



Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

DESARROLLO DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE INTERRUPTOR DE CORRIENTE PARA INTERNET DE LOS OBJETOS

Alumno: Ángel Venteo Heras

Tutor: Juan Carlos Cuevas Martínez y Antonio Jesús Yuste
Delgado

Depto.: Ingeniería de Telecomunicación

Área de Conocimiento: Ingeniería Telemática

Septiembre, 2017

“Aparenta siempre imposible, hasta que no se hace.”

Nelson Mandela.

Resumen

Con el desarrollo acelerado de las nuevas tecnologías en el campo de las telecomunicaciones aparecen a diario multitud de dispositivos encargados de hacer la vida más fácil a las personas. En el presente trabajo fin de grado se describe el diseño, desarrollo e implementación de un prototipo funcional para la tecnología emergente de la Internet de las Cosas (IoT) en el ámbito de la domótica e inmótica. Este prototipo es capaz de controlar el encendido y apagado de una lámpara así como el consumo en tiempo real, y gracias a su interfaz de comunicaciones inalámbrica, ofrecer sus servicios a cualquier dispositivo con conexión a Internet.

Abstract

With the accelerated development of the new technologies in the field of telecommunications, multitude of devices appears daily in charge of making life easier for people. This end of degree thesis describes the design, development and implementation of a functional prototype for emerging Internet of Things (IoT) technology in the field of home and building automation and control. The prototype can control, the power on and off of a lamp as well as its consumption in real time, and thanks to its wireless communication interfaces, it can offer these services to any other device with an Internet connection.

CONTENIDO

1	Introducción	10
1.1	<i>Objetivos</i>	12
1.1.1	Objetivos principales	12
1.1.2	Objetivo opcional	12
1.2	<i>Estado del arte</i>	12
1.2.1	Crítica al estado del arte	21
1.2.2	Propuesta	22
2	Materiales y métodos	23
2.1	<i>Diseño hardware y propuesta de circuitería</i>	23
2.1.1	NodeMCU	24
2.1.2	ACS712	25
2.1.3	TP4056	26
2.1.4	Batería	27
2.1.5	Fuente de alimentación	27
2.1.6	Cálculos	27
2.1.7	Etapa de potencia.	30
2.1.8	Diseño físico del circuito y encapsulado	31
2.2	<i>Diseño software e instalación</i>	34
2.2.1	Instalación de software y controladores	34
2.2.2	Implementación de la aplicación	36
3	Resultados y discusiones	38
3.1	<i>Instalación</i>	39
3.2	<i>Homologación y marcado CE</i>	40
3.3	<i>Diagnóstico de pruebas y fallas</i>	42
3.3.1	Prueba 1. Servidor HTTP	42
3.3.2	Prueba 2. Error de operario	43
3.3.3	Prueba 3. Suministro de energía	43
3.3.4	Prueba 4. Ruido eléctrico	43
3.3.5	Prueba 5. Potencia máxima	43
3.3.6	Prueba 6. Tiempo máximo de funcionamiento con suministro por batería	43
3.3.7	Prueba 7. Temperatura máxima	44
3.3.8	Prueba 8. Durabilidad	44

4	Estudio económico	45
4.1	<i>Trabajo realizado</i>	45
4.2	<i>Prototipo</i>	46
5	Conclusiones y líneas de futuro	48
5.1	<i>Líneas de futuro</i>	50
6	Planos	51
7	Anexos	55
7.1	<i>Anexo I. Componentes empleados y hoja de características</i>	56
8	Referencias	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Prototipo Switch IoT	11
Figura 2: Los pilares de IdT	13
Figura 3: Tamaños de las redes	14
Figura 4: Red de datos convergente	15
Figura 5: Infraestructura del Hogar Digital	16
Figura 6: Sistema de vigilancia IP Deecam.....	18
Figura 7: Sistema de cerraduras Lockitron.....	19
Figura 8: Tenedor IoT	19
Figura 9: Módulo de iluminación Chacon.....	20
Figura 10: Enchufe electrónico Chacon	20
Figura 11: Diagrama general	23
Figura 12: Diseño esquemático del NodeMCU.....	24
Figura 13: Distribución de pines NodeMCU.....	25
Figura 14: Módulo ACS712	26
Figura 15: Módulo cargador de batería TP4056.....	26
Figura 16: Batería de litio recargable	27
Figura 17: Fuente de alimentación universal.....	27
Figura 18: Esquema general	28
Figura 19: Esquema interfaz de potencia	30
Figura 20: Diseño circuito PCB	31
Figura 21: Base 3D carcasa Switch IoT	33
Figura 22: Cubierta 3D carcasa Switch IoT	33
Figura 23: Instalación plug-in ESP8266.....	35
Figura 24: Asignación placa NodeMCU	36
Figura 25: Credenciales	37
Figura 26: Interfaz cliente	38
Figura 27: Monitor serial.....	40
Figura 28: Diseño sello CE.....	42
Figura 29: Diagrama de Gartner	48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consumo máximo	28
Tabla 2: Desglose del coste de las actividades realizadas en el trabajo fin de grado...	45
Tabla 3: Coste de implementación del prototipo.....	46

1 INTRODUCCIÓN

En el trabajo fin de grado que nos ocupa se realiza en primera instancia un estudio preliminar sobre la tecnología en auge Internet de las Cosas, así como su evolución hacia el IOT (Internet de Todo), donde se pretende en un futuro conectar todos los dispositivos entre sí y a través de la gran red de Internet. También se analiza la normativa actual para la implementación de dispositivos electrónicos conectados en el hogar y su repercusión en la obtención del Marcado CE para la fabricación en serie del prototipo descrito a continuación.

Además, el presente trabajo fin de grado presenta el diseño e implementación de un prototipo de dispositivo electrónico capaz de controlar el encendido y apagado vía web de una carga (para este caso de una lámpara convencional), informar del estado de la red eléctrica, así como del consumo en dicha carga y su coste en tiempo real (en función del precio del kilovatio hora actual en España).

El dispositivo cuenta también con una fuente de energía auxiliar basada en baterías de litio recargables, lo que hace posible informar del estado de la red eléctrica cuándo se produce una caída de ésta.

Se hace especial hincapié en la reducción del tamaño del prototipo con objetivo de que pueda ser acoplado en el interior de una caja de derivación universal. Para alcanzar este objetivo se han estudiado y analizado distintos tipos de chip controladores con módulo WiFi existentes en el mercado y con su correspondiente Marcado CE. Finalmente se elige para este trabajo el módulo NodeMCU, el cuál cumple todas las condiciones mencionadas anteriormente.

El NodeMCU es un kit de desarrollo en código abierto basado en el chip WiFi ESP8266 de muy bajo coste y altas prestaciones. El procesador interno se programa a través de comunicación serie bajo lenguaje de programación LUA en primera instancia, pero puede ser programado en otros lenguajes de programación basados en Wiring, tales como Arduino.

También se hace uso de varios módulos comerciales de circuito impreso, consiguiendo así reducir aún más el tamaño del prototipo. Se implementa un sensor de corriente por efecto hall AC712 para medir de forma precisa la intensidad circulante a través de la lámpara. También se incluye un módulo de carga para baterías de litio TP4056 y una pequeña fuente de alimentación universal 220VAC/5VCC.

Finalmente la placa de circuito impreso resultante del prototipado se cubre con una carcasa diseñada específicamente para el prototipo, y se imprime con una impresora 3D.

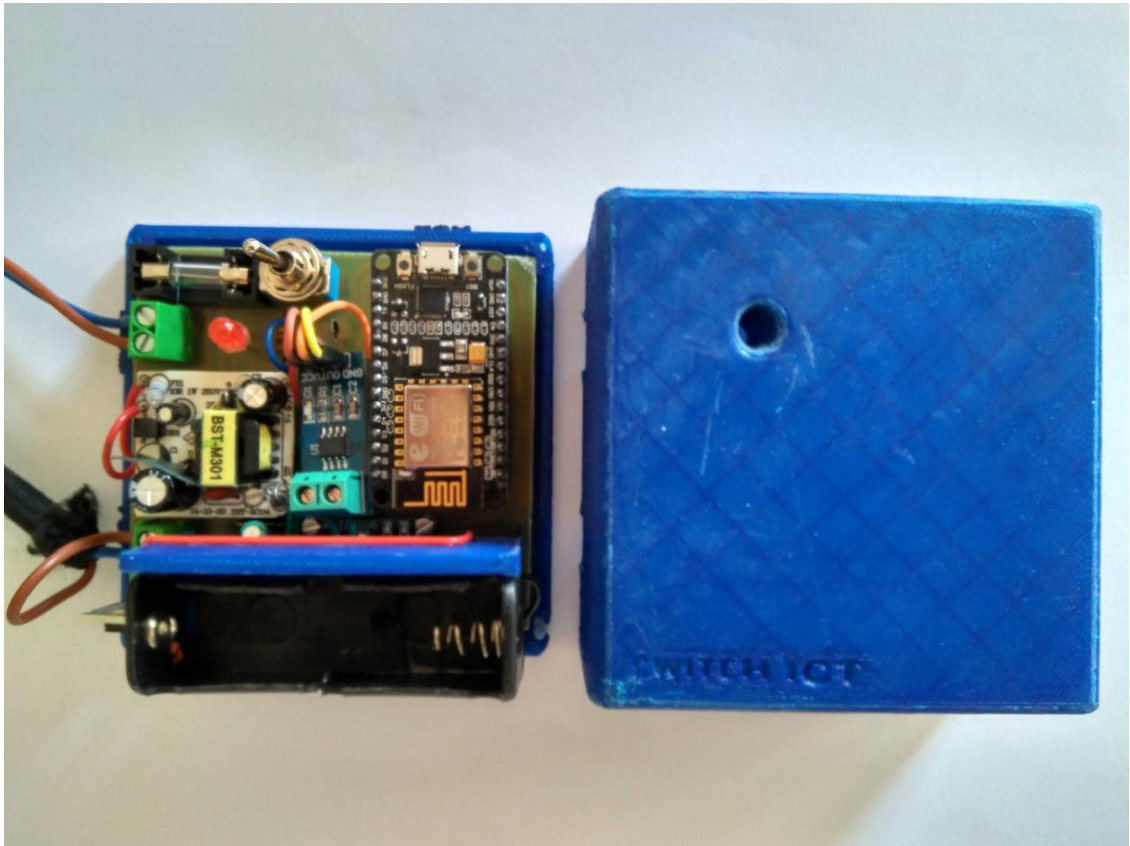


Figura 1: Prototipo Switch IoT

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos principales

1. Estudio de la normativa aplicable para la instalación en la red eléctrica de una vivienda de un dispositivo con comunicación inalámbrica dentro del paradigma de la Internet de los Objetos (IoT).
2. Diseño de un dispositivo para IoT capaz de interactuar con una lámpara convencional, así como de informar de su estado.
3. Implementación de un prototipo del dispositivo diseñado, completamente funcional, según las especificaciones y normativa que le afecten.

1.1.2 Objetivo opcional

1. Presentación de la documentación pertinente para la homologación del dispositivo ante el organismo competente.

1.2 Estado del arte

Desde el nacimiento de (ARPANET) en 1969, que conectaba unos pocos ordenadores, la evolución de Internet ha seguido una completa exponencial creciente. Comenzando con avances lentos y poco significativos hasta llegar a la actualidad donde los cambios en innovación y comunicación se producen velozmente. Internet a día de hoy conecta a más de 32.000 millones de usuarios y se predice que para el año 2020 conecte 50.000 millones de objetos inanimados, consiguiendo así formar una red global completamente inteligente [1].

John Chambers, director ejecutivo de Cisco Systems señala [chambers2017***]: *“La próxima gran tendencia estará centrada en Internet de todo. Se implementará mediante la combinación de objetos, procesos, cambios empresariales y personas. Además, dará como resultado valores de productividad y valores financieros alucinantes.”*

Cisco establece 4 pilares fundamentales que constituyen y sustentan la base del concepto de Internet de Todo (IdT). [cisco2017***]: *“La información de estas conexiones da lugar a decisiones y acciones que crean nuevas capacidades, experiencias más valiosas y una oportunidad económica sin precedentes para personas, empresas y países.”*



Figura 2: Los pilares de IdT
Fuente: Netacad CISCO

Durante la última década la evolución de los distintos sistemas y lenguajes de programación orientados a hardware, el concepto de hardware libre así como los circuitos integrados se han desarrollado notablemente y con ello han permitido abaratar en gran medida el coste de los dispositivos electrónicos. Algunos ejemplos de programación orientada a hardware son LUA, MicroPython y Arduino, siendo este último el más popular así como sus sistemas de hardware libre teniendo un gran impacto en la actualidad.

Todo esto, unido al desarrollo de aplicaciones móviles, el aumento progresivo de las prestaciones del acceso a Internet de banda ancha y una mayor cobertura, han dado origen a la aparición en el mercado de numerosos, y cada vez más complejos, dispositivos inteligentes conectados.

Esta conexión de dispositivos se establece bajo diferentes tamaños de red. Se pueden resaltar cuatro tamaños en la infraestructura global de las redes. Desde la red más pequeña, red de Área Personal o PAN, red doméstica o del hogar, donde puede haber interconectados algunos ordenadores y diversos dispositivos inteligentes, pasando por redes medianas o de oficina que interconectan bastantes sistemas informáticos, las metropolitanas, hasta llegar a las redes mundiales como es Internet [2].



