



universidad
de león



**Escuela de Ingenierías
Industrial, Informática y Aeroespacial**

**GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA
INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

Trabajo de Fin de Grado

**AUTOMATIZACIÓN DE UNA VIVIENDA PARA EL
CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN FUNCIÓN DE LA
TARIFA CONTRATADA**

**AUTOMATION OF A HOUSE FOR THE CONSUMPTION OF
ELECTRICAL ENERGY ACCORDING TO THE
CONTRACTED TARIFF**

Autor: Patricia Rivas Aguado
Tutor: Esteban Serrano Llamas

(Febrero, 2022)

UNIVERSIDAD DE LEÓN
Escuela de Ingenierías Industrial, Informática y
Aeroespacial

GRADO EN INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y
AUTOMÁTICA
Trabajo de Fin de Grado

ALUMNO: Patricia Rivas Aguado

TUTOR: Esteban Serrano Llamas

TÍTULO: Automatización de una vivienda para el consumo de energía eléctrica en función de la tarifa contratada.

CONVOCATORIA: Febrero, 2022

RESUMEN:

Simulación de un sistema de control automático de los electrodomésticos de una vivienda en función de su consumo de energía eléctrica y según la tarifa contratada. Con esta implementación se logra que el consumo de la energía eléctrica sea en los periodos en los que el coste de la energía es más bajo obteniendo un ahorro económico, además de garantizar todas las ventajas que nos aporta la domótica en el hogar: seguridad, confort, ahorro energético, mejora de las comunicaciones y la accesibilidad. Este sistema es posible implementarlo en las viviendas cuyas tarifas sean o PVPC o tarifas indexadas, es decir, para aquellas cuyo precio de la energía eléctrica varíe cada hora del día. La implementación seleccionada para llevar a cabo este sistema de control combina el uso y la programación de una placa de Arduino UNO Wifi REV.2 con los enchufes inteligentes, consiguiendo controlar el funcionamiento de los electrodomésticos y programándolos en las horas más económicas del día. Este sistema puede ser aplicado solamente para un grupo de electrodomésticos en función de sus características y su funcionamiento, pero para aquellos electrodomésticos que no pueden ser automatizados con este sistema se propone la solución de conectarlos solamente con los enchufes inteligentes y de este modo poder controlarlos desde una simple aplicación móvil de forma manual. También existe la opción de que, si la vivienda dispone de electrodomésticos inteligentes que funcionen mediante conexión Wifi, conectarlos de forma inalámbrica directamente con la placa de Arduino sin ser necesario el uso de los enchufes inteligentes. Para llevar a cabo la programación de los electrodomésticos será posible hacerlo de forma automática desde un servidor PC o de forma manual con una aplicación desde un dispositivo móvil. La inversión necesaria para llevar a cabo este sistema de control es muy pequeña y con el ahorro obtenido será recuperada en aproximadamente 6 años. Gracias al cálculo del TIR y el VAN ha sido posible asegurar que este sistema de control es viable, por lo que podemos garantizar que con la implementación de esta automatización de los electrodomésticos de la vivienda obtendremos múltiples ventajas tanto a corto como a largo plazo.

ABSTRACT:

Simulation of an automatic control system of the appliances of a home according to its consumption of electrical energy and according to the contracted tariff. With this implementation is achieved that the consumption of electrical energy is in the periods in which the cost of energy is lower obtaining an economic saving, in addition to ensuring all the advantages that home automation provides: safety, comfort, energy savings, improved communications and accessibility. This system can be implemented in homes whose rates are either PVPC or indexed rates, that is, for those whose electricity price varies every hour of the day. The implementation selected to carry out this control system combines the use and programming of an Arduino UNO Wi-Fi REV.2 board with those of smart plugs, getting control of the operation of appliances and programming them in the most economical hours of the day. This system can be applied only for a group of appliances depending on their characteristics and their operation, but for those appliances that cannot be automated with this system the solution is proposed to connect them only with smart plugs and thus be able to control them from a simple mobile application manually. There is also the option that, if the home has smart appliances that work through Wi-Fi, connect them wirelessly directly to the Arduino board without the use of smart plugs. To carry out the programming of appliances it will be possible to do it automatically from a PC server or manually with an application from a mobile device. The investment needed to carry out this control system is very small and with the savings obtained will be recovered in approximately 6 years. Thanks to the calculation of the IRR and the NPV it has been possible to ensure that this control system is viable, so we can guarantee that with the implementation of this automation of household appliances we will obtain multiple advantages both in the short and long term.

Palabras clave: Automatización, Domótica, Energía.

Firma del alumno:

VºBº Tutor/es:

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 Objetivos.....	12
2. DOMÓTICA	13
2.1 ¿Qué es la domótica?.....	13
2.2 Sistema domótico.....	15
2.2.1 Elementos del sistema	15
2.2.2 Tipos de Arquitecturas.....	19
2.2.3 Medios de Interconexión.....	21
2.2.4 Protocolos	24
2.3 Ventajas e inconvenientes de la automatización	25
3. CONSUMO ELÉCTRICO	26
3.1 Red eléctrica de España (REE).....	26
3.1.1 Consumo eléctrico	27
3.1.2 Infraestructura en España	28
3.2 Sistema de Información del Operador del Sistema (E-sios)	30
3.2.1 Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE)	32
3.3 Tarifa Precio Voluntario para el pequeño Consumidor (PVPC).....	35
3.3.1 Precio de la tarifa PVPC	36
3.3.2 Ventajas de contratar la tarifa PVPC.....	39
3.4 Otras tarifas de mercado libre	41
3.4.1 Tarifas de energía eléctrica por horas o tarifas indexadas	42
3.4.2 Tarifas de energía eléctrica con precio fijo	45
3.5 Comparativa de las tarifas	48
4. ELECTRODOMÉSTICOS	50
4.1 AUTOMATIZABLES.....	52

4.1.1	Calefacción eléctrica	52
4.1.2	Lavadora	54
4.1.3	Lavavajillas	55
4.1.4	Secadora	56
4.1.5	Termos eléctricos	57
4.2	POSIBLES AUTOMATIZABLES	59
4.2.1	Frigorífico y congelador	59
4.2.2	Horno	61
4.3	NO AUTOMATIZABLES	62
4.3.1	Microondas	62
4.3.2	Otros pequeños electrodomésticos	63
4.3.3	Stand-by	64
5.	CONTROL DEL SISTEMA DOMÓTICO	66
5.1	Equipos similares en el mercado	66
5.1.1	Optimización de costes de electrodomésticos inteligentes	66
5.1.2	Control inteligente de los electrodomésticos basados en precios en tiempo real	67
5.1.3	Optimización de la respuesta a la demanda para la programación de hogares inteligentes con precio en tiempo real	69
5.1.4	Programador de gestión de energía doméstica basado en precios en tiempo real	70
5.1.5	Smart Power Strip (SPS)	70
5.1.6	Optimización de electrodomésticos controlados termostáticamente para minimizar el costo del consumo de energía basado en precios en tiempo real	71
5.2	Enchufes inteligentes	73
5.3	Controlador Lógico Programable (PLC)	75
5.4	Servidor PC	80
5.4.1	Sistema domótico basado en Java	81
5.5	Arduino	83

5.5.1	Controlador de energía inteligente con domótica	84
5.6	Visión general de sistemas domóticos para la automatización del hogar.....	86
5.6.1	Sistema de automatización del hogar basado en Bluetooth	86
5.6.2	Automatización del hogar basada en el reconocimiento de voz	87
5.6.3	Sistema inalámbrico de automatización del hogar basado en ZigBee	88
5.6.4	Sistema de automatización del hogar basado en GSM	89
5.6.5	Sistema de automatización del hogar basado en el Internet de las cosas (IoT)	90
5.6.6	Sistema de domótico basado en EnOcean.....	91
5.6.7	Comparativa de los sistemas domóticos	92
6.	IMPLEMENTACIÓN SELECCIONADA	94
6.1	Comparativa de los mejores sistemas	94
6.1.1	Implementación con PLCs.....	95
6.1.2	Implementación con Arduino y enchufes inteligentes.....	97
6.2	Sistema de control de los electrodomésticos de una vivienda seleccionado	99
6.2.1	Arduino.....	99
6.2.2	Fuente de alimentación	103
6.2.3	Obtención y lectura de datos	105
6.2.4	Enchufes inteligentes.....	116
6.2.5	Arquitectura final.....	118
6.3	Presupuesto.....	119
6.3.1	Costes materiales.....	120
6.3.2	Costes de programación	121
6.3.3	Costes de fabricación	121
6.3.4	Costes de mano de obra para la instalación	121
6.3.5	Coste total, beneficios y precio de venta.....	122
6.4	Estudio de viabilidad	123
6.4.1	Valor actual neto (VAN).....	128
6.4.2	Tasa interna de rentabilidad (TIR).....	129

6.4.3	Periodo de amortización.....	129
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	130
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Servicios de la domótica (Fuente: [2])	14
Figura 2.2. Ejemplos de sensores (Fuente: [5]).....	15
Figura 2.3. Controladores domóticos Z-Wave (Fuente: [6])	16
Figura 2.4. Ejemplo PLC Siemens (Fuente: [8])	17
Figura 2.5. Ejemplos de actuadores (Fuente: [5]).....	17
Figura 2.6. Ejemplo pasarela KNX<->Ethernet (Fuente: [5]).....	18
Figura 2.7. Esquema de los elementos de un sistema domótico (Fuente: [10])	18
Figura 2.8. Esquema Arquitectura Domótica Centralizada (Fuente: [11]).....	19
Figura 2.9. Esquema Arquitectura Domótica Descentralizada (Fuente: [11])	20
Figura 2.10. Esquema Arquitectura Domótica Distribuida (Fuente: [11])	20
Figura 2.11. Esquema Arquitectura Domótica Híbrida/Mixta (Fuente: [11])	21
Figura 2.12. Conexión alámbrica: Cable coaxial (Fuente: [15])	22
Figura 2.13. Conexión alámbrica: Fibra óptica (Fuente:[16])	23
Figura 3.1. Distribución del consumo anual de un hogar medio (Fuente: [22]).....	28
Figura 3.2. Actividades de Red Eléctrica de España (REE) (Fuente:[24])	29
Figura 3.3. Ejemplo de resultados de los mercados y procesos de operación (Fuente: [26])	31
Figura 3.4. Ejemplo de un gráfico de las curvas agregadas de oferta y demanda (Fuente:[31]).....	34
Figura 3.5. Horario de discriminación horaria, tarifa PVPC (Fuente:[36])	37
Figura 3.6. Ejemplo de la facturación de energía con PVPC en un día (Fuente:[39])	39
Figura 3.7. Ejemplo de una factura con PVPC(Fuente:[40]).....	40
Figura 3.8. Ejemplo factura tarifa indexada (Fuente:[43]).....	43
Figura 3.9. Factura tarifa fija (Fuente:[45]).....	46
Figura 3.10. Precio promedio anual tarifa indexada y fija(Fuente:[44]).....	48
Figura 4.1. Partes de una calefacción eléctrica (Fuente:[49]).....	53
Figura 4.2. Ejemplo de lavadora inteligente (Fuente:[51])	54
Figura 4.3. Ejemplo de lavavajillas (Fuente:[53])	55
Figura 4.4. Ejemplo de secadora (Fuente: [54]).....	56

Figura 4.5. Componentes de un termo eléctrico (Fuente:[56]).....	58
Figura 4.6. Componentes de un frigorífico (Fuente:[59]).....	60
Figura 4.7. Horno eléctrico (Fuente:[61])	62
Figura 4.8. Microondas (Fuente:[63])	63
Figura 4.9. Pequeños electrodomésticos (Fuente:[64]).....	64
Figura 4.10. Regleta con eliminador de Stand-by (Fuente:[66]).....	65
Figura 5.1. Ahorro de costes en la factura de la luz de una casa equipada con electrodomésticos inteligentes en una semana de invierno (Fuente: [67]).....	67
Figura 5.2. Diagrama de bloques del sistema de control inteligente de los electrodomésticos (Fuente:[68]).....	68
Figura 5.3. Placa Arduino Nano (Fuente: [71]).....	71
Figura 5.4. Modelo de gestión energética (Fuente:[72]).....	72
Figura 5.5. Enchufe inteligente (Fuente: [74])	73
Figura 5.6. Monitoreo energético de un enchufe inteligente (Fuente:[75])	74
Figura 5.7. Medidor inteligente de energía eléctrica (Fuente:[76])	75
Figura 5.8. Funcionamiento PLC (Fuente:[77])	77
Figura 5.9. Lenguajes de programación para PLCs (Fuente:[80])	78
Figura 5.10. Posible esquema de automatización mediante PLC (Fuente: Propia)	79
Figura 5.11. Posible diagrama de bloques de la arquitectura del sistema con un servidor PC (Fuente: Propia).....	81
Figura 5.12. Diagrama de bloques de la arquitectura del sistema (Fuente: [81])	82
Figura 5.13. Arquitectura hardware del sistema (Fuente: [81])	83
Figura 5.14. Diagrama del circuito del medidor de energía monofásico (Fuente:[82])	85
Figura 5.15. Diagrama de bloques de sistema domótico con Bluetooth (Fuente:[83])	87
Figura 5.16. Diagrama de bloques del sistema domótico basado en reconocimiento de voz (Fuente:[83]).....	88
Figura 5.17. Diagrama de bloques del sistema domótico basado en ZigBee (Fuente:[83]).....	89
Figura 5.18. Diagrama de bloques del sistema domótico basado en GSM (Fuente:[83]) ..	90
Figura 5.19. Diagrama de bloques del sistema domótico basado en IoT (Fuente:[83]).....	91
Figura 5.20. Diagrama de bloques del sistema domótico basado en EnOcean (Fuente:[83])	91

Figura 6.1. Posible arquitectura para la implementación del sistema de control mediante PLC (Fuente: Propia)	96
Figura 6.2. Diagrama de bloques del sistema de control con Arduino y enchufes inteligentes (Fuente: Propia)	98
Figura 6.3. Placa Arduino UNO Wifi REV2 (Fuente: [87])	100
Figura 6.4. Ethernet Shield V1 (Fuente: [88])	101
Figura 6.5. Conexión Ethernet Shield y Arduino UNO (Fuente: [88])	101
Figura 6.6. Ejemplo código de programación en Arduino IDE (Fuente:[89])	102
Figura 6.7. Entradas de alimentación Arduino (Fuente:[90])	103
Figura 6.8. Fuente de alimentación Arduino (Fuente:[91])	104
Figura 6.9. Información precio medio/bajo/alto (Fuente: [93])	107
Figura 6.10. Información precio kWh por horas (Fuente: [93])	107
Figura 6.11. Información evolución precio medio diario (Fuente: [93])	108
Figura 6.12. Fichero “precios.txt” usado para la programación (Fuente: Propia)	112
Figura 6.13. Resultado lectura de datos y selección de los 4 precios más económicos (Fuente: Propia)	114
Figura 6.14. Enchufe inteligente TP-Link Tapo P100 y sus características (Fuente:[95]) .	116
Figura 6.15. Conexión enchufe inteligente y electrodoméstico (Fuente:[96])	117
Figura 6.16. Arquitectura centralizada del sistema de control (Fuente: Propia)	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Primeras iniciativas domóticas (Fuente: [14]).....	24
Tabla 3.1. Consumo medio de un hogar español (Fuente: [21])	27
Tabla 3.2. Precio medio indexado diario (Fuente: [42])	42
Tabla 3.3. Ofertas de tarifas indexadas de diferentes compañías (Fuente: [42])	45
Tabla 3.4. Ofertas de tarifas fijas de diferentes compañías (Fuente:[46])	47
Tabla 3.5. Comparativa tipos de tarifas (Fuente: [47])	49
Tabla 4.1. Consumo anual de los electrodomésticos (Fuente: [19])	51
Tabla 4.2. Consumo de cada tipo de secadora (Fuente:[54])	57
Tabla 5.1. Comparativa de los sistemas domóticos del hogar (Fuente: [83])	92
Tabla 6.1. Tabla ejemplo de la lectura de los precios del kWh (Fuente: [92]).....	106
Tabla 6.2. Costes materiales del sistema (Fuente: Propia)	120
Tabla 6.3. Costes de programación del sistema (Fuente: Propia)	121
Tabla 6.4. Costes de mano de obra para la instalación (Fuente: Propia)	121
Tabla 6.5. Precios kWh en un día, selección de las horas de consumo (Fuente: Propia) .	124
Tabla 6.6. Cálculo estimado del consumo medio de un día de los electrodomésticos (Fuente: Propia)	125
Tabla 6.7. Cálculo estimado del gasto en los diferentes periodos (Fuente: Propia)	125
Tabla 6.8. Días de uso de electrodomésticos en un año (Fuente: Propia)	126
Tabla 6.9. Cálculo estimado del ahorro en los diferentes periodos (Fuente: Propia)	126
Tabla 6.10. Cálculo estimado del ahorro anual con nuestra implementación (Fuente: Propia)	127
Tabla 6.11. Cálculo VAN (Fuente: Propia)	128
Tabla 6.12. Cálculo TIR (Fuente: Propia)	129

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sector de la vivienda debe adaptarse a las nuevas tecnologías, ya que, tras muchos años con la instalación eléctrica convencional, se están observando nuevas necesidades tanto para el ahorro energético como para la comodidad y/o la seguridad de sus habitantes. Por ello, hoy en día la automatización de la vivienda es uno de los nuevos aspectos diferenciadores a la hora de la adquisición de un nuevo inmueble.

La automatización o domótica de la vivienda puede tener diferentes ámbitos de aplicación como el control de persianas o toldos, de electrodomésticos, de iluminación, de climatización o ventilación, de alarmas, etc. Pero en este trabajo nos centraremos en llevar a cabo un estudio para la automatización y el control de los electrodomésticos en función de la tarifa contratada, centrándonos en las llamadas tarifas por horas, como la PVPC y las indexadas.

Hoy en día, la tarifa de la energía eléctrica está sufriendo grandes e importantes cambios generando un aumento considerable en el precio final de la factura, sobre todo se han producido grandes modificaciones en el caso de la tarifa PVPC que comentaremos y analizaremos a lo largo de este trabajo. Este aumento del coste a pagar por la energía eléctrica ha provocado que se busquen nuevas alternativas para el ahorro energético, y una de estas nuevas opciones es la implementación de la domótica a nuestra vivienda.

En este trabajo la automatización que vamos a realizar consiste en un sistema de control de los electrodomésticos de una vivienda para que sean programados automáticamente en las horas en las que el precio de la energía eléctrica sea más económico. Además, de contar con la opción de programar los electrodomésticos de una forma automática, también tiene la posibilidad de realizarlo de forma manual cuando el usuario lo desee a través de una aplicación móvil.

Esta implementación tendrá una serie de objetivos a cumplir que comentaremos a continuación, y se tendrán siempre en cuenta a la hora de diseñar nuestro sistema.

1.1 Objetivos

El principal objetivo de este trabajo es la automatización de los electrodomésticos de la vivienda para su programación cuando el coste de la energía eléctrica sea más económico. Otros objetivos de este análisis son:

- Dar a conocer la importancia de la domótica en el hogar, las diferentes alternativas y mejoras que se pueden implementar en una vivienda convencional y los beneficios que ello conlleva.
- Conseguir mejorar la calidad de vida de las personas en su hogar inteligente.
- Analizar las diferentes tarifas de energía eléctrica, en concreto la tarifa PVPC o las tarifas por horas, para la posterior automatización respecto a la fluctuación de su precio.
- Analizar qué electrodomésticos son automatizables y cuáles no para llevar a cabo nuestro sistema de automatización.
- Conseguir un ahorro energético y económico gracias a la implementación de nuestro sistema de control sobre los electrodomésticos.
- Dar a conocer las diferentes alternativas viables que se pueden instalar para la programación automática de los electrodomésticos y finalmente cuál será la más conveniente para cumplir todos nuestros objetivos.

Para alcanzar todas estas metas se realizará un análisis de todas las alternativas posibles y viables, para finalmente seleccionar la más conveniente para ello. Gracias a nuestro sistema de control existirá la posibilidad implantar la automatización solo los electrodomésticos que seleccione el usuario y siempre habrá la posibilidad de ampliar su alcance.

2. DOMÓTICA

El término domótica viene de la unión de las palabras domus (que significa casa en latín) y autónomo (del griego αὐτόνομος: “que se gobierna a sí mismo”). [1]

2.1 ¿Qué es la domótica?

Según la CEDOM (Asociación Española de Domótica e Inmótica), la domótica es el conjunto de tecnologías aplicadas al control y la automatización inteligente de la vivienda, que permite una gestión eficiente del uso de la energía, que aporta seguridad y confort, además de comunicación entre el usuario y el sistema. [2]

No es posible determinar una fecha exacta del inicio de la domótica, pero se puede estimar que inicia a principios de la década de los 70 que es cuando se observó la aparición de los primeros elementos automatizados que controlaban edificios, a manera de probarlos. Durante los años 80, se produjo un gran desarrollo de la domótica en el ámbito doméstico y el primer programa que hizo uso de la domótica para lograr eficiencia y bajo consumo de energía en las viviendas fue el Save que se desarrolló en Estados Unidos en 1984.

Hoy en día, gracias a la facilidad y al gran desarrollo de la tecnología y a los precios tan competitivos, la domótica se ha convertido en algo asequible para todos los hogares, por lo que podemos determinar que los sistemas domóticos están aquí para quedarse y que avanzan a pasos gigantescos. [3]

En conclusión, la domótica está evolucionando considerablemente en los últimos años y esto se debe al desarrollo tecnológico, fundamentalmente, de la electrónica y la informática. Por ello, la oferta es mejor, de mayor calidad y su utilización es fácilmente manejable. La domótica aporta grandes soluciones, y puede instalarse tanto en viviendas de nueva construcción como en viviendas ya construidas que son automatizables con una simple obra o instalación. Estas viviendas en las que está implementada la domótica doméstica para el confort son conocidas como las casas inteligentes.[4]

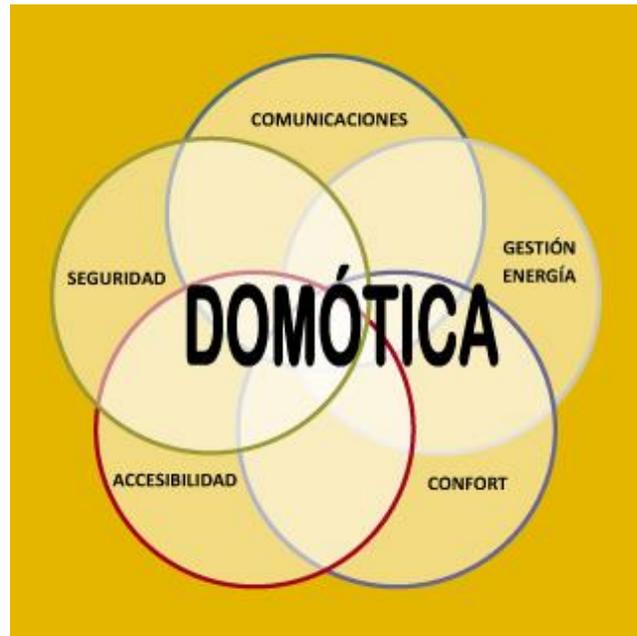


Figura 2.1. Servicios de la domótica (Fuente: [2])

Generalmente la domótica se basa en la mejora de la calidad de vida del usuario:

- Fomentando la accesibilidad: facilita el manejo de los elementos de la vivienda según las necesidades del usuario. Tiene como finalidad hacer posible que cualquier persona, independientemente de su grado de discapacidad, pueda hacer uso de todos los elementos de su hogar.
- Facilitando la eficiencia energética: control de la iluminación, los electrodomésticos, la climatización, la ventilación, etc. Provocando un aprovechamiento de los recursos y un ahorro energético y económico.
- Convirtiendo la vivienda en un hogar confortable gracias al control remoto y a la automatización de este.
- Aportando seguridad mediante sistemas de vigilancia automática, control de alarmas, cámaras de vigilancia, controles de intrusión, etc.
- Garantizando las comunicaciones gracias al control y la supervisión remota de la vivienda, permitiendo la recepción de avisos de anomalías. [2]

2.2 Sistema domótico

Dentro del sistema domótico nos vamos a encontrar con diferentes partes y/o elementos. Para empezar, presentaremos los elementos básicos que lo forman y sus funciones. A continuación, analizaremos los diferentes tipos de arquitecturas que puede tener nuestro sistema domótico y para finalizar los posibles medios de interconexión y la diversidad de protocolos existentes.

2.2.1 Elementos del sistema

Los sistemas domóticos captan información del exterior, la analizan e interpretan y actúan en función de la respuesta obtenida. Para ello utilizan una serie de elementos:

-Sensores: son un elemento básico en todos los sistemas domóticos. Su función es captar la información exterior o interpretar órdenes del usuario y transmitirla a la unidad de control para que pueda procesarla y tomar decisiones.

Ejemplos: sensor de temperatura, de humedad, de luz, de estado (abierto/cerrado), de lluvia, de movimiento, etc.



Figura 2.2. Ejemplos de sensores (Fuente: [5])

-Transmisores: son entradas que permiten introducir órdenes del usuario, al igual que los sensores. Por lo tanto, se encargan de recibir la orden del usuario y enviarla a la unidad de control para que esta procese la información, tome una decisión y la envíe a los actuadores para que la ejecuten.

-Controladores: se encargan de controlar el sistema, recibiendo los datos de los sensores y/o transmisores para analizarlos y enviar órdenes a los actuadores. Existen controladores específicos para el control domótico, pero también es posible la adaptación de otros controladores no específicos con la desventaja que su configuración puede ser más compleja.

Un ejemplo de controladores específicos son Z-Wave que son utilizados para el control, la seguridad y el ahorro energético de la vivienda inteligente. Estos controlan las luces, persianas, toldos, electrodomésticos, termostatos... Y son controlados mediante cualquier tipo de dispositivo con un navegador web o una aplicación vía Ethernet.



Figura 2.3. Controladores domóticos Z-Wave (Fuente: [6])

Un ejemplo de un controlador no específico para domótica son los PLC, este autómata programable tiene la ventaja de poseer unos buses de datos estandarizados y permite la interconexión de diferentes elementos de otros fabricantes. Pero, como hemos comentado anteriormente, al ser un controlador no específico el trabajo de montaje y programación puede ser más complicado y laborioso. [7]



Figura 2.4. Ejemplo PLC Siemens (Fuente: [8])

-Actuadores: ejecutan acciones concretas y actúan solamente cuando son alertados por la unidad de control cuando esta recibe la información de alguno de los sensores y/o transmisores. Cada uno de ellos tiene una función específica para conseguir que los sistemas domóticos funcionen de una forma óptima, es decir, son los encargados de ejecutar todas las tareas necesarias para un buen funcionamiento domótico.



Figura 2.5. Ejemplos de actuadores (Fuente: [5])

-Pasarelas de comunicación: son un dispositivo frontera entre las redes de accesos externas y las internas. Recibirán información de las diferentes redes internas y la transferirán a las redes externas, y viceversa, es decir, establecen la conexión entre todos los elementos permitiendo su correcto funcionamiento.

Pueden ser tanto físicas como inalámbricas, algunos ejemplos son: Wifi, Bluetooth, router, cableado coaxial... Un ejemplo más concreto de una pasarela de comunicación sería un sistema de control en una vivienda mediante KNX (un sistema domótico) va a ser monitorizado y controlado desde Internet. El bus KNX no se comunica mediante internet, por lo que tenemos que instalar una pasarela de comunicación que en este caso será KNX<->Ethernet. [9]



Figura 2.6. Ejemplo pasarela KNX<->Ethernet (Fuente: [5])

A continuación, podemos observar un ejemplo de un sistema domótico, donde se diferencian los diferentes elementos domóticos y sus funciones específicas. En este caso tenemos dos posibles entradas de información: los sensores, que captan la información exterior (la luz) y el interfaz, que son los dispositivos que muestran la información a los usuarios y estos tienen la posibilidad de interactuar directamente con el sistema. Después el controlador recibe la información de entrada y la procesa enviando una acción a los actuadores, y estos la ejecutarán (en este caso regulando la iluminación de la vivienda). Todos estos elementos están interconectados gracias a un bus que es la pasarela de comunicación.

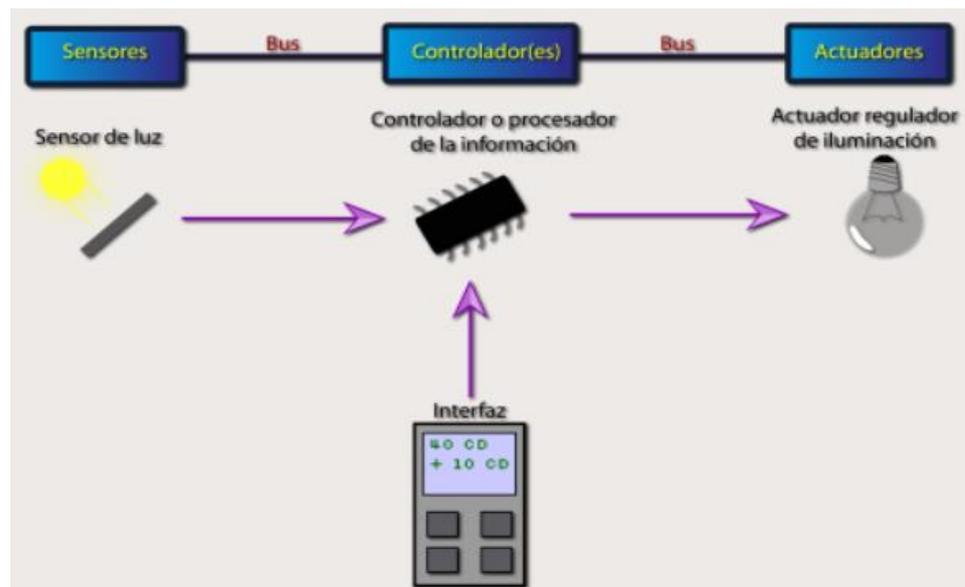


Figura 2.7. Esquema de los elementos de un sistema domótico (Fuente: [10])

2.2.2 Tipos de Arquitecturas

La arquitectura de la domótica es la estructura de la red, su clasificación se basa en dónde reside la “inteligencia” del sistema domótico.

-Arquitectura Centralizada: un controlador centralizado envía la información a los actuadores e interfaces según la configuración y la información recibida de los sensores, los transmisores y los usuarios. Este tipo de arquitectura tiene una instalación y un uso sencillo, y la mayor ventaja es que es la de menor costo ya que solo usa un controlador para su comunicación. Pero a su vez, la gran desventaja es que si este controlador falla, todo el sistema falla.

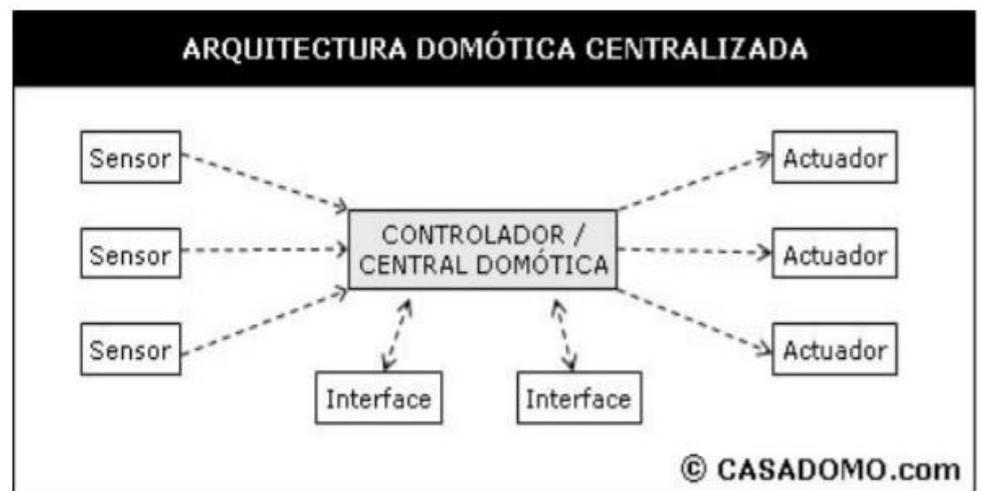


Figura 2.8. Esquema Arquitectura Domótica Centralizada
(Fuente: [11])

-Arquitectura Descentralizada: en este tipo hay varios controladores interconectados a través de un bus que envía la información entre ellos y a su vez a los actuadores e interfaces conectados a los controladores, según la configuración y la información recibida de los sensores, los transmisores y los usuarios. Este tipo de arquitectura tiene un reducido cableado, alta seguridad de funcionamiento y fiabilidad, pero un coste elevado y complejidad de programación. Y al contrario que la arquitectura centralizada, si el controlador falla no tendremos ningún problema de funcionamiento ya que el resto de los controladores siguen cumpliendo su función.

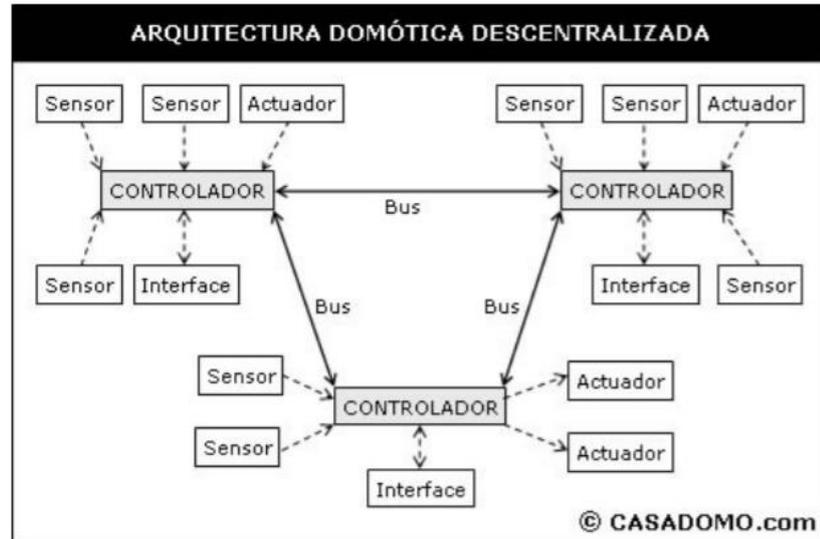


Figura 2.9. Esquema Arquitectura Domótica Descentralizada (Fuente: [11])

-Arquitectura Distribuida: cada sensor y actuador a su vez es un controlador, por lo que es capaz de actuar y enviar información al sistema según la configuración y la información recibida de los sensores, los transmisores y los usuarios. Este tipo de arquitectura tiene un coste y cableado moderado, una alta seguridad y fiabilidad de funcionamiento y la posibilidad de rediseño de la red. El mayor inconveniente es que requiere programación y su principal ventaja, al igual que en la arquitectura descentralizada, es que si el controlador falla, no falla el funcionamiento.

