



industriales
etsii

**Escuela Técnica
Superior
de Ingeniería
Industrial**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

**Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Industrial**

**SISTEMA DE CONTROL DE POTENCIAL Y
TEMPERATURA DE BATERÍAS DURANTE EL
PROCESO DE CARGA Y DESCARGA.**

TRABAJO FIN DE GRADO

**GRADO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL**

**Autor: José Antonio Martínez
Morales**

**Director: Antonio Jesús Fernández
Romero**



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Cartagena, 05/07/2019

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 APRENDIZAJE SOBRE ARDUINO.....	4
1.2 SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN DE BATERIAS (BMS)	6
2. COMPONENTES DE UNA BATERÍA.....	7
2.1. LA PILA.....	7
2.1.1. TIPOS DE PILAS	8
3. SISTEMA DE MEDIDA DEL POTENCIAL Y TEMPERATURA	14
3.1 MEDIDA DEL POTENCIAL DE LA BATERÍA	14
3.2 MEDIDA DE LA TEMPERATURA	17
4. CREACIÓN DE UNA BATERIA CONECTANDO 4 PILAS EN SERIE DE NI-MH	19
5. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CADA UNA DE LAS PILAS DE LA BATERIA	21
5.1. MONITORIZACIÓN DEL POTENCIAL DE LAS 4 PILAS POR SEPARADO.....	21
5.2. MONITORIZACIÓN DE LA TEMPERATURA.....	24
6. SISTEMA DE CARGA.....	26
6.1. SISTEMA DE CARGA 1	27
6.1.1. GRÁFICAS DE CARGA Y ESQUEMÁTICOS DEL MONTAJE CON EL SISTEMA DE CARGA 1	31
6.2. SISTEMA DE CARGA 2	36
6.2.1. GRÁFICAS DE CARGA Y DESCARGA DEL MONTAJE CON EL SISTEMA DE CARGA 2 ...	42
7. CONTROL DE LA BATERÍA	48
7.1. CONTROL DE VOLTAJE.....	48
7.2. CONTROL DE LA TEMPERATURA	51
8. CONCLUSIONES FINALES	52
9. BIBLIOGRAFIA.....	53
ANEXO 1 CODIGOS DE PROGRAMACION	56

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto a desarrollar durante este trabajo consiste en crear un sistema de monitorización de baterías o comúnmente abreviado como BMS (Battery Management System) mediante la plataforma arduino. Para ello debemos de controlar la temperatura, el voltaje y la capacidad de las baterías en el proceso de carga y en su funcionamiento.

Para la realización de este proyecto crearemos en primer lugar los controles de temperatura y de voltaje de una sola pila de nuestro sistema para después ampliarlo hasta controlar una batería formada por 4 pilas conectadas en serie.

El control de temperatura se efectuará mediante la plataforma arduino y mediante un pequeño circuito electrónico. De esta plataforma obtendremos en una variable el valor en tiempo real de la temperatura de cada una de las pilas para poder controlar y trabajar sobre dicho valor según el requerimiento de funcionamiento de temperatura de nuestras pilas y detener el proceso de carga si hubiera algún valor anómalo en alguna de ellas.

El control de voltaje también se efectuará mediante arduino y mediante un circuito electrónico, en el cual obtendremos otra variable en tiempo real que nos dirá el valor de voltaje de cada una de las pilas y, además, manejaremos otra variable que nos indicará el valor total de voltaje de un sistema de pilas en serie.

Estas variables nos permitirán efectuar el control del proceso de carga y descarga de cada una de las pilas conectadas en serie, con el fin de mantener un voltaje individual de cada pila y un voltaje total de la batería dentro de los parámetros marcados.

El proceso de carga de las pilas también estará controlado por arduino, controlando tanto el valor de la temperatura al cargar, para no dañar la pila, como el voltaje. En este caso, si el voltaje de las pilas baja de un cierto valor, se procedería a la carga de dicha pila mediante su cargador correspondiente hasta que alcanzara el valor óptimo y así asegurar que la batería estuviese en su rango de voltaje correspondiente.

Se pretende conseguir que el sistema sea capaz de equilibrar los potenciales de cada batería dentro de unos límites, permitiendo su desconexión cuando los valores de voltaje y de temperatura medidos se encuentren fuera del rango establecido.

En este caso, las baterías usadas serán de Níquel-Metal Hidruro.

De forma complementaria, se creará un descargador de baterías para proporcionar rapidez en la realización de los experimentos, descargando las pilas de manera rápida y segura.

Dicho descargador estará compuesto por una resistencia de 6,8 ohmios y con su ayuda podremos obtener también gráficas del proceso de descarga de las pilas.

1.1 APRENDIZAJE SOBRE ARDUINO

Para la mejor realización de este proyecto ha sido necesario un aprendizaje básico previo de la plataforma arduino, la cual, apoyándose en montajes de circuitos electrónicos, nos ha ayudado a obtener los valores de las variables mediante programación. Pasamos a continuación a hacer una breve descripción de las partes y componentes de arduino.

Arduino es un sistema de hardware libre, que está basado en una placa de circuito impreso que incorpora un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñado para facilitarnos el uso de la tecnología electrónica en los proyectos que vayamos a realizar.

El hardware básicamente consiste en un microcontrolador montado sobre una placa. El microcontrolador es un circuito integrado programable que ejecuta los comandos almacenados en su memoria. Este se encuentra formado por tres partes diferenciadas y que son comunes a todas las computadoras: una unidad central, una memoria y periféricos de entrada y salida.

La placa utilizada para este proyecto es la arduino uno.

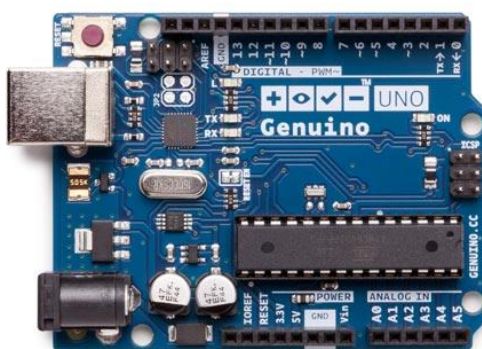


Ilustración 1. Plano placa arduino uno

Es la placa más común y sencilla de la plataforma arduino, creada en el año 2010, su microcontrolador es un ATmega328 y consta de las siguientes partes:

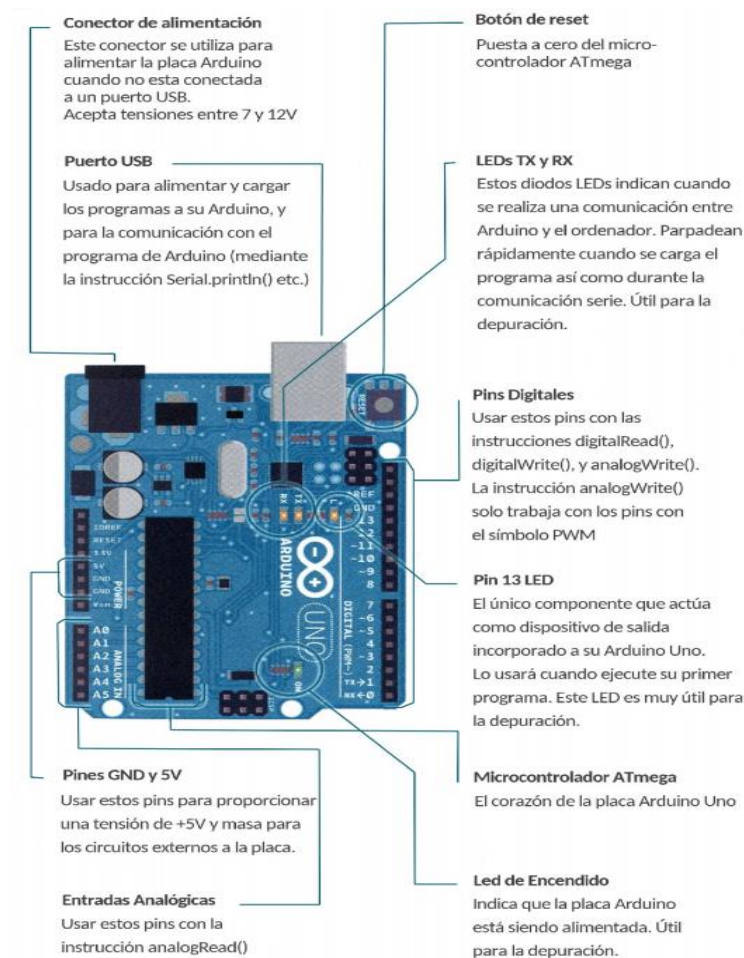


Ilustración 2. Esquema arduino UNO

El software incluye un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación propio de arduino, basado en el lenguaje de programación C++, el cual nos aporta como mejor característica su facilidad de uso y su sencillez.

Este software consiste en un entorno de desarrollo integrado conformado por un grupo de herramientas de programación. Está dispuesto en forma de programa de aplicación que dispone de todo lo necesario para llevar a cabo la programación y verterla a la placa de arduino UNO.

Incluye en una misma aplicación un editor de código, el compilador, un depurador y un constructor de interfaz gráfica, además de encargarse de cargar el programa ya compilado y revisado en la memoria flash de la placa para su uso inmediato por parte del usuario.

1.2 SISTEMAS DE MONITORIZACIÓN DE BATERIAS (BMS)

Un sistema de monitorización de baterías o BMS por sus siglas en inglés (Battery Management System) se encarga de gestionar una serie de baterías para su correcta carga y hacer un uso seguro de ellas.

Se encarga principalmente de impedir que en el proceso de carga cada una de las celdas o pilas que formen la batería se sobrecalienten debido a un exceso de temperatura. De la misma forma, también impide que existan sobretensiones o que alguna de las celdas caiga por debajo de un cierto rango de valores que afectaría al funcionamiento de la batería. En resumen, debe encargarse de:

-No permitir una sobrecarga de ninguna de las celdas o pilas que conformen la batería. En el caso de ser detectada la sobrecarga se procede a la desconexión de la carga o a la desconexión del cargador, según suceda en el proceso de carga o en el proceso de uso de la batería o descarga.

-No permitir una subcarga, es decir, no permitir que ninguna de las celdas o partes de la batería caigan de un rango de valores permitidos, para que se lleve a cabo el buen funcionamiento de la batería total. En este caso se mostrará un aviso de la celda que falla y se procederá a su comprobación o a su carga.

-No permitir un sobrecalentamiento excesivo de las baterías. Una vez detectada la temperatura excesiva se procederá a la desconexión de la carga o del proceso de carga hasta que se encuentre en un rango de temperatura adecuado para el funcionamiento del sistema de baterías.

2. COMPONENTES DE UNA BATERÍA

Para poder entender mejor el contexto en el que se encuentra nuestro proyecto, dedicaremos los siguientes puntos a introducir el concepto de pila, sus tipos y su composición de elementos químicos.

2.1. LA PILA

La pila eléctrica es un dispositivo en el que se realiza una conversión de la energía química que poseen los materiales activos de los electrodos, en energía eléctrica. Una vez cerrado el circuito interno de una pila, se genera una diferencia de voltaje entre ambos electrodos, los cuales sufren una serie de reacciones electro-químicas, en las que se produce una corriente de electrones entre ambos.

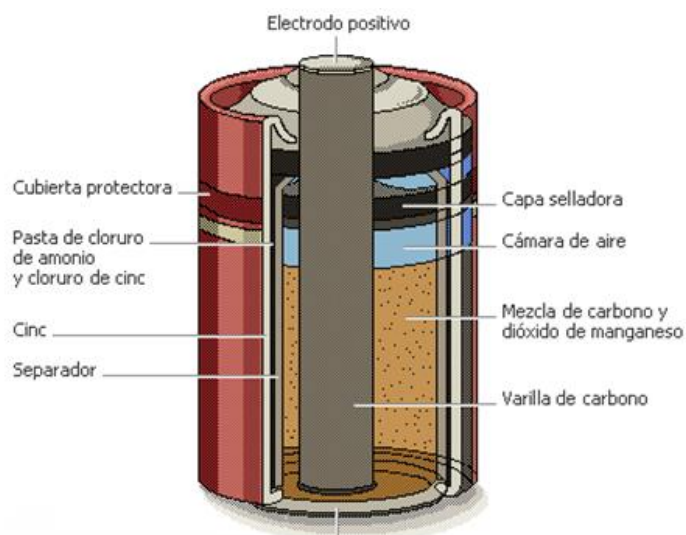


Ilustración 3. Pila eléctrica

A parte de los electrodos, positivo y negativo, que están conectados por un conductor metálico, por el que circulan los electrones, una pila necesita un electrolito, el cual tiene la función de cerrar el circuito interno, al permitir el transporte de iones entre ambos electrodos. Este electrolito puede ser sólido, en fase gel o líquido.

En el proceso de descarga de una pila, el electrodo negativo experimenta una reacción química de oxidación en la que se generan los electrones, los cuales viajan a través de un circuito externo hasta el electrodo positivo. En este electrodo se produce una reacción de reducción, en la que se aceptan los electrones producidos en el electrodo negativo.

Como hemos dicho, el electrolito es imprescindible para que haya un contacto iónico entre ambos electrodos.

2.1.1. TIPOS DE PILAS

Existen multitud de tipos de pilas en el mercado según su composición química, su forma y tamaño, su aplicación, etc., aunque la clasificación más simple se basa en si la pila es recargable o no.

2.1.1.1. PILAS NO RECARGABLES

Este grupo de pilas engloba todas aquellas que no pueden invertir su reacción química para ser usadas nuevamente. Son conocidas como pilas primarias o voltaicas.

La más conocida es la de Zn/MnO_2 , inventada por el químico francés Georges Leclanché en el año 1860.

La composición de este tipo de pilas es muy similar en todos los casos, pero difieren en los elementos químicos utilizados. Las más comunes son las que contienen un electrolito de cloruro de amonio y cloruro de zinc, el electrodo negativo está compuesto de zinc y el positivo consiste en una varilla de carbono con una película de dióxido de manganeso.

Estas pilas suelen ofrecer un voltaje de alrededor de 1,5 Voltios.



Ilustración 4. Pilas no recargables

Otro tipo de pila voltaica que ha sido bastante utilizada es la conocida como batería de mercurio, compuesta por una mezcla de zinc y óxido de mercurio. El electrodo negativo está compuesto de zinc, el positivo de óxido de mercurio y el electrolito es un gel de

hidróxido de potasio. Sin embargo, debido a la toxicidad del mercurio, actualmente ha dejado de fabricarse.

Este tipo de pila suele ofrecer un voltaje de en torno a 1,34 voltios.

Otro tipo de pila que también es digna de destacar en este apartado es el caso de las baterías de Zinc-Aire.

Las pilas de Zinc-Aire son baterías de tipo metal-aire, su funcionamiento consiste en la oxidación del zinc, en el ánodo, mientras que en el cátodo se reduce el oxígeno contenido en el aire. Esta pila nos suministra una alta energía específica debido a que uno de los materiales activos es el aire, que se incorpora a la pila a medida que se va descargando, haciendo así que disminuya el peso total del dispositivo.

Durante el proceso de descarga, las partículas de zinc forman al juntarse un ánodo poroso saturado con un electrolito, el oxígeno contenido en el aire reacciona en el cátodo y de esa reacción se obtienen iones de hidróxilo que viajan a la pasta de zinc y forman zincato. El zincato se descompone en óxido de zinc y el agua regresa al electrolito. El agua y el hidroxilo del ánodo se reciclan en el cátodo por lo que el agua no se consume. Estas reacciones producen un voltaje de entre 1,35 a 1,4 voltios por célula.

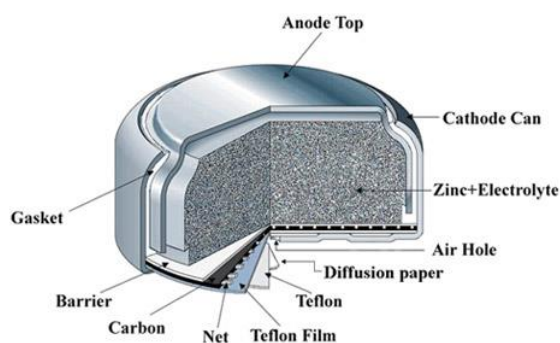


Ilustración 5. Batería de zinc-aire

En la actualidad se está trabajando en hallar un modo de poder efectuar la recarga de este tipo de baterías pero por el momento no existe un método efectivo para realizar la recarga.

Las primeras baterías recargables de zinc-aire se fabricaron en 1996 por el esloveno Miro Zoric.

Estas pilas se aplican principalmente en audífonos, debido a su bajo peso. Sin embargo, fueron desarrolladas para el campo del transporte, siendo utilizadas para impulsar

vehículos por primera vez en Singapur, donde los autobuses pequeños montaron por primera vez este tipo de baterías, que sustituyeron a las baterías estándar de plomo ácido, ofreciendo una densidad de energía y una relación de energía-peso mucho más altas.

En la actualidad se está trabajando a fondo para poder incorporarlas a los vehículos eléctricos ya que por sus propiedades las hacen el sustituto perfecto de las baterías actuales, las de ion-litio.

2.1.1.2. PILAS RECARGABLES

Este grupo engloba a las pilas que pueden revertir su reacción química volviendo al estado inicial. Esto se consigue pasando una corriente eléctrica en sentido contrario al flujo normal de los electrones de la pila.

-La primera pila recargable con utilidad real fue inventada por el físico francés Gastón Planté. Esta pila está compuesta por un electrodo de Plomo y otro de PbO_2 , usando como electrolito ácido sulfúrico. Hoy en día sigue siendo la más utilizada, aunque con diversas mejoras, y suele estar formada por 6 pilas conectadas en serie. Cada pila genera un potencial de 2 V, por lo que la batería completa suministra 12 V en total.

Para dar energía, el electrodo negativo se separa entre electrones libres e iones positivos de plomo, los electrones se mueven por el circuito externo que conecta ambos electrodos, mientras que los iones positivos de plomo reaccionarán con los iones de sulfato del electrolito para formar sulfato de plomo.

Los electrones vuelven a entrar en la pila mediante el electrodo positivo de dióxido de plomo y se produce una nueva reacción química, en la cual el dióxido de plomo reacciona con los iones de hidrógeno del electrolito y con los electrones produciendo agua e iones de plomo.

La reacción global de la pila es:



Como se observa, uno de los productos de la reacción es el agua, por lo que a medida que la pila se va descargando disminuye la cantidad de ácido sulfúrico y aumenta la cantidad de agua. Esto se traduce en una disminución de la concentración de ácido, por tanto, la medida de la densidad del electrolito se puede usar para conocer el estado de carga de la batería.

Debido a su excesivo peso, esta batería no es aplicable en muchos dispositivos, sobre todo los portátiles. En estos dispositivos se usan otro tipo de baterías, como las de Ión Litio, las Pilas Alcalinas o las de Níquel/Cadmio.

-En las Pilas alcalinas, el electrolito utilizado es de hidróxido de potasio, el zinc está en polvo. Son de larga duración. Casi todas vienen blindadas, lo que dificulta el derramamiento de los constituyentes.

-Las Pilas de Níquel/Cadmio, están formadas por un sistema compuesto por hidróxido de níquel, hidróxido de potasio y cadmio metálico. Pueden ser recargadas hasta 1000 veces y pueden llegar a durar decenas de años.

-Las pilas Níquel-MetalHidruro son las que hemos utilizado en nuestro experimento.

Constan de un ánodo compuesto de Hidróxido de Níquel y un cátodo de aleación metálica de hidruro. Las ventajas frente a las pilas de Ni-Cd son que se elimina el cadmio que es más caro y tóxico, pueden tener mayor capacidad de carga y tienen un efecto de memoria más bajo.

Las pilas de Ni-MH proporcionan un voltaje de 1,2 V y tienen una capacidad que oscila entre los 0,8 y los 2,9 mA*h. Los ciclos de carga oscilan entre las 500 y las 2000 cargas.

