



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**ESTUDIO DE UNA CELDA DE LiFePO_4 USADA.
COMPARACIÓN ENTRE CELDAS NUEVAS Y
USADAS**

Autor:

D. Pérez Quispe, Pedro José

Tutor:

D. Domínguez Vázquez, José Antonio

Departamento de tecnología electrónica

Valladolid, Febrero del 2019.

Resumen

Empezamos midiendo la tensión de celdas de tipo LiFePO_4 , exactamente cinco celdas, las cuales se encuentran en diferentes estados; el siguiente paso será conectar una celda al sistema elaborado para la descarga el cual monitoriza la tensión que presenta la celda en la descarga en todo momento.

Habiendo culminado la descarga vamos a elaborar una tabla con todas las lecturas de la monitorización en una hoja Excel.

Con los resultados obtenidos en la descarga vamos a elaborar un patrón que podemos utilizar para cuando vayamos a querer saber el estado de alguna celda y así poder clasificarla.

En cuanto a lo que se refiere a la carga de las celdas, el sistema está elaborado con los mismos elementos que se utilizó en la descarga más una fuente de tensión.

Finalmente, realizaremos una prueba con una celda escogida al azar para poder clasificarla siguiendo nuestro patrón de estudio desarrollado.

Palabras clave

Celda LiFePO_4 , resistencia interna de una LiFePO_4 , arduino uno, sistema de gestión de baterías, programación en Java.

Índice

Introducción.....	1
Objetivo	3
Capítulo 1. Baterías eléctricas	5
1.1 Batería eléctrica.....	5
1.2 Parámetros de una batería	6
1.3 Tipos de baterías secundarias.....	10
1.3.1 Plomo-ácido	10
1.3.2 Níquel-Cadmio	14
1.3.3 Níquel-Hidruro metálico	16
1.3.4 Batería de Ión litio	17
Capítulo 2. Información general sobre LiFePO_4	19
Capítulo 3. Desarrollo del proyecto.....	23
Estudio de las celda nuevas.....	23
Primera descarga	23
Circuito para la descarga.....	24
Circuito para la carga	33
Segunda descarga de la celda 1.....	34
Tercera descarga de la celda 1.....	36
Descarga celda 2	38
Conclusión de las celdas nuevas	40
Descarga de la celda 3	41
Descarga de la celda 4	43
Conclusión de los resultados	51
Ejemplo de nuestro estudio.....	52
Conclusión final	53
Bibliografía.....	55
Referencia de las figuras.....	57
Anexo I.....	59
Hardware	59
Arduino uno	59
Software.....	65
Aplicación de Arduino (IDE).	65
Programación en Java.....	72

a. Instalación de las librerías Java	72
b. Instalación de Netbeans IDE	76
Anexo II.....	79
Código Java.....	79
Código Arduino	85
Código para la descarga	85
Código para la carga	86
Anexo IV	87
Celda LiFePO_4 38120.....	87
Resistencia	92
Relé	94
Fuente de alimentación	96

Índice de figuras

Figura 1. Curva de descarga de una batería.....	8
Figura 2. Energía disponible en la celda	9
Figura 3. Vida útil de una batería.....	9
Figura 4. Resistencia interna de una batería.....	10
Figura 5. Efecto de la temperatura en la capacidad	13
Figura 6. Efecto a una temperatura de 25°C.....	14
Figura 7. Efecto a una temperatura de 1°C.....	14
Figura 8. Fase de carga de una batería de Ión Litio	18
Figura 9. Curva de descarga en diferentes corrientes.	20
Figura 10. Capacidad frente a la temperatura.....	21
Figura 11. Celda de LiFePO ₄ en comparación con los demás tipos de celdas.....	21
Figura 12. Resistencia de 3.9 Ω.....	25
Figura 13. Resistencias en paralelo	25
Figura 14. Resistencia equivalente para la descarga.	26
Figura 15. Ventana en donde se almacena los datos	29
Figura 16. Curva de la tensión en la primera descarga de la celda 1.....	31
Figura 17. Curva de la corriente en la primera descarga de la celda 1.....	31
Figura 18. Curva de la tensión en la segunda descarga de la celda 1.	35
Figura 19. Curva de la corriente en la segunda descarga de la celda 1.....	35
Figura 20. Curva de la tensión en la tercera descarga de la celda 1.....	37
Figura 21. Curva de la corriente en la tercera descarga de la celda 1.	37
Figura 22. Curva de la tensión en la descarga de la celda 2.....	39
Figura 23. Curva de la corriente en la descarga de la celda 2.	39
Figura 24. Comparación de las tensiones de descargas de la celda 1 y la celda 2.....	40
Figura 25. Comparación de las corrientes de descargas de la celda 1 y la celda 2.	40
Figura 26. Curva de la tensión en la descarga de la celda 4.....	44
Figura 27. Curva de la corriente en la descarga de la celda 4.	44
Figura 28. Curva de la tensión en la descarga de las celdas 3 y 4.	46
Figura 29. Curva de la corriente en la descarga de las celdas 3 y 4.....	46
Figura 30. Curva de la tensión en la descarga de la celda 5.....	48
Figura 31. Curva de la corriente en la descarga de la celda 5.	48
Figura 32. Curva de las tensiones en la descarga.	51
Figura 33. Instalación de Arduino.	66
Figura 34. Compatibilidad de Arduino con el sistema.....	66
Figura 35. Descarga del archivo zip. para instalar la aplicación de Arduino.....	66
Figura 36. Extracción del archivo zip. para instalar la aplicación de Arduino	67
Figura 37. Ejecución de la aplicación de Arduino.....	67
Figura 38. Ejecutable para abrir la aplicación de Arduino.	67
Figura 39 Sketch de la aplicación de Arduino.....	68
Figura 40. Configuración para trabajar con Arduino Uno.	68
Figura 41. Comprobación del COM de Arduino UNO	69
Figura 42. Comprobación del COM con la aplicación.....	70
Figura 43. Muestra de cómo crear una Macros.....	71
Figura 44. Interfaz de Java y Arduino.	71
Figura 45. Página de Oracle.....	72

<i>Figura 46. Opción de descarga.</i>	72
<i>Figura 47. Opción Java para desarrolladores.</i>	73
<i>Figura 48. Descargando Java SE</i>	73
<i>Figura 49. Archivo JDK</i>	73
<i>Figura 50. Compatibilidad del archivo con nuestro S.O.</i>	74
<i>Figura 51. Buscando las propiedades de nuestro S.O.</i>	74
<i>Figura 52. Propiedades del sistema.</i>	75
<i>Figura 53. Tipo de nuestro sistema operativo</i>	75
<i>Figura 54. Descarga de la versión compatible a nuestro S.O.</i>	75
<i>Figura 55. Opciones de paquetes de NetBeans.</i>	76
<i>Figura 56. Elección del paquete de NetBeans</i>	76
<i>Figura 57. Instalación de NetBeans IDE 8.2</i>	77
<i>Figura 58. Plataforma de NetBeans IDE 8.2</i>	77

Índice de imágenes

<i>Imagen 1. Paquete de celdas</i>	1
<i>Imagen 2. Baterías primarias</i>	5
<i>Imagen 3. Organización de varias celdas en serie</i>	6
<i>Imagen 4. Tensión de una batería</i>	7
<i>Imagen 5. Esquema de una batería de plomo-ácido</i>	11
<i>Imagen 6. Batería de PbO₂ en sus dos estados</i>	12
<i>Imagen 7. Celda NiCd</i>	15
<i>Imagen 8. Capacidad de descarga</i>	19
<i>Imagen 9. Estructura interna de un relé</i>	26
<i>Imagen 10. Esquema general del circuito para la descarga</i>	27
<i>Imagen 11. Sistema real para la descarga</i>	27
<i>Imagen 12. Tensión en vacío de la celda 1</i>	28
<i>Imagen 13. Tensión de la celda con la carga.</i>	28
<i>Imagen 14. Esquema general para la carga.</i>	34
<i>Imagen 15. Tensión en vacío de la celda 4</i>	45
<i>Imagen 16. Tensión de la celda 4 con la carga.</i>	45
<i>Imagen 17. Tensión en vacío de la celda 5</i>	49
<i>Imagen 18. Tensión en carga de la celda 5.</i>	49
<i>Imagen 19. Tarjeta de Arduino Uno.</i>	59
<i>Imagen 20. Microcontrolador ATmega328P</i>	60
<i>Imagen 21. Partes de la placa de Arduino Uno</i>	61
<i>Imagen 22. Cable para la conexión entre el ordenador y Arduino Uno</i>	62
<i>Imagen 23. Forma de alimentar el Arduino Uno.</i>	62
<i>Imagen 24. Terminales digitales.</i>	63
<i>Imagen 25. Terminales analógicos de Arduino Uno.</i>	64
<i>Imagen 26. Forma de conectar Arduino Uno con el ordenador</i>	69
<i>Imagen 27. Tarjeta MicroSD para Arduino.</i>	71
<i>Imagen 28. Celda de LiFePO₄</i>	91
<i>Imagen 29. Relé JZC-11F</i>	95
<i>Imagen 30. Fuente de alimentación</i>	96

Índice de tablas

<i>Tabla 1. Estado inicial de las celdas.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 2. Fragmento de la monitorización de la primera descarga de la celda 1.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 3. Resumen de la monitorización en la primera descarga.</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 4. Fragmento de la monitorización de la segunda descarga de la celda 1.</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 5. Resumen de la monitorización de la segunda descarga de la celda 1.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 6. Fragmento de la monitorización de la tercera descarga de la celda 1.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7. Resumen de la monitorización de la tercera descarga de la celda 1.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 8. Fragmento de la monitorización en la descarga de la celda 2.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 9. Resumen de la monitorización en la descarga de la celda 2.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 10. Fragmento de la monitorización en la descarga de la celda 3.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 11. Resumen de la monitorización en la descarga de la celda 3.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 12. Curva de la tensión en la descarga de la celda 3.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 13. Curva de la corriente en la descarga de la celda 3.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 14. Fragmento de la monitorización en la descarga de la celda 4.</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 15. Resumen de la monitorización en la descarga de la celda 4.</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 16. Comparación del valor de las resistencias internas.</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 17. Fragmento de la monitorización en la descarga de la celda 5.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 18. Resumen de la monitorización en la descarga de la celda 5.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 19. Resultados finales del estudio de las celdas.</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 20. Estudio de una celda cogida al azar.</i>	<i>52</i>

Introducción

En la actualidad el uso de las baterías se está volviendo algo imprescindible en el entorno de la sociedad moderna, su utilidad la podemos encontrar en muchos aparatos y cada vez a gran escala. Desde sus comienzos en el siglo XIX con Alessandro Volta, han surgido diversos tipos de baterías, una detrás de otra, cada cual mejor que su antecesor mejorando muchos aspectos tanto físicos como químicos y además de algunas de sus características principales como pueden ser su durabilidad y seguridad.

Quiéno no ha oído hablar de las baterías, es más, podemos asegurar que en cada hogar familiar de todo Europa podemos encontrar con mucha certeza por lo menos un par de ellas, pero inequívocamente pocos pueden dar una explicación exacta de todas sus características y de su utilización de forma eficiente.

Nuestro proyecto se centra básicamente en realizar unas pruebas en la celda de tipo LiFePO_4 y con dicha prueba poder clasificar la celda y predecir su estado.



Imagen 1. Paquete de celdas [1].



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Objetivo

El presente trabajo fin de grado tiene como principal objetivo hacer un estudio experimental de una cantidad determinada de celdas de tipo LiFePO_4 , el estudio consiste en realizar descargas de las celdas y obtener la evolución de la tensión en el tiempo y poder encontrar un patrón para dichas descargas bajo ciertas condiciones.

Dicho patrón nos podrá servir como “termómetro” a la hora de querer hacer un estudio de alguna otra celda, es decir, realizando una comparación entre el patrón que hemos obtenido y la curva de la tensión en la descarga podremos predecir en qué circunstancias se encuentra dicha celda.

Con nuestro estudio no podemos mejorar las prestaciones para un aumento de la vitalidad de las celdas, sin embargo, si hemos podido encontrar algunas condiciones para una mejor utilización y mantener lo máximo posible el buen estado de estas, dichas condiciones no solo estarán basadas en las circunstancias de nuestro estudio, sino que también se podrá aplicar a todas las estipulaciones de trabajo en las que se requieran este tipo de celdas.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Capítulo 1. Baterías eléctricas

En éste apartado haremos hincapié de los principales parámetros de una batería, del mismo modo, también los distintos tipos de baterías que existen en el mercado y por último hablaremos de la batería que vamos a utilizar en nuestro proyecto.

1.1 Batería eléctrica

Podemos definir el término batería haciendo referencia a la real academia española, la cual define a la batería como un acumulador o un conjunto de acumuladores de electricidad. Es decir, es un dispositivo que está constituido por una o más celdas electroquímicas que puede convertir la energía química que almacenan en un flujo de corriente eléctrica. Estas celdas están constituidas por dos electrodos, uno positivo o también llamado ánodo y otro negativo o cátodo.

Su funcionamiento está basado en un proceso químico llamado reducción-oxidación. Dicho proceso consiste en que uno de los componentes se oxida y el otro componente se reduce, gracias a la pérdida y ganancia de electrones de los elementos que forman la celda se genera un diferencial de potencial en sus bornes y así, al conectar un circuito a ellos, se produce el paso de corriente.

Sin embargo en el universo de las baterías podemos encontrar dos grandes grupos. Las baterías primarias, cuya aplicación se encuentra fundamentalmente dentro de las potencias bajas y es por ello que sean de tamaño pequeño; este tipo de baterías no la podemos renovar cuando se agotan.



Imagen 2. Baterías primarias [2].

Por otro lado también podemos encontrar el tipo de baterías secundarias, esta se puede recargar sometiéndolas al paso de una corriente eléctrica en el sentido inverso en el que la corriente fluye normalmente. A diferencia de las primarias, éstas tienen un amplio margen de potencias y capacidades, desde unos cientos de miliamperios-hora hasta capacidades de varias decenas de amperios-hora.

En este capítulo hablaremos solamente del tipo de baterías secundarias. A continuación mencionamos algunos tipos que existen:

- Plomo-ácido.
- Níquel- Cadmio.
- Níquel- Hidruro metálico.
- Celdas de Litio.

1.2 Parámetros de una batería

1. **Celda:** Es el menor elemento posible que forma una batería, una batería puede estar organizada por varias celdas o banco de celdas y su conexión la podemos encontrar de tal manera que éstas se conecten en serie o en paralelo dependiendo a las necesidades que tengamos.

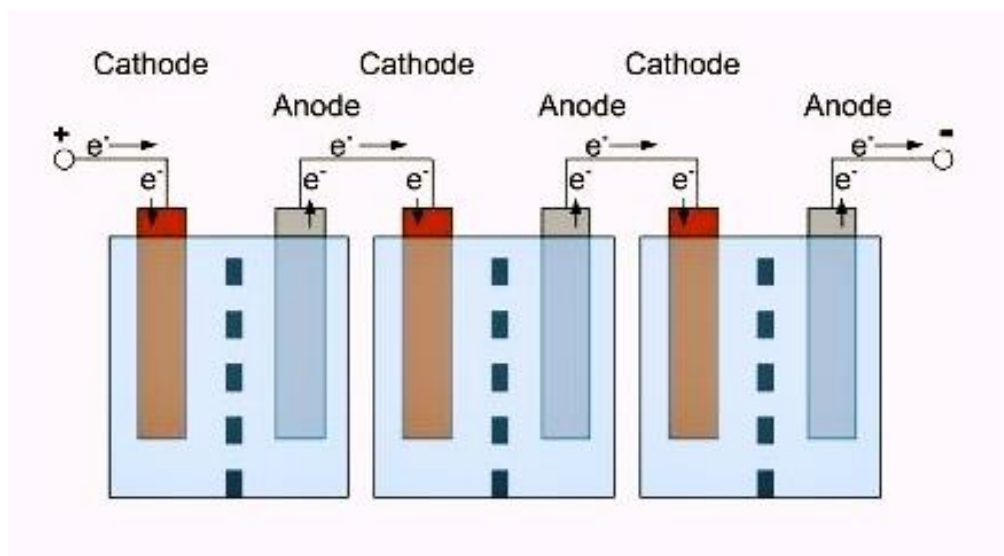


Imagen 3. Organización de varias celdas en serie [3].

2. **Tensión o diferencia de potencial:** Es un parámetro muy importante pues es una referencia para poder conocer el estado de la batería. Su unidad de medida es el voltio (V), para conocer su valor tenemos que medir entre los bornes de la batería. También tenemos que tener en cuenta que el valor de la misma puede cambiar en función a la forma de medirla, es decir, no es lo mismo medir la tensión de la batería en vacío (sin conectar nada entre sus bornes) que si medimos la tensión de la batería al conectar una carga.



Imagen 4. Tensión de una batería [4].

3. **La corriente:** Es un factor muy importante, se define como la cantidad de carga (culombios) que circular por una sección en un tiempo determinado, su unidad de medida es el amperio (A).
4. **La capacidad eléctrica:** Cantidad de electricidad que puede obtenerse durante una descarga completa del acumulador plenamente cargado. se mide en la práctica por referencia a los tiempos de carga y de descarga en Ah. La unidad SI es el coulomb "C". ($1 \text{ Ah} = 1000 \text{ mAh} = 3600 \text{ C}$; $1 \text{ C} = 1 \text{ Ah}/3600 = 0,278 \text{ mAh}$.)
5. **Capacidad nominal:** Capacidad asignada por el fabricante para una batería nueva y para ciertas condiciones de operación.
Por ejemplo: si tengo una batería de 300Ah puedo entregar 30 amperios durante 10 horas, pero también podría entregar una corriente de 15 amperios durante 20 horas. Por otra parte si someto a la batería para que me suministre 150 amperios en 2 horas quizás no pueda alcanzar esos valores, pues la batería viene fija por el fabricante para un límite de valores que puede alcanzar. Esta denominación viene adjunta a la batería con la simbología "CX", siendo X las horas nominales de la descarga.
Siguiendo con el ejemplo anterior, si tengo una celda de 300Ah de C20, tengo que saber que 300Ah está pensado para trabajar con una corriente nominal en un tiempo de 20horas, es decir que puedo suministrar como mucho una corriente de 15A. En el caso de intentar sobrepasar esa corriente, la capacidad de la batería se verá afectada. Para conocer más sobre la capacidad de la batería tendremos que ver las curvas de descarga.

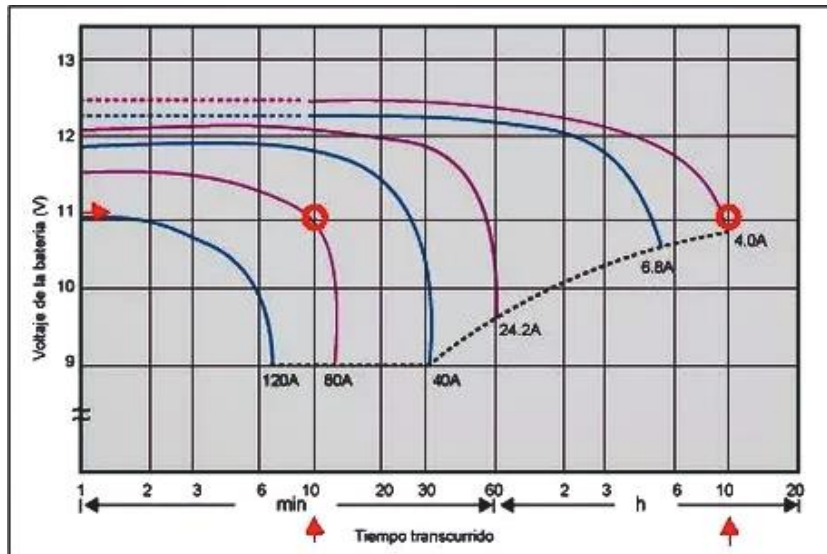


Figura 1. Curva de descarga de una batería [5].

6. **Capacidad disponible:** Capacidad obtenida en función de un conjunto de condiciones de operación como régimen de descarga, temperatura, estado de carga inicial y voltaje final de descarga.
7. **Capacidad energética:** Número total de vatios-hora que pueden ser extraídos de una batería plenamente cargada.
8. **Energía almacenada:** Se mide habitualmente en Wh (vatios-hora); la unidad SI es el julio. (1 Wh = 3600 J = 3,6 kJ; 1 J = 0,278 mWh).
9. **El régimen de carga / descarga:** Es la corriente aplicada a la batería para restablecer /extraer la capacidad disponible. Este régimen está generalmente normalizado para la capacidad de la batería. Por ejemplo, el régimen de descarga de 10 horas de una batería de 300Ah es:

$$\text{Capacidad Nominal/Tiempo de descarga} = 300\text{Ah}/10\text{h} = 30 \text{ A (régimen C}/10\text{)}.$$
10. **La profundidad de descarga (DOD):** Son los amperios-hora extraídos de una batería plenamente cargada expresada como un *porcentaje de la capacidad nominal*.
11. **Estado de carga (SOC):** La capacidad disponible en una batería expresada como un *porcentaje de la capacidad nominal*. Cuando el SOC disminuye, el DOD aumenta.

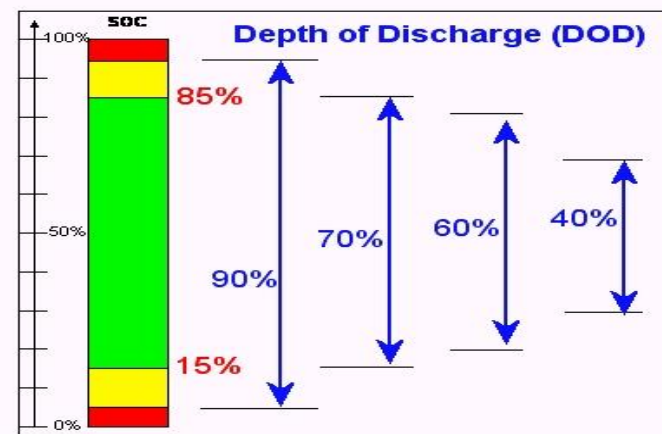


Figura 2. Energía disponible en la celda [6].

12. **Ciclo:** Secuencia de carga/descarga para una profundidad y régimen de descarga determinados.
13. **El voltaje de corte:** Es el voltaje para el cual se finaliza la descarga de la batería. Es función del régimen de descarga y del tipo y modelo de cada batería.
14. **Vida útil:** Es el número de ciclos que una batería puede soportar bajo determinadas condiciones, también se puede relacionar con la capacidad en la que está puede llegar a reducir su capacidad hasta un 80% del total. Tiene una relación directa con el DOD.

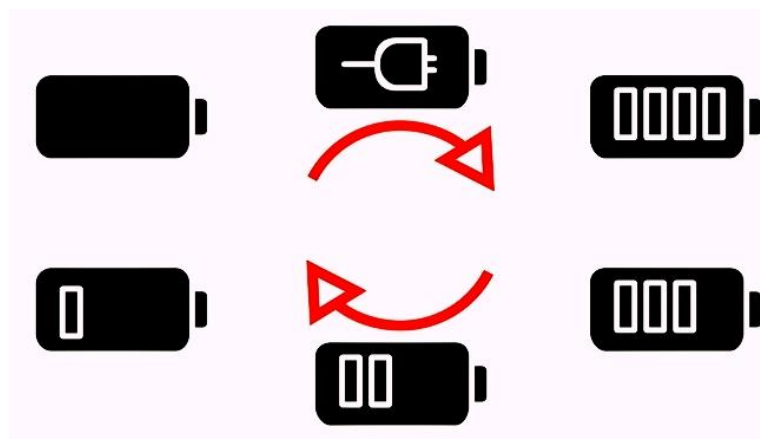


Figura 3. Vida útil de una batería [7].

15. **Densidad de energía:** Relación entre la energía disponible (nominal) de una batería y su peso (incluyendo todos sus componentes: electrodos, electrolito, separadores, rejilla, etc.) o volumen.

- 16. Densidad de potencia:** Relación entre la potencia disponible (nominal) de la batería y su peso o volumen.
- 17. Autodescarga:** Es la pérdida de capacidad de una batería cuando ésta se encuentra en circuito abierto. Tiene su origen en reacciones químicas internas de descarga.
- 18. El rendimiento:** Es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que la batería entrega durante la descarga. El acumulador de plomo-ácido tiene un rendimiento de más del 90%.
- 19. La resistencia interna:** En las baterías es muy inferior a la de las pilas, lo que les permite suministrar cargas mucho más intensas que las de éstas, sobre todo de forma transitoria. No podemos calcular de forma directa la resistencia interna de la batería, de manera que tenemos que conocer los valores de corriente y de tensión medidos cuando conectemos una carga.

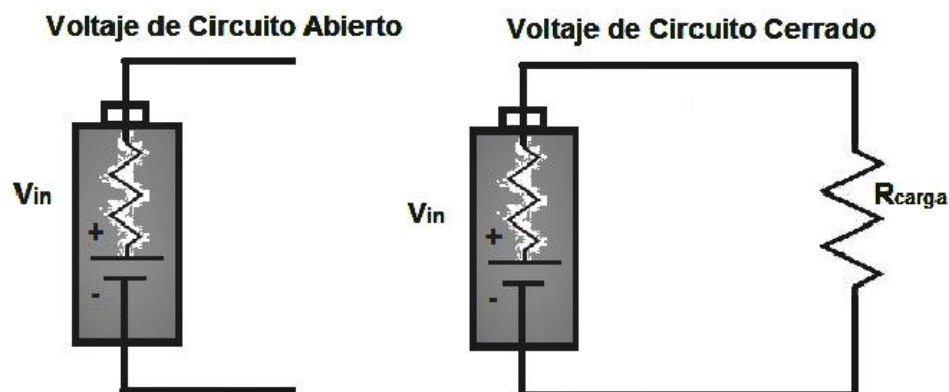


Figura 4. Resistencia interna de una batería [8].

1.3 Tipos de baterías secundarias

1.3.1 Plomo-ácido

Este tipo de batería, presenta una celda que dependiendo a su estado de carga puede exceder a los dos voltios, una característica de ellas es que tanto el terminal positivo como el negativo se pueden identificar fácilmente pues ambos se ven en la caja de plástico con sus símbolos correspondientes. Como podemos apreciar en la imagen 5, internamente se observa la unión en serie de las celdas, éstas están separadas físicamente dentro de la caja, sin embargo éstas celdas están compuestas por varias placas positivas y negativas, la unión de dichas placas es la que proporciona la superficie de una celda.

Haciendo un repaso en la historia de estas baterías, fueron fabricadas a mediados del siglo XIX por Gastón Planté. Se descubrió que cuando el material de plomo se sumergía en una solución de ácido sulfúrico se producía un voltaje eléctrico el cual podía ser recargado. Este tipo de batería es único en cuanto que utiliza el plomo, material relativamente barato, tanto para la placa positiva como para la negativa. El material activo de la placa positiva es óxido de plomo (PbO_2), el de la placa negativa es plomo puro esponjoso y el electrolito está disuelto en ácido sulfúrico (H_2SO_4). Cuando hablamos de material activo en las baterías de ácido de plomo, nos referimos al óxido de plomo y al plomo esponjoso.

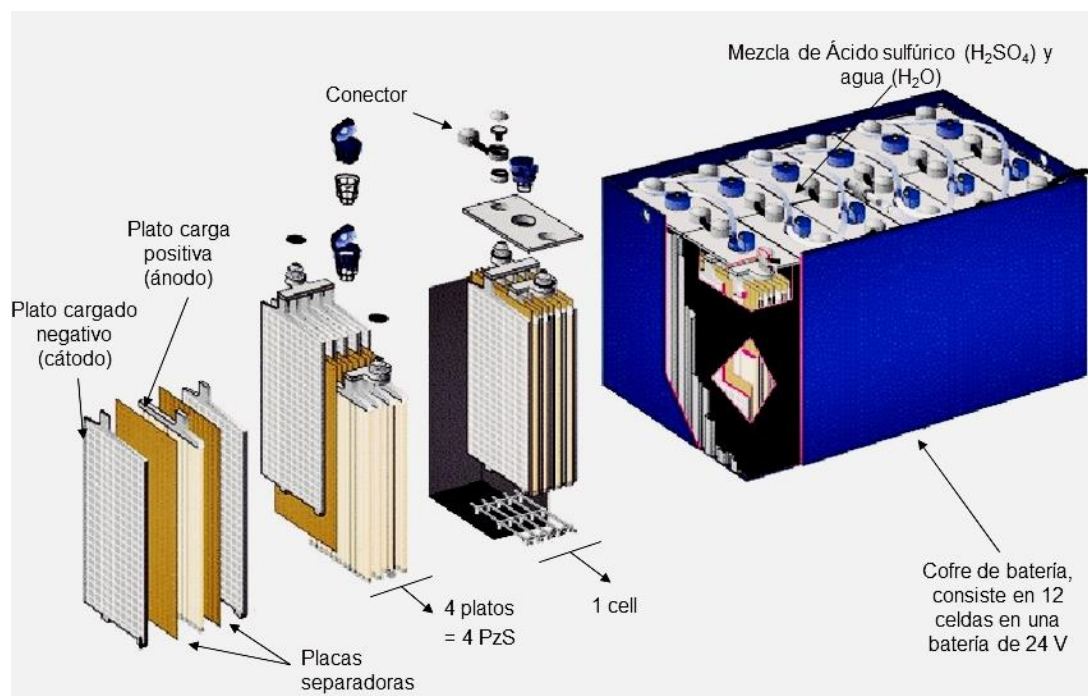


Imagen 5. Esquema de una batería de plomo-ácido [9].

