

Grado Universitario en Ingeniería en Tecnologías
Industriales
2018-2019

Trabajo Fin de Grado

“Diseño e implementación de un sistema de control de puerta”

Daniel Reyes Pareja

Tutora

Cristina Fernández Herrero

Leganés, 2019



Esta obra se encuentra sujeta a la licencia Creative Commons
Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada

RESUMEN

Este proyecto recoge todo el proceso llevado a cabo para la implementación de un circuito electrónico de control que mediante energía solar renovable y un convertidor de tensión CC/CC alimenta un pestillo eléctrico integrado en el sistema. El circuito se completa junto con un sensor de identificación por radiofrecuencia y un microcontrolador que permiten accionar el pestillo a placer.

Aparte de la implementación, son de relevante importancia los procesos de estudio y diseño del circuito de control, planteando distintas soluciones dentro del marco de la IoT y de la domótica de viviendas. La aportación técnica de este proyecto es el estudio y búsqueda de una fuente de alimentación de energía alternativa para el entorno IoT.

Finalmente, se recogen los resultados de dicho estudio, diseño e implementación y se elaboran una serie de conclusiones relativas a los objetivos, siendo estas realmente positivas ya que la implementación del sistema funciona perfectamente.

Palabras clave: Arduino; Sensor de radiofrecuencia; Convertidor elevador; Captación de energía solar

DEDICATORIA

Quería agradecer a mi familia el apoyo incondicional que han mostrado durante esta etapa universitaria, especialmente a mi padre, Juan Carlos Reyes, y a mi madre, Marisol Pareja. Sin su esfuerzo y ejemplo constante no habríamos podido llegar al punto en el que nos encontramos mis hermanos, Alejandro y Rubén, y yo en el día de hoy. Estamos muy agradecidos de igual forma a nuestro tío Francisco José Pareja, que siempre ha mostrado todo su interés por nuestro bienestar.

Agradecer también a mis compañeros del grado universitario, con los que he podido completar los estudios y ahondar una fuerte amistad con muchos de ellos. Sin su colaboración no habría resultado tan amena e interesante la carrera universitaria.

Por último, hacer mención del esfuerzo y dedicación de mi tutora del TFG, Cristina Fernández, que, aun habiendo pasado por malos momentos personales, continuó ofreciendo su ayuda y disponibilidad a mi servicio.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	Contexto y motivación del trabajo	1
1.2.	Objetivos	2
1.3.	Planificación y desarrollo	2
1.4.	Normativa y reglamentación	3
2.	ESTADO DEL ARTE	4
2.1.	Situación actual del sector de la domótica, el Internet de las Cosas y las energías renovables	4
2.2.	Análisis de materiales del proyecto	5
2.2.1	Captadores de energías renovables	5
2.2.2.	Baterías	7
2.2.3.	Convertidores de tensión	9
2.2.3.1.	Convertidor Reductor (Buck)	10
2.2.3.2.	Convertidor Elevador (Boost)	12
2.2.3.3.	Convertidor Reductor-Elevador (Buck-Boost)	13
2.2.5.	Sensores	13
2.2.5.1.	Sensores de identificación por radiofrecuencia (RFID)	15
2.2.5.2.	Sensores de humedad	15
2.2.5.3.	Sensores de nivel de agua	16
2.2.6.	Actuadores	17
2.2.7.	Microcontroladores	17
2.2.7.1.	Arduino Uno R3	18
2.2.7.2.	Raspberry Pi 3 Modelo B+	19
2.2.7.3.	Tiva-C LaunchPad EK-TM4C123GXL	19
3.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
3.1.	Requisitos del diseño	21
3.2.	Soluciones propuestas	22
4.	SOLUCIÓN PROPUESTA	23
4.1.	Solución elegida para implementar	23
4.2.	Componentes seleccionados	24
4.2.1.	Microcontrolador Arduino Uno R3	24
4.2.2.	Sensor RFID RC522	25

4.2.3.	Actuador Pestillo Eléctrico.....	26
4.2.4.	Relé	27
4.2.5.	Panel Solar	27
4.2.6.	Regulador de Carga TP4056	28
4.2.7.	Batería LiPo 3,7V.....	29
4.2.8.	Convertidor CC/CC Elevador “Boost”	29
4.3.	Código programado	30
5.	IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS	32
5.1.	Implementación del proyecto.....	32
5.2.	Resultados de las pruebas	35
6.	CONCLUSIONES	36
6.1.	Consecución de objetivos	36
6.2.	Futuras ampliaciones	37
7.	ENTORNO SOCIOECONÓMICO	38
7.1.	Presupuesto de la elaboración	38
7.1.1.	Costes humanos	38
7.1.2.	Costes materiales	38
7.1.3.	Coste total del TFG	39
7.2.	Impacto socioeconómico	39
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40
9.	REFERENCIAS DE FIGURAS	42
10.	ANEXO A	44
11.	ANEXO B.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total) de la Agencia Internacional de la Energía [19]	1
Figura 2.1. Numero de dispositivos de la IoT en el mundo a lo largo de los años [20]...	4
Figura 2.2.: Generador piezoeléctrico [21].....	5
Figura 2.3.: Panel solar fotovoltaico [22]	6
Figura 2.4.: Funcionamiento de una batería [23].....	7
Figura 2.5.: Baterías Li-Ion vs. Li-Po [24]	8
Figura 2.6.: Ejemplo de convertidor conmutado [25]	9
Figura 2.7.: Ejemplo de convertidor lineal [25]	10
Figura 2.8.: Convertidor Buck [26]	10
Figura 2.9.: Transistor encendido y diodo apagado [26].....	11
Figura 2.10.: Transistor apagado y diodo encendido [26].....	11
Figura 2.11.: Convertidor Boost [27]	13
Figura 2.12.: Convertidor Buck-Boost [28].....	13
Figura 2.13.:Tipos de sensor [29].....	14
Figura 2.14.: Logo RFID representativo de una etiqueta transpondedor [30].....	15
Figura 2.15.: Sensor de humedad de suelo [31]	16
Figura 2.16.: Tipos de sensor de nivel [32]	16
Figura 2.17.: Diagrama de un microcontrolador [33].....	17
Figura 2.18.: Arduino Uno R3 [34]	18
Figura 2.19.: Raspberry Pi 3 Modelo B+ [35].....	19
Figura 2.20.: Tiva-C Launchpad TM4C123GXL [25]	20
Figura 3.1.: Estructura de un sistema automático de control [36]	21
Figura 4.1.: Diagrama de flujo del proyecto a implementar.....	23
Figura 4.2.: Arduino Uno R3 seleccionado	24
Figura 4.3.: Alimentador para Arduino Uno R3.....	25
Figura 4.4.: Sensor RFID RC522	25
Figura 4.5.: Tarjeta y llavero chip RFID	26
Figura 4.6.: Pestillo eléctrico de 12V	26
Figura 4.7.: Relé de 5V.....	27
Figura 4.8.: Panel Solar	28
Figura 4.9.: Regulador de Carga TP4056	28
Figura 4.10.: Batería LiPo 3,7V	29
Figura 4.11.: Convertidor CC/CC Elevador	30
Figura 5.1.: Resultado final del circuito conectado	333
Figura 5.2.: Diagrama completo del conexionado del proyecto.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1.: PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO POR SEMANAS Y MESES	3
TABLA 2.1.: ESPECIFICACIONES EXTRA DEL ARDUINO UNO R3	18
TABLA 2.2.: ESPECIFICACIONES EXTRA DEL TIVA-C LAUNCHPAD TM4C123GXL	20
TABLA 5.1.: RELACIÓN DE CONEXIÓN DE CABLEADO ENTRE EL RFID Y EL ARDUINO.....	322
TABLA 5.2.: MEDIDAS TOMADAS EN EL CONVERTIDOR ELEVADOR	355
TABLA 7.1.: COSTES HUMANOS DEL TFG	388
TABLA 7.2.: COSTES MATERIALES DEL TFG	399

LISTA DE ABREVIATURAS

RFID	Sensor de Identificación por Radiofrecuencia
IoT	Internet Of Things
NFC	Near Field Communication
CC	Corriente Continua
CA	Corriente Alterna
MCC	Modo de Conducción Continua
PWM	Pulse Width Modulation
PC	Personal Computer
UC3M	Universidad Carlos III de Madrid
TFG	Trabajo de Fin de Grado
ECTS	Sistema Europeo de Transferencia de Créditos

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se ofrecerá una visión general del proyecto, explicando la motivación inicial detrás de la idea y los objetivos que se pretenden alcanzar con su realización.

1.1. Contexto y motivación del trabajo

Las nuevas tecnologías y, en concreto la rama de la electrónica, no dejan de ser investigadas y de desarrollarse cada día. Actualmente existe ya una gran variedad de sistemas electrónicos que controlan automáticamente muchos aspectos de nuestros entornos como, por ejemplo, los sistemas de riego automático o los sistemas de iluminación por cercanía. En general, todos estos sistemas mejoran la calidad de vida mediante la simplificación y automatización de ciertas tareas que realizamos los seres humanos a diario. Todo ello conlleva un ahorro de tiempo y energía que se puede aprovechar en otros procesos.

Por otra parte, el planeta en el que vivimos ha sufrido un gran impacto medioambiental causado por el hombre desde el inicio de los tiempos. Uno de los grandes problemas es el consumo de combustibles fósiles que dañan la atmósfera y al medioambiente con sus gases. Además de estar acabándose la reserva mundial, se trata de unos recursos que no existen en todas las partes del mundo. Por ello, una de las razones del desarrollo de este proyecto es la alimentación del sistema mediante energías renovables a las que todo el mundo puede acceder de forma más sencilla y sin contaminar tanto el medioambiente en el que convivimos todos los seres vivos. [1]

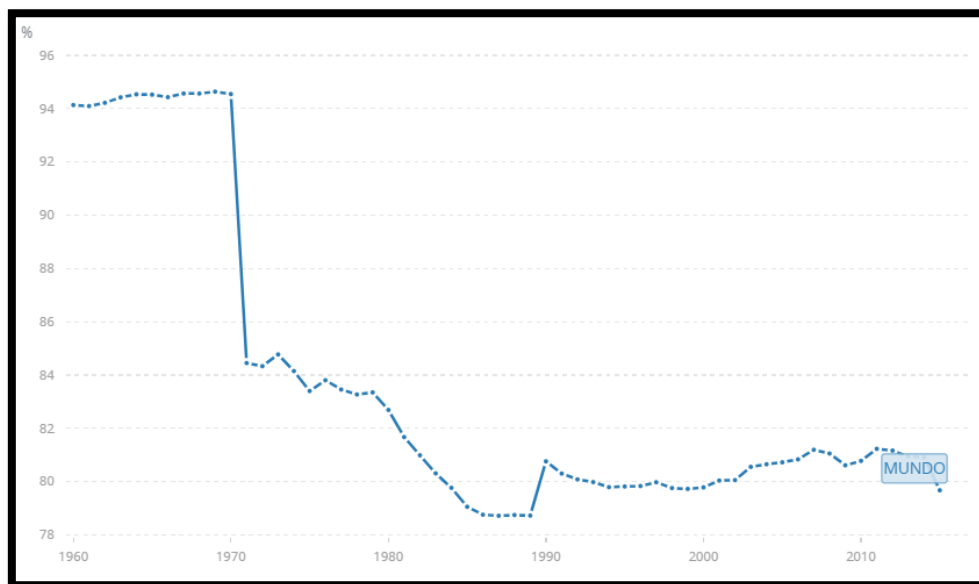


Figura 1.1: Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total) de la Agencia Internacional de la Energía [19]

Otra de las principales razones del desarrollo del proyecto es que se encuentra al alcance de todo aquel que pueda estar interesado. Se trata de un proyecto no muy complicado de replicar para el uso personal en domicilios particulares y que además

supondría un ahorro de costes con respecto a los productos completados que venden grandes empresas de domótica y del “Internet de las Cosas”.

1.2. Objetivos

El objetivo de este proyecto es el de montar un circuito electrónico con un sensor y un actuador alimentados por energías renovables mediante convertidores de voltaje, que pueda ser monitorizado por un microcontrolador. El circuito debe ser viable en cuanto a su dificultad y económicamente hablando, para poder ser instalado en cualquier vivienda.

A pesar de ser esta la idea principal, el proyecto tiene varios objetivos subyacentes para alcanzar esa meta final, entre los cuales se encuentra la fase de estudio del mercado actual, el diseño del hardware final, y la programación del microcontrolador utilizando un software adecuado.

Por tanto, los objetivos subyacentes podrían resumirse en los siguientes puntos o fases, ordenadas cronológicamente:

1. Estudio de las formas de captación de energía renovable posibles y de fuentes de energía para alimentar el hardware incluso en situaciones desfavorables de captación de energía
2. Estudio acerca de los convertidores de voltaje en el rango determinado del proyecto para alimentar actuadores del IoT
3. Estudio de los microcontroladores del mercado actual para encontrar el más adecuado y aprendizaje del lenguaje de programación
4. Investigación de las distintas posibilidades de proyectos de domótica aplicables
5. Diseño del hardware siguiendo los requisitos y especificaciones
6. Diseño del software para el microcontrolador
7. Implementación
8. Comprobación del correcto funcionamiento del circuito de acuerdo con los requisitos que se buscaban
9. Mediciones con pruebas reales en el circuito para adquirir datos y resultados

1.3. Planificación y desarrollo

A continuación, se presenta la planificación en la que se han tomado los objetivos del epígrafe anterior como tareas de un proyecto y se han ilustrado en la TABLA 1.1 con el tiempo que se ha empleado en cada una de ellas sombreado de negro.

- Tarea 1: Estudio acerca de la IoT, la domótica, los sistemas de captación de energías renovables y de los convertidores de voltaje
- Tarea 2: Estudio y aprendizaje del microcontrolador a utilizar y su lenguaje de programación
- Tarea 3: Diseño de la idea final del proyecto
- Tarea 4: Desarrollo del software a utilizar en el microcontrolador
- Tarea 5: Compra de los componentes del proyecto
- Tarea 6: Implementación del hardware y software
- Tarea 7: Pruebas

TABLA 1.1.: PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO POR SEMANAS Y MESES

	Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Septiembre			
Tarea 1																								
Tarea 2																								
Tarea 3																								
Tarea 4																								
Tarea 5																								
Tarea 6																								
Tarea 7																								

1.4. Normativa y reglamentación

En este apartado se listarán las normativas y regulaciones que se apliquen a este proyecto en concreto, las cuales se han tenido en cuenta para realizarlo de forma legal y segura.

- Normativa particular de la Universidad Carlos III de Madrid para la realización del TFG y para la utilización de sus laboratorios del departamento de electrónica
- Reglamento electrotécnico para baja tensión e instrucciones técnicas complementarias (ITC) aprobado por real decreto 842/2002, de 2 de agosto
- Reglamento (UE) 2016/679 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de abril de 2016 para la protección de datos del usuario final y de la información de la IoT
- AENOR EA0026: 2006 Instalaciones de sistemas domóticos en viviendas. Prescripciones generales de instalación y evaluación. Normativa a nivel nacional de la Asociación Española de Normalización.

2. ESTADO DEL ARTE

En este capítulo se comenta la situación actual y los últimos avances en la técnica relacionados a este proyecto. Se ha realizado un estudio extensivo para poder partir de una base de conocimiento previa y comprender de manera más global cuales son los componentes del circuito y en cómo afecta cada una de sus características tecnológicas.

2.1. Situación actual del sector de la domótica, el Internet de las Cosas y las energías renovables

La domótica podría ser definida como un sistema o conjunto de técnicas que sirven para automatizar y gestionar viviendas, pudiendo controlar la climatización, la iluminación o la seguridad entre otras muchas opciones. Además del ahorro de tiempo logrado por automatizar estas tareas cotidianas, supone también un ahorro de energía que conlleva a un ahorro económica a pesar de necesitar una inversión inicial. “Según las previsiones, en unas **dos décadas la cifra de viviendas con domótica instalada crecerá hasta un 60%** ” [2]

Por otro lado, el “Internet de las Cosas” (abreviado como IoT) es un nombre que se le da a la red digital que conecta objetos cotidianos mediante internet. Funciona con la ayuda de microcontroladores y objetos inteligentes que pueden recopilar información con sensores, transmitirla a internet y recibir datos para actuar en la realidad.

