



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TRABAJO DE FINAL DE GRADO

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**SISTEMA DE GESTIÓN DOMÓTICA PARA OPTIMIZAR EL  
CONSUMO ENERGÉTICO DE UNA VIVIENDA**



**Memoria técnica**

**Autor/a:** Judit Pérez Pérez

**Director/a:** Manuel Andrés Manzanares Brotons

**Convocatoria:** Enero 2023

## Resumen

Este proyecto se centrará en el diseño de un sistema de gestión domótica para optimizar el consumo energético de una vivienda. Para ello se desarrollará una unidad de monitorización que contemplará, además de la realización de las funciones típicas de estas unidades, otras funciones destinadas a optimizar el consumo energético de la vivienda tales como el control de la iluminación, el control del sistema de calefacción y el de refrigeración o la regulación del uso de los electrodomésticos según las franjas horarias de menos coste. Todas estas funciones además de conseguir un ahorro energético conllevan un ahorro económico para el usuario.

Para poder implementar todas estas funciones se ha programado el microcontrolador ATmega2560. El código desarrollado se ha realizado con el software de Arduino IDE mediante el lenguaje C/C++ y, el diseño del circuito electrónico así como el diseño de las placas de circuito impreso, con el software de EAGLE. La aplicación móvil ha sido diseñada con el programa MIT App Inventor.

El sistema domótico creado se podrá controlar por el usuario mediante dos interfaces: un mando de control y una aplicación móvil. Desde ambos dispositivos se puede consultar información sobre el estado de la vivienda (temperatura, humedad, potencia consumida, etc.) y se puede realizar el control de todos los dispositivos del sistema domótico de forma manual o automática. También mencionar que, con el modo de funcionamiento automático, este sistema es capaz de reducir del consumo energético hasta un 30 %.

A pesar de que en este proyecto el prototipo ha sido diseñado para una vivienda en particular, este se podría adaptar a distintos hogares y se podría personalizar para cada usuario dependiendo de sus hábitos, gustos y necesidades.

## Resum

Aquest projecte se centrarà en el disseny d'un sistema de gestió domòtica per a optimitzar el consum energètic d'un habitatge. Per a aconseguir-ho es dissenyarà una unitat de monitoratge que contemplarà, a més de la realització de les funcions típiques d'aquestes unitats, altres funcions destinades a optimitzar el consum energètic de l'habitatge com ara el control de la il·luminació, el control del sistema de calefacció i el de refrigeració o la regulació de l'ús dels electrodomèstics tenint en compte les franges horàries més econòmiques. Totes aquestes funcions a més d'aconseguir un estalvi energètic comporten un estalvi econòmic per a l'usuari.

Per implementar totes aquestes funcions s'ha programat el microcontrolador ATmega2560. El codi desenvolupat s'ha realitzat amb el software d'Arduino IDE mitjançant el llenguatge C/C++ i el disseny del circuit electrònic, així com el disseny de les plaques de circuit imprès amb el software d'EAGLE. L'aplicació mòbil ha estat dissenyada amb el programa MIT App Inventor.

L'usuari podrà controlar el sistema domòtic creat mitjançant dues interfícies: un comandament de control i una aplicació mòbil. Des de tots dos dispositius es pot consultar informació sobre l'estat de l'habitatge (temperatura, humitat, potència consumida, etc.) i es pot realitzar el control de tots els dispositius del sistema domòtic de manera manual o automàtica. També esmentar que, amb el mode de funcionament automàtic, aquest sistema és capaç de reduir del consum energètic fins a un 30 %.

Tot i que en aquest projecte el prototip ha estat dissenyat per a un habitatge en particular, aquest es podria adaptar a diferents cases i es podria personalitzar per a cada usuari depenent dels seus hàbits, gustos i necessitats.

## Abstract

This project will focus on the design of a home automation management system to optimize the energy consumption of a house. For this purpose, a monitoring unit will be developed that will include, in addition to the typical functions of these units, other functions aimed at optimizing the energy consumption of the house such as lighting control, heating and cooling system control or the regulation of the use of household appliances according to least-cost time slots. All these functions, in addition to achieving energy savings, lead to economic savings for the user.

In order to implement all these functions, the ATmega2560 microcontroller has been programmed. The code developed has been done with the Arduino IDE software using the C/C++ language and the design of the electronic circuit, as well as the design of the printed circuit boards with the EAGLE software. The mobile application has been designed with the MIT App Inventor program.

The home automation system created can be controlled by the user through two interfaces: a manual controller and a mobile application. Information about the status of the house (temperature, humidity, power consumption, etc.) can be consulted and all the devices of the home automation system can be controlled manually or automatically, from both devices. It is also worth mentioning that, with the automatic operation mode, this system is able to reduce energy consumption by up to 30 %.

Although in this project the prototype has been designed for a particular house, it could be adapted to different homes and could be customized for each user depending on their habits, tastes and needs.

## Agradecimientos

Para hacer este trabajo he tenido la ayuda y el apoyo de muchas personas a las cuales me gustaría agradecerles todo lo que han hecho por mí.

En primer lugar, agradecer a mi tutor Manuel Andrés Manzanares Brotons por darme la oportunidad de realizar este proyecto y por haberme guiado en todo momento. También agradecerle su disponibilidad ya que, a pesar de ser un proyecto que se ha llevado a cabo en varios meses, siempre que lo he necesitado me ha ayudado y aconsejado.

En segundo lugar, agradecer a mi familia, en concreto a mis padres que, aunque el tema que trataba no era para ninguno de los dos su punto fuerte, siempre me han ayudado en todo el que han podido, han tenido mucha paciencia conmigo en los momentos que no me salían las cosas como deseaba y siempre me han dado su apoyo.

## Glosario

ADC: Conversor analógico a digital (*Analog to Digital Converter*)

CA (en inglés, AC): Corriente Alterna (en inglés, *Alternate Current*)

CC (en inglés, DC): Corriente Continua (en inglés, *Direct Current*)

CPU: Unidad central de procesamiento (*Central Processing Unit*)

DEMUX: Demultiplexor

E/S (en inglés, I/O): Entradas/Salidas del microcontrolador (en inglés, *Input/Output*)

EPROM: ROM programable borrrable (*Erasable Programmable Read-Only Memory*)

EEPROM: ROM programable y borrrable eléctricamente (*Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*)

GND: Tierra (*Ground*)

HAN: Red de área doméstica (*Home Area Network*)

I2C: Circuito inter-integrado (*Inter-Integrated Circuit*)

ICSP: Programación serial en circuito (*In Circuit Serial Programming*)

IDE: Entorno de Desarrollo Integrado (*Integrated Development Environment*)

kWh: kilovatio hora

LCD: Pantalla de cristal líquido (*Liquid Crystal Display*)

LDR: Resistencia que varía con la luz (*Light Dependant Resistor*)

LED: Diodo emisor de luz (*Light Emitting Diode*)

MIPS: *Millions of Instructions per Second*

MUX: Multiplexor

NC: Normalmente cerrado

NO: Normalmente abierto

PC: Computadora Personal (*Personal Computer*)

PCB: Circuito impreso (*Printed Circuit Board*)

PIC: Controlador de interfaz periférico (*Peripheral Interface Controller*)

PIR: Sensor infrarrojo pasivo (*Passive infrared sensor*)

PWM: Modulación por ancho de pulso (*Pulse Width Modulation*)

RAM: Memoria de acceso aleatorio (*Random Acces Memory*)

ROM: Memoria de solo lectura (*Read Only Memory*)

RTC: Reloj a tiempo real (*Real Time Clock*)

SBC: Computadora monoplaca (*Single Board Computer*)

SCE: Sistema de Cableado Estructurado

SCL: Línea con el reloj (*Serial Clock Line*)

SDA: Línea de datos (*Serial Data Line*)

SRAM: Memoria estática de acceso aleatorio (*Static Random Access Memory*)

UART: Transmisor-Receptor Asíncrono Universal (*Universal asynchronous receiver/transmitter*)

UNE: Una Norma Española

USB: Bus universal en serie (*Universal Serial Bus*)

VCC: Voltaje en corriente continua

VIN: Tensión de entrada (*Input Voltage*)

VOUT: Tensión de salida (*Output Voltage*)



# Índice

Resumen .....	I
Resum .....	II
Abstract.....	III
Agradecimientos.....	IV
Glosario.....	V
1. Objeto del proyecto .....	1
2. Motivación y justificación .....	2
3. Introducción .....	3
3.1. Especificaciones básicas .....	3
3.2. Diagrama de Gantt.....	4
4. Domótica .....	6
4.1. Aplicaciones principales.....	9
4.2. Ventajas e inconvenientes.....	12
5. Posibles soluciones.....	13
5.1. Microcontrolador.....	13
5.1.1. Arduino (AVR).....	13
5.1.2. STM32 (ARM) .....	15
5.1.3. PIC.....	15
5.1.4. Raspberry Pi.....	17
5.2. Tipos de sistemas domóticos (arquitectura).....	19
5.2.1. Arquitectura centralizada.....	19
5.2.2. Arquitectura descentralizada .....	20



5.2.3.	Arquitectura distribuida .....	20
5.2.4.	Arquitectura mixta .....	21
6.	Solución escogida .....	22
7.	Diseño del prototipo .....	25
7.1.	Vivienda escogida .....	25
7.2.	Componentes usados en el prototipo de ventas .....	26
7.2.1.	Unidad de control.....	26
7.2.2.	Sensores.....	27
7.2.3.	Actuadores.....	33
7.2.4.	Otros componentes.....	41
7.3.	Distribución de los componentes.....	48
7.4.	Conexión del prototipo por partes.....	49
7.4.1.	Control del acceso principal a la vivienda .....	50
7.4.2.	Control de la iluminación .....	51
7.4.3.	Control de la calefacción, el aire acondicionado y los electrodomésticos.....	54
7.4.4.	Control de las ventanas, persianas y el toldo .....	55
7.4.5.	Medición de la potencia consumida .....	59
7.5.	Diseño del circuito impreso .....	62
7.6.	Funcionalidades del prototipo comercial.....	66
7.6.1.	Modo manual .....	67
7.6.2.	Modo automático.....	69
7.6.3.	Modo seguridad .....	70
8.	Diseño del prototipo de pruebas.....	71

8.1.	Componentes usados en el prototipo de pruebas.....	73
8.1.1.	Sensores.....	73
8.1.2.	Actuadores.....	74
8.1.3.	Otros componentes.....	75
8.2.	Conexionado del prototipo de pruebas por separado.....	77
8.3.	Diseño del circuito impreso para el prototipo de pruebas .....	80
8.4.	Funcionalidades del prototipo de pruebas .....	81
9.	Software .....	82
9.1.	Programa del prototipo de ventas .....	82
9.2.	Programa del prototipo de pruebas.....	88
10.	Aplicación móvil .....	95
10.1.	Interfaz de la aplicación móvil .....	96
11.	Normativa .....	100
12.	Análisis del impacto ambiental.....	102
13.	Posibles mejoras .....	104
14.	Conclusiones .....	105
15.	Bibliografía y enlaces .....	107

## Índice de figuras

Figura 1: Posibles funciones de control de un sistema domótico. (Fuente: [1]).....	6
Figura 2: Esquema de una pasarela residencial. (Fuente: [3]).....	8
Figura 3: Diferentes sistemas que se pueden controlar al domotizar una vivienda. (Fuente: [4]).....	9
Figura 4: Consumo eléctrico según servicios en porcentaje (%). (Fuente: [6], elaboración propia) .....	10
Figura 5: Consumo energético según tipo de electrodomésticos. (Fuente: [6], elaboración propia) ...	11
Figura 6: Algunas de las placas de Arduino más conocidas. (Fuente: [7], elaboración propia) .....	14
Figura 7: Placa de desarrollo STM32 Nucleo-64 con núcleo ARM Cortex M4F. (Fuente: [9]) .....	15
Figura 8: Microcontrolador PIC16F628A. (Fuente: [10]) .....	16
Figura 9: Algunas de las placas de Raspberry Pi más conocidas. (Fuente: [13], elaboración propia)....	18
Figura 10: Esquema de una arquitectura centralizada. (Fuente: [15]).....	19
Figura 11: Esquema de una arquitectura descentralizada. (Fuente: [15]).....	20
Figura 12: Esquema de una arquitectura distribuida. (Fuente: [15]) .....	20
Figura 13: Esquema de una arquitectura mixta. (Fuente: [15]) .....	21
Figura 14: Plano de la vivienda donde se instalará el sistema domótico. (Fuente: [17]).....	25
Figura 15: Microcontrolador Atmel ATmega2560. (Fuente: [18]) .....	26
Figura 16: Detector de movimiento PIR 360º Empotrable. (Fuente: [19]).....	27
Figura 17: Fotorresistencia (LDR). (Fuente: [20]).....	28
Figura 18: Sensor de nivel de agua. (Fuente: [21]) .....	29
Figura 19: Sensor Hall A3144. (Fuente: [21]) .....	29
Figura 20: Finales de carrera. (Fuente: [18]).....	30
Figura 21: Sensor de temperatura/humedad DHT22. (Fuente: [23]).....	31

Figura 22: Detector de humo. (Fuente: [26]).....	32
Figura 23: Sensor de corriente ACS712. (Fuente: [27]) .....	33
Figura 24: Cerradura electromagnética para la puerta principal. (Fuente: [28]) .....	34
Figura 25: Bombillas LED de bajo consumo de la marca Philips. (Fuente: [29]) .....	34
Figura 26: Motor tubular Jarofilt SL 10/17. (Fuente: [30]) .....	35
Figura 27: Motor para ventana estándar. (Fuente: [31]).....	36
Figura 28: Chimenea eléctrica Cecotec Ready Warm 3590 Flames Connected. (Fuente: [32]) .....	37
Figura 29: Radiador eléctrico Bajo Consumo Cecotec ReadyWarm 6000 Thermal Ceramic Connected. (Fuente: [32]) .....	37
Figura 30: Aire acondicionado Split WIND TC4 de 2700 frigorías. (Fuente: [34]) .....	38
Figura 31: Zumbador 5V Buzzer Activo 4 a 7V DC. (Fuente: [35]) .....	38
Figura 32: Módulo relé 5 V de 4 canales. (Fuente: [35]).....	39
Figura 33: Arduino LCD Keypad Shield (16x2). (Fuente: [21]) .....	40
Figura 34: Teclado matricial 4x3. (Fuente: [36]) .....	41
Figura 35: Esquema del multiplexor y demultiplexor (16x1) con 4 pines selectores. (Fuente: elaboración propia) .....	42
Figura 36: Multiplexor / Demultiplexor CD74HC4067. (Fuente: [27]).....	42
Figura 37: Registro de desplazamiento 74HC595. (Fuente: [28]).....	43
Figura 38: Pulsador 6x6mm tact switch LSH (gullwing, variable height). (Fuente: [18]) .....	43
Figura 39: Reloj en tiempo real DS3231. (Fuente: [38]) .....	44
Figura 40: Convertidor AC/DC de 220 V a 5 V, modelo HLK-PM01. (Fuente: [40]).....	46
Figura 41: Esquema eléctrico del conexionado para el modelo HLK-PM01. (Fuente: [Datasheet del HLK-PM01]).....	47

Figura 42: La imagen de la izquierda muestra la distribución de los sensores usados en el prototipo de ventas y la de la derecha la distribución de los actuadores. (Fuente: elaboración propia)..... 48

Figura 43: Ubicación del módulo bluetooth HC-12 y del mando de control del sistema domótico de la vivienda. (Fuente: elaboración propia) ..... 48

Figura 44: Esquema eléctrico del conexionado de la cerradura electromagnética. (Fuente: elaboración propia) ..... 50

Figura 45: Disposición de los pulsadores del teclado internamente. (Fuente: [41]) ..... 50

Figura 46: Esquema eléctrico del conexionado de un teclado 4x3. (Fuente: elaboración propia)..... 51

Figura 47: Conexionado de los sensores LDR (fotorresistores). (Fuente: elaboración propia) ..... 52

Figura 48: Esquema eléctrico del conexionado de la iluminación. (Fuente: elaboración propia)..... 52

Figura 49: Esquema eléctrico del conexionado de los sensores de presencia (PIR). (Fuente: elaboración propia) ..... 53

Figura 50: Esquema eléctrico del conexionado del sensor de temperatura y humedad (DHT22). (Fuente: elaboración propia)..... 54

Figura 51: Esquema eléctrico que simula el conexionado de la calefacción, el aire acondicionado o los electrodomésticos. (Fuente: elaboración propia) ..... 54

Figura 52: Esquema eléctrico del conexionado del real-time clock (RTC). (Fuente: elaboración propia) ..... 55

Figura 53: Conexiones de los motores usados. (Fuente: [30]) ..... 56

Figura 54: Esquema eléctrico del conexionado de los motores de las ventanas, de las persianas y del toldo. (Fuente: elaboración propia) ..... 56

Figura 55: Esquema eléctrico del conexionado de los finales de carrera. (Fuente: elaboración propia) ..... 57

Figura 56: Conexionado de los sensores de nivel de agua al microcontrolador. (Fuente: elaboración propia) ..... 57

Figura 57: Esquema eléctrico del conexionado de los sensores Hall A3144. (Fuente: elaboración propia) ..... 58

Figura 58: Esquema eléctrico del conexionado de los registros de desplazamiento 74HC595. (Fuente: elaboración propia) .....	59
Figura 59: Esquema eléctrico del conexionado realizado para medir la potencia eléctrica. (Fuente: elaboración propia) .....	60
Figura 60: Diseño del circuito impreso para la placa base. (Fuente: elaboración propia) .....	63
Figura 61: Diseño del circuito impreso para el mando de control. (Fuente: elaboración propia).....	64
Figura 62: Diseño del circuito impreso del prototipo comercial (primera parte de la placa). (Fuente: elaboración propia) .....	65
Figura 63: Diseño del circuito impreso del prototipo comercial (segunda parte de la placa). (Fuente: elaboración propia) .....	66
Figura 64: Diseño del posible mando de control. (Fuente: elaboración propia).....	68
Figura 65: Sensor PIR HC-SR501. (Fuente: [20]).....	73
Figura 66: Sensor de temperatura/humedad DHT11. (Fuente: [20]).....	73
Figura 67: Motor paso a paso 28BYJ-48-5V y el módulo de control ULN2003. (Fuente: [42]) .....	74
Figura 68: Dos modelos distintos de servomotor. (Fuente: [21]).....	75
Figura 69: Real Time Clock RTC DS1302. (Fuente: [43]) .....	75
Figura 70: Módulo bluetooth HC-05. (Fuente: [21]).....	76
Figura 71: Conexionado del shield LCD y el LED amarillo que simula la iluminación de la vivienda (izquierda) y los pulsadores incorporados en el shield LCD conectados en una entrada analógica de la placa de Arduino (derecha). (Fuente: elaboración propia) .....	77
Figura 72: Conexionado del teclado 4x3 y del módulo de 2 relés de 5V. (Fuente: elaboración propia)78	
Figura 73: Conexionado del sensor DHT11, del Buzzer y del motor paso a paso (con el módulo ULN2003). (Fuente: elaboración propia) .....	78
Figura 74: Conexionado del real-time clock DS1302, del conjunto de LEDs, de un pulsador, de los servomotores y del sensor PIR HC-SR501. (Fuente: elaboración propia) .....	79
Figura 75: Conexionado del módulo bluetooth HC-05, del sensor de nivel de agua, del sensor de luz LDR y del potenciómetro. (Fuente: elaboración propia) .....	79

Figura 76: Diseño del circuito impreso del prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia) .....	80
Figura 77: Diagrama de flujo del código del prototipo de ventas. (Fuente: elaboración propia).....	82
Figura 78: Diagrama de flujo de la función bucle o “loop”. (Fuente: elaboración propia) .....	83
Figura 79: Diagrama de flujo del pulsador “MAS”. (Fuente: elaboración propia) .....	84
Figura 80: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema domótico en modo manual. (Fuente: elaboración propia) .....	84
Figura 81: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema domótico en modo automático. (Fuente: elaboración propia) .....	85
Figura 82: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema domótico en modo seguridad. (Fuente: elaboración propia) .....	86
Figura 83: Diagrama de flujo de las alarmas del prototipo de ventas. (Fuente: elaboración propia) ...	87
Figura 84: Listado de las librerías usadas en el programa del prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia) .....	88
Figura 85: Listado de las funciones creadas para el prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia) .....	89
Figura 86: Diagrama de flujo de las distintas pantallas que se visualizarán en el mando de control. (Fuente: elaboración propia).....	90
Figura 87: Diagrama de flujo de las funcionalidades del modo manual del prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia).....	93
Figura 88: Diagrama de flujo del funcionamiento en modo automático del prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia).....	94
Figura 89: QR para descargar la aplicación móvil. (Fuente: [45]).....	95
Figura 90: Diagrama de bloques de las distintas pantallas de la aplicación móvil. (Fuente: elaboración propia) .....	96
Figura 91: Pantalla “Usuario” (imagen de la izquierda) y pantalla “Datos” (imagen de la derecha) de la aplicación móvil. (Fuente: elaboración propia) .....	97
Figura 92: Pantalla “Menú” de la aplicación móvil. (Fuente: elaboración propia) .....	97

Figura 93: Pantalla “Control” de la aplicación móvil. (Fuente: elaboración propia) ..... 98

Figura 94: Pantalla “Alarmas” (imagen de la izquierda) y pantalla “Información” (imagen de la derecha) de la aplicación móvil. (Fuente: elaboración propia) ..... 99

Figura 95: Certificación de cumplimiento de la directiva RoHS. (Fuente: [49]) ..... 102

Figura 96: Certificación CE. (Fuente: [50]) ..... 102

Figura 97: Símbolo de la Directiva 2012/19/UE (RAEE). (Fuente: [51])..... 103



## Índice de tablas

Tabla 1: Diagrama de GANTT del proyecto. (Fuente: elaboración propia) .....	5
Tabla 2: Comparación de las placas Arduino principales. (Fuente: [7], elaboración propia).....	14
Tabla 3: Comparativa de los microcontroladores PIC según la arquitectura interna. (Fuente: [11], elaboración propia) .....	16
Tabla 4: Comparativa de las placas Raspberry Pi principales. (Fuente: [12], elaboración propia) .....	18
Tabla 5: Especificaciones del Arduino Mega 2560. (Fuente: [16], elaboración propia).....	23
Tabla 6: Distintas zonas de la vivienda y la superficie en m <sup>2</sup> . (Fuente: elaboración propia) .....	26
Tabla 7: Especificaciones del detector de movimiento PIR 360º. (Fuente: [19], elaboración propia) ..	27
Tabla 8: Especificaciones de las fotorresistencias usadas. (Fuente: [18], elaboración propia) .....	28
Tabla 9: Especificaciones del sensor de nivel de agua. (Fuente: [22], elaboración propia).....	29
Tabla 10: Especificaciones del sensor Hall A3144. (Fuente: [Datasheet sensor Hall A3144], elaboración propia) .....	30
Tabla 11: Especificaciones del sensor de temperatura/humedad DHT22. (Fuente: [Datasheet del DHT22], elaboración propia) .....	31
Tabla 12: Especificaciones del detector de humo. (Fuente: [26], elaboración propia) .....	32
Tabla 13: Especificaciones del sensor de corriente ACS712ELCTR-30A-T. (Fuente: [Datasheet del ACS712], elaboración propia).....	33
Tabla 14: Especificaciones de la cerradura electromagnética escogida. (Fuente: [28], elaboración propia) .....	34
Tabla 15: Especificaciones de las bombillas LED. (Fuente: [29], elaboración propia).....	35
Tabla 16: Especificaciones del motor tubular Jarofilt SL 10/17. (Fuente: [30], elaboración propia).....	35
Tabla 17: Especificaciones de los motores para las ventanas. (Fuente: [31], elaboración propia) .....	36
Tabla 18: Especificaciones del aire acondicionado Split WIND TC4 de 2700 frigorías. (Fuentes: [34], elaboración propia) .....	38

Tabla 19: Especificaciones del Zumbador de 5V Buzzer Activo. (Fuente: [35], elaboración propia).....	39
Tabla 20: Especificaciones del módulo de relés de 4 canales. (Fuente: [35], elaboración propia).....	40
Tabla 21: Especificaciones del multiplexor/demultiplexor CD74HC406. (Fuente: [Datasheet CD74HC406], elaboración propia) .....	42
Tabla 22: Especificaciones del pulsador 6x6mm tact switch LSH (gullwing, variable height). (Fuente: [18], elaboración propia).....	44
Tabla 23: Especificaciones del RTC DS3231. (Fuente: [38], elaboración propia) .....	45
Tabla 24: Especificaciones del módulo bluetooth HC-12. (Fuente: [39], elaboración propia) .....	45
Tabla 25: Especificaciones del convertidor de 220 V a 5 V, modelo HLK-PM01. (Fuente: [40], elaboración propia) .....	46
Tabla 26: Leyenda de los símbolos correspondientes a los dispositivos usados en el prototipo de ventas. (Fuente: elaboración propia).....	49
Tabla 27: Correspondencia de los pines de control con la columna o fila del teclado 4x3. (Fuente: elaboración propia) .....	50
Tabla 28: Equivalencia de los dispositivos del prototipo de ventas con el prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia).....	72
Tabla 29: Especificaciones del motor paso a paso 28BYJ-48-5V. (Fuente: [42], elaboración propia) ...	74
Tabla 30: Especificaciones de los servomotores SG90 y MG90S. (Fuente: [43], elaboración propia)...	75
Tabla 31: Especificaciones del módulo bluetooth HC-05. (Fuente: [Datasheet del HC-05], elaboración propia) .....	76
Tabla 32: Consumo eléctrico de los distintos dispositivos de una vivienda. (Fuente: [6], elaboración propia) .....	91



# 1. Objeto del proyecto

El objetivo principal de este trabajo de fin de grado es la elaboración del diseño de un sistema de gestión domótica que pueda optimizar el consumo energético de la vivienda mediante el control de los distintos actuadores distribuidos por la casa según las necesidades del usuario (modo manual) o según las lecturas de los sensores instalados (modo automático). Además, el ahorro de energía supondrá una reducción del coste de la factura de la luz.

Otro objetivo no menos importante es el de asegurar al usuario una mejora de la seguridad y de su confort. Para una mayor comodidad del usuario, el sistema domótico diseñado se podrá controlar mediante dos interfaces: una aplicación móvil permitiendo el control del sistema domótico a distancia y un mando de control formado por una pantalla LCD, un conjunto de pulsadores para navegar por las distintas pantallas del sistema de control y para la selección del modo de funcionamiento, un teclado y un conjunto de LEDs para indicar si alguna alarma está activada. Desde ambos dispositivos se podrá consultar información sobre el estado de la vivienda (temperatura, humedad, potencia consumida, etc.) y se podrá realizar el control de todos los dispositivos del sistema domótico de forma manual o automática.

El prototipo que se diseñará en este proyecto estará basado en el microcontrolador ATmega2560 al que irán conectados todos los componentes que forman el sistema domótico (sensores, actuadores, etc.).

## 2. Motivación y justificación

Siempre me ha gustado todo lo relacionado con los nuevos avances tecnológicos, sobre todo el mundo de la robótica y la inteligencia artificial que me parece fascinante. Decidí matricularme al grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática a partir de la realización de un proyecto en bachillerato que me introdujo al mundo de la programación gracias a las placas Arduino y que disfruté mucho desarrollándolo. En el presente proyecto quería profundizar más sobre el tema de la programación de algún microcontrolador y ver la evolución de todo lo que he aprendido durante estos últimos años.

La realización del trabajo de final de estudios me ha ofrecido la oportunidad de realizar este proyecto sobre la gestión domótica para optimizar el consumo energético de una vivienda. Este engloba todos los aspectos que más me han interesado durante los años que he estado cursado el grado como son la automatización y el control de procesos industriales, la programación y el diseño de prototipos electrónicos.

Otro aspecto que me llamaba la atención de la domótica es que estos sistemas aparte de proporcionar una mayor comodidad y seguridad a las personas también tienen un impacto positivo en el medio ambiente ya que instalando estos sistemas se consigue reducir el consumo energético haciendo un uso más eficiente de la energía de la vivienda con el consiguiente ahorro económico para las familias.

## 3. Introducción

La sociedad actual cada vez está más concienciada en la necesaria sostenibilidad que necesita el planeta. En este sentido, la tecnología avanza no solo con la misión de hacernos la vida más cómoda, sino que además debe mejorar el uso eficiente de los recursos y contribuir a la reducción de la huella de carbono, evolucionando hacia modelos de producción más sostenibles.

La transformación digital y la aplicación de la tecnología es un factor clave en el sector inmobiliario. La domótica o el conjunto de sistemas tecnológicos que sirven para automatizar las casas, además de soluciones inteligentes a distancia para gestionar sistemas de seguridad, electrodomésticos, subir y bajar persianas, encender y apagar las luces o regular la climatización, entre otras funciones, no solo agiliza y simplifica procesos sin esfuerzo, sobre todo a aquellas personas con movilidad reducida o discapacitadas, sino que permite aumentar su eficiencia energética, lo que se traduce en un certificado de la vivienda con una mayor calificación energética lo que, a su vez, implica una reducción del gasto energético y un ahorro en el coste de la factura.

Los actuales contadores inteligentes y los dispositivos de análisis de consumo permiten al usuario analizar y gestionar en tiempo real las fuentes de mayor gasto de energía, pudiendo con esta información optimizar los consumos de agua, gas y electricidad. El avance de la tecnología y el desarrollo de los sistemas de comunicación inalámbricos de alta velocidad han permitido la integración de elementos domóticos en cualquier parte del hogar y en todo tipo de viviendas, con una notable reducción de los costes.

### 3.1. Especificaciones básicas

En este proyecto se diseña un sistema de gestión domótica con el objetivo de optimizar el consumo energético de una vivienda. Para ello, se ha realizado un estudio previo del sector de la domótica para saber la situación actual de estos sistemas (funcionalidades típicas, tipos de arquitectura, comunicaciones, etc.). También, para la elección de los componentes que formarán parte del sistema domótico (sensores, actuadores, microcontrolador, etc.) se ha realizado un estudio de mercado para seleccionar aquellos dispositivos que mejor se ajustan a las funciones que realiza el sistema, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de cada componente a la hora de realizar el conexionado de todos los dispositivos.

En la elaboración del proyecto, para acotar el área de estudio se han definido una serie de requisitos mínimos que debe cumplir el prototipo diseñado:

- Se debe diseñar una unidad de monitorización de la vivienda que, mediante un conjunto de sensores y actuadores, pueda realizar las funciones propias de los sistemas domóticos.
- Se diseñarán 2 prototipos: el comercial y el de pruebas. El primero será aquel con todas las funcionalidades que se instalaría en la vivienda, mientras que el segundo es una simplificación del prototipo comercial donde, sustituyendo algunos dispositivos por otros más sencillos que únicamente necesitan una fuente de alimentación de 5 V, se simularán la mayoría de las funcionalidades del prototipo comercial.
- Para el desarrollo del prototipo de pruebas se utilizará el microcontrolador ATmega2560 que incluye la placa Arduino Mega 2560 Rev3 con la que trabajaremos. Este se programará con el lenguaje C/C++.
- Ambos prototipos deben incluir una interfaz sencilla e intuitiva, donde el usuario podrá consultar información sobre el estado de la vivienda. También podrá realizar el control de todos los dispositivos del sistema domótico de forma manual o automática.
- Se realizarán planos con todas las conexiones de los distintos dispositivos usados en el sistema domótico para ambos prototipos.
- Se diseñarán las placas de circuito impreso (PCB) necesarias para ambos prototipos.
- Se diseñará una aplicación móvil para poder realizar el control domótico de manera inalámbrica gracias a la comunicación bluetooth.

### 3.2. Diagrama de Gantt

Este proyecto se ha dividido principalmente en dos partes: el hardware y el software. Como se han diseñado dos prototipos, para cada uno de ellos se han tenido que realizar los esquemáticos con las conexiones de todos los dispositivos al microcontrolador, así como el desarrollo de un código para el prototipo de pruebas que permita ver como funcionaría el sistema de gestión domótica diseñado para una vivienda. A continuación, se puede observar cada una de las etapas del proyecto y el tiempo que se ha dedicado a la realización de cada una de ellas estos últimos 5 meses.

Tabla 1: Diagrama de GANTT del proyecto. (Fuente: elaboración propia)

	Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Enero
	1ª mitad	2ª mitad	1ª mitad	2ª mitad	1ª mitad	2ª mitad	1ª mitad	2ª mitad	1ª mitad
Búsqueda de información sobre la domótica									
Aprendizaje de los softwares utilizados (Arduino IDE, EAGLE y MIT App Inventor)									
Definir las funcionalidades del sistema domótico									
Elección y adquisición de los componentes del prototipo de pruebas									
Programas individuales para cada componente por separado									
Realización del software									
Realización del hardware (conexión de los dos prototipos)									
Diseño de la placa PCB									
Crear la aplicación móvil									
Realización de la documentación									

Para la realización del proyecto se empezó realizando una búsqueda de información sobre la domótica y todo lo que esta conlleva (tipos de microcontrolador, tipos de sensores, etc.) para posteriormente poder definir cuáles serán las funcionalidades que realizará el sistema de gestión domótico que se diseñará, así como los componentes que se adquirirán para la realización del prototipo de pruebas. Además, se realizó un aprendizaje de los softwares utilizados para el desarrollo del proyecto (Arduino IDE, EAGLE y MIT App Inventor).

Como se observa en el diagrama de Gantt se la mayoría del tiempo se ha dedicado al desarrollo del software (crear el código del sistema domótico) y a la realización del hardware ya que son las partes más complejas del proyecto. Además, aunque para la realización de estos dos apartados se partía de una base donde se había definido al detalle lo que se quería realizar, a medida que se avanzaba con el proyecto iban surgiendo nuevas ideas que mejoraban la idea inicial las cuales se han ido incorporando.



## 4. Domótica

La rápida evolución de la tecnología, sobre todo en el ámbito de la electrónica y la informática, ha conseguido inundar nuestro día a día con dispositivos que cada vez ofrecen más y más funciones. Uno de estos dispositivos innovadores son los sistemas de automatización del hogar también conocidos como sistemas domóticos.

La domótica es la automatización de un hogar, desde aquellas funciones más simples como por ejemplo el encendido o apagado de las luces con un temporizador hasta los sistemas más complejos que se encargan de interactuar con cualquier dispositivo electrónico de la vivienda. Las viviendas que constan con un sistema domótico se les denomina “*Smart Home*” o hogar inteligente ya que son capaces de supervisar y controlar ciertas funciones de la casa como la iluminación, la climatización o los electrodomésticos, con la mínima intervención por parte de los usuarios. Estos sistemas integran todos los dispositivos del hogar con el objetivo de conseguir un ahorro energético y aumentar el confort y la seguridad en la vivienda consiguiendo una perfecta armonía entre todos los dispositivos del sistema.

Un sistema domótico combina software y hardware a través de una red inalámbrica para controlar los dispositivos electrónicos del hogar desde un teléfono móvil, una *tablet* o un sistema central de control domótico específico (mando de control). Actualmente, algunos de estos sistemas de control domótico también se pueden controlar mediante asistentes de voz (como *Siri* o *Alexa*) y la mayoría de estos sistemas pueden controlarse a distancia incluso cuando no se está en la vivienda gracias a aplicaciones móviles.

