

**UNIVERSIDAD DE CASTILLA - LA MANCHA**

ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE TOLEDO

TRABAJO FIN DE GRADO Nº 18-B-225089

ALIMENTACIÓN FLEXIBLE SIN CONTACTO ELÉCTRICO, APLICADA A JUGUETES INTERACTIVOS.

Autor:

CLARA ISABEL PRIETO FERNÁNDEZ.

Director:

FRANCISCO MOYA FERNÁNDEZ.

SEPTIEMBRE 2018

*Quisiera agradecer el apoyo recibido por todas aquellas personas que han estado a mi lado durante este tiempo. Durante la realización del trabajo de fin de grado, y durante los años de esfuerzo para sacar la carrera hacia delante.*

*Así, como agradecer principalmente a mi familia, que sin ellos nada de esto hubiese sido posible, y me han dado fuerzas y facilidades para poder llegar a presentar este trabajo de fin de grado.*

RESUMEN

El objetivo principal de este proyecto es diseñar un sistema de carga con unas características concretas, para un dispositivo electrónico que después será usado como juguete interactivo para niños.

Las características pedidas por este dispositivo son las siguientes:

* El dispositivo debe de funcionar mediante baterías para facilitar su movilidad.
* Debe de ser un producto seguro para niños, motivo por el cual, una de las principales características es que no tenga ningún tipo de contacto eléctrico.
* El dispositivo está compuesto por una Raspberry Pi para su funcionamiento (dispositivo a alimentar).

Sabiendo las necesidades básicas del producto, en este proyecto se realiza un estudio del arte de las baterías. En el cual se habla del funcionamiento de ellas, de los tipos que hay, y de la clasificación según su composición.

Lo primero que se decide es el tipo de batería a usar, ya que hay baterías recargables y baterías de un solo uso.

Viendo los antecedentes en juguetes de este tipo, la mayoría de ellos usa baterías de un solo uso (primarias), pero en este caso se ha decidido usar baterías recargables (secundarias), ya que ofrecen ventajas frente a las otras. Entre las principales ventajas están su seguridad, su vida útil, y que son menos toxicas que las primarias.

Una vez elegido el tipo de batería se estudian los tipos de batería según su composición, y de ese estudio e obtiene la conclusión de que las baterías a usar son las baterías de iones de litio, ya que son las baterías que mejores características ofrecen, viéndolo desde un punto de vista equilibrado.

Dentro de este tipo de baterías, se ofrecen diferentes tipos en función de la composición del cátodo. Realizando nuevamente un estudio de los tipo de baterías dentro de las baterías de Li-ion, se obtiene la conclusión que las baterías a usar van a ser las baterías de litio fosfato de hierro (LiFePO4).

Dicha batería es la elegida por su baja toxicidad, ciclos de vida altos, coste asequible, y sobre todo, seguridad, que es una de las principales necesidades del proyecto.

Una vez decidido el tipo de batería a usar, es necesario saber las necesidades del dispositivo a alimentar con dicha batería.

Para ello se realiza un estudio de los diferentes modelos de Raspberry Pi del mercado, obteniendo así como resultado que el mejor modelo, y el que más se adapta a este diseño es el modelo Raspberry Pi Zero.

Para la alimentación de las Raspberry Pi Zero se va a usar un HAT de alimentación diseñado por silicognitition LLC y de venta el Tindie. Es un HAT diseñado para alimentar la Raspberry Pi con una sola celda de LiFePO4. Proporciona a la Raspberry Pi Zero los 5V de alimentación necesarios.

Según los datos obtenidos en los ensayos, este módulo llamado LiFePO4wered/Pi da a la Raspberry Pi Zero una autonomía de una hora y media, que puede aumentar o disminuir dependiendo de los periféricos conectados a ella.

Una vez elegido el modelo de alimentación, se procede a decidir el proceso de carga de la celda de LiFePO4.

El HAT de alimentación incluye ya un módulo de carga diseñado para ese proyecto, con el que se le da a la celda las fases de carga que necesita para no ser dañada. Ese modulo, se carga a través de un microUSB, pero recordando, se quiere que el dispositivo sea sin cables, y para que el dispositivo no tenga ningún tipo de contacto eléctrico, hay que buscar un método de carga inalámbrica.

De todos los procesos de carga inalámbrica, se opta por el proceso de carga por inducción mediante dos bobinas que al ser acercadas producen la energía suficiente para alimentar la celda.

El módulo de carga por inducción elegido es un módulo de venta en adafruit que ofrece a la salida los 5V que requiere el LiFePO4wered/Pi para cargar la celda de LiFePO4, cuando se le da a la entrada una tensión de entre 9 y 12V.