Figura 3: Tamaños de las redes
Fuente: Netacad CISCO

Independientemente del tamaño, las redes de datos también se organizaban en un principio en distintos tipos, separados unos de otros. Las primeras redes de datos se encontraban separadas en tres grupos principales dependiendo del servicio ofertado en cada una de ellas, redes de computadoras, redes telefónicas y redes de difusión. Cada una de estas redes poseía sus propios canales de comunicación, tecnologías y estándares diferentes para asegurar una comunicación eficiente.

Con la evolución progresiva de la tecnología en las redes, se comenzó a desarrollar una plataforma unificada que alberga todos estos tipos de redes de datos. Se acuña con el nombre de “*Red convergente*”. Esta plataforma es capaz de transmitir datos de voz, texto, video y gráficos entre todos los distintos tipos de dispositivos conectados bajo un mismo canal de comunicación, misma estructura de red y mismo acuerdo o estándar [2].

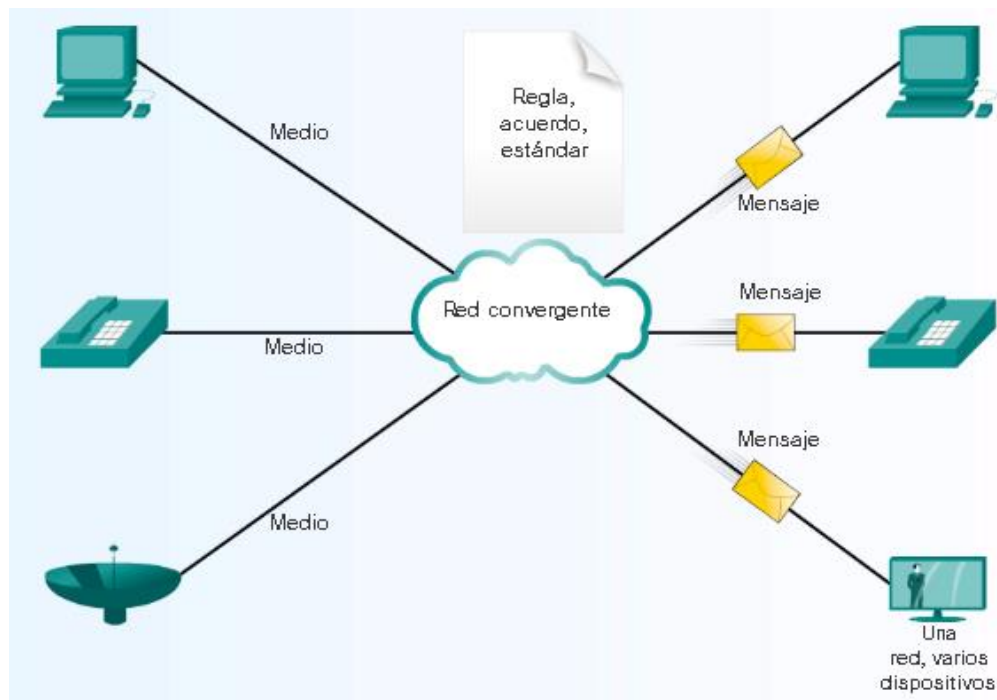


Figura 4: Red de datos convergente
Fuente: Netacad CISCO

A medida que se ha investigado en esta unificación de las redes de datos han surgido tecnologías actuales de conmutación y multiplexación como ATM (Modo de Transferencia Asíncrono) donde se integran servicios digitales de Banda Ancha combinando la multiplexación por división en el tiempo (TDM) con la conmutación de paquetes por multiplexación estadística.

El presente trabajo fin de grado se centra en las redes pequeñas o del hogar y más concretamente en las conexiones inalámbricas de los diversos periféricos y dispositivos que se pueden encontrar en una vivienda.

Desde hace unos años se desarrollan multitud de soluciones y aplicaciones al hogar consiguiendo una mayor integración entre los sistemas y los equipos domésticos. Toda esta integración de los sistemas electrotécnicos en los hogares se conoce con el nombre de domótica, y como hacen referencia S. Junestrand, X. Passaret y D. Vázquez en su libro “*Domótica y hogar digital*”[3], el concepto estricto de domótica se puede definir como: “*Aquella vivienda en la que existen agrupaciones automatizadas de equipos, normalmente asociados por funciones, que disponen de la capacidad de comunicarse interactivamente entre ellas a través de un bus doméstico multimedia que las integra*”.

Por lo tanto, a partir de este concepto se observa que la condición necesaria y suficiente para que una vivienda se pueda considerar *domótica* es la disposición de sistemas interactivos e integrados además de las TIC (Tecnologías de la Información y la

Comunicación). Teniendo en cuenta esto y siendo conscientes de la continua y rápida evolución de las tecnologías y por consecuente de los conceptos interpolados en éstas, nace hace sólo unos pocos años el concepto de “*Hogar Digital*”. Es un concepto bastante más amplio que el de Domótica en el cual se recoge no sólo la tecnología sino también los sistemas, servicios y funcionalidades [3].

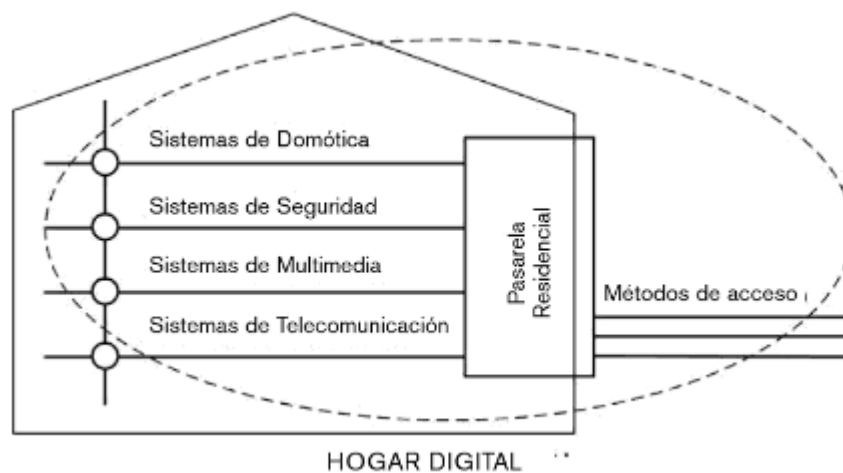


Figura 5: Infraestructura del Hogar Digital
Fuente: Netacad CISCO

Teniendo presente el concepto de hogar digital se remarca el objeto de este trabajo y del prototipo electrónico para el hogar diseñado en el mismo. Este prototipo se puede albergar en la categoría Sistemas de Domótica para el *Hogar Digital* ya que satisface uno de los servicios de dicha categoría como es el de automatización de la iluminación en la vivienda.

Además de estar inmerso este prototipo en el concepto de domótica de una vivienda, también forma parte de la red de datos del *Hogar Digital* debido a su interconexión inalámbrica con el *router* de la vivienda y por tanto formar parte también del concepto de Internet de las Cosas. Esto hace posible la automatización, en este caso de la iluminación de la vivienda, no sólo a nivel del hogar sino también a nivel mundial gracias a la extensa red de Internet.

Al transformar un objeto inanimado en un objeto para el Internet de las Cosas se establecen varias características de dicho objeto o dispositivo como la obligación de éste a estar conectado a Internet y poder ser controlado desde una ubicación remota o la capacidad de recopilar e intercambiar datos entre estos objetos, lo que se denomina como inteligencia distribuida o centralizada.

Teniendo en cuenta esto cualquier objeto podría transformarse en un dispositivo inteligente para el Internet de las Cosas. Algunos de los primeros objetos o dispositivos que la comunidad ha transformado para este fin son coches, electrodomésticos, juguetes, materiales de oficina e incluso aparatos de monitorización médica.

Con esta conexión de los objetos entre ellos y a través de Internet, lo que se busca es una completa automatización de procesos repetitivos o habituales que realiza cualquier persona en su día a día. Un ejemplo sencillo sería:

En un completo Hogar Digital totalmente automatizado y centralizado, comienza el día con el sonido de un despertador el cuál se comunica con la cafetera para preparar el café, con el robot de cocina para preparar el desayuno y con la televisión digital para sintonizar el canal de noticias. Posteriormente el usuario activa un coche eléctrico para dirigirse al trabajo el cual se comunica con el hogar para cerrar puertas y ventanas y así conseguir una temperatura agradable y mayor eficiencia energética.

Esta realidad es completamente posible hoy en día en un hogar digital, pero donde el Internet de las Cosas se ha recibido con mayor interés es en la Industria 4.0 consiguiendo un mayor desarrollo y preciso avance de ésta. Ya que la automatización de procesos industriales y el control en tiempo real a través de Internet acelera el desarrollo, abarata costes y aprovecha al máximo los recursos disponibles de las empresas.

También tiene un gran impacto el Internet de las Cosas en el control de las infraestructuras urbanas, lo que se conoce como Ciudades Inteligentes, en inglés *Smart Cities*. Estos proyectos se desarrollan en grandes ciudades de todo el mundo con el objetivo de automatizar los procesos y sistemas de las ciudades como el alumbrado público, el sistema de aguas residuales, los semáforos, sistemas de ferrocarril, puentes etc. Consiguiendo con ello una ciudad más sostenible y gestionada de manera sencilla. Esto se ha desarrollado y extendido rápidamente llevando a la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) de Naciones Unidas a establecer una serie de normas sobre el ámbito y actuación en las ciudades [4].

Otro gran impacto del Internet de las Cosas se produce en el sector medioambiental, donde analizando diversos factores del tiempo meteorológico se pueden llegar a prevenir catástrofes como terremotos, huracanes, etc.

A continuación se presentan algunos ejemplos de soluciones y aplicaciones comerciales de los distintos sistemas aplicados al Hogar Digital:

Los sistemas de seguridad tienen una gran repercusión en el mercado y se diseñan dispositivos multisensores y aplicaciones muy a menudo. Se destacan sensores de movimiento, sensores de proximidad o incluso algo tan básico como una cámara de vigilancia con visión nocturna, todo ello conectado a Internet y accesible desde cualquier lugar con un teléfono móvil o tableta.

Esta solución se llama “Deecam”[5] e incorpora cuatro cámaras portátiles de exteriores e interiores, además de un *router* propio el cuál se encarga de la conexión de área local e Internet sin necesidad de abrir los puertos del *router* doméstico.



Figura 6: Sistema de vigilancia IP Deecam
Fuente: deecam.com

Otro ejemplo de aplicación de seguridad que genera especial interés es “Lockitron”[6] la cual a partir de un sistema de cerraduras *domóticas* conectadas permiten prescindir de las llaves de metal y gestionar el acceso a la vivienda a través del teléfono móvil.



Figura 7: Sistema de cerraduras Lockitron
Fuente: lockitron.com

Existen otras aplicaciones tan excéntricas como “Hapi”[7], un tenedor digital el cual mide diversos parámetros de la comida así como la velocidad con la que comemos. Genera gráficas y patrones de conducta alimenticia para visualizarlos desde un teléfono móvil con el objetivo de promover una vida saludable.



Figura 8: Tenedor IoT
Fuente: hapi.com

En los sistemas de *Domótica*, en relación a productos y soluciones similares al prototipo que nos afecta en este trabajo no se han encontrado demasiadas a día de hoy, en el apartado de crítica al estado del arte se expone de forma más argumentada este caso.

El dispositivo más similar encontrado es “*Módulo de iluminación On/Off*” comercializado por la empresa “Chacon” la cual oferta algunas soluciones en el ámbito de la *Domótica*[8].



Figura 9: Módulo de iluminación Chacon
Fuente: Chacon.com

El dispositivo puede ser gestionado con el teléfono móvil a través de la aplicación correspondiente pero no alberga la posibilidad de conexión de área local y por consecuencia directa Internet.

Otra aplicación similar también de la empresa “Chacon” es un enchufe electrónico gestionado con la misma dinámica, a partir un teléfono móvil y la aplicación asociada [8][8].



Figura 10: Enchufe electrónico Chacon
Fuente: Chacon.com

1.2.1 Crítica al estado del arte

Repasando el estado del arte de la tecnología del *Internet de las Cosas* aplicada a la *Domótica* y más exactamente al *Hogar Digital* se puede apreciar que existen algunos aspectos mejorables y aún por evolucionar.

Se destaca en la mayoría de las soluciones referidas a este ámbito un precio de venta e instalación bastante alto, así como la necesidad en su mayoría de realizar pequeñas obras en la vivienda. Además, en la mayor parte de las soluciones encontradas, es necesario de un kit de centralita o de aplicaciones adjuntas al dispositivo, lo que obliga normalmente a emplear solamente dispositivos del mismo fabricante en un mismo hogar.

Otro detalle a destacar es que estas soluciones tienen diferentes limitaciones en su conectividad, condicionando ésta a conexiones de área local, y en su mayoría, a través de *router* o puntos de acceso con tecnología o *firmware* propietarios como las mencionadas centralitas.