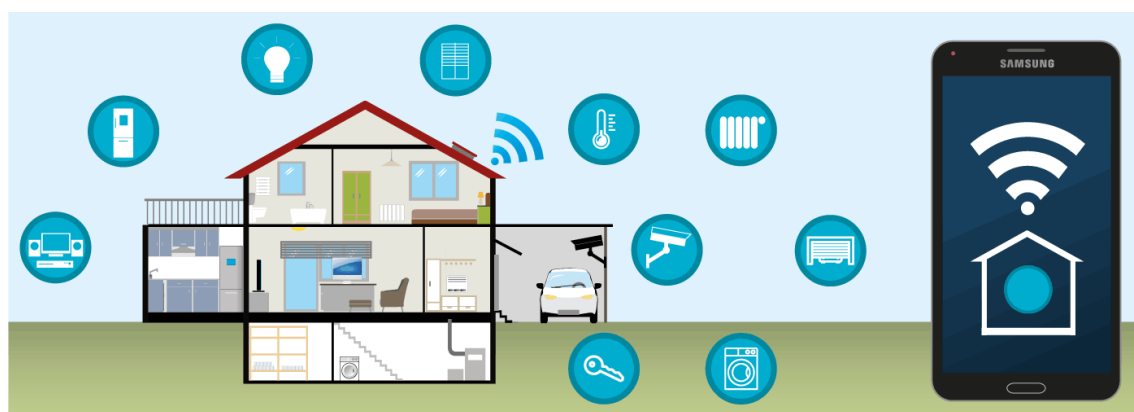


Figura 1: Posibles funciones de control de un sistema domótico. (Fuente: [1])

Los primeros dispositivos que se podían considerar sistemas domóticos aparecieron en la década de los 70 y estaban basados en la tecnología X-10, protocolo de comunicaciones (que aún se utiliza) que utiliza como medio de transmisión la red eléctrica y la radiofrecuencia para enviar las instrucciones de control.<sup>[2]</sup> En los siguientes años hubo un creciente interés por estos dispositivos de automatización de edificios, pero no fue hasta principios de los años 90 que se empezaron a instalar los SCE (Sistema de Cableado Estructurado) en algunos edificios para facilitar la conexión entre los distintos terminales y periféricos. Posteriormente, a mediados de la década de los 90, estos automatismos se empezaron a instalar en viviendas particulares dando origen a lo que hoy se conoce como la vivienda domótica.

Aunque durante la década de los 90 se conocía el concepto de vivienda domótica y sus beneficios no tuvo mucho éxito y no fue hasta la siguiente década que pasó a ser una tecnología con un gran peso en la sociedad.

Actualmente, el número de viviendas domóticas es todavía relativamente bajo respecto al total de viviendas, pero poco a poco se empiezan a ver más dispositivos de automatización en las viviendas. Un claro ejemplo de esto es el uso de los videoporteros o de los termostatos que a día de hoy prácticamente toda vivienda cuenta con uno de estos dos dispositivos.

El campo de la domótica y el hogar digital ha crecido rápidamente en los últimos años y ahora ofrece una gama más amplia de productos que ofrecen soluciones para todo tipo de hogares proporcionando más funciones por un precio más económico, siendo sistemas más intuitivos y además su instalación es más sencilla.

Para que todos estos dispositivos funcionen conjuntamente, deben estar conectados a través de una red interna conocida como red del hogar o HAN (*Home Area Network*). Las redes en el interior de los edificios, cableadas o inalámbricas, generalmente se dividen en tres tipos de redes según el tipo de dispositivos que se vayan a interconectar y las aplicaciones que ofrezcan: [\[3\]](#)

- La red de control o red domótica se usa para automatizar la vivienda. En esta van interconectados los sensores, actuadores y dispositivos inteligentes al controlador (o varios controladores).
- La red de datos permite compartir recursos informáticos (ficheros, impresoras, etc.), así como acceder a Internet desde todas las dependencias de la vivienda simultáneamente al

mismo tiempo que se puede hablar por teléfono. Esta red se utiliza para la interconexión entre PC, impresoras, escáneres, etc.

- La red multimedia se utiliza para la interconexión de dispositivos multimedia ya que permite la gestión y distribución de audio y vídeo por toda la vivienda.

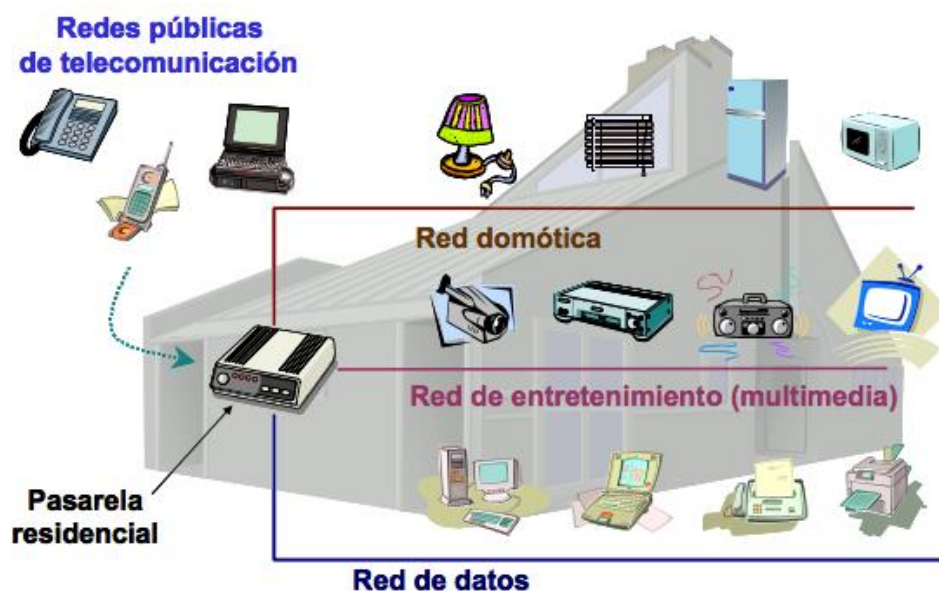


Figura 2: Esquema de una pasarela residencial. (Fuente: [3])

Estos tres tipos de redes actualmente están contruidos por diferentes tecnologías. Entre todos los dispositivos domóticos cabe destacar un elemento esencial: la pasarela residencial (en inglés, *home gateway*). Esta pasarela debe garantizar la seguridad de las comunicaciones dentro y fuera del hogar y además debe poder administrarse de forma remota. También permite la coexistencia de todas estas redes (domótica, datos y multimedia) y dispositivos internos conectándolos entre sí. También permite la conexión con el exterior a través de las redes públicas de telecomunicaciones (por ejemplo, Internet).

#### 4.1. Aplicaciones principales

Cuando se habla de domótica, se hace referencia a un conjunto de sistemas tecnológicos que proporcionan un mayor nivel de comodidad ahorrando tiempo, una mayor seguridad y con los que se consigue una mayor eficiencia energética lo que supone un ahorro económico para el usuario.

En concreto, para el caso de las viviendas, la domótica se aplica para administrar el hogar al gusto del consumidor y gestionar de manera inteligente algunas de las funciones de la vivienda, como la iluminación, la ventilación o la vigilancia.



Figura 3: Diferentes sistemas que se pueden controlar al domotizar una vivienda. (Fuente: [4])

Las posibilidades de domotizar una casa son casi infinitas y pueden ser personalizadas adaptándose a los hábitos del usuario. Las funcionalidades más comunes que suelen incorporar estos sistemas son:

- Conseguir un ahorro energético: se puede configurar el encendido y apagado de la calefacción y aire acondicionado de manera automática o controlar que las ventanas permanezcan cerradas mientras los electrodomésticos de aclimatación se encuentran encendidos. Otro elemento que se puede automatizar son las cortinas o las persianas las cuales se pueden abrir y cerrar automáticamente teniendo en cuenta la intensidad de la luz exterior o el viento. También se pueden controlar algunos electrodomésticos que no son inteligentes mediante la programación de los enchufes de la vivienda en función de las franjas horarias más económicas pudiendo conseguir un ahorro de hasta un 30 % en la factura de la luz. Además, es posible medir la potencia consumida y realizar un historial de

datos para detectar los picos de consumo e intentar reducirlos realizando los cambios necesarios en el sistema domótico.

- Mayor comodidad del usuario: se puede realizar un control de la iluminación de la casa tanto manual como automático (con esta función también se obtiene un ahorro energético del hogar). También se pueden controlar a través del teléfono móvil varios electrodomésticos, así como los dispositivos multimedia que se tengan (televisión, equipo de música, etc.). Otra función que mejora el confort del usuario es el uso de cerraduras inteligentes ya que, en otro tipo de edificios como, por ejemplo, edificios de oficinas, estos mecanismos se pueden usar para dar acceso a personas que no poseen llaves directamente del recinto, como visitantes y huéspedes.
- Mejora en la seguridad: se pueden instalar cerraduras inteligentes que proporcionan una mayor seguridad de la vivienda. También se suelen instalar sensores de presencia o cámaras con acceso remoto para detectar intrusiones en la vivienda cuando esta se encuentra vacía. Además, estas instalaciones cuentan con varias alarmas que avisan al usuario en caso de incendio, fuga de gas, inundaciones, etc.

Como se ha mencionado, una de las principales funcionalidades de estos sistemas es el ahorro energético. Para conseguir este ahorro es necesario saber qué servicios consumen más para poder instalar un sistema que permita controlar y regular de la manera más óptima cada uno de ellos. Actualmente el consumo eléctrico aproximado de una vivienda en España, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDEA), se puede repartir según el gráfico de la Figura 4.

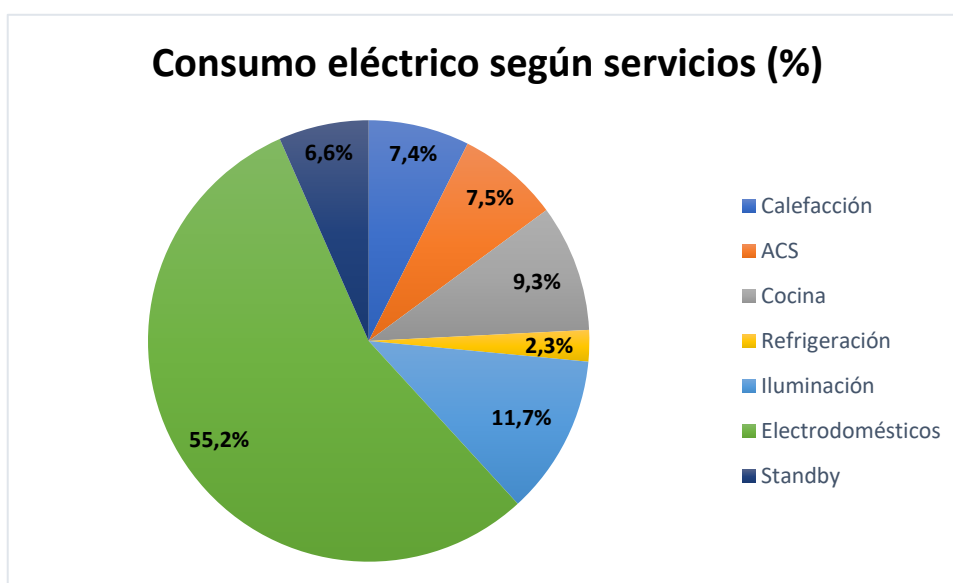


Figura 4: Consumo eléctrico según servicios en porcentaje (%). (Fuente: [6], elaboración propia)

Como se puede observar los dispositivos que consumen más energía eléctrica en una vivienda española, y por una gran diferencia, son los electrodomésticos, con más del 50 % del consumo total. Para reducir el consumo de estos dispositivos se pueden instalar relés que pueden habilitar o deshabilitar los electrodomésticos según las franjas horarias con un precio del kWh más bajo. Estos están seguidos por la iluminación, la cocina y el sistema de suministro de agua caliente sanitaria (ACS).

En concreto, el consumo de energía eléctrica de los principales electrodomésticos que corresponde al 55,2 % del total, según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDEA), se puede repartir en los porcentajes mostrados en la Figura 5, siendo el frigorífico el que más consume debido en parte a las horas que debe estar funcionando.

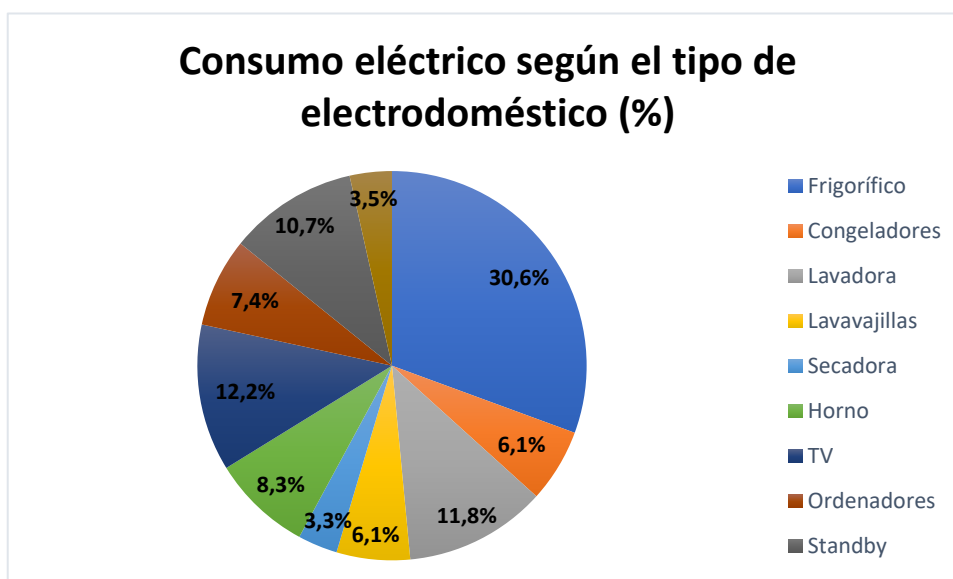


Figura 5: Consumo energético según tipo de electrodomésticos. (Fuente: [6], elaboración propia)

## 4.2. Ventajas e inconvenientes

Algunas de las ventajas principales que aportan los sistemas de control domótico para las viviendas son: <sup>[4]</sup>

- Ahorro económico a largo plazo.
- Ahorro energético gracias a un mejor uso de los sistemas.
- Personalización del sistema domótico a los planes de tarifas reducidas (normalmente suele ser la tarifa nocturna).
- Informan sobre el consumo energético de la vivienda en tiempo real.
- Mejora en el confort ya que se puede realizar el control de los dispositivos del hogar, desde un PC, por Internet, o desde un teléfono móvil.
- Mayor seguridad con la instalación de alarmas que avisan al usuario en caso de intrusión, avería, posibles incendios y fugas de gas o agua. También con la instalación de cámaras y micrófonos para poder grabar videos o simplemente poder ver u oír en tiempo real el lugar donde estén colocados.
- Proporcionan un control del acceso a la vivienda.

Las desventajas de la domótica son mínimas, sin embargo, existen algunos contras de este sistema. A continuación, se exponen algunos ejemplos.

- Alto coste de la instalación: debido al alto nivel de seguridad y confort, generalmente las instalaciones de los sistemas domóticos tienen un elevado coste. Además, dependiendo de la vivienda seleccionada pueden ser difíciles de implementar y puede llegar a ser un proceso lento, sobre todo en casas construidas previamente.
- Mantenimiento esporádico para evitar fallos críticos: una vez realizada la instalación, estos sistemas domóticos requieren un mantenimiento esporádico que actualice el sistema y sus redes. Aunque raramente ocurre, si se produjera una avería o falla, se deberá arreglar cuanto antes ya que es posible que se bloquee alguna parte importante del sistema y algunas de sus funciones queden anuladas (como la cerradura de la puerta, las alarmas, etc.). Estos arreglos pueden ser complejos y costosos.
- Velocidad de transmisión de datos baja: dependiendo de las funciones que desempeñe el sistema domótico, de la cantidad de usuarios conectados y de la cantidad de datos que se tienen que transferir al sistema este puede sobrecargarse lo que provocaría una disminución de la velocidad de transmisión.

## 5. Posibles soluciones

### 5.1. Microcontrolador

Para la realización del prototipo de ventas se ha buscado un microcontrolador con el que se podría realizar la domotización de una vivienda. En esta búsqueda por el microcontrolador que se aproxime más a nuestras necesidades se han barajado las siguientes opciones.

#### 5.1.1. Arduino (AVR)

Arduino es una plataforma de código abierto (*Open-source*) utilizada para crear proyectos de electrónica enfocada tanto para aquellas personas que se estén inicializando en el mundo de la programación como para estudiantes, profesores e incluso ingenieros. Esta plataforma también se puede usar para comprobar el funcionamiento de circuitos que posteriormente se crearan físicamente ya que, mediante programas electrónicos que permitan realizar simulaciones de circuitos (por ejemplo, el PROTEUS), se puede imitar el comportamiento que realizará el circuito físico y, de esta manera, ahorrar tiempo y dinero pudiendo detectar fallos en el código realizado o evitar posibles cortocircuitos antes de implementarlo.

Arduino está formado por una placa de circuito física programable donde se encuentra un microcontrolador de la familia ATmega AVR (este depende del modelo escogido) y una parte de desarrollo conocida como IDE (*Integrated Development Environment*) desde la que se programa el microcontrolador utilizando el lenguaje C++.

Esta plataforma electrónica cuenta con un gran número de placas de desarrollo disponibles lo que permiten al consumidor elegir la que se ajusta más a sus necesidades teniendo en cuenta el tamaño de la placa, el número de pines digitales/analógicos, etc. En la Tabla 2 se ha realizado una comparativa de las placas Arduino más conocidas teniendo en cuenta los datos proporcionados por los *datasheets* de cada una de ellas. [\[7\]](#)



Tabla 2: Comparación de las placas Arduino principales. (Fuente: [7], elaboración propia)

	ARDUINO				
	UNO Rev3	Micro	Nano	Mega 2560 Rev3	Due
Microcontrolador	ATmega328P	ATmega32U4	ATmega328	ATmega2560	AT91SAM3X8E
Voltaje de operación	5 V	5 V	5 V	5 V	3,3 V
Voltaje de entrada (recomendado)	7 - 12 V	7 - 12 V	7 - 12 V	7 - 12 V	7 - 12 V
Voltaje de entrada (límite)	6 - 20 V	6 - 20 V	6 - 20 V	6 - 20 V	6 - 16 V
Pines Digitales E/S	14	20	22	54	54
Pines Digitales PWM E/S	6	7	6	15	12
Pines Analógicos	6	12	8	16	14
Corriente de los pines E/S	20 mA	20 mA	40 mA	20 mA	130 mA
Memoria flash	32 kB	32 kB	32 kB	256 kB	512 kB
SRAM	2 kB	2,5 kB	2 kB	8 kB	96 kB
EEPROM	1 kB	1 kB	1 kB	4 kB	-
Frecuencia	16 MHz	16 MHz	16 MHz	16 MHz	84 MHz
Longitud	68,6 mm	48 mm	45 mm	101,52 mm	101,52 mm
Anchura	53,4 mm	18 mm	18 mm	53,3 mm	53,3 mm
Peso	25 g	13 g	7 g	37 g	36 g
Uso típico	Inicialización en Arduino	Prototipos de pequeñas dimensiones	Proyectos muy pequeños (dimensiones inferiores al Micro)	Proyectos más complejos gracias a una gran flexibilidad, mucha potencia y buena compatibilidad	Proyectos más complejos ya que es una placa muy potente, pero está limitada en compatibilidad

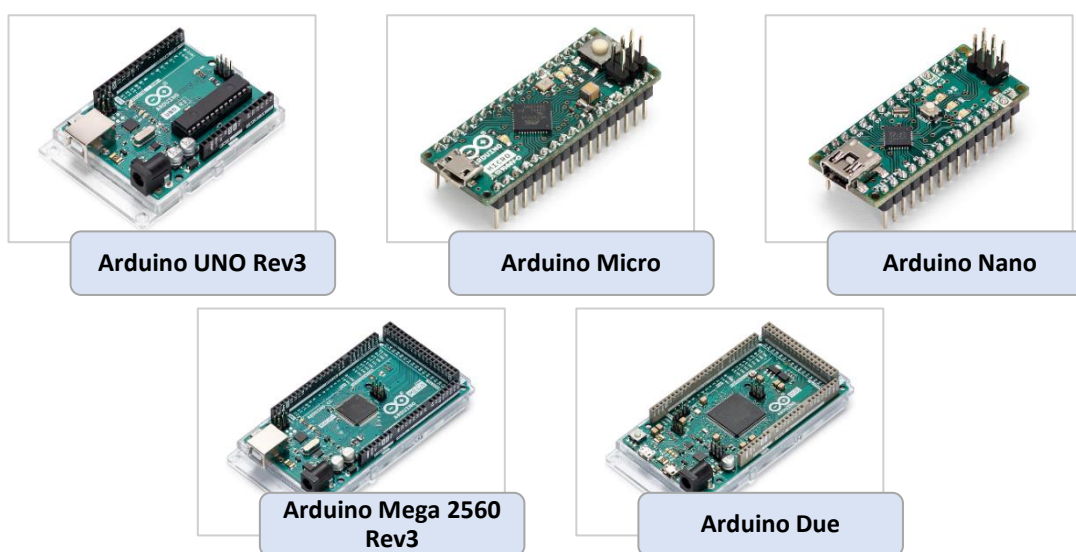


Figura 6: Algunas de las placas de Arduino más conocidas. (Fuente: [7], elaboración propia)

### 5.1.2. STM32 (ARM)

STM32 es una familia de microcontroladores de 32 bits de STMicroelectronics basados en el procesador Arm Cortex®-M. Internamente, cada microcontrolador consta del núcleo del procesador, RAM estática, memoria *flash*, interfaz de depuración y diversos periféricos.

La familia STM32 consta de 17 series de microcontroladores: H7, F7, F4, F3, F2, F1, F0, G4, G0, L5, L4, L4+ L1, L0, U5, WL, WB. Cada serie de microcontroladores STM32 se basa en un núcleo de procesador ARM Cortex-M7F, Cortex-M4F, Cortex-M33, Cortex-M3, Cortex-M0+ o Cortex-M0.

Estos microcontroladores ofrecen productos que combinan muy altas prestaciones, capacidades de tiempo real, procesamiento digital de señales, funcionamiento con bajo consumo/bajo voltaje y conectividad, manteniendo al mismo tiempo una integración total y facilidad de desarrollo. Además, vienen acompañados de una amplia selección de herramientas y software de apoyo al desarrollo de proyectos, lo que hace que esta familia de productos sea ideal tanto para pequeños proyectos como para plataformas integrales. <sup>[8]</sup>

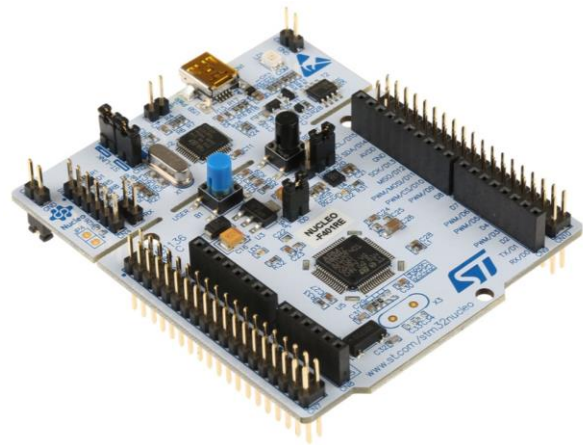


Figura 7: Placa de desarrollo STM32 Nucleo-64 con núcleo ARM Cortex M4F. (Fuente: <sup>[9]</sup>)

### 5.1.3. PIC

Los microcontroladores PIC fueron desarrollados por General Instruments en 1975. PIC son las siglas de *Peripheral Interface Controller* (controlador de interfaz periférica).

El PIC se desarrolló cuando la División de Microelectrónica de General Instruments estaba probando una nueva CPU de 16 bits CP1600. Aunque la CP1600 era una buena CPU, tenía un bajo rendimiento de E/S, es por eso que se desarrolló el PIC de 8 bits para reducir las tareas de E/S de la CPU y mejorar el rendimiento general del sistema. Una década después, General Instruments convirtió su División de Microelectrónica en una compañía independiente llamada *Microchip Technology* que desarrolló continuamente nuevos microcontroladores de alto rendimiento con una nueva arquitectura

compleja (arquitectura *Harvard*) y periféricos incorporados mejorados (módulos de comunicación serie, UART, etc.).

Estos microcontroladores PIC se utilizan mucho en la industria por su alto rendimiento y bajo consumo. Además, otras características que les hacen ser tan populares tanto para los aficionados como para profesionales del sector son: un coste muy económico, disponer de una memoria *flash* reprogramable, poder programarse para realizar una amplia gama de tareas, la fácil disponibilidad de su software de apoyo y herramientas de hardware como compiladores, simuladores, depuradores, etc.



Figura 8: Microcontrolador PIC16F628A. (Fuente: [10])

En la Tabla 3 se han detallado las cuatro categorías del microcontrolador PIC de 8 bits en función de su arquitectura interna.

Tabla 3: Comparativa de los microcontroladores PIC según la arquitectura interna. (Fuente: [11], elaboración propia)

	Microcontroladores PIC			
	Gama básica	Gama media	Gama media mejorada	PIC18
<b>Nº de Pines</b>	6 - 40	8 - 64	8 - 64	18 - 100
<b>Memoria de programa</b>	Hasta 3 KB	Hasta 14 KB	Hasta 28 KB	Hasta 128 KB
<b>Memoria de datos</b>	Hasta 134 Bytes	Hasta 368 Bytes	Hasta 1.5 KB	Hasta 4 KB
<b>Longitud de las instrucciones</b>	12-bit	14-bit	14-bit	16-bit
<b>Nº de juego de instrucciones</b>	33	35	49	83
<b>Velocidad</b>	5 MIPS	5 MIPS	8 MIPS	Hasta 16 MIPS

<b>Características</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Comparador</li> <li>· 8 bit ADC</li> <li>· Data Memory</li> <li>· D14Oscilador interno</li> </ul>	Además de las características de la primera categoría (Gama básica): <ul style="list-style-type: none"> <li>· SPI</li> <li>· I2C</li> <li>· UART</li> <li>· PWM</li> <li>· 10 bit ADC</li> <li>· OP-Amps</li> </ul>	Además de las características de la segunda categoría (Gama media): <ul style="list-style-type: none"> <li>· Alto rendimiento</li> <li>· Múltiples periféricos de comunicación</li> </ul>	Además de las características de la segunda categoría (Gama media mejorada): <ul style="list-style-type: none"> <li>· CAN</li> <li>· LIN</li> <li>· USB</li> <li>· Ethernet</li> <li>· 12 bit ADC</li> </ul>
<b>Familias</b>	PIC10, PIC12, PIC16	PIC12, PIC16	PIC12F1XXX, PIC16F1XXX	PIC18

#### 5.1.4. Raspberry Pi

La Raspberry Pi es una serie de ordenadores de placa simple (*Single Board Computer, SBC*) o monoplaca de bajo coste. Estas placas hacen la función de un pequeño ordenador al que se le han eliminado todos los accesorios que se pueden eliminar sin que esto afecte al funcionamiento básico.

Este sistema fue desarrollado por la Fundación Raspberry Pi en el Reino Unido en 2011 con el objetivo de introducir el mundo de la electrónica y la creación digital a todas aquellas personas interesadas sin grandes conocimientos del tema. La Raspberry Pi es muy asequible y con ella se pueden realizar tareas básicas como programar y compilar programas que se puedan ejecutar en ella ya que es lo suficientemente potente.

La Fundación Raspberry ha sacado una amplia gama de placas para que el usuario pueda escoger la que le convenga más dependiendo del proyecto que vaya a realizar teniendo en cuenta, por ejemplo, el tamaño de la placa y la potencia de esta. Actualmente podemos encontrar en el mercado dos modelos diferentes de la placa normal, el modelo A y el modelo B. Las principales diferencias entre ambos modelos es que el modelo A sólo dispone de un puerto USB, carece de controlador Ethernet, tiene 256 MB de RAM (el otro modelo tiene 512 MB) y es más económico. Además de estos modelos también han sacado otra gama de placas más pequeñas, pero menos potentes denominadas Raspberry Pi Zero.

En la Tabla 4 se han detallado las 4 placas Raspberry Pi más conocidas.

Tabla 4: Comparativa de las placas Raspberry Pi principales. (Fuente: [12], elaboración propia)

Modelo	CPU	RAM	Conectividad inalámbrica	Puertos E/S
Raspberry Pi 4B	1.5-GHz, 4-core Broadcom BCM2711 (Cortex-A72)	2/4/8GB	802.11ac / Bluetooth 5.0	2x USB 3.0 2x USB 2.0 1x Gigabit Ethernet 2x micro-HDMI
Raspberry Pi 3 B+	1.4-GHz, 4-core Broadcom BCM2837B0 (Cortex- A53)	1GB	802.11ac, Bluetooth 4.2, Ethernet	4 x USB 2.0 HDMI 3.5mm audio
Raspberry Pi Zero W	1-GHz, 1-core Broadcom BCM2835 (ARM1176JZF-S)	512MB	802.11n / Bluetooth 4.1	1x micro USB 1x mini HDMI
Raspberry Pi Zero	1-GHz, 1-core Broadcom BCM2835 (ARM1176JZF-S)	512MB	-	1x micro USB 1x mini HDMI

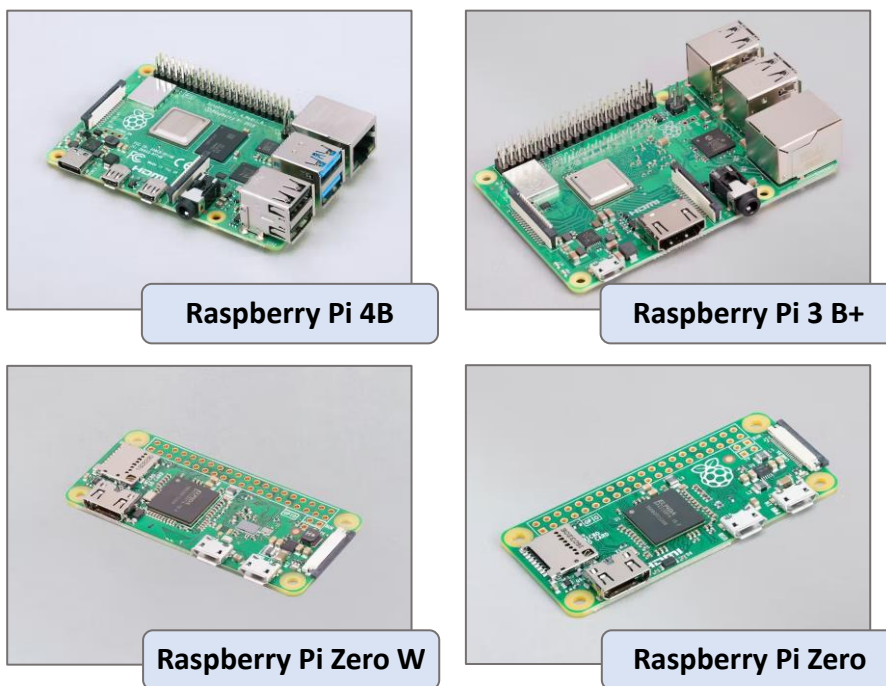


Figura 9: Algunas de las placas de Raspberry Pi más conocidas. (Fuente: [13], elaboración propia)

## 5.2. Tipos de sistemas domóticos (arquitectura)

En el mercado actual, elegir el sistema domótico adecuado requiere analizar previamente diversas variables ya que existe una gran cantidad de marcas y protocolos diferentes de sistemas domóticos.

Una característica muy importante a tener en cuenta a la hora de elegir un sistema domótico para su instalación es su tipo de arquitectura, que es la que determina como se ubican y funcionan los distintos elementos de control del sistema, es decir, su red estructural. A continuación, se detallarán los principales sistemas domóticos clasificados según su tipología. [\[14\]](#)

### 5.2.1. Arquitectura centralizada

En un sistema de domótica de arquitectura centralizada, solo existe un controlador que tiene la función de recibir toda la información que proporcionan los sensores que estén conectados a este y de enviar la información a los actuadores e interfaces según el programa.

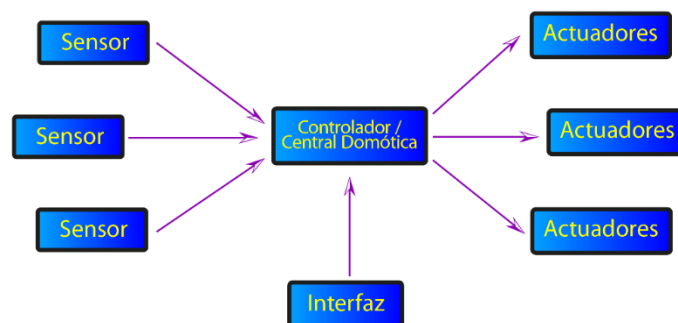


Figura 10: Esquema de una arquitectura centralizada. (Fuente: [\[15\]](#))

La principal ventaja de este tipo de sistemas es su gran potencia, su fácil uso y su sencilla instalación. Esto es debido a que suele ir administrado por procesadores muy potentes, ideal para integraciones de gran complejidad ya que se tendrá que procesar gran cantidad de información a gran velocidad debido a que todos los sensores y actuadores van conectados a un único controlador. También cabe mencionar que a la hora de programar son mucho más flexibles que los de una arquitectura distribuida.

Por otro lado, una gran desventaja frente a otras arquitecturas es que, al ser un sistema centralizado, toda la responsabilidad del sistema recae en el Máster. Esto significa que si el Máster falla o se estropea todo lo que esté conectado a este dejará de funcionar.

### 5.2.2. Arquitectura descentralizada

En los sistemas domóticos con una arquitectura descentralizada hay varios controladores interconectados por un bus con la función de enviar toda la información entre ellos. Funciona como si fuera un sistema centralizado ya que cada uno de los controladores se encarga de enviar la información a los distintos actuadores, según el programa, la configuración y la información que recibe de los sensores y de los usuarios.

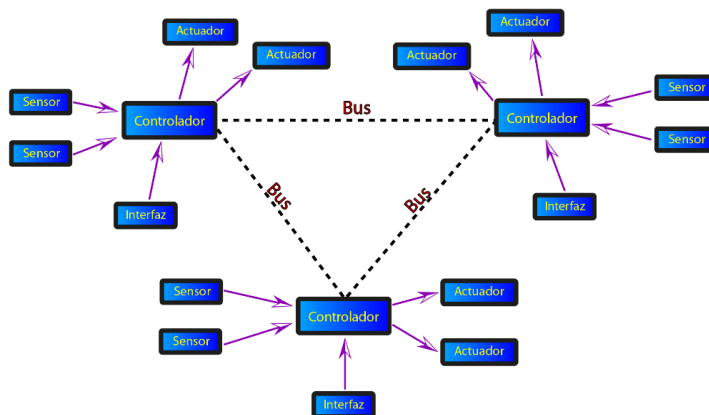


Figura 11: Esquema de una arquitectura descentralizada. (Fuente: [15])

La ventaja principal de este tipo de arquitectura es que permite rediseñar la red sencillamente ya que se puede ampliar fácilmente y ofrece una gran seguridad de funcionamiento.