Una vez decidido y comprado los componentes necesarios, se procede al montaje y a comprobar que las decisiones tomadas son las correctas.

Se comprueba que el HAT de alimentación funciona, haciendo que la Raspberry Pi Zero funcione alimentado solamente por ese dispositivo. Y se comprueba que la cerda se carga correctamente, con el módulo de carga inalámbrica adquirido.

Para obtener detalles más específicos sobre ello, se procede a la realización de ensayos.

Por un lado se van a obtener graficas de los datos obtenidos sobre la descarga de la celda, y por otro lado se van a obtener graficas de los datos obtenido sobre la carga de la misma celda.

Para la obtención de los datos de la descarga de la celda, así como de la tensión de alimentación que ofrece esa celda a la Raspberry Pi, se procede a la realización de programas llamados scripts.

Esos programas son realizados desde la ventana de comandos que ofrece Raspberry Pi (la cual usa el sistema operativo Linux), y obtiene los datos mediante la ayuda de las librerías y programas compartidos que ofrece LiFePO4wered/Pi para la obtención de datos mediante unas ordenes determinadas.

Cuando se ejecuta ese Script eso datos obtenidos se envían a un archivo .txt mediante el cual luego se procede a sacar esos datos en una gráfica con un editor llamado GNUPLOT.

Para la obtención de datos de la carga de la celda no se pueden obtener de la misma manera por las características que ofrece el LiFePO4wered/Pi, que hacen que sea imposible sacar dichos datos si la alimentación de la Raspberry Pi es la misma celda de la que queremos sacar los datos.

Por ello, se decide obtener esas muestras de una forma externa, medidas con otra Raspberry Pi mediante un conversor analógico digital que obtiene los datos de la tensión de la batería.

Para la obtención de esos datos se utiliza un software desarrollado por Ivan Valbuena Sánchez en el capítulo 4 de su proyecto “Sensores de bajo coste aplicados al campo de la contaminación atmosférica: Desarrollo de un prototipo”.

Dicho software fue diseñado para poder modificar las características necesarias del programa, y leer la tensión de cualquier dispositivo que cumpla las características, como es el caso de la celda de este proyecto.

Una vez modificados los ficheros y el código necesario para que se ajuste a la obtención de datos de dicha celda. Se ejecuta el programa y al igual que en la obtención de datos de la descarga, se guardan los datos en un archivo .txt, mediante el cual después se obtienes las gráficas de los resultados.

Con las gráficas obtenidas, se comprueba que el funcionamiento del sistema de carga diseñado para la Raspberry Pi Zero, es el correcto.

RESUMEN (INGLÉS)

The main objective of this project is to design a charging system with specific characteristics, for an electronic device that will later be used as an interactive toy for children.

The features requested by this device are the following:

* The device must work with batteries to facilitate its mobility.
* It must be a safe product for children, so one of the main characteristics is that it does not have any type of electrical contact.
* The device is composed of a Raspberry Pi for its operation (device to be powered).

Knowing the basic needs of the product, in this project a study of the art of batteries is made. In which one speaks of the operation of them, of the types that there are, and of the classification according to their composition.

The first thing that is decided is the type of battery to be used, since there are rechargeable batteries and single-use batteries.

Seeing the background in toys of this type, most of them use single-use batteries (primary), but in this case it has been decided to use rechargeable batteries (secondary), as they offer advantages over the others. Among the main advantages are its safety, its useful life, and that are less toxic than the primary ones.

Once the type of battery is chosen, the types of batteries are studied according to their composition, and from this study it is concluded that the batteries to be used are lithium-ion batteries, since they are the batteries that offer the best characteristics, seeing it from a balanced point of view.

Within this type of batteries, different types are offered depending on the composition of the cathode. Conducting a study again of the type of batteries inside the Li-ion batteries, the conclusion is reached that the batteries to be used are going to be lithium iron phosphate batteries (LiFePO4).

This battery is the one chosen for its low toxicity, high life cycles, affordable cost, and above all, safety, which is one of the main needs of the project.

Once the type of battery to be used has been decided, it is necessary to know the needs of the device to be powered by said battery.

For this, a study of the different Raspberry Pi models of the market is carried out, obtaining as a result that the best model, and the one that best suits this design is the Raspberry Pi Zero model.

For the feeding of the Raspberry Pi Zero it is going to use a HAT of feeding designed by silicognitition LLC and of sale the Tindie. It is a HAT designed to power the Raspberry Pi with a single cell of LiFePO4. It provides the Raspberry Pi Zero with the 5V power needed.

