



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**



**Volumen I - Memoria**

**Autor/a:** Oriol Riera Rovira  
**Director/a:** Manuel Andrés Manzanares Brotons  
**Convocatoria:** Barcelona, 18 de Junio de 2020



## Resumen

En un mundo cada vez más tecnológico, los sistemas domóticos acercan la electrónica a las viviendas para ofrecer un abanico de servicios y comodidades infinitas. Controlan de forma inteligente los diferentes dispositivos del hogar como la iluminación, los toldos y persianas, la calefacción o las ventanas mediante sensores de temperatura, luminosidad o presencia, entre otros, para ganar en confort y seguridad.

Este trabajo se centra en el estudio de las posibles funciones que puede realizar el sistema junto con el diseño de los circuitos necesarios y su programación, con objeto de reducir el consumo energético y para obtener un sistema domótico ecológico que nos permita reducir gastos, indirectamente.

Se crea una interfaz donde el usuario pueda comunicarse con la instalación y sea un centro para interaccionar y consultar información sobre el estado de la vivienda, mientras una placa independiente gestiona los diferentes componentes para adaptar las distintas condiciones de la vivienda según los distintos estímulos que va recogiendo. El código está escrito en C con el compilador CCS y el circuito diseñado y simulado con Proteus. También se han diseñado y montado las dos placas de circuito impreso necesarias para implementar el sistema.

El prototipo diseñado es flexible para adaptarse a los diferentes gustos y necesidades de cada persona, pero también es eficaz y asequible con objeto de poder llegar al mayor número de gente posible y además intentar mejorar su calidad de vida.

## Resum

En un món cada vegada més tecnològic, els sistemes domòtics apropen l'electrònica als habitatges per oferir un ventall de serveis i comoditats infinites. Controlen de forma intel·ligent els diferents dispositius de la llar com la il·luminació, els tendals i les persianes, la calefacció o les finestres mitjançant sensors com ara de temperatura, llum o de presència, per tal de guanyar en confort i seguretat.

Aquest treball es centra en l'estudi de les possibles funcions que pot realitzar el sistema junt amb el disseny dels circuits necessaris i la seva programació amb l'objectiu de reduir el consum energètic i obtenir un sistema domòtic ecològic que ens permeti reduir la despesa econòmica, indirectament.

Es crea una interfície perquè l'usuari pugui comunicar-se amb la instal·lació i sigui un centre on s'interaccioni i consulti informació sobre l'estat de l'habitatge, mentre una placa independent gestiona els diferents components per adaptar les diferents condicions de l'habitatge segons els diferents estímuls que va rebent. El codi està escrit en C amb el compilador CCS i el circuit dissenyat i simulat amb Proteus. També s'han dissenyat i muntat les dues plaques de circuit imprès necessàries per implementar el sistema.

El prototip dissenyat és flexible per adaptar-se als diferents gustos i necessitats de cada persona, però també és eficaç i assequible amb objecte de poder arribar a la major quantitat de persones possibles e intentar millorar la seva qualitat de vida.

## **Abstract**

In an increasingly technological world, home automation systems bring electronics closer to homes to offer a range of infinite services and commodities. They can wisely control the variety of devices installed such as the illumination, blinds and awnings, heating or windows through temperature, luminosity, or motion sensors among others, just to provide comfort and security.

This work focuses on the study of the different and most impactful functions the system can perform, by designing the necessary circuits and its programming, in order to minimize the consumption of energy and the environmental footprint, along with the ability to reduce the economic expense, indirectly.

An interface is created so that the user can communicate with the installation and act as a center to interact and consult information on the current status of the different elements in the apartment, while a separate microprocessor controls the different components of the house. The code is written in C code and compiled with CCS. The circuit is designed and simulated with Proteus. It has also been designed and ensembled the two necessary printed circuit boards to implement the system.

The prototype is designed to be flexible enough to adapt to the different needs of each individual while being efficient and affordable to reach the maximum amount of people and try to improve their quality of life.



## **Agradecimientos**

Agradezco a mi familia y personas más cercanas que me han apoyado, motivado y ayudado a llegar al final de este proyecto de vida. Ha sido un proceso largo pero muy enriquecedor tanto académico como personalmente.

Agradezco también a mi profesor Manuel Andrés Manzanares Brotons por ofrecerme esta oportunidad y guiarme durante la elaboración del trabajo.







# Índice

<b>RESUMEN</b>	<b>I</b>
<b>RESUM</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE</b>	<b>VII</b>
<b>SIMBOLOGÍA Y TERMINOLOGÍA</b>	<b>X</b>
<b>OBJETO DEL PROYECTO</b>	<b>1</b>
<b>MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
1.1. Especificaciones básicas.....	5
<b>2. ESTUDIO PREVIO</b>	<b>6</b>
2.1. Domótica .....	6
2.2. Funciones del sistema.....	7
2.2.1. Climatización.....	8
2.2.2. Electrodomésticos.....	9
2.2.3. Iluminación .....	10
2.2.4. Seguridad.....	11
2.3. Interfaz .....	11
2.4. Arquitectura .....	12
2.4.1. Arquitectura Centralizada .....	12
2.4.2. Arquitectura Descentralizada.....	13
2.4.3. Arquitectura Distribuida.....	13
2.4.4. Arquitectura Mixta .....	14
2.5. Comunicación.....	14
2.5.1. Comunicación directa persona – sistema domótico .....	14
2.5.2. Comunicación RS232 – sistema domótico.....	15
2.5.3. Comunicación I2C – sistema domótico .....	15
2.5.4. Comunicación Bluetooth – sistema domótico.....	16
2.5.5. Comunicación internet – sistema domótico.....	16
2.6. Controlador .....	16

2.7.	Sensores.....	17
2.7.1.	Señal digital.....	17
2.7.2.	Señal analógica.....	18
2.8.	Actuadores.....	18
<b>3.</b>	<b>POSIBLES SOLUCIONES</b> _____	<b>19</b>
3.1.	Vivienda.....	19
3.2.	Interfaz.....	20
<b>4.</b>	<b>SOLUCIONES ESCOGIDAS</b> _____	<b>22</b>
4.1.	Vivienda.....	22
4.2.	Funciones del sistema.....	23
4.2.1.	Climatización.....	23
4.2.2.	Electrodomésticos.....	23
4.2.3.	Iluminación.....	24
4.2.4.	Seguridad.....	24
4.3.	Interfaz.....	26
4.4.	Arquitectura.....	27
4.5.	Comunicación.....	27
<b>5.</b>	<b>HARDWARE</b> _____	<b>29</b>
5.1.	Diagrama de bloques.....	29
5.2.	Placa Máster: Unidad Central.....	30
5.2.1.	Diagrama de bloques.....	30
5.2.2.	Componentes.....	31
5.2.3.	Esquema.....	45
5.2.4.	Diseño PCB.....	46
5.2.5.	Resultado final.....	47
5.3.	Placa Slave: Módulo de Energía.....	48
5.3.1.	Diagrama de bloques.....	48
5.3.2.	Componentes.....	49
5.3.3.	Esquema.....	72
5.3.4.	Diseño PCB.....	73
5.3.5.	Resultado final.....	74
<b>6.</b>	<b>SOFTWARE</b> _____	<b>75</b>
6.1.	Comunicación.....	75
6.2.	Placa Máster: Unidad Central.....	76

6.2.1.	Menús de navegación .....	76
6.2.2.	Escenas de funcionamiento .....	79
6.2.3.	Actualización de datos.....	80
6.2.4.	Control de luces.....	80
6.3.	Placa slave: Módulo de Energía .....	81
6.3.1.	Control de toldos.....	81
6.3.2.	Control de persianas.....	82
6.3.3.	Control de elementos de climatización.....	83
6.3.4.	Control de ventanas .....	85
6.3.5.	Funciones de obtención de datos .....	86
6.3.6.	Control de luces.....	87
6.3.7.	Alarma.....	87
<b>7.</b>	<b>SIMULACIONES</b> .....	<b>88</b>
<b>8.</b>	<b>ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL</b> .....	<b>90</b>
<b>9.</b>	<b>NORMATIVA</b> .....	<b>93</b>
	<b>ORGANIZACIÓN</b> .....	<b>94</b>
	<b>POSIBLES MEJORAS</b> .....	<b>95</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>96</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>99</b>

## Simbología y terminología

Índice de acrónimos y abreviaturas:

LCD	Pantalla de cristal líquido, <i>Liquid-Crystal Display</i> .
PCB	Circuito impreso, <i>Printed Circuit Board</i> .
I2C	Circuito inter.integrado, <i>Inter-Integrated Circuit</i> .
SDA	Línea de datos, <i>Serial Data Line</i> .
SCL	Línea con el reloj, <i>Serial Clock Line</i> .
LED	Díodo emisor de luz, <i>Light Emitting Diode</i> .
ACK	<i>Acknowledge</i> .
NACK	<i>Not Acknowledge</i> .
E/S	Entradas y Salidas del microcontrolador.
ROM	Memoria de solo lectura, <i>Read Only Memory</i> .
CLK	Señal del reloj, <i>Clock</i> .
GND	Tierra, <i>Ground</i> .
ADC	Convertor analógico a digital, <i>Analog to Digital Converter</i> .
VCC, VDD	Fuente positiva de tensión.
VSS, VEE	Fuente negativa de tensión.
V <sub>in</sub>	Tensión de entrada, <i>Input Voltage</i> .
V <sub>out</sub>	Tensión de salida, <i>Output Voltage</i> .
Reset	Reiniciar.
Timer	Temporizador.

## Objeto del proyecto

El objetivo de este TFG es la elaboración del diseño de un sistema automatizado capaz de medir el estado energético de una vivienda mediante sensores para buscar una optimización del uso de las fuentes eléctricas con el fin de reducir el consumo.

Hoy en día los intereses de la sociedad han evolucionado centrándose cada vez más en el estado del medio ambiente y como se puede compartir la vida en la Tierra de forma respetuosa y con el mínimo impacto posible sobre ella. Por otro lado, el propio uso de los electrodomésticos en casa consume una cantidad de recursos de los cuales desde el punto de vista económico tampoco se puede menospreciar. De esta forma, también se busca un objetivo tan simple y sencillo como reducir el gasto de la factura de luz y calefacción.

En este proyecto, se diseña un sistema capaz de interactuar con el usuario donde la información recogida por los sensores y el estado de los dispositivos de la casa puedan ser monitorizados desde una unidad central física con una pantalla LCD y pulsadores para la navegación por ella o una aplicación móvil habilitando un uso a distancia. Mientras, el proceso de estos datos es usado para el control de los diferentes actuadores para asegurar la optimización de los recursos y la disminución del consumo de ellos.

Para obtener dichos objetivos, se han seguido los siguientes pasos:

- Estudio de los sistemas domóticos para entender qué son, cómo funcionan y como se conforman.
- Familiarización con el lenguaje de programación C y el uso de CCS con el fin de compilar el programa para el microcontrolador PIC
- Diseño del prototipo en Proteus comprobando cada vez el funcionamiento de los elementos añadidos.
- Elaboración del circuito para PCB.
- Construcción del prototipo de pruebas.



## Motivación y Justificación

El día que empecé la carrera, sabía llegaría el día de hacer el Trabajo de Fin de Grado. Aun así, no tenía idea alguna sobre qué hacer.

Siempre he tenido claro mis virtudes y aptitudes positivas entre las que caben la inteligencia lógica, el interés por la robótica y la IA y un punto de creatividad para darle un toque humano a todo. De esta forma, cuando vi este proyecto me pareció la mejor manera de juntar todos los aspectos en los que me siento más hábil y atraído y dónde a la vez podía desarrollar y aprender conocimientos en campos con menos práctica.

Este proyecto requiere un marco teórico para aprender sobre los sistemas de intercambio de datos, procesamiento de señales y estudio de componentes para cada campo de la actividad domótica. Por otro lado, ofrece la implementación de un sistema aplicable en la vida real capaz de ayudar a mejorar la vida de las personas y la reducción del impacto ambiental.

El trabajo propuesto permite juntar el campo eléctrico, mediante el estudio y cálculo de componentes, con el electrónico e informático programando los microcontroladores todo controlado por una parte más creativa pero reglamentada encargada de pensar y elaborar el diseño de las funciones del sistema.

Debido al potencial del trabajo dónde el límite lo pone el usuario (no hay un máximo de funciones realizables en un sistema domótico personalizado) y el impacto de la aplicación es directo y sostenible me decidí a realizar este TFG.





# 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el impacto ambiental y el ahorro económico son un problema real que afecta a todas las personas. En este proyecto se elabora un sistema domótico orientado a la reducción y control del consumo eléctrico, desde el diseño de los circuitos hasta la programación y ensamblaje de ellos.

Se hace un estudio previo para entender los sistemas actuales, como se estructuran y como se aplican. Después de una toma de decisiones, se recoge el diseño que cumple con el objetivo deseado. Se listan los componentes empleados y cómo funcionarán dentro del conjunto.

Una vez hecho los esquemas, se procede a hacer las placas PCBs y construir un prototipo de pruebas que simulará el sistema real de la vivienda.

## 1.1. Especificaciones básicas.

Para la elaboración del proyecto, se requieren un mínimo de funciones a realizar en los diferentes campos que se tratan en el transcurso del trabajo. Para contextualizar y acotar el área de estudio, se definen una serie de necesidades:

- Se debe diseñar el circuito con todos los componentes incluyendo el microcontrolador principal, la fuente de alimentación, los sensores, actuadores y todos los elementos necesarios para hacer del sistema una experiencia útil e intuitiva.
- Se llevará a cabo un estudio del mercado para aprender qué son los sistemas domóticos y entender que funciones abarcan para poder construir el cuerpo del proyecto.
- El microcontrolador usado será de la familia PIC para poder programarlo con CCS y simularlo con Proteus.
- Debe incluir una interfaz donde el usuario sea capaz de leer datos, monitorizar el estado de los sensores y dispositivos y se le facilite la habilidad de actuar sobre ellos.
- Se debe tener en cuenta el estudio de las herramientas de transmisión de datos entre microcontrolador-componentes y microcontrolador-usuario.
- Investigación de las diferentes arquitecturas posibles y distribución de los elementos.
- Construcción y diseño de un prototipo de pruebas para testear el sistema real simplificando los componentes.

## 2. ESTUDIO PREVIO

Para desarrollar el cuerpo del trabajo y enriquecerlo el máximo posible con información contrastada, variada, útil y de calidad se hace una reflexión del campo actual en todas las áreas que trata el trabajo, desde la domótica en general hasta los mejores componentes a usar y como programarlos.

Para ello, se empieza desde el concepto más general hasta el más específico para abordar el desarrollo escalonadamente.

### 2.1. Domótica

La domótica es el conjunto de tecnologías con las que a partir de sensores y actuadores se centran en el control y la automatización inteligente de la vivienda [1]. Su objetivo por lo tanto se centra en:

- Reducción del consumo energético
- Aportar seguridad
- Confort

En 2004, se hizo un acercamiento mediante el análisis de los acrónimos de la palabra Domo-TIC-A. “Domo” se traduce a “casa” del latín, “TIC” por las Tecnologías de la Información y Comunicación y por último la “A” de automatización [2].

El usuario, por su parte, es capaz de acceder al sistema y evaluar el estado de los elementos del habitáculo mediante una interfaz. Mediante una consola, o teléfono móvil, es capaz de gestionar los diferentes dispositivos instalados como el estado de las luces, el toldo, la persiana y el aire o la calefacción [3].

De esta forma, un sistema domótico no es tan solo el uso de sensores de presencia para encender y apagar luces sino de que va más allá. La domótica es una malla de elementos que trabajan juntos para alcanzar varios objetivos diferentes mediante algoritmos definidos.

El campo de la domótica ha evolucionado considerablemente junto al desarrollo de nuevas tecnologías y las necesidades de la gente. Hoy en día es capaz de aportar soluciones a diferentes viviendas siendo un servicio flexible capaz de cumplir las necesidades de cada usuario con planes predefinidos creando escenas diferentes para facilitar y mejorar la calidad de vida de este.

En el mercado actual, existen diferentes modelos de domótica donde se diferencian dos grandes tipos: con protocolo abierto y estándar o los de propietario. El protocolo abierto está disponible al público para que cada uno lo adapte según sus necesidades mientras que en el otro caso, es el propio

propietario que define el funcionamiento y nadie puede modificarlo, como sería el caso de del protocolo de una marca propia como Homekit de Apple [4]. En todos los casos, lo que se busca es la creación de un lenguaje común para que cualquier usuario pueda acceder a varios dispositivos sin tener en cuenta la diferencia en su naturaleza. Estos protocolos permiten una mejora en la instalación de los sistemas domóticos [5] y han sido recogidos en la Tabla 1.

Iniciativa	Transmisión	Protocolo	Ámbito de aplicación
X10	Cable eléctrico	Estándar	Mundial
KNX	Bus de campo	Estándar	Europa
LonWorks	Cable eléctrico	Estándar	Mundial
ZigBee	Inalámbrica	Estándar	Mundial
HomeKit	Internet	Propietario	Mundial
Z-Wave	Internet	Propietario	Mundial
Alexa Smart Home	Internet	Estándar y Propietario (permite ZigBee y Z-Wave)	Mundial

Tabla 1 Comparativa de diferentes iniciativas domóticas (Fuente propia)

## 2.2. Funciones del sistema

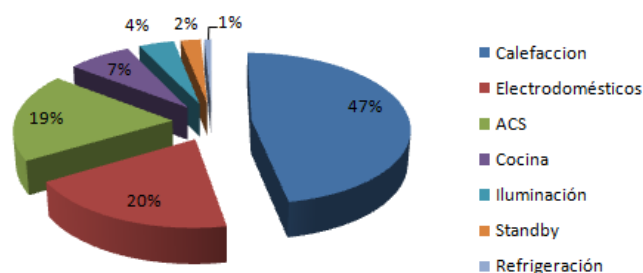
Una vez entendido el funcionamiento de la domótica y que áreas abarca, toca fijarse en los campos reales de aplicación dentro de la vivienda. Estudiando casos como podría ser Apple Home Kit, se puede observar los diferentes ámbitos que puede integrar el sistema.



Figura 2.1 Accesorios que se pueden añadir en Apple Home (Fuente: [4]. [www.apple.com](http://www.apple.com))

Para empezar a dirigir el trabajo en una dirección nos centramos primero en el verdadero objetivo del proyecto: el ahorro energético.

Según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, la media del consumo de las viviendas españolas se reparte de la siguiente forma.



**Figura 2.2** Estructura del Consumo Total (%) según Servicios (Fuente [6]. [www.idae.es](http://www.idae.es))

Como se puede observar en la Figura 2.2, el mayor gasto se produce en la calefacción junto a los electrodomésticos y el uso de energía para obtener Agua Caliente Sanitaria.

Para tener una mejor idea de cómo actuar en cada caso, se hace un estudio de formas de reducción del consumo y la función domótica óptima de cada uno.

### 2.2.1. Climatización

Con el mayor porcentaje de consumo, la calefacción y el uso de ACS deben de tener el mayor control y enfoque en el diseño.

Para reducir energía, se pueden usar varios métodos activos:

- Adaptación de los dispositivos para funcionar según la temperatura interior de forma que se enciendan y se apaguen automáticamente para regularla.
- El uso de toldos y persianas para controlar el efecto del medio exterior hacia el interior de la vivienda.
- Control del estado de las ventanas para avisar al usuario cuando están abiertas y apagar los elementos de climatización para no desperdiciar energía.
- Durante la noche, mientras el usuario duerme, se puede subir un par de grados la temperatura deseada en periodos de calor (no se necesita tanto frío para el bienestar de la persona) y al revés durante el invierno. De esta forma, se consigue ahorrar directamente.

- De la misma forma, cuando se sale de casa y ésta se queda vacía, la temperatura también puede oscilar 2 o 3 grados para reducir el uso de energía. Cabe destacar que es importante mantener una temperatura estable para no tener que remontarla después, pero no hace falta seguir con las mismas condiciones.

A parte de los factores para tener en cuenta en su uso, también es importante su localización como método pasivo para obtener un buen rendimiento de ellos y aprovechar al máximo su generación de aire frío o caliente disminuyendo también el consumo energético.

Para la calefacción, lo mejor es ponerlo bajo la ventana. El aire caliente, al subir, se encuentra con el frío de la ventana y debido a la diferencia de temperaturas se contribuye a la redistribución uniforme del aire por toda la habitación. Se obtiene una mejora en el bienestar de la vivienda junto a la disminución del uso de recursos.

En el caso del aire, lo mejor es colocarlo encima del sofá del salón o encima de la cama en la habitación. De esta forma, el aire se reparte por toda la sala (el aire frío tiende a bajar debido a su densidad superior, su entropía es menor). Por otro lado, el aire no llega directamente al usuario generando una incomodidad.

## 2.2.2. Electrodomésticos

Los electrodomésticos ocupan el segundo lugar en el consumo de las viviendas. Conforman el 20% del consumo medio. Dentro de este porcentaje, el consumo se reparte según la Figura 2.3.

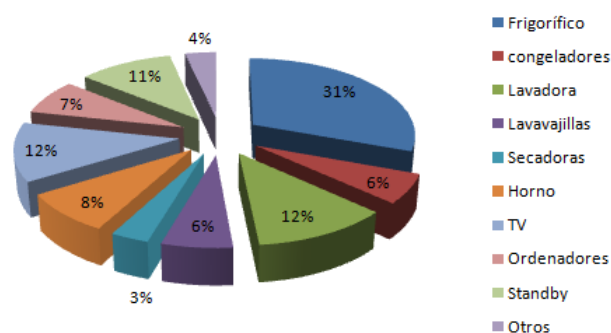


Figura 2.3 Consumo de Electrodomésticos según Tipo de Equipamiento (Fuente: [6]. [www.idae.es](http://www.idae.es))

El frigorífico y los congeladores tienen que estar todo el día en funcionamiento así que no puede ser objeto de control. Por otro lado, la lavadora y el lavavajillas tan sólo tienen que activarse una media de una vez al día, aproximadamente. Durante este momento, se realiza su función de lavar los platos o la ropa y luego ya no necesita energía hasta el próximo uso.

Si se compara el horario medio de uso de estos electrodomésticos con el precio de la electricidad durante el día, se puede observar como una buena distribución de su funcionamiento puede comportar un ahorro no sólo energético sino económico.

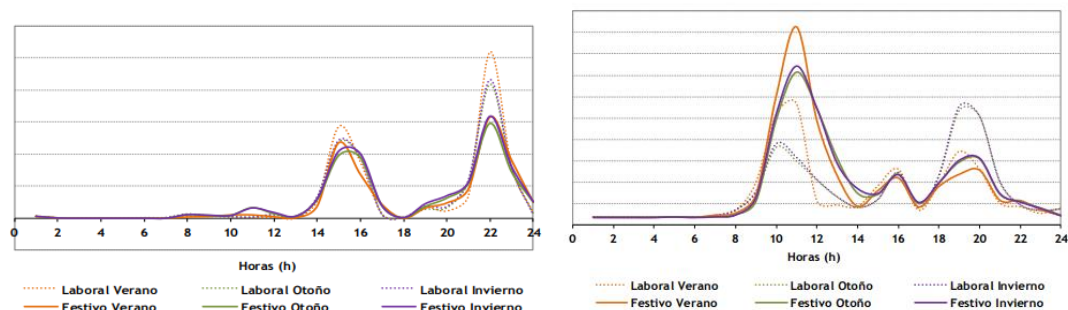


Figura 2.4 Curva de Carga asociada al lavavajillas (izquierda) y lavaplatos (derecha) (Fuente: [6]. [www.idae.es](http://www.idae.es))

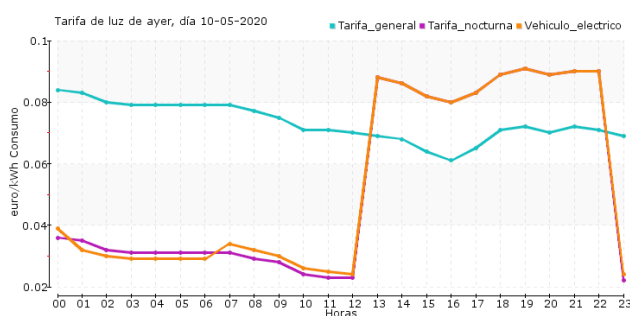


Figura 2.5 Evolución gráfica de las tarifas de luz durante el día (Fuente: [7] [www.tarifadeluz.com](http://www.tarifadeluz.com))

Los dos electrodomésticos se usan alrededor de las comidas que corresponde a cuando las personas acostumbran a tener un tiempo de descanso y por lo tanto pueden activar dichos dispositivos. Aun así, gracias a la domótica se puede evitar el estado de *stand-by* y a la vez fomentar el uso de estos en periodos de precio reducido del kWh/euro como durante la Tarifa nocturna.

Por otro lado, durante un consumo elevado de energía en un momento puntual del día, los primeros elementos de los cuales se puede prescindir y por lo tanto desactivar son los sistemas de aire y calefacción, evitando así alcanzar un consumo superior de la potencia contratada.

### 2.2.3. Iluminación

Mediante el uso de sistemas de iluminación eficientes, se puede también conseguir un ahorro energético:

- Actúan según el nivel de iluminación producido por la variación de la luz solar, la zona de la casa o la presencia de personas.

- Se tiene en cuenta el uso de toldos y persianas para optimizar la entrada de luz exterior, pero también para evitar rayos de luz muy horizontales durante la mañana y la noche para la protección del usuario.
- El sistema domótico permite el control automático tanto del encendido de luces según los factores anteriores, pero también el apagado total de ellos al salir de casa, o al ir a dormir.
- Control de forma automática de luces en sitios exteriores o de paso donde el encendido y apagado de luces durante un corto periodo de tiempo puede ser tedioso y de esta forma se optimiza mucho más su encendido y a la vez aporta confort al usuario.

#### 2.2.4. Seguridad

La domótica como se ha visto, no solo se centra en el ahorro sino también en la seguridad del usuario y su confort. Algunas funciones para realizar dentro de la vivienda pueden ser:

- Seguridad perimetral o de intrusión: Control del estado de las ventanas y/o los sensores de presencia para activar una alarma cuando se está fuera de casa.
- Seguridad personal: Control de la calidad del aire para proponer la abertura de las ventanas para ventilar y renovar el ambiente de la sala.
- Seguridad técnica: Desconexión de algunos electrodomésticos cuando el consumo eléctrico es cercano al límite para evitar la caída de los fusibles.

### 2.3. Interfaz

En todo sistema electrónico que requiere un control o supervisión de datos e información, se requiere una interfaz. Ésta sería el conjunto de elementos físicos y gráficos que ayudan al usuario a acceder a los parámetros deseados y por lo tanto establecer una vía de comunicación con el sistema.