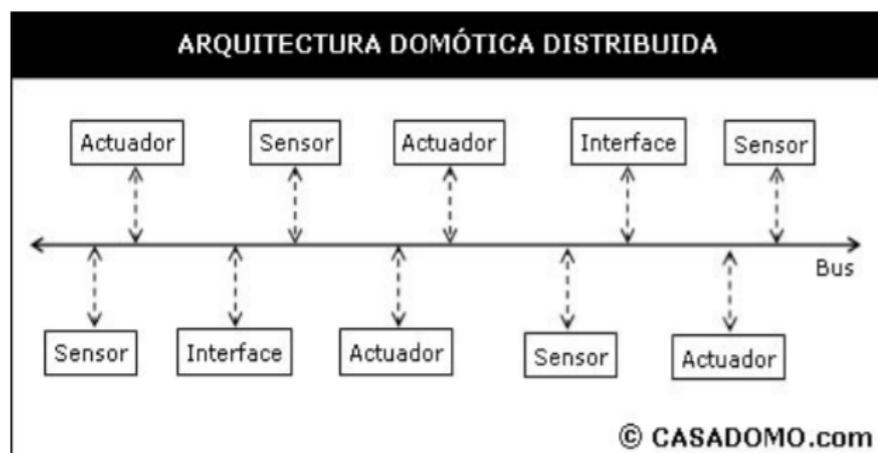


Figura 2.10. Esquema Arquitectura Domótica Distribuida (Fuente: [11])

-Arquitectura Mixta: se combinan las arquitecturas de los sistemas centralizados, descentralizados y distribuidos. Por lo que, al mismo tiempo puede tener un controlador central o varios controladores descentralizados. Y a su vez, los sensores y actuadores también pueden ser controladores, es decir, pueden procesar la información, actuar o enviarla a otros dispositivos de la red sin necesidad de pasar por otro controlador.[12]

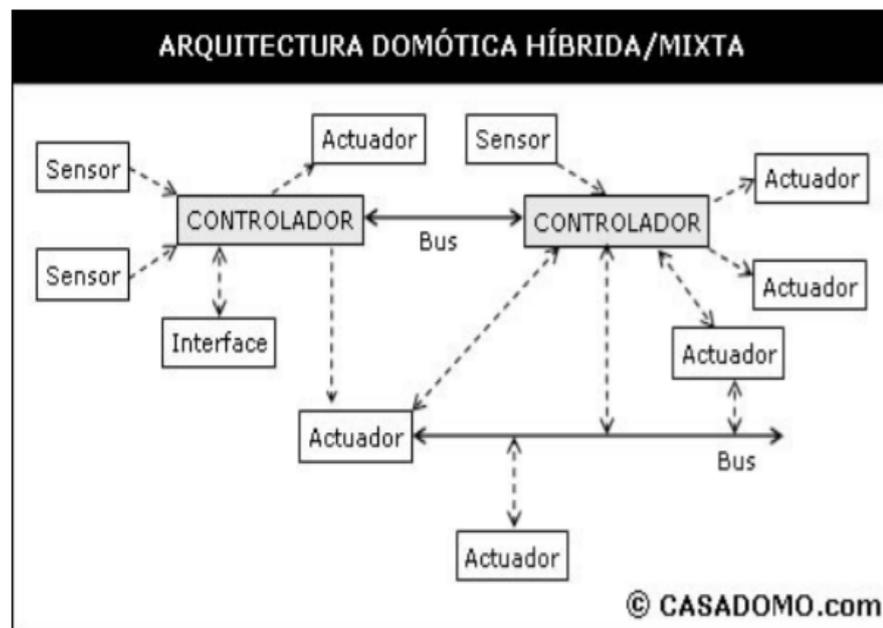


Figura 2.11. Esquema Arquitectura Domótica Híbrida/Mixta
(Fuente: [11])

2.2.3 Medios de Interconexión

Los medios de transmisión de la información, interconexión y control, entre los diferentes dispositivos de los sistemas domóticos pueden ser alámbricos o inalámbricos.

-Alámbrico o Cableado: es el primer sistema que apareció en el mercado, pero actualmente su uso en el hogar es cada vez menor. Para este tipo de conexión es necesario tener un sistema centralizado que conecte todos dispositivos a través de un cableado por toda la vivienda. Es un sistema muy seguro, rápido y eficaz ya que cuando se trasmite la señal no se producen ningún tipo de interferencia, pero su instalación requiere de una obra bastante compleja. [13]

Podemos encontrar diferentes tipos de cables para este tipo conexión alámbrica: [14]

-Par metálico: son cables formados por varios conductores de cobre y pueden dar soporte a transporte de datos, voz o alimentación de corriente continua. Dentro de este grupo podemos encontrar cables de un solo conductor con un aislamiento exterior de plástico, par de cables, par apantallado o par trenzado. Existe la posibilidad de combinar estos cables dando como resultado otros tipos también muy utilizados: UTP (par trenzado no apantallado), STP (par trenzado apantallado) o FTP (STP pero con una pantalla de papel de aluminio en vez de una malla de cobre).

-Cable coaxial: permite el transporte de las señales de video y señales de datos a alta velocidad, es decir, en una vivienda puede ser utilizado para señales que provienen de antenas o redes de TV por cable. Las principales ventajas que presenta este tipo de cable son su ancho de banda, su resistencia o impedancia, su capacidad y su velocidad de propagación. Teniendo en cuenta estas características sabemos que este cable es adecuado para conexiones a grandes distancias y/o capacidades.



Figura 2.12. Conexión alámbrica: Cable coaxial
(Fuente: [15])

-Fibra óptica: es el resultado de la combinación de la tecnología de los semiconductores y el guiado de ondas ópticas, por esta razón las fibras ópticas no conducen señales eléctricas sino rayos luminosos. Destaca que son muy compactas, ligeras, con bajas pérdidas de señal y una alta fiabilidad y seguridad en la transmisión de datos. Pero a su vez, el coste del cableado y las conexiones es más elevado.

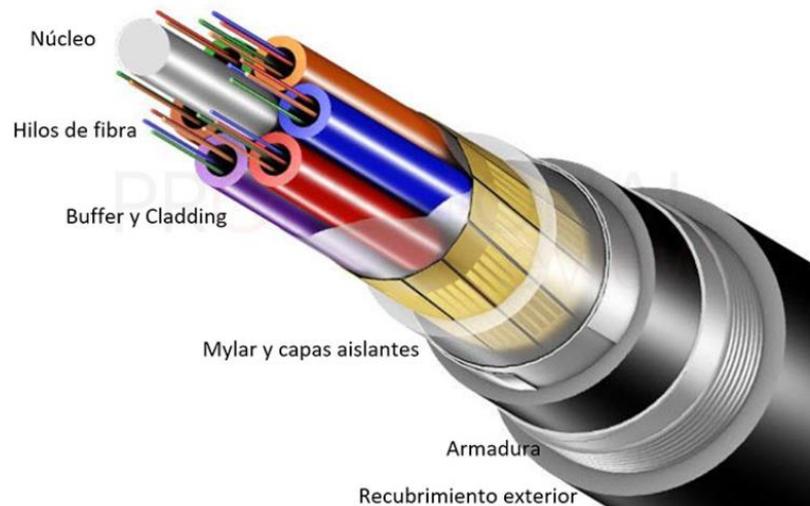


Figura 2.13. Conexión alámbrica: Fibra óptica

(Fuente:[16])

-**Inalámbrico:** es el sistema más utilizado en los hogares en la actualidad. Es sin cables, completo y unificado y permite manejar prácticamente todo desde un dispositivo móvil y en cualquier lugar. Crean su propia red de comunicación y para enviar la información lo hacen a través de ondas de radiofrecuencia. También es importante tener en cuenta que no es necesaria ninguna obra para su instalación, que son fiables, rápidos y seguros. Dentro de la conexión inalámbrica los más empleados en la domótica son: [15]

-Infrarrojos: este tipo de conexión es utilizado en una vivienda sobre todo en mandos a distancia para controlar equipos de audio y vídeo, ya que es una forma cómoda y flexible. Cabe destacar que este medio es inmune a las radiaciones electromagnéticas producidas por equipos domésticos y otros medios de transmisión.

-Radiofrecuencia: en esta transmisión se utilizan señales de radio para la transmisión de telegramas. Puede parecer un medio de transmisión idóneo para la domótica gracias a su flexibilidad y fácil intervención, pero es importante tener en cuenta la gran sensibilidad que tiene a las perturbaciones electromagnéticas. En la actualidad, los medios de transmisión más empleados para los sistemas domóticos son: Bluetooth, Wifi y ZigBee.

2.2.4 Protocolos

Los protocolos de comunicación son los procedimientos utilizados para la comunicación entre los dispositivos con la capacidad de controlador. Existe una gran variedad de protocolos, algunos creados para la domótica y otros adaptados. Pueden ser de dos tipos:

-**Estandarizados:** son protocolos utilizados por varias empresas y compatibles entre sí. Pero, algunos de ellos necesitan una licencia específica para su uso.

-**Propietarios:** son de uso exclusivo del fabricante y sólo son capaces de comunicarse entre sí.

Iniciativa	Procedencia		Ámbito de aplicación
	Promotor	País	
Batibus	Merlin Gerin (Schneider Electric)	Francia	Europa
EIB	Siemens	Alemania	Europa
EHS	Comisión Europea	Unión Europea	Europa
X-10	Pico Electronics Ltd	UK	Mundial
LonWorks	Echelon	EE.UU.	Mundial
CEBus	Asociación de Industrias Electrónicas de EE.UU.	EE.UU.	EE.UU.
HBS	-	Japón	Japón

Tabla 2.1. Primeras iniciativas domóticas (Fuente: [14])

Existe una amplia variedad de protocolos y buses por todo el mundo, como podemos observar en la Tabla 2.1. Pero algunos de los protocolos más importantes y utilizados en la actualidad para el desarrollo de sistemas domóticos son: X-10 (en uso para viviendas ya construidas) o EIB (controlar servicios eléctricos de residencias, viviendas y negocios). [17]

2.3 Ventajas e inconvenientes de la automatización

La automatización del hogar tiene numerosas ventajas, las principales son:

- Mejora de la seguridad: se incorporan funciones de seguridad y vigilancia a la red doméstica desde la que podemos controlar los electrodomésticos, la iluminación, detectar una fuga de agua o gas o un incendio desde un simple dispositivo móvil.
- Comodidad y simplicidad: permite gestionar de forma sencilla todos los dispositivos de la vivienda y controlar remotamente las funciones del hogar.
- Ahorro: gracias a los sistemas domóticos puedes ahorrar en tiempo, dinero, esfuerzo y, sobre todo, en energía. Este ahorro energético tiene como consecuencia directa un ahorro económico y también una reducción del consumo de los recursos naturales.
- Mejora de la funcionalidad de los aparatos, es lo que en la actualidad se conoce como IoT (Internet de las Cosas).

Para la automatización de la vivienda también encontramos algunas desventajas que, aunque son mínimas hay que considerarlas y analizarlas.

- Alto costo de instalación: el costo es algo elevado, por lo que la inversión inicial hay que tenerla en cuenta. Esta inversión dependerá del nivel de domotización que se quiera instalar y el tipo de vivienda. Aunque hoy en día el coste de los sistemas domóticos y su instalación cada vez son menores y más sencillos.
- La instalación de la domótica requiere un mantenimiento esporádico para actualizar su sistema y sus redes. En el caso de que se produzca alguna avería, el arreglo puede ser costoso y complejo, y posiblemente, provoque un bloqueo de parte del sistema.

-Velocidad de transmisión de datos: esto dependerá de la red y de los usuarios conectados al sistema. Si nos encontramos con una gran cantidad de datos, la red se puede colapsar y disminuir la velocidad de transmisión, provocando que las funciones se ralenticen.

-Conexión en anillo: cuando la información se conecta formando un anillo, provoca cierto retraso que dependerá del número de puntos que estén conectados, esto implica poca fiabilidad al sistema. [18]

Analizando los pros y los contras se puede llegar a la conclusión de que son mayores los beneficios que los inconvenientes a la hora de instalar un sistema domótico en una vivienda, ya que, con una pequeña inversión conseguimos no solo recuperar lo invertido en poco tiempo, sino que también un ahorro en el consumo y en el gasto energético, a la vez que se respetan el medio ambiente y sus recursos.

3. CONSUMO ELÉCTRICO

El consumo eléctrico es la cantidad de energía utilizada en un punto de suministro específico en un tiempo determinado, este periodo es llamado periodo de facturación. El consumo es facturado en kilovatio hora (kWh) y dependiendo de los servicios adquiridos, la tarifa y la compañía contratada variará el coste final.

La fórmula (3.1) sirve para calcular el consumo eléctrico, es decir, el precio de la energía consumida durante un periodo de tiempo determinado. Y como podemos observar, para realizar este cálculo es necesario conocer los kWh consumidos y el precio del kWh que tenemos contratado según nuestra tarifa. Es importante tener en cuenta que este precio del consumo no será el coste final, ya que también influyen diferentes factores que analizaremos y comentaremos a lo largo de este trabajo. [19]

$$\text{Precio de consumo} = \text{kWh consumidos} * \text{Precio kWh} \quad (3.1)$$

3.1 Red eléctrica de España (REE)

Red eléctrica se creó en 1985 y fue la primera empresa del mundo dedicada al transporte y operación del sistema eléctrico. Es una sociedad con

mayoría de capital público, compuesta por aportaciones patrimoniales de un grupo de empresas eléctricas públicas y privadas. [20]

3.1.1 Consumo eléctrico

El consumo doméstico representa aproximadamente un 25% del consumo eléctrico total de España, según Red Eléctrica. Pero hay que tener en cuenta de que la cantidad de energía que se consume en un hogar depende de diversos factores como el tamaño y tipo de vivienda, su ubicación, etc. Pero es posible estimar un consumo medio en un hogar español como podemos ver en la Tabla 3.1.

	Anual	Diario
Consumo medio de un hogar español	3.272 kWh	9 kWh
Facturación media	500€	1,35 €
Emisiones de CO₂ medias por hogar	1.300 kg	3,6 kg

Tabla 3.1. Consumo medio de un hogar español (Fuente: [21])

A continuación, analizaremos un gráfico (Figura 3.1) con los diferentes electrodomésticos de una vivienda y su respectivo consumo medio anual. Como podemos observar los grandes consumidores de energía eléctrica en el hogar son la iluminación, el frigorífico, la calefacción y la televisión. Pero también supone un gran gasto la suma de los consumos de los pequeños electrodomésticos.

Por todas estas razones, este trabajo tiene como principal objetivo la automatización y el control de estos electrodomésticos para reducir su consumo y poder programarlos en los periodos más convenientes beneficiándonos de un ahorro energético y por lo tanto también un ahorro económico.

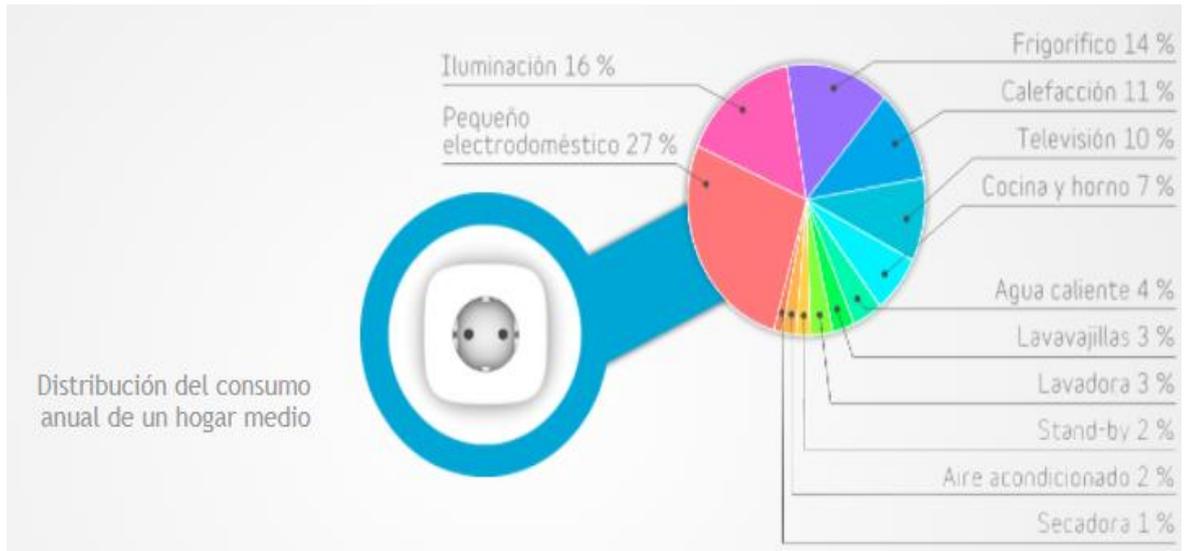


Figura 3.1. Distribución del consumo anual de un hogar medio

(Fuente: [22])

3.1.2 Infraestructura en España

Durante el año 2020 se ha impulsado el desarrollo de la red de transporte, poniendo en servicio instalaciones que ayudan de forma eficiente a avanzar en la transición energética y la descarbonización de la economía. Con la finalidad de integrar la mayor generación de energía renovable posible y garantizar la mejora de la calidad de servicio y el aumento de la seguridad del suministro. Para ello se han puesto en servicio 116 kilómetros de circuito y 93 posiciones de subestación, consiguiendo elevar la capacidad de transformación nacional. [23]

Red Eléctrica tiene dos misiones principales, una como operador del sistema eléctrico español que es garantizar en todo momento el correcto funcionamiento del suministro eléctrico, proporcionando una seguridad y continuidad del abastecimiento. Y otra como gestor de la red de transporte en alta tensión que se encarga de gestionar el transporte de energía desde los centros de generación hasta las zonas de consumo doméstico, industrial y de servicios.

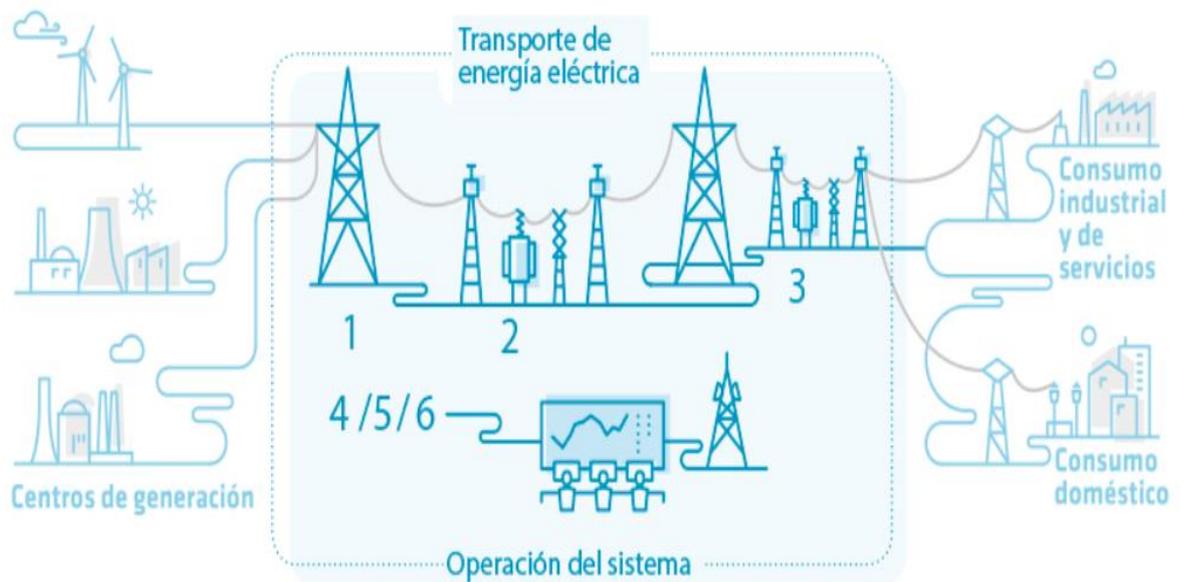


Figura 3.2. Actividades de Red Eléctrica de España (REE)

(Fuente:[24])

Como hemos mencionado anteriormente, las actividades de Red Eléctrica se pueden dividir en dos bloques, cada bloque estará formado por una serie de actividades enumeradas en relación con la numeración ilustrada en la Figura 3.2.

-Actividad de transporte de energía eléctrica:

1. Línea eléctrica: recoge la energía eléctrica generada en las centrales de generación.
2. Subestación de transporte: transporta la electricidad, que ha sido transformada en alta tensión, desde las centrales hasta las redes de distribución.
3. Subestación de transporte y/o distribución: se encarga de la entrega de energía a las compañías distribuidoras, transformada a tensiones inferiores, para que llegue al consumidor directamente en la tensión de uso sin necesidad de que vuelva a ser transformada.

-Actividad de operación del sistema:

- 4/5/6. Centro de Control Eléctrico (Cecoe): se encarga de que el proceso funcione, para ello Red Eléctrica debe operar el sistema para mantener en equilibrio la generación y consumo de energía. Esto es

necesario ya que la energía eléctrica no puede almacenarse en grandes cantidades, por lo que para cumplir con este objetivo lo que se hace es estimar diariamente el consumo en todo el país, para que con esta previsión los centros de generación programen su producción. Gracias a Cecoel, Red Eléctrica consigue mantener el equilibrio entre producción y consumo demandando y en el caso de que la demanda varíe se encarga de enviar las nuevas necesidades demandadas a las centrales para así poder cumplirlas. [24]

3.2 Sistema de Información del Operador del Sistema (E-sios)

E-sios es un sistema de información llamado Sistema de Información del Operador del Sistema encargado de realizar las tareas de información y gestión de los procesos relacionados con el mercado eléctrico, funciona para toda la Península Ibérica, es decir, tanto en España como en Portugal. Este sistema ha sido creado por Red Eléctrica, para poder:

- Comunicarse con el Operador del Mercado Ibérico, Polo Español (OMIE): para la realización del intercambio de resultados del Mercado Diario y los Mercados Intradiarios.
- Comunicarse con los Sujetos del Mercado (SM): los cuales acuden con ofertas al mercado eléctrico y gracias a esta buena comunicación es posible gestionar de una forma eficiente las ofertas de compra o venta de energía.
- Comunicarse con los técnicos del propio Operador del Sistema: recibiendo instrucciones sobre cómo tratar las ofertas, alteraciones o situaciones excepcionales.
- Comunicarse con los operadores de los sistemas eléctricos de países vecinos: para evaluar la capacidad técnica de las líneas de interconexión y de energía para uso comercial y gestionar las restricciones de red.
- Publicar diariamente los resultados de los diferentes mercados y programaciones.

-Solicitar la participación en las subastas del recurso interrumpible, las convocatorias de las subastas y sus resultados.

-Almacenar toda la información, tanto de entrada como los resultados, en una base de datos histórica. [25]

Red Eléctrica tiene la obligación legal de anunciar diariamente los resultados de los mercados y los procesos de operación del sistema, por tanto, la información de los precios del kilovatio cada hora del día se publicarán a las 20:00h del día anterior. Gracias a esto, para llevar a cabo nuestro sistema de control en este trabajo nos basaremos en estos datos publicados para llevar a cabo la programación y el control de los electrodomésticos en las horas más económicas del día.

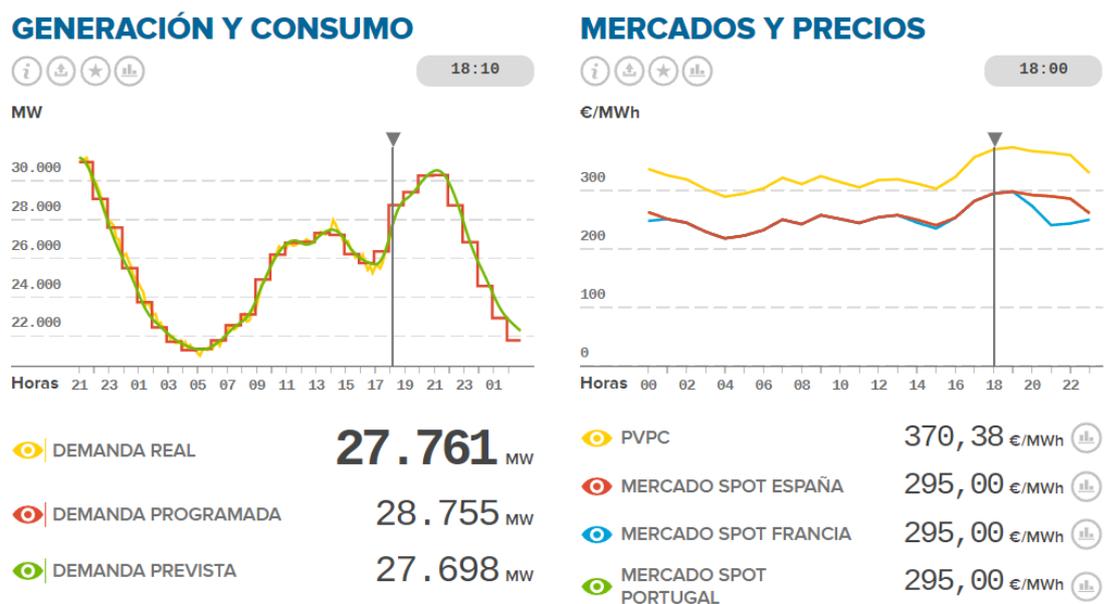


Figura 3.3. Ejemplo de resultados de los mercados y procesos de operación (Fuente: [26])

Como se puede observar en la Figura 3.3, en la gráfica de generación y consumo es posible determinar la demanda real, programada y prevista en megavatios a todas las horas del día. Y en la gráfica de mercados y precios podemos observar el precio del megavatio hora de la tarifa PVPC y el mercado spot en España, Francia y Portugal.

3.2.1 Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE)

En la Península Ibérica la gestión del sistema eléctrico diario e intradiario está a cargo del Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE), a través del cual se fija el precio horario de la electricidad para el mercado mayorista. Es un mercado en el que el precio del MWh se establece por horas para el día siguiente y Red Eléctrica (REE) es la encargada de la publicación de todos estos datos, los cuales sufren diariamente grandes fluctuaciones. [27]

Este mercado de energía eléctrica está formado por un mercado diario, un mercado intradiario de subastas y un mercado intradiario continuo, y participan empresas generadoras, distribuidoras, comercializadoras de electricidad y consumidores cualificados. Estos mercados que afectan a la península tienen un funcionamiento muy parecido al del resto de Europa, de hecho, se está trabajando para el desarrollo de un mercado único europeo de la energía eléctrica.

-Mercado Diario: tiene como objetivo llevar a cabo las transacciones de energía eléctrica mediante la presentación de ofertas de venta y adquisición de energía eléctrica por parte de los agentes del mercado. Diariamente a las 12:00 CET se lleva a cabo la sesión en la que se fijan los precios y las energías para las 24 horas del día siguiente.

-Mercados Intradiarios: son una herramienta clave para que los agentes del mercado puedan ajustar con ofertas de venta y adquisición de energía su programa resultante del mercado diario de acuerdo con las necesidades a tiempo real. Lo forman el mercado intradiario de subastas y el mercado intradiario continuo. [28]

Este mercado diario también es conocido como “pool eléctrico” y afecta a los usuarios pertenecientes al mercado regulado, es decir, a los usuarios que tengan contratada la tarifa PVPC que como comentaremos a continuación pagan el precio estipulado por el mercado mayorista y este cambia a cada hora del día, aunque también pueden afectar a las tarifas

del mercado libre que están ligadas al precio del “pool eléctrico”, como las tarifas indexadas. El precio de la energía eléctrica se subasta diariamente y varía en función de la demanda, es decir, si la demanda se dispara los precios también.

En este mercado peninsular primero es subastada la energía más económica (como la energía nuclear), si la demanda es superior a la energía subastada, se subastan las energías renovables y por último las energías más caras (como el gas). Las últimas energías que entran en la subasta son las que marcan el precio final del kilovatio, por lo que todas las empresas generadoras cobran lo mismo que la energía más cara. [29] Pero existen unos límites para la fijación del precio, tanto inferior (0€/MWh) como superior (180,3€/MWh) y estas ofertas tienen dos parámetros a tener en cuenta: el precio y el volumen. El volumen corresponde a la cantidad de energía que conlleva la oferta, y respecto al precio hay que tener en cuenta que es muy volátil ya que está influenciado por muchos factores como las ofertas proporcionadas por el resto de vendedores, la demanda, la climatología, el precio de las materias primas... [30]

En la Figura 3.4 encontramos un gráfico cuyos ejes son el precio y el volumen de energía eléctrica, que como hemos comentado anteriormente son los dos parámetros más importantes para las ofertas de compra y venta. También hemos comentado que existen unos límites para el precio del MWh, que como podemos observar en el gráfico hay un mínimo de 0€/MWh y un máximo de 180.3 €/MWh. En este gráfico podemos ver la existencia de varias curvas, las que tendremos en cuenta serán la curva verde (O. venta) que se corresponde con las diferentes ofertas de venta y la curva azul (O. compra) que son las variaciones de las distintas ofertas de compra de energía.

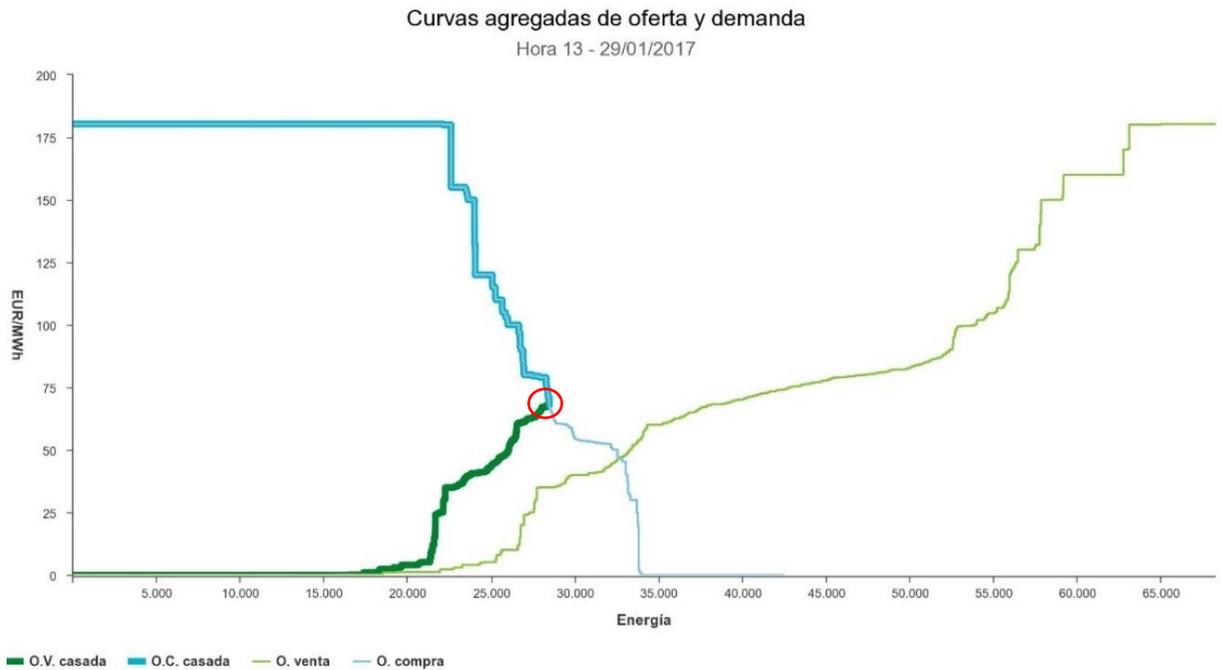


Figura 3.4. Ejemplo de un gráfico de las curvas agregadas de oferta y demanda (Fuente:[31])

La variación de los precios depende de diversos factores técnicos, algunas compañías ofertan una determinada cantidad de energía a 0€/MWh como es el caso de la energía nuclear y otras compañías ofertan la energía al mayor precio posible 180.3 €/MWh como suelen ser las de gas natural. Por esta razón encontramos tal variación de la curva de venta a lo largo del eje horizontal, que corresponde con la cantidad de energía ofertada a ese determinado precio. También se puede observar la variación de la curva de compra que corresponde con la fluctuación de la demanda del mercado. Encontramos que dos de las líneas O.V.casada y O.C.casada están representadas con un trazo más grueso, esto es por motivos técnicos que fija Red Eléctrica.

Ambas curvas se cruzan en un punto determinado que en nuestro caso vemos rodeado por un círculo rojo, siendo ese punto el precio de casación para esa hora. Por lo tanto, en nuestro gráfico estamos analizando el precio del MWh para las 13:00h del 29/01/2017 por lo que a esa hora el precio del MWh será sobre unos 70€, pero el precio final de la energía no es exactamente el obtenido en la intersección ya que influye la demanda

real del sistema en el momento de la casación. En el periodo punta la demanda es más elevada siendo necesario aceptar el pool de las centrales más caras y el precio sube, en cambio en el periodo valle la demanda es menor y se consigue un precio de casación más bajo. Encontraremos una gráfica como esta para cada hora del día ya que como hemos comentado el precio del MWh es diferente cada hora, por lo que se realizan ofertas de venta y compra 24 veces al día.

Nos encontramos ante un sistema de precios marginalista ya que obtenemos un único precio para comprador y vendedor, es decir, este precio lo cobran tanto los vendedores que ofertaron por debajo como los que ofertaron por encima, en conclusión, todos los vendedores tienen que venderlo al precio de casación obtenido.

3.3 Tarifa Precio Voluntario para el pequeño Consumidor (PVPC)

El Precio Voluntario para el pequeño Consumidor del mercado regulado es el precio máximo que podrán cobrar los comercializadores de referencia a los consumidores. Este tipo de tarifa es aplicada desde el año 2014 en sustitución de la tarifa TUR (Tarifa de Último Recurso). [32]

PVPC es igual en todo el territorio nacional y varía cada hora permitiendo la discriminación horaria. Incluye varios conceptos, que se enumeran a continuación, pero es importante tener en cuenta que este tipo de tarifa no incluye servicios adicionales ni impuestos, ya que estos se aplican sobre el PVPC. Por consiguiente, incluye de forma aditiva los siguientes conceptos:

- El coste de producción de energía: son lo que cobran las empresas que producen la energía eléctrica y la venden, este coste sube o baja en función de la demanda.
- Los peajes de acceso a la red: son precios fijos que cubren los costes de transportar y distribuir la electricidad.
- Cargos del sistema eléctrico: reflejan los costes del sector y la compensación del déficit acumulado.

- El coste de comercialización, incluyendo los costes de explotación y un margen de beneficio por el ejercicio de la actividad.

Con esta serie de conceptos podemos estructurar el PVPC en un término de potencia y en un término de energía. [33]

Hay que tener en cuenta que para la contratación de la tarifa PVPC hay que cumplir una serie de requisitos:

- Disponer de una instalación eléctrica de baja tensión.
- El suministro de potencia debe ser hasta 10 kW. [34]
- Se recomienda la instalación de un contador digital.

La mayoría de los hogares españoles cumple estos requisitos por lo que podrían acceder a esta tarifa y esta es una de las razones por las que nuestro trabajo se centra en la automatización de los electrodomésticos de las viviendas que tienen contrato en este tipo de tarifa, para que así la mayoría de los hogares puedan acceder a esta implementación. Aunque también comentaremos otras tarifas alternativas a la tarifa PVPC con discriminación horaria en las que se podrá implementar nuestra automatización.

3.3.1 Precio de la tarifa PVPC

Este precio varía diariamente para cada hora del día y por ello esta tarifa también es conocida como tarifa de energía eléctrica por horas y es regulada de acuerdo con el Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo, que establece la metodología de cálculo de los precios voluntarios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación. [35]

Para determinar el precio del kWh hay que tener en cuenta la variación de la oferta y de la demanda del mercado eléctrico. Una vez que tenemos estos importes hay que sumarles los costes regulados, los cuales los determina el Gobierno, y un porcentaje de beneficio para la comercializadora.

En junio de 2021, todos los peajes de acceso se unificaron en una única tarifa, la 2.0 TD. Esta tarifa de PVPC tiene dos grandes cambios respecto

a las anteriores: la primera variación es que la potencia contratada cambia de uno a dos periodos de facturación y el otro cambio es que se produce una discriminación horaria en tres periodos diferentes.

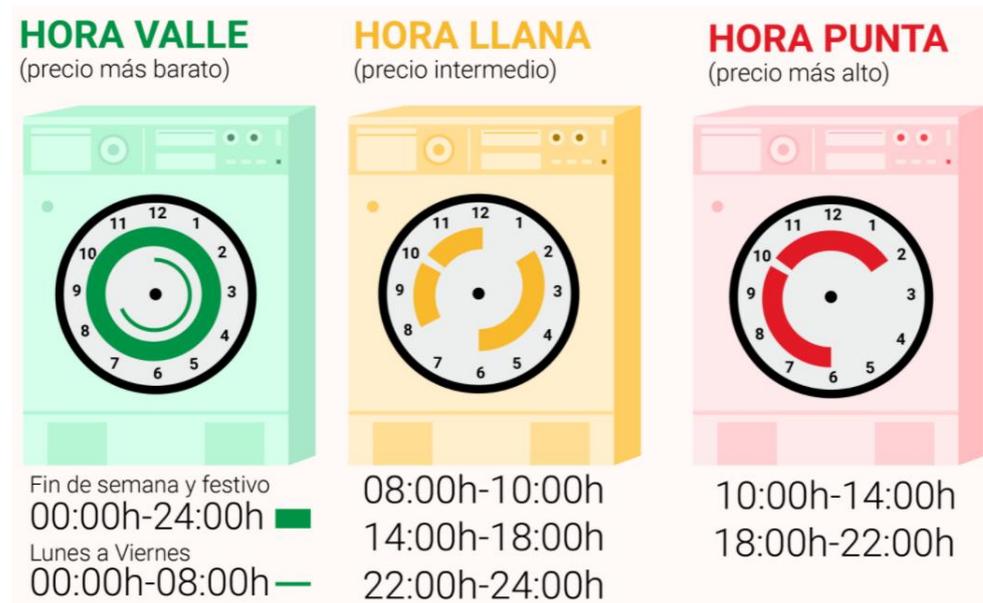


Figura 3.5. Horario de discriminación horaria, tarifa PVPC

(Fuente:[36])

-El **periodo punta**: la aplicación de peajes y cargos regulados serán más elevados y como consecuencia en este periodo el coste final será el más elevado.

-El **periodo llano**: los costes regulados tienen un impacto intermedio.

