

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



## **ÍNDICE GENERAL**

### **1. MEMORIA DESCRIPTIVA**

**1.1. ANEXO 1: consideraciones generales sobre el vehículo eléctrico.**

**1.2. ANEXO 2: consideraciones para la carga y descarga de las baterías ión-litio.**

**1.3. ANEXO 3: riesgos de las baterías ión-litio.**

**1.4. ANEXO 4: estado del arte del BMS.**

**1.5. ANEXO 5: ecualizadores de batería.**

**1.6. ANEXO 6: selección adoptada.**

**1.7. ANEXO 7: sistema de potencia.**

**1.8. ANEXO 8: sistema de mando.**

### **2. PLANOS**

### **3. PRESUPUESTO**

### **4. PLIEGO DE CONDICIONES**

### **5. BIBLIOGRAFIA**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

**MEMORIA DESCRIPTIVA**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



## ÍNDICE GENERAL

<b>1. ENCARGO Y REDACCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>2. ANTECEDENTES</b>	<b>2</b>
<b>3. OBJETIVOS DEL PROYECTO</b>	<b>2</b>
<b>4. ESTUDIO PREVIO</b>	<b>2</b>
<b>4.1. El vehículo eléctrico</b>	<b>3</b>
<b>4.2. Consideraciones para la carga y descarga de las baterías ión-litio</b>	<b>3</b>
<b>4.3. Riesgos de las baterías ión-litio</b>	<b>3</b>
<b>4.4. Estado del arte del BMS</b>	<b>4</b>
<b>4.5. Ecuilibradores de batería</b>	<b>4</b>
<b>5. APLICACIÓN PRÁCTICA</b>	<b>5</b>
<b>5.1. Selección adoptada</b>	<b>5</b>
<b>5.2. Sistema de potencia</b>	<b>5</b>
<b>5.3. Sistema de mando</b>	<b>5</b>
<b>6. PRESUPUESTO</b>	<b>6</b>
<b>7. CONDICIONES DE EJECUCIÓN</b>	<b>6</b>



## **1. ENCARGO Y REDACCIÓN**

El presente proyecto, titulado “Gestor de carga de baterías (BMS)”, se ha realizado como Trabajo de Fin de Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática.

Dicho proyecto ha sido realizado por el alumno Gabriel Huerta Illera, cuyo tutor es D. Carmelo Lobo de la Serna, profesor del Área de Tecnología Electrónica en la Ingeniería de la Universidad de Burgos.

## **2. ANTECEDENTES**

El proyecto está formado por dos partes. La primera consiste en un estudio previo formado por:

- El vehículo eléctrico.
- Consideraciones para la carga y descarga de las baterías ión-litio.
- Riesgos de las baterías de ión-litio.
- Estado del arte del BMS.
- Ecuilibradores de batería.

Partiendo de estos estudios de carácter justificativo se realiza la segunda parte del proyecto, una aplicación práctica, en la que se diseña un ecualizador para una batería de bicicleta eléctrica. Esta segunda parte está formada por:

- Selección adoptada.
- Sistema de potencia.
- Sistema de mando.

## **3. OBJETIVOS DEL PROYECTO**

El objetivo final del proyecto es diseñar un circuito para el equilibrado de las células de una batería para así mejorar la capacidad útil de estas, reducir los daños causados a estas por un mal uso aumentando así su vida útil.

## **4. ESTUDIO PREVIO**

Antes de la elección y desarrollo de un ecualizador se ha desarrollado distintos estudios con el objetivo de orientar y justificar la solución adoptada. A continuación se exponen unos resúmenes sobre el contenido y conclusiones de dichos estudios.



#### **4.1. El vehículo eléctrico**

En el anexo nº 1 realizamos un estudio general sobre la situación actual del vehículo eléctrico. Haciendo especial hincapié en los factores que generan reticencia a la gente a la hora de decantarse por uno.

La continua evolución que rodea a los vehículos eléctricos ha desarrollado y desarrolla métodos para la reducción de estos factores de modo que los vehículos eléctricos dispongan de mejores prestaciones.

También se hace una referencia a las bicicletas eléctricas cuya popularidad ha crecido enormemente en los últimos años.

#### **4.2. Consideraciones para la carga y descarga de las baterías de ión-litio**

En el anexo nº 2 realizamos un estudio sobre las baterías de ión-litio en el que vemos las ventajas y desventajas de estas así como sus principales características para el correcto uso de estas.

La tecnología en el mundo de las baterías de ha aumentado mucho en los últimos años impulsada por la necesidad por baterías de mayor densidad energética. Dichas necesidades se van cubriendo poco a poco pero a la vez que surgen nuevos riesgos, o particularidades de estas que se deben tener muy presentes si se va a trabajar con ellas.

#### **4.3. Riesgos de las baterías ión-litio**

En el anexo nº 3 se exponen los principales factores que dañan a las baterías de ión-litio, el modo en el que lo hacen y las consecuencias que tienen en estas. Los factores que dañan a las baterías de ión-litio son la temperatura y la carga que acumula.

Dichas consecuencias que se traducen en daños a la batería provocan una reducción de la vida útil de la batería y del correcto funcionamiento de este. Y en casos más extremos a generar un grave peligro a los usuarios de estos.

Dado que no se puede prescindir del uso de las baterías resulta necesario poder controlar los factores que provocan daños en estas y para eso se han desarrollado gestores de baterías o BMS (Battery management system) de los cuales hablaremos más adelante.



#### 4.4. Estado del arte del BMS

En el anexo nº 4 se realiza un estudio sobre el BMS. Viendo los elementos que los suelen componer y las principales funciones que este realiza.

- Estimación del SOC.
- Estimación del SOH.
- Gestión térmica.
- Ecuilización.
- Detección de fuga.

Al BMS se le encarga del control de las baterías de una instalación eléctrica. Dicha gestión puede abarcar diversos aspectos en función del tipo de batería y de las necesidades.

En el mercado hay ya determinados componentes para la realización de algunas de estas funciones, principalmente la gestión térmica, sin embargo hay otros que se tienen que diseñar más en profundidad en función de la batería, de las condiciones de entorno y necesidades del usuario, como el ecualizador.

#### 4.5. Ecualizadores de batería

En el anexo nº 5º se estudia el problema de los desequilibrios de las distintas células de una batería así como los distintos tipos de circuitos para la solución de este problema.

Existen multitud de soluciones ante el desequilibrio de las células de una batería, cada uno con unas características propias que los hacen más o menos adecuado a lo que se desea en función de la complejidad de la situación elegir el modelo el ecualizador cuyas características más nos satisfagan.

Todos los tipos de ecualizadores se pueden dividir en dos familias:

- Ecualizadores pasivos, disipan el exceso de carga.
- Ecualizadores activos, redistribuyen el exceso de carga.

Cada uno de los dos grupos tiene sus ventajas e inconvenientes, los pasivos ofrecen una mayor simplicidad y los activos una mejor eficiencia energética.

Pero dentro de los activos hay una gran variedad de ecualizadores por lo permiten una mejor adaptación a las condiciones de contorno, por lo que resultan más interesantes.



## **5. APLICACIÓN PRÁCTICA**

Una vez realizados los estudios previos se diseña un circuito de ecualización para una batería de una bicicleta eléctrica formadas por series de 7 células del modelo ICR18650-26A.

El contenido de los documentos que explican el funcionamiento y desarrollo del ecualizador diseñado se resumen a continuación.

### **5.1. Selección adoptada**

En el anexo nº 6 se exponen los criterios elegidos para la selección de un modelo de ecualizador el cual adaptaremos a nuestras necesidades. Para poder elegir un modelo hemos tenido que comparar los existentes para ver cuál es el que mejor cubría nuestras necesidades.

Nos decantamos con un ecualizador de múltiples transformadores debido a su rapidez de equilibrado, su eficiencia (respecto a otros modelos más baratos) y su relativo simple control.

También explicaremos el proceso de ecualización que nos ofrece dicho modelo así como las consideraciones necesarias para el control de este y realizaremos una simulación del equilibrado de nuestra batería de la más adelante mediremos los parámetros necesarios para dimensionar nuestros componentes.

### **5.2. Sistema de potencia**

En el anexo nº 7 realizamos simularemos el circuito de potencia de nuestro ecualizador. De estas simulaciones obtendremos los parámetros necesarios para el dimensionamiento y la selección de modelos comerciales para la implementación de nuestro circuito.