### 5.2.3. Arquitectura distribuida

Con una arquitectura distribuida cada uno de los sensores y actuadores son también un controlador capaz de actuar y enviar información al sistema según el programa, la configuración, la información que capta por sí mismo y la que recibe de los otros dispositivos del sistema.

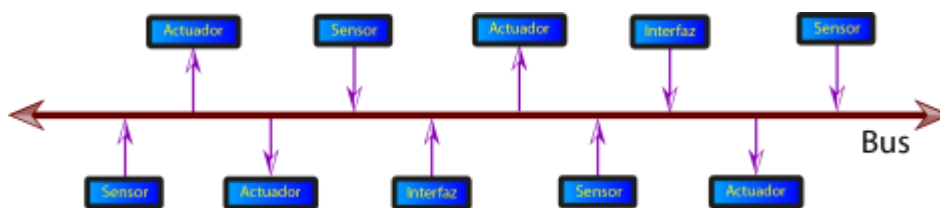


Figura 12: Esquema de una arquitectura distribuida. (Fuente: [15])

La principal ventaja de este sistema es que cada dispositivo tiene una autonomía propia, lo cual le proporciona una gran seguridad de funcionamiento al sistema ya que permite que, aunque algunas partes del sistema dejen de funcionar, el resto de ellas seguirán funcionando correctamente. Otra gran ventaja de este sistema es que, igual que la arquitectura descentralizada, son ideales para rediseñar.

Por el contrario, al tener la inteligencia repartida por pequeños dispositivos en pequeños procesadores no se puede obtener una gran potencia del sistema. También, al estar programadas para funciones específicas, no suelen ser demasiado flexibles a la hora de programar ya que se necesita bastante programa.

#### 5.2.4. Arquitectura mixta

En una arquitectura híbrida (también denominada arquitectura mixta) se combinan las arquitecturas de los sistemas centralizados, descentralizados y distribuidos. Este tipo de arquitectura puede disponer de un controlador central o varios controladores descentralizados y los sensores y actuadores pueden también ser controladores y procesar la información que capta por sí mismo y, por lo tanto, pueden enviarla a otros dispositivos de la red o actuar ellos mismos.

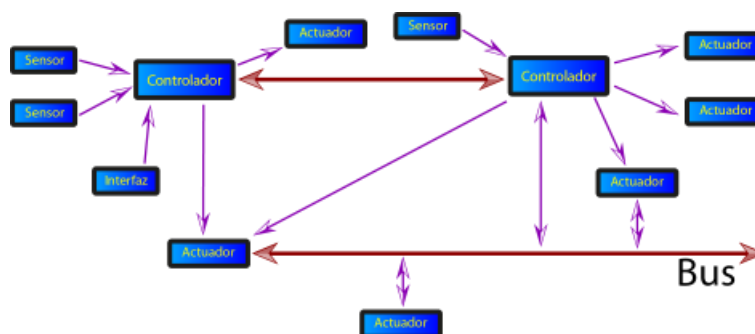


Figura 13: Esquema de una arquitectura mixta. (Fuente: [15])



## 6. Solución escogida

En este proyecto se realizarán dos prototipos. El primero es un prototipo comercial, que es aquel que se instalaría en la vivienda escogida a modo de ejemplo y que se diseñaría en la empresa para realizar la fabricación de una producción seriada del equipo. El segundo es un prototipo de pruebas el cual será una versión simplificada del prototipo de ventas que se diseñará y se realizará físicamente con todos los componentes necesarios para observar el comportamiento que tendrían todos los actuadores y sensores del prototipo de ventas. Cabe mencionar que algunos sensores/actuadores que incorpora el prototipo comercial no se han usado en el prototipo de pruebas ya que su conexión y programación es muy parecida a otros sensores/actuadores que sí que incorpora este.

Para realizar este proyecto se ha escogido el Arduino Mega 2560 Rev3 para la realización del prototipo de pruebas la cual lleva incorporado el microcontrolador ATmega2560 que es el que se ha usado para la realización del prototipo comercial. Las principales razones por las que se ha escogido Arduino son las siguientes:

- Facilidad del lenguaje de programación.
- Disponibilidad de las placas Arduino y del resto de módulos o *shields* usados en el proyecto.
- Bajo coste de la placa Arduino, así como del resto de módulos usados en el proyecto.
- Gran flexibilidad ya que se puede trabajar con prácticamente todas las plataformas informáticas (Mac OS X, Windows, etc.).

Frente a otros microcontroladores de la familia Atmel se ha escogido el ATmega2560 ya que cuenta con un mayor número de pines digitales y analógicos que serán necesarios para conectar todos los componentes del sistema domótico.

La placa Arduino Mega 2560 Rev3 tiene 54 pines digitales de entrada/salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos serie por hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un cabezal ICSP y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; basta con conectarla a un ordenador con un cable USB o alimentarla con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar. [\[16\]](#)

Tabla 5: Especificaciones del Arduino Mega 2560. (Fuente: [16], elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS DEL ARDUINO MEGA 2560	
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje de operación	5 V
Voltaje de entrada recomendado	7 - 12 V
Voltaje de entrada mínimo y máximo	6 - 20 V
Pines de E/S digital	54 (15 → salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Corriente CC por cada pin E/S	20 mA
Corriente CC para el pin de 3.3V	50 mA
Memoria <i>Flash</i>	258 KB (8KB → bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Frecuencia de reloj	16 MHz
LED Integrado	Pin 13
Longitud	101,52 mm
Ancho	53,3 mm
Peso	37 g

Para poder monitorizar y controlar el sistema domótico de la vivienda en cualquier sitio e instante se podrá hacer mediante dos interfaces: desde un mando de control y/o desde una aplicación móvil.

Se creará un pequeño mando de control con los elementos mínimos y necesarios desde donde se podrá controlar todo el sistema domótico de la vivienda. Este estará formado por una pantalla LCD, un conjunto de pulsadores para navegar por el sistema de control y otro adicional para seleccionar el modo de funcionamiento (manual, automático o modo de seguridad), un teclado y un conjunto de LEDs que se encenderán cuando se active alguna de las alarmas programadas. Para una mayor comodidad del usuario también se ha diseñado una aplicación móvil que realizará la misma función que el mando de control, pero con la ventaja de que será un control inalámbrico mediante una conexión bluetooth.

Las acciones que realizará el sistema domótico para optimizar el consumo energético se han resumido a continuación:

- Control de la iluminación: se encenderán o apagarán las luces de la vivienda teniendo en cuenta la presencia humana que detectarán los sensores PIR.

- Control de la climatización: teniendo en cuenta la temperatura mínima y máxima definidas inicialmente, gracias al sensor DHT22 se medirá la temperatura del interior de la vivienda y si esta resulta ser inferior a la mínima configurada se activará la calefacción, mientras que, si se detecta un valor superior a la temperatura máxima definida, se activará el aire acondicionado.
- Control de las tomas de corriente: para conseguir un consumo eléctrico inferior se ha programado que aquellos electrodomésticos que lo permitan (lavavajillas, lavadora, etc.) solo se puedan usar en las franjas horarias con el precio del kilovatio hora (kWh) inferior.
- Control de la ventilación: para evitar un consumo energético innecesario encendiendo el aire acondicionado se definirá un rango de temperaturas donde el aire acondicionado se mantendrá apagado y se abrirán las ventanas para ventilar la vivienda.
- Control de las persianas: las persianas se regularán según el valor que se reciba con los fotorresistores (LDR). Si se detectara un valor muy elevado de luz solar las persianas bajarán evitando que la vivienda se caliente en exceso y, si se detectara poca luz solar se subirá la persiana para intentar que entre luz del exterior y no tener que usar la iluminación de la vivienda.
- Control del toldo: el toldo se regulará teniendo en cuenta la medida de dos sensores: el fotorresistor (LDR) y el sensor de nivel de agua. Independientemente de la luz exterior, si se detecta que está lloviendo el toldo se recogerá. Por otro lado, si no se detecta lluvia, se tendrá en cuenta la luz exterior abriendo el toldo cuando se detecte un valor muy elevado a través del sensor.
- Seguridad de la vivienda: se han programado una serie de alarmas que avisaran al propietario cuando se activen, mediante una señal acústica dentro de la vivienda y, mediante una notificación al móvil, gracias a la aplicación móvil.

Estas acciones mencionadas son un resumen de todas las funcionalidades que tiene el sistema domótico creado. En el apartado “7.6. Funcionalidades del prototipo comercial” se detallan cada uno de los modos de funcionamiento del sistema y todas las acciones que se pueden realizar dependiendo del modo de funcionamiento previamente seleccionado.

## 7. Diseño del prototipo

En este apartado se detallará el sistema de gestión domótica creado para una vivienda en concreto.

### 7.1. Vivienda escogida

Para la realización de este proyecto se ha escogido un inmueble estándar para una familia de 2, 3 o 4 personas y que constituya su residencia habitual. La vivienda tiene una superficie de unos 100 m<sup>2</sup> y consta de un vestíbulo, un salón-comedor, una cocina, un pequeño distribuidor, dos habitaciones, dos baños, un tendedero y una terraza. En la Tabla 6 se detallan las diferentes zonas de la casa, así como la superficie en m<sup>2</sup> de cada una de ellas y, en la Figura 14, se puede observar su distribución.



Figura 14: Plano de la vivienda donde se instalará el sistema domótico. (Fuente: [\[17\]](#))

Tabla 6: Distintas zonas de la vivienda y la superficie en m<sup>2</sup>. (Fuente: elaboración propia)

VIVIENDA	
Estancia	m2
Vestíbulo	3,48
Salón-Comedor	20,59
Cocina	11,78
Distribuidor	2,97
Habitación 1	14,13
Habitación 2	12,31
Baño 1	3,54
Baño 2	3,37
Tendedero	2,01
Terraza	25,54
<b>Total:</b>	<b>99,72</b>

## 7.2. Componentes usados en el prototipo de ventas

### 7.2.1. Unidad de control

El microcontrolador que contiene la placa de Arduino Mega 2560 Rev3 es el Atmel ATmega2560 la cual está formada por:

- 54 pines digitales de entrada/salida de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM.
- 16 entradas analógicas.
- 4 puertos serie por hardware UART.
- Una conexión USB.
- Un cabezal ICSP.
- Un conector de alimentación.
- Un oscilador de cristal de 16MHz.
- Un botón de reinicio.



Figura 15: Microcontrolador Atmel ATmega2560. (Fuente: [18])

## 7.2.2. Sensores

### Detector de presencia

Para la detección de presencia humana se han utilizado unos sensores de movimiento PIR con un ángulo de detección de 360º para que abarque el máximo espacio posible. Estos sensores mandan una señal al microcontrolador si se mueve una fuente de calor dentro del rango de detección de este. Cuando ya no se detecta calor y tras un tiempo de retardo regulable deja de enviar la señal. El modelo escogido para que sea eficaz y pueda detectar la presencia hasta los 6 metros, se debe instalar en el techo de la vivienda a una altura de unos 2 – 4 metros.



Figura 16: Detector de movimiento PIR 360º Empotrable. (Fuente: [19])

En este caso como la vivienda escogida no tiene unas dimensiones muy grandes se puede instalar este modelo para todas las estancias, incluso para aquellas más pequeñas (como puede ser el vestíbulo o los baños) se podría instalar un modelo con un rango menor para abaratar costes.

En la vivienda seleccionada, teniendo en cuenta las dimensiones de cada estancia y del número de bombillas que se han colocado, serán necesarios 8 detectores de movimiento.

Las características principales de este sensor son las siguientes:

Tabla 7: Especificaciones del detector de movimiento PIR 360º. (Fuente: [19], elaboración propia)

Detector de movimiento PIR 360º	
Ángulo de apertura	360º
Campo de detección	6 m
Altura de instalación	2 - 4 m
Tiempo mínimo de encendido	10 s ± 3 s
Tiempo máximo de encendido	15 min ± 2 min
Velocidad de detección	0,6 - 1,5 m/s
Cargas	300 W (LED) y 1200 W (incandescencia)

## Detector de luz

Para poder medir el nivel de luz exterior se han utilizado unos sensores fotorresistivos (LDR) que son unos componentes electrónicos que varían su resistencia eléctrica en función de la luz que reciben. Cuando haya luz incidiendo en la fotorresistencia la resistencia eléctrica será baja, pudiendo llegar en algunos modelos hasta unos 50 ohmios y, por el contrario, cuando haya oscuridad tendrá un valor resistivo muy alto, de varios megaohmios.

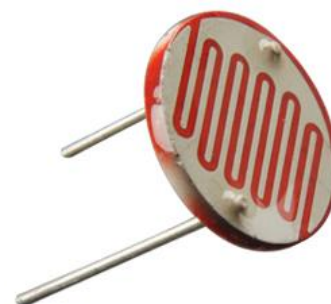


Figura 17: Fotorresistencia (LDR).  
(Fuente: [20])

Las características principales de este sensor son las siguientes:

Tabla 8: Especificaciones de las fotorresistencias usadas. (Fuente: [18], elaboración propia)

Detector de luz (Fotorresistencia [LDR])	
Voltaje máximo	150 V
Resistencia en oscuridad	5 MΩ
Resistencia en luz	10 - 30 kΩ
Frecuencia de luz de pico	570 nm
Sensibilidad	0,9 Ω/Lux

En la vivienda seleccionada se han colocado 4 fotorresistencias (3 de ellas en cada una de las ventanas de la vivienda y otra más en la terraza) para poder controlar las persianas y el toldo de la terraza dependiendo de la luz exterior que haya en cada momento.

## Sensor de nivel de agua

Se ha utilizado el detector de nivel de agua KY-059 para realizar dos funciones: alertar de una posible inundación y detectar que está lloviendo. Para la primera función el detector se debe colocar a nivel del suelo para que, cuando llegue a la altura especificada, mande una señal al microcontrolador para alertar de una posible inundación mientras que, para la segunda función, el detector debe colocarse en el exterior de la vivienda horizontalmente de manera que, a medida que las gotas de lluvia vayan cayendo sobre el sensor, el valor que mandará al pin analógico del microcontrolador irá aumentando.

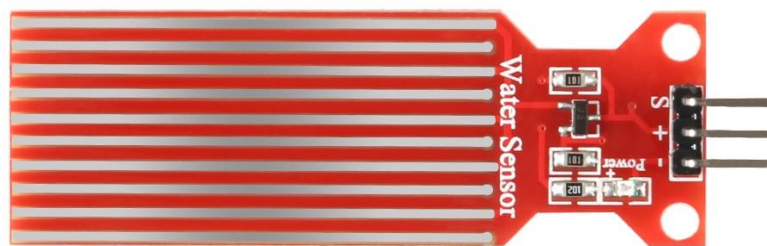


Figura 18: Sensor de nivel de agua. (Fuente: [21])

Las características principales de este sensor son las siguientes:

Tabla 9: Especificaciones del sensor de nivel de agua. (Fuente: [22], elaboración propia)

Sensor de nivel de agua	
Tensión de funcionamiento	3 - 5 V (DC)
Corriente de funcionamiento	< 20 mA
Tipo de sensor	Analógico
Rango de sensibilidad de humedad	10% - 90%

En la vivienda seleccionada se han colocado 3 sensores de nivel de agua: 2 de ellos para detectar una posible inundación, colocándose uno en cada baño y el tercero en la terraza para poder detectar si está lloviendo o no.

#### Sensor Hall (A3144)

Para poder saber el estado de las ventanas de la vivienda (si están cerradas o abiertas) se ha decidido usar unos sensores Hall, en concreto el modelo A3144 de tipo digital Switch. Los sensores Hall son unos dispositivos que permiten la medición de campos magnéticos o corrientes y también son capaces de detectar la posición en la que se encuentra este campo magnético. En nuestro caso al ser un sensor digital obtendremos un valor alto cuando haya un campo magnético cercano al sensor y un valor bajo ante la ausencia de este. A diferencia de los *Latch*



Figura 19: Sensor Hall A3144. (Fuente: [21])

(mantienen el valor anterior hasta que se aproxime el polo contrario), los *Switch* se activan cuando se acerca un polo al sensor y se desactivan cuando este está a una distancia donde ya no se percibe.



Para saber el estado de las ventanas se instalará un sensor Hall en el marco de cada una de ellas. Además, en la ventana se colocará un pequeño imán o algún objeto pequeño de algún material magnético para que, una vez se cierre la ventana y el imán y el sensor Hall estén juntos, se envíe una señal digital al microcontrolador indicando que se ha cerrado la ventana.

Las características principales de este sensor son las siguientes:

Tabla 10: Especificaciones del sensor Hall A3144. (Fuente: [Datasheet sensor Hall A3144], elaboración propia)

Sensor Hall A3144	
Tensión de alimentación	4,5 - 24 V
Tensión de saturación de salida (máx.)	400 mV
Corriente de fuga de salida ( <i>Leakage</i> )	<1,010 $\mu$ A
Corriente de alimentación	9 mA
Tiempo de subida de salida (máx.)	2 $\mu$ s
Tiempo de bajada de salida (máx.)	2 $\mu$ s

Como se puede comprobar en el *datasheet* del componente, el sensor Hall puede ser alimentado por una fuente continua que esté dentro del intervalo [4.5 V, 24 V], por lo tanto, se aprovechará y se conectará a la tensión de alimentación del Arduino Mega 2560 de 5 V.

#### Sensor electromecánico (Final de carrera)

Para poder detectar la posición final de los motores tubulares que se utilizarán para las persianas, se han usado unos finales de carrera de palanca, en concreto dos de ellos por cada motor tubular, para poder detectar el punto superior máximo y el punto inferior mínimo. Los finales de carrera son unos sensores electromecánicos que al entrar en contacto con un objeto envían una señal eléctrica al microcontrolador.

En la vivienda seleccionada se han colocado 6 finales de carrera (2 por ventana de la vivienda) para detectar la máxima y mínima posición de cada persiana.

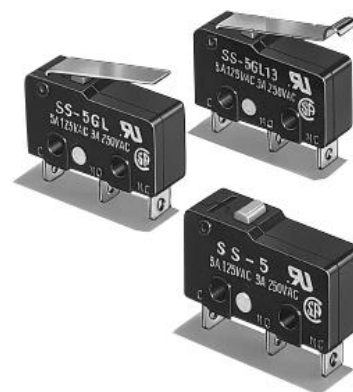


Figura 20: Finales de carrera. (Fuente: [18])

## Sensor de Temperatura/Humedad (DHT22)

Uno de los elementos más importantes en un sistema domótico es el sistema de climatización y, para ello, es necesario conocer ciertos parámetros atmosféricos tales como la temperatura y la humedad. En este caso se ha utilizado un sensor digital conocido como DHT22 el cual integra un termistor para medir el aire circundante y un sensor capacitivo de humedad lo que le permite medir la temperatura y la humedad relativa.

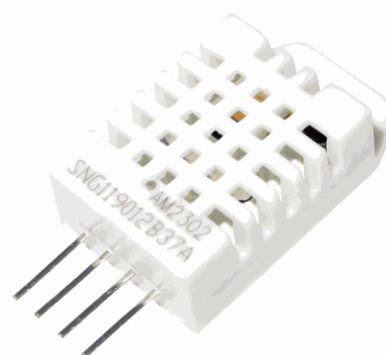


Figura 21: Sensor de temperatura/humedad DHT22. (Fuente: [23])

Para la realización del prototipo de ventas se ha escogido este modelo en vez de DHT11 (usado en el prototipo de pruebas) ya que, a pesar de ser un poco más caro, ofrece una mayor resolución y precisión. Otra diferencia entre los dos modelos es que el DHT11 realiza una medida cada segundo, a diferencia del DHT22 que las realiza cada 2 segundos. Como 2 segundos sigue siendo un período de tiempo muy corto se ha preferido tener una mejor precisión en las medidas.

Las características principales de este sensor son las siguientes:

Tabla 11: Especificaciones del sensor de temperatura/humedad DHT22. (Fuente: [Datasheet del DHT22], elaboración propia)

Sensor Temperatura / Humedad (DHT22)	
Tensión de funcionamiento	3,3 - 6 V (DC)
Señal de salida	Digital
Rango de medición temperatura	-40 ~ 80°C
Rango de medición humedad	0 - 100 %RH;
Precisión de medición temperatura	<±0,5 °C
Precisión de medición humedad	±2 %RH
Resolución temperatura	0,1 °C
Resolución humedad	0,1 %RH
Tiempo de sensado	2 s

En este prototipo de ventas se ha decidido colocar un sensor DHT22 en toda la vivienda para obtener una temperatura/humedad general y encender/apagar la calefacción o el aire acondicionado dependiendo de los valores obtenidos por el sensor. Este sensor se instalará en la entrada del comedor, tocando el vestíbulo y el distribuidor, para que sea un sitio central de la vivienda y donde

no le impacten directamente los rayos del sol o, si es un día lluvioso, que no le afecte la humedad exterior y, de esta manera, se pueda climatizar la vivienda correctamente.

Este sensor nos informará si detecta una temperatura muy elevada en la vivienda que pueda afectar a la salud de las personas ya que temperaturas excesivamente altas pueden provocar deshidrataciones, problemas respiratorios, así como dolor de cabeza o problemas de sueño. <sup>[24]</sup> También si la temperatura fuera excesivamente alta informaría de un posible incendio en la vivienda.

En cuanto a la humedad, igual que con la temperatura, si detecta unos valores inusualmente altos avisará al usuario ya que una humedad muy elevada en una vivienda puede dar lugar a la aparición de manchas y moho, la hinchazón de los marcos de madera en puertas y ventanas, y la oxidación de los metales, así como problemas de salud en las personas como, por ejemplo: alergias, asma, enfermedades pulmonares, etc. <sup>[25]</sup>

#### Detector de humo

Para la protección contra incendios, aparte de tener el sensor de temperatura, también se instalará un detector de humo para avisar si se está produciendo un incendio y poder actuar antes de que sea demasiado tarde.



Figura 22: Detector de humo. (Fuente: [26])

Las características principales del detector de humo escogido son las siguientes:

Tabla 12: Especificaciones del detector de humo. (Fuente: [26], elaboración propia)

Detector de humo	
Tensión de funcionamiento	Replaceable 3 V CR123A lithium battery
Tipo de sensor	Fotoeléctrico
Uso	Uso para interiores únicamente
Corriente de la alarma	< 30 mA
Corriente en espera ( <i>standby</i> )	< 6 $\mu$ A
Temperatura de funcionamiento	4,4 - 37,8 °C
Humedad relativa de funcionamiento	$\leq$ 85 %RH

## Sensor de corriente (ACS712)

Para poder medir la potencia consumida en tiempo real es necesario saber la tensión y la corriente eléctrica en cada momento. Para la medición de la tensión se ha diseñado un rectificador de onda completa con un divisor de tensión mientras que para la medición de la corriente se ha utilizado el sensor de corriente ACS712 formado por un sensor hall de precisión y bajo offset junto con un canal de conducción localizado cerca de la superficie del integrado.

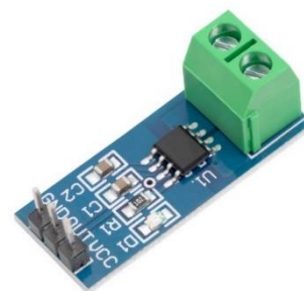


Figura 23: Sensor de corriente ACS712. (Fuente: [27])

El modelo escogido es el ACS712ELCTR-30A-T que es la versión de rango de 30 A del ACS712 y sus características principales son las siguientes:

Tabla 13: Especificaciones del sensor de corriente ACS712ELCTR-30A-T. (Fuente: [Datasheet del ACS712], elaboración propia)

Sensor corriente ACS712	
Tensión de alimentación	4,5 - 5,5 V
Corriente de alimentación	6 - 11 mA
Alcance optimizado	±30 A
Sensibilidad	66 mV/A
Temperatura de trabajo	De -40 °C a 85 °C

En el apartado “7.4.5. Medición de la potencia consumida” se detallará el conexionado de este sensor, así como el cálculo de la medición de la potencia total que consume la vivienda en tiempo real teniendo en cuenta la corriente y la tensión de la red eléctrica.

### 7.2.3. Actuadores

#### Cerradura electromagnética (para la puerta principal)

Para mayor seguridad, aparte de la cerradura clásica con llave física o electrónica que lleve la puerta de entrada, se ha instalado una cerradura electromagnética. Este tipo de cerraduras se deben programar teniendo en cuenta un modo de funcionamiento inverso ya que deberá mantener la puerta cerrada mientras le llegue corriente continua y se deberá abrir cuando se interrumpa esa conexión. Este funcionamiento inverso está pensado para que, si se produce un corte eléctrico, la puerta no quede bloqueada y se pueda salir en caso de emergencia. La cerradura electromagnética

escogida puede funcionar con una tensión de 12 V o 24 V y, por lo tanto, para poder controlarla mediante el microcontrolador se necesitará un relé.



Figura 24: Cerradura electromagnética para la puerta principal. (Fuente: [28])

Las características principales de la cerradura electromagnética de la puerta principal son las siguientes:

Tabla 14: Especificaciones de la cerradura electromagnética escogida. (Fuente: [28], elaboración propia)

Cerradura electromagnética	
Tensión de alimentación	12 V o 24 V
Funcionamiento DC o AC	DC
Consumo de corriente	500 mA a 12 V; 250 mA a 24 V
Fuerza de retención	600lbs (272 kg)
Humedad	0 a 95% sin condensación
Temperatura ambiente de trabajo	De -10 °C a 55 °C

## Iluminación

Para el control de la iluminación en este prototipo de ventas se ha decidido instalar 8 bombillas LED de bajo consumo energético las cuales se podrán controlar de manera manual o automática. Como se puede ver en las especificaciones del producto consume una potencia muy pequeña y tiene una duración media muy elevada en comparación con las bombillas tradicionales incandescentes.



Figura 25: Bombillas LED de bajo consumo de la marca Philips. (Fuente: [29])

Las características principales de este tipo de bombilla LED son las siguientes:

Tabla 15: Especificaciones de las bombillas LED. (Fuente: [29], elaboración propia)

Bombillas LED bajo consumo	
Vida media	15.000 h
Voltaje de la lámpara	220 -240 V
Potencia	5,5 W
Flujo luminoso	470 Lumen
Eficacia luminosa	85 Lm/W

### Motor tubular

Para poder controlar la subida y bajada de las persianas de la vivienda, así como la abertura y cierre del toldo situado en la terraza, se han instalado unos motores tubulares.

Este motor tubular tiene incorporado los finales de carrera tanto superior como inferior los cuales se pueden configurar de manera manual. Gracias a estos puede saber de manera automática cuando detenerse al llegar al punto máximo y mínimo del recorrido de la persiana. A pesar de esto, en este prototipo de ventas se ha querido



Figura 26: Motor tubular Jarofilt SL 10/17. (Fuente: [30])

incluir unos finales de carrera adicionales por cada persiana a controlar (o toldo) para el caso de que no se utilizara este modelo de motor tubular y no llevara los finales de carrera incluidos.

Las características principales de este tipo de motor tubular son las siguientes:

Tabla 16: Especificaciones del motor tubular Jarofilt SL 10/17. (Fuente: [30], elaboración propia)

Motor tubular	
Peso máximo de carga	25 kg
Compatibilidad del eje tubular	40 mm de diámetro octogonal
Velocidad	17 rpm
Par torsor	10 Nm
Alimentación	230 V /50 Hz
Consumo energía	0,53 A
Potencia del motor	121 W

## Motores para las ventanas

Para poder abrir o cerrar las ventanas de la vivienda se ha instalado un motor eléctrico de cadena para apertura de ventanas de abatimiento superior o inferior. El modelo escogido permite ajustar unos finales de carrera de manera manual y por lo tanto no será necesario añadir más finales de carrera en el prototipo de ventas.



Figura 27: Motor para ventana estándar. (Fuente: [31])

Las características principales de este tipo motor eléctrico de cadena son las siguientes:

Tabla 17: Especificaciones de los motores para las ventanas. (Fuente: [31], elaboración propia)

Motor para ventanas	
Alimentación	220 V
Par de empuje y tracción	150 N
Apertura máxima	400 mm
Velocidad	34 mm/s
Temperatura de trabajo	De -15 °C a 75 °C

## Calefacción

Se ha decidido instalar unos radiadores eléctricos para poder realizar la climatización de la vivienda. Para la elección del modelo se ha tenido en cuenta las dimensiones de las estancias donde se instalará y la potencia máxima de estos dispositivos. En el salón-comedor se instalará una chimenea eléctrica con una potencia máxima de 2000 W que permite calentar rápidamente una estancia de unos 30 m<sup>2</sup> mientras que en cada una de las habitaciones se instalará un radiador eléctrico de 6 elementos con una potencia de 1500 W que permite calentar estancias de hasta 20 m<sup>2</sup> rápidamente.



Figura 28: Chimenea eléctrica Cecotec Ready Warm 3590 Flames Connected. (Fuente: [32])



Figura 29: Radiador eléctrico Bajo Consumo Cecotec ReadyWarm 6000 Thermal Ceramic Connected. (Fuente: [32])

## Aire Acondicionado

En zonas muy calurosas es importante tener una instalación que nos permita mantener una temperatura óptima y constante durante el tiempo que se exija. A veces las temperaturas son tan elevadas que es necesario algo más que abrir las ventanas de la vivienda para intentar refrescar la casa.

Una solución es la instalación del aire acondicionado con la que se mejorará el confort y el sueño de las personas, así como la calidad del aire, ya que los últimos modelos sacados al mercado incorporan filtros que reducen la cantidad de polvo del aire y minimizan las bacterias y el polvo. Además, evita que los dispositivos electrónicos que disponga nuestra vivienda se sobrecalienten. [33]

El prototipo de ventas también tendrá una instalación de aire acondicionado, en concreto, se utilizará un solo dispositivo situado en el comedor. El modelo escogido es el aire acondicionado Split TC4 de 2700 frigorías de la marca WIND que se puede observar en la Figura 30.





Figura 30: Aire acondicionado Split WIND TC4 de 2700 frigorías. (Fuente: [34])

Las características principales de este modelo de aire acondicionado son las siguientes:

Tabla 18: Especificaciones del aire acondicionado Split WIND TC4 de 2700 frigorías. (Fuentes: [34], elaboración propia)

Aire Acondicionado	
Superficie máx. de climatización	30 m <sup>2</sup>
Nivel sonoro de la unidad interior	20 dB
Nivel sonoro de la unidad exterior	50 dB
Medidas unidad interior	28 x 82 x 19,5 cm
Medidas unidad exterior	54,4 x 70 x 24,5 cm
Consumo nominal en refrigeración	525 W

### Alarma

Para poder informar, de manera acústica, de la activación de alguna de las alarmas de manera acústica se ha utilizado un zumbador o *buzzer* que funciona con una alimentación de 5 V y, por lo tanto, se puede conectar directamente a un pin digital del microcontrolador.



Figura 31: Zumbador 5V Buzzer Activo 4 a 7V DC. (Fuente: [35])

Las características principales de este *buzzer* son las siguientes:

Tabla 19: Especificaciones del Zumbador de 5V Buzzer Activo. (Fuente: [35], elaboración propia)

Buzzer	
Voltaje de entrada	4 - 7 V
Corriente máxima	< 30 mA
Intensidad de sonido	85 dB
Temperatura de funcionamiento	De -20 °C a 70°C

## Relés

Ya que muchos de los actuadores del prototipo de ventas necesitan una alimentación de 230 V de la red eléctrica (iluminación, calefacción, motores, etc.), se deben usar relés para su correcto funcionamiento ya que Arduino no puede soportar esos niveles de tensión. Además, al usar los relés podemos controlar todos estos actuadores mediante el microcontrolador.

Un relé es un dispositivo electromecánico que permite controlar distintos dispositivos los cuales necesitan niveles de tensión o intensidad superiores a las que el microcontrolador puede soportar. Su funcionamiento es el mismo que un interruptor convencional, pero se activa mediante una señal electrónica.

Un relé está formado por un circuito primario formado por un electroimán (una bobina arrollada a un núcleo metálico) y un circuito secundario formado por unos contactos eléctricos. Los relés suelen disponer de tres contactos en el secundario: C (común), NO (normalmente abierto) y NC (normalmente cerrado). El contacto móvil es el encargado de cerrar o abrir el circuito el cual pivota cuando circula corriente por la bobina del circuito primario.

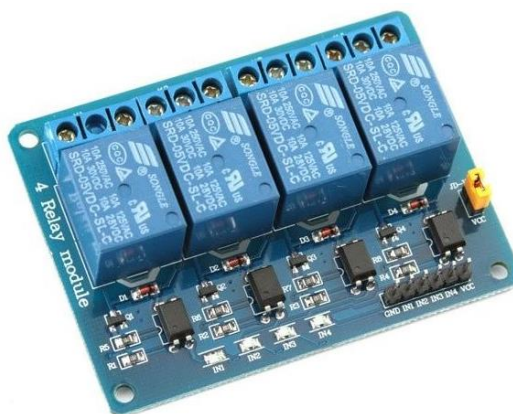


Figura 32: Módulo relé 5 V de 4 canales. (Fuente: [35])

El modelo escogido para el prototipo de ventas es un módulo relé de 4 canales protegido con un optoacoplador que se puede controlar directamente por el microprocesador de Arduino. Además, se ha seleccionado un módulo de relés de 4 canales ya que tiene un precio más económico que si se compran por separado cada uno de los relés.

Las características principales del módulo de relés son las siguientes:

Tabla 20: Especificaciones del módulo de relés de 4 canales. (Fuente: [35], elaboración propia)

Módulo relés	
Tensión de alimentación	5 V
Corriente de salida	10 A
Corriente de activación por relé	15 mA - 20 mA
Canales	4

Teniendo en cuenta todos los actuadores que deben ser instalados mediante relés en el prototipo de ventas, como pueden ser los motores tubulares o las bombillas LED, se ha calculado que serán necesarios un mínimo de 26 relés. Cabe tener en cuenta que en este prototipo de ventas solo se ha considerado la conexión de un electrodoméstico, ya que todos tienen la misma conexión y, dada la existencia de una gran gama de electrodomésticos del hogar tan solo habría que repetir el conexionado para cada uno de ellos que se quisiera instalar. Por lo tanto, serán necesarios por lo menos 7 módulos de relés de 4 canales como el de la Figura 32.

#### Pantalla LCD

Con el módulo de una pantalla LCD de Arduino que incorpora 6 pulsadores se ha creado el mando de control del sistema domótico de la vivienda. En la pantalla LCD podremos visualizar todos los datos que nos proporcionen los sensores, así como el estado de los actuadores de la vivienda. También, mediante los pulsadores que incluye este módulo podremos desplazarnos por los distintos menús y pestañas que nos ofrece el mando de control que más adelante se explicarán detalladamente.



Figura 33: Arduino LCD Keypad Shield (16x2). (Fuente: [21])

El LCD de caracteres escogido consta de dos filas y 16 columnas y, por lo tanto, se pueden mostrar 32 caracteres simultáneamente. Además, se puede conectar directamente a la placa de Arduino ya que la tensión de funcionamiento es de 5 V.

## Teclado matricial

Se ha decidido instalar un teclado matricial de 4x3 teclas cuya principal funcionalidad será la seguridad del hogar. Mediante el teclado se tendrá que introducir una clave que nos permitirá desbloquear la puerta principal.