Una de sus ventajas es que no utilizan materiales tóxicos, si no que utilizan diferentes tipos de metales, por lo que son respetuosas con el medioambiente.

Duración de tres tipos de pilas a carga constante

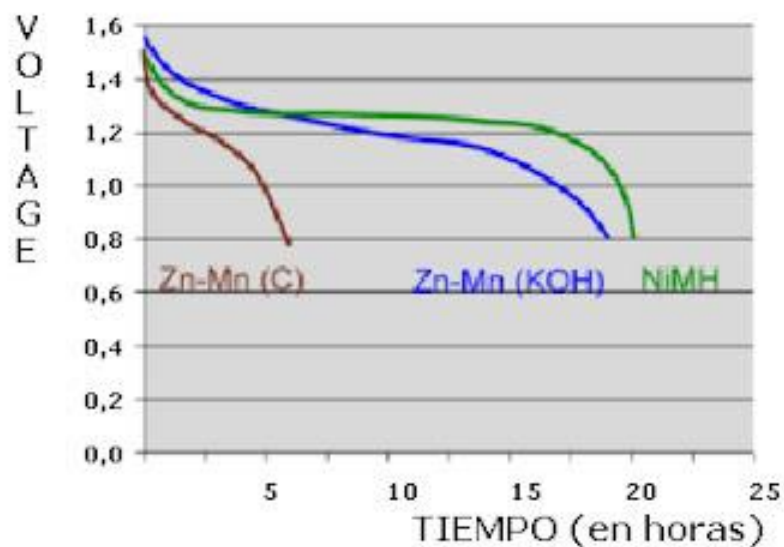


Ilustración 6 Comparación distintas clases pilas

-Las pilas de ion litio constan de 3 partes, cátodo, ánodo y un electrolito que las separa además de una membrana porosa que permite el paso de los iones. Generalmente en el cátodo se encuentra el litio en forma de compuesto de óxido de cobalto y litio, el ánodo es de grafito y el electrolito está compuesto por carbonato de etileno.

En el proceso de carga, cuando conectamos la pila a la corriente eléctrica, los iones van pasando del cátodo al ánodo atravesando el electrolito. Los iones de litio se van alojando en las diferentes capas del grafito del ánodo junto con los electrones. La carga se concluye cuando ya no hay flujo de iones momento en el cual la batería se encuentra totalmente cargada.

En el proceso de descarga los iones de litio pasan del ánodo al cátodo atravesando el electrolito. Los electrones por su parte también fluyen del ánodo al cátodo, pero lo hacen a través del circuito exterior o del dispositivo donde se encuentra conectada la pila, alimentándolo.

Este hecho se produce porque los iones de litio cuando se encuentran en el grafito se encuentran a un potencial electroquímico mayor del que tenían cuando se encontraban en el óxido de cobalto y litio.

El voltaje de este tipo de pilas se encuentra entre 3,5 V y 4 V.

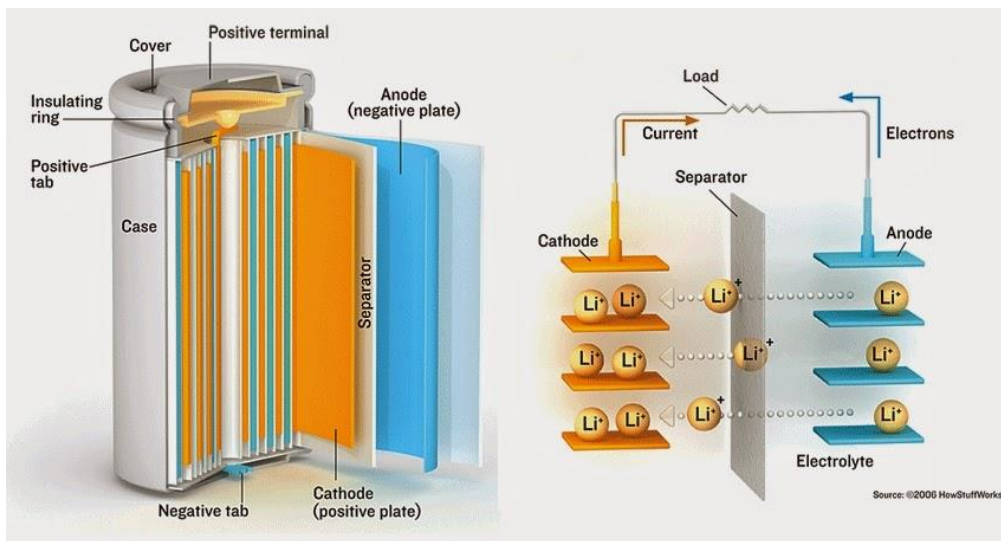


Ilustración 7 Funcionamiento batería Ion-Litio

Actualmente es el tipo de pila más usada gracias a su densidad de energía (120 Wh/Kg), que es superior a las anteriores tipos de pilas recargables Ni-Cd (50 Wh/Kg) y Ni-MH (80 Wh/Kg).

3. SISTEMA DE MEDIDA DEL POTENCIAL Y TEMPERATURA

En este apartado se describirá el sistema diseñado para medir el potencial de una pila y su temperatura. Obtendremos dichos valores en tiempo real y los alojaremos en variables a fin de poder controlar posteriormente la carga y la descarga de las pilas.

3.1 MEDIDA DEL POTENCIAL DE LA BATERÍA

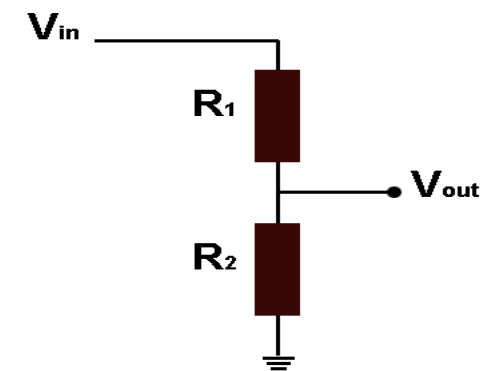
Para la realización de la medición del voltaje de la batería deberemos construir un circuito electrónico que debe incluir un divisor de tensión para proteger la placa de arduino, ya que el valor máximo de entrada analógica que tiene, que es de 5 V, sería insuficiente para nuestro caso, puesto que la batería estará compuesta por 4 pilas de 1,5 V y superaría los 5 V que arduino puede leer de manera segura.

Por seguridad hemos diseñado el divisor de tensión para que el voltaje medible alcance unos 30 V sin pérdida de precisión en la medida, de esta forma se podrán medir valores de distintas baterías, permitiendo que el sistema pueda ser utilizado en una variedad amplia de dispositivos.

El divisor de tensión estará formado por dos resistencias, una R1 de 100k y otra, R2 de 10k, por lo que aumentaremos el valor de tensión que puede medir arduino de 5V a 45V en teoría, pero dado que las resistencias tienen cierta tolerancia y la entrada de arduino también, tomaremos como margen de seguridad unos 30 o 35 V de voltaje máximo de la batería.

Para convertir el voltaje obtenido por el sensor analógico, que nos será dado de manera digital en fracciones de 1024, debemos dividir el valor del sensor entre 1024 y multiplicarlo por 5 V.

Una vez obtenido el voltaje real medido por el sensor analógico debemos compensarlo, ya que no está midiendo el valor real de la pila, sino que está midiendo a través del divisor de tensión, por lo que debemos multiplicar dicho voltaje obtenido por la relación del divisor de tensión. Así se obtendrá el valor real de voltaje de la pila o batería.



$$V_{out} = \frac{R_2 \times V_{in}}{R_1 + R_2}$$

Ilustración 8. Divisor de tensión

También añadiremos una ayuda visual a base de diodos led que nos indicará el estado de la batería según 3 rangos:

- Verde: La batería se encuentra entre unos valores normales de funcionamiento y no es necesario actuar.
- Amarillo: La batería empieza a bajar del rango óptimo de funcionamiento y deberemos proceder a su carga.
- Rojo: La batería ha bajado drásticamente su rendimiento y deberemos comprobar si se encuentra dañada.

Una vez realizados estos pasos, ya dispondremos en una variable el valor de voltaje actualizado según el periodo de tiempo que deseemos. Esto nos permitirá trabajar para efectuar el control del potencial de la pila en el proceso de carga.

El código de este montaje se encuentra en el ANEXO 1 CODIGOS DE PROGRAMACION en la sección 1.1:

1.1-Programa inicial medida de voltaje continua con arduino e indicador led según rango voltaje de la batería.

Fotos del montaje:

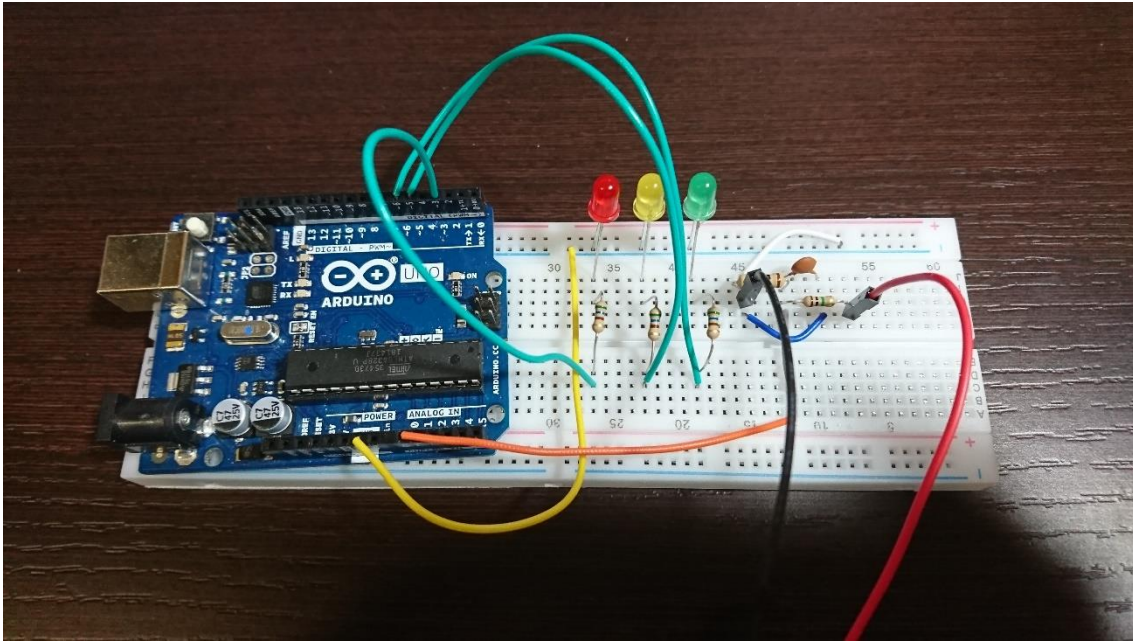


Ilustración 9. Montaje medidor voltaje batería

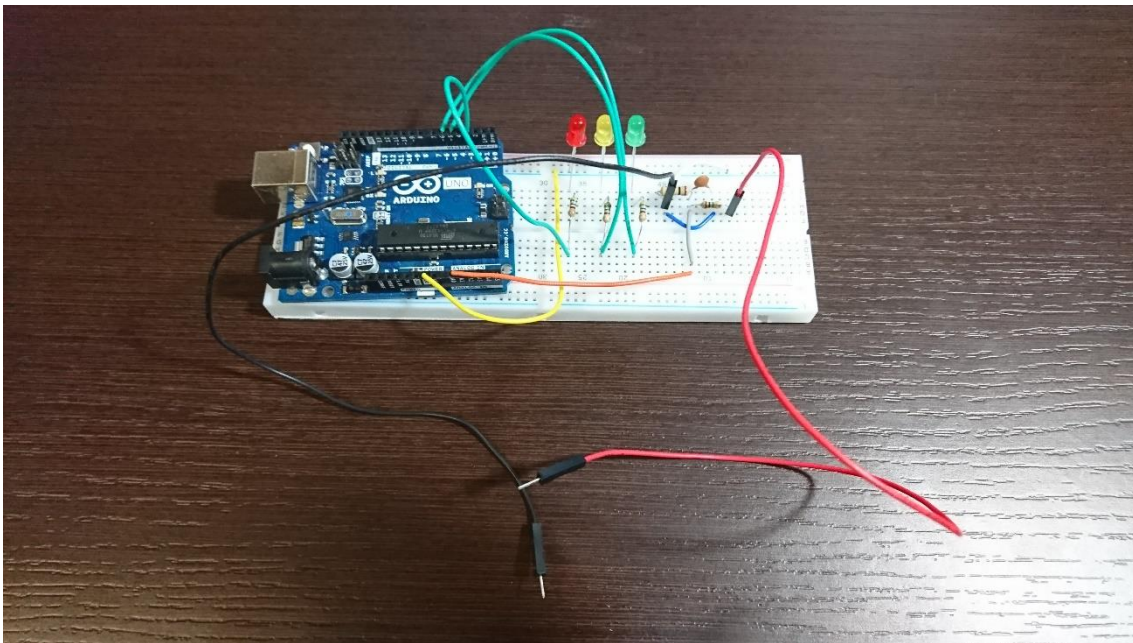


Ilustración 10. Montaje medidor voltaje batería

3.2 MEDIDA DE LA TEMPERATURA

Para la medición de la temperatura de la pila usaremos un sensor de temperatura analógico, un termopar, que conectaremos a nuestro arduino en una de las entradas analógicas. Para su correcto funcionamiento deberemos hacer una conversión:

- La entrada analógica nos dará un valor de voltaje que irá fraccionado de 0 a 1024 por lo que hay que adecuarlo al voltaje de la placa que es de 5 V para obtener el valor de voltaje real. Para ello, debemos dividir el valor del sensor de temperatura, que nos será dado en voltios, entre 1024 y multiplicarlo por 5 para que nos muestre el valor real de voltaje entre las patillas del arduino.
- Una vez transformado el voltaje de analógico a digital nos fijamos en la hoja de características del sensor de temperatura TMP36, la cual nos dice que ante una variación de temperatura de un grado, el sensor muestra una variación de voltaje de 10 mV. También se indica que el sensor puede medir temperaturas por debajo de los 0 grados, por lo que deberemos crear una compensación para los valores inferiores a 0 grados restando 0,5 al voltaje y multiplicándolo por 100 para obtener la temperatura en grados centígrados de manera precisa:

$$\text{Voltaje} = (\text{valor analógico del sensor}/1024)*5.0$$

$$\text{Temperatura} = (\text{Voltaje} - 0.5)*100$$

- Con estas variables podemos efectuar el control de temperatura de las baterías de manera sencilla, además de efectuar gráficas de temperatura con los valores obtenidos.

El código de este montaje se encuentra en el ANEXO 1 CODIGOS DE PROGRAMACION en la sección 1.1:

1.2-Programa medir temperatura de las pilas en tiempo real (una sola pila).

Foto del montaje:

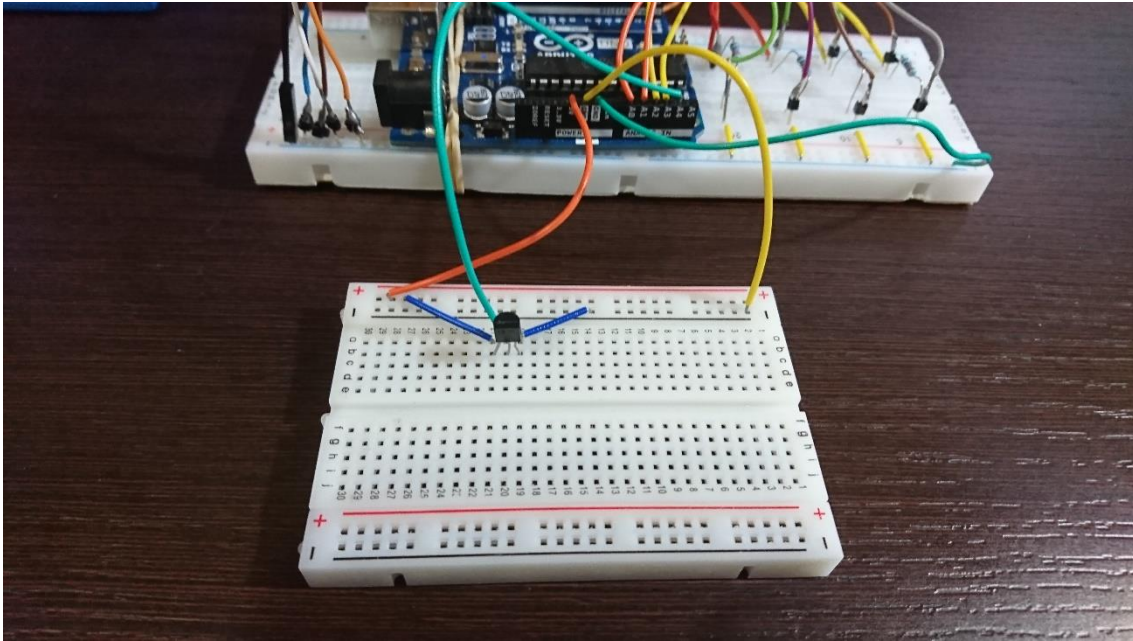


Ilustración 11. Montaje medidor temperatura pila

4. CREACIÓN DE UNA BATERIA CONECTANDO 4 PILAS EN SERIE DE NI-MH

Para llevar a cabo la conexión de las baterías en serie nos vamos a ayudar de un dispositivo (battery holder) creado por Bio-Logic Science Instruments, que nos sujete las baterías y que tenga varios accesos a ellas para realizar mediciones y conectarlas entre ellas (Ilustración 12 y 13).

Se pueden colocar hasta 4 pilas de diferentes tamaños para sujetarlas y lo más importante, tener acceso a los terminales negativo y positivo por la parte trasera y, además, contar con varios puntos de medición.

Gracias a este accesorio, se facilita la conexión de los polos negativos con los positivos, de forma que crearemos una batería de 4 pilas de Ni-MH conectadas en serie. Además, podremos acceder fácilmente a cada una de las pilas para realizar mediciones independientes en cada una de ellas.

La conexión para crear la batería será la siguiente:

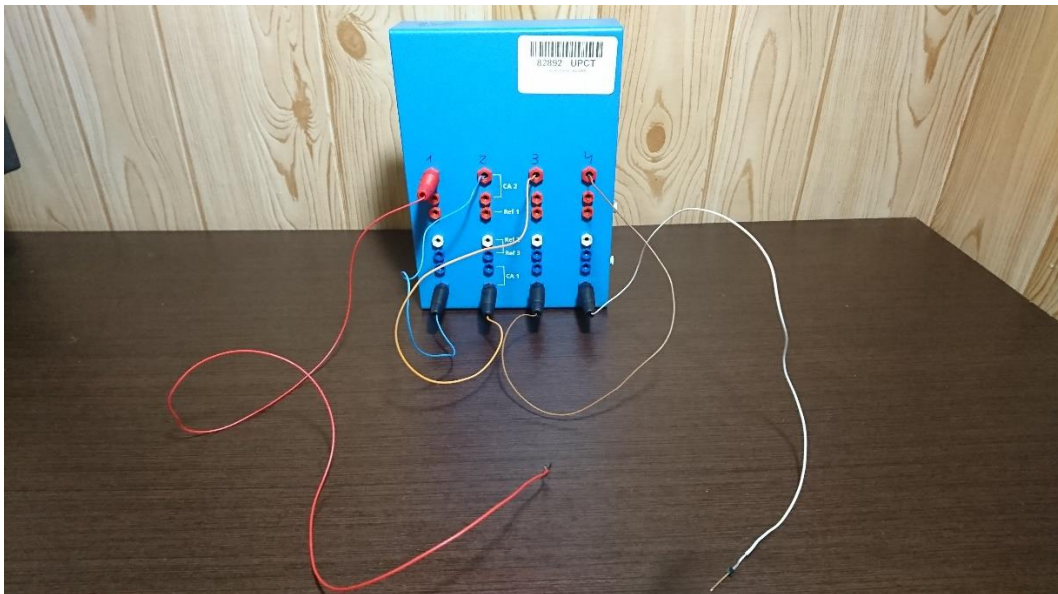


Ilustración 12. Conexión en serie usando el battery holder (BH) de Bio-logic Instruments.