Dependiendo de la función que se quiera supervisar y las necesidades de la situación, la interfaz puede ir desde una pantalla, teclado y ratón para controlar un ordenador a los 3 pulsadores y la pantalla de un móvil. En el caso de un control domótico, normalmente no hace falta este tipo de hardware sino uno más sencillo. Está claro que se necesita una pantalla para observar gráficamente la información y ciertos recursos para escoger cuales ver y cuales editar.

Las mejores tecnologías suelen usar pantallas táctiles (véase Figura 2.6) pero también se pueden simplificar con una pantalla LCD y un menú configurable mediante pulsadores y un teclado siempre y cuando éstos ofrezcan una experiencia similar.

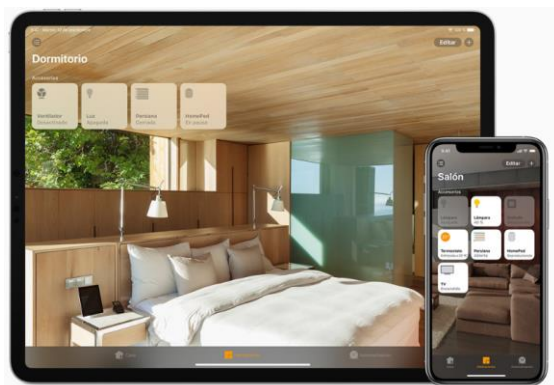


Figura 2.6 Interfaz de la aplicación Apple Home para iPad y iPhone (Fuente: [4]. [www.apple.com](http://www.apple.com))

También se puede hacer uso de luces tipo LED para indicar al usuario la aparición de nuevas situaciones [8], como por ejemplo la abertura de una ventana o la mala condición del aire interior de la vivienda.

Des del punto de vista sociológico, se trata de convertir la interfaz en una herramienta convivencial. Para cualificar la calidad de ella, se emplean 4 criterios [2]:

- Debe ser natural: Capaz de poder ser usada intuitivamente y donde el usuario se sienta cómodo con el funcionamiento y no se sienta rechazado por él.
- Debe ser fácil de aprender: Proporciona ayuda suficiente para que un usuario nuevo se capaz de familiarizarse rápidamente y aprender a usarlo al igual que una persona acostumbrada.
- Debe ser fácil de usar: Intuitivo y donde a simple vista se tenga noción de su funcionamiento y de sus limitaciones.
- Debe de ser consistente: Mantiene un estilo y unas pautas de acción independientemente de la tarea a realizar.

## 2.4. Arquitectura

Una vez estudiado el campo de la domótica y como se desarrolla, es necesario empezar a pensar en el diseño del sistema y de cómo se repartirán los componentes, sensores y actuadores, para su futuro uso.

Según cada ámbito de aplicación, la organización de los componentes puede dar diferentes arquitecturas.

### 2.4.1. Arquitectura Centralizada

Todos los sensores y actuadores envían la información a una unidad central que gestiona todas las entradas y salidas y contiene el programa para controlarlos a todos. De esta forma la respuesta es



inmediata y permite un control mucho más fácil ya que toda la información se gestiona en un mismo dispositivo. Por otro lado, en el negativo, si el sistema central deja de funcionar el resto lo sigue de la misma forma, inhibiendo la habilidad del resto de los componentes. Otro punto en contra es que el sistema está limitado al número de puertos que lo conforman debido a que la propia unidad central tiene que albergar todos los dispositivos conectados a él.



Figura 2.7 Arquitectura centralizada (Fuente: [9] [www.casadomo.com](http://www.casadomo.com))

### 2.4.2. Arquitectura Descentralizada

En la arquitectura descentralizada, en vez de tener una unidad central donde se maneja todo y que alberga toda la información, las funciones domóticas se reparten por unidades de manera que si una deja de funcionar el resto puedan seguir haciéndolo. Se envían información entre ellas, pero cada una funciona independientemente.

La gran ventaja es que se puede dividir los procesos en diferentes unidades para evitar que colapse el sistema fácilmente. Por otro lado, si se quiere actuar en algún dispositivo no se puede hacer directamente. Para hacerlo, se debe configurar una unidad que controle a las otras indirectamente a través de una interfaz.

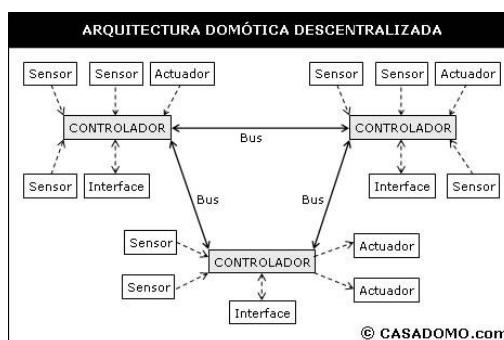


Figura 2.8 Arquitectura descentralizada (Fuente: [9] [www.casadomo.com](http://www.casadomo.com))

### 2.4.3. Arquitectura Distribuida

En la arquitectura distribuida, hay un bus central donde se recibe y envía toda la información y donde cada sensor y actuador es capaz de interactuar en el bus según el programa o configuración definida.

Permite una conexión rápida y directa entre los dispositivos. Por otro lado, no puede haber simultaneidad entre instrucciones y el sistema es frágil debido a que todo depende del bus de datos para funcionar.

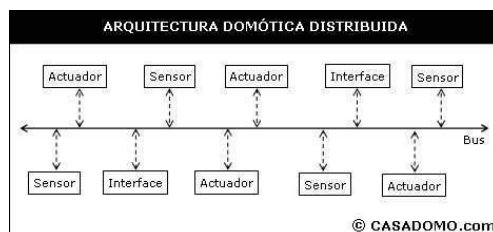


Figura 2.9 Arquitectura distribuida (Fuente: [9] [www.casadomo.com](http://www.casadomo.com))

#### 2.4.4. Arquitectura Mixta

La arquitectura Mixta junta los tres casos anteriores para formar una red híbrida (o mixta). De esta forma puede haber diferentes controladores intercambiando información e instrucciones, pero parte de los sensores y actuadores también pueden formar parte de un bus donde tengan poder para actuar sin la necesidad y supervisión de los controladores.

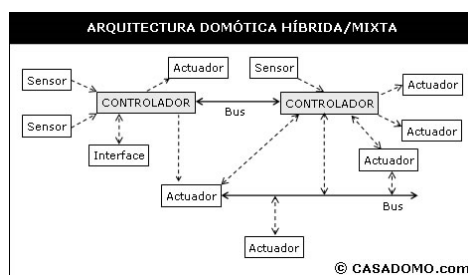


Figura 2.10 Arquitectura mixta (Fuente: [9] [www.casadomo.com](http://www.casadomo.com))

## 2.5. Comunicación

Según la interfaz escogida y la manera que se quiera transmitir la información, existen diferentes maneras de comunicar los dispositivos con el usuario y/u otros dispositivos.

#### 2.5.1. Comunicación directa persona – sistema domótico

Una manera de establecer un intercambio de datos entre usuario y sistema de forma física y directa es con una interfaz en la unidad central donde se pueda acceder directamente mediante, por ejemplo, una pantalla LCD, un teclado, pulsadores, potenciómetros, etc.

De esta forma la respuesta es inmediata debido que estamos actuando directamente en un controlador dentro de la arquitectura.

### 2.5.2. Comunicación RS232 – sistema domótico

En vez de usar una interfaz física en controlador, se puede usar la conexión RS232 que permite conectarse a un ordenador mediante un cable para intercambiar datos. De esta forma se puede diseñar una interfaz mucho más compleja (el ordenador ofrece muchas más posibilidades y capacidad que un controlador) a la vez que permite una conexión a distancia media. Queda condicionado por un mayor precio y un intercambio más lento de la información.

### 2.5.3. Comunicación I2C – sistema domótico

La comunicación I2C está más centrada a la conexión entre dispositivos digitales. Se establece mediante el uso de dos cables físicos donde permite conectar hasta 127 dispositivos esclavos con velocidades de 100, 400 y 1000 kbits/s [10].

Las dos señales se mantienen en estado alto hasta la señal de inicio de transmisión en el que el maestro aporta un reloj mediante la línea SCL para establecer la velocidad del tránsito de datos y por SDA se intercambian los bits de información.

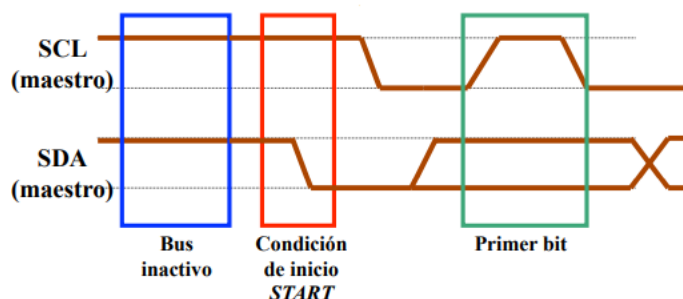


Figura 2.11 Protocolo de inicio y fin de transmisión I2C (Fuente: [10] diapositiva 16)



Figura 2.12 Ejemplo de transmisión en I2C (Fuente: [10] diapositiva 15)

Una gran ventaja respecto a la RS232 es que permite una confirmación de los datos recibidos una vez intercambiado los datos requeridos (ACK). De esta forma en caso de no haber establecido una conexión correcta permite la repetición de la acción para superar la incidencia.

#### **2.5.4. Comunicación Bluetooth – sistema domótico**

La comunicación Bluetooth permite también una conexión a distancia, pero sin cables. Es un gran avance porque si la interfaz se diseña para un dispositivo móvil, éste puede ser usado desde cualquier lugar de la vivienda (siempre y cuando se mantenga la conexión) permitiendo así un confort añadido. También da lugar a una mejora en el diseño de la interfaz. Por otro lado, el sistema es vulnerable a conexiones externas (aunque a poca distancia) y requiere un precio más elevado.

#### **2.5.5. Comunicación internet – sistema domótico**

Mediante la conexión internet abrimos el sistema a una infinidad de información a la cual se puede acceder para enriquecer mucho más el complejo de la instalación. También se consigue que la cantidad de componentes no esté condicionada por la cantidad de controladores (limitación de puertos) sino que se consigue un bus de información donde se pueden ir acoplando siempre y cuando se sea capaz de diseñar un software para garantizar una comunicación estándar entre todos (protocolo). El gran punto positivo es que permite el control remoto desde cualquier lugar de la tierra con conexión a internet.

Por otro lado, el sistema es mucho más complejo, vulnerable a posibles accesos de otros usuarios y económicamente hablando más caro.

### **2.6. Controlador**

El controlador se encarga de albergar el programa con la configuración y los algoritmos de los sensores, actuadores y/o controladores conectados a él. El dispositivo incluye una CPU (unidad de procesamiento central), una memoria para albergar las variables y datos que está procesando, una unidad de entradas y salidas (E/S) junto con una memoria ROM (*Read Only Memory*) donde leer el programa.

A gran escala, su funcionamiento se puede observar en la Figura 2.13.

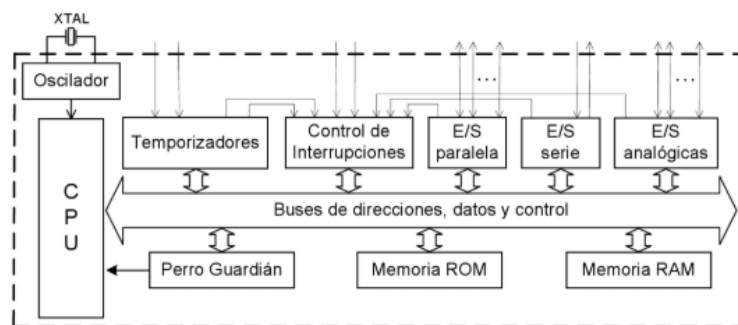


Figura 2.13 Esquema general de un microprocesador (Fuente: [11] página 14)

## 2.7. Sensores

Un sensor es capaz de transformar una magnitud física en eléctrica con el fin de medir ciertas propiedades físicas o químicas.

Según la variable física que midan, se pueden clasificar según la Figura 2.14.

Clasificación de los sensores según la variable física a medir	De posición, velocidad y aceleración
	De nivel y proximidad
	De humedad y temperatura
	De fuerza y deformación
	De flujo y presión
	De color, luz y visión
	De gas y pH
	Biométricos
	De corriente

Figura 2.14 Clasificación de los sensores por el tipo de variable medida. (Fuente [12]. página 18)

Algún ejemplo podría ser medir la temperatura, la concentración de una partícula o la intensidad lumínica para generar una señal eléctrica digital o analógica. Se trata por lo tanto de un dispositivo de entrada.

### 2.7.1. Señal digital

La señal digital es la que presenta valores discretos que proporcionan una información codificada en vez de una infinidad de valores compresa entre un rango. Mayoritariamente se emplea la lógica binaria para definir dos estados: 1 o 0 que indican el nivel alto o bajo de la señal.

Permite una calidad de la robustez de la señal ya que es mucho más fácil determinar en qué estado se encuentra debido a que sólo puede tener 2.

Gracias a la señal digital, se puede enviar información codificada de cualquier tipo siguiendo un protocolo específico como por ejemplo (como ya se ha visto antes) RS232 o I2C.

### 2.7.2. Señal analógica

La señal analógica es el valor continuo dentro de un conjunto de infinitos valores. Para simularla se acostumbra a usar un potenciómetro ya que es capaz de ofrecer un voltaje de salida proporcional a la posición del instrumento de control.

## 2.8. Actuadores

Los actuadores son los dispositivos capaces de transformar una señal eléctrica en otra física para generar un movimiento u acción dentro del automatismo. Algunos ejemplos pueden ser un LED (transforma la corriente eléctrica en ondas electromagnéticas del espectro visible), un transistor, que regula el paso de corriente entre dos pins controlado por el central, o un motor que hace girar la estructura de un toldo. Según su fuente de energía se pueden clasificar de la siguiente forma:



Figura 2.15 Clasificación de los actuadores. (Fuente [12]. página 26)

En el sistema domótico se pueden usar de todos los tipos, aunque se centran sobre todo en los electrónicos para los motores y hidráulicos en el control de tuberías.

## 3. Posibles soluciones

En este apartado, después de ver el funcionamiento del mercado y de todo lo que ofrece y sus propiedades típicas en cada campo de la domótica, se presentan una serie de decisiones para acotar el trabajo y darle el contexto real y establecer así la base donde desarrollaremos la memoria.

En este capítulo se recogen algunas posibles soluciones en alguno de los campos anteriores donde existe un rango de posibilidades, pero donde no todas corresponden al trabajo actual.

### 3.1. Vivienda

El estudio sobre la domótica en las viviendas y los consumos de energía en ellas concluye mostrando una gran variedad de aplicaciones donde los automatismos pueden contribuir a un ahorro en la energía, aportar confort y seguridad al usuario.

Está claro que la instalación se puede hacer en una mansión de 3 pisos y 2000 m<sup>2</sup>, con modelos como “momento jacuzzi” y que las luces se pongan a un porcentaje, la música jazz suene y la sauna se vaya calentando. Aun así, el objetivo de este trabajo es elaborar un sistema domótico capaz de generar un impacto positivo y con un mínimo de dispositivos usados para mostrar la habilidad del ingeniero a adaptarse a los diferentes campos de aplicación y aprender a manejar cada uno.

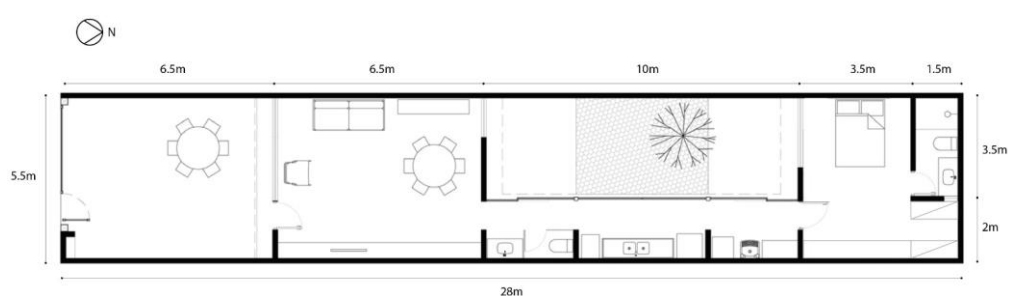
De este modo, si simplificamos la vivienda un poco y escogemos una estándar de tamaño reducido se puede instalar la misma variedad de componentes, pero sin repetir algunos que funcionarían del mismo modo. Los esenciales serán entonces:

- Toldo
- Persiana
- Aire acondicionado
- Calefacción
- Iluminación
- Control del consumo eléctrico (medir potencia y capacidad de actuar para evitar consumos elevados).
- Sistema de seguridad (control de ventanas, calidad del aire o detección de personas).

Algunos ejemplos de viviendas que podrían albergar la variedad de dispositivos deseados conservando la simplicidad, pero con la riqueza estructural son:



Figura 3.1

Figura 3.2 Planos de posibles viviendas donde instalar el sistema domótico (Fuente: [13]. [www.pinterest.es](http://www.pinterest.es))

Se observa que en los dos casos hay elementos como terrazas, donde podría haber un toldo, ventanales en la habitación y salón, con posibilidad de instalar una persiana, y grandes espacios para poner un sistema de aire/calefacción.

## 3.2. Interfaz

Para comunicar el usuario con el sistema, existen varias posibilidades.

Teniendo en cuenta la situación y mirando el mercado, casi siempre se usan pantallas con pulsadores (físicos o digitales) para controlar los elementos de la casa junto con, a veces, una aplicación móvil.





Figura 3.3 Ejemplo interfaz sistema domótico con ImperiHome (Fuente: [14] [www.imperihome.com](http://www.imperihome.com))

Existen servicios abiertos como Imperihome donde puedes diseñar tu propia aplicación según tus necesidades [14].

Para interactuar con el sistema con un diseño propio, las posibles maneras de conectarse se reducen a las siguientes:

- Interfaz física: Mediante una pantalla programable y una serie de pulsadores permitir al usuario acceder y controlar el sistema. Muy económico, con acceso inmediato al sistema, pero limitado por la necesidad de la presencia para actuar.
- Interfaz en Ordenador mediante RS232: Difícil de programar, pero con mucha más capacidad. El tamaño de la pantalla es mucho mayor y permite la disposición de muchos más datos simultáneamente.
- Interfaz en Móvil mediante una aplicación y Bluetooth: Dificultad media, pero distancia de trabajo óptima ya que permite el uso y acceso del sistema desde casi cualquier rincón.

## 4. Soluciones escogidas

### 4.1. Vivienda

Para poner en contexto la instalación y darle un uso real, se escoge una de las dos posibles soluciones presentadas.

La Figura 3.1, que era la propuesta inicial, después de estudiarla y pensar cómo repartir los dispositivos se observa que tiene muchas ventanas con diferentes orientaciones y que supone muchas E/S para las persianas teniendo todas el mismo funcionamiento.

Por otro lado, la Figura 3.2 da la posibilidad de instalar todos los dispositivos mínimos (discutidos en el apartado 2.2) y crear diferentes espacios donde el usuario está temporalmente: como por ejemplo la entrada o patio interior, el pasillo o el baño, generando así la capacidad de instalar luces auxiliares. Está claro que en una casa hay muchas más luces que solo en los sitios de paso, pero se centrará solo en estas zonas, debido a las limitaciones del PIC.

Por esta razón, y teniendo en cuenta que el gasto de la luz se puede reducir también pasivamente con el uso de LEDs, no se centrará en controlar la totalidad de la luz de la vivienda, sino aquella donde realmente que se encienda sola puede aportar una experiencia y confort positivo.

Aparte, el diseño alargado permite una circulación de los sistemas de aire directa permitiendo un ahorro en la energía (no se tienen que instalar varios dispositivos).

La repartición de los dispositivos se explica en el siguiente apartado.

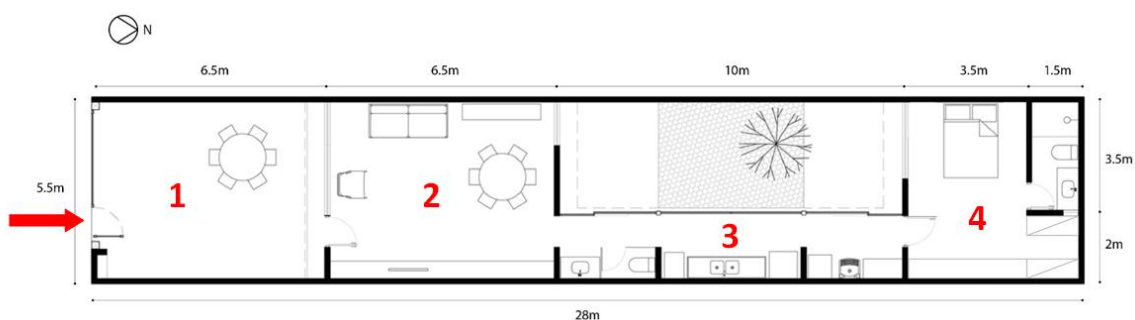


Figura 4.1 Plano de la vivienda escogida. (Fuente: [13] [www.pinterest.es](http://www.pinterest.es))

Por orden, consta de el jardín o entrada (1), la sala de estar/comedor (2) y un pasillo con la cocina, un lavadero y un baño (3). Por último, un dormitorio (4) con su baño principal.

## 4.2. Funciones del sistema

### 4.2.1. Climatización

Para controlar la temperatura de forma activa se instalarán calefacciones eléctricas y ventiladores de techo en el salón (2) y la habitación (4). El toldo, en el jardín (1), y las persianas, para la oscuridad total de la habitación (4) actuarán de forma pasiva. Se instalará un sensor de luz interior para el salón (donde el usuario pasará la mayoría del tiempo y el toldo afecta de manera directa) y un sensor de temperatura para evaluar el estado de la sala (2).

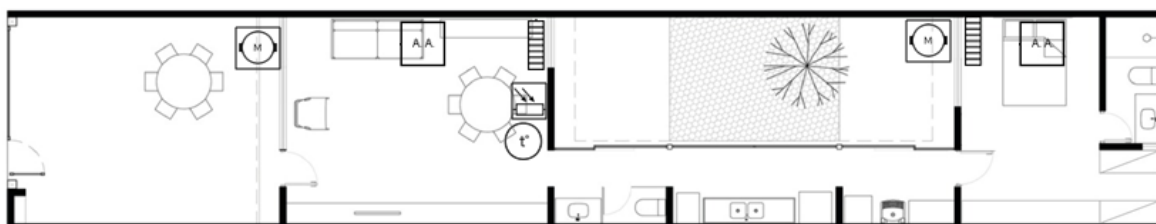


Figura 4.2 Dispositivos para el control de la climatización (Fuente propia)

	Motor toldo/persiana
	Aire acondicionado
	Detector de luz
	Sensor de temperatura
	Calefacción

Tabla 2 Leyenda símbolos Figura 4.2 (Fuente: [15] [www.simbologia-electronica.com](http://www.simbologia-electronica.com))

Debido a la orientación de la casa con oberturas al sur, el toldo y la persiana podrán proteger el interior del sol efectivamente.

### 4.2.2. Electrodomésticos

La desconexión de los dispositivos como la lavadora y el lavaplatos se hará durante el día para evitar el uso a su usuario y permitirle el nocturno para ahorrar en la factura eléctrica.

### 4.2.3. Iluminación

3 sensores de presencia junto a 3 circuitos de luces con sus respectivos pulsadores para activarlas manualmente controlaran la iluminación de las zonas de paso como son el jardín/entrada (1), el pasillo (3) del salón a la habitación y el baño de la habitación (4).

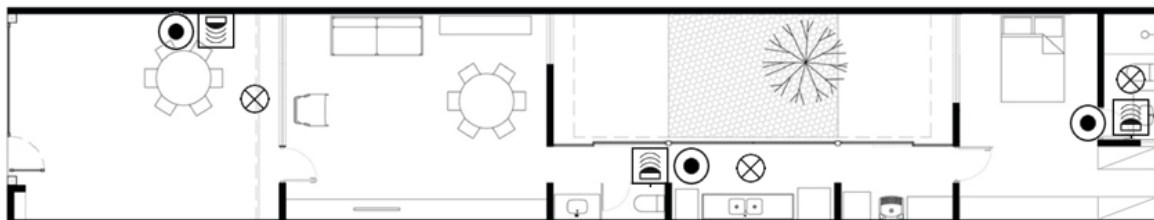


Figura 4.3 Dispositivos para el control de la iluminación (Fuente propia)




	Bombilla genérica
	Sensor de presencia
	Pulsador

Tabla 3 Leyenda símbolos Figura 4.3 (Fuente: [15]. [www.simbologia-electronica.com](http://www.simbologia-electronica.com))

### 4.2.4. Seguridad

Para proteger el consumo de los sistemas de climatización, se instalarán dos sensores que determinaran si las ventanas están abiertas o cerradas para desactivar dichos sistemas (en la entrada y en la habitación).

Los sistemas de presencia de las luces también actuarán como elementos de seguridad para detectar potenciales intrusos mientras se esté fuera de casa, activando así una alarma.

Se medirá la posición del toldo mediante un encoder para evitar que el motor gire más de lo necesario y se pase de vueltas. Se instalará también un sensor de viento para protegerlo.

Para el bienestar del usuario, se instalará un sensor de calidad del aire en el salón/comedor.

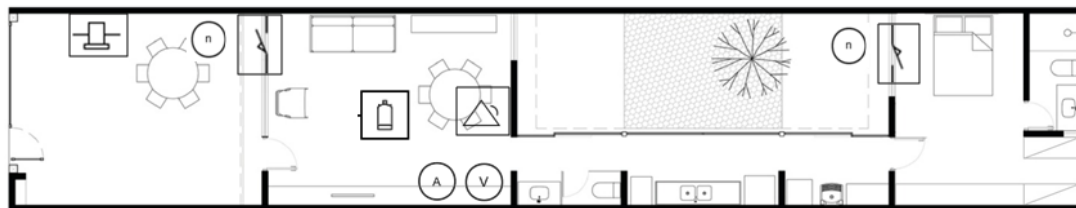


Figura 4.4 Sistemas de seguridad (Fuente propia)

	Contacto de cierre (ventanas)
	Encoder de los motores
	Transductor: Sensor de viento
	Control calidad del aire
	Alarma
	Amperímetro
	Voltímetro

Tabla 4 Leyenda de los símbolos de la Figura 4.4. (Fuente: [15] [www.simbologia-electronica.com](http://www.simbologia-electronica.com))

El consumo de energía en un piso de unos 80 – 100 m<sup>2</sup>, con la variedad de electrodomésticos mencionados antes, si la mayoría son alimentados por la red eléctrica, queda recogido en la Tabla 5.