Figura 34: Teclado matricial 4x3. (Fuente: [36])

### 7.2.4. Otros componentes

#### Multiplexor / Demultiplexor (CD74HC406)

Para poder controlar la iluminación de toda la vivienda, como se ha comentado anteriormente, se necesitarán 8 bombillas LED y 8 sensores PIR para el encendido y apagado automático de estas. Únicamente con la iluminación ya ocuparíamos 16 pines digitales del microcontrolador, es por eso que se ha optado por otra solución que nos permita conectar todos estos elementos ocupando menos pines de la placa Arduino.

La solución escogida ha sido el uso de un multiplexor y un demultiplexor, el primero permite mandar múltiples señales a una única entrada mientras que el segundo funciona de manera inversa a este, permite mandar una única señal a múltiples salidas. En este caso se necesita un componente de cada, un multiplexor para conectar todos los sensores PIR y un demultiplexor para conectar todas las bombillas LED.

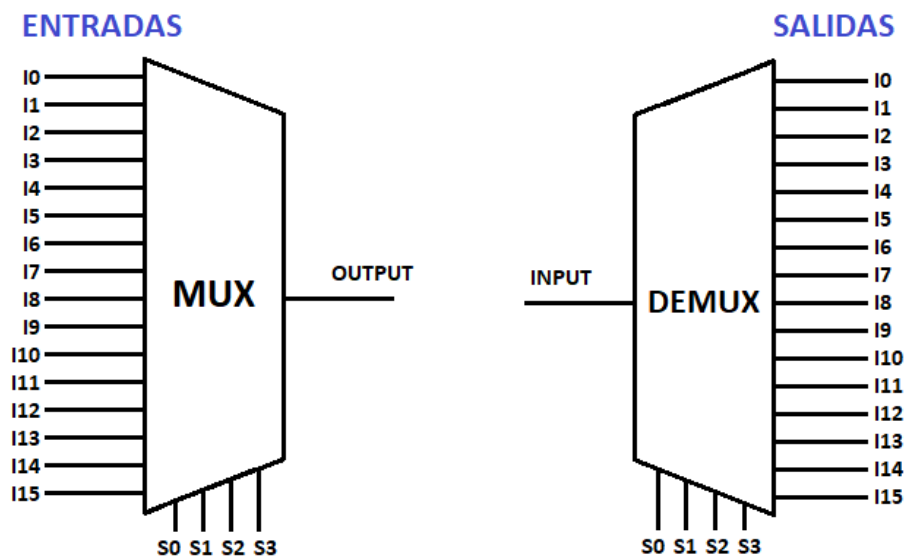


Figura 35: Esquema del multiplexor y demultiplexor (16x1) con 4 pines selectores. (Fuente: elaboración propia)

Se ha utilizado el CD74HC4067 que es un multiplexor/demultiplexor de 16 canales bidireccionales. Con este componente ocuparemos 5 pines del microcontrolador, pero podremos leer el valor de 16 dispositivos diferentes (o mandar señales a estos dispositivos).

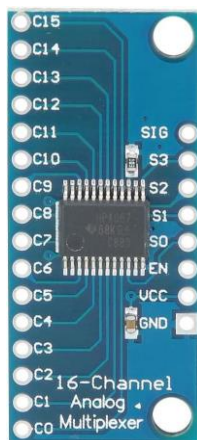


Figura 36: Multiplexor / Demultiplexor CD74HC4067. (Fuente: [27])

Las características principales del componente CD74HC406 son las siguientes:

Tabla 21: Especificaciones del multiplexor/demultiplexor CD74HC406. (Fuente: [Datasheet CD74HC406], elaboración propia)

Multiplexor / Demultiplexor (CD74HC406)	
Tensión de alimentación	2 - 6 V
Rango de temperaturas	De -55°C a 125°C

## Registro de desplazamiento (74HC595)

Al realizar el prototipo de ventas debido al número elevado de sensores y actuadores usados, a pesar de que el Arduino Mega 2560 Rev3 dispone de 54 pines digitales, se ha tenido que aumentar el número de salidas digitales mediante el chip 74HC595 el cual es un registro de desplazamiento (*Shift Register*) que convierte los datos en serie, en salidas paralelas. Gracias a este componente conseguiremos tener 8 salidas digitales adicionales únicamente usando 3 salidas digitales de la placa Arduino, es decir, acabamos teniendo 5 salidas digitales adicionales a las que nos puede proporcionar el microcontrolador. Si se conectan más 74HC595 en serie se pueden obtener otras 8 salidas más por cada chip agregado sin ocupar más pines digitales de la placa Arduino y, de esta manera, conseguir un número de salidas digitales considerable únicamente ocupando 3 pines del microcontrolador.

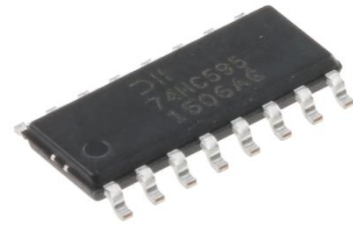


Figura 37: Registro de desplazamiento 74HC595. (Fuente: [\[28\]](#))

Este modelo tiene una ventaja respecto otros registros de desplazamiento ya que tiene un registro que mantiene el dato en los pines de salida sin variación mientras se desplazan los datos dentro del chip. [\[37\]](#)

## Pulsador

Se ha añadido un pulsador adicional a los incorporados por el módulo de pantalla LCD para poder seleccionar el modo en el que queremos controlar el sistema domótico: modo manual, modo automático y modo seguridad.

Se ha escogido un pulsador de pequeñas dimensiones que puede conectarse directamente a un pin digital del microcontrolador del fabricante Schurter.



Figura 38: Pulsador 6x6mm tact switch LSH (gullwing, variable height). (Fuente: [\[18\]](#))

Las características principales del pulsador son las siguientes:

Tabla 22: Especificaciones del pulsador 6x6mm tact switch LSH (gullwing, variable height). (Fuente: [18], elaboración propia)

Pulsador	
Voltaje máximo	12 V DC
Valor de corriente	50 mA
Vida	100000 cycles
Temperatura de trabajo	De -20 °C a 70 °C

### RTC DS3231

Para poder saber la hora o la fecha en cualquier momento, se ha utilizado un componente llamado RTC DS3231. Las siglas RTC hacen referencia a *Real Time Clock* en inglés, es decir, reloj de tiempo real. A diferencia de los relojes electrónicos habituales, que miden el tiempo contabilizando pulsos de una señal, los RTC funcionan con segundos, minutos, horas, días, semanas, meses y años.

Los RTC van acompañados de un cristal de cuarzo (Xtal) integrado con otros componentes electrónicos necesarios que actúa como resonador y aporta la

frecuencia. También necesitan una batería para tener una alimentación constante y así poder mantener el valor del tiempo en caso de que, una vez configurado el módulo con un ordenador, se desconecte de este y, por lo tanto, deje de estar alimentado por este.

El reloj en tiempo real nos permitirá conectar o desconectar los electrodomésticos de la vivienda en función de las franjas horarias de menos consumo energético y además nos permitiría (como posible mejora) hacer un historial de la potencia suministrada a la vivienda en diferentes días y franjas horarias, con objeto de, por ejemplo, poder detectar a qué horas tenemos los picos de consumo más elevados y reprogramar el sistema domótico para reducir esos picos.

Aunque hay otros modelos de RTC (DS1307 o DS1302), en el prototipo de ventas se ha decidido usar este modelo ya que presenta muchas ventajas respecto el resto de los modelos. El modelo DS3231 es mucho más preciso ya que incorpora medición y compensación de la temperatura consiguiendo que

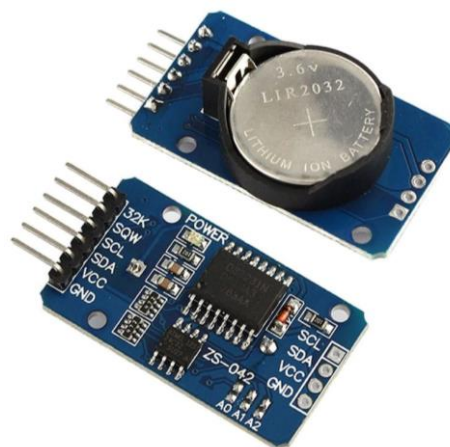


Figura 39: Reloj en tiempo real DS3231. (Fuente: [38])

no se vea muy afectado por variaciones de temperatura y pueda mantener la hora sin grandes desfases a lo largo del tiempo.

Cabe destacar que la comunicación de este modelo es mediante el bus I2C y, por lo tanto, se deben usar los pines SDA y SCL del microcontrolador.

Las características principales del RTC DS3231 son las siguientes:

Tabla 23: Especificaciones del RTC DS3231. (Fuente: [38], elaboración propia)

RTC DS3231	
Tensión de alimentación	2,3 - 5,5 V
Corriente de alimentación activa	0,2 mA
Corriente de alimentación en espera ( <i>standby</i> )	0,11 mA
Temperatura de funcionamiento	0 - 40 °C
Precisión	±2 ppm

#### Bluetooth HC-12

Para poder comunicarnos con el microcontrolador mediante un dispositivo móvil de manera inalámbrica se usará el módulo bluetooth HC-12. En este módulo viene incorporada una antena externa que permite la comunicación de hasta 1 km en campo abierto, y posiblemente un poco más, siendo una distancia más que suficiente para dar cobertura en toda una casa típica.

Tabla 24: Especificaciones del módulo bluetooth HC-12. (Fuente: [39], elaboración propia)

Bluetooth HC-12	
Voltaje de operación	3,2 - 5,5 V DC
Corriente máxima	100 mA
Alcance	1.000 m
Velocidad de transmisión en serie	De 1,2 Kbps a 115,2 Kbps
Temperatura de trabajo	De -40 °C a 85 °C



## Fuente de alimentación

Para alimentar el microcontrolador ATmega se ha optado por usar una fuente de alimentación que transforme los 230 V alternos de la red eléctrica en 5 V continuos, ya que de esta manera no tenemos que preocuparnos de que las baterías se agoten y dejen todo el sistema domótico inutilizable.

En concreto se ha usado el modelo HLK-PM01 que es un convertidor de 220 Vac a 5 Vdc de pequeñas dimensiones. Este convertidor viene encapsulado con todos los componentes necesarios para obtener una salida de corriente continua regulada y estabilizada a 5 V ideales para alimentar el microcontrolador.



Figura 40: Convertidor AC/DC de 220 V a 5 V, modelo HLK-PM01. (Fuente: [40])

Las características principales del convertidor son las siguientes:

Tabla 25: Especificaciones del convertidor de 220 V a 5 V, modelo HLK-PM01. (Fuente: [40], elaboración propia)

Convertidor AC / DC	
Entrada	100 - 240 V AC
Salida	5 V DC
Corriente máxima	600 mA
Arranque	< 50 ms
Eficiencia	> 70 %
Rizado en salida	< 50 mV
Dimensiones	20 x 34 x 15 mm

El conexionado que se realizaría sería el que se muestra en la Figura 41. Como se puede observar se necesitan los siguientes componentes:

- Un fusible para proteger el circuito de posibles daños cuando el módulo no funcione correctamente.

- Un varistor para proteger al módulo de daños por sobretensión acumulada.
- Un condensador de seguridad para el filtrado de protección de seguridad.
- Una inductancia de modo común para el filtrado EMI que protege a los componentes electrónicos sensibles de los daños causados por los altos niveles de radiación emitidos por otros equipos electrónicos.
- Un condensador de filtrado.

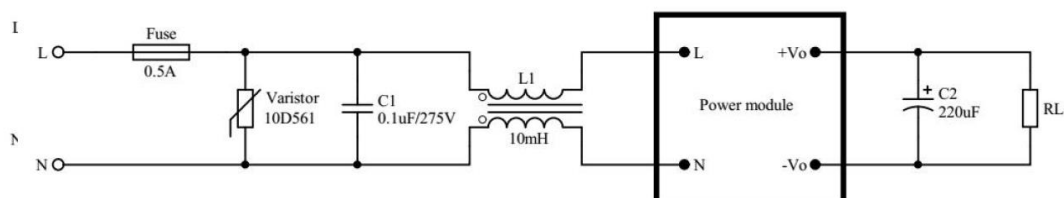


Figura 41: Esquema eléctrico del conexionado para el modelo HLK-PM01. (Fuente: [Datasheet del HLK-PM01])

### 7.3. Distribución de los componentes

La distribución de los componentes usados en el prototipo de ventas se puede observar en las Figuras 42 y 43. En la Figura 42 se muestran dos imágenes: en la imagen de la izquierda se muestra la ubicación de los distintos sensores usados y en la imagen de la derecha la distribución de los actuadores. En la Figura 43 podemos observar la ubicación del bluetooth (y el amplificador de señal) y el mando de control del sistema domótico de la vivienda.



Figura 42: La imagen de la izquierda muestra la distribución de los sensores usados en el prototipo de ventas y la de la derecha la distribución de los actuadores. (Fuente: elaboración propia)



Figura 43: Ubicación del módulo bluetooth HC-12 y del mando de control del sistema domótico de la vivienda. (Fuente: elaboración propia)

La leyenda de cada uno de los símbolos de las Figuras 42 y 43 se puede ver en la Tabla 26.

Tabla 26: Leyenda de los símbolos correspondientes a los dispositivos usados en el prototipo de ventas. (Fuente: elaboración propia)

Tabla de símbolos		
Color	Dispositivo	Símbolo
<i>Círculos (Sensores)</i>		
Rosa	Sensor temperatura / humedad	
Amarillo	Detector de luz (LDR)	
Naranja	Sensor PIR	
Verde	Sensor Hall	
Azul	Sensor de nivel de agua	
Lila	Sensor electromagnético	
Marrón	Final de carrera	
Blanco	Detector humo	
<i>Rectángulos (Actuadores)</i>		
Rosa	Calefacción	
Amarillo	Bombillas LED	
Verde	Motores para ventanas	
Lila	Aire acondicionado	
Marrón	Motor tubular	
Blanco	Alarma	
<i>Rombo (Módulo bluetooth y amplificador de señal)</i>		
Azul	Bluetooth	
<i>Control</i>		
Naranja	Mando de control	

#### 7.4. Conexionado del prototipo por partes

En este apartado se detallará el conexionado de todos los componentes usados en el prototipo comercial. En la memoria de los planos se han incluido cada uno de los planos del conexionado general del prototipo comercial y también los planos del prototipo de pruebas.

Para la realización de los planos se ha utilizado el software Autodesk Eagle. A pesar de que el programa dispone de una amplia gama de librerías de componentes, conectores, sensores, etc, cabe mencionar que muchos de los componentes usados no se han podido encontrar inicialmente en Eagle y se han tenido que incluir librerías adicionales o crear nuevas de cero para realizar el conexionado de todos los dispositivos.

En los anexos del proyecto se ha incluido una tabla donde se indica que componente se ha conectado a cada uno de los pines del microcontrolador.

### 7.4.1. Control del acceso principal a la vivienda

Para poder controlar la puerta de acceso a la vivienda de manera remota (con el mando de control o mediante la aplicación móvil) se ha usado una cerradura electromagnética que permitirá controlar el estado de bloqueo o desbloqueo de la puerta principal. Como la cerradura escogida necesita estar alimentada con una tensión de 12 o 24 voltios es necesario utilizar un relé para conectarla al microcontrolador.

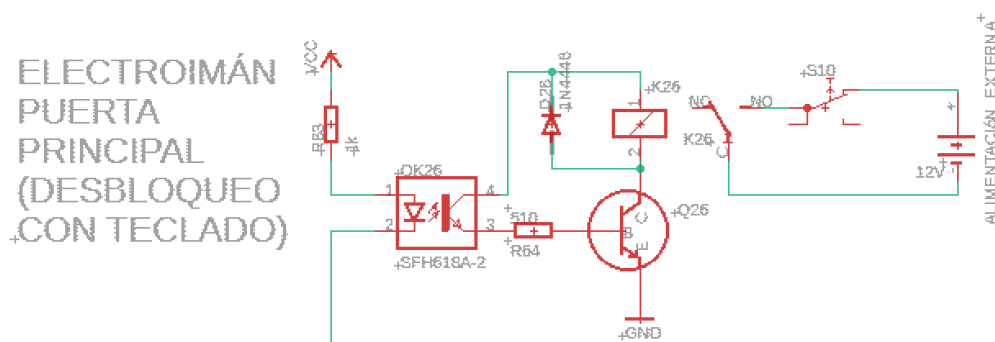


Figura 44: Esquema eléctrico del conexionado de la cerradura electromagnética. (Fuente: elaboración propia)

Una de las maneras para desbloquear la puerta principal es usar el teclado que incorpora el mando de control. El teclado seleccionado está formado por 12 teclas (0 – 9, \*, #) y cuenta con 7 pines de control, 4 de ellos corresponden a cada una de las filas y los otros 3 corresponden a cada una de las columnas como se puede observar en la Figura 45.

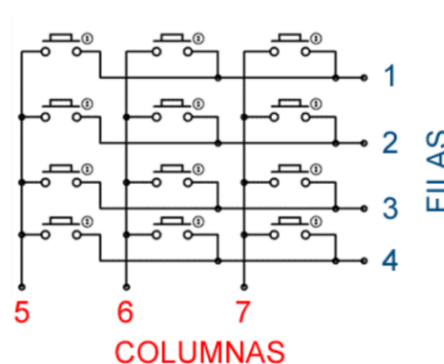


Figura 45: Disposición de los pulsadores del teclado internamente. (Fuente: [41])

El teclado matricial se puede conectar directamente a 7 pines digitales del microcontrolador (Figura 46) pero, a la hora de programar este dispositivo, hay que tener en cuenta las siguientes correlaciones entre los pines de control y la fila o columna del teclado al que corresponde:

Tabla 27: Correspondencia de los pines de control con la columna o fila del teclado 4x3. (Fuente: elaboración propia)

Pin de control	Fila / Columna
1	Columna 2
2	Fila 1
3	Columna 1
4	Fila 4
5	Columna 3
6	Fila 3
7	Fila 2

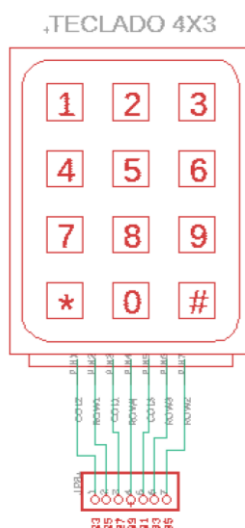


Figura 46: Esquema eléctrico del conexionado de un teclado 4x3. (Fuente: elaboración propia)

#### 7.4.2. Control de la iluminación

Para el control de la iluminación en la vivienda seleccionada se ha instalado una bombilla LED de bajo consumo junto con un sensor de presencia (PIR) en cada una de las estancias, por lo tanto, se necesita un total de 8 bombillas y 8 sensores de presencia. Estos sensores de presencia dan una salida en estado alto en el instante que se detecta presencia humana dentro de su rango de detección.

Para evitar que únicamente con el control de las luces se ocupe 16 pines del microcontrolador se ha decidido añadir dos componentes, un multiplexor y un demultiplexor, que ayudarán a reducir el número de pines necesarios. Para el componente CD74HC406, que puede actuar tanto como multiplexor como demultiplexor, únicamente se necesitan 5 pines del microcontrolador para controlar hasta un máximo de 16 dispositivos.

La bombilla y el sensor de presencia instalados en la misma estancia se conectarán al demultiplexor y multiplexor respectivamente usando el mismo canal de selección en ambos componentes y, de esta manera, cuando se detecte un valor alto a la salida del multiplexor se consigue que se encienda la bombilla correspondiente a la estancia donde se ha detectado presencia humana.

También se tendrá en cuenta la luz exterior medida con los fotorresistores de manera que, si se detecta que hay suficiente luz exterior, aunque los sensores de presencia detecten movimiento, las luces no se encenderán. Los sensores LDR tienen dos terminales y como estos no tienen polaridad, una opción de montaje electrónico es conectando un terminal a 5 voltios y el otro a una entrada analógica del microcontrolador y este, a través de un resistor de 2,2 kΩ a GND. De esta manera, el voltaje medido a través del pin analógico aumentará proporcionalmente al nivel de luz. El conexionado realizado se muestra en la Figura 47.

### SENSORES LDR (FOTORRESISTORES)

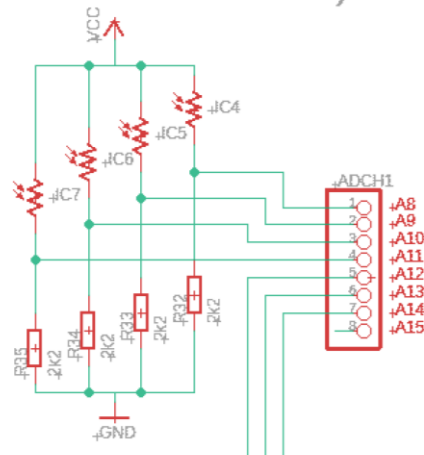


Figura 47: Conexionado de los sensores LDR (fotorresistores). (Fuente: elaboración propia)

Para conectar las bombillas será necesario el uso de relés ya que estas necesitan ser alimentadas con una tensión de 230 voltios. La Figura 48 muestra el conexionado de las bombillas LED y del demultiplexor usado.

### ILUMINACIÓN DE LA VIVIENDA CONTROLADA A PARTIR DE UNOS RELÉS (8 BOMBILLAS)

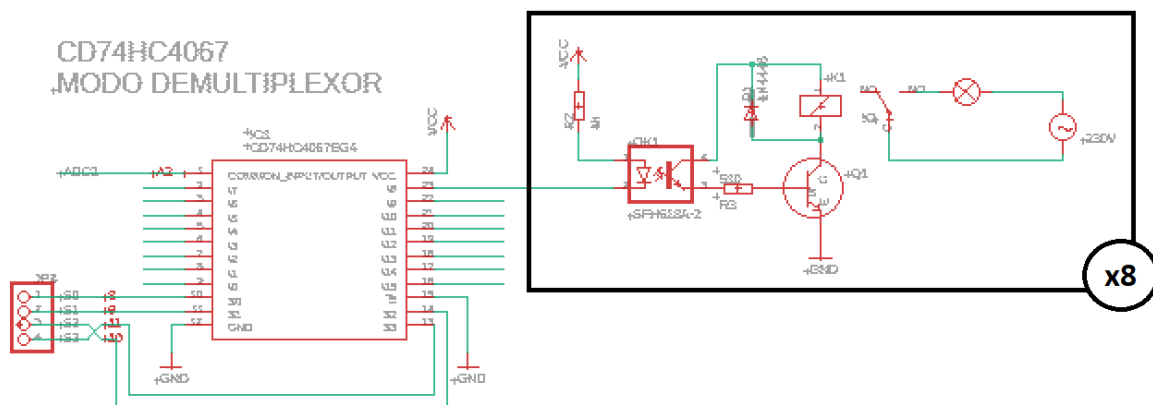


Figura 48: Esquema eléctrico del conexionado de la iluminación. (Fuente: elaboración propia)

La conexión de los 8 sensores de presencia al microcontrolador ha sido realizada mediante un multiplexor tal como se puede observar en la Figura 49.

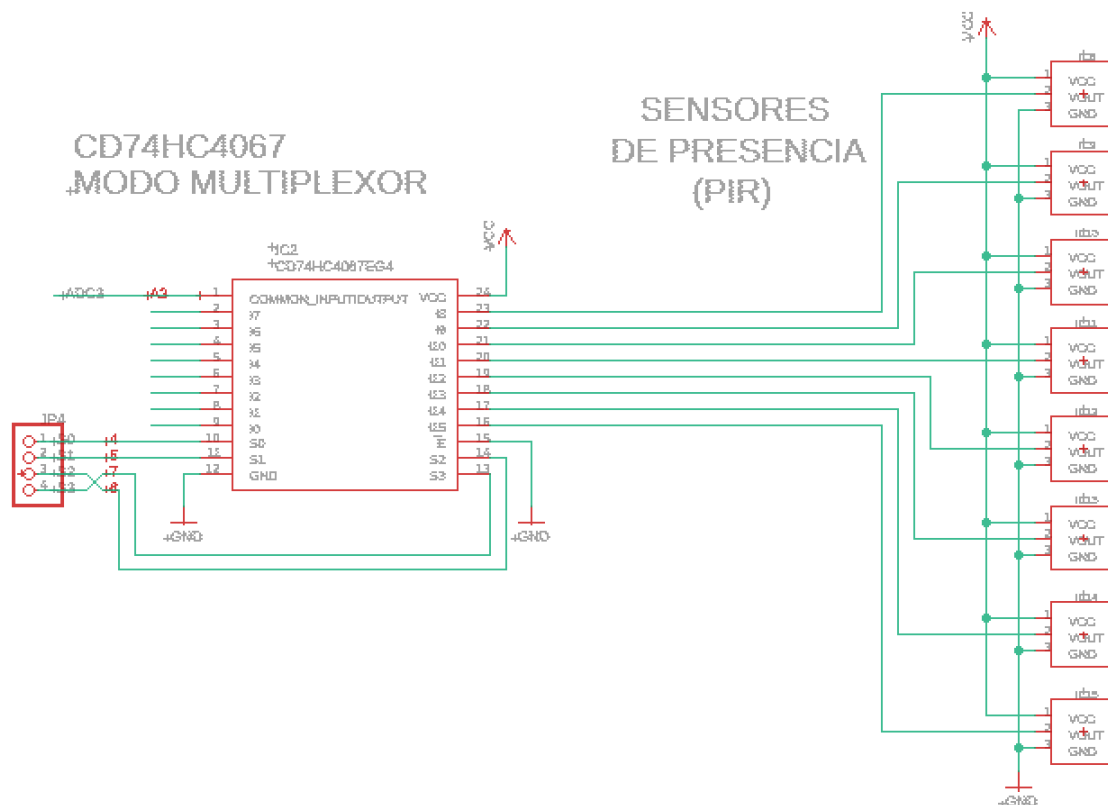


Figura 49: Esquema eléctrico del conexionado de los sensores de presencia (PIR). (Fuente: elaboración propia)

Cabe mencionar que este sistema de encendido de luces automático a partir de los sensores PIR con el conexionado actual (mediante los multiplexores y los demultiplexores) únicamente funcionaría correctamente cuando la vivienda sea de uso individual ya que estos componentes funcionan como si fueran un interruptor controlado digitalmente y, por lo tanto, no puede haber más de una salida activa simultáneamente. Es por eso que, si solo hubiera una persona en la vivienda este sistema sería ideal ya que solo se encenderían las luces correspondientes a la estancia donde se encontrara el individuo mientras que el resto se apagarían automáticamente.

En el caso de que convivieran dos o más personas en la misma vivienda, para un mejor control de la iluminación, sería preferible que tanto las bombillas LED como los sensores PIR se conectaran por separado a distintos pines digitales para poder controlarlos individualmente cada uno de ellos. Para ello, si los pines digitales del microcontrolador no fueran suficientes se podría usar un registro de desplazamiento como puede ser el modelo 74HC595.

Para el modo de seguridad este tipo de conexionado puede funcionar correctamente ya que cuando se activa este modo de funcionamiento la detección de presencia humana por cualquiera de los sensores PIR accionaría la alarma sonora de la vivienda y se enviaría una notificación mediante la aplicación móvil alertando sobre un posible intruso.



### 7.4.3. Control de la calefacción, el aire acondicionado y los electrodomésticos

Para el control de la calefacción y el aire acondicionado es necesario medir la temperatura del interior de la vivienda. Para ello se usa el sensor de temperatura DHT22 el cual tiene 4 patillas: VDD para alimentar el sensor con 5 voltios, DATA que es el pin que debe ir conectado a un pin digital del microcontrolador para enviarle las medidas del sensor, NC que no se conecta a nada y GND que se conecta a masa. Es necesario conectar una resistencia pull-up de 10 k $\Omega$  entre los pines VCC y DATA. El conexionado del sensor se muestra en la Figura 50.

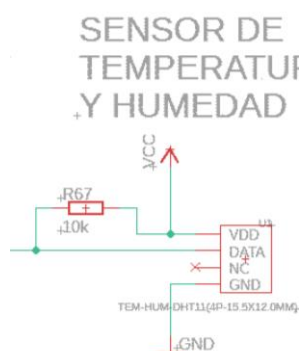


Figura 50: Esquema eléctrico del conexionado del sensor de temperatura y humedad (DHT22). (Fuente: elaboración propia)

Se establecerán dos variables: una temperatura máxima y una mínima con las que se controlará el encendido/apagado de la calefacción y del aire acondicionado. Estos dos actuadores necesitan una alimentación de 230 voltios y, por lo tanto, para poder controlarlos se necesitarán unos relés. En la Figura 51 se puede observar un esquema eléctrico que simula con una bombilla el conexionado de la calefacción y el aire acondicionado.

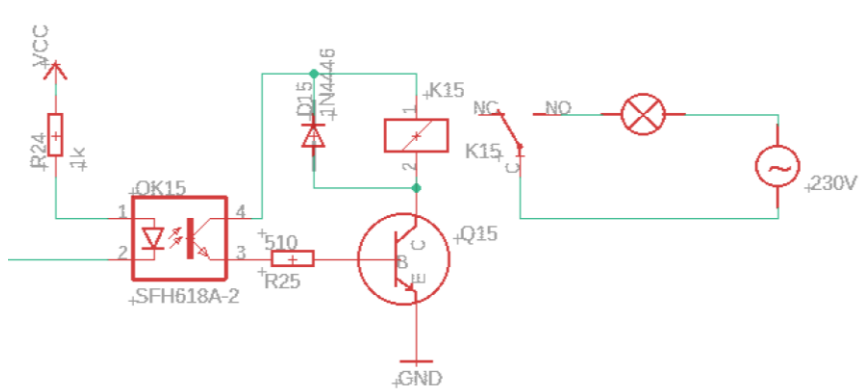


Figura 51: Esquema eléctrico que simula el conexionado de la calefacción, el aire acondicionado o los electrodomésticos. (Fuente: elaboración propia)

Otro componente usado para el control de los electrodomésticos es el *real-time clock* (RTC) con el que podremos saber la fecha y la hora en tiempo real y establecer unas condiciones de uso de estos dispositivos. Principalmente se usará para habilitar/deshabilitar aquellos electrodomésticos teniendo en cuenta las franjas horarias en las que el consumo energético sea menor. El dispositivo DS3231 (*real time clock*) se conecta mediante 4 pines al microcontrolador: VCC a la tensión de 5 voltios, GND a masa, y los otros dos (SCL y SDA) usando el protocolo de comunicación I2C. El conexionado del módulo DS3231 se puede observar en la Figura 52.

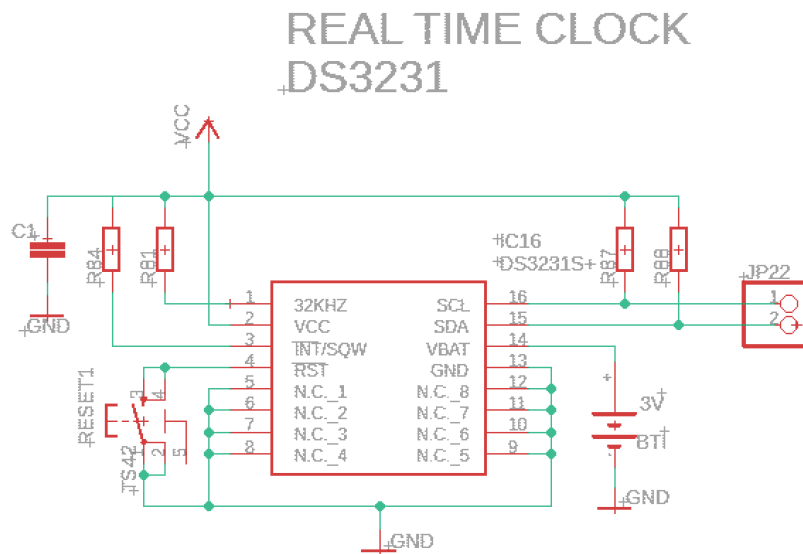


Figura 52: Esquema eléctrico del conexionado del real-time clock (RTC). (Fuente: elaboración propia)

#### 7.4.4. Control de las ventanas, persianas y el toldo

Los distintos motores usados para el control de las ventanas, las persianas y el toldo de la terraza se conectan de la misma manera al microcontrolador.

Como se muestra en la Figura 53, el cable de salida del motor está formado por 4 hilos:

- L1: Sentido de giro 1 (color marrón).
- L1: Sentido de giro 2 (color negro).
- N: Conductor neutro (color azul).
- PE: Tierra (color verde/amarillo).

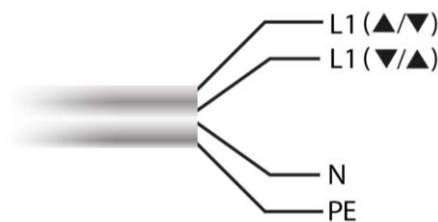


Figura 53: Conexiones de los motores usados. (Fuente: [30])

Con los dos primeros hilos (L1) se controla el sentido de giro del motor permitiendo, de esta manera, abrir o cerrar las ventanas, subir o bajar las persianas o abrir o recoger el toldo. Estos motores necesitan estar alimentados con una tensión de 230 voltios y por eso se deben conectar al microcontrolador mediante relés tal como se observa en la Figura 54.

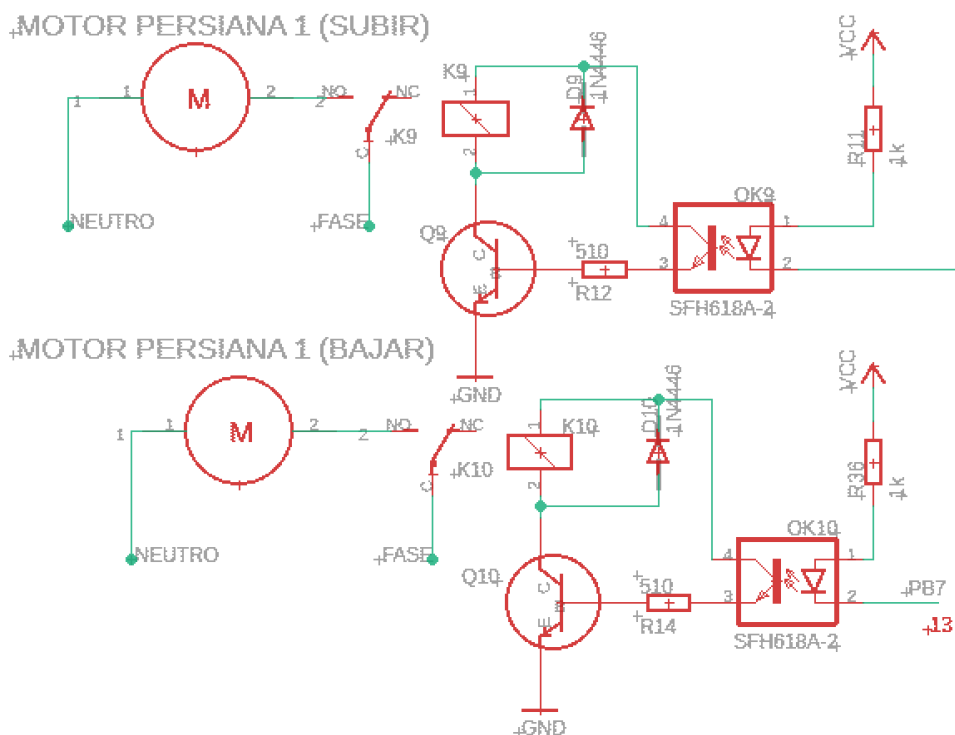


Figura 54: Esquema eléctrico del conexionado de los motores de las ventanas, de las persianas y del toldo. (Fuente: elaboración propia)

Además, para poder saber en qué momento detener el motor se han usado dos finales de carrera (uno superior y otro inferior) para cada uno de los motores. Estos se deben conectar a un pin digital del microcontrolador usando una resistencia pull-down de 1 kΩ para que, de esta manera, cuando el final de carrera esté presionando llegue un valor alto (*HIGH*) al microcontrolador y detenga el motor. Cabe mencionar que los dos finales de carrera correspondientes al mismo motor (superior e inferior) no pueden estar activados a la vez ya que significaría que alguno de ellos no funciona correctamente. En la Figura 55 se puede observar el conexionado de los finales de carrera.