Por los resultados de las simulaciones veremos que es muy importante elegir elementos con resistencias internas muy bajas a fin de que la corriente puede circular de las células más cargadas a las menos cargadas con valores suficientemente altos como que la carga resulte eficaz.

Por eso en algunos casos escogemos elementos que pueden no parecer los más adecuados dado las condiciones que deben soportar.

### **5.3. Sistema de mando**

En el anexo nº 8 realizamos el circuito de mando de nuestro ecualizador así como el dimensionamiento y la selección de modelos comerciales para la implementación de nuestro circuito y el algoritmo necesario para su correcto funcionamiento.



La toma de medida de las tensiones de cada célula las realizamos mediante amplificadores diferenciales de aislamiento los cuales ofrecen una separación entre circuitos de potencia y de control.

La digitalización de dichas medidas la realizará el microcontrolador a través de su módulo ADC con una resolución inferior a 5 mV, suficiente para los límites de histéresis fijados. Dicho controlador se encargará a su vez del control del ecualizador en función del algoritmo de control diseñado a tal propósito.

Para el control de los transistores MOSFET usamos optocopladores a fin de al igual que pasa con los sensores, mantener la separación galvánica entre los circuitos de potencia y de control.

## **6. PRESUPUESTO**

El Presupuesto Total de Ejecución por Contrata de la implementación del Gestor de Carga de Baterías (BMS) asciende a la cantidad de dieciséis mil setecientos cuarenta y tres euros con treinta y cuatro céntimos.

Presupuesto Total de Ejecución por Contrata: **16.743,34 €**

Los presupuestos se detallan en su apartado correspondiente.

**Burgos, a fecha de 15 de Julio de 2014**

**Gabriel Huerta Illera**

## **7. CONDICIONES DE EJECUCIÓN**

En el Pliego de Condiciones se exponen las condiciones para la ejecución del proyecto y la normativa a cumplir así como las prescripciones técnicas como consideraciones de seguridad e higiene y otros aspectos específicos a tener en cuenta en este proyecto.

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

## **ANEXO Nº 1**

**ESTUDIO PREVIO:**

**CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE EL  
VEHÍCULO ELÉCTRICO**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



## ÍNDICE ANEXO 1

<b>1. INTRODUCCIÓN: HISTORIA DE VEHÍCULO ELÉCTRICO</b>	<b>2</b>
<b>2. VIABILIDAD DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Autonomía del vehículo eléctrico</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Tiempo de carga del vehículo eléctrico</b>	<b>5</b>
<b>2.3. Precio del vehículo eléctrico</b>	<b>7</b>
<b>3. MERCADO ACTUAL DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS</b>	<b>8</b>
<b>4. BICICLETA ELÉCTRICA</b>	<b>9</b>



## 1. INTRODUCCIÓN: HISTORIA DEL VEHICULO ELECTRICO

Pensar que la idea del vehículo eléctrico es algo exclusivo de nuestros días es falso pues los primeros modelos de automóvil eran de hecho eléctricos. Pero el mayor desarrollo de los motores de combustión su abaratamiento por la producción en cadenas de montaje implantado por Ford y la mejora de las infraestructuras de las carreteras contribuyó a que el coche eléctrico cayese en el olvido.



Fig 1: Uno de los primeros modelos de vehículos eléctricos.

El coche de combustión interna ofrecía una mayor autonomía y mayor velocidad por ello a finales de 1930 la industria del vehículo eléctrico desapareció por completo.

Y siguió así hasta las décadas de los 70 y 80 volvió a crecer el interés por el coche eléctrico. Este resurgir en su interés por parte de gobiernos e industrias se debe sobre todo por las crisis del petróleo del 1973 y 1979 que provocaban unas grandes fluctuación en el precio de este.

La situación se estabilizó y la idea del coche eléctrico se volvió a guardar.

Y es en los últimos años con la coyuntura global, una nueva crisis del petróleo (2008) en la que el barril de Brent llegó hasta los 144 \$, el número cada vez mayor de vehículos... se volvió a poner en evidencia la gran dependencia del petróleo por los países.

Esta dependencia afectaba tanto a la producción energética como al transporte. Ahora la dependencia por parte del sector energético ha sido eliminada gracias en parte a las nuevas tecnologías enfocadas a las energías renovables sin embargo seguimos teniendo un transporte que es sinónimo de crudo. También debemos tener presente que la industrialización creciente en países poco desarrollados crea un aumento de la flota de vehículos, en 2030 habrá más de 1.500 millones y hacia 2050, si se mantienen las tendencias previsibles, circularán 3.000 millones de vehículos, lo que supondría un mayor consumo de combustible, y se hace necesario dar una solución viable y complementaria de las ciudades. Esa necesidad de vehículos no se ve en España que es el tercer país productor de automóviles y que ha sufrido una pérdidas de 333 millones de € en 2008 pero en esta época vemos una necesidad de



impulsar el coche eléctrico y mantener un sector que aporta el 3,5 % del PIB que de otra forma difícilmente podrá mantener la sobrecapacidad productiva que tiene.

Así pues y una vez más el proyecto del vehículo electro sale del cajón esta vez apoyado por una nueva conciencia medioambiental donde los gobiernos, con mayor o menor interés, se están comprometiendo con la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Un vehículo eléctrico que se carga mediante energía renovable reduce un 80% sus emisiones de CO<sub>2</sub>. La contaminación provoca la muerte prematura de dos millones de personas (unas 16.000 personas en España), cuatro veces más que las producidas en accidentes de tráfico.

Y además de los intereses tanto antiguos como nuevos de esta nueva década sobre la “descarbonización” del transporte hay que añadir también las nuevas tecnología que se han ido desarrollando y que aplicadas al vehículo eléctrico mejoran notablemente sus prestaciones.

Esta situación es contemplada por distintos gobiernos y empresas que se han dado cuenta de la importancia estratégica de tener una posición de liderazgo en este nuevo mercado.

Resumiendo se dan cuatro intereses principales para el desarrollo del vehículo eléctrico, sin discriminar otro tipo de intereses.

- Impulsar la industria automovilística
- Ahorro energético
- Una expansión de la industria y el número de coches en circulación medioambientalmente sostenible
- Obtener una posición de liderazgo en un producto aun en su fase introductoria.

## **2. VIABILIDAD DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO**

Dadas las necesidades que tenemos actualmente de transporte, ¿puede el vehículos eléctricos satisfacerlas?, ¿tiene cabida en el actual mercado del transporte?

Para poder responder a estas preguntas en la Unión Europea en 2007, según Eurostat ha estudiado los hábitos de transporte de las personas y se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El número de kilómetros realizados diariamente que está directamente relacionado con el número de desplazamientos mes/diarios y por persona, está en torno a los 40 Km.
- La velocidad media está en torno a los 50 Km/h.



- El número de pasajeros por trayecto está cerca de 2.
- La ocupación del maletero no llega al 30% de su capacidad total.

Estos resultados nos indican que el 90% de los trayectos realizados se podrían hacer con vehículos eléctricos mientras que el 10% correspondería a trayectos de distancia medias-largas para los cuales se tendrían que usar otros medios de transporte en los que destacamos los vehículos híbridos.

El porqué de que no se usen más vehículos eléctricos es más por factores psicológicos que tecnológicos.

Los tres factores determinantes que causan reticencia a la hora de decirnos por un vehículo eléctrico son:

- Baja autonomía.
- Tiempo de recarga
- Precio.

De los que hablaremos a continuación.

### 2.1. Autonomía del Vehículo Eléctrico

La autonomía en los vehículos eléctricos ha aumentado mucho gracias a las nuevas maneras de almacenamientos de energía con mayor densidad energética. Aunque por supuesto no depende solo de la batería sino también de los consumos de estas no podemos ignorar que la batería juega un papel decisivo en la autonomía de un vehículo. En la siguiente tabla hacemos una comparativa de las características más importantes a la hora de la elección de una batería entre distintos tipos de estas.