According to the data obtained in the tests, this module called LiFePO4wered / Pi gives the Raspberry Pi Zero an autonomy of an hour and a half, which can increase or decrease depending on the peripherals connected to it.

Once the feeding model has been chosen, the process of loading the LiFePO4 cell is decided.

The HAT of feeding already includes a module of load designed for that project, with which the cell is given the phases of load that it needs not to be damaged. This module is charged through a microUSB, but remembering, you want the device to be wireless, and so that the device does not have any electrical contact, you have to look for a wireless charging method.

Of all the wireless charging processes, the process of charging by induction is chosen by means of two coils that, when they are brought together, produce enough energy to power the cell.

The chosen induction charging module is a module of sale in adafruit that offers the 5V output required by the LiFePO4wered/ Pi to charge the LiFePO4 cell, when the input is given a voltage between 9 and 12V.

Once the necessary components have been decided and purchased, the assembly is carried out and the decisions taken are correct.

It is verified that the power HAT works, making the Raspberry Pi Zero work powered only by that device. And it is verified that the sow is loaded correctly, with the wireless charging module acquired.

To obtain more specific details about it, we proceed to carry out tests.

On the one hand, we will obtain graphs of the data obtained on the discharge of the cell, and on the other hand we will obtain graphs of the data obtained on the load of the same cell.

To obtain the data of the cell discharge, as well as the supply voltage that this cell offers to the Raspberry Pi, we proceed to the realization of programs called scripts.

These programs are made from the command window offered by Raspberry Pi (which uses the Linux operating system), and get the data through the help of libraries and shared programs offered by LiFePO4wered / Pi to obtain data through certain orders.

When that script is executed, that data is sent to a .txt file, which is then used to extract the data in a graph with an editor called GNUPLOT.

To obtain cell load data can not be obtained in the same way by the features offered by the LiFePO4wered / Pi, which make it impossible to extract such data if the power of the Raspberry Pi is the same cell of the we want to get the data.

Therefore, it is decided to obtain these samples in an external way, measured with another Raspberry Pi through a digital analog converter that obtains the data of the battery voltage.

To obtain this data, software developed by Ivan Valbuena Sánchez is used in chapter 4 of his project " Sensores de bajo coste aplicados al campo de la contaminación atmosférica: Desarrollo de un prototipo".

This software was designed to be able to modify the necessary characteristics of the program, and read the voltage of any device that meets the characteristics, as is the case of the cell of this project.

Once the files and the necessary code have been modified to match the data obtained from said cell. The program is executed and, just as in obtaining data from the download, the data is saved in a .txt file, through which the graphs of the results can be obtained later.

With the obtained graphs, it is verified that the functioning of the load system designed for the Raspberry Pi Zero, is the correct one.

ÍNDICE GENERAL

[1 OBJETIVOS 1](#_Toc520306677)

[2 ANTECEDENTES 1](#_Toc520306678)

[3 ESTUDIO DEL ARTE DE LAS BATERÍAS 2](#_Toc520306679)

[3.1 HISTORIA 2](#_Toc520306680)

[3.2 DEFINICIÓN 3](#_Toc520306681)

[3.3 TIPOS DE CONEXIONES 4](#_Toc520306682)

[3.4 TIPOS DE BATERÍAS 4](#_Toc520306683)

[3.5 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU COMPOSICIÓN 5](#_Toc520306684)

[3.5.1 Plomo-Ácido. 5](#_Toc520306685)

[3.5.2 Níquel. 6](#_Toc520306686)

[3.5.3 Sulfuro de Sodio. 7](#_Toc520306687)

[3.5.4 Iones de Litio 8](#_Toc520306688)

[3.5.5 Comparativa 10](#_Toc520306689)

[4 ELECCIÓN DE BATERÍA 11](#_Toc520306690)

[4.1 TIPOS DE LI-ION 11](#_Toc520306691)

[4.1.1 Óxido de cobalto de litio (LiCoO2) 11](#_Toc520306692)

[4.1.2 Óxido de manganeso de litio (LiMn2O4) 12](#_Toc520306693)

[4.1.3 Fosfato de hierro y litio (LiFePO4) 12](#_Toc520306694)

[4.1.4 Óxido de aluminio de cobalto de litio y níquel (LiNiCoAIO2) 13](#_Toc520306695)

[4.1.5 Titanato de Litio (Li4Ti5O12) 13](#_Toc520306696)

[4.1.6 Comparativa 14](#_Toc520306697)

[5 ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DEL DISPOSITIVO ELECTRÓNICO 15](#_Toc520306698)

[5.1 DISPOSITIVO 15](#_Toc520306699)

[5.1.1 RASPBERRY PI 1 15](#_Toc520306700)