Estancia/Equipo	Potencia (W)	Factor de simultaneidad (Fn)	Factor de utilización (Fu)	Potencia Total (W)
<b>Cocina</b>				
Nevera	500	1	1	500
Horno	1500	0,5	0,75	562,5
Microondas	950	0,4	0,5	190
Vitrocerámica	Gas natural			
Tostadora	1000	0,5	0,75	375
Lavavajillas	1500	0,66	0,75	742,5
<b>Entretenimiento</b>				
TV	200	0,2	0,25	10
Ordenador sobremesa	250	0,2	0,25	12,5
<b>Lavandería y limpieza</b>				
Lavadora	1500	1	0,75	1125
Plancha	1200	0,4	0,5	240

Aspiradora	1000	0,4	0,5	200
Climatización				
Ventilador de techo	60	0,2	0,25	3
Calefacción	2500	0,7	0,25	437,5
ACS	1500	0,7	0,5	525
Iluminación				
<20 LED	400			0
<b>Total</b>	<b>14060</b>			<b>4923</b>

Tabla 5 Potencias eléctricas de los equipos con factores de simultaneidad y de utilización (Fuente propia)

Teniendo en cuenta los factores de simultaneidad y utilización definidos por ITC-BT-25 [16] se calcula la potencia real que consumirá la vivienda: alrededor de unos 4,9kW como mucho.

### 4.3. Interfaz

En cualquier casa domótica hay paneles donde el usuario interactúa con el sistema. De esta forma está claro que se tendrá que hacer un diseño físico mínimo. Constará de una pantalla donde mostrar la información, y pulsadores para navegar por el menú.

Para que cumpla con las cualidades de una buena interfaz, se hará un diseño de control similar al de cualquier dispositivo controlable: un botón para seleccionar/pulsar OKAY, otro para volver atrás o cancelar y dos para moverte horizontalmente en el menú. De esta forma el usuario podrá actuar instintivamente y se le hará natural el funcionamiento.

Para extender las posibilidades de aplicación, se añadirá un teclado para habilitar el cambio de cualquier parámetro. Se podrá controlar la temperatura, la hora definida o poner una contraseña de seguridad para desbloquear el sistema.

Ya que el control remoto es una propiedad típica de estos sistemas, se habilitará la conexión Bluetooth para que mediante una aplicación se pueda realizar las mismas funciones que desde la interfaz física, pero con la ventaja de permitir la distancia.

De este modo, la placa con la interfaz se situará cerca de la entrada, al lado de la puerta (sala 2 de la Figura 4.1) para que se pueda regular el paso de entrada y a la vez poder controlarse desde la zona más transitada.

## 4.4. Arquitectura

Después de hacer el estudio previo de las funciones a realizar en la vivienda, se hace un resumen de las cualidades importantes que debe cumplir y que la conforman:

- Debe cumplir varios controles de dispositivos diferentes (iluminación, calefacción o seguridad).
- Cuantos más sensores y actuadores más completo podrá ser el sistema (podrá controlar más magnitudes y actuar de forma más compleja).
- Debe permitir un control del sistema y por lo tanto un acceso fácil y rápido a él.

Visto los parámetros que deberá cumplir, se puede extraer que:

- Se necesitarán muchos puertos E/S para enriquecer el sistema o un bus de datos donde se puedan conectar con varios dispositivos.
- Se necesitará más de un microcontrolador para dividir los procesos de control.
- El sistema debe ser descentralizado para evitar que todo dependa de un solo microcontrolador.

La arquitectura mixta soluciona todos los requisitos propuestos. Es capaz de albergar gran cantidad de elementos mediante un bus de datos, pero con la descentralización de las acciones debido al uso de varios microcontroladores. Se usará uno para tener todas las rutinas de las funciones estudiadas en el apartado 4.2 y otro para acceder al sistema como si fuera una central de intercambio de información mediante la interfaz definida en el apartado 4.3.

Añadir más microcontroladores en casos en que la vivienda fuese más exigente no sería problema ya que la tecnología para conectar dos entre si ya estará diseñada.

## 4.5. Comunicación

Debido a la arquitectura y la interfaz que requiere el sistema, se emplearan dos tipos de conexión principalmente:

- I2C: Crea un bus donde microcontroladores y sensores/actuadores pueden intercambiar información y enviarse instrucciones. Esto resuelve la arquitectura descentralizada y habilita el bus para conformar la mixta o híbrida.
- Bluetooth: Permite el uso desde una distancia más cómoda y la creación de una aplicación mucho más completa y compleja que la física.

La conexión RS232 no se usará por dos grandes razones. En una vivienda normalmente no se usan ordenadores para controlar la casa debido a que no es como una fábrica donde constantemente se monitoriza el estado de las diferentes máquinas. Como mucho serviría para controlar las cámaras de seguridad (que no se van a instalar en este caso). También se podría extraer los datos de consumo de kWh para crear gráficas y tener un mayor conocimiento sobre el consumo diario. Por otro lado, aunque se quisiera hacer todo esto, su programación sería mucho más complicada que programar un microcontrolador y se tiene que acotar por algún sitio.



## 5. Hardware

Para satisfacer todas las necesidades recogidas, se cuenta con dos placas: la Unidad Central y el Módulo de Energía.

La primera, como dice su nombre, será el centro de conexión entre la electrónica y el usuario y se instalará cerca de la entrada para actuar como reguladora de paso y estará en el salón (sala 2 de la Figura 4.1). La segunda tendrá todas las funciones de control instaladas y sólo recibirá instrucciones de cómo seguir actuando, y se situará en un punto medio entre el salón y el pasillo, para estar en un punto intermedio de todos los dispositivos que gestionará.

### 5.1. Diagrama de bloques

Aquí se recoge la repartición general de los componentes.

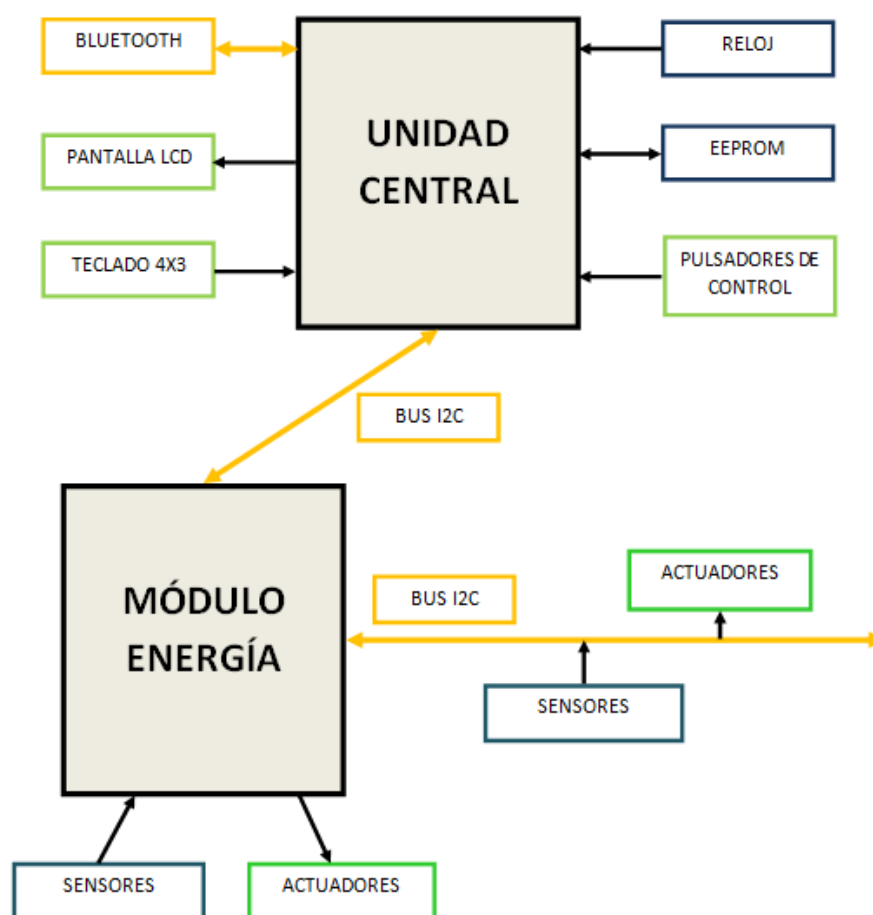


Figura 5.1 Diagrama de bloques (Fuente propia)

## 5.2. Placa Máster: Unidad Central

### 5.2.1. Diagrama de bloques

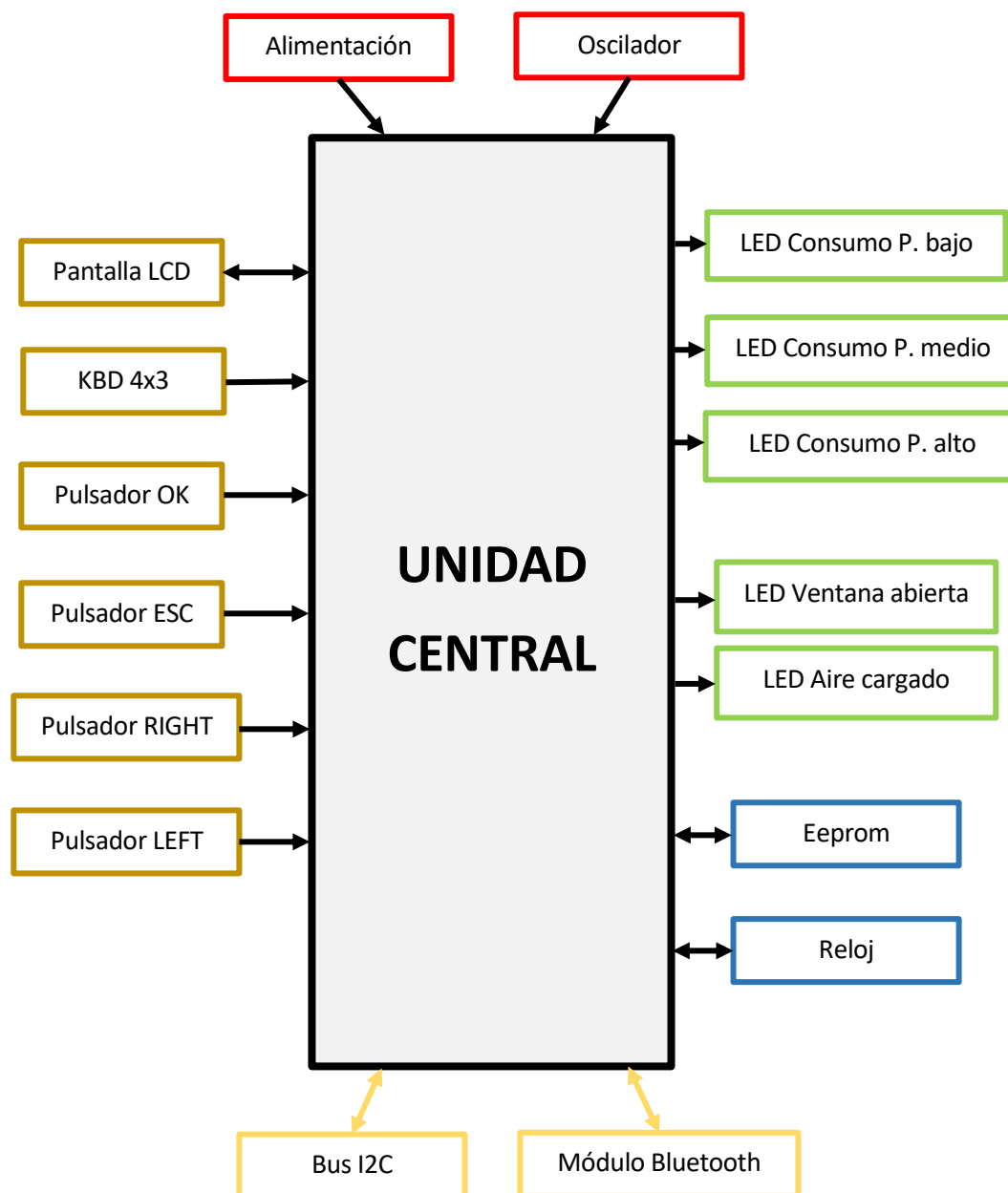


Figura 5.2 Diagrama de bloques de la Unidad Central

## 5.2.2. Componentes

### 5.2.2.1. Microcontrolador

Tal y como se presenta en los objetivos del proyecto, el controlador a utilizar tiene que ser de la familia PIC, de Microchip. La gama 18F es superior a la 16F debido al aumento memoria interna, prioridad en las interrupciones y permite el funcionamiento RTOS (*Real-Time Operating System*) [17]. Dentro de ésta, las propiedades de los diferentes diseños se recogen en la Tabla 6.

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-Bit A/D (ch)	CCP/ECCP (PWM)	SPP	MSSP		EAUSART	Comparators	Timers 8/16-Bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					SPI	Master I <sup>2</sup> C™			
PIC18F2455	24K	12288	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F2550	32K	16384	2048	256	24	10	2/0	No	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4455	24K	12288	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3
PIC18F4550	32K	16384	2048	256	35	13	1/1	Yes	Y	Y	1	2	1/3

Tabla 6 Comparación dispositivos PIC18F (Fuente: [18]. [www.microchip.com](http://www.microchip.com))

El PIC18F4550 tiene la mayor memoria Flash, más E/S, permite la conexión I2C y una gran variedad de interrupciones por lo tanto se escoge para el proyecto.

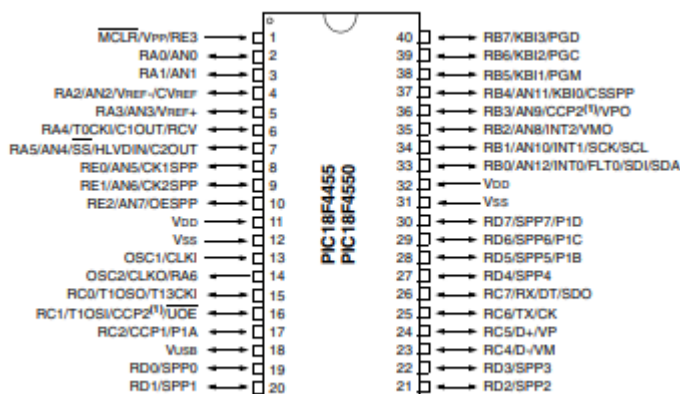


Figura 5.3 Esquema pines del PIC18F4455 y 4550 (Fuente: [18]. [www.microchip.com](http://www.microchip.com))

Las interrupciones más útiles que se pueden usar son:

Interrupción	Descripción
#INT_EXT	Interrupción externa (RB0)
#INT_EXT1	Interrupción externa #1. (RB1)
#INT_EXT2	Interrupción externa #2. (RB2)
#INT_RB	Cambio de estado en B4-B7.

#INT_RA	Cambio de estado en A0-A5.
#INT_RC	Cambio de estado en C4-C7
#INT_RDA	RS232 dato recibido.
#INT_SSP	Actividad en SPI o I2C.

Tabla 7 Interrupciones más usadas (Fuente: [17] página 88)

Algunas características principales son:

Característica	Microchip
Ancho de bus de datos	8 bit
Frecuencia de reloj máxima	48MHz
Tamaño de memoria del programa	32 KB
Tamaño de RAM de datos	2048 B
Tamaño de bits A/D	10 bit
Canales A/D disponibles	13
Interfaz	EAUSART, I2C, SPI
Temperatura de trabajo máxima	85 °C
Temperatura de trabajo mínima	-40 °C
E/S Programables	35
Temporizadores	4
Voltaje de alimentación – Máx.	5.5 V
Voltaje de alimentación – Mín.	4.2 V

Tabla 8 Características PIC18F4550 (Fuente: [18] [www.microchip.com](http://www.microchip.com))

Una vez visto las cualidades del microcontrolador, se asignan los componentes a cada pin según las funciones de cada puerto.

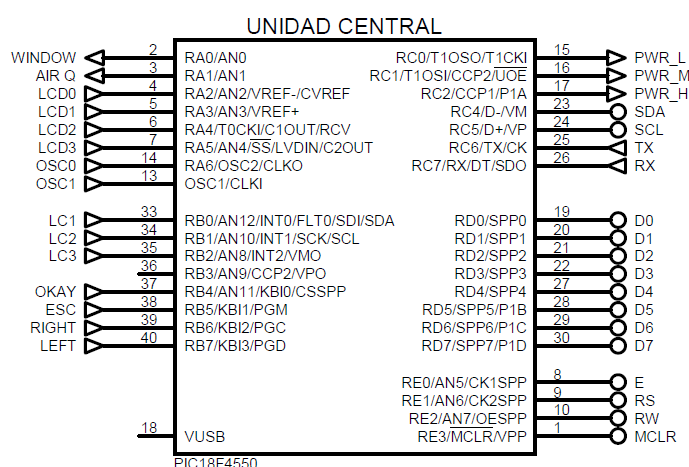


Figura 5.4 Repartición de los pines del PIC18F4550 (Unidad Central) en Proteus

## Componentes

- 1 microcontrolador PIC18F4550

## Conexión

La conexión de los componentes se explica uno por uno en los siguientes subapartados.

### 5.2.2.2. Oscilador

Para que funcione el controlador a una frecuencia controlada y ésta se pueda variar según la complejidad del sistema, se usa un oscilador externo. En este caso se usará uno de alta velocidad (4MHz) junto con dos condensadores. Según el *datasheet* el valor óptimo para osciladores de cristal de 4MHz es de 27pF.

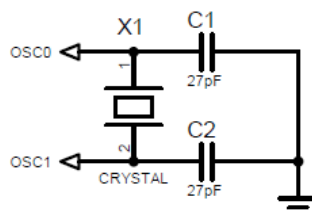


Figura 5.5 Esquema oscilador en Proteus.

## Componentes

- 1 cristal de cuarzo de 4MHz
- 2 condensadores de 27pF

## Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
OSC0	14
OSC1	13

Tabla 9 Conexión del oscilador

### 5.2.2.3. Alimentación

Con la información recogida en el apartado 5.2.2.1, se determina que el PIC requiere 5V de tensión para funcionar óptimamente.

Para pasar de los 230 VAC a 5 VDC se emplea un transformador para rebajar la tensión y aislar el circuito, un puente de Graetz para hacerla continua y un transistor LM7805 junto a condensadores

para estabilizar la señal a 5V. Mirando el *datasheet*, en el apartado “28.0 Electrical Characteristics” dice que como máximo consume 300 mA. La pantalla LCD solo consume 1 mA (despreciable) pero los LED unos 10 aproximadamente, cada uno.

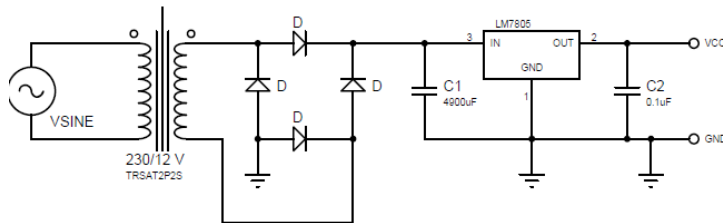


Figura 5.6 Esquema fuente de alimentación en Proteus

### Cálculos

El propio fabricante indica que el condensador de salida  $C_2$  tiene que ser de  $0,1 \mu F$ .

Por otro lado,  $C_2$  se calcula siguiendo los siguientes pasos.

$$I_c = 2PIC + 16LED = 2 \cdot 300mA + 16 \cdot 10mA = 760 \text{ mA} \quad (1)$$

Tensión máxima a la salida del transformador de 230/12V:

$$V_{MÁX} = V_{RMS} \cdot \sqrt{2} = 12 \cdot \sqrt{2} = 16,97 \text{ V} \quad (2)$$

Después del puente de diodos (solo actúan 2 en cada media onda).

$$V_{IN} = V_{MÁX} - V_D \cdot 2 = 16,97 - 2 \cdot 0,7 = 15,57 \text{ V} \quad (3)$$

El voltaje de rizada  $V_R$  del 10% es entonces 1,557 V. El condensador se calcula:

$$C_1 = \frac{I}{2 \cdot f \cdot V_R} = \frac{760 \text{ mA}}{2 \cdot 50 \cdot 1,557 \text{ V}} = 4,88 \text{ mF} = 4881,18 \mu F \approx 4900 \mu F \quad (4)$$

Debido a que el dispositivo LM7805 se puede calentar durante la corriente pico (todo funcionando a la vez), se calcula la posibilidad de instalar un disipador. En el *datasheet* se encuentra la información necesaria.

#### package thermal data (see Note 1)

PACKAGE	BOARD	$\theta_{JC}$	$\theta_{JA}$
POWER-FLEX (KTE)	High K, JESD 51-5	3°C/W	23°C/W
TO-220 (KC/KCS)	High K, JESD 51-5	3°C/W	19°C/W

NOTE 1: Maximum power dissipation is a function of  $T_J(\text{max})$ ,  $\theta_{JA}$ , and  $T_A$ . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is  $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A)/\theta_{JA}$ . Operating at the absolute maximum  $T_J$  of 150°C can affect reliability.

Figura 5.7 Datos térmicos LM7805 (Fuente: [19]. Página 2)



Aparte,

- $T_{J(máx)} = 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $T_A = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$P_D = \frac{T_{J(máx)} - T_A}{\theta_{JA}} = \frac{150 \text{ }^{\circ}\text{C} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}}{23 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}}} = 5,43 \text{ W} \quad (5)$$

La ecuación (5) indica la máxima que puede aportar sin disipador, mientras que en la 6 se calcula el que realmente se puede llegar a generar.

$$P_{real \text{ máx.}} = \Delta V \cdot I = (16,97 \text{ V} - 5 \text{ V}) \cdot 760 \text{ mA} = 9,10 \text{ W} \quad (6)$$

Debido a que  $P_{real \text{ máx.}}$  es superior a  $P_D$  se requiere la instalación de uno.

La fórmula para calcular la resistencia mínima del disipador es:

$$\begin{aligned} \theta_{DA(min)} &= \frac{T_{J(máx)} - T_A}{P_{real \text{ máx.}}} - \theta_{JC} - \theta_{CD} = \frac{150 \text{ }^{\circ}\text{C} - 25 \text{ }^{\circ}\text{C}}{9,10 \text{ W}} - 3 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}} - 0,5 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \\ &= 10,24 \frac{\text{ }^{\circ}\text{C}}{\text{W}} \end{aligned} \quad (7)$$

### Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
1 transformador 230/12 V 4 diodos 1 LM7805 1 condensador 4700 $\mu\text{F}$ 1 condensador 0.1 $\mu\text{F}$	Batería de 5 V

Tabla 10 Componentes para la alimentación

### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
VCC	1, 32, 11
GND	12, 31

Tabla 11 Conexión de la fuente de alimentación

### 5.2.2.4. Botón reinicio

En el pin 1 hay el *master clear* negado. Por lo tanto, si se pone en 0, se activa el *reset* del microcontrolador.

Para estabilidad de la señal se le acopla un condensador en paralelo.

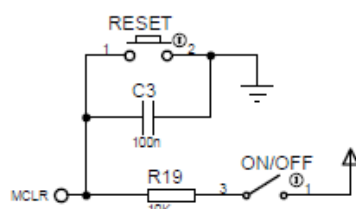


Figura 5.8 Esquema circuito de Reset y alimentación en Proteus

#### Componentes<sup>1</sup>

- 1 botón 12mm x 12mm.
- 1 condensador 100nF.
- 1 resistencia 10KΩ.
- 1 interruptor.

#### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
MCLR	1

Tabla 12 Conexión del botón Reset.

### 5.2.2.5. Pantalla LCD

El display para la interfaz es una pantalla LCD 16x2. Permitirá mostrar gráficamente los diferentes menús y variables a controlar. La salida  $V_{EE}$  controla la luminosidad de la pantalla, por lo que se instala un potenciómetro para variarla según la situación.

<sup>1</sup> La no especificación del prototipo al que pertenecen implica el mutuo uso en los dos casos.



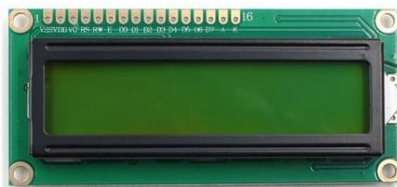


Figura 5.9 Display LCD 16x2 (Fuente: [20]. [www.diotronic.com](http://www.diotronic.com))

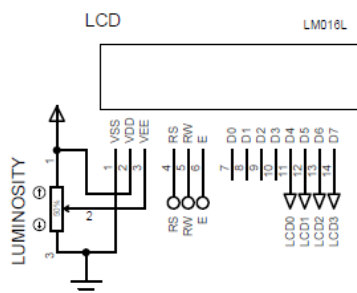


Figura 5.10 Esquema circuito LCD en Proteus

Componentes

- 1 pantalla LCD 16x2

Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
VSS	GND
VDD	VCC
VEE	LUMINOSITY
RS	9
RW	10
E	8
D4	4
D5	5
D6	6
D7	7

Tabla 13 Conexionado de la pantalla LCD.

**5.2.2.6. Teclado 4x3**

Hecho a partir de pulsadores con resistencias *pull-up* permite crear una matriz de datos que luego desde el PIC se leen.



Figura 5.11 Teclado 4x3 (Fuente: [20]. [www.diotronic.com](http://www.diotronic.com))

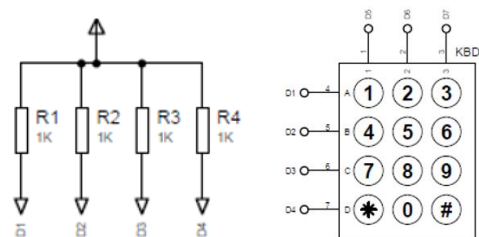


Figura 5.12 Esquema teclado 4x3 (Fuente: [20]. [www.diotronic.com](http://www.diotronic.com))

Componentes

- 1 teclado 4x3

Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
1	20
2	21
3	22
4	27
5	28
6	29
7	30

Tabla 14 Conexiones del teclado 4x3

**5.2.2.7. Bus I2C**

Para enviar información desde el PIC principal al otro, se usa la conexión I2C. Con el mismo bus se podrían conectar hasta 127 dispositivos más.

La línea se tiene que mantener alta mientras no se utiliza por lo que se ponen dos resistencias *pull-up*.

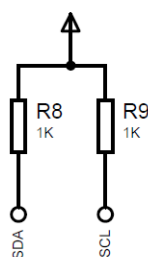


Figura 5.13 Esquema resistencias pull-up del bus I2C en Proteus

### Componentes

- 2 resistencias 1K $\Omega$ .

### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
SDA	23
SCL	24

Tabla 15 Conexiones del bus I2C

### 5.2.2.8. Módulo conexión Bluetooth

El HC-06 abre a la placa a la conexión Bluetooth. Se acopla por las entradas RX (*Receiver*) y TX (*Transmitter*) con las del módulo invertidas. Esto es debido a que mientras un usuario envía, el otro está recibiendo.