-El **periodo valle**: el peaje de acceso es bastante inferior respecto a las horas del periodo punta, por consecuencia el coste de este periodo será el más económico. [37]

Podemos observar en la Figura 3.5, que con la tarifa PVPC con discriminación horaria se produce un ahorro en el consumo en la franja horaria de 00h a 08h y los fines de semana. Esto será un punto clave en nuestro trabajo, ya que uno de los objetivos es el ahorro en el consumo por lo que será muy importante tener en cuenta esta información a la hora de llevar a cabo el control y la programación de los electrodomésticos de la vivienda.

En la actualidad, para todos los usuarios españoles que se acogen a la tarifa PVPC el precio de la energía eléctrica se ha disparado. Esto se debe a un fuerte aumento del precio del gas natural en los mercados internacionales, a la subida de los derechos de emisión del CO₂ y al aumento del impuesto de producción, que es el impuesto sobre el valor de la producción de la energía eléctrica. En el caso del gas natural, su precio ha aumentado un 400% con respecto al año anterior y respecto a los precios de las emisiones del CO₂, estas han sufrido un incremento de entorno al 100% en los últimos 6 meses. El principal motivo para estos aumentos en el precio es un intento de la Unión Europea para la reducción del uso de los combustibles fósiles. [38]

Red Eléctrica tiene la obligación de publicar diariamente el precio de la energía eléctrica, como hemos comentado anteriormente, por ello para nuestra implementación deberemos tener en cuenta esta información y ser capaces de leer estos datos, analizarlos y programar automáticamente el funcionamiento de los electrodomésticos cuando nos encontremos en el periodo valle, ya que es en el que el precio del kilovatio hora es inferior.

Como se puede observar en la Figura 3.6, encontramos un ejemplo de la curva del precio de la energía eléctrica por horas en un día. La curva azul corresponde con el precio en Ceuta y Melilla y la curva roja con el precio en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias. Y podemos apreciar que están señalizadas, con un símbolo triangular, tanto la hora en la que el coste es el menor como la hora en la que el coste es el máximo.

En esta imagen también se puede observar que no hay una gran diferencia de precio entre el periodo punta y el periodo valle, esto se debe al aumento del precio del gas natural, las emisiones de CO₂ y el aumento en el impuesto de producción, que hemos comentado anteriormente. Por este motivo cada vez es más complicado el ahorro en la factura de la energía eléctrica, ya que la diferencia de precio muchos días es mínima y conlleva estar pendiente continuamente de las posibles variaciones. Por

esta razón, es aún más útil nuestra implementación porque gracias a la automatización del control de los electrodomésticos seremos capaces de programarlos en las horas más económicas automáticamente, sin la necesidad de hacerlo de forma manual. Priorizando una vez más la comodidad de la vivienda, que como hemos comentado antes es una de las ventajas principales que nos aporta la domótica y uno de los requisitos cada vez más solicitados a la hora de la adquisición de un nuevo inmueble.

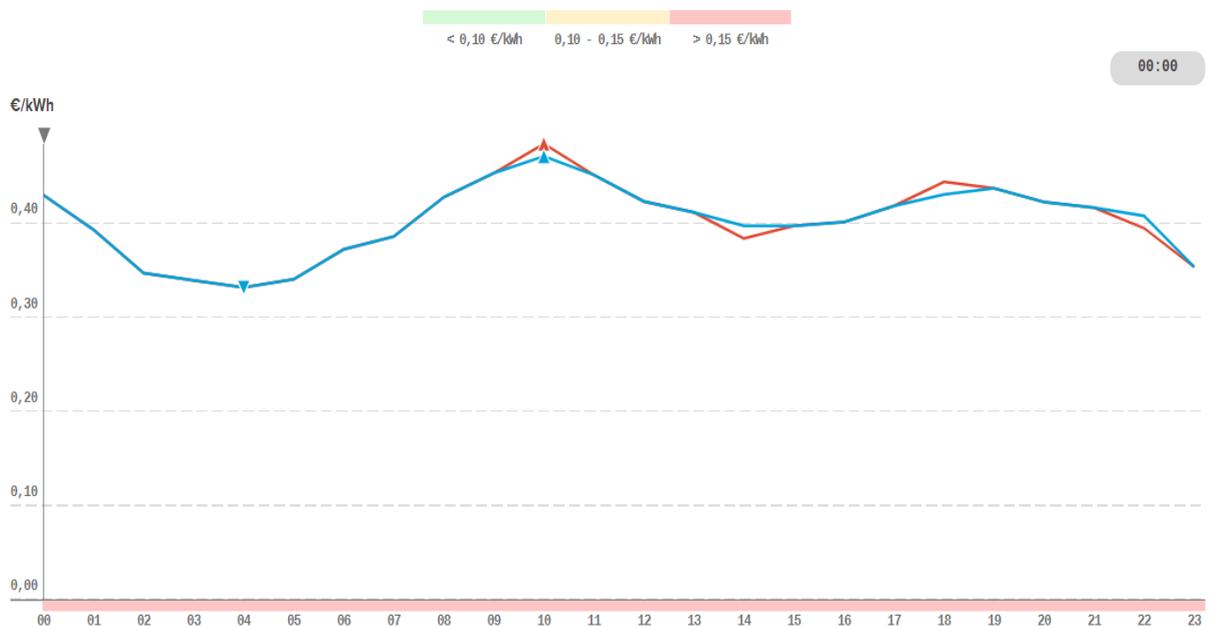


Figura 3.6. Ejemplo de la facturación de energía con PVPC en un día (Fuente:[39])

3.3.2 Ventajas de contratar la tarifa PVPC

La contratación de la tarifa PVPC permite tener un precio competitivo y ofrece una total transparencia de sus precios por hora y día. Algunas de las ventajas que obtenemos al contratar esta tarifa son:

- No tiene servicios adicionales en la factura ya que las condiciones del contrato están reguladas y acotadas sin letra pequeña.
- La factura es clara, sencilla y transparente.
- No existe compromiso de permanencia, es decir el cliente tiene la libertad de cambiar a otra modalidad de contratación con la posibilidad de volver siempre al PVPC. [32]

1. Potencia facturada: Número de kW contratados x Precio del kW x Días facturados
▷ Punta: $4.6 \text{ kW} \times 0.0938 \text{ €/kWh día} \times 30 \text{ días} = 12.94 \text{ €}$
▷ Valle: $4.6 \text{ kW} \times 0.0126 \text{ €/kWh día} \times 30 \text{ días} = 1.74 \text{ €}$
▷ Total potencia: $12.94 \text{ €} + 1.74 \text{ €} = \mathbf{14.68 \text{ €}}$
2. Energía facturada: Término de energía x kWh consumidos
▷ $0.1496 \text{ €/kWh} \times 200 \text{ kWh} = \mathbf{29.92 \text{ €}}$
3. Impuesto sobre la electricidad: (Potencia facturada + Energía facturada) x 5.113 %
▷ $(14.68 \text{ €} + 29.92 \text{ €}) \times 0.05113 = \mathbf{2.28 \text{ €}}$
4. Alquiler del contador de luz: Precio del contador/día x Días facturados
▷ $0.017753 \text{ €/día} \times 30 \text{ días} = \mathbf{0.53 \text{ €}}$
5. IVA: (Potencia + Energía + Impuesto electricidad + Alquiler contadores) x 21 %
▷ $(14.68 \text{ €} + 29.92 \text{ €} + 2.28 \text{ €} + 0.53 \text{ €}) \times 0.21 = \mathbf{9.96 \text{ €}}$
6. Coste total de la factura
▷ $16.09 \text{ €} + 25.40 \text{ €} + 2.12 \text{ €} + 0.53 \text{ €} + 9.27 \text{ €} = \mathbf{57.43 \text{ €/mes}}$

Figura 3.7. Ejemplo de una factura con PVPC(Fuente:[40])

En esta imagen podemos observar el ejemplo de la factura de un mes cuando se tiene contratada una tarifa PVPC. Tendrá todos los meses la misma forma, pero cambiará el precio del kWh en los diferentes periodos. Como vemos cumple las ventajas que hemos comentado, es decir, es una factura clara, sencilla y transparente y además no tiene ningún coste por servicios adicionales. Esta factura está formada por diferentes partes:

- El término de potencia.
- El término de energía.
- El impuesto sobre la electricidad.
- El alquiler del contador de luz.
- El IVA.

Gracias a este ejemplo podemos saber cómo obtener el precio final que deberemos pagar, ya que podemos ver las diferentes partes a pagar y las fórmulas para calcular estos costes.

Y por todas estas razones, la PVPC es una de las tarifas más competitivas y mejor valoradas del mercado, siendo una de más escogidas entre todos los españoles. Aunque en la actualidad, esta tarifa ha sufrido importantes cambios y muchos usuarios están con posibles dudas sobre ella.

Uno de los cambios más significativos es la disminución de la diferencia de precio entre los periodos punta, valle y llano, siendo mucho más complicado la programación manual de los electrodomésticos de la vivienda en las horas más baratas, convirtiéndose en un gran inconveniente para tener en cuenta. Por ello, nuestra implementación tiene gran importancia ya que ofrece un ahorro en el consumo de la energía y un ahorro en el precio de la factura, pero de forma automatizada, es decir, sin tener que estar pendiente de programar los electrodomésticos en las horas más económicas y por consecuente tener que controlar diariamente las variaciones del precio de la energía eléctrica. Es decir, con nuestro control del sistema domótico somos capaces de cubrir y solucionar este nuevo inconveniente de la tarifa PVPC.

3.4 Otras tarifas de mercado libre

La tarifa PVPC es una tarifa eléctrica del mercado regulado, en cambio existen otras tarifas eléctricas alternativas a la tarifa PVPC en el mercado libre. Para la elección de una tarifa de mercado regulado o mercado libre habrá que tener en cuenta los hábitos y necesidades de consumo de cada usuario.

En estos tipos de tarifas de mercado libre, cada comercializadora ofrece sus propias ofertas y precios, y es el usuario el encargado de seleccionar la más adecuada para sus necesidades entre una gran variedad de opciones. A la hora de realizar esta elección es conveniente tener en cuenta que, con las tarifas de mercado libre, podemos acceder a descuentos y promociones,

existen para suministros de cualquier potencia contratada y es posible contratarlas junto a servicios de mantenimiento. [41]

3.4.1 Tarifas de energía eléctrica por horas o tarifas indexadas

Este tipo de tarifas son conocidas como tarifas indexadas y al igual que la tarifa PVPC ofrecen el precio de energía eléctrica en 24 periodos, es decir, para cada hora del día. El precio por hora cambia respecto a la oferta, la demanda, los precios fijados por la comercializadora y el mercado eléctrico, por lo que cada mes el precio variará.

Las diferencias entre esta tarifa y la tarifa PVPC son:

- Los márgenes de comercialización: se presentan en forma de cuota fija mensual o cuota sobre consumo.
- La potencia: existe la posibilidad de que alguna compañía ofrezca un precio menor que la tarifa PVPC, ya que eliminan márgenes de comercialización y cobran solo los costes regulados.

Seguidamente, en la Tabla 3.2 podemos observar el coste del kWh en los diferentes periodos de facturación. Estos datos son el precio medio de cada periodo, porque como ya sabemos el precio del kWh en una tarifa indexada varía cada hora de cada día, por lo que algunos días se pagará más por el consumo que otros. Es importante tener en cuenta que a estos precios de la energía hay que sumar el coste de la potencia y la cuota mensual que establece la compañía contratada.

Zona	Precio medio	Precio máximo	Precio mínimo
Península, Baleares y Canarias	0,32243 €/kWh	0,43762 €/kWh	0,25454 €/kWh
Ceuta y Melilla	0,3244 €/kWh	0,43762 €/kWh	0,25454 €/kWh

Tabla 3.2. Precio medio indexado diario (Fuente: [42])

En la Figura 3.8 podemos observar el ejemplo de una factura real de OVO Energy, una compañía que suministra energía eléctrica, para una tarifa

indexada con discriminación horaria y analizaremos los puntos más importantes que encontraremos en ella.

Datos facturación detallados	
Nº factura:	ENERGIA 11914
Fecha:	21/09/2020
Fecha de cargo/fecha limite de pago:	28/09/2020
Alquiler Equipo Distribuidora	0,98 €
(Alquiler contadores)	
Alquiler Equipo Distribuidora	
Término Energía Tarifa Acceso	5,85 €
(Precio regulado según tarifa contratada)	
P1 90 kWh x 0,062942 €/kWh	
P2 83 kWh x 0,002248 €/kWh	
Término Energía Variable	8,98 €
P1 90 kWh x 0,057000 €/kWh	
P3 83 kWh x 0,046386 €/kWh	
Impuesto Electricidad	1,44 €
(Impuesto del estado)	
5,11269632 % sobre 28,10 € x 1	
Término Potencia Tarifa Acceso	13,27 €
(Precio regulado según tarifa contratada)	
P1 3,450 kW x 37 Días x 0,103944 €/kW día	
Productos	4,26 €
Coste de gestion OVO Energy	4,26 €
Subtotal	34,78 €
Impuesto NORMAL (21%) al 34,78	7,30 €
Total importe factura	42,08 €
Precios de los términos del peaje de acceso publicados en (Orden IET /2735/2015)	
Precio de los equipos de medida y control establecido en (Orden IET /1491/2013)	

Figura 3.8. Ejemplo factura tarifa indexada (Fuente:[43])

-**Término de potencia:** es el coste por los kW contratados en la vivienda.

-**Término de consumo/energía:** el precio a pagar por el consumo realizado en los diferentes periodos de facturación. Siendo P1 el periodo punta, P2 el periodo llano y P3 el periodo valle, en este tipo de tarifa es

importante saber que se paga por la media mensual de cada franja horaria.

-**Impuesto sobre la electricidad (IEEE)**: se aplica sobre el coste de la potencia y el término de energía.

-**Alquiler de equipos de medida**: se cobra solamente a los usuarios que no disponen de un contador en propiedad.

-**Cuota mensual**: es el coste de gestión que aplica la compañía contratada.

-**IVA**: generalmente un 21%, pero actualmente está reducido por ley al 10%. [42]

Si comparamos una factura de una tarifa PVPC (Figura 3.7) y una factura de una tarifa indexada (Figura 3.8) podemos observar que son muy similares, la diferencia más destacable es que con una tarifa de tipo indexada deberemos pagar el coste de gestión a la compañía que tenemos contratada.

Gracias a una tarifa indexada obtenemos múltiples beneficios: a largo plazo será más económica que una tarifa con precio fijo, no tiene permanencia, tiene disponibilidad para todo tipo de potencias, existe una amplia oferta de diferentes empresas y siempre está garantizada la transparencia de los datos y precios de la energía eléctrica durante las 24 horas del día. [44]

Pero, como en todas las tarifas, también encontraremos una serie de inconvenientes que habrá que tener en cuenta, aunque son menos que las ventajas que nos aporta esta tarifa. Como hemos podido observar en la Figura 3.8 nos encontramos ante una factura de energía eléctrica algo compleja y puede que se incluyan unos gastos adicionales (gastos de mantenimiento, seguros, cuota de gestión...), además de que en comparación con la tarifa PVPC podemos encontrarnos ante un término de potencia más elevado.

Compañía	Potencia 1	Potencia 2	Cuota de gestión
Indexada 20.TD Lucera	0.0660 €/kW día	0.0027 €/kW día	Cuota mensual: 4,90 €/mes
Tarifa Variable Factor Energía	0.0981 €/kW día	0.0100 €/kW día	Suplemento de 0.004 €/kWh
Tarifa Sin Más Gana Energía	0.0766 €/kW día	0.0034 €/kW día	Cuota de 4.50 €/mes
Tarifa Verde OVO Energy	0.0651 €/kW día	0.0027€/kW día	Cuota mensual de 3.50 €
Tarifa Tres Tramos Energy Go	0.0659 €/kW día	0.0027 €/kW día	Cuota mensual: 6 €*
Masmóvil Luz MasMóvil Energía	0.0650 €/kW día	0.0027 €/kW día	Cuota mensual de 6 €*

Tabla 3.3. Ofertas de tarifas indexadas de diferentes compañías

(Fuente: [42])

En la Tabla 3.3 encontramos una comparativa de ofertas de diferentes compañías para una tarifa de energía indexada, en este caso solo vemos los precios correspondientes al término de potencia faltaría analizar el precio del término de energía. También cabe destacar que en el caso de la tarifa PVPC no existe el coste de cuota mensual, al contrario que con una tarifa indexada que como observamos en la tabla sí existe y es cambiante dependiendo de la compañía contratada.

3.4.2 Tarifas de energía eléctrica con precio fijo

La principal característica de este tipo de tarifa es que mantienen el mismo importe de la energía durante todo el contrato, es decir, todos los meses se pagará el mismo importe. Dentro de este tipo de tarifa hay dos alternativas:

-Con precio estable: como su nombre indica, ofrecen el mismo precio del kWh durante todo el día y el precio de la potencia tendrá dos periodos, valle y punta.

-Con discriminación horaria: al igual que la tarifa PVPC hay tres periodos de facturación de la energía (punta, llano y valle) y la potencia también tiene dos periodos de discriminación, punta y valle.

[41]

La ventaja que nos ofrece esta tarifa es la seguridad de cuánto va a ser el coste de la energía eléctrica durante un año, ya que al asegurarnos un precio fijo las posibles subidas del precio de la energía no afectarán al contrato fijo. Y como podemos observar en la siguiente imagen, todos los meses nos encontraremos con una factura muy sencilla e idéntica ya que nuestro contrato tendrá unos importes a pagar fijos.

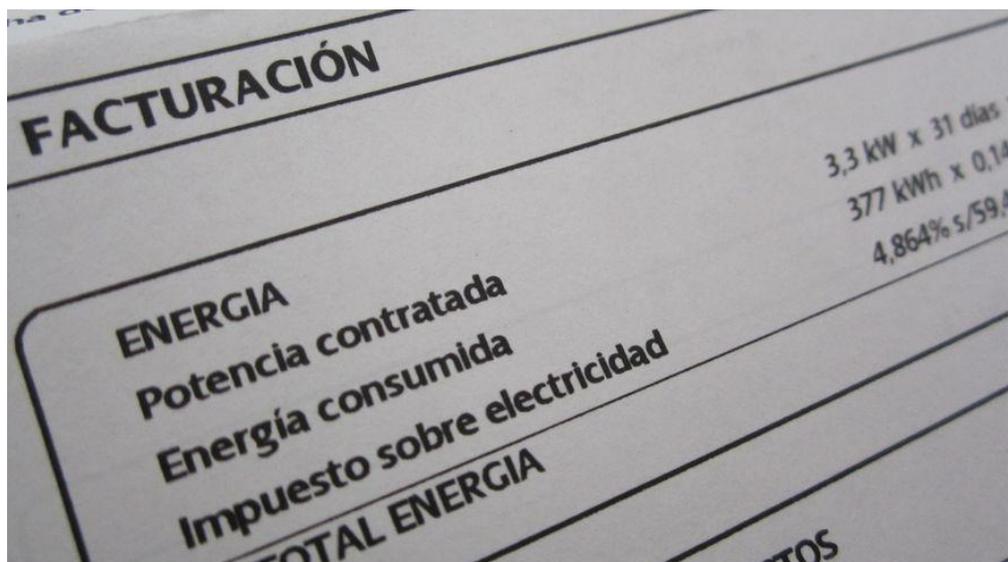


Figura 3.9. Factura tarifa fija (Fuente:[45])

Este tipo de tarifa tiene diversos inconvenientes, pero con respecto a las anteriores tarifas la mayor desventaja a tener en cuenta es que a lo largo del tiempo el precio final es más elevado, ya que las empresas determinan un precio fijo mayor al que cuesta la energía para así obtener beneficios. También, al igual que las tarifas indexadas, pueden incluirnos gastos añadidos en nuestra factura y una tarifa fija puede incluir

requisitos de permanencia. Otra desventaja de este tipo de tarifa es que los servicios de mantenimiento son más caros. [46]

A continuación, en la Tabla 3.4 podemos observar las ofertas de tarifas fijas de diferentes compañías eléctricas, observando el término fijo de potencia y el término fijo de energía. Con estos datos será posible calcular de una forma exacta el precio a pagar durante el contrato firmado, ya que como el propio nombre indica es una tarifa fija y el precio no variará porque es determinado por contrato, al contrario que una tarifa PVPC o una tarifa indexada que como ya sabemos varía todos los días y todas horas del día en función de diversos factores.

Podemos observar que en función de la compañía contratada nos ofrecerá unos precios diferentes en término de potencia y en término de energía, fijando un precio fijo al kWh. Para el cálculo de la factura de la energía eléctrica, debemos multiplicar el precio del término de potencia por los días que tenga el mes, multiplicar los kWh consumidos el mes por el precio del término de energía fijado y sumar a estos dos datos el impuesto sobre electricidad.

Comercializadora y Tarifa	Término de potencia	Término de energía
Endesa: One Luz	3,43 €/kW al mes	0,1198 €/kWh
EDP: Fórmula Luz	3,48 €/kW al mes	0,1564 €/kWh
Iberdrola: Plan Estable	57,23 €/kW al año	0,1458 €/kWh
Naturgy: Tarifas Estables Luz	<ul style="list-style-type: none"> Mini Luz (hasta 2.500 kWh/año): 44,49 €/kW al año 	<ul style="list-style-type: none"> Mini Luz (hasta 2.500 kWh/año): 0,1503 €/kWh
	<ul style="list-style-type: none"> Media Luz (más de 2.500 kWh/año): 46,09 €/kW al año 	<ul style="list-style-type: none"> Media Luz (más de 2.500 kWh/año): 0,1504 €/kWh
Repsol: Tarifa Online	0,1175 €/kW al día	0,1199 €/kWh

Tabla 3.4. Ofertas de tarifas fijas de diferentes compañías (Fuente:[46])

Seguidamente, podemos observar un gráfico en el que tenemos representado el precio promedio anual durante los últimos 23 años de una tarifa indexada y una tarifa fija. Analizando el gráfico se ve que solamente dos años (2008 y 2018) el precio de la tarifa indexada ha superado el precio de la tarifa fija. Con lo que aun teniendo en cuenta la subida del precio de la electricidad en los últimos años, se puede determinar que las tarifas indexadas son mejor opción que las tarifas fijas.



Figura 3.10. Precio promedio anual tarifa indexada y fija(Fuente:[44])

3.5 Comparativa de las tarifas

Hemos realizado un comparativa de las tres tarifas explicadas anteriormente teniendo en cuenta diversas características, para que analizando todos los factores poder elegir qué tarifa es más conveniente para cada vivienda. Esta elección dependerá de las necesidades de cada consumidor, ya que no hay una tarifa mejor que otra sino una más conveniente que otra dependiendo de lo buscado por cada usuario.

Debemos tener en cuenta que, en este trabajo el control del sistema domótico podríamos aplicarlo solamente a las tarifas con discriminación horaria, porque dicha implementación se basa en los diferentes periodos punta, llano y valle para la programación de los diferentes electrodomésticos. Nos centraremos en analizar más en profundidad la

tarifa PVPC, pero también podría aplicarse a una tarifa indexada y a una tarifa fija con discriminación horaria.

Características	Tipo de mercado		
	Mercado Regulado	Mercado Libre	
	Tipo de tarifa	Tipo de tarifa	
	PVPC	Indexada	Precio fijo
Seguridad (Independencia de las fluctuaciones del mercado)	No	No	Sí
Requisitos de potencia contratada	≤10 kW	No existen	No existen
Opción de discriminación horaria	Sí	Sí	Sí
Posibilidad de adherirse a bono social	No	Sí	Sí
Cuota de gestión	Sí, en la potencia y el consumo	Margen incluido en el precio	Margen incluido en el precio
Ofertas y descuentos	No	No	Sí
Permite contratar servicios	No	Sí	Sí
Energía verde	No	Disponible según comercializadora	Disponible según comercializadora

Tabla 3.5. Comparativa tipos de tarifas (Fuente: [47])

Analizando la tabla, una característica a destacar es la posibilidad de contratar servicios adicionales. Como vemos la tarifa PVPC del mercado regulado no permite contratar servicios adicionales ya que solo proporciona energía con la tarifa regulada, en cambio las tarifas indexada y de precio fijo, es decir, las tarifas del mercado libre sí que lo permiten. Estos servicios adicionales que se pueden añadir a las tarifas del mercado libre pueden ser servicios de mantenimiento, seguros... Y pueden proporcionar múltiples ventajas a este tipo de tarifas.

Es importante destacar que cada tarifa tiene una factura muy diversa a las de las otras, como hemos podido observar en la Figura 3.8 la tarifa de tipo indexada tiene múltiples parámetros a tener en cuenta a la hora de calcular el precio total a pagar. En cambio, en la Figura 3.9 podemos ver una factura fija que es bastante más sencilla de analizar y tiene la ventaja de ser exactamente igual todos los meses que dure el contrato establecido. Y en la Figura 3.7 vemos la forma de calcular el precio a pagar con una tarifa PVPC, al igual que en una tarifa indexada hay que tener en cuenta diferentes aspectos para su cálculo y los precios no son fijos ni iguales todos los meses, ya que como sabemos el precio del kWh es variante.

4. ELECTRODOMÉSTICOS

En la actualidad, el campo de la automatización está progresando a grandes velocidades. Por ello, grandes marcas de electrodomésticos como Samsung, LG, Siemens, Bosch, Balay... están desarrollando nuevos electrodomésticos inteligentes para poder controlar la vivienda desde un simple dispositivo. Algunos de estos electrodomésticos inteligentes son: lavadoras, secadoras, frigoríficos, hornos, placas... y todos ellos trabajan gracias a conexión a Internet por medio de una serie de aplicaciones dependiendo del fabricante.

Los electrodomésticos de una vivienda son la base de este trabajo, ya que en ellos basamos el estudio de su posible automatización y control según las tarifas con discriminación horaria, pero nos centraremos en la tarifa PVPC y en las tarifas

subscritas a una discriminación horaria. Por ello, hemos realizado un análisis de todos los electrodomésticos posibles de una vivienda, determinando cuáles son automatizables y cuáles no. Y a la hora de realizar el control del sistema domótico lo haremos solo en los electrodomésticos automatizables.

Electrodoméstico	Consumo anual
Frigorífico	662 kWh
Congelador	563 kWh
Televisión	263 kWh
Lavadora	255 kWh
Secadora	255 kWh
Lavavajillas	246 kWh
Horno	231 kWh
Stand-by	231 kWh
Ordenador	172 kWh
Otros	76 kWh

Tabla 4.1. Consumo anual de los electrodomésticos (Fuente: [19])

En la Tabla 4.1 podemos observar el consumo medio anual de los diferentes electrodomésticos de una vivienda. Y gracias a la Tabla 3.1 sabemos que el consumo medio anual de una vivienda en España es 3.272 kWh. Por lo que, analizando todos estos datos, podemos determinar que los electrodomésticos suponen una gran parte del consumo eléctrico de la vivienda y por consecuencia un gran gasto.

Esto ha provocado un aumento en la demanda de electrodomésticos eficientes para obtener un ahorro en el consumo y económico en la factura de la energía eléctrica.

El avance de los electrodomésticos inteligentes está siendo muy importante tanto para la tecnología como para el confort de la vivienda y ofrecen una amplia variedad de ventajas, pero en este trabajo lo que queremos realizar es aplicar la automatización y control a cualquier tipo de electrodoméstico sin la necesidad de que este sea inteligente, para que de esta forma sea asequible para todo el mundo sin tener que adquirir nuevos electrodomésticos.

4.1 AUTOMATIZABLES

En este grupo de electrodomésticos tendremos a los que queremos implementar el control del sistema domótico. Son los electrodomésticos a los cuales podemos programar para que su funcionamiento se programe cuando el precio de la energía eléctrica se encuentre en la franja horaria en la que los costes sean más bajos, teniendo también la posibilidad de programarlos de forma manual siempre que se desee.

El requisito principal que hemos valorado para determinar que son automatizables es que no sea necesario que estén en funcionamiento durante todas las horas del día, en otras palabras, que no exista la necesidad de tener acceso a corriente eléctrica de forma continua. Por esta razón en este grupo encontramos: la calefacción eléctrica, la lavadora, el lavavajillas, la secadora y el termo eléctrico.

4.1.1 Calefacción eléctrica

Actualmente la calefacción eléctrica está cada vez más en desuso ya que la principal desventaja es que su precio es el más elevado en comparación con otros tipos de calefacción. Pero a su vez tiene otras muchas ventajas como:

- Energía limpia, sin emisión de olores, humos o gases.
- La comodidad de un suministro interrumpido.
- No requiere una instalación especial ya que solamente es necesario tener radiadores repartidos por la vivienda.
- Posibilidad de instalarlo en cualquier tipo de vivienda, sin importar su situación geográfica, al contrario que el gas.[48]

Este tipo de calefacción tiene diversas opciones a la hora de su instalación: radiadores eléctricos, suelo radiante, bombas de calor o paneles radiantes. En la Figura 4.1 podemos observar la partes de una calefacción eléctrica, con las resistencias se genera el calor que es envía a los radiadores, paneles o suelo radiante para distribuirlo por toda la vivienda.

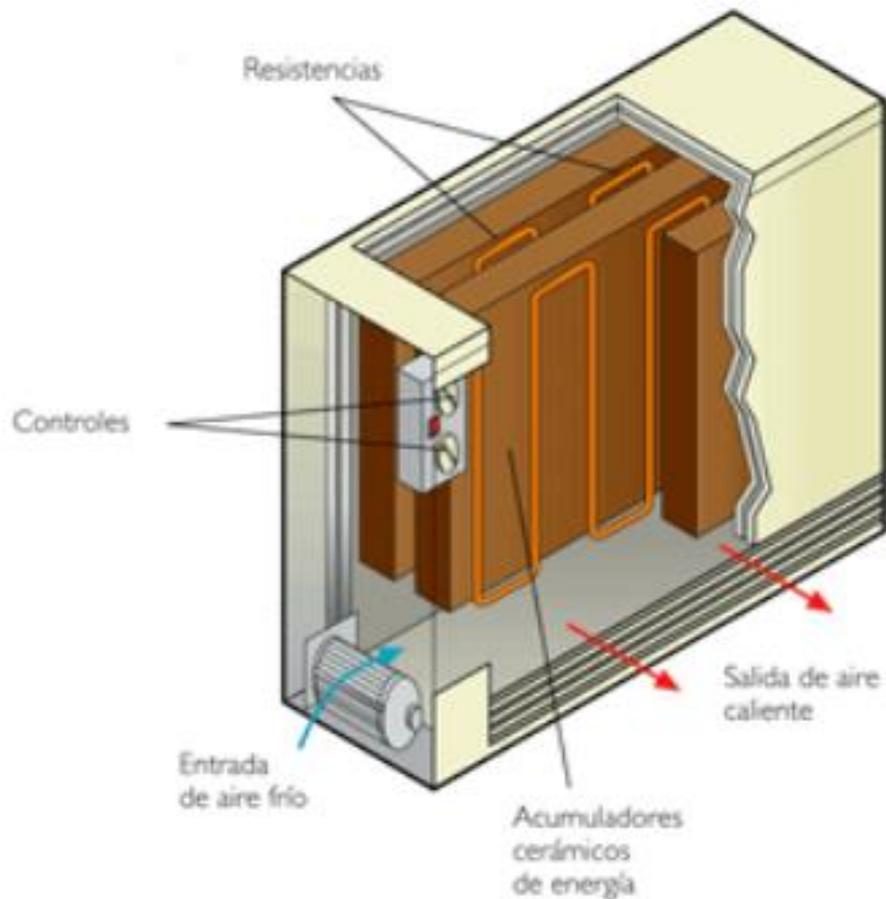


Figura 4.1. Partes de una calefacción eléctrica (Fuente:[49])

La calefacción eléctrica demanda mucha energía, es decir, requiere un alto consumo eléctrico y teniendo en cuenta el alto precio del kWh hace que su coste sea muy elevado. Por esta razón, la automatización y control de la calefacción eléctrica mediante nuestro sistema es una opción muy beneficiosa ya que, si la calefacción se programa en las horas en las que el precio de la energía eléctrica es más económico, se producirá un ahorro en la factura final. Para contribuir a este ahorro también es importante mejorar el aislamiento térmico de las ventanas y/o puertas de la vivienda, consiguiendo así, que el mayor inconveniente de este tipo de calefacción se reduzca y poder aprovecharse de todas las muchas ventajas que nos proporciona.

4.1.2 Lavadora

La lavadora es uno de los electrodomésticos que más consume, tanto por el tiempo de funcionamiento que es elevado como por la energía que necesita para su uso, siendo por lo tanto uno de los electrodomésticos más caros con respecto al consumo eléctrico.

Muchas empresas han desarrollado las lavadoras programables o inteligentes con las que nos permiten establecer un horario para su funcionamiento y programarlas desde un dispositivo, mediante un temporizador o de forma manual. Estas lavadoras están aún en desarrollo, pero ofrecen ventajas de eficiencia energética y control muy interesantes. [50]

Estas lavadores inteligentes son una buena apuesta a la hora de tener que renovar tu electrodoméstico, pero en este trabajo lo que buscamos es la implementación de nuestro sistema de control a cualquier tipo de electrodoméstico sin la necesidad de invertir en uno nuevo. Cubriendo las mismas, o incluso mejorando, las ventajas que nos aporta una lavadora inteligente, pero con una lavadora regular.



Figura 4.2. Ejemplo de lavadora inteligente (Fuente:[51])

4.1.3 Lavavajillas

El lavavajillas es uno de los electrodomésticos indispensables en una nueva vivienda, ya que siempre se busca el confort de los habitantes. A lo largo de la historia, se han ido modernizando, cumpliendo diferentes de funciones, diversos ciclos de lavado y siendo cada vez más sostenibles e intentando ahorrar tanto en agua como en electricidad. [52]

Al igual que en las lavadoras, se están desarrollando lavavajillas programables para poder ajustar el tiempo de funcionamiento y por consecuente su consumo eléctrico, ya que de todos los electrodomésticos es uno de los que más agua y electricidad consume. Por esto, con la implantación del sistema domótico se busca la reducción del consumo de energía eléctrica, ahorro en la factura y mejora de la eficiencia energética.



Figura 4.3. Ejemplo de lavavajillas (Fuente:[53])

4.1.4 Secadora

Hoy en día, este electrodoméstico es cada vez más habitual en las viviendas, sobre todo en las zonas más húmedas, frías y lluviosas, ya que gracias a él se consigue que la ropa salga completamente seca sin la necesidad de tenderla y tener que esperar durante días a que se seque. Una vez más lo que se busca con este tipo de electrodoméstico es la comodidad y el ahorro en tiempo. Pero este beneficio en comodidad y tiempo conlleva un inconveniente, el aumento del consumo de energía y como consecuencia el incremento del precio en la factura de la energía eléctrica.



Figura 4.4. Ejemplo de secadora (Fuente: [54])

Existen diferentes tipos de secadoras y cada una tiene diferentes consumos eléctricos. La secadora de evacuación fueron las primeras en salir al mercado, toman aire ambiente y lo calientan con resistencias enviándolo al bombo, una vez la humedad pasa de la ropa al aire se expulsa mediante un tubo al exterior. Las secadoras de condensación tienen el mismo mecanismo que las anteriores pero una

vez el aire caliente pasa por el bombo, extraen la humedad pasándolo por un intercambiador con el aire exterior. Y las secadoras de bomba de calor tienen un comportamiento similar a las de condensación, pero el calentamiento lo hace el condensador de una bomba de calor y el enfriamiento lo hace el evaporador en vez del intercambiador.

Tipo de secadora	Consumo de un ciclo de secado
Evacuación	4,8 kWh
Condensación	4,2 kWh
Con bomba de calor	2,2 kWh

Tabla 4.2. Consumo de cada tipo de secadora (Fuente:[54])

En la Tabla 4.2. podemos observar el consumo de un ciclo de secado siguiendo la directiva de etiquetado energético 2010/30/EC. Y se puede concluir que la secadora que menos consume es con bomba de calor, y por lo contrario la que más consume sería la de tipo evacuación. [54]

El objetivo de este trabajo es poder implantar un sistema domótico que programe el electrodoméstico, en este caso la secadora, cuando el precio del kWh sea más económico. Por ello, no es imprescindible tener una secadora con la mejor clasificación energética para obtener un ahorro en la factura, mejorar la eficiencia energética o minimizar el impacto medioambiental, ya que vamos a ser capaces de instalar esta automatización a cualquier tipo de secadora eléctrica obteniendo los mismos beneficios.

