



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA (ICAI)
INGENIERO ELÉCTRICO

SMART BUILDING

Autor: Juan Carlos Martín Hinojar
Director: Amir Arzandé

Madrid
Agosto 2016

Juan Carlos
Martin
Hinojar

SMART BUILDING



AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. Juan Carlos Martín Hinojar DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: Smart Building, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducirla en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 31 de agosto de 2016

ACEPTA

Juan Carlos Martín Arriaga

Fdo.....

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Smart Building en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia
Comillas en el curso académico 2015/2016 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Juan Carlos Martín Hinojar

Fecha: 31/08/16

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Amir Arzandé

Fecha://

Vº Bº del Coordinador de Proyectos

Fdo.: Fecha://

SMART BUILDING: SISTEMA DE CONTROL DE APARATOS ELÉCTRICOS.

Autor: Martín Hinojar, Juan Carlos.

Director: Arzandé, Amir.

Entidad Colaboradora: CentraleSupélec

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

Los Edificios Inteligentes utilizan la tecnología de las Smart Grids aplicada a la red privada. Gracias a ellos, el consumidor es capaz de poder gestionar la demanda energética, integrar las energías renovables, el coche eléctrico, participar en la autogeneración de energía y controlar su consumo garantizando el ahorro energético, el confort, y la seguridad de la red, contribuyendo al desarrollo de las redes inteligentes y de un modelo energético sostenible.

El sector residencial es uno de los más importantes en lo que se refiere a consumo energético final. La media europea se sitúa en el 25% siendo el tercer sector más importante después de transportes e industria. No obstante, en países como Francia el 36% del consumo de energía final proviene de los edificios. Además este sector irá cobrando mayor importancia debido al desarrollo de nuevas aplicaciones y necesidades tecnológicas que se prevén desarrollar.

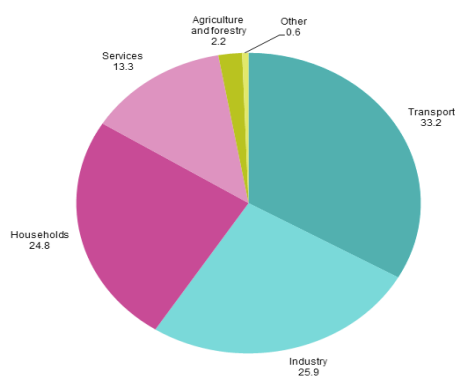


Ilustración 1 – Consumo de energía final por sectores en la Unión Europea.
FUENTE: Eurostat.

El desarrollo del Edificio Inteligente es una parte importante dentro de la redes inteligentes. Este nuevo modelo busca dar al consumidor un papel central en la toma de decisiones. El consumidor pasa a ser un actor principal en el mercado eléctrico.

Este proyecto se ha desarrollado con la intención de dotar al consumidor de ese poder de decisión y de gestión de la demanda. En él se presentan la herramientas necesarias para realizar el control de los aparatos eléctricos del hogar controlando el consumo y el ahorro energético.

El proyecto tiene una visión pluridisciplinar integrando la electrónica de potencia , de radiofrecuencia y el control de maquinas eléctricas y busca ofrecer una solución desde la cual el usuario pueda ejercer el control sobre sus aplicaciones eléctricas controlando el consumo.

Metodología

El proyecto se divide en tres grandes etapas. Una primera etapa de comunicación. Esta etapa se basa en establecer las conexiones pertinentes entre el usuario y la aplicación final. Para lo que se ha creado una página web y se ha hecho uso de Raspberry Pi y Arduino. Raspberry Pi aporta el servidor Web que está programado en lenguaje Python, el cual recibe la información del usuario y la envía a Arduino que ejecuta las instrucciones. La segunda etapa es la de control. La etapa de control gestiona la información de forma inteligente de tal forma que la ejecución sea coherente con lo que el usuario busca. La última etapa de aplicación busca validar esta cadena de comunicación. Para ello se han creado tres aplicaciones sencillas que permiten el control de cualquier elemento del hogar siguiendo la configuración adecuada.

La primera aplicación se centra en un enchufe controlable por radiofrecuencia. Para la que se ha tenido que realizar una etapa de descifrado de la señal previa correspondiente a dicho enchufe. Posteriormente se reproduce dicha señal por medio de un modulo emisor de 433MHz conectado a Arduino que realiza el control del enchufe.

La segunda aplicación de control tiene un sistema más complejo y recae sobre el control de maquinas eléctricas particularmente en el control de velocidad un motor a corriente continua haciendo uso de la electrónica de potencia.

Por medio de la función PWM (*Pulse Width Modulation*) se produce una señal cuadrada controlable por medio de su ciclo de trabajo a través de una barra de control en la página web. Esta señal es filtrada por medio de un filtro paso bajo, que permite eliminar los armónicos diferentes al fundamental, obteniendo un valor medio de tensión entre 5 y 0 V. Esta señal continua es comparada con una señal de referencia en el convertidor y se encarga de controlar los tiristores del puente de Graetz (Convertidor) por medio de una impulsión sobre la puerta del tiristor o *gate*. Esto produce una tensión media controlable a la salida del convertidor, la cual se conecta a la alimentación del motor de corriente continua, concretamente al bobinado del rotor. Finalmente, la velocidad es controlada atendiendo al siguiente esquema:

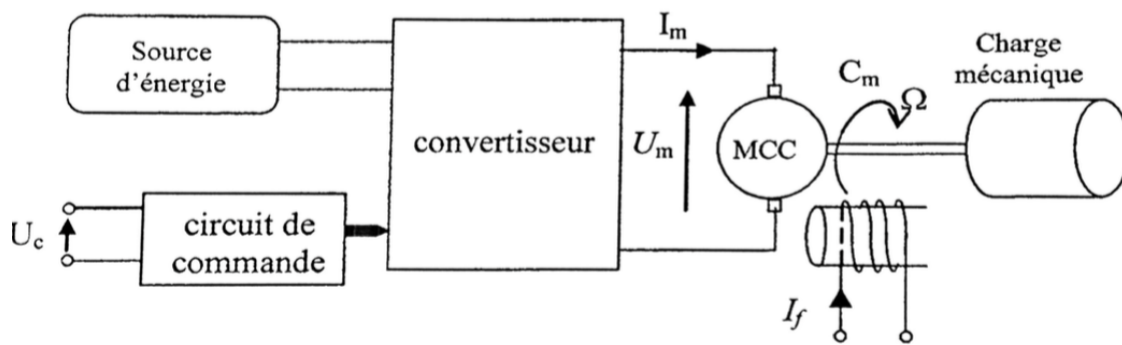


Ilustración 2 – Esquema del control de un motor de corriente continua.

La tercera y última consiste en la concepción de un sistema de vigilancia que permita al usuario verificar en todo momento el estado de cualquiera de sus aparatos a través de una cámara instalada en la Raspberry Pi.

Resultados

El resultado del proyecto es la construcción de una plataforma web capaz de poder gestionar las tres aplicaciones mencionadas anteriormente: control de velocidad, cámara de control y conexión o desconexión de aparatos eléctricos.

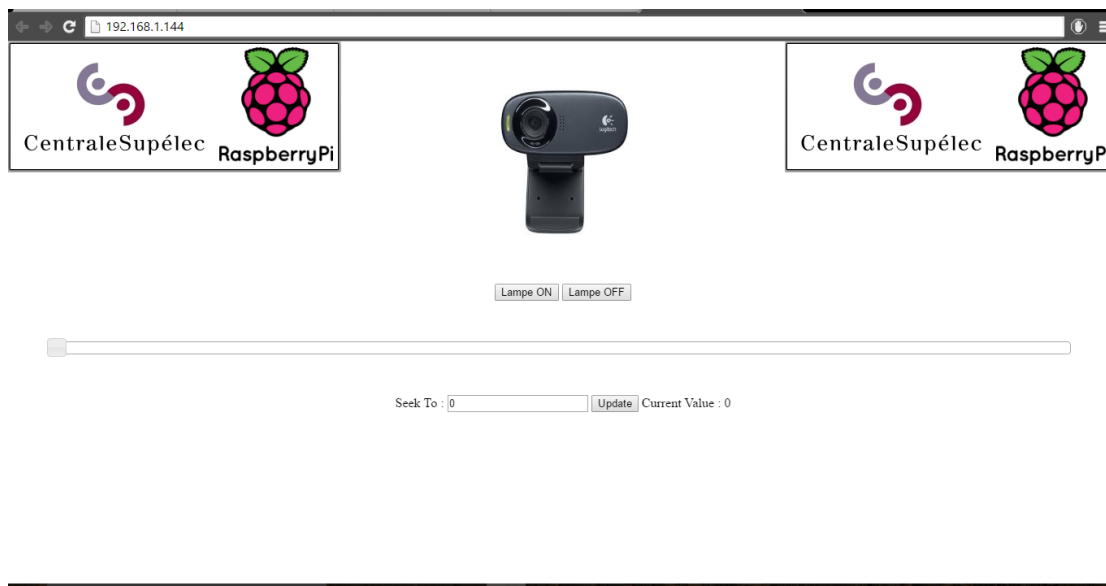


Ilustración 3 – Diseño de la página web.

Esta página web incluye:

- Video-vigilancia. Pinchando en la imagen de la cámara podemos ver en tiempo real lo que está grabando la cámara instalada en Raspberry Pi. En este proyecto será el motor de corriente continua

- Dos botones de ON/OFF que encenderán o apagaran cualquier aplicación que hayamos decidido conectar a nuestro canal. En este proyecto será una lámpara.
- Una barra que podemos regular y que controla la tensión de salida de Arduino por medio de la modulación por ancho de pulsos (PWM). Esta barra ha servido para el control de la velocidad de un motor eléctrico de corriente continua a través de un convertidor o puente de Graetz a 6 tiristores pero puede tener también otras aplicaciones de control de potencia.

Conclusiones

Con este proyecto se ha dado una solución al problema de la gestión de la demanda energética permitiendo al usuario poder tener el control de los diferentes aparatos eléctricos de su hogar. Si bien se han desarrollado tres aplicaciones concretas el concepto es el mismo para los diferentes aparatos eléctricos que se dispongan en el hogar.

El proyecto ha supuesto una primera toma de contacto con una realidad tecnológica que integra conceptos de programación, de mecánica, de electrotecnia así como de electrónica. Además, el aumento del consumo de electricidad y del desarrollo de nuevos aparatos eléctrico y su tecnología hace que este proyecto este dotado de gran valor y sea ya una necesidad. Para ello es necesario una rápida implantación de las redes inteligentes que hagan del sistema eléctrico un sistema sostenible, eficiente y seguro, y que sirva de nexo de unión entre la red privada y pública.

Referencias

Collectif AUTOMATIQUE-EEI. Entraînements à vitesse variable. Supélec 2004.

Eurostat. Comsumption of energy. Consultado el 2 de julio de 2016 de http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy

KARIMI, Chafir & LORCET, Bruno. Electronique de puissance. Supélec 2008.

PIERRON, Georges. Principes et composants de l'électrotechnique, Supélec 2009.

SMART BUILDING: DEVICE CONTROL SYSTEM.

Introduction

Smart Buildings use the technology of Smart Grids applied to the private network. Thanks to them, the consumer is able to manage energy demand, integrating renewable energies, the electric car, participate in self-generation of energy and control their consumption by ensuring energy savings, comfort, and safety to the grid, contributing to the development of the Smart Grids and a sustainable energy model.

The residential sector is one of the most important in terms of final energy consumption. The European average is 25 % and the third largest sector after the transport and industry sector. However, in countries like France 36% of final energy consumption comes from buildings. Besides, this sector will become increasingly important due to the development of new appliances and technological needs.

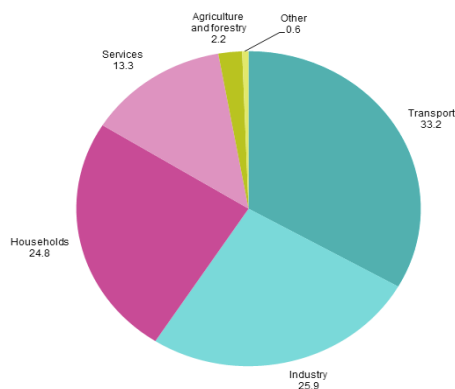


Figure 1 – Final energy consumption by sectors in the European Union.
Source: Eurostat.

The development of the Smart Building is an important part of the Smart Grid. This new model seeks to give the consumer a central role in the demand side management. The consumer becomes a major player in the electricity market.

This project has been developed with the intention of providing the consumer the power of making decisions and the central role in the demand side management. In this project, the tools necessary for control of household electrical appliances controlling consumption and energy savings are presented.

The project has a multidisciplinary vision integrating power electronics, radiofrequency and control of electrical machines seeking to offer a solution from which the user can manage their electricity consumption monitoring their appliances.

Methodology

The project is divided into three main stages. The first stage is the communication. This stage is based on establishing relevant links between the user and the final application. It has been created a website and it has been used Arduino and Raspberry Pi . Raspberry Pi provides the Web server, which is written in Python, and receives the user information and sends it to Arduino that executes the instructions. The second stage is the control. The control stage manages information intelligently so that the implementation is consistent with what the user is looking for. The last stage of applications seeks to validate this chain of communication and it has been created three simple applications that allow the control of any appliance following the proper configuration.

The first application focuses on a controllable radiofrequency plug. Previously it has been performed a decryption stage for that plug finding the controllable signal. Then the signal is reproduced by a 433MHz transmitter module connected to Arduino that simulates the plug remote control.

The second application is based on the control of electrical machines, particularly in the speed control of a DC motor, using power electronics.

Through the function PWM (Pulse Width Modulation) it has been created a square signal that it can be controlled through its duty cycle through a control bar on the website (see Results). This signal is filtered by a lowpass filter , which removes the higher harmonics except the first one that contains the fundamental frequency, obtaining an average voltage value between 5 and 0 V. This continuous signal is compared with a reference signal in the converter and is in charge of controlling the thyristors of the Graetz bridge (converter) by a trigger signal on the gate of the thyristor. This produces a controllable mean voltage in the output of the converter, which is connected to the power of the DC motor, namely the rotor winding . Finally, the speed is controlled as the following scheme:

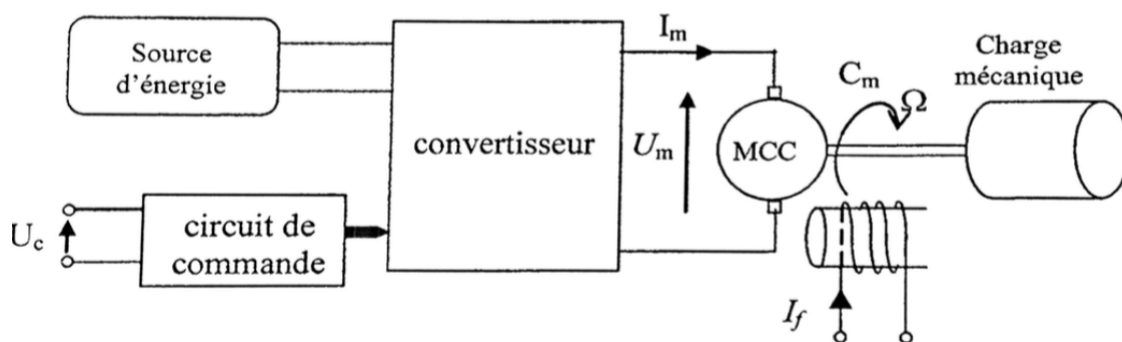


Figure 2 – DC motor control system

The third and the last application is the conception of a monitoring system or video-surveillance that allows the user to check at any moment the status of any of your appliances through a camera installed in the Raspberry Pi.

Results

The result of the project is the design of a website capable of handling the three applications mentioned above: speed control, camera control and connection or disconnection of electrical appliances.

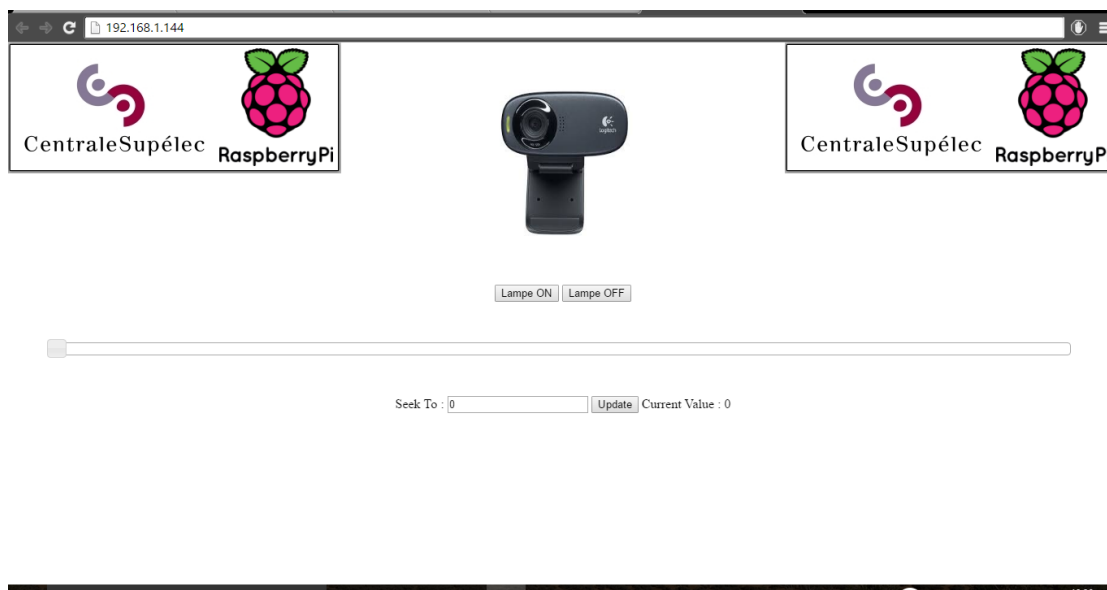


Figure 3 – website design.

This website includes:

- Video-surveillance. By clicking on the camera image we can see in real time what the camera is recording. In this project will be the DC motor.
- Two buttons ON / OFF to turn on or turn off any application that we decide to connect to the smart plug .In this project will be a lamp.
- A bar that can regulate and control the output voltage of Arduino through the pulse-width modulation (PWM). This bar has served to control the speed of an electric DC motor through a converter or Graetz bridge but may also have other applications.

Conclusions

This project has given a solution to the problem of energy demand management allowing the user to take control of different electrical appliances in your home. Even if the project has developed three specific applications the concept is the same for different electrical appliances.

The project has been a first contact with a new technological reality that integrates programming concepts, mechanical, electrical engineering and electronics. In addition, the increased consumption of electricity and development of new electrical appliances and technology makes this project be endowed with great value. The necessity to integrate this technology requires rapid deployment of the Smart Grids that make the electricity system sustainable, efficient, and secure being able to link the private and public network.

References

Collectif AUTOMATIQUE-EEI. *Entraînements à vitesse variable*. Supélec 2004.

Eurostat. Consumption of energy. Consultado el 2 de julio de 2016 de http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Consumption_of_energy

KARIMI, Chafir & LORCET, Bruno. *Electronique de puissance*. Supélec 2008.

PIERRON, Georges. *Principes et composants de l'électrotechnique*, Supélec 2009.

ÍNDICE:

1.INTRODUCCIÓN.....	1
2.ESTADO DEL ARTE	5
2.1. La Red eléctrica.....	5
2.2. Política Energética	9
2.3. Smart Grids.....	13
2.3.1 El “Consumactor”	17
2.3.2 Gestión de la demanda.....	18
2.3.3 Contadores inteligentes.....	20
2.3.4 Vehículo eléctrico.....	21
2.3.5 Integración de las renovables	23
2.2.6 Edificio inteligente.....	27
3.PROYECTO	31
3.1 Comunicación	31
3.1.1 Comunicación Raspberry Pi y Arduino.....	32
3.1.2 Servidor Web.....	32
3.1.3 Comunicación por radiofrecuencia	37
3.1.4 Control remoto de un interruptor “inteligente”	38
3.2 Control	43
3.2.1 Página Web	45
3.2.2 Tratamiento de la información.....	49
3.3 DC MOTOR.....	54
3.3.1 Arduino : PWM	55
3.3.2 Filtro paso bajo.....	57
3.3.3 Convertidor. Puente de Graetz a 6 tiristores.....	58
3.3.4 DC motor o motor de corriente continua.....	62
4.CONCLUSIÓN	67
BIBLIOGRAFÍA.....	69
ANEXO	71
ANEXO A: Introducción a Raspberry Pi	71
ANEXO B: Introducción a Arduino	79
ANEXO C: Códigos del proyecto	81

ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1 – Esquema clásico de la red eléctrica. Fuente: IEEE.	5
Figura 2 - Evolución de la demanda peninsular. Fuente: Red Eléctrica Española (REE).	6
Figura 3 – Crecimiento anual de la demanda. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)	7
Figura 4 – Potencia instalada en España 2015. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)	8
Figura 5 – Red de transporte en España. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)	8
Figura 6 – Evolución de la generación renovable y no renovable en España. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)	9
Figura 7– Organismos europeos encargados de la regulación del sector eléctrico.	12
Figura 8 – Esquema del plan de sustitución de contadores.	12
Figura 9 – Redes inteligentes. Fuente: Modern Grid Solutions.	14
Figura 10 – Las TIC en las redes inteligentes. Fuente: GTM Research.	16
Figura 11 – Arquitectura de las redes inteligentes. Fuente: GTM Research.	17
Figura 12 – Sistema de comunicación de un contador inteligente. Fuente: ELEXON	21
Figura 13 – Recarga inteligente. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)	22
Figura 14 - % de integración de las energías renovables sobre la demanda de energía. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)	24
Figura 15 - % de energía renovable sobre el consumo bruto de energía eléctrica . Fuente:	24
Figura 16 – Comparativa europea de la estrategia 2020 para alcanzar el 20% de renovables en el consumo bruto de energía eléctrica final. Fuente: Eurostat.	25
Figura 17 - % de energías renovables instaladas en España. Fuente: Red Eléctrica Española (REE).	26
Figura 18 – Consumo de energía del sector residencial. Fuente: IDAE	28
Figura 19 – Diagrama de comunicación. A la izquierda, nivel físico. A la derecha, nivel abstracto.	31
Figura 21 – Código del servidor web en lenguaje Python.	34
Figura 22 – Desarrollo del código anterior ampliado a la comunicación con Arduino.	36
Figura 23 – Interfaz gráfica de la página web.	37
Figura 24 – Emisor y receptor de 433MHz.	37
Figura 25 – Enchufe inteligente controlable por radiofrecuencia.	38
Figura 26 – Código Arduino para descifrar la señal.	40
Figura 27 – Resultado.	40
Figura 28 – Esquema de control por radiofrecuencia.	42
Figura 29 – Interfaz gráfico de la página web final.	43
Figura 30 – Esquema general.	44
Figura 31 – Tiempo de regulación de la velocidad.	51
Figura 32 – Diagrama conceptual de la aplicación.	55
Figura 33 – Principio de funcionamiento de la modulación por ancho de pulsos	55
Figura 34 – Señal cuadrada modulada. Fuente: Arduino	56
Figura 35 – Convertidor AC-DC (Puente de Graetz)	58
Figura 36 – Control del puente de Graetz a 6 tiristores.	59
Figura 37 – Modo de funcionamiento de un tiristor.	60
Figura 38 – Puente de Graetz a 6 tiristores.	60
Figura 39 – Tensión de salida del puente de Graetz. ($V_{ch} = < u_m >$).	61
Figura 40 – Motor a corriente continua del departamento de energía de CentraleSupélec.	62
Figura 41 – Modelo de líneas de campo de magnético a través de un motor a corriente continua.	63
Figura 42 - Influencia del flujo remanente y la saturación en la fuerza electromotriz a $\Omega = cte.$	64
Figura 43 – Modelo eléctrico del motor DC.	65
Figura 44 - Diagrama de bloques del motor DC. (Nota: $K_c = K_e = k_{if}$ para $i_f = cte.$)	66
Figura 45 – Raspberry Pi	71
Figura 46 – Componentes de Raspberry Pi.	72
Figura 47 – Mapa de pines de Raspberry Pi.	73
Figura 48 - VNC	75
Figura 49 – Control remoto de Raspberry Pi desde PC.	76
Figura 50 – Configuración de Motion.	77
Figura 51 – Arduino.	80

ÍNDICE DE TABLAS:

<i>Tabla 1 – Diagrama de GANNT.</i>	2
<i>Tabla 2 – Presupuesto del proyecto.</i>	3
<i>Tabla 3 - Importaciones europeas de energía. Eurostat</i>	10
<i>Tabla 4 – Tri-state code.</i>	39
<i>Tabla 5 – Descifrado del código del grupo al que pertenece la señal.</i>	41
<i>Tabla 6 – Descifrado del código del botón.</i>	41
<i>Tabla 7 – Descifrado del código ON/OFF.</i>	41
<i>Tabla 8 - Traducción a lenguaje decimal.</i>	41

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mis padres, a mi familia y a mis amigos que durante toda la carrera me han servido de apoyo, inspiración y ayuda. A mi director de proyecto, Amir Arzande, al departamento de energía de Supélec y a la misma escuela, Supélec, haberme guiado durante el proyecto. A mis compañeros de proyecto, Pablo Bolas, Xinwen, Yuan con los he trabajado durante todo el año para la elaboración de este proyecto y gracias a los cuales he aprendido el valor del trabajo en equipo y sus dificultades tanto a nivel de gestión como intercultural.

Finalmente me gustaría agradecer a la Universidad Pontificia Comillas – ICAI la posibilidad de haber podido participar en el programa de doble titulación junto con la escuela de ingeniería francesa, Supélec, donde he estado realizando mis dos últimos años del Grado en Ingeniería Electromecánica. Todo esto unido ha hecho que el proyecto sea enriquecedor desde el punto de vista técnico así como desde el profesional y personal.

1.INTRODUCCIÓN.

Los edificios inteligentes están muy ligados al desarrollo de las *Smart Grids*, con ellas son capaces de gestionar la red eléctrica de una manera eficiente y sostenible dando al consumidor un papel importante en la toma de decisiones y en la integración de las energías renovables y el coche eléctrico.

El edificio inteligente utilizan la tecnología de las *Smart Grids* aplicada a la red eléctrica privada. Se trata de introducir elementos inteligentes en la red del edificio(casas, oficinas, fábricas...) para facilitar y mejorar la gestión energética y de los aparatos eléctricos en la red.

Este proyecto está inspirado en la modelización y la implantación de los *Smart Buildings*. Se comenzará hablando de la evolución de esta tecnología, cuales son los retos a los que se enfrentan y los elementos indispensables para su puesta en marcha.