Estos dos conceptos están estrechamente relacionados y ambos son sectores en los que hay avances a diario con una gran inversión en investigación y desarrollo. Un simple ejemplo que relaciona el IoT y la domótica es el de los termostatos que envían información acerca de la temperatura y energía consumida, y regulan la temperatura de una vivienda según esos datos que recibe.

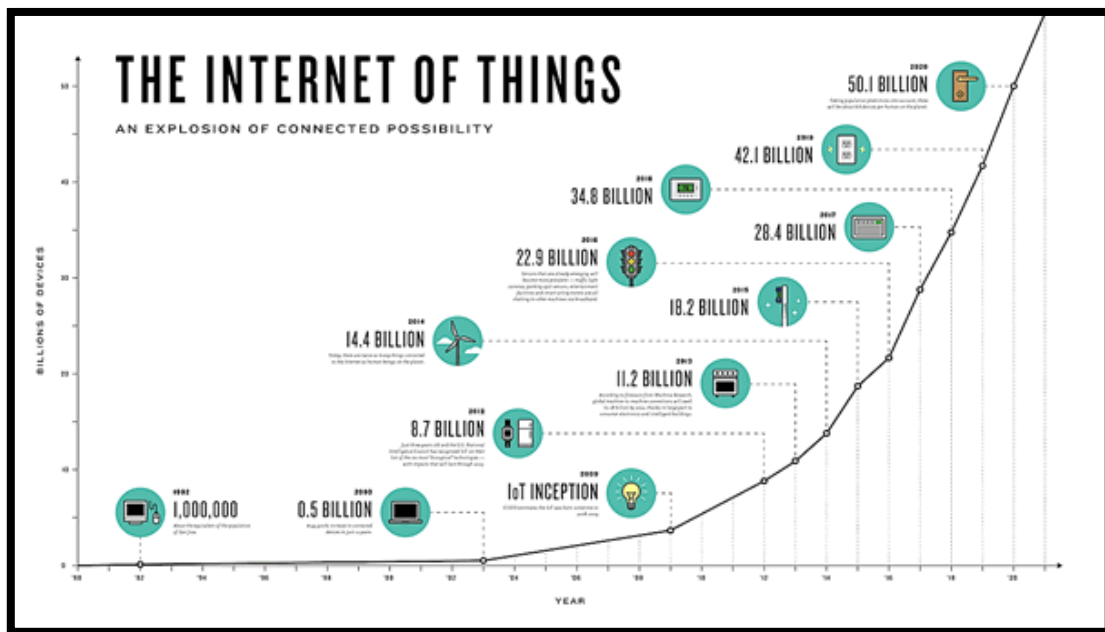


Figura 2.1. Numero de dispositivos de la IoT en el mundo a lo largo de los años [20]

Por último, considerando el cambio climático y el aumento de los niveles de contaminación, la sociedad global está planteando de cara al futuro, como uno de los puntos principales, el aprovechamiento de las energías renovables para sustituir la del consumo de combustibles fósiles. El gran inconveniente que tienen estas fuentes de energía es que son muy variables, pero junto con un sistema de la IoT que pueda monitorizar y actuar de forma remota supondría un sistema ideal que sepa cuando actuar. [3]

2.2. Análisis de materiales del proyecto

En este apartado se ofrece tanto un resumen de las características de los principales componentes que se van a utilizar en el proyecto.

2.2.1 Captadores de energías renovables

Para este tipo de proyectos de electrónica de bajo consumo existen distintos tipos de generadores o captadores de energía, que aprovechan energías renovables o ilimitadas en vez de utilizar la red eléctrica de distribución. Es realmente importante seleccionar una buena fuente de energía ya que puede determinar el completo funcionamiento o no del circuito.

Una opción de alimentar a bajo consumo un circuito electrónico es el de utilizar un piezoeléctrico. Se trata de un material que genera un voltaje cada vez que se deforma. El único inconveniente con este tipo de energía es que necesita estar deformando constantemente el material, por lo que no se podría automatizar el proyecto sin una fuente de energía externa.

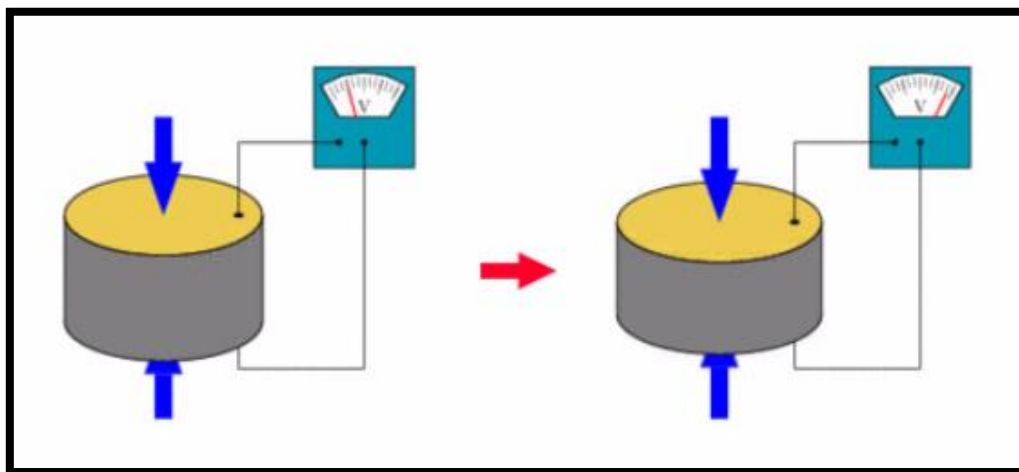


Figura 2.2.: Generador piezoeléctrico [21]

Por otro lado, y ya siendo más reconocidos, están los captadores de energía solar, geotérmica y eólica entre otras. A pesar de todos los avances tecnológicos en la última década de desarrollo renovable, la venta al por menor de estos captadores de energía es

prácticamente en su totalidad de paneles solares (excluyendo algún vendedor de turbinas eólicas).

Dentro de la categoría de los paneles solares podemos encontrar dos subgrupos: los térmicos y los fotovoltaicos. Los paneles térmicos tienen como principal función la de calentar un fluido, para lo que requieren tubos de gran tamaño por donde fluya el líquido. Las placas fotovoltaicas pueden ser de tamaños mucho menores y aprovechan la absorción de fotones de luz para emitir después electrones y crear una corriente eléctrica de este modo. [4]



Figura 2.3.: Panel solar fotovoltaico [22]

Estos paneles solares fotovoltaicos se pueden dividir en tres subcategorías según el material del que están compuestos [5]:

- Silicio **monocristalino**: cristales muy puros con la mayor eficiencia, pero derrochando bastante silicio en la formación de láminas, haciéndolas realmente caras
- Silicio **policristalino**: tienen impurezas debido a la técnica de moldeo de los cuadrados y como consecuencia reducen la eficiencia. Se requiere un tamaño mayor de panel para alcanzar el mismo rendimiento que una placa monocristalina
- Silicio **amorfo**: incluso con menor rendimiento que los cristalinos, aunque resultan ser mucho más baratos. Se forman depositando una capa de silicio sobre acero.

2.2.2. Baterías

Las baterías o pilas son dispositivos capaces de convertir energía química en eléctrica mediante un proceso químico. Almacenan la energía y la liberan en forma de corriente continua y de forma controlada. [6]

Funcionan como una fuente de alimentación eléctrica que normalmente al descargarse debe ser reemplazada, como por ejemplo en el caso de baterías para linternas o mandos a distancia (también denominadas celdas primarias). A pesar de ello, hay ciertos tipos de batería (las celdas secundarias) que pueden ser recargadas para utilizarse a largo plazo como puede ser el caso de las baterías de automóvil o de ordenadores portátiles.

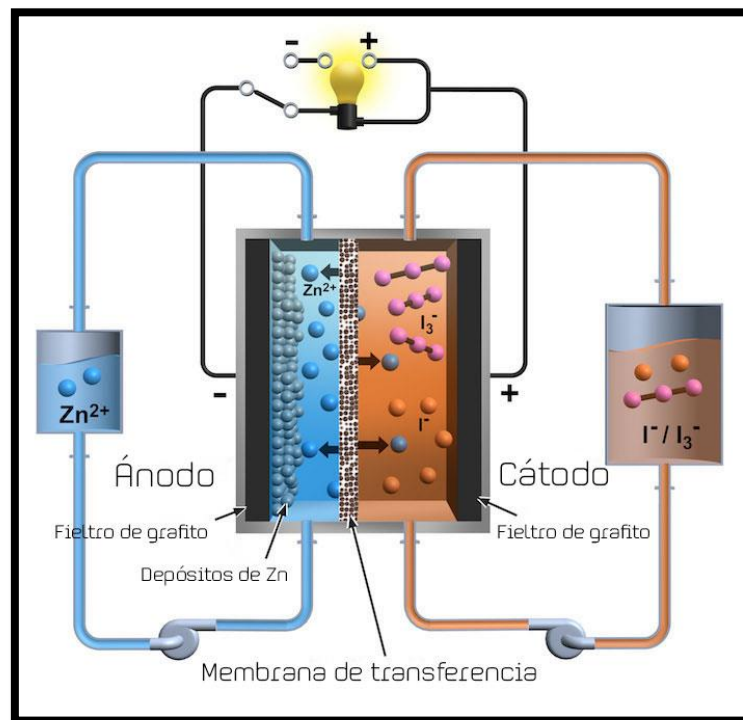


Figura 2.4.: Funcionamiento de una batería [23]

Todas las baterías recargables son un conjunto de celdas que tienen un electrodo positivo y otro negativo que están bañados en un electrolito. Cuando la batería se carga, los iones del cátodo que están cargados pasan a través de la membrana de transferencia hacia el ánodo. De forma contraria, cuando la batería se descarga los iones vuelven a su posición original en el cátodo de nuevo pasando por la membrana central. Por ello, mediante esta reacción de oxidación-reducción (redox), se puede reutilizar la batería hasta su degradación completa.

El mercado ofrece actualmente tres tipos de pilas recargables a pesar de existir muchas otras variaciones menos comunes. Estas son [7]:

- Pilas de **níquel-cadmio**: las primeras que aparecieron en el mercado y las más baratas. Tienen una vida útil muy reducida y una capacidad de carga también menor.
- Pilas de **níquel-hidruro metálico**: son las más utilizadas hoy en día ya que tienen la mayor capacidad de carga y tiempo de vida además de aguantar más recargas que las anteriores.
- Pilas de **litio**: soportan el mayor número de recargas, tienen una capacidad muy elevada y pesan menos que las de níquel, haciendo que sean las mejores candidatas para proyectos electrónicos de bajo consumo como este. Unos de los mayores inconvenientes que tienen son su alta sensibilidad a las temperaturas y rápida degradación, por ello se está investigando en su desarrollo más que para ningún otro tipo de batería.

Las baterías de litio pueden ser Li-Ion (iones de litio) o Li-Po (polímero de litio). Ambas opciones tienen sus ventajas y desventajas, ya que dependiendo del uso que les demos una puede ser más apropiada que la otra. En la *Figura 2.5.* se puede apreciar un resumen de estas características, cabiendo destacar la mayor densidad de potencia y degradación de las Li-Ion, y por el contrario la robustez y el menor tamaño de las Li-Po.

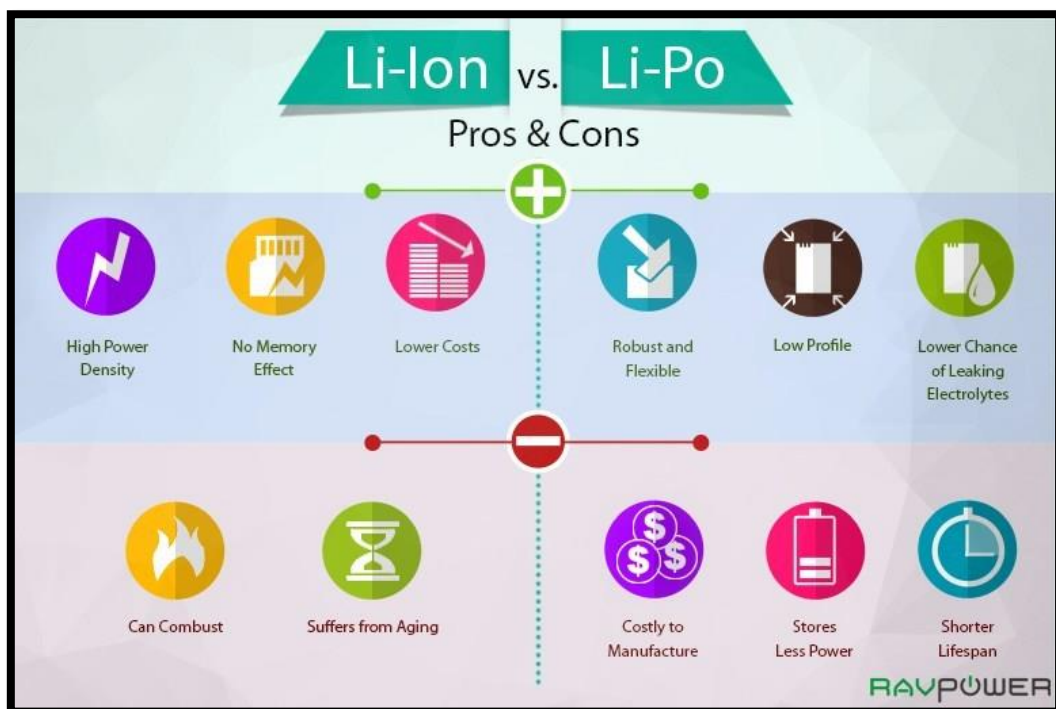


Figura 2.5.: Baterías Li-Ion vs. Li-Po [24]

Por último, cabe destacar que las pilas pueden ser conectadas en serie o en paralelo para conseguir mayores niveles de voltaje o corriente.

2.2.3. Convertidores de tensión

Un convertidor es un elemento capaz de transformar un tipo de energía en otra forma energética. En el ámbito de la electrónica y la eléctrica se suelen utilizar para aumentar o disminuir la corriente o la tensión, además de poder transformar corriente continua a corriente alterna y viceversa.

En este entorno concreto es realmente importante utilizar un convertidor para poder alimentar de forma segura todos los actuadores y sensores que requieren niveles de voltaje determinados. De este modo se puede utilizar una fuente de alimentación de baja potencia (muy seguro) para alimentar todo el circuito necesario.

Los convertidores electrónicos suelen tener varios componentes comunes, y dependiendo de su colocación y regulación se obtendrá un convertidor u otro. Estos componentes electrónicos son en su gran mayoría diodos, tiristores, transistores, resistencias, bobinas y capacitadores. [8]

Normalmente, si se quiere alimentar un dispositivo desde la red eléctrica de distribución de baja tensión de una vivienda cualquiera, se requiere un convertidor de CA/CC ya que la corriente sale alterna en una primera instancia. A pesar de ello, como en este proyecto se va a utilizar una batería como fuente de energía, solamente precisaremos el uso de un convertidor CC/CC ya que la batería alimenta el circuito con una corriente continua.

Dentro del apartado de convertidores de CC/CC, se pueden distinguir dos grupos generales: conmutados y lineales. Los conmutados utilizan un elemento que almacena energía (usualmente en una bobina) para después liberarla y obtener la tensión deseada. [9]

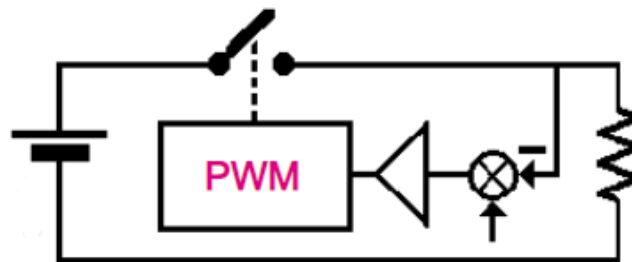


Figura 2.6.: Ejemplo de convertidor conmutado [25]

Los convertidores lineales solamente van a poder ofrecer una tensión menor que la de entrada ya que no tienen incluido este elemento de almacenaje de energía y son mucho más simples. Además, al tener una frecuencia de conmutación más baja, los componentes resultan de un tamaño mucho mayor que en los conmutados.

