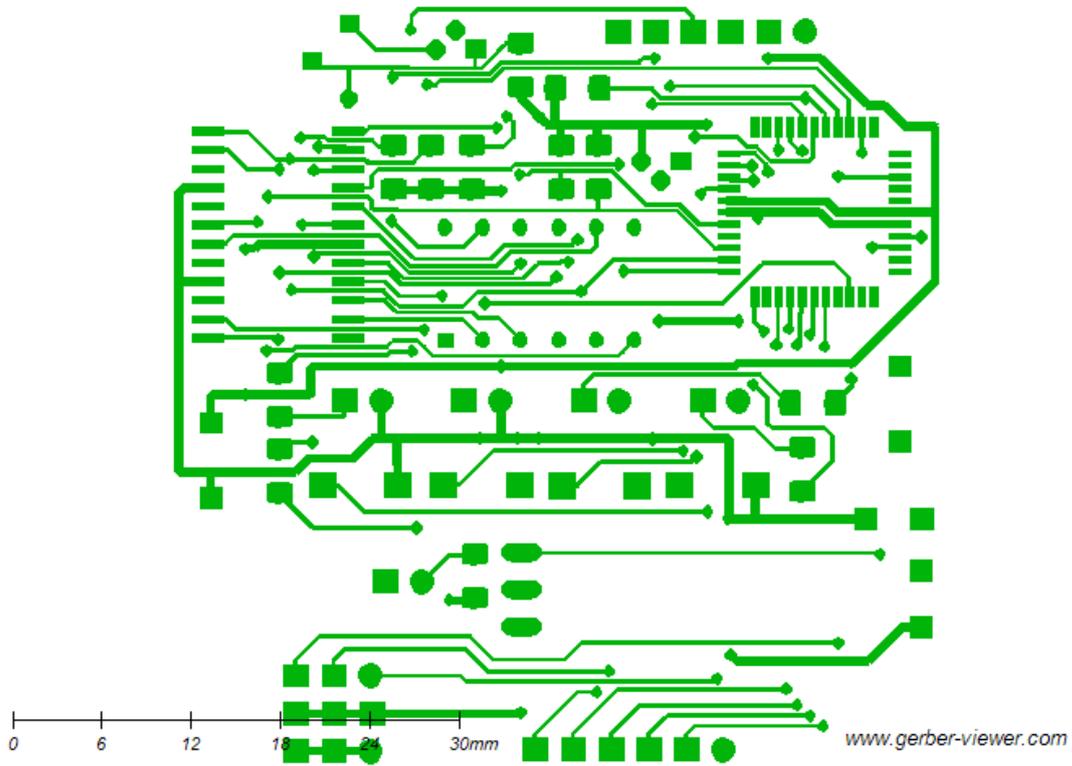


Ilustración 31: Gerber A-0131-1-F.Cu.gtl

- **SOLDER SIDE LAYOUT:**



**Ilustración 32: Gerber A-0131-1-B.Cu.gbl**

• **COMPONENT SIDE SOLDERSTOP:**