También cabe señalar la inclusión de estas tecnologías en el estándar KNX (ISO/IEC 14543), un estándar de protocolo de comunicaciones de red basado en OSI para domótica e inmótica, el cual promueve la integración de los sistemas de control de viviendas y edificios existentes en la actualidad en un estándar común que sirva como plataforma para futuras evoluciones. Es un sistema independiente de fabricantes y aplicaciones avalado por sus predecesores, los sistemas EIB, EHS y BatiBUS. Ofrece medios de transmisión por par trenzado, radio frecuencia línea de fuerza e IP/Ethernet. Las aplicaciones posibles para esta tecnología son: iluminación, persianas y contraventanas, sistemas de seguridad, gestión energética, calefacción, sistemas de ventilación y aire acondicionado, sistemas de supervisión y señalización, interfaces a servicios y sistemas de control de edificios, control remoto, medición, audio y video, control de bienes de gama blanca, etc. Está respaldada por la *KNX Association*, una agrupación de más de 370 empresas europeas relacionadas con el control automatizado de viviendas y edificios [9][9].

Por último mencionar también las plataformas de desarrollo Intel Galileo e Intel Edison las cuales a través de placas prediseñadas de desarrollo ofrecen soluciones para el Internet de las Cosas de forma similar a plataformas como Arduino. De hecho éstas son totalmente compatibles y verificadas con los sistemas de Arduino. Intel Galileo se centra en el desarrollo software y hardware totalmente libre y abierto para proyectos relacionados con el mundo de la domótica. En cambio Intel Edison se centra más en dispositivos para llevar puestos, lo que Intel denomina *wearable technology*. Está pensado para la creación

de prototipos de forma rápida y con un coste bajo, además de la capacidad de conexión a diferentes placas de desarrollo incluida Arduino [10].

1.2.2 Propuesta

Como propuesta al estado del arte se diseña el prototipo del presente trabajo fin de grado consiguiendo subsanar algunas de las limitaciones descritas y desarrollando aún más la tecnología del *Internet de las Cosas* aplicada al *Hogar Digital*.

En primera instancia se utilizan circuitos modulares y componentes de bajo coste, sin olvidar la calidad y especificaciones mínimas. Con esto se pretende obtener un producto final mucho más económico que los actuales en el mercado, que cumpla con las funciones esperadas para este tipo de dispositivos.

Seguidamente se subsana el inconveniente de instalaciones engorrosas del dispositivo en la vivienda, pudiendo ser instalado por el usuario en pocos minutos bajo el prisma “hágalo usted mismo” o DIY (del inglés *do it yourself*).

También se cubre con esta propuesta el inconveniente de dispositivos y aparatos adicionales para la conectividad y el control remoto del dispositivo. Únicamente es necesario el *router* WiFi habitual del hogar para la conexión del prototipo indicado en este trabajo, pudiendo ser monitorizado y actuado a través de simples mensajes HTTP. Con esto se consigue posibilitar la conexión, y por tanto, el control del dispositivo a través de Internet sin la necesidad de pasarelas o protocolos específicos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Una vez introducido el presente trabajo fin de grado se desarrolla en esta sección todos los aspectos de diseño y desarrollo del prototipo llamado “SWITCH IOT”.

A continuación se describe la metodología usada para este propósito:

1. Estudio preliminares: The Internet of Things
2. Estudio de la normativa aplicable a un dispositivo electrónico para el hogar.
3. Análisis de la propuesta de circuitería y diseño preliminar del dispositivo.
4. Diseño de los esquemas del prototipo.
5. Implementación del prototipo físico.
6. Realización de pruebas y ajustes.
7. Elaboración de la documentación necesaria para describir el dispositivo según la normativa.
8. Elaboración del informe del trabajo realizado.

Para visualizar en perspectiva el prototipo se muestra a continuación el diagrama general de la aplicación desarrollada:

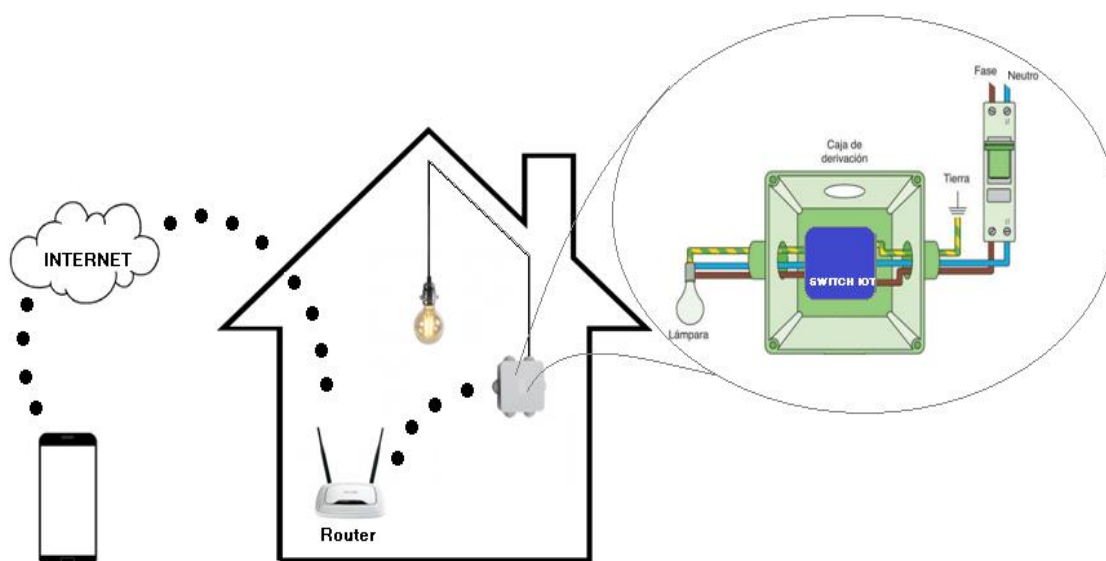


Figura 11: Diagrama general

2.1 Diseño hardware y propuesta de circuitería

El esquema general del circuito se diseña a partir la unión de diversos módulos de circuito impreso existentes en el mercado con el objetivo de reducir al máximo el tamaño final del dispositivo.

A continuación se presentan al detalle estos módulos para poder entender posteriormente la propuesta de diseño del esquemático:

2.1.1 NodeMCU

En primer lugar se presenta el controlador “NodeMCU”, un dispositivo de bajo coste y reducido tamaño el cual se compone esencia de un chip WiFi ESP8266 (ver Anexo I para su hoja de características). Es un sistema de hardware libre por lo que los diseños del sistema físico se encuentran completamente disponibles para el uso y mejora de los mismos por cualquier persona.

En la figura 11 se muestra el esquemático del dispositivo el cual puede encontrarse junto a todos los archivos de diseño correspondientes en la plataforma de *GitHub* [11].

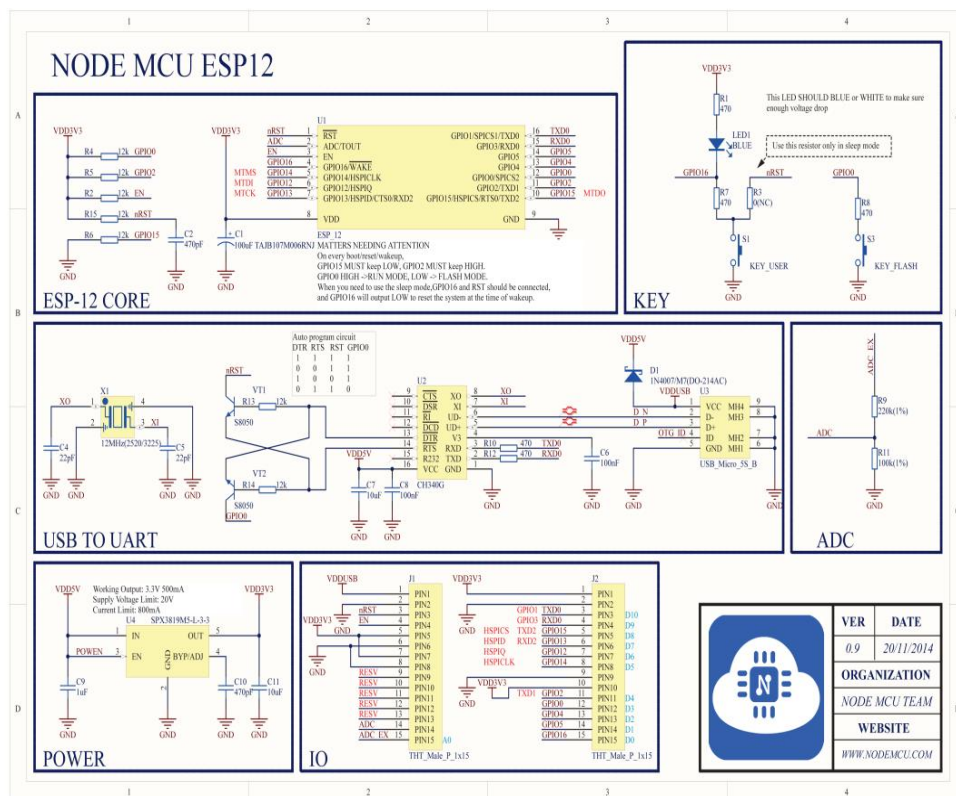


Figura 12: Diseño esquemático del NodeMCU

Fuente: www.nodemcu.com/github

El NodeMCU dispone de 11 pines de propósito general GPIO, PWM (modulación por ancho de pulso), conversión analógico-digital, comunicación UART, comunicación I2C y comunicación 1-Wire. También cuenta con una memoria flash de 4MB destinada al almacenamiento del firmware y archivos de ejecución.

En la figura 12 se observa toda la distribución de pines del módulo NodeMCU y se analizan uno a uno los pines utilizados en el presente trabajo para el diseño del prototipado.

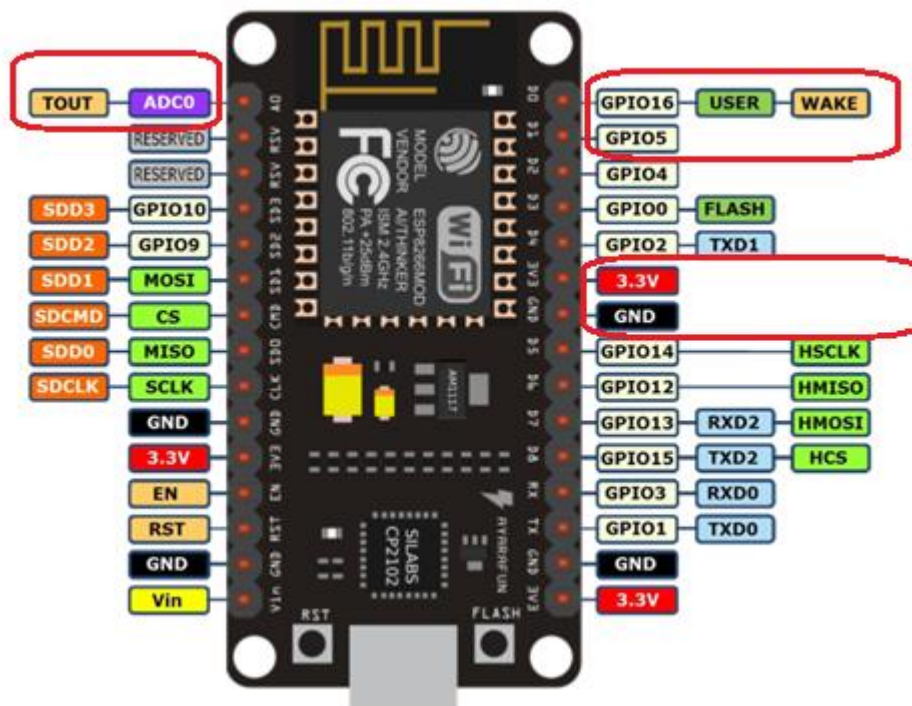


Figura 13: Distribución de pines NodeMCU
Fuente: www.nodemcu.com/github

Los pines remarcados en color rojo en la figura son los que han sido utilizados para el diseño del prototipo:

- PIN AO/ADC0. Pin analógico programado como entrada para las mediciones de corriente.
- PIN D0/GPIO16. Pin digital programado como salida para activación del circuito interruptor.
- PIN D1/GPIO5. Pin digital programado como entrada para la detección de energía en la red eléctrica.
- PINES 3V3 Y GND. Utilizados en la alimentación del módulo.

Especificaciones y hoja de características en el (Anexo I).

2.1.2 ACS712

Se trata de un sensor de corriente por efecto hall, capaz de medir corriente alterna (AC) y corriente continua (DC). Su funcionamiento es basado en la transformación de un campo magnético generado a partir de la corriente circulante por la línea conectada a sus bornes en un voltaje DC variable de 0 a 5 V.

El modelo utilizado en el diseño del prototipo es ACS712ELCTR-30A-T, el cual se diferencia en la capacidad de medición hasta 30 amperios.

Características técnicas y hoja de características en el (Anexo II).

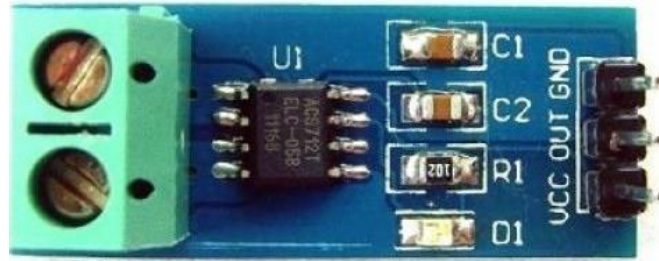


Figura 14: Módulo ACS712
Fuente: diygeeks.org

2.1.3 TP4056

El siguiente módulo es un cargador lineal de corriente constante para celdas individuales de baterías de iones de litio. Es utilizado en la carga de la batería de alimentación auxiliar del prototipo, ya que este tipo de baterías necesitan una carga muy precisa y específica de corriente por goteo. Hoja de características en el (Anexo III).