4.1.5 Termos eléctricos

Un termo eléctrico es un aparato que calienta el agua por medio de una resistencia con energía eléctrica y la almacena en un depósito para después distribuirla por la vivienda, es importante no confundirlo con un calentador eléctrico, ya que a diferencia con los termos eléctricos este no acumula el agua, la calienta al instante. Las ventajas de los termos eléctricos son que conseguimos una temperatura constante, tienen fácil instalación, obtenemos agua caliente de forma inmediata y se evitan

peligros asociados al gas. Pero a su vez tiene una serie de inconvenientes: la cantidad de agua es limitada, el coste de la electricidad es más elevado que el del gas, tiene pérdidas de calor y para su instalación se necesita un espacio específico. [55]

Actualmente, los termos eléctricos no son muy usados en la residencia habitual, es más común en segundas residencias, viviendas vacacionales o viviendas dónde las instalaciones de gas natural son complicadas. Esto ocurre ya que el precio de la electricidad es elevado y por ello es preferible instalar una caldera de gas. Por ello, cumpliendo el objetivo de este trabajo en ahorrar el consumo de energía eléctrica, se reduce el gasto de electricidad y eliminamos el mayor inconveniente de los termos eléctricos, conservando todas las ventajas que este nos proporciona.

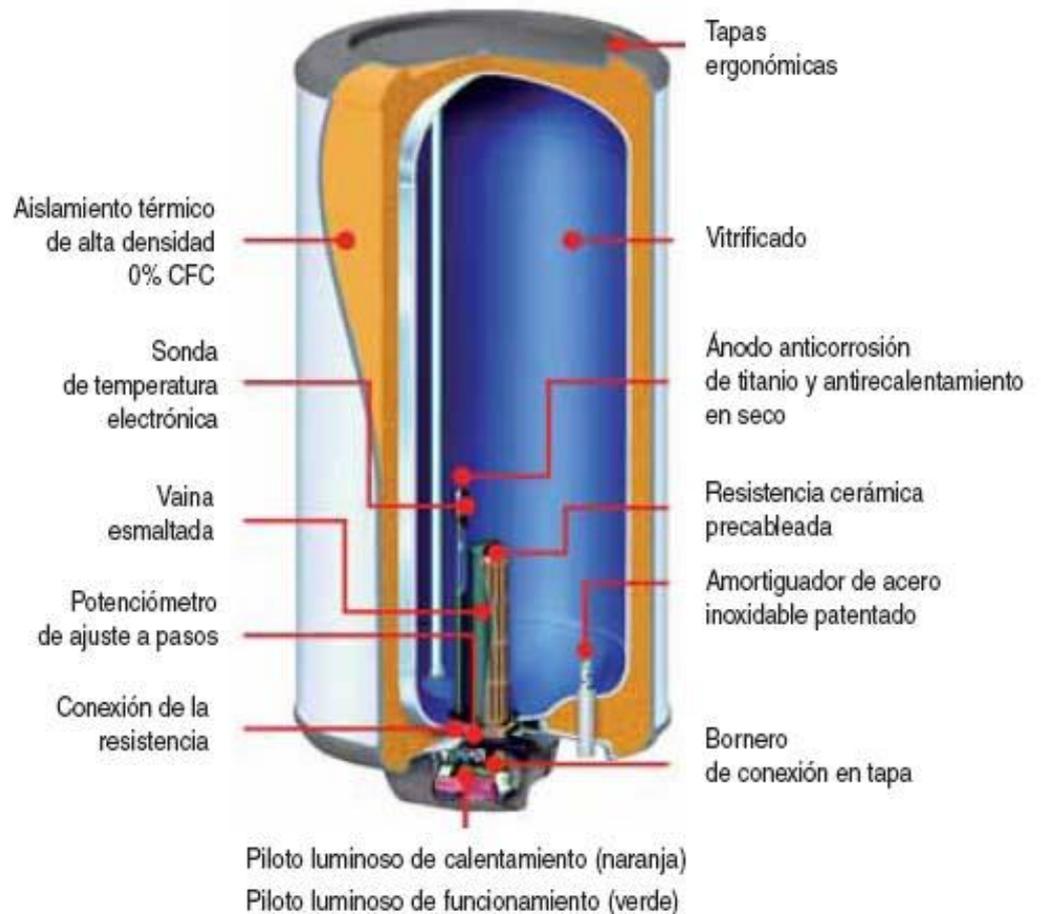


Figura 4.5. Componentes de un termo eléctrico (Fuente:[56])

Para un funcionamiento cómodo y un ahorro energético, aparte de ajustar la temperatura del termo eléctrico, es conveniente tener un termostato para que así exista la posibilidad de programarlo en las franjas horarias que más nos convenga, siempre teniendo en cuenta la tarifa de energía eléctrica contratada y su discriminación en las tres franjas horarias determinadas.

4.2 POSIBLES AUTOMATIZABLES

En este grupo de electrodomésticos incluiremos a los electrodomésticos automatizables, pero bajo una serie de condicionantes. Pueden ser electrodomésticos que tienen la necesidad de estar conectados a la corriente de una forma continua o un electrodoméstico que se utiliza durante un tiempo determinado para un fin concreto.

4.2.1 Frigorífico y congelador

El funcionamiento de un frigorífico se basa en la producción de frío mediante los fenómenos físicos de condensación y evaporación. Y el funcionamiento del congelador es la aplicación intensa de frío para detener los procesos bacteriológicos y enzimáticos que destruyen los alimentos. EL objetivo común de estos dos electrodomésticos es conservar los alimentos en condiciones óptimas para el consumo humano. [57]

Actualmente, se han desarrollado frigoríficos y congeladores inteligentes que permiten configurar la potencia, medir la temperatura y humedad de los diferentes cajones y controlar los alimentos en cualquier momento desde una aplicación en tu dispositivo móvil.[58]

Estos electrodomésticos tienen tres entradas de energía eléctrica: el compresor, los motores de los ventiladores en el evaporador (que son los encargados del movimiento del aire frío) y los motores auxiliares (encargados del bombeo de agua, refrigerantes...). De todos ellos el que supone un mayor gasto es el compresor que se encarga de aumentar la presión del gas para que posteriormente sea más sencillo pasarlo a

líquido, por lo que es importante tenerlo en cuenta para reducir el consumo eléctrico.

En la Figura 4.6 observamos los componentes de un frigorífico: la carcasa metálica con un motor eléctrico acoplado a un compresor (1), un conducto de descarga del gas (2), un condensador (3), un filtro secador (4), una válvula de expansión (5), un evaporador (6) y un conducto de succión (7). [59]

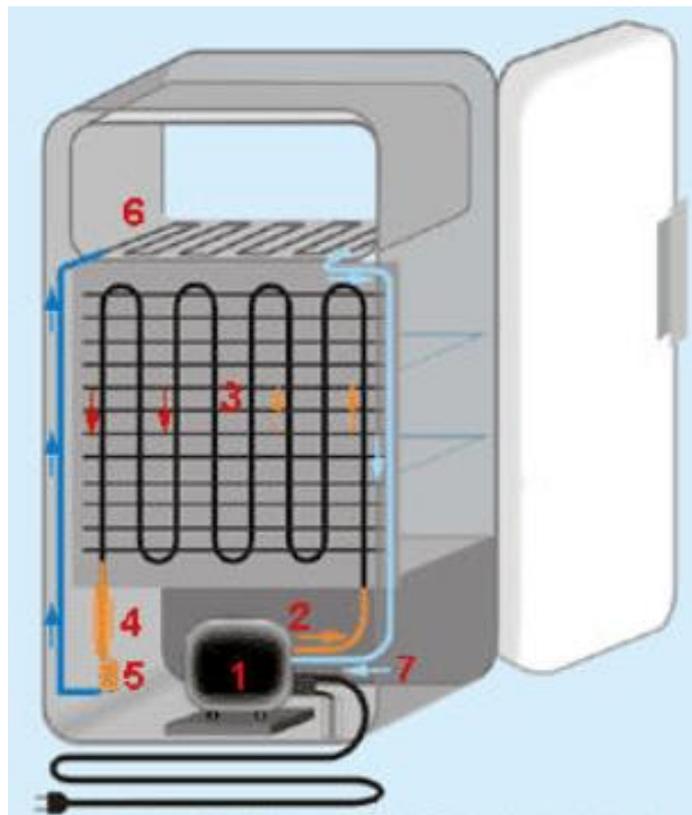


Figura 4.6. Componentes de un frigorífico (Fuente:[59])

En el caso de nuestro control domótico será posible implementarlo en estos dispositivos, pero con una serie de condicionantes ya que estos electrodomésticos necesitan estar conectados a la corriente de forma continua, es decir, necesitan potencia continuamente porque no dejan de funcionar en ningún momento y deben mantener una temperatura constante en su interior.

Existen varias opciones para la implementación, una de ellas es programar el electrodoméstico para que la temperatura en su interior sea inferior de lo habitual durante las horas en las que el precio del kWh es

más bajo. Y cuando el precio del kWh sea más elevado, el electrodoméstico no funcione y mantenga la temperatura conseguida en las horas más económicas. Para esto hay que tener en cuenta si se introducen nuevos alimentos y/o cuantas veces se abre el electrodoméstico, ya que esto significa un gran aumento de temperatura interior. A parte de todo esto, también es importante la instalación de un sensor de temperatura para cuando se detecte que la temperatura es superior a lo recomendado para la conservación de los alimentos, sin importar el precio del kWh, se programe el funcionamiento del electrodoméstico.

4.2.2 Horno

Este electrodomésticos, hoy en día, es uno de los indispensables en una vivienda ya que permiten cocinar de una forma rápida los alimentos y con la ventaja de controlar la temperatura del cocinado en todo momento. Otro detalle muy beneficioso es que cuenta con un temporizador con el que poder determinar el tiempo de cocinado y cuando este termine el horno se apagará.

Al igual que los otros electrodomésticos, muchas marcas están desarrollando y comercializando nuevos hornos inteligentes. Estos hornos están conectados mediante Bluetooth o Wifi a una aplicación instalada en un dispositivo móvil y desde esta aplicación es posible controlar el horno a distancia, determinar la temperatura de cocinado, precalentarlo, recibir alertas cuando haya finalizado su función y/o establecer funciones automáticas. [60]

Con respecto a nuestra implementación, existe una posibilidad para la programación automática de este electrodoméstico. Una vez introducidos los alimentos que se desean cocinar, se programará el funcionamiento del horno cuando nos encontremos en el periodo de horas valle para que durante el cocinado el precio del kWh sea el más económico posible. Y cuando se desee comer los alimentos, se programará solamente un precalentado que supone un consumo

energético mucho menor que un cocinado completo, por lo que obtendríamos un ahorro en la factura. Y siempre existe la posibilidad de programar el funcionamiento del electrodoméstico de una forma manual a la hora que se desee.



Figura 4.7. Horno eléctrico (Fuente:[61])

4.3 NO AUTOMATIZABLES

En este grupo de electrodomésticos están incluidos los que tras realizar un estudio previo no podrán instalar la automatización por diversas razones de cada electrodoméstico en particular. Una importante razón es que se usan en periodos de tiempo determinados y/o durante periodos de tiempo muy cortos, por ejemplo, el microondas que se utiliza durante 30 segundos para calentar la comida.

4.3.1 Microondas

El microondas es un electrodoméstico que, actualmente, hay en la mayoría de los hogares. Es un horno eléctrico que emite radiaciones electromagnéticas para que los alimentos se calienten o cocinen de una forma rápida y así ahorrar en tiempo y ganar en comodidad.

También existen los microondas inteligentes, normalmente se conectan a la red Wifi de la vivienda para su funcionamiento y es posible controlarlos a través de un dispositivo móvil mediante una aplicación.

Este tipo de microondas tiene diferentes funciones preestablecidas como cocción lenta, calentar, recalentar, hornear, asar... Para que de este modo puedas controlar cómo cocinar tu comida desde tu dispositivo móvil. El precio de este tipo de electrodoméstico es mucho más elevado que el precio de un microondas tradicional ya que cuenta con tecnologías muy mejoradas y tiene como objetivo el que sea posible prescindir de otro tipo de electrodomésticos. [62]



Figura 4.8. Microondas (Fuente:[63])

Por norma general, el funcionamiento de este electrodoméstico es durante un periodo de tiempo corto y determinado por ello es difícil determinar si el consumo eléctrico medio es muy elevado. Y por esta razón, determinamos al microondas como un electrodoméstico no automatizable por nuestro control de sistema doméstico.

4.3.2 Otros pequeños electrodomésticos

Los pequeños electrodomésticos consumen una gran parte de la energía eléctrica de la vivienda, por ello también es importante tenerlos en cuenta a la hora de la automatización. Dentro de este grupo incluiremos: la batidora, la plancha, el aspirador, el secador, la tostadora, la cafetera, la vitrocerámica, etc. Para el uso de estos electrodomésticos es necesaria la intervención humana o durante su funcionamiento tenemos que estar presentes. Por estas razones no es posible implementar nuestro control

domótico tal y como teníamos pensado, pero podría existir una opción para producir un ahorro económico en la factura final.



Figura 4.9. Pequeños electrodomésticos (Fuente:[64])

También debemos tener en cuenta el consumo eléctrico del alumbrado de la vivienda, los cargadores de los dispositivos móviles y ordenadores portátiles, la televisión y todos los dispositivos conectados a la red eléctrica.

Este sistema consistiría en una pantalla o una aplicación en un dispositivo móvil en la que nos aparezca diariamente los precios del kWh, de esta forma el usuario sabría los precios en cada hora del día de una forma sencilla y automática. Y con esta información puede tomar la decisión de en qué momento utilizar estos electrodomésticos o conectar o desconectar los dispositivos de la red. También existe la posibilidad de controlarlos a través de un enchufe o regleta inteligente desde la cual podremos controlar la conexión o desconexión de estos pequeños electrodomésticos, reduciendo así su consumo.

4.3.3 Stand-by

Otro gran gasto en el consumo eléctrico de la vivienda es consecuencia de las cargas pasivas de los electrodomésticos. El consumo stand-by es conocido como el modo reposo y se dice que el electrodoméstico está en stand-by cuando el dispositivo está apagado, pero no desconectado de la red. Suele presentarse cuando se apaga la televisión, la radio, el microondas, el horno, las videoconsolas o cualquier otro aparato

adoptando la forma de reloj o piloto rojo. Según un estudio de IDEA, el modo stand-by representa entorno al 10,7% del consumo energético de la vivienda. Para ahorrar en este gasto la única solución es desenchufar cada electrodoméstico de la corriente eléctrica, para ello se puede usar temporizadores, regletas con interruptor, regletas con múltiples interruptores o regletas con eliminador de stand-by. Esta última regleta con eliminador de stand-by detecta cuándo el aparato principal se ha apagado y automáticamente corta la corriente eléctrica. [65]



Figura 4.10. Regleta con eliminador de Stand-by (Fuente:[66])

Otra opción sería realizarlo de una forma automática o con un control a distancia, podría ser con un enchufe inteligente con el que podremos desconectar los electrodomésticos con un control a distancia o programarlos a través de una aplicación en un dispositivo móvil. Otra alternativa posible sería tener controlado el dispositivo, es decir, mediante un sensor determinar si el dispositivo está encendido o apagado. Cuando el sensor detecte que el electrodoméstico está apagado, enviará una señal a un actuador para que lo desconecte de la corriente eléctrica, es decir, un funcionamiento similar a la regleta con eliminador de stand-by.

La elección de la mejor opción para el ahorro en el consumo de stand-by será dependiendo de las necesidades de cada usuario y sus preferencias de un control manual o un control más automático.

5. CONTROL DEL SISTEMA DOMÓTICO

Nuestra implementación tiene como objetivo principal el ahorro en el consumo de energía eléctrica y por consecuencia un ahorro económico, y esto será posible gracias al control automático de los electrodomésticos convencionales de una vivienda. Para llevar a cabo este control la tarifa contratada en la vivienda debe ser una tarifa PVPC o una tarifa indexada.

A continuación, estudiaremos diferentes opciones para el control y la programación de nuestros electrodomésticos en las horas valle. También analizaremos algunos sistemas domóticos u otras opciones inteligentes existentes en el mercado diseñadas para un objetivo similar o igual al nuestro.

5.1 Equipos similares en el mercado

Antes de estudiar las posibles opciones para llevar a cabo nuestra implementación hemos realizado un análisis de otras alternativas o equipos similares a nuestro control en el mercado mediante la búsqueda de artículos obtenidos en conferencias por todo el mundo sobre la optimización de costes de los electrodomésticos, su programación, etc. Después, analizaremos algunos de estos artículos de diferentes años sobre estos temas para poder observar diversas alternativas y ver cómo ha avanzado esta tecnología a lo largo del tiempo.

5.1.1 Optimización de costes de electrodomésticos inteligentes

En este artículo de 2011 podemos encontrar un método de control de electrodomésticos inteligentes eficiente para automatizar la vivienda. Para ello, se lleva a cabo una técnica de optimización mediante la programación de números enteros binarios para resolver la programación de los electrodomésticos. Para llevar a cabo este ahorro de costos el controlador de automatización aprovecha las nuevas tecnologías y un medidor inteligente para la obtención de los precios disponibles y así cambiar e interrumpir los ciclos de funcionamiento de los electrodomésticos inteligentes. Los resultados obtenidos muestran que la optimización descrita obtiene ahorros sustanciales de costos con

la fijación de precios en tiempo real y permite minimizar el costo de operación como podemos observar en la Figura 5.1.

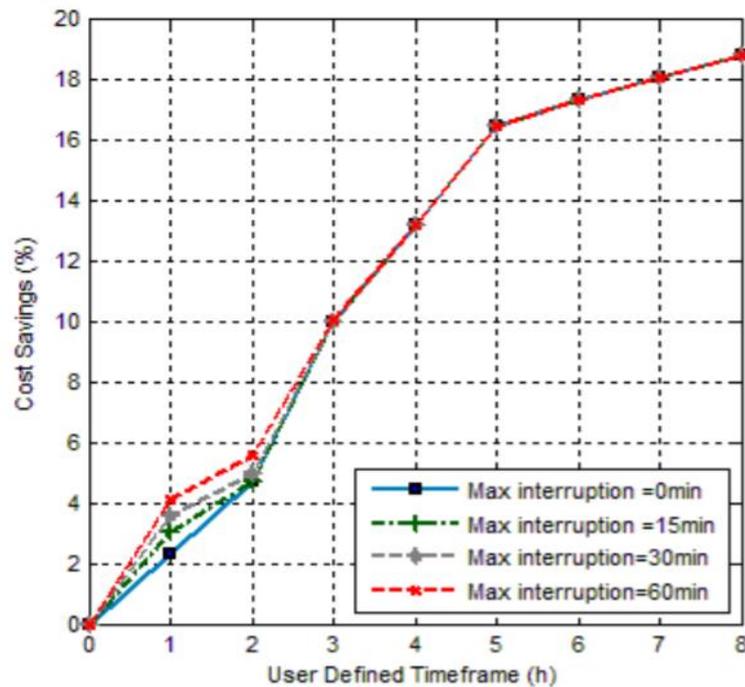


Figura 5.1. Ahorro de costes en la factura de la luz de una casa equipada con electrodomésticos inteligentes en una semana de invierno (Fuente: [67])

Los ahorros de costos son el resultado de cambiar las operaciones de los electrodomésticos al horario más óptimo y económico. En el gráfico de la Figura 5.1 podemos observar cuatro casos diferentes de ahorro de costos para 0, 15, 30 y 60 minutos de interrupción máxima permitida por los aparatos. Durante las cinco primeras horas los ahorros de costos aumentan rápidamente y después de ahí de una forma más lenta. Por esto, se llega al resultado de que es posible alcanzar un ahorro máximo de costes de más del 18% en la factura de la energía eléctrica con una flexibilidad de más de siete horas. [67]

5.1.2 Control inteligente de los electrodomésticos basados en precios en tiempo real

Analizaremos un controlador inteligente de electrodomésticos basado en precios en tiempo real obtenido de un artículo de 2012. El controlador inteligente es capaz de proporcionar un pronóstico futuro de los precios

en tiempo real basándose en la red neuronal, es decir, basándose en su inteligencia artificial y su entrenamiento con los precios históricos. Además, tendrá en cuenta factores como el valor previsto del precio en tiempo real, el tipo, el tiempo de funcionamiento, el estado de funcionamiento esperado y la temperatura ambiente de los electrodomésticos, para de esta forma ser capaz de calcular los gastos de electricidad previstos a lo largo del día. Con los datos del valor previsto del precio en tiempo real, el subsidio al consumo de electricidad, el costo de operación y la cantidad de electricidad se calcula la utilidad/pérdida de operación de la generación de distribución que determina el periodo de DG. Para finalizar, se lleva a cabo una gran cantidad de experimentos para verificar el correcto funcionamiento del controlador inteligente de electrodomésticos.

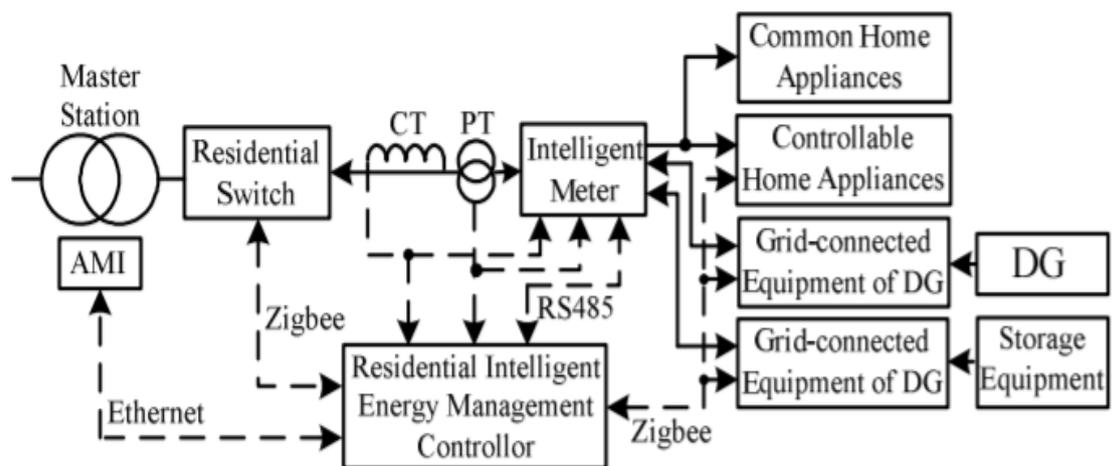


Figura 5.2. Diagrama de bloques del sistema de control inteligente de los electrodomésticos (Fuente:[68])

En la Figura 5.2 se puede observar el diagrama de bloques del sistema de control inteligente de los electrodomésticos. El núcleo de este sistema es el controlador de gestión de energía inteligente residencial, la interacción de la información se implementa a través de Ethernet y el sistema de medición avanzado (AMI) y obtiene información de precios en tiempo real de AMI y la información de consumo de electricidad en tiempo real de medidores inteligentes para calcular los costos reales de electricidad.

El controlador predice el precio en tiempo real de cada periodo de tiempo en el día con redes neuronales en función del precio histórico en tiempo real obtenido de AMI y luego determina el periodo óptimo para que los electrodomésticos controlables funcionen teniendo en cuenta el precio previsto en tiempo real. Para llevar a cabo el control de los electrodomésticos el controlador emite una orden operativa al terminal de control a través de ZigBee y este terminal de control cierra los relés electromagnéticos para encender los electrodomésticos. Cada terminal de control carga el estado de cada interruptor al controlador a través de la comunicación ZigBee, lo que permite al controlador monitorear el estado de cada interruptor.

Los resultados obtenidos muestran que el controlador es capaz de minimizar los gastos de electricidad y lograr el cambio de carga máxima. Es importante tener en cuenta que este controlador inteligente es posible implementarlo en viviendas con tarifas cuyo precio varíe por horas y que estén equipadas con medidores inteligentes. [68]

5.1.3 Optimización de la respuesta a la demanda para la programación de hogares inteligentes con precio en tiempo real

Analizaremos la optimización de la respuesta a la demanda para la programación de hogares inteligentes con precio real. Esta respuesta a la demanda es un aspecto importante a tener en cuenta en la futura red inteligente, con el objetivo de alentar a los consumidores a reducir la demanda en el periodo pico. En este artículo se estudia un marco de optimización de respuesta a la demanda de programación convexa versátil para la gestión automática de carga de varios electrodomésticos en un hogar inteligente. Para ser más concretos, se propone una técnica de regularización para tratar con dispositivos basados en horarios, para los cuales sus estados de encendido/apagado se rigen por variables binarias. Relajando estas variables enteras a variables continuas el problema se reformula, permitiendo resolverse de una forma más sencilla y eficiente. Encontramos la gran ventaja de su forma flexible

permitiendo su implementación a una gran variedad de electrodomésticos. [69]

5.1.4 Programador de gestión de energía doméstica basado en precios en tiempo real

Estudio del desarrollo de un algoritmo para un programador de gestión de energía doméstica con el objetivo de reducir el costo del consumo de energía usando el esquema de precios en tiempo real (RTP). En este artículo de 2015 encontramos que el algoritmo está estructurado en tres fases:

- Monitoreo en tiempo real: se monitorean las características de los dispositivos a controlar y se almacenan y clasifican en el programador de gestión de energía.
- Programación estocástica: el programador calcula una política óptima utilizando una programación dinámica estocástica para seleccionar un conjunto de los electrodomésticos.
- Control en tiempo real: el programador inicia el control de los seleccionados. [70]

5.1.5 Smart Power Strip (SPS)

Ahora, estudiaremos un sistema para el control del encendido/apagado de los electrodomésticos de una vivienda desde dispositivos móviles llamado SPS. En la actualidad se ha incrementado la demanda y el consumo de energía eléctrica ya que ha aumentado el uso de dispositivos electrónicos. El objetivo de este trabajo es el desarrollo de un sistema que posibilite el control a distancia de enchufes mediante dispositivos Android con la posibilidad del control manual y automático, obteniendo el beneficio de disminuir el consumo de energía eléctrica innecesaria. Esta regleta inteligente será capaz de controlar y automatizar los sistemas de iluminación, climatización y el funcionamiento de los electrodomésticos. Y para su uso solo necesitaremos un dispositivo móvil Android, el cual se encargará del control y automatización a distancia, y

la regleta inteligente la cual emplea una tarjeta de desarrollo basada en un microcontrolador (MCU) de fuente abierta: Arduino Nano.

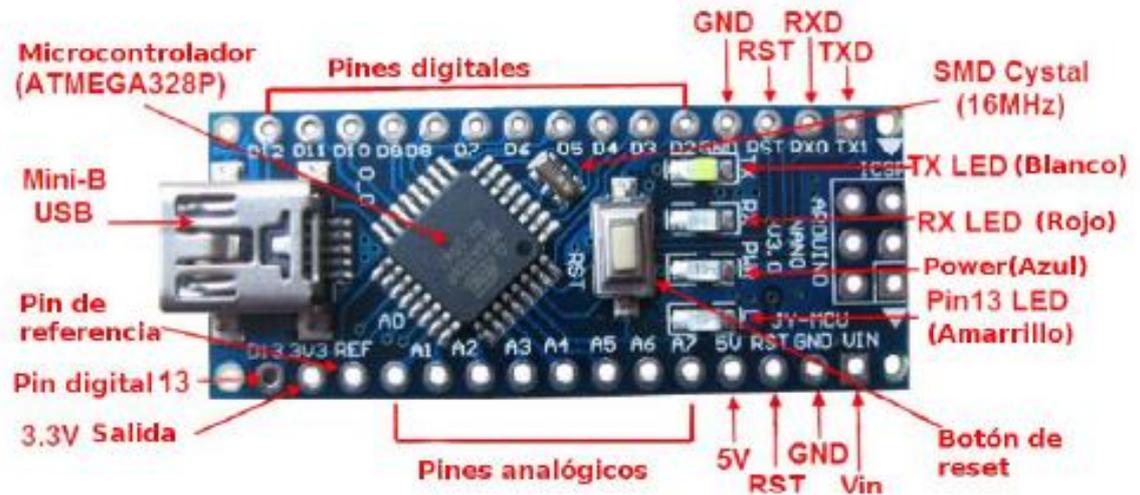


Figura 5.3. Placa Arduino Nano (Fuente: [71])

Las conclusiones obtenidas de este sistema son su fácil instalación y uso y el descenso del consumo de energía gracias al control óptimo de los elementos consumidores. [71]

Este sistema podría ser una muy buena opción para nuestra implementación, ya que esta placa de Arduino podría instalarse junto con un enchufe inteligente para el control y la programación de los electrodomésticos de la vivienda, aportándonos múltiples ventajas.

5.1.6 Optimización de electrodomésticos controlados termostáticamente para minimizar el costo del consumo de energía basado en precios en tiempo real

Este artículo de 2021 propone un modelo de optimización para que las viviendas minimicen el costo del consumo de la energía eléctrica utilizando los precios en tiempo real. Los electrodomésticos automatizados serán los controlados termostáticamente (TCA) que consuman más energía dentro de la vivienda. El modelo que se propone ajusta automáticamente el TCA teniendo en cuenta las preferencias del cliente, el consumo de energía, la dinámica de los electrodomésticos y los precios en tiempo real. La simulación del esquema de optimización se realiza mediante Matlab.

Se han obtenido unos resultados positivos de este modelo de optimización y se ha comprobado que gracias a este modelo de gestión de la energía es posible ahorrar hasta un 49% de energía eléctrica en las horas del periodo punta. [72]

Analizando este sistema llegamos a la conclusión de que podrían combinarse varios de ellos para obtener unos resultados aún más positivos. Uno de esos sistemas actuaría sobre la climatización termostáticamente y otro sobre el resto de los electrodomésticos. Además, podría incluirse otro sistema más sobre el alumbrado en función del nivel de iluminación natural. De esta forma controlaríamos un ámbito mucho más amplio dentro de la vivienda y obtendremos unos resultados positivos y un mayor ahorro de energía.

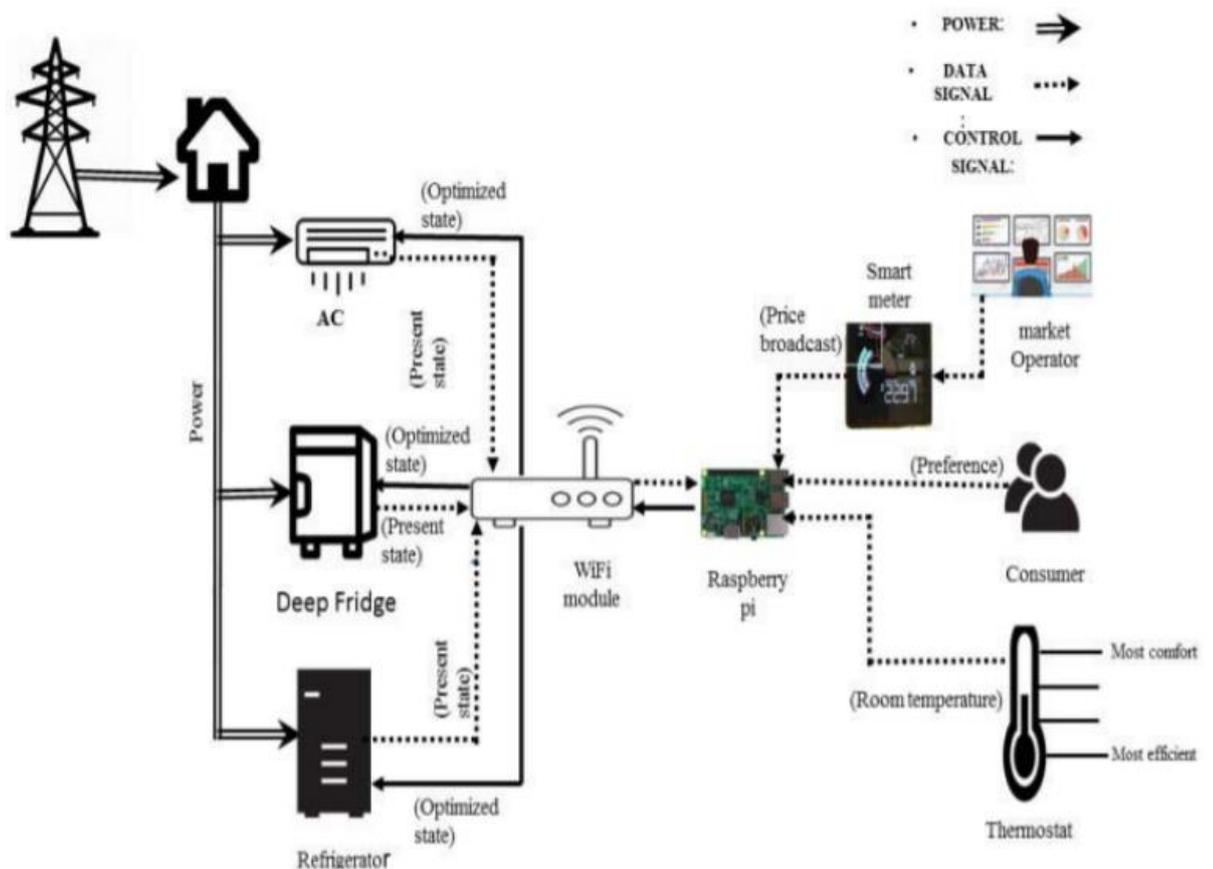


Figura 5.4. Modelo de gestión energética (Fuente:[72])

5.2 Enchufes inteligentes

Los enchufes inteligentes se conectan a la toma de corriente ordinaria, pero con la ventaja de que una vez enchufado puede realizar funciones específicas como por ejemplo controlar el electrodoméstico desde un dispositivo a distancia. Tenemos varias opciones para controlar estos enchufes, la primera es mediante un mando o control a distancia con el cual tengo un alcance de unos 30 metros y la segunda opción más avanzada son los enchufes inteligentes con Wifi que controlan los dispositivos a cualquier distancia sin un límite. Es decir, con este dispositivo tenemos la posibilidad de controlar el enchufe inteligente y por tanto la conexión del electrodoméstico a la corriente, existiendo la opción de utilizarlo como un interruptor permitiendo el acceso a la alimentación o no.

Este tipo de dispositivo aporta a una vivienda convencional múltiples ventajas para el control de los electrodomésticos con una instalación muy sencilla, ya que además pueden ser programados para que enciendan o apaguen automáticamente a una hora específica los aparatos conectados a ellos. También aportan la gran ventaja de un ahorro significativo en el consumo de energía eléctrica y por lo tanto una disminución del coste de la factura. [73]



Figura 5.5. Enchufe inteligente (Fuente: [74])

También existen unos enchufes inteligentes con monitor de consumo gracias a los cuales en una aplicación móvil podemos observar el consumo instantáneo, diario y por horas de los electrodomésticos conectados a este enchufe, teniendo la ventaja de poder determinar los vatios o kilovatios hora que consumimos.



Figura 5.6. Monitoreo energético de un enchufe inteligente
(Fuente:[75])

Este dispositivo puede ser muy beneficioso para nuestra implementación ya que gracias a él tenemos la posibilidad de programar el electrodoméstico a la hora que queramos desde una simple aplicación o con un mando a distancia. Pero seguimos teniendo el inconveniente de que la tarifa PVPC varía cada hora por lo que para programarlo en el periodo valle tendría que mirarse diariamente el precio del kWh para programar el enchufe inteligente.

En los artículos de un sistema o control similar a nuestra implementación comentados anteriormente, hemos observado que en varios casos hacen uso o referencia a los medidores inteligentes. Por lo que para este caso de enchufes inteligentes y para evitar el inconveniente de tener que controlar diariamente el precio del kWh, podemos hacer uso de un medidor inteligente. Este dispositivo será el encargado de leer los datos del precio del kWh automáticamente todos los días para determinar las horas más

económicas y enviar estos datos a la aplicación asociada al enchufe inteligente y de esta forma poder saber el rango de horas valle y programarlo automáticamente.



Figura 5.7. Medidor inteligente de energía eléctrica (Fuente:[76])

En conclusión, nuestra implementación sería posible llevarla a cabo con el uso de un enchufe inteligente para cada electrodoméstico, todos ellos asociados a una aplicación en un dispositivo móvil y un medidor inteligente. El funcionamiento sería el siguiente, el medidor inteligente se encargará de leer los datos del precio del kWh diariamente gracias a que Red Eléctrica los publica el día anterior. Toda esta información obtenida aparecerá en la aplicación asociada a los enchufes inteligentes y de esta forma el usuario será capaz de leer todos los precios por horas del día y programar el enchufe inteligente en el rango horario que más nos convenga y en las horas en las que el precio del kWh es más económico.

5.3 Controlador Lógico Programable (PLC)

Un PLC (Programmable Logic Controller) o autómatas programables es un sistema encargado de llevar a cabo la automatización de máquinas, es decir, automatiza las acciones de las máquinas para el desarrollo de unas actividades concretas sin la necesidad de la intervención humana. Está formado por tres componentes principales:

-**CPU** o unidad de procesamiento central: interpreta las instrucciones de los datos almacenados.

-**Memoria RAM y ROM**: encargadas de almacenar todos los datos.

-**Sistema de entradas y salidas**: es un hardware que permite la comunicación y operabilidad de entradas y salidas para el correcto funcionamiento.