## FINAL DE CARRERA DE LAS PERSIANAS (2 POR CADA PERSIANA [SUPERIOR E INFERIOR])

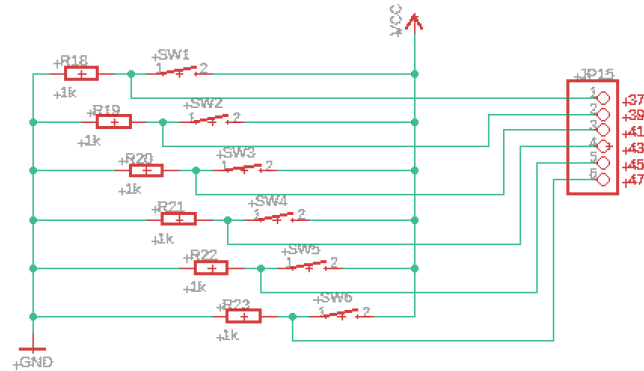


Figura 55: Esquema eléctrico del conexionado de los finales de carrera. (Fuente: elaboración propia)

El autocontrol del toldo se realiza teniendo en cuenta dos factores: la luz exterior y la pluviosidad. Las medidas de estos dos factores se realizan mediante los sensores de luz (fotorresistores) y de los sensores de nivel de agua.

El sensor de nivel de agua tiene 3 pines: VCC que es la tensión de alimentación de 5 voltios, GND pin a masa y VOUT que es la salida analógica del sensor que debe ir conectada a un pin analógico del microcontrolador. Este sensor convierte el nivel de agua en una salida analógica cuyo valor depende del nivel de inmersión del sensor.

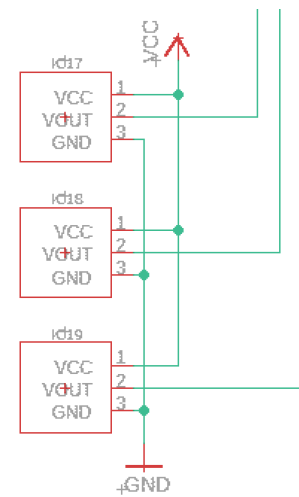


Figura 56: Conexionado de los sensores de nivel de agua al microcontrolador. (Fuente: elaboración propia)

La conexión de los fotorresistores se ha detallado en el apartado “7.4.2. Control de la iluminación”.

Por otro lado, para saber el estado de las ventanas (abiertas o cerradas) se han usado unos sensores hall A3144. Este sensor está formado por 4 pines: dos de ellos para la alimentación del sensor (VCC y GND) y el tercero para la conexión con el microcontrolador (DATA). Este sensor se puede alimentar con una tensión de 5 voltios y entre los pines VCC y DATA se debe conectar una resistencia de 10 kΩ. En la Figura 57 se puede observar el conexionado de los sensores al microcontrolador.

Cuando estos sensores detectan un campo magnético dan como salida la tensión de saturación (0,4 V), por lo que mediante un pin digital del microcontrolador se detecta un valor bajo (*LOW*) y cuando no detecta el campo magnético da como salida la tensión de alimentación del sensor (5 V, ya que el

transistor estará en corte) y, por lo tanto, se detecta un valor alto (*HIGH*). De esta manera, colocando un pequeño imán en el marco de la ventana, cuando el microcontrolador reciba un valor bajo significará que la ventana está cerrada mientras que si recibe uno alto indicará que la ventana se ha abierto.

### SENSORES HALL (DETECTAR CIERRE DE VENTANAS)

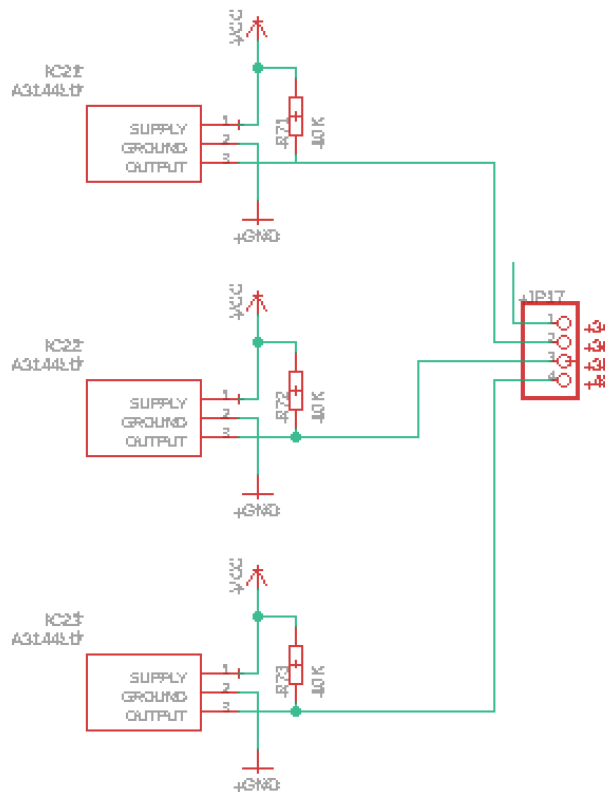


Figura 57: Esquema eléctrico del conexionado de los sensores Hall A3144. (Fuente: elaboración propia)

Por último, mencionar que como el número de pines del microcontrolador no es suficiente para conectar todos los dispositivos del sistema de gestión domótica, se han utilizado dos registros de desplazamiento. Estos consiguen 8 salidas adicionales por cada chip conectado en serie ocupando solamente 3 pines digitales del microcontrolador: DS que es la entrada de datos, SCTP que ingresa un pulso que deja fijos los datos en el registro de salida y SHCP que es el pulso de reloj que desplaza los datos en el registro de desplazamiento. En este proyecto se han usado dos registros de desplazamiento conectados en serie, mediante el pin Q7S, que proporcionan 16 salidas digitales (Q0-Q7 de cada chip). En la Figura 58 se muestra la conexión de estos componentes.

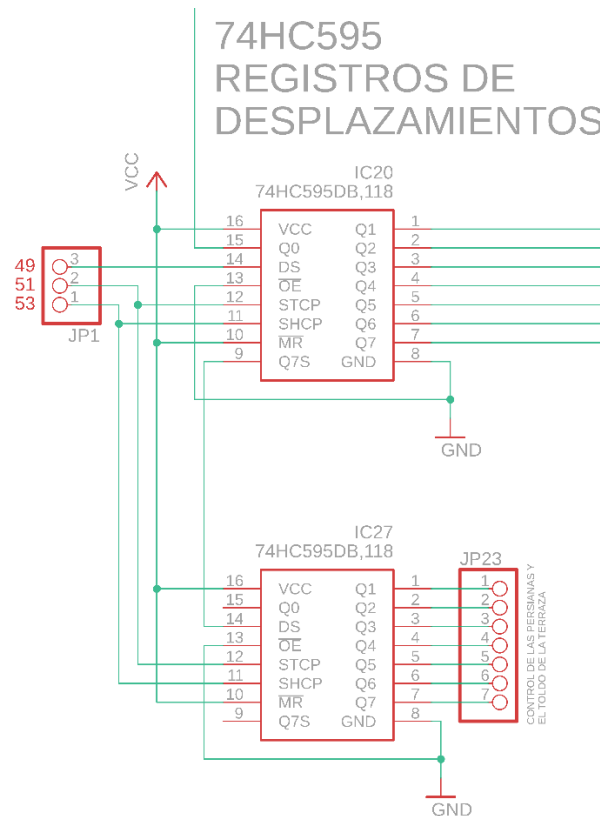


Figura 58: Esquema eléctrico del conexionado de los registros de desplazamiento 74HC595. (Fuente: elaboración propia)

#### 7.4.5. Medición de la potencia consumida

Para poder medir la potencia total que se está consumiendo en la vivienda y, de esta manera, saber el consumo eléctrico, se necesitará medir por separado la corriente y la tensión eléctrica. Para ello se ha usado el sensor de corriente ACS712ELCTR-30A-T y un divisor de tensión cada uno conectado a una entrada analógica del microcontrolador. Al estar midiendo la corriente alterna (es decir, tensión de línea de 50 Hz) se genera un ángulo de fase entre la tensión y la corriente el cual se denomina factor de potencia. En este caso, para simplificar la medida de la potencia supondremos un factor de potencia de la instalación (un coseno de  $\phi$ ) de 1.

El ACS712ELCTR-30A-T se debe alimentar con 5 voltios mediante los pines VCC y GND. Este sensor de corriente proporciona una salida de tensión proporcional a la intensidad que lo atraviesa y, por lo tanto, se puede conectar el pin VOUT (salida del sensor) a una entrada analógica del microcontrolador. Además, para poder medir la intensidad hay que tener en cuenta que para poder medir intensidades positivas y negativas se incluye un offset de 2,5 V. Otra especificación del sensor

que hay que tener en cuenta es la sensibilidad que, en el modelo escogido, es de 66 mV/A. El cálculo de la intensidad se realiza mediante la Ecuación 1.

$$I = \frac{(V - 2,5)}{\text{Sensibilidad}} \rightarrow I = \frac{(V - 2,5)}{0,066} \quad [1]$$

Para medir la tensión de la red eléctrica se ha diseñado un rectificador de onda completa formado por un transformador (230V/5V) y por un puente rectificador de Graetz al que se ha incluido un filtro capacitivo de salida para conseguir una tensión continua y poder trabajar con el microcontrolador. Para poder medir la tensión se ha realizado un divisor de tensión usando dos resistencias y conectando la salida a una entrada analógica del microcontrolador (A6).

En la Figura 59 se puede observar el conexionado del sensor de corriente, así como el voltímetro diseñado.

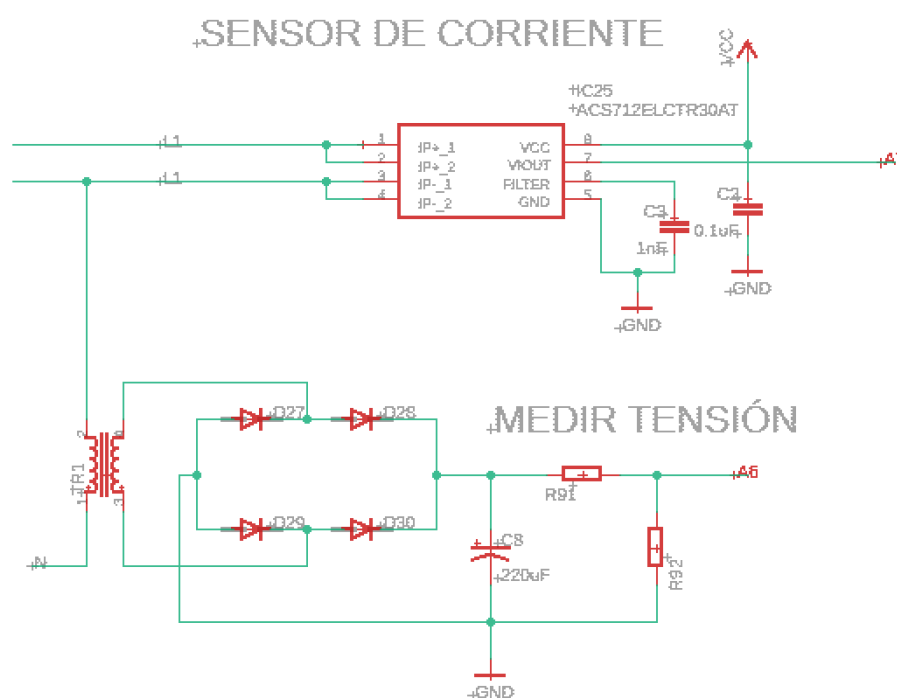


Figura 59: Esquema eléctrico del conexionado realizado para medir la potencia eléctrica. (Fuente: elaboración propia)

El cálculo de la potencia se realizará mediante software recibiendo las medidas de tensión y corriente por las entradas analógicas del microcontrolador A6 y A7, respectivamente. Cabe mencionar que para poder reducir el ruido de la medición se realizará un muestreo (n muestras) y se calculará el valor promedio (Ecuación 2).

$$I_{ef} = \frac{\sum_1^n I_i}{n} \quad [2]$$

Como se consigue un valor de tensión en continua después del puente de Graetz, la medición que realice el microcontrolador corresponderá al valor de pico y habrá que calcular el valor eficaz mediante la Ecuación 3.

$$V_{ef} = \frac{V_P}{\sqrt{2}} \quad [3]$$

Para conseguir la potencia eficaz tan solo será necesario multiplicar las dos medidas ya que, como se ha comentado anteriormente, se considerará un factor de potencia igual a 1 ( $\cos(\phi) = 1$ ).

$$P_{ef} = V_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos(\phi) \quad \rightarrow \quad P_{ef} = V_{ef} \cdot I_{ef} \quad [4]$$

En concreto, para el voltímetro diseñado se han realizado los siguientes cálculos para saber el valor de las resistencias que forman el divisor de tensión ya que esta tendrá que ser como máximo de 5 voltios (debido a las limitaciones del microcontrolador ATmega2560).

Primero se supondrá una variación de la tensión de red del  $\pm 10\%$  lo que hará que en el secundario del transformador usado (230V/5V), en vez de haber 5 V que serían los ideales, nos pondremos en el peor caso posible y supondremos que la tensión máxima del secundario serán 5,5 V eficaces (5V + 10%), es decir, 7,78 V de pico.

$$V_{pico} = V_{ef} \cdot \sqrt{2} = 5,5 \cdot \sqrt{2} = 7,78 \text{ V} \quad [5]$$

Posteriormente se ha restado la caída de tensión en los diodos y se ha obtenido una tensión a la salida del puente rectificador de 6,58 V.

$$V_{out,m\acute{a}x} = V_{pico} - V_D \cdot 2 = 7,78 - 0,7 \cdot 2 = 6,38 \text{ V} \quad [6]$$

Teniendo en cuenta que la tensión en la salida del puente Graetz es de 6,38 V y que al microcontrolador deberá llegar como máximo 5 V se ha calculado el valor de las resistencias del divisor de tensión. Se ha fijado el valor de la resistencia R92 de la Figura 59 en 20 k $\Omega$  y, por lo tanto, R91 debe calcularse mediante la Ecuación 7:

$$V_{ATmega2560} = V_{out,m\acute{a}x} \cdot \frac{R92}{R91 + R92} \quad [7]$$



Sustituyendo los valores de la Ecuación 7 obtenemos que R91 debe ser de 8,36 k $\Omega$  (valor no normalizado). Para asegurarnos de que la tensión no llegará a los 5 V se ha calculado este valor teniendo en cuenta que  $V_{ATmega2560} = 4,5$  V. Finalmente se ha seleccionado un valor normalizado para la resistencia R91 de 8,25 k $\Omega$ .

Como posible mejora se podría realizar un registro de datos de la potencia medida durante un cierto período de tiempo para, de esta manera, realizar un estudio de cuáles son los picos de consumo y poder realizar los cambios necesarios en el sistema domótico para reducir, si es posible, el consumo de energía del hogar cambiando algunos dispositivos a otros más eficientes o incluso modificando los hábitos de consumo del usuario.

## 7.5. Diseño del circuito impreso

El programa de diseño EAGLE permite dibujar, generar y comprobar tanto esquemas eléctricos como posteriormente diseñarlos a nivel de *layout*, es decir, creando un circuito impreso, de una forma directa y sencilla.

Tras realizar el esquemático del prototipo comercial, mediante la opción “*Generate/switch to board*”, se pasa a la pestaña de creación del circuito impreso donde aparecerán todos los componentes añadidos en el esquemático y las conexiones realizadas. El programa EAGLE es capaz de sincronizar el esquemático con la PCB (*Printed Circuit Board*), lo que nos permite realizar cambios en el esquemático y que automáticamente se actualice la PCB.

Para el prototipo comercial se han realizado tres circuitos impresos: el primero es la placa base, la segunda corresponde al mando de control que se situaría en el comedor para poder seleccionar el modo de funcionamiento del sistema domótico y para controlar todos los actuadores en modo manual y, el tercero es una placa en la que se incluirían todos aquellos componentes necesarios para el correcto funcionamiento de los distintos sensores y actuadores.

En la primera placa se encuentra el microcontrolador ATmega2560, un conjunto de conectores para conectarse con las otras placas o dispositivos, los dispositivos para medir la potencia consumida de la vivienda (el sensor de corriente ACS712 y el voltímetro) y la fuente de alimentación del microcontrolador. Cabe mencionar que el conector de 2 pines es el que se usará para conectar el sistema domótico a la red eléctrica de la vivienda. En la Figura 60 podemos ver la distribución de

todos los componentes y las vías creadas tanto de la cara superior (en azul) como las de la cara inferior (en naranja).

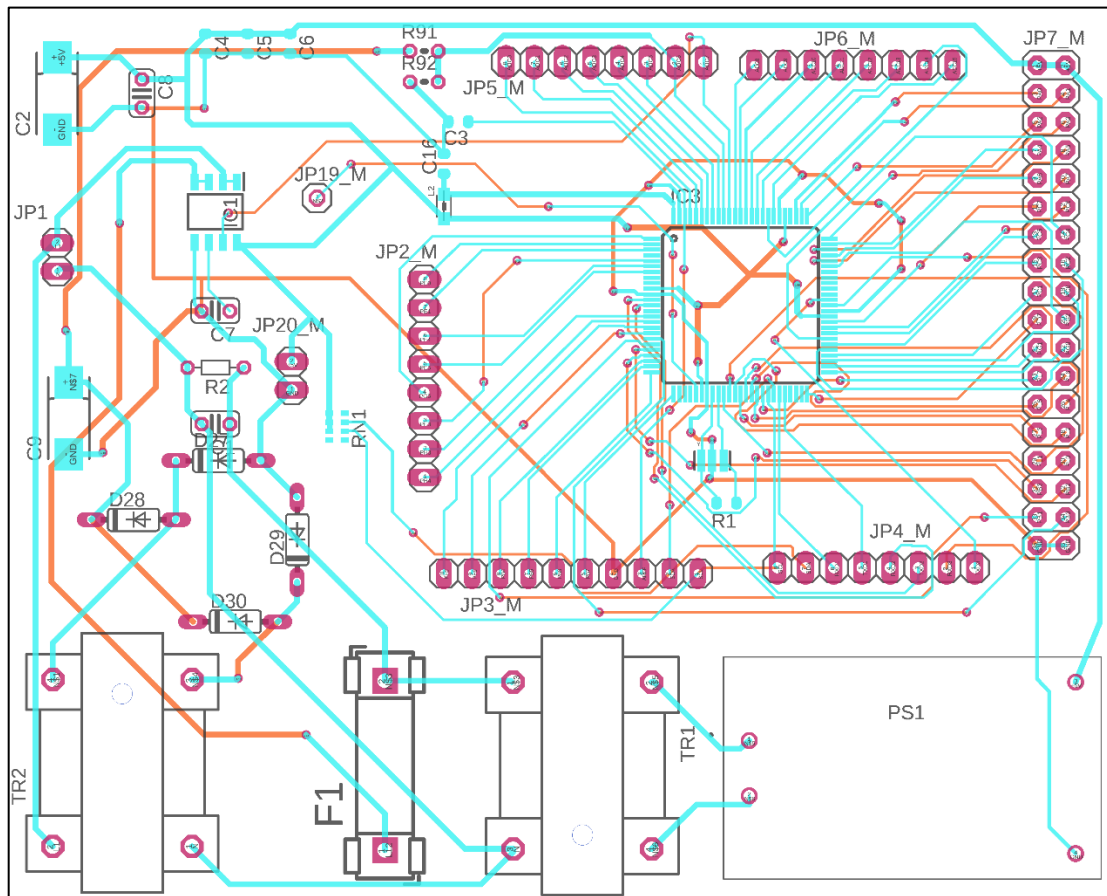


Figura 60: Diseño del circuito impreso para la placa base. (Fuente: elaboración propia)

La segunda placa diseñada, como se ha mencionado anteriormente, corresponde al mando de control el cual está formado por una pantalla LCD, un conjunto de pulsadores para navegar por las distintas pantallas del sistema de control (*select*, *up*, *down*, *right*, *left*) y para la selección del modo de funcionamiento, un teclado y un conjunto de LEDs para indicar si alguna alarma esta activada. Como el mando de control estará colocado en un sitio visible y el usuario podrá manipularlo, se han realizado todas las conexiones en la capa “bottom” de manera que, únicamente los componentes necesarios para el control del sistema domótico sean visibles colocando el *display*, el teclado, los LEDs y los pulsadores en la cara superior. En la Figura 61 podemos ver la distribución de los componentes del mando de control, así como el trazado de las pistas en la capa inferior en color naranja. Tras la distribución de los componentes intentando optimizar el espacio al máximo y reduciendo el número de pistas necesarios se observa que se necesitará una placa con unas dimensiones mínimas de 8,7 x 14,5 x cm, por lo tanto, teniendo en cuenta los distintos tipos de placas que hay en el mercado (según el tipo y las dimensiones) se ha optado por adquirir una placa de dimensiones 9 x 15 cm.

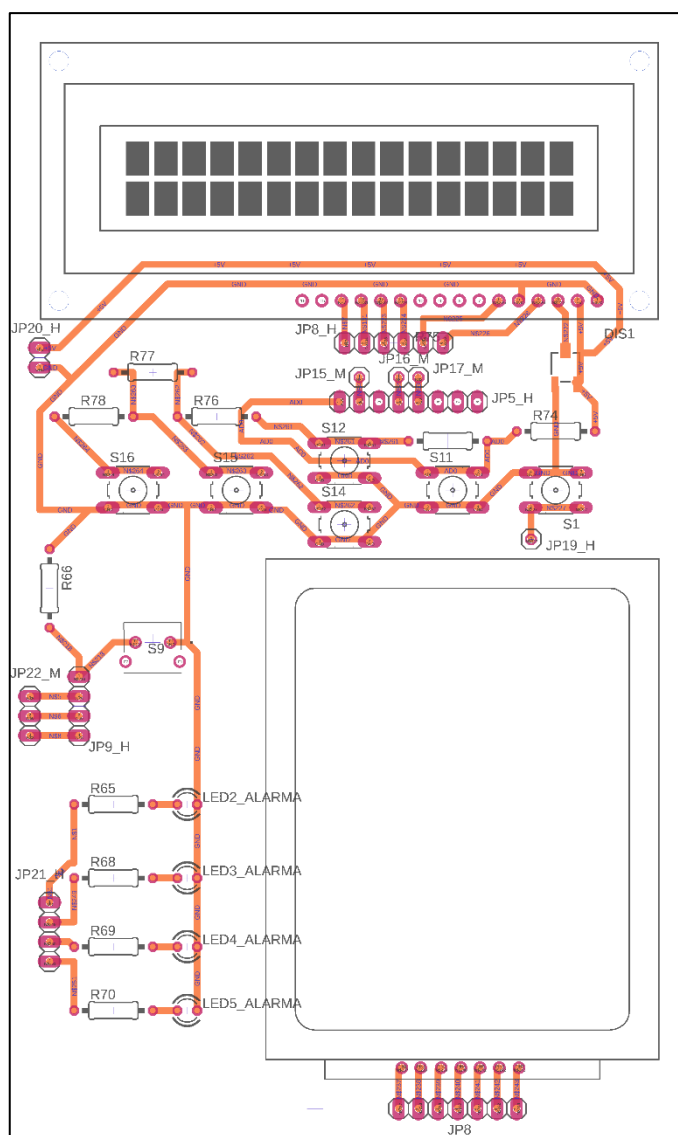


Figura 61: Diseño del circuito impreso para el mando de control. (Fuente: elaboración propia)

La tercera placa contendrá todos los componentes que se han necesitado para la conexión de los distintos sensores y actuadores. Se soldarán los componentes pasivos (las resistencias o los condensadores) así como el multiplexor/demultiplexor, el registro de desplazamiento y todo el conjunto de relés utilizados. En esta placa se incluirán varios conectores, unos para conectarla al microcontrolador y otros que para la conexión de los sensores y los actuadores.

La tercera placa que se realizaría para el prototipo comercial se ha diseñado en varias placas separadas para simplificar el cableado ya que es mejor que las líneas de distribución de los 230 V no tengan mucha longitud. También hay que mencionar que se utilizarán cables de par trenzado apantallado para las líneas de distribución de las señales de control con el objetivo de evitar interferencias externas.

El diseño de la primera se puede observar en la Figura 62 y está formada por:

- Un conector que divide los pines (del 22 al 53) del microcontrolador en distintos conectores para conectar a cada uno de ellos un dispositivo distinto.
- El multiplexor CD74HC40.
- Los dos registros de desplazamiento 74HC595.
- 4 relés: uno para la conexión de la cerradura electromagnética de la puerta principal y los otros 3 que controlan la calefacción, el aire acondicionado y los electrodomésticos.

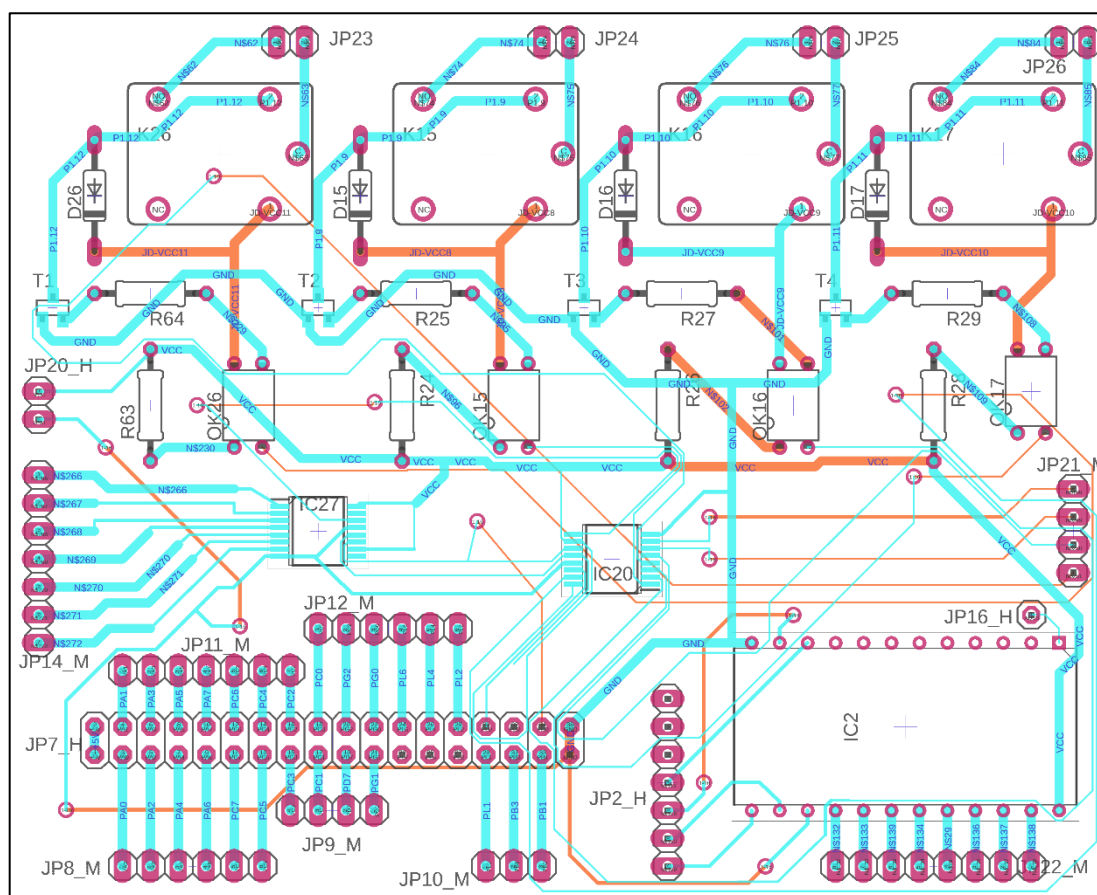


Figura 62: Diseño del circuito impreso del prototipo comercial (primera parte de la placa). (Fuente: elaboración propia)

El diseño de la segunda se puede observar en la Figura 63 y está formada por:

- El demultiplexor CD74HC40.
- 8 relés para el conexionado de las bombillas LED de bajo consumo.

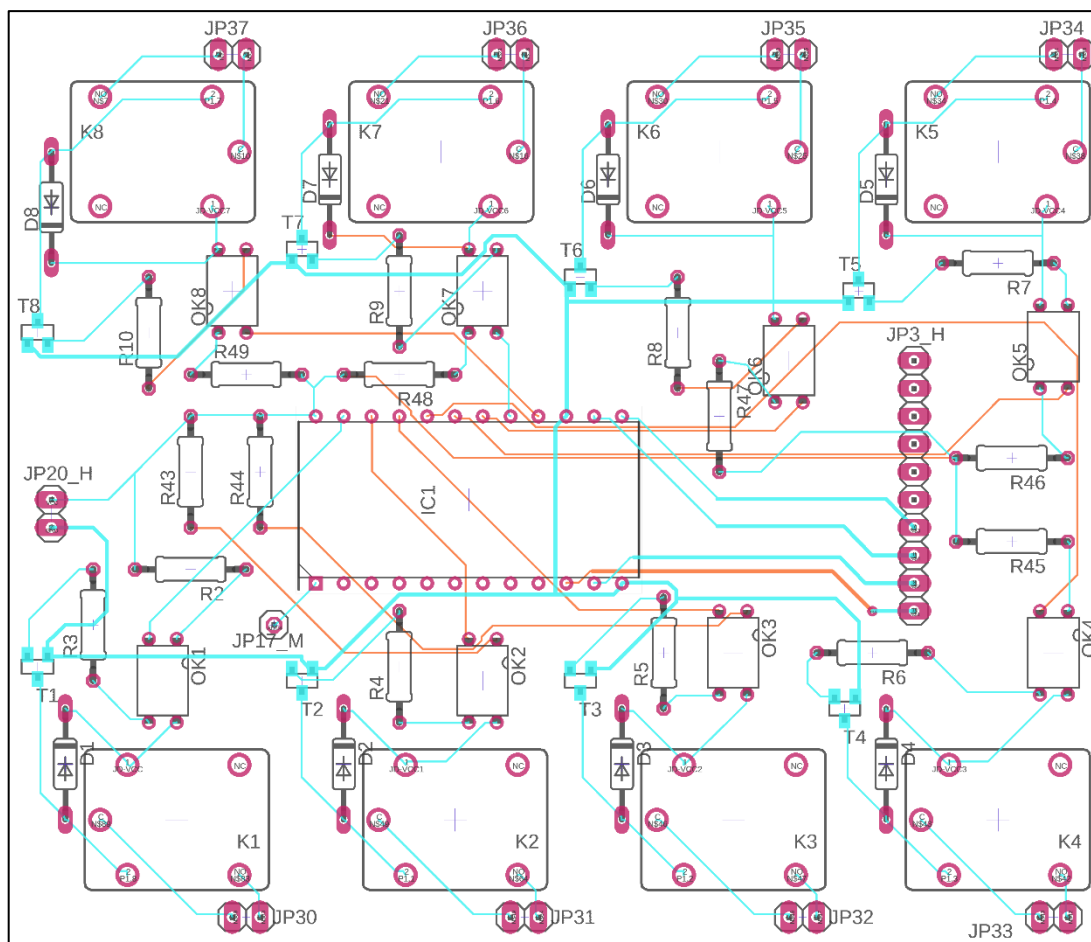


Figura 63: Diseño del circuito impreso del prototipo comercial (segunda parte de la placa). (Fuente: elaboración propia)

El diseño de la tercera placa corresponde únicamente a la conexión de 14 relés. Este diseño no se ha realizado con EAGLE ya que por las limitaciones de la placa para realizar el circuito impreso se tendrían que repartir los 14 relés, por lo menos, en 2 placas de 10 x 8 cm y las conexiones y la distribución serían las mismas que las que se pueden observar en la Figura 63.

## 7.6. Funcionalidades del prototipo comercial

Con el panel de control situado en el comedor o con la aplicación móvil, que se ha creado se podrá controlar el sistema domótico mediante 3 modos distintos: manual, automático y modo seguridad.

Aparte del control de los distintos dispositivos de la vivienda, para proteger y notificar al usuario en caso de alguna anomalía, se han programado un total de 7 alarmas. Todas ellas activan una señal acústica (*Buzzer*) y además se recibe una notificación al móvil del usuario mediante la aplicación móvil. Las diferentes alarmas programadas son las siguientes:

- Clave incorrecta: esta se activa cuando alguien introduzca 3 veces seguidas la clave de la puerta principal incorrectamente.
- Temperatura elevada: informa de una temperatura muy elevada dentro de la vivienda.
- Humedad elevada: informa de una humedad relativa muy elevada dentro de la vivienda.
- Posible inundación/escape de agua: se activa cuando los dos sensores de nivel de agua instalados en los baños detectan un nivel de agua muy alto.
- Posible intruso: esta alarma solo se activa cuando el sistema domótico se encuentra en “modo seguridad” e informa al usuario de un posible intruso.
- Detector de humo: informa de una cantidad de humo dentro de la vivienda anómalo y peligroso que podría indicar el inicio de un fuego.
- Consumo elevado: teniendo en cuenta lo que consume cada dispositivo de la vivienda se calculará el consumo energético total de la vivienda y se comparará con la potencia contratada para la vivienda. Esta alarma indicará si el consumo actual es muy elevado y recomendará desconectar algún dispositivo para reducir el consumo.

#### 7.6.1. Modo manual

Con el modo manual podemos controlar todos los dispositivos conectados al microcontrolador de dos maneras distintas. La primera, es navegando con los botones del mando de control por las distintas pantallas que este nos ofrece y, la segunda, es mediante los interruptores que aparecen en la aplicación móvil.

El mando de control tiene unas dimensiones de 9 x 12,5 cm y está formado por los siguientes elementos: pantalla LCD, teclado matricial 4x3, 7 pulsadores, 1 interruptor (ON/OFF) y varios LEDs, unos indican en qué modo está funcionando el sistema domótico en cada momento y otros indican si hay alguna alarma encendida.