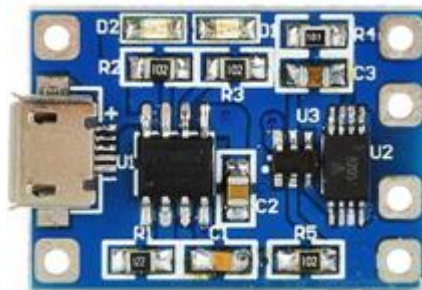


Figura 15: Módulo cargador de batería TP4056
Fuente: dx.com

2.1.4 Batería

Se ha utilizado una batería de Litio-ion recargable de 3.7V y una capacidad de 1100 mAh.



Figura 16: Batería de litio recargable
Fuente: amazon.com

2.1.5 Fuente de alimentación

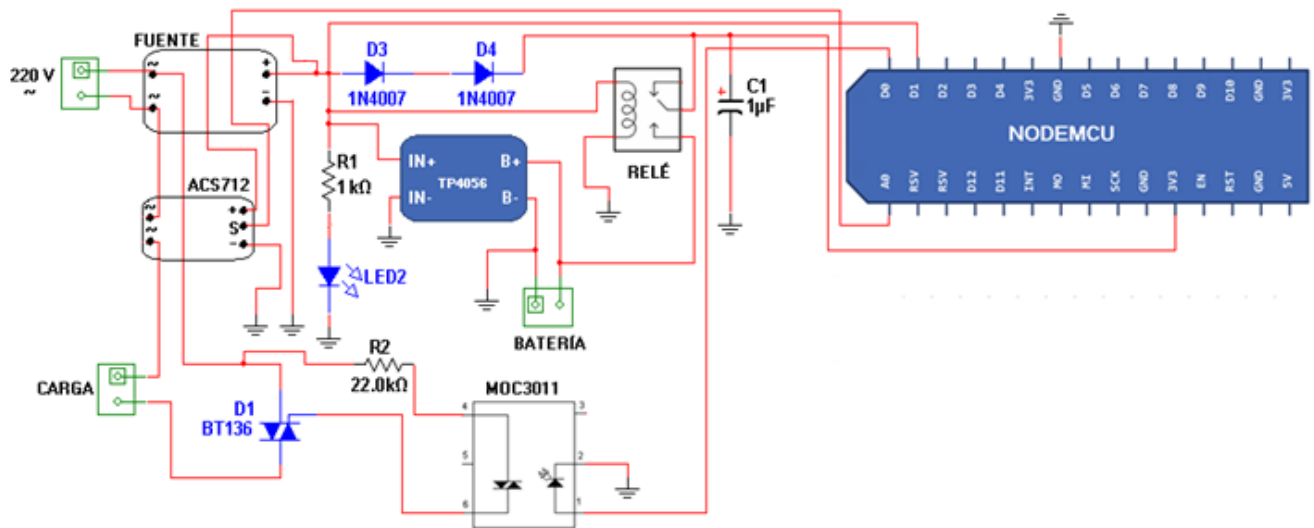
Por último se utiliza un módulo de reducido tamaño de una fuente de alimentación universal con entrada 220V AC y salida 4.8 V DC.



Figura 17: Fuente de alimentación universal
Fuente: dx.com

2.1.6 Cálculos

Una vez analizados los diferentes módulos a utilizar en el diseño se procede a realizar los cálculos correspondientes. En la figura 17 se muestra el esquemático final del circuito el cual se analizará en los puntos sucesivos.



diodos cumplen una segunda misión, y es evitar la circulación de corriente hacia los módulos del circuito cuando conmutamos a la alimentación auxiliar por batería.

El siguiente componente a analizar es el relé, el cual tiene la función de conectar la alimentación auxiliar por batería cuando no existe tensión de alimentación en la fuente (red eléctrica caída) o desconectarla en condiciones normales (red eléctrica operativa).

Continuando con la línea de alimentación encontramos en paralelo el condensador C1, el cual se inserta con objeto de reducir la caída y el pico de corriente originados al desconectar la alimentación de la fuente y conectar la alimentación por batería.

Se calcula la capacidad del condensador a partir de la siguiente ecuación de la energía almacenada en este:

$$W_c = \frac{1}{2} C * V^2 \quad (1)$$

Donde:

- W_c = Energía (J)
- V = Tensión (V)
- q = Carga (C)
- C = Capacidad (F)

La energía almacenada en el condensador debe ser aproximadamente la misma que la actual en la línea de alimentación para que en la desconexión los valores de tensión y corriente se mantengan estables. Esto lleva a insertar un condensador de 1 micro faradio.

Por último en esta línea de alimentación también se inserta, en paralelo y en serie con su resistencia limitadora, un diodo LED rojo. Este diodo emite luz siempre que la fuente de alimentación esté operativa y con ella la red eléctrica. Con objeto de prolongar la vida útil del diodo y aumentar la eficiencia energética del circuito, se calcula la resistencia limitadora R1 para que el diodo LED rojo trabaje en modo difuso (1.8 V y 1.8 mA). Aplicando la ley de Ohm obtenemos un valor de resistencia limitadora de 1K.

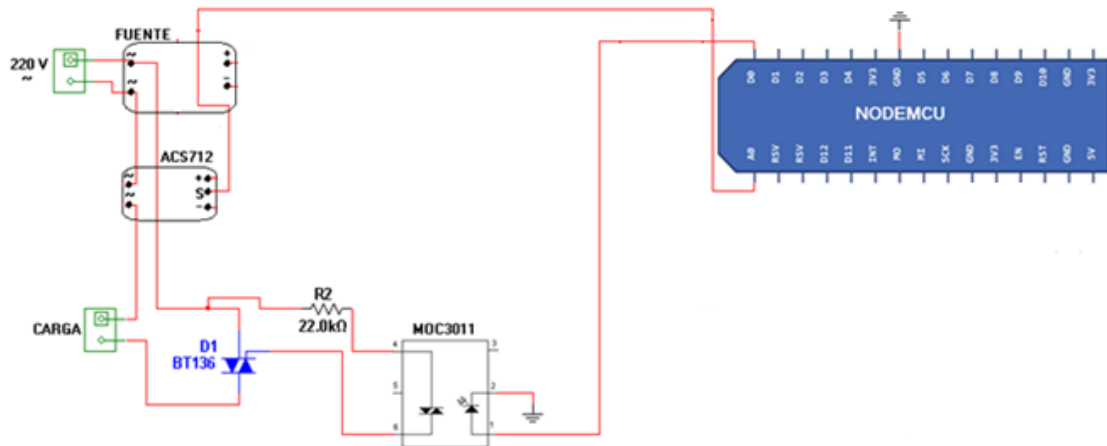
$$R = \frac{V}{I} \quad (2)$$

Donde:

- R = Resistencia (Ω)
- V = Tensión (V)
- I = Intensidad (A)

2.1.7 Etapa de potencia.

En la figura 18 se puede observar la interfaz de potencia del circuito la cual se encarga del encendido y apagado de la carga (lámpara de 60 W). La interfaz de potencia queda separada del circuito electrónico de corriente continua mediante un acoplamiento óptico.



señal de salida TTL de 0 a 5 V equivalente al flujo de corriente detectado, se envía al pin analógico del controlador NodeMCU.

2.1.8 Diseño físico del circuito y encapsulado

Una vez diseñado, implementado y comprobado el esquema eléctrico del dispositivo se procede a realizar el diseño en circuito impreso PCB (*Printed Circuit Board*).

La herramienta utilizada para este fin es Ultiboard [12], en la figura 19 se muestra el diseño final obtenido mediante esta herramienta.

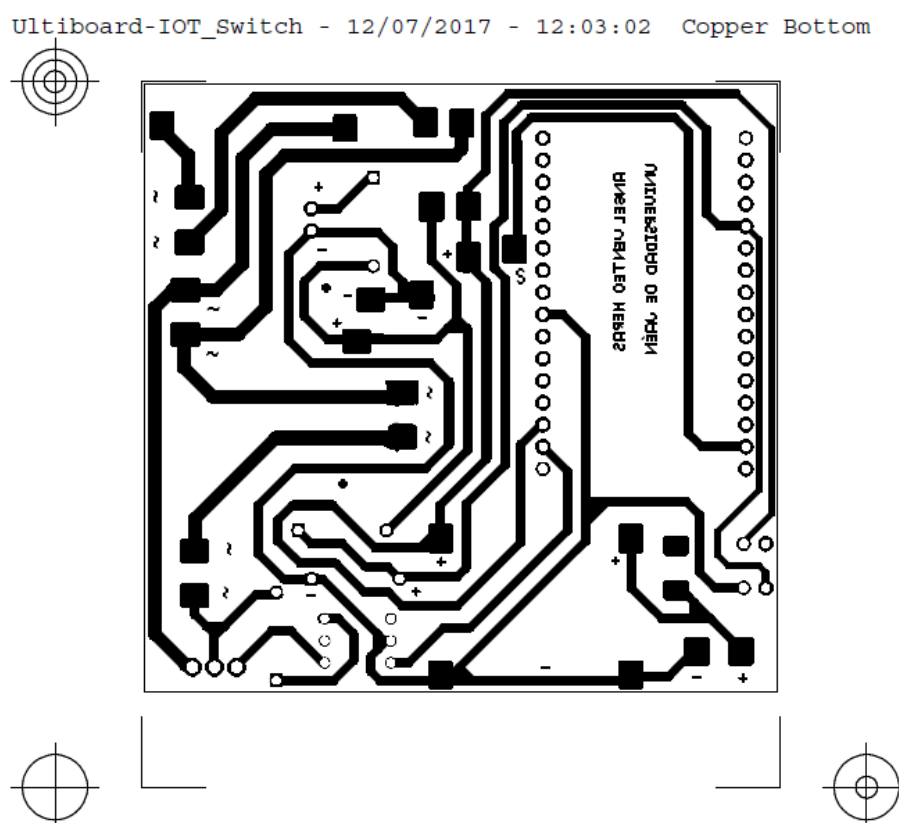


Figura 20: Diseño circuito PCB

En el diseño final se ha añadido un picrofusible para protecciones de sobrecarga del circuito y un pequeño interruptor PCB para desconectar el circuito mientras se realiza su instalación en el interior de una caja de derivación de la vivienda. En la figura 19 se puede observar también un aumento del grosor de algunas pistas, estas pistas forman la interfaz de potencia del circuito y por tanto el encendido y apagado de la lámpara así como su medida de corriente. También cabe destacar que el tamaño final de la placa es de 70 x 72 x 40 mm, ancho, largo y alto respectivamente, y por tanto puede ser insertado en el interior de cualquier caja de derivación universal.

Por último y con objeto de cubrir y encapsular todo el circuito impreso se diseña una carcasa a través de la herramienta online de diseño en 3D Tinkercad [13].

En las figuras 20 y 21 se observa el diseño de las dos partes que componen esta carcasa, base y cubierta respectivamente.

