

Monitorización de un sistema de bombeo solar aislado a través de IoT

Carlos J. García-Orellana, Alejandro Asensio-Nieto, Miguel Macías-Macías,
Antonio García-Manso, Horacio González-Velasco y Ramón Gallardo-Caballero
Dpto. de Ing. Eléctrica, Electrónica y Automática
Universidad de Extremadura
Badajoz - SPAIN
Email: cjgarcia@unex.es

Resumen—Los Trabajos Fin de Grado (TFG) deben tratar de poner en práctica aquellas competencias que los estudiantes han adquirido en el transcurso de sus estudios de Grado. El presente trabajo expone el desarrollo de un sistema para monitorizar una estación de bombeo solar aislada, con el fin de abordar muchas de las competencias de Electrónica Analógica y Digital. Dicho sistema está basado en el uso de la plataforma Arduino, comunicación GSM hacia “Internet de las Cosas” (IoT), sensores de corriente de efecto Hall, medidas de tensión mediante optoacopladores y configuración WiFi. El sistema utiliza una batería recargable como fuente de alimentación e implementa modos de bajo consumo. Se ha estudiado el funcionamiento y precisión de monitorización, así como las estrategias de ahorro de energía.

I. INTRODUCCIÓN

El Trabajo Fin de Grado (TFG) está concebido en muchos planes de estudios actuales como una asignatura más, aunque con sus connotaciones especiales. Quizás dos de las particularidades más relevantes sean, por un lado, su carácter unipersonal, sin docencia presencial. Por otro lado, y en nuestra opinión, más importante, el TFG debe explotar las competencias (o al menos las más relevantes) del Grado cursado por el alumno.

En las Ingenierías, en ocasiones, ha sido un reto el pasar del Proyecto Fin de Carrera al TFG, ya que habitualmente los primeros estaban sobredimensionados para la nueva estructura de Grados, mientras que en los estudios de Ciencias, el TFG es algo nuevo y veces se le da un carácter excesivamente investigador y avanzado. No obstante, pensamos que es cierto que buscar el equilibrio entre todos los aspectos ligados al TFG no siempre es fácil.

I-A. Contexto y competencias del TFG

En el presente trabajo, presentamos la planificación y desarrollo de un TFG para el Grado de Ingeniería Electrónica y Automática (Rama Industrial) de la Universidad de Extremadura. El Plan de Estudios establece que el TFG tendrá 12 créditos ECTS y en el Plan Docente [2], se establece que el TFG debe desarrollar las competencias adquiridas por el estudiante durante el desarrollo de sus estudios. Los graduados en Ingeniería Electrónica y Automática han cursado ampliamente asignaturas básicas de Electrónica Analógica, Electrónica Digital y Control de Sistemas. Han estudiado

también desarrollo de aplicaciones con microcontroladores, no obstante, es posible, que en función de las optativas escogidas, no hayan trabajado con los sistema de prototipado rápido actuales y que permiten desarrollar prototipos de productos en poco tiempo.

I-B. Objetivos y requisitos del TFG

Los objetivos que se plantean abordar con el desarrollo del TFG presentado tienen dos vertientes: por un lado, aquellos objetivos relacionados con el desarrollo de las competencias a adquirir por el estudiante, y por otro lado, los relacionados con el sistema a desarrollar en sí.

Objetivos relacionados con las competencias:

El TFG planteado no únicamente aborda el diseño de un sistema Electrónico para una aplicación concreta, sino que principalmente pretende que el alumno pueda poner en práctica las competencias a adquirir con la titulación. En concreto, se pretende que el alumno trabaje las siguientes áreas:

- Se desea fortalecer los conocimientos de Electrónica Analógica mediante el uso de sensores analógicos y amplificadores.
- Se pretende que el alumno adquiera competencias en el desarrollo de aplicaciones de Microcontroladores mediante plataformas actuales de Prototipado Rápido. Los alumnos que han estudiado el Grado de Ingeniería Electrónica y Automática han desarrollado competencias en Microprocesadores (ver [1]), pero no siempre en plataformas de Prototipado Rápido.
- Se desea que el alumno, tomando como base los conocimientos aprendidos durante sus estudios, adquiera competencias en sistemas de comunicación inalámbricos y de “Internet de las Cosas” (IoT).
- También se pretende que el alumno desarrolle un proyecto Electrónico completo y terminado, realizando el diseño y montaje completo de un PCB.
- Desarrollar las competencias generales ligadas a la elaboración y presentación del TFG.

Objetivos del trabajo:

El trabajo tiene como objetivo central el desarrollo de un sistema de monitorización de una estación de bombeo

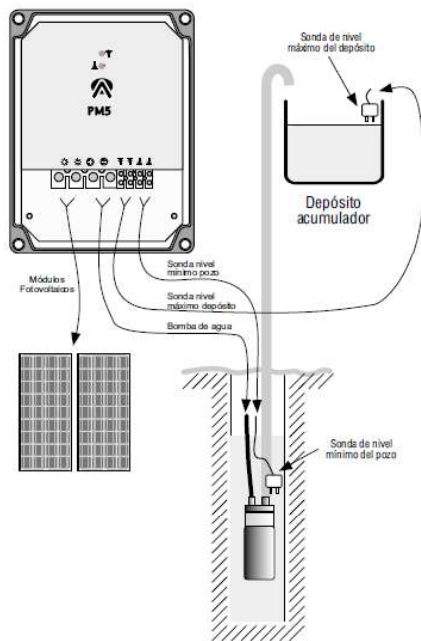


Figura 1. Esquema de la estación de bombeo a monitorizar.