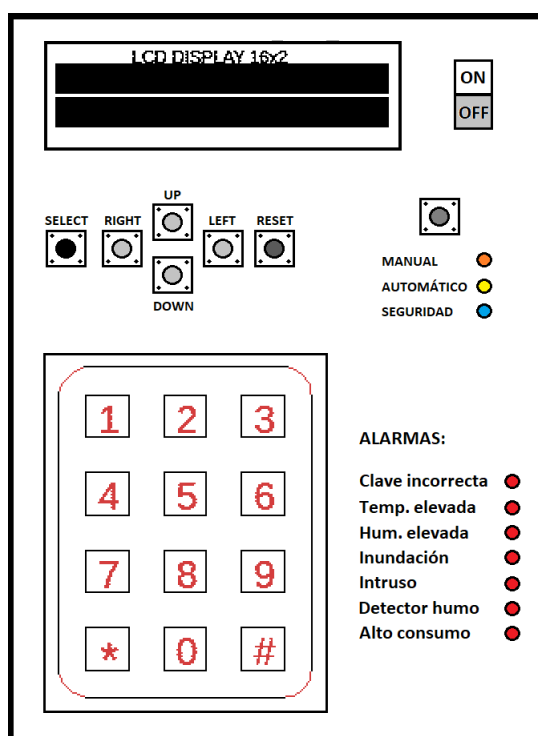


Figura 64: Diseño del posible mando de control. (Fuente: elaboración propia)

En este modo podremos controlar las siguientes funciones:

- Iluminación: se podrán encender cada una de las bombillas LED de la vivienda.
- Calefacción: se podrán encender o apagar todos los radiadores de la vivienda. También se podrá ajustar la temperatura conforme a las necesidades del individuo en cada momento.
- Aire acondicionado: igual que la calefacción se podrá encender o apagar el dispositivo, así como controlar su temperatura de funcionamiento.
- Electrodomésticos: se podrán habilitar o deshabilitar en cualquier momento gracias a los relés.
- Cerradero electrónico para la puerta principal: introduciendo la contraseña correcta (previamente configurada) conseguimos que el electroimán deje de hacer efecto y nos permita abrir la puerta principal.
- Ventanas: se podrán abrir y cerrar todas las ventanas de la vivienda gracias a los motores instalados. El ángulo de apertura se configurará según las necesidades del propietario mediante los finales de carrera que vienen incorporados en el motor.
- Persianas: se podrán subir o bajar. Igual que las ventanas, mediante unos finales de carrera se detectará el máximo y el mínimo de la persiana y se detendrá automáticamente si llega a estos.
- Toldo: se podrá recoger o abrir.

### 7.6.2. Modo automático

Una vez se active el modo automático, el microcontrolador controlará todos los dispositivos que tenga conectados según las lecturas de los distintos sensores distribuidos por la vivienda. Este modo de funcionamiento está pensado para un mayor confort por parte del usuario y un mayor ahorro energético.

A continuación, se detallan las funciones que realizará al entrar en modo automático.

- Iluminación: mediante los sensores PIR se detectará la presencia humana y el microcontrolador podrá encender las luces correspondientes a la estancia donde se encuentre el usuario en cada momento apagando el resto de las luces de la vivienda para conseguir un ahorro energético. Además, si mediante los fotorresistores se detectara que hay suficiente luz, aunque el sensor de presencia señale presencia humana, la luz no se encendería.
- Calefacción: inicialmente se definirá una temperatura mínima que sirva de límite para encender o apagar la calefacción. Con el sensor DHT22 se medirá la temperatura del interior de la vivienda y si esta resulta ser inferior a la mínima configurada activará la calefacción hasta que iguale o supere esa temperatura.
- Aire acondicionado: tiene un funcionamiento similar a la calefacción. Inicialmente se define una temperatura límite para que, cuando se detecte un valor superior a este, active el aire acondicionado y, cuando sea inferior se apague.
- Electrodomésticos: para conseguir un consumo eléctrico inferior se ha programado que ciertos electrodomésticos solo se puedan usar en aquellas franjas horarias donde el precio del kilovatio hora (kWh) sea inferior.
- Ventanas: en verano a veces no es necesario encender el aire acondicionado para ventilar la vivienda ya que con abrir las ventanas se puede llegar a una temperatura ambiente agradable y evitar un consumo energético innecesario encendiendo el aire acondicionado. Para reducir el consumo se definirá un rango de temperaturas donde el aire acondicionado se mantendrá apagado y se abrirán las ventanas para ventilar la vivienda. Si no se consiguiera enfriar la vivienda y se llegara a la temperatura límite para encender el aire acondicionado, este se activaría y se cerrarían las ventanas automáticamente. También, si el usuario tiene definida una rutina diaria se puede configurar el sistema domótico para que cada día a una



hora en concreto de la mañana se abran las ventanas durante un periodo de tiempo de unos 10/15 minutos para ventilar la casa y luego se cierren automáticamente.

- Persianas: las persianas se regularán según el valor que se reciba con los fotorresistores (LDR). Si se detectara un valor muy elevado de luz solar las persianas bajarían evitando que la vivienda se caliente en exceso y, si se detectara poca luz solar se subirá la persiana para intentar que entre luz del exterior y no tener que usar la iluminación de la vivienda. También tendrá en cuenta en que época del año nos encontramos en cada momento ya que, aunque haya mucha luz exterior en invierno, esta se agradece y no deseamos bajar las persianas. Es por eso que esta funcionalidad se desactivará en los meses de invierno.
- Toldo: el toldo se regulará teniendo en cuenta la medida de dos sensores: el fotorresistor (LDR) y el sensor de nivel de agua. Independientemente de la luz exterior, si se detecta que está lloviendo el toldo se recogerá. Por otro lado, si no se detecta lluvia, se tendrá en cuenta la luz exterior abriendo el toldo cuando se detecte un valor muy elevado a través del sensor.

### 7.6.3. Modo seguridad

El modo seguridad se debe activar cuando todas las personas hayan abandonado la vivienda y esta quede vacía. Una vez activado este modo, se conectarán las alarmas y todos los dispositivos que se pueden controlar con el sistema domótico se apagarán a excepción de los electrodomésticos, es decir, se apagarán todas las luces de la casa, se apagará la calefacción y el aire acondicionado y se cerraran las ventanas por seguridad. El estado de los electrodomésticos no variará ya que se pueden dejar funcionando mientras la vivienda esté vacía y así aprovechar las horas con el kilovatio hora (kWh) más barato.

Los sensores PIR en este modo en vez de encender las luces según la presencia humana (como hacen en el modo automático), detectaran si ha habido un intruso en la vivienda. Si cualquiera de los 8 sensores instalados detectara la presencia de alguna persona dentro la vivienda activaría la alarma y mediante la aplicación móvil nos llegaría una alerta inmediata.

Con este modo de funcionamiento se pretende consumir el mínimo posible y además proteger la vivienda ante posibles intrusiones.

## 8. Diseño del prototipo de pruebas

El prototipo de pruebas es una versión simplificada del prototipo de ventas donde se puede comprobar el correcto funcionamiento del sistema domótico instalado, pero en el que se han sustituido algunos sensores y/o actuadores por otros componentes más sencillos. Debido al elevado precio de algunos componentes electrónicos o por su dificultad de suministro se han sustituido por otros modelos que, a pesar de ser distintos, tienen un funcionamiento muy parecido a los propuestos en el prototipo de ventas. Algunas de las diferencias entre dispositivos escogidos en los dos prototipos hacen referencia a la precisión de algunos sensores (que será inferior) o a la tensión de funcionamiento de algunos actuadores la cual será más pequeña y, de esta manera, se podrá alimentar el componente directamente desde la misma placa de Arduino Mega 2560.

Cabe mencionar que, en el prototipo de pruebas al ser una versión simplificada, también se han omitido algunos componentes como, por ejemplo: el multiplexor, el demultiplexor, el registro de desplazamiento, cerradura electromagnética, etc.

El multiplexor y el demultiplexor no se usan ya que como solo se quiere comprobar el correcto funcionamiento del programa, únicamente se ha conectado un LED simulando una bombilla y un sensor PIR, a diferencia del prototipo de ventas donde hay 8 de cada. El registro de datos no se ha usado ya que se ha podido conectar todo con los pines de la placa Arduino Mega 2560 y no se han necesitado pines adicionales.

En la Tabla 28 se puede ver la comparativa de los distintos componentes usados en ambos prototipos.

Tabla 28: Equivalencia de los dispositivos del prototipo de ventas con el prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia)

<b>Equivalencia de los dispositivos del prototipo de ventas con el prototipo de pruebas</b>	
<b>Prototipo de ventas</b>	<b>Prototipo de pruebas</b>
<i>Unidad de control</i>	
ATMega2560	ATMega2560
<i>Sensores</i>	
Detector de movimiento PIR 360º	Sensor PIR HC-SR501
Fotorresistencia (LDR)	Fotorresistencia (LDR)
Sensor de nivel de agua KY-059	Sensor de nivel de agua KY-059
Sensor Hall A3144	-
Final de carrera	-
DHT22	DHT11
Detector de humo	-
Cerradura electromagnética	-
Sensor de corriente ACS712	-
<i>Actuadores</i>	
Bombillas LED de bajo consumo	LED amarillo
Motor tubular (persianas)	Motor paso a paso
Motor tubular (toldo)	Servomotor SG90
Motor para ventana	Servomotor MG90S
Calefacción	LEDs Rojo y Verde
Aire Acondicionado	Relé + Ventilador
Buzzer activo	Buzzer activo
Relé 5 V	Relé 5 V
Pantalla LCD	Pantalla LCD
<i>Otros componentes</i>	
CD74HC406	-
74HC595	-
Pulsador	Pulsador
Teclado matricial 4x3	Teclado matricial 4x3
RTC DS3231	RTC DS1302
Bluetooth HC-12	Bluetooth HC-05

## 8.1. Componentes usados en el prototipo de pruebas

Como se puede comprobar en la Tabla 28 algunos de los componentes usados en el prototipo de pruebas se mantienen iguales mientras que unos pocos, como pueden ser los motores, se han cambiado por otro componente que simulará su comportamiento. A continuación, se detallarán aquellos componentes no mencionados anteriormente y que se han usado en el prototipo de pruebas.

### 8.1.1. Sensores

#### Sensor PIR HC-SR501

El sensor PIR HC-SR501 es un sensor de presencia que a diferencia del escogido en el prototipo de pruebas tiene un ángulo de detección inferior ( $110^\circ$ ), pero se puede alimentar con una tensión de 5 V.

El módulo del sensor PIR HC-SR501 consiste en un circuito impreso sobre el cual se monta el sensor HC-SR501 y varios componentes necesarios para el correcto funcionamiento. También dispone de dos potenciómetros con los que se podrá regular el tiempo que está activa la señal cuando detecta movimiento y el nivel de sensibilidad. Además, el módulo incluye una cúpula plástica diseñada para recibir y concentrar el calor (en forma de radiación infrarroja) que emiten los seres vivos sobre el sensor y para aumentar el ángulo de detección.



Figura 65: Sensor PIR HC-SR501.  
(Fuente: [20])

#### Sensor de temperatura / humedad DHT11

Se ha optado por usar el modelo DHT11 como sensor de temperatura y humedad ya que presenta un coste más económico respecto al DHT22. Este coste más barato conlleva que el modelo escogido tenga una peor resolución y una menor precisión, pero suficiente, a los únicos efectos de comprobar su correcto funcionamiento.



Figura 66: Sensor de temperatura/humedad DHT11. (Fuente: [20])

### 8.1.2. Actuadores

#### Motor paso a paso 28BYJ-48

Para poder simular la subida y bajada de las persianas se ha usado el 28BYJ-48 que es un motor paso a paso unipolar de bajo coste. La alimentación de este motor es de 5 V y, por lo tanto, se podrá alimentar directamente desde la placa Arduino Mega 2560.

Para el control del motor se ha usado el módulo de control

ULN2003 que es una agrupación de 7 par Darlington de los cuales se usarán 4 que corresponden a cada una de las fases del motor paso a paso. Gracias a este módulo podremos suministrar una corriente superior a la que proporcionan las salidas de Arduino.



Figura 67: Motor paso a paso 28BYJ-48-5V y el módulo de control ULN2003. (Fuente: [\[42\]](#))

Las características principales del motor paso a paso 28BYJ-48-5V son las siguientes:

Tabla 29: Especificaciones del motor paso a paso 28BYJ-48-5V. (Fuente: [\[42\]](#), elaboración propia)

Motor paso a paso 28BYJ-48-5V	
Tensión nominal	5 V
Nº de fases	4
Reductora	1/64
Resistencia	50 $\Omega$
Par motor	> 34,3 mN·m

#### Servomotores

Los servomotores son dispositivos que están formados por un pequeño motor de continua, acoplado a un reductor y con toda la electrónica necesaria para controlar su posición o velocidad. Estos permiten un control preciso en términos de posición angular, aceleración y velocidad. Principalmente hay dos tipos de servomotores: [\[35\]](#)

- Servomotores que tienen un rango de movimiento limitado de 0 a 180 °.

- Servomotores de rotación continua con los que se puede controlar tanto su giro como su velocidad ya que son capaces de girar los 360°.

Se han sustituido los motores para ventanas por un servomotor el cual nos permitirá simular la apertura y el cierre de las ventanas sin necesitar una alta tensión de alimentación.

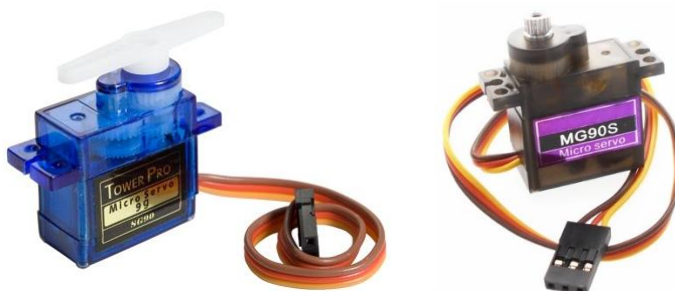


Figura 68: Dos modelos distintos de servomotor. (Fuente: [21])

Tabla 30: Especificaciones de los servomotores SG90 y MG90S. (Fuente: [43], elaboración propia)

	Servomotor 9G SG90	Servomotor MG90S
Voltaje de funcionamiento	3 - 7,2 V	4,8 - 6 V
Torque	1,2 kg·cm	1,8 kg·cm
Velocidad	0,12 seg/60° (4,8 V)	0,1 seg/60° (4,8 V)
Rotación	360°	De 0 a 180°

### 8.1.3. Otros componentes

#### RTC DS1302

Para el prototipo de pruebas, para tener constancia del tiempo y la fecha en cada momento, se ha usado el módulo reloj DS1302 RTC. Este módulo, igual que el usado en el prototipo de ventas (DS3231) proporciona información de segundos, minutos, horas, días, semanas, meses y años. Este módulo se ha escogido por disponibilidad en tienda del modelo ya que el DS3231 no lo tenían.



Figura 69: Real Time Clock RTC DS1302. (Fuente: [43])

Al ser un módulo bastante económico tiene algunas desventajas respecto el DS3231; el cristal de cuarzo no está integrado dentro del DS1302 y esto

puede dar problemas y ser menos fiable y preciso. A pesar de esto, el módulo ajusta bastante bien la fecha y el día, aunque hay que tener en cuenta que para proyectos duraderos (a largo plazo) este componente no es una buena solución ya que a largo plazo presenta un desfase muy grande que puede provocar fallos en la medición de la hora en varios minutos e incluso horas.

## Bluetooth HC-05

Para poder comunicarnos con el microcontrolador mediante un dispositivo móvil de manera inalámbrica se usará el módulo bluetooth HC-05 en vez del HC-12 usado en el prototipo comercial ya que no necesitamos, en este caso, un alcance tan elevado y es más económico. Este módulo puede operar como esclavo o maestro dependiendo de cómo lo configuremos mediante los comandos AT. En este caso el módulo HC-05 se ha configurado como esclavo para que un dispositivo maestro (el dispositivo móvil) se conecte a este.

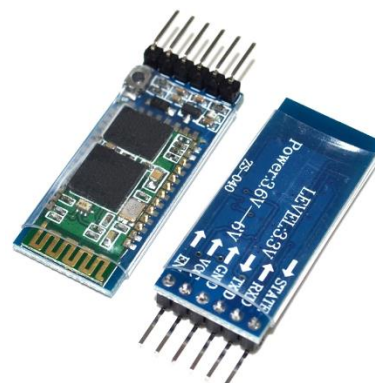


Figura 70: Módulo bluetooth HC-05. (Fuente: [21])

Este módulo cumple con las especificaciones del estándar Bluetooth 2.0 que es perfectamente compatible con celulares o smartphones Android, pero no con los Iphone. [44]

Las características principales del módulo bluetooth HC-05 son las siguientes:

Tabla 31: Especificaciones del módulo bluetooth HC-05. (Fuente: [Datasheet del HC-05], elaboración propia)

Bluetooth HC-05	
Voltaje de operación	3,6 - 6 V DC
Consumo corriente	50 mA
Bluetooth	V2.0+EDR
Alcance	10 m
Velocidad de comunicación	38400 baudios
Temperatura de trabajo	De -20 °C a 75 °C

## 8.2. Conexión del prototipo de pruebas por separado

Cada uno de los componentes de este proyecto, antes de unirlos todo para tener el producto final, se han conectado y programado individualmente para comprobar su correcto funcionamiento por si pudieran presentar algún defecto de fábrica.

La conexión de los dispositivos usados para el prototipo de pruebas es sencilla y para la mayoría de ellos no es necesario usar componentes adicionales ya que vienen incorporados en los módulos adquiridos. Todos los sensores y actuadores usados necesitan una alimentación de 5 voltios por lo que se puede alimentar mediante la tensión que proporciona la placa Arduino Mega 2560. En las siguientes figuras se muestra el conexionado de todos los componentes usados en el prototipo de pruebas.

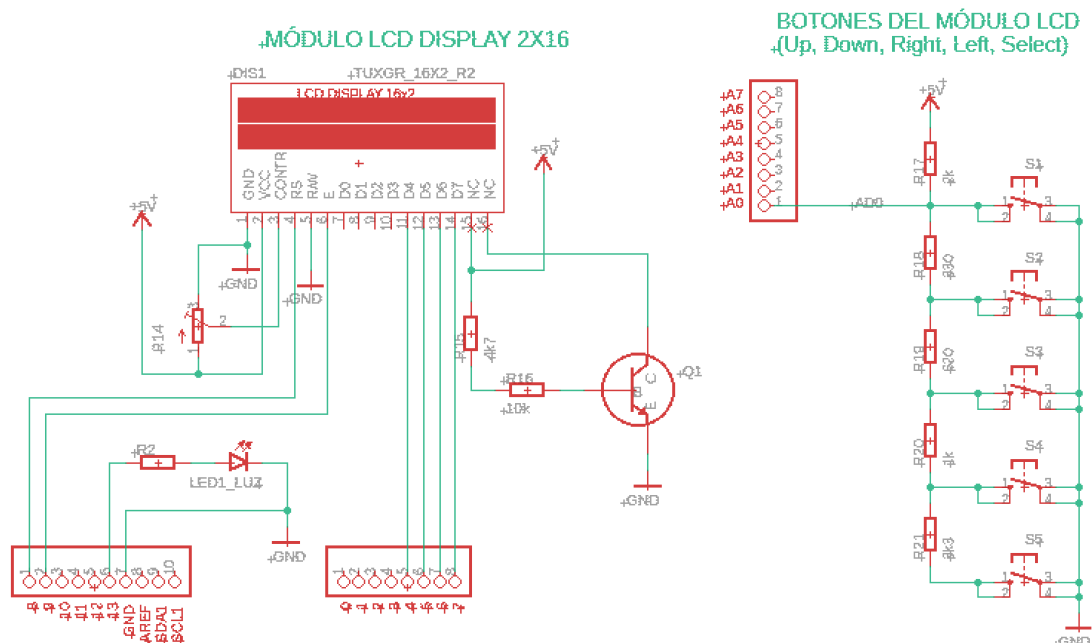


Figura 71: Conexión del shield LCD y el LED amarillo que simula la iluminación de la vivienda (izquierda) y los pulsadores incorporados en el shield LCD conectados en una entrada analógica de la placa de Arduino (derecha). (Fuente: elaboración propia)



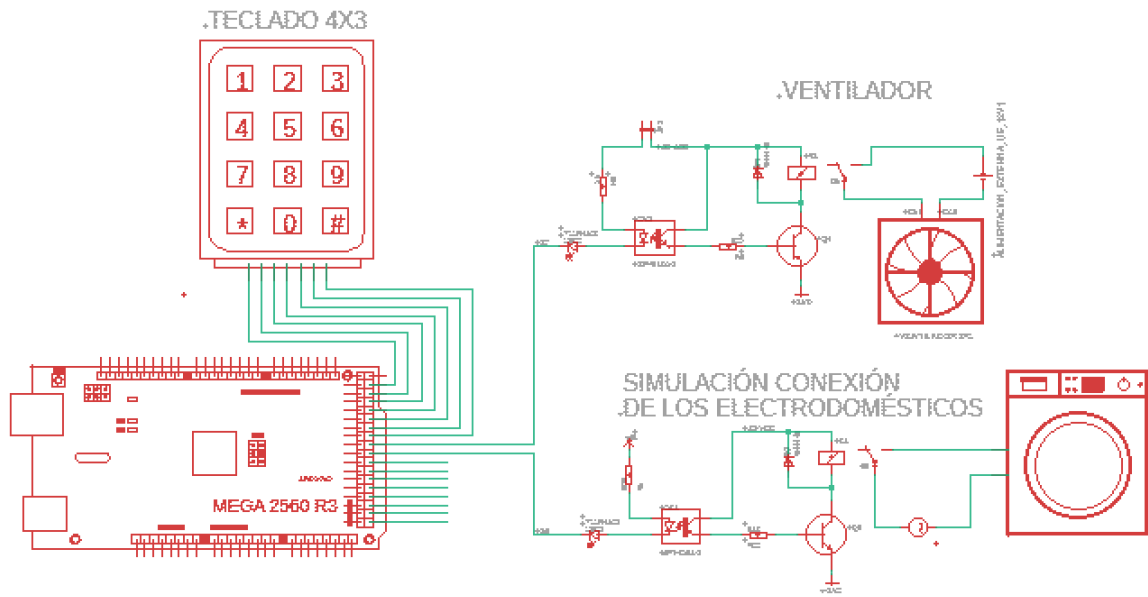


Figura 72: Conexionado del teclado 4x3 y del módulo de 2 relés de 5V. (Fuente: elaboración propia)

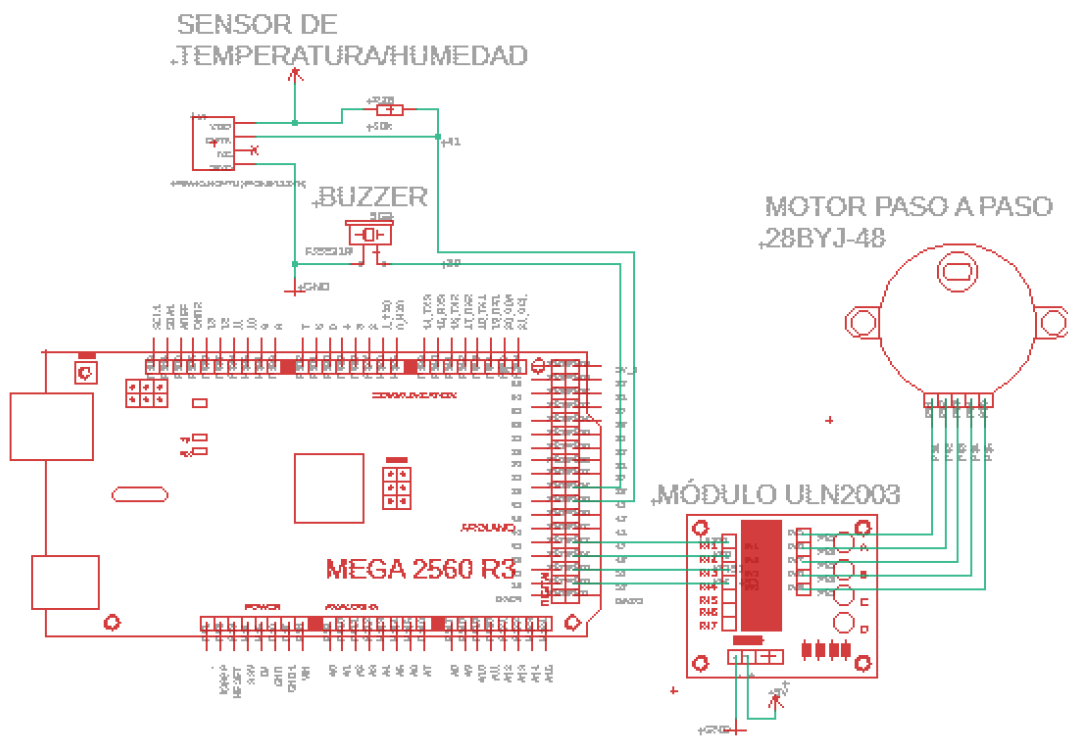


Figura 73: Conexionado del sensor DHT11, del Buzzer y del motor paso a paso (con el módulo ULN2003). (Fuente: elaboración propia)

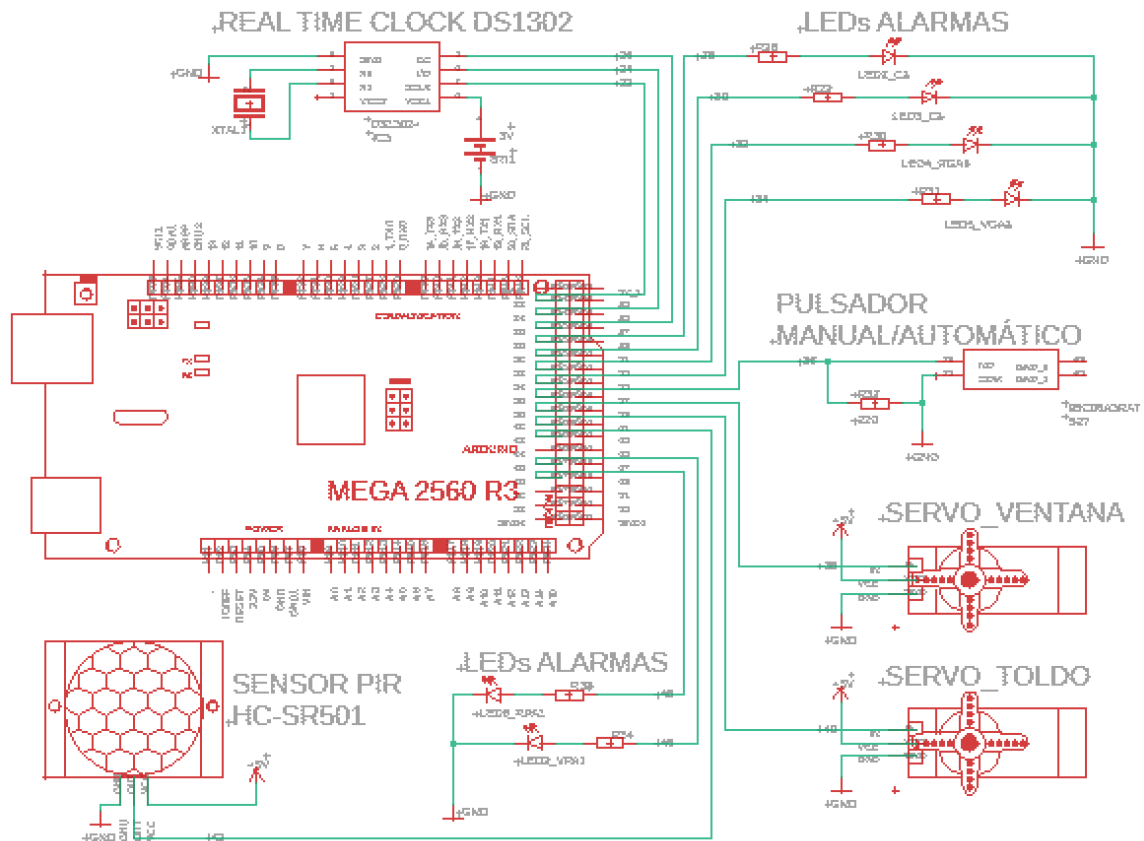


Figura 74: Conexión del real-time clock DS1302, del conjunto de LEDs, de un pulsador, de los servomotores y del sensor PIR HC-SR501. (Fuente: elaboración propia)

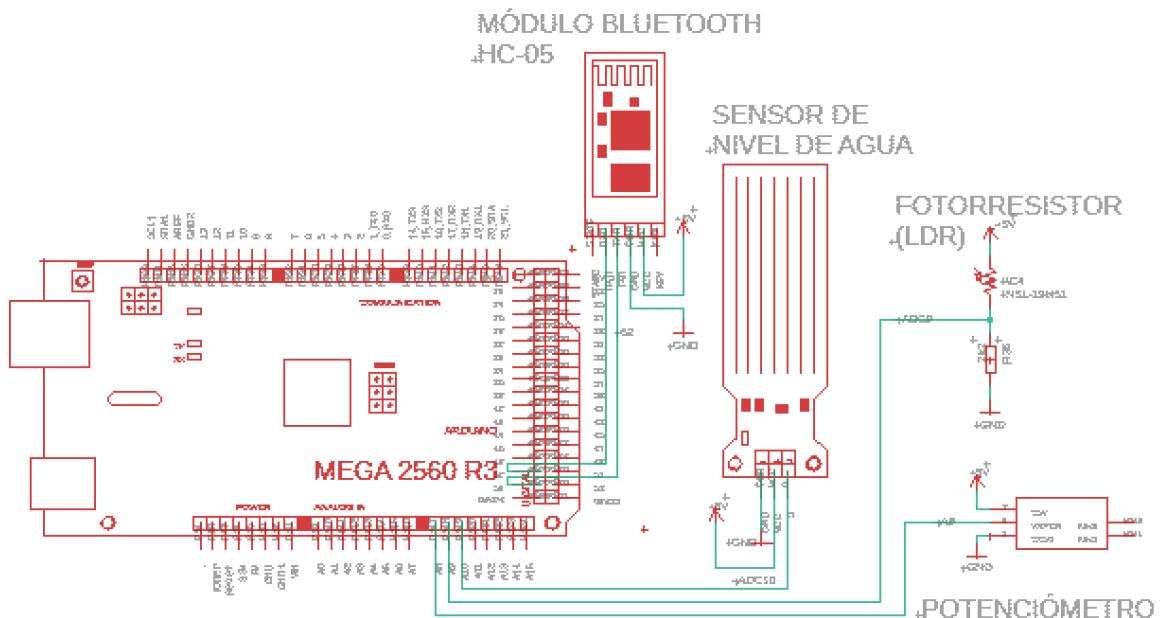


Figura 75: Conexión del módulo bluetooth HC-05, del sensor de nivel de agua, del sensor de luz LDR y del potenciómetro. (Fuente: elaboración propia)

### 8.3. Diseño del circuito impreso para el prototipo de pruebas

Para el prototipo de pruebas se podría diseñar un circuito impreso donde se puedan soldar algunos componentes y de esta manera, conseguir una mejor distribución de los dispositivos usados y un fácil acceso a los mismos sin cables de por medio.

La Figura 76 muestra el diseño del circuito impreso donde se observa la distribución de los distintos componentes que quedarían soldados en la placa, así como las vías en la capa superior (en color azul) y en la inferior (color naranja).

En la placa creada se pueden encontrar varias resistencias (necesarias para la conexión de los LEDs, del pulsador y de algunos sensores), un conjunto de LEDs, la alarma sonora (*Buzzer*), el sensor de luz (fotorresistencia, LDR), el sensor de temperatura/humedad, el sensor de nivel de agua, un potenciómetro para regular la intensidad del LED amarillo que simula la iluminación de la vivienda y el pulsador para cambiar el modo de funcionamiento del sistema domótico. También se han añadido varios conectores a los cuales irían conectados todos los actuadores del sistema domótico. Cabe mencionar que el conector de 18x2 corresponde a los pines digitales (22 – 53) de la placa Arduino Mega. Como el *shield* adquirido de la pantalla LCD está diseñado para colocarse sobre la placa de Arduino este no aparece en el diseño del circuito impreso.

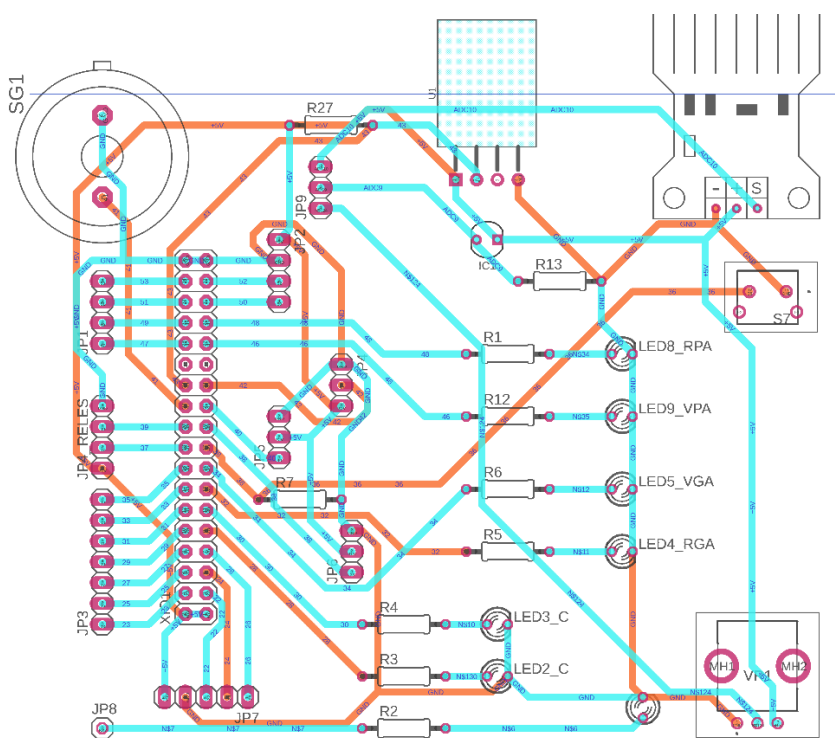


Figura 76: Diseño del circuito impreso del prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia)

#### 8.4. Funcionalidades del prototipo de pruebas

Como se ha querido que el prototipo de pruebas sea lo más parecido al prototipo comercial, aunque se hayan sustituido algunos componentes por otros más sencillos, se han mantenido prácticamente las mismas funcionalidades en ambos prototipos.

El prototipo de pruebas se puede controlar mediante la aplicación móvil o por un mando de control formado por la pantalla LCD, el conjunto de pulsadores para navegar por las diversas pantallas y para cambiar el modo de funcionamiento, un conjunto de LEDs los cuales indican qué alarmas están activadas y qué modo de funcionamiento está en uso, y un teclado matricial.

En cuanto a los modos de funcionamiento tenemos los mismos que en el prototipo comercial: manual, automático y seguridad. Con el primero se pueden controlar todos los actuadores manualmente, el segundo modo permite que el microcontrolador controle todos los dispositivos del sistema domótico automáticamente teniendo en cuenta unas condiciones definidas en la programación (detallado en el apartado “9.2. Programa del prototipo de pruebas”) y el último modo que busca el mínimo consumo energético de la vivienda cuando esta se encuentre vacía además de activar un sistema de avisos en caso de intrusión o avería.

## 9. Software

En este capítulo se detallarán todas las funciones que nos ofrece el sistema domótico creado, centrándonos en la programación del microcontrolador ATmega2560. Se ha dividido en dos subapartados: en el primero se comentará el código necesario para del prototipo de ventas mientras que en el segundo se verá el del prototipo de pruebas que es una versión simplificada del anterior.

### 9.1. Programa del prototipo de ventas

El código necesario para el prototipo de ventas se puede estructurar como vemos en la Figura 77.