Y nos quedarán dos terminales, el rojo será el positivo de nuestra batería y el blanco será el negativo.

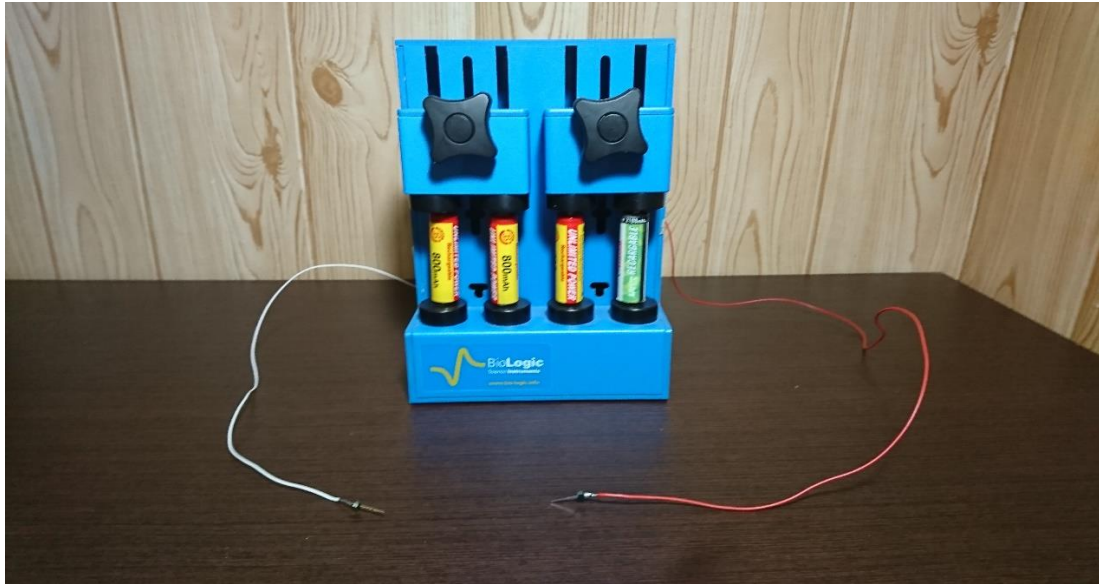


Ilustración 13. Pilas conectadas en serie en BH battery holder

Para comprobar el estado de la batería simplemente conectamos el terminal rojo (positivo) al terminal también rojo (positivo) del medidor de voltaje y el cable blanco (negativo) al cable negro (negativo) del medidor de voltaje.

Con este montaje podemos conocer en tiempo real el valor del voltaje total de la batería y en qué estado se encuentra de carga, pero esto es simplemente una monitorización del estado del voltaje en la batería.

Más adelante completaremos el control, efectuando una medida tanto de potencial como de intensidad de cada una de las pilas por separado, a lo que se añade un método de carga para cargar cada pila individualmente mediante arduino y su salida PWM, siglas de modulación por ancho de pulso (pulse-width modulation).

5. SISTEMA DE MONITORIZACIÓN DE CADA UNA DE LAS PILAS DE LA BATERIA

En este apartado crearemos un sistema para obtener por pantalla el valor de capacidad, voltaje y temperatura de cada una de las pilas que conforman la batería por separado.

No sólo mostraremos los valores por pantalla sino que quedarán almacenados en variables para su posterior uso, facilitando el control tanto en el proceso de carga como en el de descarga.

El código de programación para el sistema de monitorización completo (Voltaje, Intensidad y Temperatura) se encuentra en el ANEXO 1 CODIGOS DE PROGRAMACION en la sección: 1.3-CODIGO TODAS LAS PILAS (INTENSIDAD, VOLTAJE Y TEMPERATURA

5.1. MONITORIZACIÓN DEL POTENCIAL DE LAS 4 PILAS POR SEPARADO

Realizaremos la medida del potencial mediante el mismo circuito. En este caso no será necesario instalar un divisor de tensión para realizar la medida del voltaje, ya que las pilas por separado ya no superarán en ningún caso el voltaje límite de 5 V, que el máximo valor de las entradas analógicas de arduino.

Para la medida del potencial simplemente conectaremos los polos positivo y negativo de cada pila mediante cables a las entradas analógicas de arduino, conectando la parte positiva de la pila a cada entrada analógica de arduino y las partes negativas de las pilas a la patilla GND (Ground), como podemos observar en las ilustraciones 13, 14, y 15.

Para la medición de la intensidad de descarga de la pila colocaremos una resistencia entre los terminales positivo y negativo, para así, mediante la ley de ohm, obtener el valor de la intensidad que circula por la resistencia. Para que la medida sea precisa debemos colocar una resistencia de valor muy bajo para que no exista caída de potencial en la resistencia y así el valor de la intensidad sea lo más aproximado posible.

Esta medida, sin embargo, ha necesitado de una intervención adicional, ya que tras realizar diversos experimentos se ha llegado a la conclusión de que no es posible usar una resistencia de valor mínimo, ya que las entradas analógicas de arduino no tienen una resolución suficiente para medir esta cantidad mínima de variación. Este hecho, nos ha

obligado a colocar una resistencia de 220 ohmios, que es lo suficientemente grande para que la resolución de arduino detecte los cambios. Esta resistencia, por tanto, nos introduce un error, que podemos solventar compensándolo mediante el código de programación, comparando la salida de pantalla de la medición del arduino con el valor real de la intensidad en la resistencia medida con un multímetro.

De esta forma, mediante la ley de ohm, siendo el valor de la resistencia conocido, obtendremos el valor de voltaje a partir de la intensidad medida, utilizando así, solamente una entrada analógica de arduino para la medición de voltaje y de intensidad de descarga de cada pila.

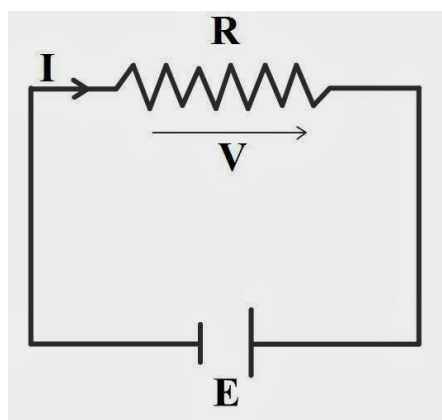


Ilustración 14. Ley de ohm

Fotos del montaje:

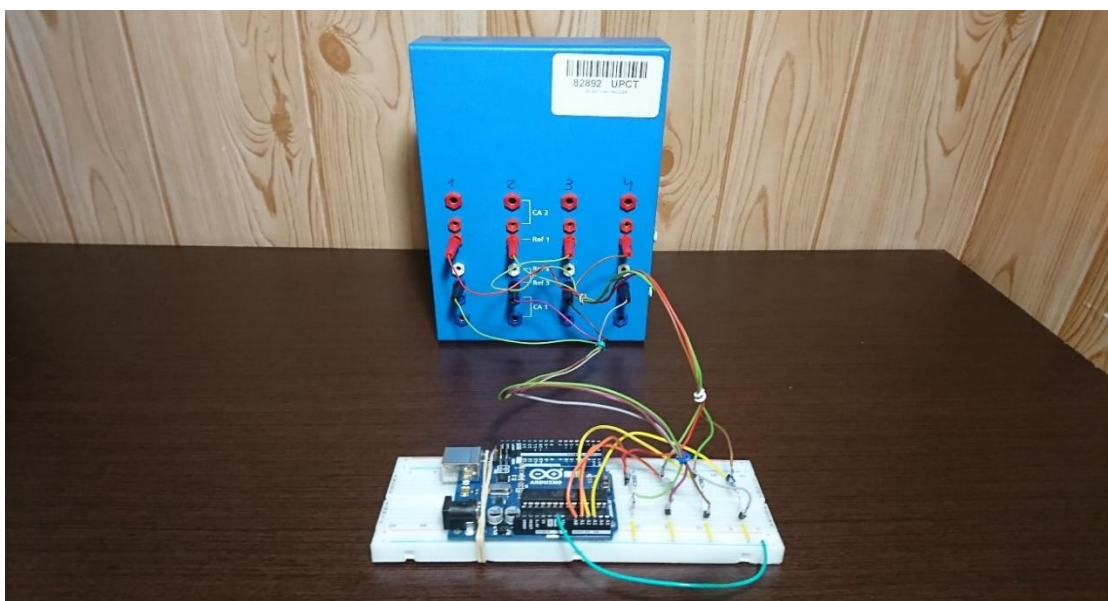


Ilustración 15. Montaje del circuito de monitorización de voltaje e intensidad de cada pila

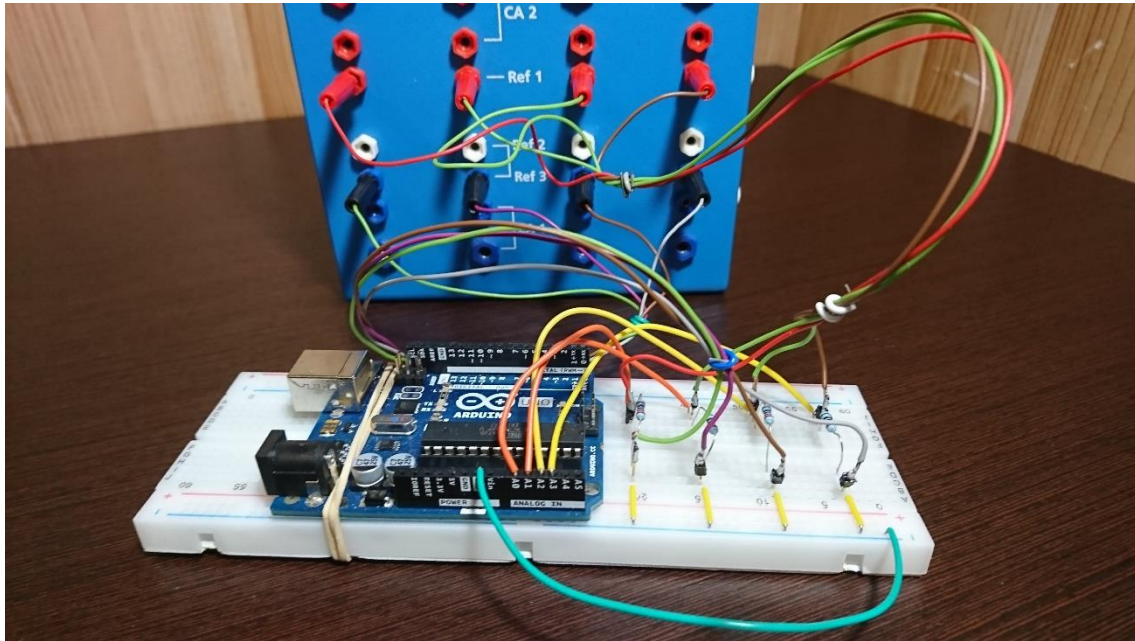


Ilustración 16. Montaje del circuito de monitorización de voltaje e intensidad de cada pila

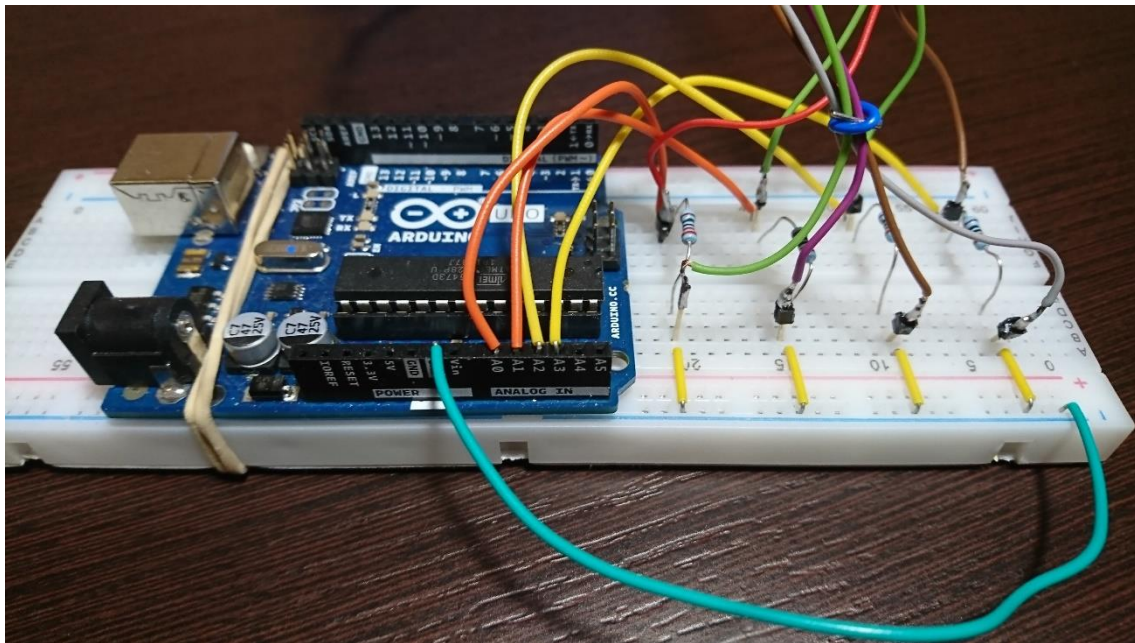


Ilustración 17. Detalle del circuito de monitorización de voltaje e intensidad de cada pila

5.2. MONITORIZACIÓN DE LA TEMPERATURA

Para el control de temperatura de cada una de las pilas utilizaremos el mismo circuito descrito anteriormente, en el apartado 3.2. Medida de la temperatura, pero montando, de la misma forma que en la ilustración número 11, otros 3 termopares.

Estos 4 termopares se conectarán a las entradas analógicas de arduino. Para realizar la medición correcta de la temperatura, cada uno de los termopares deberá pegarse a cada una de las 4 pilas.

Debido al tamaño del arduino utilizado para los experimentos, en la práctica montaremos solamente dos termopares, ya que sólo nos quedarían disponibles dos entradas analógicas después de realizar las mediciones de intensidad y de voltaje, como se puede apreciar en las ilustraciones 16, 17 y 18. De todas formas, se generará el código igualmente para posibilitar el montaje de los 4 en otro arduino con más entradas analógicas.

Fotos del montaje:

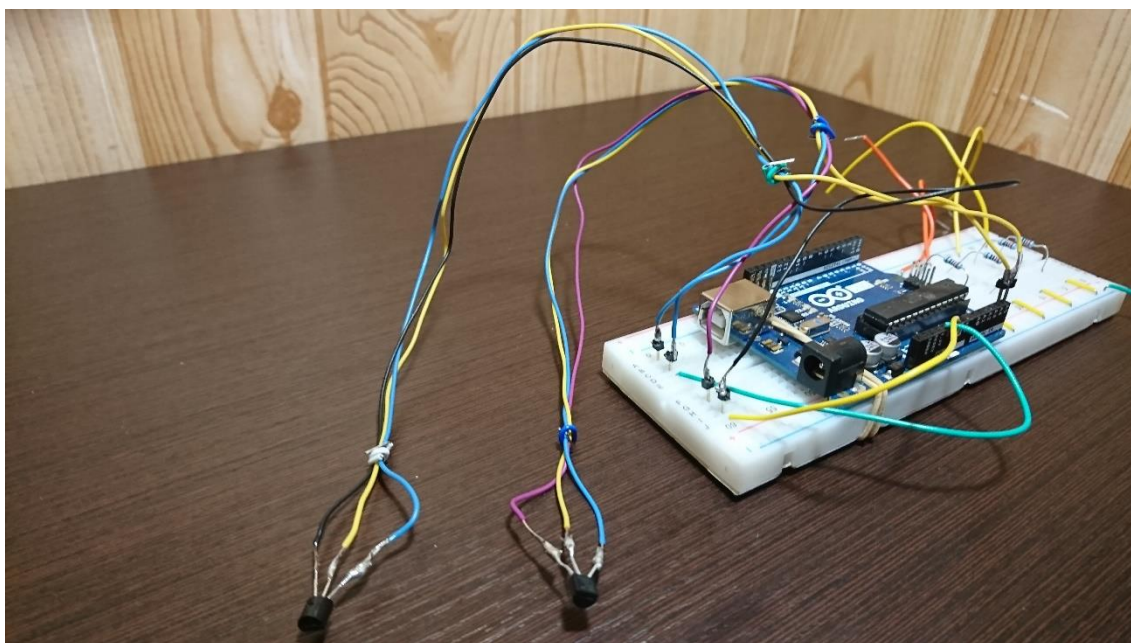


Ilustración 18. Montaje de dos termopares conectados a arduino.

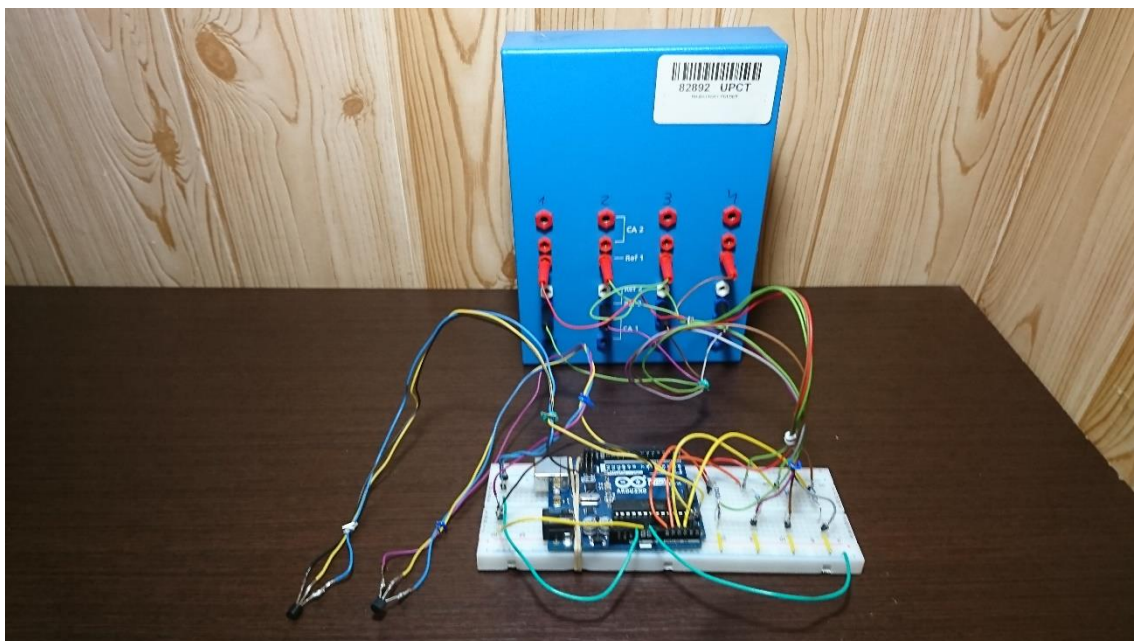


Ilustración 19. Montaje del circuito de monitorización de voltaje, intensidad y temperatura.