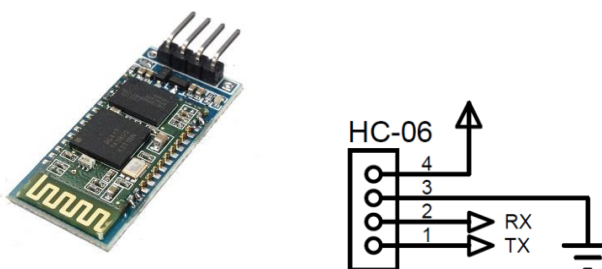


Figura 5.14 Módulo HC-06 (izquierda) (Fuente: [20]. [www.diotronic.com](http://www.diotronic.com)) y sus conexiones (derecha) en Proteus

Con la interrupción #INT\_EXT se detecta el envío de información al PIC para poder actuar consecuentemente.

### Componentes

- 1 módulo Bluetooth HC-06.

**Conexión**

Pines del esquema	Conexión en el PIC
VCC	VCC
GND	GND
RX	26
TX	25

Tabla 16 Conexiones del módulo Bluetooth.

**5.2.2.9. Eeprom**

Para guardar los datos más significantes como la energía consumida durante el día se usa una *Eeprom*. Se conecta por I2C en el mismo bus que el del PIC esclavo para ahorrar pines.

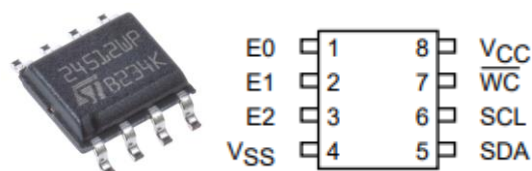


Figura 5.15 Eeprom M24512 (izquierda) (Fuente: [20] [www.diotronic.com](http://www.diotronic.com)) y su esquema (derecha) (Fuente: [21] página 7)

E0, E1 y E2 sirven para definir la dirección de la memoria en el bus I2C.

Table 2. Device Select Code

	Device Type Identifier <sup>(1)</sup>				Chip Enable Address <sup>(2)</sup>			RW
	b7	b6	b5	b4	b3	b2	b1	b0
Device Select Code	1	0	1	0	E2	E1	E0	RW

Figura 5.16 Direccionamiento de la eeprom (Fuente: [21] página 10)

Si se ponen a GND los tres pines, su dirección será A0 en hexadecimal o 1010 000x en binario.

Los procesos para escribir y leer la memoria se presentan a continuación.

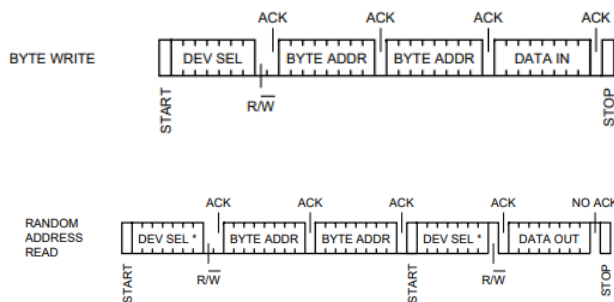


Figura 5.17 Rutina de escritura (arriba) y de lectura (abajo) de la memoria eeprom (Fuente: [21] páginas 15 y 18)

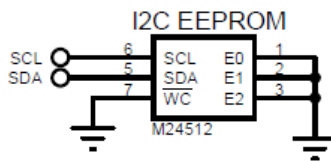


Figura 5.18 Eeprom con conexión I2C (M24512) en Proteus

### Componentes

- 1 eeprom M24512

### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
E0	GND
E1	GND
E2	GND
VSS	GND
SDA	23
SCL	24
/WC	GND
VCC	VCC

Tabla 17 Conexiones de la memoria eeprom M24512

### 5.2.2.10. Reloj

El sistema no funciona igual durante todo el día ni el año. Durante la noche debe saber cuándo activar los electrodomésticos que consumen más y dependiendo de la estación la temperatura óptima puede aumentar o disminuir.

Para ahorrar pines, se usa un reloj con conexión I2C. Existen módulos que ya tienen una batería propia de 3V para el dispositivo, junto con un oscilador y sus componentes necesarios.

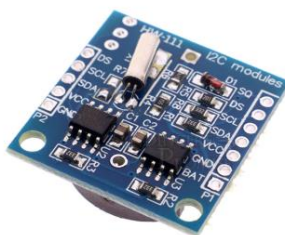


Figura 5.19 Módulo I2C reloj DS1307 (Fuente: [20] [www.diotronic.com](http://www.diotronic.com))

Para leer los datos que transmite, se dirige a los bits de memoria indicados en la Figura 5.20. Su dirección es D0 en hex. (teniendo en cuenta que para leer se pone el bit 0 a 1 y pasa a ser D1), tal y como indica en la página 12 del datasheet [22].

**Table 2. Timekeeper Registers**

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds			Seconds	00-59	
01h	0	10 Minutes			Minutes			Minutes	00-59	
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours			Hours	1-12 +AM/PM 00-23	
		24	PM/AM							
03h	0	0	0	0	DAY			Day	01-07	
04h	0	0	10 Date		Date			Date	01-31	
05h	0	0	0	10 Month	Month			Month	01-12	
06h	10 Year			Year			Year	00-99		
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h-3Fh								RAM 56 x 8	00h-FFh	

0 = Always reads back as 0.

**Figura 5.20** Registros para leer los datos del reloj DS1307 (Fuente: [22] página 8)

## Componentes

- 1 módulo reloj DS1307 con conexión I2C.

## Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
DS	
SCL	24
SDA	23
VCC	VCC
GND	GND

**Tabla 18** Conexiones del módulo I2C del reloj DS1307

### 5.2.2.11. Pulsadores interfaz

Para moverte por el menú de la pantalla LCD, se emplearán 4 pulsadores que simbolizan las 4 instrucciones típicas mínimas:

- LEFT, RIGHT: Moverse entre las pantallas.
- OK: Seleccionar la pantalla a actuar o confirmar la acción.
- ESC: Volver al menú anterior/principal y cancelar la acción en curso.

Gracias a las interrupciones del PIC se pueden instalar en estos pines donde independientemente de la acción que esté ocurriendo (mostrar X valor o editar una pantalla) pueden actuar sobre ellos. En este caso se instalan en los pines B4-B7 para que todos formen parte de una interrupción (#INT\_RB).

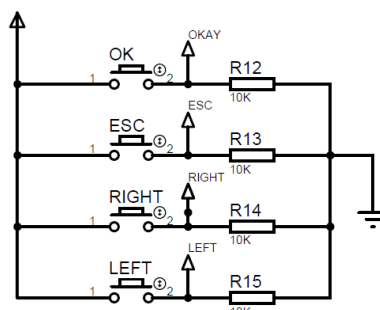


Figura 5.21 Esquema pulsadores de la interfaz en Proteus

Al pulsar se cierra el circuito y le llega una señal alta al PIC de intensidad baja gracias a la resistencia en serie.

#### Componentes

- 4 Pulsadores 12mm x 12mm.
- 4 resistencias 10kΩ.

#### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
OKAY	37
ESC	38
RIGHT	39
LEFT	40

Tabla 19 Conexiones de los pulsadores de la interfaz.

#### 5.2.2.12. Pulsadores control de luces

Como toda luz instalada en casa, necesita un botón para que el usuario tenga el control manual por encima del automático. Lo malo de usar interruptores es que estableces una señal estable, por ejemplo, en 1 cuándo la quieres encendida, pero si se olvida de apagarla es complicado medir cuando es cada situación. Con un botón consigues mandar una señal conforme el usuario quiere cambiar el estado de la luz independientemente de en qué estado esté. De esta forma desde el software se puede invertir la señal de la salida de la luz, pero al final del día se puede apagar y esperar a otra señal para actuar sobre la luz manualmente.

Gracias a las interrupciones del puerto B0, B1 y B2, se consigue instalar 3 pulsadores que siempre que se pulsen invertirán el estado de la luz a gusto del usuario pero que no dejen una señal falsa constante que pueda liar el sistema.

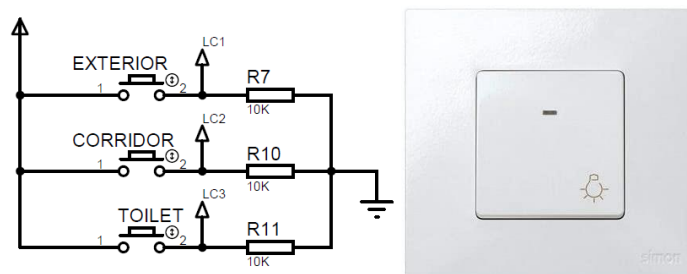


Figura 5.22 Esquemático de los pulsadores de control de las luces en Proteus (izquierda) y pulsador real (derecha, Fuente: [23] [www.amazon.es](http://www.amazon.es))

LCX representa “Light Control X” que indica que sirve para controlar la luz X. En la PCB hay Exterior, Corridor o Toilet.

#### Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
3 pulsadores.	3 pulsadores 12mm x 12mm.
3 resistencias 10kΩ.	3 resistencias 10kΩ.

Tabla 20 Componentes para los pulsadores de control

#### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
LC1	33
LC2	34
LC3	35

Tabla 21 Conexiones de los pulsadores del control manual de luces

#### 5.2.2.13. LEDs informativos

La unidad central contiene varios elementos para mostrar al usuario el funcionamiento y estado del sistema. Aparte de la pantalla LCD se instalan varios LEDs que indicaran informaciones específicas al iluminarse:

- PWR\_L: Potencia consumida actual baja (0-3 kW)
- PWR\_M: Potencia consumida actual media (3-8 kW)
- PWR\_H: Potencia consumida actual alta (8-10 kW)



- AIR Q: Calidad del aire baja o cargado. Se recomienda abrir ventanas.
- WINDOW: Hay alguna ventana abierta por lo que el aire/calefacción (en el caso de que se tuviera que encender) no lo hace.

### Cálculos

Un LED tiene una caída de tensión de 2V aproximadamente dependiendo del color que irradian. Su corriente óptimo es de 10mA. Se calcula la resistencia en serie óptima para él.

$$R = \frac{V}{I} = \frac{5 - 2}{0.01} = 300 \Omega \quad (8)$$

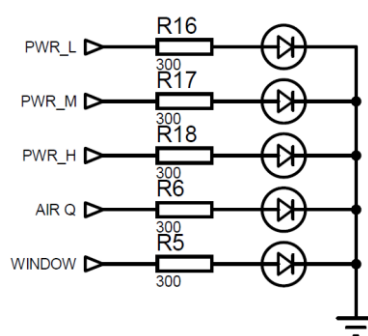


Figura 5.23 Esquema LEDs informativos en Proteus

### Componentes

- 5 LEDs 5mm.
- 5 resistencias de 300Ω.

### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
LC1	33
LC2	34
LC3	35

Tabla 22 Conexiones de los LEDs informativos

### 5.2.3. Esquema

Todos los componentes para conformar la placa “Unidad Central” con su interfaz, sus pulsadores de control y sus componentes periféricos se muestran en el esquema de conexiones general. Su presentación normalizada se encuentra en el volumen de los planos.

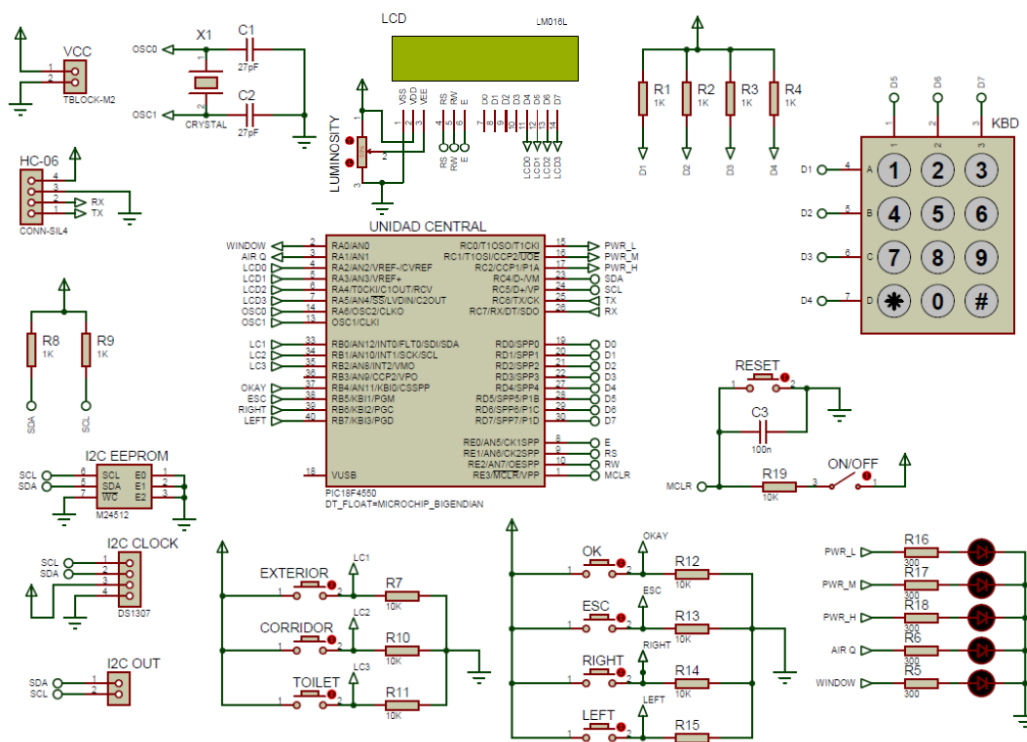


Figura 5.24 Esquema completo Unidad Central

### 5.2.4. Diseño PCB

Con los componentes escogidos para esta primera placa, se procede a hacer el diseño en PCB para el prototipo de pruebas. Se podría optar por un diseño más compacto, pero se busca el equilibrio entre tener un aspecto de interfaz y ser funcional y pequeño a la vez. Su diseño se encuentra en el volumen de planos, aunque se obtiene una visión 3D con Proteus.

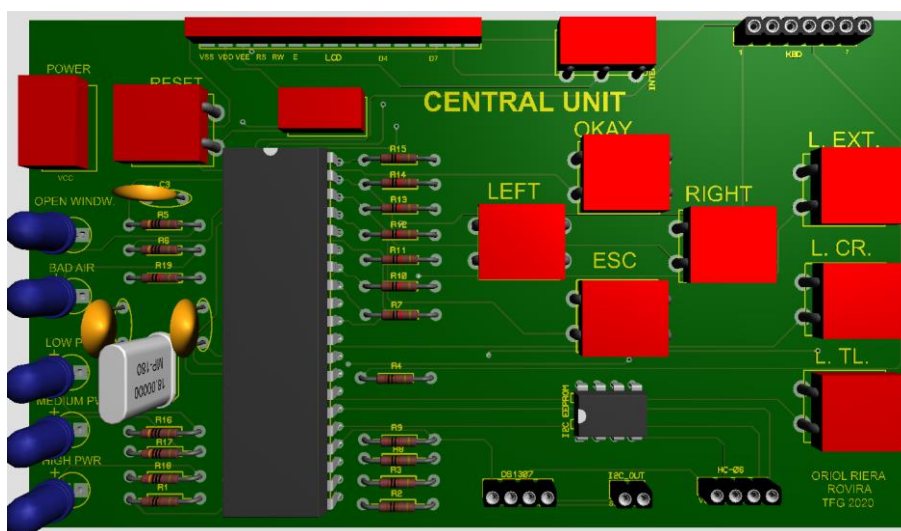


Figura 5.25 Diseño 3D de la Unidad Central en Proteus

### 5.2.5. Resultado final

Tras la impresión de las PCBs mediante el servicio de JLCPCB y comprar todos los componentes en Diotronic, Amazon o Aliexpress se ensamblan todos los componentes para formar el prototipo de pruebas.

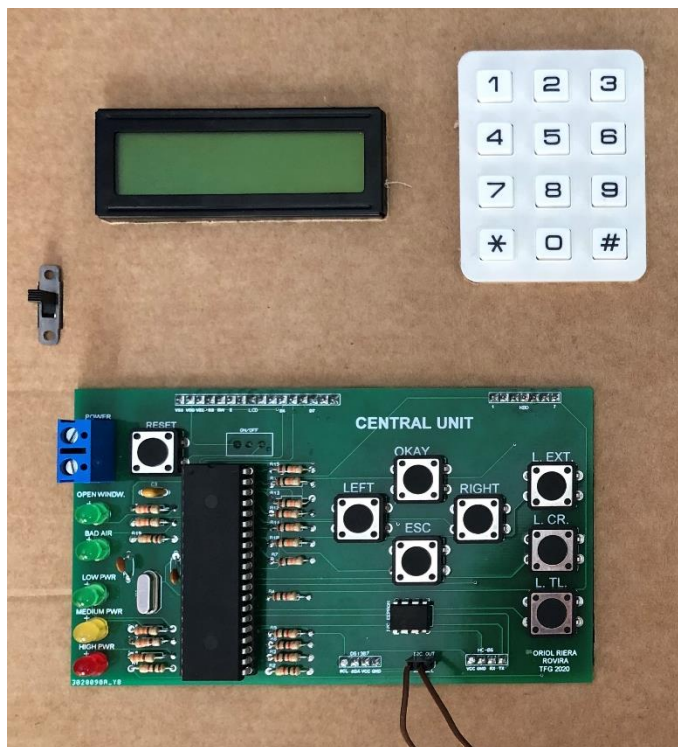


Figura 5.26 Hardware de la Unidad Central ensamblado (Fuente propia)

### 5.3. Placa Slave: Módulo de Energía

#### 5.3.1. Diagrama de bloques

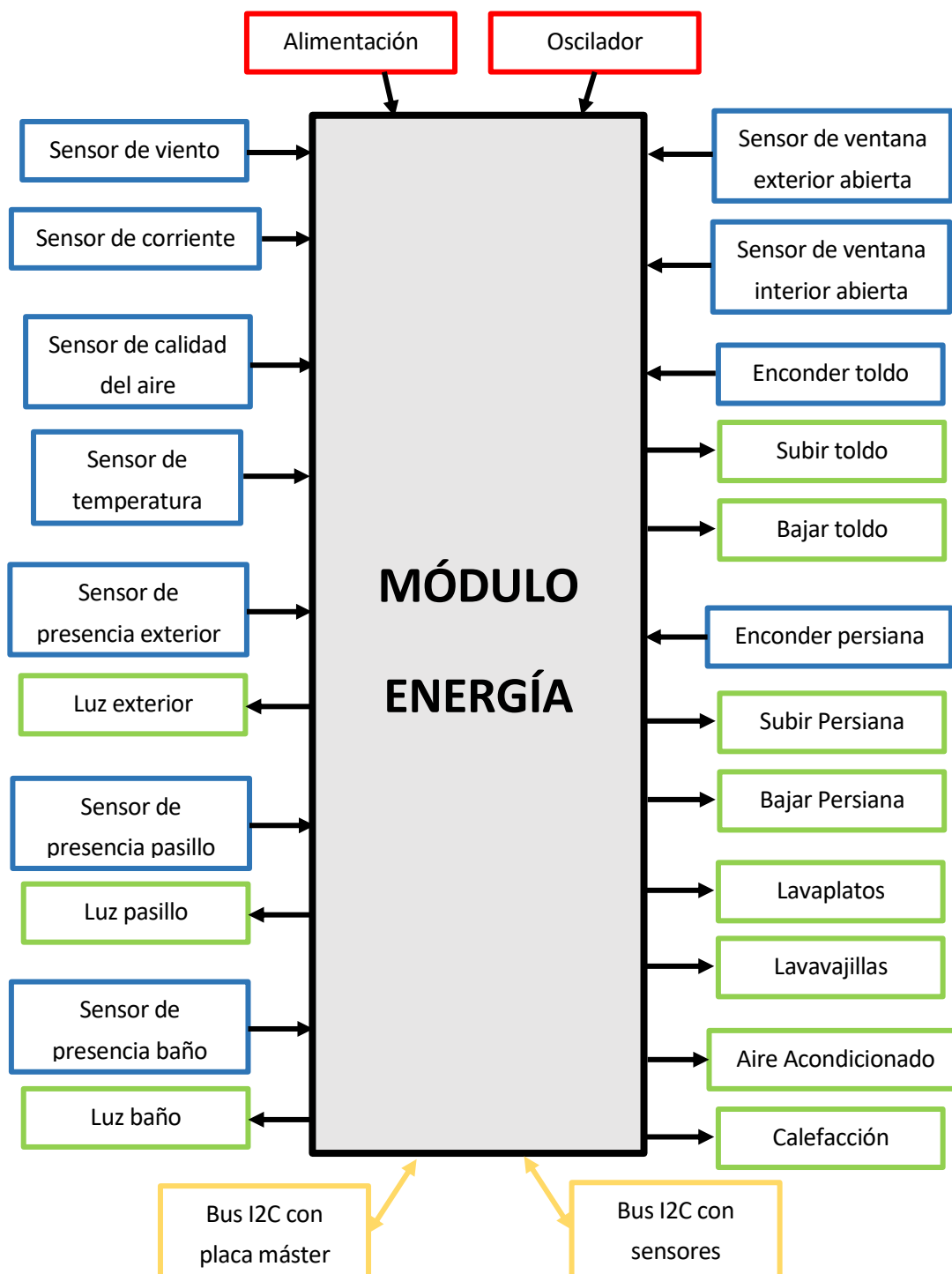


Figura 5.27 Diagrama de bloques del Módulo de Energía

## 5.3.2. Componentes

### 5.3.2.1. Microcontrolador

Como hardware, se usa el mismo microcontrolador que en el apartado 5.2.2.1. Aun así, el repartimiento de los pines se hace de forma diferente.

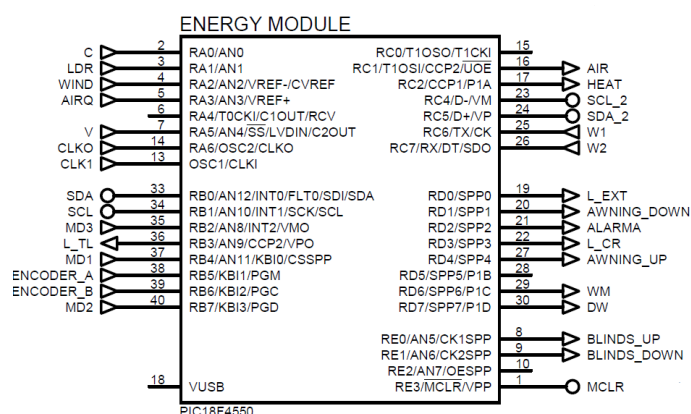


Figura 5.28 Esquema repartición de pines del Módulo de Energía en Proteus

## Componentes

- 1 microcontrolador PIC18F4550

## Conexión

La conexión de los componentes se explica uno por uno en los siguientes subapartados.

### 5.3.2.2. Oscilador

Debido a que es el mismo microcontrolador y se emplea la misma frecuencia de trabajo, el oscilador es el mismo que el del apartado 5.2.2.2.

### 5.3.2.3. Alimentación

La alimentación está calculada en el apartado 5.3.2.3 para soportar todos los LEDs instalados en las dos placas (incluyendo esta) por lo que no hace falta añadir una.

### 5.3.2.4. Botón Reinicio

Mismo diseño que en el apartado 5.2.2.4.

### 5.3.2.5. Bus I2C

Debido a que el microcontrolador de la Unidad Central ya tiene resistencias *pull-up*, éste no necesita añadir para integrarse como *slave* en el bus.

Para crear un sistema de módulos (microcontroladores esclavos) conectados a este bus, pero con buses propios para el control de sus dispositivos (actuando como maestros en éstos), se configura un nuevo bus de carácter más local y por lo tanto se instalan dos resistencias como las vistas en el apartado 5.2.2.7.

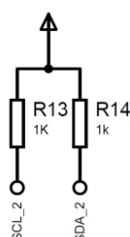


Figura 5.29 Resistencias *pull-up* para el bus secundario (local) en Proteus

#### Componentes

- 2 resistencias 1kΩ.

#### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
SCL_2	23
SDA_2	24

Tabla 23 Conexión de las resistencias *pull-up* para el bus I2C local

### 5.3.2.6. Sensor de viento

Para proteger el toldo de los fuertes vientos se instala un sensor para medirlo. Básicamente es un motor que, al hacerlo girar, se produce un voltaje de salida que es leído por el PIC. El sensor del fabricante DFROBOT SEN0170 es el anemómetro escogido.

Es capaz de medir vientos de hasta 30 m/s con un voltaje de salida de hasta 5 V. Según la Norma UNE-EN 13561:2015 los toldos de clase 1 aguantan hasta 28 km/h y los de clase 2 hasta 38km/h [24]. Éste, por lo tanto, capaz de medir hasta 108 km/h, se adapta perfectamente.



Figura 5.30 Sensor de viento SEN0170 (Fuente: [25]. [www.wiki.dfrobot.com](http://www.wiki.dfrobot.com))

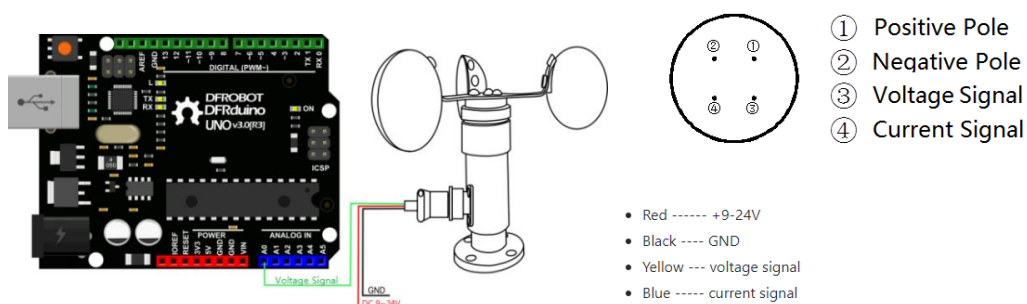


Figura 5.31 Instrucciones de conexión (Fuente: [25]. [www.wiki.dfrobot.com](http://www.wiki.dfrobot.com))

En el circuito en Proteus se simboliza con un potenciómetro:

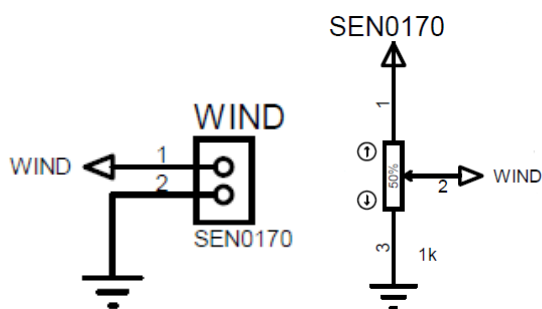


Figura 5.32 Esquema conexiones del sensor de viento en Proteus (derecha prototipo de pruebas e izquierda el real)

### Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
1 sensor de viento SEN0170	1 potenciómetro

Tabla 24 Componentes para medir el viento

### Conexión

Prototipo real		Prototipo de pruebas	
Pines del esquema	Conexión en el PIC	Pines del esquema	Conexión en el PIC
Red	9-24 V (externa)	1	VCC
Black	GND	2	4
Yellow	4	3	GND
Blue			

Tabla 25 Conexiones del anemómetro

#### 5.3.2.7. Sensor de corriente

Para medir la energía consumida, se requiere leer primero la potencia debido a que:

$$E = P \cdot t \quad (9)$$

Y para calcular la potencia consumida, considerando un desfase de 0º, se refleja en la fórmula (10).

$$P = I \cdot V \quad (10)$$

En una vivienda donde el voltaje oscila alrededor de los 230V AC y la potencia puede llegar a los 5 kW, el sensor debe ser capaz de trabajar con corrientes de hasta 20/30 A. La pinza sensor de corriente SCT-013-030 es capaz de medir hasta 30 A y dar un voltaje de salida con una relación de 30A/1V o 33mV/A junto con un aislamiento del circuito de potencia mediante el efecto Hall.