El proyecto se ha desarrollado en el Departamento de Energía de Supélec (Actualmente CentraleSupélec) en el marco del programa de doble titulación entre la Universidad Pontificia Comilla y esta última, en el que he tenido la suerte de poder participar. El proyecto ha seguido una primera fase de investigación sobre las redes y edificios inteligentes teniendo una visión global de esta tecnología seguido de una segunda fase práctica y de puesta en marcha. En esta última fase nos hemos servido de dos cartas electrónicas como *Raspberry Pi* y *Arduino* que nos han ayudado a programar algunas funcionalidades que queríamos aplicar en los edificios inteligentes integrando nociones de programación en Python, electrónica de potencia y electrotecnia así como el control de motores de corriente continua. El proyecto por tanto toca las diferentes ramas de la informática, la electrónica de radiofrecuencia, electrónica de potencia, las telecomunicaciones y la electrotecnia, y electromecánica .

El proyecto presenta desde un punto teórico la implantación de esta tecnología inteligente, todavía lejos de poder aplicarse íntegramente y que depende del proceso de renovación de la red eléctrica, todavía en una fase primaria. Desde un punto de vista práctico da una solución al control de las diferentes partes o aparatos de un edificio, centrándonos sobre todo en el motor a corriente continua para posibles aplicaciones industriales.

La duración del proyecto ha sido de 7 meses y se ha dividido en diferentes tareas que han tenido como resultado final el control de un motor a corriente continua.

La puesta en marcha del proyecto siguió el siguiente desarrollo(Siendo el 12 de octubre de 2015 al 19 de Octubre de 2015 la primera semana y del 22 de mayo de 2016 al 29 de mayo de 2016 la última semana):

Tabla 1 – Diagrama de GANNT.

Work /Time (weeks)	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
Basic theory				E X A M S			V O C A T I O N S	E X A M S					E X A M S			
Practice operation																
Remote control																
Camera																
Internet study																
Webpage																
Motor control																
Report																

Durante el proyecto se han requerido diversos materiales y recursos. El departamento de energía de Supélec fue el encargado de proporcionando en su casi entera totalidad todo aquello que fuera necesario para lograr el objetivo del proyecto. El presupuesto final fue únicamente de 34 euros que se debió a la compra de una cámara para instalar un modulo de videovigilancia.

Tabla 2 – Presupuesto del proyecto.

Equipment		Quality	Source	Price
Raspberry pi		1	Provided by the lab	Free of charge
Arduino		2		
Emitter		1		
Receiver		1		
Smart plug		1		
Remote control		1		
Lamp		1		
Screen		1		
Keyboard		1		
Mouse		1		
USB WiFi		1		
Motor		1		
Electric pieces	Resistance	1		
	Capacitance	1		
	Voltmeter	1		
	Ampere meter	1		
	Electric wires	-		
Computer		4	Personal computers	33.85 euro
Camera module V2		1	Bought from KUBII	

A lo largo del proyecto iremos integrando los diversos componentes de forma que logremos ver para que sirve cada uno además de sus diferentes funcionalidades y aplicaciones.

Este proyecto ha sido desarrollando con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de los edificios proporcionando alguna herramientas de control que permitan gestionar la demanda de energía de una forma sencilla, aumentando de ese modo la capacidad de decisión del consumidor.

2. ESTADO DEL ARTE

Actualmente la industria eléctrica está inmersa en un marco de cambio y renovación. La gran parte de las empresas eléctricas estas desarrollando nuevas tecnologías que permitan mejorar la eficiencia y sostenibilidad de la red.

2.1. La Red eléctrica.

La red eléctrica la podemos dividir en cuatro grandes etapas. La primera etapa es la de generación de la energía. La segunda, de transmisión, transforma esta energía a un voltaje alto de transmisión de larga distancia. La tercera es la etapa de distribución donde utilizaremos subestaciones para reducir el voltaje a niveles de consumo y una última de consumo, evidentemente.

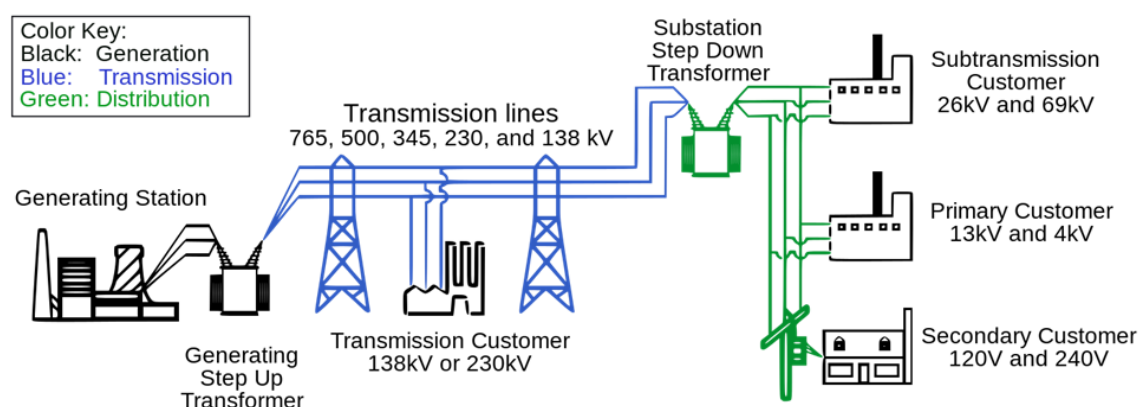


Figura 1 – Esquema clásico de la red eléctrica. Fuente: IEEE.

Si consideramos el rendimiento de la red eléctrica actual podemos ver que actualmente en la etapa de generación por ejemplo de una central térmica de carbón es alrededor del 35% lo que supone unas pérdidas del 65 %. Además, habría que sumar las pérdidas en las líneas de alrededor el 3,5% en la etapa de transmisión y otro 5% en la etapa de distribución llegando finalmente a aprovechar entorno a un 25-30% de la energía. Estos datos son significativos a la hora de tener en cuenta el impacto ecológico y económico de la industria eléctrica.

La red eléctrica fue diseñada desde la mitad del siglo pasado haciendo posible el transporte de la electricidad desde las centrales, alejadas de la población a los puntos de consumo. Actualmente esta red requiere una renovación que se adapte e integre las diferentes formas de energías como las renovables o el coche eléctrico, además de adaptarse rápidamente a las cambiantes necesidades del consumidor y en consecuencia a la demanda.

Teniendo en cuenta la necesidad de adaptar la demanda y la producción de forma precisa y con el menor coste, es necesario realizar una modernización de la red eléctrica que cumpla con la política de sostenibilidad y conservación del medio ambiente actual.

Las redes inteligentes tendrán un impacto positivo introduciendo en el sistema las llamadas energías verdes, identificando rápidamente posibles fallos del sistema y adaptándose a las necesidades del consumidor garantizando las condiciones de calidad y seguridad de la red. Este último juega un papel principal en la implantación de las redes inteligentes. La dificultad para lograr un equilibrio en la demanda- producción unido a la dificultad de almacenar grandes cantidades de energía hace de vital importancia que las redes sean capaces de gestionar y controlar a tiempo real la demanda-producción facilitando a la vez la integración de la renovables.

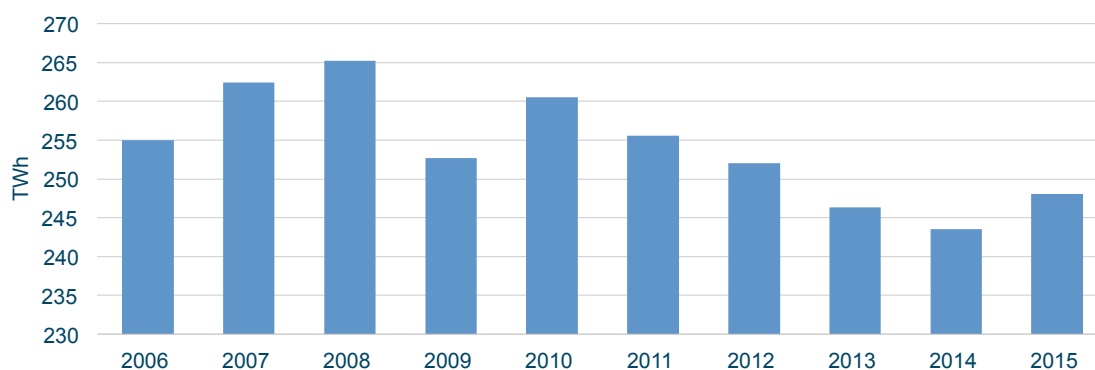


Figura 2 - Evolución de la demanda peninsular. Fuente: Red Eléctrica Española (REE).

Red Eléctrica es la encargada en España de operar el sistema y garantizar que demanda y generación de energía estén en equilibrio. Además, se encarga de realizar las previsiones de la demanda y gestionar así la producción de energía en las centrales garantizando unos márgenes de seguridad que hagan frente a posibles imprevistos como un exceso en la demanda prevista o pérdidas en la generación ajustando en todo momento las desviaciones.

La demanda de los últimos años ha estado ligado a diferentes factores como temperatura, actividad económica o laboralidad que la hacen bastante difícil de predecir. En España durante los último años ha seguido una tendencia negativa recuperando una tasa de crecimiento positivo en 2015. Actualmente se prevé un incremento futuro de la demanda y de las energías renovables. Las redes inteligentes deben ser capaces de integrar estos factores de manera inteligente y aun que cumplen con las expectativas desde el punto de vista unilateral de generación, transporte y distribución sufre carencias en lo que se refiere a la etapa de integración del consumidor final. Con esta finalidad de hacer bidireccional la red e integrar al consumidor en la toma de decisiones se busca proporcionar un sistema que sea sostenible, que sea de calidad, económico y seguro, evitando así

chutes de tensión que pongan en peligro la red y asegurando la sincronización de 50 Hz de la red.

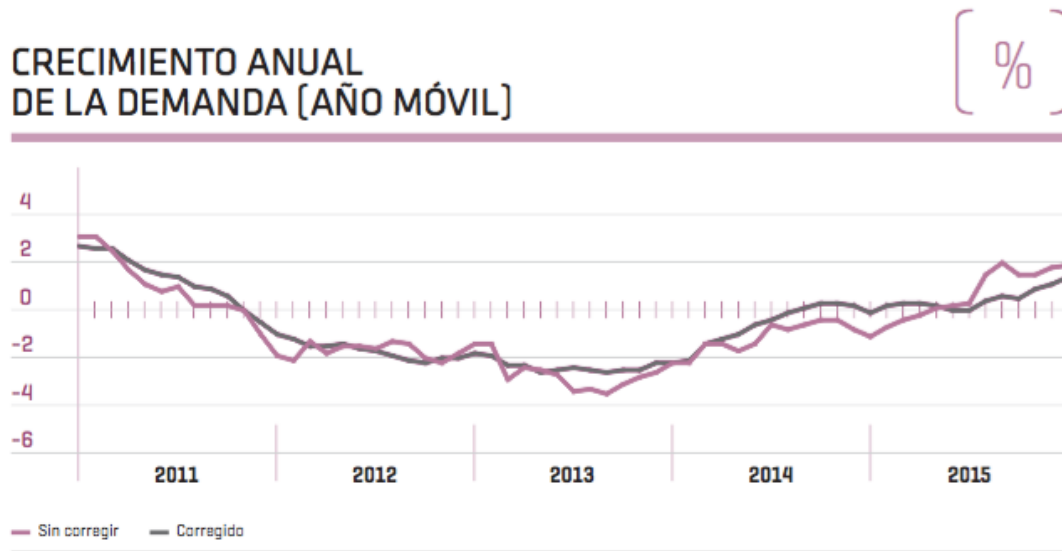


Figura 3 – Crecimiento anual de la demanda. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)

La sistema eléctrico español cuenta con diferentes centrales de producción eléctrica y un total de 108.299 MW de potencia instalada en 2015. La última central de fuel/gas ha sido retirada y la eólica es la tercera ha sido la fuente que más ha contribuido a la producción de electricidad durante febrero y mayo. La hidráulica en cambio produjo un 43,1% menos que en 2014 debido a la disminución del nivel de los embalses que se situaba en torno al 48% de su capacidad (el 64% en 2014).

POTENCIA INSTALADA A 31 DE DICIEMBRE

	Sistema peninsular		Sistemas no peninsulares		Total nacional	
	MW	% 15/14	MW	% 15/14	MW	% 15/14
Hidráulica	18.668	4,9	1	0,0	18.669	4,9
Nuclear	7.866	0,0	-	-	7.866	0,0
Carbón	10.972	0,0	510	0,0	11.482	0,0
Fuel / gas	0	-100,0	2.784	-0,2	2.784	-15,8
Ciclo combinado (1)	25.348	0,0	1.851	0,0	27.199	0,0
Hidroeléctrica	-	-	12	0,0	12	0,0
Resto hidráulica (2)	2.109	0,0	0,5	0,0	2.109	0,0
Eólica	22.845	0,0	158	0,0	23.003	0,0
Solar fotovoltaica	4.423	0,5	244	0,3	4.667	0,5
Solar térmica	2.300	0,0	-	-	2.300	0,0
Térmica renovable	984	0,0	5	0,0	989	0,0
Cogeneración y resto	7.098	0,0	121	0,0	7.219	0,0
Total	102.613	0,4	5.686	-0,1	108.299	0,4

Figura 4 – Potencia instalada en España 2015. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)

La red de transporte eléctrico gestionada por Red Eléctrica Española consta de 43.153 Km de líneas de transporte.

INSTALACIONES DE LA RED DE TRANSPORTE EN ESPAÑA

	400 kV	≤ 220 kV			TOTAL
	Península	Península	Baleares	Canarias	
Total líneas [km]	21.179	18.954	1.673	1.347	43.153
Líneas aéreas [km]	21.062	18.216	1.089	1.075	41.442
Cable submarino [km]	29	236	423	30	718
Cable subterráneo [km]	88	501	161	242	993
Transformación [MVA]	79.208	63	3.273	2.000	84.544

Datos de km de circuito y capacidad de transformación a 31 de diciembre de 2015.

Figura 5 – Red de transporte en España. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)

Las energías renovables juegan un papel importante en el sistema eléctrico. Durante los últimos años han cubierto en torno al 42% de la demanda eléctrica. No obstante en 2015 se registró una bajada de entorno al 5% de la generación eléctrica peninsular.

EVOLUCIÓN DE LA GENERACIÓN RENOVABLE Y NO RENOVABLE

[%]

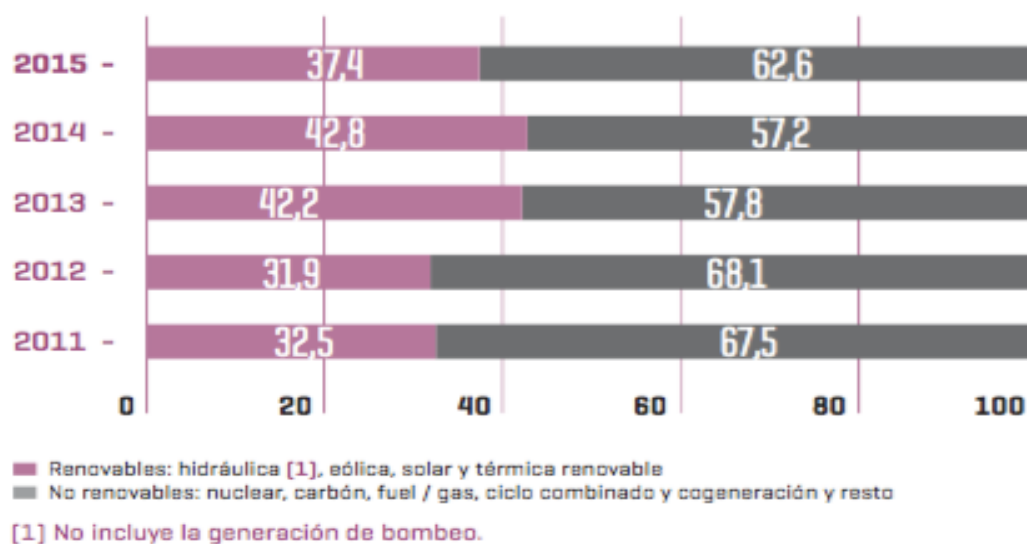


Figura 6 – Evolución de la generación renovable y no renovable en España.
Fuente: Red Eléctrica Española (REE)

2.2. Política Energética

En el Tratado de Lisboa se abordaron los objetivos principales sobre cual sería la política energética de la unión. Entre los que encontramos garantizar el funcionamiento del mercado energético, asegurar la seguridad del abastecimiento energético, incentivar la eficiencia energética y el ahorro energético, las energías renovables y la interconexión de las redes eléctricas.

Uno de los resultados principales de esta política han impulsado la llamada “Estrategia 20-20-20” con la que se pretende para el año 2020:

- Reducir el 20% de la emisiones de CO₂ en comparación con los niveles de 1990.
- El 20% de la energía consumida provenga de las energías.
- Incremente en un 20% la eficiencia energética.

Además se han tomado medidas para fortalecer las relaciones exteriores en el sector energético y fomentar la cooperación entre los países vecinos, para asegurar la seguridad del suministro energético, fomentando la creación de planes de acción preventiva y de emergencia. Además para mejorar la eficiencia energética de los edificios se creó la Directiva relativa a la eficiencia energética en 2012 de acuerdo con la estrategia 2020. Con ella se realizan auditorias energéticas a las empresas y

una certificación energética del edificio. Además se implantaran contadores inteligentes según la planificación de cada país antes de 2020.

Esta estrategia europea pretende seguir una política sostenible y medioambiental que lleve a la reducir la dependencia de los combustibles fósiles fomentando la integración de las energías limpias. Recordamos que la Unión Europea es el principal importador de energía, según Eurostat, en 2013, el 53% de la energía de EU-28 corresponde a energía importada. Pero parece indicar que ni el incremento de la eficiencia energética ni la integración de estas energías vayan a frenar la ya conocida crisis del agotamiento de las reservas de petróleo lo que tendrá importantes consecuencias en la economía mundial.

Tabla 3 - Importaciones europeas de energía. Eurostat

	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
All products	48.8	50.2	52.2	53.6	52.9	54.7	53.7	52.8	54.0	53.3	53.2
Solid fuels	35.0	38.2	39.4	41.7	41.5	44.9	41.1	39.5	41.7	42.2	44.2
Crude oil	78.5	80.7	82.4	83.8	83.5	85.0	84.1	85.2	86.0	88.2	88.4
Natural gas	52.0	53.6	57.1	60.3	59.5	61.7	63.4	62.2	67.1	65.8	65.3

Source: Eurostat (online data codes: nrg_100a, nrg_102a and nrg_103a)

Hay tres pilares fundamentales en los que se debe apoyar la política energética futura: Las energías renovables, el almacenamiento de energía y la integración de las redes eléctricas inteligentes. Pero sin duda las redes inteligentes son el prerrequisito para conseguir las ambiciones europeas de 2020 en adelante ya que serán la llave para que tanto las renovables como el coche eléctrico se integren en la red.

Algunos de los organismos importantes de la Unión Europea que se encargan de apoyar o debatir políticas energéticas son:

- Comisión Europea que se encarga de proponer la legislación. Mediante los “libros verdes” se ponen en debate ideas con el fin de lanzar una consulta y un debate a nivel europeo sobre una temática precisa. Los libros blancos contienen un conjunto de proposiciones de acción comunitaria sobre un campo preciso. Los “libros blancos” suelen dar lugar a los libros verdes pero no necesariamente.
- CEER y ACER son dos reguladores de energía a nivel europeo. CEER o “Council of European Energy Regulators” es la voz de los reguladores europeos nacionales. A través de CEER los reguladores nacionales cooperan e intercambian ideas. CEER se centra en la cooperación internacional, en las Smart grids, en la sostenibilidad y en los problemas del consumidor. Además complementa el trabajo de ACER o “Agency for the Cooperation of Energy Regulators” que se centra en contribuir a mejorar la legislación.
- Eurelectric o “The Union of the Electricity Industry” es la asociación que representa los intereses comunes de la industria eléctrica europea. Su misión es la de contribuir a que en 2050 se tenga un impacto neutro en las emisiones de CO₂, asegurar que la red eléctrica sea segura, eficiente

integrando y asegurar la eficiencia energética para mitigar los efectos del cambio climático.

- ENTSO-E es la “European Network of Transmission System Operators” que comparte el objetivo europeo de mejorar el mercado interno de la energía. Además, tiene una fuerte interacción con las instituciones europeas como ACER, EuroPEX, IEC, EEGI o EFET.
- IEC (international Electrotechnical Commission) publica y prepara los requerimientos de calidad internacionales para las tecnologías eléctricas, electrónicas o tecnologías relacionadas.
- EuroPEX (Association of European Energy Exchanges) que fomenta el intercambio de energía, el desarrollo de un marco normativo europeo para el comercio de energía y proporciona una plataforma de debate a nivel europeo.
- EFET (European Federation of Energy Traders) tiene como objetivo mejorar y diseñar los mercados de gas y electricidad para beneficio de la economía, sociedad y en particular de los consumidores.
- EEGI (European Electricity Grids Initiative) que surge gracias al objetivo europeo que apuesta por una política de bajas emisiones y tecnologías energéticas eficientes lo que supone un gran cambio en el sistema energético. Esta es la idea detrás del SET – plan (European Strategic Energy Technology Plan). Esta iniciativa propuso 9 años de investigación para avanzar en innovación y el desarrollo de las redes del futuro. Tanto ENTSO-E como EDSO y Euroelectric junto con la “European Technology Platform SmartGrids” y el “GRID+Project” tendrán un rol importante en la puesta en marcha de esta iniciativa planificando, controlando y evaluando los resultados referentes a la red de distribución (DSOs).

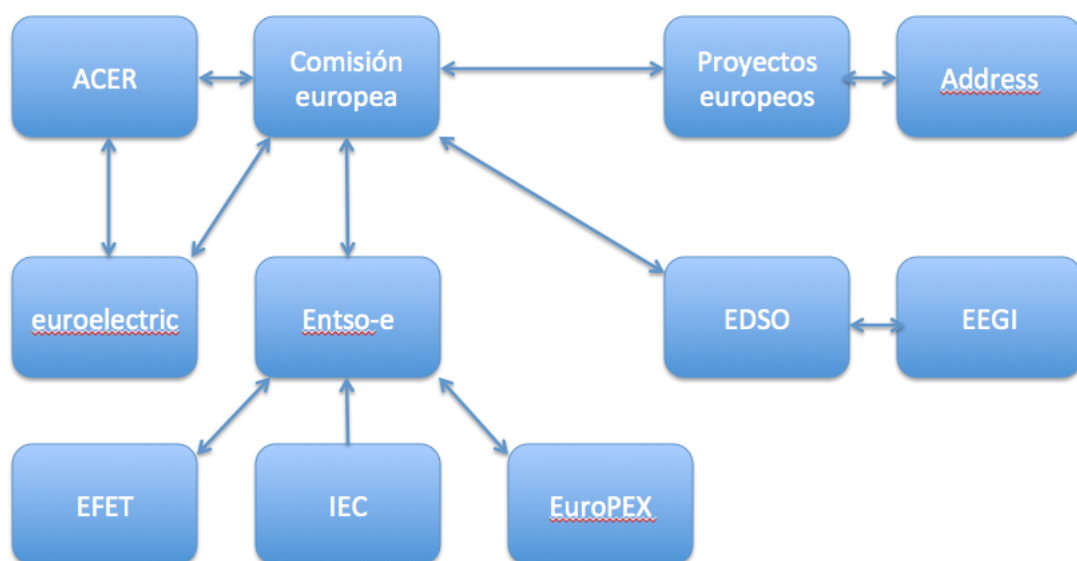


Figura 7– Organismos europeos encargados de la regulación del sector eléctrico.

La política energética en España sigue la misma senda que la política europea y a nivel normativo podemos destacar el RD 1110/2007, que regulan la implantación de los smart meters que deben cumplir las funcionalidades de discriminación horaria, capacidad de telemedida (lectura remota del contador), capacidad de telegestión controlando de potencia demanda por el cliente, los parámetros de calidad (detección de averiar, de variación de tensión) y el registro de consumo, generación de potencia activa y reactiva.

La ORDEN ITC/3860/2007 establece el plan de sustitución de los contadores tradicionales por los que cumplan las condiciones mencionadas anteriormente. La orden determina el plan de sustitución de los contadores que deberán estar el 100% de los contadores sustituidos el 31 de diciembre de 2018 según el siguiente plan:



Figura 8 – Esquema del plan de sustitución de contadores.

UNESA es la Asociación Española de la Industria Eléctrica y al igual que las otras asociaciones europeas anteriormente mencionadas representa, gestiona y defiende los intereses de sus miembros (Grupo Endesa, Grupo Iberdrola, Grupo Gas Natural Fenosa, VIESGO y EDP) y del sector eléctrico. Participa de este modo en EURELECTRIC ya mencionada.

La política energética global ha venido acompañada siempre de polémica. Ya con el protocolo de Kioto, que entró en vigor el 16 de febrero de 2005 se pretendía reducir entre 2008 y 2012 el 5,2% de emisiones de 6 gases de efecto invernadero respecto a los niveles de 1990. Se comenzó entonces a poner en marcha entre los diferentes países del mundo diversas iniciativas para evitar el cambio climático y tomar conciencia de las consecuencias catastróficas de este. Desde entonces los países han intentando reducir las emisiones y cambiar sus políticas energéticas creando sistemas más eficientes y desarrollando energías limpias que replacen poco a poco a las energías fósiles, En este marco de lucha contra el cambio climático tuvo lugar la Conferencia sobre el Cambio Climático o COP 21 que finalizó con un pacto global el Acuerdo de París a finales de 2015. Este pacto deberá ser ratificado por 55 países que representen el 55% de la emisiones mundiales de CO₂. Con este acuerdo se consigue finalmente poner de acuerdo a casi la totalidad de los países sobre los métodos para reducir el cambio climático limitando el calentamiento global por debajo de los dos grado centígrados en 2100 y se compromete a realizar esfuerzos para limitarlo a 1,5 grados.