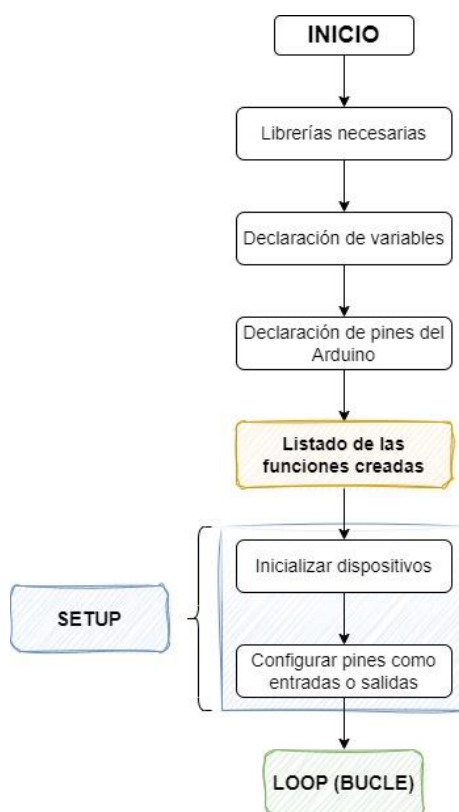


Figura 77: Diagrama de flujo del código del prototipo de ventas. (Fuente: elaboración propia)

El código empieza con la declaración de todas las librerías necesarias para poder controlar todos los dispositivos conectados al microcontrolador. Después se declaran todas las variables usadas en el código definiendo el tipo de variable y su valor inicial. También se declaran todos los pines usados de del microcontrolador ATmega2560 indicando un nombre a cada uno. A continuación, se listan todas las funciones creadas en el código y seguido se entra en la función “*setup*” donde se inicializan aquellos dispositivos conectados que lo necesiten y se configuran los pines del microcontrolador

como entradas (*Input*) o salidas (*Output*). Para finalizar, ejecuta la función “*loop*” la cual hará que el código definido dentro de esta se repita constantemente.

Dentro la función “*loop*”, como se puede observar en la Figura 78, encontramos las siguientes partes: el código referente a la conexión mediante el módulo bluetooth, el código necesario para poder cambiar de modo de funcionamiento y poder navegar por las distintas pantallas usando los distintos pulsadores, los tres modos de funcionamiento del sistema domótico (manual, automático y modo seguridad), el código referente a las alarmas instaladas en la vivienda y el código referente a la configuración de las distintas pantallas que se visualizan en el LCD.

El código referente al bluetooth es necesario para poder controlar los distintos dispositivos mediante la aplicación móvil y a la vez poder usar el mando de control sin que haya ningún problema o interferencia. De esta manera se evita que la información que se visualiza en el mando de control no coincida con la de la aplicación móvil.

El código referente a los pulsadores se divide principalmente en dos partes: el pulsador “MAS” y el resto de los pulsadores incluidos en el módulo de la pantalla LCD (*Select, Left, Right, Up, Down* y *Reset*).

El pulsador “MAS” es aquel que se usará para cambiar el modo de funcionamiento del sistema domótico de la vivienda. Para este pulsador se han creado dos variables tipo *byte*: “manual” la cual niega su valor siempre que se presione el pulsador y “seguridad” la cual niega su valor siempre que se mantenga presionado el pulsador unos 3 segundos. Inicialmente el modo de funcionamiento está configurado para que sea manual, es decir, las variables “manual” y “seguridad” tendrán ambas un valor de 0 y, dependiendo de si se ha presionado el pulsador brevemente o si se ha mantenido durante 3 segundos cambiará de modo a automático o a seguridad respectivamente.

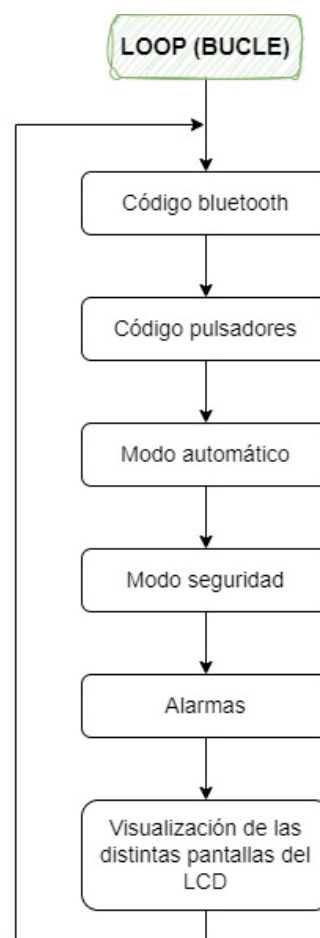


Figura 78: Diagrama de flujo de la función bucle o “*loop*”. (Fuente: elaboración propia)

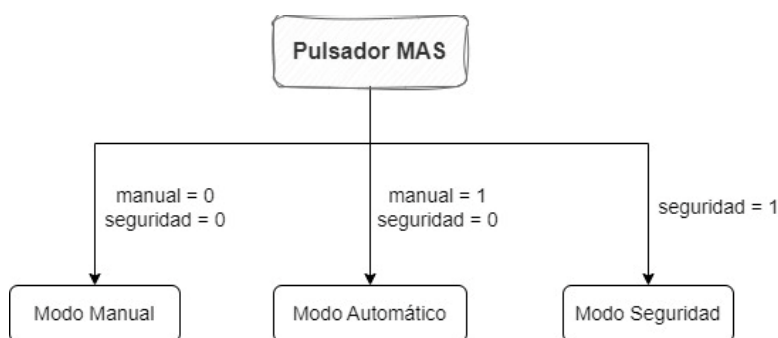


Figura 79: Diagrama de flujo del pulsador "MAS". (Fuente: elaboración propia)

Para el control del sistema domótico de la vivienda, en el modo manual, se mostrarán las distintas estancias de la vivienda y, tras seleccionar una mediante el pulsador *select*, se entrará en un subnivel donde se mostrarán todos los dispositivos que se puedan controlar allí. Una vez aquí, se podrá cambiar el dispositivo que se desea controlar mediante los pulsadores *left* y *right* y su estado mediante el pulsador *select*.

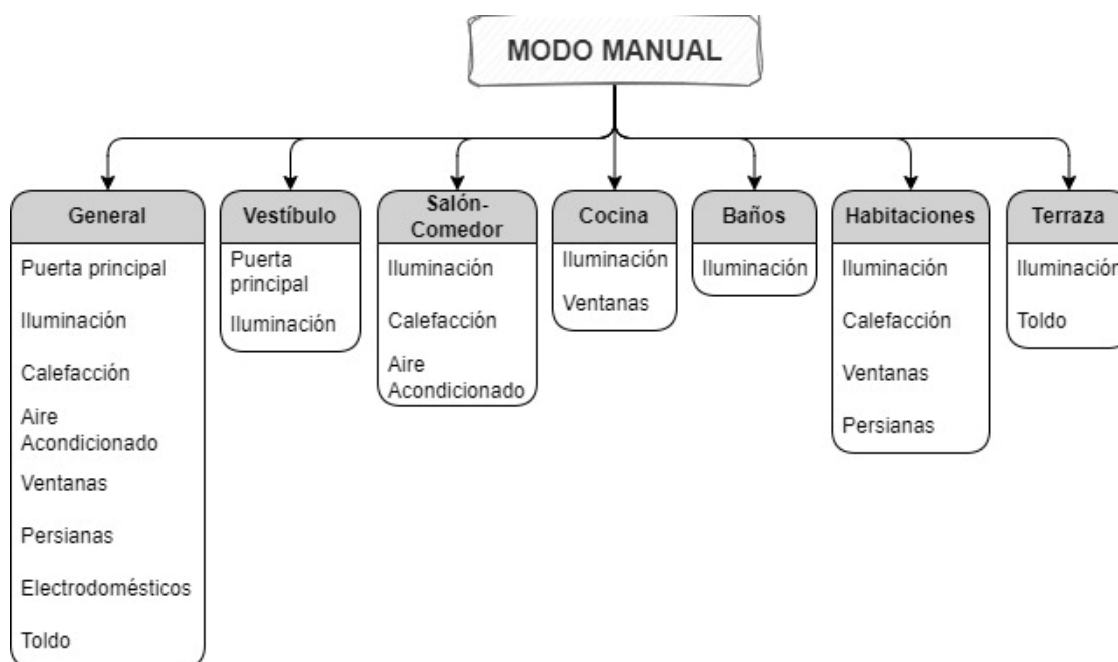


Figura 80: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema domótico en modo manual. (Fuente: elaboración propia)

Cuando se activa el modo automático, el mando de control y/o la aplicación móvil únicamente se pueden usar para monitorizar el estado de los actuadores y visualizar las medidas de los sensores, pero no se podrá controlar ningún dispositivo ya que se realiza un autocontrol de todos ellos. En la Figura 81 se puede observar un diagrama de flujo donde se detalla el funcionamiento del modo automático.

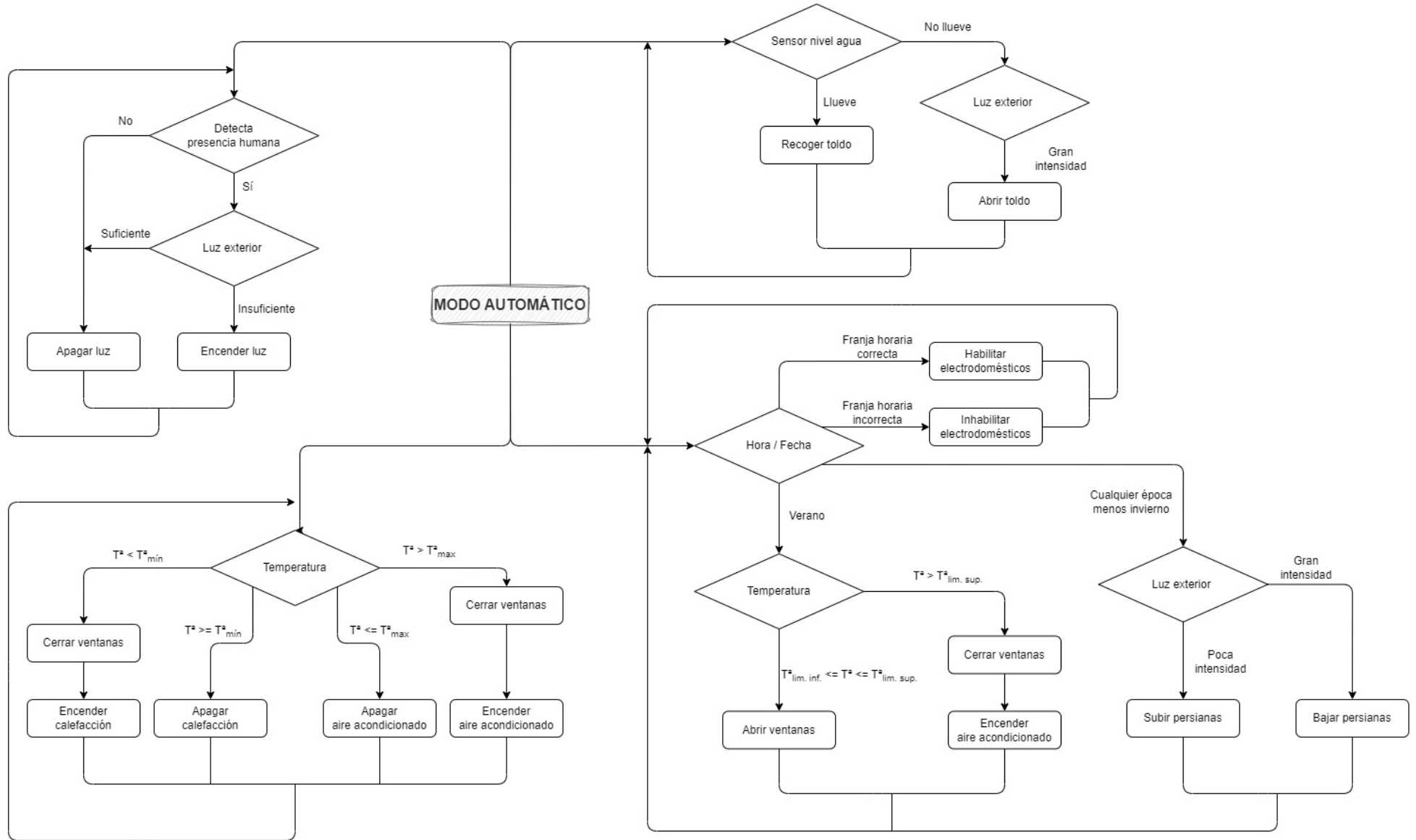


Figura 81: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema domótico en modo automático. (Fuente: elaboración propia)



El último modo de control del sistema domótico, el modo seguridad, se ha programado para que se utilice cuando la vivienda quede vacía. Cuando se active este modo de funcionamiento se apagarán todos los actuadores conectados al microcontrolador que se hayan quedado encendidos al salir de la vivienda (iluminación, calefacción, aire acondicionado, etc.). Los únicos dispositivos que quedan activados, aparte de los sensores, son: las alarmas sonoras y los electrodomésticos. De esta manera si se activara alguna alarma el sistema avisaría mediante una notificación al móvil y se activaría la alarma acústica de la vivienda. Por otro lado, se ha decidido que los electrodomésticos sigan funcionando de manera que si los propietarios de la vivienda están ausentes en aquellas horas donde el consumo de electricidad es más económico, puedan programar los electrodomésticos que lo permitan, para que funcionen durante esas horas.

Este modo de funcionamiento está pensado para ahorrar lo máximo posible ya que se apagan todos aquellos dispositivos que no son necesarios cuando no hay presencia humana y a la vez el sistema domótico sigue activo en segundo plano en caso de que se activara alguna alarma y fuera necesario avisar al propietario de algún problema.

En cuanto a las alarmas se ha diseñado el diagrama de flujo de la Figura 83 donde se pueden observar todas las alarmas que dispone el prototipo de ventas y cuando se activa cada una de ellas.

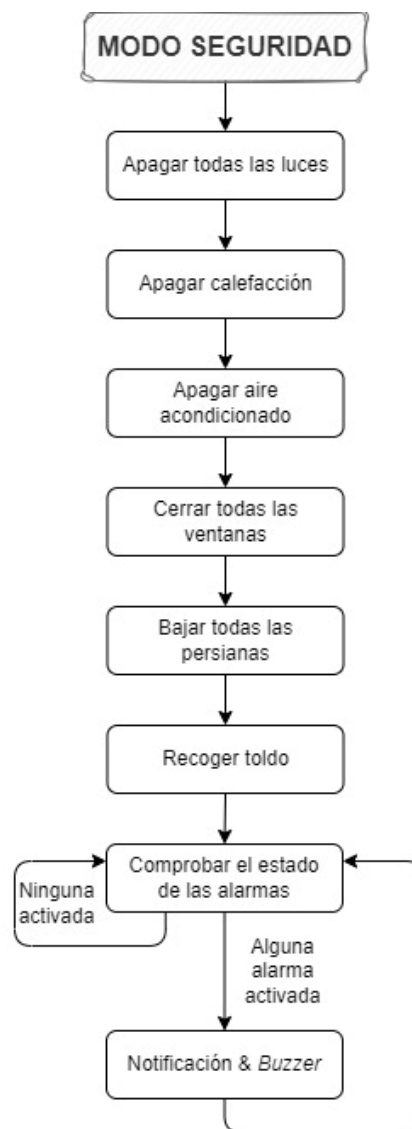


Figura 82: Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema domótico en modo seguridad. (Fuente: elaboración propia)

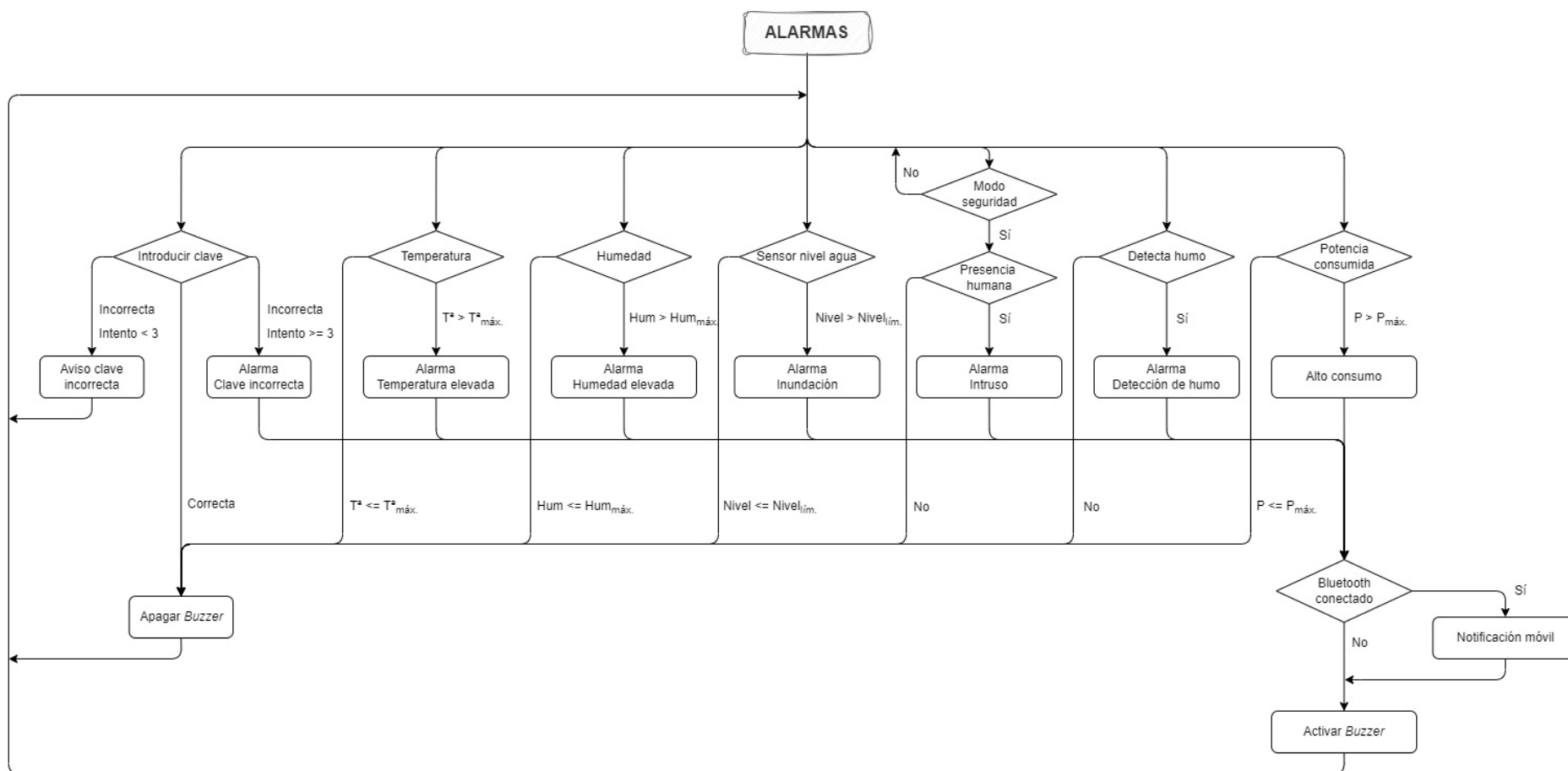


Figura 83: Diagrama de flujo de las alarmas del prototipo de ventas. (Fuente: elaboración propia)

## 9.2. Programa del prototipo de pruebas

El prototipo de pruebas realiza prácticamente las mismas funciones que el prototipo comercial por lo tanto el esquema general es el mismo en los dos casos, Figura 77.

Teniendo en cuenta el esquema general, si empezamos por las librerías, en concreto, para el prototipo de pruebas se han usado las listadas en la Figura 84. Estas son necesarias ya que facilitan la escritura y la comprensión del código realizado.

```
//Librería para el display LCD
#include <LiquidCrystal.h>
//Librería para el real time clock
#include <ThreeWire.h>
#include <RtcDS1302.h>
//Librería para el teclado
#include <Keypad.h>
//Librería para el sensor de temperatura
#include <DHT.h>
#include <DHT_U.h>
//Librería para el motor paso a paso
#include <Stepper.h>
//Librería para el servomotor
#include <Servo.h>
//Librería para el módulo bluetooth HC05
#include <SoftwareSerial.h>
```

Figura 84: Listado de las librerías usadas en el programa del prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia)

Siguiendo con la definición de variables y pines del microcontrolador, cabe mencionar que se han usado casi todos los pines digitales disponibles en el Arduino Mega 2560. Además, como se ha querido que el programa realizado sea lo más parecido posible al que se realizaría en el prototipo comercial, ha sido necesario la creación de muchas variables. La correspondencia de cada pin con un dispositivo del sistema domótico se ha detallado en los anexos, así como la descripción de cada variable creada.

Para que el programa quedara más claro y limpio, en vez de programar todo el control de los dispositivos dentro del bucle principal (*loop*), se han creado varias funciones para controlar todos los actuadores conectados al microcontrolador. De esta manera, únicamente se llama a las funciones necesarias dependiendo de la pestaña en la que nos encontremos del mando de control, por ejemplo; si se entra en la pestaña de control del aire acondicionado sólo se llamará a la función “ventilador()” y volverá al área del código desde la que ha sido llamada sin tener que ejecutar el resto de funciones creadas.

En la Figura 85 se listan todas las funciones creadas para el control del sistema domótico, tanto las usadas en el modo manual como las necesarias para controlar el sistema domótico mediante la aplicación móvil.

```
//Funciones creadas para el control del sistema
void printDateTime(const RtcDateTime& dt);
void contraPuerta();
void iluminacion();
void calefaccion();
void ventilador();
void ventanas();
void persianas();
void electrodomesticos();
void toldo();
void tempHum();
void lumLluvia();

//Funciones creadas para el módulo bluetooth
void bluetooth_B_iluminacion();
void bluetooth_C_iluminacion();
void bluetooth_D_calefaccion();
void bluetooth_E_calefaccion();
void bluetooth_F_ventilador();
void bluetooth_G_ventilador();
void bluetooth_H_control();
void bluetooth_I_infoSensores();
void bluetooth_J_ventanas();
void bluetooth_K_ventanas();
void bluetooth_N_persianas();
void bluetooth_O_persianas();
void bluetooth_P_alarmas();
void bluetooth_Q_electrodomesticos();
void bluetooth_R_electrodomesticos();
void bluetooth_T_toldo();
void bluetooth_U_toldo();
```

Figura 85: Listado de las funciones creadas para el prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia)

Tras la declaración de las librerías, las variables y los pines, se entra en la función principal *setup* donde se deben inicializar algunos dispositivos y declarar los pines como salidas o entradas. En este caso se deben inicializar el módulo bluetooth HC-05, el *real-time clock* (RTC DS1302) y el sensor de temperatura y humedad (DHT11). También se debe indicar la velocidad de giro del motor paso a paso y, como excepción por la librería usada para la programación de los servomotores, se debe declarar en el *setup* a que pin se han conectado cada uno de ellos.

Por último, se entra en la función principal bucle (*loop*) que, como se ha mencionado anteriormente, al realizar prácticamente las mismas funciones en los dos prototipos el diagrama de flujo de la función *loop* es el mismo en los dos casos, Figura 78. Se empieza definiendo algunas variables y seguido se detalla el programa que se ejecutará si se conecta el módulo bluetooth. A continuación, se programan los distintos pulsadores que incluye el *shield* con la pantalla LCD que al estar conectados todos ellos a un pin analógico del microcontrolador se necesita un código un poco más extenso que para los pulsadores digitales. Además, para evitar el efecto rebote de los pulsadores mediante software se ha programado un sistema antirrebote. Seguidamente se entra en el código referente a los distintos modos de funcionamiento (manual, automático o seguridad) y a las alarmas del sistema. Para finalizar, se han programado las distintas pantallas que se podrán visualizar en la pantalla del LCD navegando con los distintos pulsadores.

En la Figura 86 se puede observar un diagrama de flujo donde se indican las distintas pantallas que se podrán visualizar en el mando de control.

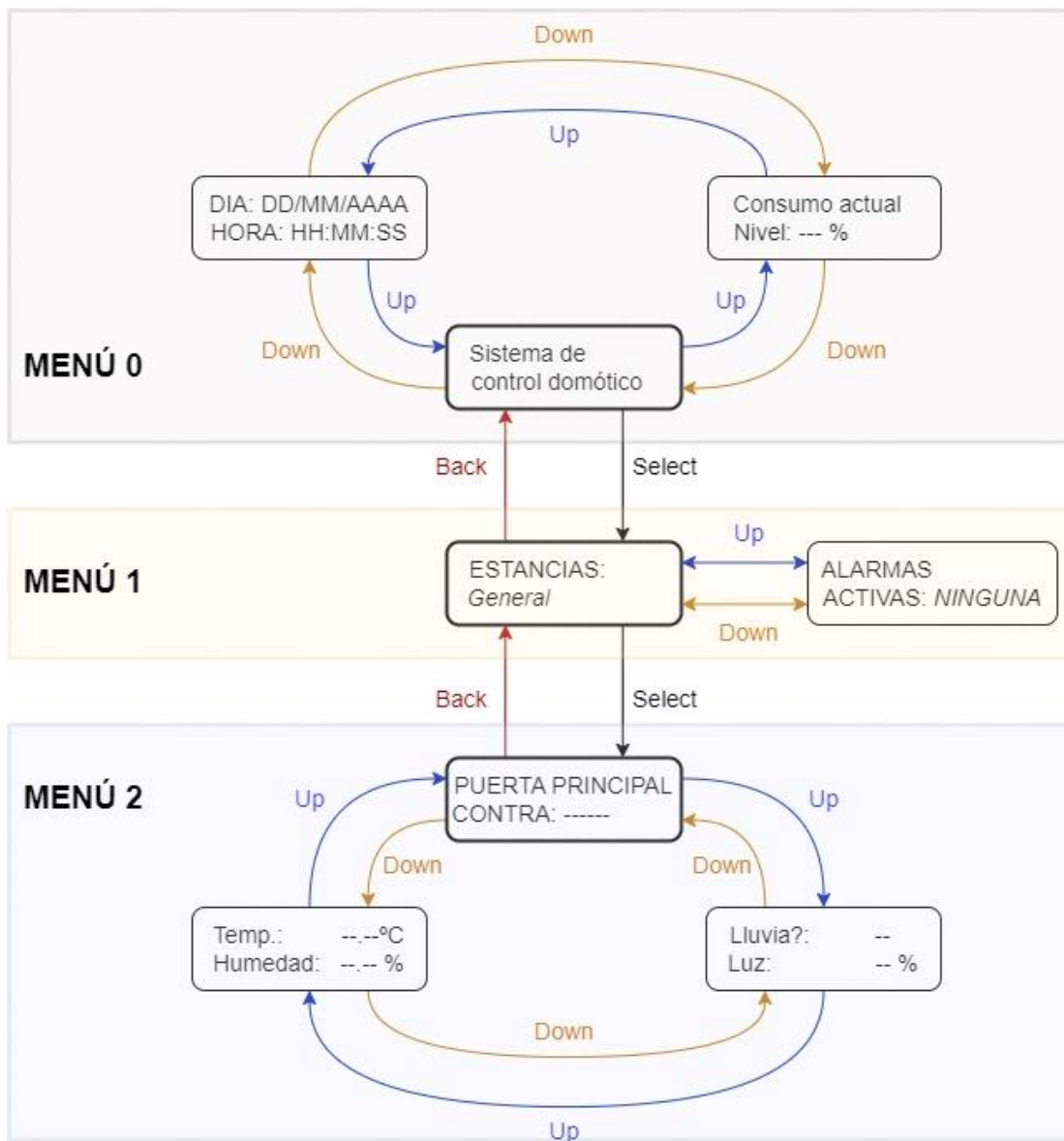


Figura 86: Diagrama de flujo de las distintas pantallas que se visualizarán en el mando de control. (Fuente: elaboración propia)

Como se puede observar en la Figura 86, el código referente a las distintas pantallas del LCD se ha organizado mediante distintos menús o niveles.

Cuando se inicializa el sistema domótico la primera pantalla que aparece es una de bienvenida que pone “Sistema de control domótico”. Esta pertenece al primer nivel o “menú 0” el cual está formado por 3 ventanas a las que podemos acceder mediante los pulsadores *up* o *down*: la de bienvenida, otra

donde se visualiza la fecha y la hora, y la tercera donde se informa del nivel de consumo de la vivienda.

Como en el prototipo de pruebas no se ha usado un sensor para medir la corriente y la tensión, en la ventana donde se visualiza el nivel de consumo, a modo de simulación se ha calculado el nivel de consumo energético (en tanto por ciento, %) teniendo en cuenta un porcentaje aproximado del consumo de cada uno de los distintos dispositivos conectados al sistema domótico (véase Tabla 32).

Tabla 32: Consumo eléctrico de los distintos dispositivos de una vivienda. (Fuente: [6], elaboración propia)

Dispositivo	Consumo (%)
Electrodomésticos	55,2
Iluminación	11,7
Cocina	9,3
Agua Caliente	7,5
Calefacción	7,4
Standby	6,6
Refrigeración	2,3

Como en el prototipo de pruebas no disponemos de un sistema para calentar el agua el porcentaje de 7,5% correspondiente a “Agua caliente” se ha sumado al de la calefacción. Se ha realizado el mismo procedimiento con el porcentaje de 9,3 % que corresponde a “Cocina” añadiéndolo a la categoría de “Electrodomésticos”. Por lo tanto, el cálculo que se realiza en el prototipo de pruebas para saber el nivel de consumo energético se calcula mediante la Ecuación 8, siendo “electro”, “luz”, “calef” y “aire” las variables creadas en el programa para saber el estado de los electrodomésticos, la iluminación, la calefacción y el aire acondicionado, respectivamente.

$$\text{Nivel de consumo} = \text{electro} \cdot (64,5) + \text{luz} \cdot (11,7) + \text{calef} \cdot (14,9) + \text{aire} \cdot (2,3) + (6,6) \quad [8]$$

Desde el “menú 0” se puede acceder al siguiente nivel mediante el pulsador *select* desde la ventana de bienvenida. En este nivel, en el código definido como “menú 1” está formado por 2 ventanas: la primera es aquella donde se selecciona la estancia donde se desea controlar algún dispositivo y la segunda es una ventana de información donde se indica si hay alguna alarma activa. Al entrar en este nivel por defecto sale la opción de “General” en la selección de estancia, para cambiar de estancia se deben usar los pulsadores *left* o *right*.

Para acceder al último nivel o “menú 2” se debe pulsar *select* desde la ventana de la selección de estancia. Como en el primer nivel, este está formado por 3 ventanas distintas: la primera para realizar el control de los distintos dispositivos y las otras dos únicamente son ventanas informativas. Al entrar

en el “menú 2” por defecto aparece la pestaña de control de la puerta principal, pero mediante los pulsadores *left* y *right* se puede cambiar el dispositivo a controlar. En la pantalla del LCD se mostrará en qué estado se encuentra el dispositivo a controlar pudiendo cambiarlo mediante el pulsador *select*. En las otras dos ventanas se mostrará la temperatura de la vivienda, la humedad, el porcentaje de luminosidad y si se detecta que está lloviendo.

Se puede retroceder al nivel anterior manteniendo presionado el pulsador *select* durante unos 3 segundos.

El pulsador “MAS” incorporado en el prototipo de pruebas funciona exactamente igual que el mencionado en el prototipo comercial. Por lo tanto, permitirá cambiar el modo de funcionamiento del sistema domótico de la vivienda: manual, automático y seguridad.

En el prototipo de pruebas se ha tratado de que los tres modos de funcionamiento sean lo más parecidos posible al prototipo comercial. En concreto, el modo de seguridad del prototipo de pruebas realiza las mismas funciones que el comercial y, por lo tanto, su diagrama de flujo se puede ver en la Figura 82. En cuanto al modo manual y el automático su funcionamiento ha sido simplificado adaptándose a los componentes adquiridos para poder trabajar a baja tensión (5 V).

El modo manual permite modificar el estado de los distintos actuadores del sistema, para ello se tiene que ir a la ventana correspondiente del dispositivo que se desea controlar y, mediante el pulsador *select* cambiar su estado. La Figura 87 muestra un esquema de las funciones que se pueden realizar en el modo manual del prototipo de pruebas.

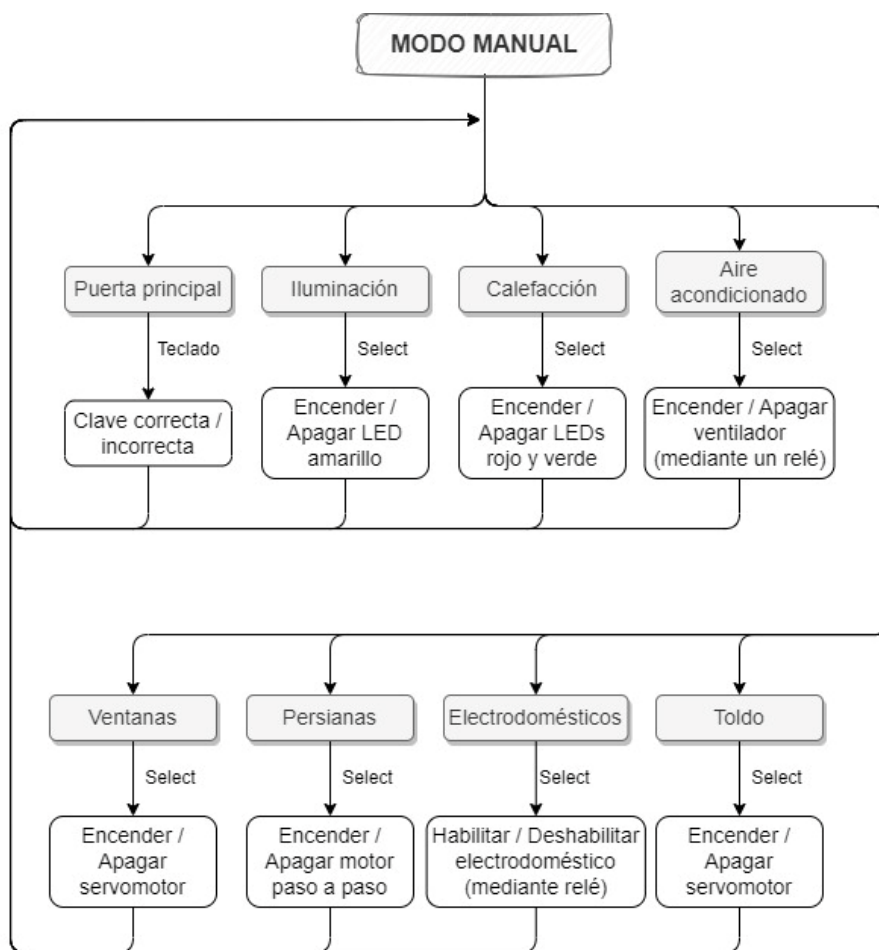


Figura 87: Diagrama de flujo de las funcionalidades del modo manual del prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia)

En cuanto al modo automático, se han reducido las funciones que realiza ya que no se dispone de todos los componentes del prototipo de ventas. En otras funciones se han usado valores límite para el autocontrol del sistema que no son realistas, por ejemplo, el autocontrol de los electrodomésticos los cuales deberían habilitarse en las franjas horarias de menos consumo energético, aunque en el prototipo de pruebas se ha indicado que se activen los primeros 10 segundos de cada minuto para poder comprobar su correcto funcionamiento. En la Figura 88 se puede observar un diagrama de flujo del modo automático donde se indican todas las opciones que se tienen en cuenta para el autocontrol del sistema domótico de la vivienda.