Con la corriente alterna el voltaje de salida puede variar entre -1 y 1 V. Para corregir la señal, se emplea un amplificador diferencial con un offset de 2,5 V y una ganancia de 2,5. De este modo la señal irá de 5 a 0 V con el *offset* de 2,5V.

De esta forma la corriente se calcula según la ecuación (12).

$$V = m \cdot I + 2.5 \quad (11)$$

$$I = \frac{V - 2.5}{m} = \frac{V - 2.5}{\text{Sensibilidad}} \quad (12)$$





Figura 5.33 Pinza para medir corriente SCT-013-030 (Fuente: Figura 5.33. [www.diotronic.com](http://www.diotronic.com))

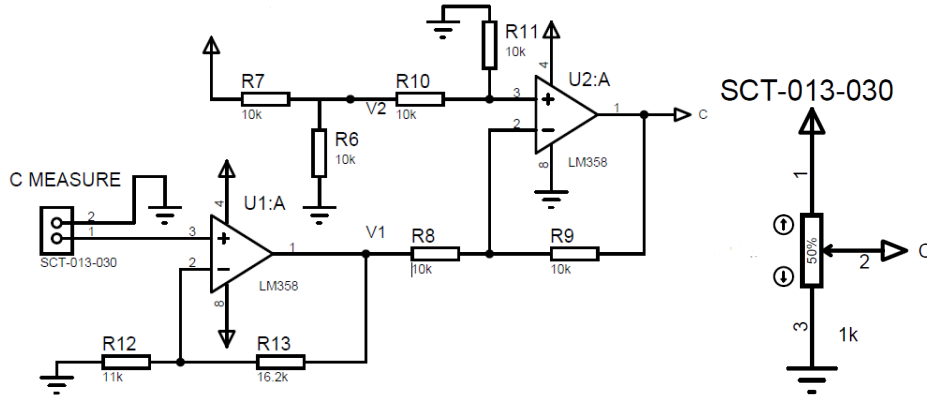


Figura 5.34 Esquemático conexión pinza al Módulo de Energía (izquierda) y en el prototipo de pruebas (derecha) en Proteus

El primer amplificador operacional (U1:A) sirve como no inversor y por lo tanto el voltaje de salida  $V_1$  es:

$$V_1 = V_+ \cdot \left(1 + \frac{R_{13}}{R_{12}}\right) = V_{C_{measure}} * 2,472 \quad (13)$$

$R_{13}$  y  $R_{12}$  requieren 2% de tolerancia para conseguir la relación de 2,5 para aumentar la señal de [-1, +1] V a [-2.5, +2.5] V. La salida 8 del amplificador U1:A se conecta a  $-V_{cc}$  para que pueda otorgar voltajes de salida negativos. Los 2,5 V de offset para que la señal fluctúe entre 5 y 0 V se obtienen mediante el amplificador diferencial (U2:A).

$$V_C = \frac{R_9}{R_8} \cdot (V_2 - V_1) = 1 \cdot (V_2 - V_1) = 2,5 - 2,47 \cdot V_{C_{measure}} \quad (14)$$

Teniendo en cuenta que se medirá corriente alterno, se requiere calcular el valor eficaz de éste.

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} i^2(t) dt} \quad (15)$$

En el rango discreto:

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=0}^N i_i^2} \quad (16)$$

En el prototipo de pruebas se simbolizará con un potenciómetro.

#### Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
1 sensor de corriente SCT-013-030	1 potenciómetro

Tabla 26 Componentes para medir corriente

#### Conexión

Prototipo real		Prototipo de pruebas	
Pines del esquema	Conexión en el PIC	Pines del esquema	Conexión en el PIC
1	Entrada V <sup>+</sup> del OAMP 1	1	VCC
2	GND	2	2
		3	GND

Tabla 27 Conexiones del sensor de corriente

#### 5.3.2.8. Sensor de voltaje

Para medir el voltaje que rondará los 230 VAC se escoge el SV300 del fabricante Omni Instruments.

En su página indica que es capaz de medir en el rango de 0-300 VAC y un rango de frecuencia de 48-65 Hz. Tiene un 1% de exactitud, perfecto para circuitos de 24, 120 y 240vAC.



Figura 5.35 Medidor de voltaje SV300 (Fuente: [26]. [www.omniinstruments.co.uk](http://www.omniinstruments.co.uk))

En el circuito se simboliza con un potenciómetro para simplificar el prototipo de pruebas.

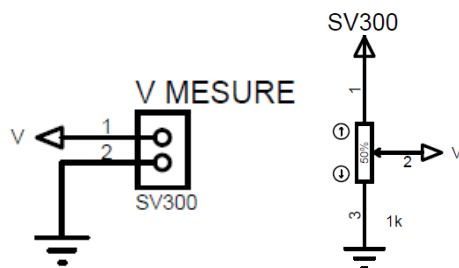


Figura 5.36 Esquemático conexiones del medidor de voltaje en Proteus (derecha prototipo de pruebas e izquierda el real)

### Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
1 sensor de voltaje SV300	1 potenciómetro

Tabla 28 Componentes para medir el voltaje

### Conexión

Prototipo real		Prototipo de pruebas	
Pines del esquema	Conexión en el PIC	Pines del esquema	Conexión en el PIC
		1	VCC
VOUT	7	2	7
		3	GND

Tabla 29 Conexiones del sensor de voltaje

### 5.3.2.9. Sensor calidad del aire y fuga de gas

El sensor de calidad de aire MQ135 detecta sustancias nocivas para el hombre como el gas natural o el humo producido por un incendio mediante la sensibilidad del  $\text{SnO}_2$ , que conduce peor en aire limpio [27]. Se alimenta con 5V y tiene una salida analógica que indica las partículas por millón de aire contaminado.

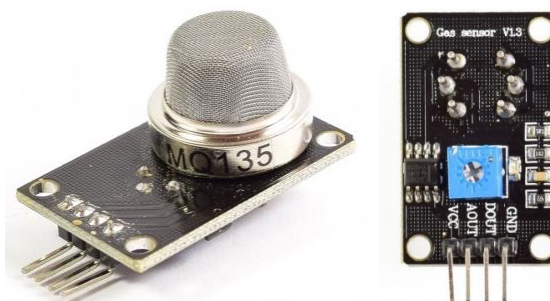


Figura 5.37 Sensor MQ135 (Fuente: [23] [www.amazon.es](http://www.amazon.es))

Su señal puede ser procesada para activar la alarma en circunstancias de aire cargado y/o sugerir al usuario encender las ventanas para ventilar.

Se simboliza con un potenciómetro para simular la salida analógica.

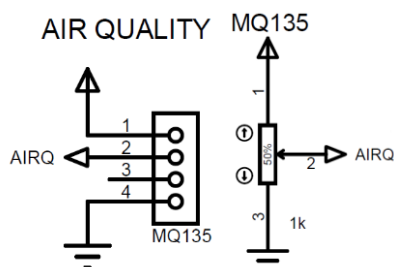


Figura 5.38 Potenciómetro para simbolizar la medición de la calidad del aire en Proteus (derecha prototipo de pruebas e izquierda el real)

Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
1 sensor de calidad del aire MQ135	1 potenciómetro

Tabla 30 Componentes para medir la calidad del aire

Conexión

Prototipo real		Prototipo de pruebas	
Pines del esquema	Conexión en el PIC	Pines del esquema	Conexión en el PIC
VCC	VCC	1	VCC
AOUT	5	2	5
DOUT		3	GND
GND	GND		

Tabla 31 Conexiones del sensor de calidad del aire

5.3.2.10. Sensores de presencia

Para controlar los sistemas de iluminación pasiva y activa, junto como elementos de seguridad se emplean sensores de presencia. Éstos son receptores de luz infrarroja (sensor piroeléctrico) y que por lo tanto detectan el calor humano. El sensor PIR HC-SR501 es capaz de reaccionar a emisiones de hasta 7 metros de distancia y de configurar ciertos parámetros como el tiempo de actuación, el funcionamiento repetitivo o la sensibilidad.



Figura 5.39 Sensor de movimiento PIR HC-SR501 (Fuente: [20] [www.diotronic.com](http://www.diotronic.com))

Gracias a su salida digital podremos establecer relés en los circuitos de las bombillas y encenderlas cuando éstas detecten al paso de la gente. Durante la salida de casa, será capaz de activar la alarma con la presencia de intrusos.

Para simplificar el circuito de pruebas se simboliza con un botón que cuando se pulsa significa que detecta a alguien. También podría ser un interruptor.

Debido a que se controlarán tres luces, se usan tres sensores. MD representa *Motion Detector* o sensor de movimiento.

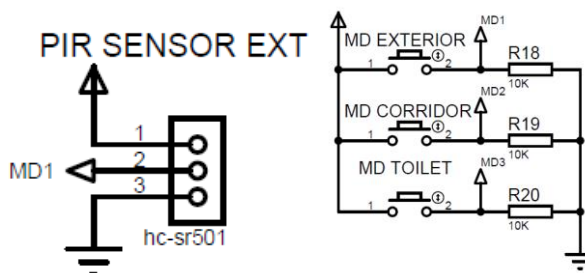


Figura 5.40 Esquemático de los sensores de movimiento en Proteus (derecha prototipo de pruebas e izquierda el real)

Para usarlos debidamente, en el instante en que detectan deben ser capaces de actuar consecuentemente. Por esta razón se instalan en pines que puedan ser programados como interrupciones como lo son los del puerto B mediante #INT\_RB y #INT\_EXT2.

Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
3 sensores PIR HC-SR501	3 pulsadores 12 mm x 12 mm. 3 resistencias de 10 kΩ.

Tabla 32 Componentes para medir movimiento

Conexión

Prototipo real		Prototipo de pruebas	
Pines del esquema	Conexión en el PIC	Pines del esquema	Conexión en el PIC
VCC	VCC	MD1	37
DOUT	37,40,35	MD2	40
GND	GND	MD3	35

Tabla 33 Conexión de los sensores de presencia

### 5.3.2.11. Sensor de temperatura

Para medir la temperatura interior del habitáculo, se emplea un sensor que permite la conexión I2C. Permitirá el control del aire y calefacción, junto al uso del toldo y la persiana como elementos pasivos.

El sensor de temperatura es el DS1621.

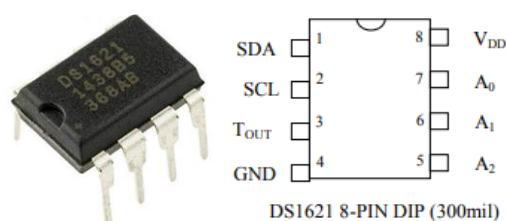


Figura 5.41 Sensor de temperatura DS1621 (Fuente: [28] página 1)

Los primeros 4 bits de dirección son 1001 y los siguientes 3 (menos significativos) son A2, A1 y A0 en orden.

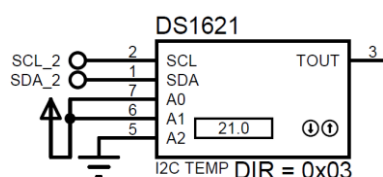


Figura 5.42 Esquema conexiones del sensor DS1621 en Proteus

De este modo, la dirección es en 1001011X en binario que corresponde a 96 en hexadecimal. El último bit se recuerda que es para definir el modo escritura (0) o lectura (1).

Para inicializar el dispositivo se envía la instrucción EE en hexadecimal. Luego, para leerla, se accede a la dirección AAh.

INSTRUCTION	DESCRIPTION	PROTOCOL	2-WIRE BUS DATA AFTER ISSUING PROTOCOL	NOTES
<b>TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS</b>				
Read Temperature	Read last converted temperature value from temperature register.	AAh	<read 2 bytes data>	
Read Counter	Reads value of Count Remain	A8h	<read data>	
Read Slope	Reads value of the Count Per C	A9h	<read data>	
Start Convert T	Initiates temperature conversion.	EEh	idle	1
Stop Convert T	Halts temperature conversion.	22h	idle	1
<b>THERMOSTAT COMMANDS</b>				
Access TH	Reads or writes high temperature limit value into TH register.	A1h	<write data>	2
Access TL	Reads or writes low temperature limit value into TL register.	A2h	<write data>	2
Access Config	Reads or writes configuration data to configuration register.	ACH	<write data>	2

**Tabla 34** Tabla de instrucciones del DS1621 (Fuente: [28] página 11)

Debido a que es un elemento relativamente fácil de obtener y utilizar, se emplea directamente en el prototipo de pruebas como en la Figura 5.41.

#### Componentes

- Sensor de temperatura DS1621

#### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
1	24
2	23
5	GND
6	VCC
7	VCC

**Tabla 35** Conexión del sensor de temperatura con el PIC

#### **5.3.2.12. Sensores de ventana abierta**

Para proteger los sistemas de calefacción y aire acondicionado de funcionar indebidamente, y de activar un sistema de alarma al abrir una ventana, se instalan sensores magnéticos que, al acercarse a la ventana, éstos se activan emitiendo una señal recogida en el PIC.



Figura 5.43 Sensores magnéticos para el control de ventanas (Fuente: [23] [www.amazon.com](http://www.amazon.com))

En el prototipo de pruebas se simbolizan con interruptores. La notación W indica que ventana se abre, en inglés.

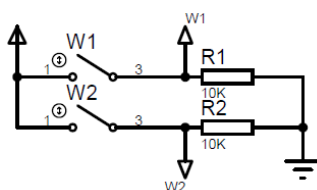


Figura 5.44 Esquemático sensores de ventana abierta en Proteus

Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
2 sensores magnéticos para ventana.	2 interruptores. 2 resistencias de 10 kΩ.

Tabla 36 Componentes para controlar estado ventanas

Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
V1	25
V2	26

Tabla 37 Conexión de los sensores de ventana abierta

**5.3.2.13. Alarma**

Un altavoz conectado a una salida digital generará un ruido fuerte disuasorio en caso de activar la alarma. Ésta funcionará cuando haya intrusos en casa o haya una concentración demasiado elevada de sustancias tóxicas en el aire.





Figura 5.45 Sirena de alarma para casa (Fuente: [23]. [www.amazon.es](http://www.amazon.es))

Se alimenta con 12 V mediante una batería y emite a 105 dB, igual de fuerte que la música en una discoteca. A partir de los 120 dB se considera dolor auditivo, por lo que se mantiene al margen. Se controlará con un relé como el visto en la Figura 5.54.

En el prototipo de pruebas se simplifica con una sirena de 5V apta para ser alimentada por el microcontrolador.

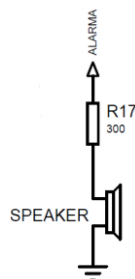


Figura 5.46 Circuito de la alarma en Proteus

### Componentes

- 1 sirena.
- 1 resistencia de 300  $\Omega$ .

### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
ALARMA	21

Tabla 38 Conexión de la alarma con el PIC

### 5.3.2.14. Sensor de luz interior

El sensor AD4070 mide el porcentaje de luminosidad en la estancia. Si se pone en el exterior el sistema puede tener una idea de cuando se hace de noche más allá de la hora que es y por lo tanto accionar sistemas como las luces del jardín o las del pasillo con la detección del usuario.

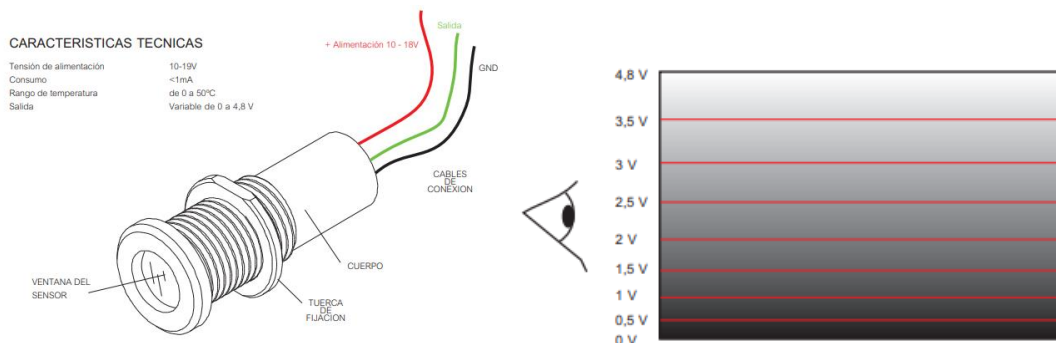


Figura 5.47 Esquemático y características técnicas del sensor AD4070 (Fuente: [29] página 2)

Su diseño está pensado para centrarse más en la zona de penumbra, debido a que es cuando el ojo humano es menos sensible.

Tiene una salida analógica de 0 a 4,8 V y por lo tanto se simboliza con un LDR en el prototipo de pruebas conectado a 5V y con una resistencia en serie de 10K para disminuir la corriente al mínimo y poder crear el divisor de tensión de la ecuación (17).

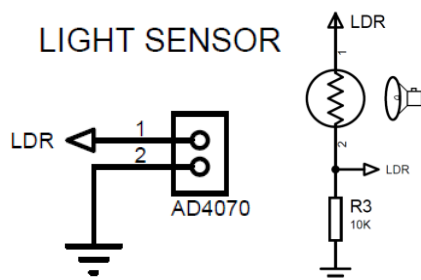


Figura 5.48 Conexiones del LDR en Proteus (derecha prototipo de pruebas e izquierda el real)

$$V_{LDR} = 5V \cdot \frac{R_3}{LDR + R_3} \tag{17}$$

Cuando hay mucha luz, la resistencia LDR puede bajar hasta 100 Ω, ofreciendo casi 5V a la entrada del PIC. Por otro lado, por la noche ésta puede subir hasta 10 MΩ con un voltaje de salida cerca de 0 V.

Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
1 sensor AD4070	1 sensor LDR 1 resistencia de 10 kΩ.

Tabla 39 Componentes para medir la luz

### Conexión

Prototipo real		Prototipo de pruebas	
Pines del esquema	Conexión en el PIC	Pines del esquema	Conexión en el PIC
VCC	10-18 V (externa)	LDR	3
VOUT	3		
GND	GND		

Tabla 40 Conexión del sensor LDR al PIC

### 5.3.2.15. Encoder para toldo y persiana

Los encoders sirven para controlar el estado del motor. Se puede medir la velocidad a la que rota y la posición o número de vueltas que ha hecho. El toldo y la persiana constan de un motor que los hace subir y bajar y que por lo tanto hay que controlar su posición para poder controlar su posición. Si hace mucho calor en verano se puede bajar la persiana a la mitad para que entre luz, pero aisle un poco la habitación del calor exterior.

El sensor infrarrojo tipo encoder para dispositivos digitales es el FC-03. Éste dispone de un comparador, entregando pulsos TTL para poder ser leídos por el PIC. Gracias a las interrupciones por flanco de subida del puerto B #INT\_RB se puede controlar la cantidad de veces que se activa y por lo tanto el estado del toldo/persiana indirectamente.

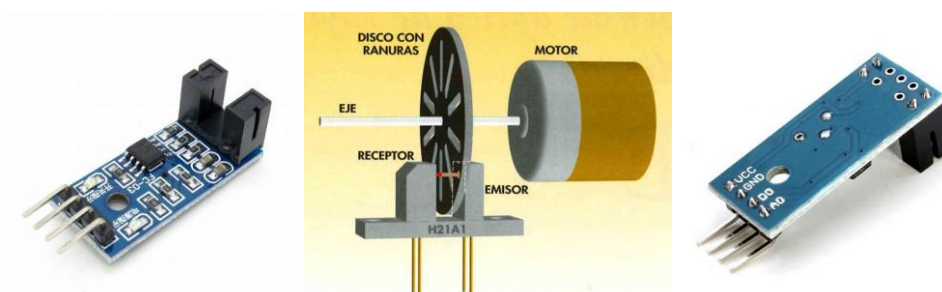


Figura 5.49 Sensor FC-03 y su funcionamiento (Fuente: [30] [www.makerelectronic.com](http://www.makerelectronic.com))

Para simplificar el circuito de pruebas se configuran como pulsadores que emulan los pulsos de señal emitidos por el sensor.

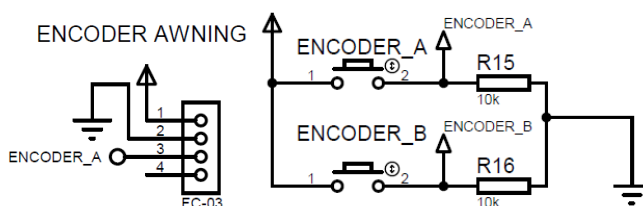


Figura 5.50 Esquemático de los encoders para el toldo y la persiana en Proteus (derecha prototipo de pruebas e izquierda el real)

A y B representan *Awning*, toldo en inglés, y *Blinds* persiana.

Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
2 encoders FC-03.	2 pulsadores 12 mm x 12 mm. 2 resistencias de 10 kΩ.

Tabla 41 Componentes para los encoders

Conexión

Prototipo real		Prototipo de pruebas	
Pines del esquema	Conexión en el PIC	Pines del esquema	Conexión en el PIC
VCC	VCC	ENCODER_T	38
GND	GND	ENCODER_P	39
D0	38, 39		
A0			

Tabla 42 Conexionado de los encoders con el PIC

**5.3.2.16. Toldo y persiana**

Para controlar la luz entrante en la vivienda junto con el valor añadido de reducir el impacto de la temperatura exterior hacia el interior, se instala un toldo en el jardín de la entrada y una persiana en la habitación. Éstos constan de unos motores rotativos con una potencia enfocada al par motor para poder enrollar correctamente.

Hoy en día la mayoría de los motores funcionan con una antena receptora de infrarrojos para actuar con un mando a distancia. Para controlarlo digitalmente, se emplea el Motor Tubular Serie MTM. Ofrece una conexión mediante interruptores y que, por lo tanto, si los cables que se activarían con el interruptor físico se controlan mediante relés, éstos se pueden controlar desde el PIC.



Figura 5.51 Repartición de los cables del motor tubular (Fuente: [31] [www.fmautomatismos.com](http://www.fmautomatismos.com))

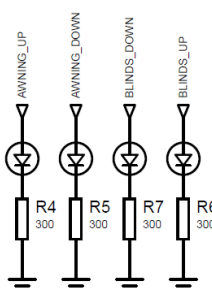


Figura 5.52 Esquemático de las salidas de control del toldo y persiana en Proteus

En el prototipo real cada salida sería controlada por un relé como el de la Figura 5.54 mientras que se simbolizan con LEDs en el prototipo de pruebas.

### Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
4 transistores 2N222.	4 LED 5 mm.
4 resistencias 1 kΩ.	4 resistencias de 300 Ω.
4 relés SRD-05VDC-SL-C.	
4 LED 5 mm.	
4 resistencias de 300 Ω.	

Tabla 43 Componentes para controlar el toldo y la persiana

### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
TOLDO_UP	27
TOLDO_DOWN	20
PERSIANA_DOWN	9
PERSIANA_UP	8

Tabla 44 Conexión de las salidas de control del toldo y la persiana

### 5.3.2.17. Electrodomésticos

Durante la noche y madrugada que el precio de la electricidad es más barato, se instalarán relés de control en los circuitos de alimentación del lavavajillas y de la lavadora. Son circuitos de alto voltaje (230VAC) y que pueden llegar a consumir entre 1000 y 2000 W, por lo tanto, menos de 10A de corriente.

El relé SRD-05VDC-SL-C es el ideal para el sistema debido a que se activa con una entrada de 5V y permite la corriente de hasta 250VAC y 10A con una potencia entonces de 2500 W, superior a la que se trabajará realmente.

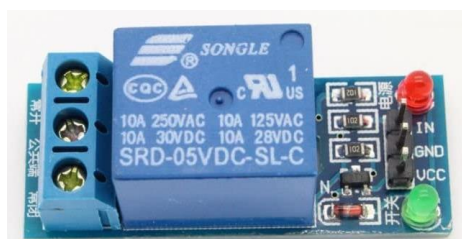


Figura 5.53 Relé para controlar los electrodomésticos (Fuente: [23]. [www.amazon.es](http://www.amazon.es))

Debido a que requiere un corriente de 150 mA para activar el *switch* que el microcontrolador no puede aportar, se emplea el transistor 2N2222. Junto a un LED informativo se construye el prototipo de circuito de potencia apto tanto para los electrodomésticos como para futuros circuitos. La salida *PIC OUTPUT* representa una salida simbólica del microcontrolador.

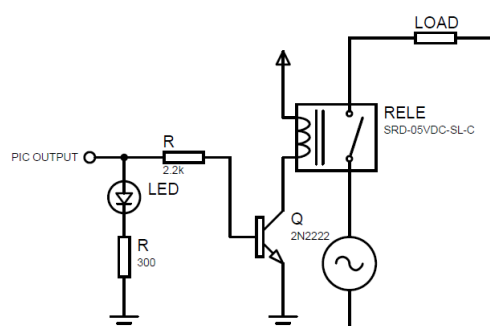


Figura 5.54 Circuito para controlar cargas mediante un relé con un LED informativo en Proteus

La resistencia en la base del transistor se calcula de la siguiente manera.

$$R_B \leq \frac{V_B}{I_B} \rightarrow R_B = 2,2 \text{ k}\Omega \quad (18)$$

$$\frac{V_B}{I_B} = \frac{V_{PIN} - V_{BE}}{\frac{I_C}{\beta}} = \frac{4,2 - 0,6}{\frac{0,150}{100}} = 2400 \quad (19)$$

Para simplificar el prototipo de pruebas, se emplea solo la parte del LED y su resistencia en serie. DW y WM representan *dish washer* y *washing machine*.

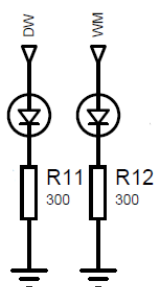


Figura 5.55 Esquemático LEDs informativos del estado de los electrodomésticos en Proteus

### Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
2 transistores 2N222.	2 LED 5 mm.
2 resistencias 1 kΩ.	2 resistencias de 300 Ω.
2 relés SRD-05VDC-SL-C.	
2 LED 5 mm.	
2 resistencias de 300 Ω.	