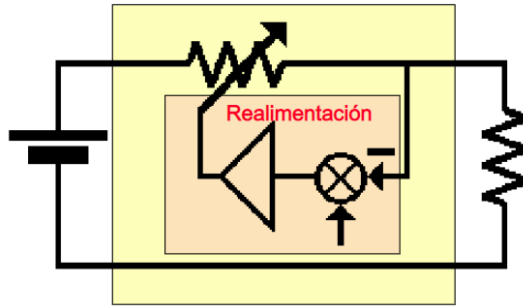


Figura 2.7.: Ejemplo de convertidor lineal [25]

Para este proyecto se considerarán los convertidores conmutados ya que nos dan la opción de aumentar y de disminuir la tensión, dependiendo del voltaje de la batería que se utilice en el proyecto hará falta uno u otro, pero los lineales nunca podrían aumentar la tensión por lo que quedan descartados.

Existen varios tipos de convertidores CC/CC conmutados, pero se estudiarán con mayor profundidad los tres más comunes sin aislamiento: el reductor, el elevador y el elevador-reductor.

2.2.3.1. Convertidor Reductor (Buck)

En este tipo de convertidor el voltaje de entrada es siempre mayor que el de salida, es decir, reduce la tensión a un nivel deseado. Para alcanzar este objetivo el convertidor utiliza un transistor, un diodo y un inductor en su circuito (opcionalmente se le añade un capacitor en la salida).

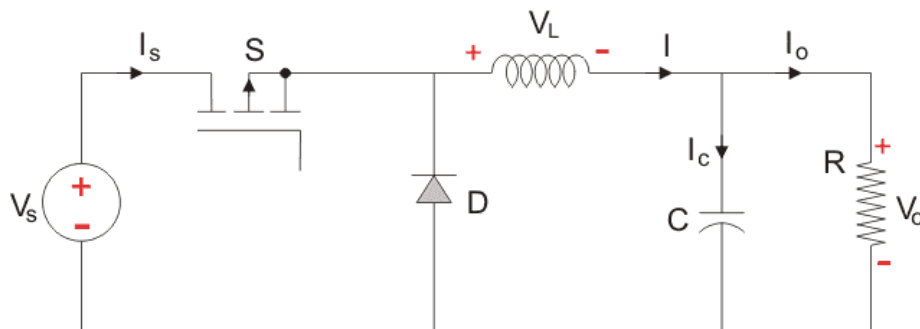


Figura 2.8.: Convertidor Buck [26]

Suponiendo que el convertidor trabaja en MCC, en el que la entrada siempre está alimentada (en este proyecto lo estará debido a la batería), el convertidor puede tener dos estados que dependen de si el transistor se encuentra encendido o no. Este tipo de modulación se denomina PWM ya que el encendido y apagado del transistor genera pulsos de una anchura determinada y que es la que afectará a la tensión de salida.

- Si el transistor está encendido, el diodo se encuentra apagado y la corriente del inductor (bobina) es continua. Este tiempo encendido se denominará T_{on} .

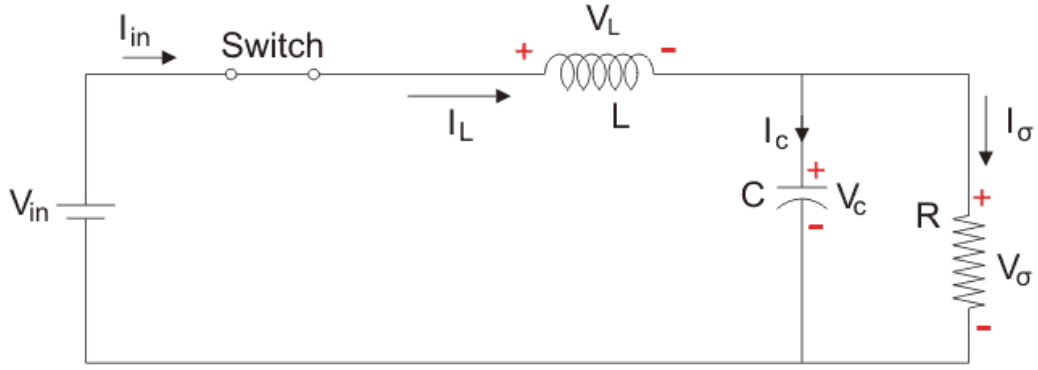


Figura 2.9.: Transistor encendido y diodo apagado [26]

- Si el transistor está apagado, el diodo se encuentra encendido y se libera la energía que se había almacenado en el inductor. Este tiempo apagado se denominará T_{off} .

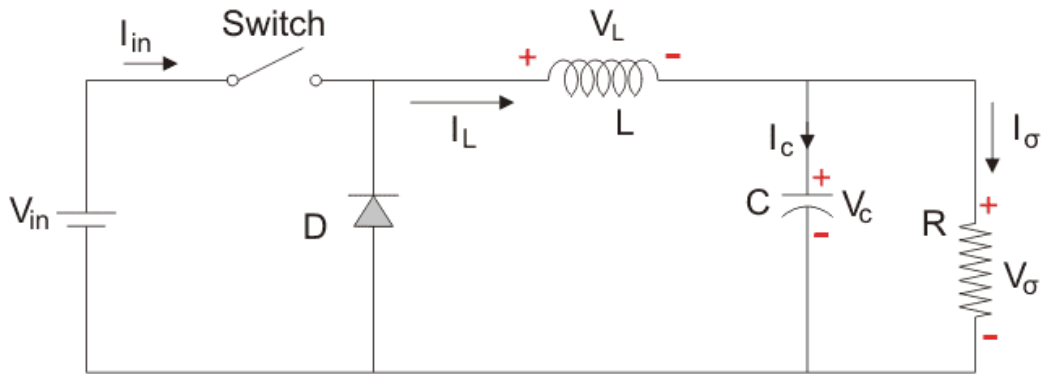


Figura 2.10.: Transistor apagado y diodo encendido [26]

Si un periodo de tiempo se define como T , entonces:

$$T = T_{ON} + T_{OFF}$$

Y el ciclo de trabajo D resulta:

$$D = \frac{T_{ON}}{T}$$

Analizando en el circuito en el primer modo y utilizando las leyes de Kirchhoff se obtiene:

$$V_{IN} = V_L + V_O$$

$$V_{IN} = L \frac{di_L}{dt} + V_O$$

$$\frac{V_{IN} - V_O}{L} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT}$$

$$\Delta i_{L(encendido)} = \frac{V_{IN} - V_O}{L} DT$$

Analizando el circuito del mismo modo en el segundo modo se obtiene:

$$0 = V_L + V_O$$

$$0 = L \frac{di_L}{dt} + V_O$$

$$\frac{-V_O}{L} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T}$$

$$\Delta i_{L(apagado)} = \frac{-V_O}{L} (1-D)T$$

Sabiendo que la corriente del inductor en estado estacionario aumenta en el encendido y disminuye hasta su valor inicial en el apagado, la variación total en un periodo será cero. Por lo tanto, aplicando este conocimiento:

$$\Delta i_{L(apagado)} + \Delta i_{L(encendido)} = 0$$

$$\frac{-V_O}{L} (1-D)T + \frac{V_{IN} - V_O}{L} DT = 0$$

$$V_O = V_{IN} * D$$

Por lo tanto, la tensión de salida dependerá además de la tensión de entrada, del tiempo de encendido y del tiempo de apagado de los periodos. Como D siempre va a ser una fracción menor que uno, consecuentemente el voltaje de salida será menor que el de entrada.

2.2.3.2. Convertidor Elevador (Boost)

En este convertidor, el voltaje de entrada es siempre menor que el voltaje de salida, es decir, como su propio nombre indica se eleva la tensión. Al igual que el reductor, está compuesto por un transistor, un diodo y un inductor, aunque conectados de forma distinta.

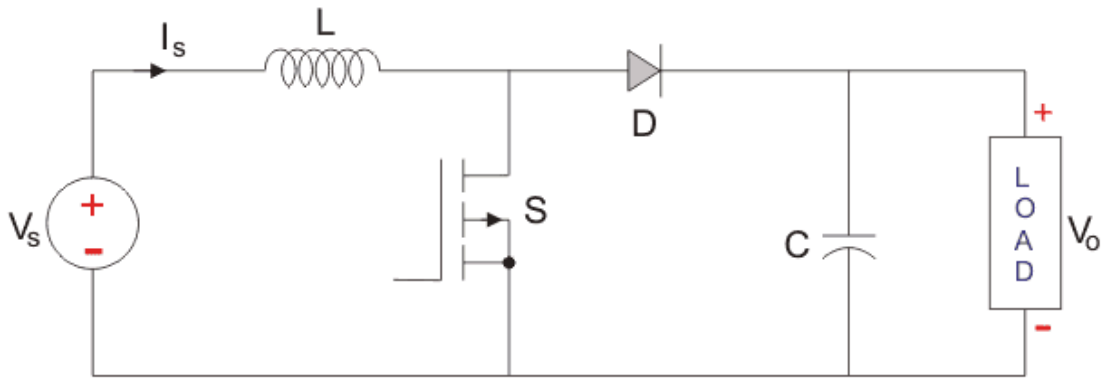


Figura 2.11.: Convertidor Boost [27]

Este convertidor funciona exactamente igual que el anterior, con dos estados en MCC: transistor apagado con diodo y transistor encendidos con diodo apagado. Si se realizan los mismos cálculos que para el convertidor se obtiene que:

$$V_o = V_{In} * \frac{1}{1 - D}$$

Al ser D menor que uno, el voltaje de entrada resultará siempre menor que el de salida.

2.2.3.3. Convertidor Reductor-Elevador (Buck-Boost)

Por último, este convertidor permite realizar las dos opciones de elevar y de reducir la tensión en función del ciclo de trabajo como los anteriores dos. No se hará hincapié en este modelo ya que es más complejo y además solamente se necesitará uno de los otros dos para el proyecto ya que la tensión de entrada será constante a un nivel gracias a la batería que lo alimente.

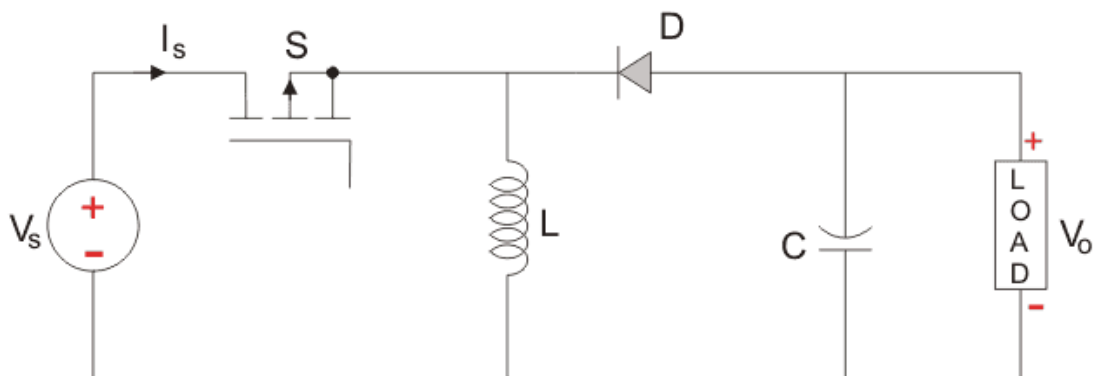


Figura 2.12.: Convertidor Buck-Boost [28]

2.2.5. Sensores

Uno de los mayores retos a los que se enfrenta el mundo del IoT es el de seleccionar un buen sensor que pueda recopilar la información que se busca para cada caso particular. Como ya se ha explicado en los primeros apartados, con el avance de la IoT y de la domótica en los últimos años, se han desarrollado cientos de distintas opciones de

sensores. Esto resulta una ventaja ya que se puede elegir un sensor que se ajuste perfectamente a los requisitos del proyecto.

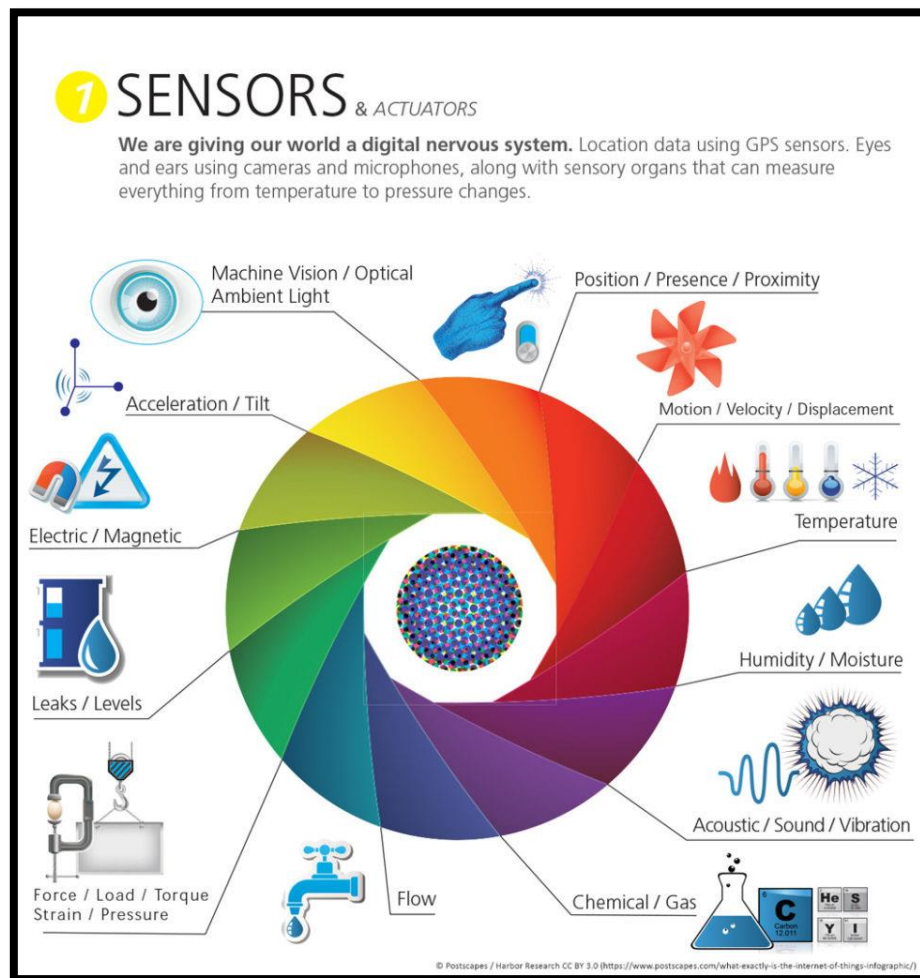


Figura 2.13.: Tipos de sensor [29]

Los sensores pueden dividirse en varias categorías, de las cuales caben destacar las más frecuentemente utilizadas: [10]

- Sensores de **temperatura**: mide cambios en la temperatura. Normalmente utilizados en el ámbito de la agricultura y de la medicina.
- Sensores de **proximidad**: detectan movimientos o la presencia de un objeto. Suelen ser recurrentes en el entorno de la seguridad y videovigilancia.
- Sensores de **medición de gases**: miden cambios en la calidad del aire para proteger a empleados y ciudadanos.
- Sensores de **presión**: comúnmente usados en el campo meteorológico para sentir ligeros cambios de presión.
- Sensores de **humedad**: utilizados generalmente para manejar sistemas de riego
- Sensores de **nivel**: pueden medir la cantidad de líquido, gas o sólido que se encuentre en un recipiente

Una vez resumidos todos los tipos de sensor, es necesario profundizar en aquellos que resulten interesantes para la realización de este TFG, es decir, de aquellos que tengan alguna relación con el mundo de la domótica y puedan añadir valor al proyecto.

2.2.5.1. Sensores de identificación por radiofrecuencia (RFID)

Este tipo de sensor de proximidad está compuesto por un lector y una etiqueta. La etiqueta contiene datos que el lector quiere recibir. Para ello, el lector (transceptor) lanza una señal de búsqueda de etiquetas (transpondedores), y si alguna se encuentra en el rango determinado, ésta responde al lector enviándole su información. La señal se manda mediante ondas de frecuencia de forma [11]

El RFID suele funcionar en frecuencias de 13,56MHz, aunque puede adquirir otro tipo frecuencia de funcionamiento. A pesar de existir distintos tipos de sensor, el más común para proyectos de domótica son los que se incluyen en el grupo del NFC, que es una tecnología que funciona en rangos cortos de distancia, generalmente entre 0 y 10 metros de longitud.