2.3. Smart Grids

Hasta el momento hemos estado hablando de las redes inteligentes sin todavía dar una definición precisa de estas mismas. Una red inteligente se puede definir como : *“una red eléctrica capaz de integrar de forma inteligente el comportamiento y las acciones de todos los usuario conectados a ella – generadores, consumidores y aquellos que realizan ambas acciones – con el fin de distribuir de forma eficiente y segura el suministro eléctrico, desde el punto de vista sostenible y económico.” Smart Grids European Platform.*

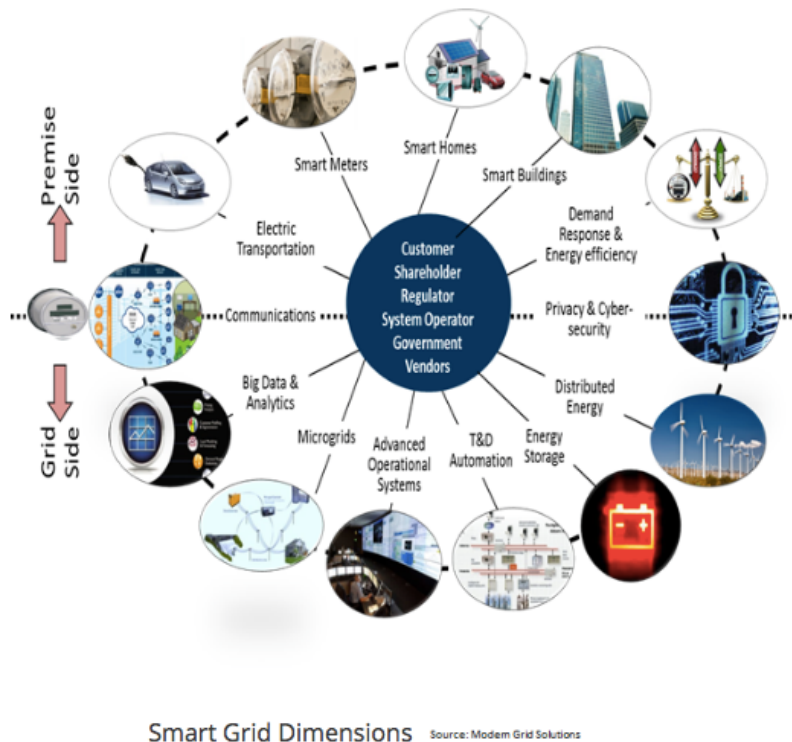


Figura 9 – Redes inteligentes. Fuente: Modern Grid Solutions.

Los factores determinantes que han hecho que las redes inteligentes cobren una importancia vital en la industria eléctrica son:

- Un incremento de la demanda futura
- La reducción de la competitividad global, siendo de vital importancia la independencia energética de los países.
- Necesidad de integrar las energías renovables, creando un modelo sostenible y respetando el medioambiente.
- Necesidad de renovación de la red y mejora de la calidad y seguridad, reduciendo las pérdidas de transmisión y distribución.
- Estabilizar la curva de demanda.
- Integración del coche eléctrico.
- Política regulatoria que sea coherente con la política energética global y europea.

La revolución tecnológica ha impulsado enormemente el desarrollo de las redes inteligentes haciéndolas posibles. Estas usan de manera inteligente las TIC recopilando datos, procesándolos y controlando de manera inteligente todos los componentes que integran las red adquiriendo una mayor funcionalidad. Con la aparición del Big Data y el internet de las cosas (IoT) se crean nuevas expectativas sobre el futuro tecnológico y el desarrollo futuro de las redes.

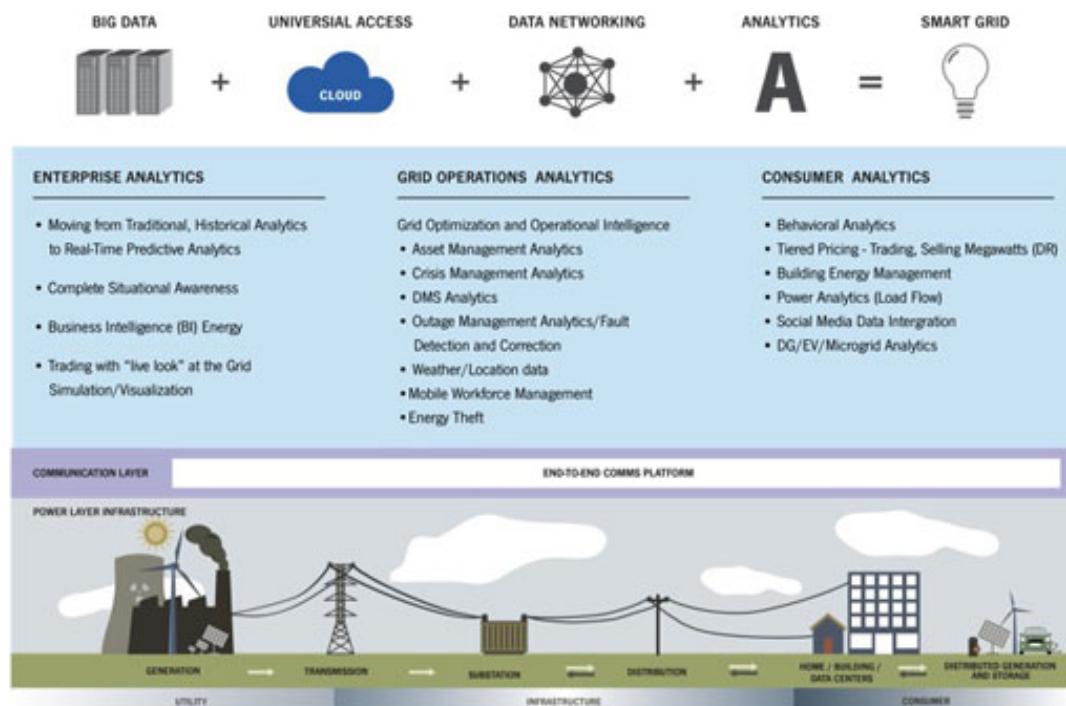
Por tanto, una red inteligente emplea de forma innovadora productos y servicios

al mismo tiempo que un control inteligente y medios de comunicación avanzados con la finalidad de facilitar la integración y conexión de las unidades de producción de diferentes tecnologías y tipos, de permitir al consumidor jugar un papel importante en la toma de decisiones y en la eficiencia de la red dotándole de la mejor información para que pueda gestionar la demanda de forma “inteligente”, de reducir el impacto medioambiental y los efectos del cambio climático de garantizar la fiabilidad y seguridad de la red eléctrica construyendo así una red flexible centrada en el consumidor, accesible por todos los usuarios, segura y económica, creando valor, innovación y siendo eficiente.

El desarrollo de las Smart Grids tiene que tener en consideración la tecnología disponible, el aspecto comercial y de los mercados, el impacto medioambiental, la regulación vigente, las normas de calidad y debe responder a las demandas de la sociedad y del gobierno.

A la red se han añadido diferentes elementos para dotarla de inteligencia. Gracias a esa inteligencia el coche eléctrico o las energías renovables gozan de mayores facilidades de integración en la red, siendo esta última más versátil y flexible. La tecnología de los Smart Meters hacen posible esta integración y con ella aparece el concepto de Smart Building desde donde se pretende que el consumidor sea capaz de realizar la gestión de la demanda, gestionando, integrando y controlando los diferentes elementos o recursos de su hogar de forma “inteligente”.

Los elementos centrales a la red son la comunicación y la seguridad que son comunes tanto desde el punto de vista consumidor, como de la red. Esa comunicación bidireccional produce una cantidad enorme de información a nivel empresarial como del consumidor es por ello que se deben integrar las tecnologías de la información y la comunicación para hacerla posible y eficiente. La integración del Big Data, Analytics el IoT (Internet of Things), sistemas operacionales avanzados, automatización de los procesos de distribución y transmisión (DSOs y TSOs).



GTM Research - Smart Grid Analytics by Segment

Figura 10 – Las TIC en las redes inteligentes. Fuente: GTM Research.

En resumen podemos ver como dentro de la Smart Grids podemos definir diferentes niveles de abstracción. Un primer nivel, es la red y sus componentes físicos. Un segundo nivel es la red de comunicación, como la vamos a realizar, cuales son las redes de comunicación, a donde se dirige...El tercer nivel, con un gran grado de abstracción, son las aplicaciones y los protocolos que se van a aplicar.

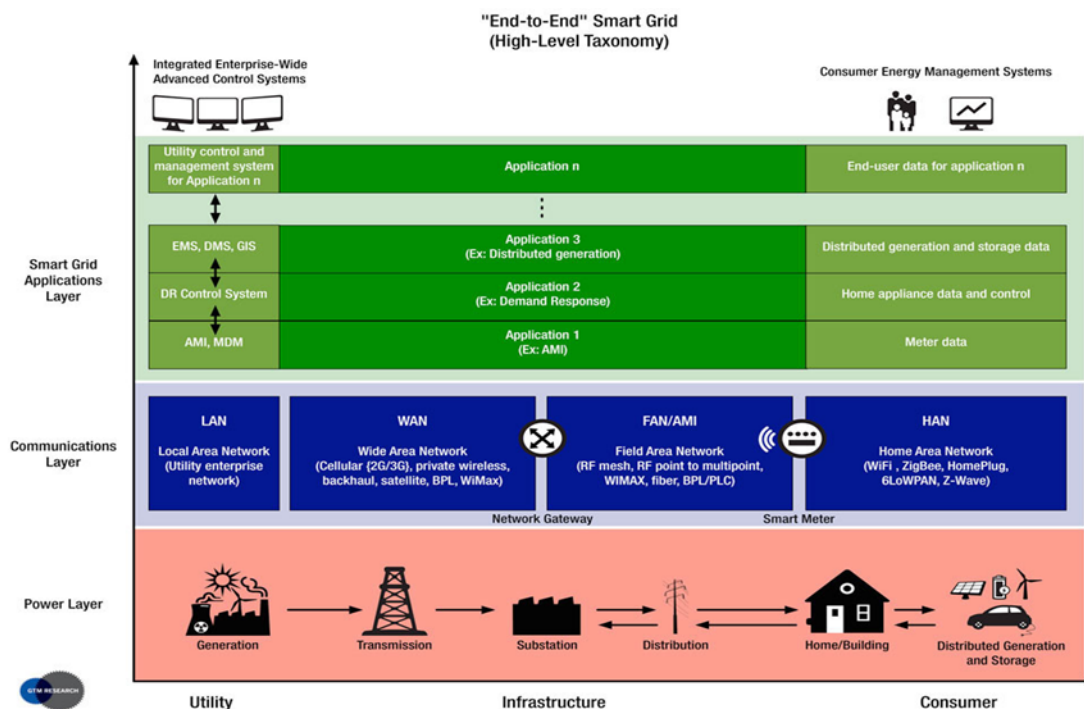


Figura 11 – Arquitectura de las redes inteligentes. Fuente: GTM Research.

2.3.1 El “Consumactor”

En esta nueva configuración de la red eléctrica el consumidor juega un papel central es lo que llamamos con el nombre de “consumactor” . Para ello es imprescindible dotar al consumidor de información y conciencia sobre su impacto en el medio ambiente. En el marco actual de crisis económica, el consumidor realiza gran parte de sus decisiones de consume en base a razones financieras solo unos cuantos la realizan en base a razones ecológicas. Según una encuesta

El desarrollo de las Smart Grids deberían cambiar los hábitos de consumo de los usuarios y de la empresas facilitando la toma de decisiones. Por tanto, un “consumactor” debe estar no solo preocupado por razones económicas , también a favor del desarrollo sostenible y tomar responsabilidad social. El consumidor se hace independiente y ya no está atado al productor que determina su forma de vida. El consumactor juega un rol propio en la gestión de la demanda.

Con este nuevo papel del consumidor algunas preguntas como cómo consumir mejor, que gana la red eléctrica con que el consumidor juegue un papel importante, cómo informar mejor al consumidor. Con la adaptación de las diferentes tecnologías, como el Smart Meter, los consumidores podrán conocer mejor los hábitos de los consumidores (lo cual supone un problema porque se puede estar violando el derecho a la intimidad de estos) bajando los precios de la electricidad en horarios menos saturados contribuyendo a aplanar la curva de

demanda y favoreciendo la eficiencia de los recursos del productor.

La adopción de las directivas europeas hacen que los estados miembros se vean obligados a adaptar la red a las nuevas necesidades de la sociedad. La integración de los contadores inteligentes por ejemplo contribuirá a ese intercambio de información entre el productor y el consumidor haciendo que las TIC cobren un papel central en la red beneficiando al consumidor. Esta comunicación bidireccional es esencial para permitir al usuario optimizar su consumo. Existen dispositivos de recopilación de datos como AlertMe o The Energy Detector (TED) que permiten al usuario conocer su consumo en tiempo real. Con la nueva generación y el IoT (Internet of Things) el control doméstico del consumo pasará al siguiente nivel, introduciendo mejoras y ventajas para el consumidor y mejorando sus hábitos de consumo hacia un modelo eficiente y sostenible.

Aunque el “consumactor” tenga un papel muy importante en la gestión de la demanda hemos mencionado anteriormente que hay que prestar especial atención a una serie de cosas como respetar el derecho a la intimidad, la inseguridad ante un ataque informático, el coste de la instalación de Smart Grids, la poca elasticidad de precios a la demanda doméstica (bien de primera necesidad) y la falta de información del consumidor entre otros son algunos de los problemas a los que se enfrenta.

2.3.2 Gestión de la demanda

La gestión de la demanda o Demand-Side Management (DSM) es el conjunto de estrategias que se ponen en marcha para controlar o modificar la cantidad de energía que se consume y el momento en el que esta se realiza. Esto tiene un impacto directo en la curva de carga y es lo que se conoce como “Demand-Side Response” o “gestión dinámica de la demanda”

La gestión de la demanda “dinámica” es solamente posible gracias a las tecnologías de la información y la comunicación. Los sistemas dinámicos de la gestión de la demanda implican que debe haber una inteligencia en sus componentes de forma que permitan comunicarse de forma directa (o indirecta) con un actor del mercado eléctrico que tome decisiones en función del coste, de la comodidad y de la eficacia.

Una aplicación del DSM o de la gestión de la demanda comprende las estrategias que fomentan la consumación de energía en ciertos periodos lo que contribuye a aplanar la curva de carga, reemplazando posibles equipos que utilizan combustibles fósiles, integrando las energías renovables o a economizar el coste de la energía y el confort del cliente.

La gestión de la demanda por tanto consiste en modificar los modelos de consumo habituales según convenga al usuario final. Sus objetivos corresponden a diferentes formas de modificar la curva de carga modificando los periodos de consumo por parte del cliente, aplanando los picos de consumo, llenando los valles de la curva de carga y por tanto dando flexibilidad a la red eléctrica amoldándola a sus necesidades.

Dos estrategias a destacar son: en base al precio de la electricidad y en base a la remuneración. La estrategia en base al precio de electricidad utiliza una sistema de tarifas que varían en función del interés horario, de pico de demanda, o horario-estacionaria. En base a la remuneración, aparición de los mercados capacitivos o de almacenamiento de energía, incorporación de programas de urgencia y control directo de la carga.

La modificación de los periodos de consumo o *load shifting* es uno de los objetivos principales de la gestión de la demanda dinámica. Es un sistema por el cual el funcionamiento de los aparatos como el lavavajillas , la lavadora, la secadora se desplaza hacia otros periodos del día.

La reducción del pico de demanda o *peak-shaving* es también fundamental dentro de la gestión de la demanda reduciendo el consumo en los momentos de máximo consumo. La reducción del pico de demanda no esta únicamente ligado a la gestión de esta sino también a estrategias de mejora de la eficiencia energética.

Aumentar el consumo de energía durante los periodos de valle de la curva de carga o *valley filling* utiliza una de las estrategias de gestión dinámica de la demanda aumentando el consumo durante estos periodos se consigue gracias al desplazamiento de los periodos de consumo a estas zonas de valle mejorando así la gestión de la producción y la eficacia de esta.

Con estas dos últimas conseguiremos gestionar el allanamiento de la curva de curva de carga.

La desconexión de la carga o *load shedding* consiste en parar voluntariamente el consumo de potencia eléctrica durante un periodo de tiempo de uno o varios electrodomésticos por ejemplo.

La reducción de la carga o *load reduction* es desde el punto de vista de la red una reducción de la potencia elegida por medio de un cambio tarifario durante un periodo de tiempo. Esto permite mantener la seguridad de la red asegurando el equilibrio de oferta y demanda y controlar de forma más precisa la demanda gestionando de una forma optima los recursos de producción.

EL control directo de la carga o *direct load control* interviene sobre los aparatos eléctricos del consumidor (Calefacción, aire acondicionado, caldera...) reduciendo la potencia de consumo. En este punto interviene el “agregador” que es un actor del mercado que gestionará un sistema por el cual se permita el control de estos aparatos durante un periodo de tiempo (normalmente pequeño) .

La tarificación la habíamos dividido en horario-estacionaria, horaria o de pico. La horario-estacionaria o más conocida como *Time-of-Use Pricing* (TOU) es la más popular en la gran parte de los países. Esta tarifa propone dos precios diferentes en función de si es periodo de pico o de valle y se prevé con gran anticipación. La tarificación horaria o *Real Time Pricing* (RTP) varía el precio en función de cada hora y está relacionado con el mercado mayorista de electricidad. El precio se prevé para el día siguiente o algunas horas antes. Por último, la tarifa de pico de consumo o *Critical Peak Pricing* (CPP) mezcla ambos tipos de tarifas anteriores, donde se reemplaza el precio “normal” de la tarifa TOU por otro más elevado. Esto ocurre ciertos días al año y se prevé un día anterior .

2.3.3 Contadores inteligentes.

Los contadores inteligentes juegan un papel importante en la gestión de la demanda. La evolución de los contadores convencionales se enmarca en el contexto de la evolución de los mercados y modelos de consumo. Como hemos puesto en evidencia en el apartado de la política energética europea existe una directiva que anima a los países a reemplazar los contadores convencionales por los nuevos contadores inteligentes que cuenten con el sistema de telegestión y telemedida. Estos contadores disponen por tanto de un sistema de comunicación bidireccional . Cada contador dispone de un módulo PLC (*Power Line Carrier*) por el cual se codifican y decodifican las señales eléctricas que se superponen a la señales de corriente de 50Hz convencionales. Uno de los sistemas más utilizados de recopilación de la información consiste en la implantación de “concentrador” que almacena los datos de consumo de diferentes edificios y los manda a un gestor de red por medio de comunicación inalámbrica o GPRS y que proporciona a los comercializadores la información de consumo. De cualquier forma cada empresa tiene sus formas de realizar esta gestión.

End to End Smart Metering Model

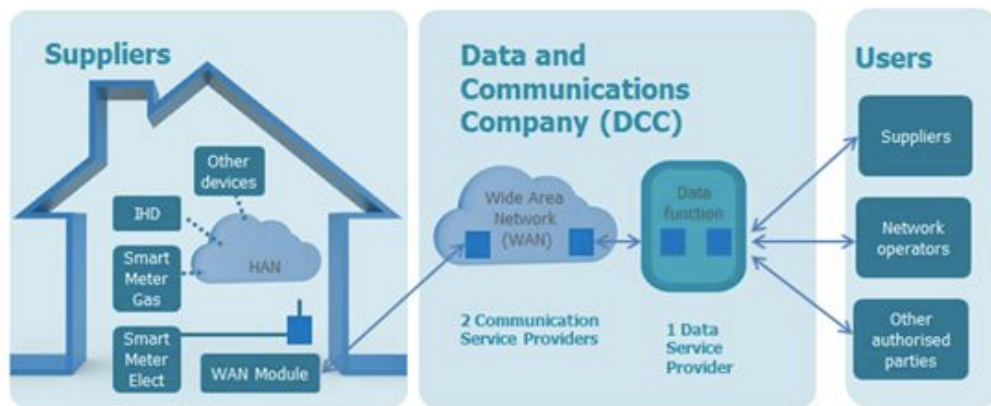


Figura 12 – Sistema de comunicación de un contador inteligente. Fuente: ELEXON

El contador inteligente consta fundamentalmente de un sistema de medida, de memoria y un dispositivo de información principal. Inicialmente los contadores inteligentes utilizaban el sistema AMR (*Automatic Meter Reading*). Estos sistemas se sustituyen por AMI (*Advance Metering Infrastructure*). AL sistema de comunicaciones por común a los dos sistemas se le ha añadido un sistema de alimentación, un procesador de cálculo un procesador de comunicación y un sistema de control. El Smart Meter es prácticamente un AMI pero que incluye un limitador de consumo, un puerto HAN (*Home Area Network*) y un sistema de gestión tarifaria.

La sustitución de los contadores convencionales a generado muchos beneficios a la industria eléctrica permitiéndose prescindir de la lectura manual y los costes asociados, mejorando la eficiencia, introduciendo tarificación a tiempo real, detectando los fallos del sistema y obteniendo datos precisos del perfil de consumo del cliente.

2.3.4 Vehículo eléctrico

EL vehículo eléctrico no es una concepto novedoso. Desde el siglo XIX hasta finales del XX se desarrollaron algunos modelos eléctricos que intentaron competir con los vehículos con motor térmico. Desde entonces hasta ahora el problema sigue siendo el mismo y gira entorno a la autonomía de los motores eléctricos y por consiguiente a la capacidad de las baterías. Las últimas innovaciones realizadas sobre el coche eléctrico y también el los coche híbridos hacen que cada vez sea más real que pueda acabar habiendo un salto del vehículo térmico al eléctrico.

Las ayudas y políticas energéticas han hecho que este sector del automóvil cobre cada vez más importancias y es que la movilidad es un aspecto fundamental de cualquier política energética. A esto hay que sumarle la emergente preocupación sobre la alta volatilidad del petróleo y la crisis de las reservas futuras de petróleo que hace que el coche eléctrico cobre aun más fuerza.

El sistema de recarga de baterías y su consiguiente infraestructura juega un papel fundamental en el desarrollo de esta idea y actualmente supone un de los enclaves principales del coche eléctrico. Las baterías actuales de Ion-Litio parece ser haber encontrado la senda, dando hasta ahora buenos resultados aunque el precio aun sigue siendo bastante elevado representando un gran porcentaje del precio del vehículo. Sin embargo, una de las soluciones parece ser la reutilización de estas baterías. Las baterías Ion-Litio tienen un ciclo de vida muy largo pero sus capacidad va disminuyendo a lo largo del tiempo lo que supone que no se pueden utilizar para el transporte a partir de cierto nivel pero si pueden seguir siendo útiles para ofrecer otros servicios. Existen dos modelos de recarga. Una recarga rápida o lenta mediante la conexión a la red del vehículo o una cambio de batería en un estación de servicio (*QuickDrop*).

Los coches eléctricos no solo es un elemento de transporte, también puede ofrecer diversos servicios que serán parte integrante de las redes inteligentes. Estos servicios se conocen con el nombre de *Vehicle-to-grid* (V2G) o *Vehicle-to-home* (V2H).

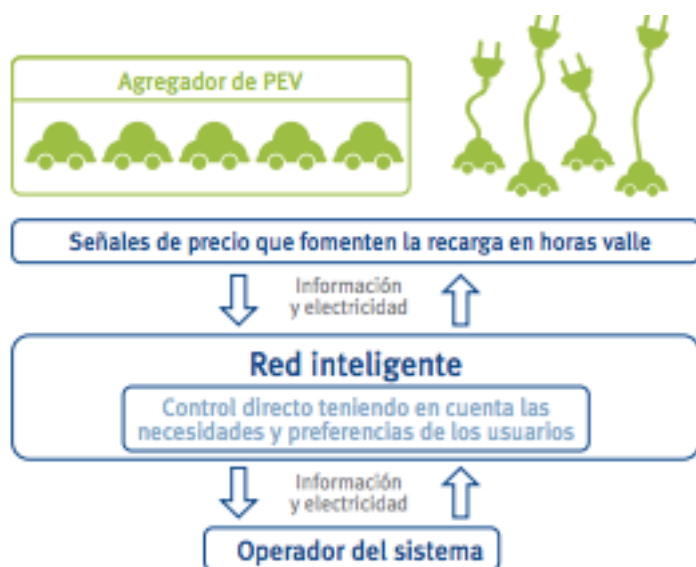


Figura 13 – Recarga inteligente. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)

El impacto del coche eléctrico en la producción de electricidad tiene un triple efecto, para el consumidor, para la generación y para el distribuidor. El consumidor verá afectada su factura de electricidad aumentado su consumo en

aproximadamente un 50%(2MWh al año para un coche que recorra alrededor de 20000 Km) . El sistema eléctrico verá un incremento de la demanda y por consiguiente de la producción de 2 TWh por año para una flota de 1 millón de coches eléctricos. Para el distribuidor o comercializador es un mercado más.

Además tendrá un impacto positivo sobre la curva de carga siempre que la recarga de las baterías se realice en periodos de valle lo que provocará un allanamiento de la curva. Si un millón de coches se conectasen a la red de forma simultanea en recarga lenta habría una demanda de 3000 a 6000 MW lo que supondría la producción de 2 a 4 reactores nucleares. Si esto se realizase en periodos de pico podría suponer que la red no pudiera entregar dicha energía por lo que se necesitaría incrementar el parque eléctrico. El sistema de recarga por lo tanto deberá encontrar estrategias de recarga rápida y que se adapte a los horarios de baja demanda o de valle o momentos de exceso de producción o de producción de energía por medio de renovables. Bajo el concepto V2G estas servicios del coche eléctrico pueden ser de recarga, ayudando a eliminar un exceso de producción pero también se puede incorporar, como elemento generador descargando las baterías.

En cuanto al impacto de CO2 el vehículo eléctrico se presenta como una solución para eliminar la emisiones de carbón y reducir así el impacto sobre el medioambiente. Lo cierto es que este vehículo “limpio” no está exento de emisiones ya que dependerá de cómo produzcamos dicha energía. Para el vehículo térmico las emisiones de CO2 se calculan utilizando el sistema “*from tank to Wheel*” (TTW) y para el coche eléctrico utilizamos “*from well to Wheel*” (WTW).

2.3.5 Integración de las renovables

La crisis del agotamiento de los recursos fósiles y alta volatilidad de sus precios unido al aumento de la necesidades energéticas y a la lucha contra el cambio el cambio climático y la reducción de las emisiones de CO2 hace que sea necesario integrar nuevas fuentes de energía capaces de abastecer y dar un solución sostenible al abastecimiento energético.

A esto hay que añadirle el progresivo cambio de políticas energéticas que los países voluntariamente están realizando. Tras el accidente de Fukushima, gran parte de los países europeos han comenzado a redefinir sus estrategias energéticas en cuanto al sector nuclear. Alemania saldrá de aquí a 2022, Italia dejará de construir centrales nucleares y suiza saldrá de aquí a 2034. Esto supone una apuesta importante por integrar las nuevas energías y la construcción de un

modelo sostenible, seguro y liderado por las energías renovables.

Desde el año 2000 se puso en marcha el Plan de Fomento de las Energías Renovables en España que tenía como objetivo para el año 2010 generar el 30% de la demanda de energía y un 12% de la energía primaria por renovables.