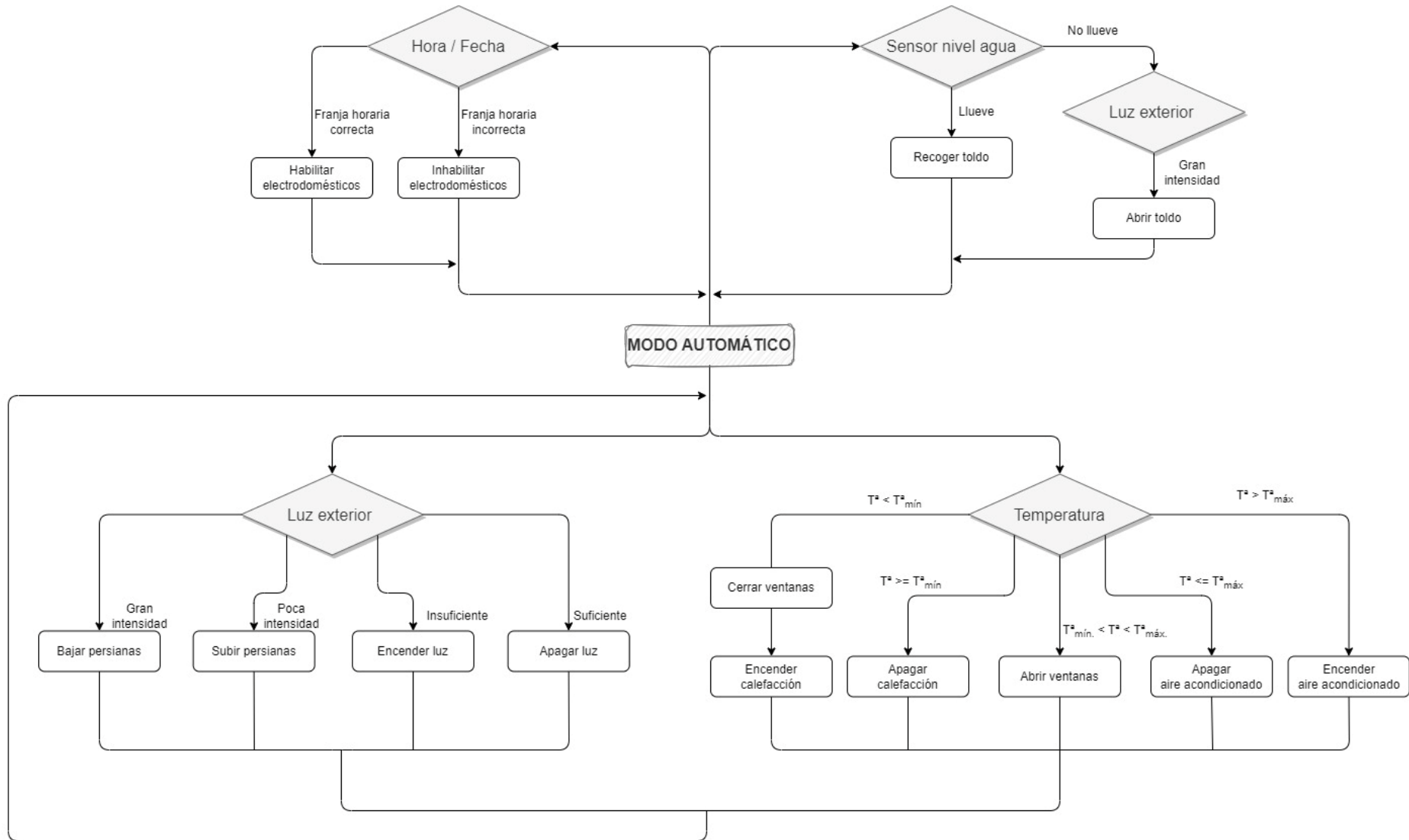


Figura 88: Diagrama de flujo del funcionamiento en modo automático del prototipo de pruebas. (Fuente: elaboración propia)

## 10. Aplicación móvil

El desarrollo de la tecnología de los dispositivos móviles está en constante evolución siendo cada vez más potentes, rápidos, ligeros y cómodos de usar. Este proyecto resultaría incompleto si no se complementara con una aplicación móvil desde la que sea posible controlar a distancia el sistema domótico instalado en la vivienda.

Esta aplicación móvil se ha realizado con la aplicación “APP Inventor” que nos permite conectarnos con el microcontrolador ATmega2560 a través de una conexión bluetooth proporcionada, en este proyecto, por el módulo HC-05.

Desde la aplicación se pueden realizar las mismas acciones que desde el mando de control del prototipo de pruebas pero de forma inalámbrica.

Con el QR que aparece en la Figura 89 podemos descargar la aplicación móvil en cualquier dispositivo móvil (un archivo .apk).



Figura 89: QR para descargar la aplicación móvil. (Fuente: [\[45\]](#))

En los siguientes apartados se detallarán las distintas pantallas que podemos encontrar navegando por la aplicación móvil y las funcionalidades que nos ofrece esta plataforma.

## 10.1. Interfaz de la aplicación móvil

La interfaz de la aplicación se ha diseñado de manera que sea lo más intuitiva posible para el usuario.

En la aplicación móvil nos encontramos con 6 pantallas distintas: usuario, menú, datos, control, alarmas e información. En la Figura 90 podemos ver un diagrama de bloques de las distintas pantallas con una breve descripción de cada una de ellas.

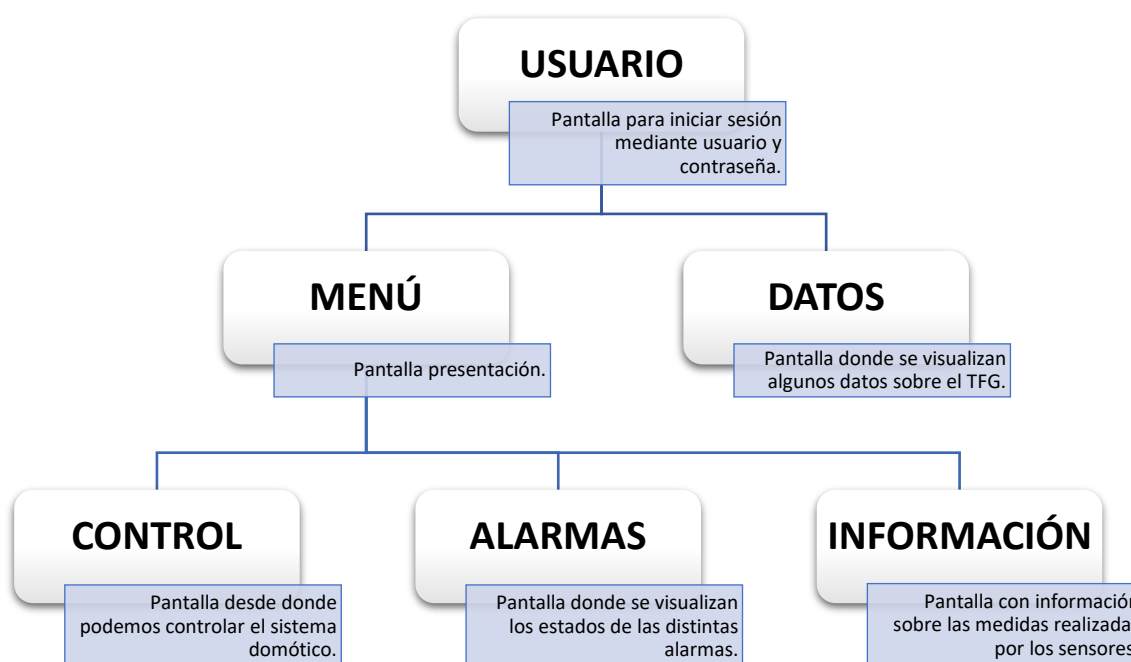


Figura 90: Diagrama de bloques de las distintas pantallas de la aplicación móvil. (Fuente: elaboración propia)

Cuando descargamos la aplicación en nuestro dispositivo móvil y la abrimos, lo primero que nos aparece es la pantalla de identificación del usuario, donde será necesario añadir el usuario y la contraseña vinculada a este para acceder al sistema de control domótico de la vivienda. Desde esta pantalla también se puede acceder a la pantalla “Datos” pulsando el símbolo de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). En esta nueva pantalla se muestran algunos datos sobre el proyecto de fin de grado tales como el título, el autor, el director o el año en que se realizó.



Figura 91: Pantalla “Usuario” (imagen de la izquierda) y pantalla “Datos” (imagen de la derecha) de la aplicación móvil. (Fuente: elaboración propia)

Una vez se ha iniciado sesión se entra en la pantalla presentación “Menú” desde la que podemos acceder a todos los datos del sistema domótico. También nos da la opción de cerrar la sesión y volver a la pantalla anterior “Usuario”.



Figura 92: Pantalla “Menú” de la aplicación móvil. (Fuente: elaboración propia)

En la pantalla “Control” podemos realizar las siguientes funciones:

- Realizar la conexión con el módulo bluetooth HC-05: mediante el botón “Conectar” se selecciona el nombre del módulo usado de la lista de dispositivos disponibles. En concreto, el módulo bluetooth que se ha usado en el prototipo de pruebas es el llamado HC05 JUDIT. Si se ha realizado la conexión correctamente el botón “Conectar” pasará a ser de color azul sino saldrá un mensaje de error.
- Escoger el modo de funcionamiento del sistema domótico (manual, automático o modo seguridad): el modo seleccionado se indicará cambiando el color del botón que se haya presionado dejando los otros dos botones grises como se puede observar en la Figura 93.
- Seleccionar mediante un desplegable la estancia en la que nos encontramos.
- Realizar el control de los distintos dispositivos de la vivienda y ver su estado en cada momento independientemente del modo de funcionamiento seleccionado: en el apartado “CONTROL” están listadas todas las funcionalidades del sistema pudiendo controlarlas manualmente mediante sus correspondientes interruptores. Además, a la derecha de los interruptores se ha incluido un rectángulo informativo en el que se indicará, en tiempo real, el estado de cada dispositivo.



Figura 93: Pantalla “Control” de la aplicación móvil. (Fuente: elaboración propia)

En la pantalla “Alarmas” se muestra un listado con todas las alarmas instaladas en la vivienda y su estado en tiempo real.

Por último, en la pantalla “Información” se muestran las lecturas de los distintos sensores tales como la temperatura, la humedad o la luminosidad en tiempo real.



Figura 94: Pantalla "Alarmas" (imagen de la izquierda) y pantalla "Información" (imagen de la derecha) de la aplicación móvil. (Fuente: elaboración propia)

Hay que mencionar que es necesario conectar la aplicación con el módulo bluetooth siempre que se cambie de pestaña.

## 11. Normativa

La normativa de instalaciones domóticas depende de cada país, es por eso que en este apartado se mencionará la normativa, tanto europea como española, a tener en cuenta para la realización de este proyecto. En el caso específico de España actualmente no existe una ley que unifique todos los criterios para las instalaciones domóticas, pero si se ha desarrollado una norma que se elaboró por los comités para la normalización de AENOR (la EA0026), que se ha convertido en el documento que servirá para referencia en la futura norma europea UNE-EN 50491-6-1. [\[46\]](#)

A continuación, se menciona la normativa que se ha tenido en cuenta para la realización de este proyecto. [\[47\]](#)

### Normas técnicas:

- EN 50090 “Home and Building Electronic Systems” protocolo Konnex: Es un estándar europeo para las comunicaciones de sistemas electrónicos del hogar y de construcción. Es decir, esta normativa cubre para cualquier instalación de dispositivos electrónicos conectados a una red de transmisión digital.
- EN/ISO 16848 “Building Automation and Control Systems”: Esta es una norma internacional que especifica las características de los softwares y funciones que se usan en los procesos de automatización. También, es una normativa que propone directrices de ingeniería.
- Normas UNE-EN 50491 para Sistemas Electrónicos de Viviendas y Edificios (HBES), y Sistemas de Automatización y Control de Edificios (BACS): Lo forman un grupo de normas que se deben de cumplir cuando se instala este tipo de tecnología.
  - EN 50491-2: Condiciones ambientales.
  - EN 50491-3: Requisitos de seguridad eléctrica.
  - EN 50491-4-1: Requisitos generales de seguridad funcional para productos electrónicos.
  - EN 50491-5-1: Requisitos de compatibilidad electromagnética y condiciones generales.
  - EN 50491-5-2: Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM) para HBES/BACS utilizados en entornos residenciales, comerciales y de industria ligera.
  - EN 50491-5-3: Requisitos de compatibilidad electromagnética (CEM) para HBES/BACS utilizados en entornos industriales.
  - UNE-EN 50491-6-1: Instalaciones HBES.
  - UNE-CLC/TR 50491-6-3: Instalaciones HBES. Evaluación y definición de niveles.

- UNE-EN 50491-11: Medición inteligente.
- PNE-EN 50491-11:2015/A1: Medición inteligente. Especificaciones de aplicación. Dispositivo de visualización externo simple.
- UNE-EN 50491-12-1: Interfaz entre el gestor de energía del cliente (CEM) y el gestor de recursos del hogar.
- AENOR EA0026 “Instalaciones de sistemas domóticos en viviendas. Prescripciones generales de instalación y evaluación” que hace referencia a los requisitos mínimos que deben cumplir las instalaciones de sistemas domóticos en el hogar. La normativa EA0026 permite certificar instalaciones domóticas de acuerdo con una clasificación de tres niveles, empezando por el básico que es el nivel 1 hasta el excelente que es el nivel 3. Un sistema únicamente se considerará domótico si alcanza el nivel 1.

#### Legislación en España:

- Se debe cumplir el Código Técnico de la Edificación (CTE). Es el marco normativo que establece las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios y sus instalaciones.
- Reglamento de Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones (ICT), según el Real Decreto 346/2011 de 11 de marzo, que se encarga de regular todos los sistemas que se relacionen con la transmisión de video, cableado, entre otros.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), según el Real Decreto 842/2022 de 2 de agosto, haciendo hincapié en la ITC-51 donde se especifica todo lo relacionado con los sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y seguridad para viviendas y edificios.

#### Legislación Europea:

- Directiva CE 2006/95/CE de Baja Tensión.
- Directiva CE 89/336/CEE de Compatibilidad Electromagnética, que fue derogada en 2009 por la 2004/108/CE



## 12. Análisis del impacto ambiental

El diseño del prototipo del sistema de gestión domótica para optimizar el consumo energético de una vivienda se ha regido por el cumplimiento de directiva europea RoHS 3 (“*Restriction of Hazardous Substances*”). Esta directiva 2015/863 restringe el uso de 10 sustancias peligrosas en la fabricación de aparatos eléctricos y electrónicos: plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cromo hexavalente (CrVI), polibromobifenilos (PBB), polibromodifeniléteres (PBDE) y cuatro tipos de ftalatos (en vigor desde julio de 2019): DEHP, BBP, DBP, DIBP. [\[48\]](#)



Figura 95: Certificación de cumplimiento de la directiva RoHS. (Fuente: [\[49\]](#))

El objetivo principal de la RoHS es reducir la contaminación y el daño medioambiental que pueden causar estas seis sustancias peligrosas. Con la aplicación de esta directiva también se pretende reducir los riesgos para la salud asociados con la exposición a las seis sustancias mencionadas. Otra manera de asegurarnos que los componentes usados cumplen con los requisitos medioambientales, de salud y seguridad del consumidos de la UE es mediante la marca de conformidad obligatoria (CE).



Figura 96: Certificación CE. (Fuente: [\[50\]](#))

Todos los componentes seleccionados para la realización del sistema domótico cumplen esta directiva lo que garantiza que no concentran más de un 0,1 % de las seis sustancias mencionadas (en el caso del cadmio no puede superar el 0,01 %) y, por lo tanto, reducen su impacto ambiental.

En el caso de una avería o la necesidad de sustituir algún componente del sistema se seguirá la directiva de Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo) que pretende hacer un uso más eficiente de los recursos, fomentando la reutilización de los materiales. Por lo tanto, si es necesario tirar algún componente se tendrá en cuenta el símbolo de la Figura 97, que indica la recogida separada de aparatos eléctricos y electrónicos.



Figura 97: Símbolo de la Directiva 2012/19/UE (RAEE). (Fuente: [\[51\]](#))

## 13. Posibles mejoras

El proyecto ha sido realizado para una vivienda de tipo medio dirigida al gran público, de manera que los sistemas domóticos instalados no supongan un gran esfuerzo económico y permitan un ahorro en el consumo energético, pero sin duda hay mejoras que podrían introducirse tales como:

- En el prototipo diseñado únicamente se ha realizado la medida de la tensión y de la corriente del sistema general lo que permite calcular y visualizar en la pantalla LCD la potencia suministrada a la vivienda en tiempo real. Por lo tanto, como posible mejora se podría realizar un historial de datos de la potencia consumida, informando del consumo mensual, semanal, diario o en tiempo real, lo que permitiría al usuario ajustar los parámetros definidos para el control del sistema domótico en función de los picos de consumo más elevados y, de esta manera, obtener un mayor ahorro energético.
- Establecer un mayor rango de interconexión no solo Bluetooth, sino que a través de un sistema Wifi o en la nube (*cloud*), permita acceder al sistema no solo desde el móvil sino desde cualquier dispositivo electrónico y en cualquier sitio. En el prototipo se ha usado el módulo de bluetooth HC-12 que tiene un rango de conexión muy elevado y suficiente para controlar el sistema domótico desde cualquier punto de la vivienda, pero si el usuario se fuera de viaje a un sitio lejano este no podría recibir ninguna notificación de alarma a través de la aplicación móvil.
- En el diseño propuesto se ha instalado una cerradura electromagnética para una mayor seguridad. Para desbloquear esta cerradura es necesario introducir la clave correctamente con el teclado. Una mejora de este sistema sería instalar un programa de reconocimiento facial para acceso a la vivienda o a las distintas estancias.
- Establecer las variables de control como la temperatura desde la aplicación del móvil o el mando de control sin tener que acceder al software para cambiarlas ya que estas variables, en el prototipo, se han fijado en el código desarrollado y no se pueden cambiar manualmente. Por lo tanto, una gran mejora sería añadir un menú desde el que se podría modificar el valor de estas variables.
- En vez de fijar el mando de control en la pared, realizar un mando de control del hogar inalámbrico con un soporte en la pared donde guardarlo.
- En el prototipo diseñado nos hemos centrado en el control de los dispositivos electrónicos, pero en una vivienda no son los únicos que se podrían controlar. Así que como posible mejora se podría realizar el control de otros parámetros como el consumo de agua o gas.

## 14. Conclusiones

Tras la realización del proyecto se puede decir que se han cumplido los objetivos marcados al principio del trabajo. Se ha diseñado con éxito un sistema de gestión domótica capaz de optimizar el consumo energético de una vivienda, seleccionando todos sus componentes, realizando todas las conexiones y programando el microcontrolador para definir todas las funcionalidades del sistema. Además, se ha podido aplicar los conocimientos adquiridos durante el grado de Ingeniería Electrónica Industrial y Automática como, por ejemplo, diseñar circuitos electrónicos o programar en lenguaje C.

Aparte de aumentar la comodidad y la seguridad del usuario, el objetivo principal era conseguir optimizar el consumo energético de la vivienda. Para ello se ha programado un modo de funcionamiento del sistema domótico que permite autorregular todos los dispositivos del sistema basándose en las medidas que proporcionan los sensores (temperatura, humedad, luz exterior, etc.). Con esto se consigue aparte de un ahorro energético, un ahorro económico que puede ser de hasta un 30 %.

Este proyecto se puede dividir en dos grandes apartados: hardware y software. A nivel de hardware la parte más costosa ha sido la búsqueda y selección de todos los componentes reales del prototipo, así como la realización de las placas de circuito impreso. A nivel de software, lo que más tiempo ha llevado ha sido la realización del código completo ya que, previamente, se habían programado individualmente todos los componentes del sistema para comprobar su correcto funcionamiento. También mencionar que surgieron problemas con el funcionamiento de algunos componentes (como por ejemplo el sensor PIR o el módulo bluetooth HC-05) lo que obligó a invertir más horas en el proyecto para poder solucionarlos satisfactoriamente.

Dado que la temática del proyecto me interesaba desde un inicio y, que a medida que iba avanzando el proyecto veía que las funcionalidades que se habían definido en un inicio iban saliendo correctamente, quise ampliar las acciones que realizaba el prototipo de pruebas añadiendo pequeñas mejoras progresivamente. Finalmente se optó por realizar con la pantalla LCD y los pulsadores un mando de control desde el que no solo se podría visualizar el estado de la vivienda, sino que también permitiría el control de todos los dispositivos del sistema.

Cabe destacar que, a pesar de no tener conocimientos previos sobre la creación de aplicaciones móviles, se ha desarrollado con éxito una aplicación móvil que funciona gracias a una comunicación

bluetooth y que permite controlar todas las funcionalidades del prototipo de pruebas de forma inalámbrica.

La domótica es un campo relativamente nuevo y que ha sufrido grandes avances en los últimos años, es por eso que este proyecto tan solo muestra una pequeña parte de todo lo que nos pueden ofrecer los sistemas domóticos. A pesar de estar satisfechos de todo lo que se ha podido lograr en este proyecto ya que se han cubierto los objetivos marcados, siempre hay margen de mejora y el avance imparable de las nuevas tecnologías obligará a que estemos atentos en la renovación o actualización de estos sistemas.

## 15. Bibliografía y enlaces

- [1]. ¿Por qué instalar un sistema domótico? [En línea]. Consultado 2 de diciembre, 2022, en <https://www.decoracion.es/instalar-un-sistema-domotico/>
- [2]. Productos domóticos Sstema X-10 - Tienda online - Domótica Sistemas. [En línea]. Consultado 2 de diciembre, 2022, en <https://domoticasistemas.com/tienda/38-domotica-x10/>
- [3]. Redes utilizadas – Domótica. [En línea]. Consultado 2 de diciembre, 2022, en <https://domotica-ruben.school.blog/2016/11/25/first-blog-post/>
- [4]. Ventajas y desventajas de la domótica. [En línea]. Consultado 2 de diciembre, 2022, en <https://www.echeverrimontes.com/blog/ventajas-y-desventajas-de-la-domotica>
- [5]. Domotizar casa con Raspberry Pi: consejos. [En línea]. Consultado 2 de diciembre, 2022, en <https://pentadom.com/domotizar-casa-con-raspberry-pi/>
- [6]. Consumos del Sector Residencial en España. [En línea]. Consultado 27 de diciembre, 2022, en [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Documentacion\\_Basica\\_Residencia\\_I\\_Unido\\_c93da537.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Documentacion_Basica_Residencia_I_Unido_c93da537.pdf)
- [7]. Arduino Hardware | Arduino. [En línea]. Consultado 3 de diciembre, 2022, en <https://www.arduino.cc/en/hardware#boards-1>
- [8]. STM32 Microcontrollers (MCUs) - STMicroelectronics. [En línea]. Consultado 3 de diciembre, 2022, en <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32-32-bit-arm-cortex-mcus.html>
- [9]. NUCLEO-F401RE | Placa de desarrollo STM32 Nucleo-64 de STMicroelectronics, con núcleo ARM Cortex M4F | RS. [En línea]. Consultado 4 de diciembre, 2022, en <https://es.rs-online.com/web/p/kits-de-desarrollo-de-microcontroladores/8029425>
- [10]. Introducción a la programación de microcontroladores PIC. [En línea]. Consultado 4 de diciembre, 2022, en <https://tecmikro.com/content/8-programacion-microcontroladores-pic>
- [11]. PIC Microcontroller: All You Need To Know. [En línea]. Consultado 4 de diciembre, 2022, en <https://www.engineersgarage.com/pic-microcontroller-all-you-need-to-know/>
- [12]. Qué modelo de Raspberry Pi comprar: un repaso a las principales placas y los proyectos más habituales para dar con la mejor. [En línea]. Consultado 5 de diciembre, 2022, en <https://www.xataka.com/seleccion/que-modelo-raspberry-pi-comprar-repaso-a-principales-placas-proyectos-habituales-para-dar-mejor>

- [13]. Buy a Raspberry Pi – Raspberry Pi. [En línea]. Consultado 5 de diciembre, 2022, en <https://www.raspberrypi.com/products/>
- [14]. Elegir entre un sistema domotico centralizado o distribuido. [En línea]. Consultado 7 de diciembre, 2022, en <https://raulcarretero.com/por-que-y-cuando-elegir-un-sistema-domotico-centralizado-o-distribuido/>
- [15]. Arquitectura de los sistemas | Domótica. [En línea]. Consultado 7 de diciembre, 2022, en <https://domoticaudem.wordpress.com/arquitectura-de-los-sistemas/>
- [16]. Arduino Official Store | Boards Shields Kits Accessories. [En línea]. Consultado 3 de diciembre, 2022, en <https://store.arduino.cc/>
- [17]. Nuestra selección en Atrio Lezkairu | ProginSA. [En línea]. Consultado 7 de diciembre, 2022, en <https://www.proginSA.com/noticias/promociones/nuestra-seleccion-en-atrion-lezkairu-da-el-primer-paso-hacia-tu-nueva-casa/>
- [18]. Distribuidor de Componentes Electrónicos - Mouser Electronics España. [En línea]. Consultado 7 de diciembre, 2022, en <https://www.mouser.es/>
- [19]. Pack Detector de Movimiento PIR 360 Empotrable (4 un) - efectoLED. [En línea]. Consultado 8 de diciembre, 2022, en [https://www.efectoled.com/es/comprar-packs-componentes-electricos/6042-detector-de-presencia-pir-360-empotrable.html?id\\_c=13771&utm\\_source=google&utm\\_medium=pmax&utm\\_campaign=ES\\_Tecnico\\_GoogleCSS\\_Max\\_Valor&gclid=CjwKCAiAkfucBhBBEiwAFjbrwtlgIr-T4Kje7AtkHJNA1Smf0efkKmt1yIRRwfEsnwZVYQia9jaUxoCOZwQAvD\\_BwE](https://www.efectoled.com/es/comprar-packs-componentes-electricos/6042-detector-de-presencia-pir-360-empotrable.html?id_c=13771&utm_source=google&utm_medium=pmax&utm_campaign=ES_Tecnico_GoogleCSS_Max_Valor&gclid=CjwKCAiAkfucBhBBEiwAFjbrwtlgIr-T4Kje7AtkHJNA1Smf0efkKmt1yIRRwfEsnwZVYQia9jaUxoCOZwQAvD_BwE)
- [20]. Tienda Arduino y Artículos de Electrónica - Prometec.net. [En línea]. Consultado 8 de diciembre, 2023, en <https://store.prometec.net/>
- [21]. Aliexpress. [En línea]. Consultado 8 de diciembre, 2022, from: <https://es.aliexpress.com>
- [22]. Sensor de Nivel de Agua - SANDROBOTICS. [En línea]. Consultado 8 de diciembre, 2022, en <https://sandorobotics.com/producto/hr0043/>
- [23]. DHT22 / AM2302 sensor de temperatura y humedad. [En línea]. Consultado 9 de diciembre, 2022, en [https://www.industrialshields.com/es\\_ES/blog/blog-industrial-open-source-1/post/dht22-am2302-sensor-de-temperatura-y-humedad-224](https://www.industrialshields.com/es_ES/blog/blog-industrial-open-source-1/post/dht22-am2302-sensor-de-temperatura-y-humedad-224)
- [24]. Cómo afecta la calefacción de casa a nuestra salud. [En línea]. Consultado 9 de diciembre, 2022, en <https://www.20minutos.es/noticia/4442399/0/como-afecta-calefaccion-casa-nuestra-salud/>
- [25]. Acuasec | Humedad de 70% en casa, ¿es bueno o malo? [En línea]. Consultado 9 de diciembre, 2022, en <https://acuasec.com/humedad-casa/>

- [26]. XS01-WR Wireless Interconnected Smoke Alarm. [En línea]. Consultado 9 de diciembre, 2022, en <https://www.x-sense.com/products/x-sense-wireless-interconnected-smoke-alarm-xs01-wr>
- [27]. Amazon.es: compra online de electrónica, libros, deporte, hogar, moda y mucho más. [En línea]. Consultado 10 de diciembre, 2022, en [https://www.amazon.es/ref=nav\\_logo](https://www.amazon.es/ref=nav_logo)
- [28]. Soluciones industriales | RS, anteriormente RS Components. [En línea]. Consultado 10 de diciembre, 2022, en [https://es.rs-online.com/web/?cm\\_mmc=World-Selector-Page-Online-ReferralMainWorldList\\_-CountryList](https://es.rs-online.com/web/?cm_mmc=World-Selector-Page-Online-ReferralMainWorldList_-CountryList)
- [29]. Philips Corepro LEDbulb E27 Pera Mate 5.5W 470lm - 827 Luz muy Cálida | Reemplazo 40W | Lamparadirecta. [En línea]. Consultado 10 de diciembre, 2022, en <https://www.lamparadirecta.es/philips-corepro-ledbulb-e27-pera-mate-5-5w-470lm-827-luz-muy-calida-reemplazo-40w-8718696577578>
- [30]. Motor Tubular para Persianas | Motores Tubulares | Persianas | Domondo. [En línea]. Consultado 10 de diciembre, 2022, en [https://www.domondo.es/persianas/motores-tubulares/motor-tubular-para-persianas/hasta-25kg-fi40?gclid=CjwKCAiAheacBhB8EiwAltVO24nNk-BI3I7QBZGtpzS2wa9AwuerQmAkoMloqYvM2uFAvxjvoQMYhoCG6IQAvD\\_BwE](https://www.domondo.es/persianas/motores-tubulares/motor-tubular-para-persianas/hasta-25kg-fi40?gclid=CjwKCAiAheacBhB8EiwAltVO24nNk-BI3I7QBZGtpzS2wa9AwuerQmAkoMloqYvM2uFAvxjvoQMYhoCG6IQAvD_BwE)
- [31]. Motor para ventana cableado. [En línea]. Consultado 10 de diciembre, 2022, en <https://www.motorespersianas.com/motor-para-ventana.html>
- [32]. Cecotec Tienda Oficial | Envío Gratis | Mejor Precio. [En línea]. Consultado 11 de diciembre, 2022, en <https://cecotec.es/es>
- [33]. ¿Otro verano pasando calor? Descubre las ventajas de tener aire acondicionado en casa - Ideas Midea. [En línea]. Consultado 11 de diciembre, 2022, en <https://www.midea.es/blog/otro-verano-pasando-calor-descubre-las-ventajas-de-tener-aire-acondicionado-en-casa/>
- [34]. Bricolaje, Decoración, Jardín y Construcción - Leroy Merlin. [En línea]. Consultado 11 de diciembre, 2022, en <https://www.leroymerlin.es/>
- [35]. Solectroshop -Tu tienda de Arduino, Raspberry, Micro:Bit, Sparkfun. [En línea]. Consultado 11 de diciembre, 2022, en <https://solectroshop.com/es/>
- [36]. Diotronic. [En línea]. Consultado 11 de diciembre, 2022, en <https://diotronic.com/>
- [37]. Arduino: ampliar cantidad de salidas digitales con 74HC595 | Robots Didácticos. [En línea] Consultado 14 de diciembre, 2022, en <https://robots-argentina.com.ar/didactica/arduino-ampliar-cantidad-de-salidas-digitales-con-74hc595/>



- [38]. DS3231: reloj en tiempo real y calendario para tu Arduino | Hardware libre. [En línea]. Consultado 14 de diciembre, 2022, en <https://www.hwlibre.com/ds3231/>
- [39]. Wireless Serial Transceiver Module HC12. [En línea]. Consultado 14 de diciembre, 2022, en <https://grobotronics.com/wireless-serial-transceiver-module-hc-12.html?sl=en>
- [40]. Mini transformador 220V-5V - HLK-PM01 BricoGeek | BricoGeek.com. [En línea]. Consultado 14 de diciembre, 2022, en <https://tienda.bricogeek.com/herramientas-de-prototipado/1044-mini-transformador-220v-5v-hlk-pm01.html>
- [41]. Luis Llamas - Ingeniería, informática y diseño. [En línea]. Consultado 18 de diciembre, 2022, en <https://www.luisllamas.es/>
- [42]. Motor paso a paso 28BYJ-48-5V + Módulo de control ULN2003. [En línea]. Consultado 18 de diciembre, 2022, en <https://www.e-ika.com/motor-paso-a-paso-28byj-48-5v-modulo-de-control-uln2003>
- [43]. Buy DS1302 RTC Module with Battery at the Best Price Online in India. [En línea]. Consultado 18 de diciembre, 2022, en <https://robu.in/product/ds1302-rtc-real-time-clock-module-with-battery/>
- [44]. Módulo Bluetooth HC05. [En línea]. Consultado 18 de diciembre, 2022, en <https://naylampmechatronics.com/inalambrico/43-modulo-bluetooth-hc05.html>
- [45]. MIT App Inventor. [En línea]. Consultado 1 de diciembre, 2022, en <https://appinventor.mit.edu/>
- [46]. Manual de domótica - José Manuel Huidobro, Ramón Jesús Millán Tejedor - Google Books. [En línea]. Consultado 18 de diciembre, 2022, en [https://books.google.es/books?hl=en&#38;lr=&#38;id=V6IzqqDcfF8C&#38;oi=fnd&#38;pg=PR1&#38;dq=domotica&#38;ots=tsRdmmmbN&#38;sig=1xFaYb1VqNn8yWX1lBifalPpn6l&#38;redir\\_esc=y#v=onepage&#38;q=domotica&#38;f=false](https://books.google.es/books?hl=en&#38;lr=&#38;id=V6IzqqDcfF8C&#38;oi=fnd&#38;pg=PR1&#38;dq=domotica&#38;ots=tsRdmmmbN&#38;sig=1xFaYb1VqNn8yWX1lBifalPpn6l&#38;redir_esc=y#v=onepage&#38;q=domotica&#38;f=false)
- [47]. Normativa para domotica. [En línea]. Consultado 29 de diciembre, 2022, en <https://www.hogarsense.es/domotica/normativa-domotica>
- [48]. RoHS: la directiva y su cumplimiento - edding. [En línea]. Consultado 3 de enero, 2023, en <https://www.edding.com/es-ar/temas/seccion-wiki/rohs/>
- [49]. What Is RoHS? - Lighting Equipment Sales. [En línea]. Consultado 3 de enero, 2023, en <https://lightingequipmentsales.com/what-is-rohs.html>
- [50]. Certificación CE para productos industriales - Hope Industrial Systems. [En línea]. Consultado 3 de enero, 2023, en <https://hopeindustrial.mx/support/ce-rohs/>

- [51]. BOE.es - BOE-A-2015-1762 Real Decreto 110/2015, de 20 de febrero, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. [En línea]. Consultado 3 de enero, 2023, en <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2015-1762>
- [52]. El estado actual de la domótica y las innovaciones que están por venir. [En línea]. Consultado 5 de enero, 2023, en <https://www.xatakahome.com/espacioprosegur/el-estado-actual-de-la-domotica-y-las-innovaciones-que-estan-por-venir>
- [53]. Tecnología para acelerar la transición energética | Actualidad Económica. [En línea]. Consultado 5 de enero, 2023, en <https://www.elmundo.es/economia/actualidad-economica/2022/12/19/639c6ba821efa049468b4585.html>