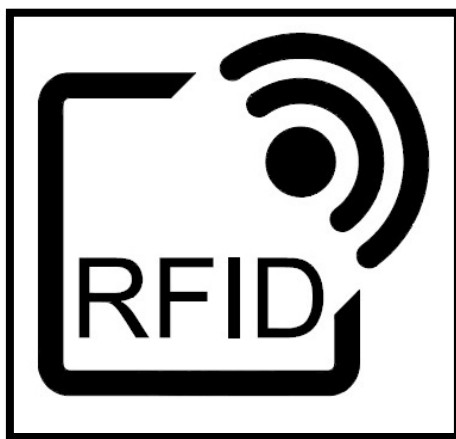


Figura 2.14.: Logo RFID representativo de una etiqueta transpondedor [30]

2.2.5.2. Sensores de humedad

“La humedad relativa (%), es el cociente entre el peso del vapor de agua contenido en un volumen de aire y el peso del vapor saturado en ese mismo volumen.” [12]

Este tipo de sensor puede medir la humedad relativa de un área y convertir los datos en forma analógica o digital. Los sistemas analógicos se basan en un condensador, que cambia su nivel de carga dependiendo de la cantidad de flujo líquido que atraviese el material absorbente. Los sistemas digitales utilizan dos sensores para encontrar la humedad relativa y convierten los datos a digital mediante un chip integrado. [13]

Los sensores de humedad de suelo se suelen instalar en el terreno clavando sus dos puntas de prueba, introduciéndolas en la tierra hasta el fondo. Otros sensores de humedad de aire no hay que introducirlos en ningún lugar, simplemente colocarlos en la zona en la que se desee obtener mediciones.

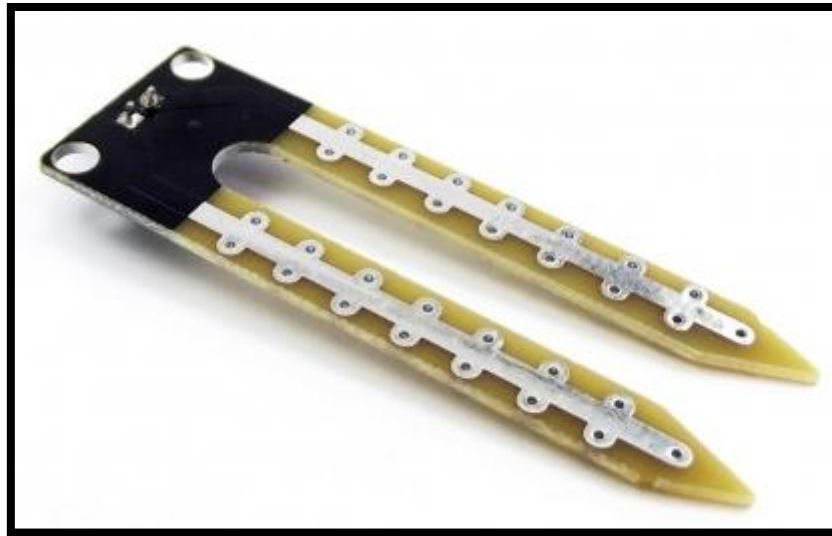


Figura 2.15.: Sensor de humedad de suelo [31]

2.2.5.3. Sensores de nivel de agua

El funcionamiento de estos sensores se reduce a la simple activación de un interruptor cuando el nivel de líquido de un tanque o depósito alcanza el nivel de llenado o vaciado definidos en el proyecto. Al estar fijos a un nivel del tanque, no se ven afectados por vibraciones en el líquido, haciendo que sean muy fiables. [14]

Por otro lado, existen sensores de nivel que se introducen en el tanque como una boya que llega hasta el fondo y va recibiendo información acerca de la presión que hay en cada altura del depósito. Con este tipo de sensor, se puede obtener el nivel exacto del líquido sea cual sea la altura a la que se encuentre.



Figura 2.16.: Tipos de sensor de nivel [32]

2.2.6. Actuadores

Acerca de los actuadores solamente se puede comentar que existen miles de ejemplos distintos para distintas aplicaciones. Es la parte del sistema de control que acciona la respuesta en la vida real. Por ello, es una de las partes del circuito más importantes, porque sin un buen actuador, el circuito no sirve para nada.

Algunos ejemplos mencionables son: los pestillos eléctricos, los motores servo, pantallas LCD, memorias externas, zumbadores, micrófonos, cámaras impresoras o teclados.

2.2.7. Microcontroladores

Los microcontroladores son circuitos integrados que contienen unidades de memoria (ROM y RAM), de procesamiento (CPU) y puertos de salida para poder conectar y controlar periféricos. Estos periféricos son propiamente dichos los sensores y actuadores tratados en los anteriores apartados. En resumen, un microcontrolador es un ordenador en miniatura, que puede realizar distintos tipos de acción mediante un software que se programa previamente y se le instala y graba en la memoria. [15]

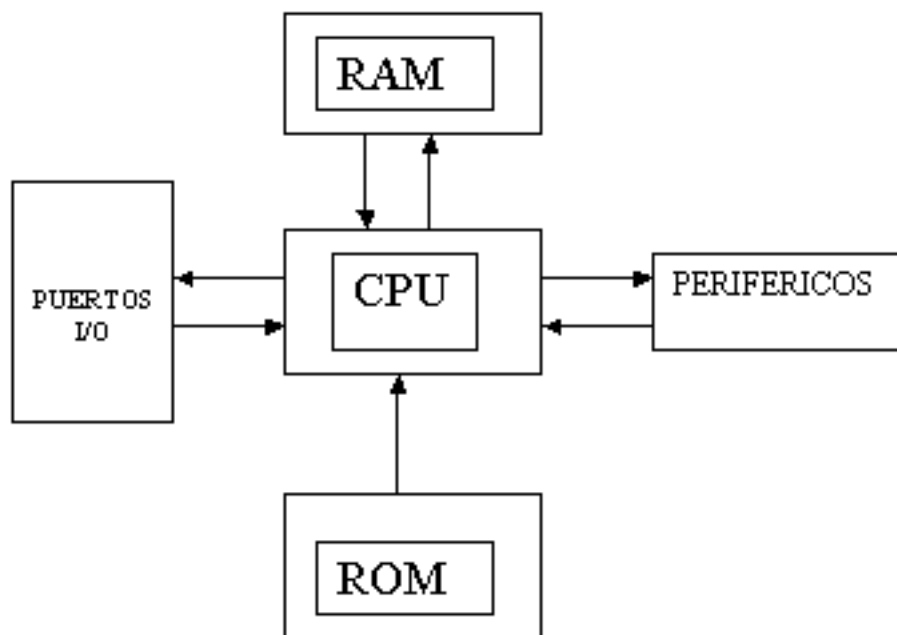


Figura 2.17.: Diagrama de un microcontrolador [33]

Un ordenador cualquiera utiliza el lenguaje binario para interpretar señales, mientras que un microcontrolador procesa los datos de la misma forma. El lenguaje binario está compuesto de dos valores: 0 y 1. Mediante la combinación de estos valores y creando diferentes patrones se pueden ir formando estructuras más complejas que finalmente dan lugar a las aplicaciones completas que se graban en la memoria de los microcontroladores. Normalmente se escribe en un lenguaje más sencillo para la comprensión del ser humano y después se utiliza un software compilador que lo transforma en binario para la lectura que realiza el CPU. Las posibilidades son infinitas ya que no hay ninguna limitación aparte de la creatividad de uno mismo.

En el mercado de hoy en día hay cientos de microcontroladores distintos, por lo que la elección del microcontrolador apropiado para un proyecto no resulta siempre fácil. Por ello, a continuación, se estudian las características de los microcontroladores más cotizados en el mercado.

2.2.7.1. Arduino Uno R3

Se trata de una placa basada en el microcontrolador Atmega328, con 14 puertos de entrada y salida digitales y 4 puertos analógicos. Viene integrado con un resonador cerámico de 16MHz, un puerto USB tipo B y un Jack de alimentación de 12V. Además, posee un ICSP (In-Circuit Serial Programming) para poder programar el Arduino directamente enchufándolo al PC sin tener que desmontarlo y volver a instalarlo después. [16]

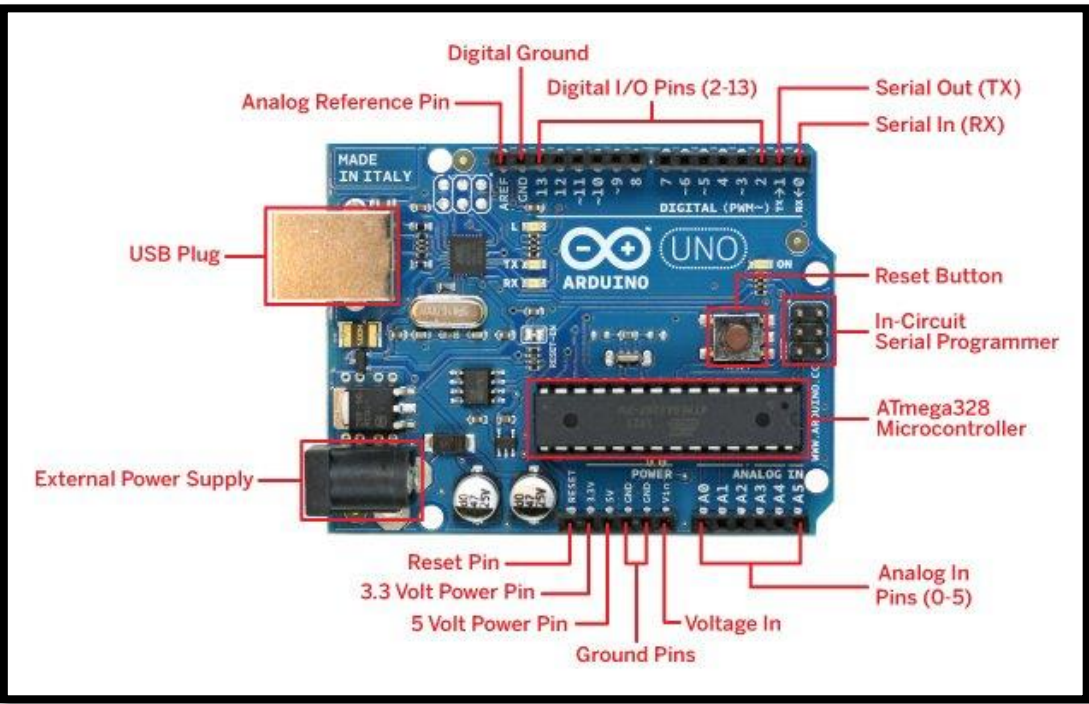


Figura 2.18.: Arduino Uno R3 [34]

Actualmente esta es la placa de microcontrolador más utilizada en todo el mundo debido a su amplio rango de utilidades y su sencillez a la hora de programarlo. Se utiliza un software denominado IDE Arduino, el cual no requiere una base muy avanzada de conocimiento previo para comenzar a usarlo.

TABLA 2.1.: ESPECIFICACIONES EXTRA DEL ARDUINO UNO R3

Especificaciones Arduino UNO R3	
Voltaje Operativo	5V
Voltaje Entrada	7-12V
Memoria Flash	32KB
SRAM	2KB
EEPROM	1KB

2.2.7.2. Raspberry Pi 3 Modelo B+

Esta placa no es un simple microcontrolador como el Arduino, realmente se trata de un ordenador completo en miniatura. Se le puede instalar un sistema operativo y realizar acciones como si de un PC se tratase. Incluye Bluetooth 4.2, Wifi 5 GHz y una tarjeta de red que alcanza los 300 Mbps. Está basado en el procesador BCM2837B0 y posee una frecuencia de reloj de 1,4 GHz. Además, supera al Arduino con 40 pines de entrada y salida, 4 puertos USB y varios puertos extra para auriculares, pantallas y cámaras. [17]

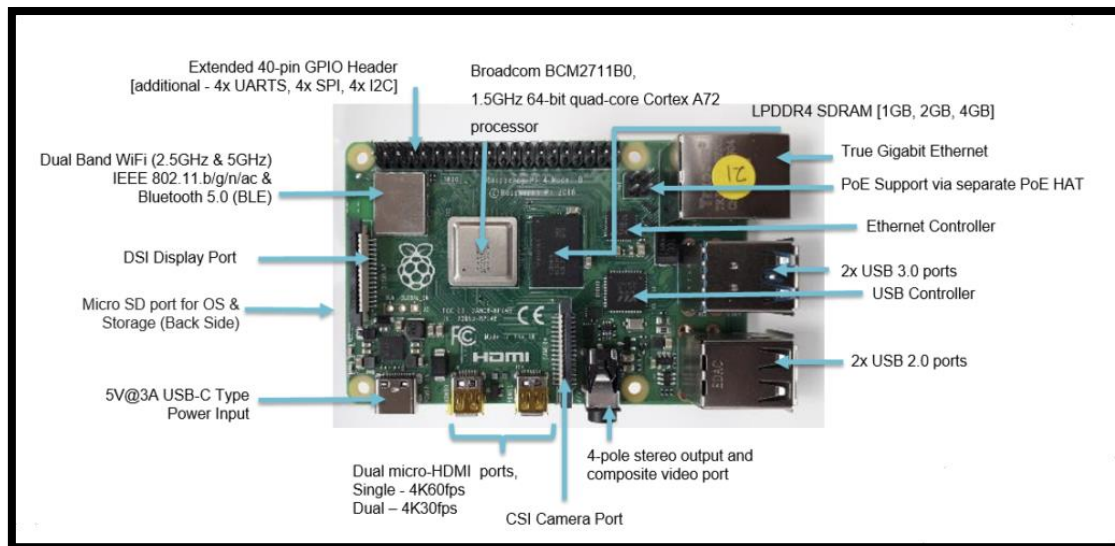


Figura 2.19.: Raspberry Pi 3 Modelo B+ [35]

A pesar de ser un micrordenador el precio es relativamente barato (se puede comprar por unos 35€ en línea) pero la complejidad aumenta ya que es un modelo mucho más completo que el Arduino. Por ello, para proyectos de electrónica simple se suele decantar por la primera opción antes que esta. En esta situación no merece la pena comparar el Arduino con el Raspberry ya que este último le da mil vueltas en todos los aspectos al primero.

2.2.7.3. Tiva-C LaunchPad EK-TM4C123GXL

Por último, cabe destacar la existencia de esta plataforma que resulta ser una versión mejorada de Arduino por parte de la famosa empresa de electrónica Texas Instruments. La placa está basada en el microcontrolador ARM Cortex-M4F, que posee una frecuencia de reloj entre 5 y 7 veces más rápida que la del Arduino. En cuanto a puertos USB y conectores con pines también incluye una cantidad mayor que los Arduino. El lenguaje utilizado para programar es C, el cual requiere una pequeña base de conocimiento que afortunadamente se aprende en los primeros años del grado universitario. [18]

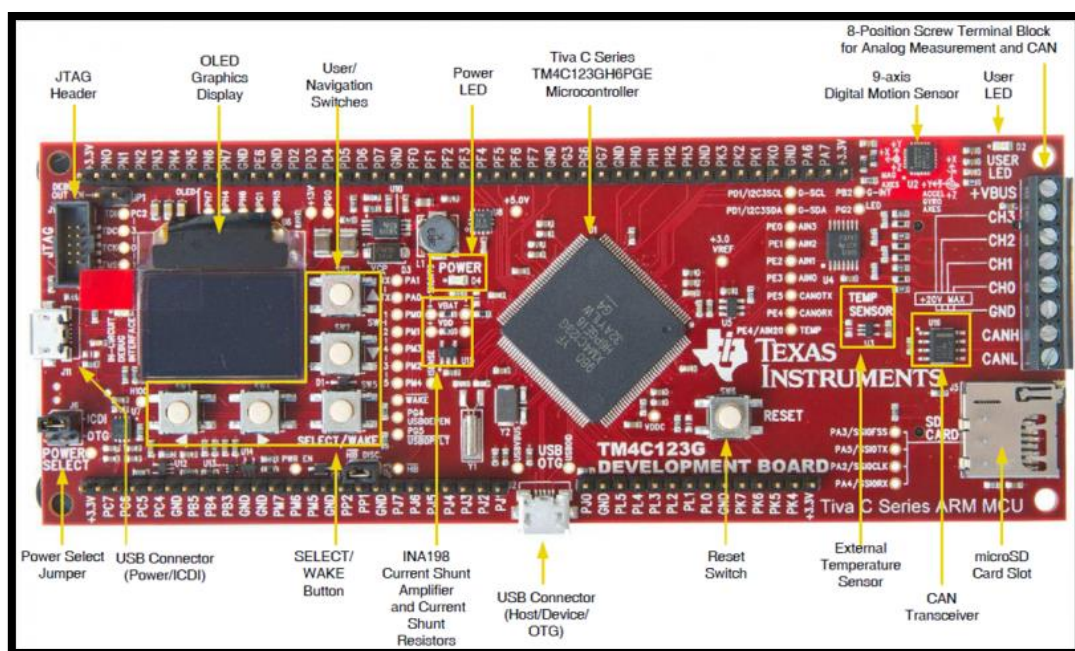


Figura 2.20.: Tiva-C LaunchPad TM4C123GXL [25]

A pesar de existir más información y proyectos acerca de Arduino, la parte realmente interesante de esta placa es que se trata de un modelo con el que se está trabajando actualmente en el Departamento de Electrónica de la UC3M. Promete mucho más potencial que cualquier Arduino y ha conseguido bastante popularidad entre los aficionados de la electrónica.