Tipo de batería recargable	Energía (Wh/kg)	Energía/volumen (Wh/litro)	Potencia/Peso (W/kg)	Número de ciclos	Eficiencia energética-%
Zebra (NaNiCl)	125	300		1.000	92,5
Polímero de litio	200	300	>3.000	1.000	90,0
Iones de litio	125	270	1.800	1.000	90,0
Níquel-Hidruro Metálico (NiMH)	70	140-300	250-1.000	1.350	70,0
Níquel Cadmio (NiCd)	60	50-150	150	1.350	72,5
Plomo-ácido	40	60-75	150	500	82,5

Fig 2: tabla comparativa distintas baterías de VEs/VHs.



Aunque es una densidad energética lejana de las de la gasolina de 13 kWh/kg y del gasóleo de 12,7 kWh/kg nos proporcionan suficiente energía para dotar al coche de la suficiente autonomía para el uso diario.

Algunos ejemplos son los 130 km del Citroën C-Zero, los 150 km de Mitsubishi i-Miev y Peugeot iOn, los 160 km del Reva NXR, los 175 km del Nissan Leaf, el Renault Fluence Z.E. puede recorrer sin parar en torno a los 185 kilómetros o los 203 km del Think City. La autonomía puede verse reducida de forma importante si realizamos una conducción deportiva o con muchos acelerones.

El fabricante Tesla es de los más avanzados en fabricar coches eléctricos. Su modelo Tesla S, recién llegado al mercado, es capaz de conseguir hasta 482 kilómetros de autonomía. ¿El motivo? Sus potentes baterías de 40 Kwh (257 km), 60 Kwh (370 km) y 80 kW (482 km).

La reticencia de su baja autonomía también está fomentada por los pocos puntos que hay de carga en nuestro país aunque aumenta cada día hay más y los ayuntamientos invierten más dinero en planes para aumentan el número estos puntos siguen sin ser suficientes, y los que hay son en su mayoría de recarga lenta.

En este momento existen en España 773 puntos de recarga públicos, de los cuales 627 están habilitados para turismos y comerciales (sólo 9 son de carga rápida), 136 para motos y 10 para minusválidos, según datos del IDAE.

Esta cifra está muy lejos de los 12.150 puntos en aparcamientos públicos, 6.200 en vías públicas y 160 de carga rápida previstos alcanzar en 2014 por el Programa de Impulso al Vehículo Eléctrico del Ministerio de Industria.

## **2.2. Tiempo de carga del vehículo eléctrico.**

Quizá esta reticencia sea más propia del desconocimiento general que del verdadero diseño de los vehículos eléctricos actuales pues en la actualidad existen varios procedimientos de carga para las baterías. La carga más convencional dura entre 6-8 horas, por lo que las soluciones de recarga deberían de ir encaminados a puntos en los que el coche se encuentre estacionado un periodo largo de tiempo. La situación ideal sería aquella en la que el propietario de un coche eléctrico recargase sus baterías durante la noche para así tener suficiente autonomía al día siguiente para circular sin necesidad de recargar. Por lo que los puntos de recarga en los garajes, en los parkings de los puestos de trabajo, parkings públicos o parkings de centros comerciales, supone la alternativa más lógica.



Las compañías eléctricas ofrecen a los usuarios diferentes puntos de recarga según sus necesidades, para viviendas unifamiliares, comunidad de vecinos o centros de trabajo.

Un ejemplo de esto es que Iberdrola, ofrece en su página web todos los detalles sobre la adquisición del coche



IFig 3: Ejemplo de punto de carga para un VE.

eléctrico Think City y ellos serían los encargados de la instalación y suministro de energía del punto de recarga. O la unión entre Endesa y Mitsubishi que firmaron un acuerdo de cooperación en movilidad eléctrica para la introducción del modelo de Mitsubishi i-MiEV. Ambas empresas hacen instalaciones particulares.

La proliferación de las electrolineras o puntos de recarga en la vía pública deberían de venir acompañadas de la reducción en el tiempo de recarga.

En la siguiente tabla mostramos los distintos medios de carga de una batería para un vehículo eléctrico (tiempo de carga de una batería de 30kWh de capacidad).

Tiempo de recarga	Modalidad de Recarga
<b>6 minutos</b>	<b>Ultra-rápida:</b> comparable al de el tiempo de repostaje de un coche DE combustión. Consiste en alimentar al vehículo con corriente continua a 400V y hasta 600 A.
<b>15-30 minutos</b>	<b>Rápida:</b> realiza con corriente alterna trifásica, con una tensión de 400V y una intensidad de hasta 63A. No es suficientemente rápida como para equipararse con el tiempo de repostaje en una gasolinera.
<b>3 horas</b>	<b>Media:</b> Es ligeramente mejor que la carga lenta pero con un sobre coste importante. Muy superior a a carga en una gasolinera.
<b>8-10 horas</b>	<b>Básico:</b> Se realiza con corriente alterna monofásica a una tensión de 220 voltios y una intensidad de hasta 16 amperios. Es apto para garajes privados, ya que es la misma tensión y corriente que la doméstica

Fig 4: tabla comparativa distintos modos de carga.

Algunos de los métodos de carga expuestos en la anterior tabla son más realistas que otros a nivel comercial.



Una opción con la que se podrían reducir los tiempos de carga es el servicio de cambio de batería en estaciones de servicio en menos de tres minutos, como el desarrollado por la empresa Better Place, pero los diferentes tipos de baterías y su posición dentro del vehículo, de momento, lo hacen poco viable. Otra solución la encontramos en Endesa, que ha presentado recientemente un sistema de recarga sin cables en el que el coche, subido a una plataforma, se recarga al 80% en sólo 15 minutos. Volvo también ha empezado a probar un nuevo cargador rápido en el C30 eléctrico (todavía en pruebas) que reduce el tiempo de recarga convencional a tan sólo 1,5 horas.

### 2.3. Precio de un vehículo eléctrico

Actualmente los vehículos eléctricos cuestan más que un vehículo de combustión interna sobre todo si están equipados con baterías de ión-litio. Pero aunque el precio de la energía que los mueve y el mantenimiento son menores, no lo son lo suficiente para amortizar el sobre coste.

Ese sobre coste se debe sobre todo a las baterías, que son la parte más cara de coche y la que menor vida útil tiene, de ahí la importancia de su cuidado. Para intentar amortiguar la inversión que tiene que hacer el comprador en una batería algunos fabricantes dan la opción de que el propietario del vehículo lo compra sin la batería, por lo que el coste inicial es muy reducido, y el coste de la batería se reparte a lo largo de su periodo de vida.

Renault es uno de los pocos fabricantes que ha apostado por ofrecer las baterías de su gama eléctrica a través del leasing, el cliente paga un precio al mes y a cambio tiene garantizado su reemplazo en caso de que se agoten o se estropeen. El precio medio actual de una batería, según datos de IDAE, se puede considerar en torno a 500 €/kWh. En función de la capacidad de almacenamiento el coste total de una batería para un turismo ronda entre 5.000 y 10.000 euros.

Un precio que se está reduciendo a diferencia del de los hidrocarburos con una clara tendencia alcista.

Según diferentes estudios, una batería de litio logra su mejor rendimiento en temperaturas templadas. Entre los 10 y los 30 grados centígrados ésta debería soportar unos cinco años de uso antes de bajar un 20% de capacidad, llegando al 70% al cabo de los 10 años. Por tanto, la duración de las baterías no sólo dependen del sistema de recarga, sino también de la zona en la que residamos.

Con el fin de apoyar a su desarrollo y su uso el Gobierno ha aprobado ayudas a la compra de un vehículo eléctrico en función de su autonomía que oscilan entre 2.500



---

euros para los que tienen una autonomía entre 15 y 40 kilómetros y llegan hasta los 5.500 euros si supera los 90 kilómetros.

Y también debemos tener presente que el mantenimiento de diario de un vehículo eléctrico es inferior al de uno de combustión pues no hay aceites, ni lubricantes, escaso desgaste de frenos, ausencia de transmisiones mecánicas, etc

Un estudio realizado por Iberdrola indica que realiza una comparativa sobre los costes entre un vehículo eléctrico y de combustión indicaba que a partir de los 157000 Km el vehículo eléctrico es más rentable que el de combustión. Teniendo en cuenta el supuesto inicial de que se recorren de media 20.000 kilómetros anuales esto daría como resultado que el coche eléctrico sería más rentable al cabo de aproximadamente 8 años. Un dato importante teniendo en cuenta que el parque automovilístico se renueva, aproximadamente, cada 15 años.