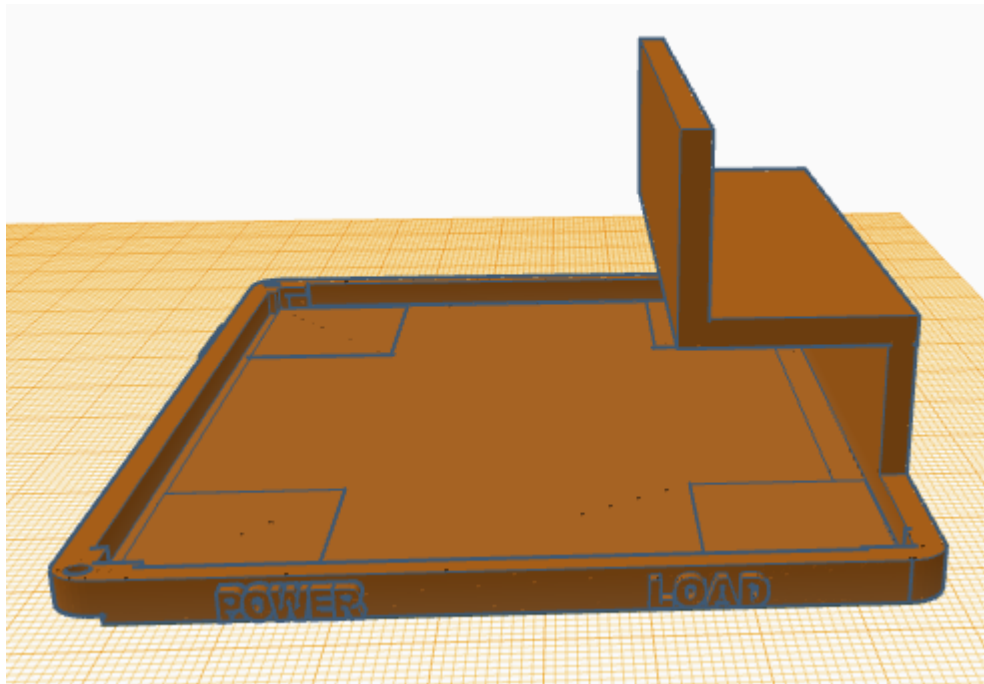


Figura 21: Base 3D carcasa Switch IoT

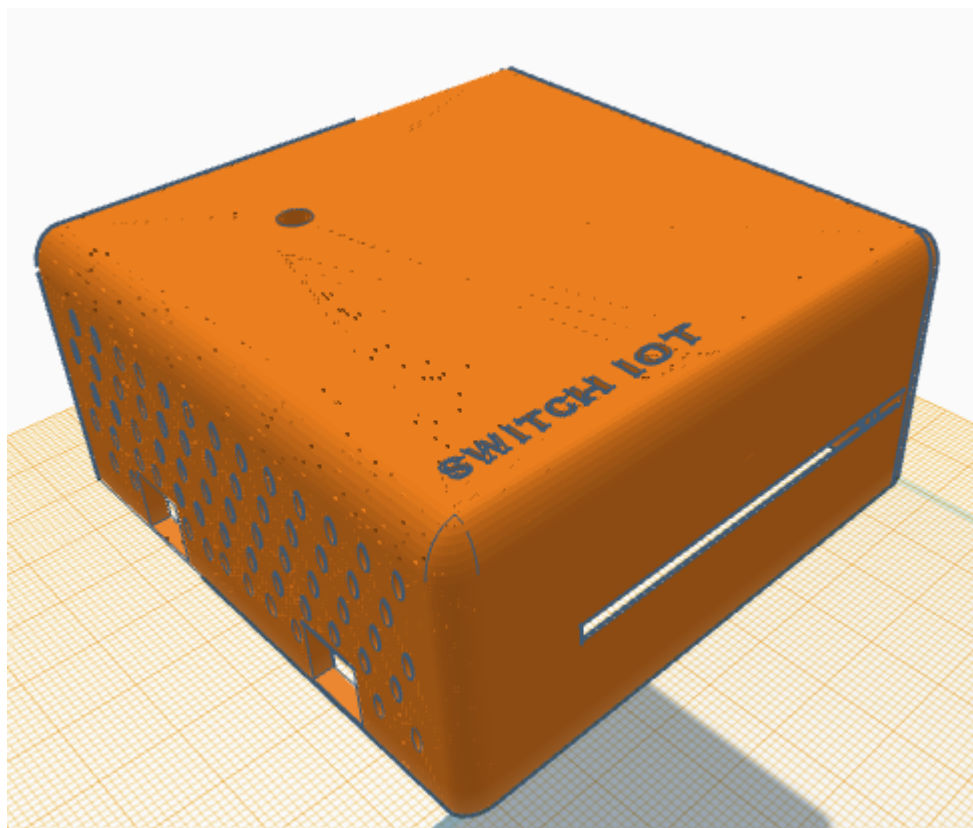


Figura 22: Cubierta 3D carcasa Switch IoT

En la figura 21 perteneciente a la base de la carcasa se observa una pequeña plataforma adicional en forma de L. Esta cumple con el objetivo de sostener la batería. Las dimensiones del encapsulado son 73 x 72 x 40 mm, ancho, largo y alto respectivamente

2.2 Diseño software e instalación

A continuación se analiza todo el diseño software de la aplicación así como la instalación de las herramientas necesarias y el entorno de desarrollo.

2.2.1 Instalación de software y controladores

Instalación del controlador: El módulo NodeMCU utiliza un chip CH34x para comunicación serial con el ordenador a través del puerto USB. Por lo tanto es necesaria la instalación del controlador adecuado, el cual se encuentra en la plataforma online GitHub[14].

Instalación del firmware: El firmware del NodeMCU se encuentra previamente instalado en el dispositivo pero en algunos casos se encuentra desactualizado por tanto es necesario realizar un proceso de *flashing* y con ello programar el procesador interno del módulo ESP8266. La aplicación necesaria para realizar este proceso se encuentra también en la plataforma de GitHub [15]. La aplicación de forma automática reconoce la MAC (*Media Access Control*) del dispositivo e inicia el proceso de *flashing*.

Entorno de desarrollo: Una vez instalado el controlador y el firmware del NodeMCU se procede a realizar la programación necesaria para la aplicación de este trabajo fin de grado. Inicialmente el NodeMCU se encuentra diseñado para ser programado mediante lenguaje de desarrollo LUA pero se han desarrollado diferentes módulos o *plug-in* y entornos de desarrollo con objeto de programar el dispositivo a través de otros lenguajes como el IDE de Arduino, MicroPython y programación por comando AT. Para el desarrollo de la aplicación de este trabajo se utiliza el IDE de Arduino.

Para instalar este entorno de desarrollo y el *plug-in* necesario, en primer lugar se descarga e instala la última versión del software Arduino desde la web de Arduino.cc [16].

Una vez instalado el IDE de Arduino se procede a la instalación del *plug-in* para la placa ESP8266. Desde la pestaña Archivo/Preferencias en la interfaz de la aplicación se añade la dirección web donde se encuentra el paquete con la extensión Json como se muestra en la Figura 22.

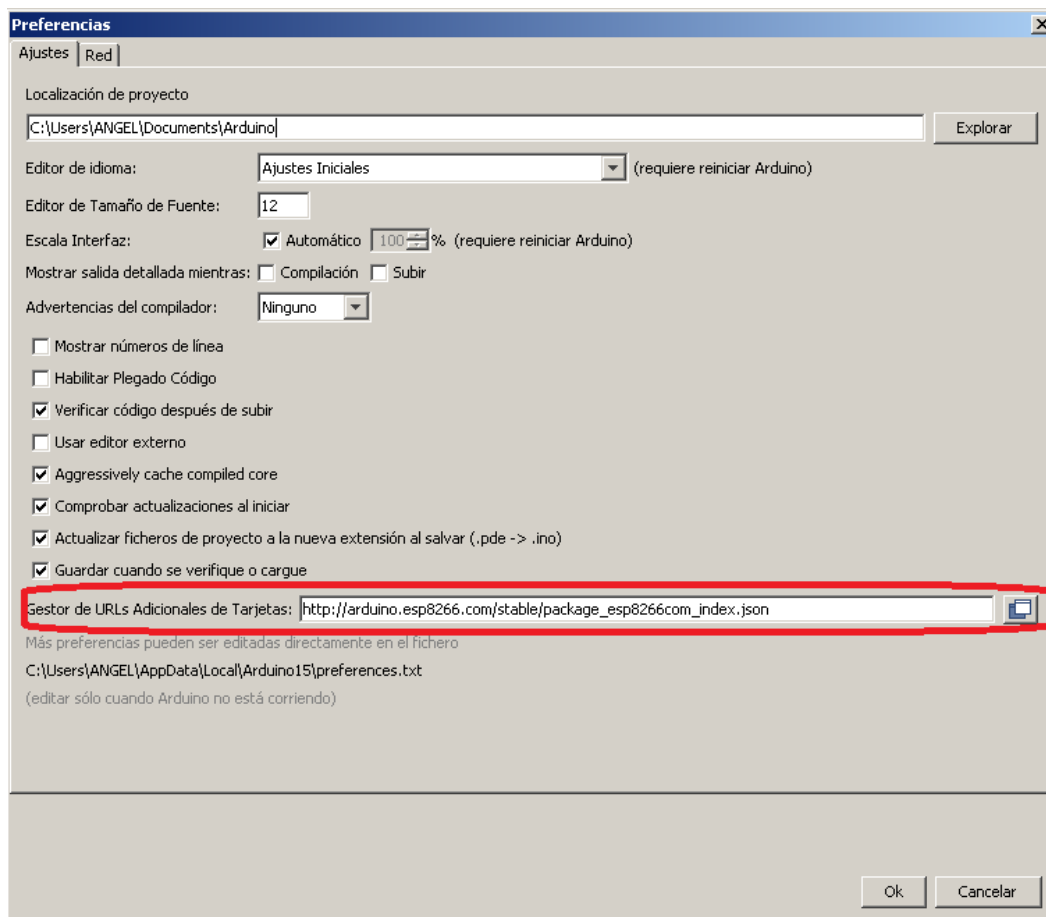


Figura 23: Instalación plug-in ESP8266

Una vez se añade la extensión se pulsa el botón de OK y queda instalada la placa para el desarrollo del controlador ESP8266. Posteriormente, desde la pestaña Herramientas en la interfaz principal, se asigna la última versión de la placa NodeMCU como se muestra en la Figura 23.

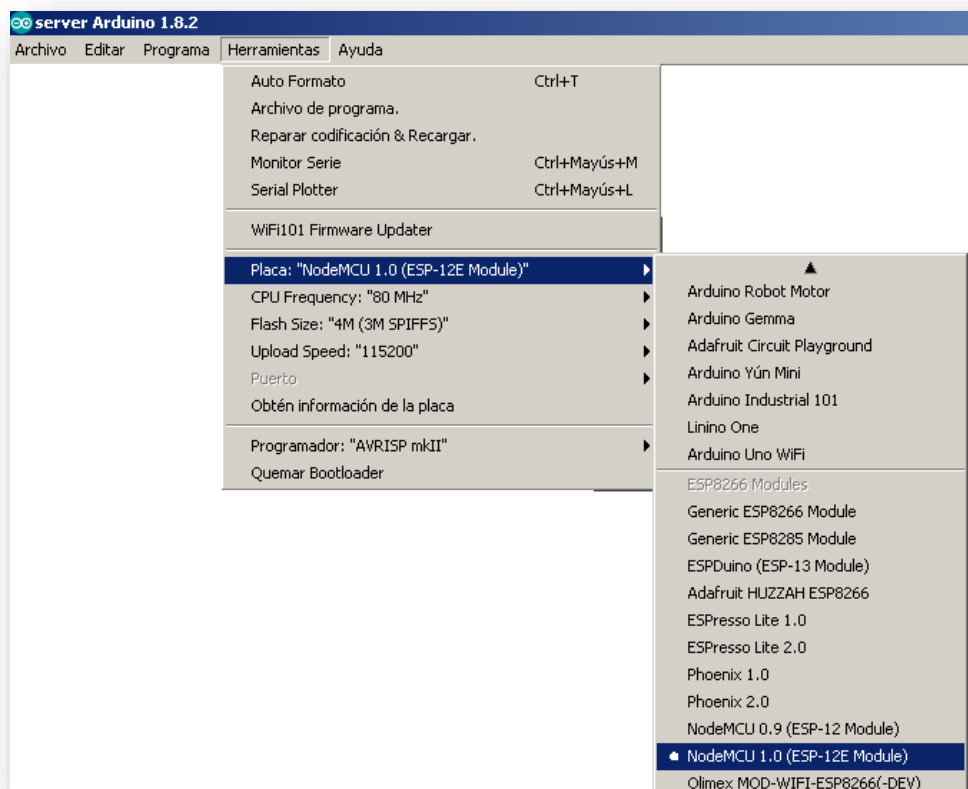


Figura 24: Asignación placa NodeMCU

2.2.2 Implementación de la aplicación

Una vez todo se encuentra adecuadamente instalado y configurado se procede a la implementación de la aplicación mediante lenguaje de programación Arduino. Ésta consta de dos partes principales, las cuales se ejecutan en Arduino y a través del chip ESP8266 en el módulo NodeMCU. Primero se implementa un servidor web el cual será el encargado de recoger las peticiones enviadas desde el dispositivo cliente. De esta manera al solicitar el servicio a través de un navegador web ubicado en cualquier dispositivo con conexión a Internet se ejecute una acción en el prototipo (encendido o apagado de una lámpara). Posteriormente la segunda parte consta de una interfaz web cliente implementada en lenguaje HTML, la cual corre en el servidor y será mostrada en el navegador web del cliente. Esta interfaz tiene por objeto ser el panel de control para el circuito electrónico del dispositivo y a su vez informar al usuario de diversos parámetros.

El chip ESP8266 realiza los siguientes pasos a partir del código escrito en lenguaje de programación Arduino:

En primer lugar se conecta el módulo al *router* de forma inalámbrica mediante el protocolo TCP/IP y a partir de los parámetros de acceso a la red insertados en el código. El *router* asigna una dirección IP local al chip WiFi. Con ello el módulo NodeMCU queda completamente accesible desde la red de área local. Seguidamente se produce la puesta en marcha del servidor, el cual quedará a la espera de las peticiones realizadas desde el cliente. Posteriormente se implementan y desarrollan los cálculos y procedimientos necesarios para traducir la medida de corriente entregada por el ACS712 como un nivel de voltaje a una medida precisa de corriente y potencia. Por último al ingresar desde un navegador web en la dirección IP designada por el *router* se visualiza en el dispositivo cliente la interfaz de usuario implementada en el código mediante lenguaje HTML.