Tabla 45 Componentes para controlar los electrodomésticos

### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
LAVAPLATOS	29
LAVADORA	30

Tabla 46 Conexión de los LED informativos de los electrodomésticos en el PIC

### 5.3.2.18. Luces

Toda la instalación de luces serán con tipos LED. Consumen mucha menos potencia y aportan el mismo confort.

Las luces del jardín/entrada, serán como la de la Figura 5.56 con una potencia consumida de 2,4 W cada una. Se pueden llegar a instalar 2 o 3 y controlar todas mediante relés desde el Módulo de Energía.



Figura 5.56 Luces del jardín (Fuente: [32]. [www.leroymerlin.es](http://www.leroymerlin.es))

El pasillo requiere una luz más cálida y acogedora y se instalan las luces de la colección *Stood*. Consumen 20 W cada una. Las del baño son de 5 W.



Figura 5.57 Luces del pasillo (izquierda) (Fuente: [33]. [www.lamparas.es](http://www.lamparas.es)) y del baño (derecha) (Fuente: [32]. [www.leroymerlin.es](http://www.leroymerlin.es))

En el prototipo de pruebas se simbolizan con un LED, pero para controlar la carga real se emplearía el circuito de la Figura 5.54.

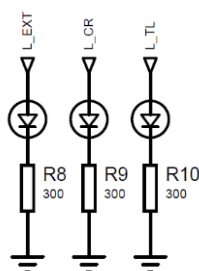


Figura 5.58 Esquema luces del prototipo de pruebas en Proteus

Las siglas representan “Exterior”, “Corridor” y “Toilet”.

**Componentes**

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
3 transistores 2N222.	3 LED 5 mm.
3 resistencias 1 kΩ.	3 resistencias de 300 Ω.



3 relés SRD-05VDC-SL-C. 3 LED 5 mm. 3 resistencias de 300 Ω.	
--	--

**Tabla 47** Componentes para controlar las luces

#### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
L_EXT	19
L_CR	22
L_TL	36

**Tabla 48** Conexión de las luces con el PIC

#### 5.3.2.19. Ventilador de techo

Los aires acondicionados se controlan a distancia mediante un mando. Éstos emiten una señal infrarroja que se lee en el electrodoméstico. Para controlarlo desde la placa, se instalaría un emisor infrarrojo KY-005 el cual consta de un LED emisor infrarrojos de 5 mm y una resistencia en serie.



**Figura 5.59** Emisor infrarrojo KY-005 (izquierda) para aire acondicionado (derecha) (Fuente: [34] [www.aliexpress.com](http://www.aliexpress.com))

Debido a que no se puede probar y configurar, se sustituye por un ventilador de techo de 50W. Mediante un relé se activará el paso de corriente con los tiradores siempre tirados para no obstruir el paso.



**Figura 5.60** Ventilador de techo (Fuente: [23]. [www.amazon.es](http://www.amazon.es))

En el prototipo de pruebas se simboliza con un LED conectado al puerto CCP, *Capture Compare PWM*, donde mediante el funcionamiento *PWM* (generador de pulsos) se podría generar la señal necesaria para la emisión de datos por infrarrojos. Aun así, como se ha concluido antes, se centra en algo tangible y el LED simboliza la actuación del circuito de potencia como el de la Figura 5.54 sobre el ventilador de techo.

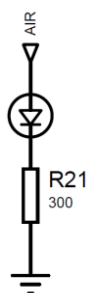


Figura 5.61 Circuito con el LED simbólico de la climatización en Proteus

### Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
1 transistores 2N222. 1 resistencias 1 k $\Omega$ . 1 relés SRD-05VDC-SL-C. 1 LED 5 mm. 1 resistencias de 300 $\Omega$ .	1 LED 5 mm. 1 resistencia de 300 $\Omega$ .

Tabla 49 Componentes para controlar la climatización

### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
AIR	16

Tabla 50 Conexión de la climatización con el PIC

### 5.3.2.20. Calefacción

Para calentar las estancias de la vivienda se usarán dos radiadores eléctricos de 1000W cada uno. Uno en el salón y otro en la habitación. Los dos funcionarán a la vez para mantener la temperatura interior. El consumo estimado en el apartado 4.1 coincide con el consumo presentado, incluso figurando un posible exceso de consumo.



Figura 5.62 Brasero eléctrico para calentar la vivienda (Fuente: [32]. [www.leroymerlin.es](http://www.leroymerlin.es))

Con los botones que tiene, se puede dejar en el nivel 1 o 2 para que el usuario tenga un poco de control, pero dejarlo que el PIC controle el voltaje de entrada mediante el software para poder reducir el consume y que no funcione constantemente o con las ventanas abiertas.

En el prototipo de pruebas se simboliza con un LED y el circuito real es el mismo que el de la Figura 5.54.

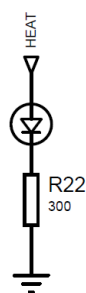


Figura 5.63 Circuito para simbolizar el estado de la calefacción en Proteus

### Componentes

Componentes prototipo real	Componentes prototipo de pruebas
1 transistores 2N222. 1 resistencias 1 kΩ. 1 relés SRD-05VDC-SL-C. 1 LED 5 mm. 1 resistencias de 300 Ω.	1 LED 5 mm. 1 resistencia de 300 Ω.

Tabla 51 Componentes para controlar la calefacción

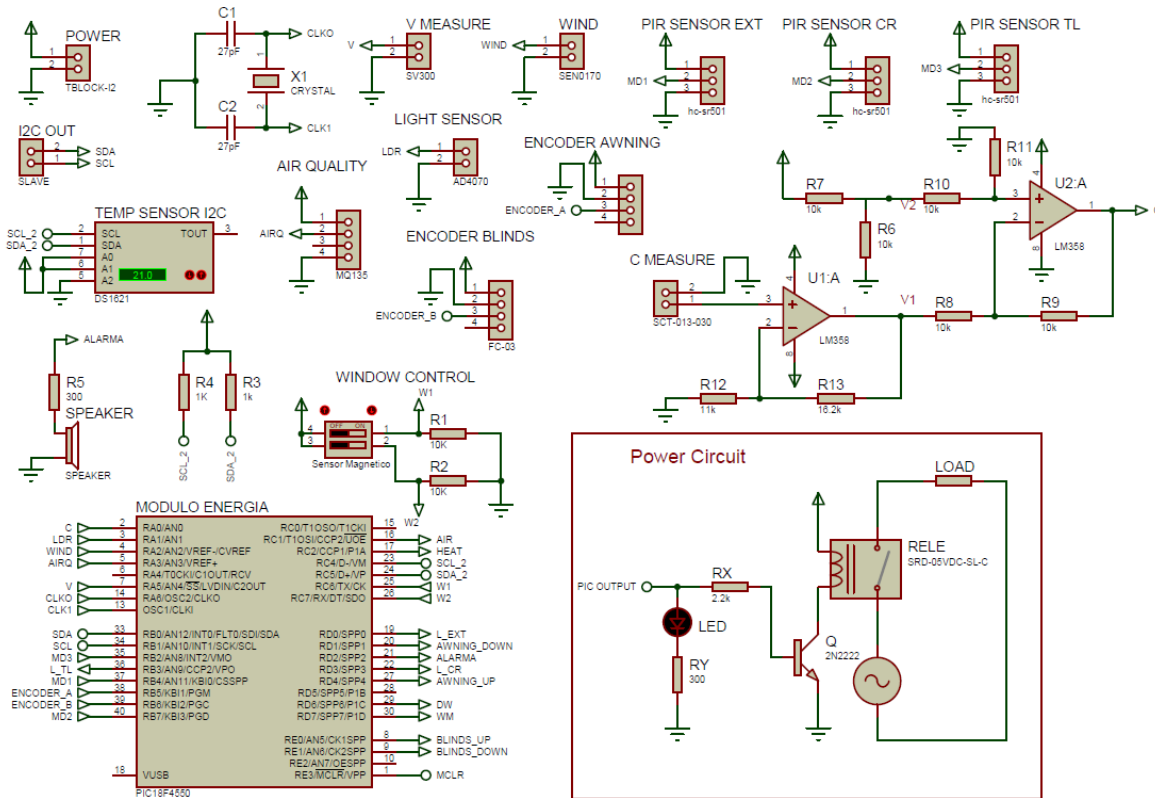
### Conexión

Pines del esquema	Conexión en el PIC
HEAT	17

Tabla 52 Conexión para controlar la calefacción

### 5.3.3. Esquema

El resultado de la suma de los componentes vistos anteriormente, teniendo en cuenta la disposición de los puertos y las necesidades de cada elemento se reúnen en éste apartado.



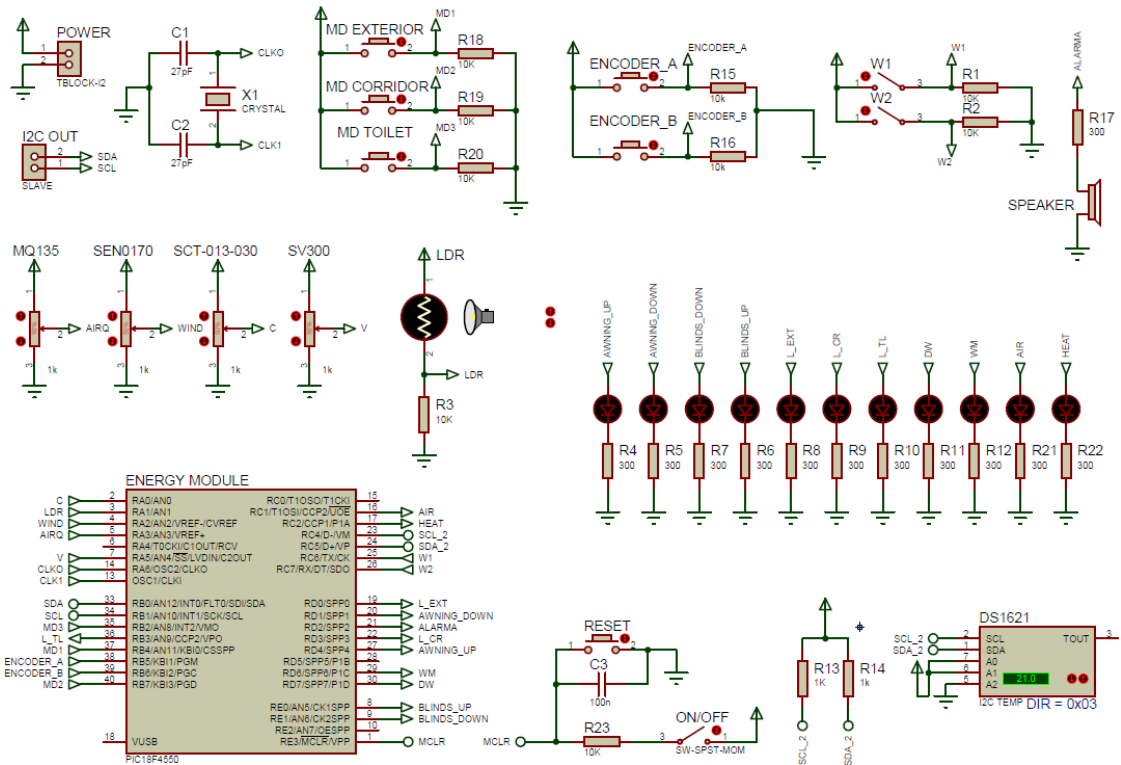


Figura 5.65 Esquema completo del prototipo de pruebas del Módulo de Energía en Proteus

El plano normalizado se encuentra en el volumen III.

### 5.3.4. Diseño PCB

Se hace el diseño en PCB del prototipo de pruebas. Para hacer el real, en la mayoría de los casos tan sólo haría falta añadir transistores con relés para controlar el circuito real pero que tampoco van conectados directamente a la placa, sino que se instalarían en los circuitos de potencia cerca del electrodoméstico. El resto de los pines donde se emplea potenciómetros en vez de las entradas reales, también se pueden aprovechar la mayoría ya que presentan un pin VCC, GND y otro a la entrada analógica del PIC. El único que requiere más cambio es el sensor para medir la corriente.

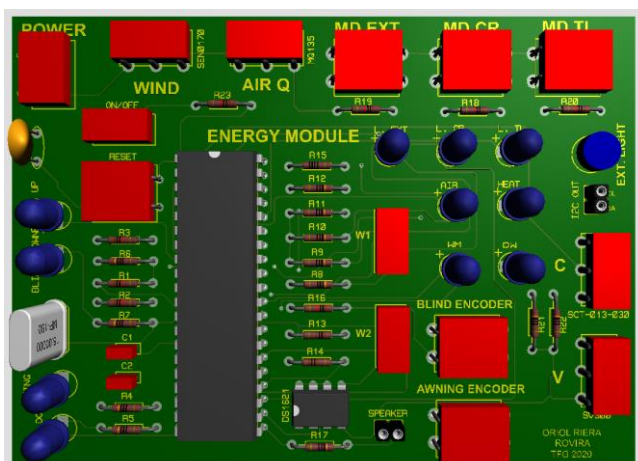


Figura 5.66 *Diseño 3D del prototipo de pruebas del Módulo de Energía en Proteus*

Los planos con el diseño de la placa están en el volumen de los planos.

### 5.3.5. Resultado final

Como en el apartado 5.2.5, se lleva a cabo la construcción del prototipo de pruebas para simular la situación real de la vivienda.

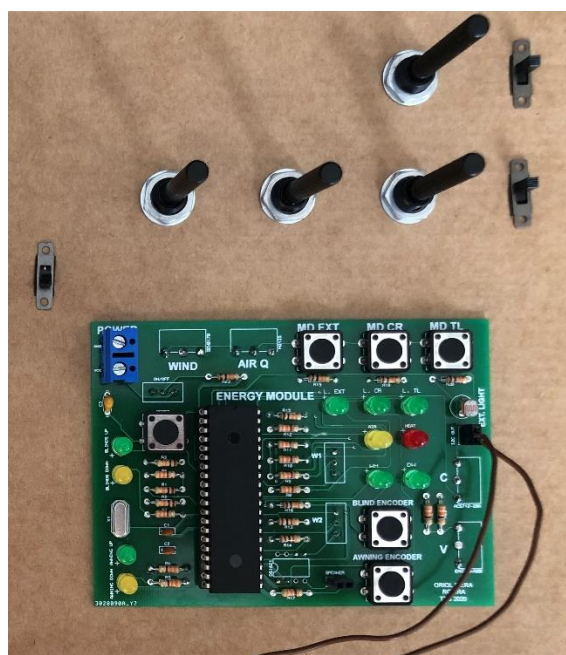


Figura 5.67 *Hardware del Módulo de Energía ensamblado (Fuente propia)*

## 6. Software

Como su nombre indican, la unidad central es un centro de recogida de información y puerta al usuario para comunicarse y actuar como interfaz mientras que la otra placa contiene todas las rutinas y funciones de control sobre los electrodomésticos. Se comunican entre ellos mediante I2C.

Todos los códigos están escritos en C, y los programas compilados con CCS.

Los esquemas se crean empleando la herramienta online *Creately* [35].

### 6.1. Comunicación

Para comunicar los dos controladores, y algunos sensores, tal y como se decide en el apartado 4.5, se emplea la comunicación I2C.

Debido a que la Unidad Central es la encargada de pedir información al Módulo de Energía, ésta se define como *master* mientras que al otro *slave*. Debido de que este tipo de comunicación se emplea para generar ordenes, más que solo leer datos dentro de la memoria, la primera parte del envío determina qué tipo de acción se quiere actuar y la segunda parte, si hay una, definir el nuevo valor de algún parámetro.

El proceso para comunicar-se desde el *master* es más sencillo debido a que se explica con mucha claridad y cantidad de ejemplos en el libro sobre el compilador CCS [17]. Para configurar la recepción de datos, es más complejo debido a la falta de información. Aun así, gracias a la búsqueda de información en el foro oficial de CCS [36] y la práctica, se obtiene el funcionamiento de la recepción y envío de datos mostrado en la Figura 6.1.

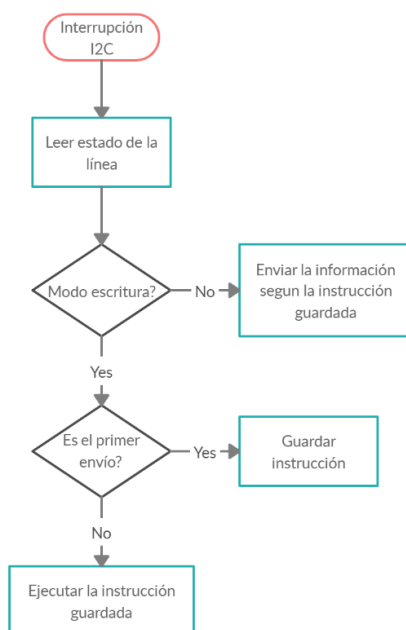


Figura 6.1 Diagrama de bloques de la comunicación I2C

## 6.2. Placa Máster: Unidad Central

La Unidad Central representa el centro de conexiones con el sistema automático descentralizado. Contiene todos los elementos de control como una pantalla con pulsadores para consultar y gestionar las funciones del *Slave*.

El código se conforma con inicializar todas las variables, definir los puertos y configurar las interrupciones empleadas. Luego entra en un *loop* donde gestiona el menú LCD y permite al usuario navegar e interactuar con las diferentes pantallas.

### 6.2.1. Menús de navegación

Con el LCD como elemento gráfico comunicador, se emplean las interrupciones del puerto B, *#INT\_RB*, para aumentar una variable o disminuirla y así escoger qué pantalla ver dentro de una “lista” de posibles.

Tiene una estructura horizontal (las pantallas se mueven de izquierda a derecha) y mediante los pulsadores *OKAY* y *ESC* se accede y edita cada una o se cancela la acción y se vuelve a la pantalla principal.

1. Menú inicial: Muestra la hora (HH:MM:SS) y el calendario (día DD/MM/YY).
  - a. Configurar segundos



- b. Configurar minutos
  - c. ...
  - d. Configurar meses
  - e. Configurar año
2. Menú temperatura
    - a. Definir nueva temperatura deseada con el teclado
  3. Menú Potencia
    - a. Mostrar la energía consumida durante el día
  4. Definir escena
    - a. Modo “Buenos días”
    - b. Modo “Buenas noches”
    - c. Modo “Salir de casa”
  5. Configurar dispositivos
    - a. Estado de las luces
      - i. Controlar luz exterior: manual o automática
      - ii. Controlar luz pasillo: manual o automática
      - iii. Controlar luz del baño: manual o automática
    - b. Controlar toldo: manual o automático
    - c. Controlar aire: manual o automático
    - d. Controlar calefacción: manual o automático
    - e. Controlar persianas: subir bajar o parar

El algoritmo de navegación funciona de la siguiente manera:

1. Inicializar
2. Entrar en el bucle de funcionamiento
3. Según la variable “estado” cambiar a la función a ejecutar.
4. La función escogida es la responsable de gestionar la pantalla LCD y lo que pasa si se interacciona con ella.
5. Si en algún momento se cambia el valor de la variable debido a una interrupción, se cambiará lo mostrado en la pantalla LCD.

Los pulsadores *LEFT* y *RIGHT* disminuyen el valor de la variable, mediante las interrupciones del puerto B, que luego actualizan la pantalla del menú. Ver en la Figura 6.2 que la variable para escoger la pantalla mostrada se delimita dentro del bucle y no desde la interrupción, para que este valor se adapte según el submenú en el que se esté trabajando.

El pulsador *ESC* permite definir un estado único para indicar al sistema que quiere salir del bucle y volver al menú anterior. En este caso se define en 10 porque no hay ningún submenú con 10 pantallas

diferentes, pero se podría establecer un valor más elevado para asegurarse de que no interfiriese nunca.

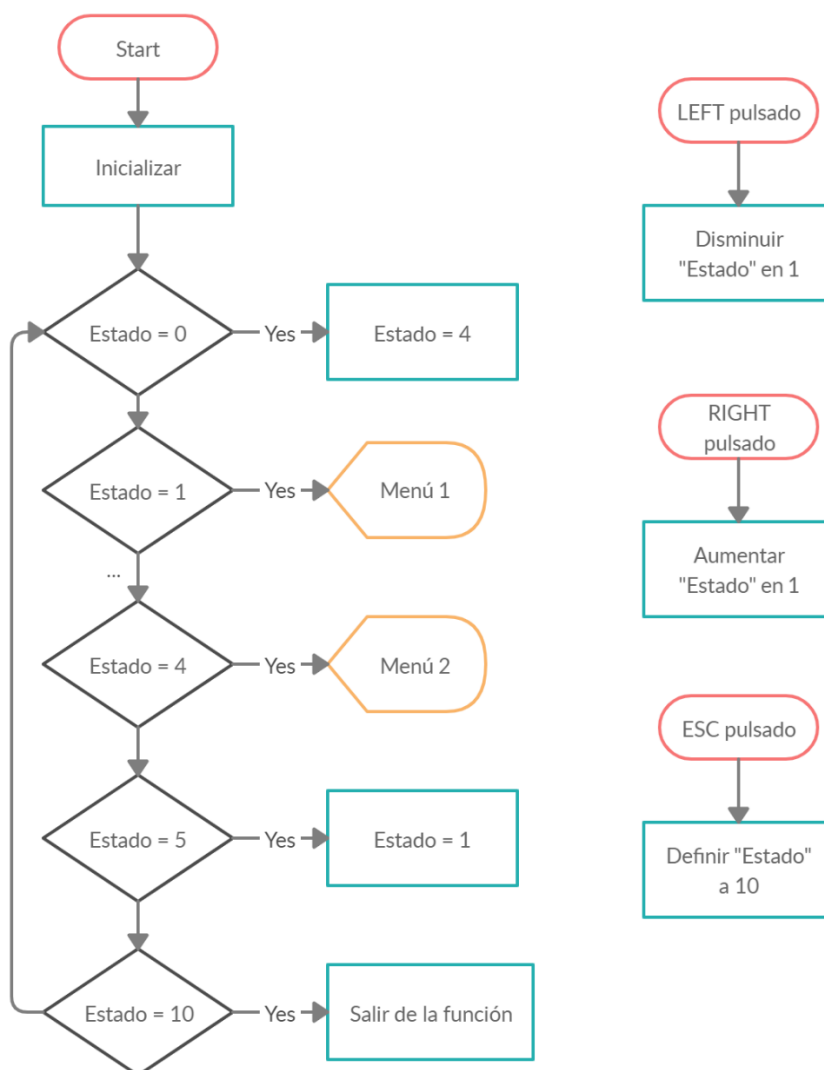


Figura 6.2 Diagrama de bloques del software la Unidad Central

Algunas pantallas de ejemplo se recogen de la simulación con Proteus a continuación.

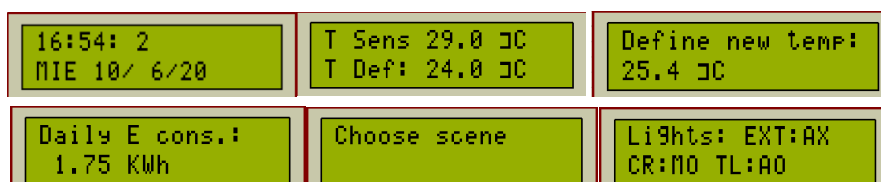


Figura 6.3 Ejemplos de pantallas del menú en Proteus

## 6.2.2. Escenas de funcionamiento

Cuando el usuario desea establecer una escena, suceden una serie de actos contrastados con los datos extraídos e investigados.

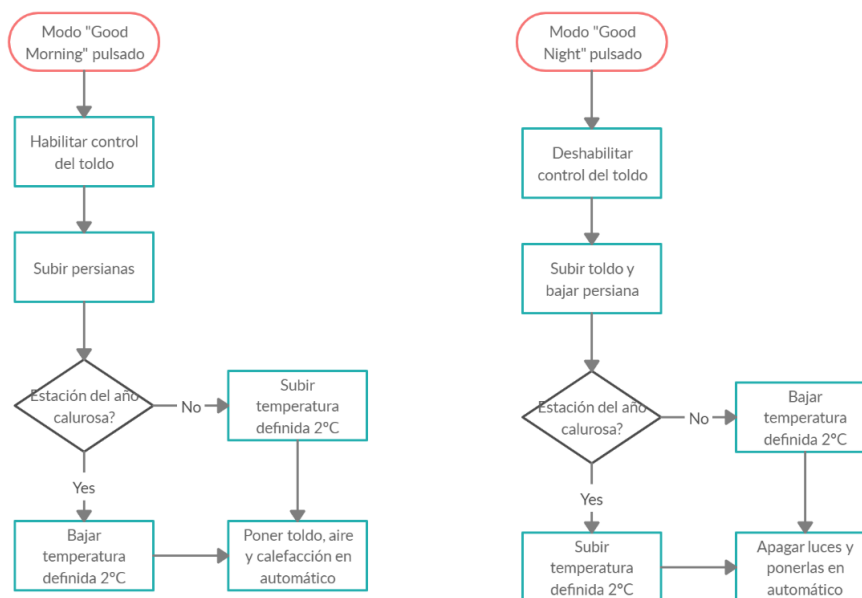


Figura 6.4 Diagrama de bloques del funcionamiento de la escena "Good morning" (izquierda) y de la escena "Good night" (derecha)

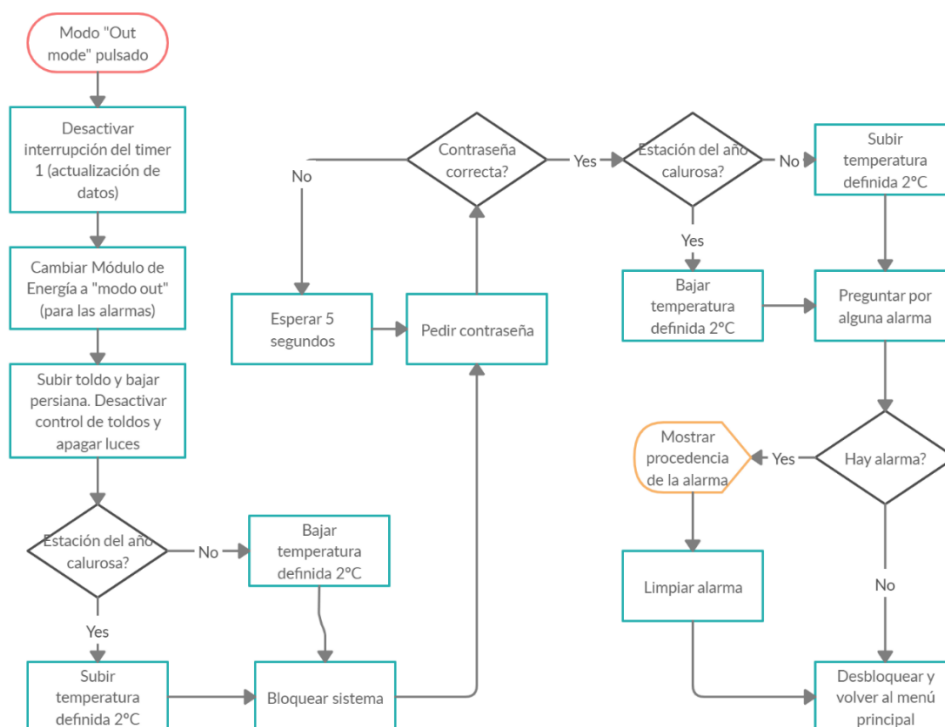


Figura 6.5 Diagrama de bloques del funcionamiento de "Out mode"

### 6.2.3. Actualización de datos

Cada 0.5 segundos, salta la interrupción del *timer 1* para gestionar un intercambio con el Módulo de Energía y una actualización de los datos del sistema.