solar aislada. La estación de bombeo está formada por tres elementos principales (ver figura 1):

- Placa solar de 175 Wp. Se trata de una placa solar común, con una tensión en circuito abierto de 45 V y de 36 V en el punto de máxima potencia, en dicho punto, puede ofrecer una corriente de 4.9 A.
- Convertidor DC/DC. Este convertidor tiene como principal función mantener el funcionamiento de la placa solar cerca del punto de máxima potencia, con el fin de aprovechar los límites de funcionamiento del sistema. Se trata del modelo PM5 de Atersa [3].
- Bomba solar SHURFLO 9300. Es una pequeña bomba solar de DC que trabaja a una tensión nominal de 24 V. Aunque su caudal no es muy alto, sí dispone de una buena altura manométrica. Su potencial nominal es de unos 120 W.

El objetivo principal del trabajo es desarrollar un sistema para monitorizar las tensiones y corrientes a la entrada y a la salida del módulo PM5 y subir dicha información a la plataforma de IoT ThingSpeak [4]. Al tratarse de un sistema aislado, la conexión a internet se realizará por GSM.

Como objetivos adicionales se ha incluido un modo de configuración mediante el uso de una red WiFi local y también que la alimentación de todo el sistema se realice mediante una batería de Li-Ion, que deberá ser cargada por la propia placa solar de la instalación existente.

Como se puede comprobar, con el desarrollo de este TFG, el alumno tiene que poner en práctica muchas de las competencias adquiridas durante sus estudios de Grado, y además, deberá adquirir nuevas competencias en base a los conocimientos que ya tiene, principalmente en

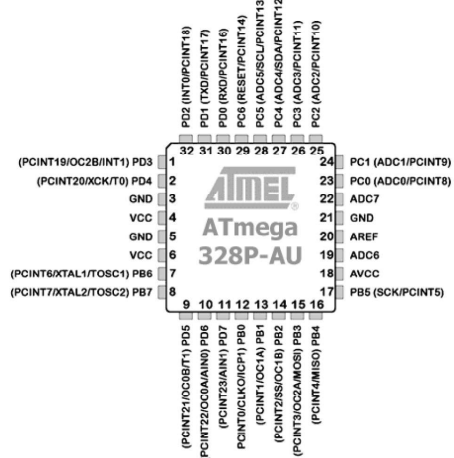


Figura 2. Disposición de terminales del microcontrolador ATmega328P-AU.

el campo de las comunicaciones y de “Internet de las Cosas”.

En la siguiente sección describiremos los principales componentes utilizados, tanto a nivel hardware como a nivel software. A continuación describiremos, en la sección III, el desarrollo en sí del sistema, destacando los aspectos más importantes. En la sección IV, expondremos los principales resultados y finalizaremos con las conclusiones del trabajo.

II. PRINCIPALES COMPONENTES Y SOFTWARE UTILIZADOS

En esta sección describiremos de forma general los principales componentes hardware y plataformas software utilizadas en el desarrollo del trabajo.

II-A. Atmel ATmega328P

El microcontrolador elegido como núcleo central para el desarrollo del trabajo es el ATmega328P del fabricante Atmel (ahora de Microchip). Es un microcontrolador de 8 bits y arquitectura AVR, con un buen rendimiento, buenas capacidades de comunicación y un consumo contenido. Las especificaciones detalladas las podemos encontrar en [5] y aunque no las vamos a repetir aquí, si nos gustaría destacar las siguientes:

- Dispone de 32 KBytes de memoria Flash de programa, 2.048 bytes de RAM y 1.024 bytes de EEPROM.
- La tensión de trabajo se sitúa entre 1.8 y 5.5 V.
- La frecuencia de operación de hasta 20 MHz.
- Incluye varios periféricos integrados en el chip: contadores, generadores PWM, buses I2C y SPI, ADC de 10-bit y 8 canales, etc.
- Existe en diferentes encapsulados. Nosotros utilizaremos el TQFP de 32 patillas y montaje superficial, tal y como podemos ver en la figura 2.

Pero la razón por la que el ATmega328P se ha convertido muy popular, es sin lugar a dudas por su uso dentro del proyecto Arduino [6], ya que las placas más sencillas de Arduino, incorporan este microcontrolador.

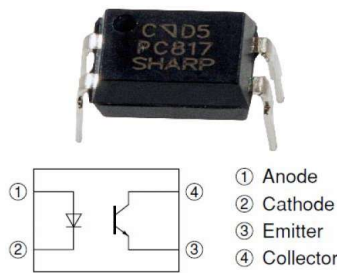


Figura 3. Optoacoplador PC817 utilizado para la medida de tensiones.

Lógicamente, la disponibilidad de la plataforma Arduino para el desarrollo del software, es uno de los factores que han influido para decantarnos por este microcontrolador.

II-B. Sensores de corriente y tensión

Dado que uno de los objetivos del TFG es monitorizar tensiones y corrientes, debemos buscar la forma de medir dichos parámetros.