En el mercado encontramos microcoches como el chino Chana Benni, distribuido por la empresa Microauto VSP, al precio de 12.200 € o el Renault Twizy por 6000€ (en función del modelo) con 50 € mensuales de alquiler de batería, pasando por los urbanos Mitsubishi iMiev de 30.490 €, Peugeot iOn, Citroën C-Zero ambos por 29.890 € o el compacto Nissan Leaf por 33.900 €, hasta llegar a la avanzada berlina Tesla Roadster que, con 340 kilómetros de autonomía, cuesta 118.000 €. Más económico sale el Renault Fluence Z.E. desde 26.600 €, pero a diferencia de otros modelos en que la batería pertenece al propietario, en este caso hay que alquilarla al precio mensual de 82 euros.

### **3. MERCADO ACTUAL DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS**

El vehículo eléctrico sigue siendo minoritario en nuestras carreteras, aun así la oferta de los fabricantes va aumentando con modelos prácticos, prestaciones similares a la de vehículos de combustión, seguros y cada vez con mayor autonomía. Pero el coche eléctrico aún carga con varios problemas para conseguir un uso generalizado: son caros, no ofrecen suficiente autonomía y la red de recarga en España es insuficiente. A favor tienen que no contaminan directamente, sólo utilizan electricidad y suponen un ahorro para el consumidor.

El mercado de vehículos eléctricos en España finalizó el año 2012 con un resultado positivo. Las ventas han crecido un 19,07 por ciento gracias a la matriculación de 437 unidades de turismos y todoterrenos frente a las 367 del año anterior. Aun así esta cifra sólo representa un 0,06 por ciento con respecto al mercado total. Mayor demanda experimentaron las motos eléctricas, sobre todo en grandes ciudades. En 2012 se vendieron 316 ciclomotores eléctricos y 1.142 motocicletas eléctricas, lo que



supone un crecimiento del 17,04 por ciento y del 124,36 por ciento, respectivamente, comparado con el año anterior.

#### 4. BICICLETAS ELÉCTRICAS

Cuando hablamos de transporte eléctricos directamente pensamos en vehículos híbridos y totalmente eléctricos, en tranvías... pero hay otro medio de transporte que está ganando cada vez más adeptos. Estamos hablando de las bicicletas eléctricas las cuales son casi desconocidas en nuestro país pero son los vehículos eléctricos más vendidos en todo el mundo ya que son un método de transporte eficaz y barato.

Ya vemos como la bicicleta “tradicional” esta ganado adeptos, no necesitan carné de conducir, ni pagan impuestos municipales o seguros obligatorios a lo que unido con a la prácticamente ausencia de mantenimiento las convierte en una buena opción para los que quieren dejar el coche en casa. Y no hablamos de la reducción de emisiones o las mejoras que han hecho algunas ciudades en carriles bici.



Fig 5: Modelo bicicleta eléctrica M55

Pero los que hemos cogido alguna una bicicleta para movernos por la ciudad hemos sufrido alguna vez las cuestas, las largas distancias o el viento en contra que no hay manera de evitarlo, pero que provocan que lleguemos a nuestro destino más cansados o sudados de los que nos gustaría. Esas son algunas de las limitaciones de la bicicleta “tradicional”. La bicicleta eléctrica elimina estas limitaciones.

Dado que la batería y el motor de una bicicleta eléctrica general unos riesgos que no generan las bicicletas normales deben estar sujetas a una serie de normas y regulaciones.

La categorización de vehículos y legislación relacionada Bicicleta eléctrica y / o LEV (Vehículo Eléctrico Ligero de peso inferior o igual a 400 kg) es un término, que abarca dos conceptos diferentes de vehículos con un motor eléctrico auxiliar:



- Los ciclos equipados con un motor auxiliar que no puede ser exclusivamente impulsado por ese motor. Sólo cuando los pedales son movidos por el ciclista puede iniciar el motor su asistencia. Estos vehículos son generalmente llamados pedelecs.
- Ciclos equipados con un motor eléctrico auxiliar que puede ser exclusivamente impulsado por ese motor. El ciclista no está necesariamente obligado a pedalear. Estos vehículos son generalmente llamados E-bikes.

En la legislación europea y por lo tanto la española se restringe bastante la consideración de bicicletas a efectos de circulación ya que para ser considerada bicicleta obliga a que el apoyo del motor esté directamente relacionado con el pedaleo, es el famoso sistema “pedelec” que en la práctica resulta un absurdo. El otro requisito para que una bici eléctrica sea legal es que el motor no podrá superar los 250W de potencia y 25 km/h de velocidad máxima, cantidades muy justa a la hora de afrontar algunas subidas pronunciadas. Y que no superen un peso de de 40 kg.

Y que los ciclos de pedal asistido con un motor que asista a más de 25 km / h, y las e-bikes diseñadas para tener una velocidad máxima superior a 25 km / h, se clasifican como motocicletas convencionales y tienen que ser homologados en consecuencia. En todos los Estados miembros una clasificación de ciclomotor trae consigo la obligatoriedad de llevar un casco, de contratar una póliza de seguros y un límite de edad. En algunos casos, también implica un número de matrícula y una licencia de conducir.

En otros países menos restrictivos, como los Estados Unidos, no han puesto límites y uno puede hacerse con una bicicleta con las prestaciones de una motocicleta, con modelos que alcanzan los 100 km/h y que por supuesto, no necesitan ni siquiera pedalear.

Esto ha sido caldo de cultivo para desarrollos como la M55, una bicicleta eléctrica con cuerpo de fibra de carbono y un motor de 1.300W, capaz de alcanzar los 77 km/h y recorrer hasta 120 kilómetros con su batería de litio.

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



## **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

### **ANEXO Nº 2**

**ESTUDIO PREVIO:**

### **CONSIDERACIONES PARA LA CARGA Y DESCARGA DE LAS BATERIAS DE IÓN-LITIO**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



## ÍNDICE ANEXO 2

<b>1. CONSIDERACIONES PARA LA CARGA Y DESCARGA DE LAS BATERÍAS IÓN-LITIO</b>	<b>2</b>
<b>2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BATERIAS IÓN-LITIO</b>	<b>2</b>
<b>3. CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA DE BATERÍAS IÓN-LITIO</b>	<b>3</b>
<b>4. CARACTERÍSTICAS DE LA DESCARGA DE BATERIAS DE IÓN-LITIO</b>	<b>7</b>
<b>5. TIPOS DE CÉLULAS IÓN-LITIO</b>	<b>9</b>
<b>6. MÉTODOS DE CARGA DE BATERÍAS</b>	<b>9</b>
<b>6.1. Carga a corriente y tensión constantes</b>	<b>10</b>
<b>6.2. Carga por goteos (trickle charging)</b>	<b>11</b>
<b>6.3. Carga mediante impulsos (Pulse Trickle Charging)</b>	<b>11</b>



---

## 1. CONSIDERACIONES ESPECIALES PARA LA CARGA Y LA DESCARGA DE BATERÍAS ION LITIO

El gran avance de la electrónica en los últimos años y más concretamente aplicado al campo de las telecomunicaciones e informática ha llenado nuestra vida de un número creciente de dispositivos electrónico a fin de facilitárnosla. Estos dispositivos ha evolucionado mucho en la última década buscando diseños más ligeros y con más funciones lo que genera el problema de un mayor consumo de energía y un menor espacio para proporcionársela.

Las baterías de ion litio son en nuestros días las baterías más usadas para para los distintos dispositivos electrónicos portátiles que tanta fama han cogido en la última década (teléfonos móviles, tabletas, cámaras digitales

## 2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS BATERÍAS IÓN-LITIO

Las principales ventajas que han hecho que los fabricantes de estos dispositivos se decanten por este tipo de batería son principalmente las siguientes:

- Alta densidad de carga.
- Índice de auto descarga relativamente bajo (5% - 10% por mes).
- No necesita una carga prolongada cuando son nuevas.
- No requieren tanto mantenimiento como otras baterías, no necesitan descargas periódicas ya que no presentan efecto memoria.
- No presenta la sulfatación que se produce en las baterías acido-plomo cuando estas se almacenan sin carga periódica.
- Variedad de tipos disponibles no solo en carga sino también en tamaño, algo muy importante que ha reducido el tamaño de muchos dispositivos.
- Son baterías que generan un menor impacto en el medio ambiente.