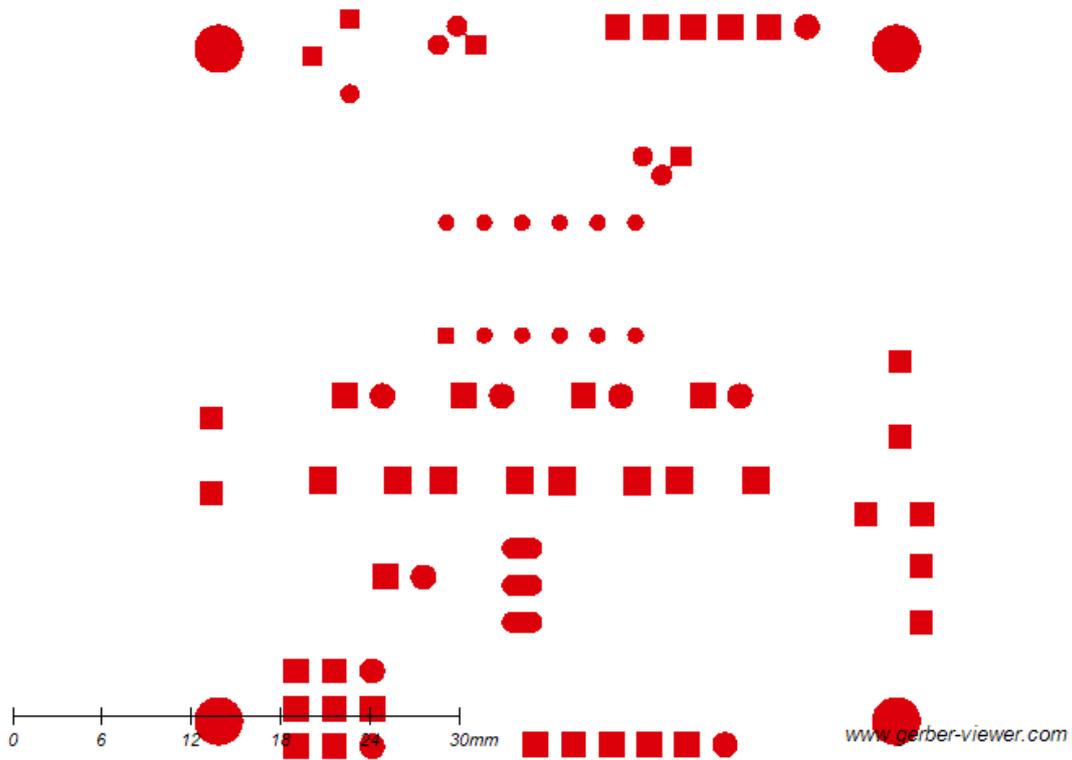


Ilustración 33: Gerber A-0131-1-F.Mask.gts

• **SOLDER SIDE SOLDERSTOP:**

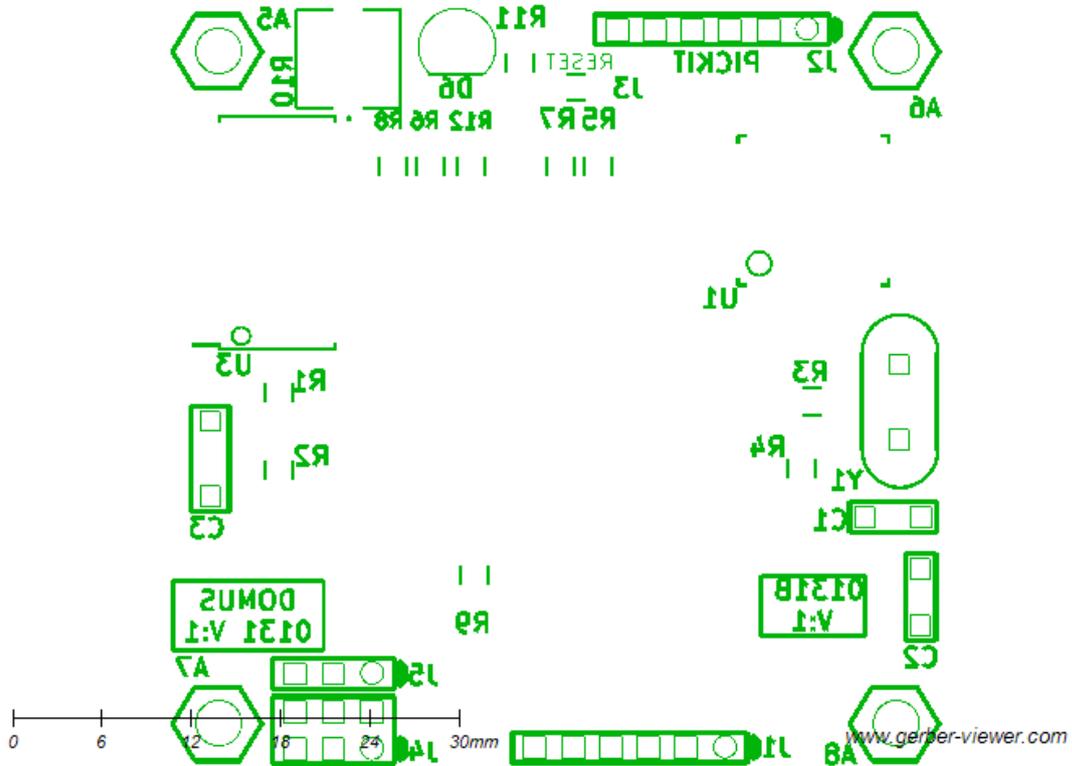