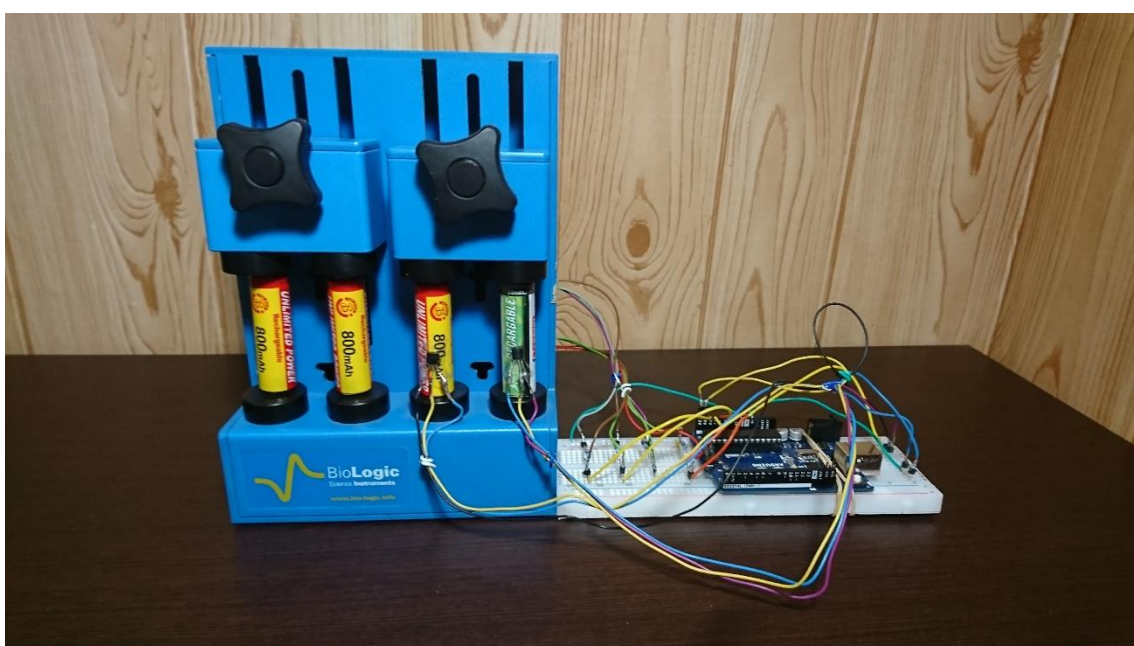


Ilustración 20. Detalle los termopares instalados en dos de las pilas

6. SISTEMA DE CARGA

En este apartado crearemos dos sistemas para cargar las pilas individualmente con arduino, los cuales vamos a controlar después mediante el sistema de monitorización creado anteriormente.

La carga se producirá bajo dos premisas o condiciones fundamentales:

1. Que la pila se encuentre por debajo de una cierta temperatura indicada de seguridad.

Con esto se consigue evitar daños en las pilas mientras se produce la carga, ya que si se sobrepasa el valor fijado de temperatura que se considere dañino para cada tipo de pila, la carga se detendrá inmediatamente conservando la pila en condiciones óptimas y no dañándola.

Este es el principal sistema de seguridad, lo cual quiere decir que será condición indispensable para llevar a cabo la carga que la temperatura de la pila se encuentre dentro del rango permitido.

2. Que la pila se encuentre por debajo de un valor fijado de voltaje.

Al rebasar el límite de voltaje fijado, por debajo del cual se podría producir un deterioro de la pila, que mediante experimentos hemos establecido en 0,9 V, se activará el sistema de carga de cada pila individualmente. De este modo podemos mantener el potencial de la batería siempre dentro de un rango de funcionamiento óptimo, ya que podremos mantener las pilas individualmente cargadas al valor óptimo de funcionamiento de toda la batería, es decir, podemos cargar cada pila que descienda de 0,9 V al completo, unos 1,4, mientras las demás se encuentran descargando o en uso. Así, siempre mantenemos un voltaje total por encima del mínimo exigido del total de la batería completa, ya que al no descender ninguna pila de 0,9 V y seguir todas ellas en uso, hasta las que se encuentren cargando, podemos tener en el peor de los casos un voltaje mínimo de $0,9*4=3,6$ V.

Variando el límite inferior de cada una de las pilas podemos establecer distintos voltajes mínimos de la batería completa, por ejemplo, si cambiamos el límite inferior de 0,9 V a 1,1 V obtenemos un voltaje mínimo asegurado de la batería conformada por todas las pilas conectadas en serie de $1,1*4=4,4$ V y un máximo de $1,4*4=5,6$ V.

6.1. SISTEMA DE CARGA 1

El sistema de carga 1 elegido será a través de las salidas digitales de arduino que contienen salida PWM, las cuales podemos activar o desactivar simplemente poniendo a HIGH cada una de las salidas, siendo las utilizadas para este caso la 3, 5, 6 y 9.

Estas salidas de modulación por ancho de pulso nos permiten generar un voltaje promedio desde los 0V hasta los 5V mediante la modulación del ancho de pulso de una señal cuadrada.

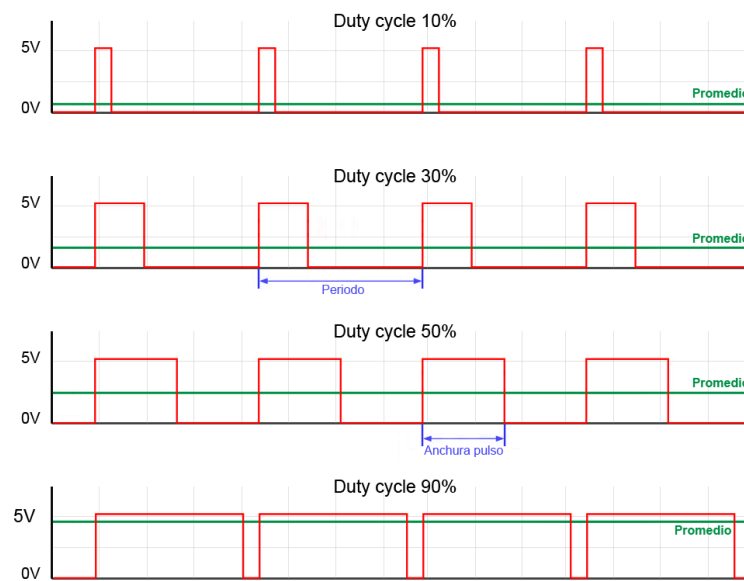


Ilustración 21. PWM modulación por ancho de pulso

El *duty cycle* es el tiempo que está la señal encendida, generando una aproximación a una señal analógica alterna. Pero en nuestro caso sería un problema, ya que necesitamos corriente continua para efectuar la carga de las pilas.

La solución es hacer pasar esta señal por un filtro paso bajo, compuesto por una resistencia y un condensador, el cual nos dará un voltaje promedio continuo aproximado y obtendremos una tensión en continua estable entre 0 y 5 voltios, como la generada por el PWM.

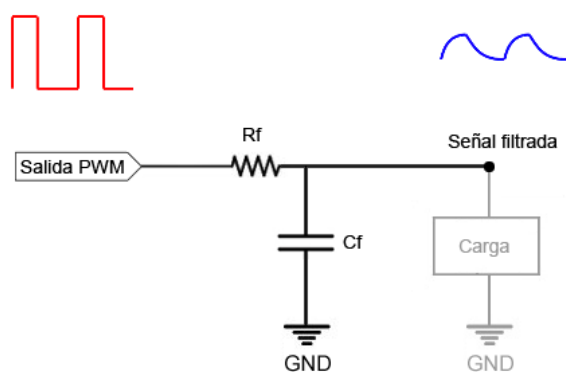


Ilustración 22. Circuito RC PWM

El valor de continua tendrá un cierto rizado, pero para nuestro caso no es de importancia, ya que las pilas tienen un amplio rango de voltaje de carga.

Con este circuito ya podemos obtener el valor de tensión continua que deseemos, simplemente variando el ancho del pulso del PWM de arduino conseguiremos la señal deseada.

Este PWM es de 8 bits, por lo que está dividido en 255 partes. Para obtener las señales que deseamos, sabemos que en la salida analogWrite del programa 255 se corresponde con 5 V, mientras que para 0 tendríamos 0 V. Por tanto, simplemente tendríamos que aplicar una regla de tres para saber el potencial experimental.

Variando los valores del ancho de pulso podremos tener valores de tensión continua para la carga desde 0 V hasta 5 V y lo modificaremos según el tipo de pila que queramos cargar.

Hemos establecido la norma de que la primera vez que se conecta el programa se proceda a la carga completa de todas las pilas que se encuentren conectadas.

Las salidas las activaremos al detectar que la pila ha bajado su valor de tensión de 0,9 V y quedarán activadas hasta llegar al valor máximo de carga, unos 1,4 V en este caso concreto pero que se podrá modificar según el material del que se compongan las pilas.

Al llegar a este límite se desconectará la carga poniendo cada una de las salidas a LOW parando la carga por lo que podrán ser utilizadas nuevamente a carga completa, hasta que se vuelvan a descargar.

Al descargarse nuevamente por debajo de los 0,9 V se volverán a activar las salidas repitiendo el proceso nuevamente.

Estos límites serán determinados por el sistema de monitorización, que nos generará unas gráficas en las que podremos observar los límites que necesitaremos para nuestro cometido.

Podremos actuar sobre las pilas con este sistema de carga, por lo que ya tenemos un control sobre ellas, al poder monitorizar su valor en tiempo real y poder actuar sobre ellas dependiendo de este valor.

Este sistema de carga ha sido escogido por ser sencillo de controlar mediante arduino y encontrarse en un mismo dispositivo tanto el sistema de carga como el sistema de control pero la carga se produce a una velocidad muy reducida, ya que arduino es capaz de generar solamente unos 25mA por cada una de sus salidas y el tiempo de carga de las pilas puede llegar a ser demasiado largo y generar fallos, como podemos observar en la ilustración número 26, por lo que hemos creado un método de carga alternativo y más rápido que suministrará alrededor de 180 mA constantes, reduciéndose considerablemente el tiempo de carga de las pilas.

Además el nuevo sistema de carga se encontrará diferenciado del sistema de control, generando así una protección extra a nuestro arduino, que estará separado del sistema de carga mediante relés.

A continuación realizaremos varios experimentos y comprobaciones con este sistema de carga número uno para estudiar su viabilidad.

Fotos del montaje del sistema de carga 1 con arduino:

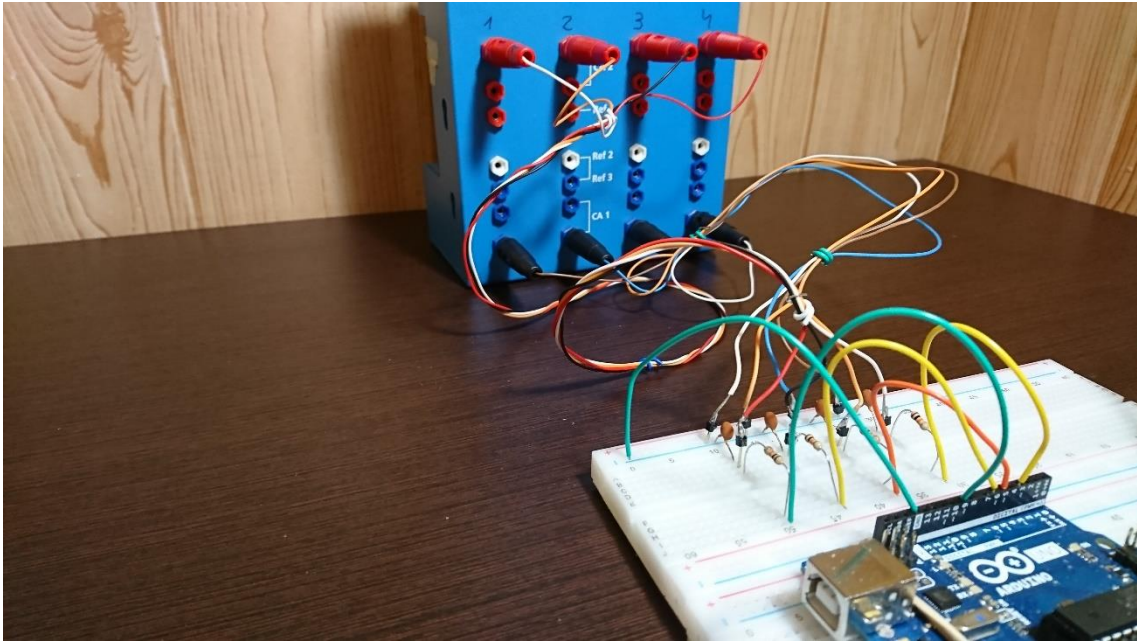


Ilustración 23. Sistema de carga 1

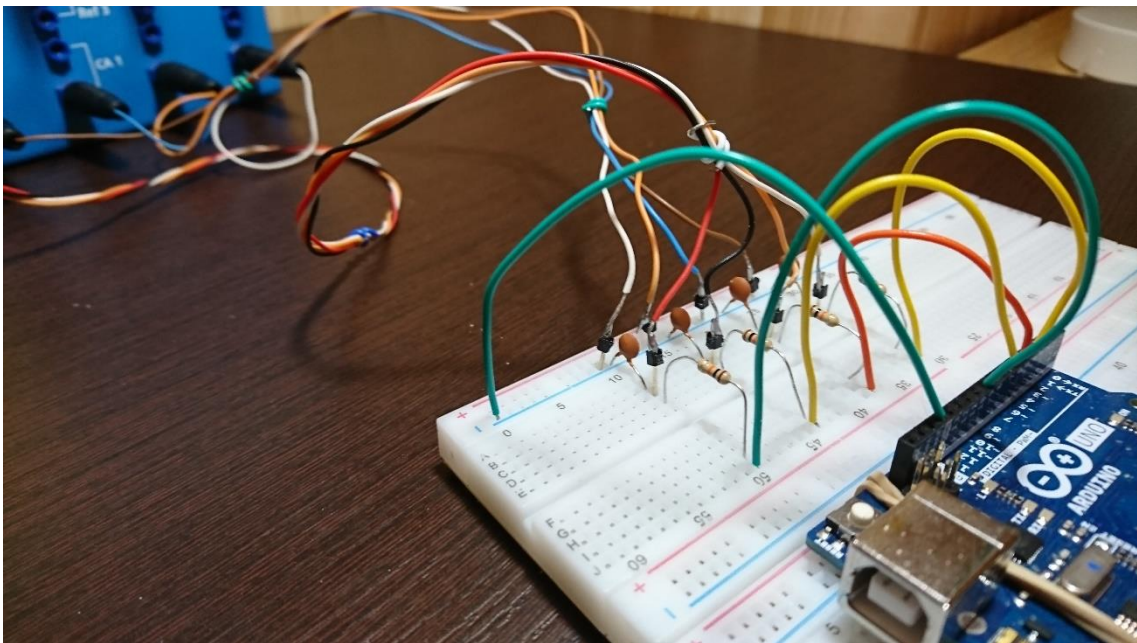


Ilustración 24. Detalle sistema de carga circuito

6.1.1. GRÁFICAS DE CARGA Y ESQUEMÁTICOS DEL MONTAJE CON EL SISTEMA DE CARGA 1

Gráfica tras hora y media de carga

Como podemos observar, la carga desde 0 hasta los 0,9V de una pila completamente descargada se produce en un periodo de tiempo muy pequeño, de unos 60 segundos aproximadamente, y a continuación aumenta muy poco a poco, cargando en la hora y media restantes de 0,9V hasta 1,2V aproximadamente.

Transcurrida esta hora y media observamos en la ilustración 25 que la pila se ha cargado hasta los 1,2 V de su capacidad total, pero para alcanzar su valor de carga completa debemos de esperar hasta que su voltaje ascienda por encima de los 1,4V, momento en el cual la pila se encontrará a su voltaje máximo y a su máxima capacidad.

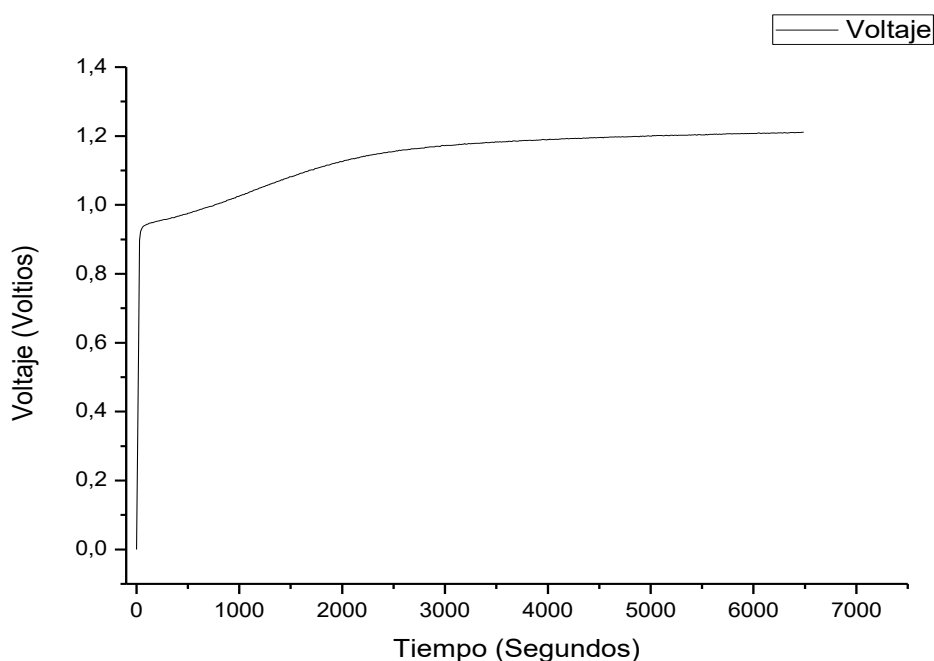


Ilustración 25. Gráfica carga de la pila mostrando voltaje vs. Tiempo

Gráfica después de 8 horas de carga

En esta gráfica observamos que después de transcurrida una hora, el voltaje aumenta muy lentamente hasta los 1,3V y observamos que con este sistema de carga número 1 no llegamos a superar los 1,4V necesarios para alcanzar la carga completa de este tipo de baterías Níquel Metal-Hidruro usadas en este experimento en un tiempo acorde con los estándares del mercado, ya que como se puede observar en la ilustración 26 la gráfica nos muestra que transcurridas 10 horas de carga aún no hemos sobrepasado los 1,3 V por lo que estimamos que el tiempo restante para alcanzar los 1,4 V es demasiado elevado. Por tanto, llegamos a la conclusión de que éste sistema de carga número 1 no es útil para cargar las baterías por completo en un tiempo razonadamente decente. Debido a la baja intensidad que puede suministrar arduino (21mA), además de ser muy lento el proceso de carga, éste método nos genera un fallo, que nos imposibilita terminar la carga por encima de los 1,4V necesarios.

En la siguiente gráfica (Ilustración 26) se muestra el voltaje registrado frente al tiempo. Como puede verse, a las 8 horas de carga se observa el fallo comentado, caída brusca del potencial, además de hacerse patente la lentitud del sistema de carga número 1.

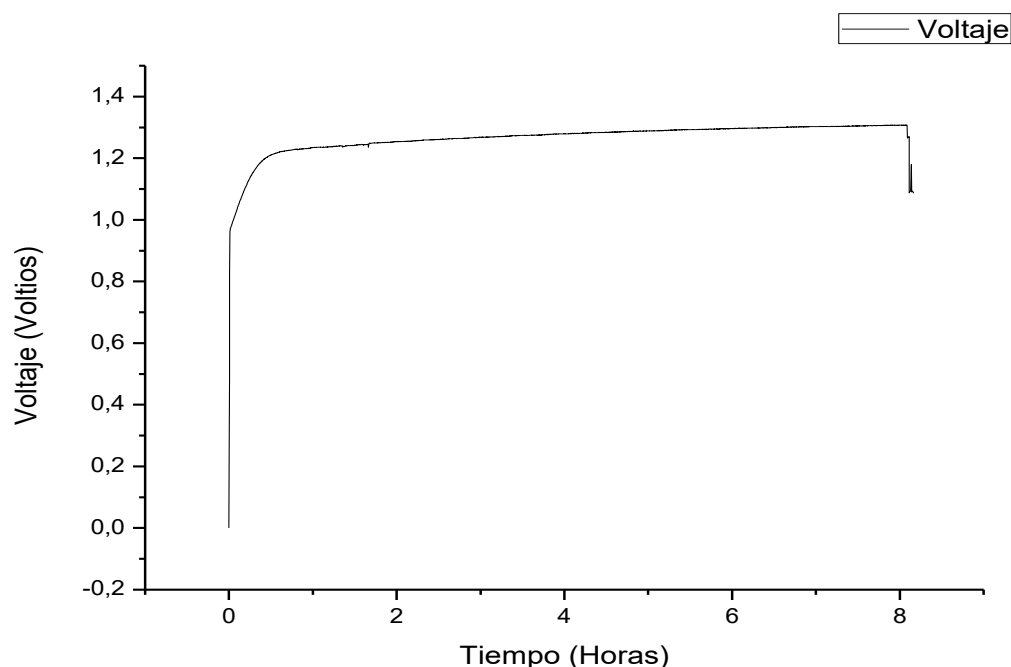


Ilustración 26. Gráfica de voltaje registrado durante 8 horas carga

Por este motivo se ha diseñado un segundo sistema de carga que sea capaz de completar la carga de las baterías al 100%, en un tiempo razonable y acorde con los cargadores de baterías en el mercado.