El funcionamiento de este tipo de batería consiste en introducir dos placas de plomo en una solución de ácido sulfúrico, de esta manera las placas se sulfatan por acción del ácido y la densidad del electrolito disminuye.

Para poder cargar la batería, tenemos que conectarla a un generador que nos proporcione corriente continua respetando la polaridad entre sus conectores, dicho generador deberá de presentar una tensión algo superior a la de la celda.

A continuación mostraremos una serie de transformaciones químicas que se genera en las placas de plomo:

- La densidad del ácido aumenta.
- La superficie de la placa negativa se oxida.
- La superficie de la placa positiva pierde sulfato y pierde peso.

- Las placas tratadas por esta corriente eléctrica continua quedan cargadas por mucho tiempo con electricidad la cual se puede ocupar en forma inversa en multiplicidad de ocupaciones.
- En el proceso de descarga se produce la sulfatación de la placa positiva ganando peso la placa y perdiendo densidad el electrolito (la solución de ácido) y el electro deposición de plomo esponjoso puro en la negativa.
- El voltaje de esta celdilla es de aproximadamente 2,3 voltios.

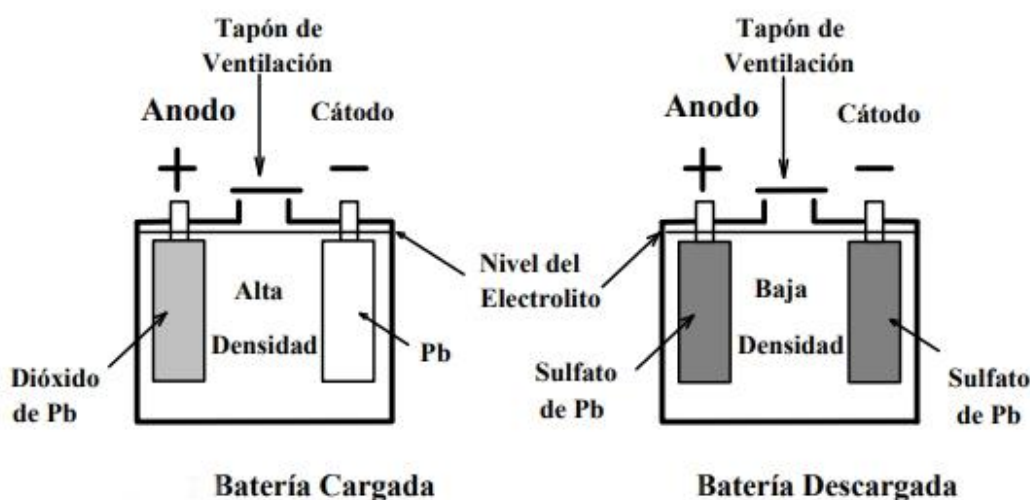


Imagen 6. Batería de PbO_2 en sus dos estados [10].

La tecnología del plomo ácido puede variar según las diferentes necesidades existentes, las baterías se clasifican en grupos según el uso que estas tengan y por su diseño de los electrodos o placas, el material activo y el electrolito.

Batería de tracción: Las baterías de tracción están sujetas a una constante y relativamente pequeña descarga, durante largos periodos de tiempo, lo que supone un alto grado de descarga y una elevada potencia. Hay que procurar recargarlas, preferiblemente de 8 a 16 horas cada día antes de que se vuelvan a descargar. Las baterías de tracción tienen electrodos muy gruesos con rejillas pesadas y un exceso de material activo. Suelen emplearse en carretillas elevadoras, sillas de ruedas eléctricas y automóviles eléctricos.

Batería estacionarias: Las baterías estacionarias están constantemente siendo cargadas y se debe tener cuidado de evitar que se sequen. El electrolito y el material de la rejilla del electrodo están diseñados de forma que se minimice la corrosión. Son empleadas en fuentes de alimentación de emergencia y fuentes de alimentación ininterrumpida para usos de informática (UPS).

Batería de arranque: Tienen que ser capaces de descargar el máximo de corriente posible en un corto espacio de tiempo manteniendo un alto voltaje. Tienen que ser capaces de aguantar muchas descargas incluso con cambios fuertes de temperatura. El peso, el diseño y la forma son también características determinantes. Se utilizan para arrancar automóviles y otros vehículos de motor diesel y gasolina. Para poder cumplir esa tarea, se necesita mucha energía en un periodo corto de tiempo. Las baterías de arranque tienen generalmente una baja resistencia interna. Esto puede lograrse con una gran área de superficie de electrodo, un pequeño espacio entre placas y unas conexiones “heavy-duty” entre celdas (conexiones muy resistentes al paso de corriente con muy baja resistividad).

Las baterías de Plomo-Acido normalmente están diseñadas para operar a 25°C. El efecto de la temperatura en la capacidad (Ah) de la batería se muestra a continuación.

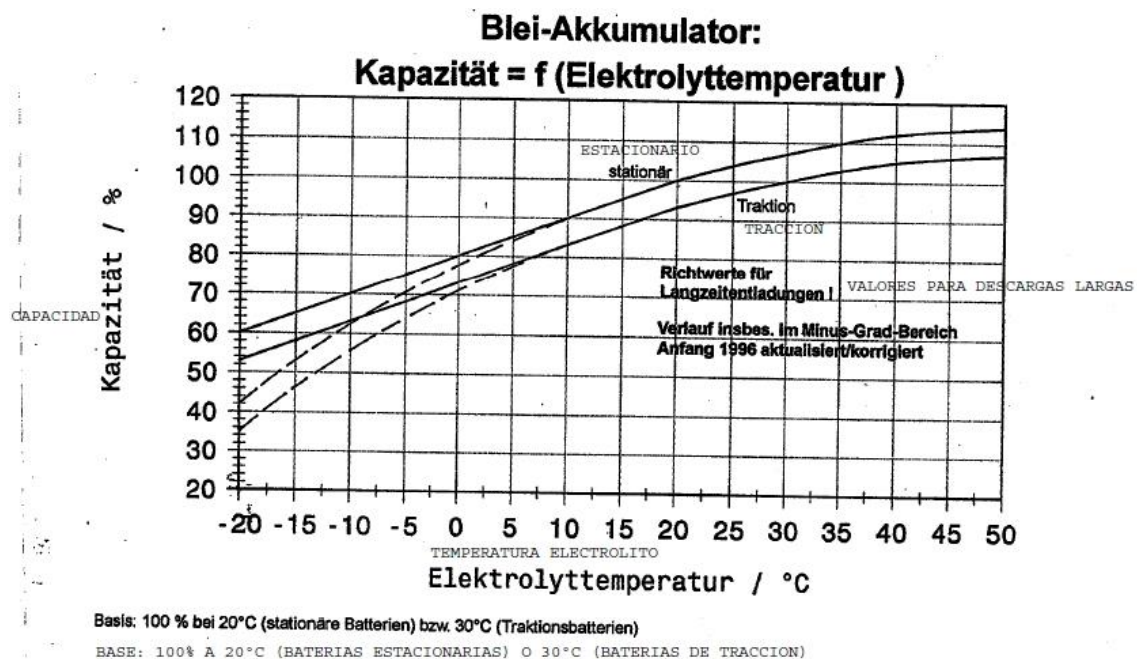


Figura 5. Efecto de la temperatura en la capacidad [11].

Como puede notarse en la figura 5, la celda estacionaria presenta una mayor capacidad respecto a las baterías de tracción pero ambas están diseñadas para operar a 25°C, aunque este sea un caso particular, la mayoría de baterías presenta este comportamiento. La capacidad en Ah se incrementa al aumentar la temperatura por encima de los 25°C, sin embargo esto no significa que a mayor temperatura se obtengan mejores resultados. Si bien la capacidad en Ah aumenta, la corrosión interna deteriora la batería, pues el proceso químico de óxido-reducción se acelera agotando así el electrolito de la reacción, en esta reacción se forma sulfato de plomo que se adhiere a las placas tanto positiva como negativa y el electrolito aumenta su viscosidad. Este tipo de degradación independientemente

de la corriente que circule por la batería, debido a esto han sometido a periodos prolongados de almacenamiento a temperaturas superiores a 25°C presentan un acortamiento de su vida útil. Si bien el aumento de la temperatura afecta a la capacidad de la batería, el efecto de la baja temperatura puede retardar el proceso en la reacción química, es decir, una disminución de la temperatura se puede traducir en un aumento de la resistencia interna de la batería y en consecuencia provocar que aumenta la caída de tensión en la resistencia interna.

Como hemos podido apreciar el efecto de la temperatura afecta de alguna manera a este tipo de baterías, a continuación mostramos el efecto en distintas temperaturas en la carga y descarga en este tipo de batería.

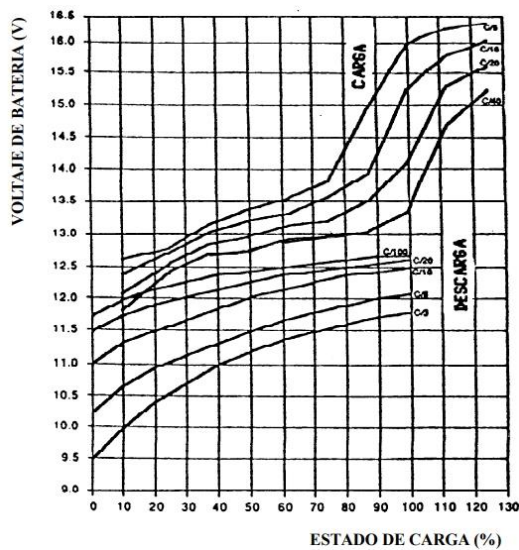


Figura 6. Efecto a una temperatura de 25°C [12].

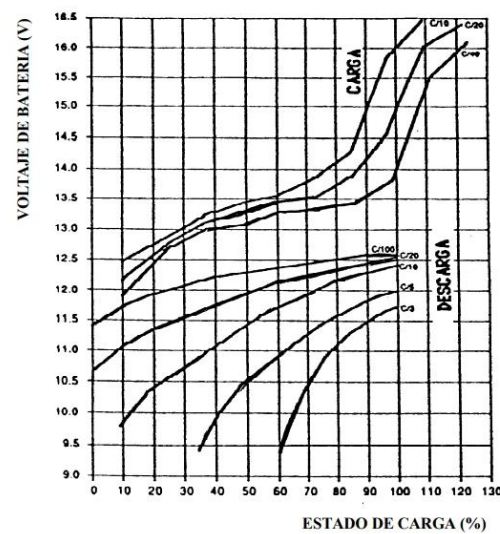


Figura 7. Efecto a una temperatura de 1°C [13].

1.3.2 Níquel-Cadmio

Elementos capaces de almacenar energía, la tensión media entre bornes es de 1,2 voltios, por lo general se indica capacidad para una descarga de 10h a 20°C siendo la capacidad nominal de la batería que se representa por C10. En cuanto a formas y tamaños, en general, se adoptan las normalizadas para las pilas secas y alcalinas, de forma que pueda existir intercambiabilidad entre ambos tipos. Los materiales activos que componen este acumulador son óxido de níquel hidratado en el cátodo y Cadmio en el ánodo inmersos en un electrolito que es una disolución acuosa de hidróxido potásico (KOH).

Estas baterías presentan unas características de funcionamiento que hacen ventajosa su utilización, como son:

- Posibilidad de usar descargas profundas y sobrecargas, no necesitando regulador para controlar el voltaje de sobrecarga.

- Aptitud para permanecer largos períodos de tiempo en bajo estado de carga.
- La tensión por elemento en descarga se mantiene mucho más estable y tan sólo al final de la descarga (85-90% de profundidad de descarga), cae hacia valores más bajos que el nominal.
- Presentan una vida mucho mayor que las de plomo-ácido, para los mismos ciclos de trabajo.
- Puede resistir a bajas temperaturas, incluso hasta la congelación del electrolito, ya que la batería volverá a funcionar normalmente al producirse la descongelación.
- En cuanto al mantenimiento, éste puede llegar a espaciarse hasta 10 años, si la celda tiene una construcción y características adecuadas. Un nivel de electrolito insuficiente tampoco la daña, dejando tan sólo de funcionar temporalmente hasta que se reponga de nuevo el nivel.
- Durante la carga no se producen gases corrosivos.
- Puede llegar a un alto número posible de recargas.
- La velocidad de recarga es elevada con respecto a otros tipos de celdas.



Imagen 7. Celda NiCd [14].

Pero también presentan una serie de desventajas como pueden ser:

- Tiene una autodescarga de 3 a 6% al mes, ligeramente superior a las de plomo-ácido.
- Baja capacidad de carga a regímenes de descarga lentos. Este efecto también se observa en baterías que se han cargado con una corriente no muy elevada pero durante un largo tiempo (días o semanas): esto produce el crecimiento de cristales en el electrolito y reduce drásticamente la capacidad de carga, pero se puede solucionar ciclando las celdas algunas veces.
- Alto coste, que puede ser hasta cuatro veces mayor que el de plomo-ácido.
- El cadmio es tóxico, por ello debe de ser adecuadamente reciclado.



Entre los muchos usuarios de baterías en el sector industrial y de consumo, existe la idea de un fenómeno de memoria en las baterías del níquel-cadmio que se ha extendido y empleado incorrectamente. El término ‘memoria’ se ha vuelto común y se usa para describir un conjunto de problemas, siendo confundido habitualmente con una simple bajada de voltaje. Específicamente, el término ‘memoria’ viene de una utilización aeroespacial de baterías de Níquel-Cadmio en la que dichas baterías se descargaron repetidamente al 25% de su capacidad teórica (más menos un 1%) gracias a la intervención de un ordenador. Entonces se recargaron al 100% de su capacidad sin sobrecargarlas. Este régimen repetitivo, sin efectuar sobrecargas, producía una pérdida de capacidad, a largo plazo, de aproximadamente un 25%. De aquí el nacimiento del “efecto memoria”, en el que las baterías de níquel-cadmio pierden supuestamente su capacidad de carga si se descargan repetidamente a un nivel específico.

En realidad, el efecto memoria NO puede existir si se da al menos una de las siguientes condiciones:

- Las baterías logran una carga completa.
- La descarga no es exactamente igual en cada ciclo: más menos 2-3%.
- Se descarga cada célula de la celda a menos de 1 voltio.

En cuanto a la influencia de la temperatura según el tipo y fabricante estas baterías pueden descargarse en un margen comprendido entre $-40 / -20^{\circ}\text{C}$ hasta $45^{\circ} / 60^{\circ}\text{C}$. La capacidad nominal se establece a 20°C ; a temperaturas superiores hay un ligero aumento de la capacidad efectiva (no llega al 5% a 40°C), pero a temperaturas bajo cero hay una disminución importante.

1.3.3 Níquel-Hidruro metálico

Una batería de níquel e hidruro metálico (o NiMH) es un tipo de batería recargable similar a las de níquel-cadmio (NiCd) pero que no contiene el caro (y medioambientalmente peligroso) cadmio. Las pilas de níquel e hidruro metálico tienden a tener una mayor capacidad que las Ni- Cd y sufren bastante menos el efecto memoria (habitualmente despreciable).

Las baterías de níquel e hidruro metálico son mucho más respetuosas con el medio ambiente. Pueden almacenar un 30% más de energía que una celda de Ni-Cd equivalente, y por tanto, la carga dura más tiempo.

Los ciclos de carga de estas baterías oscilan entre las 500 y 700 cargas, algunos de sus inconvenientes son las “altas” temperaturas que alcanzan en las cargas o en los usos.



1.3.4 Batería de Ión litio

El Litio es el más liviano de todos los metales, posee el mayor potencial electroquímico y representa el mayor contenedor de energía. Usando litio metálico como electrodo negativo las celdas recargables son capaces de proveer alto voltaje y excelente capacidad, obteniendo así una extraordinaria alta densidad de energía.

A causa de la inestabilidad inherente al Metal - Litio, especialmente durante su carga, las investigaciones se orientaron hacia la búsqueda de una batería de Litio no metálico usando iones de litio como Dióxido de litio-cobalto (LiCoO_2). Aunque levemente menor en densidad de energía que el metal - Litio, el Li-Ion es seguro pero siempre debe estar provisto con ciertas precauciones para la carga y la descarga. En 1991, se comercializó la primera celda de Li-Ion. Otros fabricantes siguieron el ejemplo siendo hoy el químico de baterías de más rápido crecimiento en el mundo.

Han surgido varios tipos de celdas de Li-Ion. La versión original usaba carbón como electrodo positivo. Desde 1997, la mayoría de las baterías de Li-Ion se han volcado al uso del grafito. Este electrodo presenta una curva de descarga de voltaje más plana que el carbón, seguido por una rápida caída de voltaje. Como consecuencia la energía útil del sistema de grafito puede ser recuperada descargando solo hasta 3V, mientras que la versión de carbón debe ser descargada hasta los 2.5V para obtener la misma representación.

Dos químicos diferentes han surgido para el electrodo negativo. Estos son el cobalto y el manganeso. Aunque el cobalto ha sido muy usado, el manganeso es inherentemente más seguro y se resiente menos ante el abuso. Los circuitos de protección se pueden simplificar o incluso llegar a eliminar. Como desventajas, el manganeso ofrece una densidad de energía levemente menor, sufre pérdida de capacidad a temperaturas superiores a los 40°C y envejece más rápido que el cobalto. A pesar de que las baterías de Li-Ion tienen algún impacto ambiental, causan menos daño que las baterías basadas en cadmio o plomo. Entre la familia de baterías de Li-Ion de cobalto o manganeso, la de manganeso es la más noble. En la siguiente gráfica podemos observar como es el proceso de carga de una batería de iones de litio, vemos que consta de una primera fase rápida en el que el voltaje aumenta considerablemente y la inyección de corriente de carga es máxima. A continuación, cuando el voltaje ha llegado a valor más alto, la corriente comienza a disminuir lentamente hasta que el proceso de carga termina.

A pesar de todas sus ventajas, esta tecnología no es el sistema perfecto para el almacenaje de energía, pues tiene varios defectos, como pueden ser:

Duración media: Depende de la cantidad de carga que almacenen, independientemente de su uso. Tienen una vida útil de unos 3 años o más si se almacenan con un 40% de su carga máxima (en realidad, cualquier celda,

independientemente de su tecnología, se deteriora si se almacena sin carga. Basta con recordar el proceso de sulfatación que ocurría en las antiguas baterías de zinc-carbón cuando se almacenaban al descargarse completamente).

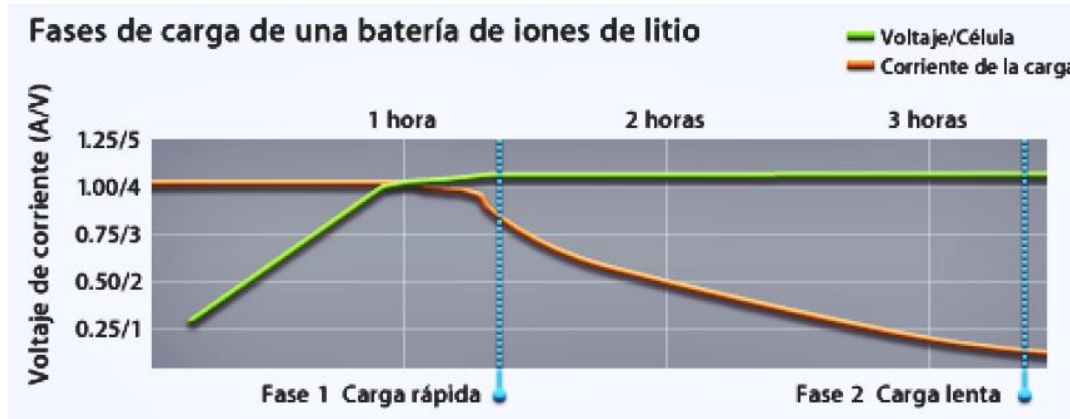


Figura 8. Fase de carga de una batería de Ión Litio [15].

Soportan un número limitado de cargas: Entre 300 y 1000, menos que una batería de níquel cadmio e igual que las de Ni-MH, por lo que ya empiezan a ser consideradas en la categoría de consumibles.

Son costosas: Su fabricación es más costosa que las de Ni-Cd e igual que las de Ni-MH, si bien el precio en la actualidad baja rápidamente debido a su gran penetración en el mercado, con el consiguiente abaratamiento. Podemos decir que se utilizan en todos los teléfonos móviles y ordenadores portátiles del mundo y continúa extendiéndose su uso a todo tipo de herramientas portátiles de baja potencia.

Pueden sobrecalentarse hasta el punto de explotar: Están fabricadas con materiales inflamables que las hace propensas a detonaciones o incendios, por lo que es necesario dotarlas de circuitos electrónicos que controlen en todo momento su temperatura.

Peor capacidad de trabajo en frío: Ofrecen un rendimiento inferior a las baterías de Ni-Cd o Ni-MH a bajas temperaturas, reduciendo su duración hasta en un 25%.

Tensión muy variable: Debido a que la variación de la tensión de batería es muy grande, se hace imprescindible usar un pequeño convertidor CC/CC en función de la aplicación de la que se trate si se quiere tener una tensión de salida constante.

También tenemos otro tipo de baterías de Litio, la cual es la celda de Litio fosfato de hierro $LiFePO_4$, este tipo de baterías es la que utilizaremos en nuestro proyecto.

Capítulo 2. Información general sobre LiFePO_4

Las baterías de fosfato de hierro y litio, son las baterías tradicionales de Li-Ion más seguras, una celda de este tipo de batería presenta una tensión nominal entorno a los 3.3V. Además es de tipo recargable que combina iones de litio (Li) con fosfato de hierro (LiFePO_4) como material catódico. En comparación con otros materiales catódicos presentan las siguientes ventajas:

- Capacidad teórica relativamente superior.
- Buena estabilidad química y térmica.
- Barata y fácil para la producción.
- Menos contaminante que otras celdas.
- Alta energía específica.
- Alta potencia específica.

A continuación mostraremos las características de estas celdas:

1. Voltaje de celda
 - Voltaje mín. de descarga = 2,5V
 - Voltaje de trabajo = 3,0 ~ 3,3 V
 - Voltaje máximo de carga = 3,65 V
2. Densidad energética por volumen = 220 Wh/dm³ (790 kJ/dm³)
3. Densidad de energía gravimétrica > 90 Wh/kg (> 320 J/g)
4. Por su versatilidad que tiene estas celdas no necesitan ser almacenadas verticalmente, o un lugar con buena ventilación en contraste tienen un mantenimiento libre en un periodo relativamente largo.

En cuanto a estas celdas tiene una mejor capacidad “utilizable” comparándolas con sus antecesores ya que podríamos aprovechar 90 A/h o incluso 100 A/h (100% DoD o profundidad de descarga).



Imagen 8. Capacidad de descarga [16].

Los resultados experimentales indican que las celdas LiFePO_4 entregará más del 80% de su capacidad después de 3000 ciclos al 100% DoD (profundidad de descarga) o incluso 8000 ciclos al 65% DoD. Todos estos tests están hechos con ritmos de cargas-descargas de 1 hora; si este ritmo o tiempo es superior, los ciclos aumentan notablemente, pudiendo llegar a los 20 000 ciclos.

La celda LiFePO_4 tiene buenas características de descarga en diferentes tipos de corriente de descarga y puede detectarse en la siguiente ilustración. Independientemente de la corriente de descarga, se aprecia que la tensión es prácticamente constante. En la gran descarga de corriente, la capacidad de las celdas sigue siendo del 80%.

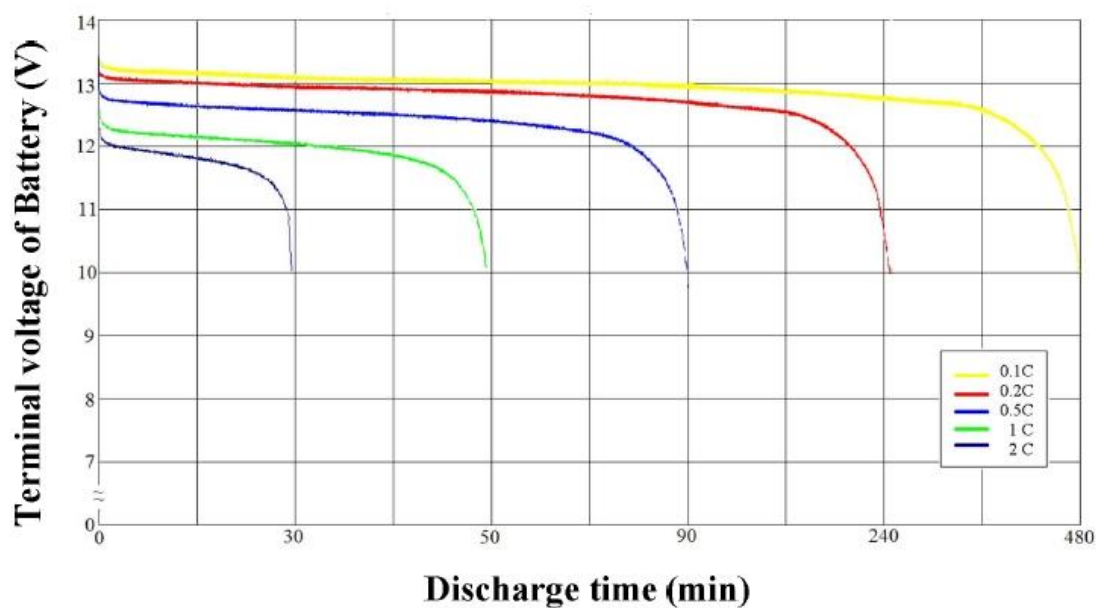


Figura 9. Curva de descarga en diferentes corrientes [17].

Una vez que las celdas de litio están completamente descargadas, sus voltajes caen en picada rápidamente. Es por ello que se tiene que implementar el uso del BMS para proteger las celdas para que nunca ocurra esto, ya que un banco de celdas de litio si se descarga completamente puede quedar permanentemente inutilizables. Esto nos deriva a mencionar que el efecto del fenómeno la ley de Peukert¹ son esencialmente inexistentes. Esto significa que las celdas pueden entregar su capacidad nominal completa, incluso con corrientes altas.

Otra características muy importante de este tipo de celdas es su capacidad a la hora de suministrar potencia, está será constante y casi del 100% a pensar que esté descargándose. La eficiencia en estas celdas es sumamente elevada al casi 100%, esto es una gran ventaja ya que queremos una máxima eficiencia de todos

¹ Cambio en la capacidad de las celdas a diferentes velocidades de descarga. A medida que aumenta la velocidad de descarga, la capacidad disponible de la celda disminuye.

los amperios. Además de ellos la eficiencia a bajas temperaturas es bastante buena como podemos apreciar en la figura 6, a -20°C , una celda de litio que entrega una corriente de 1C, puede entregar más del 80% de su energía. Es por ello que este tipo de celdas es adecuado para ambientes extremos (calor o frío).

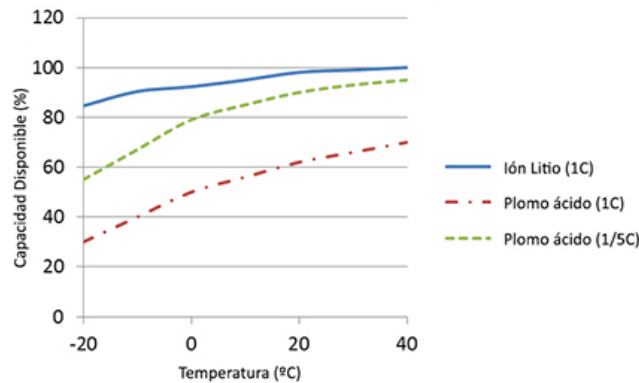


Figura 10. Capacidad frente a la temperatura [18].

Un punto muy importante a resaltar es que pueden ser cargadas “rápidamente” al 100% de capacidad, por ejemplo. Una celda de 10Ah y 3.3V puede ser carga rápidamente en una hora con una corriente de 10A. Esto nos da mucha flexibilidad a la hora de seleccionar las fuentes de energía sin necesidad de preocuparnos de hacer periódicamente una carga completa. No obstante una celda de ión-litio no necesita estar completamente cargada, esto se puede ver reflejado en su vida útil la cual mejorará en caso de que este parcialmente cargada. Es por ello que el efecto de memoria no está presente en este tipo de celdas, es decir, que la capacidad no se reduce si ponemos a cargar la celda sin que esta esté descargada por completo.

En relación a sus características físicas, este tipo de celdas son más ligeras y más pequeñas si las comparamos con sus antecesores.