Ilustración 34: Gerber A-0131-1-B.Mask.gbs

• **SOLDER SIDE MARKING-PRINT:**

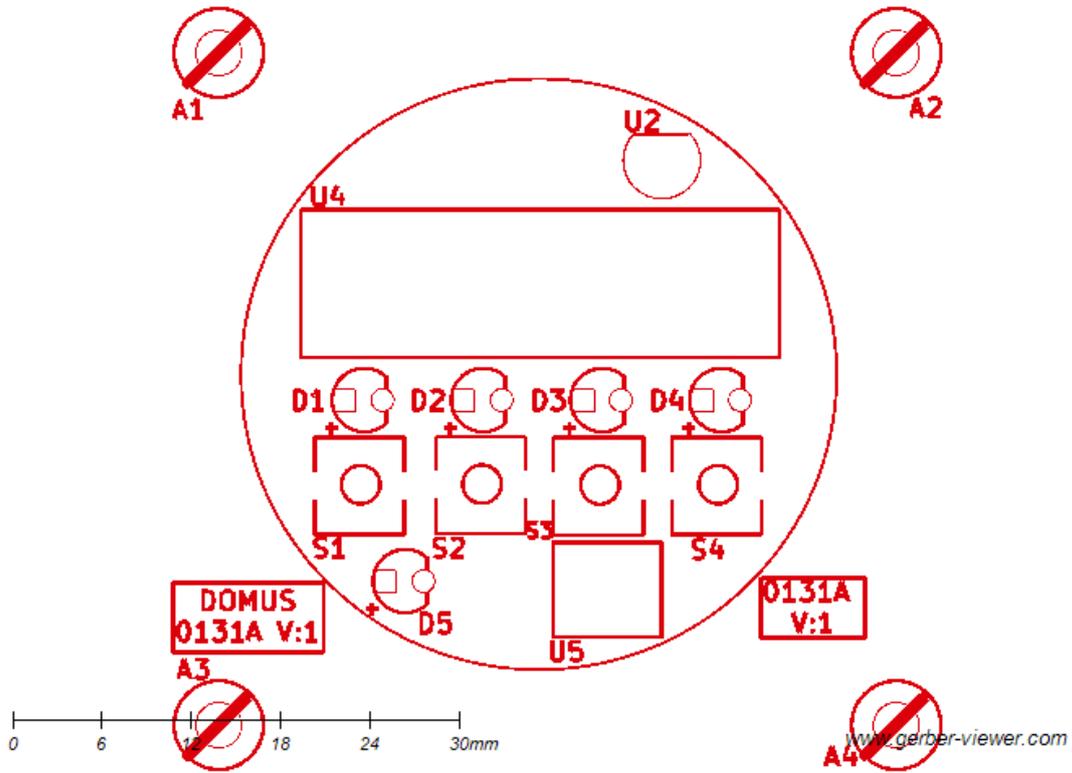


Ilustración 35: Gerber A-0131-1-F.SilkS.gto

• COMPONENT SIDE MARKING-PRINT:

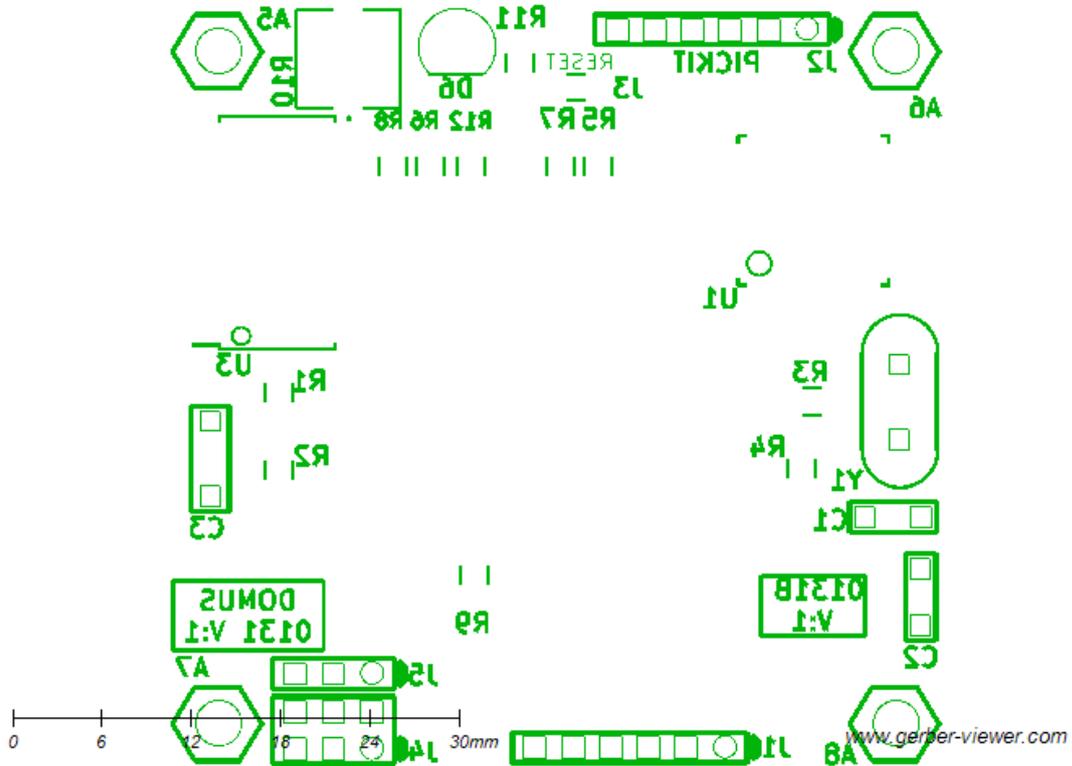
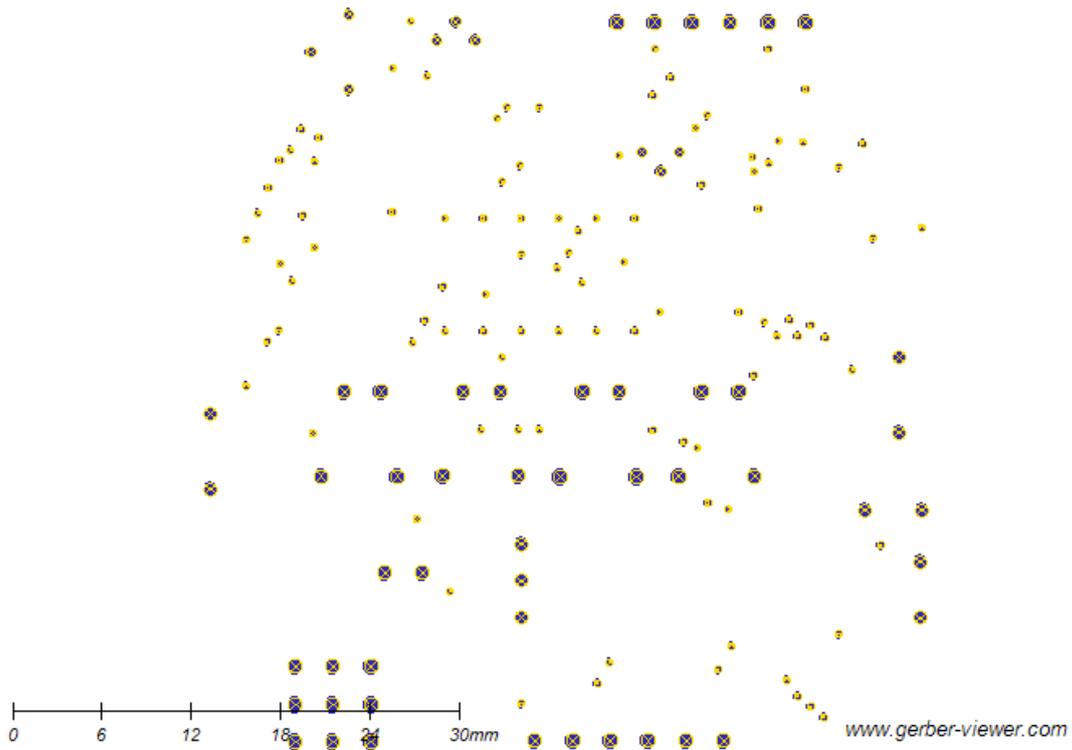