Pero no todo son ventajas. También presentan una serie de desventajas a tener muy en cuenta por aquellos que decidan incorporarlas sus proyectos:

- Requieren protección: las células de ion litio no son tan robustas como otras tecnologías recargables. Y tienen que tener un sistema de protección frente a sobrecargas y sobredescargas, temperatura...
- Envejecimiento: las baterías de ion litio están sujetas a envejecimiento por diversos motivos. Un exceso de temperatura, un elevado número de cargas y descargas provoca este degradado pero también lo provoca (y en esto se diferencian de otros tipos de baterías) también sufren deterioro durante el tiempo que está almacenadas con carga. Para reducir ese envejecimiento



durante el almacenamiento se recomienda almacenar las baterías parcialmente cargadas ente 40% y 50% y en lugares frescos.

- Costo: las baterías de ion litio tiene un coste de fabricación que otras baterías, por ejemplo es alrededor de un 40% más que las de níquel cadmio.
- Transporte: las baterías de este tipo tienen ciertas limitaciones cuando hay que transportarlas sobre todo por vía aérea. Estas limitaciones vienen determinada por el peso en litio de la batería.
- Rapid disassembly: es uno de los problemas en los que más se trabaja por evitar. Se puede dar por la presencia de partículas metálicas microscópicas que llegan a cortocircuitar la célula pero esta causa es cada vez más rara ya los fabricantes de baterías se esfuerzan por la eliminación de tales partículas, aunque la eliminación total es imposible. Pero el verdadero problema está en que el cortocircuito se provoque dentro de la célula, ahí las protecciones externas son ineficaces para parar la reacción que se produce. Si debido a un defecto en la batería o a un mal uso de esta la batería de caliente en exceso, esta temperatura puede afectar a la integridad del capa de aislamiento de una de las células. Si esta capa falla se produce un cortocircuito e que las temperaturas pueden llegar a 500°C por lo que la célula se incendia o explota esto a su vez afecta a las células cercanas y puede originar una reacción en cadena. En caso de fuego en una batería de litio no usar agua para su extinción pues el litio reacciona con el agua, se recomienda un extintor de clase D o de polvo de grafito. El agua se puede usar para refrigerar el entorno y que el fuego no se extienda pero cuidado con el agua y las instalaciones eléctricas.

### **3. CARACTERÍSTICAS DE LA CARGA DE BATERÍAS IÓN-LITIO**

Por seguridad y para prolongar la vida de la batería debemos tener en cuenta como se realiza una carga segura de una batería de litio. A continuación mostraremos el proceso de carga de una célula de ion litio, es una carga genérica no una específica, cuando tengamos que trabajar con una específica deberemos tener en cuenta sus característica particulares las cuales se nos suministran en el “datasheed” del fabricante.

Uno de los principales conceptos que debemos tener en es que en las baterías de litio los voltajes de corte no tienen una flexibilidad con en otras baterías. La mayoría de las células de litio se cargan a 4,2V con una tolerancia de  $\pm 0,5\text{mV}$ . Voltajes más altos provocarían estrés en la batería lo que conllevaría a una reducción de su vida útil, pero es más preocupante el problema de seguridad que puede acarrear ese exceso de tensión.



Vamos a decidir el ciclo de carga en etapas muy marcadas por los puntos características en las curvas de corriente y tensión. Esta división nos será de gran ayuda para explicar el proceso y a entender mejor los distintos modos de carga de las baterías ya que algunos pasan por todas las etapas y otros no o no llegan al final.

A continuación mostramos una gráfica en la que se pueden ver las distintas fases de carga de la célula.

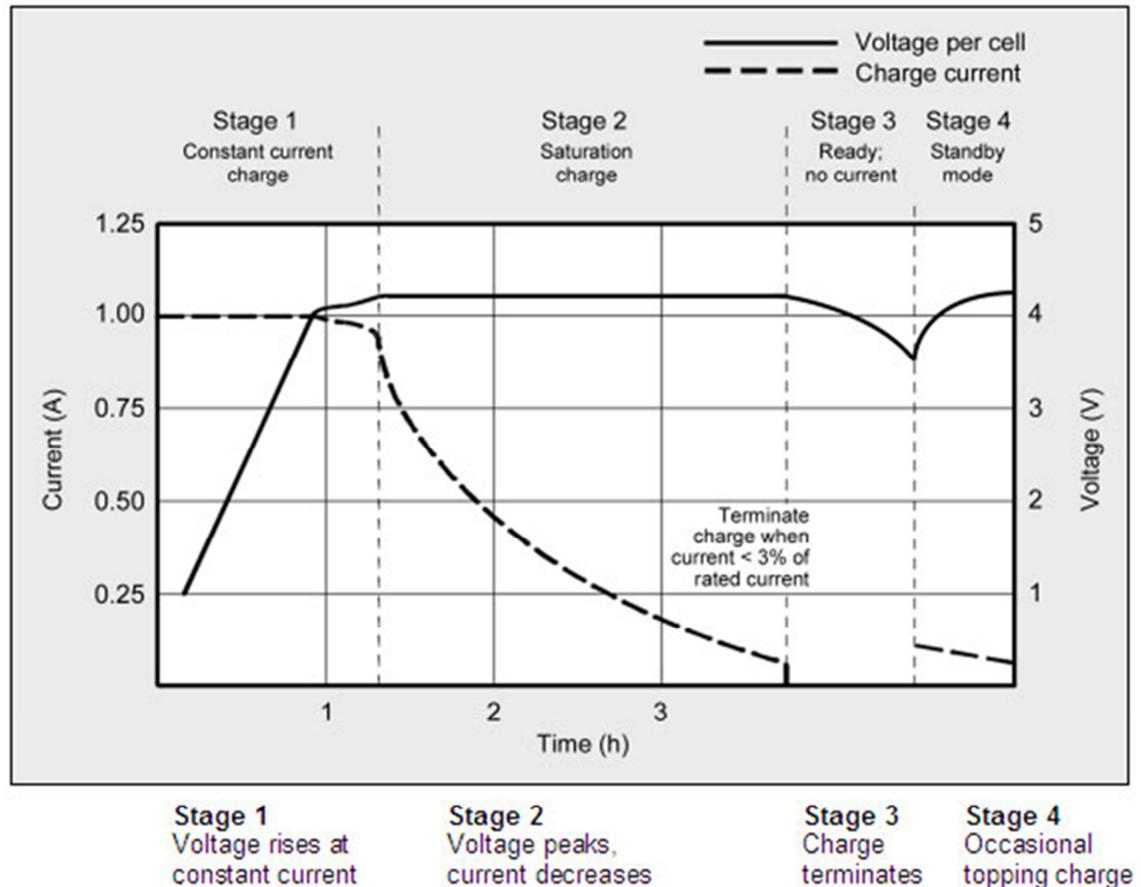


Fig 1: gráfica carga batería ión-litio.

La velocidad de carga de una batería típica de consumo Li-ion es de entre 0,5 y 1C en la Etapa 1, y el tiempo de carga es de unas tres horas (casi 4) en función del método de carga. Es importante que la batería se mantenga fresca durante la carga, su temperatura puede aumentar hasta 5 °C cuando se alcanza la carga completa debido al circuito de protección y/o la resistencia interna.

La carga completa se produce cuando la batería alcanza el umbral de voltaje y la corriente cae a tres por ciento de la corriente nominal. Este punto lo podemos ver al final de la etapa 2 e inicio de 3. En lugar de carga lenta, algunos cargadores aplican una carga máxima cuando la tensión cae a 4.05V/cell (Etapa 4).



Si aumentamos la corriente carga no conseguiremos que la batería se cargue antes, lo que conseguimos es llegar antes al pico de tensión pero la etapa dos (saturación) requerirá más tiempo.

Algunos cargadores de consumo de bajo costo pueden usar el método simplificado "carga-and-run" que carga una batería de litio en una hora o menos sin tener que pasar a la etapa de carga de 2 saturación. Esto puede acarrear que la batería solo se cargue un 85% de su capacidad lo que no es necesariamente malo. De hecho es recomendable no hacerlo pues los altos voltajes dañan la batería. La selección de un voltaje más de umbral prolonga la vida de la batería. Pero como el mercado busca baterías que duren lo máximo posible algunos cargadores tienden a tener a la máxima capacidad pero una menor vida útil, aunque esto depende de las aplicaciones.