TABLA 2.2.: ESPECIFICACIONES EXTRA DEL TIVA-C LAUNCHPAD TM4C123GXL

Especificaciones Tiva-C LaunchPad EK-TM4C123GXL	
Voltaje Operativo	5V
Timers de propósito general	12
Memoria Flash	256KB
SRAM	32KB
EEPROM	2KB

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En este apartado se definen los requisitos previos que son necesarios para la realización del proyecto. Para ello, se establecen estas condiciones por puntos, incluyendo hardware y software a utilizar. Por otro lado, también se proponen distintas soluciones al problema planteado.

3.1. Requisitos del diseño

El proyecto se puede dividir en tres módulos:

1. **Módulo del sensor:** toda la recepción de información del entorno se realizará mediante un sensor. Este sensor podrá estar alimentado por la fuente de energía renovable ya que en muchos casos se pueden encontrar en los exteriores.
2. **Módulo del procesador:** se requiere un microprocesador que sirva como punto neurálgico del circuito y pueda controlar todas sus acciones de la forma más rápida y eficiente posible, sincronizando así los sensores y actuadores del sistema. Como en la domótica los microprocesadores se suelen encontrar dentro de las viviendas, pueden tener acceso a la red eléctrica, por lo que este módulo no necesitará una fuente de alimentación externa. Este módulo además necesitará la escritura y grabación de un programa software que controle al sensor y al actuador.
3. **Módulo del actuador:** este módulo estará alimentado por la fuente de energía renovable. Tendrá incorporada una batería para poder utilizar el circuito incluso en momentos de recolección energética nula. Junto con la batería deberá haber un convertidor que pueda establecer una tensión de salida necesaria para el actuador. El actuador recibirá la señal desde el módulo del procesador para funcionar según las órdenes recibidas.

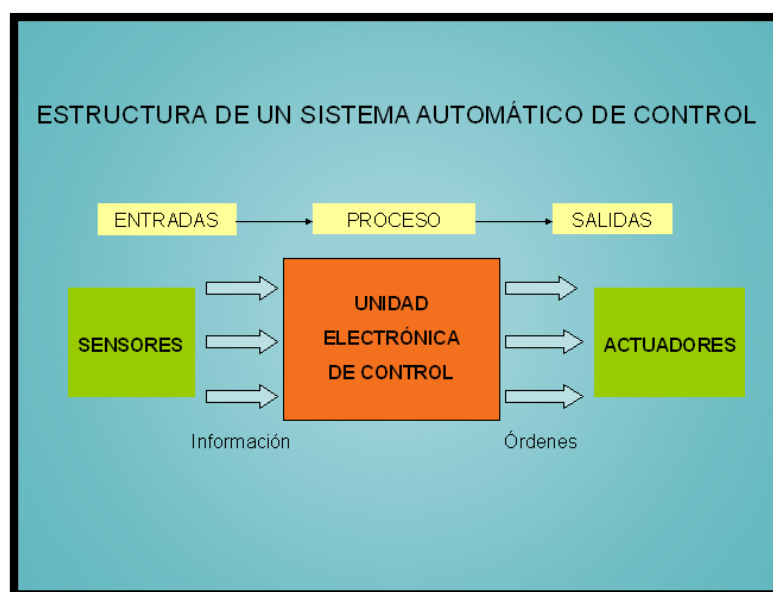


Figura 3.1.: Estructura de un sistema automático de control [36]

Hay que hacer cierto hincapié en la búsqueda de un proyecto que sea viable económicamente, con un presupuesto moderado, ya que está enfocado al entorno didáctico.

Del mismo modo, se quiere buscar la mayor eficiencia en cuanto al espacio físico. Lo ideal de este tipo de circuitos de la IoT es el ahorro de espacio utilizando elementos de tamaño reducido, es decir, se prefiere utilizar un microprocesador antes que un PC de torre o utilizar un panel solar de 10cmX10cm antes que uno de 50cmX50cm.

3.2. Soluciones propuestas

Durante el periodo de estudio y diseño del proyecto se han originado múltiples ideas para llevar a cabo como producto final. A parte de la solución elegida, las propuestas más destacadas son las siguientes, junto con las razones en contra de su implementación:

- **Sistema de control del riego automático por sensor de humedad:** utilizando un sensor de humedad clavado en la tierra de una maceta o de un jardín se puede obtener información sobre cuándo debe ser la próxima vez que se riegue. Esta opción resultaba realmente complicada de implementar ya que se debía conectar con el sistema de riego de una vivienda, para lo que habría que modificar ciertos elementos ya instalados y realmente caros.
- **Sistema de control del nivel de un tanque de agua / pozo:** usando un sensor de presión o de nivel se podría obtener información acerca de la cantidad de agua contenida en el tanque. El único inconveniente de esta opción era que ese mismo sistema se había instalado ya en el pozo de la casa del alumno, donde se pretendía realizar la instalación.
- **Sistema de control de proximidad para alarma de una vivienda:** con un sensor de proximidad infrarrojo se podría lanzar una señal cada vez que hubiese un movimiento, igual que un sistema actual de alarmas. Debido a la gran cantidad de proyectos ya implementados y formalizados en esta área, se decidió buscar otra opción.
- **Sistema automático dispensador de comida para perros:** utilizando una vez más un sensor de nivel se podría conocer la cantidad de comida en el cuenco de un perro, y utilizando un motor servo de bajo consumo que abriese la compuerta de comida, se podría volver a rellenar el cuenco. El inconveniente existente con esta propuesta era la lectura errónea de datos que el sensor de presión o de nivel ofrecía hacía el pienso de los perros en forma de bolitas sólidas.

4. SOLUCIÓN PROPUESTA

En este apartado se comenta la aplicación del sistema elegido y se explican las razones por las que se ha seleccionado cada uno de los componentes materiales.

4.1. Solución elegida para implementar

El esquema general de la propuesta que se decidió llevar a cabo fue la de diseñar e implementar un sistema que controlase la acción de una puerta con un sensor de RFID y un pestillo eléctrico como actuador.

El funcionamiento es sencillo: al acercar una llave de radiofrecuencia al sensor, este enviaría una señal al controlador, activando un relé para permitir el paso de corriente eléctrica al pestillo y que se pudiera abrir.

El recopilador de energía renovable elegido fue un panel solar que permitiera cargar una batería y, usando un convertidor elevador, aumentar la tensión para activar el pestillo de la puerta. Para poder cargar la batería con seguridad se requiere el uso de un regulador de carga. Este sistema se conectará mediante cableado, sin conexiones inalámbricas.

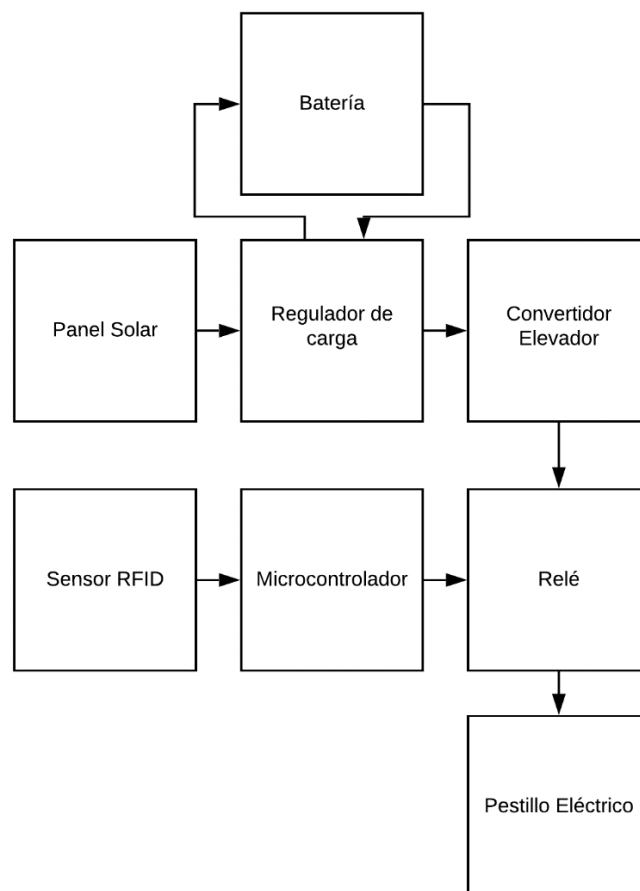


Figura 4.1.: Diagrama de flujo del proyecto a implementar

4.2. Componentes seleccionados

En este epígrafe se explican las razones por las que se ha elegido cada elemento y como se correlacionan con el resto de los componentes del proyecto.

4.2.1. Microcontrolador Arduino Uno R3

Se empezará por el componente central del sistema, el microcontrolador. A pesar de ser realmente interesante la opción de utilizar el Tiva-C LaunchPad de Texas Instruments que se está implementando en el departamento de electrónica de la UC3M, el Arduino ofrecía una cantidad de ayudas en internet, código abierto para utilización libre y miles de ideas parecidas ya realizadas en este tipo de microcontrolador que logró que fuera una elección fácil y segura. Además, el Arduino Uno R3 es la serie más barata de Arduino, por lo que se aplicaba perfectamente al presupuesto. Para más detalles se puede atender al esquema adjunto en el ANEXO A.

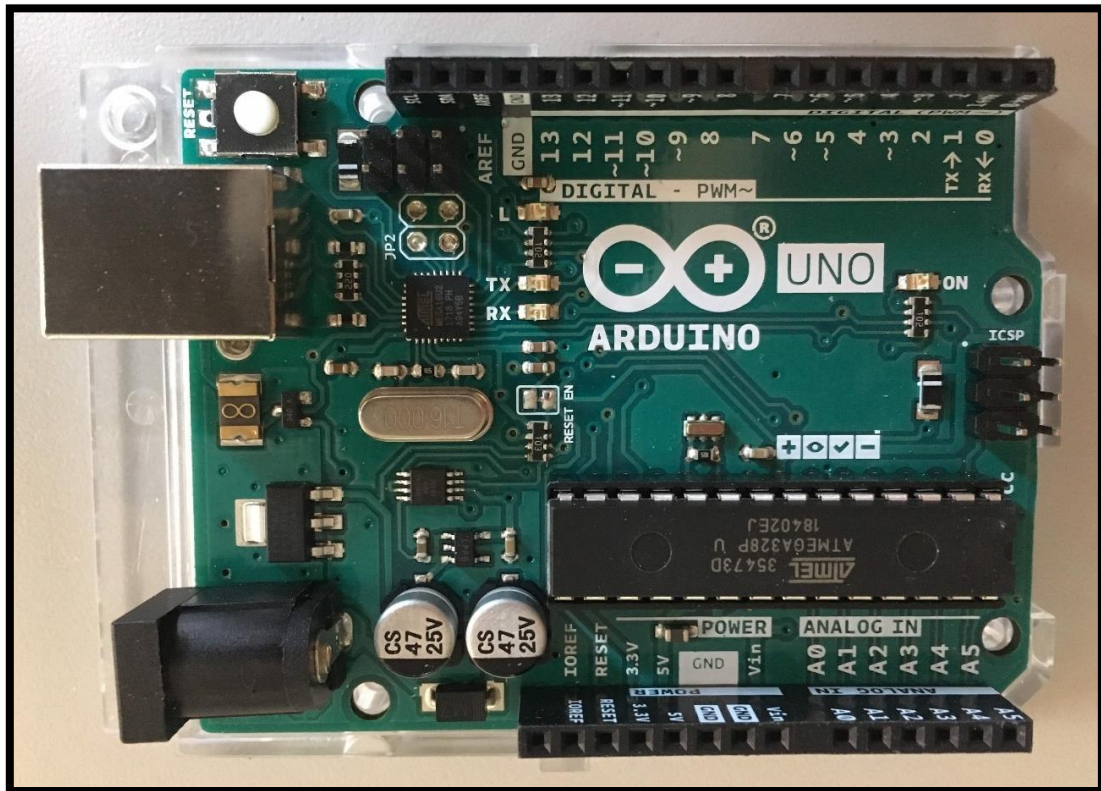


Figura 4.2.: Arduino Uno R3 seleccionado

El Arduino goza de un lenguaje de programación propio, que resulta ser sencillo a la par que intuitivo. Este lenguaje está basado en el lenguaje C, el cual se estudió durante el grado universitario y con el que se encuentra familiarizado el alumno, motivo de más para seleccionar este microcontrolador. Estos programas se instalan en el microprocesador enchufando el Arduino a un PC mediante cable USB.

El Arduino ofrece la posibilidad de alimentar periféricos de 5V y 3.3V mediante sus puertos, por lo que la selección del sensor se verá condicionada por estos valores.

Este microcontrolador necesita una alimentación de 12V mediante conexión Jack, de la cual no hay que preocuparse ya que se utilizará un cargador de red eléctrica para ello.



Figura 4.3.: Alimentador para Arduino Uno R3

4.2.2. Sensor RFID RC522

De entre todos los sensores de radiofrecuencia que existen en el mercado, el más adecuado para abrir una puerta resultaba ser uno que se activara a una distancia corta. Por ello, quedaban excluidos los sensores de larga distancia como por ejemplo los que se utilizan en la Via-T de las autopistas de España.

Finalmente se eligió el módulo RFID RC522 que está basado en la placa Philips MF522-AN. Funciona perfectamente con Arduino ya que solamente requiere una alimentación de 3.3V y además existen muchas librerías de software Arduino ya creadas en línea para el funcionamiento de este tipo de sensor con Arduino.

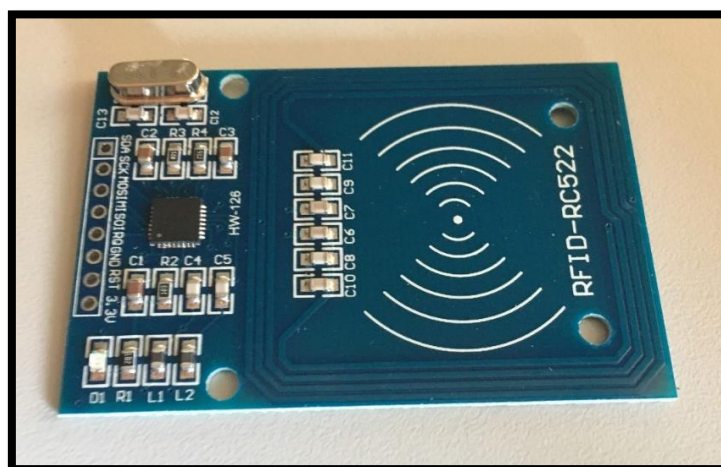


Figura 4.4.: Sensor RFID RC522

Para activar el sensor se requiere una llave con chip RFID que funcione al acercarla al sensor, igual que las tarjetas de las puertas de los hoteles. En este caso, con el kit que se había adquirido venían incluidas una tarjeta y un llavero que sirven ambos para la función descrita.



Figura 4.5.: Tarjeta y llavero chip RFID

4.2.3. Actuador Pestillo Eléctrico

Los pestillos ofrecidos en el mercado se reducían a dos opciones: los alimentados por tensiones de 12V o de 24V. Por ello, el propio Arduino no es capaz de alimentar este actuador directamente y se requiere de una fuente de alimentación con convertidor elevador de tensión para alcanzar esos voltajes. A pesar de poder elegir un pestillo de 24V, se decidió comprar el de 12V ya que la oferta de convertidores elevadores era más amplia para ese rango de tensiones.

Se trata de un pestillo que al estar pasando corriente eléctrica se encuentra cerrado, y si deja de pasar electricidad entonces se abre la cerradura. A este tipo de funcionamiento se le denomina NO o “normally open” en inglés.