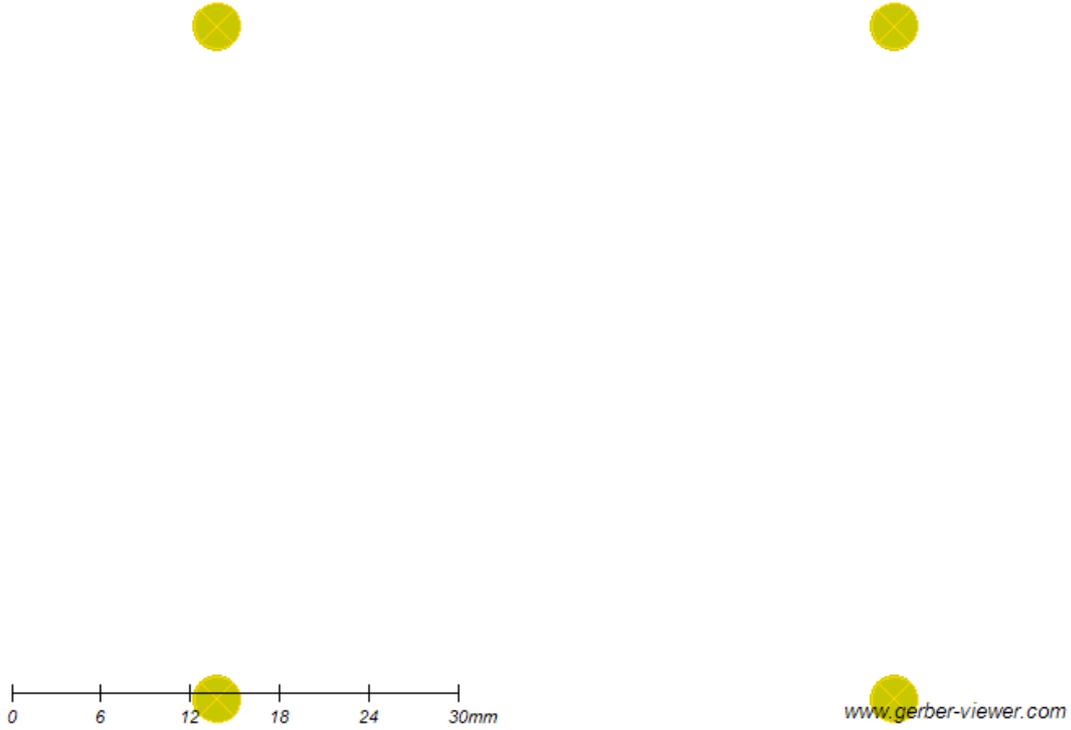
Ilustración 36: Gerber A-0131-1-B.SilkS.gbo