Para la medida de las tensiones, una alternativa viable hubiese sido utilizar un divisor de tensión conectado a una entrada analógica del microcontrolador. Sin embargo, con fin de trabajar con otras alternativas, decidimos utilizar un optoacoplador calibrado. El optoacoplador utilizado fue el PC817, un modelo bastante estándar y que podemos ver en la figura 3. Como principal ventaja del optoacoplador debemos destacar, lógicamente, su aislamiento eléctrico, y como principal desventaja, la necesidad de calibrarlo, ya que su respuesta no es lineal.

El rango de tensiones a medir en la entrada es de aproximadamente de 15 a 50 V, mientras que en la salida (bomba) sería de 5 a 30 V.

Para la medida de las corrientes se ha decidido utilizar un sensor de efecto Hall, en concreto se trata del modelo ACS712 del fabricante Allegro [7]. Hemos elegido el modelo de 5 A, el cual presenta una respuesta lineal en el rango de ± 5 A, que es suficiente para nuestra aplicación, ya que además soporta picos de hasta 5 veces ese valor.

El ACS712 ofrece una salida analógica, centrada en la mitad de la alimentación (usualmente 5 V), lo cual le permite medir corrientes en las dos direcciones, aunque en nuestro caso no sea necesario. La sensibilidad del modelo elegido es de 185 mV/A, el encapsulado es SOIC8 y el esquema de uso es simple (ver figura 4), aunque en nuestro caso, lo amplificaremos para obtener mayor sensibilidad.

II-C. Módulo GSM Neoway M590

Dado que queremos realizar un proyecto basado en “Internet de las Cosas” (IoT), necesitamos algún tipo de conexión a Internet. La solución más sencilla para un entorno aislado, es utilizar telefonía GSM. Como la cantidad de datos a enviar es pequeño en cada ciclo, no necesitamos grandes velocidades de transferencia, por ello, un “modem” GPRS es una solución perfecta.

El modelo elegido es el M590 del fabricante NeoWay [8].

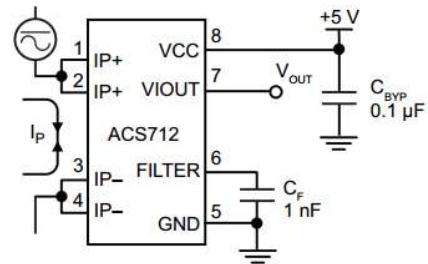


Figura 4. Esquema básico del sensor de corriente ACS712.



Figura 5. Fotografía del módulo GSM M590 de Neoway.

Dicho módulo lo podemos observar en la figura 5 y tiene un coste bastante reducido. El módulo se comunica con el microcontrolador mediante un puerto serie utilizando comandos del tipo AT, y dado que la E/S del módulo funciona a 2.85 V, es necesario el uso de adaptadores de nivel. El M590 permite apagarlo y encenderlo mediante un terminal ON/OFF que posee, con lo cual podemos desactivarlo desde el microcontrolador y obtener un consumo que en nuestro caso es despreciable. Sin embargo, en funcionamiento, el consumo no es nada despreciable, pudiendo tener picos de hasta 2 A, lo cual obliga a incorporar en la alimentación un condensador de gran tamaño.

Desde el punto de vista del software, existen librerías de Arduino para trabajar con él, lo cual simplifica el proceso de desarrollo.

II-D. Módulo ESP8266

Dado que hemos decidido que nuestro sistema pueda ser configurable por el usuario, hemos de incorporar un interfaz de configuración al mismo. De las posibles alternativas, hemos elegido utilizar un interfaz web, creando para ello una red WiFi local cuando entremos en modo de configuración (pulsando un botón).

Para crear esa red WiFi de configuración hemos utilizado un módulo basado en el SoC ESP8266 de Espressif [9]. Este dispositivo es muy popular y utilizado en muchas aplicaciones. Básicamente, el ESP8266 incorpora una solución WiFi, junto a un microprocesador de 32-bit, que además de su bajo coste, es programable mediante el entorno de Arduino.

Sin embargo, en nuestro caso, lo hemos utilizado como simple

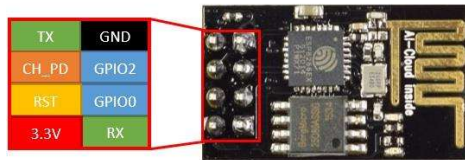


Figura 6. Módulo WiFi ESP-01, basado en el SoC ESP8266.

“modem” WiFi, con un firmware que nos permite comunicarnos desde el ATmega328P por protocolo RS232 y comandos AT. Es decir, no hemos tenido que programar el ESP8266, simplemente lo hemos utilizado como “modem”.

En concreto, hemos elegido el módulo conocido como ESP-01 (ver figura 6), y lo hemos incorporado a nuestro sistema.