Otras partes de este sistema son la fuente de alimentación que convierte la corriente alterna a continua para suministrar la energía eléctrica a los electrodomésticos y el terminal de programación que es el mecanismo que permite ingresar o exponer los datos de un ordenador, ejecutando el procesamiento de la información solicitada. [77]

El funcionamiento normalmente es de tipo cíclico y secuencial, es decir, las operaciones tienen lugar una tras otra y se van repitiendo de una forma continua mientras el autómata esté bajo tensión. Una secuencia típica sería:

-**Autodiagnóstico**: es una verificación de todos los circuitos del autómata, en el caso de haber cualquier error se emitirá una señal indicando el tipo de error detectado.

-**Lectura del registro de entradas y creación de una imagen de las entradas en la memoria**: se revisa cada entrada para determinar si está encendida o apagada y se graban los estados en la memoria creando la imagen de las entradas utilizada a continuación.

-**Lectura y ejecución del programa**: acudiendo a la imagen de las entradas y salidas de la memoria, la CPU ejecuta el programa programado por el usuario. Este programa se lleva a cabo paso a paso en el orden determinado y los datos obtenidos son almacenados en registros para ser utilizados en la etapa final.

-**Actualización del registro de salidas**: renovación de todas las salidas de forma simultánea en función de la imagen de estas, obtenidas al final de la ejecución del programa.

En cuanto al ciclo de ejecución existen dos posibilidades: RUN (el procesador ejecuta el tratamiento interno, la confirmación de las entradas, el tratamiento del programa y la actualización de las salidas) o STOP (no se ejecuta el programa). [78]

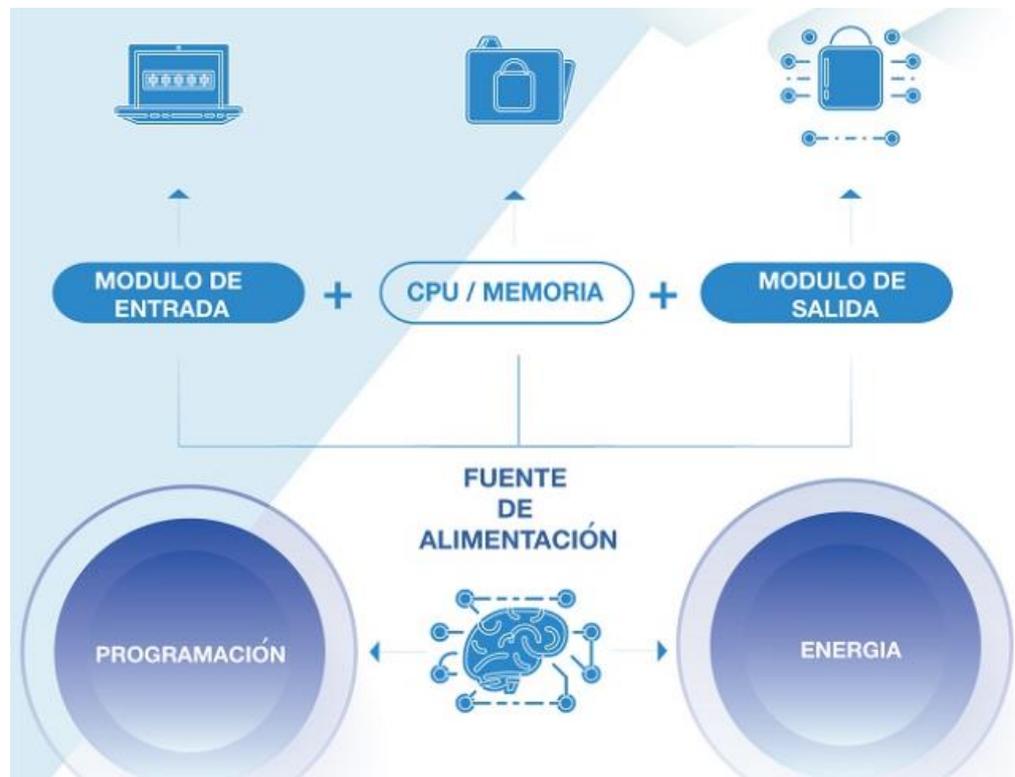


Figura 5.8. Funcionamiento PLC (Fuente:[77])

Como hemos comentado en la explicación del funcionamiento del PLC, la CPU ejecuta el programa diseñado por el usuario y para llevar a cabo esta comunicación entre el usuario y el sistema operativo se realiza a través de diferentes lenguajes de programación.

- Lenguaje de Texto o de Nivel Bajo: Lista de Instrucciones (IL o STL), que es utilizado tanto para pequeñas aplicaciones como a nivel industrial, y Texto Estructurado (ST) que es utilizado para codificar expresiones aritméticas complejas con valores analógicos y digitales.
- Lenguajes Gráficos o de Alto Nivel: Diagrama Escalera, Ladder o de Contacto (LD), Diagrama de Bloques (SFD), Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC). [79]

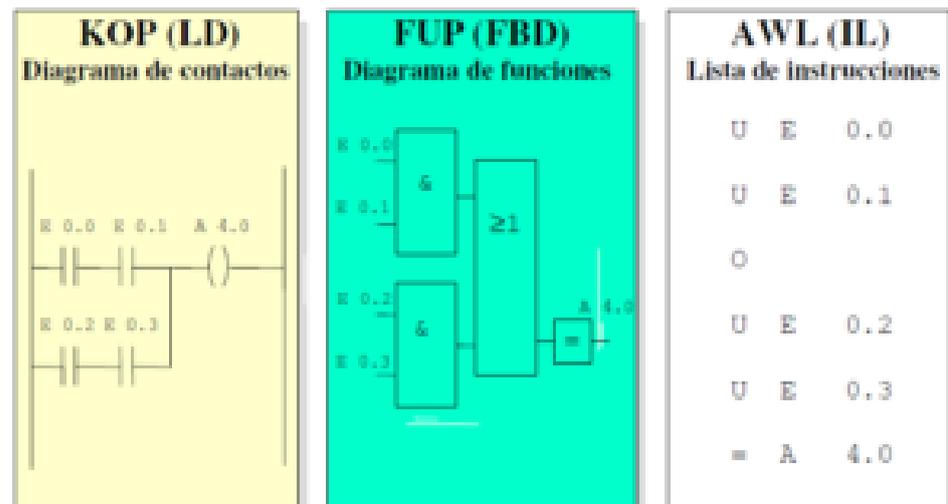


Figura 5.9. Lenguajes de programación para PLCs (Fuente:[80])

Una vez que conocemos el funcionamiento base de un autómata programable y sus lenguajes de programación, vamos a explicar una alternativa de cómo podemos utilizar este elemento para nuestra implementación y cumplir el objetivo de obtener una solución económica y factible para reducir los gastos de energía eléctrica.

Para empezar, tendremos que determinar qué electrodomésticos de la vivienda queremos automatizar y de esta forma ubicamos su distribución eléctrica e identificamos sus circuitos eléctricos. Una vez seleccionados los contactos eléctricos de todos los electrodomésticos involucrados en la implementación, debemos instalar y configurar el PLC en el área del centro de carga ya que es el espacio de la vivienda donde se distribuyen todos los circuitos eléctricos. Cada uno de los circuitos de los electrodomésticos involucrados se conectan a la tarjeta de salida del PLC, para su control utilizaremos un ordenador o PC con un interfaz para comunicarlo con el autómata y controlar el sistema de una forma sencilla. La comunicación entre el autómata y el PC se llevará a cabo a través de uno de los lenguajes de programación comentados anteriormente, podemos programarlo con cualquiera de ellos. En el caso de nuestra implementación el lenguaje que más nos conviene sería un lenguaje gráfico o de alto nivel para llevar a cabo de una forma correcta nuestro sistema. Los parámetros de entrada que recibirá el controlador lógico programable serán los precios del kWh cada

hora del día, para que determine las horas con el coste más bajo y programe los electrodomésticos.

Este tipo de sistema aporta grandes beneficios, ya que a parte del control de los electrodomésticos cuando el precio del kWh es más económico también sería posible controlar la iluminación o el sistema climático de la vivienda. En la Figura 5.10 podemos observar un posible esquema de los elementos que serán necesarios para nuestro sistema de automatización y control de los electrodomésticos y sistema de iluminación, sería posible conectar más sistemas para la automatización a la salida del controlador lógico programable. El servidor PC será el encargado de capturar todos los días los datos del precio de la energía del día siguiente obtenidos desde una página web, calculará los rangos horarios más económicos y enviará esta información al PLC para que programe el funcionamiento de los electrodomésticos en esas franjas horarias más convenientes.

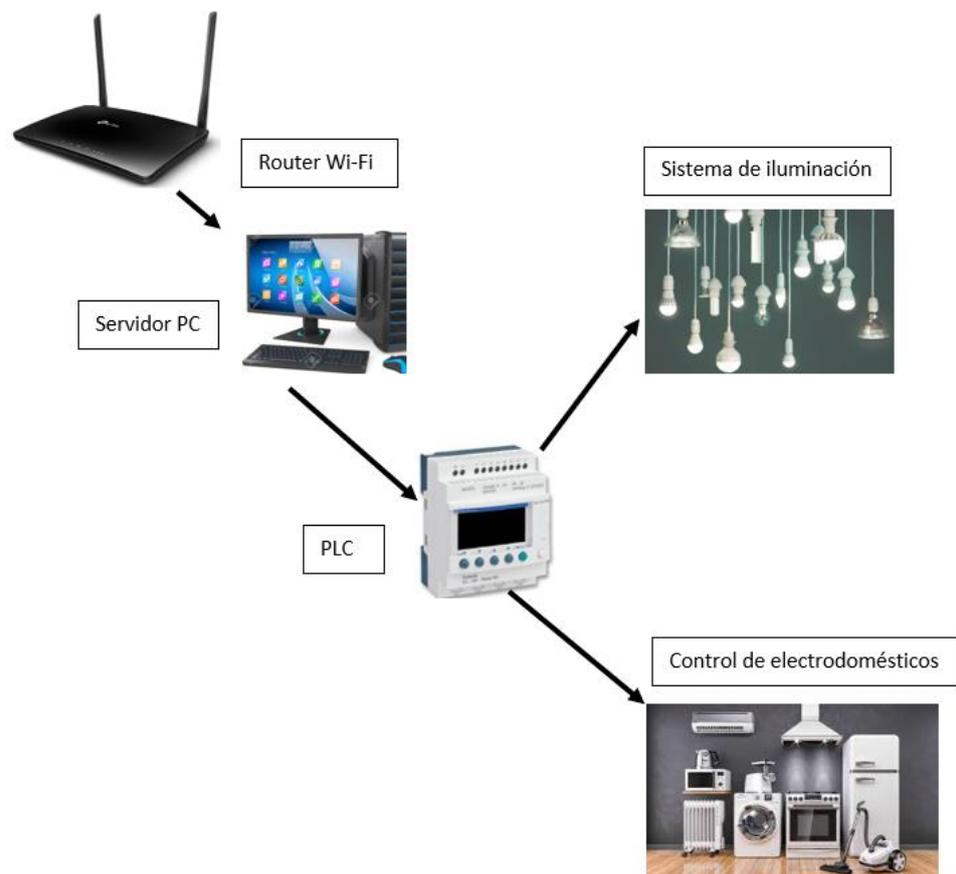


Figura 5.10. Posible esquema de automatización mediante PLC
(Fuente: Propia)

5.4 Servidor PC

Esta opción de implementación consistirá en un servidor u ordenador PC mediante el cual controlaremos la automatización y programación de los electrodomésticos, para llevar a cabo este control lo realizaremos mediante un código en algún lenguaje como C++, Java...

Teniendo en cuenta el artículo comentado a continuación, podríamos llevar a cabo nuestra implementación de una forma similar a la arquitectura de la Figura 5.11. A través de un lenguaje de programación controlaremos una placa base para llevar a cabo la automatización de los electrodomésticos, esta placa estará conectada a un servidor PC de la vivienda a través del cual leeremos los datos del precio del kWh todas las horas del día desde una página web. Una vez que tenemos esta información, el servidor determina cuáles son los rangos horarios más económicos y programará los electrodomésticos conectados a la placa base en esas horas. A parte de esta programación automática, también tendremos la opción de programar los electrodomésticos de una forma manual tanto desde el servidor PC de la vivienda como desde el mismo electrodoméstico y el usuario tendrá la posibilidad de leer todos los datos de los precios y los rangos horarios más económicos a través del servidor PC.

Con este sistema podremos controlar de una forma automática los electrodomésticos con una placa base integrada y un servidor PC en la vivienda. Al contrario que las otras alternativas comentadas en este trabajo, la parte de programación mediante Java, C++, Matlab o alguno de los lenguajes de programación puede ser algo compleja.

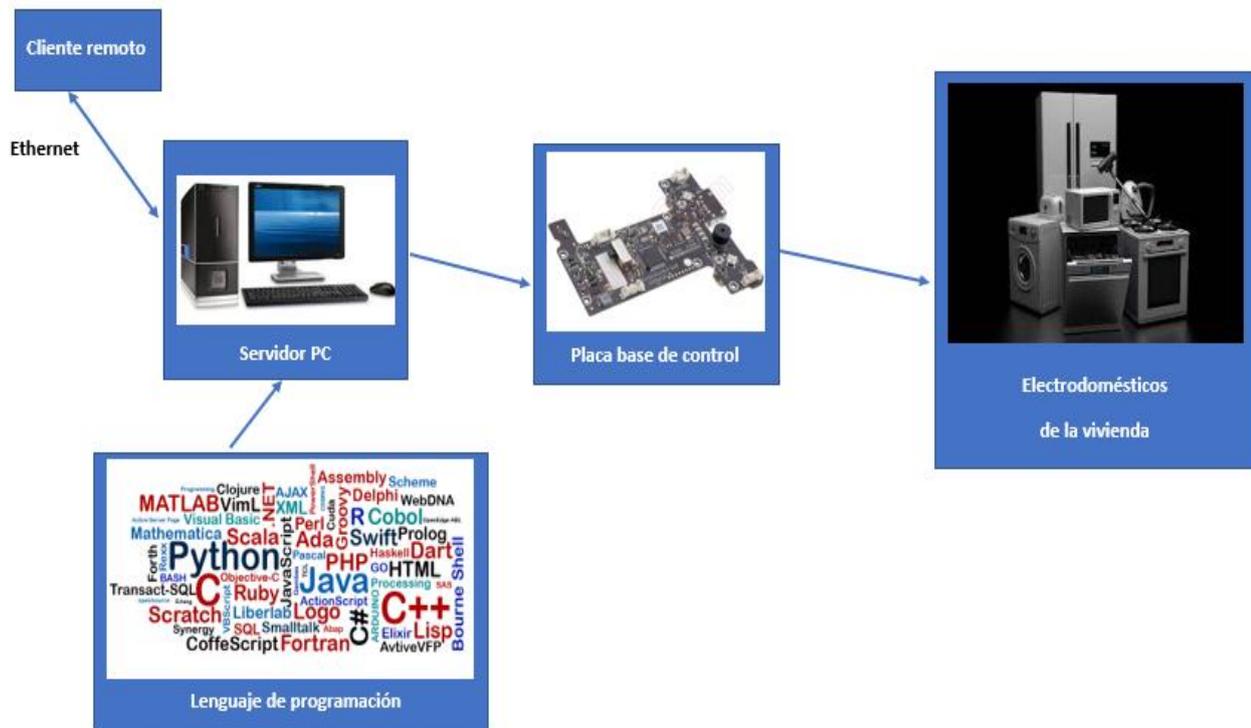


Figura 5.11. Posible diagrama de bloques de la arquitectura del sistema con un servidor PC (Fuente: Propia)

5.4.1 Sistema domótico basado en Java

En este artículo podemos encontrar la presentación del diseño e implementación de un sistema de automatización basado en Java que puede monitorear y controlar los electrodomésticos a través de la World Wide Web. Este sistema se basa en una placa base incorporada independiente integrada en un servidor en la vivienda y los electrodomésticos se conectan a los puertos de entrada/salida de la placa base integrada y su estado se transmite al servidor.

La automatización y el control de los electrodomésticos se lleva a cabo a través de Internet, es decir, los propietarios son capaces de monitorear y controlar de forma remota los electrodomésticos de la vivienda y además este sistema ofrece también un control local. Este sistema permite que el usuario pueda interactuar con el sistema domótico desde cualquier lugar y en cualquier momento.

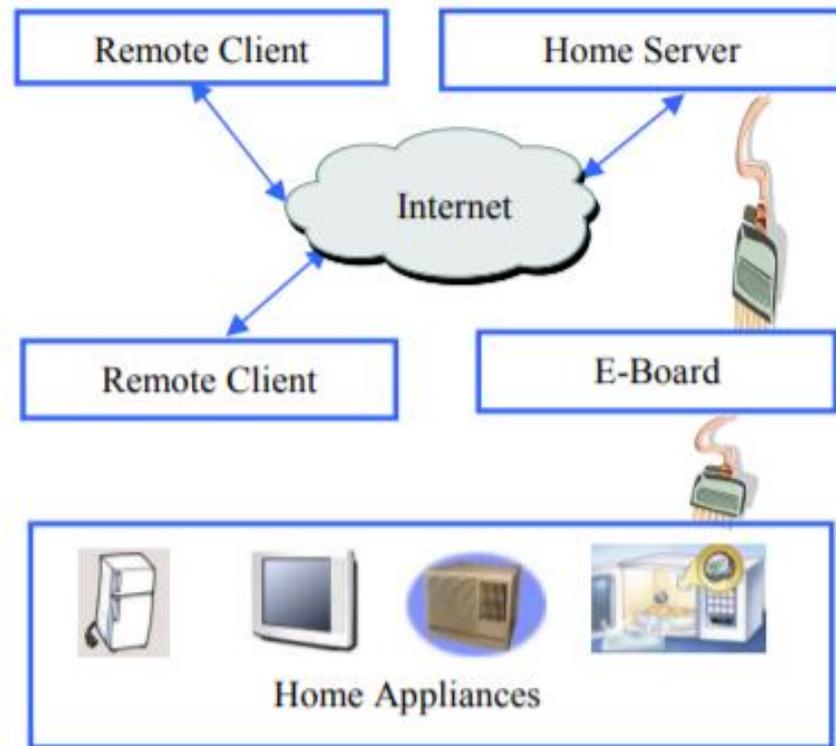


Figura 5.12. Diagrama de bloques de la arquitectura del sistema (Fuente: [81])

Como podemos observar en el diagrama de bloques de la Figura 5.12, el núcleo del sistema domótico consta de dos componentes: el servidor PC y la placa electrónica. El servidor PC alberga el algoritmo de control y gestión basado en Java que permite al usuario acceder a los electrodomésticos a través de Internet. Este servidor se comunica con la placa para descargar y cargar los comandos de control y el estado del dispositivo, además esta placa también permite controlar los electrodomésticos de una forma manual incluso si el servicio de Internet no está disponible o el PC no está encendido.

Respecto a la arquitectura hardware del sistema (Figura 5.13), los electrodomésticos se conectan a la salida de la placa electrónica a través de relés para proporcionar compatibilidad de voltaje y corrientes. Para llevar a cabo este control manual directamente desde la placa, debemos conectar un multiplexor dual (MUX). Gracias a este MUX tendremos la opción de que el usuario pueda elegir entre el modo local y el modo

remoto y de esta forma puede programar los electrodomésticos de forma directa o mediante el servidor PC. [81]

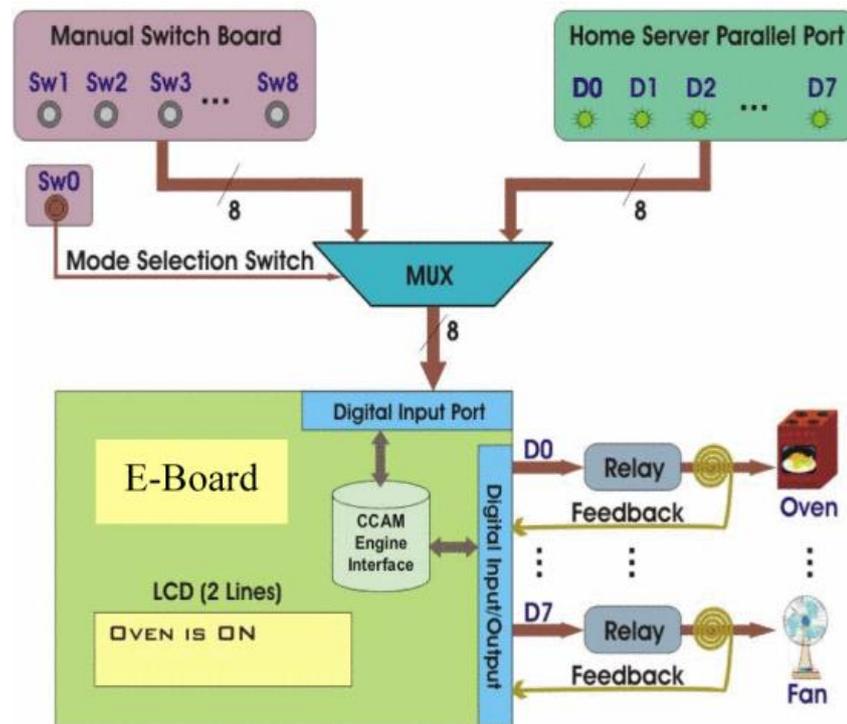


Figura 5.13. Arquitectura hardware del sistema (Fuente: [81])

5.5 Arduino

El uso de Arduino para llevar a cabo nuestra implementación es otra de las alternativas que analizaremos. Como pudimos leer en uno de los artículos comentados anteriormente, gracias a un sistema llamado SPS podíamos controlar los electrodomésticos con un dispositivo móvil, estos estaban automatizados mediante una regleta inteligente que empleaba una placa Arduino Nano. Este sistema puede ser una muy buena opción para nuestra implementación, ya que se podría utilizar una placa Arduino junto con unos enchufes inteligentes a los que conectaríamos los electrodomésticos que queremos automatizar o en el caso de que la vivienda disponga de electrodomésticos inteligentes conectar esta placa directamente a ellos si es que lo permiten.

5.5.1 Controlador de energía inteligente con domótica

En la actualidad existe una alta demanda de energía eléctrica y las nuevas centrales eléctricas no son una solución factible y viable. Los principales desperdicios eléctricos se pueden reducir con una supervisión y un control correcto de los electrodomésticos. En este artículo de 2018 se presenta una opción para controlar los electrodomésticos y reducir el consumo en las horas pico, ahorrando costos de electricidad. Este sistema consiste en un contador inteligente que monitorea el uso y reduce la carga durante las horas pico de los electrodomésticos de la vivienda. El medidor de energía está conectado con el módulo GSM y obtiene unidades actualizadas de energía consumida por el usuario a través de Arduino y también enciende/apaga los dispositivos que utilizan IoT a través de mecanismos de conmutación. El enlace de conexión entre el medidor de energía y el usuario se lleva a cabo a través de una aplicación en un dispositivo móvil. Gracias a esta aplicación el usuario es capaz de llevar un control remoto de los electrodomésticos desde cualquier parte del mundo.

Gracias al medidor de energía monofásico seremos capaces de medir el consumo de energía eléctrica consumida por la vivienda. Las principales características de este medidor de energía son: lee y procesa los valores de voltaje y corriente, calcula la forma de onda de voltaje y el tiempo actual, permite la interacción del usuario con la cantidad de unidades consumidas con GSM y comunica el consumo de energía a la pantalla LCD a través de un transceptor de radiofrecuencia. En la siguiente imagen (Figura 5.14) podemos observar como serían las conexiones de los diferentes elementos que forman este controlador de energía, es decir el diagrama del circuito del medidor de energía monofásico de este sistema domótico. [82]

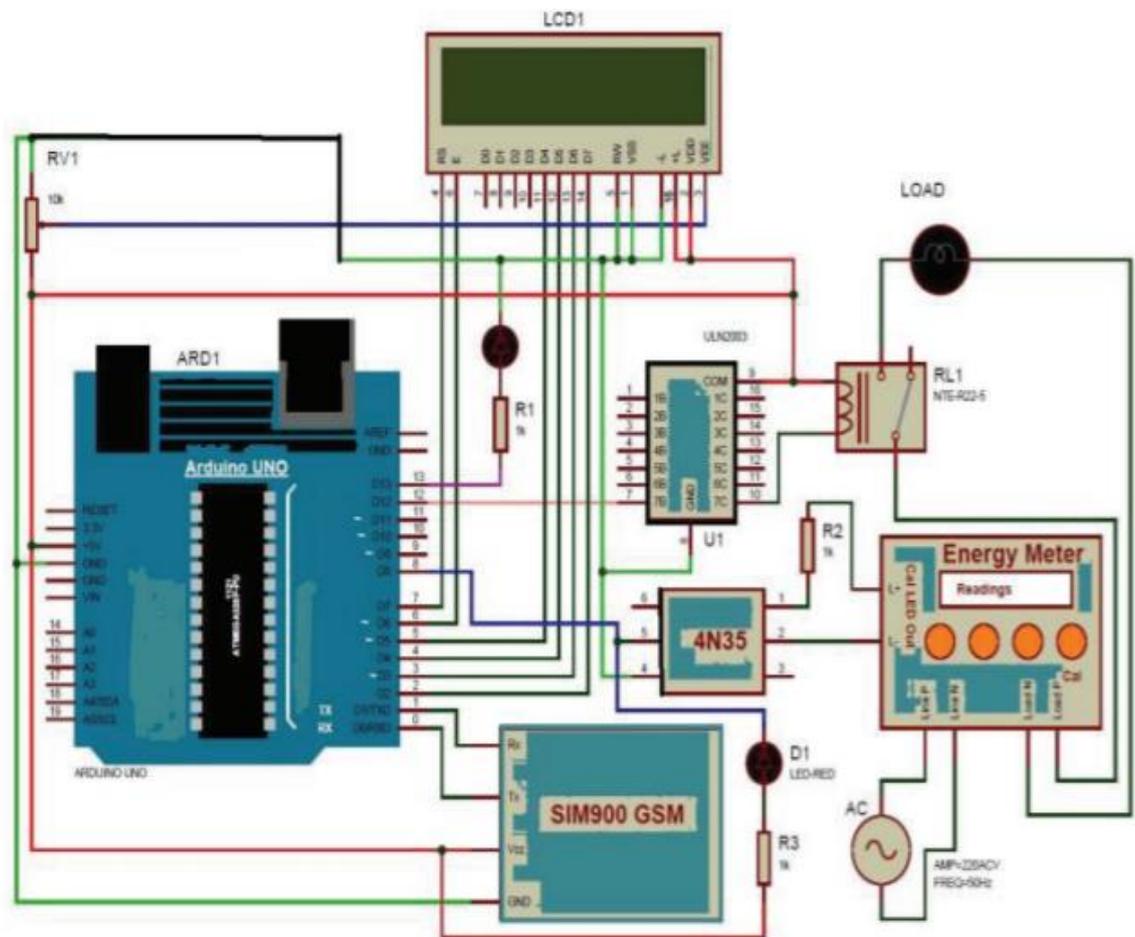


Figura 5.14. Diagrama del circuito del medidor de energía monofásico (Fuente:[82])

Otra alternativa para llevar a cabo nuestra implementación podría ser el controlador de energía eficiente. Este sistema puede modificarse para cumplir nuestro objetivo, gracias al medidor de energía sabemos cuál es el consumo de energía eléctrica de la vivienda. Pero para nuestra implementación podríamos modificarlo para que, en vez de leer los datos del consumo de la vivienda, lea los datos del precio del kWh diario. Una vez obtenidos estos datos, como el medidor está conectado con los electrodomésticos seremos capaces de programarlos en el horario más conveniente, esto podemos llevarlo a cabo de dos formas: automáticamente desde el medidor de energía o de forma remota desde la aplicación móvil.

5.6 Visión general de sistemas domóticos para la automatización del hogar

En la actualidad los sistemas domóticos han alcanzado una gran popularidad, ya que aumentan el confort y la calidad de vida de las personas en sus hogares. Luego, en un artículo del año 2016 analizaremos una descripción general de los diferentes sistemas de automatización en los hogares actuales y emergentes, analizando las diferencias entre ellos y destacando las ventajas e inconvenientes de cada uno.

Generalmente en los sistemas domóticos del hogar se utiliza una aplicación en un dispositivo móvil conectado con un microcontrolador para controlar y monitorear los electrodomésticos con diferentes tipos de técnicas de comunicación inalámbrica. [83]

5.6.1 Sistema de automatización del hogar basado en Bluetooth

Estos sistemas de domótica utilizan un teléfono inteligente, una placa de Arduino y tecnología Bluetooth y son seguros y de bajo costo. Un sistema domótico basado en Bluetooth propuesto por R.Piyare y M.Tazil consiste en una placa de Arduino BT y un dispositivo móvil, cuya comunicación inalámbrica se realiza a través de una tecnología Bluetooth. En este sistema, los electrodomésticos se conectan a la placa de Arduino BT a través de un relé y el dispositivo móvil utiliza una aplicación para controlar los electrodomésticos.

Este sistema tiene la ventaja de encajar fácilmente tanto en una vivienda convencional como en una vivienda con sistema automatizado. Y el principal inconveniente es que el control de los electrodomésticos está limitado dentro de alcance de la conexión Bluetooth.

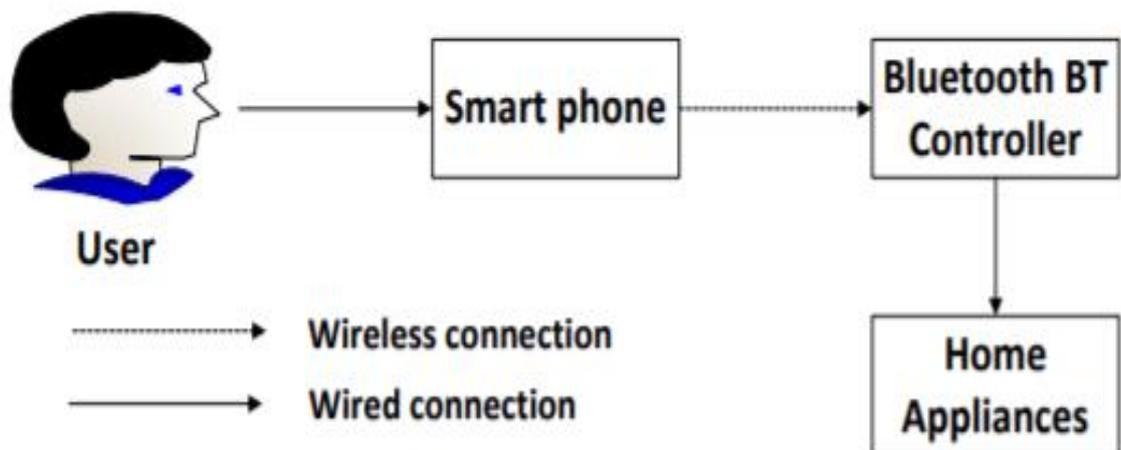


Figura 5.15. Diagrama de bloques de sistema domótico con Bluetooth (Fuente:[83])

5.6.2 Automatización del hogar basada en el reconocimiento de voz

Este sistema domótico implementa una arquitectura de hardware que consta de Arduino UNO y un teléfono inteligente. Al igual que en el caso anterior, la conexión entre el dispositivo y el Arduino UNO se lleva a cabo mediante tecnología Bluetooth. El dispositivo Android tiene una función de reconocimiento de voz incorporada que se utiliza para desarrollar una aplicación que tiene la capacidad de controlar los electrodomésticos desde el comando de voz de usuario. La función de esta aplicación consiste en convertir el comando de voz del usuario en texto y transite ese mensaje de texto al módulo Bluetooth HC-05 que está conectado con Arduino UNO.

Este sistema nos aporta la ventaja de que, pronunciando el nombre del electrodoméstico en el micrófono del dispositivo móvil, es posible encender/apagar y controlar fácilmente el electrodoméstico. Y el mayor inconveniente es que tiene un alcance limitado debido al Bluetooth, para solucionar este problema puede utilizarse Internet en vez de Bluetooth, pero esta solución no será rentable.

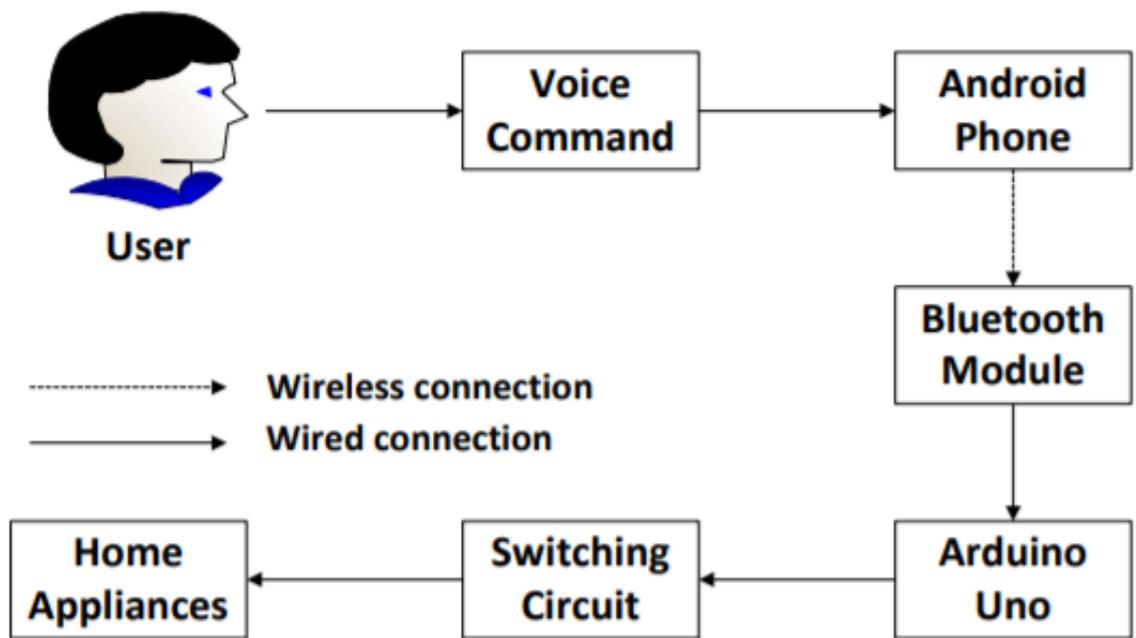


Figura 5.16. Diagrama de bloques del sistema domótico basado en reconocimiento de voz (Fuente:[83])

5.6.3 Sistema inalámbrico de automatización del hogar basado en ZigBee

Este sistema consiste en tres módulos principales: módulo de micrófono de mano, módulo de controlador central y módulo de controlador de dispositivo. El módulo de micrófono en mano utiliza el protocolo ZigBee y el módulo del controlador central se basa en una PC. En este sistema, la API de voz de Microsoft se usa como una aplicación de reconocimiento de voz, la red inalámbrica se establece usando módulos RF ZigBee debido a su bajo consumo de energía y rentabilidad. El acento del altavoz, la velocidad y el ruido ambiental afectan a la precisión del sistema y esta precisión está limitada, es decir, cuanto mayor esta la distancia el sistema es menos preciso.