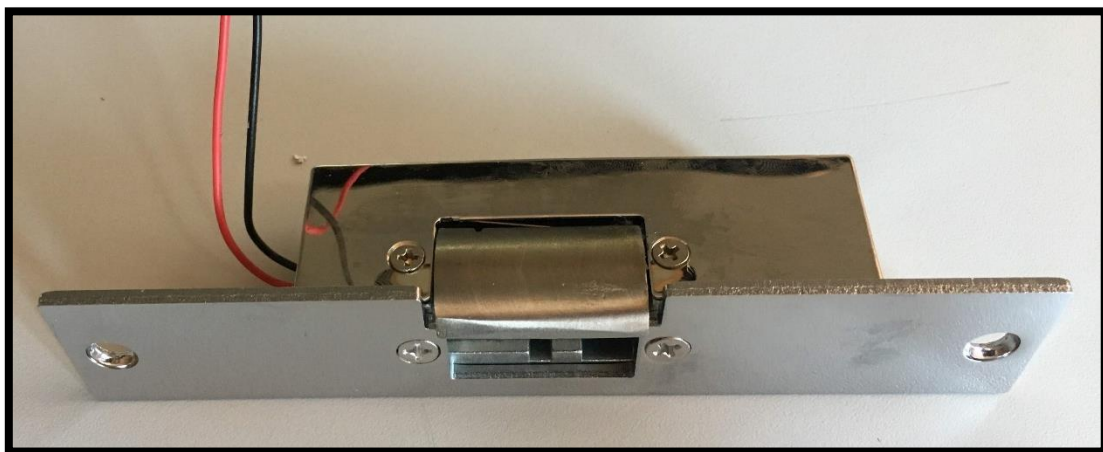


Figura 4.6.: Pestillo eléctrico de 12V

4.2.4. Relé

Este elemento funciona con una tensión de 5V como la que proporciona la placa de Arduino. Esta placa tiene dos salidas distintas: una es la NO (“normally open”) que actúa como un circuito abierto mientras que no se active el relé; la otra es la NC (“normally closed”) que actúa como un circuito cerrado, dejando pasar corriente eléctrica hasta que el relé se active y corte el circuito.

Una vez envíe la señal de activación del sensor, el relé permitirá el paso de corriente al NO y cortará el paso a la salida NC. Por lo tanto, según el pestillo que se ha seleccionado, se deberá conectar a la salida NC para que se mantenga cerrado hasta que se utilice una llave FRID en el sensor para abrir la cerradura.

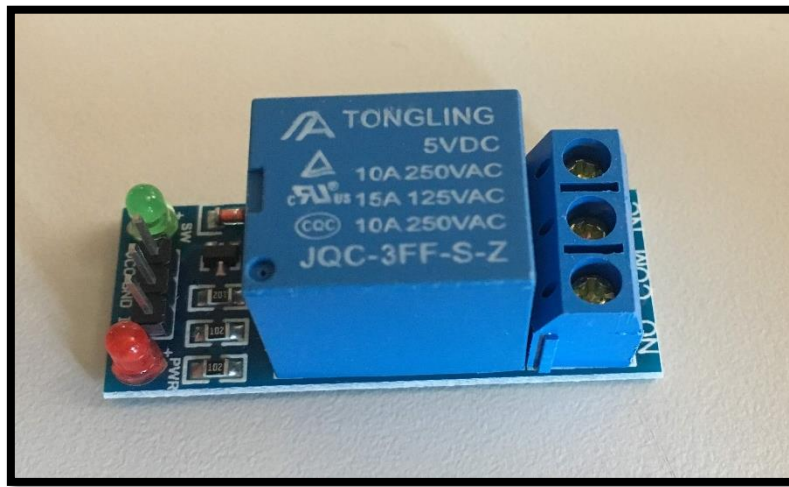


Figura 4.7.: Relé de 5V

4.2.5. Panel Solar

Ya que se iba a utilizar el panel solar para cargar una batería de 3,7V de tensión, no se requeriría un panel solar de muy alta gama ni tamaño.

El panel solar seleccionado tiene un tamaño de 130mmX150mm, haciéndolo fácilmente portable. Según su tabla de características es capaz de generar una tensión de 5V a una velocidad de carga de 500mAh. La potencia máxima del panel solar es de 2,5W y su tasa de conversión del 17%.

Las células fotovoltaicas de este panel solar están adheridas unas a otras mediante resina epoxi y con una lámina de cristal entre medias. Esta técnica resulta en un posicionamiento muy preciso de las celdas solares, creando una estructura ordenada y con mayor eficiencia que otros métodos de pegado.

El panel solar viene cubierto por un plástico protector como se muestra en la *Figura 4.8.*, pero no afecta al funcionamiento de la placa y se puede quitar en el momento más deseado.

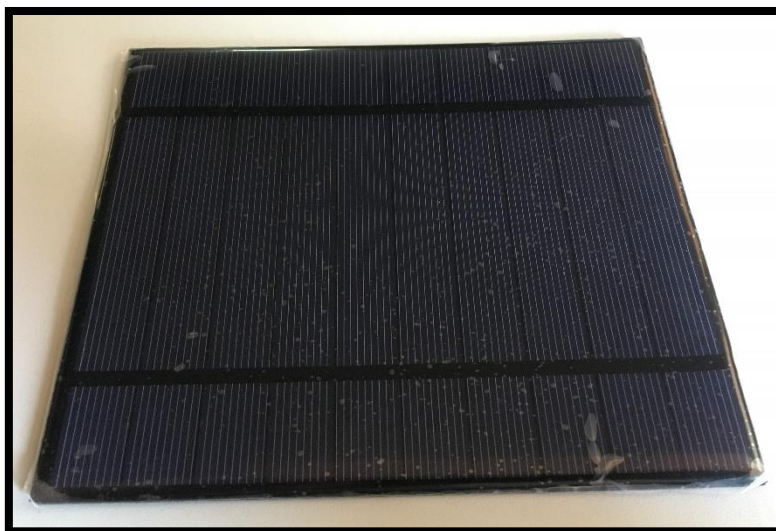


Figura 4.8.: Panel Solar

4.2.6. Regulador de Carga TP4056

Para controlar de forma segura la carga de la batería era necesario utilizar este regulador basado en el chip TP4056 especializado en baterías LiPo. Este circuito lleva integrado un protector contra sobrecargas y contra bajos voltajes ya que si se pasan los límites mínimos y máximos del almacenamiento de la batería, esta podría quedar inutilizada.

Esta placa es capaz de cargar una batería a una velocidad de 1000mAh mientras que el voltaje de entrada se encuentre entre 4,5V y 5V, por lo que funciona realmente bien con el panel solar elegido. Las dimensiones del circuito son realmente pequeñas, casi del tamaño de una moneda de un euro: 26mmX17mm.

A la salida del regulador, la tensión se establece siempre a 5V si se utiliza una batería de 3,7V. Otra medida ideal para el convertidor que se conectará a él y que funciona máxima potencia con 5V de entrada.

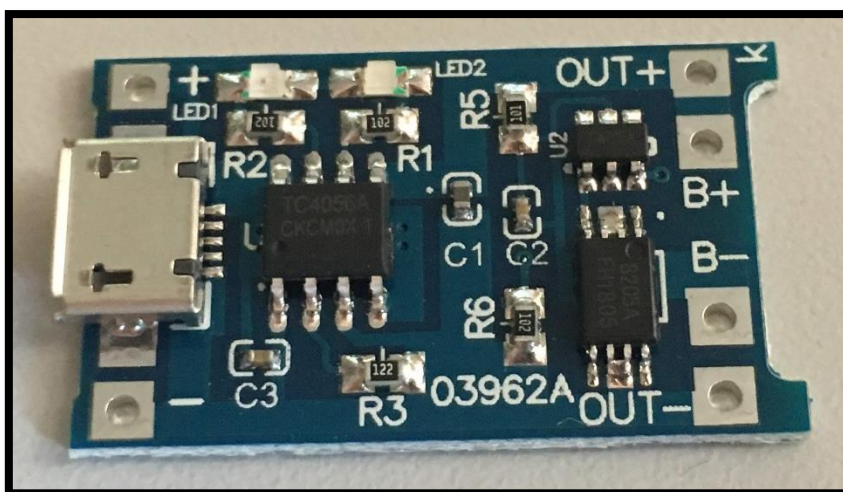


Figura 4.9.: Regulador de Carga TP4056

4.2.7. Batería LiPo 3,7V

La pila recargable que se utilizará será una de polímero de litio o LiPo, ya que proporcionan una alimentación eficiente y ligera. La tensión de la batería es de 3,7V y tiene una capacidad de corriente de 2000mAh. Una vez más las dimensiones de tamaño son mínimas: 54mmX54mm

Este tipo de baterías requieren un circuito de protección para evitar que se quemen o exploten. Afortunadamente, esta batería y la gran mayoría que están en el mercado ya traen incorporado este protector.

Cabe destacar el conector tipo JST que viene incorporado en la salida de la batería, aunque para nuestro regulador de carga no sirve, por lo que se deberá reemplazar por otro tipo de salida.



Figura 4.10.: Batería LiPo 3,7V

4.2.8. Convertidor CC/CC Elevador “Boost”

Por último, se debía seleccionar un convertidor que fuese capaz de elevar la tensión de salida de la batería de 3,7V a una tensión de operación del pestillo eléctrico de 12V. Evidentemente, de entre todos los tipos de convertidor que se han comentado en el segundo capítulo de esta memoria, el más indicado para realizar esta función era el convertidor elevador “Boost”.

El modelo adquirido contiene una protección contra sobrecorriente, contra sobrevoltaje, contra cortocircuitos y contra sobrecalentamiento. Se trata de elementos extra que facilitan la calidad y seguridad del circuito a la hora de instalarlo y conectarlo para que no se estropee ninguna pieza de este.

El voltaje de entrada requerido por el convertidor debe encontrarse en el rango entre 2,6V y 6V de CC. La salida máxima es de 12V a 1,2A de corriente, ideal para el pestillo eléctrico adquirido. La eficiencia de conversión máxima es del 96%, y las dimensiones de tamaño son mínimas, igual que las del regulador de carga.

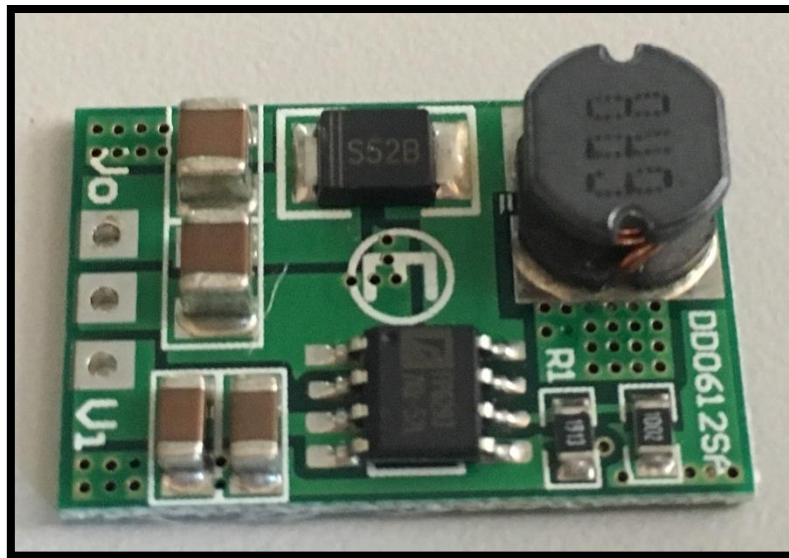


Figura 4.11.: Convertidor CC/CC Elevador

4.3. Código programado

Una vez concretado el hardware a utilizar, se debe comentar acerca del software que se utilizará en el microcontrolador. Arduino tiene un software de código abierto (IDE) en el que se puede programar y cargar en la placa directamente.

Existe un programa gratuito y lanzado al dominio público, creado por Miguel Balboa en 2012, que controla todo tipo de kits de RFID RC522. Este código se encuentra adjunto en el *ANEXO B*. Además, hay que instalar una biblioteca de variables que el propio Miguel Balboa diseñó, denominada MFRC522 y que se puede encontrar en internet.

El posible inconveniente que tiene este código es que de forma predeterminada viene programado para que el Arduino esté conectado a dos luces LED (una verde y una roja) y un zumbador eléctrico, que avisan de si el llavero RFID es el correcto (se enciende la LED verde) o si es un llavero extraño (se enciende la LED roja y el zumbador suena durante un momento en señal de alarma). A pesar de ello, no entorpece a la solución propuesta en este TFG ni reduce el rendimiento, por lo que no hizo falta modificar el código en ese aspecto.

La única gran modificación para tener en cuenta fue la introducción del ID del llavero (en este caso era 39 82 52 63) para su autorización. Cada vez que se acerque el llavero al lector RFID, el Arduino mandará una señal de activación al relé. Si está conectado a un PC, saltará en un monitor de serie una notificación de acceso autorizado o denegado.

4.4. Contribución técnica

A parte del estudio de todos los componentes y del mercado actual, la contribución que añade valor al proyecto es la del diseño del hardware necesario para la fuente de alimentación de energías renovables.

En el mercado existen muchas opciones, pero el valor de este proyecto es el de haber logrado encontrar una buena combinación del uso de la electrónica de potencia (con el convertidor elevador y el regulador de carga) y de la eléctrica para generar una autonomía de energía para la IoT con tamaño y presupuestos reducidos.

Se trata de una combinación completamente nueva utilizando información de antiguos proyectos en línea y de los datos recopilados acerca de la IoT durante todo el proyecto.

También se puede recalcar la utilidad que se le puede dar al proyecto de cara al futuro, que se tratará en el capítulo de *CONCLUSIONES*.

5. IMPLEMENTACIÓN Y RESULTADOS

En este apartado se hará referencia a la implementación del circuito y los inconvenientes que surgieron durante el proceso de montaje, además de los resultados obtenidos y medidas tomadas.

5.1. Implementación del proyecto

La compra de los componentes se realizó por internet, ya que se habían estudiado previamente y no se requería de una visita presencial para comprobar las características o cualquier otro trámite.

Una vez llegaron los componentes, la primera parte que se realizó de todas fue la conexión del sensor RFID con el microcontrolador. Como la placa de RFID no traía pines incorporados, se tuvo que soldar estos utilizando estaño en hilo. Una vez soldados los pines se procedió a la conexión RFID-Arduino, enganchando los puertos en la relación que aparece en la *TABLA 4*.

TABLA 5.1.: RELACIÓN DE CONEXIÓN DE CABLEADO ENTRE EL RFID Y EL ARDUINO

Arduino	RFID
Pin 9	RST
Pin 10	SDA
Pin 11	MOSI
Pin 12	MISO
Pin 13	SCK
Pin GND	GND
Pin 3,3V	3,3V

A continuación, se debían realizar pruebas para comprobar el funcionamiento del sensor con el microcontrolador. Por lo tanto, se instaló el programa en el Arduino y se pasó el llavero RFID por el sensor. La respuesta fue nula en un principio ya que había que modificar el código para que aceptase el ID del llavero. Tras esta modificación el circuito funcionó, detectando la tarjeta RFID de forma correcta.

A partir de este momento se realizaron mediciones de tensión y corriente en el resto del circuito a medida que se iba implementando para comprobar que se adquirían los datos correctos para el funcionamiento y la seguridad de los componentes.

La siguiente operación para realizar fue la implementación del sistema de alimentación del pestillo. Por ello se soldaron desde la salida + y – del panel solar un cable rojo de tensión positiva y un cable negro de tierra al regulador de carga por sus puertos + y – respectivamente. Del mismo modo se conectó el polo positivo de la batería con el puerto B+ del regulador de carga y el polo negativo con el puerto B-.

Los puertos OUT+ y OUT- del regulador de carga se soldaron y conectaron con los puertos V1 y la tierra (puerto central) del convertidor elevador. El puerto sobrante del convertidor, el V0, se conectó con la salida NC del relé para mantener el pestillo siempre cerrado hasta recibir una señal.