Figura 11. Celda de LiFePO_4 en comparación con los demás tipos de celdas [19].



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Capítulo 3. Desarrollo del proyecto

El desarrollo del proyecto tendrá comienzo con el análisis del estado inicial de todas las celdas disponibles. Analizaremos un total de cinco celdas, de las cuales dos son celdas nuevas y el resto son celdas que en algún momento se han utilizado en un vehículo eléctrico. En la siguiente tabla podemos ver los resultados del análisis en términos de voltaje de cada celda, entendiendo que los resultados fueron tomados con un multímetro.

Celdas	Estado
Celda 1	3.33 V
Celda 2	3.33 V
Celda 3	2.33 V
Celda 4	2.33 V
Celda 5	0.44 V

Tabla 1. Estado inicial de las celdas

Si recordamos las características principales de este tipo de celda a primera vista podemos decir que las celdas 3, 4 y 5 se encuentran en un mal estado por el motivo de que estas celdas no deben ser descargadas por debajo de los 2.5V.

Estudio de las celdas nuevas

Primera descarga

Ya teniendo conocimiento del estado de cada celda, el siguiente paso consistirá en hacer un estudio de las celdas que se encuentran en buen estado, la elección de estas celdas simplemente está fundamentada en que con estas vamos a obtener los mejores resultados y por ende el mejor patrón posible para que más adelante lo podamos utilizar a la hora de analizar las celdas en “mal estado” y así dictaminar su estado definitivo.

El estudio estará basado en realizar tres descargas de la **celda 1** y una descarga de la **celda 2**, en dicha descarga se realizará un monitoreo de la tensión e indirectamente calcularemos el valor en todo momento de la corriente que circulara en la descarga. Finalmente vamos a aglomerar todos los datos para así conseguir una gráfica de la tensión como también de corriente y dar un fallo final de los resultados. Aclarar que solamente analizaremos paso a paso la primera descarga para el resto de descargas simplemente daremos a conocer los resultados finales entendiendo que hemos llevado a cabo el mismo proceso de análisis que en la primera descarga.

Antes de empezar con las descargas hablaremos un poco del sistema que vamos a utilizar para realizar dicha descarga



Circuito para la descarga

Existen números métodos para realizar la descarga de una celda e incluso de un paquete de celdas, uno de esos métodos es a través de un sistema de gestión de baterías. Este sistema es muy eficaz puesto que está basado en realizar un monitoreo de la tensión, corriente y de la temperatura en todo momento durante la descarga de la celda o de un paquete de celdas, pero su alto precio nos ha empujado a buscar otras alternativas para efectuar dicha descarga.

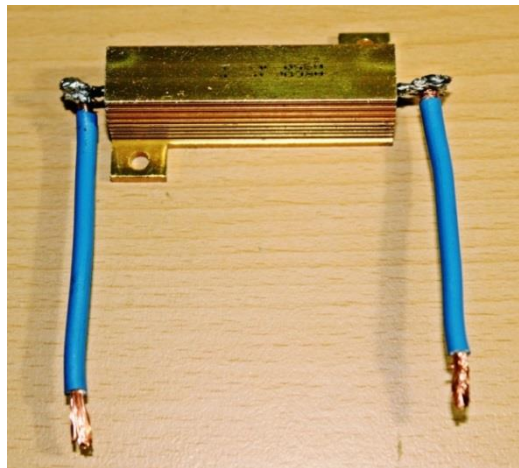
Si bien es cierto que el sistema que hemos desarrollado no realiza un monitoreo de la corriente ni de la temperatura de la celda, podemos destacar que en términos de tensión el monitoreo se realiza de forma eficiente, el motivo por el cual no realizamos un control de la temperatura es por el simple hecho de que vamos a trabajar en condiciones normales de temperatura y porque no hay altas corrientes. Las descargas se efectuarán de forma individual, es decir, nunca descargaremos todas las celdas al mismo tiempo para no generar una subida de temperatura. En cuanto a la corriente, esta estará limitada por una resistencia equivalente la cual estar formada por tres resistencias conectadas en paralelo.

Ya habiendo aclarado los aspectos principales que tiene nuestro sistema a continuación vamos a explicar como nuestro sistema realizar el monitoreo de la tensión y de las condiciones en las que estará sujeto.

El sistema estará basado en el desarrollo de un código de programa en la plataforma de Arduino, unas resistencias conectadas en paralelo y un relé. El código de programa realizará en todo momento una lectura en tiempo real de la tensión de la celda y cuando esta detecte que entramos en los límites permitidos de mínima tensión de la celda es decir en un valor inferior a los 2.8V se enviará una señal que activará un terminal digital de la placa de Arduino en la cual estará conectado un relé, dicha señal hará fluir un corriente magnetizante la cual activara el relé y abrirá su contacto NC y este conseguirá aislar la resistencia con la celda y por ende podrá parar la descarga de la celda.

A continuación vamos a explicar paso a paso la elaboración de todo el sistema para la carga:

Empezamos leyendo la hoja de características de la resistencia para conocer su valor, en la que podemos notar que esta tiene un valor de $3,9\Omega$, con el aparato de medida comprobaremos si el valor teórico coincide con el valor real y efectivamente dichos valores coinciden.

Figura 12. Resistencia de 3.9Ω

Seguidamente conectamos otra resistencia en paralelo con la primera, el motivo era muy simple, a menor resistencia, la descarga será de forma más rápida.

Vamos a calcular la resistencia teórica total que tenemos en la conexión en paralelo de ambas resistencias:

$$\frac{1}{3.9} + \frac{1}{3.9} = \frac{1}{R}$$

$$R = 1.95\Omega$$

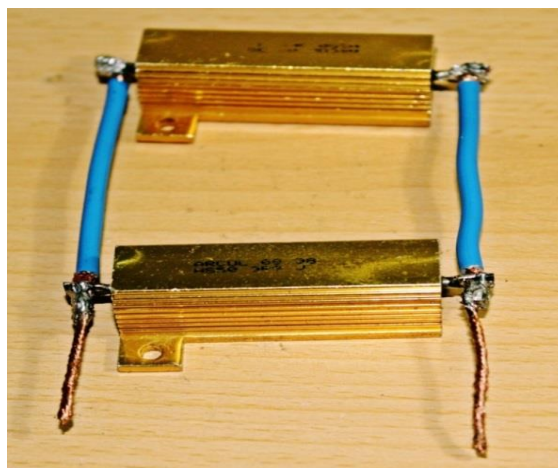


Figura 13. Resistencias en paralelo

Finalmente conectamos una última resistencia en paralelo con lo cual tendríamos una carga con un valor de:

$$\frac{1}{3.9} + \frac{1}{3.9} + \frac{1}{3.9} = \frac{1}{R}$$

$$R = 1.3\Omega.$$

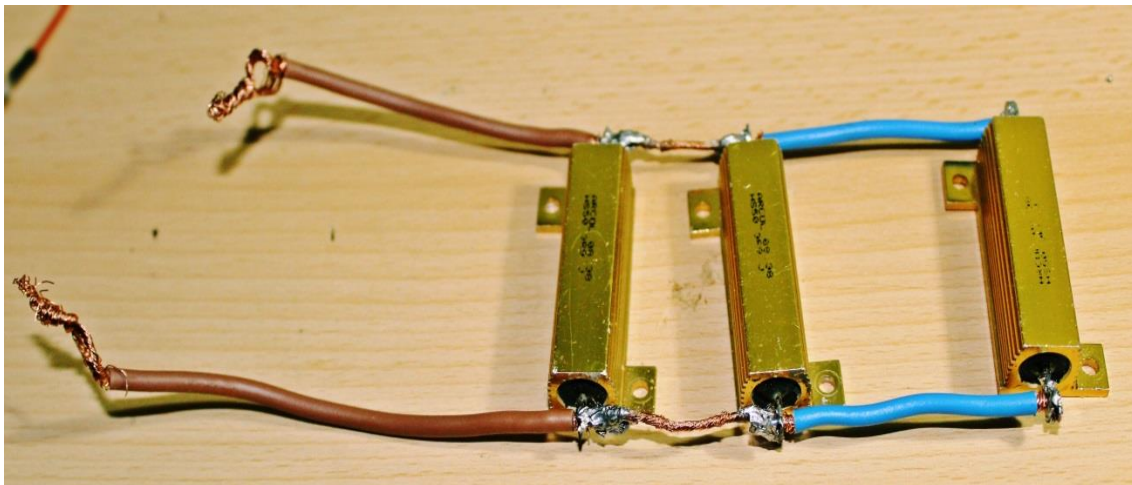


Figura 14. Resistencia equivalente para la descarga.

Como era de esperar la resistencia teórica no coincide con la real pues realizando una medición con el aparato de medida observamos que la carga tiene un valor de 1.1Ω , lo cual nos lleva a pensar una influencia de la resistencia que nos ofrece los cables.

Siguiendo con la elaboración del sistema para la descarga, ahora nos centraremos y hablaremos del elemento que vamos a utilizar para aislar la conexión de la resistencia equivalente con la celda. Es así que hablaremos del relé que es un dispositivo electromagnético formado por cinco terminales, este al detectar una corriente entre sus terminales B1 y B2 abrirá el contacto NC es decir el fundamento de utilizar este elemento es básicamente para que haga la misma función que el de un interruptor, en la imagen 9 podemos apreciar todos sus terminales.

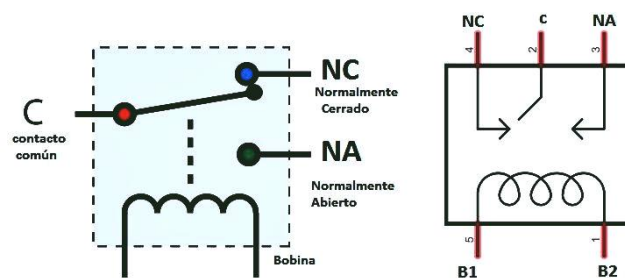


Imagen 9. Estructura interna de un relé.

El terminal B1 estará conectado al terminal GND de Arduino, mientras que el B2 en una salida digital de Arduino, hay que tener en cuenta que tanto B1 como B2 no presentan polaridad por lo que si en algún momento hacemos la conexión de forma inversa el sistema funcionará exactamente igual. Por otro lado el terminal NC estará conectado por uno de los lados de la resistencia equivalente mientras que el terminal C ira conectado al GND de Arduino y al borne negativo de la celda. El

terminal A0 es el encargado de recoger en todo momento el valor que presenta la celda y dicho valor se transmitirá al ordenador por el cable USB.

Finalmente mostramos un esquema general del sistema empleado para la descarga como también una conexión real de la misma.

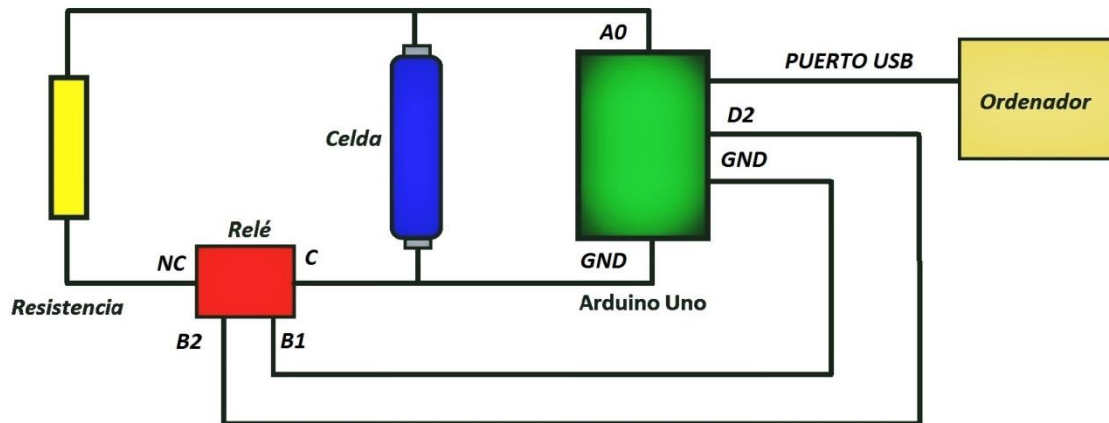


Imagen 10. Esquema general del circuito para la descarga

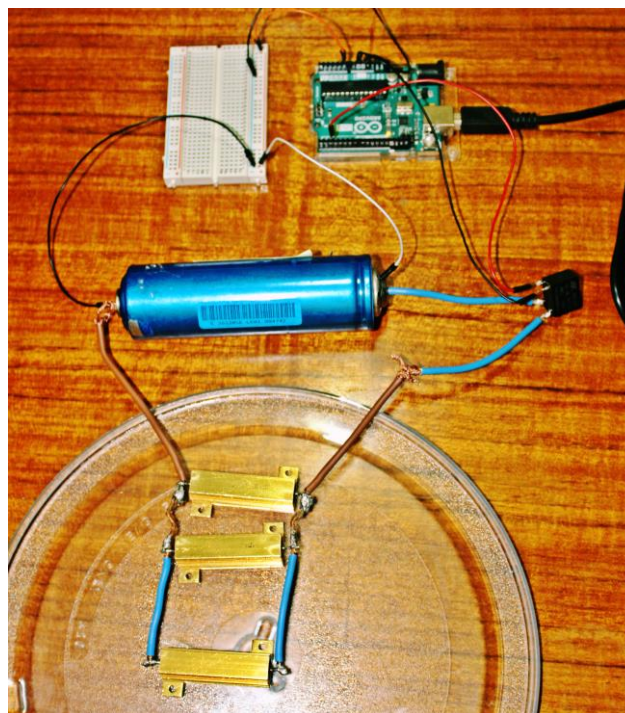


Imagen 11. Sistema real para la descarga

Existe un punto que tenemos que considerar cuando realicemos la descarga y es que la tensión de la celda disminuye cuando conectamos la resistencia equivalente

para la descarga, esta disminución es debido a la resistencia interna que presenta la celda, dicha resistencia es muy pequeña pero su influencia juega un papel importante pues la longevidad de la celda disminuirá cuando dicha resistencia aumente su valor.

Existe algunos métodos para poder calcular el valor de dicha resistencia interna, pero en el presente trabajo aplicaremos un método que quizás no sea muy exacto pero puede dar una gran noción en cuanto al valor de dicha resistencia.

Ya teniendo el valor de la celda 1 vacío (ver imagen 12), lo siguiente será conectar en paralelo la carga y medir su valor (ver imagen 13).

Tensión en carga = 3.30V.

Resistencia equivalente de carga = 1.1Ω.

$$\text{Intensidad en carga} = \frac{\text{Tensión en carga}}{\text{Resistencia equivalente de carga}} = \frac{3.30V}{1.1\Omega} = 3A$$

Calculado el valor de la intensidad y conociendo tanto el valor de la tensión en vacío así como la tensión en carga podemos finalmente calcular el valor de la resistencia interna:

$$\text{Resistencia interna} = \frac{\text{Tensión en vacío} - \text{Tensión en carga}}{\text{Intensidad en carga}} = \frac{3.33V - 3.3V}{3A} = 10m\Omega$$

Con nuestro método empleado hemos podido demostrar que la resistencia interna en la celda tiene un valor sumamente pequeño.



Imagen 12. Tensión en vacío de la celda 1

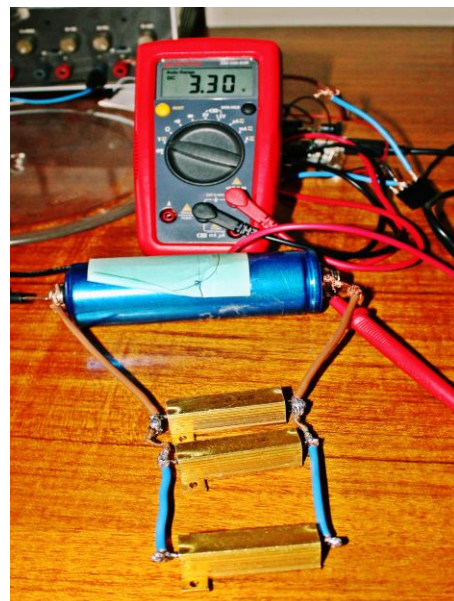


Imagen 13. Tensión de la celda con la carga.

Siguiendo con la explicación de nuestro estudio; si bien la monitorización se realiza con la tarjeta de Arduino, esta tiene una limitación en el tratamiento de datos, pues estos datos recogidos no pueden ser almacenados en el ordenador de forma directa, para eso tenemos que efectuar un paso intermedio, dicho proceso lo realizaremos con una aplicación llamada NetBeans la cual está basada en código Java, en la figura 13 mostramos cómo actúa esta aplicación en la recogida de datos.

Tiempo	Voltios
21:58:45	3.25
21:58:47	3.25
21:58:49	3.25
21:58:51	3.25
21:58:53	3.25
21:58:55	3.25
21:58:57	3.25
21:58:59	3.25
21:59:01	3.25
21:59:03	3.25
21:59:05	3.25
21:59:07	3.25
21:59:09	3.25
21:59:11	3.25

Figura 15. Ventana en donde se almacena los datos

La forma en la que actúa esta aplicación se fundamenta en una lectura del puerto serial de Arduino, es decir, cada vez que Arduino realiza una lectura, esta es enviada a su puerto serial y es en este momento es donde la aplicación NetBeans empieza a realizar el almacenamiento de datos haciendo una lectura del puerto serial de Arduino.

La aplicación no solo recoge los datos que están siendo leídos por Arduino, sino también recoge la hora en la que estos datos fueron tomados, si bien la monitorización que realiza Arduino es llevada a cabo cada segundo, notamos como estos datos son almacenados cada dos segundos, y esto es debido a que tenemos que sumar el tiempo en el que Arduino y NetBeans realizan la comunicación.

Por último, cuando se termine de realizar todas las lecturas el programa se detendrá y por fin podremos guardar todos los datos, estos datos serán exportados a Excel para su posterior tratamiento.

A continuación mostramos un fragmento de los datos obtenidos en la monitorización, notamos que aparece una nueva columna, pues esta columna fue



calculada de forma indirecta y muestra la intensidad que circula en el circuito de descarga en el momento en que se hace la lectura de los datos, para realizar el cálculo de la intensidad solo basta con aplicar la ley de Ohm, dividiendo la tensión que hemos obtenido en la lectura y el valor de la resistencia equivalente que en nuestro caso es de 1,1 ohmios.

Tiempo	Tensión en la celda(V)	Intensidad en el circuito(A)
10:16:54	3,26	2,964
10:16:56	3,26	2,964
10:16:58	3,26	2,964
10:17:00	3,26	2,964
10:17:02	3,26	2,964
10:17:04	3,26	2,964
10:17:06	3,26	2,964
10:17:08	3,25	2,955
10:17:10	3,25	2,955
10:17:12	3,26	2,964
10:17:14	3,25	2,955
10:17:16	3,25	2,955
10:17:18	3,25	2,955
10:17:20	3,25	2,955
10:17:22	3,25	2,955
10:17:24	3,25	2,955
10:17:26	3,25	2,955
10:17:28	3,25	2,955
10:17:30	3,25	2,955
10:17:32	3,24	2,945
10:17:34	3,24	2,945
10:17:36	3,25	2,955
10:17:38	3,24	2,945
10:17:40	3,25	2,955
10:17:42	3,25	2,955
10:17:44	3,25	2,955

Tabla 2. Fragmento de la monitorización de la primera descarga de la celda 1.

Podemos notar que al inicio de la monitorización la tensión nuevamente ha disminuido, pues dicha disminución está relacionada nuevamente con otra resistencia interna y esta vez es la resistencia interna que presenta el Arduino Uno cuyo valor es de 20KOhmios.

A continuación mostraremos la gráfica de la evolución de la tensión y de la corriente en el tiempo, el análisis de las gráficas se analizaran al final de todas las descargas.

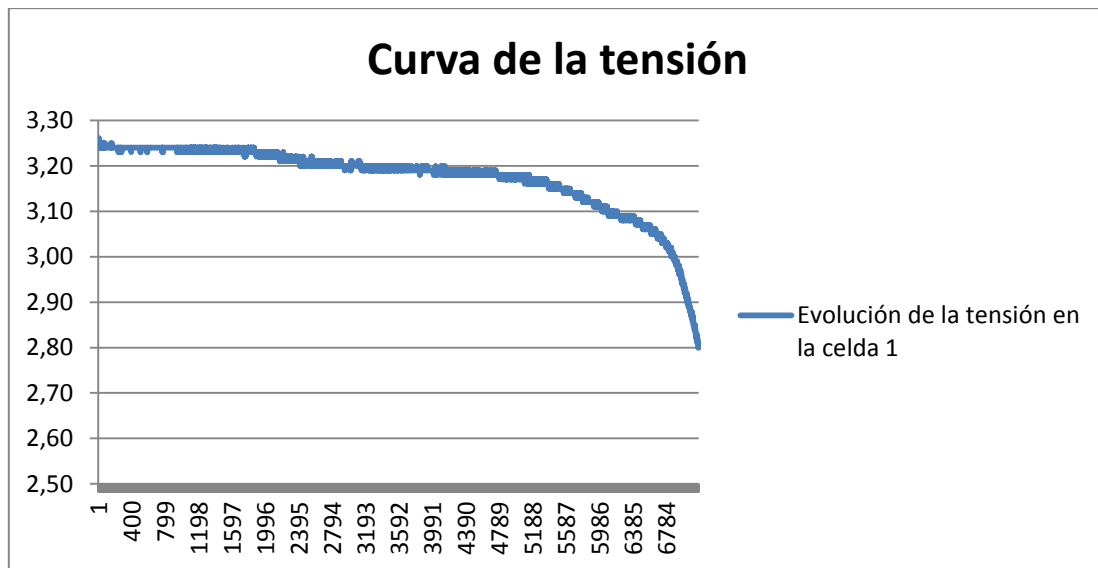


Figura 16. Curva de la tensión en la primera descarga de la celda 1.

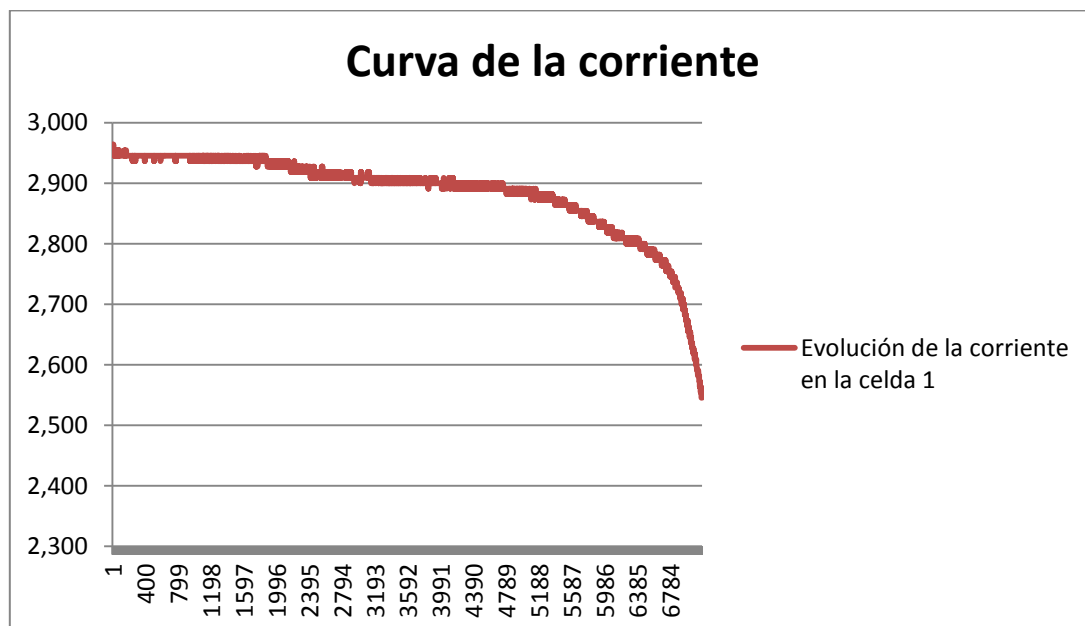


Figura 17. Curva de la corriente en la primera descarga de la celda 1.



Elaborando una tabla resumen de la cantidad de muestras tomadas y del tiempo empleado para la primera descarga obtenemos los siguientes resultados mostrados en la tabla 3.

Muestras	7172
Tiempo total en segundos	14343
Tiempo total en minutos	239,1
Tiempo total en horas	3,984
Intensidad promedio en la descarga (A)	2,884

Tabla 3. Resumen de la monitorización en la primera descarga.

Si bien sabemos que el tiempo empleado entre muestra y muestra es de dos segundos, para calcular el tiempo total empleado simplemente tenemos que realizar lo siguiente:

$$\text{Tiempo total en segundos} = (\text{Muestras} \times 2) - 1.$$

$$\text{Tiempo total en segundos} = (7172 \times 2) - 1 = 14343 \text{ segundos.}$$

Eso hace un total de aproximadamente unas cuatros horas que se emplea para efectuar la descarga de la celda.

En lo referente a la intensidad, sabemos que su valor nunca es constantes por tal motivo nos vemos en la necesidad de aproximar su valor haciendo un promedio de todas las corrientes que circula en la descarga, dando como resultado una corriente de descarga mostrada en la tabla 3.

Con los datos obtenidos en la descarga lo siguiente a calcular será los amperios-hora que nos ofrece esta celda en su descarga, cabe mencionar que en la hoja de características que nos ofrece el fabricante las prestaciones que puede alcanzar esta celda es de 10 amperios-hora. Tomando los valores obtenidos en la monitorización obtenemos los amperios-hora durante la descarga:

$$\text{Amperios} - \text{hora} = \text{Intensidad de la descarga}(A) \times \text{tiempo total (h) de la descarga}$$

$$\text{Amperios} - \text{hora} = 2,884 A \times 3,984 h \approx 11,49 Ah$$

El resultado experimental difiere un poco del valor teórico que nos ofrece el fabricante, esto se debe a la tasa de descarga, mientras más pequeña sea esta tasa de descarga los amperios-hora que vayamos a obtener en la descarga será un poco mayor de lo que nos muestra el fabricante; para calcular la tasa de descarga de nuestro experimento tenemos que saber que este valor viene acompañado del símbolo "C" es decir, para nuestra celda 1C equivale a 10 amperios empleados durante una hora, pero en nuestro caso empleamos una corriente de descarga de 2,884 A esto viene a dar como resultado 0,2884C.



$$Tasa\ de\ carga = \frac{2,884A \times 1C}{10A} = 0,2884C$$

Terminado el estudio de la primera descarga de la celda, el siguiente paso será cargar la misma para realizar una nueva descarga, por tal motivo explicaremos a continuación el sistema que utilizamos para realizar la carga.

Circuito para la carga

Antes de hablar del sistema con el que realizamos la carga, nuevamente tenemos que decir que un sistema de gestión de baterías sería la mejor opción pues como habíamos dicho líneas arriba este sistema puede controlar la temperatura, tensión y la corriente en todo momento. Otro aspecto importante de este tipo de sistema consiste en que puede realizar la carga de varias celdas al mismo tiempo, esto es debido a que incorpora un sistema de balanceo que es una técnica que permite maximizar la capacidad y aumentar la longevidad de un paquete de celdas.

La técnica de balanceo consiste en que si queremos cargar un paquete de celdas y estas presentan distintos valores de carga, la celda con menor capacidad será la celda limitante para todo el conjunto, en otras palabras, las celdas que presenten mayor carga empezarán a disminuir su valor hasta conseguir un valor de carga igual a la celda limitante y es a partir de ese momento en donde el paquete de celda empezará a cargarse.

Esta técnica presenta dos métodos:

Balanceo pasivo: La energía sobrante de la celda a balancear se elimina mediante un circuito resistivo, disipándose en forma de calor.

Balanceo activo: La energía sobrante de la celda a balancear se transfiere a otras celdas con menor carga, así mientras la celda con excesiva carga la disminuye, las celdas con menor carga la aumentan.

En el presente trabajo no vamos a necesitar de dicha técnica puesto que la carga de las celdas se llevará a cabo una por una y no de forma conjunta, nuestro método de carga si bien es cierto es muy sencillo destaca por ser muy eficiente pues consigue cargar las celdas en su totalidad solamente haciendo el monitoreo de la tensión

Para la carga utilizaremos los mismos elementos que se utilizó para la carga, cambiando la forma de conexión, añadiendo una fuente de alimentación y limitando la tensión máxima de carga hasta un valor menor a 3.65V.