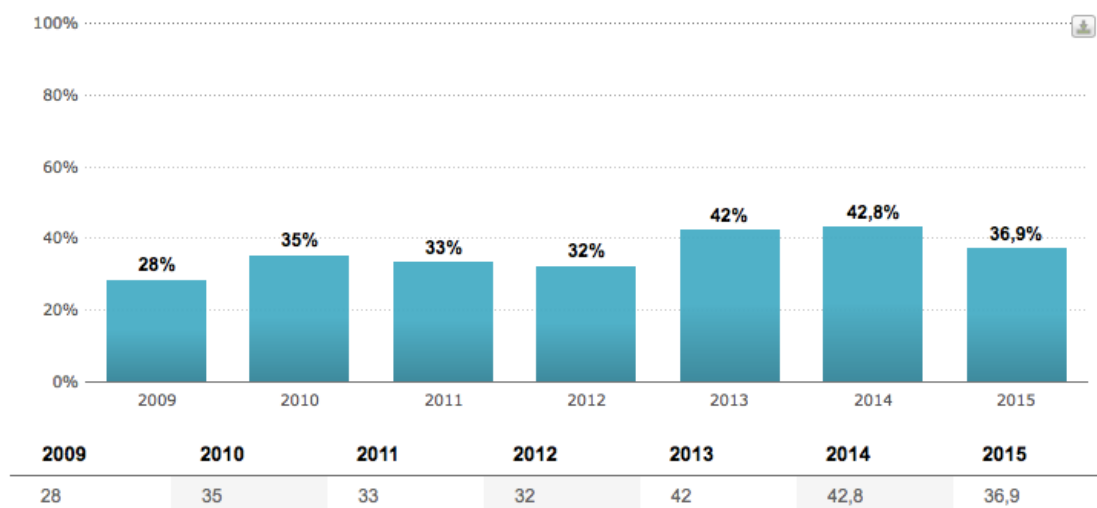


Figura 14 - % de integración de las energías renovables sobre la demanda de energía. Fuente: Red Eléctrica Española (REE)

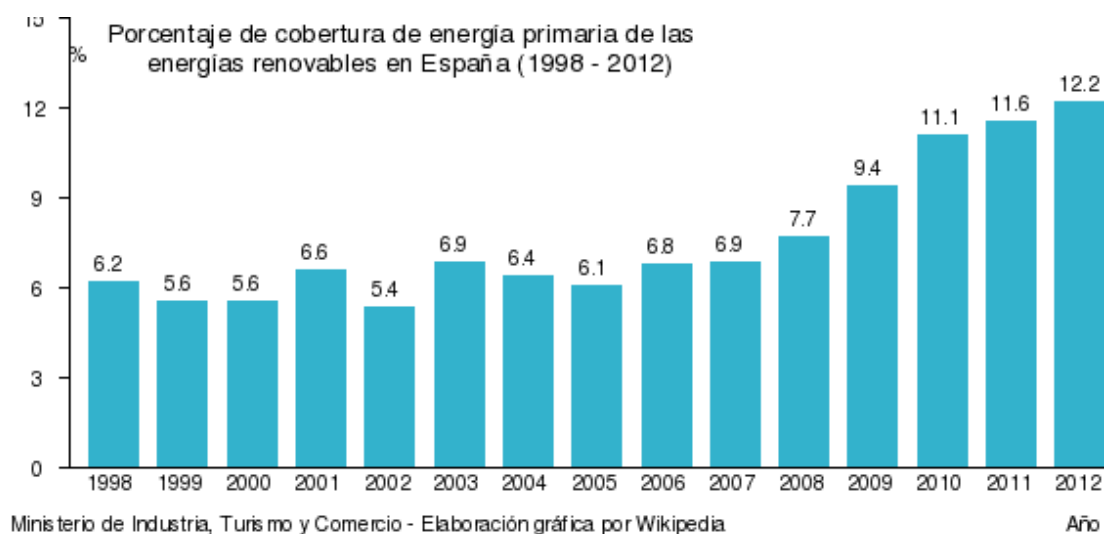


Figura 15 - % de energía renovable sobre el consumo bruto de energía eléctrica. Fuente:

Como hemos podido deducir de las gráficas el primer objetivo de satisfacer el 30% de la demanda se logró quedándose a las puertas del 12% de la energía primaria (11,1%) en 2010.

España destaca en la implantación de la energía eólica y es uno de los países que se sitúan a la cabeza en cuanto a potencia eólica instalada por detrás de algunos países como China, Estados Unidos o Alemania. Además España realizó grandes esfuerzos en el desarrollo de la energía solar posicionándose en un primer momento como líder europeo y convirtiéndose en el primer país en implantar placas solares en los edificios de nueva construcción. Desafortunadamente el gran desarrollo en renovables de España se vio frenado por la crisis financiera y los planes de subsidios para la inversión en renovables se vio frenado. Actualmente España se enfrenta a una situación más complicada y al reto europeo de alcanzar el 20% del consumo bruto de energía final proveniente de la renovables actualmente frenado en 16,2% en 2014.

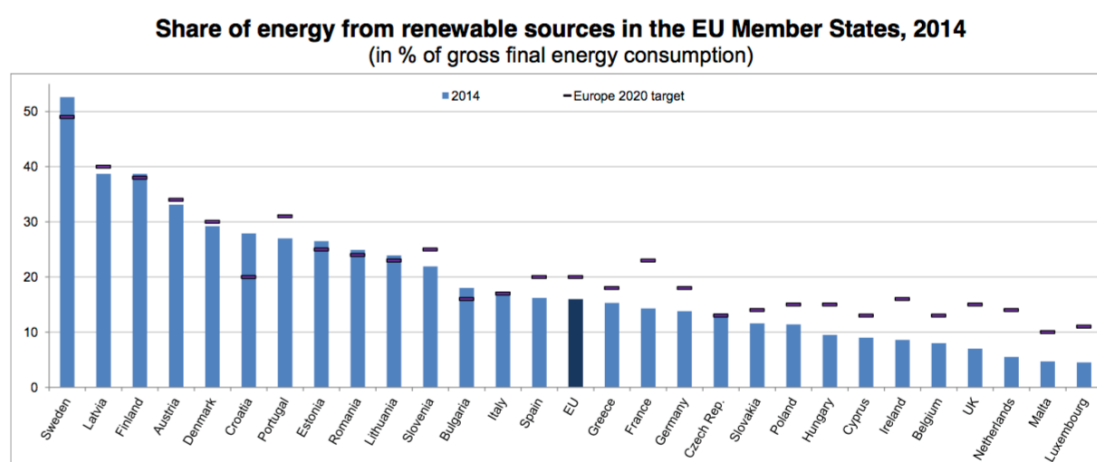


Figura 16 – Comparativa europea de la estrategia 2020 para alcanzar el 20% de renovables en el consumo bruto de energía eléctrica final. Fuente: Eurostat.

Como podemos ver en la siguiente gráfica, las renovables juegan un papel importante en el parque eléctrico español

POTENCIA INSTALADA A 31 DIC 2015

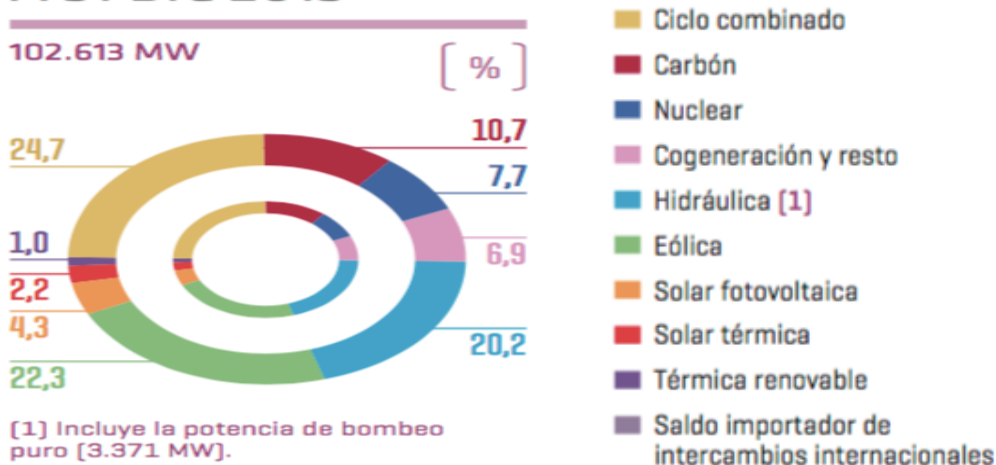


Figura 17 - % de energías renovables instaladas en España. Fuente: Red Eléctrica Española (REE).

La integración de las energías renovables es un reto para el sistema eléctrico que hay que superar. Red Eléctrica ha abierto un centro de control de energías renovables, Cetre, que mide y controla el conjunto de las energías renovables con la finalidad de integrar la mayoría de la producción de electricidad proveniente de las renovable asegurando la seguridad y estabilidad de la red. 23 centros de gestión distribuidos por todo el territorio nacional envían cada 12 segundos información a tiempo real de la producción al Cetre.

La meteorología juega también un papel importante para facilitar la integración de estas energías. Las previsiones que se realizan permiten operar las zonas en cuestión de forma más sencilla.

La interconexión con otros países, como Francia, también facilitará de forma sustancial la integración de estas energías. La exportación de energía hacia otros sistemas en momentos de exceso de producción de origen renovable permite reducir las limitaciones de este tipo de energías. Los vehículos eléctricos también pueden ser de gran ayuda para la evacuación de energía eólica (Proyecto REVE). Del mismo modo los sistemas de almacenamiento, por medio de baterías o por medio de centrales de bombeo, o de bajo la forma de aire comprimido (Dos instalaciones existen a día de hoy, una en Alemania, otra en Estados Unidos) permitirán a costes aceptables almacenar y consumir energía contribuyendo al allanamiento de la curva de carga.

El “agregador” por último juega también un papel importante ya que es quien se va a encargar de gestionar y validar las conexiones o desconexiones de consumo o de

producción facilitan la gestión de la red desde un puesto de control. el Uno de los retos de 2020 es tener un nivel de interconexión de al menos un 10% de la potencia instalada.

2.2.6 Edificio inteligente

El edificio inteligente o Smart building incluye diversas connotaciones. El concepto de automatización de las tareas es sin duda la característica principal del edificio inteligente.

El termino “domótica” tiene su origen en “*domus*” que en latín significa casa y la informática. La domótica por tanto consiste en coordinar y automatizar los equipos eléctricos del hogar o del edificio facilitando el ahorro energético, mejorando el confort y garantizando la seguridad en la casa. La inmótica integra la domótica y da la posibilidad de controlar la gestión total del edificio, centralizar los datos y controlar y supervisar los estados del mismo.

Con el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación el concepto de la domótica se ha ido evolucionando. La aparición de los contadores inteligentes han hecho de interfaz entre la red pública y la red privada creando nuevas perspectivas de desarrollo y numerosas ventajas añadidas. De esta forma aparece la idea del edificio inteligente que aplica el concepto de las redes inteligentes a la red privada.

Los edificios inteligentes no se quedan únicamente en el concepto tecnológico y engloba tanto el concepto de Smart Home como de edificio a energía positiva. El edificio a energía positiva produce el mismo por medio de energías renovables la misma energía que consume además de utilizar estrategias de eficiencia energética como el aislamiento térmico, permitiendo la entrada de sol en invierno y evitándola en verano, y la utilización de una iluminación eficiente por medio de bombillas de bajo consumo.

Los hogares son una de las principales fuentes de consumo de energía final. En el gráfico siguiente podemos ver que en España el consumo de energía final de los hogares se sitúa entorno al 19% en 2011 que es bastante inferior a la media europea. Esto es debido al clima cálido de España que hace que el consumo por calefacción (Alrededor del 30% del consumo de energía de un hogar esta destinado a este uso) sea bastante inferior al de sus vecinos europeos.

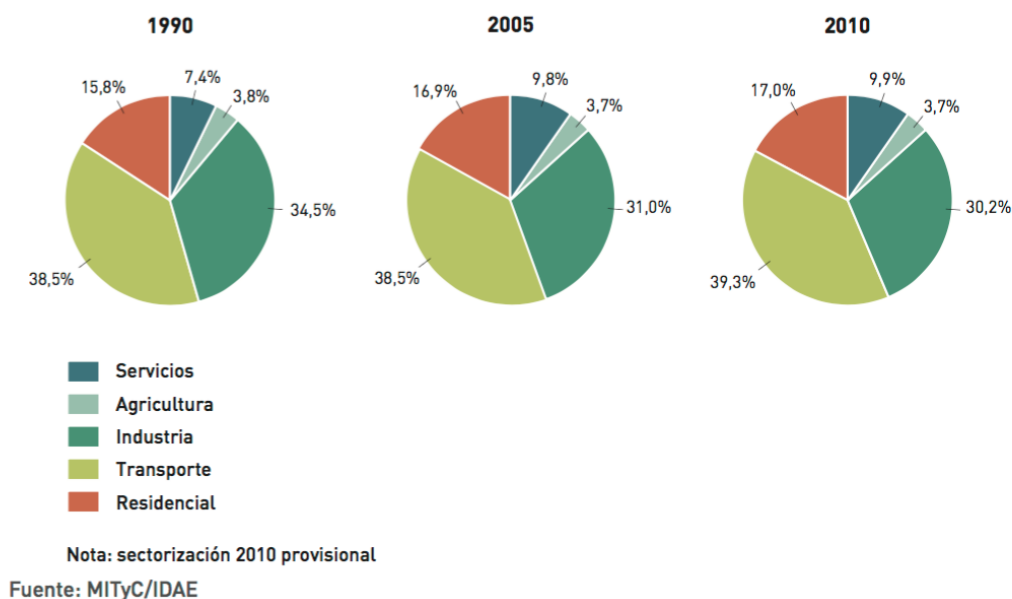


Figura 18 – Consumo de energía del sector residencial. Fuente: IDAE

Debido a su gran peso en el consumo de energía los edificios inteligentes juegan un papel importante a la hora de hacer los edificios más eficientes y dotarles de herramientas capaces de poder gestionar la demanda y controlar así el consumo total de la vivienda en todo momento de una forma inteligente.

El control y la automatización de los diferentes aparatos del hogar es por tanto uno de los objetivos principales. El control de la caldera para que consuma en periodos de poca demanda energética, el control de la temperatura de un frigorífico, el control de la temperatura del aire acondicionado, la previsión de la producción de energía los paneles fotovoltaicos instalados (gestión de la autogeneración) , la comunicación a tiempo real con los mercados que permitan al cliente reducir su factura eléctrica desplazando sus periodos de consumo. En definitiva la comunicación entre el distribuidor, los aparatos de la casa y el mismo cliente son de vital importancia para llegar a construir un edificio inteligente y eficiente.

El servicio de control del consumo se debe encargar por tanto de informar y avisar al cliente sobre su consumo a tiempo real, permitiendo realizar comparaciones entre sus hábitos de consumo y los de sus vecinos proporcionándole la información suficiente para la toma de decisiones responsable e informada. Esta información puede proceder de una web, de una aplicación móvil o de aparatos instalados en el hogar. El encargado de proporcionar esta información es el contador inteligente que ya hemos tratado anteriormente. Se estima que este servicio permitiría ahorrar en torno al 10 % de la factura.

Una control más preciso de los diferentes aparatos consumidores de energía puede dar una visión más clara sobre el origen de un consumo excesivo y reducirlo.

Algunos de los intermediarios más claros son los enchufes inteligentes o “Smart plugs” que muestra el consumo y potencia del aparato conectado, pueden ser controlados remotamente a través de emisor de radiofrecuencia. La gestión de la calefacción o del agua caliente es de vital importancia ya que representa gran parte del consumo de energía del hogar. El control se hará por medio del contador inteligente que según su arquitectura estará contado con ambos y lo podremos autorizar a funcionar durante los periodos de bajo coste. Los servicios relativos a la producción de energía local utilizan como intermediario para el control contadores específicos de producción o de inyección a la red. Estos servicios utilizan a demás posibles convertidores, sensores y previsión meteorológica. La gestión de la demanda y la producción local pueden reducir de el nivel de consumo de forma significativa e incluso de aportar energía a la red pública.

La evolución de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) permitirá a los aparatos reaccionar más rápidamente en el contexto en el que se encuentran dotándoles de una inteligencia suplementaria automatizando aún más la toma de decisiones.

El internet de las cosas (IoT) es uno de los ejemplos tecnológicos que se están desarrollando actualmente y que supondrá una revolución en el mundo de las comunicaciones. El aumento de estas supondrá el auge del Big Data que ayudarán al cliente a tomar decisiones cada vez más optimas y precisas. De esta forma, todos los objetos estarán dotados de sensores que comunicaran directamente con internet proporcionando información a tiempo real o almacenándolas en una base de datos. El protocolo de comunicación que se utilizará será evidentemente el IP, lo que supondrá un aumento de las direcciones IP. Para ello se rebautizo el protocolo IPv4 al IPv6 incorporando millones de direcciones IP para el avenir de la revolución.

El impacto del edificio inteligente hace participes a nuevos actores que empiezan a formar parte del mundo del sector inmobiliario bajo diversas ramas de estudio. La industria eléctrica se ve afectada debido a la gestión de la demanda y la oferta de nuevos servicios a los cliente. Los fabricantes de electrodomésticos ven una revolución tecnológica que les afecta a incorporar novedades informáticas a sus productos ofreciendo nuevos servicios. La telecomunicación y el internet toman el liderazgo en esta revolución marcando el camino futuro y con la creación de enormes sistemas de información que hay que gestionar.

3.PROYECTO

El proyecto consta de 3 partes fundamentales. Una primera parte centrada en establecer la comunicación entre los diferentes elementos. Una segunda parte centrada en realizar el control de las instrucciones y programar las distintas funcionalidades. Y una última parte práctica donde se pone a prueba las funcionalidades del proyecto.

3.1 Comunicación

En esta sección se va a introducir los diferentes elementos necesarios para llevar a cabo la comunicación entre el usuario o cliente y la aplicación final.

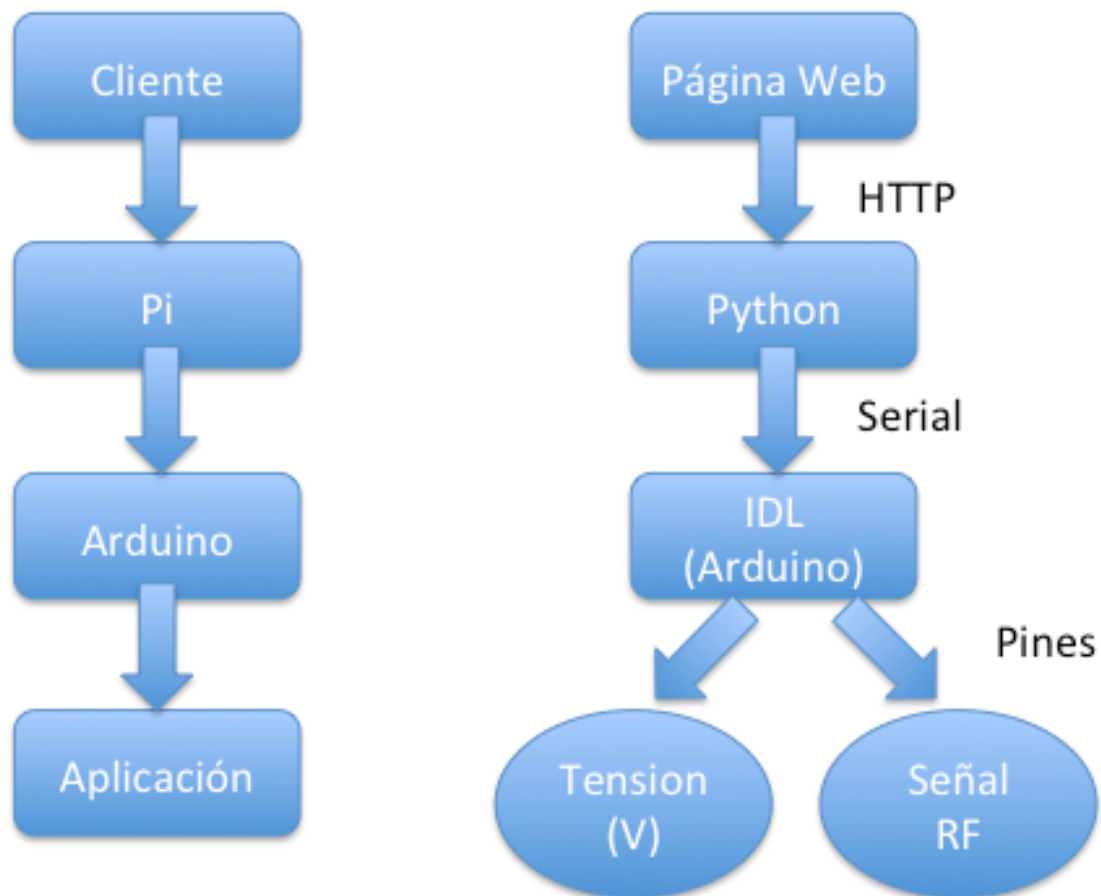


Figura 19 – Diagrama de comunicación. A la izquierda, nivel físico. A la derecha, nivel abstracto.

3.1.1 Comunicación Raspberry Pi y Arduino

Como se ha mencionado en la parte introductoria a Arduino, esta tarjeta presenta diversas prestaciones que Raspberry Pi no tiene. Entre la que destacamos 2 pines de salida analógica.

Para realizar la comunicación entre estas dos tarjetas se ha utilizado un cable USB aunque también podría haberse hecho con un bus I2C.

Normalmente para definir esta conexión debemos importar primero la biblioteca Serial en Raspberry Pi y en Arduino ya está importada. Con ella definimos la comunicación por medio de la función `serial()` introduciendo como argumentos el numero de bits por segundo la dirección de la comunicación que obtenemos introduciendo en el terminal:

```
$ ls /dev/tty*
```

Mas tarde veremos como podemos aplicar las diferentes funciones y definir una conexión serial en los siguientes apartados. Esta aplicación es de gran utilidad ya que nos va a ayudar a transmitir la información que nos llega al servidor, es decir, a Raspberry Pi y operar con ella en Arduino.

3.1.2 Servidor Web

Una vez hemos comprendido como funciona un socket y nuestra Raspberry Pi está conectada a internet, podemos crear un servidor web. Este servidor lo programaremos en Python pero también es necesario tener ciertos conocimientos de JavaScript.

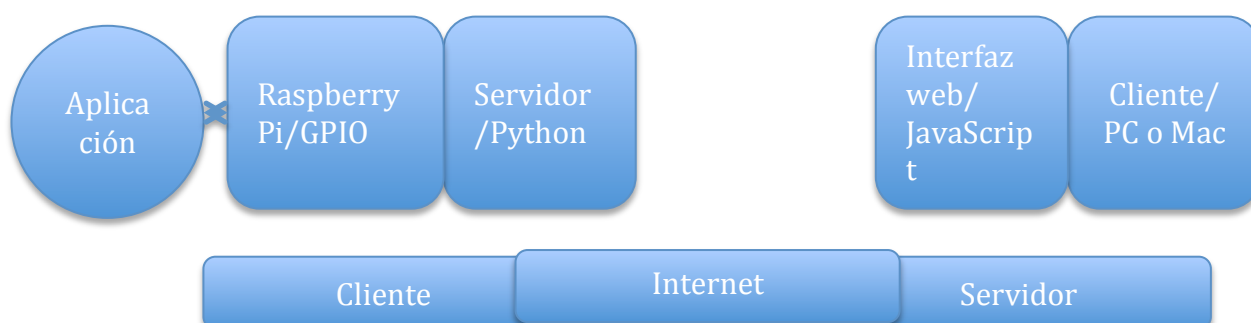


Figura 20 – Esquema de comunicación servidor-cliente.

Basándonos en la aplicación del libro *Raspberry Pi Cookbook* hemos programado nuestro servidor web para que ofrezca al cliente la posibilidad de apagar y encender por medio de internet y Raspberry Pi una serie de LEDs. Una vez comprendido el principio de esta aplicación sencilla nos permitirá posteriormente introducir nuevas funcionalidades. La interfaz gráfica la realizaremos en lenguaje JavaScript para que el buscador pueda comprender las instrucciones y mostrar una interfaz gráfica.

Para realizar este experimento necesitamos:

- Raspberry Pi (1)
- Conectores (cables)
- Resistencias de $1k\Omega$
- LED (3)
- Interruptor(1)

Antes de nada necesitaremos instalar la librería “bottle” que es bastante útil para crear servidores web simples y es de desarrollar un código en Python capaz de responder a mensajes HTTP. Para instalarlo debemos introducir en el terminal:

\$sudo apt-get install python-bottle

Una vez descargada la biblioteca utilizaremos el editor de texto para escribir nuestro código en Python. Personalmente, he utilizado el editor de texto TextWrangler que funciona bastante bien con Mac.

En un primer momento enunciaremos el código utilizado por el libro Raspberry Pi Cookbook y luego incluiremos una conexión con Arduino para que veamos las diferentes etapas en la comunicación.

El código utilizando solo Raspberry Pi también lo podemos encontrar en GitHub que es una de las mayores plataformas de código abierto (open-source) del mundo.

```

1  from bottle import route, run
2  import RPi.GPIO as GPIO
3
4  host = '160.228.20.50'
5
6  GPIO.setmode(GPIO.BCM)
7  led_pins = [18, 23, 24]
8  led_states = [0, 0, 0]
9  switch_pin = 25
10
11 GPIO.setup(led_pins[0], GPIO.OUT)
12 GPIO.setup(led_pins[1], GPIO.OUT)
13 GPIO.setup(led_pins[2], GPIO.OUT)
14 GPIO.setup(switch_pin, GPIO.IN, pull_up_down=GPIO.PUD_UP)
15
16 def switch_status():
17     state = GPIO.input(switch_pin)
18     if state:
19         return 'Up'
20     else:
21         return 'Down'
22
23 def html_for_led(led):
24     l = str(led)
25     result = "<input type='button' onClick='changed(" + l + ")' value='LED " + l + "'/>"
26     return result
27
28 def update_leds():
29     for i, value in enumerate(led_states):
30         GPIO.output(led_pins[i], value)
31
32 @route('/')
33 @route('/<led>')
34 def index(led="n"):
35     print(led)
36     if led != "n":
37         led_num = int(led)
38         led_states[led_num] = not led_states[led_num]
39         update_leds()
40     response = "<script>"
41     response += "function changed(led)"
42     response += "{"
43     response += "    window.location.href='/' + led"
44     response += "}"
45     response += "</script>"
46
47     response += "<h1>GPIO Control</h1>"
48     response += "<h2>Button=' + switch_status() + '</h2>"
49     response += "<h2>LEDs</h2>"
50     response += html_for_led(0)
51     response += html_for_led(1)
52     response += html_for_led(2)
53     return response
54
55 run(host=host, port=80)
56

```

Figura 21 – Código del servidor web en lenguaje Python.

Al principio debemos importar las bibliotecas “bottle” para responder y enviar código HTML (HyperText Markup Language) y GPIO para definir los pines de entrada y de salida.

El host debe ser igual a la dirección IP de nuestra Raspberry Pi en nuestro caso: 160.228.20.50. Luego hemos definido los pines 18,23,24 como pines de salida y el pin 25 para el interruptor.