En la siguiente tabla ilustramos las capacidades estimadas a diferentes umbrales de tensión con y sin carga de saturación.

Cargue V / célula	Capacidad de carga a voltaje de corte	El tiempo de carga	Capacidad de saturación completa
3.80	60%	120 min	65%
3.90	70%	135 min	76%
4.00	75%	150 min	82%
4.10	80%	165 min	87%
4.20	85%	180 min	100%

Fig 2: tabla umbrales de tensión capacidades de carga.

Vemos que si cargamos la batería por saturación completa la capacidad de aumenta en un 10% de media pero se suma el estrés debido a la alta tensión.

Como indicábamos al principio una batería de litio no puede absorber la sobrecarga y es preciso que cuando se alcance la carga completa la corriente sea cortada. Si esta continua se pueden formar placas de litio metálico que son un factor de peligro ya que pueden causar cortocircuitos y para reducir el estrés de la batería debemos mantener el voltaje de pico de 4,2V el menor tiempo posible.

Una vez que la carga se termina, el voltaje de la batería comienza a disminuir, lo que alivia el estrés de tensión. Con el tiempo, el voltaje de circuito abierto se asentará a entre 3,60 y 3.90V/cell. Tenga en cuenta que una batería de Li-ion que recibió una carga totalmente saturado mantendrá la tensión más alta que una cuya carga fue rápida y sin carga de saturación.

La siguiente grafica la relación entre tensión, corriente y capacidad.

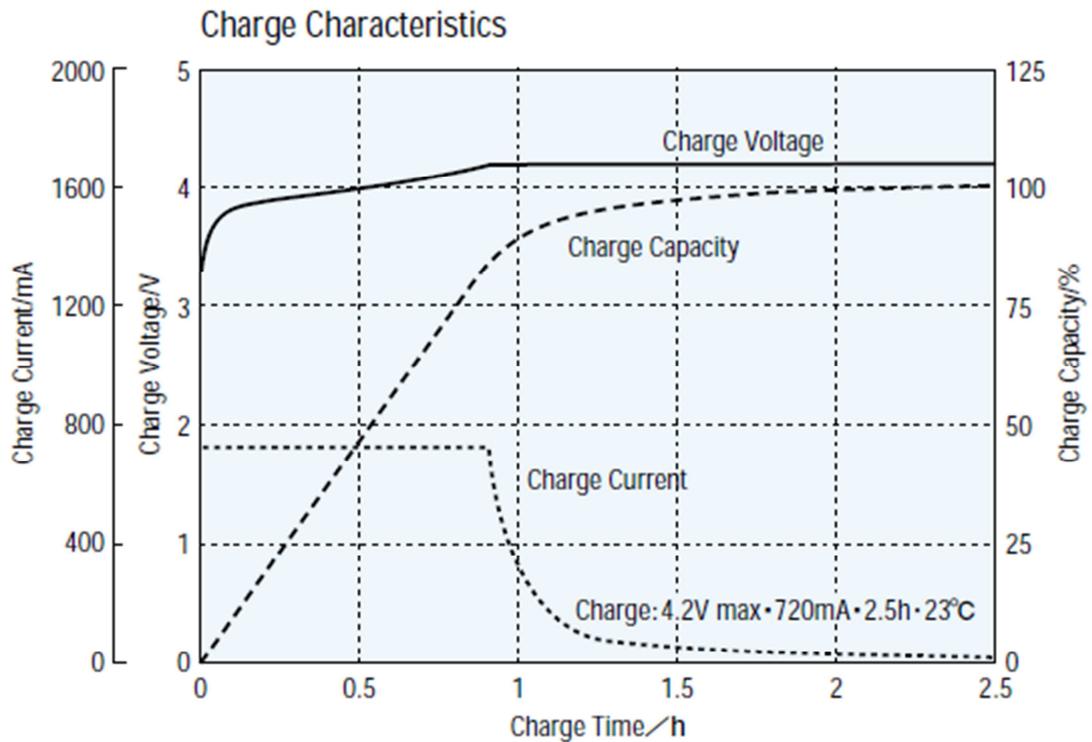


Fig 3: gráfica capacidades durante la carga de baterías ión-litio.

Algunos cargadores aplican una breve carga de nivelación para compensar la pequeña auto-descarga de la batería y el consumo del circuito de protección. El cargador puede arrancar cuando el voltaje de circuito abierto de la célula cae a 4.05V y cerrar de nuevo un 4.20V.

Un dispositivo portátil debe estar apagado durante la carga. Esto permite que la batería alcance el voltaje umbral establecido sin trabas, y permite terminar la carga con corriente baja. Una carga parasitaria confunde el cargador mediante la pulsación de la tensión de la batería y altera la medida de la corriente en la fase de saturación.

Las baterías de este tipo trabajan con seguridad dentro de los límites fijados pero se vuelve inestable si se sobrecarga con una tensión superior a la especificada. Se empieza a formar placas de litio en el ánodo mientras que en el cátodo se produce un material oxidante, pierde estabilidad y produce CO<sub>2</sub>. Si no se activa ningún mecanismo de seguridad puede desencadenar en una fuga térmica (llama).



#### 4. CARACTERÍSTICAS DE LA DESCARGA DE BATERÍAS ION LITIO

Las células de una batería de litio no deben ser descargadas demasiado, por norma el equipo debería interrumpir la descarga cuando el voltaje de una célula llegue a los 3V. Si su voltaje baja de los 2,7V el circuito de protección de la batería podrá la batería en modo espera y una recarga ya no sería posible con la mayoría de los cargadores comerciales. No se deben recargar células cuya tensión haya caído por debajo de 1,5 V pues pueden haberse formado derivación de cobre en el interior del ánodo y pueden producir un cortocircuito.

A continuación mostramos una gráfica en la que se puede ver la relación del voltaje en función de la capacidad durante la descarga a distintas intensidades de esta.

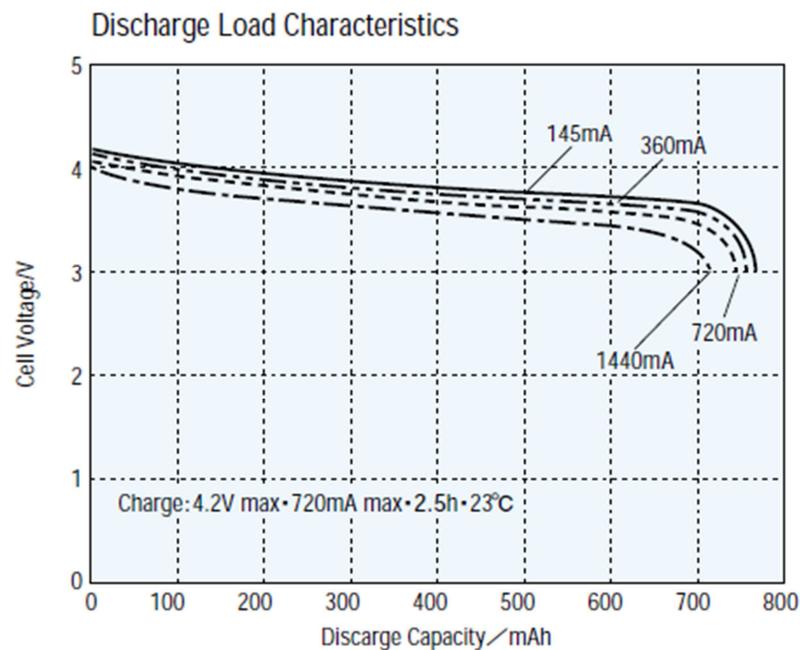


Fig 4: gráfica de tensión de la célula ión-litio durante su descarga.

En esta grafica la descarga se realiza a una temperatura determinada de 23°C sin embargo hay que tener presente que la temperatura afecta a la descarga aumentado la velocidad de esta a medida que se reduce la temperatura.