En el documento adjunto se presenta el código Arduino implementado, el cual se puede resumir detalladamente en los siguientes pasos:

1. Se establecen como constantes las credenciales del *router*, SSID y la contraseña de la red local a la que se conecta el dispositivo. Esto se añade en el propio código de programación del NodeMCU debido a que se trata de la implementación de un prototipado.

```
const char* ssid = "ON091ED";  
const char* password = "Knzksz52zzHs8";
```

Figura 25: Credenciales

2. Se establecen variables y se implementa el método a través del cual obtenemos la medida exacta de corriente circulante a través de la lámpara. Para ello se recogen 1000 muestras de la tensión obtenida en el pin analógico y se hace una media aritmética según la sensibilidad del dispositivo.
3. Se asignan los pines D0 y D1 del módulo NodeMCU.
4. Se establece un temporizador para la conexión con el *router*, cuando se logra la conexión se imprimen en el monitor serie la dirección IP y la MAC asignadas al dispositivo.
5. Se inicia el servidor web.
6. Se detectan las solicitudes realizadas por el cliente sobre el servidor, y basándose en estas, se realiza la acción correspondiente (encendido o apagado de la lámpara).
7. Se realizan los cálculos correspondientes al coste en euros de tener encendida la lámpara de 60W durante el periodo de 60 min. Se calcula este gasto a partir de la siguiente Ecuación.

$$\text{Potencia eléctrica} \times \text{Horas facturadas} \times \text{Precio KW hora} \quad (3)$$

8. Se imprimen en la interfaz del cliente las variables de corriente, potencia consumida y gasto actual.

En la Figura 24 se observa una captura de la interfaz cliente cuando la lámpara está encendida.



Figura 26: Interfaz cliente

3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En el presente trabajo se desarrolla un prototipo para el Internet de las Cosas, el cual se puede adaptar de manera sencilla en el funcionamiento habitual de la iluminaria en cualquier vivienda o edificio inmótico. El módulo diseñado finalmente posee las siguientes especificaciones:

- Dimensiones totales: 73 x 72 x 40 mm, ancho, largo y alto respectivamente como puede observarse en el plano 3 sobre dimensiones de la carcasa.

- Consumo medio de 0,3 W a la hora del dispositivo, sin contar el consumo de carga.
- Dispone de cuatro interfaces, de las cuales dos se designan para potencia, conexión a la red eléctrica y conexión de carga respectivamente. Una tercera interfaz para conexión USB destinada a la programación del dispositivo y por último la interfaz restante queda albergada en el interior del dispositivo y se designa para la conexión de la batería.
- Posee una conectividad WiFi 2.4GHz 802.11b/g/n aportada por el módulo NodeMCU.
- Soporta sistemas de seguridad inalámbrica WPA y WPA2.
- Soporta tres modos de operación: STA/AP/STA+AP.
- Integra el protocolo TCP/IP.
- Dispone de una velocidad de proceso de la CPU de 80 MHz pudiendo expandirse a 160 MHz.
- Dispone de una memoria RAM de 128 Bytes.
- Dispone de una memoria ROM de 4 MBytes.

3.1 Instalación

Para la instalación del dispositivo en el interior de la vivienda y a su vez en el interior de la caja de derivación correspondiente a la sala con la iluminaria que se desee controlar, se deben realizar los siguientes pasos:

1. Se conecta el dispositivo a un ordenador a través del puerto de interfaz USB.
2. Para poder establecer conectividad por primera vez entre el dispositivo y el *router* de la red de área local de la vivienda se establecen en el código del programa las credenciales SSID y clave.
3. Una vez establecidas correctamente las credenciales se reinicia el dispositivo y automáticamente tras unos segundos se establece la conectividad entre el dispositivo y el *router*. En la Figura 27 se observa una captura del monitor serial de la herramienta Arduino.cc una vez que se produce la conectividad.
4. Se configura el *router*, abriendo los puertos correspondientes y se le asigna una dirección IP local deseada al dispositivo a partir de la dirección MAC de este.
5. Se conectan los terminales de red eléctrica y carga a través de las interfaces correspondientes y se alberga el dispositivo en el interior de la caja de derivación correspondiente a la iluminaria que se desee controlar.

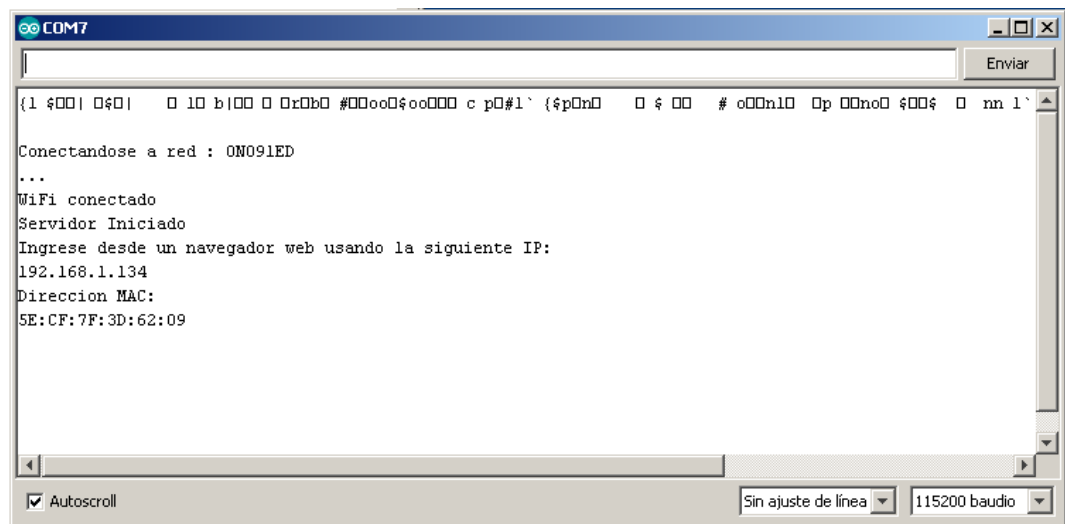


Figura 27: Monitor serial

3.2 Homologación y marcado CE

El diseño e implementación del prototipo se ha realizado bajo el cumplimiento de la legislación europea obligatoria en materia de requisitos esenciales. Lo que conlleva la posibilidad de comercialización del mismo bajo el sellado o marcado CE. El marcado CE es un proceso mediante el cual el fabricante del dispositivo informa a los usuarios y autoridades competentes de que el equipo comercializado cumple con la legislación vigente obligatoria en materia de requisitos esenciales. Es el fabricante el pleno responsable de los procedimientos de certificación del producto, el cual debe: garantizar el cumplimiento del producto con los requisitos esenciales de las Directivas de aplicación, firmar la Declaración CE de conformidad, elaborar la documentación o expediente técnico y fijar en el producto el sello con el marcado CE. Este sello es impreso en el producto por el fabricante una vez ha pasado los controles de calidad pertinentes y se ha realizado una evaluación de la conformidad. En la Figura 25 se observa las medidas obligatorias que ha de tener el sello de marcado CE. El marco normativo actual en materia de directivas específicas para el Hogar Digital dispone desde el 4 de Abril de 2011 las disposiciones legales y normativas de obligado cumplimiento en relación a productos y sistemas domóticos:

- Directivas europeas:
 - Directiva D.C. 2014/30/UE de Compatibilidad Electromagnética. Su objetivo es garantizar la seguridad y protección de las personas y equipos ante problemas causados por las perturbaciones electromagnéticas que provocan los dispositivos electrónicos [17].

- Directiva D.C. 2014/35/UE de Baja Tensión. Su finalidad es garantizar la seguridad y protección en el empleo de cualquier material eléctrico[18].
- Reglamento nacional:
 - Código Técnico de la Edificación (RD 314/2006). Su objetivo principal es garantizar la calidad en la edificación y promover la sostenibilidad e innovación. A pesar de que la domótica no es aún obligatoria en la construcción de edificaciones, colabora con el fin del CTE de conseguir edificios más eficientes desde el punto de vista energético, disminuyendo el consumo de energía.
 - Reglamento de Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones (RD 401/2003). Se debe cumplir en todas las edificaciones sujetas a la ley de propiedad horizontal y establece las especificaciones técnicas en materia de comunicaciones para el interior de los edificios con el fin de garantizar a los ciudadanos, el acceso a las telecomunicaciones. En el reglamento se recoge un anexo del 4 de Abril de 2011 publicado en el BOE Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de domótica y Hogar Digital en el interior de las edificaciones (RICT).
 - Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (RD 842/2002). Hasta el momento es el reglamento por excelencia para dirigir una instalación domótica contemplando ésta como una sección particular de instalación eléctrica. Se compone de 51 instrucciones entre las que se destaca la instrucción ITC-BT 51 "Instalaciones de sistemas de Automatización, gestión técnica de la energía y seguridad para viviendas y edificios" donde se indican los requisitos de una instalación domótica e inmótica.

A continuación se presentan las directivas aplicadas al desarrollo del prototipado con objeto de la obtención del marcado CE para comercialización del producto:

- Directiva europea (D.C. 2014/35/UE) de baja tensión LVD la cual se aplica al material eléctrico destinado a utilizarse con una tensión nominal comprendida entre 50 y 1.000 V en corriente alterna y entre 75 y 1.500 V en corriente continua[19].

- Directiva europea (D.C. 2014/30/UE) de compatibilidad electromagnética [20].
- Directiva europea (D.C. 2014/53/UE), establece un marco regulador para la comercialización y la puesta en servicio en la Unión de equipos radioeléctricos[21][20].
- Directiva europea (D.C. 2014/53/UE), de restricción uso de sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrodomésticos (ROHS) [22].

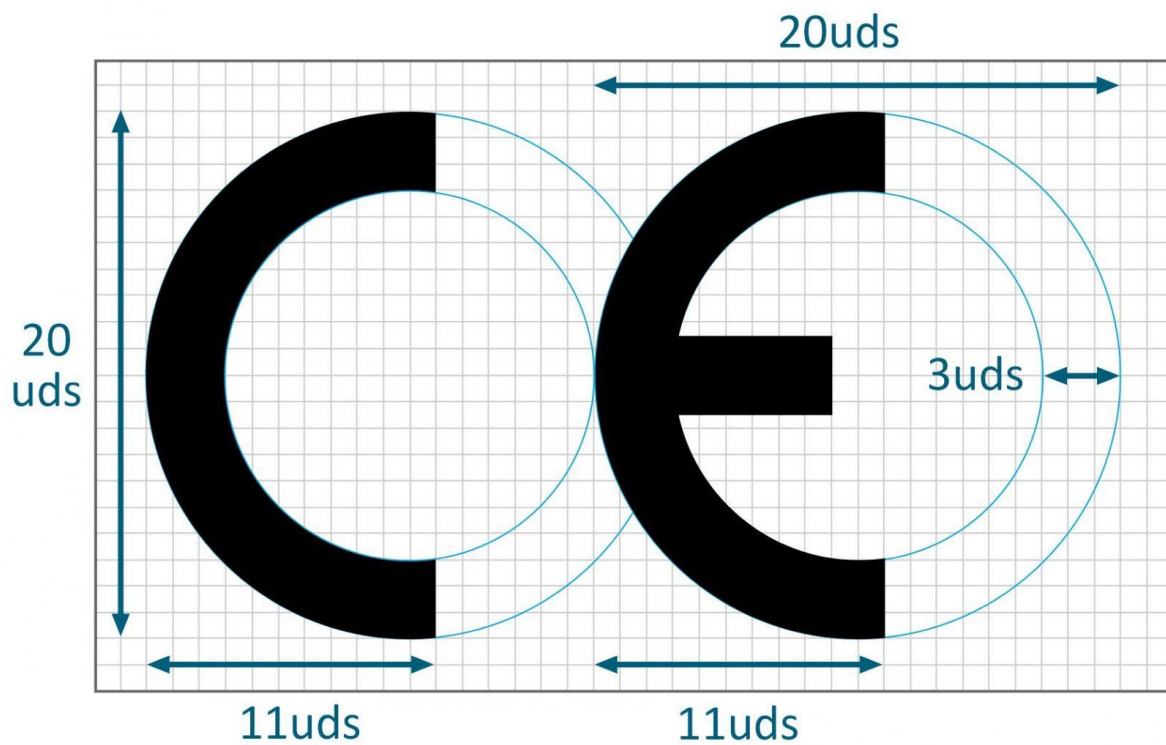


Figura 28: Diseño sello CE

Fuente: marcado-ce.com

3.3 Diagnóstico de pruebas y fallas

Con objeto de comprobar la robustez del dispositivo antes diversos fallos o situaciones de estrés, se realizan las siguientes pruebas:

3.3.1 Prueba 1. Servidor HTTP

Descripción: Con el dispositivo conectado y en funcionamiento habitual, se realizan una serie de peticiones HTTP cliente servidor por repetición.

Repeticiones: 10

Falla: El servidor implementado en el dispositivo reacciona adecuadamente a un número de peticiones por repetición no superior a 5.

3.3.2 Prueba 2. Error de operario

Descripción: Se somete el dispositivo a una falla de operario, la cual consiste en el intercambio erróneo de los terminales de carga (lámpara 60W) por los terminales de alimentación de corriente alterna.

Falla: El dispositivo permanece inalterado y sin fallas siempre que el interruptor interno de protección permanezca desconectado durante el error de operario.

3.3.3 Prueba 3. Suministro de energía

Descripción: Se somete el dispositivo a una falla en el suministro de energía, la cual consiste en desconectar la fuente de alimentación simulando una avería.

Falla: El dispositivo responde correctamente y con funcionamiento habitual ante una avería en la fuente de alimentación siempre que exista alimentación auxiliar por batería.

3.3.4 Prueba 4. Ruido eléctrico

Descripción: Se somete el dispositivo a una falla de ruido eléctrico, la cual consiste en medir el radio de cobertura inalámbrica así como el número de paquetes enviados y recibidos en una comunicación habitual del dispositivo ante ruido eléctrico generado a partir de un motor eléctrico de inducción trifásico de baja tensión muy próximo a éste.