II-E. Módulos de alimentación

Para la alimentación del sistema hemos decidido utilizar una batería de Li-Ion de 3,7 V, que se recargará mediante el panel solar de la instalación. Para poner en práctica esta solución, necesitamos dos convertidores DC-DC y un módulo de carga, de manera que:

- El primer convertidor DC-DC es necesario para convertir la tensión de suministro del panel solar a los 5 V que necesita el módulo de carga. El módulo elegido está basado en el convertidor *step-down* LM2596HV de HMsemi, que se trata de una versión con voltaje de entrada ampliado del popular LM2596 de Texas Instruments.
- Para la carga de la batería hemos utilizado un módulo basado en el integrado TP4056 de NanJing Top Power, junto con los componentes necesarios para la protección de descarga de la celda de batería.
- El segundo convertidor DC-DC es de tipo *step-up* y es utilizado para convertir los 3,7 V de la batería a 5 V. Está basado en el chip SX1308 de Suosemi.

En la sección III-A podemos ver con más detalle como se utilizan estos módulos.

II-F. Arduino

El software de nuestro desarrollo ha sido realizado mediante el uso de la plataforma Arduino [6]. No hay dudas de que Arduino ha supuesto una revolución en el mundo del Prototipado Rápido mediante microcontroladores.

No nos vamos a extender en describir las características del proyecto Arduino, únicamente indicar que se trata de una plataforma (hardware y software) para desarrollar de forma sencilla proyectos basados en microcontroladores. El proyecto incluye placas de desarrollo y un entorno de programación (IDE) para desarrollar el software, todo ello con licencia libre. El software se desarrolla en una variante del entorno *Wiring*, que al final tiene una sintaxis similar a C.

El gran éxito de Arduino se debe a múltiples factores, pero podríamos destacar los siguientes: facilidad de uso, bajo coste, entorno abierto, fácil disponibilidad, existencia de *drivers* para muchos dispositivos, ...

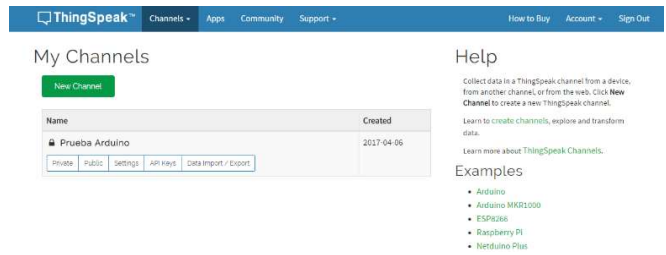


Figura 7. Imagen de una de las páginas de la plataforma de IoT ThingSpeak.

Quizás entre los principales problemas o deficiencias de Arduino podríamos encontrar la ausencia de un entorno de depuración paso a paso, la documentación de algunas librerías, ... En definitiva, pensamos que Arduino es un entorno adecuado para el desarrollo de aplicaciones no excesivamente complejas en microcontroladores, a pesar de sus limitaciones.

II-G. Plataforma IoT ThingSpeak

ThingSpeak [4] es un elemento clave en nuestro TFG, ya que se trata de la plataforma IoT que hemos elegido para subir los datos a la nube.

El uso de IoT en nuestro proyecto permite que la monitorización pueda ser seguida en cualquier parte del globo con un simple navegador web y nos permite simplificar el sistema al no tener que almacenar localmente los datos.

ThingSpeak nace como un proyecto *open source* en 2010 de la mano de ioBridge. ThingSpeak es una plataforma IoT, organizadas en *canales*, que provee un interfaz web (ver figura 7) para consultar datos almacenados por sensores en dichos canales y poder efectuar algunas acciones en función de esos datos. La plataforma dispone de un API, basado en HTTP, para que los sensores puedan subir o recuperar los datos.

El proyecto ha pasado a ser gestionado por MathWorks Inc., quien ha incluido soporte para el uso de MatLab en el análisis y visualización de los datos. Esto ha provocado que la versión abierta de ThingSpeak no se actualice desde hace 3 años, no obstante, es posible instalar la versión abierta y disponer de un servicio IoT privado.

III. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

En esta sección expondremos los aspectos más relevantes del desarrollo del TFG, tanto en la parte hardware, como en la parte software.

III-A. Desarrollo del hardware.

Para abordar la descripción del desarrollo del hardware, hemos decidido dividir esta sección en dos bloques diferenciados: por un lado, comentaremos aquellas partes del esquema que nos parecen más importantes, y posteriormente, por otro lado, nos centraremos en el diseño, fabricación y montaje de la PCB del sistema.

La estructura global del sistema la podemos observar en la figura 8.

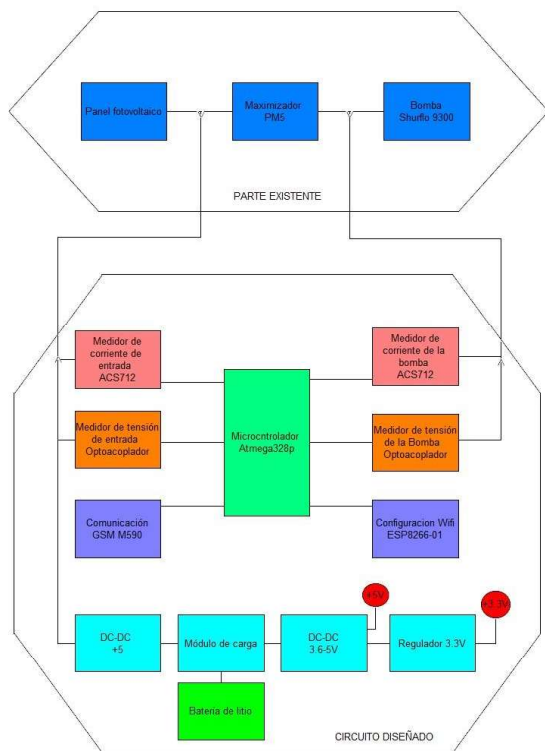


Figura 8. Diagrama de bloques de la estructura hardware del sistema diseñado.