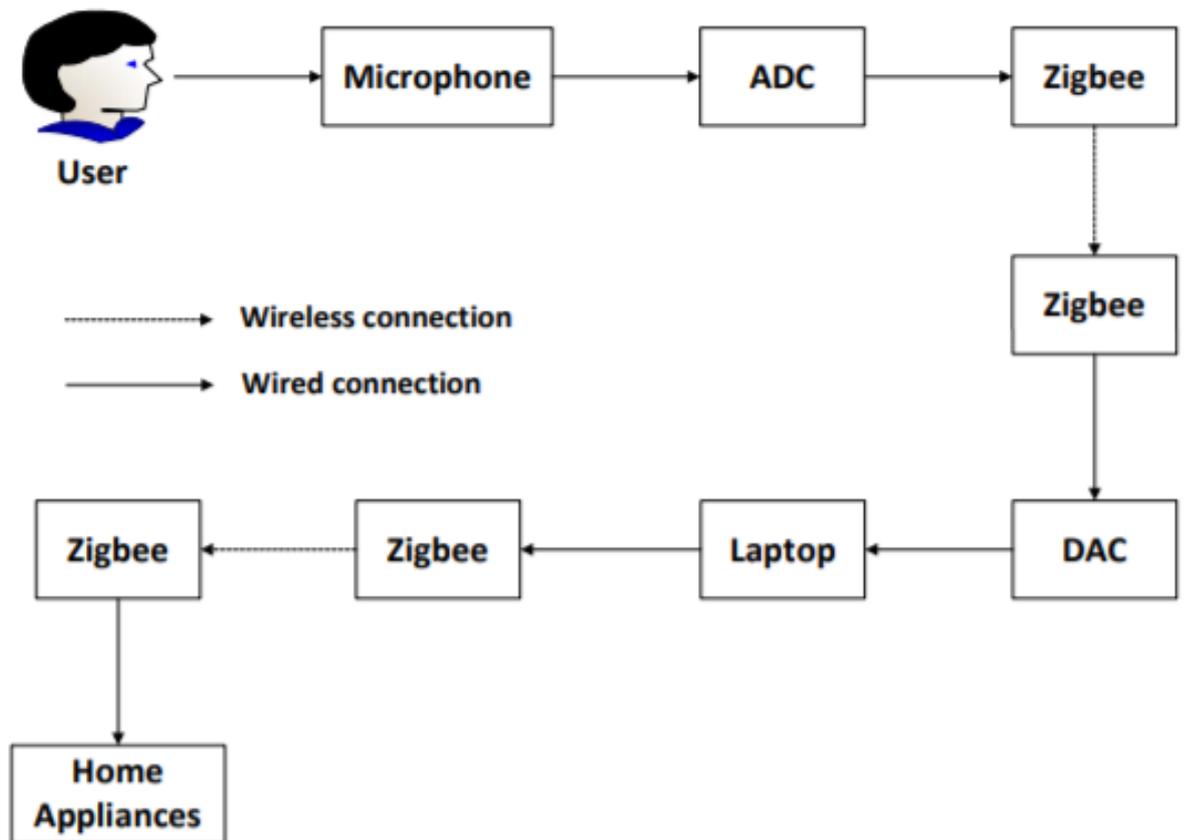


Figura 5.17. Diagrama de bloques del sistema domótico basado en ZigBee (Fuente:[83])

5.6.4 Sistema de automatización del hogar basado en GSM

Este sistema de automatización del hogar basado en el uso de Global System for Mobile Communication (GSM) utiliza una arquitectura de hardware que consta de un módem GSM, un microcontrolador y un teléfono inteligente. El sistema utilizó el módem GSM para controlar los aparatos eléctricos a través de una solicitud SMS, y el microcontrolador para leer y decodificar el SMS recibido para ejecutar el comando específico. Los electrodomésticos se conectan al microcontrolador a través de relés. A continuación, podemos observar el diagrama de bloques de un sistema domótico basado en GSM con reconocimiento de voz.

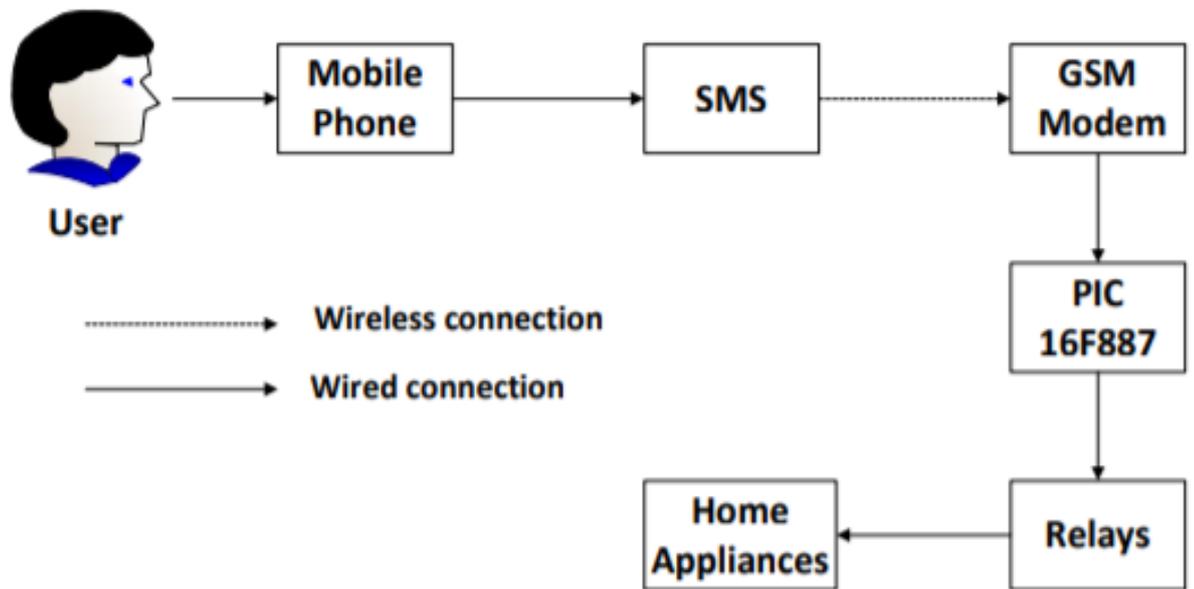


Figura 5.18. Diagrama de bloques del sistema domótico basado en GSM (Fuente:[83])

Una de las ventajas de este sistema es que los usuarios recibirán información sobre el estado de los electrodomésticos a través de SMS y gracias a la amplia cobertura de la red GSM, los usuarios pueden acceder desde cualquier parte con una máxima seguridad y confiabilidad.

5.6.5 Sistema de automatización del hogar basado en el Internet de las cosas (IoT)

Rajeev Piyare presentó un sistema de control y monitoreo del hogar basado en la tecnología de Internet de las cosas (IoT). Este sistema está implementado mediante el uso de un microservidor web integrado, dispositivos de control, un teléfono inteligente y una aplicación de software. En la Figura 5.16 podemos observar la arquitectura del sistema que está formado por el entorno doméstico, la puerta de enlace doméstica y el entorno doméstico.

Gracias al control remoto los usuarios pueden controlar y monitorear de forma remota los electrodomésticos usando un dispositivo móvil, a través de Wifi, 3G o 4G y la aplicación Android. La función de la puerta de enlace doméstica es proporcionar el servicio de traducción de datos entre Internet, el enrutador y el servicio Arduino Ethernet.

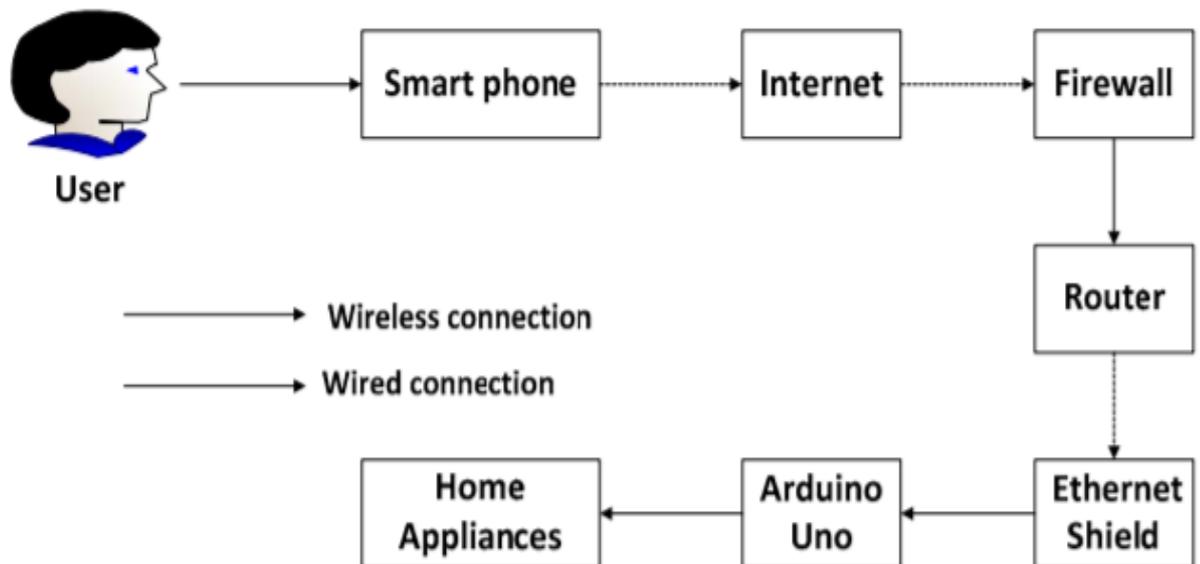


Figura 5.19. Diagrama de bloques del sistema domótico basado en IoT (Fuente:[83])

Con este sistema domótico podemos controlar los sistemas de administración de energía, como los enchufes, las luces, el sistema de seguridad, la calefacción, el aire acondicionado o la ventilación.

5.6.6 Sistema de domótico basado en EnOcean

El EnOcean es una tecnología de recolección de energía de nuevo desarrollo que se utiliza en los sistemas de automatización del transporte, la construcción y el hogar y aporta múltiples beneficios gracias a la eficiencia energética y la facilidad de instalación.

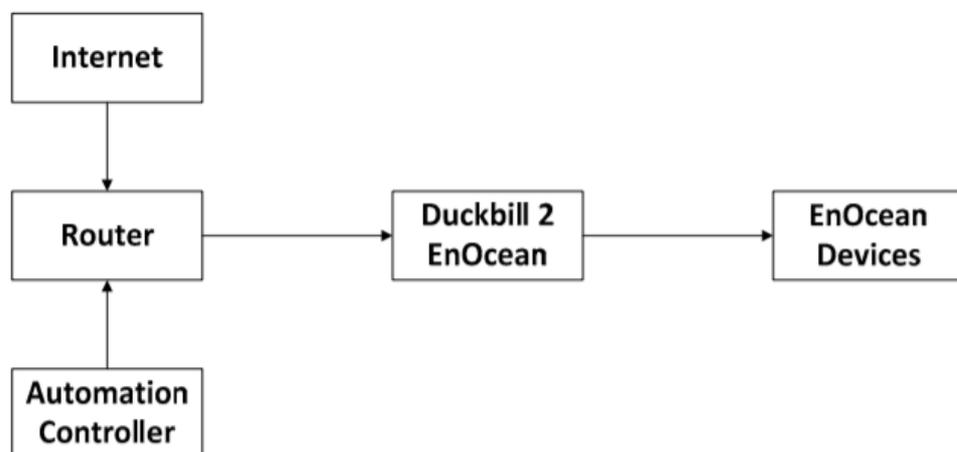


Figura 5.20. Diagrama de bloques del sistema domótico basado en EnOcean (Fuente:[83])

Este sistema puede construirse utilizando Internet, enrutador, controlador de automatización, dispositivos Duckbill 2 EnOcean y EnOcean. Duckbill 2 EnOcean es una memoria USB utilizada para el sistema de automatización del hogar que ejecuta aplicaciones bajo el sistema Linux.

5.6.7 Comparativa de los sistemas domóticos

Hemos evaluado algunos sistemas domóticos aplicables en una vivienda y sus ventajas e inconvenientes, como podemos ver en la siguiente tabla comparativa entre los diferentes sistemas analizados. Algunos sistemas pueden ser más fáciles de usar, pero encontramos otros inconvenientes como un alto coste de instalación o una velocidad de reacción más lenta.

SISTEMA	COSTE	VELOCIDAD	TIEMPO REAL
Bluetooth	Bajo	Rápida	Si
Reconocimiento de voz	Bajo	Rápida	Si
ZigBee	Bajo	Rápida	Si
GSM	Alto	Lenta	No
IoT (Internet, Wifi)	Alto	Lenta	Si
EnOcean	Bajo	Rápida	Si

Tabla 5.1. Comparativa de los sistemas domóticos del hogar

(Fuente: [83])

El sistema de automatización con Bluetooth aporta un control completo sobre los electrodomésticos siempre y cuando el usuario esté dentro del alcance del Bluetooth y este sistema tiene una gran seguridad y su coste es bajo. Tiene múltiples ventajas, pero el mayor inconveniente es que la conexión Bluetooth nos limita bastante, por lo que para nuestra implementación descartaríamos este sistema.

Los sistemas basados en el reconocimiento de voz son más útiles para personas mayores y discapacitadas que desean controlar los electrodomésticos mediante comandos de voz. Al igual que en el sistema anterior tiene la limitación de alcance por el uso del Bluetooth, por lo que

también lo descartamos para nuestra implementación. Nos ocurre lo mismo con la tecnología ZigBee, ya que tanto sus ventajas como sus desventajas son muy similares a los sistemas con Bluetooth.

En cambio, los sistemas basados en GSM permiten al usuario controlar y monitorear los electrodomésticos desde cualquier parte. Pero tiene el inconveniente de que no se garantiza al 100% la correcta comunicación, por lo que no es un sistema confiable. En consecuencia, no puede implementarse como un sistema en tiempo real, que es el tipo de sistema que necesita nuestra implementación, por lo que esta opción también queda descartada.

Los sistemas que se basan en IoT son flexibles y confiables, ya que la comunicación entre los electrodomésticos y el usuario se realiza a través de Internet. Este sistema, con alguna modificación, podría utilizarse para llevarse a cabo nuestra implementación. La tecnología EnOcean también aporta grandes beneficios, sobre todo en términos de energía ya que es un dispositivo de autoalimentación y el de mayor velocidad de datos de todas las tecnologías mencionadas anteriormente. Es una tecnología nueva y asegura un futuro prometedor para la mejora de los sistemas domóticos.

Todos estos sistemas domóticos son grandes avances en la tecnología del hogar y son buenas opciones para el control de los electrodomésticos, sobre todo los sistemas basados en IoT y EnOcean. Pero para nuestra implementación no encajan muy bien, ya que con estos sistemas podemos controlar los electrodomésticos de una forma manual y nuestro objetivo principal es que, con la automatización de los electrodomésticos de la vivienda, consigamos que tras la lectura de los precios de kWh se programen de una forma autónoma cuando sea más conveniente.

6. IMPLEMENTACIÓN SELECCIONADA

En este apartado determinaremos, dentro de las diferentes alternativas comentadas anteriormente, la opción más beneficiosa, conveniente y viable para nuestro sistema de control de los electrodomésticos de una vivienda. Entre todas las opciones analizadas, las que pueden encajar mejor para nuestro sistema son: los enchufes inteligentes, los sistemas con controlador mediante PLCs, los sistemas con servidor PC mediante lenguajes de programación, el uso de Arduino o incluso la combinación de varias opciones.

6.1 Comparativa de los mejores sistemas

Anteriormente, hemos comentado las características, ventajas e inconvenientes de todos y cada uno de los sistemas analizados. Respecto al sistema con servidor PC y una placa integrada programada mediante algún lenguaje de programación es una opción eficiente pero más compleja en la parte de diseño y control que otras opciones que nos aportan los mismos beneficios y son más sencillas. Además, este sistema tiene un coste más elevado que otras alternativas y la complejidad de las operaciones y por consecuencia su complicado funcionamiento conlleva que solamente sea beneficioso y viable para un especialista que sea capaz de entender y modificar el lenguaje de programación para el posterior control de los electrodomésticos. Por todas estas razones comentadas descartamos esta alternativa.

Comparando las otras tres opciones restantes: los enchufes inteligentes, los PLCs y el sistema Arduino, nos encontramos ante tres sistemas que pueden aportar grandes ventajas para nuestro sistema de control automático de los electrodomésticos. A continuación, explicaremos el funcionamiento de dos opciones para la implementación de nuestro sistema y elegiremos el que consideramos más conveniente para cumplir con todos los objetivos propuestos.

6.1.1 Implementación con PLCs

El uso de autómatas programables, como hemos comentado en este trabajo, nos aporta múltiples ventajas ya que gracias a estos autómatas podemos programar de una forma sencilla el control de los electrodomésticos e incluso tenemos la posibilidad de controlar también los sistemas de alumbrado y climatización de la vivienda.

Para la implementación del sistema de control, primero debemos determinar qué electrodomésticos de la vivienda queremos automatizar y ubicar su distribución eléctrica en la vivienda. De esta forma tenemos localizados los contactos eléctricos de los electrodomésticos y ahora debemos instalar y configurar el autómata programable. Para ello lo haremos desde un servidor PC que tendremos ubicado en la vivienda, por lo que no supondrá ningún gasto al usuario. Desde este ordenador debemos ser capaces de leer los datos del precio del kWh todas las horas del día y determinar cuál son los periodos valle más convenientes para programar los electrodomésticos. Los periodos con las horas más económicas serán los datos de entrada que recibirá el autómata programable y este será el encargado de programar los electrodomésticos conectados a la salida del PLC. Con este procedimiento tenemos la ventaja de que podemos automatizar el control de los electrodomésticos, pero también es posible conectar a la salida del autómata las tomas de corriente del alumbrado o la climatización de la vivienda para tener igualmente un control automático sobre ellas. Pero para ello sería necesario conectar a las entradas del autómata nuevos sensores de luz, de temperatura, etc.

Como podemos ver en esta posible arquitectura, el primer paso será leer los datos del precio del kWh de la página web: <https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh-manana>, los datos los obtenemos de una forma tabular y debemos programar el ordenador para que los lea y organice las horas en diferentes periodos. Esta distribución la llevaremos a cabo mediante una programación en el

ordenador para distribuir los diferentes precios en tres rangos determinados: bajo, medio y alto. Una vez que tenemos los datos ordenados en tres periodos valle, llano y punta, los pasamos como datos de entrada al PLC y este se encargará de programar los electrodomésticos en las horas más económicas (horas valle), actuando directamente en la conexión de los aparatos, es decir, conectando o desconectando los distintos electrodomésticos de la corriente.

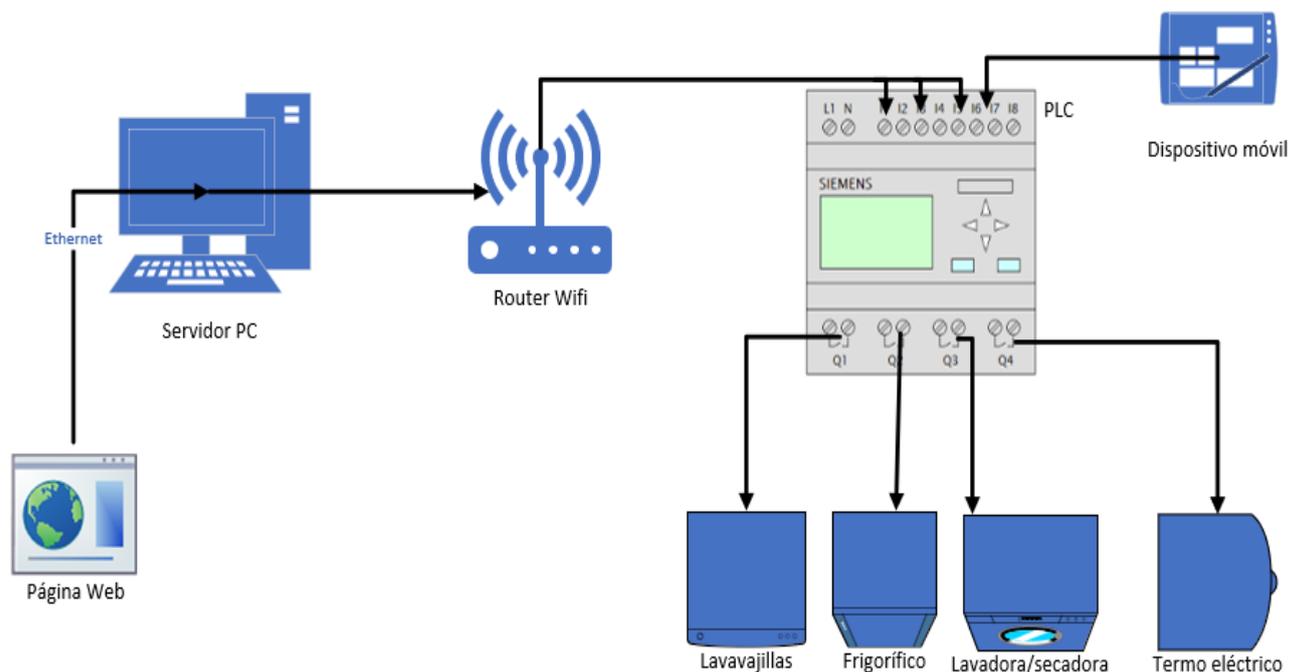


Figura 6.1. Posible arquitectura para la implementación del sistema de control mediante PLC (Fuente: Propia)

Previamente el usuario será el encargado de poner lo necesario antes de el funcionamiento de determinados electrodomésticos, por ejemplo, en el lavavajillas colocar el jabón y meter los platos y cubiertos sucios, en la lavadora o secadora meter la ropa sucia... Es decir, la implementación controlará de forma automática los electrodomésticos, pero es necesaria la intervención humana para el correcto funcionamiento. Además, el usuario tiene la opción de programar los electrodomésticos a la hora que desee y para ello debe llevarlo a cabo directamente desde el autómata programable. Por esta razón, otra de las entradas que recibirá el autómata será información desde un dispositivo móvil que permita al

usuario interactuar directamente con el PLC y programar en el horario que quiera el o los electrodomésticos que elija. También es importante tener en cuenta que el dispositivo móvil estará conectado también con el servidor PC y el usuario podrá leer toda la información sobre los precios del kWh desde el móvil y así programarlos también desde ese dispositivo de una forma rápida y sencilla.

Esta alternativa es una muy buena opción para llevar a cabo la implementación del sistema de control de los electrodomésticos del hogar, ya que hoy en día en la mayoría de las viviendas ya se dispone de un servidor PC y de Internet por lo que solamente sería necesario implementar y programar el autómata y conectarlo con los electrodomésticos que queramos automatizar, de esta forma la inversión inicial necesaria para llevar a cabo nuestra implementación se verá reducida y se necesitará menos tiempo para recuperar ese dinero. Además, como ya hemos comentado anteriormente este sistema es muy flexible ya que también permite automatizar el sistema de alumbrado y la climatización de la vivienda si es necesario y el usuario así lo desea.

6.1.2 Implementación con Arduino y enchufes inteligentes

Otra alternativa para nuestra implementación sería combinar el uso de los enchufes inteligentes con una placa Arduino, esta opción será similar al sistema SPS diseñado en uno de los artículos comentados.

En nuestro caso conectaremos a la corriente los electrodomésticos que queremos automatizar a través de un enchufe inteligente y a su vez estos enchufes estarán conectados vía Wifi a una placa de Arduino que se encargará de la determinación de los periodos más beneficiosos para la programación de los electrodomésticos y de esta forma obtendremos un ahorro energético y económico. Existe una amplia variedad de placas de Arduino, pero analizaremos varias opciones y seleccionaremos la más conveniente para nuestro sistema.

Para llevar a cabo el control y la automatización debemos programar en un servidor PC un código que lea los datos del precio del kWh de una

página web y determine las horas más económicas en las que poder programar los electrodomésticos de la vivienda y esta información será enviada a la placa de Arduino mediante conexión Wifi.

Cuando la placa ya he recibido estos datos, enviará señales a los enchufes inteligentes y estos serán los encargados de llevar a cabo el control de conectar/desconectar de la corriente los electrodomésticos. La conexión que estableceremos entre la placa Arduino y los enchufes inteligentes será de forma inalámbrica mediante conexión Wifi.

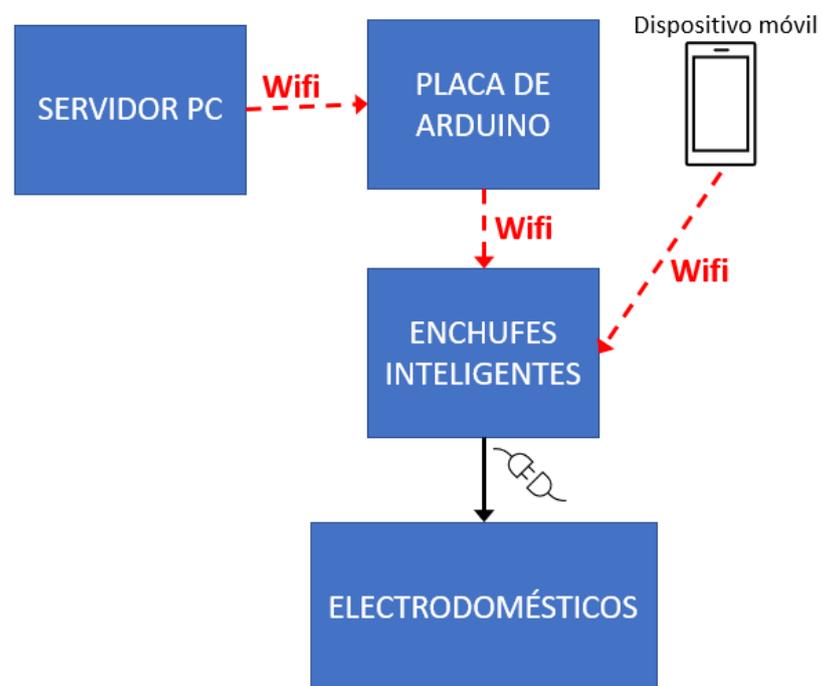


Figura 6.2. Diagrama de bloques del sistema de control con Arduino y enchufes inteligentes (Fuente: Propia)

Como podemos observar en el diagrama de bloques el sistema de control es bastante simple y los componentes que lo forman no son de alto coste, por lo que además de simplicidad nuestro sistema será asequible.

Además de este proceso automático desde nuestro dispositivo móvil seremos capaces de ver los datos de los precios del kWh y tendremos la opción de poder programar y controlar los electrodomésticos de una forma manual, es decir, desde una aplicación móvil conectada a los enchufes inteligentes podremos de conectar o desconectar a la corriente los aparatos eléctricos.

6.2 Sistema de control de los electrodomésticos de una vivienda seleccionado

Teniendo en cuenta estas dos opciones, debemos seleccionar una para llevar a cabo nuestra implementación. En el caso de querer automatizar no solo los electrodomésticos, sino también la climatización y la iluminación de la vivienda, seleccionaremos la implementación a través de un autómata programable PLC. En cambio, en nuestro caso queremos centrarnos en el control y la automatización de los electrodomésticos de la vivienda, por ellos vamos a seleccionar el sistema que combina el uso de Arduino con los enchufes inteligentes. Además, esta opción aparte de las múltiples ventajas que nos proporciona tiene una instalación muy sencilla y económica.

6.2.1 Arduino

Arduino es una plataforma de código abierto (Open Source) con un entorno de desarrollo integrado (IDE) que se basa en el lenguaje de programación Processing/Wiring, este lenguaje está basado en la programación en C y C++. Arduino es una plataforma de desarrollo basada en una placa electrónica de hardware libre que incorpora un microcontrolador reprogramable y una serie de pines hembra, que permiten establecer conexiones entre el microcontrolador y los diferentes sensores y actuadores de una manera sencilla. [85]

Para este sistema programaremos una placa de Arduino UNO Wifi REV2, se trata de una nueva placa de “arduino.org” que es igual que la clásica placa Arduino UNO a la que se le incluyen algunas mejoras y se añade un módulo Wifi ESP8266, obteniendo como resultado una placa Arduino UNO con conexión Wifi/Bluetooth.

A nivel de entradas y salidas esta placa es exactamente igual que Arduino UNO, pero gracias al módulo Wifi ESP8266, que es un SoC (System on a Chip) con la pila de protocolos TCP/IP integrada, puede dar acceso a la red Wifi. Es posible usar la placa como cliente o como servidor y permite comunicar vía Wifi la placa con los sensores y los actuadores conectados a ella.

Esta placa microcontroladora es de fácil uso y compatible con todo tipo de componentes electrónicos. Además de ser una de las placas más utilizadas y robustas del mercado, es una muy buena opción para iniciar con la programación de microcontroladores y proyectos IoT. [86]

Sus características técnicas:

- Microcontrolador: ATmega4809.
- Velocidad de reloj: 16 MHz.
- Voltaje de funcionamiento: 5V.
- Voltaje de entrada recomendado: 7 a 12V.
- Pines de E/S digitales: 14-5 Proporcionar salida PWM.
- Pines de E/C digitales PWM: 5.
- Pines de entrada analógica: 6.
- Corriente CC por pin de E/S: 20mA.
- Corriente CC para clavija de 3,3V: 50mA.
- Memoria: 48 KB Flas, 6144 bytes SRAM. [87]

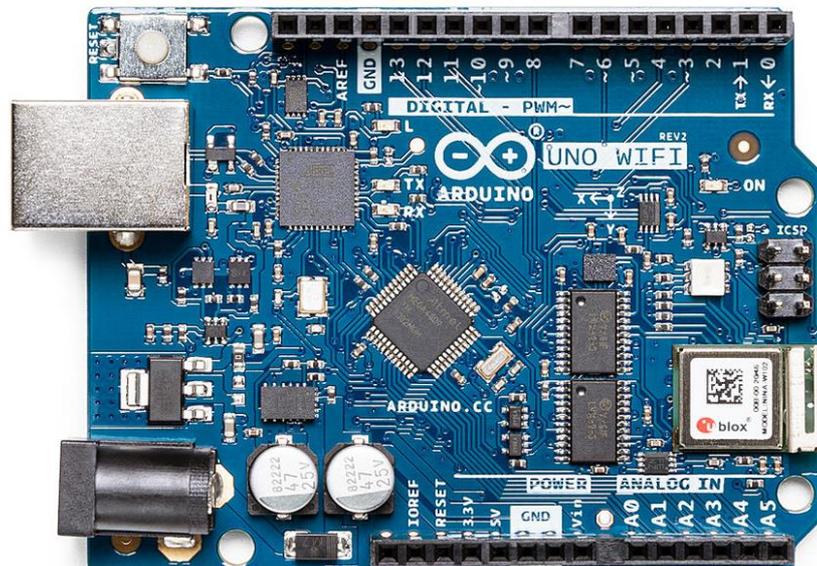


Figura 6.3. Placa Arduino UNO Wifi REV2 (Fuente: [87])

Las dimensiones de esta placa son de 68,6x53,4mm con un peso de 25 gramos y tiene un precio aproximado de 39€. Para comenzar a usarla simplemente hay que conectarlo a un servidor PC con un cable USB, encenderlo con un adaptador de CA o con una batería.

Como ya hemos comentado nuestra placa de Arduino necesita tener conexión Wifi para llevar a cabo el sistema de control que queremos. También existe la posibilidad de seleccionar una placa Arduino UNO, pero sería necesario el uso de un módulo Ethernet, como por ejemplo Arduino Ethernet Shield V1 que permite a la placa de Arduino UNO conectarse a Internet mediante un cable Ethernet. Además, permite mantener varias conexiones abiertas simultáneamente y Arduino puede actuar como servidor o como cliente gracias a su librería Ethernet.

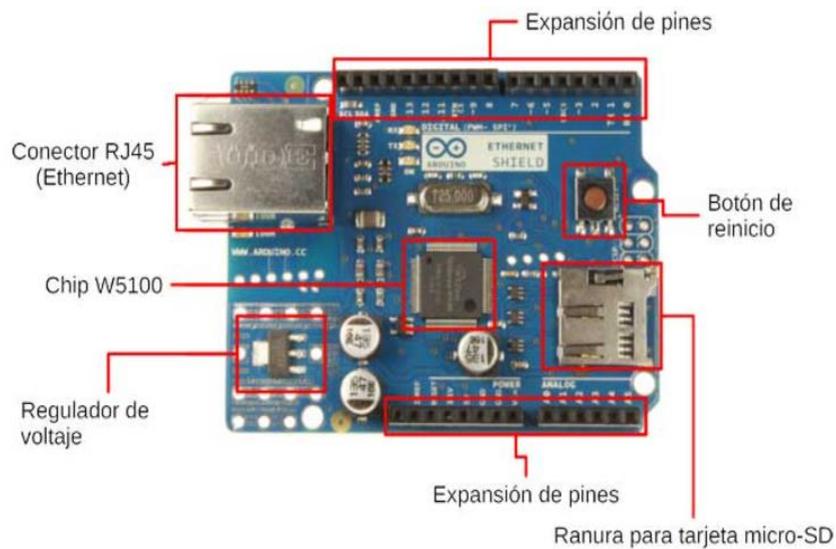


Figura 6.4. Ethernet Shield V1 (Fuente: [88])

La conexión entre la placa Arduino UNO y Ethernet Shield V1 se llevaría a cabo de una forma muy sencilla, basta con colocarlo sobre la placa haciendo coincidir los conectores como vemos en la siguiente imagen.



Figura 6.5. Conexión Ethernet Shield y Arduino UNO (Fuente: [88])

Esta otra opción puede resultar interesante, pero gracias a la placa Arduino UNO Wifi no será necesario el uso de estos dos módulos y servirá solamente con la programación de esta placa. Además de que para la conexión entre la placa Arduino y los enchufes inteligentes también necesitaremos conexión Wifi y con la placa Arduino UNO sería necesario un módulo más para establecer esa conexión. Siendo más factible y económico llevarlo a cabo todas estas conexiones solamente con la placa Arduino UNO Wifi sin necesidad de ningún otro módulo.

Para su programación podemos hacer uso del software Arduino IDE de Arduino.org, que es el software básico utilizado para este tipo de placas e ideal tanto para principiantes como para expertos. [84]



```

freeServo | Arduino IDE 2.0.0-rc2
Arduino NANO 33 IoT at /dev/...
freeServo.ino  arduino_secrets.h  thingProps.h
36
37 void loop() {
38   ArduinoCloud.update();
39   if(moveServo){
40     loopServo();
41   }
42 }
43
44 void loopServo(){
45   unsigned long msNow = millis();
46   if(msNow - lastServoMove > SERVO_MOVE_INTERVAL){
47     int direction = garage ? 1 : -1;
48     currentAngle += direction * degreeSteps;
49     if(currentAngle > ANGLE_MAX || currentAngle < ANGLE_MIN){
50       moveServo = false;
51       currentAngle = (direction > 0) ? ANGLE_MAX : ANGLE_MIN;
52     }
53     Serial.println(currentAngle);
54     garageDoorServo.write(currentAngle);
55   }
56 }
57
58 void onGarageChange(){
59   Serial.print("Garage switch ");
60   Serial.println(garage ? "ON" : "OFF");
61   moveServo = true;

```

Figura 6.6. Ejemplo código de programación en Arduino IDE
(Fuente:[89])

Para llevar a cabo nuestro sistema de control primero conectaremos mediante conexión Wifi la placa Arduino UNO Wifi con el servidor PC de

la vivienda. En este servidor programaremos un código para la lectura y el análisis de los precios del kW y las horas seleccionadas serán enviadas del ordenador a la placa a través de la conexión inalámbrica. Y respecto a la salida, conectaremos vía Wifi la placa de Arduino con los enchufes inteligentes para que estos interactúen directamente con los electrodomésticos en función de la información que reciban de la placa. Debemos tener en cuenta un aspecto importante, para programar la placa de Arduino la conectaremos mediante conexión USB al servidor PC, pero una vez configurada la desconectaremos y se comunicará mediante conexión Wifi con el resto de los dispositivos. Pero la placa debe estar alimentada para su funcionamiento y para ello podemos tener diferentes opciones y entradas de alimentación.

6.2.2 Fuente de alimentación

Como hemos comentado la placa de Arduino de nuestro sistema debe de estar de una forma continua alimentada por corriente continua para que funcione. Y debemos saber que existen múltiples formas de alimentarla, como podemos ver en la imagen.

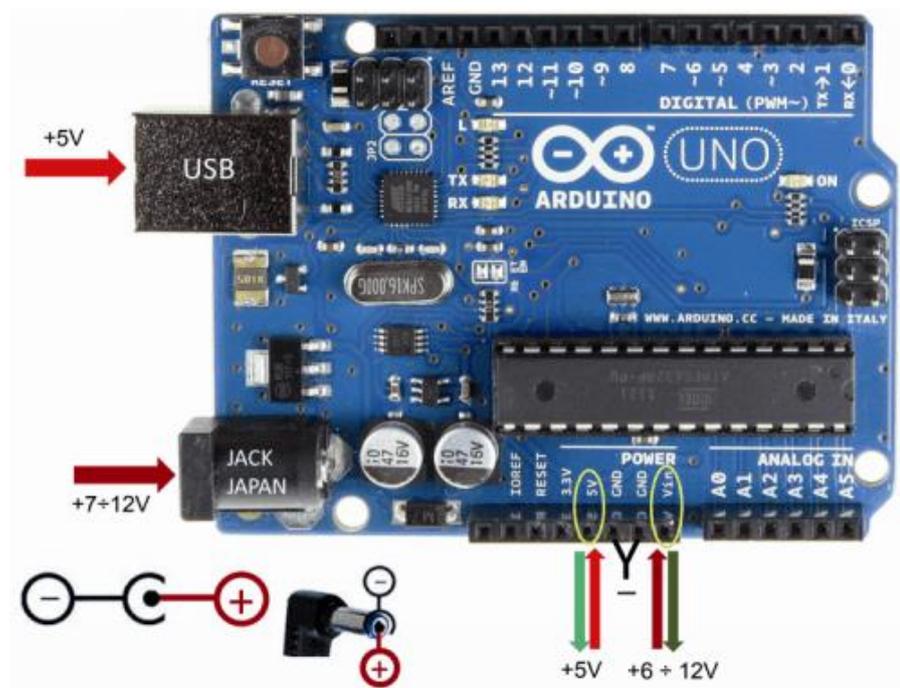


Figura 6.7. Entradas de alimentación Arduino (Fuente:[90])

-Puerto USB: llega al bus de 5V, procedente del puerto USB de un ordenador o de cualquier fuente de alimentación que funciona como una batería.