Falla: Se reduce el radio de cobertura en aproximadamente 5 m y se pierde una media de 2 paquetes por petición HTTP.

3.3.5 Prueba 5. Potencia máxima

Descripción: Se somete el dispositivo a una prueba de capacidad la cual consiste en aumentar la potencia demandada en la carga con el objeto de determinar la capacidad de carga máxima capaz de controlar el dispositivo.

Falla: El dispositivo responde correctamente y con funcionamiento habitual ante cargas no superiores a 500 W.

3.3.6 Prueba 6. Tiempo máximo de funcionamiento con suministro por batería

Descripción: Se somete el dispositivo a una prueba de tiempo, la cual consiste en comprobar el tiempo que tarda el dispositivo en tener un error habitual en su funcionamiento cuando sólo existe suministro de energía por batería.

Falla: El dispositivo responde correctamente dentro de las 24 horas iniciales al cese de suministro eléctrico.

3.3.7 Prueba 7. Temperatura máxima

Descripción: Se somete el dispositivo a una prueba de temperatura, la cual consiste en aumentar la temperatura ambiental que rodea al prototipo con objeto de detectar errores o averías en su funcionamiento habitual.

Falla: El dispositivo permanece inalterado y sin averías dentro del rango de temperaturas no superiores a 60 grados centígrados, donde se detectaría inicialmente una avería en la batería de Litio-ion por sobrecalentamiento.

3.3.8 Prueba 8. Durabilidad

Descripción: Se somete el dispositivo a una prueba de durabilidad, la cual consiste en determinar la dureza del recubrimiento o carcasa que protege el circuito impreso.

Falla: La carcasa permanece inalterable ante compresión física no superior a 120 Kg/cm².

4 ESTUDIO ECONÓMICO

Se desarrolla a continuación un estudio económico del presente trabajo fin de grado, el cual se desglosa en el trabajo realizado y coste del prototipo.

4.1 Trabajo realizado

En la siguiente tabla se detallan las horas de trabajo desglosadas en las diferentes actividades desarrolladas en el desarrollo del presente trabajo fin de grado y la implementación del prototipo.

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Estudio de normativa y documentación	40,00 €	27 horas	1.080,00 €
Estudio de los diferentes módulos a utilizar	40,00 €	21 horas	840,00 €
Especificación de requisitos	40,00 €	21 horas	840,00 €
Diseño hardware	40,00 €	46 horas	1.840,00 €
Diseño software	40,00 €	49 horas	1.960,00 €
Construcción del esquema electrónico y pruebas	40,00 €	19 horas	760,00 €
Construcción placa de circuito impreso PCB	40,00 €	12 horas	480,00 €
Implementación del prototipo	40,00 €	26 horas	1.040,00 €
Diseño de la carcasa	40,00 €	23 horas	920,00 €
Diagnóstico y pruebas finales	40,00 €	16 horas	640,00 €
Redacción de la documentación	40,00 €	40 horas	1.600,00 €
		TOTAL	300 horas
			12.000,00 €

Tabla 2: Desglose del coste de las actividades realizadas en el trabajo fin de grado

4.2 Prototipo

Los costes están basados en precios unitarios de comercio minorista de los componentes y distintos módulos que componen el prototipo final llamado “SWITCH-IOT”. En la Tabla 2 se observa de izquierda a derecha, descripción del componente, precio unitario, cantidad y precio total.

Descripción	Precio unitario	Cantidad	Precio total
NodeMCU V3	4,00 €	1	4,00€
Batería de litio recargable 3,7V 1100 mA	4,20 €	1	4,20 €
ACS712 Sensor de Corriente 30 A	7,00 €	1	7,00 €
Fuente de alimentación 220V ~ / 5V--	2,10 €	1	2,10 €
TP4056 Cargador batería de litio	3,00 €	1	3,00 €
Resistencia ½ W	0,06 €	2	0,12 €
Condensador	0,15 €	1	0,15 €
Interruptor PCB	0,82 €	1	0,82 €
Bornes conexión PCB	0,60 €	3	1,80 €
Diodo LED rojo	0,50 €	1	0,50 €
Diodo 1N4007	0,20 €	2	0,40 €
Relé 5V	0,90 €	1	0,90 €
Triac BT136	0,70 €	1	0,70 €
Optoacoplador MOC3011	0,90 €	1	0,90 €
Picofusible 4 A	0,70 €	1	0,70 €
Placa de cobre circuito impreso 7 x 7,2 cm	2,10 €	1	2,10 €
Carcasa en PLA	2,00 €	1	2,00 €
SUBTOTAL			31,39 €
IVA			21 %
TOTAL			37,98 €

Tabla 3: Coste de implementación del prototipo.

El coste final total para el prototipo es de 37,98 € teniendo en cuenta que los precios y costes de estos componentes son variables dependiendo del proveedor. Para este estudio económico se han obtenido los precios a través de los siguientes distribuidores *online*: www.brielco.net, www.amazon.es y www.beltronica.es.

Se pueden recoger en este estudio dos posibles versiones o gama de producto más económicas en el dispositivo diseñado:

- Una versión carente de medidor de corriente, la cual, sólo ofrece la posibilidad del control de la lámpara así como su estado, sin información del consumo eléctrico ni del coste en tiempo real. Esta versión incluye también suministro auxiliar por batería. El coste con IVA incluido para esta versión es de 29.9 €.
- Una versión carente de suministro auxiliar por batería, la cual, ofrece la posibilidad de control de lámpara pero no la posibilidad de informar de su estado cuando no existe suministro habitual por red eléctrica. Esta versión incluye medidor de corriente, lo que satisface la información de consumo eléctrico y coste en tiempo real. El coste con IVA incluido para esta versión es de 29 €.
- Una versión carente de medidor de corriente y además sin suministro auxiliar por batería, lo que limitaría el dispositivo al control de lámpara. El coste con IVA incluido para esta versión es de 22 €.

Como resultado de este estudio económico se muestra a continuación el coste final del proyecto incluyendo trabajo realizado y prototipo:

El presupuesto total del presente trabajo fin de grado asciende a la cantidad de DOCE MIL TREINTA Y SIETE CON NOVENTA Y OCHO EUROS **(12.037,98) €**.

5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE FUTURO

Dado el presente trabajo fin de grado se proyectan diversas conclusiones en relación al grado de desarrollo de la tecnología Internet de las Cosas (IoT) y su progresiva evolución hacia el Internet de Todo donde todos los dispositivos estén conectados globalmente y funcionen de manera inteligente y centralizada.

El Internet de las Cosas se está desarrollando desde hace una década cuando el número de dispositivos conectados superó al número de personas. Aún es una tecnología emergente posicionada en la cresta de expectación del diagrama de Gartner como se muestra en la Figura 29. A medida que crezca el número de dispositivos conectados y la credibilidad de la tecnología para aumentar la productividad en los sectores económicos comenzará a consolidarse y establecerse en el día a día de las personas.

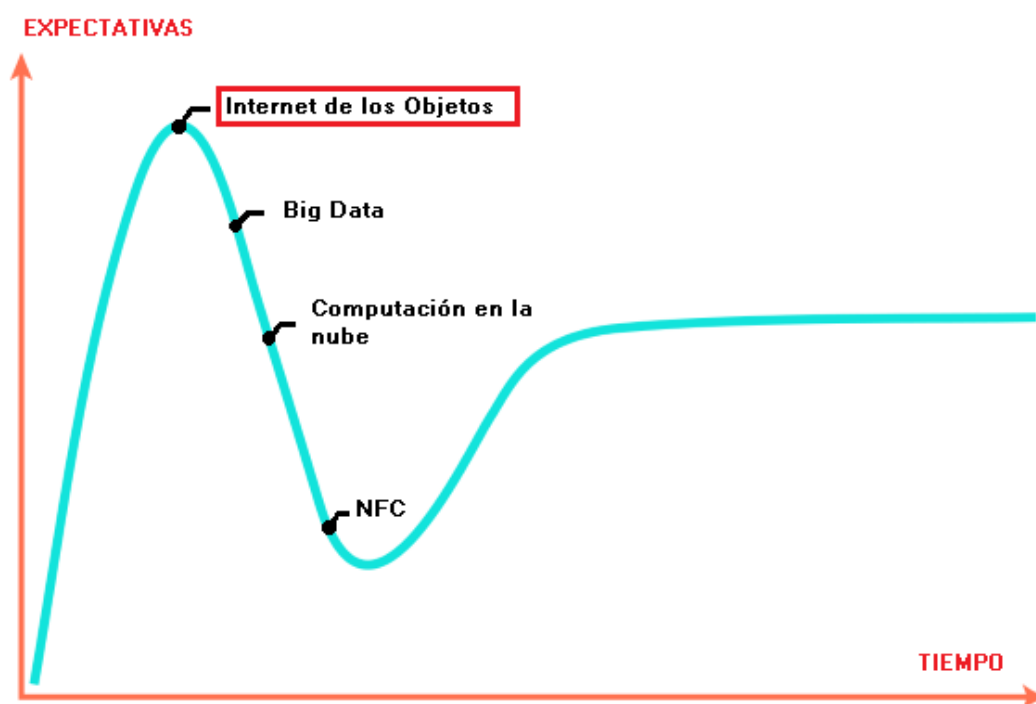


Figura 29: Diagrama de Gartner

En este trabajo se ha desarrollado un prototipo sencillo de bajo coste para Internet de las Cosas con objeto de ayudar a la inmersión de la tecnología en el Hogar, tanto en las viviendas o edificios de nueva construcción como en los actuales o más antiguos. Y con ello demostrar la capacidad de la tecnología en facilitar y optimizar tareas sencillas en el hogar como el control de iluminaria.

Ha sido desarrollado bajo los criterios de un trabajo fin de grado condicionando así tiempo de procesos y coste de materiales, por lo que el dispositivo es susceptible a

numerosas mejoras así como una reducción significativa de costes en función de distintos proveedores de material y volumen de compra.

Se ha logrado cumplir con todos los objetivos establecidos en la propuesta de trabajo consiguiendo con ello:

- Conocer la normativa aplicable para la instalación en la red eléctrica de una vivienda de un dispositivo con comunicación inalámbrica dentro del paradigma de la Internet de los Objetos (IoT).
- Desarrollar un prototipo funcional capaz de interactuar con una lámpara convencional así como informar del estado y el coste en tiempo real.

Además se ha logrado que el dispositivo desarrollado cuente con:

- Un sistema robusto ante posibles fallos.
- Un sistema escalable consiguiendo con ello controlar diversas iluminarias simultáneamente en una misma instancia, así como, la posibilidad de controlar toda la iluminaria de una vivienda instalando en cada una de las cajas de derivación este dispositivo.

Como se mencionó anteriormente la tecnología del Internet de las Cosas se encuentra en continuo desarrollo y evolución para conectar el mayor número de dispositivos posible. Actualmente existe una media de cinco dispositivos conectados a Internet por persona, siendo éstos comúnmente, *smartphone*, tabletas, smartwatch, televisión y ordenador. Pero este número aumenta de manera considerable a medida que se desarrollan nuevos dispositivos conectados o se modifican objetos convencionales para conectarse a Internet.

El objetivo de esta tecnología no es sólo conectar de forma independiente cada dispositivo a Internet para que el usuario pueda controlarlo de manera inalámbrica y desde cualquier lugar. El Internet de las Cosas va un paso más allá en la comodidad personal y pretende formar con estos objetos conectados una red inteligente, distribuida y centralizada donde cada objeto se comunique con otros objetos de la red y tomen decisiones entre sí. Esto hará que la interacción humana con los dispositivos inteligentes sea la mínima posible.

En el ámbito del hogar digital, esta inteligencia distribuida de los objetos conseguirá automatizar por completo cualquier actividad en el hogar facilitando la vida y ahorrando bastante tiempo a los usuarios.

La conectividad de los objetos entre sí el hogar se hará en su mayoría vía WiFi como el prototipo desarrollado en este trabajo fin de grado pero también se están desarrollando

tecnologías como *Bluetooth* en su versión 4.0 donde se consiguen mayores prestaciones en el consumo de energía, tasa de transferencia y alcance.