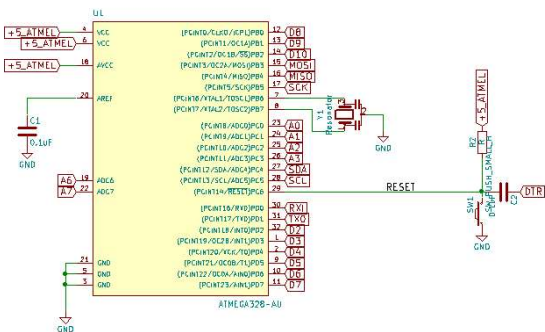


Figura 9. Esquema de la parte del microcontrolador ATmega328P.

III-A1. Esquemas más importantes:

Comenzamos con el esquema del microcontrolador, que podemos ver en la figura 9. Tenemos poco que comentar respecto a esta parte, ya que además del microcontrolador, incluye el resonador de 16 MHz y el reset.

El siguiente esquema que incluimos lo tenemos en la figura 10, y como podemos observar corresponde a la parte de medición de las tensiones con optoacopladores, que también es sencillo y no hay mucho más que explicar al respecto.

A continuación, en la figura 11, mostramos la parte co-

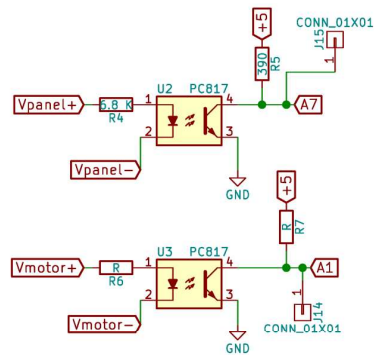


Figura 10. Esquema de para la medición de las tensiones mediante optoacopladores.

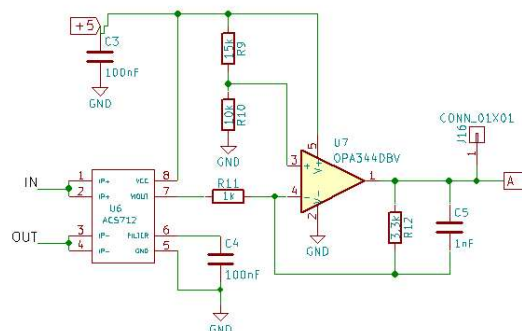


Figura 11. Esquema de la parte del sensor de corriente.

respondiente a uno de los sensores de corriente ACS712. Como podemos observar, hemos incluido un amplificador que además de aumentarnos la sensibilidad, nos desplaza la señal, de forma que cuando no hay corriente, el valor de la tensión está cercana a cero en lugar de en mitad de la alimentación, aumentando de esta forma el rango de trabajo. El único problema de hacer esto así es que solamente podemos medir corrientes en un sentido, lo cual, en nuestro caso no es ningún inconveniente.

En la figura 13 se muestra el esquema de correspondiente a los módulos de comunicaciones GSM (NeoWay M590) y WiFi (ESP-01). En ambos casos, se utilizan transistores bipolares SMD para activar o desactivar los módulos.

El último esquema que mostramos lo podemos ver en la figura 12. El él podemos observar los dos convertidores DC-DC utilizados, módulo de carga de la batería, la batería, un regulador 3,3 V (para el ESP-01) y dos relés (uno de estado sólido y otro convencional). Respecto a los relés, indicar que realmente solamente se utilizó uno de ellos, ya que el objetivo del relé es cortar la alimentación cuando el microcontrolador está dormido. Se decidió incluir los dos en la PCB por si el funcionamiento final del de estado sólido no era totalmente satisfactorio (por su resistencia conectado), aunque finalmente el funcionamiento fue correcto.