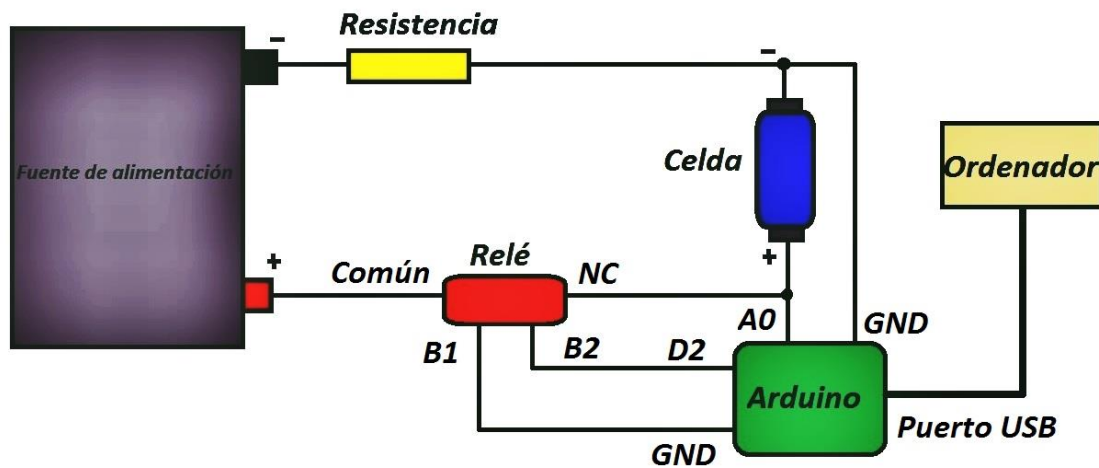


Imagen 14. Esquema general para la carga.

Segunda descarga de la celda 1

Fragmento del seguimiento de la segunda descarga de la celda 1:

Tiempo	Tensión en la celda(V)	Intensidad en el circuito(A)
21:58:45	3,25	2,955
21:58:47	3,25	2,955
21:58:49	3,25	2,955
21:58:51	3,25	2,955
21:58:53	3,25	2,955
21:58:55	3,25	2,955
21:58:57	3,25	2,955
21:58:59	3,25	2,955
21:59:01	3,25	2,955
21:59:03	3,25	2,955
21:59:05	3,25	2,955
21:59:07	3,25	2,955
21:59:09	3,25	2,955
21:59:11	3,25	2,955
21:59:13	3,25	2,955
21:59:15	3,25	2,955
21:59:17	3,25	2,955
21:59:19	3,25	2,955
21:59:21	3,25	2,955
21:59:23	3,25	2,955
21:59:25	3,25	2,955
21:59:27	3,25	2,955
21:59:29	3,25	2,955
21:59:31	3,25	2,955

Tabla 4. Fragmento de la monitorización de la segunda descarga de la celda 1.

Muestras	7254
Tiempo total en segundos	14507
Tiempo total en minutos	241,78
Tiempo total en horas	4,03
Intensidad promedio en la descarga	2,882

Tabla 5. Resumen de la monitorización de la segunda descarga de la celda 1.

$$\text{Amperios} - \text{hora} = 2,882 \text{ A} \times 4,03 \text{ h} \approx 11,61 \text{ Ah}$$

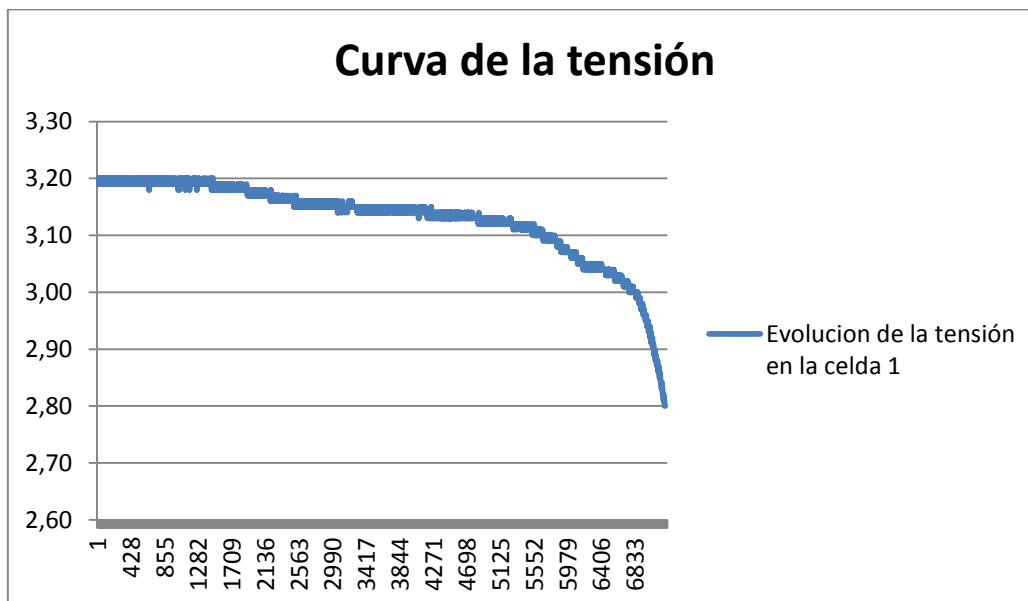


Figura 18. Curva de la tensión en la segunda descarga de la celda 1.

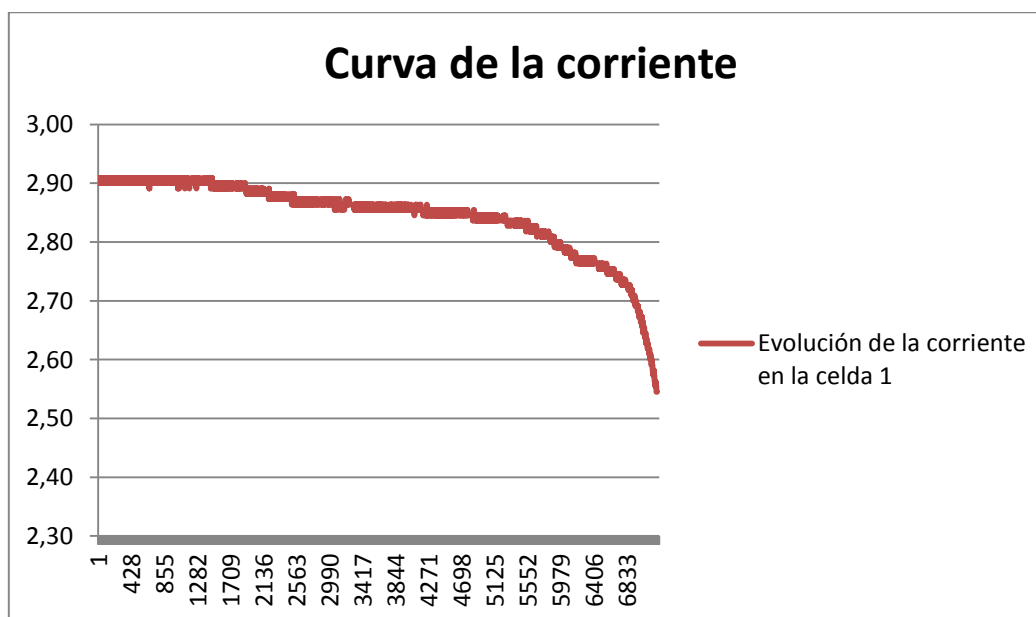


Figura 19. Curva de la corriente en la segunda descarga de la celda 1



Tercera descarga de la celda 1

Tiempo	Tensión en la celda (V)	Intensidad en el circuito (A)
11:57:22	3,25	2,955
11:57:24	3,26	2,964
11:57:26	3,25	2,955
11:57:28	3,25	2,955
11:57:30	3,25	2,955
11:57:32	3,25	2,955
11:57:34	3,25	2,955
11:57:36	3,25	2,955
11:57:38	3,24	2,945
11:57:40	3,26	2,964
11:57:42	3,24	2,945
11:57:44	3,24	2,945
11:57:46	3,24	2,945
11:57:48	3,24	2,945
11:57:50	3,24	2,945
11:57:52	3,24	2,945
11:57:54	3,24	2,945
11:57:57	3,24	2,945
11:57:58	3,24	2,945
11:58:00	3,24	2,945
11:58:02	3,24	2,945
11:58:04	3,24	2,945
11:58:06	3,24	2,945
11:58:08	3,24	2,945
11:58:10	3,24	2,945
11:58:12	3,24	2,945
11:58:14	3,24	2,945
11:58:16	3,24	2,945
11:58:18	3,24	2,945
11:58:20	3,24	2,945
11:58:22	3,24	2,945
11:58:24	3,24	2,945
11:58:26	3,24	2,945
11:58:28	3,24	2,945
11:58:30	3,24	2,945
11:58:32	3,24	2,945
11:58:34	3,24	2,945
11:58:36	3,24	2,945

Tabla 6. Fragmento de la monitorización de la tercera descarga de la celda 1

Muestras	7168
Tiempo total en segundos	14335
Tiempo total en minutos	238,9
Tiempo total en horas	3,982
Intensidad promedio en la descarga	2,883

Tabla 7. Resumen de la monitorización de la tercera descarga de la celda 1.

$$\text{Amperios} - \text{hora} = 2,883 \text{ A} \times 3,982 \text{ h} \approx 11,48 \text{ Ah}$$

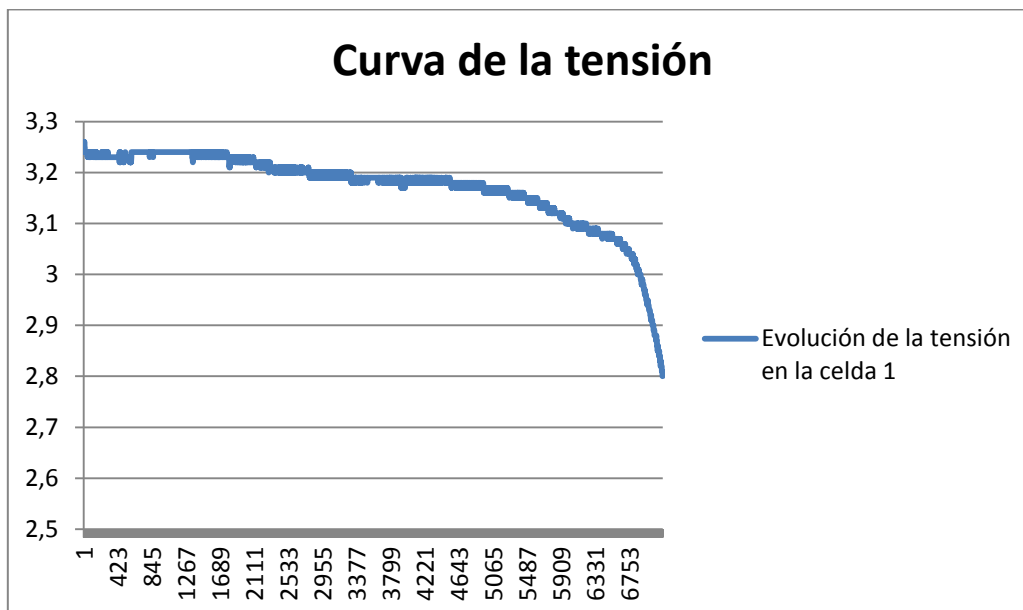


Figura 20. Curva de la tensión en la tercera descarga de la celda 1.

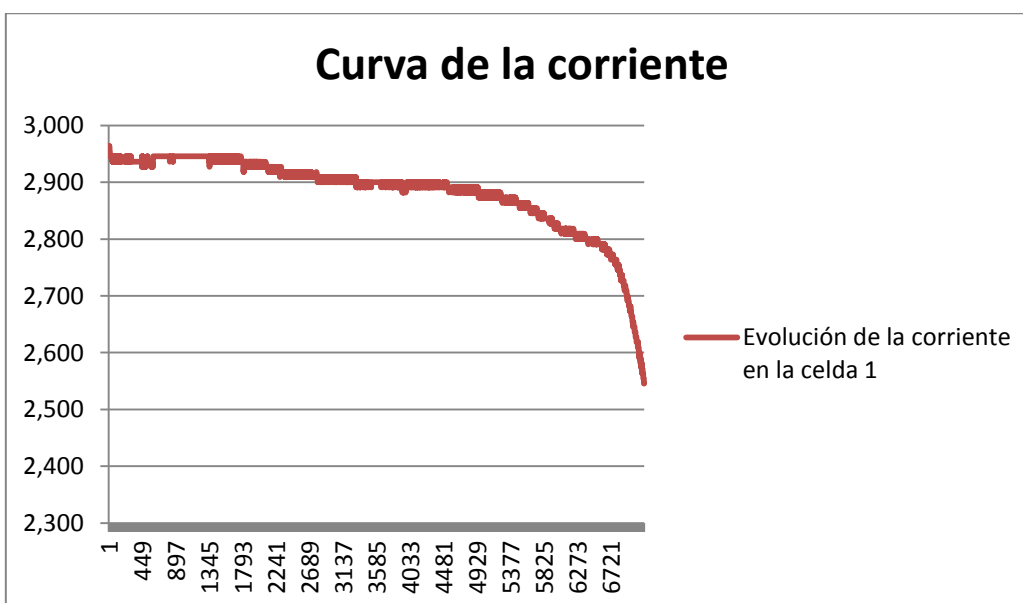


Figura 21. Curva de la corriente en la tercera descarga de la celda 1.



Tiempo	Tensión en la celda (V)	Intensidad en la celda(A)
04:08:56	3,23	2,936
04:08:58	3,23	2,936
04:09:00	3,24	2,945
04:09:02	3,23	2,936
04:09:04	3,23	2,936
04:09:06	3,24	2,945
04:09:08	3,23	2,936
04:09:10	3,23	2,936
04:09:12	3,23	2,936
04:09:14	3,23	2,936
04:09:16	3,24	2,945
04:09:18	3,23	2,936
04:09:20	3,23	2,936
04:09:22	3,23	2,936
04:09:24	3,23	2,936
04:09:26	3,23	2,936
04:09:28	3,23	2,936
04:09:30	3,23	2,936
04:09:32	3,23	2,936
04:09:34	3,23	2,936
04:09:36	3,23	2,936
04:09:38	3,24	2,945
04:09:40	3,23	2,936
04:09:42	3,23	2,936
04:09:44	3,23	2,936
04:09:46	3,23	2,936
04:09:48	3,23	2,936
04:09:50	3,23	2,936
04:09:52	3,23	2,936
04:09:54	3,23	2,936
04:09:56	3,23	2,936
04:09:58	3,23	2,936
04:10:00	3,23	2,936
04:10:02	3,23	2,936
04:10:04	3,23	2,936
04:10:06	3,23	2,936
04:10:08	3,23	2,936
04:10:10	3,23	2,936
04:10:12	3,23	2,936

Tabla 8. Fragmento de la monitorización en la descarga de la celda 2.

Muestras	7171
Tiempo total en segundos	14341
Tiempo total en minutos	239,02
Tiempo total en horas	3,984
Intensidad de promedio	2,872

Tabla 9. Resumen de la monitorización en la descarga de la celda 2.

$$\text{Amperios} - \text{hora} = 2,872 \text{ A} \times 3,984 \text{ h} \approx 11,44 \text{ Ah.}$$

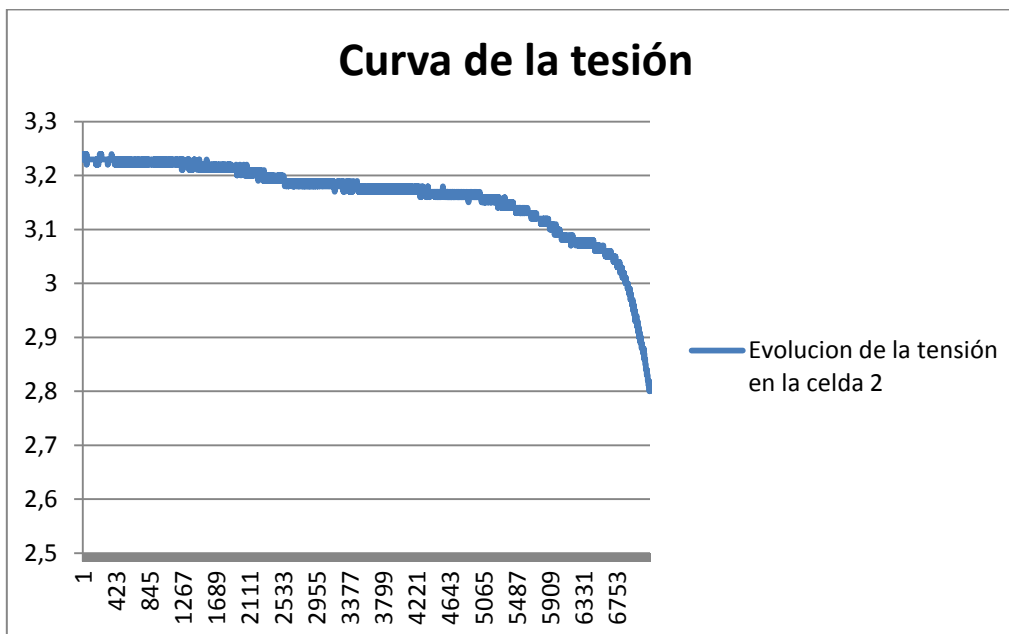


Figura 22. Curva de la tensión en la descarga de la celda 2.

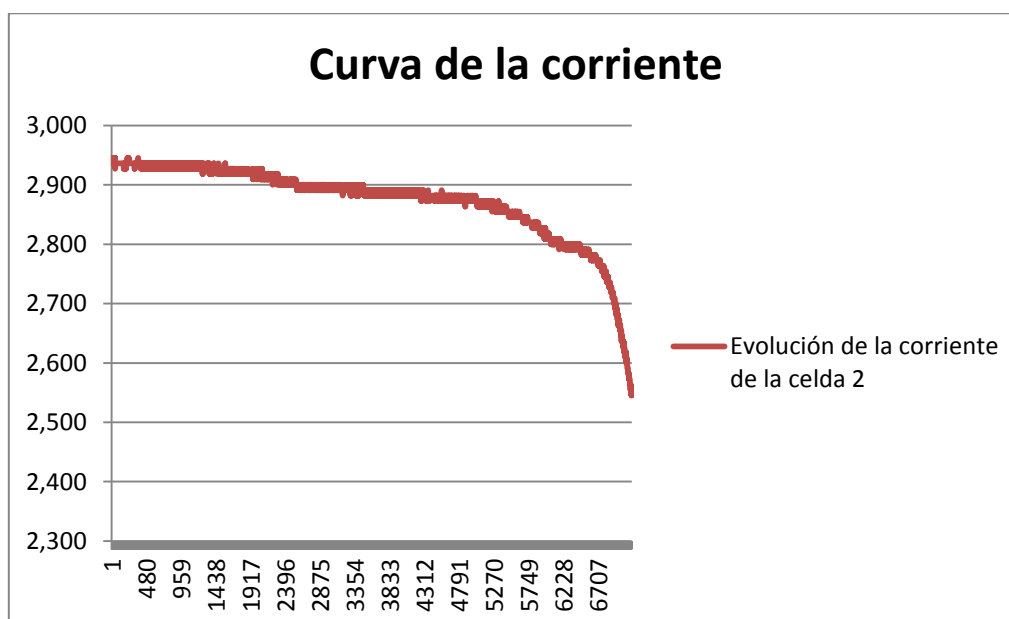


Figura 23. Curva de la corriente en la descarga de la celda 2.

Conclusión de las celdas nuevas

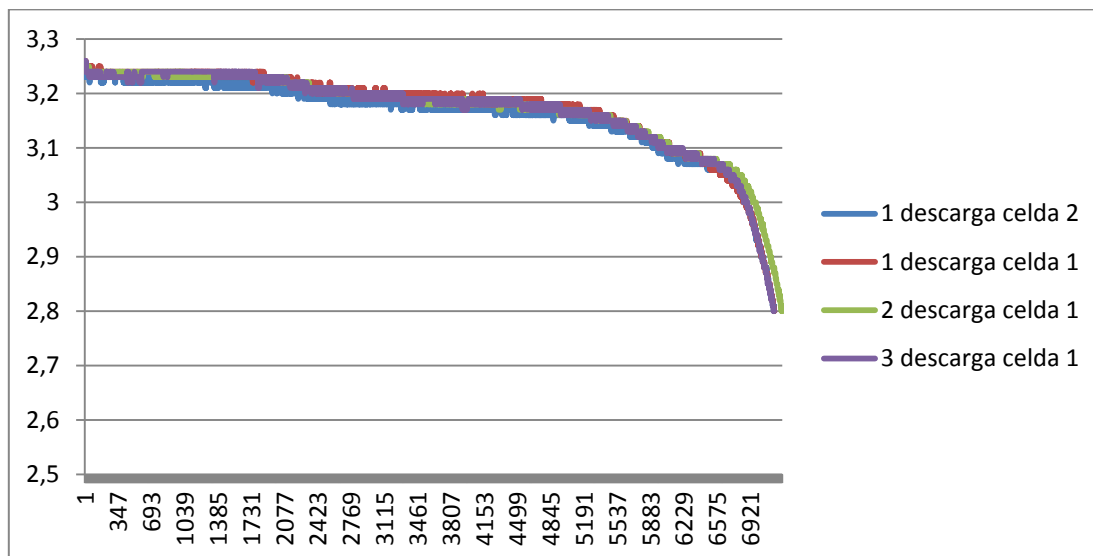


Figura 24. Comparación de las tensiones de descargas de la celda 1 y la celda 2.

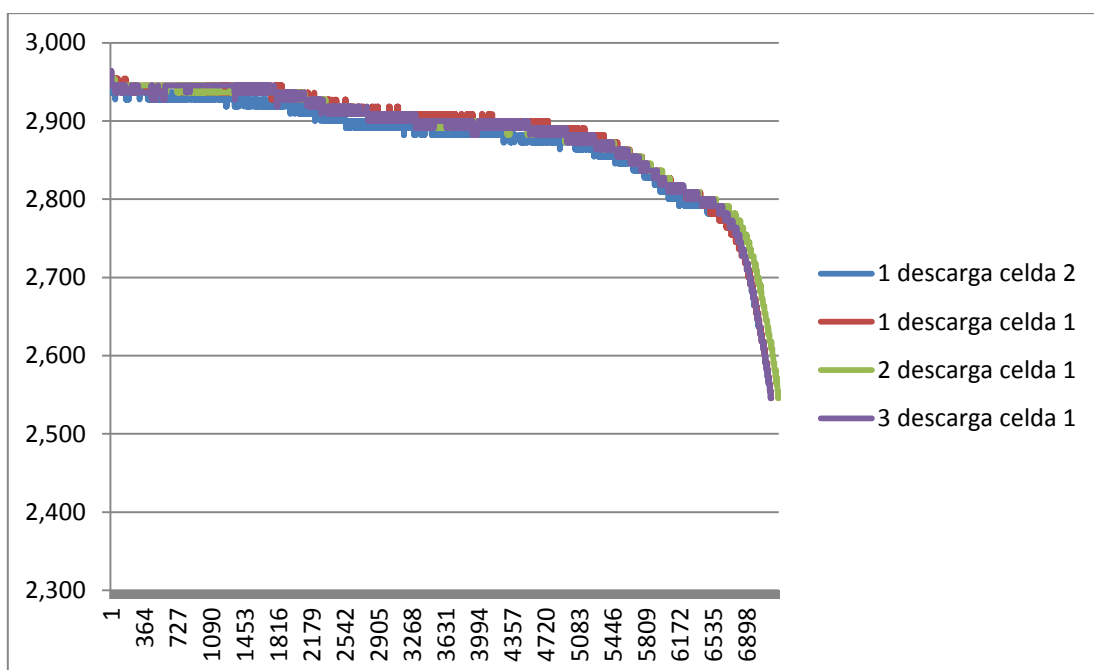


Figura 25. Comparación de las corrientes de descargas de la celda 1 y la celda 2.

Haciendo ya un análisis final de todo el estudio experimental que hemos realizado a las celdas nuevas y teniendo siempre en cuenta las condiciones en la que trabajamos, en otras palabras, una resistencia equivalente de 1,1 ohmios, un relé, una placa de Arduino y una fuente de alimentación, condiciones normales de temperatura, podemos decir que la celda tarda un tiempo promedio de aproximadamente 4 horas para realizar una descarga completa, así como también emplea una corriente promedio de 2.88 amperios, dando consigo un total de 11,5



amperios- horas. También observamos que la celda entrega su máxima capacidad hasta los 3.07 V a partir de ese valor empieza su descenso de forma exponencial.

A continuación haremos las descargas de las demás celdas, para esta ocasión nos hemos limitado simplemente a realizar una descarga de cada celda.

Descarga de la celda 3

Tiempo	Tensión en la celda (V)	Intensidad en la descarga (A)
19:31:09	3,26	2,964
19:31:11	3,26	2,964
19:31:13	3,26	2,964
19:31:15	3,26	2,964
19:31:17	3,26	2,964
19:31:19	3,26	2,964
19:31:21	3,25	2,955
19:31:23	3,25	2,955
19:31:25	3,25	2,955
19:31:27	3,25	2,955
19:31:29	3,25	2,955
19:31:31	3,25	2,955
19:31:33	3,25	2,955
19:31:35	3,25	2,955
19:31:37	3,25	2,955
19:31:39	3,25	2,955
19:31:41	3,25	2,955
19:31:43	3,25	2,955
19:31:45	3,25	2,955
19:31:47	3,24	2,945
19:31:49	3,24	2,945
19:31:51	3,24	2,945
19:31:53	3,24	2,945
19:31:55	3,24	2,945
19:31:57	3,24	2,945
19:31:59	3,24	2,945
19:32:01	3,24	2,945
19:32:03	3,24	2,945
19:32:05	3,24	2,945
19:32:07	3,24	2,945
19:32:09	3,24	2,945
19:32:11	3,24	2,945
19:32:13	3,24	2,945
19:32:15	3,24	2,945

Tabla 10. Fragmento de la monitorización en la descarga de la celda 3

Muestras	5533
Tiempo total en segundos	11065
Tiempo total en minutos	184,42
Tiempo total en horas	3,074
Intensidad de promedio	2,883

Tabla 11. Resumen de la monitorización en la descarga de la celda 3.

$$\text{Amperios} - \text{hora} = 2,883 \text{ A} \times 3,074 \text{ h} \approx 8,86\text{Ah.}$$

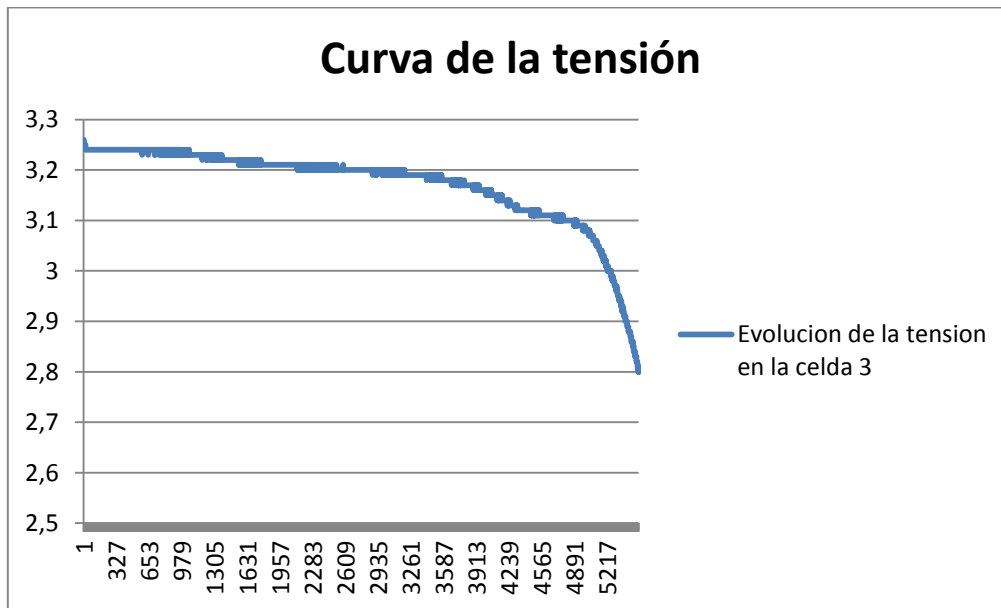


Tabla 12. Curva de la tensión en la descarga de la celda 3.

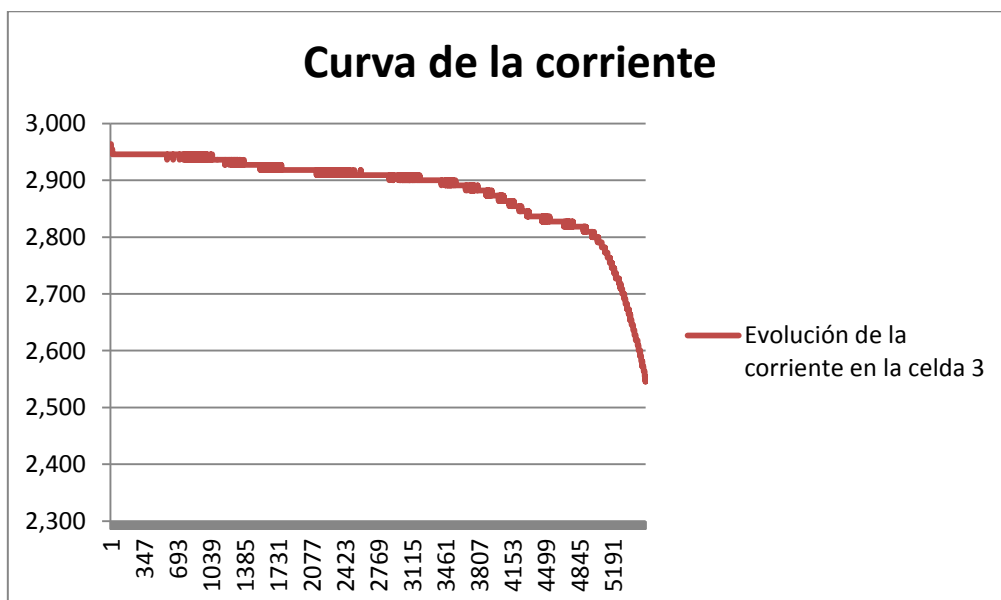


Tabla 13. Curva de la corriente en la descarga de la celda 3.