[5.1.2 RASPBERRY PI 2 MODEL B 17](#_Toc520306701)

[5.1.3 RASPBERRY PI ZERO 17](#_Toc520306702)

[5.1.4 RASPBERRY PI 3 MODEL B 18](#_Toc520306703)

[5.1.5 RASPBERRY PI ZERO W 19](#_Toc520306704)

[5.2 CARACTERÍSTICAS DE ALIMENTACIÓN 20](#_Toc520306705)

[5.3 HAT DE ALIMENTACIÓN 21](#_Toc520306706)

[5.3.1 Zero LiPo/LiPo SHIM. 21](#_Toc520306707)

[5.3.2 LiFePo4wered/Pi. 22](#_Toc520306708)

[6 DIMENSIONADO DE BATERÍAS 24](#_Toc520306709)

[6.1 DETALLES DE BATERIA LIFEPO4 24](#_Toc520306710)

[6.2 SISTEMAS DE GESTIÓN DE BATERIAS 25](#_Toc520306711)

[6.3 ELECCIÓN DE LA CELDA 25](#_Toc520306712)

[7 PROCESO DE CARGA 27](#_Toc520306713)

[7.1 ESTUDIO DE LAS FORMAS DE CARGA 27](#_Toc520306714)

[7.1.1 CARGAS INALÁMBIRCAS 27](#_Toc520306715)

[7.1.1.1 Carga por resonancia magnética. 27](#_Toc520306716)

[7.1.1.2 Carga inductiva. 27](#_Toc520306717)

[7.1.1.3 Carga por materiales piezoeléctricos. 27](#_Toc520306718)

[7.1.2 CARGA SOLAR 27](#_Toc520306719)

[7.2 ELECCIÓN DEL MODELO DE CARGA 28](#_Toc520306720)

[7.3 ESTUDIO DE CARGA PARA BATERIAS LIFEPO4 29](#_Toc520306721)

[7.4 PARÁMETROS DE UNA BATERÍA 30](#_Toc520306722)

[7.4.1 Capacidad 30](#_Toc520306723)

[7.4.2 Corriente de carga 30](#_Toc520306724)

[7.4.3 Capacidad especifica 30](#_Toc520306725)

[7.4.4 Energía específica 30](#_Toc520306726)

[7.4.5 Potencia específica 30](#_Toc520306727)

[7.4.6 Vida media 30](#_Toc520306728)

[7.4.7 Efecto memoria 30](#_Toc520306729)

[7.4.8 Estado de salud (SoH) 31](#_Toc520306730)

[7.4.9 Estado de carga (SoC) 31](#_Toc520306731)

[7.4.10 Estado de función (SoF) 31](#_Toc520306732)

[7.4.11 Autodescarga 31](#_Toc520306733)

[7.4.12 Eficiencia 31](#_Toc520306734)

[7.4.13 Profundidad de descarga 31](#_Toc520306735)

[7.4.14 C-Rates 31](#_Toc520306736)

[7.5 ELECIÓN DEL CONJUNTO DE CARGA INDUCTIVA 31](#_Toc520306737)

[8 DISEÑO Y MONTAJE DEL PROTOTIPO 32](#_Toc520306738)

[8.1 SISTEMA DE CARGA 32](#_Toc520306739)

[8.2 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN 34](#_Toc520306740)

[8.2.1 INSTALACIÓN HARDWARE 34](#_Toc520306741)

[8.2.2 INSTALACIÓN SOFTWARE 37](#_Toc520306742)

[8.2.2.1 Linux 37](#_Toc520306743)

[8.2.2.2 Instalación de Bibliotecas 37](#_Toc520306744)

[9 ENSAYOS 38](#_Toc520306745)

[9.1 RECOGIDA DE DATOS DE LA ALIMENTACION DE RASPBERRY PI 38](#_Toc520306746)

[9.1.1 Shell Scripts 42](#_Toc520306747)

[9.1.1.1 Shell Script Descarga 42](#_Toc520306748)

[9.1.1.2 Shell Scripts Alimentación 43](#_Toc520306749)

[9.1.2 Resultados 44](#_Toc520306750)

[9.1.2.1 Descarga 44](#_Toc520306751)

[9.1.2.2 Alimentación 46](#_Toc520306752)

[9.2 RECOGIDA DE DATOS DE CARGA DE LA BATERÍA 46](#_Toc520306753)

[9.2.1 Lenguaje y construcción del Software 47](#_Toc520306754)

[9.2.2 Estructura 48](#_Toc520306755)

[9.2.3 Protocolo de comunicación 48](#_Toc520306756)