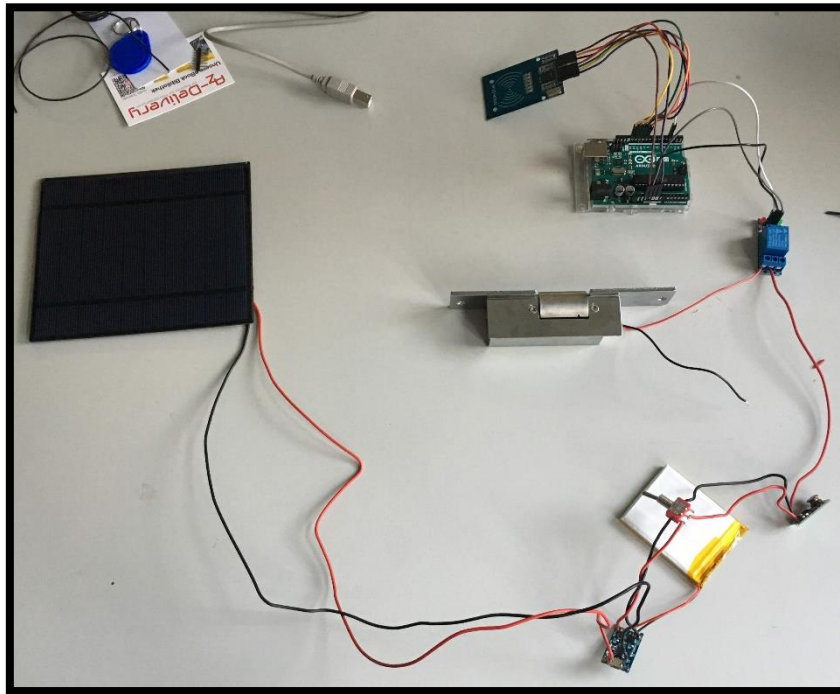


Figura 5.1.: Circuito durante el montaje de implementación

El relé se alimentó desde el pin de 5V y de GND del Arduino. Por otro lado, la señal que recibiría para desconectar el pestillo se enviaba mediante el cable conectado entre el pin 3 del Arduino y el puerto IN del relé.

Por último, se conectó el cable positivo del pestillo eléctrico al puerto COM del relé y el cable negativo al puerto de tierra del convertidor elevador. Para desactivar la conexión del pestillo manualmente por el interés de las pruebas, se instaló un interruptor en el cable positivo entre el regulador de carga y el convertidor. Esto permitiría desactivar el pestillo a placer sin necesidad del llavero RFID.

En la *Figura 5.2.* se puede comprobar todas las conexiones que se han descrito en este epígrafe.

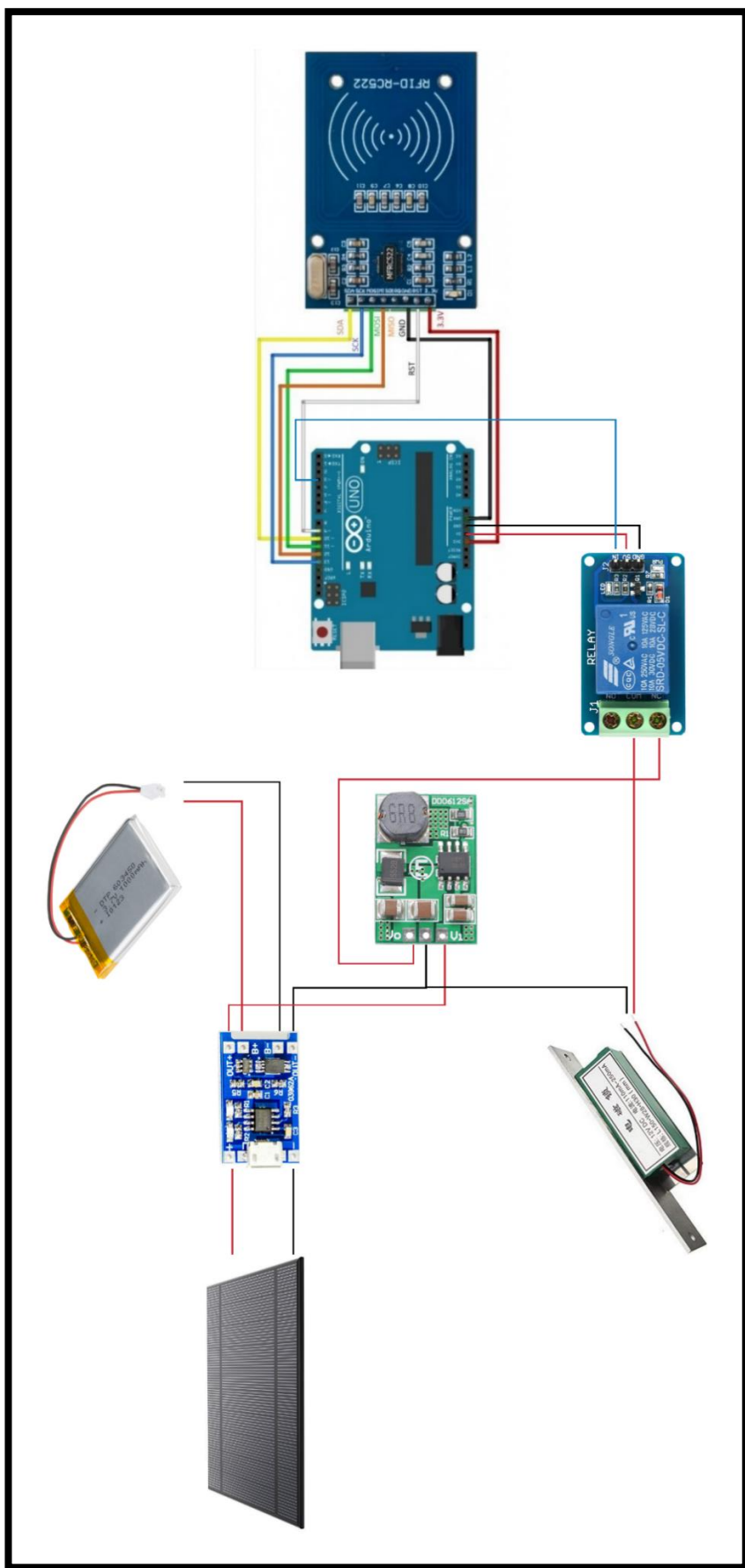


Figura 5.2.: Diagrama completo del conexionado del proyecto

5.2. Resultados de las pruebas

Con todos los elementos soldados y conectados se pasó a la toma de medidas del sistema de captación de energía en el módulo del actuador. Para ello se utilizó un multímetro, aparato capaz de mostrar lecturas de tensión y de corriente utilizando un potenciómetro.

La primera tarea fue la de medir la salida del panel solar. Esta variaba entre 0V y 5,2V según se tapaba por completo la celda fotovoltaica y se iba despejando lentamente con un aumento gradual. Esto demostraba la proporcionalidad entre la luminosidad que captaba el panel solar y la tensión de salida que convertía.

Hay que recalcar que el panel solar totalmente despejado en un día soleado adquiría la misma tensión de salida que en un día medio nublado. Esto indica la gran estabilidad de conversión lumínica del panel solar que incluso no teniendo demasiada luz es capaz de obtener una tensión de salida apta para el circuito.

Se midió la tensión a la salida de la batería según se iba cargando y descargando. Esta medida daba siempre el mismo rango de valores, entre 3,68V y 3,92V. Una desviación mínima que no afecta al funcionamiento del circuito.

Para poder caracterizar el convertidor se realizaron medidas en todo su rango de tensiones de entrada, que es entre 2,6V y 5V, utilizando una fuente de alimentación del propio laboratorio. Los resultados se encuentran en la *TABLA 5. 2.*

TABLA 3.2.: MEDIDAS TOMADAS EN EL CONVERTIDOR ELEVADOR

Voltaje de entrada	Corriente de entrada	Voltaje de salida	Corriente de salida
2,6 V	1,44 A	12 V	0,25 A
3,0 V	1,84 A	12 V	0,38 A
3,3 V	2,10 A	12 V	0,47 A
3,7 V	2,50 A	12 V	0,63 A
4,5 V	3,00 A	12 V	0,96 A
5,0 V	3,50 A	12 V	1,20 A

Estas medidas se ajustan a lo esperado, y permiten comprobar que, a pesar de variar el rango de entrada, el voltaje va a ser siempre 12V, que es el nivel exacto necesario para la activación del pestillo eléctrico.

Finalmente, como resultado definitivo del proyecto se puede concretar que el sistema funciona, ya que probando a pasar el llavero RFID por el sensor, el pestillo se abría, y si se pasaba otra tarjeta que no tuviese el ID correcto el pestillo se mantenía cerrado.

6. CONCLUSIONES

En este apartado se analiza de forma crítica los resultados obtenidos a lo largo de todo el proyecto y los posibles avances futuros de este.

6.1. Consecución de objetivos

En primer lugar, el estudio detallado de distintas formas de captar energía renovable para un sistema de control de la IOT fue el objetivo principal. De entre todas las opciones del mercado quedó claro que la energía solar era la adecuada. Para que esta pudiera alimentar un sistema de bajo consumo se requeriría un convertidor apropiado, por lo que el estudio de estos mismos también fue fundamental.

Este objetivo se cumplió con éxito de forma parcial, ya que solamente se ha alimentado el módulo del actuador con energías renovables y no el propio Arduino con el sensor. Aun así, resulta lógico que el Arduino esté conectado a la red eléctrica ya que suelen encontrarse dentro de las viviendas.

Habiendo estudiado detalladamente todas las opciones de domótica en el marco de la IoT, el segundo reto que se afrontó fue el de seleccionar los componentes adecuados para el correcto funcionamiento del circuito. Era de extrema importancia el utilizar componentes que tuviesen circuitos de protección integrados para la seguridad del hardware.

El presupuesto a gastar debía ser reducido y, como se puede encontrar en el capítulo siguiente, ha sido un resultado satisfactorio, costando los materiales del proyecto menos de 100€ en total. Del mismo modo, los componentes debían ser del tamaño más reducido posible para ser una aplicación real de la IoT, y este objetivo se cumplimentó de forma satisfactoria también.

Por otro lado, el diseño del software para el microcontrolador resultó ser un objetivo sencillo ya que se encontró en internet el programa de Miguel Balboa que era de uso libre y realizaba el control del sistema casi de forma ideal para nuestro proyecto. La aportación del alumno fue la de modificar ciertas variables para que el lector RFID

En cuanto a las medidas adquiridas acerca del circuito final, resultan un tanto escasas a pesar de que indican el correcto funcionamiento de este. Aunque no se había establecido un mínimo de resultados a medir, sí que habría sido interesante una mayor base de datos e información medida.

La aportación personal del alumno para el diseño e implementación del proyecto es la calidad de componentes que funcionan de forma idónea y los cuales se han encontrado mediante un estudio y búsqueda exhaustivos. A pesar de no contribuir de forma técnica en el software o en el hardware, sí que se ha diseñado un proyecto original a partir de otros trabajos conocidos, siendo de relevante importancia una vez más la innovación en

el sistema de alimentación del pestillo eléctrico. Este sistema de acumulación podrá implementarse en casi cualquier proyecto de la IoT debido a su carácter tan generalista.

En conclusión, los objetivos no se han cumplido todos de la forma esperada, pero sí que se ha podido estudiar, diseñar e implementar el sistema de control con captación de energía alternativa, rubricando un proyecto fructífero finalmente y con cierto grado de aportación para el mercado actual y futuro.

6.2. Futuras ampliaciones

A pesar de haberse realizado el proyecto en su totalidad, existen varias posibilidades de avance en el futuro que supondrían cierta mejoría con respecto al original.

Una de ellas es la de convertir el circuito en tres módulos separados (pestillo, Arduino y sensor) mediante sensores bluetooth. De este modo se podrían sobrepasar las barreras físicas del cableado y realizar conexiones inalámbricas entre los tres módulos. Y, para autonomizar cada uno de los módulos, instalar un sistema de alimentación de energía solar a cada uno de ellos por separado y no solo al del actuador.

Otra posible ampliación sería la de conectar un dispositivo Wifi al Arduino para que este enviase información acerca de los periféricos a una aplicación en Internet. Se podría desarrollar un software para que esta información llegase al teléfono móvil del usuario e incluso para que se pudiese mandar ordenes al Arduino desde una aplicación móvil. De este modo podría utilizarse el teléfono para abrir el pestillo eléctrico.

Resulta evidente que una muy buena opción de ampliación del proyecto sería la de conectar más periféricos al Arduino, convirtiéndolo así en una unidad de control domótica real. Por ejemplo, se podrían conectar termostatos inteligentes para controlar la temperatura o incluso bombillas inteligentes para controlar la luz de la vivienda.

La ampliación de las mediciones del circuito es una línea de progreso de obligado carácter, ya que es necesaria una correcta caracterización del circuito. Cuantos más datos se recopilen, más eficiencia se podrá sacar del panel solar y, en consecuencia, del sistema de alimentación.

Por último, se podría diseñar una caja en la que se pudiera meter los componentes del circuito y así protegerlos de daños físicos externos. La fabricación de la caja podría realizarse de forma sencilla y completamente personalizada con una impresora 3D y el software adecuado.

7. ENTORNO SOCIOECONÓMICO

7.1. Presupuesto de la elaboración

Para determinar el impacto económico de este proyecto, hay que fijarse en dos variables principales: los costes humanos y los costes materiales.

7.1.1. Costes humanos

Durante toda la elaboración del proyecto, las horas de trabajo del alumno y de la tutora no han sido estrictamente controladas. Esto se debe a que la elaboración del proyecto coincidía con el último curso del grado universitario y, por lo tanto, el alumno y la tutora se encontraban con épocas de exámenes en las que las horas de TFG eran mínimas, y otras épocas como las vacacionales donde las horas empleadas en el TFG estaban por encima de la media.

Para resolver este dilema, se ha decidido en el caso del alumno suponer unas horas de trabajo equivalentes a los 12 créditos ECTS que convalidan el TFG.

Para la tutora, se ha estimado alrededor de media hora de tutoría a la semana a lo largo de todo el proyecto. Este tiempo incluye el esfuerzo requerido para redactar correos y preparar el laboratorio para la implementación del circuito.

El salario del alumno se estima del salario percibido por el propio alumno durante su estancia en prácticas como estudiante del grado universitario, siendo de una cantidad de 5,25€/hora. El salario de la tutora universitaria se estima en 20€/hora.

TABLA 7.1.: COSTES HUMANOS DEL TFG

Descripción	Coste por Hora (€/h)	Cantidad Horas (h)	Coste total (€)
Alumno	5,25	330	1732,5
Tutora	20	11	220
TOTAL			1.952,50 €

7.1.2. Costes materiales

El presupuesto de la materia prima se reduce al coste de cada uno de los componentes del circuito que se ha implementado (incluyendo los gastos de envío). En el caso de materiales sobrantes como cables o pines, también se incluyen en la tabla ya que es un gasto que se debía realizar y no se puede reembolsar el material restante.

Además, se debería tener en cuenta el coste de utilización de las instalaciones de la universidad (laboratorios y aulas) y el tiempo de uso de los aparatos de medición y soldadura. También el coste del ordenador portátil donde se ha redactado el TFG y el coste del software que se ha aprovechado para la realización de este. A pesar de ello, se trata de una estimación muy compleja por lo que se va a obviar en este caso. Simplemente se debe asumir un coste final mayor al resultante total que se observa en las tablas.

TABLA 7.2: COSTES MATERIALES DEL TFG

Descripción	Cantidad (unidad)	Coste total (€)
Convertidor Boost	1	10,99
Pestillo Eléctrico	1	11,89
Arduino UNO R3	1	18,7
Cables con pines	120	6,99
Alimentador Arduino	1	8,99
Kit RFID	1	6,49
Relé	1	2,8
Panel Solar	2	12,99
Batería LiPo	1	11,5
Regulador de carga	1	6,99
TOTAL		98,33 €

7.1.3. Coste total del TFG

El coste total de este proyecto asciende a 2050,83 €. Se trata de un valor realmente elevado debido a la cantidad de horas empleadas, pero realmente es un circuito de muy bajo coste que se encuentra al alcance de prácticamente cualquier persona por menos de 100€.

7.2. Impacto socioeconómico

Este proyecto supone un avance más hacia el establecimiento final de las energías renovables para todos los circuitos de electrónica de baja potencia. Como ya se ha comentado en la introducción, la domótica y la IoT son dos campos revolucionarios de la electrónica que están buscando cada día el poder desprenderse de la mayor parte de las conexiones cableadas. La utilización de este tipo de fuentes renovables sin necesidad de buscar un enchufe a la red eléctrica supone un gran avance hacia la autonomía de los circuitos. También tiene un efecto positivo en el impacto ambiental, contaminando en menor cantidad que las fuentes tradicionales.