Como era de esperar con esta celda, al presentar anteriormente una descarga hasta un valor inferior a lo permitido, esta celda sufrió un cambio en cuando a la capacidad máxima que puede ofrecer.

Descarga de la celda 4

Tiempo	Tensión en la celda (V)	Intensidad en la descarga (A)
23:04:12	3,29	2,991
23:04:14	3,29	2,991
23:04:16	3,28	2,982
23:04:18	3,28	2,982
23:04:20	3,28	2,982
23:04:22	3,28	2,982
23:04:24	3,28	2,982
23:04:26	3,28	2,982
23:04:28	3,27	2,973
23:04:30	3,27	2,973
23:04:32	3,27	2,973
23:04:34	3,27	2,973
23:04:36	3,27	2,973
23:04:38	3,27	2,973
23:04:40	3,27	2,973
23:04:42	3,27	2,973
23:04:44	3,27	2,973
23:04:46	3,26	2,964
23:04:48	3,26	2,964
23:04:50	3,26	2,964
23:04:52	3,26	2,964
23:04:54	3,26	2,964
23:04:56	3,26	2,964
23:04:58	3,26	2,964
23:05:00	3,26	2,964
23:05:02	3,26	2,964
23:05:04	3,26	2,964
23:05:06	3,26	2,964
23:05:08	3,26	2,964
23:05:10	3,26	2,964
23:05:12	3,26	2,964
23:05:14	3,26	2,964
23:05:16	3,26	2,964
23:05:18	3,26	2,964
23:05:20	3,26	2,964

Tabla 14. Fragmento de la monitorización en la descarga de la celda 4.

Muestras	5792
Tiempo total en segundos	11583
Tiempo total en minutos	193,05
Tiempo total en horas	3,218
Intensidad de promedio	2,886

Tabla 15. Resumen de la monitorización en la descarga de la celda 4.

$$\text{Amperios - hora} = 2,886 \text{ A} \times 3,218 \text{ h} \approx 9,28 \text{ Ah.}$$

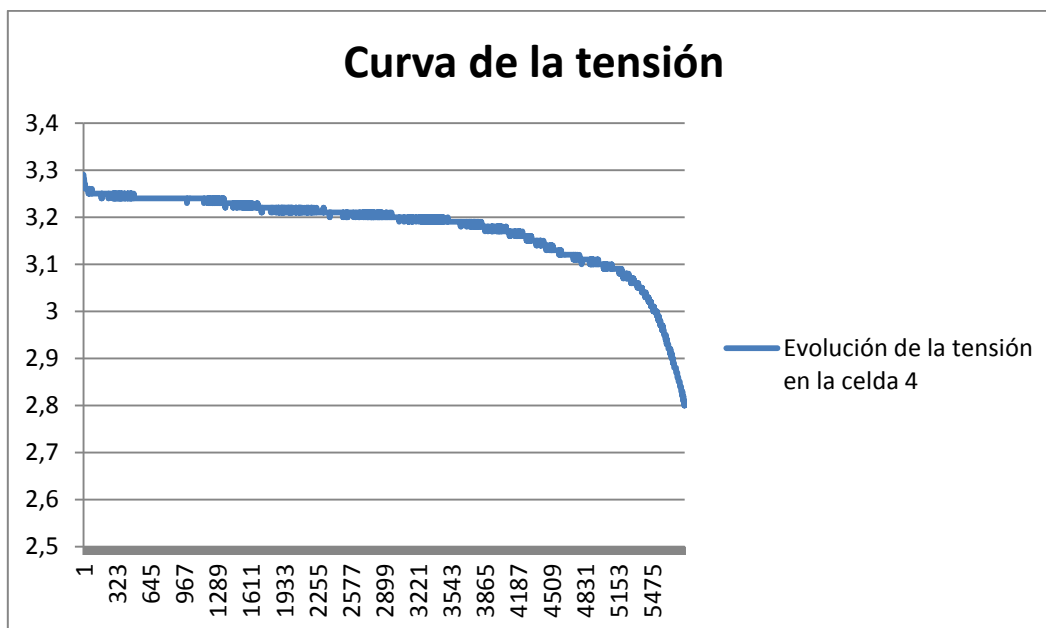


Figura 26. Curva de la tensión en la descarga de la celda 4.

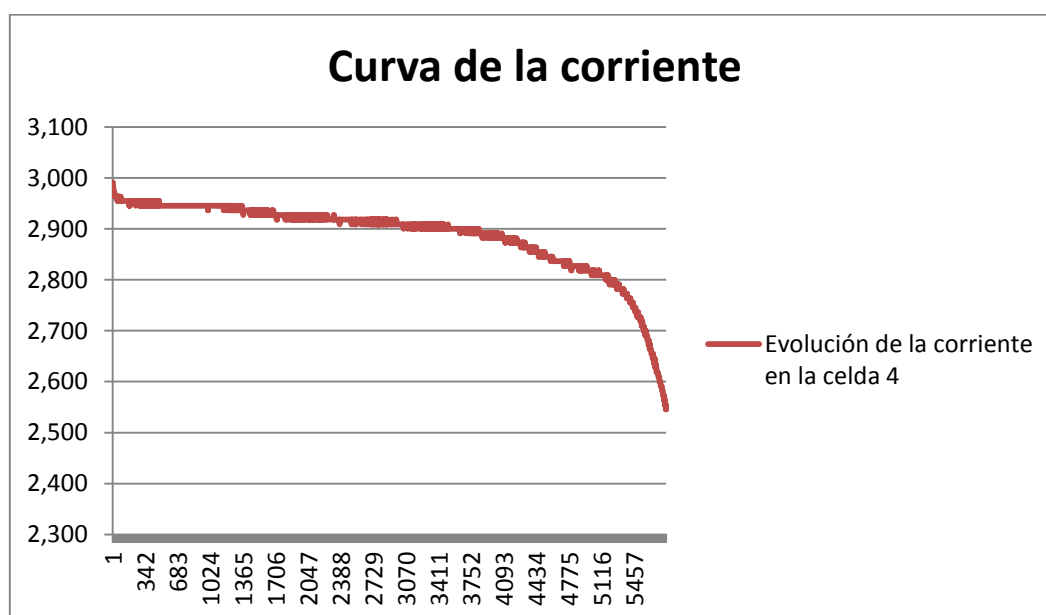


Figura 27. Curva de la corriente en la descarga de la celda 4.

Nuevamente podemos ver que al haber sufrido anteriormente una descarga a valores inferiores a lo permitido, la capacidad que nos puede ofrecer se ve afectada.

Como ya habíamos anticipado anteriormente, la influencia de la resistencia interna de la celda está relacionada con la capacidad y la longevidad de la celda es por ello que vamos a demostrar dicha hipótesis calculando la resistencia interna de la celda 4.



Imagen 15. Tensión en vacío de la celda 4.



Imagen 16. Tensión de la celda 4 con la carga.

Tensión en carga = 3.28V; Resistencia equivalente de carga = 1.1Ω.

$$\text{Intensidad en carga} = \frac{\text{Tensión en carga}}{\text{Resistencia equivalente de carga}} = \frac{3.28V}{1.1\Omega} \approx 2.98A$$

Calculado el valor de la intensidad y conociendo tanto el valor de la tensión en vacío así como la tensión en carga podemos finalmente calcular el valor de la resistencia interna:

$$\text{Resistencia interna} = \frac{\text{Tensión en vacío} - \text{Tensión en carga}}{\text{Intensidad en carga}} = \frac{3.33V - 3.28V}{2.98A} \approx 17m\Omega$$

Haciendo una comparación del valor de las resistencias internas:

Celdas	Valor de Resistencia interna	Capacidad de descarga
Celda 1	10 mΩ	>10 Ah
Celda 4	17 mΩ	<10Ah

Tabla 16. Comparación del valor de las resistencias internas.

Analizando los valores de la tabla 16, podemos confirmar nuestra hipótesis la cual sugiere que mientras más grande sea el valor de la resistencia interna de la celda, está influirá de manera inversa al valor de la capacidad y la longevidad de la misma.

Agrupando todos los datos que hemos obtenidos en la descarga de las celdas 3 y 4:

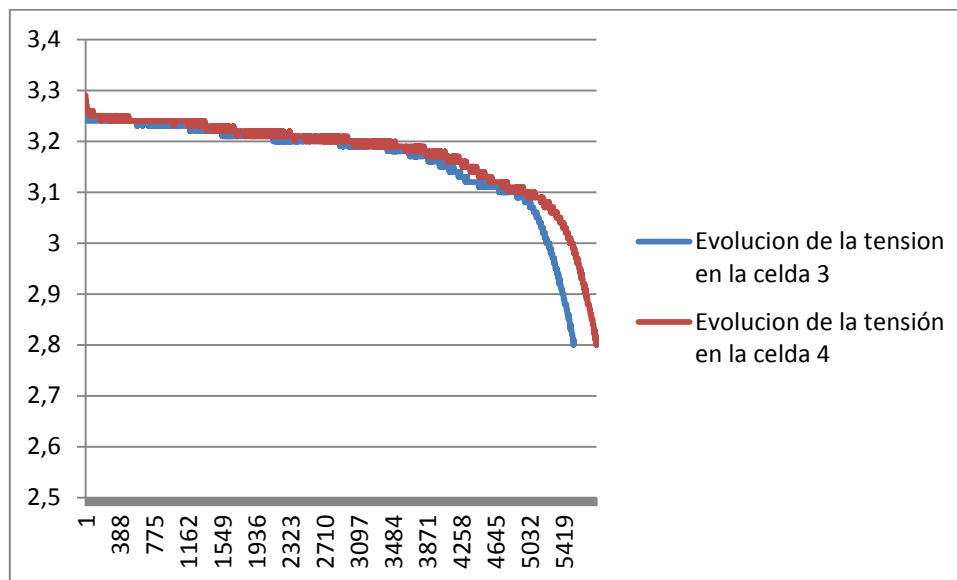


Figura 28. Curva de la tensión en la descarga de las celdas 3 y 4.

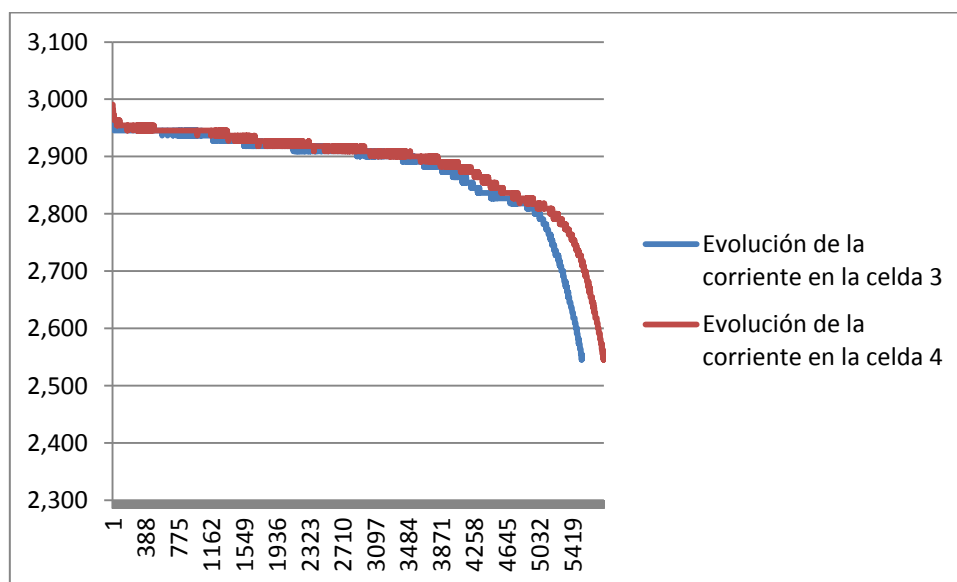


Figura 29. Curva de la corriente en la descarga de las celdas 3 y 4.

Se aprecia que prácticamente los resultados en la descarga coinciden, tenemos que recordar que cada celda presenta características diferentes internamente y es por ese motivo que a pesar de presentar la misma capacidad de carga inicial los datos obtenidos pueden diferir.



Por ultimo estudiaremos la celda 5, que es la celda que estaba en las peores condiciones iniciales.

Tiempo	Tensión en la celda (V)	Intensidad en la descarga (A)
02:25:03	3,22	2,927
02:25:05	3,22	2,927
02:25:07	3,21	2,918
02:25:09	3,21	2,918
02:25:11	3,21	2,918
02:25:13	3,21	2,918
02:25:15	3,20	2,909
02:25:17	3,20	2,909
02:25:19	3,20	2,909
02:25:21	3,20	2,909
02:25:23	3,20	2,909
02:25:25	3,19	2,900
02:25:27	3,19	2,900
02:25:29	3,19	2,900
02:25:31	3,20	2,909
02:25:33	3,19	2,900
02:25:35	3,19	2,900
02:25:37	3,19	2,900
02:25:39	3,19	2,900
02:25:41	3,19	2,900
02:25:43	3,19	2,900
02:25:45	3,19	2,900
02:25:47	3,19	2,900
02:25:49	3,19	2,900
02:25:51	3,18	2,891
02:25:53	3,19	2,900
02:25:55	3,19	2,900
02:25:57	3,19	2,900
02:25:59	3,18	2,891
02:26:01	3,19	2,900
02:26:03	3,19	2,900
02:26:05	3,19	2,900
02:26:07	3,18	2,891
02:26:09	3,18	2,891
02:26:11	3,18	2,891
02:26:13	3,18	2,891
02:26:15	3,18	2,891
02:26:17	3,18	2,891

Tabla 17. Fragmento de la monitorización en la descarga de la celda 5.

Muestras	2939
Tiempo total en segundos	5877
Tiempo total en minutos	97,95
Tiempo total en horas	1,633
Intensidad de promedio	2,822

Tabla 18. Resumen de la monitorización en la descarga de la celda 5.

$$\text{Amperios} - \text{hora} = 2,822 \text{ A} \times 1,633 \text{ h} \approx 4,06 \text{ Ah.}$$

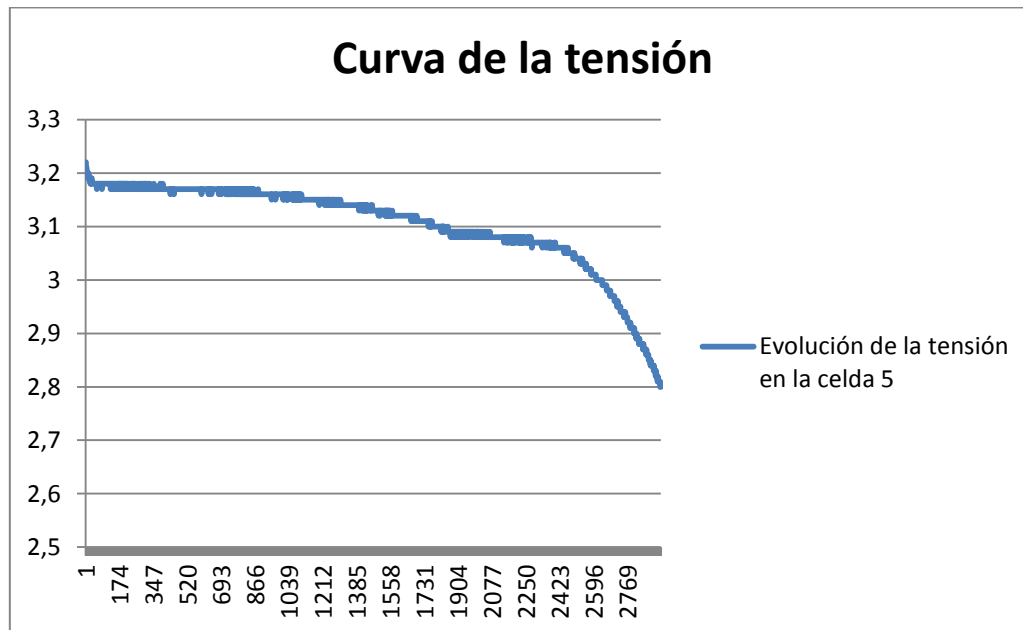


Figura 30. Curva de la tensión en la descarga de la celda 5.

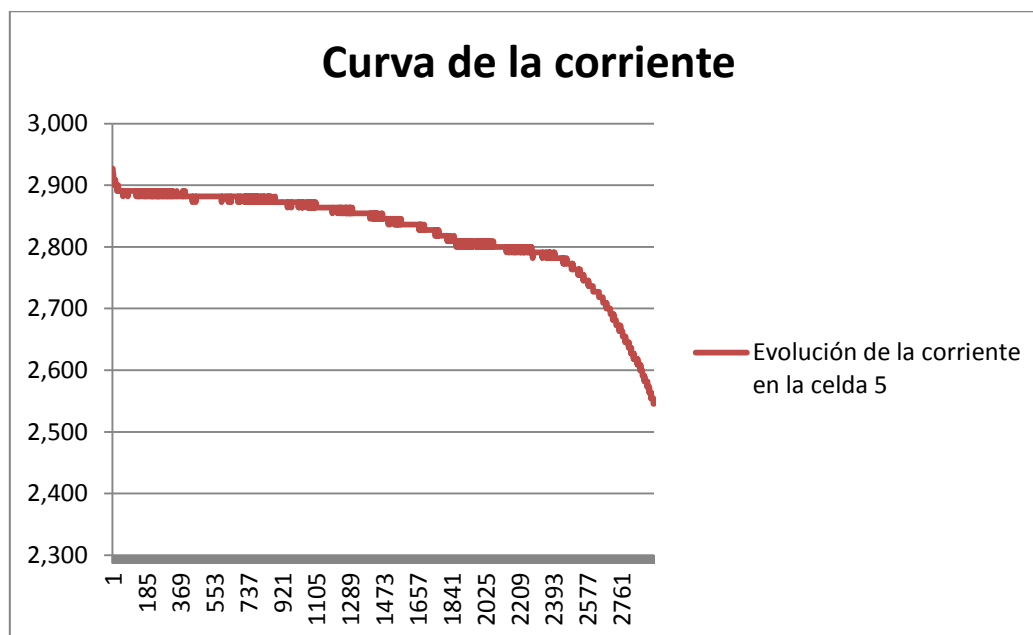


Figura 31. Curva de la corriente en la descarga de la celda 5.

Finalmente comprobaremos el valor de la resistencia interna basándonos en el método que hemos empleado anteriormente:



Imagen 17. Tensión en vacío de la celda 5



Imagen 18. Tensión en carga de la celda 5.

Tensión en carga = 3.25V.

Resistencia equivalente de carga = 1.1Ω.

$$\text{Intensidad en carga} = \frac{\text{Tensión en carga}}{\text{Resistencia equivalente de carga}} = \frac{3.25V}{1.1\Omega} \approx 2.95A$$

Calculado el valor de la intensidad y conociendo tanto el valor de la tensión en vacío así como la tensión en carga podemos finalmente calcular el valor de la resistencia interna:

$$\text{Resistencia interna} = \frac{\text{Tensión en vacío} - \text{Tensión en carga}}{\text{Intensidad en carga}} = \frac{3.33V - 3.25V}{2.95A} \approx 27m\Omega$$

Comprobando de esta manera que nuevamente la resistencia interna está muy por encima del valor de la resistencias interna de la celda en buen estado.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Conclusión de los resultados

Para obtener un patrón de estudio que sea muy fiable en cuanto al estudio de este tipo de celdas, hemos tomado los resultados de las tensiones de descargas de las siguientes celdas:

- Celda en mal estado = celda 5.
- Celda en mediano estado = celda 3.
- Celda en buen estado = celda 2.

Como podemos ver en la siguiente figura, como era de esperar la batería en buen estado nos proporcionará las mejores prestaciones posibles y será el patrón para realizar las medidas.

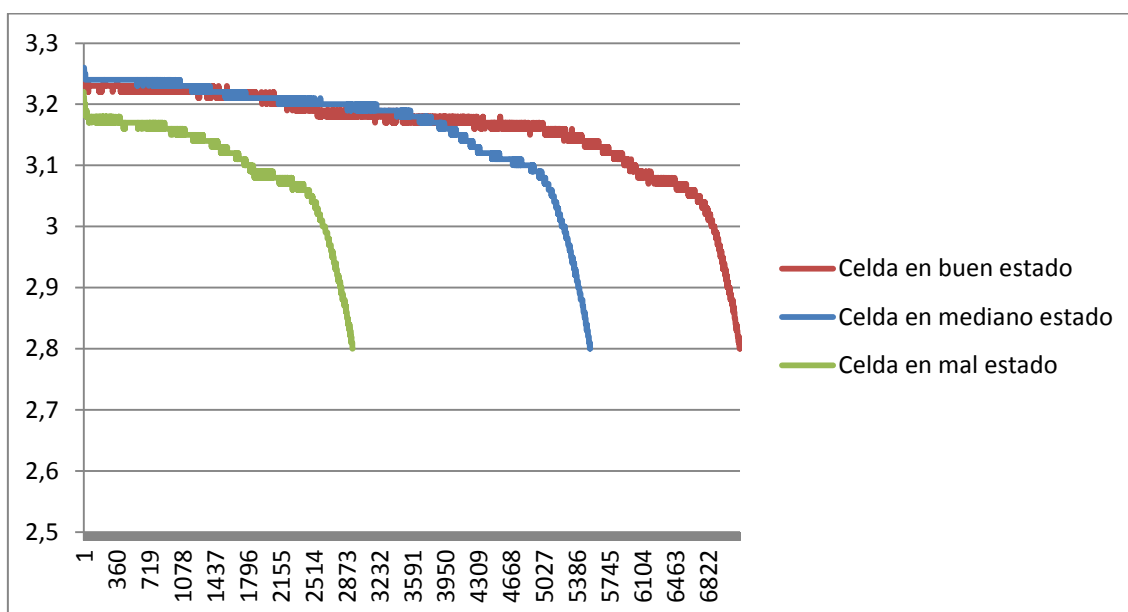


Figura 32. Curva de las tensiones en la descarga.

Si estas gráficas la llevamos al plano numérico llegamos a lo siguiente:

Celda	Capacidad (%)	Resistencia interna $m\Omega$
Celda en buen estado	100	10
Celda en mediano estado	77	17
Celda en mal estado	35	27

Tabla 19. Resultados finales del estudio de las celdas.

Esto quiere decir que si en algún momento determinado deseamos hacer un estudio de una o varias celdas, simplemente tenemos que superponer los resultados de dicha descarga en la gráfica de tensión de la figura 32 y dependiendo del lugar que esta ocupa podemos predecir su estado como también podemos aproximar el valor de su resistencia interna haciendo uso de la tabla 19.

En cuanto a poder mejorar la longevidad de estas celdas podríamos decir que si utilizamos un sistema de gestión de baterías podríamos conseguir una máxima eficiencia de las mismas y así aumentar lo máximo posible su longevidad.

Ejemplo de nuestro estudio

A continuación escogeremos una celda al azar de todas las que disponemos y realizaremos una descarga de esta y analizaremos los resultados y clasificaremos el estado de la celda de acuerdo al patrón que hemos obtenido en nuestro estudio.

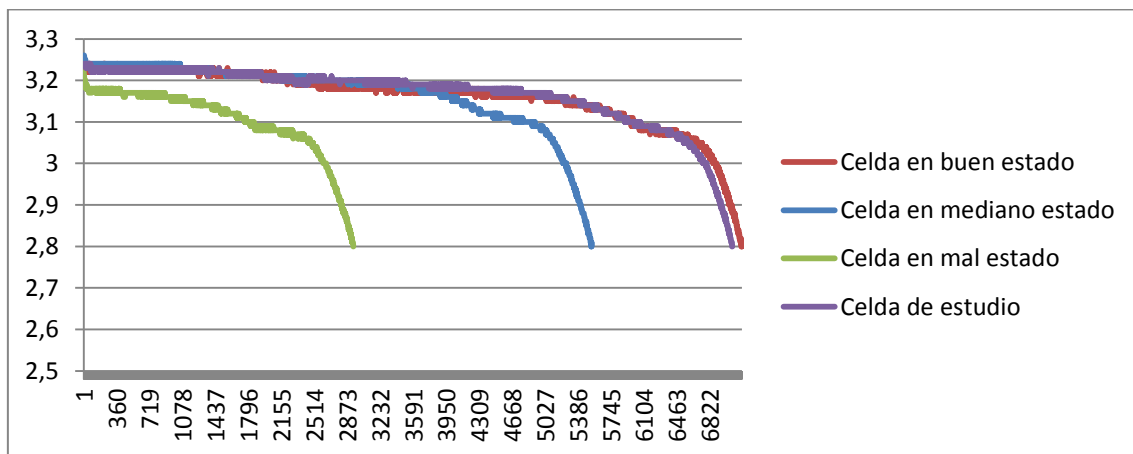


Tabla 20. Estudio de una celda cogida al azar.

La celda de estudio, prácticamente presenta las mismas características que la celda en buen estado, con esto podemos afirmar que la celda escogida al azar nos proporcionaría unas buenas prestaciones y por lo tanto el valor de su resistencia interna tiene que ser aproximadamente $10\text{ m}\Omega$.



Conclusión final

Como conclusión final al desarrollo del presente trabajo fin de grado, puedo decir que al principio el estudio estaba enfocado en realizar cargas y descargas de celdas supervivientes, pero al tener poco conocimiento de este tipo de celdas he optado por cambiar el enfoque de estudio, es por tal motivo empecé con el estudio de celdas nuevas y con ellas poder encontrar un patrón la cual podía utilizar como referencia para un estudio futuro y así poder determinar el estado de cualquier celda y poder determinar de esta manera la longevidad de la misma.

Antes de meterme de lleno en el análisis de este tipo de celdas, el primer paso que realice fue hacer un estudio de una batería convencional e intentar obtener las gráficas de la tensión y de la corriente en su descarga, pero no fue nada fácil, pues realizar el monitoreo fue lo más complicado de lograr, empecé a realizar una investigación de como poder solucionar este inconveniente, hasta que pude encontrar la mejor solución posible la cual era realizarlo por medio de Arduino y una interfaz de Java.

A partir del estudio de la pila convencional, era turno de meterme con el estudio de este tipo de celdas, al principio los resultados no fueron los esperados pues un error en la calibración los aparatos de medida me llevaron a unos resultados erróneos, estos errores los pude corregir con ayuda de mi tutor, pues él me ayudo a calibrar los aparatos de medida y de esta manera conseguir los resultados finales.

Ya terminado este trabajo puedo decir que me siento muy satisfecho por todo lo conseguido y no quiero acabar sin olvidarme de José Antonio y por todo su aporte para sacar adelante este trabajo.



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Bibliografía

- A. Chih-Chiang Hua, B. Z.-W. (s.f.). Charge and Discharge Characteristics of Lead-Acid, Battery and LiFePO₄ Battery.
- analogdesign. (s.f.). *analogdesign*. Recuperado el 2018, de <http://www.analogdesign.be/vintage-gear/philips-pe1542-power-supply>
- Andrada, H. (s.f.). *es.scribd*. Recuperado el 2018, de <https://es.scribd.com/doc/44184578/Baterias-primarias-y-secundarias>
- Arduino. (s.f.). *Arduino*. Recuperado el 2018, de <https://www.arduino.cc/>
- Beltrán, J. M. (2017). *Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas*.
- electronicoscaldas. (s.f.). *electronicoscaldas*. Recuperado el 2018, de <https://www.electronicoscaldas.com/microcontroladores-atmel/383-microcontrolador-atmega328p-pu.html>
- Estévez, J. G. (s.f.). *Universidad de Sevilla*. Recuperado el 2018, de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5722/fichero/Dise%C3%B1o+de+Sistemas+de+gesti%C3%B3n+de+bater%C3%ADas.pdf>
- González, A. G. (s.f.). *Panamahitek*. Recuperado el 2018, de <http://panamahitek.com/arduino-java-tabular-y-exportar-datos-a-excel/>
- Hernández, L. d. (s.f.). *Programafacil*. Recuperado el 2018, de <https://programafacil.com/podcast/26-arduino-entradas-y-salidas/>
- Hybridsteingroup. (s.f.). *Hybridsteingroup*. Recuperado el 2018, de <http://www.hybridsteingroup.com/ventajas-baterias-linadium/>
- industrial, A. d. (2016). *Campus Virtual Uva*. Recuperado el 2018
- J. C. Viera, M. G. (s.f.). NiMH vs NiCd Batteries under High Charging Rates. Oviedo.
- J.C. Viera, M. G. (2002). 24a Conferencia Anual Internacional de Energía de Telecomunicaciones. En U. d. Eléctrica. Oviedo.
- Marcelo, C. M. (s.f.). *Uajms*. Recuperado el 2018, de <http://www.uajms.edu.bo/revistas/wp-content/uploads/2017/12/Art1-bit@bitdic2017.pdf>
- Olajedatos. (s.f.). *Olajedatos*. Recuperado el 2018, de http://www.olajedatos.com/documentos/baterias_plomo.pdf
- Oman, H. (s.f.). New Electric-Vehicle Batteries.