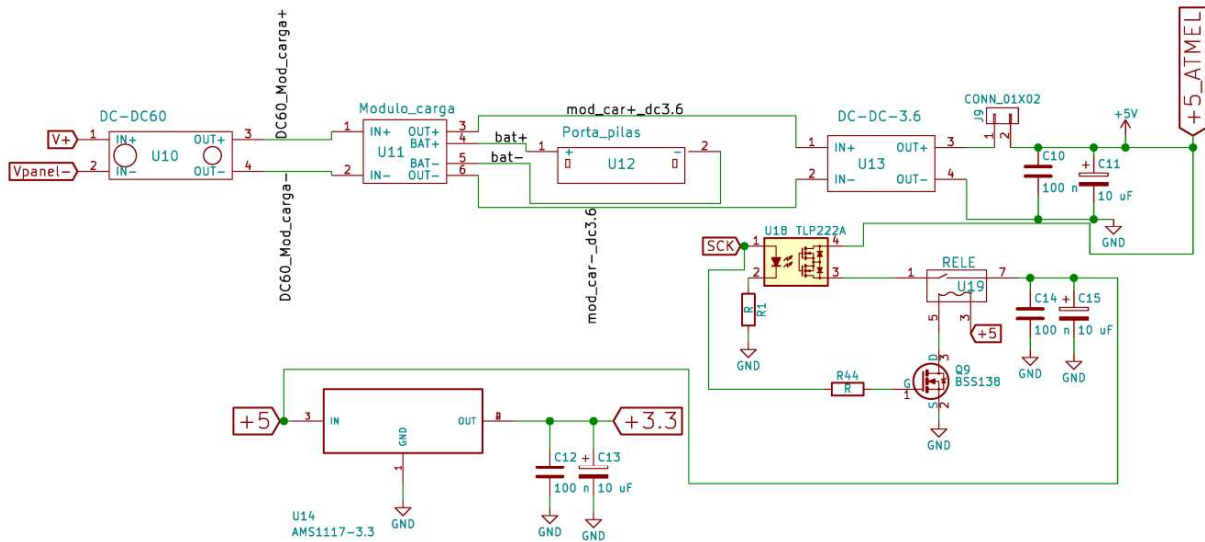


Figura 12. Esquema de la parte de alimentación de sistema.

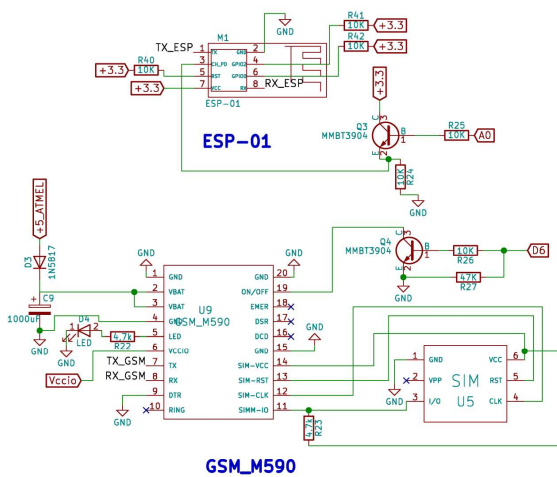


Figura 13. Esquema del módulo GSM y del módulo WiFi.

III-A2. Diseño y fabricación del PCB:

Aunque los test de cada parte del circuito se hicieron mediante el montaje en *protoboard* y con un Arduino Mini, una parte importante del TFG era el diseño, fabricación y montaje del circuito completo en un PCB. Se decidió que los componentes debían ser en su mayor parte de montaje superficial y que el PCB sería de doble cara. Pensamos que para el alumno es muy formativo y satisfactorio plasmar todo el desarrollo de esta manera, que lo acerca más a un producto final.

Para el diseño del PCB se utilizó el programa de código abierto KiCad [10], este programa de diseño funciona muy bien y además es multiplataforma. El diseño del PCB podemos observarlo en la figura 14.

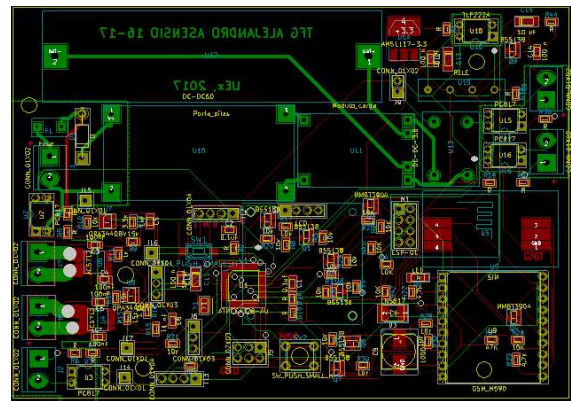


Figura 14. Diseño del PCB realizado con el programa KiCad.

Para la fabricación se utilizó una fresadora ProtoMat H100 de LPKF [11], la cual permite de forma bastante automatizada la fabricación de PCBs de doble cara. El resultado del fresado lo podemos observar en las figuras 15 y 16. Como se observa en ambas el resultado es bastante satisfactorio.

La soldadura de los componentes se realizó utilizando un horno de refusión y el resultado final lo podemos observar en la figura 17, ya incluido en la caja diseñada y fabricada por impresión 3D.

III-B. Desarrollo del software

El desarrollo del software se ha realizado mediante el entorno de Arduino, incorporando las librerías necesarias, principalmente para el manejo del módulo GSM, para la creación de puertos serie por software y para gestionar el consumo del ATmega328P.

El software ha sido desarrollado como una máquina de estados

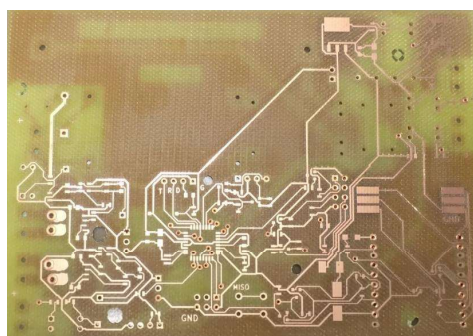


Figura 15. PCB fabricada (vista del lado de los componentes).

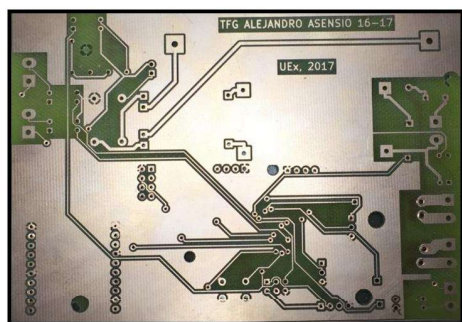


Figura 16. Imagen del PCB por lado de las soldaduras.