Refiriéndose al impacto social, este proyecto ofrece una simple forma de incluir la domótica en una vivienda particular para cualquier persona aficionada a la electrónica. La automatización conlleva un bienestar y ahorra de tiempo que en la sociedad en la que vivimos hoy en día resulta ser de lo más cotizado.

Por otro lado, en cuanto al impacto económico, como se ha podido observar en el presupuesto del proyecto, no se trata de una suma muy elevada. De hecho, con el paso del tiempo y los avances que se producirán durante estos años, se puede afirmar con total seguridad de que saldrán al mercado kits mucho más baratos y con todos los componentes ya integrados. Esto se debe también a la creciente demanda de instalaciones domóticas en viviendas como se apuntó en el capítulo de *INTRODUCCIÓN* de esta memoria.

Para concluir se puede considerar una evaluación social y económica muy positiva de este proyecto, sobre todo de cara al futuro.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] La comercializadora eléctrica que piensa en ti | Nabalía. (2019). *Combustibles fósiles, ¿qué son y qué tipos existen?* | *Nabalía Energía*. [en línea] Disponible en: <https://nabalíaenergia.com/combustibles-fosiles-que-son-y-tipos/> [Accedido 4 Sep. 2019].
- [2] Casas Digitales. (2019). *¿Tiene rentabilidad la domótica en el hogar?* [en línea] Disponible en: <https://www.casasdigitales.com/rentabilidad-futura-la-domotica/> [Accedido 12 Sep. 2019].
- [3] Think Big. (2019). *IoT, ¿el nuevo aliado de las energías renovables?* - *Think Big Empresas*. [en línea] Disponible en: <https://empresas.blogthinkbig.com/iot-el-nuevo-aliado-de-las-energias-renovables/> [Accedido 12 Sep. 2019].
- [4] Nergiza. (2019). *Placas solares: térmicas o fotovoltaicas*. [en línea] Disponible en: <https://nergiza.com/placas-solares-termicas-o-fotovoltaicas/> [Accedido 18 Sep. 2019].
- [5] Damiasolar.com. (2019). *Comparativa: panel solar poli, mono, cuasi-mono, y amorfo*. [en línea] Disponible en: https://www.damiasolar.com/presenti/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/blog-137-ita_1 [Accedido 18 Sep. 2019].
- [6] Yuasa. (2019). *Funcionamiento de las baterías* - *Yuasa*. [en línea] Disponible en: <https://www.yuasa.es/informacion/automocion-comercial-servicios-nautica/funcionamiento-de-las-baterias/> [Accedido 18 Sep. 2019].
- [7] Anon, (2019). [en línea] Disponible en: <https://tecnologia-informatica.com/pilas-recargables-pilas-y-baterias-de-litio/> [Accedido 18 Sep. 2019].
- [8] Motores.nichese.com. (2019). *CONVERTIDORES ELECTRÓNICOS DE POTENCIA*. [en línea] Disponible en: <http://motores.nichese.com/convertidores.htm> [Accedido 17 Sep. 2019].
- [9] Anon, (2019). [en línea] Disponible en: <https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/types-of-switching-dc-dc-converters> [Accedido 17 Sep. 2019].
- [10] Envira IOT. (2019). *¿Cuáles son las principales funciones de los sensores IoT?*. [en línea] Disponible en: <https://enviraiot.es/funciones-sensores-iot-cuales-son/> [Accedido 19 Sep. 2019].
- [11] Luis Llamas. (2019). *Lectura de tarjetas RFID con Arduino y lector MIFARE RC522*. [en línea] Disponible en: <https://www.luisllamas.es/arduino-rfid-mifare-rc522/> [Accedido 23 Sep. 2019].

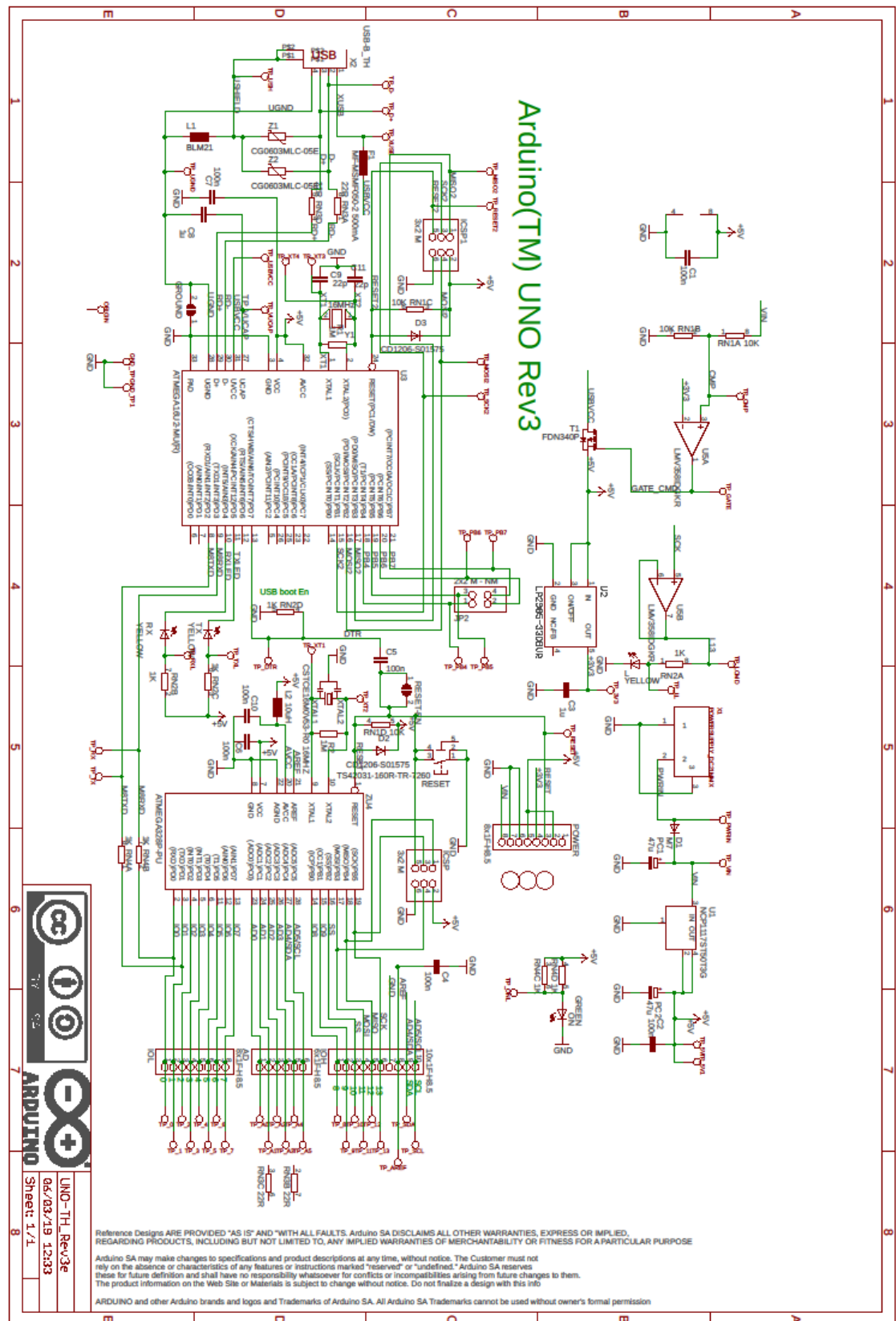
- [12] El blog de la ventilación inteligente. (2019). *El funcionamiento de un sensor de humedad. Usos frecuentes*. [en línea] Disponible en: <https://www.siberzone.es/blog-sistemas-ventilacion/el-funcionamiento-de-un-sensor-de-humedad-usos-frecuentes/> [Accedido 23 Sep. 2019].
- [13] Puro Motores. (2019). *Cómo funciona un sensor de humedad*. [en línea] Disponible en: <https://www.puromotores.com/13121694/como-funciona-un-sensor-de-humedad> [Accedido 23 Sep. 2019].
- [14] Nivel?, ¿. (2019). *¿Qué es un Sensor de Nivel?*. [en línea] Eicos.com. Disponible en: <http://www.eicos.com/datos-tecnicos/que-es-un-sensor-de-nivel/> [Accedido 23 Sep. 2019].
- [15] Talavera, M. (2019). *PICmicro® MCU Estudio - ¿qué es un microcontrolador?*. [en línea] Electronica Estudio. Disponible en: <https://www.electronicaestudio.com/que-es-un-microcontrolador/> [Accedido 19 Sep. 2019].
- [16] PlusElectric. (2019). *Arduino Uno: Especificaciones y características*. [en línea] Disponible en: <https://pluselectric.wordpress.com/2014/09/21/arduino-uno-especificaciones-y-caracteristicas/> [Accedido 19 Sep. 2019].
- [17] B+, A. (2019). *Análisis: Raspberry Pi 3 Modelo B+ - HardZone*. [en línea] HardZone. Disponible en: <https://hardzone.es/reviews/perifericos/analisis-raspberry-pi-3-modelo-b/> [Accedido 20 Sep. 2019].
- [18] Electronicaplugandplay.com. (2019). *Kit TIVA C TM4C123G LaunchPad*. [en línea] Disponible en: <https://www.electronicaplugandplay.com/sistemas-embebidos/product/197-tiva-tm4c123gxl> [Accedido 20 Sep. 2019].

9. REFERENCIAS DE FIGURAS

- [19] Datos.bancomundial.org. (2019). *Consumo de energía procedente de combustibles fósiles (% del total) | Data*. [en línea] Disponible en: <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.COMM.FO.ZS> [Accedido 4 Sep. 2019].
- [20] Ncta.com. (2019). *Infographic: The Growth Of The Internet Of Things | NCTA — The Internet & Television Association*. [en línea] Disponible en: <https://www.ncta.com/whats-new/infographic-the-growth-of-the-internet-of-things> [Accedido 12 Sep. 2019].
- [21] Toyota ES. (2019). *Las carreteras como generadores eléctricos*. [en línea] Disponible en: https://www.toyota.es/world-of-toyota/articles-news-events/2017/carreteras_generaran_electricidad [Accedido 17 Sep. 2019].
- [22] Upload.wikimedia.org. (2019). [en línea] Disponible en: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2c/Fixed_Tilt_Solar_panel_at_Canterbury_Municipal_Building_Canterbury_New_Hampshire.jpg [Accedido 18 Sep. 2019].
- [23] Senaeenergy.es. (2019). *¿Cómo funcionan las baterías de flujo? | senae energy*. [en línea] Disponible en: <https://senaeenergy.es/como-funcionan-las-baterias-de-flujo/> [Accedido 18 Sep. 2019].
- [24] RAVPower. (2019). *Lithium Ion vs. Lithium Polymer Batteries – Which Is Better? - RAVPower*. [en línea] Disponible en: <http://blog.ravpower.com/2017/06/lithium-ion-vs-lithium-polymer-batteries/> [Accedido 18 Sep. 2019].
- [25] Slideplayer.es. (2019). *Convertidores Continua/ Continua: Topologías básicas - ppt descargar*. [en línea] Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/1112512/> [Accedido 17 Sep. 2019].
- [26] Riverglennapts.com. (2019). *Convertidor Buck | Paso abajo Chopper*. [en línea] Disponible en: <https://riverglennapts.com/es/converters/213-buck-converter-step-down-chopper.html> [Accedido 17 Sep. 2019].
- [27] Riverglennapts.com. (2019). *Convertidor de impulso | Step Up Chopper*. [en línea] Disponible en: <https://riverglennapts.com/es/converters/215-boost-converter-step-up-chopper.html> [Accedido 19 Sep. 2019].
- [28] Riverglennapts.com. (2019). *Convertidor Buck Boost*. [en línea] Disponible en: <https://riverglennapts.com/es/converters/216-buck-boost-converter.html> [Accedido 19 Sep. 2019].

- [29] Envira IOT. (2019). *¿Cuáles son las principales funciones de los sensores IoT?*. [en línea] Disponible en: <https://enviraiot.es/funciones-sensores-iot-cuales-son/> [Accedido 19 Sep. 2019].
- [30] Blog de Novatrans. (2019). *La tecnología RFID y su aplicación en el sector del transporte y la logística - Blog de Novatrans*. [en línea] Disponible en: <https://www.novatrans.es/blog/2015/03/17/la-tecnologia-rfid-y-su-aplicacion-en-el-sector-del-transporte-y-la-logistica/> [Accedido 23 Sep. 2019].
- [31] Suelo, S. (2019). *Sensor de Humedad del Suelo*. [en línea] Naylamp Mechatronics - Perú. Disponible en: <https://naylampmechatronics.com/sensores-temperatura-y-humedad/47-sensor-de-humedad-del-suelo.html> [Accedido 23 Sep. 2019].
- [32] El blog de isbelg. (2019). *Sensores de nivel - El blog de isbelg*. [en línea] Disponible en: <http://isbelg.over-blog.com/article-sensores-nivel-86799572.html> [Accedido 23 Sep. 2019].
- [33] Talavera, M. (2019). *PICmicro® MCU Estudio - ¿qué es un microcontrolador?*. [en línea] Electronica Estudio. Disponible en: <https://www.electronicaestudio.com/que-es-un-microcontrolador/> [Accedido 23 Sep. 2019].
- [34] Aprendiendo Arduino. (2019). *esquemas eléctricos – Aprendiendo Arduino*. [en línea] Disponible en: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/tag/esquemas-electricos/> [Accedido 23 Sep. 2019].
- [35] Anon, (2019). [en línea] Disponible en: <https://www.element14.com/community/dtss-images/uploads/devtool/diagram/large/Tiva+C+Series+TM4C123G+USB+CAN+Development+Kit+5511ec17badb0.png> [Accedido 23 Sep. 2019].
- [36] Pablo Turmero, M. (2019). *Sistemas electronicos y el multiplexado - Monografias.com*. [en línea] Monografias.com. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos102/sistemas-electronicos-y-multiplexado/sistemas-electronicos-y-multiplexado.shtml> [Accedido 23 Sep. 2019].

10. ANEXO A



11. ANEXO B

```
#include <SPI.h>

#include <MFRC522.h>


#define SS_PIN 10

#define RST_PIN 9

#define LED_G 5 //define green LED pin

#define LED_R 4 //define red LED

#define RELAY 3 //relay pin

#define BUZZER 2 //buzzer pin

#define ACCESS_DELAY 2000

#define DENIED_DELAY 1000

MFRC522 mfrc522(SS_PIN, RST_PIN); // Create MFRC522 instance.


void setup()

{

  Serial.begin(9600); // Initiate a serial communication

  SPI.begin();      // Initiate  SPI bus

  mfrc522.PCD_Init(); // Initiate MFRC522

  pinMode(LED_G, OUTPUT);

  pinMode(LED_R, OUTPUT);

  pinMode(RELAY, OUTPUT);

  pinMode(BUZZER, OUTPUT);

  noTone(BUZZER);

  digitalWrite(RELAY, HIGH);

  Serial.println("Put your card to the reader...");

  Serial.println();
```

```

}

void loop()
{
    // Look for new cards
    if ( ! mfrc522.PICC_IsNewCardPresent())
    {
        return;
    }

    // Select one of the cards
    if ( ! mfrc522.PICC_ReadCardSerial())
    {
        return;
    }

    //Show UID on serial monitor
    Serial.print("UID tag :");

    String content= "";
    byte letter;
    for (byte i = 0; i < mfrc522.uid.size; i++)
    {
        Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " ");
        Serial.print(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX);
        content.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i] < 0x10 ? " 0" : " "));
        content.concat(String(mfrc522.uid.uidByte[i], HEX));
    }

    Serial.println();

    Serial.print("Message : ");

```

```

content.toUpperCase();

if (content.substring(1) == "39 82 52 63") //change here the UID of the card/cards that
you want to give access
{
    Serial.println("Authorized access");
    Serial.println();
    delay(500);
    digitalWrite(RELAY, LOW);
    digitalWrite(LED_G, HIGH);
    delay(ACCESS_DELAY);
    digitalWrite(RELAY, HIGH);
    digitalWrite(LED_G, LOW);
}

else {
    Serial.println(" Access denied");
    digitalWrite(LED_R, HIGH);
    tone(BUZZER, 300);
    delay(DENIED_DELAY);
    digitalWrite(LED_R, LOW);
    noTone(BUZZER);
}
}

```