Paolo Brenni, R. G. (s.f.). *From Volta onwards: a variety of electrical batteries in the Pavia, Museum of Electrical Technology.*

Planetaelectronico. (s.f.). *Planetaelectronico*. Recuperado el 2018, de <https://www.planetaelectronico.com/resistencia-de-potencia-50w-3r9-p-19625.html>

Seyed Ahmad Hamidi, E. M. (s.f.). *Li-Ion Batteries and Li-Ion Ultracapacitors: Characteristics, Modeling and Grid Applications*. Wisconsin.

Stansberry, M. (s.f.). *puromotores*. Recuperado el 2018, de <https://www.puromotores.com/13075235/como-calcular-la-regulacion-de-voltaje>

trabajo, I. N. (s.f.). *INSHT*. Recuperado el 2018, de http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/101a200/ntp_104.pdf

Wikipedia. (15 de Noviembre de 2018). *Batería de litio-ferrofosfato*. Recuperado el 2018, de https://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_litio-ferrofosfato

Wikipedia. (22 de Noviembre de 2018). *Wikipedia*. Recuperado el 2018, de https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate_battery



Referencia de las figuras

- [1] Recuperado de: <http://spanish.lithiumlifepo4battery.com/sale-2108737-solar-lamp-aa-3-2v-lithium-lifepo4-battery-600mah-batteries-rohs.html>
- [2] Recuperado de: <http://quimicamariacciencias.blogspot.com/2015/04/pilas.html>
- [3] Recuperado de: <http://www.areatecnologia.com/baterias-y-acumuladores.htm>
- [4] Recuperado de: <https://mx.depositphotos.com/197528138/stock-photo-technician-measuring-voltage-battery-ups.html>
- [5] Recuperado de: <http://rbaingenieros.wixsite.com/rba-ingenieros/single-post/2015/2/8/BATER%C3%8DAS-DE-ACUMULACI%C3%93N-CAPACIDAD-REAL-Y-CURVA-DE-DESCARGA>
- [6] Recuperado de: <https://forococheselectricos.com/2013/02/especial-baterias-parte-i-el-abc-de-las.html>
- [7] Recuperado de: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/como-alargar-la-vida-util-de-las-baterias>
- [8] Recuperado de: <http://www.learningaboutelectronics.com/Articulos/Voltaje-de-circuito-abierto.php>
- [9] Recuperado de: <http://intra-logistica.es/?p=135>
- [10] Recuperado de: http://www.olajedatos.com/documentos/baterias_plomo.pdf
- [11] Recuperado de: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- [12] Recuperado de: http://www.olajedatos.com/documentos/baterias_plomo.pdf
- [13] Recuperado de: http://www.olajedatos.com/documentos/baterias_plomo.pdf
- [14] Recuperado de: <https://es.aliexpress.com/item/12pcs-Sub-C-SC-1-2V-1300mAh-Ni-Cd-NiCd-Rechargeable-Battery-Yellow/32330189072.html>
- [15] Recuperado de: *Apuntes de la asignatura de electrónica industrial curso 2016/17*
- [16] Recuperado de: <http://www.hybridsteingroup.com/ventajas-baterias-linadium/>
- [17] Recuperado de: *Charge and Discharge Characteristics of Lead-Acid Battery and LiFePO4 Battery-A. Chih-Chiang Hua, B. Zong-Wei Syue*
- [18] Recuperado de: *Apuntes de la asignatura de electrónica industrial curso 2016/17*
- [19] Recuperado de: <http://www.hybridsteingroup.com/ventajas-baterias-linadium/>



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES

Anexo I

Para hacer posible el estudio de las celdas nos hemos apoyado en algunos dispositivos así como también de algunas aplicaciones para hacer el tratamiento de todos los datos obtenidos es por ello que a continuación hablaremos un poco de todos lo referente al hardware y el software empleado para el estudio de nuestro proyecto.

Hardware

Arduino uno

En este punto vamos a describir los puntos principales de Arduino sin meternos de lleno en los conceptos que pormenorizan los puntos de ingeniería de la placa.

La alternativa de utilizar este tipo de tarjeta es por la familiarización que se tiene de anteriores proyectos realizados en la Universidad, por su bajo costo y por ser de código abierto –el concepto de código abierto sugiere que cualquier usuario puede tener acceso a él– además por la extensa información que podemos encontrar en distintos medios. Otra de las ventajas del uso de Arduino es su funcionalidad en multiplataforma como sistema operativo Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.

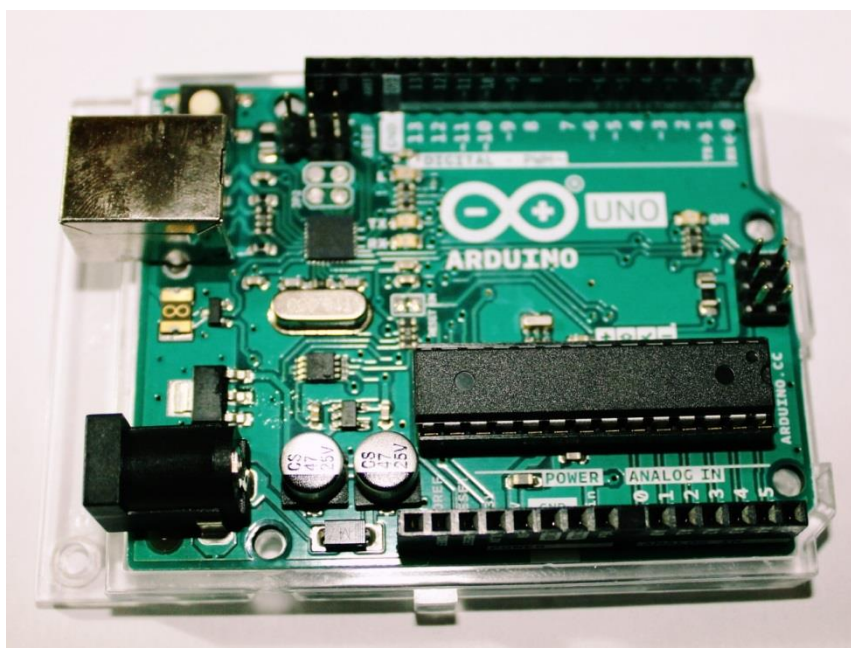


Imagen 19. Tarjeta de Arduino Uno.

Cabe mencionar que Arduino no es un tipo de placa sino es más bien un proyecto que fue desarrollado por estudiantes Italianos allá por el año del 2005, dentro de este proyecto tenemos la placa llamada *Arduino Uno* que es una plataforma que integra un sistema hardware y software. El sistema hardware está basado en una

tarjeta con un *microcontrolador ATmega328P* de la marca ATMEL el cual le proporciona un carácter altamente versátil, de manera parecida a la que un microprocesador le proporcionar a un computador.

A continuación mencionaremos las características más importantes del microcontrolador ATmega328P integrado en el Arduino Uno:

- Microcontrolador arquitectura de 8 bits de la familia AVR
- Hasta 23 pines I/O disponibles
- Memoria de programa flash de 32 kB
- SRAM de 2 kB
- EEPROM de datos de 1 kB
- Velocidad max. de la CPU 20 MIPS
- Oscilador externo hasta 20 MHz
- Voltaje de operación 1.8 V a 5.5 V
- ADC de 10 bits y 6 canales
- 2 timers/contadores/comparadores de 8 bits
- 1 timer/contador/comparador/Captura de 16 bits
- 6 canales PWM
- USART Full duplex
- SPI
- TWI Two-wire Serial Interface (2-Wire) (I2C compatible)
- Comparador análogo
- Múltiples fuentes de interrupción
- Oscilador de reloj interno
- Brown-out Reset de valor programable
- Power-on Reset
- Modos de bajo consumo
- Soporta 10,000 ciclos de borrado/escritura en memoria flash
- Soporta 100,000 ciclos de borrado/escritura en memoria EEPROM
- Protección de código programable

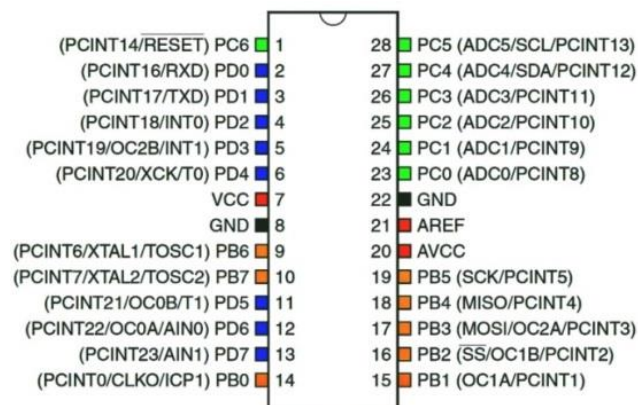


Imagen 20. Microcontrolador ATmega328P

Ya hemos hablado del microcontrolador así como mencionado sus características, lo que haremos ahora será mencionar las partes de la placa del Arduino Uno desde una perspectiva física para convertir dicha placa en un sistema autónomo para que pueda interactuar con un entorno preparado para diversos proyectos.

Los principales componentes de la placa son:

1. Puerto USB tipo B.
2. Terminales de entrada y salida digitales.
3. Terminales para entrada de señales analógicas.
4. Botón de reset.
5. Conector de alimentación.
6. Terminales de alimentación de energía para dispositivos externos.
7. Leds indicadores de transmisión de datos.
8. Led indicador de encendido.
9. Microcontrolador.

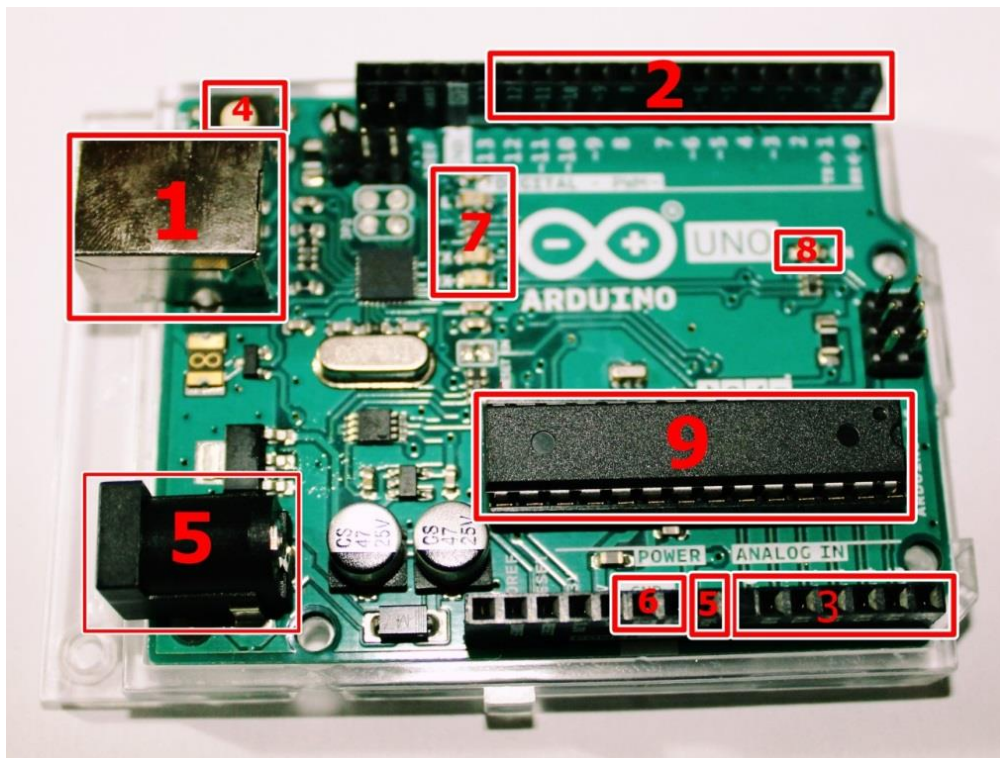


Imagen 21. Partes de la placa de Arduino Uno.

Alimentación de Arduino uno

Para poder realizar la transferencia del código entre el software y el hardware haremos uso de un cable que por extremo cuenta con un conector USB tipo A (típico conector de USB) el cual estará conectado por un puerto USB del ordenador y por el otro extremo cuenta con un conector tipo B (típico conector USB de impresora) el cual estará conectado con el puerto del Arduino Uno.

Cabe mencionar que con este cable podemos suministrar energía suficiente para poder alimentar la placa de Arduino uno.

Otra forma de alimentar la placa es a través de un puerto de 5V que dispone Arduino que nos posibilita la alimentación de la placa independientemente del cable USB.



Imagen 22. Cable para la conexión entre el ordenador y Arduino Uno.

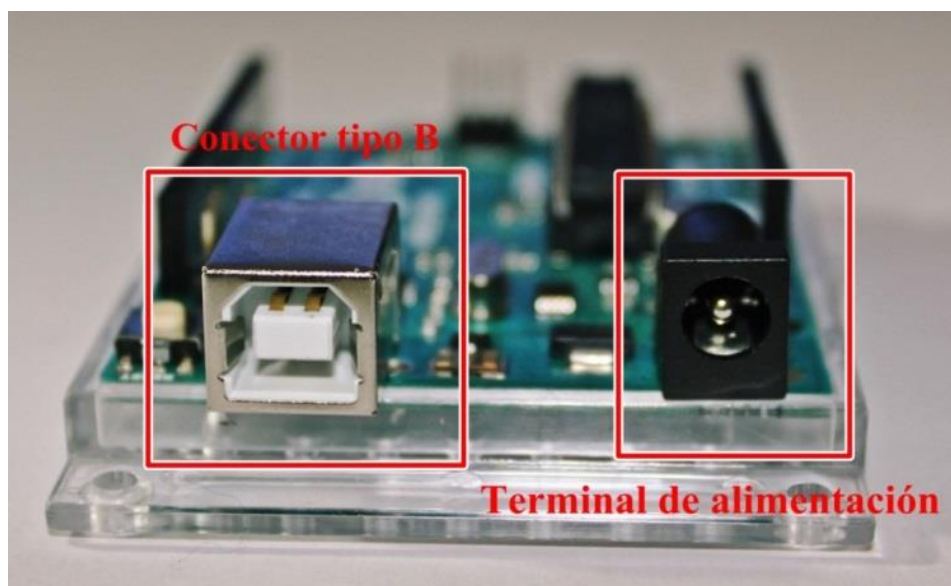


Imagen 23. Forma de alimentar el Arduino Uno.

Entradas y salidas digitales y analógicas

Como podemos apreciar en la siguiente figura, Arduino Uno dispone de pines digitales los cuales pueden ser configurados como entradas o como salidas las cuales pueden soportar y suministrar una corriente máxima de salida es 40 mA. Estos terminales pueden ser usados para leer o escribir ceros o unos, entendiendo que nunca pueden presentar los dos valores al mismo tiempo – nivel alto o nivel bajo – estos niveles descritos a nivel de tensión corresponderían 0V o 5V es decir pueden estar desactivados o activados.

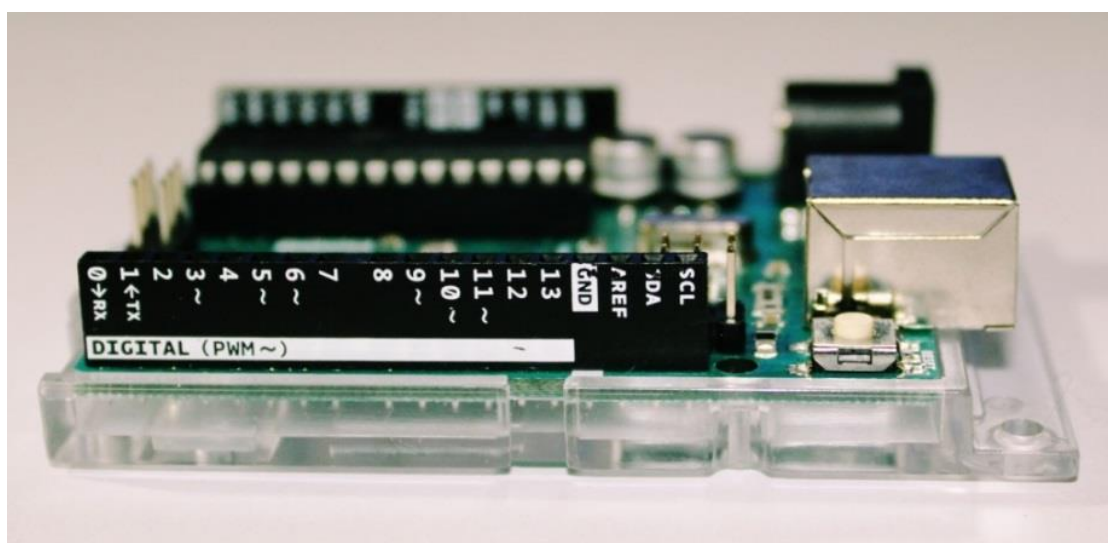


Imagen 24. Terminales digitales.

Algunos de ellos tienen otras características que vamos a describir a continuación:

- **Pin 0-RX:** Utilizado para leer datos TTL.
- **Pin 1-TX:** Utilizado para transmitir datos TTL.
 - Estos dos pines realizan una comunicación serie –utilizando una librería específica de Arduino Uno– que es la comunicación más empleada actualmente para la transmisión de datos entre las placas de Arduino.
- **Pin 2, 3:** Pueden ser configurados para disparar una interrupción en valor bajo.
- **Pin 3, 5, 6, 9, 10, 11:** Marcados con el símbolo “~”, estos terminales tienen una función especial ya que si bien es cierto se pueden configurar como entradas y salidas digitales también pueden ser configuradas como salida para modulación por ancho de pulso (PWM). Con la configuración PWM podemos controlar el tiempo en que estos terminales pueden estar en nivel

alto y en nivel bajo por lo que podemos conseguir una señal de tipo cuadrada y, el llamado *ciclo de trabajo* que es la relación entre ambos niveles de estado (se expresa en %).

Ahora hablaremos de los terminales analógicos que presenta el Arduino Uno:

- **Pin A0-A5:** Con estos pines podemos recibir/leer información desde el exterior, así mismo nos brinda la adquisición de datos analógicos, todos los datos adquiridos desde el exterior son convertidos a su equivalente binario para poder procesarlos, transmitirlos o almacenarlos en forma digital. Dispone de un convertor analógico digital el cual tiene una resolución de 10 bits con el cual podemos conseguir 1024 rango de valores. Teniendo en cuenta que la alimentación de Arduino va hasta los 5 voltios, cada rango de valores se diferencia en 0.0049V – éste concepto es de suma importancia para nuestro proyecto–.
- **El terminal SDA (Serial Data Line):** Se utiliza para la transmisión de datos serie.
- **El terminal SCL (Serial Clock Line):** Suministra la señal de reloj para mantener a todos los dispositivos conectados de manera sincronizada.
 - Ambos terminales soportan la comunicación I2C siempre que utilicemos la librería Wire. Este tipo de comunicación cada dispositivo tiene una dirección única y puede funcionar como maestro o esclavo.

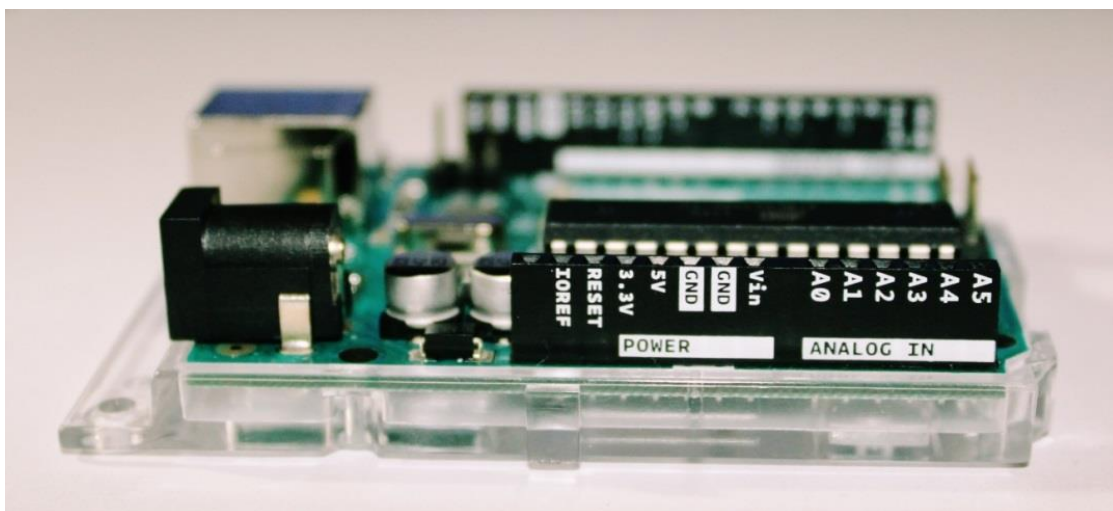


Imagen 25. Terminales analógicos de Arduino Uno.



Por último hablaremos de los demás terminales:

- **IOREF (Input Output Reference):** Es el pin que nos suministra la tensión para el estado alto de los pines digitales. Por norma general si conectamos el Arduino a 5V este pin nos dará 5V, en caso contrario serán 3.3V.
- **RESET:** Sirve para resetear el Arduino si aplicamos la tensión máxima posible.
- **IOREF:** Reinicia el Arduino y el programa que tengamos cargado. *Importante*, esta función no borra el programa que tengamos cargado en la memoria del Arduino.
- **5V:** La alimentación regulada utilizada para alimentar el microcontrolador y otros componentes de la placa. Esta puede venir de V_{in} a través de un regulador en placa o ser proporcionada por USB u otra fuente regulada de 5V.
- **3.3 V:** Una fuente de 3.3 voltios generada por el chip FTDI de la placa.
- **GND:** Toma de tierra, 0V.
- **V_{in} :** Es la entrada de alimentación de la placa Arduino. Esta entrada no está protegida y por lo tanto hay que tener un especial cuidado con el voltaje que suministramos ya que podemos quemar la placa. Se recomienda una alimentación por USB en el periodo de pruebas.
- **AREF:** Es el terminal que nos suministra la tensión para el rango máximo de los puertos analógicos, normalmente 5V.

Software

Aplicación de Arduino (IDE).

Pasos para hacer la instalación del software:

1. Entrar a la página oficial de Arduino a través del enlace:
<https://www.arduino.cc>
2. Entramos en el apartado de software:



Figura 33. Instalación de Arduino.

3. Descargamos la opción para Windows

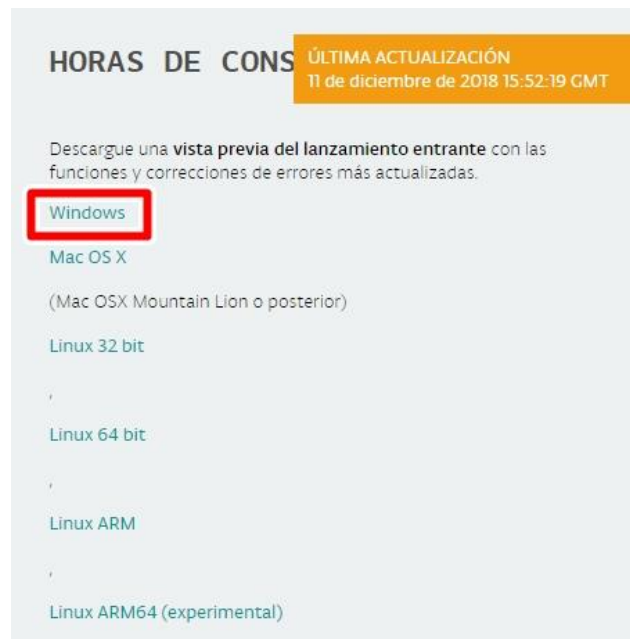


Figura 34. Compatibilidad de Arduino con el sistema.

4. Empezara la descarga del archivo con extensión .zip el cual tenemos que extraer (en nuestro caso la extracción se hizo con destino la carpeta de descarga del ordenador).



Figura 35. Descarga del archivo zip. para instalar la aplicación de Arduino

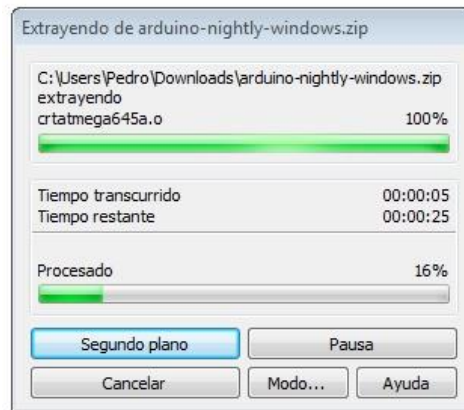


Figura 36. Extracción del archivo zip. para instalar la aplicación de Arduino

5. Una vez extraído el archivo tenemos que ejecutar la aplicación “arduino”.

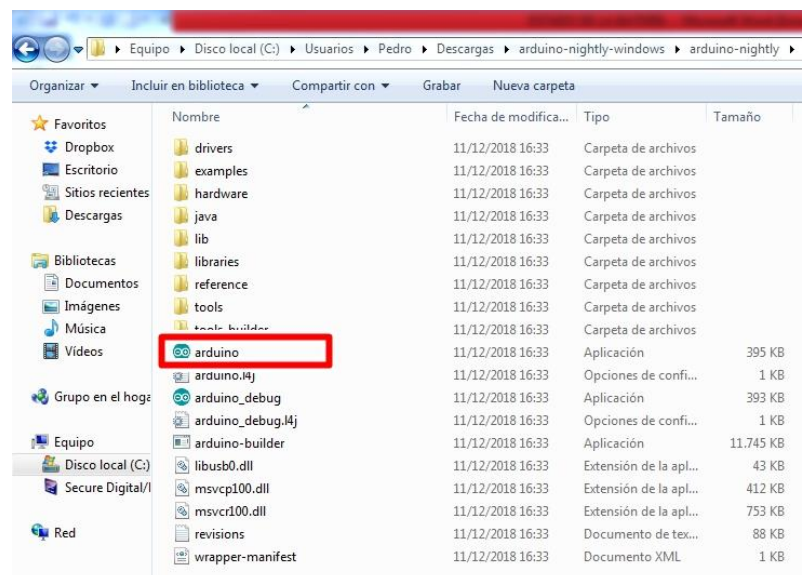


Figura 37. Ejecución de la aplicación de Arduino.

6. Aceptando todas las condiciones el programa se ha instalado satisfactoriamente en el escritorio de nuestro ordenador.

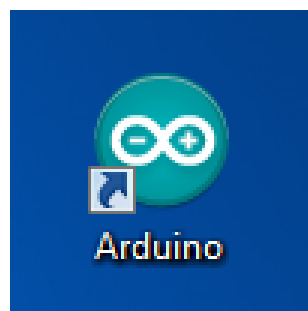


Figura 38. Ejecutable para abrir la aplicación de Arduino.

7. Ejecutando el programa se nos abrirá el llamado “sketch” en donde escribiremos el código de nuestro proyecto.

```
sketch_dec14b Arduino 1.8.9 Hourly Build 2018/12/11 04:33
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

sketch_dec14b

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}
```

Figura 39 Sketch de la aplicación de Arduino.

Todos los pasos realizados anteriormente simplemente nos brindará una plataforma genérica para todos los tipos de placas que dispone el proyecto Arduino, lo que tenemos que hacer ahora es configurar dicha plataforma para poder trabajar con nuestro modelo de tarjeta que en nuestro caso es Arduino Uno.

- Tenemos que ir a Herramientas → Placa: “Arduino/Genuino Uno” → Arduino/Genuino Uno.