La función `switch_status` recibirá cualquier cambio que se haya realizado en el interruptor. “`html_for_led`” entregará como resultado un código JavaScript. La función que realmente cambio el LED es “`update_leds`”. Si queremos estructurar nuestro código “`@route`” relaciona una dirección URL con un LED. Así si pulsamos el LED 1 nuestra nueva dirección será: <http://160.228.20.50/1>. La función “`index`” se encargará de actualizar la página con el Nuevo parámetro y recibir la información de que LED el cliente quiere encender incluyendo la función

`"update_leds( )"` que será la encargada de mandar la señal a través de los GPIO. Para el interruptor incluiremos la función `"switch_status"` que cambiará el estado del interruptor en la página Web a "Up" o "Down".

Finalmente el programa se ejecutará debido a `"run"` que ejecuta el programa cuando se introduzca la dirección IP de Raspberry Pi y la conexión se realice por medio del Puerto 80 (por defecto).

A partir del código anterior hemos desarrollado algunas funcionalidades más ampliando la comunicación hasta Arduino haciendo uso de la biblioteca Serial.

```

1  from bottle import route,run
2  from serial import Serial
3
4  host = '192.168.1.144' # The IP adresse of raspberry
5
6  #ls /dev/tty* # The instruction for finding the port we are using
7  ser = Serial('/dev/ttyS1', 9600) # The port of raspberry and mode of arduino we use
8  State = "OFF" # The state of lampe
9  Etat=["ON/Change","OFF"] # The state on the buttons of web page
10
11 # Create buttons and input the choice through web page
12 def html_for_led(led):
13     l = str(led)
14     result = "<input type='button' onClick='changed(\"+ l +\")'value='Lampe : ' + Etat[led] +\"'/>"
15     return result
16
17 # Trun on the lampe
18 def Turn_on():
19     ser.write("on")
20
21 # Turn off the lampe
22 def Turn_off():
23     ser.write("off")
24
25 # Update the state of lampe
26 # If we press the button "Turn on" two times, the lampe will start to change
27 # the brightness. And if we press it again, the lampe will stop changing and
28 # keeping the brightness. This fonction depends on different socket.
29 def update_leds(led_num):
30     global State
31     if led_num == 0:
32         if State == "ON":
33             Turn_on()
34             State = 'Change'
35         else:
36             Turn_on()
37             State = "ON"
38     else:
39         Turn_off()
40         State = "OFF"
41
42 # Create the web page
43 @route('/')
44 @route('/<led>')
45 def index(led="n"):
46     if led != "n":
47         led_num = int(led)
48         update_leds(led_num)
49     response = "<script>"
50     response += "function changed(led)" # Define a function for finding the button we choose
51     response += "{"
52     response += "    window.location.href='/' + led"
53     response += "}"
54
55 # The content on the web page
56 response += "<h1>Lampe Control</h1>"
57 response += "<h2>STATE=' + State + ' </h2>"
58 response += "<h2>Control Button</h2>"
59 response += html_for_led(0)
60 response += html_for_led(1)
61 return response
62
63 # Run the program and choose a port for internet
64 run(host=host, port=80)
65

```

Figura 22 – Desarrollo del código anterior ampliado a la comunicación con Arduino.

El código de la imagen corresponde al código del servidor Web ejecutado en Raspberry Pi. Dos librerías importantes son `bottle` que ya le hemos explicado anteriormente y `serial` que nos va a permitir conectarnos con Arduino y enviarle la información para que ejecute las instrucciones de encendido o apagado de la lámpara. Posteriormente veremos como se realiza esta conexión Raspberry Pi-Arduino.

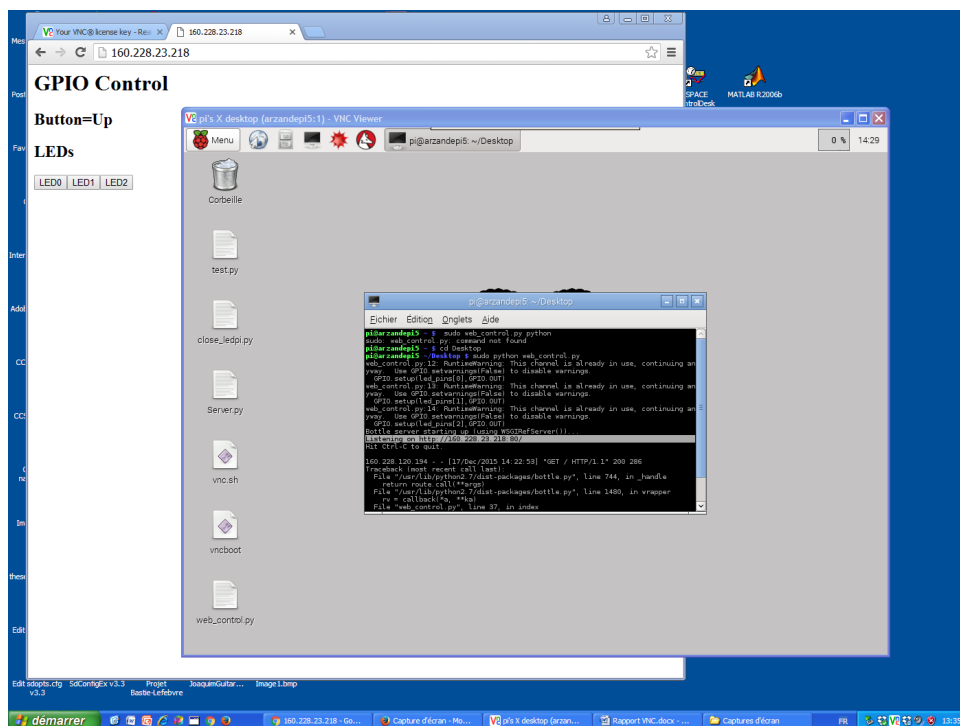


Figura 23 – Interfaz gráfica de la página web.

3.1.3 Comunicación por radiofrecuencia

Una de ellas es el control por radiofrecuencia. Para ello hemos dispuesto de un emisor y un receptor de 433 MHz y dos tarjetas Arduino , cada uno con una función de emisor o receptor.

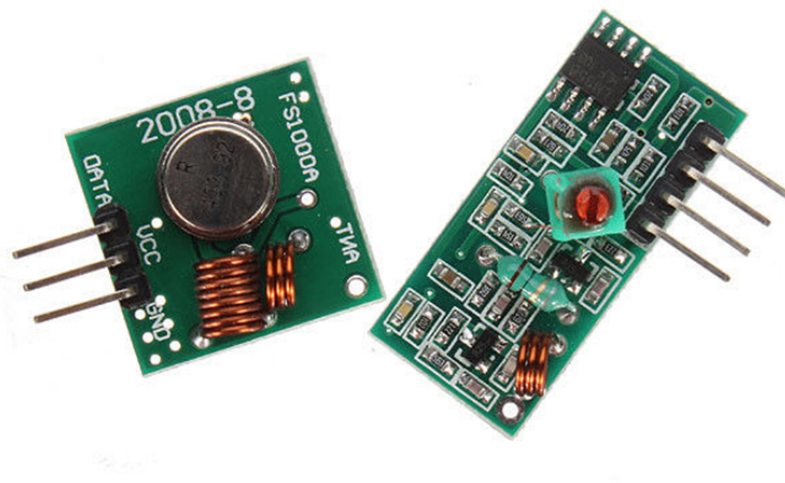


Figura 24 – Emisor y receptor de 433MHz.

El emisor tiene 3 pines, DATA, VCC, GNG. El receptor tiene 4 pines, los 3 del emisor y se ha añadido otro pin de DATA que no vamos a utilizar.

Hay distintas bibliotecas que nos permiten realizar la comunicación por radiofrecuencia. El receptor y el emisor transmiten únicamente bits por lo que estas librerías nos permitirán pasar directamente números enteros o cadenas de caracteres a bits y recibir la información correctamente.

Se han probado dos bibliotecas, VirtualWire y RCSwitch. VirtualWire es muy utilizada pero RCSwitch es también una buena opción para este tipo de módulos. En el proyecto se ha utilizado RCSwitch para la aplicación por ser más sencilla de utilizar.

Estas bibliotecas se han descargado en GitHub.com que ofrece código abierto.

Para comenzar a realizar la comunicación entre las dos tarjetas Arduino Uno primero debemos tener instalado tanto en Pi como en nuestro PC o Mac el programa Arduino para implementar el código.

Una vez en Arduino iremos a program → Add libraries y seleccionamos el archivo donde se encuentra dicha biblioteca.

3.1.4 Control remoto de un interruptor “inteligente”

El departamento de energía de Supélec nos proporcionó un interruptor controlable por radiofrecuencia. Este interruptor viene acompañado de un mando o emisor de señal y un receptor que se encuentra en el enchufe que funcionara de interruptor para permitir que pasa o no la corriente. Este enchufe ira conectado a una lámpara.



Figura 25 – Enchufe inteligente controlable por radiofrecuencia.

Como podemos ver en la imagen de la izquierda, el enchufe dispone de un selector de grupo. Este selector nos indica a que grupo va a pertenecer el enchufe. El mando a distancia en su parte trasera presenta también un selector de grupo por lo que nos ayudara a controlar cada grupo de enchufes.

La idea no es controlar el enchufe con el mando si no a través de internet. Anteriormente ya se había realizado la conexión internet Pi, y la conexión Pi – Arduino. Ahora necesitamos saber cual es la información que el mando envía para controlar el enchufe y poder mandarla desde nuestro Arduino emisor. Para ello utilizaremos el Arduino como receptor.

Descifrado

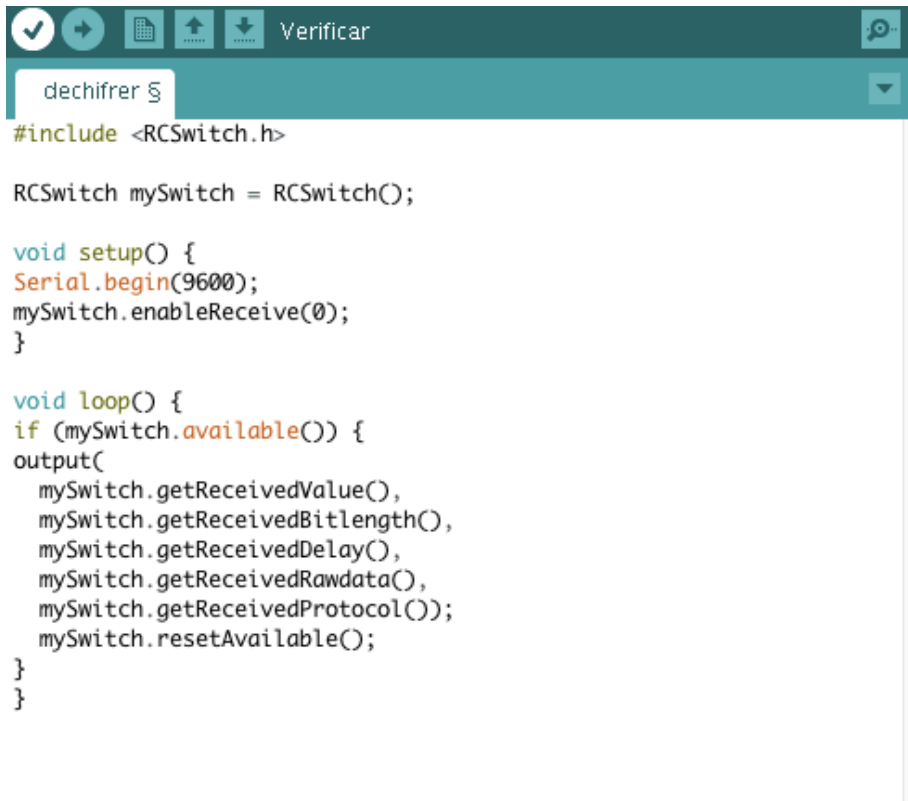
Para esta aplicación tendremos que comprender el funcionamiento del mando. Para ello necesitamos descifrar la información que hemos recibido a través del receptor en Arduino.

Para ello hemos analizado el “tri-state code” que se traduce del código binario de la siguiente manera.

Tabla 4 – Tri-state code.

Binary		Tri-state
A	B	C
0	0	0
0	1	F
1	1	1

Nuestro programa de descifrado nos proporcionará los valores decimales, binarios, y tri-state de los cuales deduciremos el funcionamiento del interruptor.



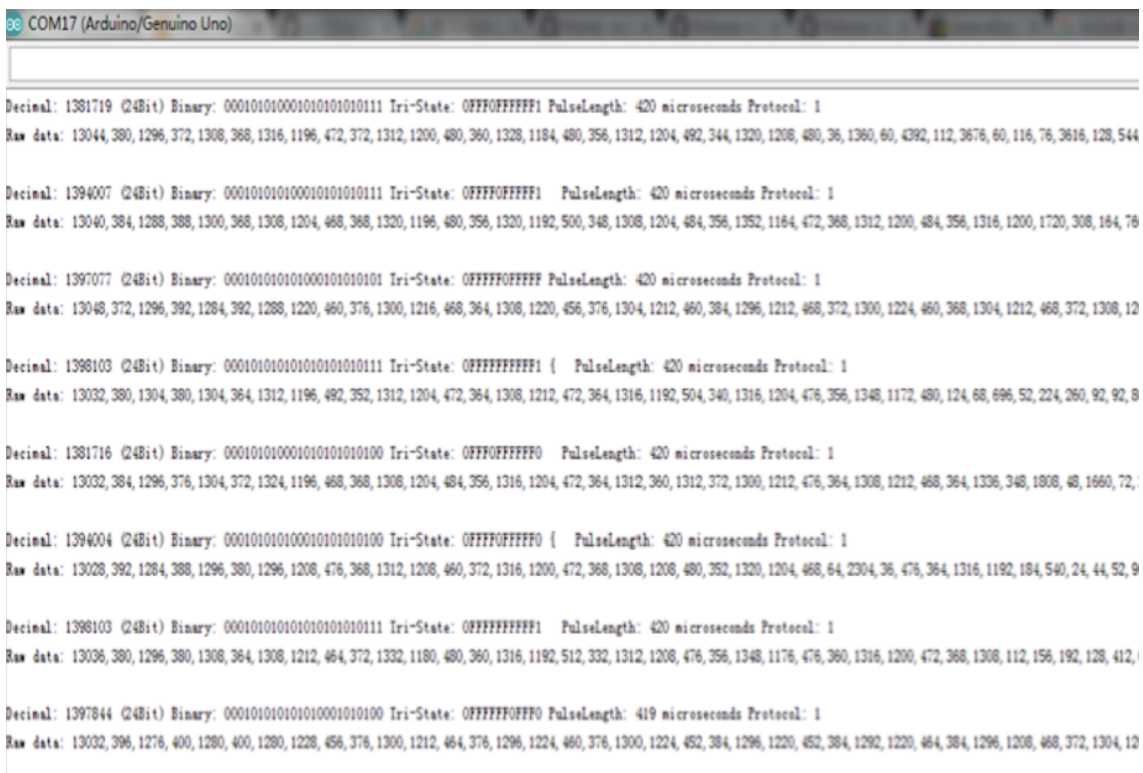
```
#include <RCSwitch.h>

RCSwitch mySwitch = RCSwitch();

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  mySwitch.enableReceive(0);
}

void loop() {
  if (mySwitch.available()) {
    output(
      mySwitch.getReceivedValue(),
      mySwitch.getReceivedBitlength(),
      mySwitch.getReceivedDelay(),
      mySwitch.getReceivedRawdata(),
      mySwitch.getReceivedProtocol());
    mySwitch.resetAvailable();
  }
}
```

Figura 26 – Código Arduino para descifrar la señal.



```
COM17 (Arduino/Genuino Uno)

Decimal: 1361719 (24Bit) Binary: 0001010100010101010111 Iri-State: OFFFOFFFFFFFF PulseLength: 420 microseconds Protocol: 1
Raw data: 13044,380,1296,372,1308,368,1316,1196,472,372,1312,1200,480,360,1328,1184,480,356,1312,1204,492,344,1320,1208,480,36,1360,60,4392,112,3676,60,116,76,3616,128,544

Decimal: 1394007 (24Bit) Binary: 000101010100010101010111 Iri-State: OFFFOFFFFFFFF PulseLength: 420 microseconds Protocol: 1
Raw data: 13040,384,1288,388,1300,368,1308,1204,468,368,1320,1196,480,356,1320,1192,500,348,1308,1204,484,356,1352,1164,472,368,1312,1200,484,356,1316,1200,1720,308,164,76

Decimal: 1397077 (24Bit) Binary: 000101010101000101010101 Iri-State: OFFFOFFFFFFFF PulseLength: 420 microseconds Protocol: 1
Raw data: 13048,372,1296,392,1284,392,1288,1220,460,376,1300,1216,468,364,1308,1220,456,376,1304,1212,460,384,1296,1212,468,372,1300,1224,460,368,1304,1212,468,372,1308,12

Decimal: 1398103 (24Bit) Binary: 000101010101010101010111 Iri-State: OFFFOFFFFFFFF { PulseLength: 420 microseconds Protocol: 1
Raw data: 13032,380,1304,380,1304,364,1312,1196,492,352,1312,1204,472,364,1308,1212,472,364,1316,1192,504,340,1316,1204,476,356,1348,1172,480,124,68,696,52,224,260,92,92,8

Decimal: 1361716 (24Bit) Binary: 000101010001010101010100 Iri-State: OFFFOFFFFFFFF0 PulseLength: 420 microseconds Protocol: 1
Raw data: 13032,384,1296,376,1304,372,1324,1196,468,368,1308,1204,484,356,1316,1204,472,364,1312,360,1312,372,1300,1212,476,364,1308,1212,468,364,1336,348,1808,48,1660,72,

Decimal: 1394004 (24Bit) Binary: 000101010100010101010100 Iri-State: OFFFOFFFFFFFF0 { PulseLength: 420 microseconds Protocol: 1
Raw data: 13028,392,1284,388,1296,380,1296,1208,476,368,1312,1208,460,372,1316,1200,472,368,1308,1208,480,352,1320,1204,468,64,2304,36,476,364,1316,1192,184,540,24,44,52,9

Decimal: 1398103 (24Bit) Binary: 000101010101010101010111 Iri-State: OFFFOFFFFFFFF1 PulseLength: 420 microseconds Protocol: 1
Raw data: 13036,380,1296,380,1308,364,1308,1212,464,372,1332,1180,480,360,1316,1192,512,332,1312,1208,476,356,1348,1176,476,360,1316,1200,472,368,1308,112,156,192,128,412,

Decimal: 1397844 (24Bit) Binary: 000101010101010001010100 Iri-State: OFFFOFFFFFFFF0 PulseLength: 419 microseconds Protocol: 1
Raw data: 13032,396,1276,400,1280,400,1280,1228,456,376,1300,1212,464,376,1296,1224,460,376,1300,1224,452,384,1296,1220,452,384,1292,1220,464,384,1296,1208,468,372,1304,12
```

Figura 27 – Resultado.

El mando envía una serie de 24 bits de lo que deducimos 4 grupos de 8 bits o 4 bytes o octetos. Los 4 primeros tri-states codes (8 bits) indican el grupo al que pertenece el enchufe.

Tabla 5 – Descifrado del código del grupo al que pertenece la señal.

Tri-state	Grupo
0FFF	I
F0FF	II
FF0F	III
FFF0	IV

Los siguientes 4 indican el botón .

Tabla 6 – Descifrado del código del botón.

Tri-state	Botón
0FFF	1
F0FF	2
FF0F	3
FFF0	4

Los siguientes 4 indican si encender o apagar el enchufe.

Tabla 7 – Descifrado del código ON/OFF.

Tri-state	ON/OFF
FFF1	ON
FFF0	OFF

Nosotros hemos utilizado el grupo 1, botón 1 y finalmente obtenemos:

Tabla 8 - Traducción a lenguaje decimal.

Tri-state	Grupo	Botón	ON/OFF	DECIMAL
0FFF0FFFFFFF1	1	1	ON	1381719
0FFF0FFFFFFF0	1	1	OFF	1381716

Aplicación: Control por RF de un Smartplug

Una vez descifrada la información utilizamos el código en decimal para encender o apagar la bombilla. Para encender utilizamos el 1381719 para apagar el 1381716 como podemos ver solo cambia la ultima parte de la información en decimal 19 por 16 ya que es donde se encuentra la información ON o OFF.



Figura 28 – Esquema de control por radiofrecuencia.

Este código implementa la función de apagado o encendido:

```
#include <RCSwitch.h>

RCSwitch mySwitch = RCSwitch();

unsigned long Lampara _OFF = 1381716;
unsigned long Lampara _ON  = 1381719;

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    // Emisor conectado al pin 10
    mySwitch.enableTransmit(10);
    Serial.println("init ");
}

void loop() {
    //Parpadeo de la lámpara
    Serial.print("Encender ");
    mySwitch.send(Lampara_ON, 24);
    delay(10000);
    Serial.println("Apagar ");
    mySwitch.send(Lampara_OFF, 24);
    delay(3000);
}
```

Este código se realiza a expensas de cualquier comunicación con Raspberry Pi y por tanto solo hemos necesitado nuestro ordenador y Arduino. En la sección de control aplicaremos todo conjuntamente integrando todas las aplicaciones descritas con anterioridad.

3.2 Control

Una vez se ha puesto en marcha todas la funcionalidades que se quieren implementar se necesitan presentar al cliente a través de la pagina web, la cual, en un primer momento, hemos diseñado para encender por medio de Raspberry Pi una serie de LEDs . Ahora toca conectar todas las diferentes etapas que se han visto anteriormente. Es decir, pasar la información que el cliente a introducido hasta la aplicación final.

En esta sección vamos a explicar como podemos lograr el control de los diferentes aparatos desde nuestro Smartphone, tabletas o nuestro ordenador. Para ello se reconfigurará nuestra página web ya creada en Raspberry Pi para que incorpore las diferentes aplicaciones. De esta forma cualquiera que esté conectado a la misma red local podrá introducir la dirección IP de Raspberry Pi en la barra URL y podrá comunicarse con Raspberry a través de internet. Por defecto se ha establecido el puerto 80 como el puerto ha utilizar para estas conexiones remotas ya que es el reservado por el protocolo “http” y es el utilizado por todos los buscadores por defecto.

Como resultado se ha diseñado esta interfaz web que es lo que vería cualquier persona que se intente conectar dentro de la red de Supélec a nuestra Raspberry Pi por medio de la dirección IP:

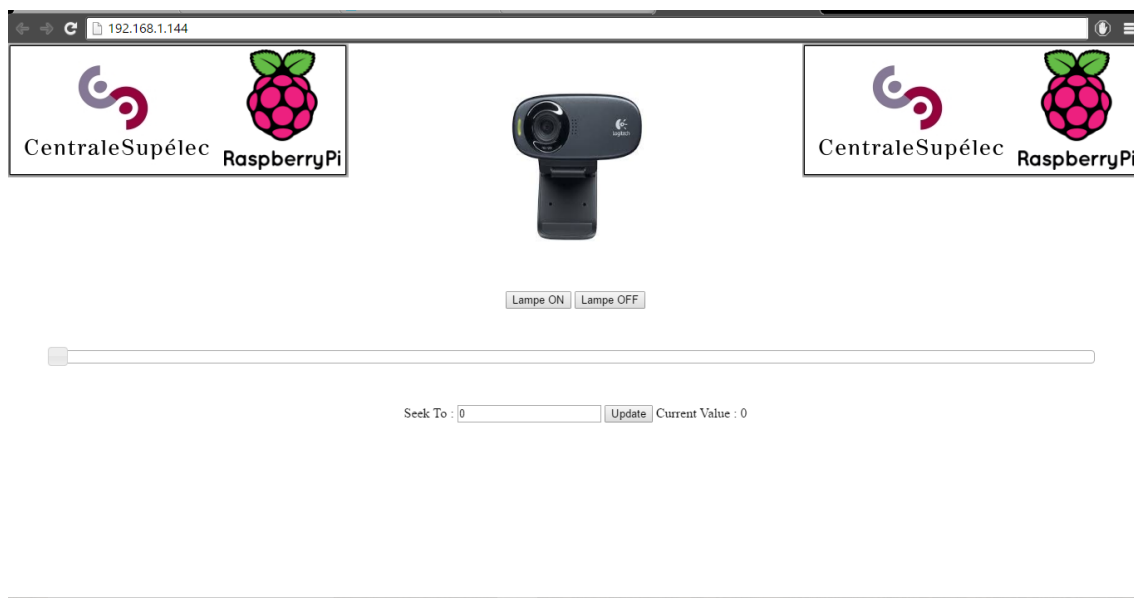


Figura 29 – Interfaz gráfico de la página web final.

Esta pagina web incluye diferentes funcionalidad:

- Video-vigilancia. Pinchando en la imagen de la cámara podemos ver en tiempo real lo que está grabando la cámara instalada en Raspberry Pi. Que como veremos posteriormente esta enfocada a lo que ocurra con el motor de corriente continua que será la aplicación principal.
- Dos botones de ON/OFF, que encenderán o apagaran, en este caso está escrito una lámpara. Pero que podrá ser cualquier aplicación que hayamos decidido conectar a nuestro canal. [Ver sección de comunicación]
- Una barra que podemos regular y que controla la tensión de salida de Arduino. Esta barra ha servido para el control de la velocidad de un motor eléctrico de corriente continua pero puede tener también otras aplicaciones.

En esta sección de control se trata de crear un sistema inteligente que integre todas las etapas anteriormente mencionada. Comenzando desde el servidor Web que se ha implementado desde Raspberry Pi, el utilizador es capaz de introducir las diferentes instrucciones. En esta sección por lo tanto se desarrollará el diseño de esta página web para crear la sección de control necesaria. Posteriormente estas instrucciones de control deben ser trasmitidas a Arduino que como se ha visto en la sección de comunicación traducirá estas instrucciones para dar una salida de tensión analógica y así poder controlar físicamente(electrónicamente) los diferentes aparatos conectados.

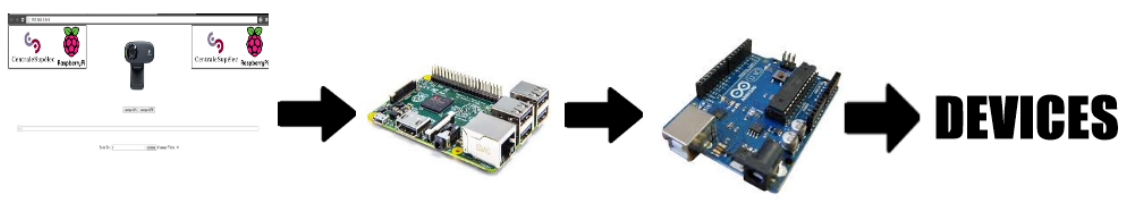


Figura 30 – Esquema general.

3.2.1 Página Web

En este apartado se presentará y explicará el código de la página web que está escrito en Python, ya que será ejecutado en Raspberry Pi, que ejercerá como servidor web.