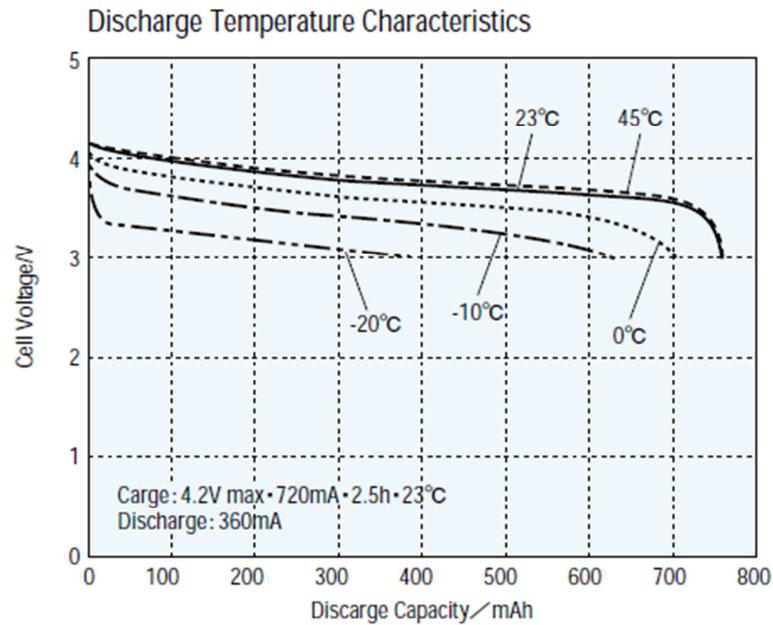


Fig 5: gráfica relación temperatura tensión de célula ión-litio durante la descarga.

También debemos tener presente que la temperatura de almacenamiento afecta la autodescarga de las baterías pero en un modo diferente pues como veremos en la siguiente grafica una batería al 100% de su capacidad presenta mayor auto descarga a 45°C que a 23°C.

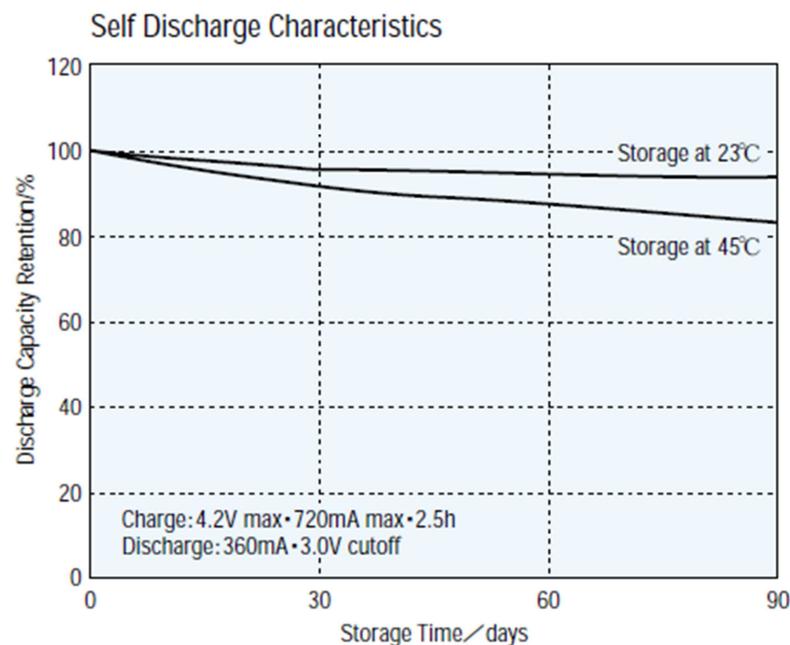


Fig 6: gráfica de autodescarga de las célula de ión-litio.



## 5. TIPOS DE CÉLULAS DE IÓN-LITIO.

En el mercado existen un gran número de células de litio diferente y aunque tienen gran parte de sus características comunes son las que no comparten las que interesan a la hora de elegir una para un proyecto. La siguiente tabla muestra una serie de características técnicas y de diseño de las baterías de litio más comunes.

Especificaciones	Li-Cobalto LiCoO <sub>2</sub> (LCO)	Li-Manganeso LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (LMO)	Li-Fosfato LiFePO <sub>4</sub> (LFP)	NMC <sup>1</sup> LiNiMnCoO <sub>2</sub>
Voltaje	3.60V	3.80V	3.30V	3.60/3.70V
Límite de carga	4.20V	4.20V	3.60V	4.20V
Ciclo de vida <sup>2</sup>	500–1,000	500–1,000	1,000–2,000	1,000–2,000
Temperatura de trabajo	Media	Media	Buena	Buena
Energía específica	150–190Wh/kg	100–135Wh/kg	90–120Wh/kg	140-180Wh/kg
Poder específico	1C	10C, 40C pulso	35C continuo	10C
Seguridad	Media. Requiere de circuito de protección y el equilibrio celular de paquete de celdas multinivel. Los requisitos para formatos pequeños con células 1 ó 2 se pueden relajar		Muy seguro, necesita equilibrado celular y la protección de V.	Más seguro que las de Lito-Cobalto, necesitan equilibrado celular y protección.
Fuga térmica <sup>3</sup>	150°C (302°F)	250°C (482°F)	270°C (518°F)	210°C (410°F)
Coste	Alto	Medio	Alto	Alto
En uso desde	1994	1996	1999	2003

Fig 7: tabla tipos de células ión-litio comerciales más comunes.

1 NMC, NCM, CMN, CNM, MNC y MCN son básicamente los mismos. La estequiometría es generalmente Li[Ni(1/3)Co(1/3)Mn(1/3)]O<sub>2</sub>. El orden del Ni, Mn y Co no importa mucho.

2 La aplicación y el torno regulan el ciclo de vida; los números no siempre se aplican correctamente.

3 Una batería completamente cargada eleva la temperatura de fuga térmica, una parcialmente carga la reduce.

## 6. MÉTODOS DE CARGA DE BATERÍAS

Los cargadores de baterías ofrecen características o algoritmos de carga especiales los cuales tienen como objetivo mejorar el funcionamiento de una batería, reduciendo el tiempo de carga y aumentando su vida útil.

El objetivo de un cargador es cargar la batería. Pero hay muchas otras características que pueden mejorar el funcionamiento de un cargador y conceder protección a la batería que está cargando. Esas características integradas son las que protegen la batería de un mal funcionamiento.



Los conceptos que hay que tener presente a la hora de diseñar un cargador de batería o el algoritmo que lo controle son:

- Una alta corriente acabará reduciendo su vida útil.
- Una correcta limitación del voltaje reduce la evaporación del electrolito previniendo el efecto “dry-out”.
- Adaptar el voltaje y la intensidad en función de la temperatura reduce la evaporación del electrolito y el daño en los electrodos.
- La carga a pulsos puede ayudar a una carga completa.

Tradicionalmente los cargadores de batería más simples no regulaban bien los límites de tensión y corriente. Los avances en este sector nos han proporcionado cargadores mejores que reducen los tiempos de carga, mejoran la protección contra sobre voltajes y aumentan la vida útil. Los modelos básicos de carga son los siguientes.

### 6.1. Carga a corriente y tensión constantes

Es un método simple de carga que da buenos resultados siempre y cuando los límites de corriente y tensión este bien definidos. La carga empieza siendo a corriente constante hasta que se alcanza una determinada tensión en los polos de la batería ( $U_{set}$ ). A partir de ese momento la carga continua pero ahora a tensión constante y variando la intensidad la cual va reduciendo hasta llegar a un valor ( $I_{set}$ ) en el cual se considera que la batería está completamente cargada. También se puede controlar si la batería está completamente cargada en función del tiempo de carga, aunque este método no es el más aconsejable. Este método es una derivación de otros como carga a tensión constante a intensidad constante o semi-constantes.

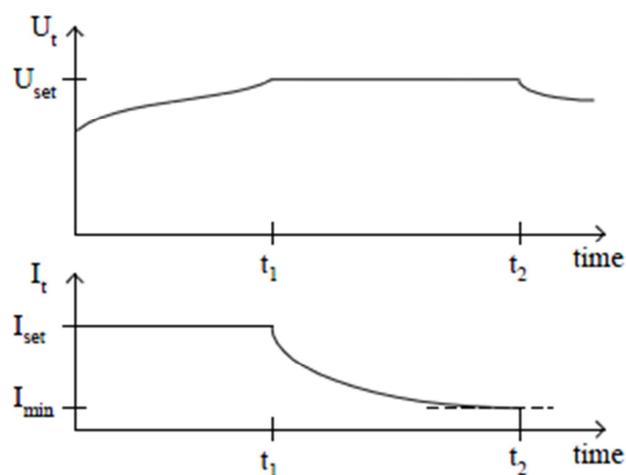


Fig 8: gráfica método de carga tensión y corriente constantes.