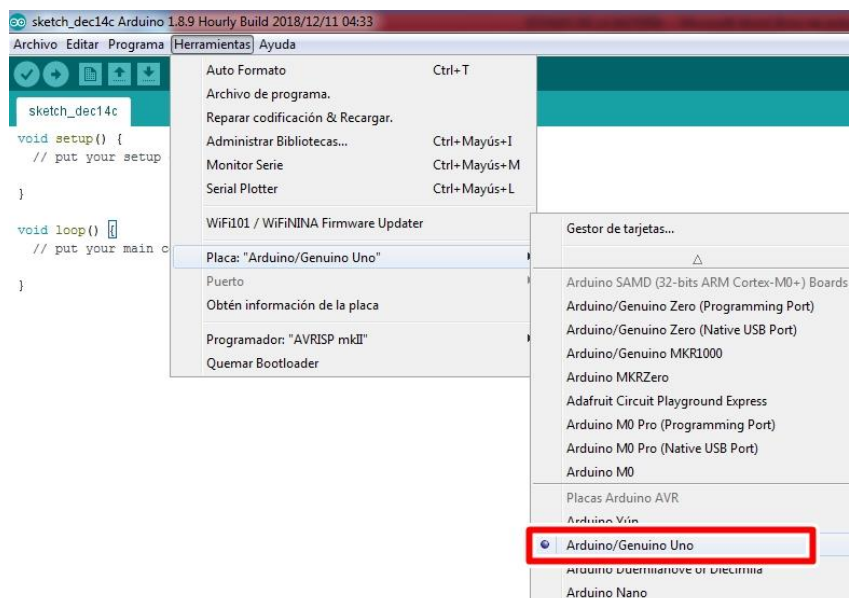


Figura 40. Configuración para trabajar con Arduino Uno.

- Finalmente vamos a configurar el puerto donde está instalado nuestro Arduino Uno. Para eso conectamos el Arduino con el ordenador a través del cable USB tipo A-B.

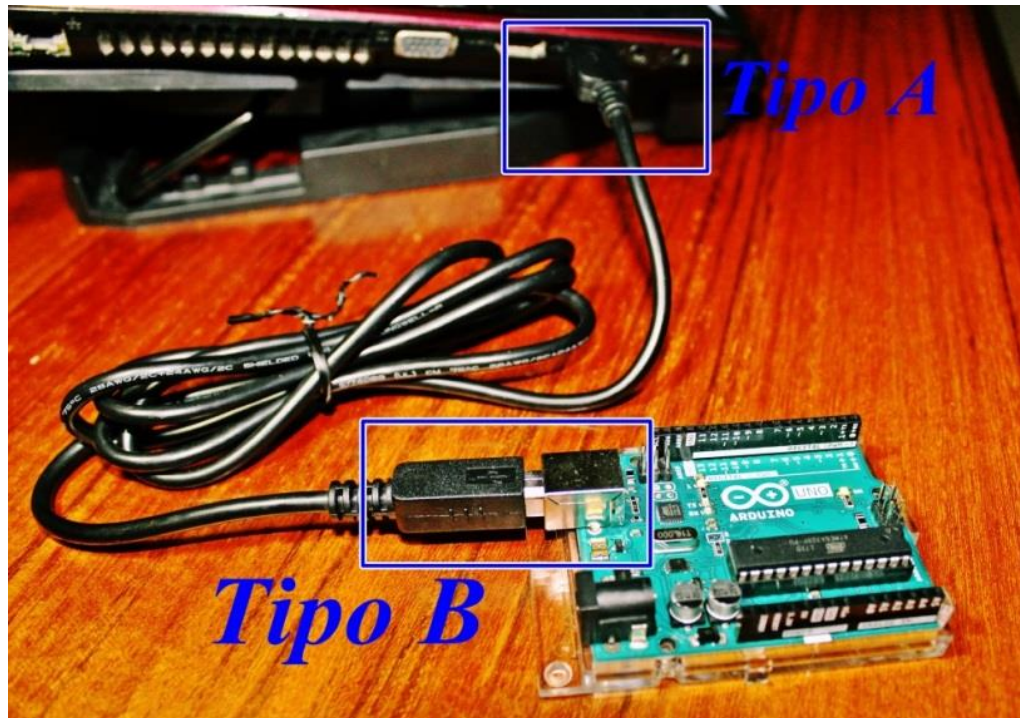


Imagen 26. Forma de conectar Arduino Uno con el ordenador.

El paso siguiente es ir a la ruta donde están instalados los dispositivos de nuestro ordenador: Panel de control\Hardware y sonido\Dispositivos e impresoras y buscar en que puerto “COM” está instalado nuestro Arduino Uno. Para nuestro caso la instalación se realizó en el COM5.



Figura 41. Comprobación del COM de Arduino UNO

Y ya para terminar tenemos que ir a la plataforma de Arduino y configurar el puerto al COM5 para que coincida con el que tenemos.

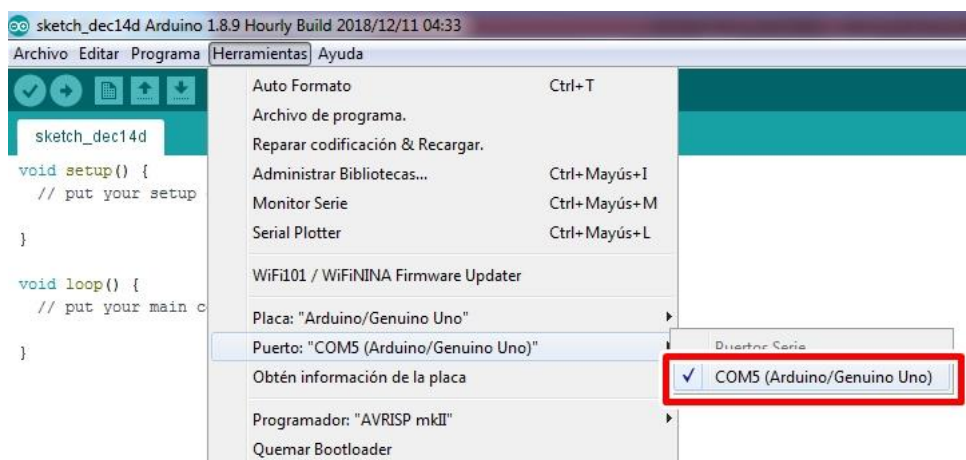


Figura 42. Comprobación del COM con la aplicación.

La utilización de Arduino Uno para nuestro proyecto se basa en una la lectura de tiempo real de los siguientes valores, obviamente depende si estamos en el modo carga o descarga.

- El voltaje que tenemos almacenado en la celda de nuestra celda durante la descarga.
- Los amperios consumidos durante la descarga.
- El voltaje que tenemos en la resistencia utilizada para la carga de la celda.
- Los amperios consumidos durante la carga de la celda.

Sin embargo hay un punto que tenemos que señalar en cuanto a la limitación del uso del Arduino Uno y, es la falta del procesamiento de la información que es leída a través de su puerto serie. Esta información que se obtiene no la podemos guardar en un fichero ya que Arduino simplemente puede leer y recibir información más no puede crear o escribir en un fichero.

En la búsqueda de una solución encontramos varias formas de poder lidiar con nuestro problema. A continuación mencionaremos las diferentes posibles soluciones.

- A. Guardar la información en una tarjeta MicroSD con ayuda de un adaptador.

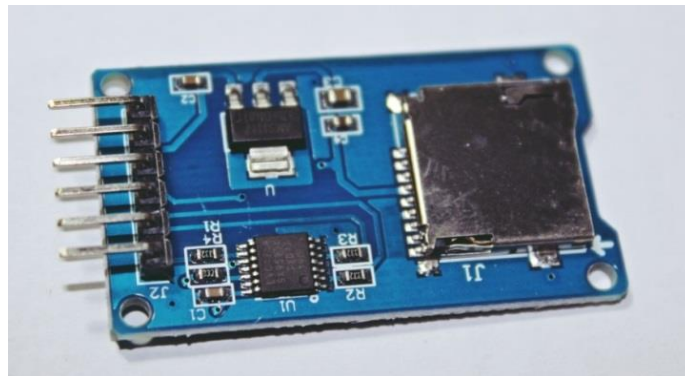


Imagen 27. Tarjeta MicroSD para Arduino.

- B. Crear una macros en Excel la cual pueda leer la información recogida por el puerto serie de Arduino.

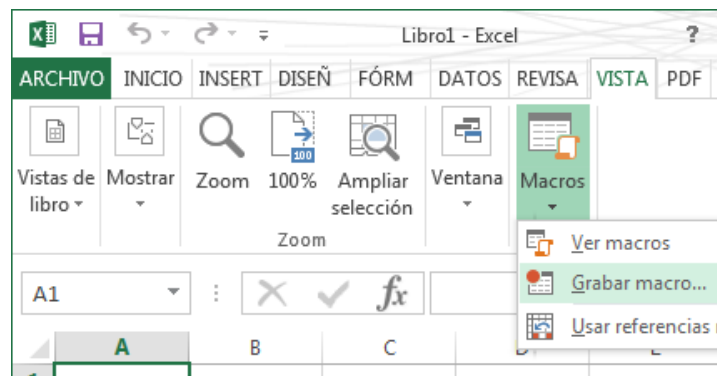


Figura 43. Muestra de cómo crear una Macros.

- C. Programar un código en el lenguaje de programación Java en la plataforma NetBeans IDE 8.2, la cual puede leer la información que es enviada al puerto serie del Arduino Uno.



Figura 44. Interfaz de Java y Arduino.

Habiendo ya mencionadas las diferentes soluciones para resolver nuestro problema a la hora de guardar los datos recogidos por el puerto serie del Arduino Uno, nos decantamos por la utilización de la última alternativa.

Programación en Java

Al igual que muchos otros tipos de lenguajes de programación, el lenguaje Java presenta una estructura propia la cual se caracteriza por ser de propósito general, concurrente, además está basado en el concepto de programación orientada a objetos.

Para este punto queremos aclarar que no pretendemos profundizar demasiado en este tipo de lenguaje de programación, simplemente daremos las pautas para su correspondiente instalación en nuestro ordenador de trabajo así como una plataforma desde la que vamos a realizar el código para nuestro proyecto.

a. Instalación de las librerías Java

Previo a trabajar en un entorno de programación Java debemos de configurar nuestro ordenador siguiendo los pasos que mostraremos a continuación:

1. Lo primero que hay que tener en cuenta para poder programar en Java es tener instalado el paquete de librerías Java SE Development Kit, este paquete lo descargaremos desde la página de Oracle: <https://www.oracle.com>.

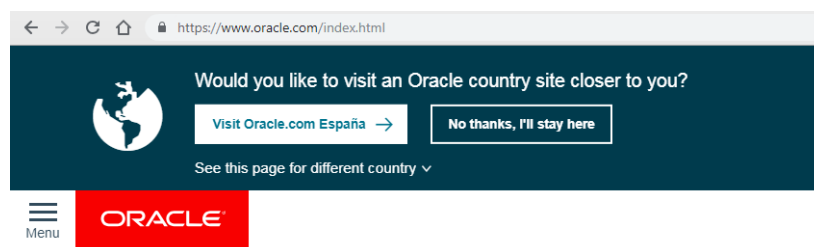


Figura 45. Página de Oracle.

2. Iremos al apartado de descargas

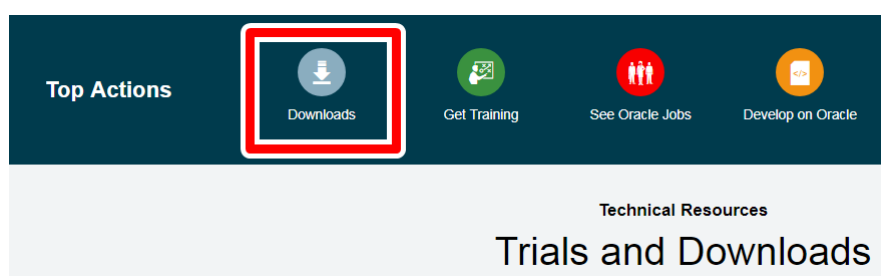


Figura 46. Opción de descarga.

3. Buscaremos el apartado de Java y buscaremos Java para desarrolladores



Figura 47. Opción Java para desarrolladores.

4. Se abrirá una nueva ventana que mostramos como podemos apreciar en la siguiente figura.



Figura 48. Descargando Java SE

5. Nos desplazaremos hasta encontrar la opción Java SE 8u191 / Java SE 8u192 y buscaremos la descarga JDK.

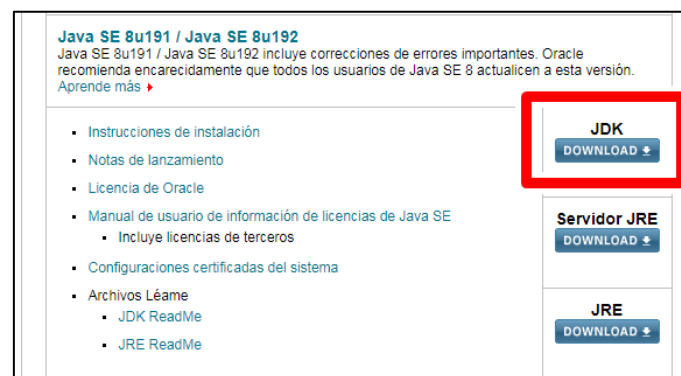


Figura 49. Archivo JDK

- Se abrirá una nueva ventana que nos mostrará el kit de desarrollo Java y las opciones para todos los sistemas operativos permitidos, en nuestro caso como estamos trabajando en un entorno Windows debemos de tener en cuenta los bits de nuestro sistema operativo.

Kit de desarrollo de Java SE 8u191		
Debe aceptar el Acuerdo de licencia de código binario de Oracle para Java SE para descargar este software.		
<input type="radio"/> Aceptar acuerdo de licencia <input checked="" type="radio"/> Negar acuerdo de licencia		
Descripción del producto / archivo	Tamaño del archivo	Descargar
Linux ARM 32 Hard Float ABI	72.97 MB	jdk-8u191-linux-arm32-vfp-hflt.tar.gz
Linux ARM 64 Hard Float ABI	69.92 MB	jdk-8u191-linux-arm64-vfp-hflt.tar.gz
Linux x86	170.89 MB	jdk-8u191-linux-i586.rpm
Linux x86	185.69 MB	jdk-8u191-linux-i586.tar.gz
Linux x64	167.99 MB	jdk-8u191-linux-x64.rpm
Linux x64	182.87 MB	jdk-8u191-linux-x64.tar.gz
Mac OS X x64	245.92 MB	jdk-8u191-macosx-x64.dmg
Solaris SPARC de 64 bits (paquete SVR4)	133.04 MB	jdk-8u191-solaris-sparcv9.tar.Z
Solaris SPARC de 64 bits	94.28 MB	jdk-8u191-solaris-sparcv9.tar.gz
Solaris x64 (paquete SVR4)	134.04 MB	jdk-8u191-solaris-x64.tar.Z
Solaris x64	92.13 MB	jdk-8u191-solaris-x64.tar.gz
Windows x86	197.34 MB	jdk-8u191-windows-i586.exe
Windows x64	207.22 MB	jdk-8u191-windows-x64.exe

Figura 50. Compatibilidad del archivo con nuestro S.O.

- Para conocer las propiedades de nuestro sistema operativo nos iremos a icono de inicio de nuestra barra de herramientas y buscaremos la opción “equipo”.

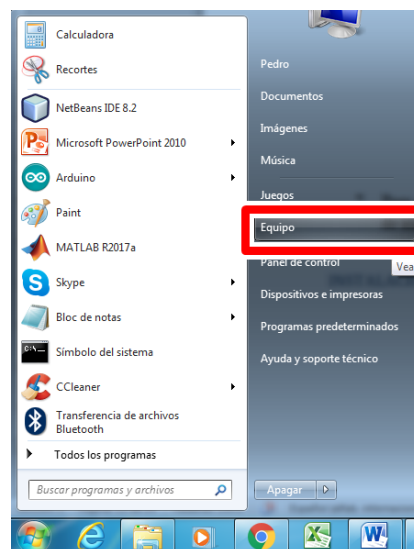


Figura 51. Buscando las propiedades de nuestro S.O.

8. Se nos abrirá una nueva ventana e iremos a la parte donde pone propiedades del sistema

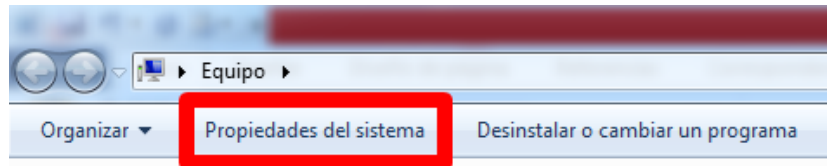


Figura 52. Propiedades del sistema.

9. Aparecerá todas las propiedades de nuestro sistema e iremos a la línea que pone tipo de sistema, en esta línea podemos ver los bits de nuestro sistema operativo.

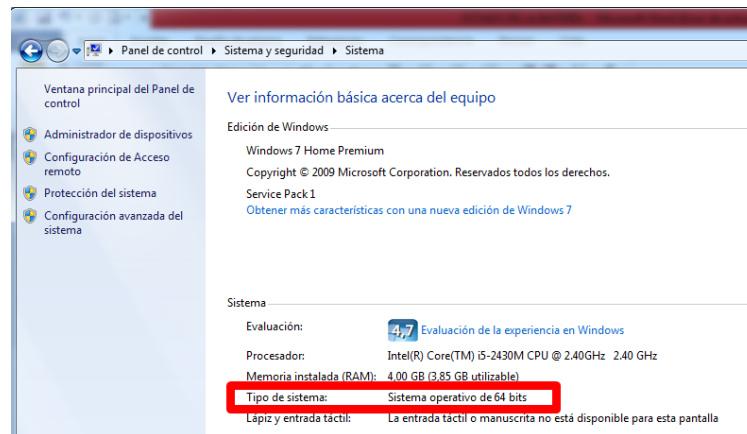


Figura 53. Tipo de nuestro sistema operativo.

10. Volviendo al apartado 6. Descargaremos la opción Windows x64, aceptando el acuerdo de licencia.



Figura 54. Descarga de la versión compatible a nuestro S.O.

11. Por último instalaremos el ejecutable con extensión .exe aceptando todas las condiciones.

b. Instalación de Netbeans IDE

Ya instalado el paquete de librerías de Java lo que haremos a continuación será instalar la plataforma donde escribiremos el código para la transferencia de información del puerto serie del Arduino Uno hacia Excel. Tendremos que seguir los siguientes pasos:

1. Tenemos que ingresar a la siguiente página desde el navegador: <https://netbeans.org/>
2. Entraremos en el apartado de descargas.

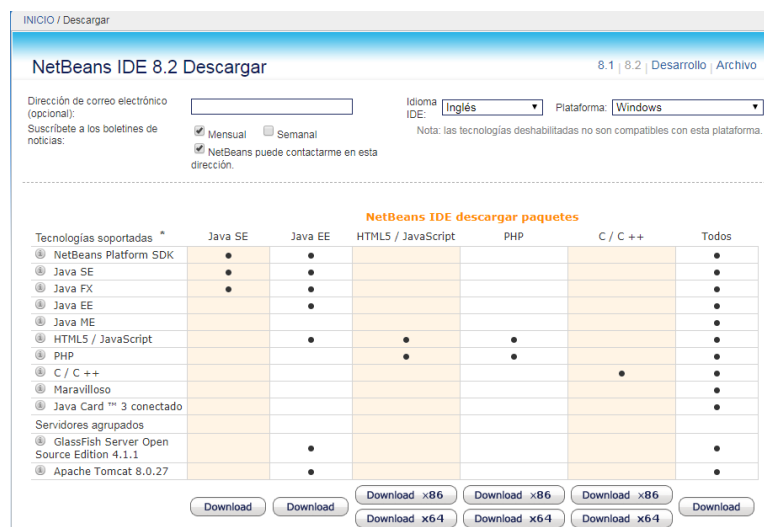


Figura 55. Opciones de paquetes de NetBeans.

3. Descargaremos la opción “todos”.

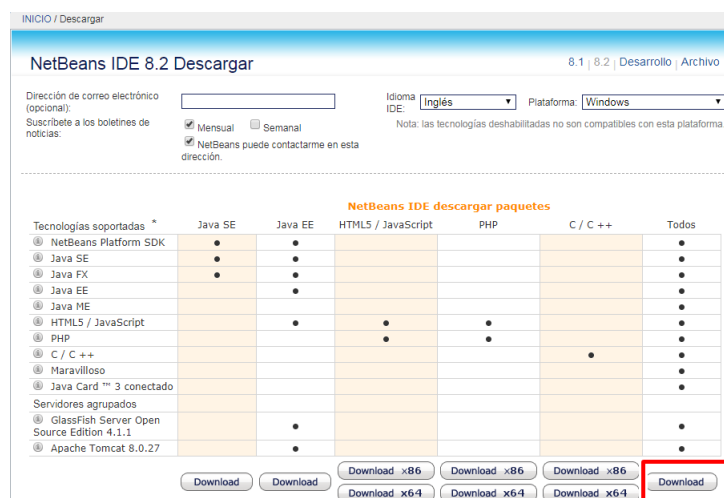


Figura 56. Elección del paquete de NetBeans

4. Se descargará el ejecutable con extensión .exe el cual tenemos que instalar aceptando todos los términos y condiciones.

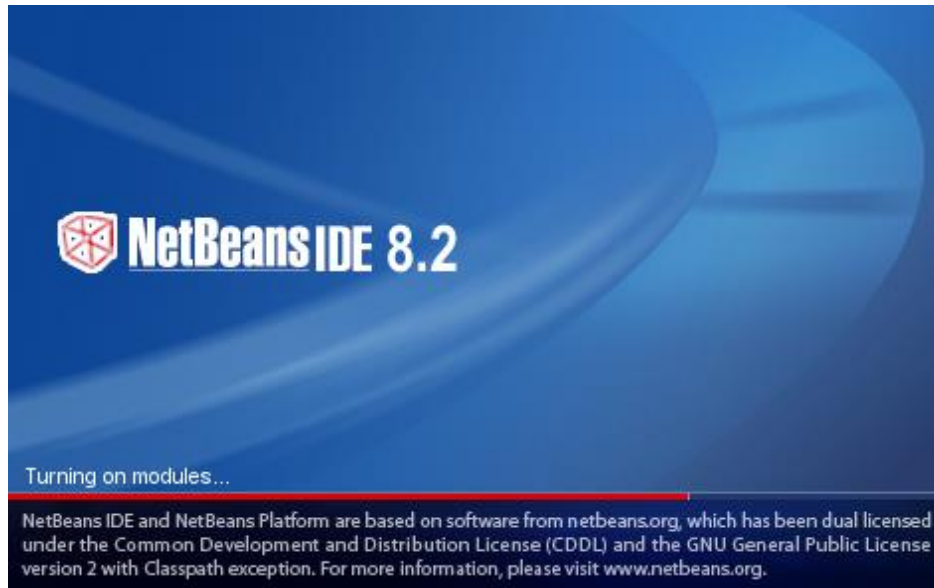


Figura 57. Instalación de NetBeans IDE 8.2

5. Por último abriremos el programa para escribir el código del programa

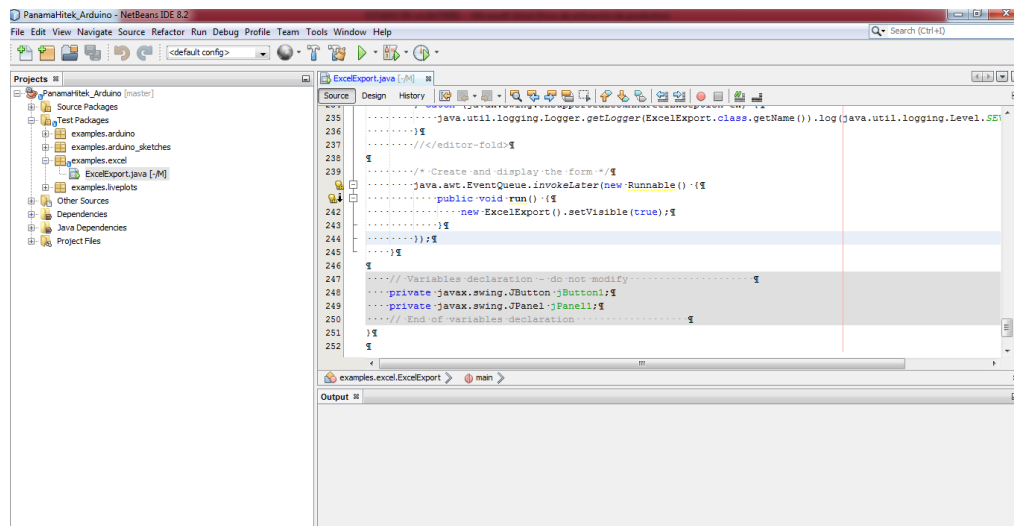


Figura 58. Plataforma de NetBeans IDE 8.2



Universidad de Valladolid



ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES



Anexo II

Código Java

```
package examples.excel;

import com.panamahitek.ArduinoException;
import com.panamahitek.PanamaHitek_Arduino;
import com.panamahitek.PanamaHitek_DataBuffer;
import com.panamahitek.PanamaHitek_MultiMessage;
import java.io.IOException;
import java.util.logging.Level;
import java.util.logging.Logger;
import javax.swing.JOptionPane;
import jssc.SerialPortEvent;
import jssc.SerialPortEventListener;
import jssc.SerialPortException;

//Este ejemplo permite conectarse con Arduino y empezar a recibir datos. Estos
datos serán //tabulados en un JTable y mostrados en pantalla. Al presionar el
botón disponible en la interfaz, //los datos tabulados serán exportados a un
archivo en Excel.

public class ExcelExport extends javax.swing.JFrame {

    //Objeto para la gestion de la conexion con Arduino
    PanamaHitek_Arduino ino = new PanamaHitek_Arduino();

    //Objeto para la gestion de multiples mensajes recibidos desde Arduino
    PanamaHitek_MultiMessage multi = new PanamaHitek_MultiMessage(2, ino);

    //Objeto para la gestion y almacenamiento de datos recibidos
    PanamaHitek_DataBuffer buffer = new PanamaHitek_DataBuffer();

    public ExcelExport() {
        initComponents();
    }
}
```



//Se crea la tabla de datos, agregando 2 columnas. Se especifica la posición de la columna (0 es //la más a la izquierda), el nombre de la columna y el tipo de datos

```
buffer.addTimeColumn(0, "Tiempo");
```

```
buffer.addColumn(1, "Voltios", Double.class);
```

//Se inserta la tabla en un panel para poder verla en la interfaz

```
buffer.insertToPanel(jPanel1);
```

//Con este objeto se gestiona la recepción de datos. El evento serialEvent se "disparara" cada //vez que se reciba un dato desde Arduino enviado a través del puerto serie

```
SerialPortEventListener listener = new SerialPortEventListener() {
```

```
    public void serialEvent(SerialPortEvent serialPortEvent) {
```

```
        try {
```

//Este método indica cuando se haya terminado de recibir los datos especificados en la creación //del objeto "multi"

```
            if (multi.dataReceptionCompleted()) {
```

//Se agregan los valores al buffer, especificando el índice de la columna y el valor. Se utiliza el //objeto "multi" para separar los datos recibidos desde Arduino, especificando el índice.

```
                buffer.addValue(1, Double.parseDouble(multi.getMessage(0)));
```

//Se salta un "renglon" en el buffer de datos

```
                buffer.printRow();
```