Para configurarlo, se emplea la ecuación siguiente.

$$\text{Desbordamiento} = \frac{4}{\text{Freq. Oscilador}} \cdot \text{Preescaler} \cdot (65536 - \text{TMR1}) \quad (20)$$

$$0.5 = \frac{4}{4000000} \cdot 8 \cdot (65536 - \text{TMR1}) \rightarrow \text{TMR1} = 3036 \quad (21)$$

Con un contador se ejecutan actualizaciones cada 1, 5, 10 o hasta 20:

- Cada 1 segundo se lee los datos del reloj externo con los datos de los segundos, minutos, etc. Luego define si se encuentra en el periodo de precio reducido y en qué época del año se encuentra (fría o caliente).
- Cada 5 segundos se comunica con el módulo de energía y se lee la temperatura sensada, el estado de las luces y la potencia consumida actual. Según el valor de la potencia se encienden los LEDs informativos correspondientes.
- Cada 10 segundos se lee la variable alarma enviada por el PIC esclavo que contiene la información sobre el estado de las ventanas, la calidad del aire y si se ha detectado alguien mientras se estaba fuera.
- Cada 20 segundos se graba el valor de la potencia consumida en la *eprom*.

Para pedir información al otro PIC, se emplea un sistema de comunicación maestro – esclavo donde mediante los *ACK* y leer el estado de la línea I2C (qué paquete de información se está enviando) se consigue entender qué variables cambiar y qué valores se les asocia.

Un ejemplo claro se encuentra en la Figura 7.3.

### 6.2.4. Control de luces

En el menú para controlar las luces, el usuario puede ver el estado de las luces y si se encuentran en M (Manual) o A de automático y su estado O, encendidas, o X, apagadas. Al volver a pulsar se pueden configurar por software.

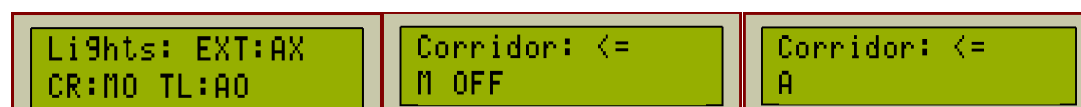


Figura 6.6 Pantallas para el control de luces en Proteus

La Unidad Central también tiene los pulsadores de control de las luces, por los que puede controlar de forma directa mediante las interrupciones del puerto B. Durante el proceso de actualización de datos se observa como cada 5 segundos se transmite el estado de las luces de la vivienda. Al pulsar un botón, se lee el estado de dicha luz y se envía la instrucción mediante I2C de invertir el estado de la bombilla. Por otro lado, actualiza la variable con el estado de la luz en el propio sistema para no esperar hasta la nueva actualización de datos para obtener el mismo resultado.

### 6.3. Placa slave: Módulo de Energía

El Módulo de Energía reúne las funciones automáticas para controlar los electrodomésticos de la vivienda. La Unidad Central le envía instrucciones para controlar cuales funcionan o dejan de funcionar, pero en condiciones normales éste trabaja de forma autónoma.

Los PIC de la gamma 18F permiten el modo RTOS, *Real Time Operating System*, donde se definen varias funciones a realizar, el tiempo máximo que puede dedicar el microcontrolador a gestionarla y la frecuencia con la que se quiere que se realice. Luego el propio controlador gestiona su capacidad de procesamiento para ejecutar las funciones simultáneamente según los requerimientos de cada una para optimizar el tiempo de uso y los elementos del PIC.

```
//RTOS mode
#use rtos(timer = 1, minor_cycle = 100ms)
```

Figura 6.7 Configuración del modo RTOS en el Módulo de Energía (Fuente: código del Módulo de Energía línea 46)

Según la situación de funcionamiento (en casa automático, escena “Buenas noches” o “Fuera de casa”) se pueden activar y desactivar estas funciones, por lo tanto, se debe tener en cuenta qué parámetros se leen en cada una por si se emplean en otras funciones que puedan seguir utilizándolos.

#### 6.3.1. Control de toldos

Los toldos se controlan según el viento, la luz y la temperatura exterior. La temperatura se mide en la función de control de los elementos de climatización, la luz se lee en una función propia activa constantemente para que cuando se desactive el control de toldos (porque es de noche y simplemente están recogidos, por ejemplo) se pueda seguir usando el valor para controlar las luces de casa que también tienen en cuenta este parámetro.

La escala de luz, debido a que se lee desde el puerto analógico va de 0 a 255. Los valores elevados indican la presencia de mucha luz.

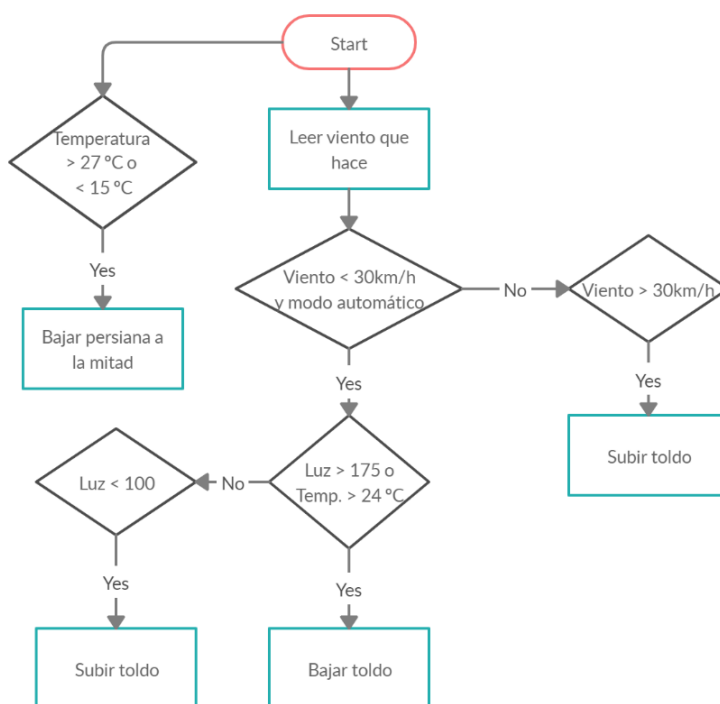


Figura 6.8 Diagrama de bloques del algoritmo para el control de toldos

El control manual se hace mediante una interrupción como la de la Figura 6.11.

### 6.3.2. Control de persianas

Las persianas, debido a que sirven sobre todo para proteger la vivienda de la luz o los intrusos, se sube o baja completamente con instrucciones de la unidad central con la activación de “modo Buenas noches”, u otros momentos. Los casos en que se gestiona este elemento se recogen a continuación.

Situación	Función realizada
Escena “Good morning”	Subir
Escena “Good night”	Bajar
Escena “Welcome home”	Subir
Escena “Out mode”	Bajar
Modo manual: “Up”	Subir
Modo manual: “Down”	Bajar

Tabla 53 Control de las persianas según la situación

De este modo no forman parte de una función del RTOS que se ejecuta frecuentemente, sino que se activa con solo instrucciones por I2C. El único momento que se controla con el algoritmo es cuando se

utiliza como elemento para disminuir el efecto de la temperatura exterior hacia el interior, y es cuando se hace la lectura de este parámetro en el apartado 6.3.3.

La interrupción del encoder para detectar el estado del dispositivo tiene en cuenta la dirección en que se está moviendo, y el nivel por el que va. Cuando se llega al límite definido para. Con el hardware usado, el propio motor tiene frenos mecánicos en los extremos para no llegar al límite, pero gracias al encoder y monitorizar el estado de la instalación se puede conseguir niveles intermedios.

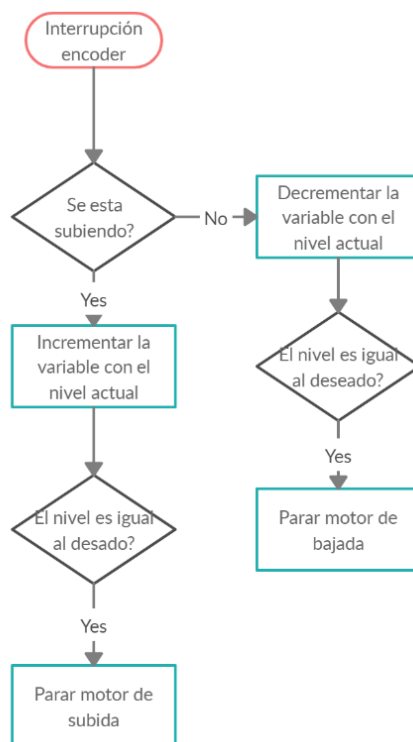


Figura 6.9 Diagrama de bloques con la configuración de la interrupción para controlar el toldo o la persiana

### 6.3.3. Control de elementos de climatización

El aire y la calefacción, para ahorrar energía, se activan cuando el umbral de temperatura empieza a ser molesto para el ser humano. Aun así, cuando al funcionar durante un rato cambian la temperatura interior de la habitación se desactivan para no consumir más de lo necesario. Si el usuario quiere tener cualquiera de estos dispositivos activos constantemente, se puede hacer manualmente desde la interfaz de la Unidad Central.

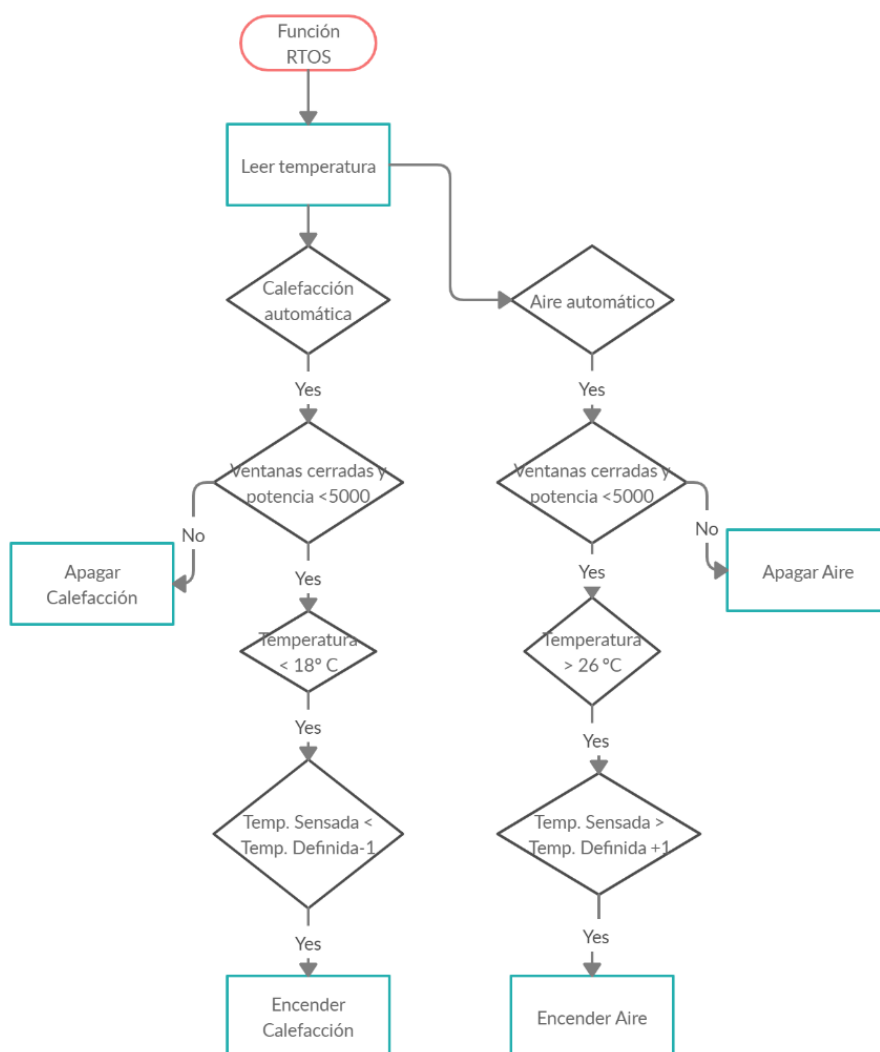


Figura 6.10 Diagrama de bloques del algoritmo de control de elementos de climatización

Cuando se reciben instrucciones por I2C para controlar estos dispositivos, se gestionan directamente activando o desactivando consecuentemente dichas salidas (véase Figura 6.11), por lo que no se contemplan en la función de control. Por lo tanto, si se envía la instrucción de dejar el aire encendido porque el usuario lo prefiere y por lo tanto entra en modo manual, éste cambia su estado instantáneamente y no es afectado por el control de la función *RTOS*. Aun así, se sigue ejecutando la función para leer la temperatura constantemente y que tanto los otros dispositivos como el usuario puedan hacer la lectura de ella.



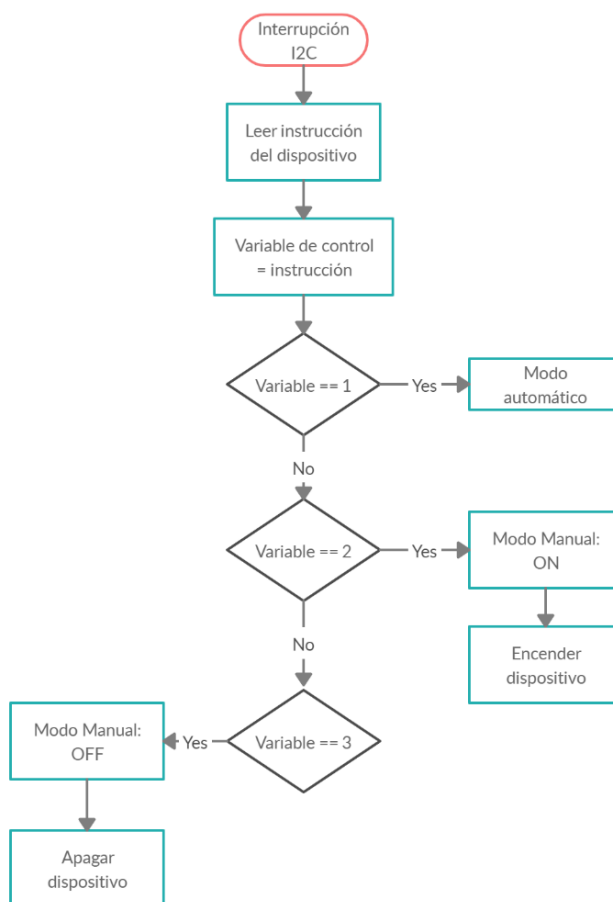


Figura 6.11 Interrupción I2C para control de dispositivos de 3 estados

### 6.3.4. Control de ventanas

Las ventanas son el único elemento que no pueden estar conectadas a una entrada con interrupción debido a la limitación del PIC; el puerto A es para las entradas analógicas, el B que tiene la mayoría de las interrupciones están los 3 sensores de presencia y los encoders y el puerto D y E son para salidas digitales.

Por esta razón, requieren una función que tenga en cuenta su es estado anterior para detectar el flanco de bajada donde pasan de cerradas a abiertas. En este momento desconectan la climatización, avisan al sistema de que hay una ventana abierta y en caso de ocurrir en el “Out mode” encender la alarma.

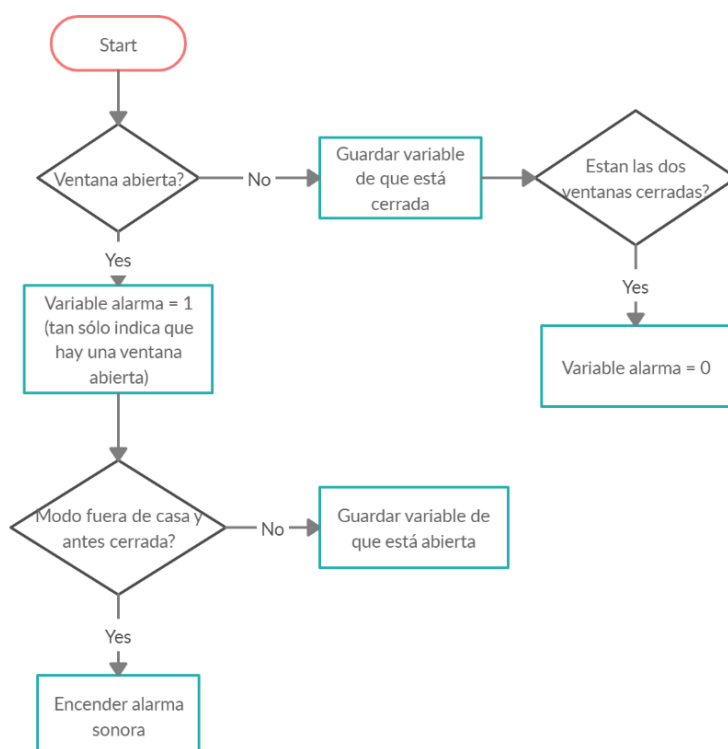


Figura 6.12 Diagrama de bloques del control de ventanas

### 6.3.5. Funciones de obtención de datos

Aparte de los algoritmos de control, cada cierto tiempo mediante el *RTOS* se hace un control de:

- Calidad del aire: se declara la variable adecuada en caso de que el aire esté en malas condiciones para que cuando se haga la actualización de datos por parte de la unidad central se muestre al usuario de que se debería abrir una ventana para ventilar.
- Estado de los sensores de presencia: las luces se abren por interrupciones de flanco de subida, pero para cerrarlas se emplea una función que se ejecuta cada segundo. Esta mira si las luces están en modo automático y dejando de detectar para apagar la luz correspondiente al cabo de un cierto tiempo (con contadores).
- Medición de potencia: mediante la lectura de los puertos analógicos se hace el cálculo de la potencia actual consumida multiplicando el valor eficaz de la intensidad (cogiendo hasta 50 muestras por medida debido a que la señal de lectura es sinusoidal y la ecuación (16)) por la tensión. Una vez obtenido el parámetro desactiva los elementos de climatización inmediatamente si el consumo es demasiado elevado.

### 6.3.6. Control de luces

Los 3 sensores de presencia están conectados en puertos con capacidad de activarse mediante interrupciones para que la detección sea instantánea y pueda encender la luz programada o la alarma en el “Out mode”. Tienen en consideración el estado de control (automático o manual) y la luminosidad sensada.

Todas se encienden cuando hay poca luz, excepto la del baño, que se enciende siempre que detecta a alguien y permanecen encendidas un tiempo concreto, hasta apagar-se automáticamente. Su control manual se hace desde la Unidad Central como se ve en el apartado 6.2.4.

### 6.3.7. Alarma

Para controlar los elementos capaces de activar la alarma, se emplea una misma variable de 3 bits. El B0, *Less Significant Bit*, se pone en 1 cuando hay una ventana abierta. B1 se activa con la presencia de alguien cuando el usuario está fuera de casa y el B2 cuando la calidad del aire es perjudicial para las personas.

Cuando ocurre la actualización de datos el propio sistema puede interpretar la procedencia de la alarma y comunicarla al usuario; hay dos leds indicativos en la unidad central para mostrar el estado de una ventana abierta o aire concentrado. Aparte, cuando el usuario vuelva a casa después del “Out mode”, se le muestra en la pantalla LCD si ha habido alguna intrusión, tal y como se muestra en la Figura 6.5.

## 7. Simulaciones

El simulador utilizado para poner a prueba tanto el circuito electrónico como el funcionamiento del código, es el digital Proteus. Mediante sus librerías con gran variedad de componentes y su hoja donde conectarlos entre ellos, junto la capacidad de simular el código permite aprender gradualmente y tener una idea muy cerca de la realidad sobre el funcionamiento general del sistema.

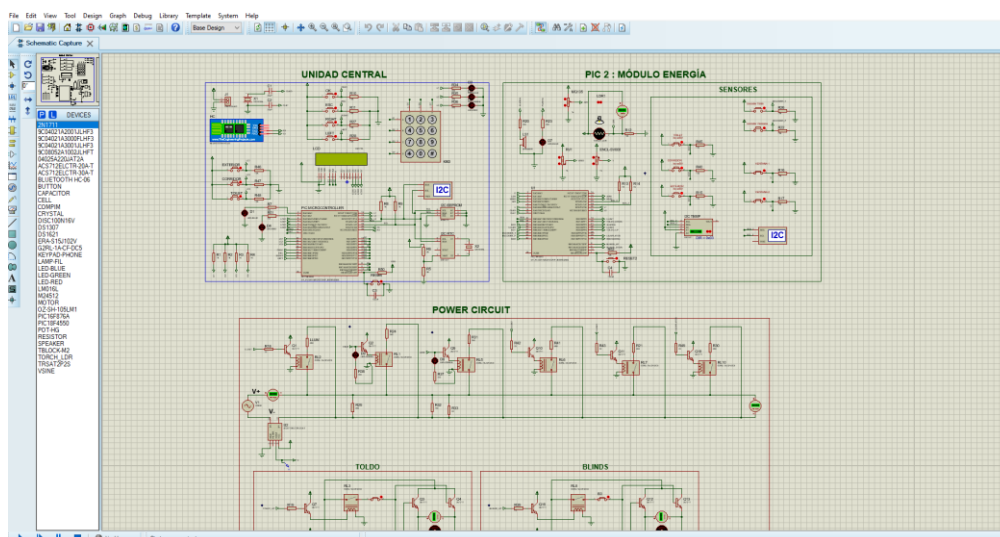


Figura 7.1 Esquema del circuito entero en Proteus

Una vez activada la función de simular, se puede seguir el estado de las variables, buses y líneas del código que ésta ejecutando.

Name	Value	Name	Address	Value
CCP_1	0	CCP_1_LOW	0x0FB8	'\0'
CCP_1_LOW	'\0'	CCP_1_HIGH	0x0FB9	'\0'
CCP_1_HIGH	'\0'	CCP_2	0x0FBB	0
CCP_2	0	CCP_2_LOW	0x0FBC	'\0'
CCP_2_LOW	'\0'	CCP_2_HIGH	0x0FBD	'\0'
CCP_2_HIGH	'\0'	PSP_DATA	0x0F83	0x02
PSP_DATA	'\0'	C1OUT	0x0FB4	Format (-1) not valid...
C1OUT	Format (-1) not valid...	C2OUT	0x0FB4	Format (-1) not valid...
C2OUT	Format (-1) not valid...	TRISA	0x0085	'\0'
save	0x0000	TRISB	0x0086	'\0'
kbd	'\0'	TRISC	0x0087	0xF0
TRISA	0x01	TRISD	0x0088	'\0'
PORTA	'\0'	TRISE	0x008A	'\0'
PORTB	0x02	PORTA	0x0005	'\0'
PORTC	'\0'	PORTB	0x0006	'\0'
TRISB	'\0'	PORTC	0x0007	0x80
TRISC	'e'	PORTD	0x0008	'\0'
c	'\0'	state	0x0029	0x10
address	1	data_in	0x002A	0x14
count_day	'\0'	alarm	0x002B	'\0'
state	0x02	level_t	0x002C	'\0'
first	'\0'	level_p	0x002D	'\0'
k	'\0'	level_t_d	0x002E	0x0A
month	0x14	level_p_d	0x002F	0x04
date	0x0A	modo_t	0x0030	0x02
day	0x04	modo_p	0x0031	0x02
hr	0x10	light	0x0032	0xCE
min	'5'	p	0x0033	1910.59
sec	'0'	LC1	0x0037	0x01
newt	0x01	LC2	0x0038	0x01
day_arr	byte[7][4]	LC3	0x0039	0x01
temp_h	0x18	Loc	0x003A	0x01
temp_l	'\0'	A1FC	0x003B	0x01
time_change	0x01	Heatec	0x003C	0x01
season	0x01	acURRENT...	0x003D	byte[1]
cont	0x07	BTASKINF...	0x003E	byte[7]
alarm	'\0'	temp_h	0x0045	0x1D
temp_h_s	0x1D	temp_l	0x0046	'\0'
temp_l_s	'\0'	temp_s	0x0047	29
p	1910	temp_d	0x004B	24
		BTASKINF...	0x004F	byte[7]
		BTASKINF...	0x0056	byte[7]
		BTASKINF...	0x005D	byte[7]
		before_w1	0x0064	0x01

Figura 7.2 Estado de las variables de los PIC durante una simulación en Proteus

```

// Left Window: PIC18 CPU Source Code - PIC MICROCONTROLLER
if (bit_test(alarm,0) == 0) output_low(PIN_A0);
if (bit_test(alarm,2) == 0) output_low(PIN_A1);
}
if ((cont==10 == 0 && cont != 0){ //Cada 5 segundos
SHORT int status;
do{
i2c_start();
i2c_write(0x41); //R/W bit high for a read
delay_cycles(10);
status = i2c_read(0x14);
i2c_stop();
if (status == 1) delay_ms(50); //If no answer wait 1s
}while (status == 1);

i2c_start(); //Restart the bus
i2c_write(0x41); //R/W bit high for a read
delay_cycles(10);
temp_h_s = i2c_read(); //Read the data from the slave
temp_l_s = i2c_read(); //Read the data from the slave
LState = i2c_read();
P = i2c_read();
P = P+(i2c_read())<<4;
int16 aux;
aux = i2c_read(0);
aux = aux<<8;
P = P+aux;

i2c_start();

update_time(); //Mirar si se ha cambiado de franja horaria
if (P<1000) {
output_high(PIN_C0);
output_low(PIN_C1);
output_low(PIN_C2);
}
else if (P>4000){
output_low(PIN_C0);
output_low(PIN_C1);
output_high(PIN_C2);
}
else {
output_low(PIN_C0);
output_high(PIN_C1);
output_low(PIN_C2);
}

first = 1; //So data can be updated
}
if (cont == 40 && cont!= 0){ //Cada 20 segundos
//New day to store data
if (hr == 0 && min <1){ //at 00:01 declare new day
count_day = ++address;
}
int P_aux;
P_aux = P/100;
write_ext_eeprom(address++,P_aux);
}

// Right Window: PIC18 CPU Source Code - U1
data_in = 0;
} else if(data_in == 0xc1){
Lc3 = incoming;
if (Lc3 == 2){
output_high(PIN_B3);
} else if (Lc3 == 3){
output_low(PIN_B3);
}
data_in = 0;
} else if(data_in == 0x2b){ //Blinds up
mover_persiana(0); //Subir persiana
} else if(data_in == 0x2c){ //Blinds down
mover_persiana(8); //Bajar persiana
} else if(data_in == 0x2d){ //Parar persiana
output_low(PIN_E0);
}
}
if(status == 0x80) //Master is requesting data
{
if(data_in == 0x13) //Enviar a y P
{
temp_intemp_s; //Valor entero para enviar por i2c
temp_l=(temp_s-temp_h)*10; //Decimales para enviar por i2c
i2c_write(TOTAL,temp_h); //Send temp sensor
i2c_write(TOTAL,temp_l);
int L_state = 0;
L_state = input_state(PIN_D0)<<2;
L_state = L_state + (input_state(PIN_D3)<<1);
L_state = L_state + input_state(PIN_B3);
i2c_write(TOTAL,L_state);

int16 Pint;
Pint = P; //Cojer los valores enteros de P p.e: 1234 W
i2c_write(TOTAL,Pint>>0xf);
i2c_write(TOTAL,Pint>>40xf);
i2c_write(TOTAL,Pint>>80xf);
}
}
if (data_in == 0x15) //Enviar Alarma
i2c_write(TOTAL,alarm);
}

void main() {
bit_set(TRISC,4); //C3 / SCL input
bit_set(TRISC,5); //C4 / SDA input
bit_set(TRISC,6); //V1 input
bit_set(TRISC,7); //V2 input
set_tris_d(0xff); //Port_D as output

bit_set(TRISB,2); //MD3 input
bit_clear(TRISB,3); //LLUM 3 output
bit_set(TRISB,4);
bit_set(TRISB,5);
bit_set(TRISB,6);
}
    
```

Figura 7.3 Simulación del momento en que se intercambian datos en Proteus

Permite poner *breakpoints* durante el código, que básicamente son indicaciones para que el programa pare la simulación justo cuando se va a ejecutar la línea deseada. En la Figura 7.3 se puede observar los dos documentos con las instrucciones y en la Figura 7.4 el resultado del intercambio por la línea I2C.

```

I2C Debug - I2C DEBUGGER#0058 - Write
25.774 s 25.776 s S 40 A 14 A P
25.776 s 25.791 s S 41 A 1D A 00 A 00 A 06 A 07 A 07 N P
26.292 s 26.306 s S D0 A 00 A Sr D1 A 48 A 53 A 16 A 04 A 10 A 06 A 20 N P
27.309 s 27.323 s S D0 A 00 A Sr D1 A 49 A 53 A 16 A 04 A 10 A 06 A 20 N P
28.326 s 28.340 s S D0 A 00 A Sr D1 A 50 A 53 A 16 A 04 A 10 A 06 A 20 N P
29.342 s 29.356 s S D0 A 00 A Sr D1 A 51 A 53 A 16 A 04 A 10 A 06 A 20 N P
30.359 s 30.373 s S D0 A 00 A Sr D1 A 52 A 53 A 16 A 04 A 10 A 06 A 20 N P
30.876 s 30.878 s S 40 A 14 N P
31.279 s 31.281 s S 40 A 14 N P
31.681 s 31.684 s S 40 A 14 A P
31.684 s 31.699 s S 41 A 1D A 00 A 00 A 06 A 07 A 07 N
    
```

Figura 7.4 Debugger del bus I2C en Proteus

Se puede observar que la instrucción de pedir información (40 es la dirección del PIC y luego 14 la instrucción escogida) se ejecuta las veces que haga falta hasta que el otro PIC esté disponible para la comunicación (lo responde con un *Acknowledge*) y luego envía todos los datos programados en paquetes de 8 bits para que la Unidad Central los gestione adecuadamente. La temperatura y la potencia se envían en varios paquetes porque su valor excede el tamaño máximo.