Figura 17. Resultado del sistema desarrollado una vez finalizadas las soldaduras y montado en la caja realizada mediante impresión 3D.

y en la figura 18 podemos ver un diagrama del mismo. Como se observa en dicha figura el estado principal es el de "Medida". En dicho estado el sistema, cada cierto tiempo, despierta realiza las medidas (filtrándolas mediante un filtro de media), arranca el módulo GSM, sube los datos a la plataforma IoT y acaba el ciclo entrando en el modo de bajo consumo del microcontrolador.

El resto de estados se utilizan en el modo de configuración, al que se accede por interrupción mediante un pulsador.

IV. RESULTADOS

En los TFGs cuyo objetivo es el desarrollo práctico de una aplicación, el resultado principal es en muchas ocasiones el

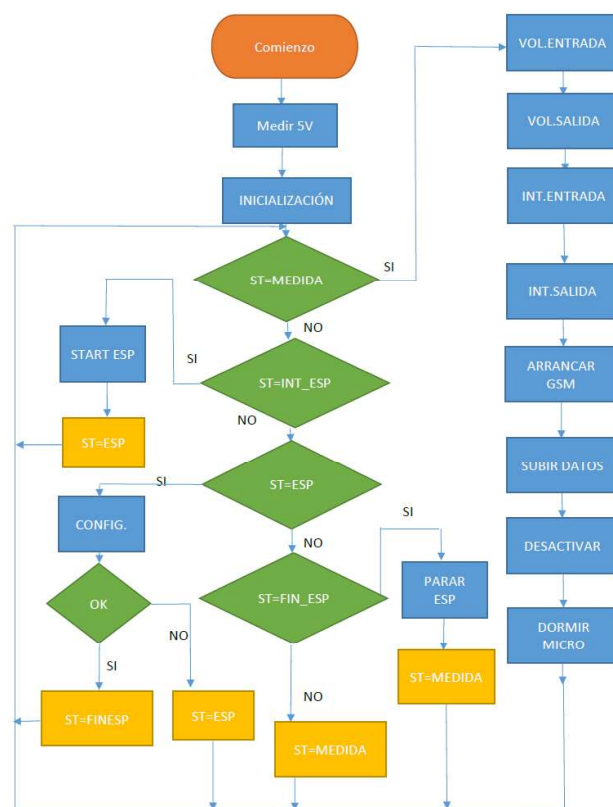


Figura 18. Diagrama de bloques general del software desarrollado.

desarrollo en sí mismo. No obstante, en el TFG que presentamos se optó por incluir resultados adicionales relacionados con la calidad de las medidas y el consumo del equipo. Se consideró que incluir este tipo de resultados adicionales es formativo para el alumno porque se le transmite la idea de que, además de funcionar, hay que estudiar con cierto rigor cómo de bien funciona.

IV-A. Resultados de la calibración de los sensores

Las pruebas de calibración y test de los sensores de tensión y corriente se realizaron en el laboratorio mediante una fuente de tensión, un convertidor DC-DC *step-down* y utilizando, como carga, bombillas de 12 V (ver figura 19).

Los sensores de tensión, basados en el uso de optoacopladores, necesitan una calibración de la curva de respuesta. Dicha curva tiene una zona más lineal en la que se encuentra la zona principal de trabajo, tal y como se puede observar en la figura 20. El proceso de calibración consiste en almacenar en una tabla los valores medidos en el ADC del microcontrolador para diferentes tensiones de entrada al sensor (se tomaron cada voltio). Con estos datos se construye una tabla de búsqueda y para obtener el resultado de una nueva entrada se interpola entre los cercanos. De esta forma se consiguen, para ambos optoacopladores, errores menores del 2% en la zona de trabajo. Sin embargo, para tensiones fuera de dicho rango los errores pueden ser mayores del 10%.

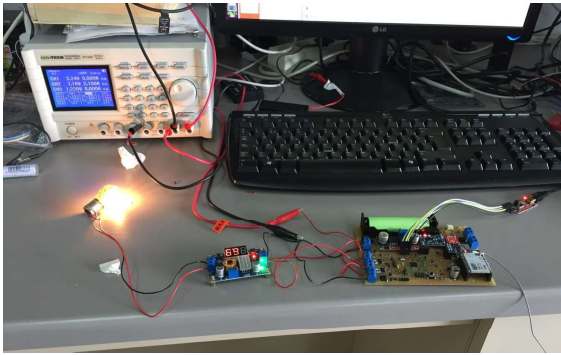


Figura 19. Fotografía del montaje para el test del sistema.

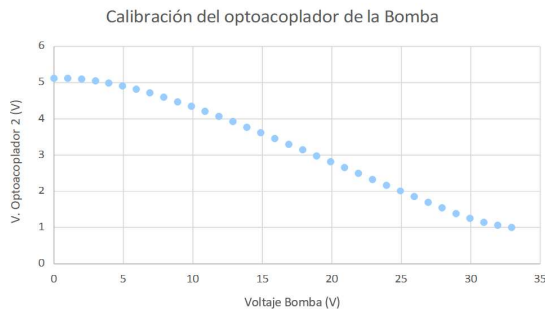


Figura 20. Característica de transferencia del sensor de tensión correspondiente a la salida.