- **DRILL PLACEMENT PLATED (EXCELLON):**



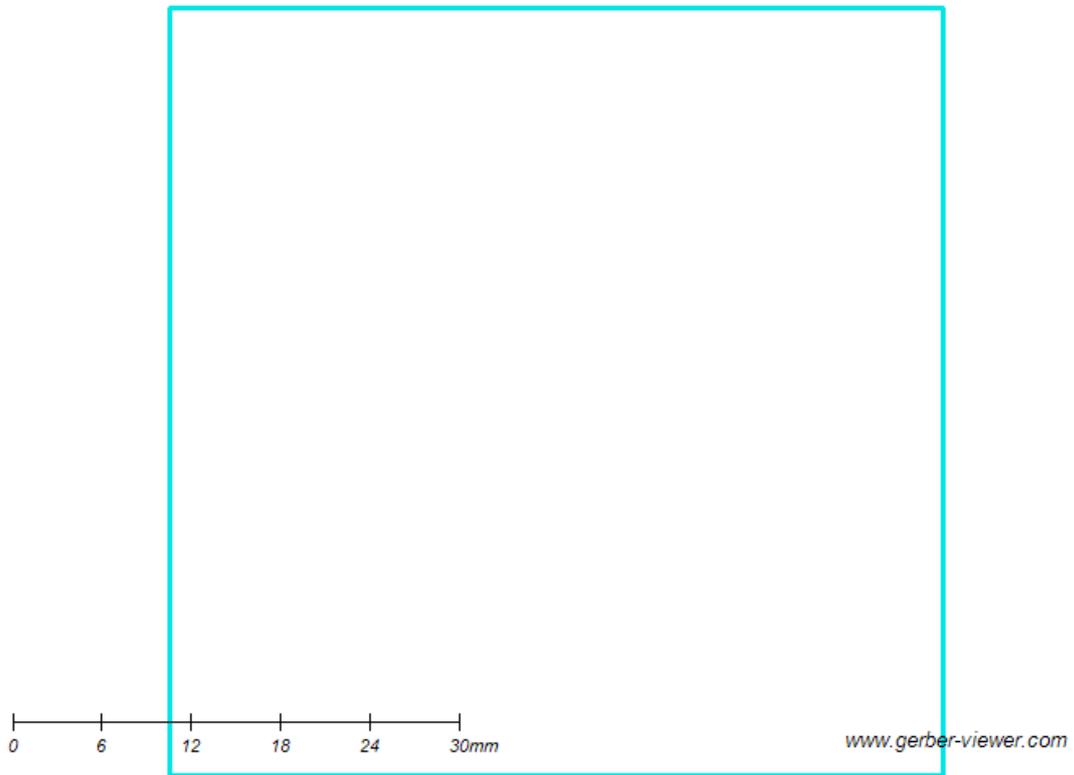
**Ilustración 37: Gerber A-0131-1.drl**

- **DRILL PLACEMENT NON-PLATED (EXCELLON):**



**Ilustración 38: Gerber A-0131-1-NPTH.drl**

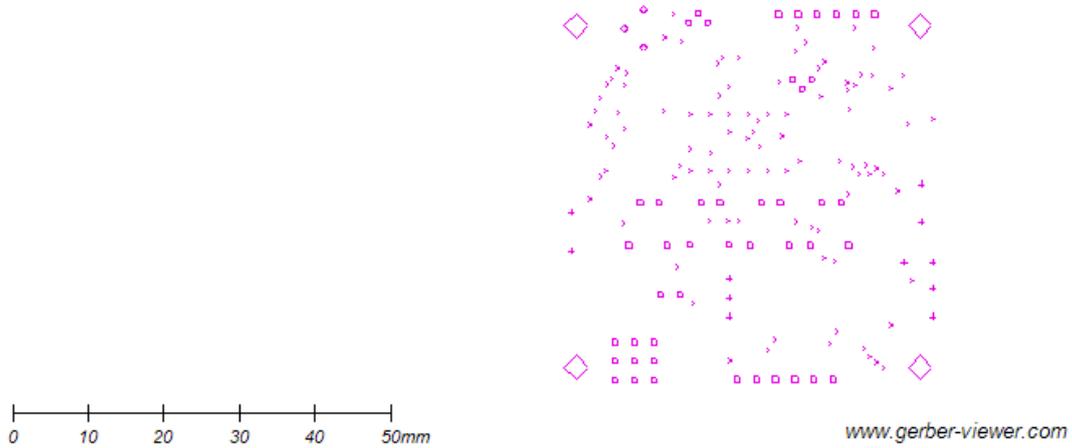
- **EXTERNAL CUTTING:**



**Ilustración 39: Gerber A-0131-1-Margin.gbr**

• **DRILL PLACEMENT MAP:**

- Drill Map:**
- 0.50mm / 0.020" (98 holes)
  - 0.75mm / 0.030" (9 holes)
  - 0.89mm / 0.035" (11 holes)
  - 1.02mm / 0.040" (39 holes)
  - ◇ 3.17mm / 0.125" (8 holes) (not plated)

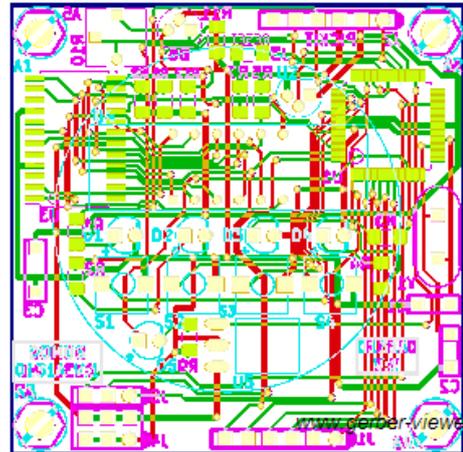
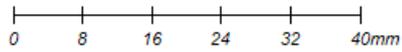


**Ilustración 40: Gerber A-0131-1-drl\_map.gbr**

• **ALL GERBERS:**

**Drill Map:**

- 0.50mm / 0.020" (98 holes)
- 0.75mm / 0.030" (9 holes)
- 0.89mm / 0.035" (11 holes)
- 1.02mm / 0.040" (39 holes)
- ◇ 3.17mm / 0.125" (8 holes) (not plated)



**Ilustración 41: All Gerbers**

## ANEXO III: Descripción de las Herramientas Software

### 1. KiCad

KiCad es un entorno de software open-source usado para el diseño de circuitos eléctricos, muy flexible y adaptable, en el que se pueden crear y editar un gran número de componentes y usarlos en Eeschema. KiCad permite el diseño de circuitos impresos modernos de forma sencilla e intuitiva. Además, en Pcbnew, los circuitos se pueden diseñar con múltiples capas y ser visualizados en 3D.

KiCad está organizado en cinco partes:

- Kicad- Administrador de proyectos.
- Eeschema – El editor de esquemáticos.
- cvpcb – Seleccionador de huellas (*footprint's*) de los componentes usados en el esquemático.
- pcbnew – Entorno de diseño de los circuitos impresos (PCB).
- Gerbview – Visualizador de archivos Gerber.

KiCad puede considerarse idóneo para ser utilizado en el desarrollo y mantenimiento de tarjetas electrónicas complejas. KiCad no presenta ninguna limitación en cuanto al tamaño de la placa de circuito y puede gestionar fácilmente hasta 32 capas de cobre, hasta 14 capas técnicas y hasta 4 capas auxiliares. KiCad puede crear todos los archivos necesarios para la construcción de placas de circuito impreso, archivos Gerber para foto-plotters, archivos para taladrados, archivos de ubicación de los componentes y mucho más.