## 8. Análisis del impacto ambiental

Con el objetivo del proyecto disminuir el consumo energético, el sistema regula algunos de los electrodomésticos que más consumen de la vivienda: los sistemas de climatización (vistos en la Figura 2.2) y 2 electrodomésticos. Este conjunto es responsable del 67% del consumo medio dentro de la vivienda.

Para controlar el elemento que más consume, la calefacción, se instalan sensores y actuadores que pueden afectar de forma pasiva para evitar funcionamientos prolongados y hacer un uso más respetuoso con el medio ambiente. Teniendo en cuenta que el software activa su funcionamiento cuando la temperatura es inferior a 18°C y emplea el toldo y la persiana para disminuir el impacto del clima exterior hacia el interior, se hace un estudio de cuando se darían estas condiciones.

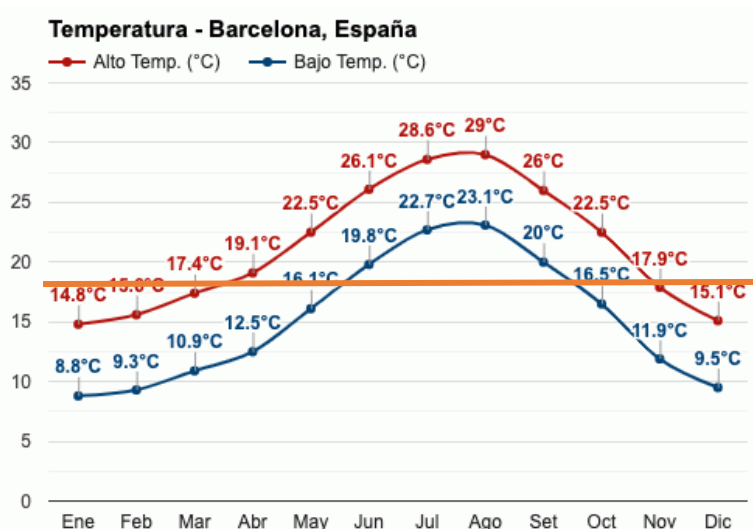


Figura 8.1 Temperatura media en Barcelona, España (Fuente: [37]. [www.weather-es.com](http://www.weather-es.com))

La raya naranja se sitúa en los 18º que es a partir de cuándo se encendería la calefacción. Se observa cómo, siguiendo la media de las temperaturas superior e inferior, sólo se activaría durante enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre, con un total de 6 meses, la época del año fría.

Para ver cuánto se puede ahorrar en calefacción y los otros electrodomésticos, se compara con un estudio hecho por el Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía, que, tras un año de mediciones en una casa domótica, muestra los porcentajes de ahorro eléctrico:

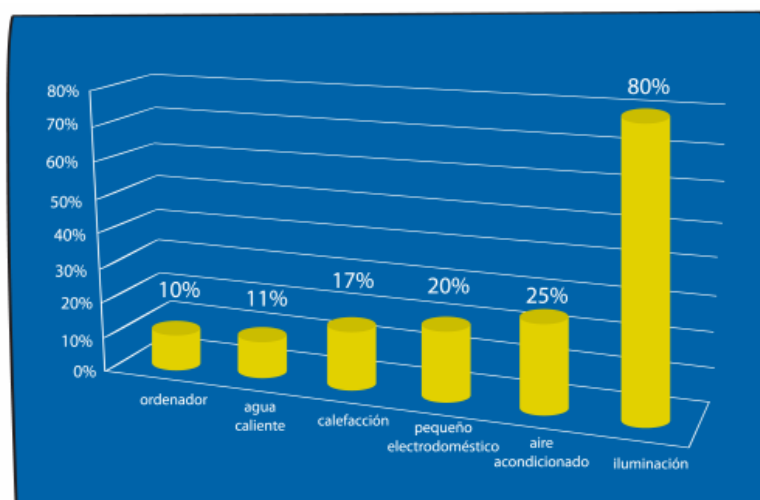


Figura 8.2 Ahorro eléctrico después de un año con un sistema domótico instalado (Fuente [3]. Página 18)

En la vivienda del proyecto, la calefacción escogida consume 2 kWh (dos radiadores de 1000W). El precio por hora del kW por una empresa como Endesa, comparando el precio durante el valle y las horas punta, es de 0,13 €/kWh.

Mes	Horas medias/día	Consumo (kWh/mes)	Precio
Nov	15	900	117,00 €
Dic	20	1240	161,20 €
Ene	20	1240	161,20 €
Feb	20	1160	150,80 €
Mar	15	930	120,90 €
Abr	8	480	62,40 €
<b>Total</b>			<b>773,50 €</b>

Tabla 54 Consumo estimado de la calefacción en condiciones normales

Esta tabla se calcula en el peor de los casos en que la calefacción tuviera que estar en funcionamiento casi todo el día durante invierno. Los datos son contrastados con un estudio [38] que indica que durante los meses fríos se puede llegar a pagar hasta 320 € de media. Este extremo se considera en sitios con clima continental como Castilla y León donde la temperatura media puede llegar a bajar hasta los 3 °C en invierno. Como Barcelona se encuentra en un clima mediterráneo con temperaturas medias más altas, se aceptan estos valores que proporcionalmente son inferiores.

Una reducción el funcionamiento de la calefacción de un 17% supondría para el usuario un ahorro de 131 € anuales o casi 1011 kWh al año.

También se debe tener en cuenta que la instalación está hecha usando luces LED, por lo que cada una puede suponer una media de 70 € durante su vida útil.

### TABLA DE ILUMINACIÓN

Bombilla convencional a sustituir	Lámpara de bajo consumo que ofrece la misma intensidad de luz	Ahorro de kWh durante la vida de la lámpara	Ahorro en coste de electricidad durante la vida de la lámpara (en euros)
40 w	9 w	248	35
60 w	11 w	392	55
75 w	15 w	480	67
100 w	20 w	640	90
150 w	32 w	944	132

Coste considerado por kWh: 0,14€.

**Figura 8.3** Ahorro en coste de electricidad con el uso de luces LED (Fuente: [39]. [www.guiaenergia.idae.es](http://www.guiaenergia.idae.es))

Con 15/20 luces, este valor puede incrementar hasta los 1400 € de ahorro en iluminación.

Aparte, como se ve en la Figura 8.2, la iluminación es un ámbito donde la domótica es capaz de generar más impacto teniendo en cuenta la luz exterior y la ocupación. Los circuitos controlados en los espacios 1, 3 y 4 de la Figura 4.1 pueden significar el 50% de las luces totales por lo que un 80% de reducción en el consumo eléctrico puede suponer un gran ahorro tanto económico como ecológico.

En general el sistema es capaz de ahorrar mediante la gestión inteligente de la energía.



## 9. Normativa

La normativa que se ha tenido en cuenta durante este proyecto es la siguiente.

- **Directiva 2014/35/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, actualizada de la directiva 2006/95/CE, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión.** Garantiza la seguridad y regulación de trabajar con baja tensión.
- **Directiva 2014/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética (refundición).** Garantizar la protección de las personas y los equipos de las posibles perturbaciones electromagnéticas.
- **Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.** Contiene todas las instrucciones técnicas (ITC) desde la BT 01 a BT 51.
  - **ITC\_BT\_51: Instalaciones de sistemas de automatización, gestión técnica de la energía y seguridad para viviendas y edificios.** Reúne todas las instrucciones que debe cumplir un sistema domótico.
  - **ITC\_BT\_36: Instalaciones a muy baja tensión.** Reúne las condiciones del sistema que trabaja a tensiones inferiores a 75 V c.c. o 50 V en c. a., como por ejemplo que la alimentación debe contener un transformador que aisle el circuito de potencia con la carga o que los conectores deben estar bien separados.
- **Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.** Los edificios construidos bajo esta normativa cuentan con fuentes de energía renovables para la obtención de electricidad y ACS. Desde la domótica se colabora con el CTE para promover la sostenibilidad y la innovación para ser más eficientes energéticamente.
- **Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones.** Por primera vez tras su actualización, incorpora el anexo V que hace referencia a las reglas para “la incorporación de las funcionalidades del “hogar digital” a las viviendas”.
- **UNE-CLC/TR 50491-6-3:2013 IN: Requisitos generales para sistemas electrónicos para viviendas y edificios (HBES) y sistemas de automatización y control de edificios (BACS). Parte 6-3: Instalaciones HBES. Evaluación y definición de niveles.** Para ser considerado sistema domótico debe alcanzar el Nivel 1 de la tabla de niveles CEDOM. Este sistema consigue llegar al Nivel 2 con una calificación de 30 puntos con la conexión Bluetooth, y de Nivel 1, sin.

## Organización

El proyecto consta de tres grandes partes: el software, el hardware y la parte escrita. Cada una requiere un previo aprendizaje y estudio que queda recogido en la siguiente tabla.

Concepto	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Introducción al proyecto						
Aprender C genérico						
Estudiar CCS y PROTEUS						
Estudio funciones del sistema						
Practicar con componentes solos						
Desarrollar software con CCS						
Diseño hardware prototipo de prueba						
Simulaciones con Proteus						
Diseño PCB						
Construcción prototipo de pruebas						
Mejoras de software y hardware						
Probar prototipo de pruebas real						
Parte escrita						

Tabla 55 Diagrama de Gantt con la organización del proyecto

Donde mayor se ha dedicado el tiempo es a la parte del diseño del sistema con su software y la búsqueda e implementación de nuevo hardware, debido a que es lo más accesible de hacer desde casa. Es importante recalcar que este proyecto se ha desarrollado bajo unas condiciones excepcionales de pandemia donde la universidad y las tiendas estaban cerradas y la construcción física del prototipo de pruebas ha tenido que ser retrasada consecuentemente.

También se destaca la reciprocidad en el estudio de las funciones del sistema para que, a medida que se iban configurando todas las nuevas ideas, poder añadir de nuevas para completarlo al máximo posible.

## Posibles mejoras

Durante el transcurso de este trabajo, se ha intentado llevar el equilibrio entre añadir el máximo de dispositivos diferentes y configurarlos de la mejor forma para que sea intuitiva y coherente. La gran variedad de funciones que se han empleado mediante el modo RTOS y la comunicación I2C abren las puertas a la adición de nuevas:

- Añadir una placa o módulo extra en el sistema con la totalidad de las luces en vez de sólo las de los sitios de paso que son más incómodas de abrir y cerrar. Al hacerlo, debido a que contendría los sensores de presencia que se usan para la alarma, se podría unificar con el control de ventanas y/o detector de humo para que pudieran actuar instantáneamente todos juntos. Se debería tener en cuenta que el estado de las ventanas también influye en el estado de los elementos de climatización por lo que se tendría que buscar un nuevo método para comunicar las placas simultáneamente y facilitarse entre ellas tal información. El sistema establecido es una relación *master – slave* pero para este tipo de arquitectura seguramente sería mejor que todos los módulos fueran *master* y pudiesen enviarse información entre ellos siempre que fuera necesario.
- Mejorar algunas funciones propias del sistema implementado:
  - Las escenas de buenos días y buenas noches podrían implementar una función para actuar de automática y poder programar-las para una hora. Así el usuario disfrutaría de la rutina por las mañanas sin levantarse de la cama, o cerrar la casa cuando se haga de noche. Aunque todo depende de los gustos del usuario.
  - La persiana y el toldo tienen un motor con límite mecánico, aun así, está bien controlar su límite desde el software. De este modo, se definen desde el *software*, pero el usuario no puede editarlos. Para definirlos, se debe hacer un parche específico para cada instalación teniendo en cuenta las vueltas necesarias para que el toldo/persiana lleguen al final. Estaría mejor si desde la interfaz, cuando se sube o baja dicho elemento, poder definir también los límites y que el sistema se adapte a la situación más fácilmente.
  - Buscar alguna forma de generar un control de lazo cerrado para la calefacción. Es el electrodoméstico que más consume y cuando mejor optimizado esté, más ahorro supondrá para el usuario.

La última y más obvia es la implementación de una aplicación móvil. No tendría que ser muy compleja, pero poder controlar el estado de las luces, los electrodomésticos y las escenas ofrecería un gran confort al usuario.

## Conclusiones

El sistema de gestión domótica, mediante el estudio previo sobre los consumos dentro de la vivienda, junto con los actuadores y sensores necesarios para controlar los electrodomésticos de la casa, es capaz de reducir y optimizar el consumo energético según las condiciones a las que se va afrontando.

Por otro lado, parte de los requerimientos eran aprender CCS y Proteus para desarrollar la programación de los PIC y las simulaciones del circuito. Gracias a los libros, la práctica y la búsqueda de información constante se han adquirido dichos conocimientos.

Una vez conocidas las herramientas para diseñar el sistema domótico, se tuvo que hacer un proceso de estudio sobre las diferentes arquitecturas. Es muy simple encontrar y diseñar las funciones que debe realizar comparado con organizar los componentes y escoger la distribución correcta de ellos. El detonante para entender cómo afrontar el problema, fue gracias a una entrevista con el ingeniero que diseñó el sistema de control de las instalaciones de control de temperatura y presión, entre otros parámetros, del Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Él mostró la importancia de los sistemas descentralizados para repartir las funciones por espacios (en su caso). Aparte, verle controlar todo desde un ordenador dio la idea de crear una placa que fuera la central donde se recogiera la información y luego añadir módulos según los requerimientos del sistema.

Gracias a esto, se puede concluir que la base donde se asienta el proyecto es sólida: una buena fuente de conocimiento sobre cómo escribir y simular el código junto con un plano mental realista del funcionamiento de las instalaciones de control.

A partir de aquí, donde más enfoque y esfuerzo se ha puesto ha sido en explotar al máximo el PIC con toda la capacidad que permite: interrupciones, puertos, comunicaciones diferentes, el modo RTOS, etc., junto con dar soluciones a los problemas reales que presenta una vivienda domótica. En este segundo aspecto, mis padres y hermano mayor que son arquitectos han servido mucho para entender como los dispositivos se emplean alrededor del ahorro y confort para el usuario y cómo funcionan las instalaciones de las viviendas en general.

Durante su desarrollo, se ha ido buscando el equilibrio entre buscar componentes nuevos que añadir en el hardware real para enriquecer el conjunto, junto con la alteración, edición y purificación del software con las simulaciones pertinentes para ver que realmente lo añadido se iba juntando en armonía con el resto del sistema.

Se concluye que el resultado del sistema es positivo ya que cumple todos los objetivos planteados y requeridos junto con una riqueza y variedad de componentes que lo completan. Es cierto que tal y

como se ha visto en el apartado de “Posibles mejoras” hay aún mucho trabajo que se podría hacer, pero las condiciones de alarma que se ha vivido no han sido favorables.

Como estudiante, la situación de pandemia ha resultado en una inhabilidad de asistir a la universidad ni a las tiendas por lo que ha supuesto dos grandes inconvenientes. El no ir a la EEBE ha dificultado mucho la comunicación presencial tanto con el tutor como con los estudiantes. El ambiente de la universidad es inspirador y poder hablar directamente los problemas con el tutor y los compañeros cara a cara hubiera ayudado mucho a ver las cosas con perspectiva y progresar más fácilmente. El segundo inconveniente ha retrasado la construcción del sistema y añadido una despesa extra para comprar las herramientas que se disponen en el laboratorio.

A pesar de las limitaciones, desde el punto de vista personal, el trabajo ha servido para aprender y afrontar un concepto que siempre había querido aprender que es el lenguaje C dentro de los procesadores. Me ha permitido afrontar un problema real donde he podido aprender sobre la electrónica en general y extraer la información necesaria de cada ámbito de fuentes fiables y reguladas. En general estoy muy contento con el resultado final y con ganas de seguir aprendiendo sobre la ingeniería electrónica.

Este documento abre muchas puertas al desarrollo de sistemas domóticos propios sin protocolos internacionales e intenta ser un modelo y motivación para el continuo estudio y creación de circuitos electrónicos al alcance de cualquiera para mejorar e innovar las vidas de las personas y reducir la huella ambiental.



## Bibliografía

- [1] “Qué es Domótica - CEDOM | Asociación Española de Domótica e Inmótica.” [Online]. Available: <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-domotica>. [Accessed: 07-May-2020].
- [2] H. Martín, D. Fernando, and S. Vacas, “Domótica: Un enfoque sociotécnico.”
- [3] A. E. de D. CEDOM and D. y A. de la E. IDAE, “Como ahorrar energía instalando domótica en su vivienda. Gane en confort y seguridad,” 2008.
- [4] “iOS - Casa - Apple (ES).” [Online]. Available: <https://www.apple.com/es/ios/home/>. [Accessed: 12-May-2020].
- [5] “A brief introduction to KNX KNX Association [Official website].” [Online]. Available: <https://www.knx.org/knx-es/para-profesionales/Que-es-KNX/Una-breve-introduccion/index.php>. [Accessed: 12-May-2020].
- [6] “Consumos del Sector Residencial en España.”
- [7] “Tarifas de luz de ayer. Precio de la electricidad de ayer.” [Online]. Available: <http://www.tarifadeluz.com/ayer.php>. [Accessed: 11-May-2020].
- [8] “Guía para domotizar tu hogar profesionalmente: Parte 2 - Domótica Integrada - Integradores de Sistemas Domóticos.” [Online]. Available: [https://domoticaintegrada.com/guia-para-domotizar-tu-hogar-profesionalmente-parte2/#Persianas\\_estores\\_y\\_toldos\\_domotizados](https://domoticaintegrada.com/guia-para-domotizar-tu-hogar-profesionalmente-parte2/#Persianas_estores_y_toldos_domotizados). [Accessed: 12-May-2020].
- [9] “DOMOTICA.” [Online]. Available: [www.casadomo.com](http://www.casadomo.com). [Accessed: 12-May-2020].
- [10] P. Arduino, D. Julio, D. Pedro, and R. De Toro, “Curso de Sensores en Introducción al protocolo I2C,” 2013.
- [11] R. Valdes, Fernando, Pallás Areny, “*Microcontroladores Fundamentos y Aplicaciones con PIC.*” .
- [12] L. G. Corona Ramírez, G. S. Abarca Jiménez, and J. Mares Carreño, “Sensores y actuadores aplicaciones con Arduino,” *Publ. En Internet*, no. October, p. 304, 2014, doi: 10.1007/s40722-017-0084-8.
- [13] “Pinterest.” [Online]. Available: <https://www.pinterest.es/>. [Accessed: 22-May-2020].
- [14] “IoT platform for Smart Home and Smart City centralization – ImperiHome.” [Online]. Available: <https://imperihome.com/>. [Accessed: 15-May-2020].
- [15] “Símbolos Eléctricos / Símbolos Electrónicos.” [Online]. Available: <https://www.simbologia-electronica.com/index.htm>. [Accessed: 25-May-2020].
- [16] N. DE CIRCUITOS Y CARACTERÍSTICAS Página, “ITC-BT-25 MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA INSTALACIONES INTERIORES EN VIVIENDAS.”

- [17] E. Garcia Breijo, "Compilador C CCS y simulador Proteus para Microcontroladores PIC." p. 276, 2008.
- [18] Microchip, "PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet," 2006.
- [19] Texas Instruments, "µA7800 series datasheet," 2003.
- [20] "Tienda de electrónica." [Online]. Available: <https://diotronic.com/>. [Accessed: 28-May-2020].
- [21] STMicroelectronics, "M24512 Datasheet ," 2006. [Online]. Available: <http://www.datasheetq.com/datasheet-download/458863/1/ST-Microelectronics/M24512-RMN6TG>. [Accessed: 29-May-2020].
- [22] MaximIntegrated, "DS1307 DATASHEET."
- [23] "Amazon.es: compra online de electrónica, libros, deporte, hogar, moda y mucho más." [Online]. Available: [https://www.amazon.es/ref=nav\\_logo\\_prime](https://www.amazon.es/ref=nav_logo_prime). [Accessed: 03-Jun-2020].
- [24] "UNE-EN 13561:2015 Persianas exteriores y toldos. Requisitos de..." [Online]. Available: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0055966>. [Accessed: 02-Jun-2020].
- [25] "Wind\_Speed\_Sensor\_Voltage\_Type\_0-5V\_\_SKU\_SEN0170-DFRobot." [Online]. Available: [https://wiki.dfrobot.com/Wind\\_Speed\\_Sensor\\_Voltage\\_Type\\_0-5V\\_\\_SKU\\_SEN0170](https://wiki.dfrobot.com/Wind_Speed_Sensor_Voltage_Type_0-5V__SKU_SEN0170). [Accessed: 02-Jun-2020].
- [26] "AC Voltage Sensors, Ranges 0-300 and 0-600 VAC." [Online]. Available: <https://www.omniinstruments.co.uk/voltage-current-sensors-energy-monitoring-systems/ac-and-dc-voltage-sensors/ac-voltage-sensors-ranges-0-300-and-0-600-vac.html>. [Accessed: 03-Jun-2020].
- [27] "MQ135 Semiconductor Sensor for Air Quality Control."
- [28] "DS1621 Datasheet."
- [29] "Sensor de Luminosidad AD4070."
- [30] "Sensor infrarrojo tipo encoder - MakerElectronico." [Online]. Available: <https://www.makerelectronico.com/producto/sensor-infrarrojo-tipo-encoder/>. [Accessed: 03-Jun-2020].
- [31] "Motor tubular mecánico persianas toldos." [Online]. Available: <http://www.fmautomatismos.com/motores-para-persianas-mecanicas-interruptor-o-pulsador/1-motor-tubular-persiana-estor-toldo-mecanico.html>. [Accessed: 03-Jun-2020].
- [32] "Bricolaje, Decoración, Construcción y Jardín · LEROY MERLIN." [Online]. Available: <https://www.leroymerlin.es/>. [Accessed: 04-Jun-2020].
- [33] "Aplique pared moderno. Colección Stood. Faro Barcelona - Lamparas.es." [Online]. Available: <https://www.lamparas.es/apliques-y-plafones/7803-aplique-stood-moderno-faro-barcelona->



8421776141445.html. [Accessed: 04-Jun-2020].

- [34] “AliExpress - Compra online de Electrónica, Moda, Casa y jardín, Deportes y ocio, Motor y seguridad, y más. - AliExpress - AliExpress.” [Online]. Available: <https://es.aliexpress.com>. [Accessed: 03-Jun-2020].
- [35] “Creately - Your Documents.” [Online]. Available: <https://app.creately.com>. [Accessed: 08-Jun-2020].
- [36] “CCS, Inc. - Your Source for Microchip PIC® MCU Development Tool Solutions.” [Online]. Available: <http://www.ccsinfo.com/>. [Accessed: 08-Jun-2020].
- [37] “Barcelona, España - Información detallada del clima y previsión meteorológica mensual | Weather Atlas.” [Online]. Available: <https://www.weather-es.com/es/espana/barcelona-clima>. [Accessed: 15-Jun-2020].
- [38] E. Press, “Los hogares españoles se gastarán de media 322,74€ mensuales para calentar sus viviendas este invierno.”
- [39] “Iluminación: Consumo de energía, ahorro y eficiencia | guiaenergia.idae.es.” [Online]. Available: <http://guiaenergia.idae.es/iluminacion-lamparas-y-luminarias/>. [Accessed: 15-Jun-2020].