[9.2.4 Descripción de ficheros 48](#_Toc520306757)

[9.2.5 Resultados 64](#_Toc520306758)

[9.2.6 CONEXIONES 65](#_Toc520306759)

[10 CONCLUSIONES 67](#_Toc520306760)

[11 BIBLIOGRAFÍA 69](#_Toc520306761)

[12 ANEXO I. - LIFEPO4WERED/PI. 71](#_Toc520306762)

[13 ANEXO II. - LIFEPO4WERED/USB. 71](#_Toc520306763)

[14 ANEXOIII. - IFR14500EC (DATA SHEET) 71](#_Toc520306764)

[15 ANEXOIV. - ADS1118 (DATA SHEET) 71](#_Toc520306765)

ÍNDICE DE TABLAS

[Tabla 1. Tipos de baterías de Li-ion. Fuente: [11]. 8](#_Toc520306766)

[Tabla 2. Características de las baterías. Fuente: [10]. 10](#_Toc520306767)

[Tabla 3. Tabla Comparativa LI-ION 14](#_Toc520306768)

[Tabla 4. CORRIENTES ALMINETACION RPI. 20](#_Toc520306769)

[Tabla 5. CONFIGURACION DE BIT DEL ADS1118. 62](#_Toc520306770)

[Tabla 6. CONEXIÓN CONVERSOR ads1118. 66](#_Toc520306771)

ÍNDICE DE FIGURAS

[Fig 1. Proceso Electrolítico. Recuperado de https://lidiaconlaquimica.wordpress.com/tag/celda-electrolitica/ 3](#_Toc520306772)

[Fig 2. Tipos de Conexión de Celdas. Recuperado de https://bateriasyamperios.com/guia-e-instalacion/baterias-en-serie-y-paralelo-como-debo-conectar/ 4](#_Toc520306773)

[Fig 3. Raspberry Pi modelo 1. Recuperado de https://www.luisllamas.es/modelos-de-raspberry-pi/ 16](#_Toc520306774)

[Fig 4. Raspberry Pi modelo 2. Recuperado de https://www.luisllamas.es/modelos-de-raspberry-pi/ 17](#_Toc520306775)

[Fig 5. Raspberry Pi Zero. Recuperado de https://www.luisllamas.es/modelos-de-raspberry-pi/ 17](#_Toc520306776)

[Fig 6. Raspberry Pi modelo 3. Recuperado de https://www.luisllamas.es/modelos-de-raspberry-pi/ 18](#_Toc520306777)

[Fig 7. Raspberry Pi Zero W. Recuperado de https://www.luisllamas.es/modelos-de-raspberry-pi/ 19](#_Toc520306778)

[Fig 8. LiPo SIM. Recuperado de pimorini.com 21](#_Toc520306779)

[Fig 9. LiFePo4 Wered/Pi. Recuperado de tindie.com 22](#_Toc520306780)

[Fig 10. Funcionamiento de baterías de ion-litio. Recuperado de aficionadosalamecanica.com 24](#_Toc520306781)

[Fig 11. Conjunto carga inductiva 1. Recuperado de https://www.adafruit.com/product/1407 29](#_Toc520306782)

[Fig 12. Conjunto carga inductiva 2. Recuperado de http://slideflix.net/doc/868974/baterias-inductivas 29](#_Toc520306783)

[Fig 13. Módulo de carga inalámbrico. 32](#_Toc520306784)

[Fig 14. Módulo de carga. Recuperado de Tindie. 33](#_Toc520306785)

[Fig 15. Conexión carga micro USB. Recuperado de Tindie. 34](#_Toc520306786)

[Fig 16. GPIO Raspberry Pi Zero 35](#_Toc520306787)

[Fig 17. LiFePO4wered/Pi conectado a Raspberry Pi Zero 36](#_Toc520306788)

[Fig 18. Datos descarga 1. 44](#_Toc520306789)

[Fig 19. Datos descarga 2. 45](#_Toc520306790)

[Fig 20. Datos alimentación. 46](#_Toc520306791)

[Fig 21. Datos de carga 1. 64](#_Toc520306792)

[Fig 22. Datos de carga 2. 64](#_Toc520306793)

[Fig 23. Conexiones conversor ads1118. 65](#_Toc520306794)

[Fig 24. Pines SPI RPi Zero. Recuperado de https://pinout.xyz/# 66](#_Toc520306795)

# ANEXO I. - LIFEPO4WERED/PI.

# ANEXO II. - LIFEPO4WERED/USB.

# ANEXOIII. - IFR14500EC (DATA SHEET)

# ANEXOIV. - ADS1118 (DATA SHEET)