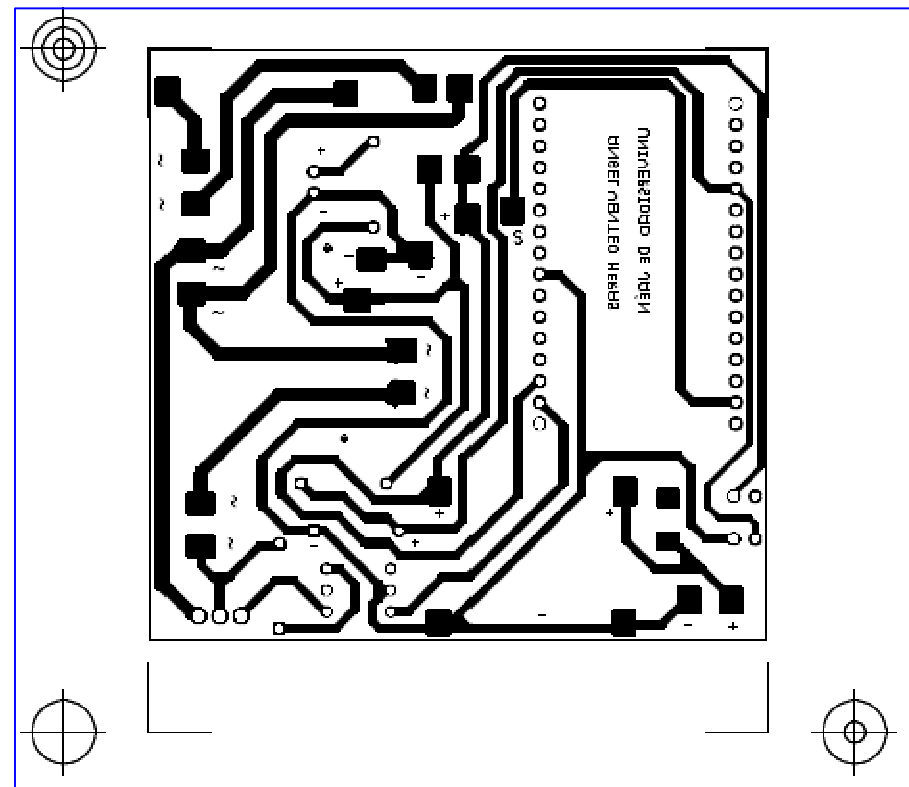
Toda esta conectividad centralizada juega un papel importante y a su vez ayuda paralelamente al desarrollo de tecnologías como *BigData* donde a medida que se obtengan grandes cantidades de datos a partir de estos objetos y sensores conectados se podrá conocer información adicional y con ello tomar decisiones importantes.

5.1 Líneas de futuro

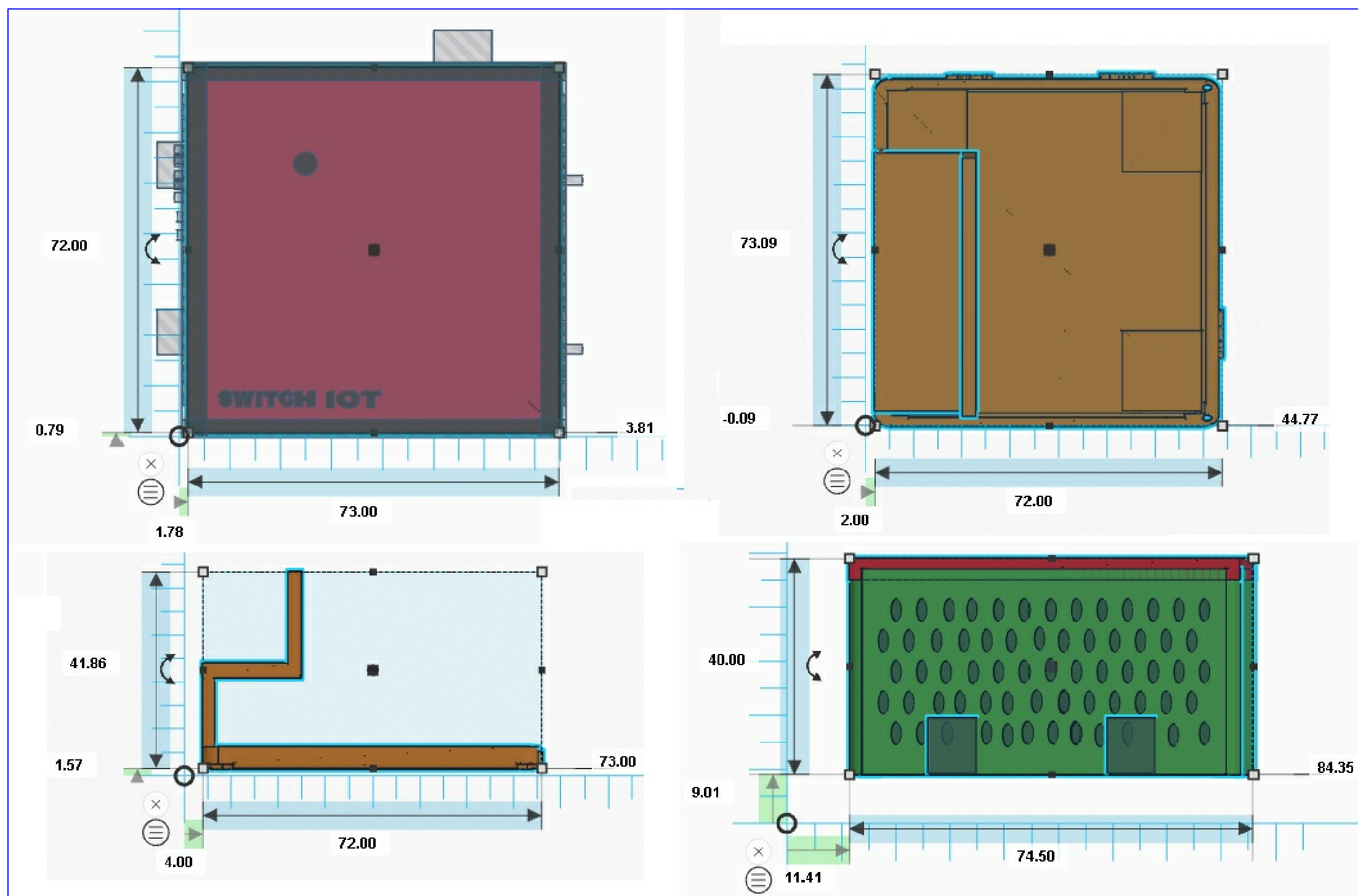
Con objeto de mejorar y dotar aún más al prototipo desarrollado en este trabajo se muestran a continuación algunas de las posibles mejoras a adoptar:

- Incorporar un control manual (interruptor) para desarrollar la función básica de encendido y apagado de la lámpara independientemente del estado o situación del dispositivo.
- Incorporar en el dispositivo varias etapas de potencia así como adecuar la interfaz software de usuario para el control de distintas cargas de forma independiente cada una e incluso en instancias diferentes en el hogar.
- Conseguir reducir aún más el tamaño del dispositivo centrándose en módulos y circuitos impresos más pequeños, así como, distribuir de manera diferente éstos módulos con objeto de cambiar la forma del dispositivo.
- Incorporar baterías de mayor capacidad con objeto de aumentar la autonomía del dispositivo cuando no existe suministro de energía por red eléctrica.
- Modificar el código programado en el dispositivo, así como, incorporar algunas librerías especiales con objeto de crear la posibilidad de programar el dispositivo vía OTA de forma inalámbrica. Y evitar así la conexión por cable vía USB para modificar parámetros de software y pequeñas modificaciones del código de programación.
- Creación de una interfaz web respaldada por la programación del dispositivo de forma inalámbrica vía OTA. Esta interfaz tiene por objeto la inclusión de las credenciales WiFi del *router* en la programación inicial del dispositivo, además se le incorpora un botón de *reset* para el reinicio del dispositivo de forma inalámbrica.

6 PLANOS



	Fecha	Nombre	Firma:	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA
Dibujado	11/06/2017	Angel Venteo Heras		
Comprobado				
id.s.normas				
Escala:	TRABAJO FIN DE GRADO DESARROLLO DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE INTERRUPTOR DE CORRIENTE PARA INTERNET DE LOS OBJETOS			Plano n.
1/1				2 - PCB
				N. Alumno: Angel Venteo Heras
				Curso: 2016 - 2017



	Fecha	Nombre	Firma:	ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE LINARES GRADO EN INGENIERÍA TELEMÁTICA
Dibujado	11/07/2017	Angel Venteo Heras		
Comprobado				
id. s. normas				
Escala:	TRABAJO FIN DE GRADO DESARROLLO DE UN PROTOTIPO FUNCIONAL DE INTERRUPTOR DE CORRIENTE PARA INTERNET DE LOS OBJETOS			Plano n.
1/1				3 - Dimensiones
				N. Alumno: Angel Venteo Heras
				Curso: 2016 - 2017

7 ANEXOS

7.1 Anexo I. Componentes empleados y hoja de características

- **NodeMCU (ESP8266).** Módulo controlador WiFi. Hoja de características disponible en: <<http://download.arduino.org/products/UNOWIFI/0A-ESP8266-Datasheet-EN-v4.3.pdf>>
- **ACS712.** Medidor de corriente 30 A. Hoja de características disponible en: <<https://www.allegromicro.com/~media/files/datasheets/acs712-datasheet.ashx>>
- **TP4056.** Módulo cargador batería de Litio-ion. Hoja de características disponible en: <<https://dlmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>>
- **MOC3011.** Optoacoplador por triac. Hoja de características disponible en: <<http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/197004/TI/MOC3011.html>>
- **BT136.** Triac. Hoja de características disponible en: <<http://pdf1.alldatasheet.es/datasheet-pdf/view/16751/PHILIPS/BT136.html>>
- **RELÉ.** Relé 5 V. Hoja de características disponible en: <http://www.tme.eu/es/Document/77bd9e2512b3274f44f925eebfe4d904/rsy_series.pdf>

8 REFERENCIAS

- [1] CISCO. Introducción a Internet de Todo [Consulta: 6 julio 2017]. Disponible en:
< <https://static-course-assets.s3.amazonaws.com/IoE11/ES/index.html#1.0.1.1> >
- [2] CISCO. Introducción a Internet de Todo [Consulta: 6 julio 2017]. Disponible en:
< <https://static-course-assets.s3.amazonaws.com/IoE11/ES/index.html#1.3.3.3> >
- [3] JUNESTRAND, Stefan; PASSARET, Xavier; VÁZQUEZ, Daniel. *Domótica y hogar digital*. Editorial Paraninfo, 2004.
- [4] ITU. Normas para integrar la Internet de las cosas en ciudades inteligentes. [Consulta: 10 julio 2017]. Disponible en:
<http://www.itu.int/net/pressoffice/press_releases/2015/22es.aspx#.WWO1hITyZ5>
- [5] DEECAM. Seguridad en el Hogar Digital [Consulta: 7 julio 2017]. Disponible en: < http://www.3m.com.es/3M/es_ES/empresa-es/#pBus >
- [6] LOCKITRON. Cerraduras Digitales [Consulta: 7 julio 2017]. Disponible en:
<<https://lockitron.com/>>
- [7] HAPI. HaPIfork [Consulta: 7 julio 2017]. Disponible en:
<<https://www.hapi.com/product/hapifork>>
- [8] CHACON. Chacon domótica [Consulta: 8 julio 2017]. Disponible en:
< <https://www.chacon.be/es/19-domotica> >
- [9] KNX. Estándar domótica [Consulta: 13 julio 2017]. Disponible en:
< <https://www.knx.org/knx-es/knx/associacion/mision-objetivos/index.php> >
- [10] INTEL. Plataforma Edison [Consulta: 21 julio 2017]. Disponible en:
<<https://software.intel.com/es-es/iot/hardware/edison>>
- [11] KIT NodeMCU. Plataforma GITHUB [Consulta: 9 julio 2017]. Disponible en: <<https://github.com/nodemcu/nodemcu-devkit>>
- [12] NATIONAL INSTRUMENT. Ultiboard [Consulta: 21 julio 2017]. Disponible en: <www.ni.com/ultiboard/>
- [13] TINKERCAD. Plataforma diseño 3D [Consulta: 21 julio 2017]. Disponible en: <<https://www.tinkercad.com/>>
- [14] CONTROLADOR CH34X. Plataforma GITHUB [Consulta: 12 julio 2017]. Disponible en: <<https://github.com/nodemcu/nodemcu-devkit/tree/master/Drivers>>

- [15] FLASHER ESP8266. Plataforma GITHUB [Consulta: 12 julio 2017]. Disponible en: < <https://github.com/nodemcu/nodemcu-flasher> >
- [16] IDE ARDUINO. Software Arduino [Consulta: 12 julio 2017]. Disponible en: < <https://www.arduino.cc/en/Main/Software> >
- [17] ESPAÑA, BOE. Directiva 2014/35/UE de 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de comercialización de material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión, p. 357 a 374. Disponible en: <<http://www.boe.es/doue/2014/096/L00357-00374.pdf>>
- [18] ESPAÑA, BOE. Directiva 2014/30/UE de 26 de febrero de 2014 sobre la armonización de las legislaciones de los Estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética (refundición), p. 79 a 106. Disponible en: <<http://www.boe.es/doue/2014/096/L00079-00106.pdf>>
- [19] ESPAÑA, DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA. Directiva 2014/53/UE de 16 de abril de 2014 relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos radioeléctricos, y por la que se deroga la Directiva 1999/5/CE, p. 62 a 106. Disponible en: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0053&from=EN>>
- [20] ESPAÑA, DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA. Directiva 2011/65/UE de 8 de junio de 2011 sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, p. 88 a 110. Disponible en: <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:174:0088:0110:ES:PDF>>
- [21] ESPAÑA, DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA. Directiva 2014/53/UE de 16 de abril de 2014 relativa a la armonización de las legislaciones de los Estados miembros sobre la comercialización de equipos radioeléctricos, y por la que se deroga la Directiva 1999/5/CE, p. 62 a 106. Disponible en: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0053&from=EN>>
- [22] ESPAÑA, DIARIO OFICIAL DE LA UNIÓN EUROPEA. Directiva 2011/65/UE de 8 de junio de 2011 sobre restricciones a la utilización de

determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos, p. 88 a 110. Disponible en: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:174:0088:0110:ES:PDF>