Respecto a los sensores de corriente, éstos muestran una buena linealidad entre la corriente y la tensión a la salida del mismo. No obstante, se realizó un ajuste lineal para mejorar el resultado, ya que la sensibilidad real de los ACS712 no era de 185 mV/A, sino de 133 mV/A, lo cual puede deberse a una partida defectuosa o a que no eran originales. El error obtenido en este caso es mayor, obteniendo un error máximo de alrededor de un 5% para corrientes mayores de 0,4 A.

IV-B. Estudio del consumo

Para completar el estudio del sistema se procedió a estudiar el consumo real del circuito durante un ciclo de funcionamiento. Se estudiaron varios escenarios y en el más favorable, considerando un reposo de 2 minutos, se obtuvo que la duración de una batería de 2.400 mAh podría llegar a 56 horas. Tal y como se puede observar en la figura 21 durante el proceso de medida y subida de datos el consumo medio es de alrededor de 170 mA. Sin embargo, durante el reposo el consumo es de apenas 350 μ A, ya que se desactiva el módulo GSM y mediante el relé, el resto de componentes. La duración estimada de la batería cumple sobradamente con las necesidades de nuestro sistema, ya que el mismo se recargará, prácticamente con total seguridad, todos los días.

V. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Con el desarrollo del TFG expuesto en este trabajo podemos concluir que el alumno trabaja con muchas de las competencias de la Electrónica actual. La combinación de sistemas

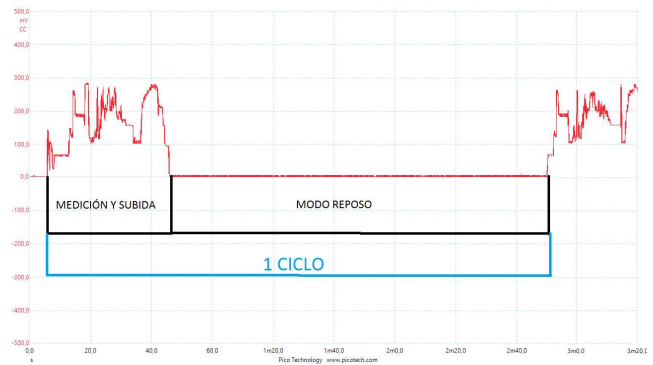


Figura 21. Consumo durante un ciclo de medida, desactivando todos los periféricos.

Analógicos y Digitales permiten al alumno poner en práctica y afianzar muchos de los conocimientos adquiridos. Además, la necesidad de utilizar herramientas y elementos no incluidos en los estudios de Grado, obligan al alumno a esforzarse en seguir aprendiendo, algo que posiblemente deberá realizar durante toda su vida laboral. No debemos tampoco olvidar la satisfacción que para el alumno supone el ver culminado un desarrollo como el que hemos presentado.

Evidentemente, este tipo de TFGs requiere la implicación y trabajo del Tutor, ya que, aparte de la planificación y directrices del diseño, debe guiar (y “desatascar” en muchas ocasiones) al alumno, consumiendo un tiempo que no es valorado por la Universidad (aunque sí por el alumno).

De cara al futuro, pensamos continuar desarrollando este tipo de TFGs por sus importantes cualidades formativas.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido parcialmente financiado por la Junta de Extremadura y FEDER a través de la ayuda a Grupos de Investigación.

REFERENCIAS

- [1] Memoria verificada del Grado en Ingeniería Electrónica y Automática (Rama Industrial). <https://www.unex.es/organizacion/gobierno/vicerektorados/vicecal/archivos/ficheros/informacion-titulos/eii/plan0817/memoriaplan.pdf>
- [2] Planes de estudio de la Escuela de Ingenierías Industriales (UEX). <https://www.unex.es/conoce-la-uex/centros/eii/informacion-academica/programas-asignaturas>.
- [3] Manual del convertor DC/DC PM5 de Atersa. <http://atersa.eu/img/2011121165145.pdf>.
- [4] Página web oficial de la plataforma IoT ThingSpeak. <http://www.thingspeak.com/>.
- [5] Información técnica del ATmega328P. <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega328p>.
- [6] Página web del proyecto Arduino. <http://www.arduino.cc>.
- [7] Información técnica del sensor ACS712 de Allegro. <https://www.allegromicro.com/en/Products/Current-Sensor-ICs/Zero-To-Fifty-Amp-Integrated-Conductor-Sensor-ICs/ACS712.aspx>.
- [8] Datasheet del módulo M590 de NeoWay. <http://cyntech.co.uk/downloads/neoway-m590-hardware-design-manual-v1.pdf>.
- [9] Información del SoC ESP8266 de Espressif. <https://www.espressif.com/en/products/hardware/esp8266ex/overview>.
- [10] Página del proyecto KiCad. <http://kicad-pcb.org/>.
- [11] Descripción de la fresadora ProtoMat H100 de LPKF. <http://www.lpkf.es/productos/creacion-rapida-prototipos-pcb/plotter-fresadora/protomat-h100.htm>.