Esquemático del montaje completo del BMS con sistema carga 1

A continuación, se describe el esquemático del montaje completo, diferenciando cada una de las partes:

-Circuito de monitorización de la capacidad y el voltaje:

Situado en la placa A , se encarga de monitorizar el valor de intensidad a la que se descargan las pilas mediante una resistencia de 220 ohmios, en la cual mediremos la intensidad que pasa a través de ella y, además, obtendremos el voltaje al multiplicar la intensidad medida por el valor de la resistencia, 220 ohmios.

-Circuito de medición de la temperatura:

Se sitúa en la protoboard B, que no es necesaria ya que simplemente la hemos usado para que se vea de forma más clara que la patilla izquierda del termopar se conecta al terminal de +5 V de arduino y que la patilla derecha se conecta a masa. La patilla central será la que nos genere la medida y estará conectada a las entradas analógicas de nuestro arduino. Al no contar con más entradas analógicas en nuestra placa, solamente conectaremos dos termopares con la conexión completa, quedando los dos restantes a falta de colocar la patilla central a otra entrada analógica de un arduino con más entradas disponibles.

-Circuito de carga:

Situado en la protoboard C, se encarga de cargar cada pila por separado. En este se ha usado un circuito RC para transformar la señal PWM de la salida, que controlaremos de arduino, por una señal de tensión e intensidad continua, que podremos variar de valor simplemente definiendo el ancho de los pulsos de la señal PWM.

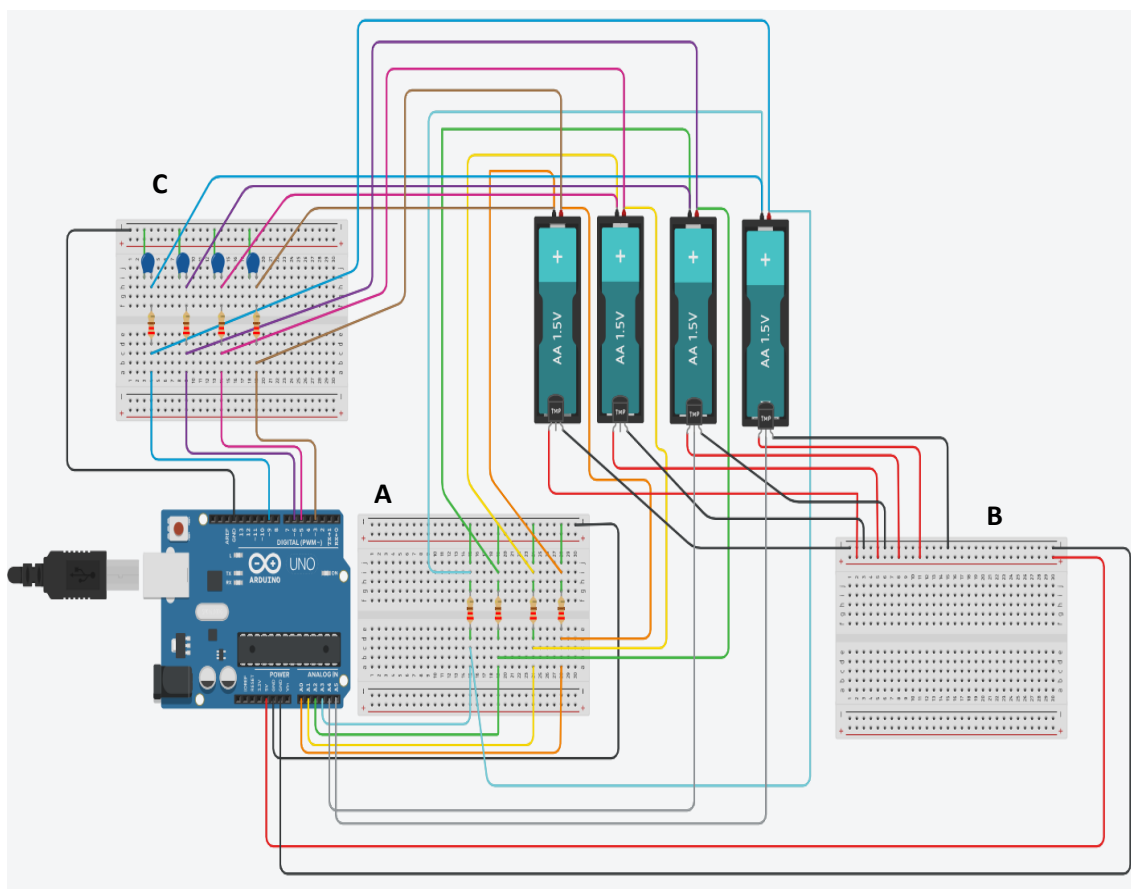


Ilustración 27. Esquemático del montaje completo BMS

Fotos del montaje completo del sistema BMS con el sistema de carga 1 creado para la plataforma arduino:

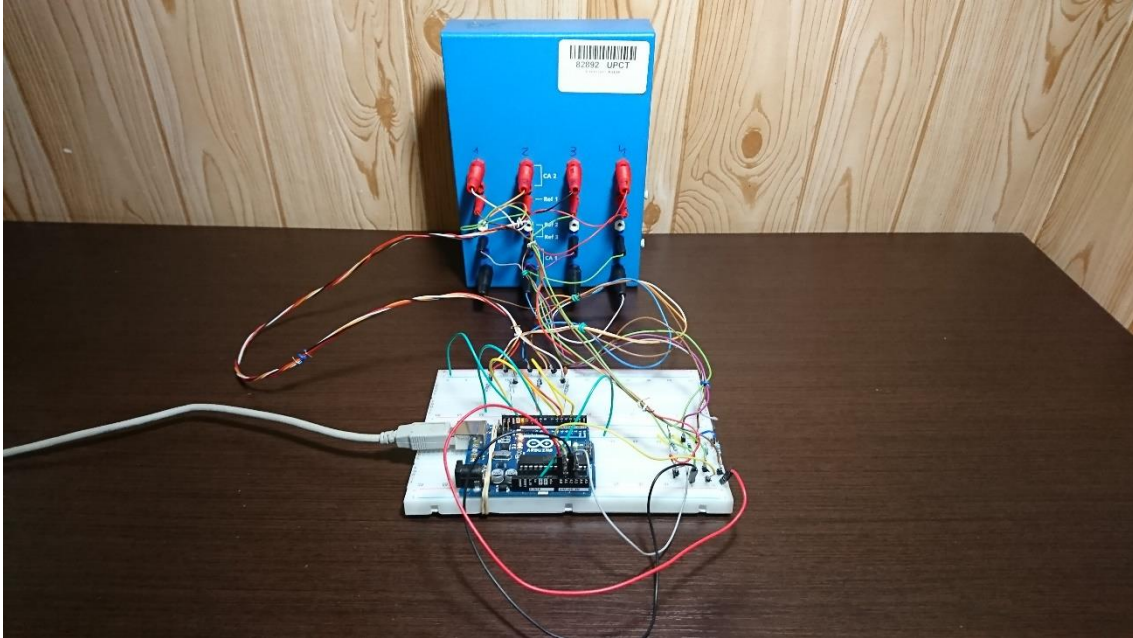


Ilustración 28. BMS con sistema de carga 1

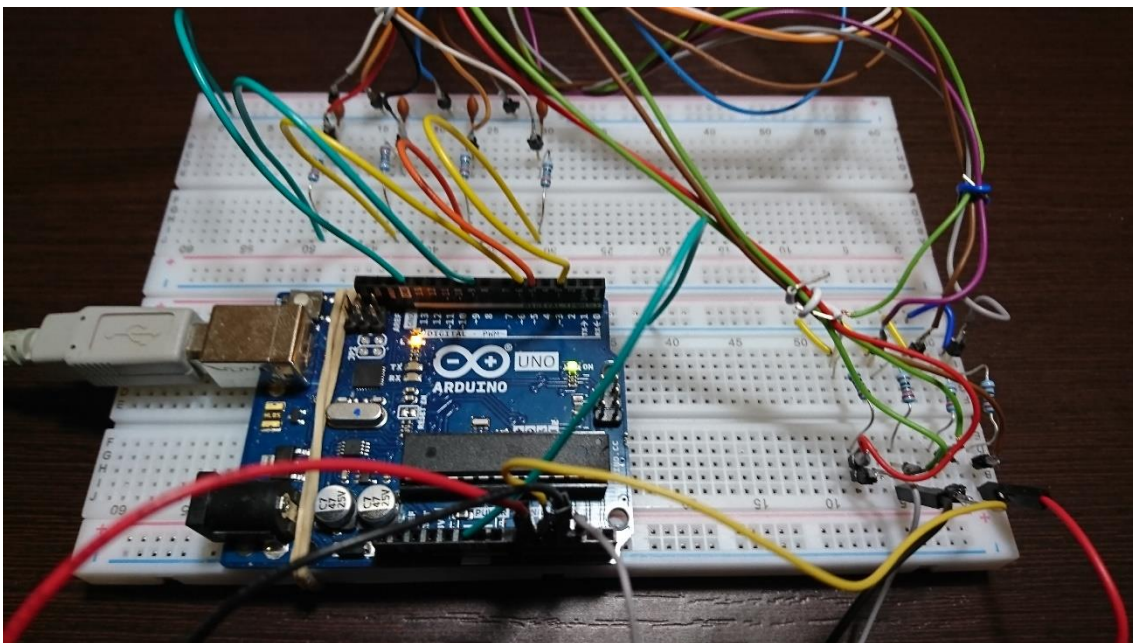


Ilustración 29. Detalle BMS con sistema de carga 1

6.2. SISTEMA DE CARGA 2

Para el sistema de carga 2 vamos a establecer en primer lugar las condiciones de trabajo que necesitamos para efectuar la carga correctamente:

-Deberá de suministrar una corriente constante a cada una de las pilas, independientemente del número de pilas que se encuentren cargando en cada momento, es decir, la intensidad de carga no se verá afectada ni variará dependiendo del número de pilas que se encuentren cargando a la vez.

-La intensidad de carga será de 180 mA para cada una de las pilas.

-El voltaje de entrada del sistema será de 5 V por lo que podrá ser alimentado mediante USB.

-Debe de ser capaz de generar la corriente necesaria para 4 pilas conectadas en serie. Por tanto, se establecerá como intensidad generada total por el sistema los 800mA, suficiente para conectar 4 pilas sin que descienda el valor de intensidad suministrada a cada pila.

-Se establecerán limitadores de intensidad para así asegurar que la corriente no sobrepasa los 180mA.

Una vez establecidas las condiciones que debe cumplir nuestro sistema de carga 2 debemos buscar una fuente de alimentación que pueda satisfacer nuestras necesidades.

La fuente de alimentación escogida es el Módulo MB102 que tiene las siguientes características:

-Tensión de entrada: 5 V tipo USB.

-Intensidad de salida: 800 mA.

-Voltaje salida: 5 V.

-Control Independiente de 2 salidas, puede cambiar a 0 V, 3.3 V, 5 V.



Ilustración 30. Modulo alimentación

Para la limitación de la intensidad crearemos un pequeño circuito compuesto por un limitador de voltaje LM317 y una resistencia:

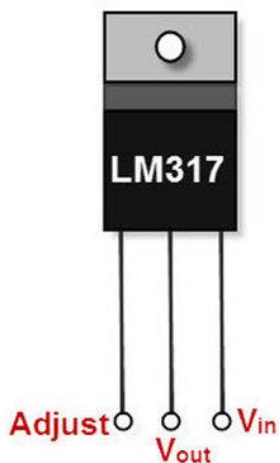


Ilustración 31. LM317

La función del LM317 es la de mantener siempre un voltaje nominal de 1,25V entre sus terminales. De esta forma, introduciendo una resistencia entre sus terminales Vout y Adjust podremos establecer un límite de voltaje, mediante el cálculo de la resistencia del valor de corriente a la que queremos establecer la limitación. El cálculo se realiza con la siguiente fórmula:

$$\frac{1.25}{\text{Intensidad límite}} = \text{Resistencia}$$

Según este cálculo, si necesitamos una intensidad de 180 mA deberemos de usar una resistencia de 6,8 ohmios.

El terminal V_{in} será alimentado a 5 V y a una corriente que variará entre los 800 mA, cuando solo se encuentre cargando una pila, y los 200 mA, que es la corriente que recorrerá el circuito cuando todas las pilas se encuentren conectadas, ya que al estar en paralelo la intensidad se irá dividiendo entre cada una de las pilas.

A la salida, la resistencia y el propio LM317 se encargarán de disipar la intensidad hasta que existan 1,25 V entre sus terminales adjust y V_{out} . De modo que al calcular la resistencia para ese valor de voltaje, obtendremos un límite en 180mA y la corriente sobrante será disipada por la resistencia y el LM317.

Fotos del montaje del limitador:

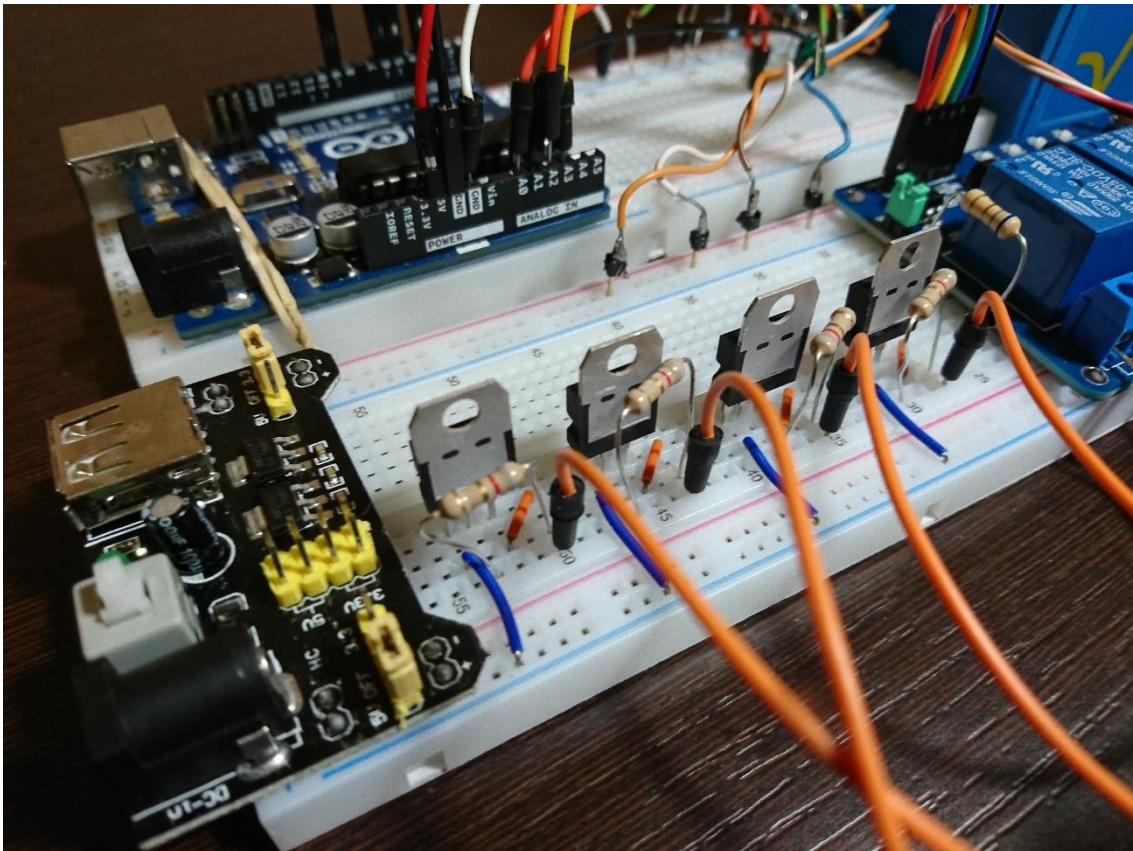


Ilustración 32. Detalle limitador de intensidad

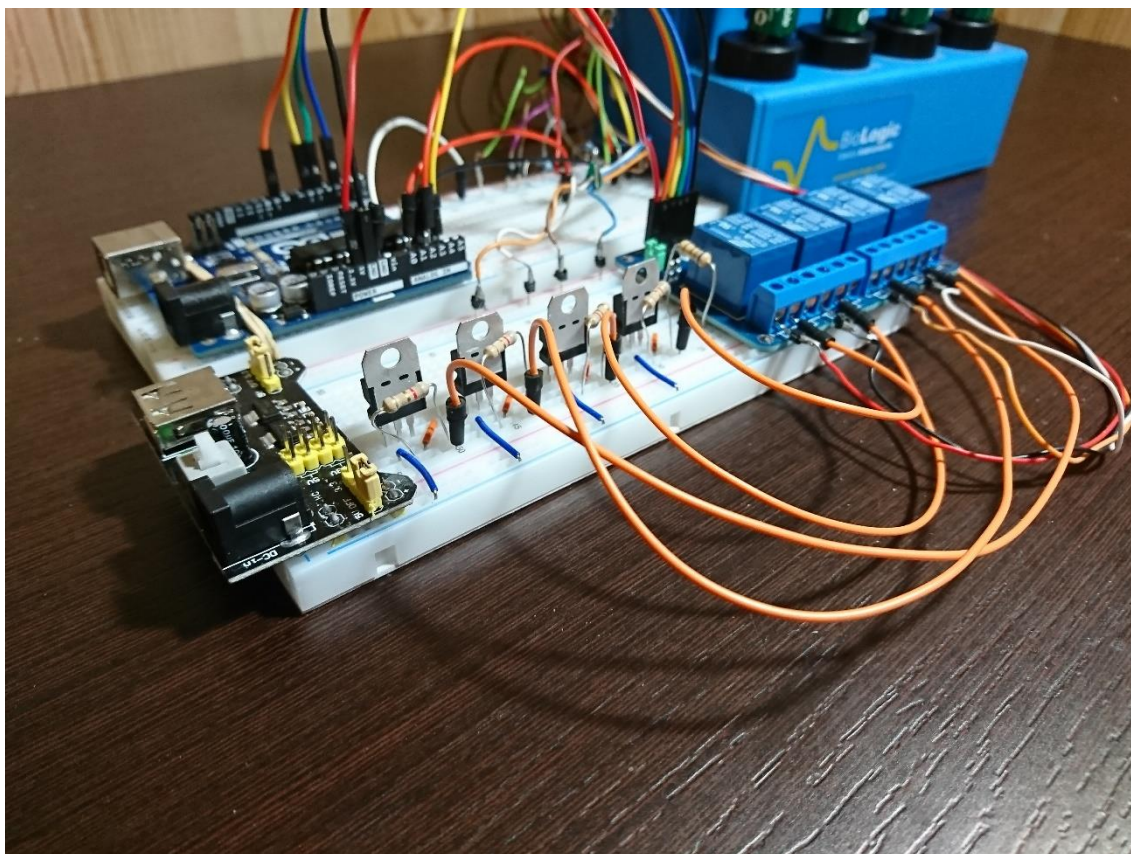


Ilustración 33. Sistema de carga 2

Una vez limitada la corriente a los 180 mA necesarios, debemos controlar la carga mediante arduino, pero este no soporta las intensidades a las que estamos trabajando con este nuevo sistema de carga. Este es el motivo por el que necesitaremos un módulo adicional que nos permita controlar corrientes y voltajes elevados con arduino, pero sin someterlo a dichas sobreintensidades.