//Se le indica al objeto multi que se ha terminado de imprimir los datos recibidos desde el //Arduino y que puede prepararse para recibir un nuevo par de datos

```
                multi.flushBuffer();
```

```
            }
```

```
        } catch (ArduinoException ex) {
```

```
            Logger.getLogger(ExcelExport.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
```

```
        } catch (SerialPortException ex) {
```



```
        Logger.getLogger(ExcelExport.class.getName()).log(Level.SEVERE, null,
ex);
    } catch (Exception ex) {
        Logger.getLogger(ExcelExport.class.getName()).log(Level.SEVERE, null,
ex);
    }
}
};

    try {
//Se inicia la conexión con el puerto COM5 a 9600 baudios
ino.arduinoRX("COM5", 9600, listener);
        } catch (ArduinoException | SerialPortException ex) {
            Logger.getLogger(ExcelExport.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
        }
    }

    private void initComponents() {
jPanel1 = new javax.swing.JPanel();
jButton1 = new javax.swing.JButton();
setDefaultCloseOperation(javax.swing.WindowConstants.EXIT_ON_CLOSE);
jPanel1.setBorder(javax.swing.BorderFactory.createEtchedBorder());
javax.swing.GroupLayout jPanel1Layout = new javax.swing.GroupLayout(jPanel1);
jPanel1.setLayout(jPanel1Layout);
jPanel1Layout.setHorizontalGroup(jPanel1Layout.createParallelGroup(javax.swing.
GroupLayout.Alignment.LEADING).addGap(0, 0, Short.MAX_VALUE) );
jPanel1Layout.setVerticalGroup(jPanel1Layout.createParallelGroup(javax.swing.Gro
upLayout.Alignment.LEADING).addGap(0, 234, Short.MAX_VALUE));
jButton1.setFont(new java.awt.Font("Tahoma", 0, 12));
```



```
 jButton1.setText("Exportar a Excel");

 jButton1.addActionListener(new java.awt.event.ActionListener() {

     public void actionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {

         jButton1ActionPerformed(evt);

     }

 });

 javax.swing.GroupLayout layout = new javax.swing.GroupLayout(getContentPane());
 getContentPane().setLayout(layout);

 layout.setHorizontalGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING).addGroup(layout.createSequentialGroup().addGap(10, 10, 10).addComponent(jPanel1, javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE).addGap(10, 10, 10).addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING).addComponent(jButton1, javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE).addGap(10, 10, 10))).addContainerGap(10, Short.MAX_VALUE));

 layout.setVerticalGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING).addGroup(layout.createSequentialGroup().addGap(10, 10, 10).addComponent(jPanel1, javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE).addGap(10, 10, 10).addGroup(layout.createParallelGroup(javax.swing.GroupLayout.Alignment.LEADING).addComponent(jButton1, javax.swing.GroupLayout.DEFAULT_SIZE, Short.MAX_VALUE).addGap(10, 10, 10))).addContainerGap(10, Short.MAX_VALUE));

 pack();

 }

 private void jButton1ActionPerformed(java.awt.event.ActionEvent evt) {

 //Este botón permite finalizar la conexión con Arduino y exportar los datos a Excel

 try {

 //Se exportan los datos a Excel

 buffer.exportExcelFile();

 //Se finaliza la conexión con Arduino

 ino.killArduinoConnection();

 //Se muestra un mensaje
```



```
JOptionPane.showMessageDialog(this, "Conexión con Arduino Finalizada");
```

```
//Se cierra el programa
```

```
System.exit(0);
```

```
    } catch (ArduinoException | IOException ex) {
```

```
        Logger.getLogger(ExcelExport.class.getName()).log(Level.SEVERE, null, ex);
```

```
    }
```

```
}
```

```
public static void main(String args[]) {
```

```
try {
```

```
    for (javax.swing.UIManager.LookAndFeelInfo  
info:javax.swing.UIManager.getInstalledLookAndFeels()) {
```

```
        if ("Metal".equals(info.getName())) {
```

```
            javax.swing.UIManager.setLookAndFeel(info.getClassName());
```

```
            break;
```

```
        }
```

```
    }
```

```
    } catch (ClassNotFoundException ex) {
```

```
        java.util.logging.Logger.getLogger(ExcelExport.class.getName()).log(java.util.logging  
.Level.SEVERE, null, ex);
```

```
    } catch (InstantiationException ex) {
```

```
        java.util.logging.Logger.getLogger(ExcelExport.class.getName()).log(java.util.logging  
.Level.SEVERE, null, ex);
```

```
    } catch (IllegalAccessException ex) {
```

```
        java.util.logging.Logger.getLogger(ExcelExport.class.getName()).log(java.util.logging  
.Level.SEVERE, null, ex);
```

```
    } catch (javax.swing.UnsupportedLookAndFeelException ex) {
```

```
        java.util.logging.Logger.getLogger(ExcelExport.class.getName()).log(java.util.logging  
.Level.SEVERE, null, ex);
```



```
}  
  
java.awt.EventQueue.invokeLater(new Runnable() {  
    public void run() {  
        new ExcelExport().setVisible(true);  
    }  
});  
  
}  
  
private javax.swing.JButton jButton1;  
private javax.swing.JPanel jPanel1;  
  
}
```



```
#define Vbateria 0

// Variables

float analogValor = 0;

float voltaje = 0;

int ledDelay = 1000;

int rele = 2;

void setup() {

    pinMode(rele,OUTPUT);

    Serial.begin(9600);

}

void loop() {

    // Leemos valor de la entrada analógica

    analogValor = analogRead(Vbateria);

    // Obtenemos el voltaje

    voltaje = 0.0048 * analogValor;

    Serial.println(voltaje);

    delay(ledDelay);

    while (voltaje < 2.8){

        digitalWrite(rele,HIGH);

    }

}
```



```
#define Vbateria 0

// Variables

float analogValor = 0;

float voltaje = 0;

int ledDelay = 1000;

int rele = 2;

void setup() {

    pinMode(rele,OUTPUT);

    Serial.begin(9600);

}

void loop() {

    // Leemos valor de la entrada analógica

    analogValor = analogRead(Vbateria);

    // Obtenemos el voltaje

    voltaje = 0.0048 * analogValor;

    Serial.println(voltaje);

    delay(ledDelay);

    while (voltaje > 3.65){

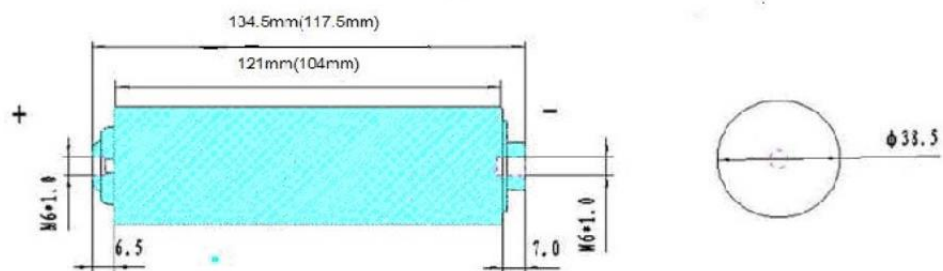
        digitalWrite(rele,HIGH);

    }

}
```

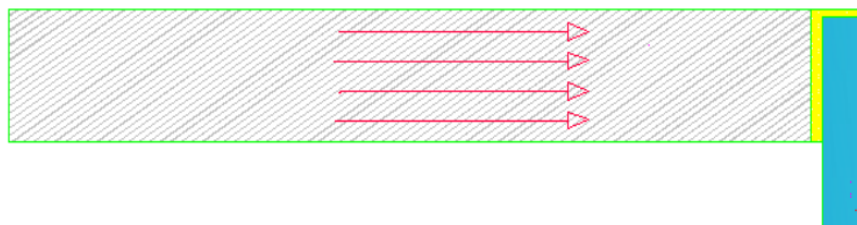

HeadWay LiFePO_4 38120(38105) Specifications

Drawing



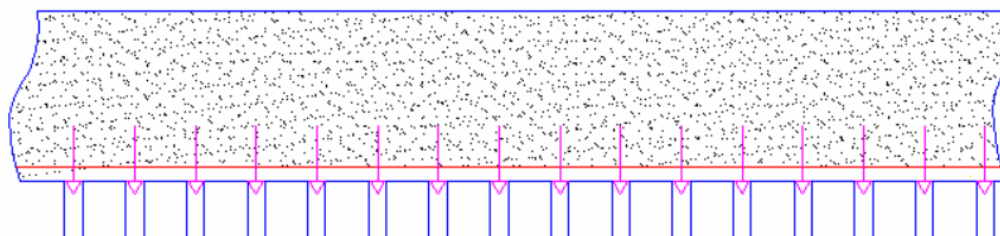
Technical comparing

1. traditional small cylindrical cell technical



The current was collected lengthways

2. patent technic



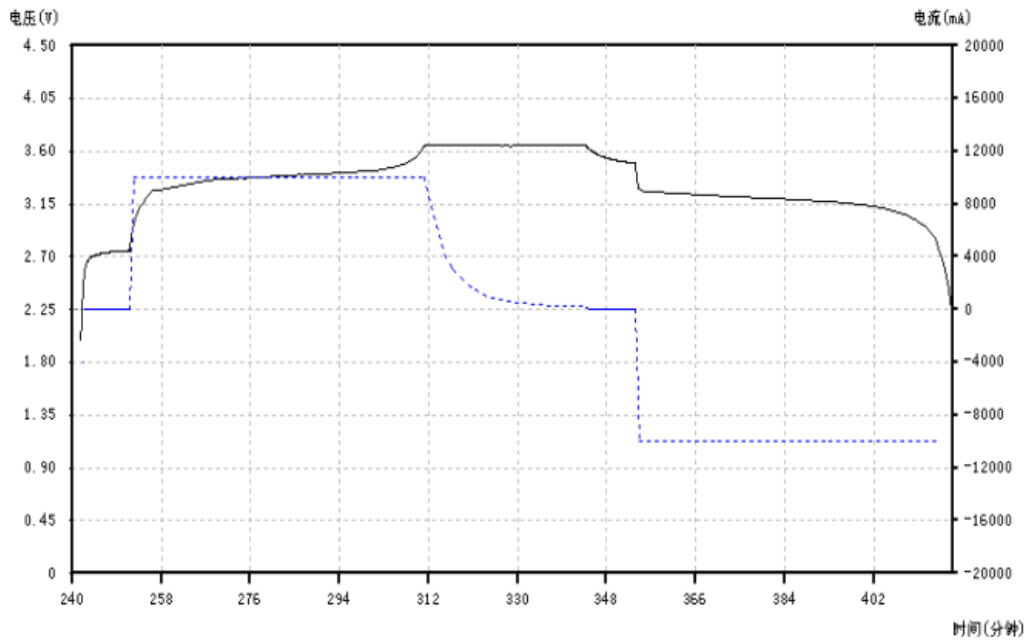
The current was collect lateral

General Specifications

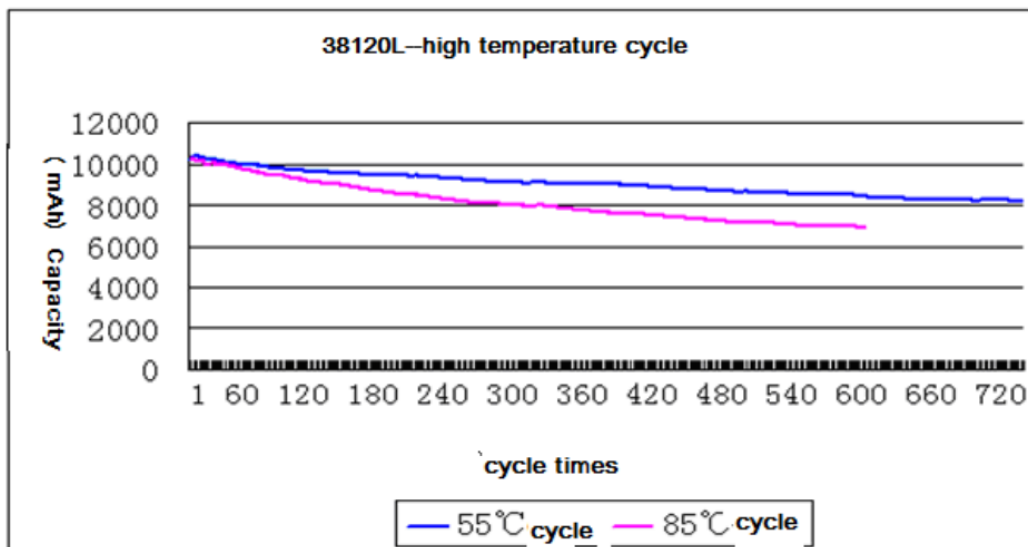
Type	38120	38120P	38105	38105P
Nominal capacity	10Ah	8Ah	8AH	6AH
Charging Voltage	3.65V		3.65V	
Typical Voltage	3.2V		3.2V	
Cut-off Discharge Voltage	2.0V		2.0V	
Charging Method	CC/CV		CC/CV	
Maximum Discharge Current (continuable)	100A	160A	80A	150A
Maximum Charge Current (continuable)	50A	80A	40A	60A
Cycle Life	1500cycles 1C 100%DOD		2000cycles 1C 80%DOD	
Operation Temperature	Charge -10~45°C, Discharge -20~65°C			
Storage Temperature	-20~45°C			
Energy Density	105Wh/Kg	83 Wh/Kg	102Wh/Kg	82Wh/Kg
Power Density	850W/Kg	1200 W/Kg	830W/Kg	1200W/Kg
Initial Internal Impedance	<6mΩ	<4mΩ	<6mΩ	<4mΩ

Performance Charts

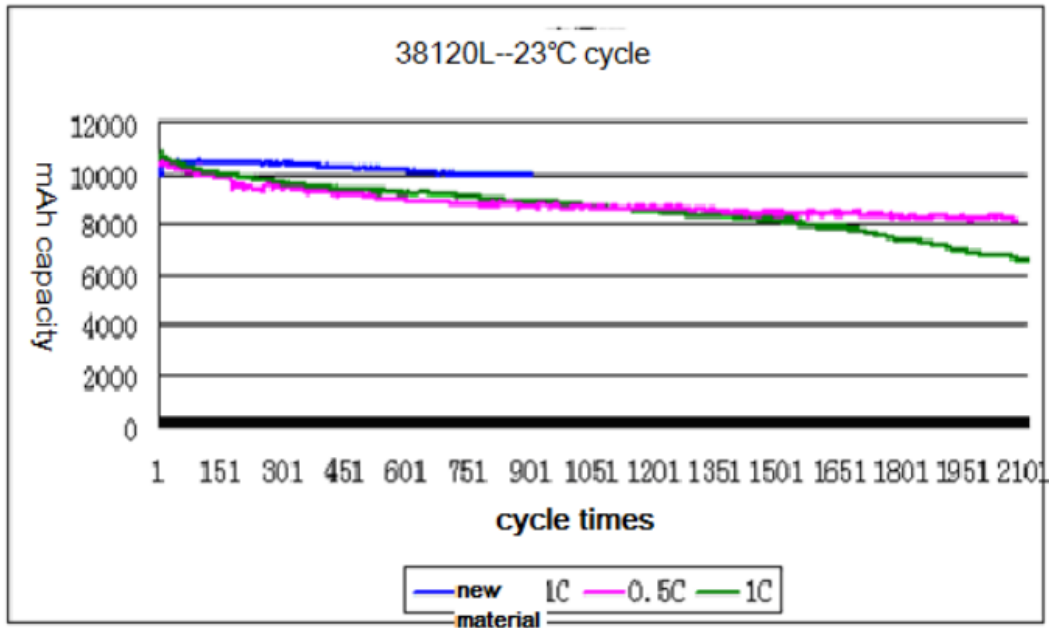
38120S 10AH 1C Charge and Discharge Curve



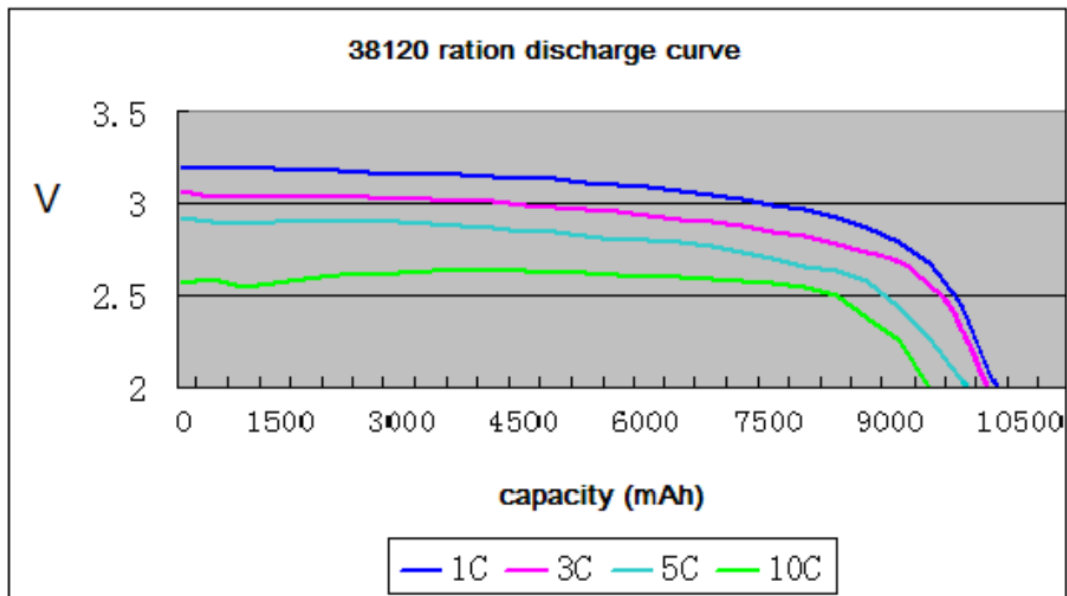
38120S cycle life curve (high temperature)



38120S cycle life curve (nominal temperature)



The superior function of ratio discharge (capacity)



The superior function of ratio discharge (power)

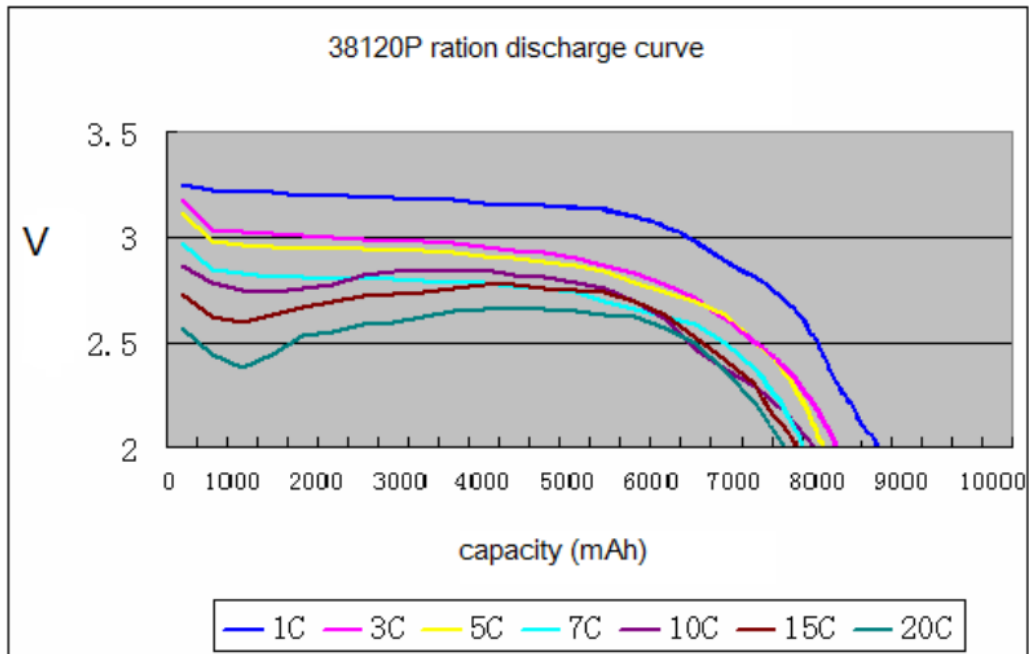


Imagen 28. Celda de LiFePO_4

HS Aluminium Housed Resistors



Manufactured in line with the requirements of MIL 18546 and IEC 115, designed for direct heatsink mounting with thermal compound to achieve maximum performance.

- High Power to volume
- Wound to maximise High Pulse Capability
- Values from R005 to 100K
- Custom designs welcome
- RoHS Compliant

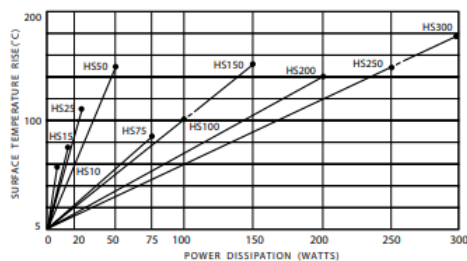


Characteristics

Tolerance (Code):	Standard $\pm 5\%$ (J) and $\pm 10\%$ (K). Also available $\pm 1\%$ (F), $\pm 2\%$ (G) and $\pm 3\%$ (H)
Tolerance for low Ω values:	Typically $\geq R05 \pm 5\% \leq R047 \pm 10\%$
Temperature coefficients:	Typical values $< 1K$ 100ppm Std. $> 1K$ 25ppm Std. For lower TCR's please contact Arcol
Insulation resistance (Dry):	10,000 M Ω minimum
Power dissipation:	At high ambient temperature dissipation derates linearly to zero at 200°C
Ohmic values:	From R005 to 100K depending on wattage size
Low inductive (NHS):	Specify by adding N before HS Series code, e.g. NHS50
NHS ohmic value:	Divide standard HS maximum value by 4
NHS working volts:	Divide standard HS maximum working voltage by 1.414

Temp. Rise & Power Dissipation

Surface temperature of resistor related to power dissipation. The resistor is standard heatsink mounted using a proprietary heatsink compound.



Heat Dissipation

Heat dissipation: Whilst the use of proprietary heat sinks with lower thermal resistances is acceptable, uprating is not recommended. For maximum heat transfer it is recommended that a heat sink compound be applied between the resistor base and heat sink chassis mounting surface. It is essential that the maximum hot spot temperature of 200°C is not exceeded, therefore, the resistor must be mounted on a heat sink of correct thermal resistance for the power being dissipated.

Ordering Procedure

Standard Resistor. To specify standard: Series, Watts, Ohmic Value, Tolerance Code, e.g.: HS25 2R2 J

Non Inductive Resistor. To specify add N, e.g.: NHS100 10R J

ARCOL UK Limited,
Threemilestone Ind. Estate,
Truro, Cornwall, TR4 9LG, UK.
T +44 (0) 1872 277431
F +44 (0) 1872 222002
E sales@arcolresistors.com

www.arcolresistors.com

The information contained herein does not form part of a contract and is subject to change without notice. Arcol operate a policy of continual product development, therefore, specifications may change.

It is the responsibility of the customer to ensure that the component selected from our range is suitable for the intended application. If in doubt please ask Arcol.

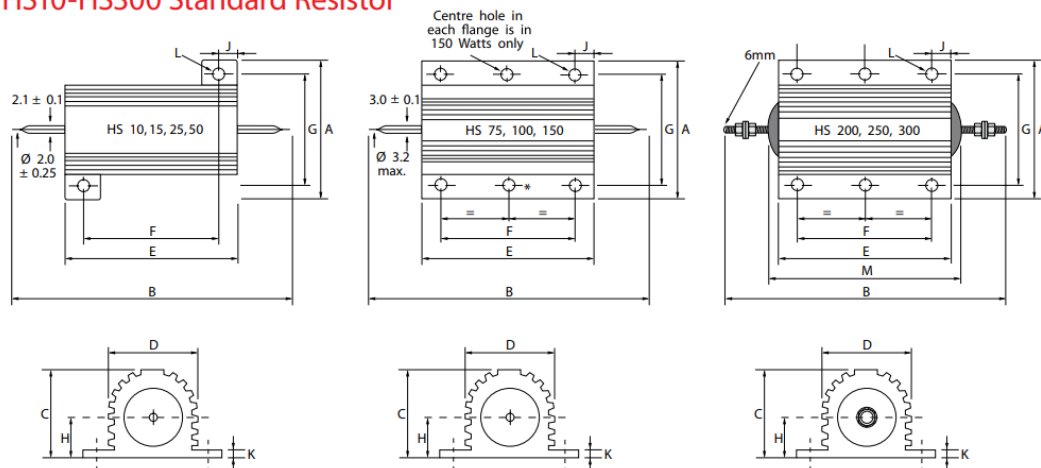
HS Aluminium Housed Resistors



Electrical Specifications

Size	Style MIL-R 18546	Power rating on std. heatsink @25°C	Watts with no heatsink @25°C	Resistance range	Limiting element voltage	Voltage proof AC Peak	Voltage proof AC rms.	Approx weight gms	Typical surface rise HS mounted	Standard heatsink	
										AreaCM ²	Thick-
HS10	RE 60	10	5.5	R005-10K	160	1400	1000	4	5.8	415	1
HS15	RE 65	15	8	R005-10K	265	1400	1000	7	5.1	415	1
HS25	RE 70	25	12.5	R005-36K	550	3500	2500	14	4.2	535	1
HS50	RE 75	50	20	R01-86K	1250	3500	2500	32	3.0	535	1
HS75		75	45	R01-50K	1400	6363	4500	85	1.1	995	3
HS100		100	50	R01-70K	1900	6363	4500	115	1.0	995	3
HS150		150	55	R01-100K	2500	6363	4500	175	1.0	995	3
HS200		200	50	R01-50K	1900	7070	5000	475	0.7	3750	3
HS250		250	60	R01-50K	2200	7070	5000	600	0.6	4765	3
HS300		300	75	R01-68K	2500	7070	5000	700	0.6	5780	3

HS10-HS300 Standard Resistor



Dimensions (mm)

Size	A Max	B Max	C Max	D Max	E Max	F±0.3	G±0.3	H Max	J Max	K Max	L±0.25*	M Max
HS10	16.5	30.0	8.8	8.5	15.9	11.3	12.4	4.5	2.4	1.8	2.4	
HS15	21.0	36.5	11.0	11.2	19.9	14.3	15.9	5.5	2.8	1.8	2.4	
HS25	28.0	51.0	14.6	14.0	27.3	18.3	19.8	7.3	4.7	2.6	3.2	
HS50	29.7	72.5	14.8	14.2	49.1	39.7	21.4	8.5	5.2	2.6	3.2	
HS75	47.5	72.0	24.1	27.3	48.7	29.0	37.0	11.8	10.4	3.7	4.4	
HS100	47.5	88.0	24.1	27.3	65.2	35.0	37.0	11.8	15.4	3.7	4.4	
HS150	47.5	121.0	24.1	27.3	97.7	58.0	37.0	11.8	20.4	3.7	4.4	
HS200	72.5	145.7	41.8	45.5	89.7	70.0	57.2	20.5	10.4	5.5	5.1	103.4
HS250	72.5	167.0	41.8	45.5	109.7	89.0	57.2	20.5	10.4	5.5	5.1	122.4
HS300	72.5	184.4	41.8	45.5	127.7	104.0	59.0	20.5	12.4	5.5	6.6	141.4

* HS200-HS300 Watts is ± 0.45



JZC-11F

MINIATURE RELAY

■ FEATURES

- 5A switching capability
- SPDT configuration
- Power consumption of 200mW
- Standard PCB layout
- Application: Power supply, Air-conditioning, Monitor and Security alarm system, etc...
- UL File No. E145623
- TUV File No. R50121570
- CQC File No. CQC09002033531
- Meet the EU RoHS environmental protection request

■ SPECIFICATIONS

Model No.	JZC-11F
Contact Arrangement	1H (SPDT)
Contact Material	Ag ALLOY
Contact Rating (at Resistive Load)	5A 250VAC 5A 30VDC
Max. Switching Voltage	250VAC, 30VDC
Max. Operating Power	1250VA
Max. Switching current	5A
Min. Switching Load	10mA 5VDC
Coil Rated Voltage	12VDC
Coil Rated Current	37.5mA
Pick-up Voltage	9VDC (75%Max. of nominal voltage)
Drop-out Voltage	0.6V(5%Min. of nominal voltage)
Coil Resistance	320 Ω ± 10% (at 20°C)
Contact Resistance	Max. 100m Ω (initial)
Insulation Resistance	Min. 100M Ω at 500VDC
Dielectric Strength	
Between Coil & Contact	3000VAC 50 HZ/60 HZ (1 minute)
Between Contacts	750VAC 50 HZ/60 HZ (1 minute)
Operate Time	Max. 20mSec.
Release Time	Max. 10mSec.
Ambient Temperature	-40°C~+85°C
Vibration Resistance (Endurance)	1.5mm D.A. 10-55HZ
Shock Resistance	Min. 10G Uerror
Mechanical Life	10,000,000 Operations (no load)
Electrical Life	100,000 Operations (at rated load)
Weight	Approx. 4g

DIMENSIONS (in mm)

DRILLING PLAN (in mm)

WIRING DIAGRAM

(Bottom View)

(Bottom View)

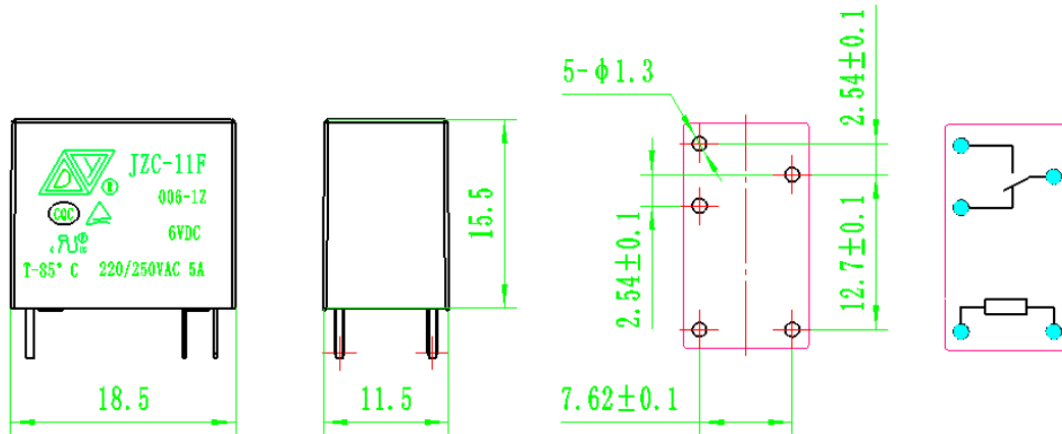


Imagen 29. Relé JZC-11F.

Fuente de alimentación



Imagen 30. Fuente de alimentación

Este tipo de fuente de alimentación de triple canal. Presenta un enchufe muy típico de los instrumentos de Philips de los años 80, tiene dos canales de 20V/1A y uno de 7V/3A; este último es el utilizado para la realización de nuestro proyecto. Como podemos apreciar en la imagen con este tipo de fuente podemos trabajar con voltaje y corrientes reguladas a medida.

También presenta tres displays analógicos que pueden leer los voltajes o las corrientes de salida, la elección de la esta lectura dependerá de la posición del interruptor que está presente en la fuente.