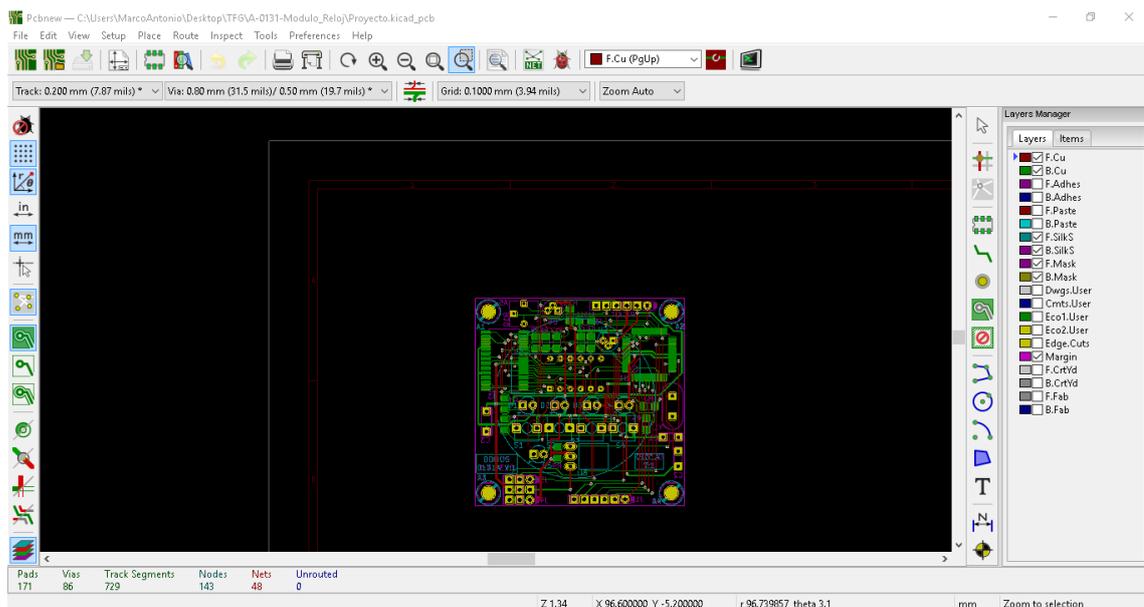


Ilustración 42: Captura de pantalla (Pcbnew)

## 2. MPLAB IDE

**EL MPLAB IDE es una herramienta software de “Entorno de Desarrollo Integrado” (Integrated Development Enviroment, IDE) que se ejecuta bajo Windows. Con este entorno se pueden desarrollar aplicaciones para los microcontroladores PIC [14].**

**El MPLAB incluye todas las utilidades necesarias para la realización de proyectos con microcontroladores PIC, permite editar el archivo fuente del proyecto, además de ensamblarlo y simularlo en pantalla para comprobar cómo evolucionan tanto la memoria de datos RAM, como la de programa ROM, los registros SFR, etc., según progresa la ejecución del programa.**

**El MPLAB incluye:**

- **Un editor de texto**
- **Un ensamblador llamado MPSAM**
- **Un simulador llamado MPLAB SIM**
- **Un organizador de proyectos y otros**

### 2.1. Ensamblado del programa

**Después de la escritura de todo el código del programa debemos proceder al ensamblaje del mismo para así poder generar los archivos que se grabarán en el microcontrolador.**

**Para ensamblar el programa iremos a Project>Quickbuild xxxxxx.asm, o con la combinación de teclas Alt+F10. Posteriormente se abrirá una ventana donde se podrá visualizar el proceso de ensamblado y el resultado final. El proceso puede dar como resultado un letrero que indique (BUILD SUCCEEDED), lo que indica que el ensamblado se ha desarrollado correctamente con lo cual podemos pasar a su simulación o grabación en el microcontrolador. Aún con el mensaje de ensamblado correcto puede aparecernos una serie de mensajes en donde se nos indican una serie de aspecto a tener en cuenta o que tienen posibilidad de causar errores aun no impidiendo el correcto funcionamiento.**

**NOTA: El proceso de ensamblado no nos indica que el programa funcione correctamente, él no es capaz de entender nuestro propósito con ese programa, solo se encarga de mirar que la estructura y sintaxis del programa sea la correcta.**

En el caso de que el programa contenga errores el proceso de ensamblado nos mostrará el letrero (BUILD FAILED) y un listado con los errores encontrados. Haciendo doble clic sobre estos errores nos dirigiremos directamente a la línea en donde éste se encuentra.