El módulo elegido será un módulo de 4 relés, el cual podemos observar en la ilustración 34, que serán activados y desactivados por arduino y que lo aislarán de las cargas que se conecten a ellos.

Éste módulo de relés es capaz de soportar hasta tensiones de red (220 V) y ser controlado por arduino por intensidades muy bajas (15 mA), lo cual lo hace perfecto para controlar cualquier fuente de alimentación de hasta 220 V con arduino.

El módulo de 4 relés será alimentado a una tensión de 5 V y los terminales de control irán conectados a los terminales de salida de arduino. En el otro extremo se conectará la salida del limitador de intensidad, o sea, una intensidad constante de 180mA a unos 5 V de tensión, que conmutará con el extremo positivo de cada pila.

Al activar la señal, el relé pasará de estar abierto y no permitir el flujo de corriente hacia la pila, a permitir el flujo y así proceder a la carga de cada una de las pilas por separado, cuando se encuentre cerrado. En el montaje, cada pila irá conectada independientemente a cada relé y éste a cada limitador de intensidad.

En consecuencia, al poder activar y desactivar cada relé de manera independiente conseguiremos efectuar la carga de cada pila individualmente.

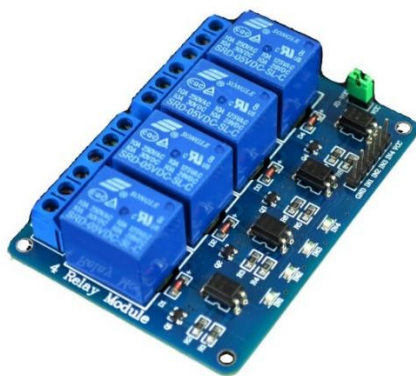


Ilustración 34. Módulo 4 relés

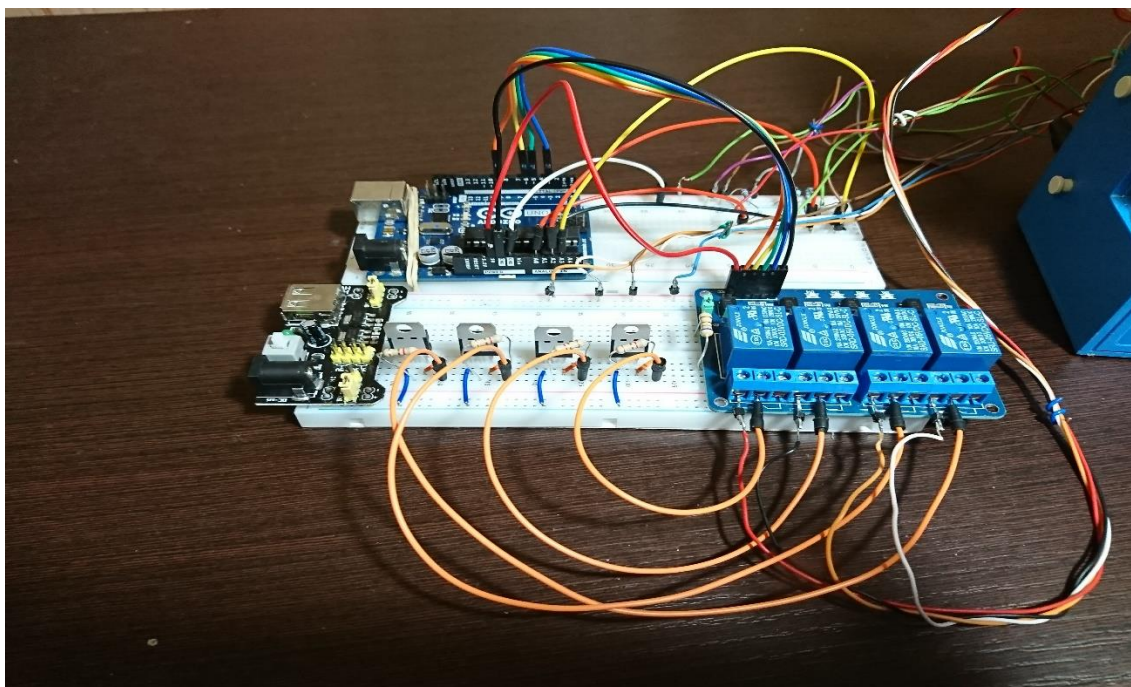


Ilustración 35. BMS con sistema de carga 2

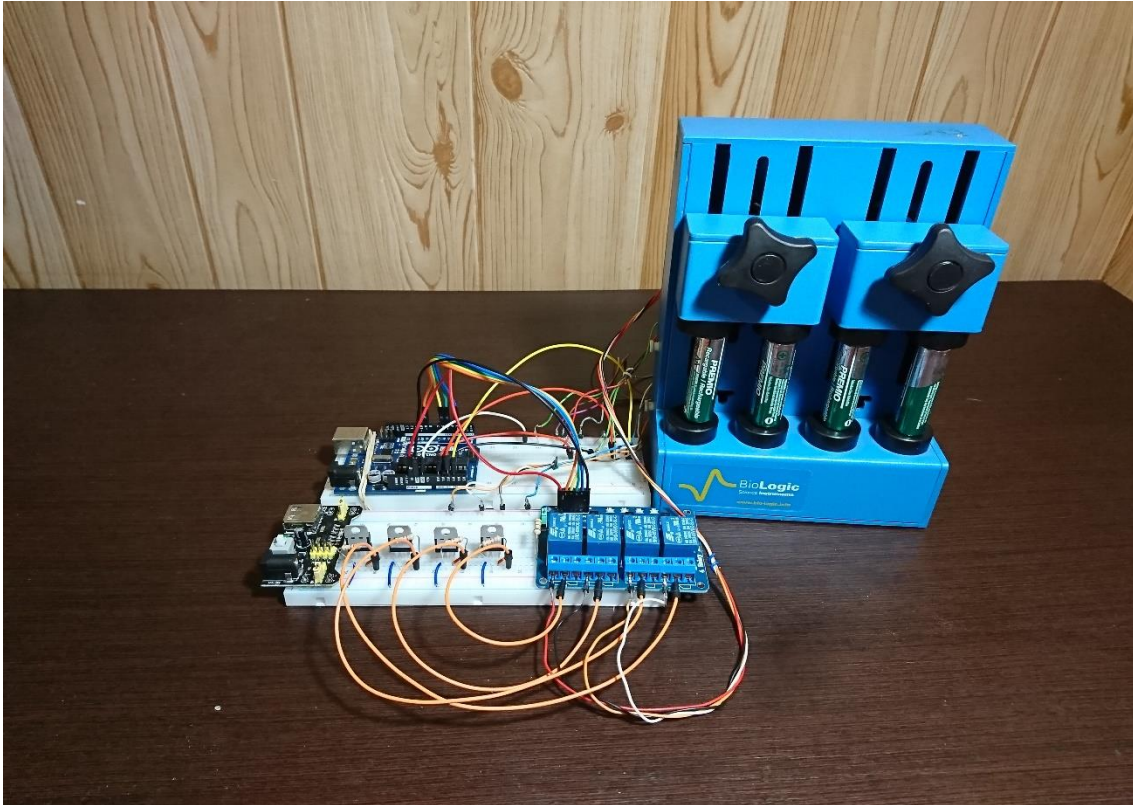


Ilustración 36. Montaje BMS completo con banco de baterías

En la ilustración 36 podemos observar el montaje definitivo de cómo queda nuestro BMS con el sistema de carga número 2 integrado.

6.2.1. GRÁFICAS DE CARGA Y DESCARGA DEL MONTAJE CON EL SISTEMA DE CARGA 2

En este apartado vamos a realizar una serie de experimentos de carga y descarga de una de las pilas para determinar los tiempos de carga y de descarga y compararlos con el sistema de carga 1.

La primera gráfica mostrada en la ilustración 37 la obtenemos del proceso de carga con el sistema de carga 2 en la cual vemos que se efectúa la carga completa hasta los 1,4V en un tiempo de unas 5 horas y media.

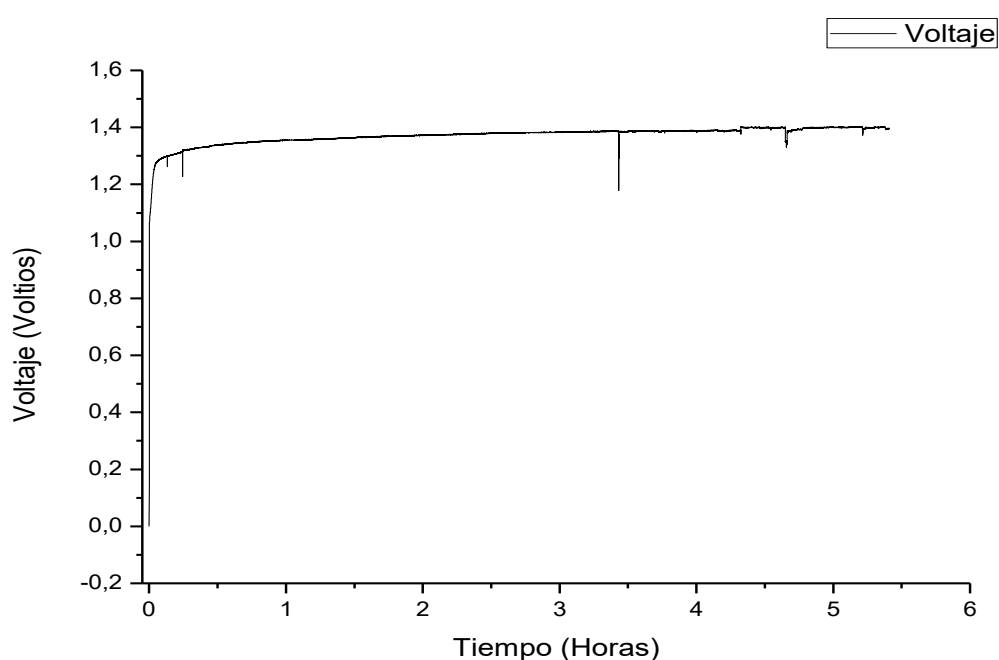


Ilustración 37. Gráfica de carga sistema carga 2

Como se puede apreciar éste sistema de carga mejora con creces al primer sistema de carga diseñado, ya que lo primero y más importante es que llega a cargar la pila completamente.

El segundo punto es que realiza la carga completa en 5 horas y media, que comparado con el anterior sistema de carga con el que tras 10 horas de carga sólo éramos capaces de llegar a los 1,3 V, obtenemos una gran mejora respecto a los tiempos de carga.

Éste hecho se produce gracias a la elevación de la intensidad de carga, de unos 21 mA hasta unos 180 mA.

Una vez cargada por completo vamos a proceder a su descarga mediante una resistencia de 6,8 ohmios que disipará toda la energía en forma de calor.

Observamos en la ilustración 38 que existe un punto a partir del cual el voltaje desciende prácticamente a 0 en un instante muy corto de tiempo y con esta gráfica podemos conocer el voltaje a partir del cual la pila no está en buenas condiciones de funcionamiento. Establecemos este voltaje en 0,9V aproximadamente.

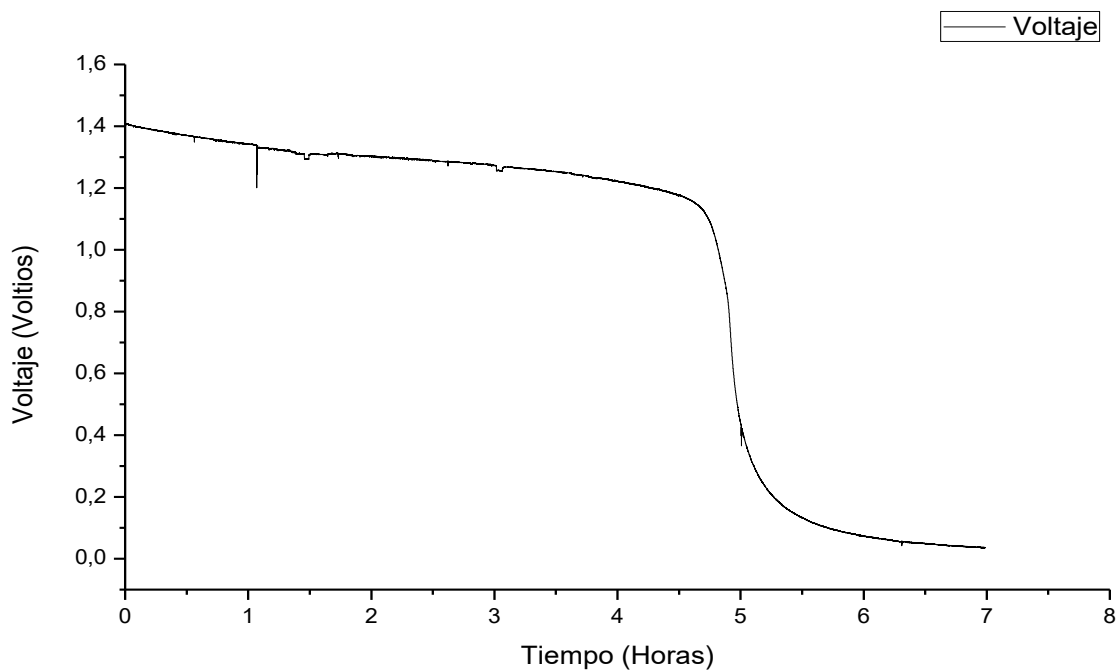


Ilustración 38. Gráfica de descarga

Obtenemos otra gráfica con la intensidad en mA*h que disipa la resistencia de 6,8 ohmios en cada instante de tiempo.

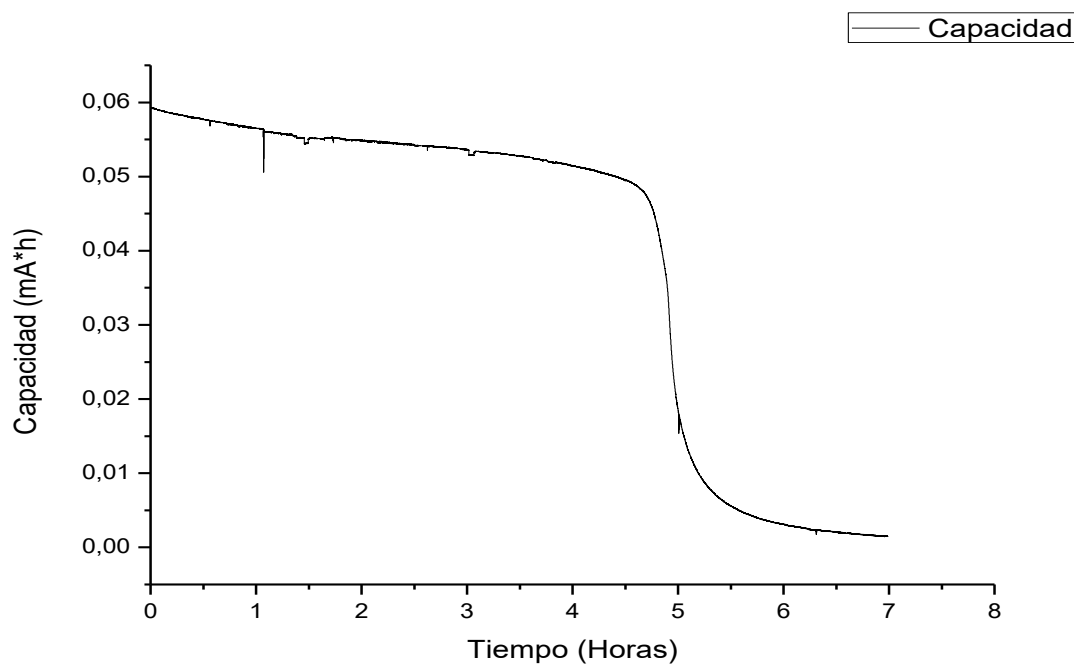


Ilustración 39. Gráfica de descarga

Para obtener los mA*h multiplicamos la intensidad que recorre la resistencia de 220 ohmios en mA por 3600 y obtenemos la capacidad de la pila consumida por la resistencia que utilizamos para el sistema de medida.

Una vez que tenemos la capacidad de la pila que consume la resistencia del sistema de medida en cada instante de tiempo obtenemos la capacidad de la pila que consume la resistencia de 6,8 ohmios con la que estamos efectuando la descarga y las sumamos para obtener la capacidad total que está perdiendo la pila en la descarga por unidad de tiempo.

Esto es lo que observamos en la ilustración 39, la capacidad total absorbida por la resistencia, con la que podemos obtener sumando todos los valores la capacidad total de la pila, que en las condiciones de este experimento es de 953 mA*h.

Una vez tenemos este dato, que puede ser obtenido en tiempo real a partir del voltaje de la pila en cada momento, debemos de calcular el único dato que no podemos calcular en tiempo real, que es el tiempo que tarda en descargarse la pila bajo estas condiciones y este dato solo es posible obtenerlo mediante experimentación.

Obtenemos de la gráfica el tiempo que tarda la pila la pila en descargarse.

Para obtener la capacidad total de la pila en mA*h simplemente basta con sumar todos los valores de capacidad consumida en la descarga y obtenemos la capacidad inicial a la que se encontraba la pila antes de realizar el experimento de descarga.

Éste método se usa para saber la capacidad que tiene cada pila en una situación similar a la del experimento, es decir, cuando se encuentre conectada a un dispositivo que consuma lo mismo que la resistencia de 6,8 ohmios.

El valor de la resistencia se puede ir variando para ir conociendo la capacidad de la pila frente a distintas intensidades de descarga, por lo que si sabemos al ritmo que va a consumir el dispositivo donde se inserte la pila y sabemos la capacidad de la pila en esas mismas condiciones de descarga, podemos predecir el tiempo que durará en funcionamiento dicho dispositivo antes de que se agote la pila.

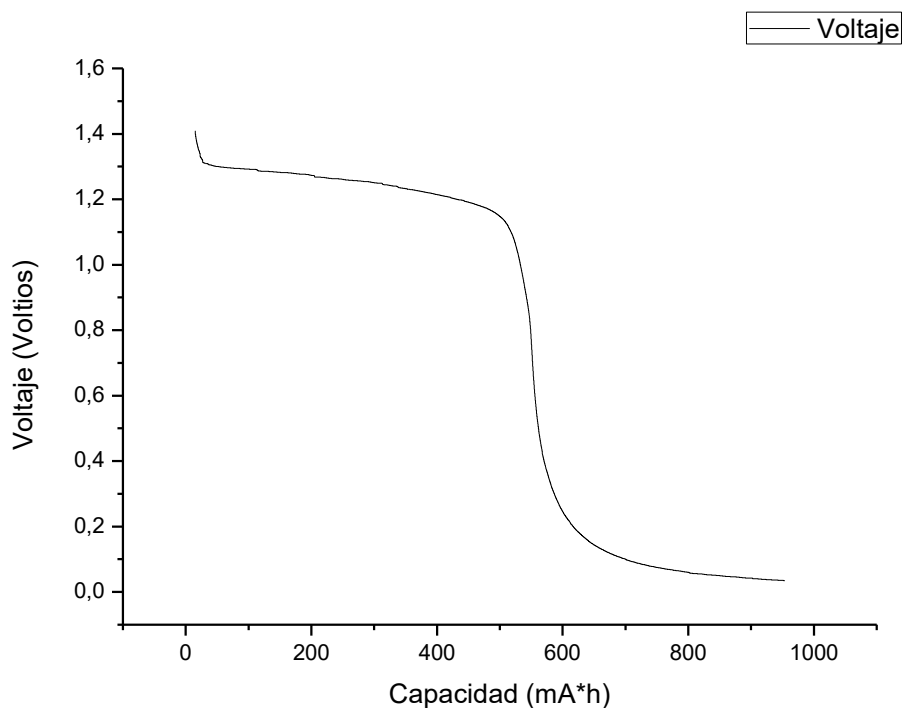


Ilustración 40. Relación entre el voltaje y la capacidad

En la ilustración 40 podemos observar la gráfica que nos relaciona el voltaje de la pila con la capacidad de la misma en cada instante de tiempo. Como podemos observar el voltaje desciende muy rápidamente desde 1 V hasta los 0,2 V. En este punto la pila tiene una capacidad de 600 mA*h bajo las condiciones de descarga del experimento. Después de este punto el voltaje es tan bajo que aunque podemos seguir quitando capacidad a la pila hasta llegar a los 900 mA*h vamos a establecer que la pila tiene un rango óptimo de funcionamiento hasta los 0,9 V por lo que la capacidad en este punto es de 600 mA*h que será la capacidad que denominaremos como aprovechable de la pila bajo estas condiciones de funcionamiento.