El código completo está en el anexo de este documento. Aquí se irá explicando línea por línea lo que se ha ido haciendo. Para ello ha sido necesario conocer como programar en Python así como ciertas nociones de JavaScript.

```
1 from bottle import route,run
2 from serial import Serial
```

En estas primeras dos líneas hemos importado algunas bibliotecas básicas como “bottle” que está diseñada para crear páginas web de forma sencilla desde Python. “Serial” permitirá realizar la comunicación entre Raspberry Pi y Arduino a través de una conexión USB y route será útil para manejar la información dentro de la página web.

Declaracion de variables

Posteriormente se definirá algunas variables como “host” que guardará la dirección IP donde se ejecutará nuestra el código y es la misma que la dirección IP que tiene nuestra Raspberry Pi. Hemos definido diferentes direcciones ya que hemos conectado nuestra Raspberry Pi en diferentes redes y cada una ha asignado una dirección IP diferente a nuestra Raspberry Pi.

```
4 host = '192.168.1.144'
5 #host = '160.228.23.218'
6 #host = '172.20.10.6'
7 p=0
8 #ls /dev/tty*
9 ser = Serial('/dev/ttyS1', 9600)
10
11
12 @route('/')
13 @route('/<per>')
```

También hemos definido “p” como un int que guardara el valor actual de la barra en cada momento. Esta variable estará guardada en la memoria del servidor, es decir, en Raspberry Pi por lo que es independiente a cada usuario. De alguna forma podemos decir que esta variable está protegida para que solo pueda tener un único valor y que cada usuario no cambie o pierda el valor al conectarse de forma involuntaria.

Hemos declarado ser que hace referencia a la conexión USB entre Arduino y Raspberry Pi. En nuestro caso esta conexión tiene una dirección “/dev/ttyS1”. Para averiguar cual es el nombre de esta conexión podemos introducir “ls /dev/tty*”. A continuación hemos definido la velocidad de transmisión de 9600bit/s (que es la mínima velocidad de Arduino) para enviar información a Arduino.

Para finalizar hemos declarado “@route” que definirá las diferentes rutas de nuestra pagina web. En este caso “/” es la ruta por defecto y cualquier usuario debe introducir <http://192.168.1.144/> en su barra del buscador para cargar la pagina web. Además también existe la ruta <http://192.168.1.144/<per>> donde “per” es cualquier información que el usuario quiera enviar al servidor. Por ejemplo, si el usuario quiere encender una luz introducirá <http://192.168.1.144/ON> y si quiere apagarla <http://192.168.1.144/OFF> , si quiere cambiar la velocidad del motor como veremos en la próxima sección introduciremos <http://192.168.1.144/50> siendo 50 el porcentaje de velocidad que el usuario desea utilizar. De una forma más sencilla la interfaz gráfica permite de manera automática actualizar esta información simplemente pinchando en los botones o el barra.

Main function

La función principal `index` será llamada cuando el usuario introduzca una ruta dentro del servidor por lo que recibirá el valor de “per” explicado anteriormente. La función devuelve un `string` como resultado que corresponde al código html que implementará el buscador del usuario.

En la línea número 20 se comprobará el valor de “per” para comprobar si el usuario ha querido enviar alguna información (per tiene algún valor, `per != "n"`) o si solo quiere conectarse a la pagina web (`per` está vacío, `per="n"`).

```
15 def index(per="n"): #per is empty
16
17     global p #p can be changed
18
19     response=""
20     if per != "n": #not empty
21         if per!="ON" and per!="OFF":
22             p=int(per) #get p value
23             ser.write(per) #send p value
24             print(per)
25             response += "<script>"
26             response += "window.location.href='/';" #reload the initial page.
27             response += "</script>"
28     else:
```

Si el usuario quiere enviar alguna información quiere decir que “per” tendrá un valor. Ese valor lo queremos enviar a Arduino que será quien lo utilice para dar la respuesta deseada. Para ello utilizaremos “`ser.write()`” que realizará el envío de esa información por medio del cable USB. Una vez enviada la información actualizaremos la pagina (líneas 25 a 27).

Codigo Html

Aquí explicaremos la respuesta que el usuario recibirá cuando solicite el acceso mediante la dirección <http://192.168.1.144/>

Introduciremos algunas bibliotecas que utilizaremos para importar algunos objetos como la barra y algunas funciones de java.

```

28     else:
29
30         #libraries
31         response += "<link
href=\"http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jqueryui/1.8/themes/base/jquery-ui.css\"
rel=\"stylesheet\" type=\"text/css\"/>"
32         response += "<script
src=\"http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.4/jquery.min.js\"></script>"
33         response += "<script
src=\"http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jqueryui/1.8/jquery-ui.min.js\"></script>"
34

```

Funciones de objetos

En estas líneas hemos programado que hará la pagina cuando cambiemos o pinchemos en alguno de los objetos de la pagina web. Estas funciones deben ser declaradas cuando la pagina este cargada por eso lo hemos incluido dentro de la función "document.ready()".

```

36         #Definition of functions
37         response += "<script>"
38         response += "$ (document).ready(function () {"
39
40         #button ON
41         response += "$ (\\"#onlampe\\").click(function () {"
42         response += "window.location.href='/ON'"
43         response += "});"
44
45         #button OFF
46         response += "$ (\\"#offlampe\\").click(function () {"
47         response += "window.location.href='/OFF'"
48         response += "});"

```

En el caso del botón "onlampe" hemos definido que cuando el usuario pinche en el botón el buscador demandará la ruta "/ON" siendo finalmente <http://192.168.1.144/ON>. Nuestro buscador mandará a Raspberry la acción de encender la luz que será ejecutada por Arduino. Lo mismo para el caso de apagado.

```

50         #Bar
51         response += "$ (\\"#slider\\").slider({min: 0,max: 100,step: 1,change:
showValue,width: 1});"
52         response += "$ (\\"#slider\\").slider(\\"option\\", \\"value\\", "+str(p)+" );"
53         response += "function showValue(event, ui) {"
54         response += "$ (\\"#val\\").html(ui.value);"
55         response += "if(event.originalEvent) window.location.href='/' + ui.value;"
56         response += "}"

```

En el caso de la barra o *slider* declaramos el rango de valores de la barra, en nuestro caso utilizaremos valores porcentuales por lo que será de 0 a 100 utilizando un escalón de valor 1. Asociaremos cualquier cambio en la barra a través de la función "showValue". La línea 52 fija el valor de la barra que será igual al valor de "p" que esta guardado en el servidor. La información se enviará de la misma forma que con la lámpara. Introduciremos

<http://192.168.1.144/>"value" donde "value" es el nuevo valor que el usuario quiere introducir.

Diseño de la Web

Para finalizar la sección de código html vamos a explicar como hemos realizado el diseño o interfaz gráfica de nuestro servidor web. Nuestra página consta de:

- Una imagen que muestra lo que la cámara esta grabando.
- 2 botones que controlan una lámpara
- una barra

Estos objetos están posicionados uno por debajo de otro y alineados en el centro de la pagina.

El código para la cámara:

```
65     response += "<div align=\"center\">"
66     response += "<img src=\"http://'+ host + ':8081\" style=\"margin: 50;\">"
```

Ambos botones están sobre la misma horizontal por lo tanto sobre la misma "div"

```
68         #buttons
69     response += "<div style=\"margin: 0px\">"
70     response += "<input id=\"onlampe\" type=\"button\" value=\"Lampe ON\" />"
71     response += "<input id=\"offlampe\" type=\"button\" value=\"Lampe OFF\" />"
72     response += "</div>"
```

Finalmente la posición de la barra estará al final y debajo del texto "contrôle du moteur"

```
74         #bar
75     response += "<div style=\"margin: 30px\">"
76     response += "Control du moteur:"
77     response += "<div id=\"slider\" style=\"margin-left: 50px; margin-right: 50px; margin-top: 20px\"></div>"
78     response += "</div>"
```

Finalmente hemos acumulado todo el código html sobre la variable "response" que será la respuesta de la función index que el buscador obtendrá

```
82     return response
83
84 run(host=host, port=80)
```

Después de haber declarado la función index que termina en la línea 83 solo nos queda una línea de código en nuestro "main". Se trata de la función "run" que ejecutará el programa cuando el host sea igual a la dirección IP de Raspberry y en el puerto 80 (por defecto para comunicación html). Para cada nueva conexión a nuestro servidor se enviará el código html escrito en nuestra función index.

3.2.2 Tratamiento de la información

Como hemos dicho anteriormente el usuario transmite la información por medio del servidor web creado en Raspberry Pi y finalmente esta información recibida en Raspberry Pi es procesada en Arduino para controlar las diferentes aplicaciones.

Ahora presentaremos el código de la parte de Arduino que se encuentra completamente en el anexo de este documento. Este programa tiene como objetivo el control de un enchufe inteligente y es el mismo que hemos presentado en la sección de comunicación extendiendo la comunicación a Raspberry Pi y por tanto al servidor Web, pero también le hemos añadido como aplicación el control de un motor. El comportamiento físico del programa será presentado en sección Motor más adelante.

Bibliotecas

Para este programa hemos utilizado “RCSwitch” que la utilizaremos para realizar la comunicación por radiofrecuencia de la lámpara como hemos explicado en la sección de comunicación. A recordar que la biblioteca Serial ya está incluida en Arduino

```
#include <RCSwitch.h>

RCSwitch mySwitch = RCSwitch();
```

Declaración de variables

En este apartado vamos a declarar dos variables que controlarán el apagado y encendido de la lámpara que tendrán el valor encontrado en el apartado de descifrado, en la sección de comunicación. Luego hemos definido el pin 9 que será sobre el que realicemos el control de la velocidad del motor. La última variable “centage” guardará el valor del porcentaje de velocidad que el usuario desea entregar al motor.

```
unsigned long Lampe_bureau_OFF = 1381716;
unsigned long Lampe_bureau_ON = 1381719;
int ledPin = 9;          // exit connected to digital pin 9
int centage = 0;
```

Función setup

La función `setup` es necesaria en Arduino para configurar la placa. En esta función configuraremos la velocidad a la cual se va a realizar la comunicación serial, 9600 bit/s que coincidirá con la entregada por Raspberry Pi para que estén sincronizadas. El emisor de radiofrecuencia de 433Mhz lo conectaremos sobre el pin 10.

```

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // sets the pin as output
  mySwitch.enableTransmit(10);
}

```

Función loop

Otra de las funciones típicas de Arduino es la función loop que se repetirá hasta que la desconectemos la placa. En ella definiremos “if (Serial.available())” que esperará hasta que recibamos nueva información en la conexión serial (USB). Una vez tengamos nueva información realizaremos la lectura “Serial.readString()” y compararemos si el valor coincide con alguno de los valores de apagado o encendido definidos anteriormente. Si coincide enviaremos dicha señal a través del emisor.

```

void loop() {
  if (Serial.available()) {
    String receive = Serial.readString();
    if (receive.equals("ON")) {
      mySwitch.send(Lampe_bureau_ON, 24);
    }
    else if (receive.equals("OFF")) {
      mySwitch.send(Lampe_bureau_OFF, 24);
    }
    else motor_control(receive);
  }
}

```

Si no fuera ninguno de esos valores seguramente la información recibida está dirigida al control del motor para el cual hemos definido la función “motor_control”.

Función control de velocidad

Antes de definir la función hemos considerado que sería importante limitar las variaciones bruscas de corriente en el rotor debido a posibles cambios por parte del usuario. Para ello hemos creado el programa de tal forma que cambie lentamente hacia el valor deseado. Para ello el tiempo que tomará el motor para llegar a la velocidad deseada será proporcional a la variación que haya entre la velocidad actual y la velocidad deseada que será equivalente aproximadamente a dos veces la constante mecánica.

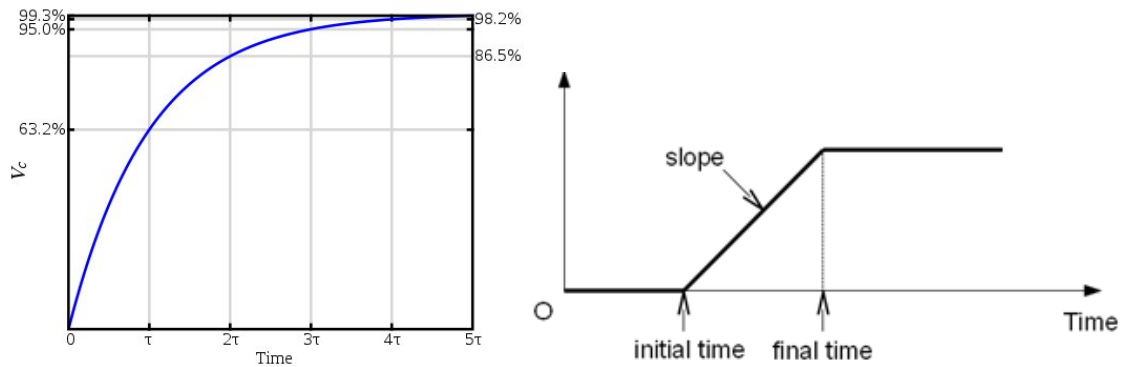


Figura 31 – Tiempo de regulación de la velocidad.

La función recibirá un `string` que lo transformará en un `int` y que posteriormente guardará en la variable `data`. La variable `i` extrae el valor de `centage` (valor actual).

```
void motor_control(String receive) {
  extern int centage;
  int data = (int)(receive.toInt());
  int i = centage;
```

Si `data` es mayor que `centage` quiere decir que debemos ir aumentando lentamente el valor de `i` (valor actual) hacia el valor deseado(`data`). Como el valor de la salida esta comprendido entre 0 y 255 y sabiendo que cada 200 milisegundos Arduino incrementará `i` una unidad si actualmente estamos en el 18% tendremos un valor de salida actual de $18 \times (255/100)$ y el tiempo que tomará el motor hasta alcanzar el valor deseado, imaginemos 92% , será $200(92-18)$ milisegundos.

```
if (data > centage) {
  while (i < data) {
    int t = (int) 255 * i / 100;
    analogWrite(ledPin, t); // analogRead values go from 0 to 1023,
    // analogWrite values from 0 to 255
    delay(200);
    i++;
  }
}
```

Para reducir la velocidad es más sencillo ya que lo hará lentamente y podremos incluso recuperar la energía de `frenado`. La velocidad se irá reduciendo debido a la fricción.

```
else if (data < centage) {  
    int t = (int) 255 * data / 100;  
    analogWrite(ledPin, t);  
}  
centage = data;  
}
```

La función finaliza actualizando el valor de “centage” (valor actual) al de valor deseado (“data”).

3.3 DC MOTOR

Los accionamientos eléctricos han cobrado en estos últimos años un papel importante en la motorización de dispositivos o aplicaciones industriales. Las mejoras de estos dispositivos en términos de precisión, tiempos cortos de respuesta en comparación con los accionamientos hidráulicos y la disponibilidad de alimentación eléctrica unido a los bajo costes de los componentes semiconductores, hacen más sencilla la utilización de estos accionamientos para cualquier aplicación.

Un accionamiento eléctrico consta de partes eléctricas mecánicas y electrónicas que en conjunto se coordinan para obtener una respuesta precisa desde el punto de vista mecánico.

Cada aplicación necesitará de un dimensionamiento diferente siempre adaptándolo a las necesidades que se demanden. Algunas aplicaciones que reflejan el control de un motor a velocidad variable son el ferroviario, los teleféricos y los vehículos eléctricos los cuales necesitan de grandes potencias de alimentación.

El motor de corriente continua es sin duda el elemento favorito para las aplicaciones de velocidad variable pero también se utilizan motores de corriente alterna (Síncrono o asíncrono) entre otros.

Una de las razones por las que el motor a corriente continua es más utilizado es por la facilidad que tiene de ser controlado. No obstante este tipo de motores presenta algunos inconvenientes mecánicos como el colector. Este elemento aumenta el coste del motor y necesita de un mantenimiento continuo, además de reducir el ciclo de vida del motor. Cada vez más el motor asíncrono comienza a ser un motor bastante utilizado aunque su mayor inconveniente es el control de su alimentación a corriente alterna.

La electrónica de potencia ha permitido no obstante poder disfrutar de los dos tipos de motores aunque su elección es meramente económica y depende de las características que se demanden.

En esta sección vamos a introducir el funcionamiento de una cadena de motorización a corriente continua y la forma en la que se ha realizado el control.

Para ello se ha necesitado:

- DC Motor
- Filtro de paso bajo.
- Un puente de tiristores o puente de Graetz
- Una fuente de alimentación de 220V de corriente alterna y una de 127V de corriente continua.
- Arduino Uno.

Con esta aplicación se podrá regular la velocidad del motor y se verá como las instrucciones llegan a Arduino ya que conectaremos al usuario a través del servidor web que será el encargado de realizar el control.

En un primer momento se asumirá que la instrucción de control está contenida en Arduino y realizaremos el montaje que haga posible el control. Para realizar el montaje se seguirá el siguiente esquema.

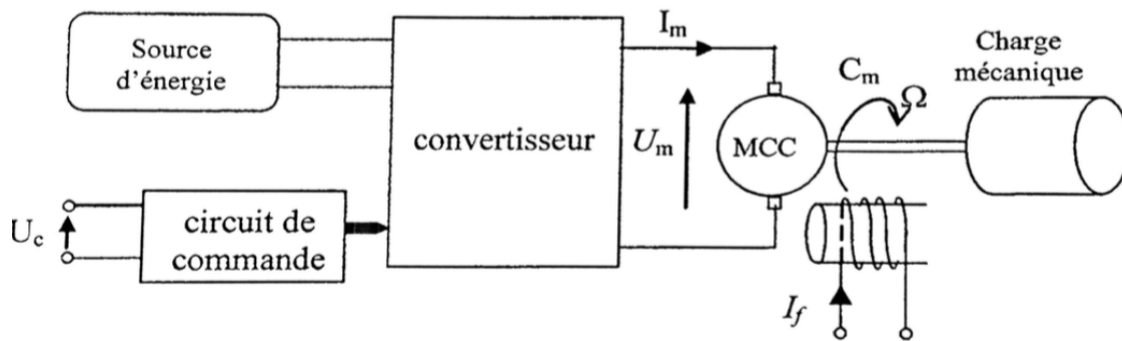


Figura 32 – Diagrama conceptual de la aplicación.

3.3.1 Arduino : PWM

En la actualidad la modulación por ancho de pulsos se implementa a través de circuitos integrados que realizan esta función. Con Arduino se podrá implementar la función PWM (Pulse Width Modulation). Gracias a esta función el usuario podrá realizar el control de velocidad del motor simplemente introduciendo un valor. En el apartado de Control se introducirá con todo detalle como dicho valor es capaz de ser recibido por Arduino desde el servidor Web instalado en Raspberry Pi.

El concepto básico de esta función en su origen analógica viene de la mano de la comparación de dos señales. Una señal llamada de dientes de sierra y otra señal moduladora. De esta comparación obtendremos una única señal de salida cuadrada.

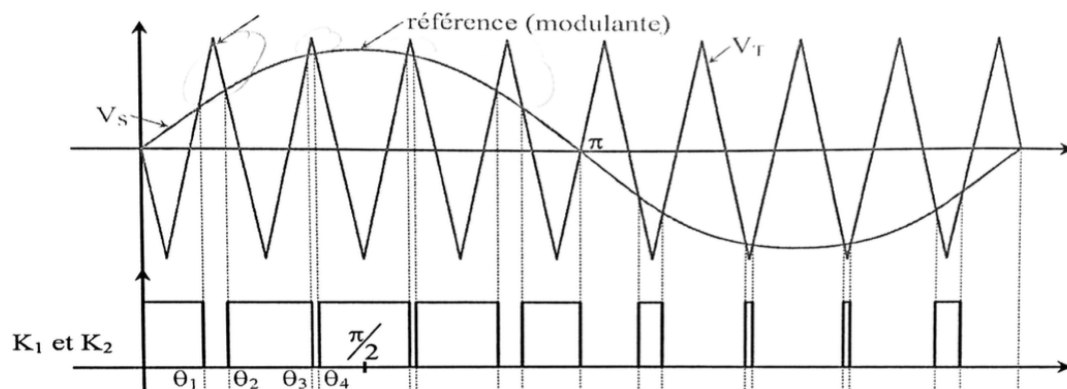


Figura 33 – Principio de funcionamiento de la modulación por ancho de pulsos

El desarrollo en series de Fourier de la tensión de salida $V_{out}(t)$:

$$V_{out}(t) = U_0 + \sum_h A_h \sin(h\omega t) + \sum_h B_h \cos(h\omega t) \quad (1)$$

La función PWM (Pulse Width Modulation) creará una señal cuadrada y tomará valores entre **5V y 0V** (ON/OFF pattern). Jugando con el tiempo que la señal permanece en el nivel alto (5V) o en el bajo (0V) simularemos una nueva señal que tomará un valor medio entre **5 y 0V (U_0)**.

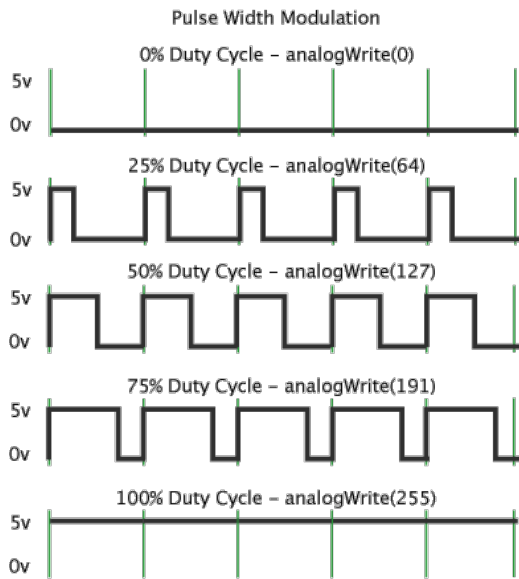


Figura 34 – Señal cuadrada modulada. Fuente: Arduino

Las líneas verticales representan la duración del PWM. El inverso de este valor representa la frecuencia PWM. En Arduino esta frecuencia equivale a 500 Hz lo que supone que la duración de cada línea verde es de 2 milisegundos cada una. Un ejemplo: si llamamos a la función [analogWrite\(\)](#) el valor que podemos introducir es de 0 a 255 lo que implica que si escribimos [analogWrite\(255\)](#) la señal cuadrada en un ciclo esta siempre en 5V. Si introducimos [analogWrite\(127\)](#) tendremos una duración cíclica del 50% y si introducimos [analogWrite\(0\)](#) nuestra señal será nula. Por consiguiente [analogWrite\(\)](#) será la función que se encargue de producir la señal de salida.

En el apartado de Control se ha integrado en la página Web una barra de control. Esta barra permitirá controlar al usuario la velocidad. El valor representa exactamente cual será el ciclo de trabajo que se ha de utilizar en %. El 100% equivaldrá a un valor medio de 5V y un 0% de 0.

$$\langle V_{out} \rangle = 5 * \frac{\%}{100} \quad (2)$$

Para implementar esta función hemos utilizado el siguiente código:

```
int ledPin = 9;          // LED connected to digital pin 9

void setup() {
    Serial.begin(9600);
    pinMode(ledPin, OUTPUT);    // sets the pin as output
}
void loop() {
    if (Serial.available()){
        String receive = Serial.readString();
        int Receive=receive.toInt();

        int t=(int) 255*Receive/100;
        analogWrite(ledPin, t);    // analogRead values go from
        0 to 1023, analogWrite values from 0 to 255
    }
}
```

Este programa es una versión simplificada que muestra el principio de funcionamiento de Arduino tras recibir un valor (String). El programa responde proporcionando una señal de salida que será filtrada con un paso bajo para eliminar los armónicos de alta frecuencia y quedarnos únicamente con el primer armónico que representara el valor medio.

3.3.2 Filtro paso bajo

Para realizar el filtro de paso bajo se necesita una resistencia y un condensador. Para determinar cuales son los valores de dichos componentes hemos definido una frecuencia fundamental equivalente a la frecuencia PWM que da Arduino. Esta frecuencia f_{ca} es igual a 500 Hz por defecto. La frecuencia de corte de nuestro filtro se define en un primer momento 10 veces menor de esta frecuencia fundamental que debería ser suficiente para obtener el primer armónico (U_0).

$$f_{ce}=f_{ca}/10 \quad (1)$$

Para calcular la frecuencia de corte se sabe que:

$$w=1/RC \quad (2)$$

Donde concluimos:

$$f_c = 1/2\pi RC. \quad (3)$$

Para: $f_{ca}=500$ Hz .
Sustituyendo el valor de f_{ca} en (1): $f_{ce}=50$ Hz.

Para: $C=0,1 \mu F$.
Sustituyendo el valor de C en (3) : $R = 280 K\Omega$.

La señal de salida que ahora pasará a llamarse U_c (V_{out}) va a controlar el convertidor AC-DC.

3.3.3 Convertidor. Puente de Graetz a 6 tiristores.



Figura 35 – Convertidor AC-DC (Puente de Graetz)

Para realizar el control del motor a corriente continua se necesita un convertidor que rectifique la corriente trifásica de 220V. Controlando el voltaje de entrada al motor se podrá controlar su velocidad.

El paso numero uno que ya se ha realizado es el control de U_c , que es la tensión de salida de Arduino (5V a 0V). Esta tensión servirá de referencia al convertidor que lo traducirá en un ángulo de desfase(α).

Existen dos métodos para calcular α . Usando una señal de referencia triangular o una sinusoidal sincronizada con la red. Nosotros utilizaremos esta última.

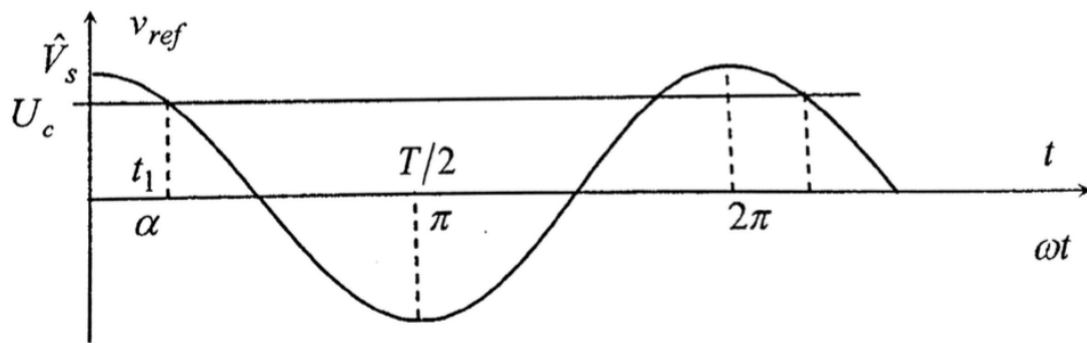


Figura 36 – Control del puente de Graetz a 6 tiristores.

El ángulo de desfase lo podemos calcular en función de U_c .

$$U_c = \widehat{V}_s \cos(\omega t_1) = \widehat{V}_s \cos(\alpha) \quad (1)$$

Se deduce:

$$\cos \alpha = \frac{U_c}{\widehat{V}_s} \quad (2)$$

Donde:

U_c es el valor de referencia entregado por Arduino.