-JACK: generalmente se conecta una fuente de alimentación con el polo positivo en la parte central de la toma con un valor recomendado de entre 7-12V.

-Pin V_{in} : tiene doble función, como entrada para alimentación externa (no está protegida) o como salida de la que extraer voltaje.

-Pin 5V: está conectado directamente a la salida del regulador y al bus de 5V que se usa para alimentar cargas externas. [90]

Para nuestro sistema utilizaremos una fuente de alimentación que se encargará de tomar la alimentación a 220V en alterna y transformarla a 5V en continua y se conectará al JACK de nuestra placa.



Figura 6.8. Fuente de alimentación Arduino (Fuente:[91])

Hemos seleccionado esta fuente de alimentación, ya que sabemos que es compatible con nuestra placa de Arduino y no supondrá ningún problema ni la dañará. Además de ser compatible, este sistema está equipado con protección contra sobretensiones, cortocircuitos y temperaturas convirtiéndose en una opción muy segura para nuestra placa y por lo tanto para nuestro sistema de control.

6.2.3 Obtención y lectura de datos

Antes de comenzar con la programación de la placa Arduino UNO Wifi debemos tener claro de qué página web vamos a obtener la información con respecto al precio del kWh.

Como sabemos Red Eléctrica (REE) hace pública la información del precio del kWh el día anterior a las 20:00h en su página web oficial "<https://www.esios.ree.es/es/pvpc>" y nosotros debemos leer esta información para programar los electrodomésticos en las horas valle del día siguiente. Pero para nuestro sistema no vamos a conseguir estos datos desde esta dirección, sino desde otra página web porque es más conveniente tener los datos de forma tabular y en el caso de la página de REE siempre nos proporcionan los precios de forma gráfica.

Por esta razón, vamos a analizar dos formas de obtener la información de los diferentes precios y cuál será la alternativa que más nos conviene usar para nuestro sistema. Como ya sabemos con esta obtención, lectura y programación conseguiremos que el servidor PC sea capaz de leer los datos del precio del kWh obtenidos diariamente desde una página web, determinando las horas más económicas del día y enviando esta información a la placa de Arduino. Seguidamente la placa seleccionará las horas de programación de los electrodomésticos y establecerá conexión con los enchufes inteligentes para que estos actúen conectando o desconectando los electrodomésticos.

Los datos del precio podremos obtenerlos el día anterior sobre las 20:15h, ya que esta información es publicada en la siguiente página web: "<https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh-manana>". Gracias a esta página web obtenemos los datos del precio del kWh como podemos observar en la siguiente tabla, nuestro sistema deberá leer los valores de los precios cada hora, los comparará y determinará las horas más baratas para la programación del funcionamiento de los electrodomésticos de nuestra vivienda.

Hora	Península, Baleares y Canarias
00h	0,27523 €/kWh
01h	0,24622 €/kWh
02h	0,2398 €/kWh
03h	0,23537 €/kWh
04h	0,22884 €/kWh
05h	0,23742 €/kWh
06h	0,24814 €/kWh
07h	0,29088 €/kWh
08h	0,33122 €/kWh
09h	0,31408 €/kWh
10h	0,36062 €/kWh
11h	0,35572 €/kWh
12h	0,34473 €/kWh
13h	0,33592 €/kWh
14h	0,26286 €/kWh
15h	0,26407 €/kWh
16h	0,27817 €/kWh
17h	0,30859 €/kWh
18h	0,39746 €/kWh
19h	0,40397 €/kWh
20h	0,3957 €/kWh
21h	0,37843 €/kWh
22h	0,2811 €/kWh
23h	0,27105 €/kWh

Tabla 6.1. Tabla ejemplo de la lectura de los precios del kWh

(Fuente: [92])

Otra opción para la obtención de los datos del precio del kWh sería en la página de Selectra (<https://tarifaluzhora.es/>), ya que tenemos la posibilidad de introduciendo nuestra dirección de correo electrónico recibir un mensaje con la información del precio del kWh todas las horas del día siguiente. Este correo lo recibiremos de una forma automática todos los días sobre las 21:00h y obtendremos varias informaciones importantes para nuestra implementación.

Como podemos observar en las imágenes adjuntas a continuación, recibimos en un correo electrónico con la información del precio medio,

el precio más bajo y el más alto del kWh del día siguiente y la hora a la que esto sucede. Además, también obtendremos de forma tabular el precio del kWh cada hora del día siguiente y una gráfica de la evolución del precio medio diario.



Figura 6.9. Información precio medio/bajo/alto (Fuente: [93])

PRECIO DEL KWH DE LUZ POR HORAS

00h - 01h:	0.27523	€/kWh
01h - 02h:	0.24622	€/kWh
02h - 03h:	0.2398	€/kWh
03h - 04h:	0.23537	€/kWh
04h - 05h:	0.22884	€/kWh
05h - 06h:	0.23742	€/kWh
06h - 07h:	0.24814	€/kWh
07h - 08h:	0.29088	€/kWh
08h - 09h:	0.33122	€/kWh
09h - 10h:	0.31408	€/kWh
10h - 11h:	0.36062	€/kWh
11h - 12h:	0.35572	€/kWh
12h - 13h:	0.34473	€/kWh
13h - 14h:	0.33592	€/kWh
14h - 15h:	0.26286	€/kWh
15h - 16h:	0.26407	€/kWh
16h - 17h:	0.27817	€/kWh
17h - 18h:	0.30859	€/kWh
18h - 19h:	0.39746	€/kWh
19h - 20h:	0.40397	€/kWh
20h - 21h:	0.3957	€/kWh
21h - 22h:	0.37843	€/kWh
22h - 23h:	0.2811	€/kWh
23h - 24h:	0.27105	€/kWh

Figura 6.10. Información precio kWh por horas (Fuente: [93])

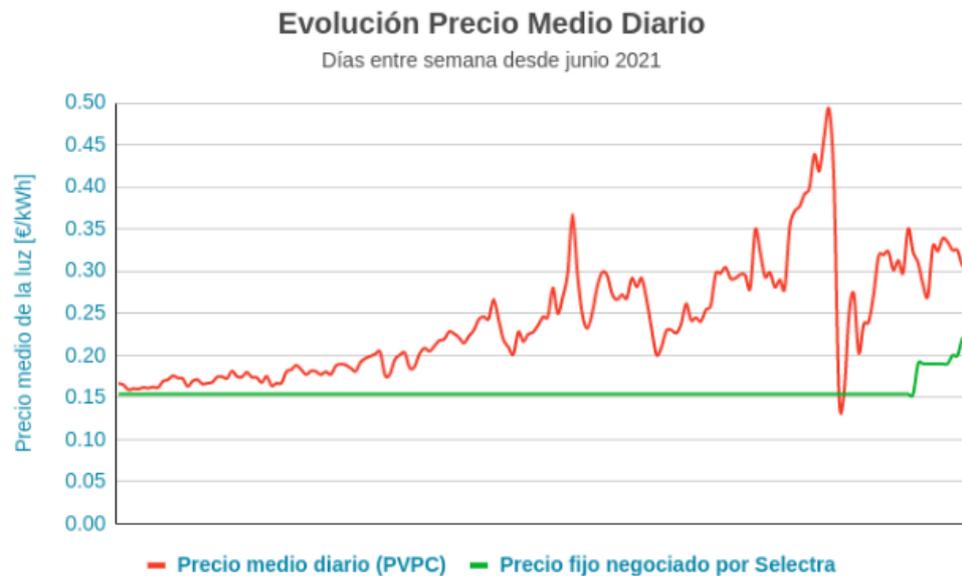


Figura 6.11. Información evolución precio medio diario
(Fuente: [93])

Como hemos analizado tenemos dos alternativas para la lectura de los datos, pero para nuestra implementación vamos a seleccionar obtener los datos desde la página web que nos proporciona los datos de forma tabular como podemos ver en la Tabla 6.1. Pero a su vez también sería recomendable llevar a cabo la otra opción, es decir nuestro sistema de control leerá y analizará los datos de la Tabla 6.1, pero será beneficioso que el usuario reciba por correo electrónico la información que ofrece Selectra. Es conveniente recibir los datos por correo de forma automática porque de esta manera el usuario puede saber toda esta información desde su dispositivo móvil y podrá programar los electrodomésticos de forma manual viendo en la tabla de la Figura 6.10 los precios del kWh organizados por colores: verde (periodo valle), naranja (periodo llano) y rojo (periodo punta). El recibir este correo será una elección del cliente, ya que será utilizado solamente para información del usuario y programar los electrodomésticos de forma manual.

Una vez que tenemos seleccionada la página dónde obtener la información necesaria, ahora debemos programar un código para que lea estos datos y los agrupe en diferentes periodos. La idea principal para nuestro sistema es leer esta información directamente desde la página

web y para ello Arduino actúa como cliente, es decir, se conecta a la página web para leerla. La acción de leer una página completa y volcarla por el puerto serie es muy lento y es una de las limitaciones que tiene Arduino frente a un ordenador. [94]

A continuación, vamos a observar un ejemplo de una posible programación de Arduino para la lectura de información desde una página web. Para ello primero debemos indicar la dirección MAC de la placa y la dirección IP del servidor PC de la vivienda. Después debemos seleccionar la dirección de nuestra página web, que como ya sabemos el enlace es: "<https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh-manana>". Una vez que tenemos esta información la placa deberá leer los datos que hay en esa página y que como hemos comentado anteriormente este proceso puede ser algo lento. Este procedimiento debe realizarse todos los días sobre las 21:00h, para que de esta forma podamos obtener la información necesaria sobre el precio del kWh de las horas del día siguiente.

Este código de programación podrá ser utilizado para programar una placa Arduino UNO combinada con el módulo Ethernet Shield, por lo que no serviría exactamente para nuestro sistema de control, pero existe la posibilidad de modificar algunos parámetros para adaptarla.

1. `#include <SPI.h>` %Introduce la librería SPI (incluida con IDE Arduino)
2. `#include <Ethernet.h>` %Introduce la librería Ethernet para trabajar con Ethernet Shield (incluida con IDE Arduino)
- 3.
4. `byte mac[] = { 0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED };` %Dirección MAC de la placa
5. `IPAddress ip(192, 168, 56, 180);` %Dirección IP del servidor
6. `EthernetClient client;` %Queremos que la placa de Arduino se comporte como un cliente, es decir, se conecte al servidor para leer la página web
7. `char serverC[] = "https://tarifaluzhora.es";` %Dirección web de donde obtenemos la información

```

8. char dataLocationC[] = "/info/precio-kwh-manana";
9.
10. void setup()
11. {
12.   Serial.begin(9600);
13.
14.   if (Ethernet.begin(mac) == 0)
15.   {
16.     Serial.println("Failed to configure Ethernet using DHCP");
17.     Ethernet.begin(mac, ip);           %Función que inicializa la
                                           librería Ethernet y configura los
                                           parámetros de red necesarios
18.   }
19.
20.   delay(1000);
21.   Serial.println("connecting...");
22.
23.   if (client.connect(serverC, 80))
24.   {
25.     Serial.println("connected");
26.     client.print("GET ");
27.     client.println(dataLocationC);
28.     client.print("Host: ");
29.     client.println(serverC);
30.     client.println();
31.   }
32.   else
33.   {
34.     Serial.println("connection failed");
35.   }
36.
37. void loop()
38. {
39.   if (client.available())
40.   {
41.     char c = client.read();
42.     if (c == '~')
43.     {
44.       while (client.available())
45.       {
46.         c = client.read();
47.         if (c == '~')
48.         {
49.           client.stop();
50.           client.flush();

```

```

51.     break;
52.     }
53.     Serial.print(c);
54.     }
55.
56.     }
57.     }
58.
59.     if (!client.connected())
60.     {
61.         Serial.println();
62.         Serial.println("disconnecting.");
63.         client.stop();
64.
65.         // do nothing
66.         while (true);
67.     }
68. } [94]

```

Analizando este código encontramos un inconveniente a la hora de ejecutarlo, Arduino solamente es capaz de leer páginas http, no tiene la potencia suficiente para gestionar la encriptación necesaria para las páginas https. Y en nuestro caso la página web de donde obtenemos la información es del segundo tipo (https) y por esta razón, debemos llevar a cabo otro método para leer estos datos.

Por lo tanto, el procedimiento vamos a realizarlo de otro modo, primero descargaremos y guardaremos los datos en un fichero .txt en el servidor PC, programaremos un código que lea la información de este fichero y seleccione las 4 horas en las que el precio del kWh es más bajo. Y después, enviaremos estas horas a la placa de Arduino, para que esta sea la encargada de mandar la información a los enchufes inteligentes.

Cuando descarguemos los datos de forma diaria automáticamente los almacenaremos en un fichero de la forma que podemos ver en la siguiente imagen (Figura 6.12), es decir, en la primera columna tenemos las 24 horas del día y en la segunda los precios del kilovatio (€/kWh) correspondientes para cada hora. Esta información la leeremos de una forma automática mediante un código de programación en lenguaje C y

después compararemos los diferentes datos del €/kWh en una función para determinar cuáles son las horas más económicas y convenientes para llevar a cabo el funcionamiento de los electrodomésticos.

```
00 0.27523
01 0.24622
02 0.2398
03 0.23537
04 0.22884
05 0.23742
06 0.24814
07 0.29088
08 0.33122
09 0.31408
10 0.36062
11 0.35572
12 0.34473
13 0.33592
14 0.26286
15 0.26407
16 0.27817
17 0.30859
18 0.39746
19 0.40397
20 0.3957
21 0.37843
22 0.2811
23 0.27105
```

Figura 6.12. Fichero “precios.txt” usado para la programación (Fuente: Propia)

A continuación, podemos ver el código que hemos programado para llevar a cabo la función antes comentada. Primeramente, crearemos una función main, que es la principal, en esta función se llevará a cabo la lectura de toda la información que encontremos en el fichero, es decir, las horas y sus precios correspondientes del kWh.

Una vez que hemos leído todos los datos del fichero, nos vamos a otra función que se llama “precios_valle” a la cual le pasamos como datos los precios del kWh de las 24 horas del día. En esta función nos encargaremos de comparar toda esta información seleccionando solamente los cuatro precios más bajos, es decir, seleccionamos los 4 precios valle del día y los imprimimos por pantalla.

```

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int ini= 0;
void precios_valle (float num [ini]); //Inicializo la función
//void precios_punta (float num [ini]);

int main ()
{
    FILE* fp=fopen( "precios.txt" , "r" ); //Abrimos el fichero

    int h; //Inicializamos la variable para guardar las horas
    float Ekwh [23]; //Inicializamos la variable para guardar
                    precios (€/kwh)
    int i=0;

    if (fp==NULL){
        printf( "Error al abrir el archivo\n" );
        return 1;
    }

    while ( !feof(fp)) { //Leemos los datos del fichero y
                        //los escribimos en el terminal
        fscanf(fp, "%d %f" , &h, &Ekwh [i]);
        printf("%d %f\n" , h, Ekwh [i]);
        i++;
    }

    fclose(fp); //Cerramos el fichero
    printf( "Se ha leído el fichero correctamente\n" );

    precios_valle(Ekwh); //Función para calcular los 4
                        //menores precios
    //precios_punta(Ekwh); Función para calcular los 4
                        //mayores precios

    return 0;
}
//Creo una función para determinar los cuatro precios más
//bajos o precios valle
void precios_valle (float num [ini])
{
    int contador= 0;
    float ultimo= 1;
    float penultimo= 1;
    float antepenultimo= 1;
    float ante_antepenultimo= 1;

```

```

while (contador<=23) {
    contador++;

    if (ultimo>num [contador]){
        penultimo=ultimo;
        ultimo=num [contador];
    }
    else if (penultimo>num [contador]) {
        antepenultimo=penultimo;
        penultimo=num [contador];
    }
    else if (antepenultimo>num [contador]) {
        ante_antepenultimo=antepenultimo;
        antepenultimo=num [contador];
    }
    else if (ante_antepenultimo>num [contador]) {
        ante_antepenultimo=num [contador];
    }
}
printf("Los 4 menores precios son: %f, %f, %f, %f\n",
ultimo, penultimo, antepenultimo, ante_antepenultimo);
}

```

Ejecutamos el programa y nos muestra en el terminal del servidor PC los datos leídos de este fichero y seguidamente los precios más económicos.

```

fdi@fdi:~$ gedit horas.c
fdi@fdi:~$ gcc horas.c -o horas
fdi@fdi:~$ ./horas
0 0.275230
1 0.246220
2 0.239800
3 0.235370
4 0.228840
5 0.237420
6 0.248140
7 0.290880
8 0.331220
9 0.314080
10 0.360620
11 0.355720
12 0.344730
13 0.335920
14 0.262860
15 0.264070
16 0.278170
17 0.308590
18 0.397460
19 0.403970
20 0.395700
21 0.378430
22 0.281100
23 0.271050
Se ha leído el fichero correctamente
Los 4 menores precios son: 0.235370, 0.228840, 0.237420, 0.248140

```

Figura 6.13. Resultado lectura de datos y selección de los 4 precios más económicos (Fuente: Propia)

Una vez que hemos determinado los 4 precios más baratos (€/kWh), vemos que corresponden con las horas: 03h, 04h, 05h y 06h, por lo que estas cuatro horas valle serán enviadas mediante conexión Wifi a la placa de Arduino UNO Wifi. Después, esta placa será la encargada de determinar entre esas 4 horas en qué horas se programará el electrodoméstico dando la orden a los enchufes inteligentes para que estos la lleven a cabo.

En este caso hemos supuesto que los electrodomésticos estarán de media unas dos o tres horas al día en funcionamiento, por esta razón hemos seleccionado las 4 horas más económicas para tener algo de margen, pero esto puede modificarse en el código de programación a conveniencia del cliente.

Como hemos comentado cuando la placa recibe la información con las horas más económicas, es la encargada de seleccionar de entre esas horas cuándo y qué electrodomésticos programar. Y después comparte esta información con los enchufes inteligentes mediante conexión inalámbrica, es decir, por Wifi y cuando estos reciben la información, programan de una forma automática los electrodomésticos conectados. Además de este control automático mediante la placa de Arduino y los enchufes inteligentes, el usuario tiene la posibilidad de controlar los electrodomésticos desde su dispositivo móvil.

Como ya hemos analizado, los enchufes inteligentes seleccionados para llevar a cabo nuestro sistema cuentan con una aplicación asociada con la que podemos manejar el encendido o el apagado de los aparatos conectados a ellos, por lo que de esta forma el usuario es capaz controlar los electrodomésticos y programarlos a la hora que desee.

Con respecto a los electrodomésticos que vamos a automatizar, el usuario debe seleccionar qué electrodomésticos de su vivienda desea domotizar. Como hemos comentado en otro apartado de este trabajo es posible automatizar con nuestra implementación: la lavadora, el lavavajillas, el termo eléctrico, la secadora y la calefacción eléctrica. Pero,

también hay la posibilidad de automatizar el frigorífico, el congelador y el horno, pero bajo una serie de condicionantes que se informarán al usuario. Una vez seleccionados los electrodomésticos se conectarán a la corriente a través de un enchufe inteligente, por lo que serán necesarios tantos enchufes inteligentes como electrodomésticos a automatizar.

6.2.4 Enchufes inteligentes

Para nuestra implementación hemos comparado diferentes enchufes inteligentes con Wifi para seleccionar el más nos conviene. Finalmente, hemos elegido el enchufe inteligente TP-Link Tapo P100, este dispositivo nos proporciona un control remoto que enciende y apaga inmediatamente los dispositivos conectados, además este dispositivo incorpora la aplicación gratuita Tapo que permite programar desde cualquier lugar y momento los aparatos conectados. Este enchufe inteligente Wifi tiene múltiples ventajas ya que permite programarlo en un horario de forma automática, cuenta con un temporizador, permite el control de voz gracias a Amazon Alexa o Google Assistant, tiene un diseño compacto y es fácil de utilizar e instalar. Además, este enchufe tiene un precio muy asequible y competitivo, puede comprarse en varias plataformas o tiendas y su coste está en torno a 13€. [95]



Figura 6.14. Enchufe inteligente TP-Link Tapo P100 y sus características (Fuente:[95])

Una vez que tenemos el enchufe inteligente seleccionado, debemos comprar tantos enchufes como electrodomésticos queramos controlar. Los electrodomésticos no serán conectados directamente a la corriente, sino que como podemos observar en la Figura 6.16, cada electrodoméstico deberá estar conectado a un enchufe inteligente y a su vez este enchufe está conectado a la corriente. De este modo podemos controlar y programar los electrodomésticos a las horas que deseemos, ya que cuando no queramos que el electrodoméstico esté en funcionamiento el enchufe inteligente interrumpirá el paso de la corriente. Gracias a esto también ahorramos en el consumo stand-by que como hemos comentado anteriormente es entorno al 10,7% del consumo total de la vivienda.



Figura 6.15. Conexión enchufe inteligente y electrodoméstico
(Fuente:[96])

Este sistema será aplicable en los electrodomésticos automatizables que hemos comentado a lo largo de este trabajo, en cambio para el frigorífico, el congelador, el horno, el microondas y los otros pequeños electrodomésticos se deberá actuar de una forma diferente. Estos electrodomésticos no programables necesitan un sistema y un control diferente a nuestra implementación por diversas razones, pero una

posible solución para este problema sería controlar estos aparatos solamente con un enchufe inteligente. Ya que con estos enchufes podemos programarlos directamente desde la aplicación móvil y a su vez reduciremos el consumo eléctrico que producen al estar en estado de stand-by.

También cabe destacar que hasta ahora hemos comentado solamente la automatización para los electrodomésticos convencionales, pero hoy en día cada vez más viviendas disponen de electrodomésticos inteligentes. Ante estos nuevos electrodomésticos existiría la posibilidad de llevar a cabo la conexión del sistema domótico directamente con ellos, es decir, sin necesidad de conectarlos a un enchufe inteligente. Muchos de estos electrodomésticos pueden funcionar mediante conexión Wifi, por lo que podemos conectarlos directamente con la placa de Arduino UNO Wifi y esta trabajará de la misma forma que si estuviesen conectados a través de un enchufe inteligente. Además de este control automático, al igual que con la conexión con enchufes inteligentes, también tendremos la posibilidad de llevar a cabo un control manual ya que este tipo de electrodomésticos suelen tener asociada una aplicación móvil propia desde la cual el usuario tiene la posibilidad de conectarlos o desconectarlos desde un dispositivo móvil.

6.2.5 Arquitectura final

En este apartado analizamos como será la arquitectura final de nuestro sistema de control de los electrodomésticos de una vivienda. Nos encontramos ante una arquitectura de tipo centralizada que como hemos estudiado a lo largo de este trabajo tiene múltiples ventajas como que su instalación y su uso son muy sencillos y que es de bajo costo.

Podemos ver que tanto las conexiones de entrada como las de salida de la placa de Arduino son inalámbricas y la conexión entre los enchufes inteligentes y los electrodomésticos es sencilla y sin ningún cableado. La única conexión alámbrica que encontramos en todo el sistema es la de la fuente de alimentación y la placa de Arduino, pero no supone ningún

problema ya que podemos conectarla en la parte de la vivienda que más nos convenga. Por lo que en cuanto a la instalación necesaria para implementar este sistema de control es de lo más simple y económico, siendo otra ventaja más para llevar a cabo la implementación de este sistema de automatización.

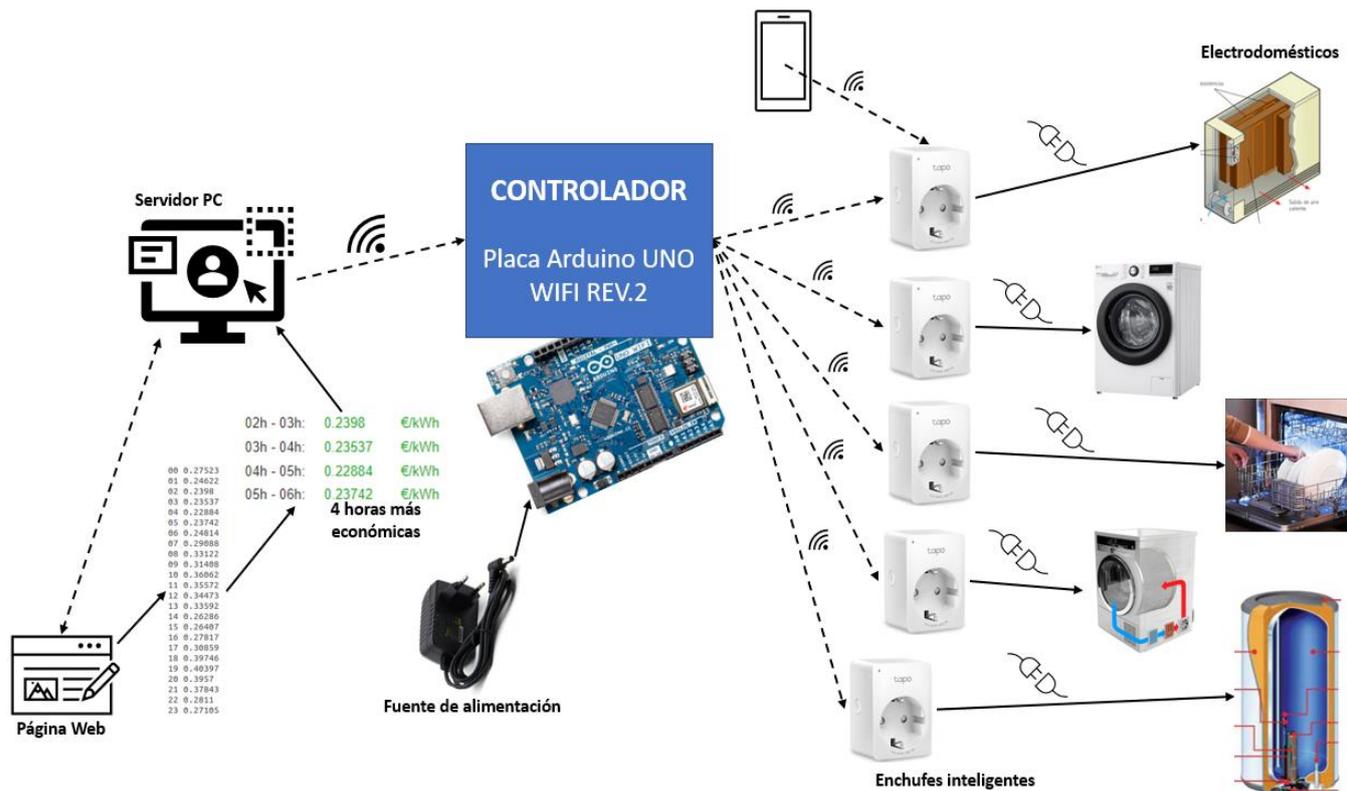


Figura 6.16. Arquitectura centralizada del sistema de control (Fuente: Propia)

6.3 Presupuesto

Podemos realizar un presupuesto de lo que nos costaría llevar a cabo la implementación de nuestro sistema de control de los electrodomésticos de una vivienda. Nuestro trabajo es una simulación, es decir, no se ha llevado a cabo la puesta en marcha por lo que pueden surgir nuevos inconvenientes a la hora de ejecutarlo y que sea necesario añadir o realizar algún cambio de la estructura que influya en el presupuesto del sistema. Pero por el momento calcularemos cuánto costaría este sistema tal y como lo hemos planteado a lo largo del trabajo.

A continuación, analizaremos cuánto serán los costes materiales para este sistema, los costes de programación, los costes de fabricación, los costes de mano de obra, el coste total, el beneficio industrial y el precio de venta final.

6.3.1 Costes materiales

En este apartado calcularemos los costes materiales que son necesarios para llevar a cabo nuestro sistema de control de los electrodomésticos. Utilizaremos una placa Arduino UNO Wifi REV2, una fuente de alimentación y los enchufes inteligentes TP-Link Tapo P100, que serán necesarios tantos enchufes como electrodomésticos queramos controlar. Calcularemos el presupuesto teniendo en cuenta que automatizaremos la calefacción, la lavadora, el lavavajillas, la secadora y el termo eléctrico, es decir, utilizaremos 5 enchufes inteligentes.

Productos	Descripción	Cantidad	Precio unidad con IVA(€)	Precio total (€)
Placa Arduino UNO Wifi REV2	Placa microcontroladora	1	47,07	47,07
Enchufes inteligentes	Actuadores sobre los electrodomésticos	5	14,99	74,95
LEICKE Cargador 9V 2A 18W	Fuente de alimentación	1	12,99	12,99
COSTE TOTAL MATERIAL:				135,01€

Tabla 6.2. Costes materiales del sistema (Fuente: Propia)

Este sería el presupuesto material, incluido el IVA, de nuestro sistema de control, podemos observar que es un precio muy asequible y la inversión será recuperada fácilmente. Hay que tener en cuenta que suponemos que en la vivienda contamos con que exista la disponibilidad del servidor PC y la conexión a Internet (Wifi), y que gracias a esto el precio final del sistema de control se ve reducido. Además, estos costes variarían en función de cuántos electrodomésticos quiera automatizar el cliente en su vivienda, ya que en este caso lo hemos calculado para cinco electrodomésticos.

6.3.2 Costes de programación

El coste de programación corresponde con los costes de mano de obra indirecta, es decir los costes correspondientes con el desarrollo y la programación del sistema de control. Dentro de este presupuesto incluiremos tanto el diseño del sistema como las horas empleadas para la programación del código en C y el código de la placa de Arduino.

Nombre	Categoría	Salario (€/hora)	Horas	Precio total (€)
Patricia Rivas Aguado	Estudiante de Ingeniería	15	150	2250
COSTE TOTAL DE PROGRAMACIÓN:				2250€

Tabla 6.3. Costes de programación del sistema (Fuente: Propia)

6.3.3 Costes de fabricación

Este coste de fabricación corresponderá con la suma de los costes materiales y los costes de programación del sistema, obteniendo como resultado el coste total necesario para llevar a cabo la implementación de este sistema de control.

$$\text{Coste de fabricación} = \text{Coste material} + \text{Coste programación} \quad (6.1)$$

Aplicando la ecuación (6.1) obtenemos un coste total de fabricación:

$$\text{Coste de fabricación} = 135,01 + 2250 = \mathbf{2385,01€}$$

6.3.4 Costes de mano de obra para la instalación

El coste de mano de obra será el precio necesario para pagar a los operarios que llevarán a cabo la instalación del sistema domótico en la vivienda. Para esta operación serán necesarios un oficial electricista y un ingeniero técnico.

Operario	N.º operarios	Salario (€/hora)	Horas	Precio total (€)
Oficial electricista	1	11	4	44
Ingeniero Técnico	1	15	40	600
COSTE TOTAL MANO DE OBRA:				644€

Tabla 6.4. Costes de mano de obra para la instalación (Fuente: Propia)

Para la instalación del sistema, el oficial electricista se encargará de la disposición y colocación de todos los enchufes inteligentes y la placa de Arduino, y el ingeniero técnico de todo lo correspondiente con la programación del sistema. Es decir, el ingeniero técnico deberá instalar los códigos de programación tanto en la placa como en el servidor PC de la vivienda y se asegurará de que todo el sistema funciona correctamente.

6.3.5 Coste total, beneficios y precio de venta.

Primeramente, debemos calcular cuánto costará la producción y la instalación del producto. Que se calculará con la siguiente ecuación:

$$\text{Coste total} = \text{Coste fabricación} + \text{Coste mano de obra} \quad (6.2)$$

$$\text{Coste total} = 2385,01 + 644 = \mathbf{3029,01\text{€}}$$

Una vez que obtenemos el coste total, debemos calcular cuántos beneficios queremos obtener con la venta de este sistema. Suponemos que el beneficio que se desea obtener es del 6% del coste total:

$$\text{Beneficios} = 6\% * \text{Coste total} \quad (6.3)$$

$$\text{Beneficios} = 6\% * 3029,01 = \mathbf{181,74\text{€}}$$

Debemos dar un margen en cuanto al precio de venta por si surgen posibles imprevistos, por lo que un 4% del coste será para esto.

$$\text{Imprevistos} = 4\% * \text{Coste total} \quad (6.4)$$

$$\text{Imprevistos} = 4\% * 3029,01 = \mathbf{121,16\text{€}}$$

Como ya tenemos el coste total y el porcentaje de beneficios correspondiente que queremos obtener con la venta de este sistema, podemos calcular el precio de venta final al cliente con y sin IVA.

$$\text{Precio de venta (sin IVA)} = \text{Coste total} + \text{Beneficios} + \text{Imprevistos} \quad (6.5)$$

$$\text{Precio de venta (sin IVA)} = 3029,01 + 181,74 + 121,16 = \mathbf{3331,91\text{€}}$$

$$\text{Precio de venta (con IVA)} = \text{Precio de venta} + 21\% \text{ IVA} \quad (6.6)$$

$$\text{Precio de venta (con IVA)} = 3331,91 + (3331,91 * 0,21) = \mathbf{4031,6\text{€}}$$

El cliente podrá adquirir este sistema de control de los electrodomésticos de su vivienda por un precio de 4031,6€ con IVA incluido, pero en el caso de llevar a cabo una producción en masa se abaratarían los costes. Además de que hay que tener en cuenta que nosotros lo hemos calculado

con la implementación del sistema en cinco electrodomésticos, pero existiría la posibilidad de instalarlo solamente en los que el cliente desee y entonces el precio final cambiaría.

6.4 Estudio de viabilidad

Para comprobar que se ha cumplido nuestro objetivo de obtener un ahorro económico programando los electrodomésticos de forma automática en las horas de periodo valle hemos llevado a cabo una hoja de cálculo dónde estimamos un tiempo de funcionamiento y un consumo eléctrico aproximado diario y anual de todos los electrodomésticos automatizables de la vivienda. Teniendo en cuenta el consumo medio anual y calculando con este dato el consumo medio de un día, vamos a estimar el gasto que conlleva cada electrodoméstico en el periodo punta, llano y valle y analizaremos el ahorro que obtendremos con nuestra implementación.

Para cada electrodoméstico hemos supuesto que está en funcionamiento unas determinadas horas al día y por lo tanto a lo largo del año supone un mayor o menor gasto en el consumo energético de la vivienda.

-Calefacción eléctrica: este electrodoméstico será utilizado solamente en los meses más fríos del año, para ser concretos en los meses de invierno y otoño. Por esta razón solamente calcularemos su consumo en estos 6 meses, suponemos que 178 días y con una media de funcionamiento durante 3 horas al día.

-Lavadora: el ciclo de funcionamiento en una lavadora es aproximadamente de 2 horas y este dispositivo suponemos que es utilizado de media 3 veces a la semana, es decir, alrededor de 156 días al año.

-Lavavajillas: este dispositivo tiene un ciclo de funcionamiento de aproximadamente 2 horas y es utilizado prácticamente todos los días del años, por lo que hemos supuesto que se usa 280 veces al año.

-Secadora: suponemos que es utilizado al igual que la lavadora, 156 días al año y con una duración de 2 horas cada ciclo.

-**Termo eléctrico:** el uso de agua caliente es un bien primordial y básico de la vivienda, por lo que suponemos que es utilizado todos los días del año, es decir 365 días y con una media de 3 horas al día.

Hora	Península, Baleares y Canarias	Precio más alto (€/kWh)	Precio más bajo (€/kWh)	Precio medio del día (€/kWh)
00h	0,27523 €/kWh	0,40397	0,22884	0,30357
01h	0,24622 €/kWh			
02h	0,2398 €/kWh			
03h	0,23537 €/kWh			
04h	0,22884 €/kWh			
05h	0,23742 €/kWh			
06h	0,24814 €/kWh			
07h	0,29088 €/kWh			
08h	0,33122 €/kWh			
09h	0,31408 €/kWh			
10h	0,36062 €/kWh			
11h	0,35572 €/kWh			
12h	0,34473 €/kWh			
13h	0,33592 €/kWh			
14h	0,26286 €/kWh			
15h	0,26407 €/kWh			
16h	0,27817 €/kWh			
17h	0,30859 €/kWh			
18h	0,39746 €/kWh			
19h	0,40397 €/kWh			
20h	0,3957 €/kWh			
21h	0,37843 €/kWh			
22h	0,2811 €/kWh			
23h	0,27105 €/kWh			

Horas en periodo punta	€/kWh
18h	0,39746
19h	0,40397
20h	0,3957

Horas en periodo llano	€/kWh
07h	0,29088
08h	0,33122
09h	0,31408

Horas en periodo valle	€/kWh
14h	0,26286
15h	0,26407
16h	0,27817

Tabla 6.5. Precios kWh en un día, selección de las horas de consumo

(Fuente: Propia)

Para empezar, hemos seleccionado los precios del kWh un día medio con una tarifa PVPC para llevar a cabo los cálculos estimados del ahorro obtenido gracias a nuestro sistema de control. Para ello, hemos elegido tres horas de cada periodo, como podemos ver en la Tabla 6.5 para llevar a cabo el cálculo de nuestros gastos.