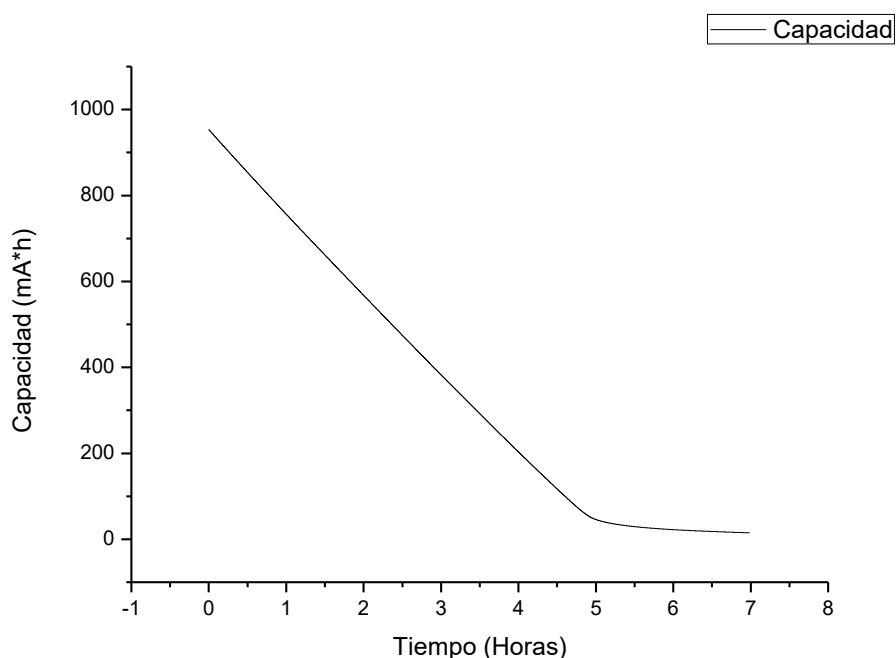


Ilustración 41. Variación de la capacidad frente al tiempo

En la ilustración 41 podemos observar la relación entre la capacidad de la pila en mA*h y el tiempo en horas en el proceso de descarga. Vemos cómo va decreciendo linealmente hasta llegar al punto donde desciende muy lentamente. En este punto se considera que se encuentra totalmente agotada, por lo que podemos afirmar que para estas condiciones de descarga, la pila tendrá un tiempo de funcionamiento válido de unas 5 horas aproximadamente.

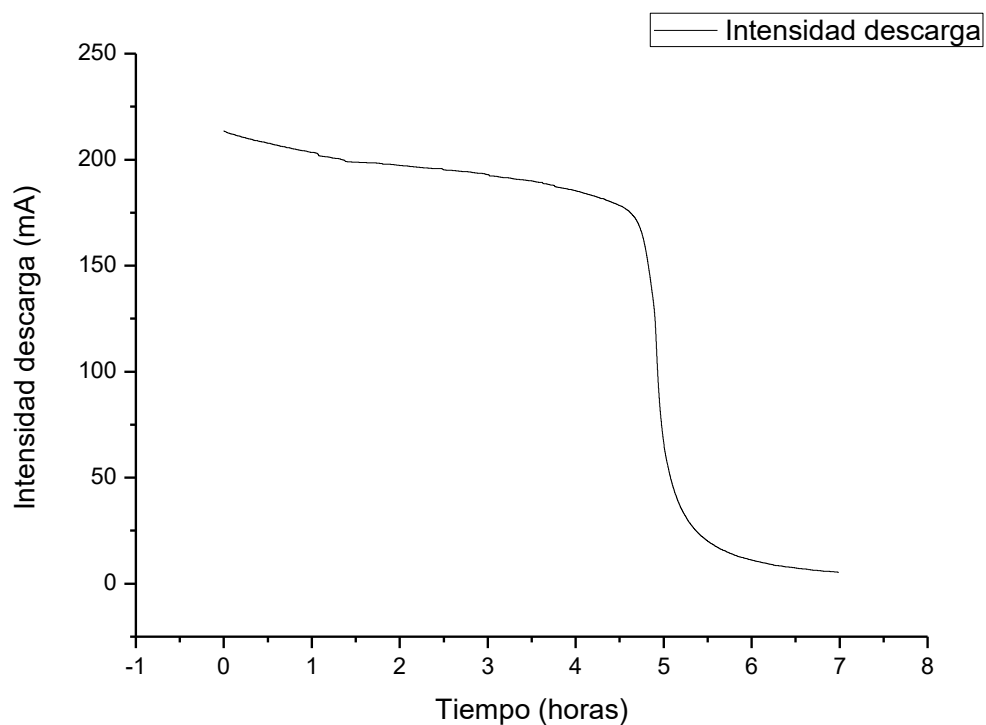


Ilustración 42. Intensidad de descarga del experimento

En la ilustración 42 observamos la intensidad de descarga a la que se ha realizado el experimento. Se trata de la corriente en mA que ha circulado por la resistencia de 6,8 ohmios que hemos usado para realizar la descarga.

Esta es la corriente en mA que puede suministrar nuestra pila a una resistencia de 6,8 ohmios. Es capaz de suministrar unos 200 mA hasta transcurridas 5 horas de descarga, por lo que tomaremos ese valor como la duración de la pila a unos valores válidos.

Tras estas 5 horas entregando unos 200 mA damos la pila por gastada.

7. CONTROL DE LA BATERÍA

Para llevar a cabo el control simplemente montaremos el sistema de monitorización junto con el sistema de carga elegido en nuestro arduino.

Para comprobar su funcionamiento realizaremos varios experimentos de carga y descarga de pilas recargables y graficaremos los resultados obtenidos para ver los tiempos de carga, intensidades y voltajes de la pila.

7.1. CONTROL DE VOLTAJE

El control de carga de las pilas lo realizaremos de la siguiente forma:

Utilizando la medida de voltaje crearemos un límite a partir del cual se deba de efectuar la carga de las pilas por ser demasiado bajo para el funcionamiento.

En los experimentos realizados por medio de gráficas de descarga realizadas con una resistencia de 6,8 ohmios, hemos observado que a partir de 0,9V el voltaje en procesos de descarga cae practicamente a 0 en un periodo muy corto de tiempo y las pilas dejan de funcionar debidamente. Por tanto, este será nuestro potencial de corte, es decir, éste será el valor de voltaje en el que consideremos que la pila está totalmente descargada y, al alcanzarlo, procederemos a efectuar el proceso de recarga.

El proceso de carga se efectuará a intensidad constante, pero los valores de voltaje e intensidad en la pila crecerán de manera exponencial y rápidamente, nada más conectar la pila al cargador y pasado un breve periodo de tiempo este valor de voltaje en el cual deja de crecer de manera tan rápida, se irá incrementando poco a poco hasta llegar a los 1,4V.

Cuando el voltaje de la pila llegue a este valor, 1,4 V se desconectará el circuito de carga para esta pila en concreto.

Con esto se consigue que la carga dure aproximadamente unas cinco horas y que las pilas queden cargadas por completo.

En la siguiente imagen, ilustración 43, podemos ver que el sistema completo de control creado lee el voltaje de manera muy precisa, por lo que la lectura efectuada por arduino se aproxima perfectamente a la medida real de la pila.

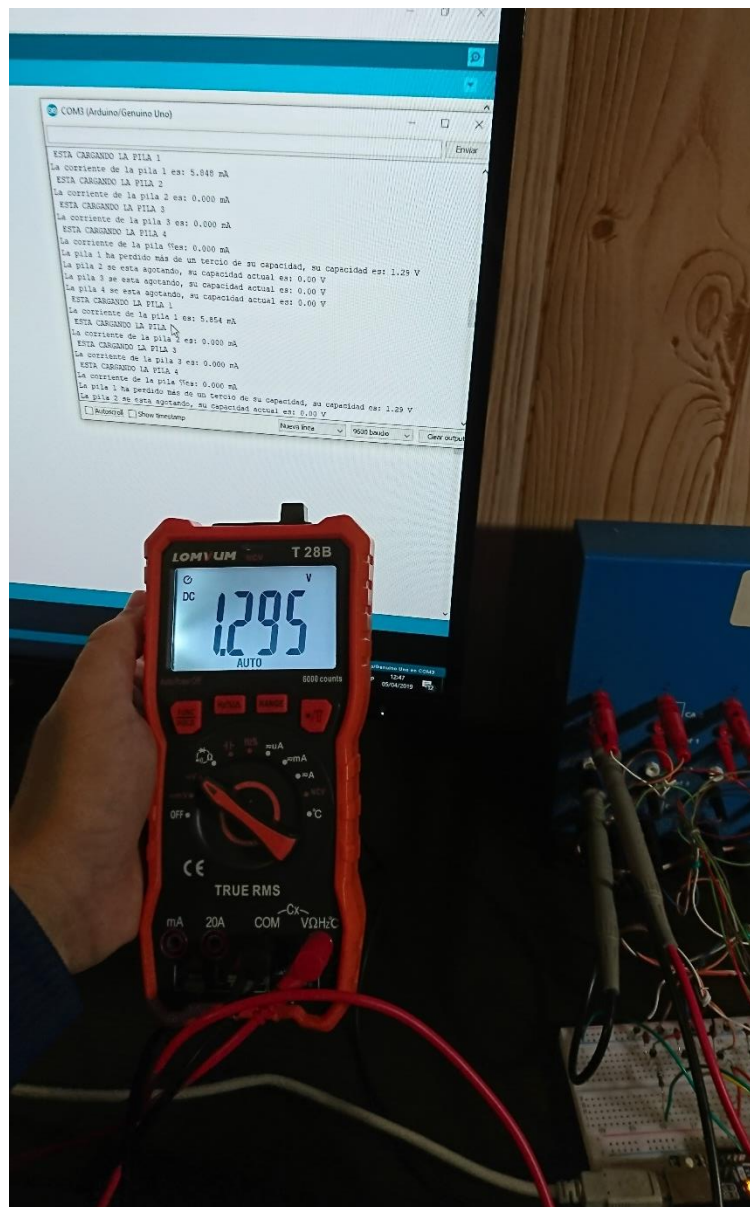


Ilustración 43. Demostración medida real y medida arduino

Una vez que hemos definido el rango de funcionamiento correcto de las pilas pasamos a efectuar el control de la carga mediante el módulo de 4 relés, que controlaremos con las salidas digitales de arduino, que cuando las pongamos a nivel alto (HIGH) detendrán la carga y cuando se encuentren a nivel bajo (LOW) permitirán el paso de la corriente para efectuar la carga.

El nivel alto (HIGH) que en este caso significa detener la carga, se activará en dos casos, si la temperatura alcanza el máximo permitido o si el voltaje sobrepasa los 1,4V.

El nivel bajo (LOW) que en este caso significa que se procede a cargar las baterías se activará en dos casos.

-Caso 1: La primera vez que se ejecute el programa, se activará la carga o el nivel bajo (LOW) siempre y cuando no se dé una de las dos condiciones nombradas en el caso anterior, es decir, estará activo siempre y cuando el voltaje sea inferior a 1,4V y la temperatura no rebase el límite de seguridad establecido. Con esto el programa al iniciarse cargará por completo las pilas independientemente del estado en que se encuentren.

-Caso 2: Una vez efectuada la primera carga, el nivel bajo (LOW) solo se activará para proceder a cargar las pilas cuando rebase el límite de funcionamiento establecido en 0,9V, es decir, mientras las pilas se encuentren en el rango 1,4V-0,9V no se estarán cargando, pero cuando rebasen los 0,9V se cargarán hasta alcanzar los 1,4V.

Éste módulo además de permitirnos controlar la carga de las baterías tiene otra ventaja, y es que aísla el módulo de arduino del sistema de alimentación que vayamos a utilizar, por lo que el controlador estará siempre protegido y no se dañará si ocurre algún fallo con el sistema de carga.

Las ventajas de este control efectuado es su versatilidad, ya que se encuentra muy modulado y podemos efectuar cambios en sus módulos físicos como por ejemplo sustituir el sistema de carga por otro más potente con la simple modificación del código de programación o cambiar el módulo de arduino por uno con más entradas y salidas.

7.2. CONTROL DE LA TEMPERATURA

El control de la temperatura será una mera medida de seguridad en el caso de que algo fallara en el proceso de carga. Se cifrará un valor de temperatura medido mediante el sistema de medición de temperatura descrito en el punto 5.2 y a partir del cual el sistema desconectará el proceso de carga de una o de varias pilas mediante el programa de arduino.

A continuación vamos a enumerar todos los sistemas de seguridad y de control de nuestro BMS:

- Gestionará la carga completa y correcta de las pilas al 100% de su capacidad.
- Incluirá un sistema de protección contra sobretensiones y contra sobreintensidades durante la carga y durante el proceso de descarga de las pilas.
- Gestionará y efectuará un control de la temperatura de cada pila para evitar calentamientos y roturas durante el proceso de carga y durante el funcionamiento de la batería.
- Activará el sistema de carga de las pilas si disminuyen su valor de voltaje por debajo del límite de funcionamiento correcto de las mismas.
- Efectuará una monitorización en tiempo real del voltaje y temperatura de cada pila.
- Se podrán efectuar gráficas de descarga a diferentes intensidades de descarga conociendo la capacidad de la pila que se está sustrayendo en cada momento, por lo que al sumar todos los valores se podrá obtener la capacidad total de la pila.

8. CONCLUSIONES FINALES

En este proyecto se ha llevado a cabo una investigación relacionada con el control y monitorización de la carga y del funcionamiento de las baterías.

Hemos sido capaces de crear un sistema que realiza varias funciones con un mismo módulo de control, una placa de arduino UNO, con la que hemos conseguido crear un sistema de monitorización de baterías (BMS), un sistema de carga para cualquier tipo de pila del mercado y un sistema generador de gráficas con el que podemos efectuar experimentos de carga y de descarga de diferentes tipos de pilas y a diferentes intensidades de descarga para así también poder determinar la capacidad de las pilas mediante la experimentación.

El dispositivo creado tiene la ventaja de ser completamente modificable para cada tipo de pila o de batería, ya que mediante programación, sin modificar el hardware, podemos ser capaces de cargar y de monitorizar varios tipos de pilas con diferentes composiciones.

Se trata también de un dispositivo para la realización de experimentos ya que es capaz de graficar y almacenar datos sobre la carga y la descarga de las baterías.

Otra de las ventajas del dispositivo creado es el precio, y es que con un precio de aproximadamente 50 euros somos capaces de realizar de manera bastante precisa el trabajo de dispositivos con un precio mucho mayor. Este hecho abre una opción a un uso del sistema para experimentación de baterías a un coste reducido que puede servir para el estudio, la formación o la enseñanza de personas que no dispongan de medios más caros para llevar a cabo comprobaciones, experimentos o estudios con baterías.

Durante la realización de este proyecto he ampliado mis conocimientos de programación en lenguaje C++ que es el que se ha utilizado para la programación de arduino, he ampliado y puesto en práctica mis conocimientos de electrónica, adquiridos durante la carrera, en la realización de los circuitos electrónicos presentes en el dispositivo y he aprendido desde cero a manejar la plataforma arduino hasta un nivel avanzado.

9. BIBLIOGRAFIA.

LIBROS

El libro de proyectos de arduino. Proyectos y texto de Scott Fitzgerald y Michael Shiloh Turín, Italia, 2014.

PAGINAS WEB.

-Enrique Crespo (21 Enero 2017). Aprendiendo a manejar arduino en profundidad. Recuperado de:

<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2017/01/21/que-es-arduino-3/>

-Ecured (2008). Pila eléctrica. Recuperado de:

https://www.ecured.cu/Pila_el%C3%A9ctrica

-Wikipedia. Batería de zinc-aire. Recuperado de:

https://en.wikipedia.org/wiki/Zinc%E2%80%93air_battery

-Luis Llamas (3 Julio 2019). Salidas analógicas PWM en arduino. Recuperado de:

<https://www.luisllamas.es/salidas-analogicas-pwm-en-arduino/>

-Enrique Gómez (24 Septiembre 2016). Limitar corriente con LM317. Recuperado de:

<https://www.rinconingenieril.es/limitar-corriente-con-lm317/>

-Ignacio Mártil (21 Febrero 2019). Funcionamiento de una batería de ion-Litio. Recuperado de:

<https://blogs.cdecomunicacion.es/ignacio/2019/02/21/funcionamiento-de-bateria-de-ion-litio/>

-EcuRed. Baterías de Ni-MH. Recuperado de:

https://www.ecured.cu/Bater%C3%ADas_de_Ni-MH

-Bio-logic. Battery Accesories. Recuperado de:

<https://www.bio-logic.net/accessories/battery-accessories/cylindrical-cell-holders/c>

-Merca 2.0 (31 Diciembre 2015). 5 productos que ya no deberían usar baterías desechables. [Ilustración 4]. Recuperado de:

<https://www.merca20.com/5-productos-que-ya-no-deberian-usar-baterias-desechables/>

-TodoPila (8 Agosto 2014). ¿Qué opciones tengo a las pilas de audífono? [Ilustración 5]. Recuperado de:

<https://www.todopila.es/alternativas-a-las-pilas-de-audifonos-c1200x22721>

-Física-Industrial (23 Mayo 2012). Fuentes de tensión:Pilas. [Ilustración 6]. Recuperado de:

<http://fisica-industrial.blogspot.com/2012/05/fuentes-de-tension-pilas.html>

-Arquitectología.blogspot (25 Abril 2014). Baterías de Ion-Litio: conceptos, funcionamiento, mantenimiento y trucos. [Ilustración 7]. Recuperado de:

<http://arquitectologia.blogspot.com/2014/04/baterias-de-ion-litio-conceptos.html>

-Luís del Valle Hernández. Qué es el divisor de tensión en arduino. [Ilustración 8]. Recuperado de:

<https://programarfacil.com/blog/divisor-de-tension-en-arduino-multiplica-tus-entradas-digitales/>

-Bloggin red. Ley de ohm, Kirchhoff, teorema de Thevenin, Norton. [Ilustración 14]. Recuperado de:

<http://www.blogginred.com/2013/10/ley-de-ohm-kirchhoff-teorema-de.html#.XKHwXZgzaUk>

-Luis Llamas (3 Julio 2019). Salidas analógicas PWM en arduino. [Ilustración 21 y 22]. Recuperado de:

<https://www.luisllamas.es/salidas-analogicas-pwm-en-arduino/>

-Pccomponentes. Arduino. [Ilustración 30]. Recuperado de:

<https://www.pccomponentes.com/modulo-mb102-de-alimentacion-compatible-con-arduino>

-IndiaMart. Single Phase LM317 3 Terminal Adjustable Regulator. [Ilustración 31]. Recuperado de:

<https://www.indiamart.com/proddetail/lm317-3-terminal-adjustable-regulator-20285661873.html>

-Pccomponentes. Arduino. [Ilustración 34]. Recuperado de:

<https://www.pccomponentes.com/m-dulo-rel--4-canales-compatible-con-arduino>

ANEXO 1 CODIGOS DE PROGRAMACION

1.1-PROGRAMA MEDIDA DE VOLTAJE CONTINUA CON ARDUINO E INDICADOR LED SEGÚN RANGO VOLTAJE DE LA BATERÍA.

```

1. #define NUM_MUESTRAS_TOTAL 20
2. int suma = 0;
3. unsigned char numero_muestras = 0;
4. float voltaje = 0.0;
5. float voltaje_compensado=0;
6.
7. void setup(){ //FUNCIONA UNA SOLA VEZ (DAR RESET)
8. }
9. void loop(){ //VER EN BUCLE
10. Serial.begin(9600);
11. while (numero_muestras < NUM_MUESTRAS_TOTAL) { //Aqui tomo 20 MUESTRAS y las
    sumo todas
12. suma = suma + analogRead(A0);
13. numero_muestras++;
14. delay(1);
15. }
16.
17. voltaje = ((float)suma / (float)numero_muestras * 5.015) / 1024.0; //Aqui hago la relacion del
    voltaje con la media de las muestras medidas
18. voltaje_compensado= voltaje*11.15;
19.
20.
21. if(voltaje_compensado>1.0){
22. Serial.println("La pila esta en un rango aceptable de funcionamiento, su capacidad es:
    " + String(voltaje_compensado) + " V ");
23. pinMode(3,OUTPUT);
24. digitalWrite(3,HIGH);
25. delay(1000);
26. digitalWrite(3,LOW);
27. }
28. if(voltaje_compensado<1.0 && voltaje_compensado>0.5){
29. Serial.println("La pila ha perdido más de un tercio de su capacidad, su capacidad es:
    " + String(voltaje_compensado) + " V ");
30. pinMode(5,OUTPUT);
31. digitalWrite(5,HIGH);
32. delay(1000);
33. digitalWrite(5,LOW);
34. }
35.
36. if(voltaje_compensado<0.5 && voltaje_compensado>0.0){
37. Serial.println("La pila se esta agotando, su capacidad actual es:
    " + String(voltaje_compensado) + " V ");
38. pinMode(6,OUTPUT);
39. digitalWrite(6,HIGH);
40. delay(1000);
41. digitalWrite(6,LOW);
42. }
43. numero_muestras = 0;
44. suma = 0;
45. }

```


1.2-PROGRAMA MEDIR TEMPERATURA DE LAS PILAS EN TIEMPO REAL (UNA SOLA PILA).

```
1. void setup() {
2.   Serial.begin(9600);
3. }
4. void loop() {
5.   //TEMPERATURA
6.   int sensorval=analogRead(A1);
7.   float Temperatura=(sensorval/1024.0)*5;
8.   float Temperatura_Real=(Temperatura-0.5)*100;
9.   Serial.println("La temperatura de la pila es: " + String(Temperatura_Real) + " °C ");
10.  if (Temperatura_Real>20){
11.    Serial.println("Desconectar pila ");
12.  }
13.  delay(1000);
14. }
```

1.3-CODIGO TODAS LAS PILAS (VOLTAJE Y TEMPERATURA).

```

1. #define NUM_MUESTRAS_TOTAL1 20
2. int suma=0 ,sumal = 0,suma2=0, suma3=0,
   suma4=0;
3. unsigned char numero_muestras = 0,numero_muestras1 = 0,
   numero_muestras2=0, numero_muestras3=0, numero_muestras4=0;
4. float voltaje=0, voltaje1 = 0.0, voltaje2=0.0, voltaje3=0.0,
   voltaje4=0.0;
5. float voltaje_compensado=0,
   voltaje_compensado1=0,voltaje_compensado2=0,voltaje_compensado3=
   0,voltaje_compensado4=0;
6. float corriente1 = 0.0 ,corriente_compensada1=0.0,
   corriente2 = 0.0 ,corriente_compensada2=0.0,
   corriente3 = 0.0 ,corriente_compensada3=0.0,
   corriente4 = 0.0 ,corriente_compensada4=0.0;
7. float resistencia=220, Potencia_consumida1=0,
   Capacidad_maxima=1800, capacidad_pila1=0, capacidad_pila2=0,
   capacidad_pila3=0, capacidad_pila4=0 ,Tiempo_agotarse1=0 ,
   Temperatura_excesiva1=0 , Temperatura_excesiva2=0 ,
   Temperatura_excesiva3=0 , Temperatura_excesiva4=0;
8. float carga_finalizada1=0, carga_finalizada2=0,
   carga_finalizada3=0, carga_finalizada4=0;
9. float compensacion=0;
10. int numero_pilas_cargadas=0;
11. void setup(){} //FUNCIONA UNA SOLA VEZ (DAR RESET)
12. void loop(){ //VER EN BUCLE
13.
14.     Serial.begin(9600);
15.     pinMode(3,OUTPUT);
16.     pinMode(5,OUTPUT);
17.     pinMode(6,OUTPUT);
18.     pinMode(9,OUTPUT);
19.
20.     numero_pilas_cargadas=(digitalRead(3))+ (digitalRead(5)) +
   (digitalRead(6)) + (digitalRead(9));
21.
22.     switch(numero_pilas_cargadas){
23.
24.         case 0:
25.             compensacion=0.84;
26.             break;
27.
28.         case 1:
29.             compensacion=0.87;
30.             break;
31.
32.         case 2:
33.             compensacion=0.91;
34.             break;
35.
36.         case 3:
37.             compensacion=0.97;
38.             break;
39.
40.
41.     }
42.
43.
44.     //PILA NUMERO 1

```

```

45.     while (numero_muestras1 < NUM_MUESTRAS_TOTAL1) { //Aqui
      tomo 20 MUESTRAS y las sumo todas
46.
47.         sumal = sumal + analogRead(A0);
48.         numero_muestras1++;
49.         delay(10);
50.     }
51.
52.     if(carga_finalizada1==0){
53.         if (Temperatura_excesiva1==0){
54.
55.             voltaje1 = (((float)sumal / (float)numero_muestras1) *
56. 5.015) / 1023.0; //Aqui hago la relacion del voltaje con la
      media de las muestras medidas
57.             voltaje_compensado1= voltaje1*compensacion;//Compensaci
58.             ón
59.
60.             if(voltaje_compensado1>1.4){
61.
62.                 Serial.println("Pila 1 rango aceptable de
63. funcionamiento, capacidad:
64. " + String(voltaje_compensado1,3) + " V ");
65.
66.                 digitalWrite(3,HIGH);
67.                 Serial.println("NO ESTA CARGANDO LA PILA 1");
68.                 carga_finalizada1=1;
69.             }
70.
71.             if(voltaje_compensado1<1.4 && voltaje_compensado1>0.9){
72.
73.                 Serial.println("La pila 1 ha perdido capacidad, su
74. capacidad es: " + String(voltaje_compensado1,3) + " V ");
75.                 digitalWrite (3,LOW);
76.
77.                 Serial.println(" ESTA CARGANDO LA PILA 1");
78.                 delay(50);
79.             }
80.
81.             if(voltaje_compensado1<0.9){
82.
83.                 Serial.println("La pila 1 se esta agotando, su
84. capacidad actual es: " + String(voltaje_compensado1,3) + " V ");
85.                 digitalWrite (3,LOW);
86.
87.                 Serial.println(" ESTA CARGANDO LA PILA 1");
88.                 delay(50);
89.             }
90.
91.             numero_muestras1 = 0;
92.             sumal = 0;
93.
94.         }
95.     }
96.     else{
97.         Serial.println(" TEMPERATURA EXCESIVA EN LA PILA 1");
98.         digitalWrite(3,HIGH);
99.     }
100.    }
101.    }
102.    else{
103.        if(voltaje_compensado1<1.5 && voltaje_compensado1>0.9)
104.    {

```

```

97.
98.         Serial.println("La pila 1 se encuentra en un rango
    acceptable de funcionamiento:
    " + String(voltaje_compensado1,3) + " V ");
99.         digitalWrite (3,HIGH);
100.
101.         Serial.println(" LA PILA 1 ESTA FUNCIONANDO
    CORRECTAMENTE");
102.         delay(50);
103.     }
104.     if(voltaje_compensado1<0.9){
105.         carga_finalizada1=0;
106.
107.
108.     }
109.     }
110.     delay(50);
111.     capacidad_pila1=(voltaje_compensado1*4054.73)-3961.68;
112.     Serial.println("La capacidad de la pila 1 es:
    " + String(capacidad_pila1) + " mA/h ");
113.     delay(100);
114.
115.
116.
117.         //PILA NUMERO 2
118.
119.         while (numero_muestras2 < NUM_MUESTRAS_TOTAL1) { //Aqui
    tomo 20 MUESTRAS y las sumo todas
120.             suma2 = suma2 + analogRead(A1);
121.             numero_muestras2++;
122.             delay(10);
123.         }
124.         if(carga_finalizada2==0){
125.             if (Temperatura_excesiva2==0){
126.                 voltaje2 = ((float)suma2 / (float)numero_muestras2 * 5.
    015) / 1023.0; //Aqui hago la relacion del voltaje con la media
    de las muestras medidas
127.                 voltaje_compensado2= voltaje2*compensacion*0.98;//Compe
    nsacion
128.
129.
130.                 if(voltaje_compensado2>1.4){
131.
132.                     Serial.println("Pila 2  rango acceptable de
    funcionamiento,  capacidad:
    " + String(voltaje_compensado2,3) + " V ");
133.
134.                     digitalWrite (5,HIGH);
135.                     Serial.println("NO ESTA CARGANDO LA PILA 2");
136.                     carga_finalizada2=1;
137.                 }
138.                 if(voltaje_compensado2<1.4 && voltaje_compensado2>0.9){
139.                     Serial.println("La pila 2 ha perdido capacidad, su
    capacidad es: " + String(voltaje_compensado2,3) + " V ");
140.                     digitalWrite (5,LOW);
141.
142.                     Serial.println(" ESTA CARGANDO LA PILA 2");
143.                 }
144.
145.                 if(voltaje_compensado2<0.9){
146.

```

```

147.         Serial.println("La pila 2 se esta agotando, su
    capacidad actual es: " + String(voltaje_compensado2,3) + " V ");
148.         digitalWrite (5,LOW);
149.
150.         Serial.println(" ESTA CARGANDO LA PILA 2");
151.         delay(50);
152.     }
153.
154.         numero_muestras2 = 0;
155.         suma2 = 0;
156.     }
157.     else{
158. Serial.println(" TEMPERATURA EXCESIVA EN LA PILA 2");
159. digitalWrite(5,HIGH);
160.     }
161.     }
162.     else{
163.         if(voltaje_compensado2<1.5 && voltaje_compensado2>0.9)
    {
164.
165.         Serial.println("La pila 2 se encuentra en un rango
    aceptable de funcionamiento:
    " + String(voltaje_compensado2,3) + " V ");
166.         digitalWrite (5,HIGH);
167.
168.         Serial.println(" LA PILA 2 ESTA FUNCIONANDO
    CORRECTAMENTE");
169.         delay(50);
170.     }
171.     if(voltaje_compensado2<0.9){
172.         carga_finalizada2=0;
173.
174.
175.     }
176.     }
177.     delay(50);
178.     capacidad_pila2=(voltaje_compensado2*4054.73)-3961.68;
179.     Serial.println("La capacidad de la pila 2 es:
    " + String(capacidad_pila2) + " mA/h ");
180.     delay(50);
181.     delay(50);
182.
183.
184.
185.     //PILA NUMERO 3
186.     while (numero_muestras3 < NUM_MUESTRAS_TOTAL1) { //Aqui
    tomo 20 MUESTRAS y las sumo todas
187.         suma3 = suma3 + analogRead(A2);
188.         numero_muestras3++;
189.         delay(10);
190.     }
191.     if(carga_finalizada3==0){
192.     if (Temperatura_excesiva3==0){
193.         voltaje3 = ((float)suma3 / (float)numero_muestras3 * 5.
    015) / 1023.0; //Aqui hago la relacion del voltaje con la media
    de las muestras medidas
194.         voltaje_compensado3= voltaje3*compensacion;//Compensaci
    on
195.
196.         if(voltaje_compensado3>1.4){
197.

```

```

198.         Serial.println("Pila 3  rango aceptable de
funcionamiento,  capacidad:
" + String(voltaje_compensado3,3) + " V ");
199.
200.         digitalWrite(6,HIGH);
201.         Serial.println("NO ESTA CARGANDO LA PILA 3");
202.         carga_finalizada3=1;
203.     }
204.     if(voltaje_compensado3<1.4 && voltaje_compensado3>0.9){
205.         Serial.println("La pila 3 ha perdido capacidad, su
capacidad es: " + String(voltaje_compensado3,3) + " V ");
206.         digitalWrite (6,LOW);
207.
208.         Serial.println(" ESTA CARGANDO LA PILA 3");
209.     }
210.
211.     if(voltaje_compensado3<0.9){
212.         Serial.println("La pila 3 se esta agotando, su
capacidad actual es: " + String(voltaje_compensado3,3) + " V ");
213.         digitalWrite (6,LOW);
214.
215.         Serial.println(" ESTA CARGANDO LA PILA 3");
216.     }
217.
218.     numero_muestras3 = 0;
219.     suma3 = 0;
220.
221. }
222. else{
223.     Serial.println(" TEMPERATURA EXCESIVA EN LA PILA 3");
224.     digitalWrite(6,HIGH);
225. }
226. }
227.     else{
228.         if(voltaje_compensado3<1.5 && voltaje_compensado3>0.9)
{
229.
230.         Serial.println("La pila 3 se encuentra en un rango
aceptable de funcionamiento:
" + String(voltaje_compensado3,3) + " V ");
231.         digitalWrite (6,HIGH);
232.
233.         Serial.println(" LA PILA 3 ESTA FUNCIONANDO
CORRECTAMENTE");
234.         delay(50);
235.     }
236.     if(voltaje_compensado3<0.9){
237.         carga_finalizada3=0;
238.
239.     }
240. }
241. }
242.     delay(50);
243.     capacidad_pila3=(voltaje_compensado3*4054.73)-3961.68;
244.     Serial.println("La capacidad de la pila 3 es:
" + String(capacidad_pila3) + " mA/h ");
245.     delay(50);
246.
247.
248.
249.

```

```

250. //PILA NUMERO 4
251. while (numero_muestras4 < NUM_MUESTRAS_TOTAL1) { //Aqui
    tomo 20 MUESTRAS y las sumo todas
252.     suma4 = suma4 + analogRead(A3);
253.     numero_muestras4++;
254.     delay(10);
255. }
256. if(carga_finalizada4==0){
257.     if (Temperatura_excesiva4==0){
258.         voltaje4 = ((float)suma4 / (float)numero_muestras4 * 5.
015) / 1023.0; //Aqui hago la relacion del voltaje con la media
de las muestras medidas
259.         voltaje_compensado4= voltaje4*compensacion;//Compensacion
260.
261.
262.         if(voltaje_compensado4>1.4){
263.
264.             Serial.println("Pila 4 rango aceptable de
funcionamiento, capacidad:
" + String(voltaje_compensado4,3) + " V ");
265.
266.             digitalWrite(9,HIGH);
267.             Serial.println("NO ESTA CARGANDO LA PILA 4");
268.             carga_finalizada4=1;
269.         }
270.
271.
272.         if(voltaje_compensado4<1.4 && voltaje_compensado4>0.9){
273.             Serial.println("La pila 4 ha perdido capacidad, su
capacidad es: " + String(voltaje_compensado4,3) + " V ");
274.             digitalWrite (9,LOW);
275.
276.             Serial.println(" ESTA CARGANDO LA PILA 4");
277.         }
278.
279.         if(voltaje_compensado4<0.9){
280.             Serial.println("La pila 4 se esta agotando, su
capacidad actual es: " + String(voltaje_compensado4,3) + " V ");
281.             digitalWrite (9,LOW);
282.
283.             Serial.println(" ESTA CARGANDO LA PILA 4");
284.         }
285.
286.         numero_muestras4 = 0;
287.         suma4 = 0;
288.     }
289.     else{
290.         Serial.println(" TEMPERATURA EXCESIVA EN LA PILA 4");
291.         digitalWrite(9,HIGH);
292.     }
293. }
294. }
295. else{
296.     if(voltaje_compensado4<1.5 && voltaje_compensado4>0.9)
{
297.
298.         Serial.println("La pila 4 se encuentra en un rango
aceptable de funcionamiento:
" + String(voltaje_compensado4,3) + " V ");
299.         digitalWrite (9,HIGH);

```

```

300.
301.     Serial.println(" LA PILA 4 ESTA FUNCIONANDO
CORRECTAMENTE");
302.     delay(50);
303.     }
304.     if(voltaje_compensado4<0.9){
305.         carga_finalizada4=0;
306.
307.
308.     }
309.     }
310.     delay(50);
311.     capacidad_pila4=(voltaje_compensado4*4054.73)-3961.68;
312.     Serial.println("La capacidad de la pila 4 es:
" + String(capacidad_pila4) + " mA/h ");
313.     delay(50);
314.
315.
316.     delay(1000);
317.
318.     //TEMPERATURA PILA 1
319.
320.     int sensorva_1=analogRead(A4);
321.     float Temperatura_1=(sensorva_1/1024.0)*5;
322.     float Temperatura_Real_1=(Temperatura_1-0.5)*100;
323.     //Serial.println(String(Temperatura_Real_1));
324.     if (Temperatura_Real_1>40){
325.         //Serial.println("DESCONECTAR PILA 1 ");
326.         //Serial.println("PARANDO LA CARGA DE LA PILA 1 ");
327.         digitalWrite(3,HIGH);
328.         Temperatura_excesiva1=1;
329.     }
330.     else{
331.         Temperatura_excesiva1=0;
332.     }
333.     delay(10);
334.
335.
336.     //TEMPERATURA PILA 2
337.
338.     int sensorva_2=analogRead(A5);
339.     float Temperatura_2=(sensorva_2/1024.0)*5;
340.     float Temperatura_Real_2=(Temperatura_2-0.5)*100;
341.     Serial.println("La temperatura de la pila 2 es:
" + String(Temperatura_Real_2) + " °C ");
342.     if (Temperatura_Real_2>50){
343.         //Serial.println("DESCONECTAR PILA 2 ");
344.         //Serial.println("PARANDO LA CARGA DE LA PILA 2 ");
345.         digitalWrite(5,LOW);
346.         Temperatura_excesiva2=1;
347.     }
348.     else{
349.         Temperatura_excesiva2=0;
350.     }
351.     delay(10);
352.
353.
354.
355.     //TEMPERATURA PILA 3
356.
357.     int sensorva_3=analogRead(A6);

```



```
358.     float Temperatura_3=(sensorva_3/1024.0)*5;
359.     float Temperatura_Real_3=(Temperatura_3-0.5)*100;
360.     Serial.println("La temperatura de la pila 3 es:
" + String(Temperatura_Real_3) + " °C ");
361.     if (Temperatura_Real_3>50){
362.         Serial.println("DESCONECTAR PILA 3 ");
363.         Serial.println("PARANDO LA CARGA DE LA PILA 3 ");
364.         digitalWrite(6,LOW);
365.         Temperatura_excesiva3=1;
366.     }
367.         else{
368.             Temperatura_excesiva3=0;
369.         }
370.     delay(10);
371.
372.
373.
374.     //TEMPERATURA PILA 4
375.
376.     int sensorva_4=analogRead(A7);
377.     float Temperatura_4=(sensorva_4/1024.0)*5;
378.     float Temperatura_Real_4=(Temperatura_4-0.5)*100;
379.     Serial.println("La temperatura de la pila 4 es:
" + String(Temperatura_Real_4) + " °C ");
380.     if (Temperatura_Real_4>50){
381.         Serial.println("DESCONECTAR PILA 4 ");
382.         Serial.println("PARANDO LA CARGA DE LA PILA 4 ");
383.         digitalWrite(9,LOW);
384.         Temperatura_excesiva4=1;
385.     }
386.         else{
387.             Temperatura_excesiva4=0;
388.         }
389.     delay(100);
390.
391.
392. }
```