$\widehat{V}_s$ es el valor de pico de la tensión de referencia v_{ref} .

α es el ángulo de desfase.

Una vez calculado el ángulo de desfase se va a explicar el funcionamiento del puente de tiristores.

En primer lugar un tiristor consta de una ánodo, cátodo y una puerta (o gate en inglés). El tiristor sigue el mismo principio que un interruptor en el caso de un conmutamiento ideal.

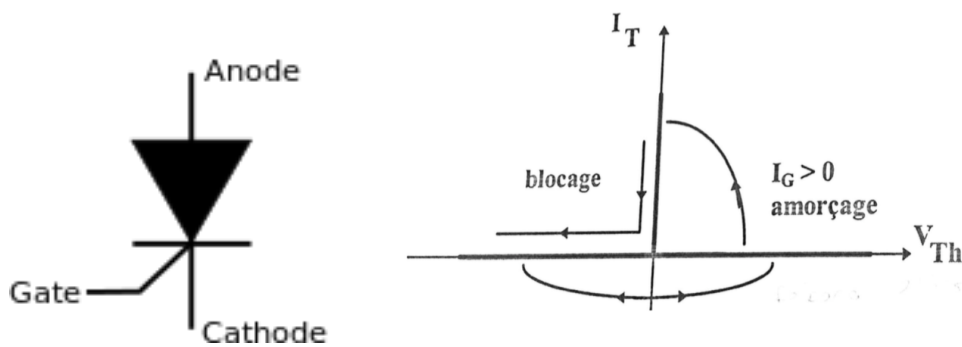


Figura 37 – Modo de funcionamiento de un tiristor.

De la Figura- se pueden deducir 3 estados:

- Pasante o en conducción: $I > 0$ y $V_{tiristor} = 0$
- Bloqueo directo: $I = 0$ y $V_{tiristor} > 0$
- Bloqueo inverso: $I = 0$ y $V_{tiristor} < 0$

Se deduce que el tiristor funciona como un diodo normal cuando existe una corriente en la puerta (o *gate*) que active su funcionamiento.

Un puente de Graetz o puente a 6 tiristores está alimentado por una fuente de alimentación trifásica y rectifica esta señal de corriente alterna a una corriente continua.

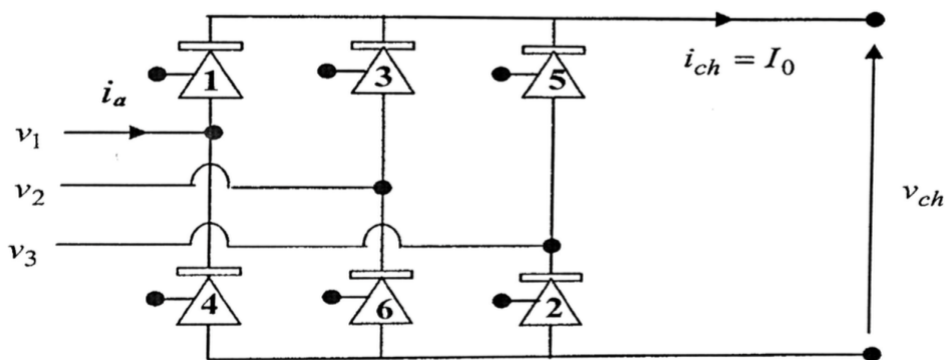


Figura 38 – Puente de Graetz a 6 tiristores.

Los tiristores se activan por el circuito de control que es controlado por el ángulo de desfase (α) que hemos explicado anteriormente y que a su vez es controlado por la tensión de salida de Arduino (U_c).

Para un ángulo de desfase de 30° la tensión de salida del puente de Graetz esta marcada en negrita.

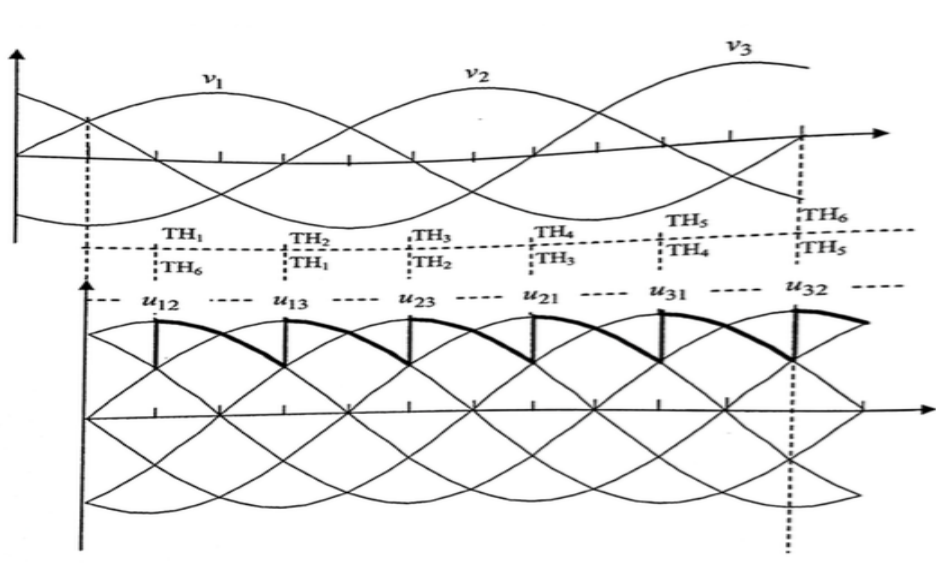


Figura 39 - Tensión de salida del puente de Graetz. ($V_{ch} = \langle u_m \rangle$).

El valor medio de la tensión de salida (V_{ch} en la Figura 38) corresponde al valor medio de la señal de salida del convertidor que aquí se definirá como $\langle u_m \rangle$.

$$\langle u_m \rangle = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U \cos \alpha \quad (3)$$

Donde:

U corresponde a la tensión entre fases o tensión compuesta.

Sustituyendo (2) en (3):

$$\langle u_m \rangle = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U \frac{U_c}{\sqrt{s}} = \mathbf{GUc} \quad (3)$$

Donde:

$$G = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} \frac{U}{\sqrt{s}} \quad (3)$$

El objetivo es tener una relación lineal entre U_c (salida de Arduino controlada por el cliente) y $\langle u_m \rangle$ (valor medio de la salida del convertidor que estará conectada directamente a la carga). Sin embargo, debemos introducir un término de retardo, τ , ya que el valor de U_c no cambia instantáneamente. Para un Puente de Graetz asumimos normalmente $T/6$, por lo que si estamos trabajando a 50 Hz vamos a obtener un retardo de $20\text{ms}/6$.

En esta Figura vemos la relación lineal representada por G_o y el término de retardo que introduce un polo de parte real negativa, por lo que el sistema sigue siendo estable.

3.3.4 DC motor o motor de corriente continua.

En este proyecto el motor al que haremos referencia es el motor a corriente continua por su simplicidad y por ser el más utilizado a nivel doméstico.

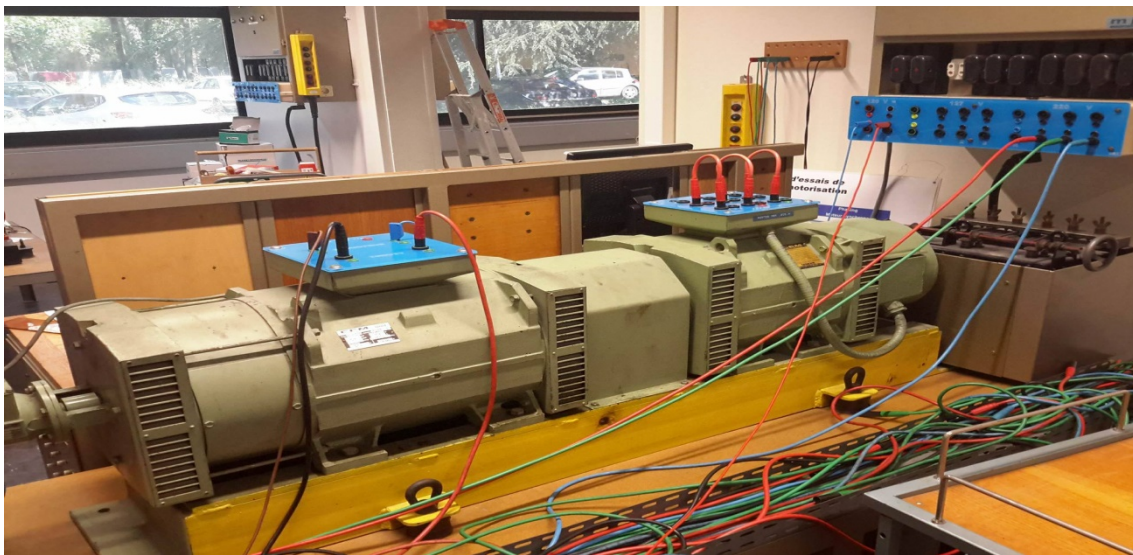


Figura 40 – Motor a corriente continua del departamento de energía de CentraleSupélec.

No obstante el motor utilizado es más bien de uso industrial y su uso poco a tenido en cuenta una aplicación final precisa. De haber sido así la elección del motor y su dimensionamiento dependería de la aplicación siguiendo unas especificaciones concretas.

En este proyecto se estudia el control de una máquina de corriente continua y no el dimensionamiento del motor en base a una aplicación final hipotética. No obstante, la extrapolación de los conceptos de control son en cierto modo el valor para futuras aplicaciones.

En este apartado vamos a definir el principio de funcionamiento de un motor a corriente continua de excitación separada.

El motor a corriente continua consta de un rotor y de un estator. El estator es la parte fija del motor y no experimenta ningún movimiento. El rotor es el que experimenta el movimiento rotatorio del motor. El bobinado del estator será el encargado de crear un campo electromagnético a través del núcleo de hierro del que esta compuesto. Este núcleo de hierro de alta permeabilidad hace posible la circulación de las líneas de campo a través de todo el estator creando un circuito magnético.

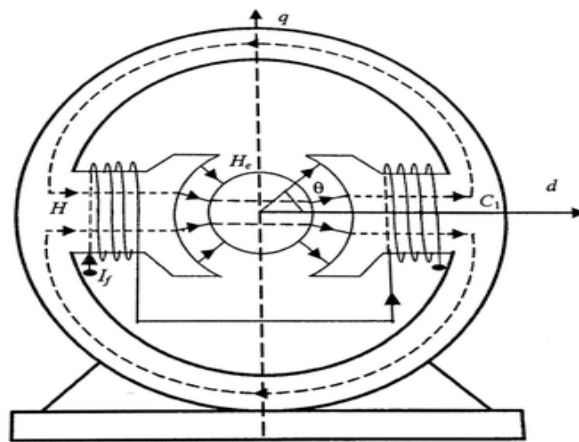


Figura 41 – Modelo de líneas de campo de magnético a través de un motor a corriente continua.

En la figura se puede ver como las líneas de campo magnético son creadas por una corriente de excitación I_f . Esta corriente normalmente permanece constante y esta alimentada por una tensión en el estator. El flujo magnético que atraviesa el rotor va a producir una fuerza electromotriz E .

Las ecuaciones fundamentales que definen el funcionamiento el motor son :

$$E = (n/2\pi)\phi\Omega \quad (3)$$

E es la fuerza electromotriz.

n es el numero de espiras,

ϕ es el flujo magnetico y

Ω es la velocidad del motor en radianes por Segundo.

$$C = (n/2\pi)\phi I \quad (4)$$

C es el par motor

I es la corriente que circula por la espiras del rotor.

Sabemos que :

$$\phi = Li_f \quad (5)$$

donde:

L es el valor de la bobina.

I_f representa la corriente de excitación.

Normalmente trabajamos con el parámetro K para los motores a excitación separada. Este parámetro suele venir de fabrica ya que depende de la construcción del motor .

$$k = \left(\frac{n}{2\pi} \right) L \quad (6)$$

Sustituyendo (4) en (1) y (2), y suponiendo que no hay saturación magnética.

$$E = kI_f\Omega \quad (7)$$

$$C = kI_fI \quad (8)$$

De la ecuación (5) podemos deducir que a velocidad constante la fuerza electromotriz ,E ,es linealmente proporcional a I_f . Sin embargo cuando I_f es nula existe una campo magnético llamado remanente. Además cuando I_f alcanza un nivel suficientemente elevado el material ferromagnético comienza a saturar.

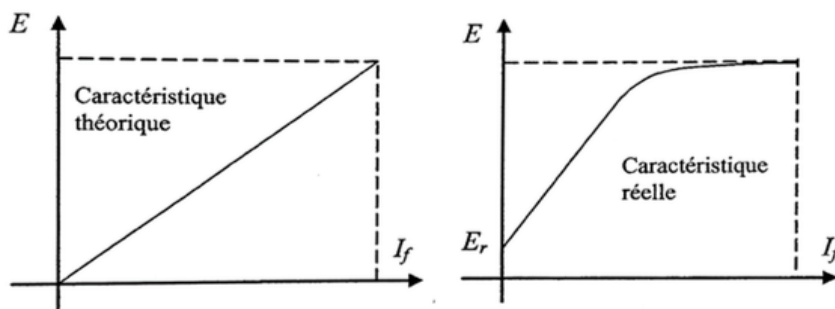


Figura 42 - Influencia del flujo remanente y la saturación en la fuerza electromotriz a $\Omega = \text{cte}$.

El modelo eléctrico del motor a corriente continua se observa en la Figura --.

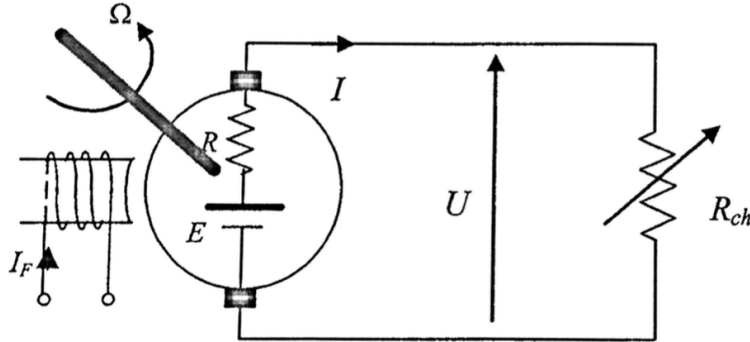


Figura 43 – Modelo eléctrico del motor DC.

La parte del estator aporta la excitación magnética y está representado con el subíndice f . El estator estará conectado a una fuente de alimentación continua de 127 V. El rotor está conectado a la salida del puente de Graetz $\langle u_m \rangle$ lo que provoca que ante una variación de $\langle u_m \rangle$, tensión de salida del convertidor, la corriente de que circula por el rotor varíe provocando un cambio en el flujo magnético (3). Puesto que la fuerza electromotriz debe permanecer constante ya que la tensión a la salida del rotor es constante (127V) el rotor debe variar su velocidad (5).

Las ecuaciones eléctricas del motor :

$$U = E + RI + L \frac{di}{dt} \rightarrow \text{Laplace} \rightarrow U = E + (R + R_p)I \quad (9)$$

$$U_f = R_f I_f + L_f \frac{di_f}{dt} \rightarrow \mathcal{L} \rightarrow U_f = (R_f + pL_f) I_f \quad (10)$$

Ecuaciones electromagnéticas corresponden a (5) y (6)

$$\begin{aligned} C &= k_f I; \\ E &= k_f \Omega; \end{aligned}$$

Ecuaciones mecánicas:

$$C - C_r - f\Omega = J \frac{d\Omega}{dt} = \sum M \quad (11)$$

C_r es el par de Resistencia.

J es el momento de inercia.

M es la suma de todos los pares que intervienen en el rotor.

Con estas ecuaciones y haciendo uso de un diagrama de bloques podemos modelizar el funcionamiento del motor desde la salida de tensión del convertidor hasta la velocidad entregada por el motor.

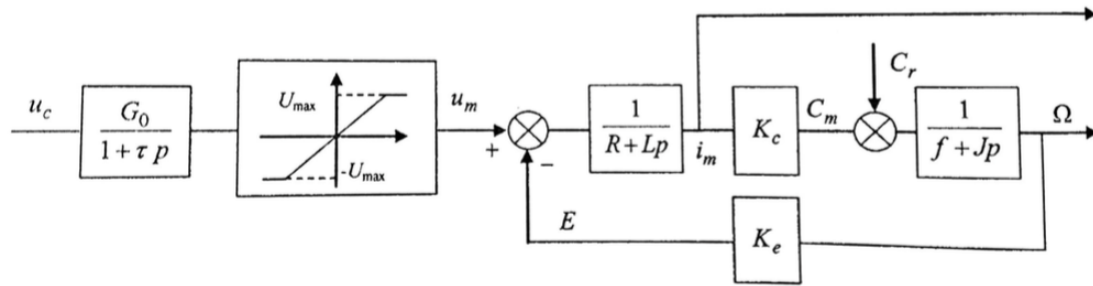


Figura 44 - Diagrama de bloques del motor DC. (Nota: $K_c = K_e = k i_f$ para $i_f = cte.$)

En este esquema G_0 representa la relación lineal entre u_c , tensión de salida de Arduino, τ que representa el retraso respecto a la orden de cambio de velocidad, u_m representa la tensión de salida del Puente de Graetz y controla la velocidad del motor e i_m que representa la corriente que circula por el rotor.

Por último y con motivo de obtener una velocidad de rotación mayor se le añadió en serio una resistencia al estator de tal forma que la corriente de excitación disminuyera. Esto, según la ecuación (5), provoca que si E es constante la velocidad tenga que aumentar para compensar la pérdida de corriente de excitación.

4.CONCLUSIÓN

Con este proyecto se ha buscado adquirir competencias y conocimientos sobre la nueva era “inteligente” dentro del sector eléctrico donde tanto las redes privadas y publicas están experimentando un proceso de renovación.

Como la mayor parte de los procesos de innovación y desarrollo, la tecnología es una parte fundamental. La automatización de procesos, así como la recopilación y análisis de datos, el desarrollo de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación y la seguridad son temas de actualidad en cualquier tipo de industria o proceso. Ante este reto se ha buscado introducir y dar una visión practica sobre una temática todavía en proceso de desarrollo y debate.

Esta incertidumbre ante el devenir de las redes inteligentes ha supuesto sin duda una de los retos del proyecto. La mayor parte de este ha sido un proceso de búsqueda e investigación sobre la realidad actual y futura, procurando proporcionar la mayor oferta de servicios posibles.

El proyecto aunque en un estado primario busca ser una referencia de base para futuros alumnos que estén interesados en el desarrollo de una tecnología capaz de proporcionar el mayor confort y eficiencia posible en sus hogares siempre teniendo en cuenta el cuidado por el medio ambiente y también el desarrollo sostenible.

En este contexto se comenzó a trabajar con la idea de poder prestar servicios de control del consumo y por tanto de gestión de la demanda, pero también poder ofrecer otros servicios como la videovigilancia.

En el proyecto se han desarrollado tres tipos de tecnología simple. Una de conexión o desconexión a la red de deferentes aparatos. En la aplicación esto lo ha conseguido por medio de enchufes inteligentes o “Smart Plugs” fáciles de controlar por radiofrecuencia a través de un servidor web. Otra de control de la intensidad o potencia eléctrica entregada a los aparatos eléctricos. En la aplicación se ha realizado por medio de enchufes eléctricos, pero la aplicación principal ha sido el control de un motor eléctrico. La última aplicación es la de video vigilancia. Con ella se ha controlado el estado del motor y cualquier tipo de accidente que pudiera ocurrir.

Otro tipo de aplicaciones siguen siendo totalmente viables con la tecnología desarrollada en este proyecto ya que el principio es el mismo. Desde el control de una caldera, de la televisión, del horno o el control de la temperatura de un frigorífico siguen el mismo principio y simplemente habría que adaptarse a cada dispositivo diferente.

Por otro lado, la parte de comunicación del proyecto no se ha llegado a a desarrollar por completo. Aunque con este proyecto el cliente está conectado y puedo gestionar la red privada por medio de internet, no tiene acceso a la red pública y le falta información para la toma de decisiones.

Esta falta de información del consumidor es un elemento importante ha desarrollar que en posteriores versiones del proyecto se debería integrar. La información sobre su consume, la construcción de una base de datos capaz de recoger los datos de la red y almacenarlos, proporcionar una comparativa de consumo, conocer los precios del mercado eléctrico, son algunas de sus aplicaciones que daría una mayor capacidad de toma de decisiones.

La integración de las diferentes energías renovables o coche eléctrico proporcionando un elemento son dos de las aplicaciones más interesantes ha desarrollar. Con ellas el cliente tendría un gran abanico de servicios con los que poder garantizar de forma segura los objetivos del proyecto.

Dentro de la concepción un proyecto de las dimensiones del las redes inteligentes se ha buscado integrar los diferentes elementos del hogar. Pero también de posibles aplicaciones industriales que permite ofrecer a las grandes fábricas una gestión inteligente de sus costes .

Con el motor eléctrico se ha buscado llevar a la práctica este sistema de control que se ha desarrollado a lo largo del proyecto poniendo aprueba sus funcionalidades.

El motor de corriente continua es un motor de gran utilidad en le ámbito domestico. Su funcionamiento en modo motor o generador da además grandes ventajas y aplicaciones de uso al consumidor. Si bien el motor que se ha utilizado no responde a ninguna aplicación en particular su conceptualización ayuda a posibles mejoras del proyecto en un ámbito concreto.

El modo regulación de la velocidad no ha seguido el método tradicional de regulación de tipo cascada con los que podríamos mejorar las características de control del motor incluyendo reguladores P.I.D. o P.I. En esta fase primaria del proyecto simplemente se ha ido probando las funcionalidades sin deparar mucho en las especiaciones de un proyecto en particular.

Durante el proyecto la mayor parte de las dificultades han venido del lado organizativo ya que la división en tareas no hacia tener una visión de conjunto hacia el cual avanzar. Como resultado parte del proyecto está por desarrollar aún mejorando los servicios y adaptándolo a un contexto más definido.

BIBLIOGRAFÍA

- [1].Commission de Régulation de l'Energie (CRE) . <http://www.smartgrids-cre.fr/> consultada el 1 de junio de 2016.
- [2].Observatorio Industrial del Sector de la Electrónica, Tecnologías de la Información y Telecomunicaciones (2011). *Smart Grids y la evolución de la red eléctrica*.
- [3].Red Eléctrica Española (2015) . *El sistema eléctrico español*.
- [4].Eurostat (2015). Producción e importaciones de energia. Consultada el 15 de junio de 2016 de http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Energy_production_and_imports/es
- [5].Eurostat (2016). Renewable energy statistics. Consultado el 15 de agosto de http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Renewable_energy_statistics
- [6].Red Eléctrica Española. Integración de renovables. Consultado el 3 de abril de 2016 de <http://www.ree.es/es/red21/integracion-de-renovables>
- [7].Red Eléctrica Española. *Respuestas de los TSO al vehículo eléctrico*. Consultado el 3 de abril de 2016 de <http://www.ree.es/es/red21/vehiculo-electrico>
- [8].The European Electricity Grid Initiative – EEGI (2010). *Roadmap 2010-18 and Detailed Implementation Plan 2010-12*.
- [9].Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía - IDAE. *Resumen del Plan de Energías Renovables 2011-2020*. Gobierno de España
- [10].S. MONK (2013). *Raspberry Pi Cookbook*. O'Reilly Media, Inc.
- [11].M. MARGORIS (2011). *Arduino Cookbook* . O'Reilly Media, Inc.
- [12].KARIMI, Chafir & LORCET, Bruno. *Electronique de puissance*. Supélec 2008.
- [13].Collectif AUTOMATIQUE-EEI. *Entraînements à vitesse variable*. Supélec 2004.
- [14].PIERRON, Georges. *Principes et composants de l'électrotechnique*, Supélec 2009.
- [15].GODOY, Emmanuel; ODIC, Emmanuel & PIERRE-YVES, Richard. *Principes et méthodes de commande des entraînements à vitesse variable*. Supélec 2012.

ANEXO

ANEXO A: Introducción a Raspberry Pi

Raspeberry Pi es una placa electrónica que funciona como un ordenador, se puede decir que es un ordenador de placa única. Fue desarrollado en Reino Unido por Raspberry Pi Foundations con la intención de promover la enseñanza de la informática en las escuelas de una forma sencilla.

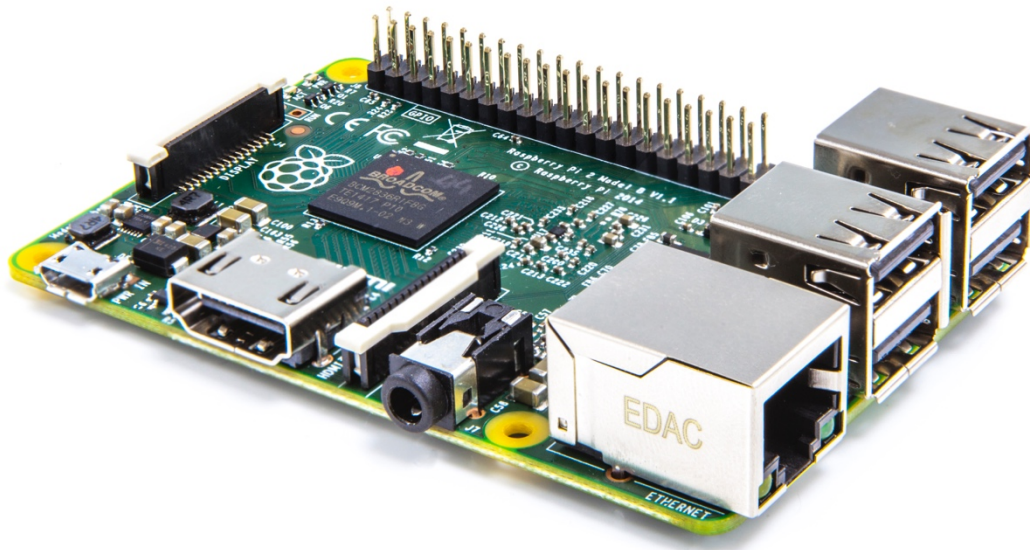


Figura 45 – Raspberry Pi

Hasta la fecha se han desarrollado diferentes generaciones de Raspberry Pi. Nosotros hemos utilizado Raspberry Pi 2 pero la última versión es la 3. El precio estimado de este modelo es de alrededor 30 euros.

Raspberry Pi Utiliza principalmente sistemas operativos basados en Linux.¹ Raspbian es uno de ellos, y esta orientado a la enseñanza de la informática. Además, promueve el lenguaje de programación Python que es mucho mas intuitivo y sencillo de utilizar para el usuario.

Estructura de Raspberry Pi

¹ En <https://www.raspberrypi.org/documentation/linux/usage/commands.md> encontraremos algunos de los comandos básicos de Linux.