Primero hemos obtenido la información sobre el consumo medio anual de cada electrodoméstico seleccionado, y suponiendo que el año tiene 365 días hemos obtenido el consumo medio en un día de cada uno de ellos.

Electrodoméstico	Consumo medio anual (kWh)	Consumo medio 1 día (kWh)
Calefacción eléctrica	5172	14,16986301
Lavadora	246	0,673972603
Lavavajillas	255	0,698630137
Secadora	255	0,698630137
Termo eléctrico	1877	5,142465753

Tabla 6.6. Cálculo estimado del consumo medio de un día de los electrodomésticos (Fuente: Propia)

Una vez que hemos determinado el consumo medio en un día, como suponemos que ese consumo es debido al gasto producido por el funcionamiento durante 2 o 3 horas, dependiendo del electrodoméstico, podemos calcular los gastos que se tendrán en esas horas en el periodo punta, llano y valle de cada electrodoméstico y por consiguiente el gasto total en ese día. Para realizar este cálculo hemos utilizado la ecuación (6.7).

$$\text{Gasto periodo} = \text{Consumo medio 1 día} * \sum (\text{€/kWh periodo}) \quad (6.7)$$

Electrodoméstico	Gasto en periodo punta (€/d)	Gasto en periodo llano (€/d)	Gasto en periodo valle (€/d)
Calefacción eléctrica	8,481584055	6,632771178	5,704078356
Lavadora	0,270070932	0,209639178	0,177568192
Lavavajillas	0,279951575	0,217308904	0,184064589
Secadora	0,279951575	0,217308904	0,184064589
Termo eléctrico	3,078100014	2,407136795	2,070099589
TOTAL:	12,38965815	9,684164959	8,319875315

Tabla 6.7. Cálculo estimado del gasto en los diferentes periodos (Fuente: Propia)

Como podemos observar en la Tabla 6.7, el gasto que produce un electrodoméstico durante un mismo periodo de tiempo en las horas punta y las horas llanas es superior que el gasto durante las horas valle. Para este cálculo hemos estimado que la calefacción y el termo eléctrico están en

funcionamiento durante 3 horas y los otros 3 electrodomésticos durante 2 horas, como hemos comentado anteriormente.

Después de haber estimado el gasto que obtendremos durante un día de funcionamiento de cada electrodoméstico, vamos a calcular cuál sería el ahorro anual estimado.

Electrodoméstico	Días de uso durante un año
Calefacción eléctrica	178
Lavadora	156
Lavavajillas	280
Secadora	156
Termo eléctrico	365

Tabla 6.8. Días de uso de electrodomésticos en un año (Fuente: Propia)

Para calcular este ahorro vamos a multiplicar el gasto cada día de los electrodomésticos en los diferentes periodos de tiempo (Tabla 6.7) por los días de funcionamiento durante un año (Tabla 6.8).

$$\text{Gasto anual periodo} = \text{Gasto periodo} * \text{Días de uso en un año} \quad (6.8)$$

De esta forma podemos observar el gasto anual que tendremos cuando los electrodomésticos se programan en los diferentes periodos y a simple vista podemos observar la gran diferencia existente entre unos y otros.

Electrodoméstico	Gasto anual periodo punta	Gasto anual periodo llano	Gasto anual periodo valle
Calefacción eléctrica	1509,721962	1180,63327	1015,325947
Lavadora	42,13106532	32,70371178	27,70063792
Lavavajillas	78,3864411	60,84649315	51,53808493
Secadora	43,67244575	33,90018904	28,71407589
Termo eléctrico	1123,506505	878,60493	755,58635
TOTAL:	2797,418419	2186,688594	1878,865096

Tabla 6.9. Cálculo estimado del ahorro en los diferentes periodos

(Fuente: Propia)

A continuación, calculamos el ahorro que obtendremos con la implementación de nuestro sistema de control en la vivienda, ya que gracias a este sistema programaremos nuestros electrodomésticos solamente en las horas del periodo valle, a no ser que el usuario los programe de forma manual.

$$\text{Ahorro} = \text{Gasto periodo (punta/llano)} - \text{Gasto periodo valle} \quad (6.9)$$

En la siguiente tabla podemos ver que el ahorro anual que obtenemos es una cantidad bastante considerable, ya que la diferencia entre programar los electrodomésticos en las horas valle y en las horas punta puede ser de 920€/anuales y en las horas llano con respecto de las horas valle de 308€/anuales.

Electrodoméstico	Ahorro periodo punta/valle (€)	Ahorro periodo llano/valle (€)
Calefacción eléctrica	494,3960144	165,3073223
Lavadora	14,4304274	5,003073863
Lavavajillas	26,84835616	9,308408219
Secadora	14,95836986	5,186113151
Termo eléctrico	367,920155	123,01858
Ahorro anual	918,5533228	307,8234975

Tabla 6.10. Cálculo estimado del ahorro anual con nuestra implementación (Fuente: Propia)

Estos cálculos realizados son estimaciones ya que como hemos analizado en este trabajo el precio del kWh es variante todos los días y todas las horas por lo que es imposible calcular de una forma exacta el ahorro futuro que obtendremos con este sistema de control. Pero gracias a este cálculo hemos podido determinar que obtendremos un ahorro elevado en nuestra factura de energía eléctrica con la implementación del sistema de control que programa los electrodomésticos en las horas del periodo valle.

Sabemos que el precio de venta de este sistema es de 4031,6€ con IVA incluido por lo que podemos calcular de una forma estimada en cuánto tiempo recuperaremos la inversión inicial y comenzaremos a obtener un ahorro económico. Esto es conocido como la viabilidad económica de llevar a cabo un proyecto, es decir, es el estudio de la rentabilidad económica como indicador de su grado de atractivo para decidir la conveniencia o no de llevarlo a cabo.

6.4.1 Valor actual neto (VAN)

El VAN es uno de los indicadores financieros para valorar y determinar la viabilidad y rentabilidad de un proyecto de inversión. Este criterio depende de los flujos de caja previstos y de la tasa de descuento que actualiza dichos flujos. La fórmula es la siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} \quad (6.9)$$

Donde:

Io: es la inversión inicial

Ft: Flujo de caja en el momento (año 1, 2, 3...)

n: Número de años que dura la inversión

k: es la tasa de actualización

El resultado del VAN puede ser de 3 formas y cada resultado aporta un criterio de decisión diferente: VAN>0 el proyecto será aceptado, VAN=0 indiferencia y si el VAN<0 será rechazado. [97]

Hemos llevado a cabo el cálculo del VAN para nuestro sistema, suponiendo una tasa de actualización del 6% y contando que los flujos de caja son los correspondientes con el ahorro anual obtenido gracias al sistema. Y hemos obtenido como resultado que VAN>0 y significa que sería viable llevar a cabo el proyecto.

AÑOS	AHORRO ANUAL (Flujos de caja)
0	-4031,6
1	650
2	900
3	560
4	780
5	690
6	880
7	305
8	490
Tasa de actualización (k)	6%
VAN	110,26 €

Tabla 6.11. Cálculo VAN (Fuente: Propia)

6.4.2 Tasa interna de rentabilidad (TIR)

El TIR es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión, es decir el porcentaje de beneficio o pérdida que se obtendrá.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (6.10)$$

Donde:

Io: inversión inicial

Ft: Flujo de caja en el momento (año: 1,2,3...)

n: número de años

TIR: tasa de interés

El resultado del TIR puede ser de 3 formas y cada resultado aporta un criterio de decisión diferente: TIR>k el proyecto será aceptado, TIR=k indiferencia y si el TIR<k será rechazado. [98]

Hemos calculado el TIR para nuestro proyecto, con la misma información que calculamos el VAN y hemos obtenido un resultado del 8%. Por lo que el VAN es mayor que la tasa anual de descuento, en consecuencia, el proyecto de inversión sería aceptado.

AÑOS	AHORRO ANUAL (Flujos de caja)
0	-4031,6
1	650
2	900
3	560
4	780
5	690
6	880
7	305
8	490
Tasa anual de descuento (k)	6%
TIR	7%

Tabla 6.12. Cálculo TIR (Fuente: Propia)

6.4.3 Periodo de amortización

Como hemos analizado anteriormente la inversión en este proyecto es beneficiosa y a lo largo del tiempo nos aportará múltiples ventajas. Inicialmente, vemos que debemos realizar una inversión bastante alta,

para ser concretos de 4031,6€, pero ahora vamos a calcular cuántos años aproximadamente tardaríamos en amortizarla.

Para calcular el VAN y el TIR hemos supuesto cuánto ahorraríamos en ocho años con valores dentro del rango del ahorro estimado que habíamos calculado previamente. Para saber en cuántos años amortizaríamos la inversión inicial vamos a utilizar la ecuación (6.11).

$$\text{Amortización} = \frac{\text{Coste de la inversión inicial}}{\text{Ahorro medio generado}} \quad (6.11)$$

Para calcularlo suponemos un ahorro medio de 650€ anuales y obtenemos como resultado que nuestro sistema será amortizado en aproximadamente 6 años, esto es una estimación ya que como sabemos no es posible calcularlo de una forma exacta al 100%. A partir de ese momento todo lo ahorrado serán simples beneficios económicos.

$$\text{Amortización} = \frac{4031,6}{650} = 6,2 \approx 6 \text{ años}$$

Además, este sistema de control tiene la posibilidad de ampliar su automatización a más electrodomésticos de la vivienda e incluso al sistema de iluminación, ventilación, seguridad etc. Por lo que existe la posibilidad de obtener un mayor ahorro y aumento de los beneficios aportados.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El avance de la sociedad y de la tecnología ha impulsado el uso de la domótica y la automatización en las viviendas, ya que en la actualidad esta opción está disponible para todo el mundo gracias a la gran variedad de sistemas domóticos y de precios existentes. Es decir, hoy en día tanto las empresas grandes como las pequeñas están actualizándose y sacando a la venta diversos sistemas domóticos, por lo que el aumento de la competencia en el sector de la automatización tiene como consecuencia la disminución de los precios de la domótica. De esta forma todos los usuarios podrán implementar un sistema domótico en su vivienda gracias a una amplia gama de sistemas a su elección, esta automatización va a suponer una

inversión inicial a la hora de la instalación, pero en un determinado periodo de tiempo será recuperada gracias a todas las ventajas que estos sistemas nos aportan. Hoy en día los sistemas domóticos pueden implementarse tanto en viviendas nuevas como en viviendas ya construidas, ya que son unos sistemas muy flexibles y en nuestro caso de sencilla instalación. Por lo que a la hora de seleccionar qué sistema domótico instalar debemos tener claras las necesidades y objetivos que buscamos, es decir el confort, la seguridad, la comunicación, el ahorro y la optimización de la energía, etc. Por norma general, el usuario busca que su sistema sea fiable, con un buen funcionamiento, un uso e instalación sencillo, que garantice el confort en la vivienda y sobre todo busca el ahorro tanto en tiempo como en dinero. Todos estos objetivos se han tenido en cuenta a la hora de llevar a cabo nuestra implementación del sistema de control de los electrodomésticos, centrándonos en la comodidad y el ahorro para la programación automática de estos dispositivos.

A lo largo de este trabajo se han estudiado las diferentes opciones para la implementación de este sistema de control, analizando tanto las ventajas como los inconvenientes de cada una de ellas. Finalmente, comparando todas las opciones viables para llevar a cabo nuestro sistema, se ha llegado a la conclusión de realizar la implementación con la combinación del uso de los enchufes inteligentes y una placa de Arduino UNO Wifi REV2 programada.

Uno de los principales objetivos que tenía este trabajo era conseguir obtener un ahorro final en el precio a pagar en la factura de la energía eléctrica y como hemos analizado, el ahorro anual estimado con esta implementación es bastante elevado. Además, este sistema de control conllevará una inversión inicial que será rápidamente amortizada, gracias a su eficiencia energética y al ahorro tanto económico como energético que se obtiene. Este sistema también tiene la gran ventaja de que es posible controlarlo tanto de forma automática como desde un simple dispositivo móvil, por lo que también aportará una gran facilidad de uso para las personas con discapacidad o movilidad reducida.

Nuestro sistema es un diseño con un estudio de viabilidad que ha aportado unos resultados muy satisfactorios, tanto el VAN como el TIR han sido exitosos

garantizando la viabilidad de llevar a cabo el proyecto. Además, se ha calculado el periodo de amortización de la inversión y este valor será recuperado en aproximadamente 6 años.

Además, este sistema de control puede tener futuras mejoras que comentamos a continuación:

- Posibilidad de ampliación de su uso, es decir, introducir nuevos sensores y reprogramar la placa de Arduino para llevar a cabo el control de la iluminación, las persianas, el gasto de agua y gas, las alarmas, etc. Es decir, llevar a cabo la automatización completa de la vivienda sin centrarnos solamente en el consumo de los electrodomésticos.

- Instalación de un nuevo sistema de monitorización de consumos energéticos para que el usuario sea consciente del consumo total de la vivienda y de este modo analizar esta información y poder modificar sus hábitos para incrementar el ahorro y la eficiencia energética.

- Continuar investigando y desarrollando proyectos para la gestión de la energía eléctrica en los electrodomésticos y los dispositivos del hogar.

De esta forma llevaremos a cabo la continuidad del trabajo y mejoraremos el resultado final completando la automatización de toda la vivienda.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «Domótica», *Wikipedia, la enciclopedia libre*. 2 de noviembre de 2021. Accedido: 18 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Dom%C3%B3tica&oldid=139450824>
- [2] «Qué es Domótica». <http://www.cedom.es/sobre-domotica/que-es-domotica> (accedido 18 de noviembre de 2021).
- [3] E. C. Monografias.com, «La domótica en la actualidad - Monografias.com». <https://www.monografias.com/trabajos-pdf5/domotica-actualidad/domotica-actualidad.shtml> (accedido 25 de noviembre de 2021).
- [4] «Como ahorrar energía instalando domótica en su vivienda. Gane en confort y seguridad», p. 28.
- [5] «SIHD_Sens_Actu_EC.pdf». Accedido: 25 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: http://www.micronica.es/files/pdfs/SIHD/SIHD_Sens_Actu_EC.pdf
- [6] «Controladores domóticos Z-Wave», *Domótica Sistemas*. <https://domoticasistemas.com/tienda/14-controladores-domoticos-z-wave/> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [7] «Elementos de Un Sistema Domotico | PDF | Automatización del hogar | Controlador lógico programable», *Scribd*. <https://es.scribd.com/document/428951749/Elementos-de-Un-Sistema-Domotico> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [8] «SIEMENSLOGO.com», *SIEMENSLOGO.com*. https://siemenslogo.com/module/ph_simpleblog/module-ph_simpleblog-single?sb_category=general&rewrite=logo-8-y-nuevo-logo-soft-comfort-v8 (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [9] «SIHD_Sens_Actu_EC.pdf». Accedido: 25 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: http://www.micronica.es/files/pdfs/SIHD/SIHD_Sens_Actu_EC.pdf
- [10] «Componentes de un sistema», *Domótica*, 14 de abril de 2012. <https://domoticaudem.wordpress.com/componentes-de-un-sistema/> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [11] «06mem.pdf». Accedido: 22 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <http://www.it.uc3m.es/jvillena/irc/practicas/12-13/06mem.pdf>
- [12] «LA ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE DOMÓTICA», *DOMOTICA*. <http://domotica1003.weebly.com/la-arquitectura-del-sistema-de-domoacutetica.html> (accedido 22 de noviembre de 2021).
- [13] «¿Qué tipos de sistemas domóticos hay en la actualidad? | SIMON», *¿Qué tipos de sistemas domóticos hay en la actualidad? | SIMON*. <https://www.simonelectric.com/blog/que-tipos-de-sistemas-domoticos-hay-en-la-actualidad> (accedido 22 de noviembre de 2021).
- [14] «42654-2.pdf». Accedido: 26 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/2859/42654-2.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- [15] adminfelix, «Domotica: Medios de transmision en la domotica», *enerxia.net*. <https://www.enerxia.net/portal/index.php/i-domo/888-domotica-medios-de-transmision-en-la-domotica> (accedido 26 de diciembre de 2021).

- [16] «Fibra óptica: qué es, para qué se usa y cómo funciona», *Profesional Review*, 15 de febrero de 2019. <https://www.profesionalreview.com/2019/02/15/fibra-optica-que-es/> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [17] «capitulo2.pdf». Accedido: 25 de noviembre de 2021. [En línea]. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/mesp/galeana_m_ma/capitulo2.pdf
- [18] «Pros y contras de la domótica | CEAC». <https://www.ceac.es/blog/pros-y-contras-de-la-domotica> (accedido 21 de noviembre de 2021).
- [19] «¿Cómo puedo calcular el consumo eléctrico de mi vivienda?», *tarifaluzhora.es*. <https://tarifaluzhora.es/info/calcular-consumo-electrico-casa> (accedido 2 de diciembre de 2021).
- [20] «Nuestra historia | Red Eléctrica de España». <https://www.ree.es/es/conocenos/ree-en-2-minutos/nuestra-historia> (accedido 2 de diciembre de 2021).
- [21] «REE - CÓMO CONSUMIMOS ELECTRICIDAD». https://www.ree.es/sites/default/files/interactivos/como_consumimos_electricidad/como-varia-mi-consumo.html (accedido 2 de diciembre de 2021).
- [22] «REE - CÓMO CONSUMIMOS ELECTRICIDAD». https://www.ree.es/sites/default/files/interactivos/como_consumimos_electricidad/cuanto-consumen-mis-electrodomesticos.html (accedido 2 de diciembre de 2021).
- [23] «Informe del Sistema Eléctrico Español 2020.», p. 100.
- [24] «Negocio eléctrico en España | Red Eléctrica de España». <https://www.ree.es/es/conocenos/actividades-de-negocio/negocio-electrico-en-espana> (accedido 8 de diciembre de 2021).
- [25] «e-sios | Red Eléctrica de España». <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/e-sios> (accedido 4 de noviembre de 2021).
- [26] «Bienvenido | ESIOS electricidad · datos · transparencia». <https://www.esios.ree.es/es?locale=es> (accedido 4 de noviembre de 2021).
- [27] J. G. S. L. U. de Salamanca, «¿Es el método de cálculo el responsable del aumento del precio de la electricidad?», *diariodenavarra.es*, 3 de agosto de 2021. <https://www.diariodenavarra.es/noticias/negocios/economia/2021/08/03/el-metodo-calculo-el-responsable-aumento-precio-electricidad-496199-1033.html> (accedido 28 de diciembre de 2021).
- [28] «Mercado de electricidad | OMIE». <https://www.omie.es/es/mercado-de-electricidad> (accedido 28 de diciembre de 2021).
- [29] «¿Cómo se calcula el precio del kwh? | Cambiar Compañía Luz». <https://cambiarcompanialuz.com/factura/como-se-calcula-el-precio-del-kwh/> (accedido 28 de diciembre de 2021).
- [30] «El precio del Pool: Cómo funciona y qué variables influyen», *Opengy*, 5 de febrero de 2019. <https://www.opengy.com/el-precio-del-pool-como-funciona-y-que-variables-influyen/> (accedido 28 de diciembre de 2021).
- [31] «Curvas agregadas de oferta y demanda | OMIE». <https://www.omie.es/es/market-results/daily/daily-market/aggragate-suply-curves?scope=daily&date=2017-01-29&hour=13> (accedido 29 de enero de 2022).
- [32] «Controlas Tu Energía - PVPC». <http://www.controlastuenergia.gob.es/factura-electrica/contratos/Paginas/PVPC.aspx> (accedido 14 de octubre de 2021).

- [33] «Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico - Precio Voluntario para el Pequeño Consumidor (PVPC)». <https://energia.gob.es/electricidad/contratacion-suministro/Paginas/precio-voluntario.aspx> (accedido 4 de noviembre de 2021).
- [34] «Precio Voluntario Pequeño Consumidor - Qué consumidores pueden acogerse al PVPC». <https://www.corenergetico.es/es/modelos-de-contratacion/pvpc/quien-puede-contratar/> (accedido 12 de diciembre de 2021).
- [35] «Precio voluntario para el pequeño consumidor (PVPC) | Red Eléctrica de España». <https://www.ree.es/es/actividades/operacion-del-sistema-electrico/precio-voluntario-pequeno-consumidor-pvpc> (accedido 4 de noviembre de 2021).
- [36] «FAC_LUZ_TODO_LAVADORAS_1.jpg (3377x2612)». https://www.cnmc.es/sites/default/files/editor_contenidos/Imagenes/FAC_LUZ_TODO_LAVADORAS_1.jpg (accedido 28 de diciembre de 2021).
- [37] «Tarifa PVPC: Precio Voluntario al Pequeño Consumidor», *tarifaluzhora.es*. <https://tarifaluzhora.es/info/pvpc> (accedido 14 de octubre de 2021).
- [38] «¿Por qué sube tanto el precio de la luz?», *abc*, 1 de septiembre de 2021. https://www.abc.es/economia/abci-por-que-sube-tanto-precio-luz-nsv-202109011341_noticia.html (accedido 27 de diciembre de 2021).
- [39] «PVPC | ESIOS electricidad · datos · transparencia». <https://www.esios.ree.es/es/pvpc> (accedido 4 de noviembre de 2021).
- [40] «Entiende y calcula los conceptos de tu factura de la luz», *tarifaluzhora.es*. <https://tarifaluzhora.es/info/factura-luz> (accedido 2 de febrero de 2022).
- [41] «¿Qué tarifa te conviene PVPC o mercado libre?», *tarifaluzhora.es*. <https://tarifaluzhora.es/comparador/pvpc-o-mercado-libre> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [42] «Precio indexado 2022: ¿Es rentable una tarifa indexada de luz?», *Selectra*. <https://selectra.es/energia/info/que-es/luz-indexada> (accedido 19 de enero de 2022).
- [43] «¿Merece la pena optar por una tarifa indexada? Ventajas y desventajas», *tarifasgasluz.com*. <https://tarifasgasluz.com/faq/precios-indexados> (accedido 29 de enero de 2022).
- [44] «Tarifas indexadas: Cuáles son sus ventajas y qué diferencias tienen con las tarifas fijas». <https://www.plena-energia.com/post/tarifas-indexadas> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [45] J. Sabaté, «Luz y gas: ¿tarifa plana o cuota fija?», *ElDiario.es*, 17 de abril de 2018. https://www.eldiario.es/consumoclaro/ahorrar_mejor/luz-tarifa-plana-cuota-fija_1_2176858.html (accedido 29 de enero de 2022).
- [46] «Tarifa indexada o tarifa fija: Consulta precios y ofertas de luz», *companias-de-luz*. <https://www.companias-de-luz.com/precio-de-la-luz/tarifas/indexada-o-fija/> (accedido 19 de enero de 2022).
- [47] «¿Qué tarifa es mejor: fija, indexada o PVPC?», *Sampol Energía*, 28 de enero de 2021. <https://www.sampolenergia.com/que-tarifa-es-mejor-fija-indexada-o-pvpc/> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [48] «Calefacción eléctrica: radiadores, suelo radiante y otras opciones», *preciogas.com*. <https://preciogas.com/instalaciones/calefaccion/electrica> (accedido 4 de noviembre de 2021).

- [49] «Instalaciones de Calefacción en las viviendas». <https://www.tecnologia-informatica.es/instalaciones-de-calefaccion-en-las-viviendas/> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [50] G. Gómez, «Todo lo que debes saber antes de comprar una lavadora programable para ahorrar en la factura de luz», *ComputerHoy*, 1 de agosto de 2021. <https://computerhoy.com/guia-compra/lavadora-programable-885769> (accedido 4 de noviembre de 2021).
- [51] «LG F4WV3010S6W - Lavadora inteligente 10,5kg», *eqomarket.es*. <https://www.eqomarket.es/producto/lavadora-inteligente-105kg-1400/> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [52] administrador, «Controla tu termo, tu calefactor o tu lavavajillas con el móvil. Alexa, Siri- Shelly Plug S», *Domótica Solar*, 4 de febrero de 2021. <https://domotica.solar/controla-tu-termo-tu-calefactor-o-tu-lavavajillas-con-el-movil-alexa-siri-shelly-plug-s> (accedido 4 de noviembre de 2021).
- [53] «Yunmi Smart; el lavavajillas Inteligente de Xiaomi ha llegado » ERdC», *EL RINCÓN DE CHINA*, 25 de marzo de 2018. <https://elrincondechina.com/noticias/accesorios-y-gadgets/yunmi-smart-el-lavavajillas-inteligente-de-xiaomi-ha-llegado/> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [54] «SECADORAS DE ROPA: ¿EVACUACIÓN, CONDENSACIÓN O BOMBA DE CALOR?», 9 de noviembre de 2016. <https://cocimara.wordpress.com/2016/11/09/secadoras-de-ropa-evacuacion-condensacion-o-bomba-de-calor/> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [55] «Termos eléctricos; Tipos, características y consejos para comprar | Superguía», 19 de noviembre de 2019. <https://ovacen.com/termos-electricos/> (accedido 4 de noviembre de 2021).
- [56] A. S. Vicente, «Termos eléctricos: ¿Cómo funcionan y cuánto consumen? - caloryfrio.com». <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/agua-caliente/termo-electrico.html> (accedido 26 de diciembre de 2021).
- [57] «Frigoríficos y congeladores / Teoría del funcionamiento, Consejos - GOCISA». <https://www.gocisa.es/soporte/preguntas-frecuentes-relacionadas-venta-electrodomesticos/238-consejos-frigorificos-congeladores-distribuidor-venta-manyorista.html> (accedido 13 de diciembre de 2021).
- [58] «Frigoríficos y congeladores con Home Connect». <https://www.home-connect.com/es/es/electrodomesticos-inteligentes/frigorificos-congeladores> (accedido 17 de diciembre de 2021).
- [59] «ASÍ FUNCIONA EL FRIGORÍFICO 3». http://www.asifunciona.com/electrotecnia/af_frigorifico/af_frigorifico_3.htm (accedido 30 de diciembre de 2021).
- [60] «¿Qué son los hornos y cocinas inteligentes? | diciembre 2021». <https://udoe.es/gama-de-hornos-inteligentes/> (accedido 17 de diciembre de 2021).
- [61] «Horno moderno abierto empotrado en muebles de cocina», *123RF*. https://es.123rf.com/photo_111191237_horno-moderno-abierto-empotrado-en-muebles-de-cocina.html (accedido 30 de diciembre de 2021).
- [62] «Los Mejores Microondas Inteligentes del 2021», 24 de agosto de 2020. <https://domotrica.es/los-mejores-microondas-inteligentes/> (accedido 17 de diciembre de 2021).

- [63] «Qué tan seguro es cocinar en microondas», *BBC News Mundo*. Accedido: 30 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-53443901>
- [64] «Pequeños electrodomésticos de diferentes marcas | Bricolemar». <https://www.bricolemar.com/210-pequenos-electrodomesticos> (accedido 2 de febrero de 2022).
- [65] E. R. S. fundador de factorenergia <https://www.factorenergia.com/wp-content/uploads/2016/06/emiliresp.jpg>, «Standby: el fantasma consumista», *factorenergia*. <https://www.factorenergia.com/es/blog/ahorrar-electricidad/consumo-standby/> (accedido 20 de enero de 2022).
- [66] «¿Qué es el stand by y cómo ahorrar en la factura de la luz?», *comunidad.leroymerlin.es*, 24 de marzo de 2015. <https://comunidad.leroymerlin.es/t5/Ferreter%C3%ADa-y-electricidad/Qu%C3%A9-es-el-stand-by-y-c%C3%B3mo-ahorrar-en-la-factura-de-la-luz/ta-p/15473> (accedido 20 de enero de 2022).
- [67] S. Nistor, J. Wu, M. Sooriyabandara, y J. Ekanayake, «Cost optimization of smart appliances», en *2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Innovative Smart Grid Technologies*, dic. 2011, pp. 1-5. doi: 10.1109/ISGTEurope.2011.6162808.
- [68] Q. Pang, P. Su, y B. Sun, «Real-Time Price Based Home Appliances Intelligent Control», en *2012 Third International Conference on Digital Manufacturing Automation*, jul. 2012, pp. 634-637. doi: 10.1109/ICDMA.2012.150.
- [69] K. M. Tsui y S. C. Chan, «Demand Response Optimization for Smart Home Scheduling Under Real-Time Pricing», *IEEE Trans. Smart Grid*, vol. 3, n.º 4, pp. 1812-1821, dic. 2012, doi: 10.1109/TSG.2012.2218835.
- [70] C. Vivekananthan, Y. Mishra, y F. Li, «Real-Time Price Based Home Energy Management Scheduler», *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, n.º 4, pp. 2149-2159, jul. 2015, doi: 10.1109/TPWRS.2014.2358684.
- [71] R. L. Hernández, Z. L. Almeida, Y. G. Díaz, y Y. P. Velázquez, «Smart Power Strip (SPS), sistema para controlar el encendido y apagado de equipos electrodomésticos desde dispositivos móviles», *Ser. Científica Univ. Las Cienc. Informáticas*, vol. 10, n.º 10, Art. n.º 10, 2017, Accedido: 13 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://publicaciones.uci.cu/index.php/serie/article/view/156>
- [72] N. Mohammad, A. U. Rahman, y A. Nandy, «Optimization of Thermostatically Controlled Appliances to Minimize Energy Consumption Cost Based on Real-Time Pricing», en *2021 2nd International Conference for Emerging Technology (INCET)*, may 2021, pp. 1-4. doi: 10.1109/INCET51464.2021.9456402.
- [73] «Enchufe inteligente - Todo sobre domótica en 2022», *Enchufe inteligente*. <https://enchufeinteligente.com/> (accedido 13 de enero de 2022).
- [74] «TP-Link HS100 - Enchufe Inteligente para Controlar Sus Dispositivos Desde Cualquier Lugar, sin Necesidad de Concentrador, Funciona con Amazon Alexa y Google Home e Ifttt, Wi-Fi Ready : Tp-Link: Amazon.es: Bricolaje y herramientas». <https://www.amazon.es/dp/B09D7WNFRG?tag=enchufeinteligente0a-21&linkCode=ogi&th=1> (accedido 14 de enero de 2022).

- [75] «Analizamos el enchufe inteligente con monitor de consumo», *Hogar Digital*, 23 de septiembre de 2021. <https://hogar-digital.es/analizamos-el-enchufe-inteligente-con-monitor-de-consumo/> (accedido 13 de enero de 2022).
- [76] «Medidores Inteligentes de Energía SMW | Medidores Inteligentes de Energía SMW | Multimeditores y Medidores Inteligentes | Protección de Circuitos | Controls | Automatización Industrial | WEG - Productos», *WEG*. https://www.weg.net/catalog/weg/BR/es/Automatizaci%C3%B3n-Industrial/Controls/Protecci%C3%B3n-de-Circuitos/Multimedidores-y-Medidores-Inteligentes/Medidores-Inteligentes-de-Energ%C3%ADa-SMW/Medidores-Inteligentes-de-Energ%C3%ADa-SMW/p/MKT_WDC_BRAZIL_METERS_SMW (accedido 17 de enero de 2022).
- [77] «Autómata programable: ¿Para qué sirve? y ¿Cómo funciona?» <https://www.aicad.es/automata-programable/> (accedido 23 de enero de 2022).
- [78] Electrín, «Funcionamiento de un PLC», 26 de abril de 2016. <https://electrinblog.wordpress.com/2016/04/26/post-4/> (accedido 30 de enero de 2022).
- [79] «5 Lenguajes de Programación para PLC | SEIKA Automation», *SEIKA Automation | Automatización Industrial*, 3 de agosto de 2019. <https://www.seika.com.mx/5-lenguajes-de-programacion-para-plc/> (accedido 30 de enero de 2022).
- [80] «PLC: Introducción y conceptos básicos - Todo lo que necesitas saber.», *SENSORICX*, 19 de noviembre de 2021. <https://sensoricx.com/control-logico-programable-plc/plc-introduccion-y-conceptos-basicos-todo-lo-que-necesitas-saber/> (accedido 30 de enero de 2022).
- [81] A. R. Al-Ali y M. Al-Rousan, «Java-based home automation system», *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol. 50, n.º 2, pp. 498-504, may 2004, doi: 10.1109/TCE.2004.1309414.
- [82] R. T. Mathew, S. Thattat, K. V. Anirudh, V. P. K. Adithya, y G. Prasad, «Intelligent Energy Meter with Home Automation», en *2018 3rd International Conference for Convergence in Technology (I2CT)*, abr. 2018, pp. 1-4. doi: 10.1109/I2CT.2018.8529702.
- [83] M. Asadullah y A. Raza, «An overview of home automation systems», en *2016 2nd International Conference on Robotics and Artificial Intelligence (ICRAI)*, nov. 2016, pp. 27-31. doi: 10.1109/ICRAI.2016.7791223.
- [84] Isaac, «Arduino Nano: todo lo que necesitas saber sobre esta placa de desarrollo», *Hardware libre*, 27 de abril de 2020. <https://www.hwlibre.com/arduino-nano/> (accedido 28 de enero de 2022).
- [85] «¿Qué es Arduino? | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea», 20 de noviembre de 2014. <https://arduino.cl/que-es-arduino/> (accedido 7 de febrero de 2022).
- [86] jecrespom, «Wifi en Arduino», *Aprendiendo Arduino*, 12 de noviembre de 2016. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/12/wifi-en-arduino/> (accedido 14 de febrero de 2022).
- [87] «ARDUINO UNO WiFi REV2», *Arduino Official Store*. <http://store.arduino.cc/products/arduino-uno-wifi-rev2> (accedido 14 de febrero de 2022).

- [88] «Ethernet Shield Arduino parte 1», 10 de noviembre de 2020.
<https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/ethernet-shield-arduino/> (accedido 7 de febrero de 2022).
- [89] Isaac, «Arduino IDE 2.0 RC: sale de la versión Beta con nuevas características», *Linux Adictos*, 14 de diciembre de 2021. <https://www.linuxadictos.com/arduino-ide-2-0-rc.html> (accedido 28 de enero de 2022).
- [90] jecrespom, «Alimentación Arduino», *Aprendiendo Arduino*, 9 de noviembre de 2016. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/11/09/alimentacion-arduino/> (accedido 15 de febrero de 2022).
- [91] «LEICKE Cargador 9V 2A 18W | para Impresora de Etiquetas, impresoras, escáneres, Switch, routers, Pantallas, Arduino UNO R3 Rev 3 / Mega 2560 R3 / Elegoo UNO R3 / IEIK UNO R3 y más : Amazon.es: Informática».
<https://www.amazon.es/dp/B01GRS5V8E?tag=20200901v3-21&linkCode=osi&th=1> (accedido 15 de febrero de 2022).
- [92] «Precio de la luz mañana con la tarifa de luz por horas», *tarifaluzhora.es*.
<https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh-manana> (accedido 28 de enero de 2022).
- [93] «Precio de la luz: Jueves, 03 de Febrero de 2022 - privaa00@estudiantes.unileon.es - Correo de UNIVERSIDAD DE LEON».
<https://mail.google.com/mail/u/1/#inbox/FMfcgzGmthmbDwMGpTJSHbjhZmpBNwxG> (accedido 2 de febrero de 2022).
- [94] «Conectar Arduino a Internet o LAN con Shield Ethernet W5100», *Luis Llamas*.
<https://www.luisllamas.es/arduino-ethernet-shield-w5100/> (accedido 7 de febrero de 2022).
- [95] «Tapo P100 | Mini Enchufe Inteligente Wi-Fi | TP-Link Iberia». <https://www.tp-link.com/es/home-networking/smart-plug/tapo-p100/> (accedido 1 de febrero de 2022).
- [96] M. Contreras, «Estos enchufes inteligentes miden el consumo energético para ahorrar en la factura solo cuestan 21,60€», *ComputerHoy*, 17 de septiembre de 2020.
<https://computerhoy.com/noticias/tecnologia/estos-enchufes-inteligentes-miden-consumo-energetico-ahorra-factura-solo-cuestan-2160eu-719159> (accedido 2 de febrero de 2022).
- [97] «Valor actual neto (VAN)», *Economipedia*.
<https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html> (accedido 16 de febrero de 2022).
- [98] «Tasa interna de retorno (TIR) - Definición y ejemplos», *Economipedia*.
<https://economipedia.com/definiciones/tasa-interna-de-retorno-tir.html> (accedido 16 de febrero de 2022).