En este proyecto hemos utilizado un sistema de control inteligente basado en Raspberry Pi. Raspberry Pi es una placa electrónica de bajo coste pero de gran potencia. Incorpora conectores HDMI para conectarla al monitor o la televisión, conectores USB donde se pueden conectar el ratón y el teclado. También incorpora un conector Ethernet. Además se le puede añadir un dispositivo Wifi a través de uno de los conectores de USB.

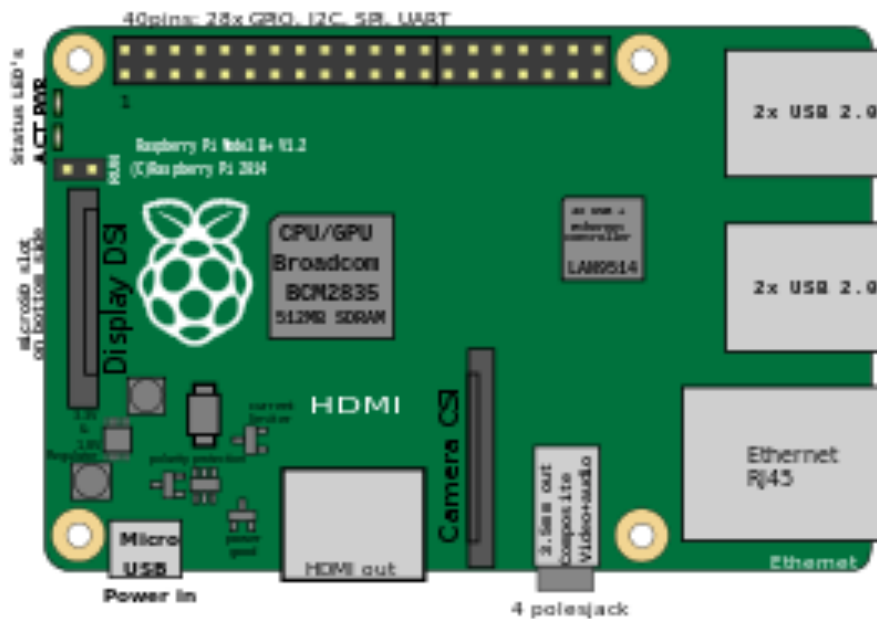


Figura 46 – Componentes de Raspberry Pi.

Otra potente característica de Raspberry Pi es la fila de pines GPIO (General Purpose Input/Output). Estos pines son la interfaz física entre Raspberry Pi y el mundo exterior. De una forma simple podemos ver los pines como simples interruptores ON/OFF que podemos encender (Input) o que PI puede encender (output). 17 de los 26 pines son GPIO, los otros son fuentes de alimentación 3,3 V, 5 V o la tierra.

Cuando programamos, nos referimos a los pines a través del "Broadcom SOC channel number". Esta es la distribución de funciones para los diferentes pines:

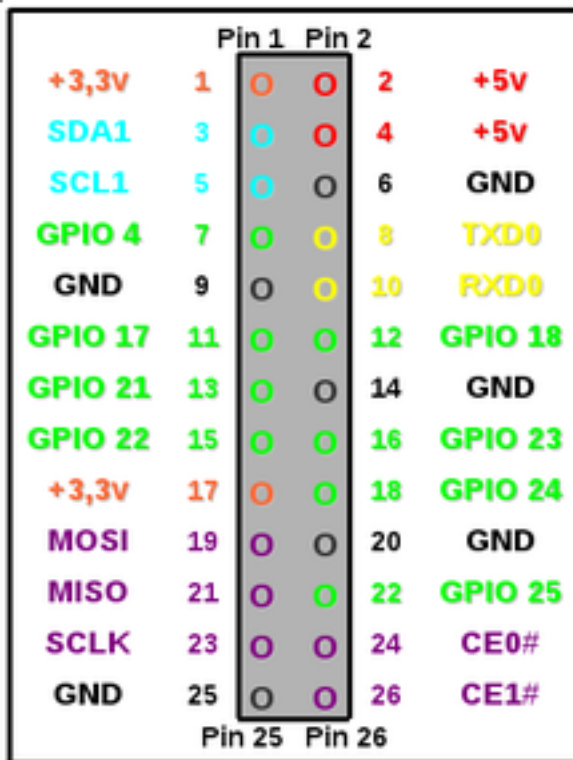


Figura 47 – Mapa de pines de Raspberry Pi.

Configuración:

Raspberry Pi funciona como un pequeño ordenador. Para comenzar a utilizarlo lo primero que tenemos que hacer es conectarla a internet e instalar los diferentes programas o configuraciones que vamos a utilizar.

Para utilizar internet podemos conectar Raspberry Pi por un cable Ethernet o por medio de Wifi USB.

Averiguando la dirección IP

Para poder comunicarnos con la Raspberry Pi es necesario primero conocer la dirección IP. Gracias a esta dirección podremos crear un servidor web, compartir ficheros o controlar aparatos a distancia por medio de internet.

Una dirección IP consiste en 4 grupos de números que identifica el interfaz de una red de ordenadores o un ordenador dentro de internet. Existen direcciones IP públicas y direcciones IP privadas. Nosotros en un primer momento utilizaremos una dirección IP privada lo que supone que solo podemos conectarnos a Raspberry Pi una vez dentro de una VLAN privada. En nuestro caso será la red de Supélec.

Para averiguar la dirección IP conectamos Raspberry Pi a un monitor y una vez encendida introducimos en el terminal la línea de comando:

```
$ sudo ifconfig
```

El resultado es: 160:228:28:218

Conexión al router local

Para conseguir que Raspberry Pi se conecte automáticamente a la red wifi local necesitamos abrir el archivo cuya dirección es `'/etc/network/interfaces'` introduciendo en el terminal:

```
$ sudo nano /etc/network/interfaces
```

Posteriormente debemos cambiar estas dos líneas:

```
iface wlan0 inet manual
```

```
wpa-roam /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
```

Por:

```
iface wlan0 inet dhcp
```

```
wpa_conf /etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf
```

Después necesitamos abrir el archivo situado en `:/etc/wpa_supplicant/wpa_supplicant.conf` y añadir la configuración local del wifi. Reiniciamos Pi y automáticamente debería conectarse a la red wifi local.

Cargar USB flash drive

Uno de los problemas que encontramos es que no podíamos compartir los archivos de las memorias flash. Para ello instalamos un software capaz de transferir los archivos introduciendo en el terminal:

```
$sudo apt-get install usbmount
```

Una vez instalado podemos ir a la dirección `'/media/usb0'` introduciéndolo en el terminal y poder utilizar o transferir los diferentes programas a Pi. Por otro lado en la interfaz gráfica no se pueden muestra los archivos.

Controlando Raspberry Pi con VNC (Virtual Network Computing)

VNC es una aplicación muy conocida que utiliza el concepto de sockets IP/TCP. Antes de comenzar necesitamos configurar el SSH (Secure Shell) que es un

protocolo que permite acceder a maquinas remotas. En el terminal escribiremos la siguiente información:

```
$ sudo raspi-config
```

Se nos abrirá una ventana donde tendremos que pinchar en “SSH” y luego en “enable”.

Para instalar VCN en Raspberry Pi debemos introducir:

```
$ sudo apt- get update
```

```
$ sudo apt- get install tightvncserver
```

Una vez instalado, correremos el programa introduciendo el comando:

```
$ vncserver :1
```

La primera vez que corramos el programa nos pedirá un código de seguridad con el cual el cliente podrá acceder a nuestra ordenador (a nuestra Raspberry Pi) .

El cliente necesitara tener instalada también la versión cliente de VNC, la cual se podrá descargar directamente de RealVNC(<http://www.realvnc.com>) . Cuando corramos el programa en nuestro PC o Mac nos pedirá la dirección IP del servidor la cual habíamos anteriormente obtenido introduciendo \$ sudo ifconfig añadiendo :1 porque en el terminal de Raspberry Pi corrimos el programa vncserver :1 . Este uno podría ser sustituido por un 0. Una vez la conexión este realizada nos pedirá el Password que nos dará acceso remoto a Raspeberri Pi.

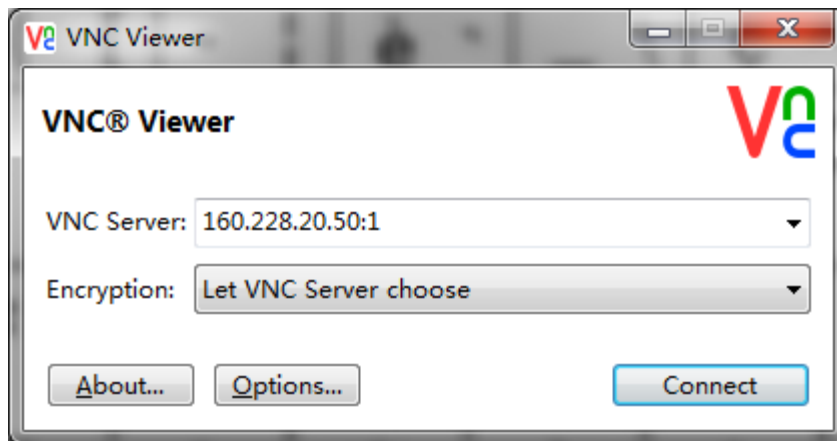


Figura 48 - VNC

Una vez conectado nos aparecerá el escritorio de Raspberry Pi en nuestro Mac o PC.

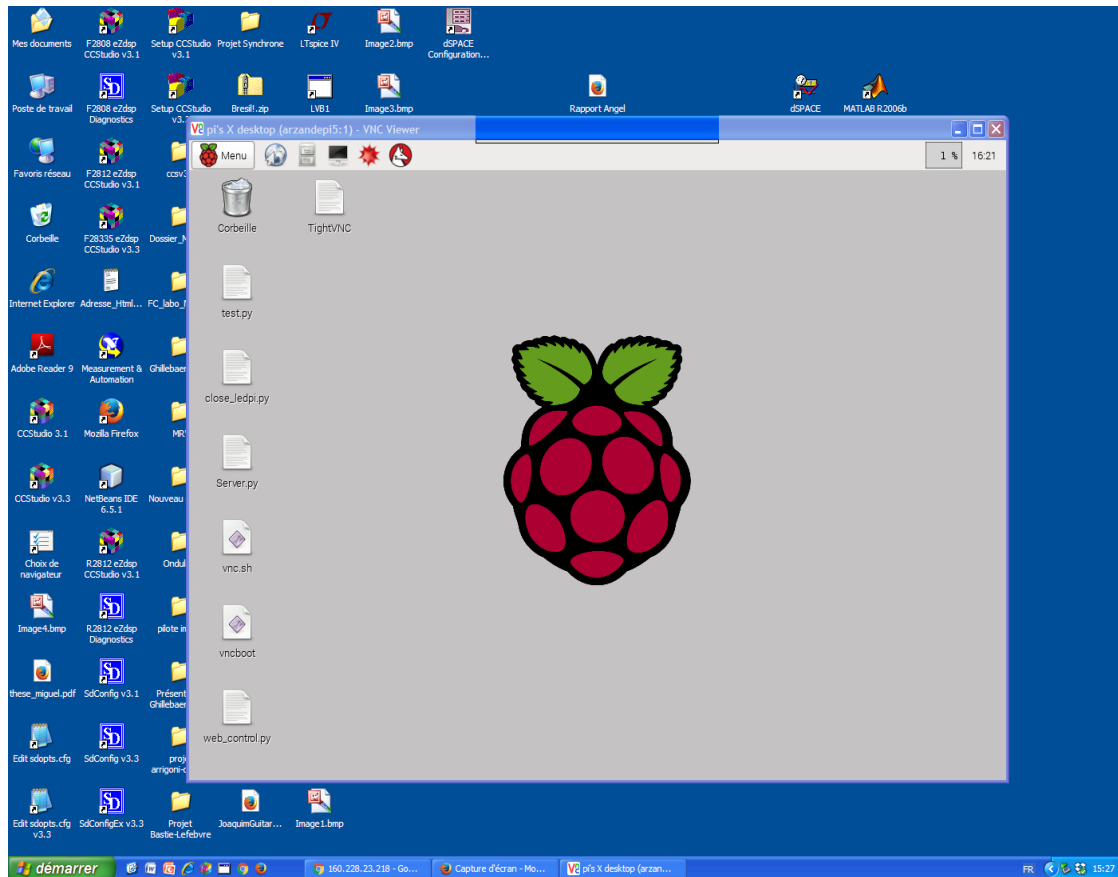


Figura 49 – Control remoto de Raspberry Pi desde PC.

Cámara

Raspberry Pi tiene una gran capacidad en lo que se refiere al procesamiento de imágenes. Normalmente Raspberry puede reconocer una cámara USB normal directamente (Por ejemplo : Logitech C170) pero también podemos utilizar la cámara especial para Raspberry Pi para controlar la imagen de forma precisa. Nuestro objetivo es contruir un sistema de vigilancia que sirva para controlar de forma visual un motor eléctrico para lo que hemos elegido la cámara Pi . Esta cámara puede ser utilizada para realizar videos de alta definición o fotos. Además, actualmente, el modulo de videovigilancia es muy utilizado en la seguridad de los edificios y hogares

Raspberry ofrece muchos interfaces que soportan la función de video. Nosotros hemos utilizado el interfaz Motion que es fácil de configurar y utilizar. Para descargarlo debemos introducir en el terminal:

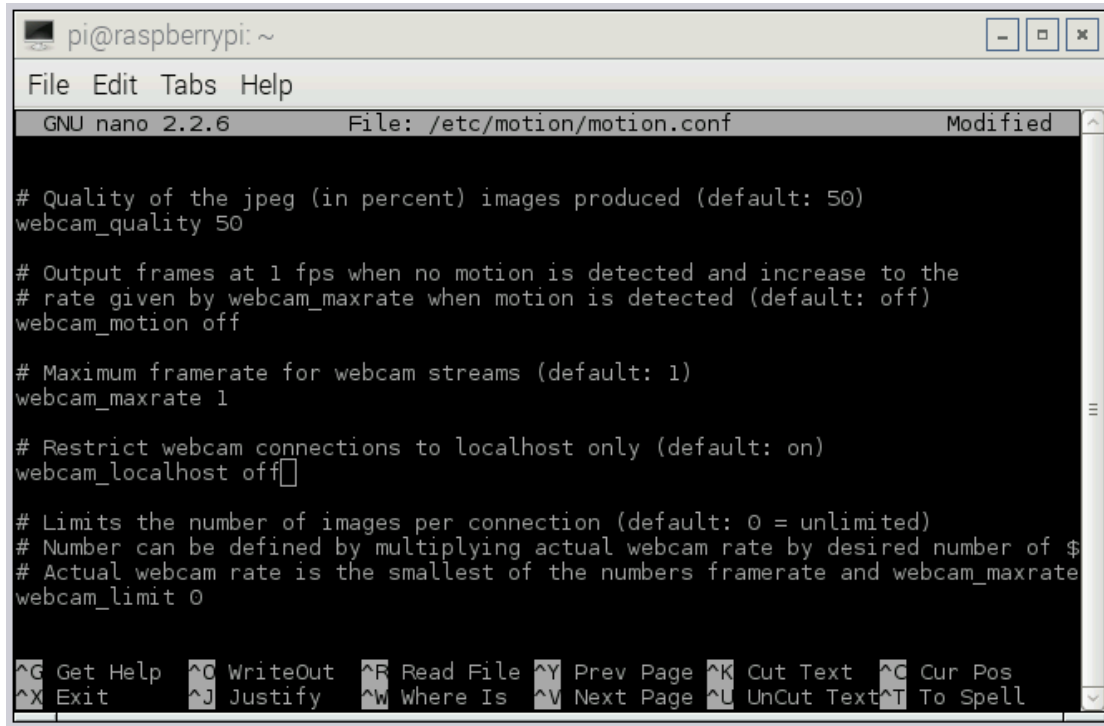
\$ sudo apt-get install motion

Despues debemos hacer que Motion reconozca nuestra cámara.

\$ sudo modprobe bcm2835-v4l2

Luego debemos cambiar la configuración

\$ **sudo nano /etc/motion/motion.conf**



```
pi@raspberrypi: ~
File Edit Tabs Help
GNU nano 2.2.6 File: /etc/motion/motion.conf Modified

# Quality of the jpeg (in percent) images produced (default: 50)
webcam_quality 50

# Output frames at 1 fps when no motion is detected and increase to the
# rate given by webcam_maxrate when motion is detected (default: off)
webcam_motion off

# Maximum framerate for webcam streams (default: 1)
webcam_maxrate 1

# Restrict webcam connections to localhost only (default: on)
webcam_localhost off

# Limits the number of images per connection (default: 0 = unlimited)
# Number can be defined by multiplying actual webcam rate by desired number of $
# Actual webcam rate is the smallest of the numbers framerate and webcam_maxrate
webcam_limit 0

^G Get Help ^O WriteOut ^R Read File ^Y Prev Page ^K Cut Text ^C Cur Pos
^X Exit ^J Justify ^W Where Is ^V Next Page ^L UnCut Text ^T To Spell
```

Figura 50 – Configuración de Motion.

Figura A.7 – Configuración de Motion.

Para cambiar la configuración:

```
start_motion_daemon=yes

#Activamos el daemon

daemon on

#Utilizamos el fichero /tmp/motion.log

logfile /tmp/motion.log

#Ajustamos la resolución (Adaptar la resolución a la de vuestra cámara)

width 1280

height 720

#Ajustamos el número de imágenes por segundo

framerate 2

#Ajustamos el número de imágenes guardadas antes y después de un movimiento (2 antes, 2 después)

pre_capture 2

post_capture 2

#Ajustamos el código para la lectura.

ffmpeg_video_codec msmpeg4

#Autorizamos la lectura de imágenes desde internet para tener acceso a nuestro servicio de
videovigilancia.

stream_localhost off
```

En la última línea autorizamos el acceso a la cámara por internet a través del puerto 8080 y por último ejecutamos Motion

\$ sudo motion

Una vez ejecutada la aplicación podremos desde la página web ver las imágenes de la cámara introduciendo la dirección IP seguido de “/8080” como dirección URL en el buscador. Adicionalmente, y para no tener que ejecutar Motion cada vez que usemos Raspberry introducimos:

\$ touch ma_camera

```
$ sudo nano ma-camera
```

E introducimos estas lineas en el fichero:

```
#!/bin/bash/
```

```
modprobe bcm2835-v4l2
```

```
$sudo motion
```

Al final, si quisiéramos ejecutar Motion bastaría con introducir “\$ sudo ma-camera” en el terminal. De esta manera podremos ver las fotos en tiempo real cargadas en la web y eliminaríamos el problema que aparecería si Motion estuviese ejecutándose por mucho tiempo que es que llenaría la memoria de Pi. De esta forma ultimas fotos se borrarían automáticamente.

ANEXO B: Introducción a Arduino

Arduino es una placa diseñada para el desarrollo de hardware libre que integra un microprocesador y un entorno de programación (IDE) en el cual podemos programar cada placa. Además todos sus componentes tanto de hardware como de software tienen licencia de código abierto.

Durante años Arduinos ha sido el cerebro de miles de proyecto desde aplicaciones básicas hasta complejos proyectos. Se ha creado una comunidad alrededor de Arduino que ha contribuido al desarrollo de una inmensa cantidad de conocimiento accesible para todos los usuarios de Arduino.

Como Raspberry Pi, Arduino pretende acerca la electronica a la gente de una forma sencilla. Arduino estaba dirigido a estudiantes sin experiencia en electrónica o programación con el objetivo de crear un herramienta sencilla de utilizar y accesible a todo el mundo. Inmediatamente después, la comunidad comenzó a crecer y fue cambiando algunas de sus placas adaptándose a las nuevas necesidad de sus usuarios.

En nuestro proyecto hemos utilizado Arduino Uno. Esta placa está basada en ATmega328P y dispone de 14 pines inputs/outputs y 6 entradas analógicas. Para

ponerla en funcionamiento tan simple como conectarla por USB a nuestro ordenador o conectarla a la red. Para programarla bastará con descargarnos el software IDE que funciona en Mac, Windows y Linux.

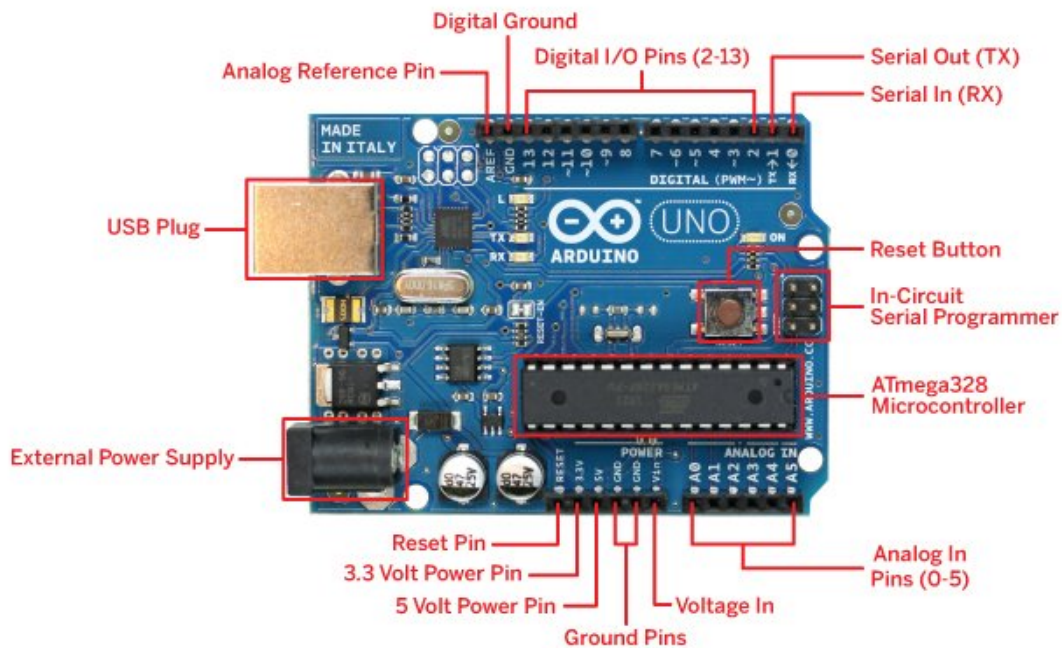


Figura 51 – Arduino.

La ventaja principal de Arduino es su bajo coste que lo hace atractivo para cualquier tipo de proyecto y particularmente para proyectos educativos. La simplicidad de su lenguaje de programación, que además ofrece código abierto lo hace accesible a cualquier persona sin conocimientos de informática. Además su hardware también presenta licencia CC o “Creative Commons” por lo que también se hace accesible para la gente sin conocimientos en electrónica.

Una de las ventajas respecto a Raspberry Pi es que Arduino dispone de pines tanto digitales como analógicos por lo que Arduino es preferible para proyectos que nos requieran “conectarnos con el mundo”. Raspberry Pi tiene más potencia a nivel informático ya que es como un ordenador.

ANEXO C: Códigos del proyecto.

Documento 1: Página Web (Python).

```
1 from bottle import route,run
2 from serial import Serial
3
4 host = '192.168.1.144'
5 #host = '160.228.23.218'
6 #host = '172.20.10.6'
7 p=0
8 #ls /dev/tty*
9 ser = Serial('/dev/ttyS1', 9600)
10
11
12 @route('/')
13 @route('/<per>')
14
15 def index(per="n"): #per is empty
16
17     global p #p can be changed
18
19     response=""
20     if per != "n": #not empty
21         if per!="ON" and per!="OFF":
22             p=int(per) #get p value
23             ser.write(per) #send p value
24             print(per)
25             response += "<script>"
26             response += "window.location.href='/';" #reload the initial page.
27             response += "</script>"
28     else:
29
30         #libraries
31         response += "<link"
32         href="http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jqueryui/1.8/themes/base/jquery-ui.css\"
33         rel="stylesheet\" type="text/css\"/>"
34         response += "<script"
35         src="http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.4/jquery.min.js\"></script>"
36         response += "<script"
37         src="http://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jqueryui/1.8/jquery-ui.min.js\"></script>"
38
39
40     #Definition of functions
41     response += "<script>"
42     response += "$(document).ready(function () {"
43
44         #button ON
45         response += "$('#onlampe').click(function () {"
46         response += "window.location.href='/ON'"
47         response += "});"
48
49         #button OFF
50         response += "$('#offlampe').click(function () {"
51         response += "window.location.href='/OFF'"
52         response += "});"
53
54         #Bar
55         response += "$('#slider').slider({min: 0,max: 100,step: 1,change:"
56         showValue,width: 1});"
57         response += "$('#slider').slider('option', 'value'," +str(p)+");"
58         response += "function showValue(event, ui) {"
59         response += "$('#val').html(ui.value);"
```

```

55     response += "if(event.originalEvent) window.location.href='"+ ui.value; "
56     response += "}"
57
58     response += "}); "
59     response += "</script>"
60
61
62     #Objects design
63
64     #camera
65     response += "<div align=\"center\">"
66     response += "<img src=\"http://'+ host + ':8081\" style=\"margin: 50;\">"
67
68     #buttons
69     response += "<div style=\"margin: 0px\">"
70     response += "<input id=\"onlampe\" type=\"button\" value=\"Lampe ON\" />"
71     response += "<input id=\"offlampe\" type=\"button\" value=\"Lampe OFF\" />"
72     response += "</div>"
73
74     #bar
75     response += "<div style=\"margin: 30px\">"
76     response += "Control du moteur:"
77     response += "<div id=\"slider\" style=\"margin-left: 50px; margin-right: 50px; "
78     response += "margin-top: 20px\"></div>"
79     response += "</div>"
80
81
82     return response
83
84 run(host=host, port=80)

```

Documento 2: Código de control (Arduino).

```
#include <RCSwitch.h>

RCSwitch mySwitch = RCSwitch();

unsigned long Lampe_bureau_OFF = 1381716;
unsigned long Lampe_bureau_ON = 1381719;
int ledPin = 9;      // exit connected to digital pin 9
int centage = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ledPin, OUTPUT); // sets the pin as output
  mySwitch.enableTransmit(10);
}

void motor_control(String receive) {
  extern int centage;
  int data = (int)(receive.toInt());
  int i = centage;
  if (data > centage) {
    while (i < data) {
      int t = (int) 255 * i / 100;
      analogWrite(ledPin, t); // analogRead values go from 0 to 1023,
// analogWrite values from 0 to 255
      delay(200);
      i++;
    }
  }
  else if (data < centage) {
    int t = (int) 255 * data / 100;
    analogWrite(ledPin, t);
  }
  centage = data;
}

void loop() {
  if (Serial.available()) {
    String receive = Serial.readString();
    if (receive.equals("ON")) {
      mySwitch.send(Lampe_bureau_ON, 24);
    }
    else if (receive.equals("OFF")) {
      mySwitch.send(Lampe_bureau_OFF, 24);
    }
    else motor_control(receive);
  }
}
```