## 6.2. Carga por goteo (trickle charging).

Normalmente con el método anterior no se consigue una carga del 100% de la batería. Este método consigue de una manera efectiva pero lenta de conseguirlo. Para ello se mantiene la carga a una corriente muy pequeña que a condiciones de temperatura y tensión seguro es de un valor aproximado de una treintava parte de la intensidad nominal de la batería y aproximada a la corriente de gasificación. Este tipo de carga suele estar asociado a baterías de plomo ácido las cuales tienen una corriente baja de gasificación y en las que el oxígeno y el hidrógeno que se libera en este tipo de carga se recombina en  $H_2O$  y previene la pérdida de agua. Este método de carga también conocido como carga de mantenimiento se usa para compensar la autodescarga de las baterías. Aunque no tiene un valor de corte fijo se suele parar cuando se llega a una tensión de un 3% o 4% por encima de  $U_{set}$ .

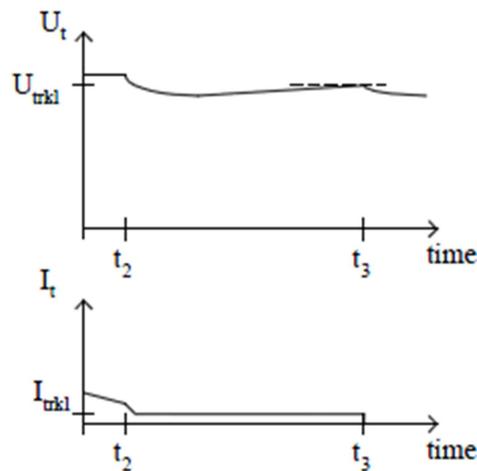


Fig 9: gráfica método de carga por goteo.

## 6.3. Carga mediante impulsos (Pulse Trickle Charging).

Este tipo de carga se suele usar para baterías con una estabilidad térmica baja o baterías de carga rápida. Este método se usa después de la fase de carga a tensión constante y consiste en aplicar una serie de pulsos de corriente de un valor  $I_p$  ( $I_p < I_{set}$ ). La frecuencia de estos pulsos puede estar limitada por un valor fijo o por el valor de tensión en los bornes de la batería ( $U_{plo} < U_t < U_{phi}$ ).

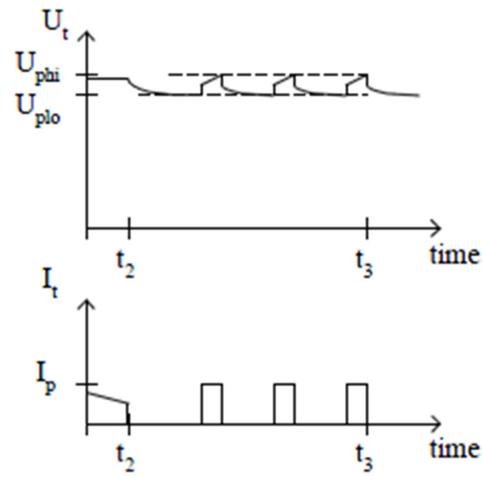


Fig 10: gráfica método de carga mediante impulsos.

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

## **ANEXO Nº 3**

**ESTUDIO PREVIO:**

**RIESGOS DE LAS BATERÍAS IÓN-LITIO**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



## ÍNDICE ANEXO 3

<b>1. RIESGOS DEL USO DE BATERÍAS DE IÓN-LITIO</b>	<b>2</b>
<b>2. EFECTOS DEL VOLTAJE DE CARGA</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Efectos sobrecarga</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Efectos sobredescarga</b>	<b>3</b>
<b>3. EFECTOS DE LA TEMPERATURA</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Baja temperatura de funcionamiento</b>	<b>4</b>
<b>3.2. Alta temperatura de funcionamiento</b>	<b>4</b>
<b>3.3. Fuga térmica</b>	<b>4</b>
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>5</b>



## 1. RIESGOS DEL USO DE BATERÍAS IÓN LITIO

El funcionamiento de una batería viene en última instancia determinado por el voltaje de la célula y la temperatura de esta.

En el siguiente diagrama representamos los límites de la zona de seguridad en la que trabaja una célula de litio y a su alrededor se indican los diferentes riesgos a los que sometemos a esta en caso de salirnos de la zona de seguridad. Esta es una representación en la que los márgenes de las distintas zonas no están marcados de una manera definitiva pues varía en función del tipo de célula que utilizemos.

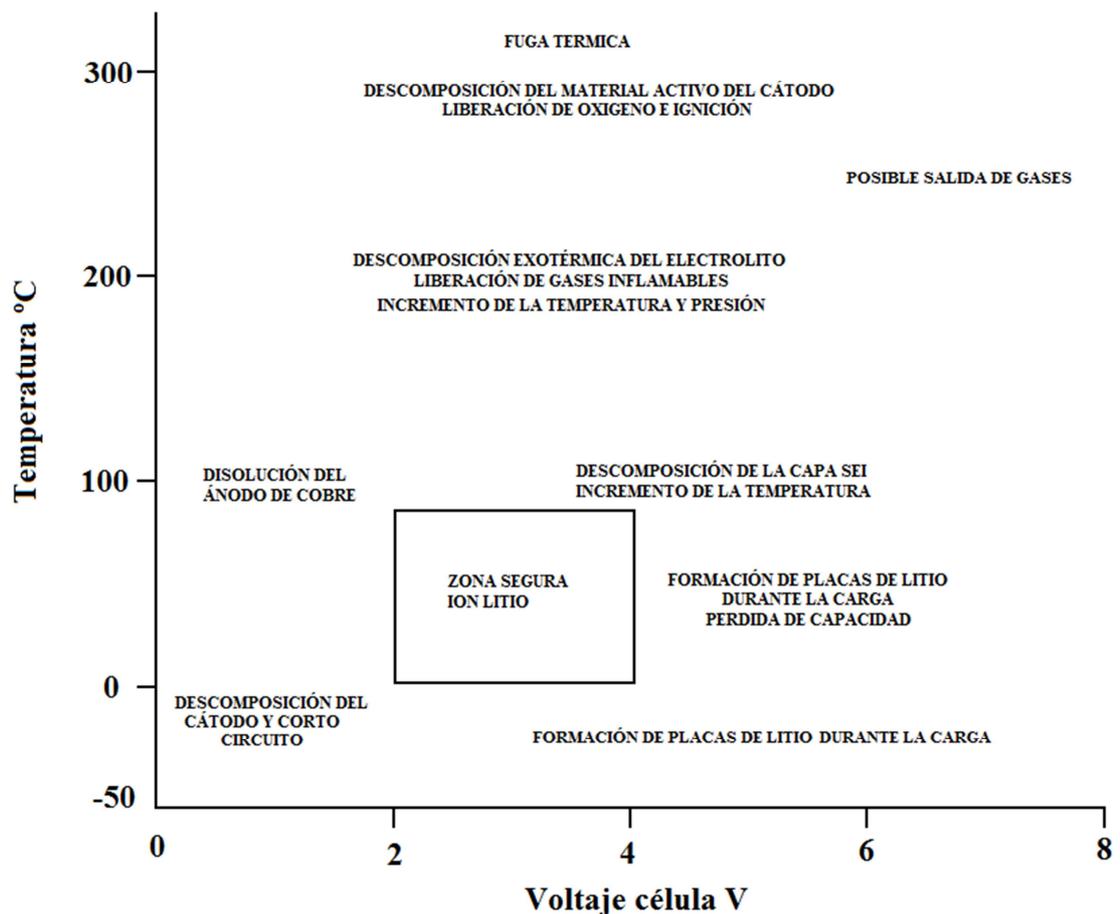


Fig 1: grafica zona segura de trabajo de las baterías ión-litio

## 2. EFECTOS DEL VOLTAJE DE CARGA

Los efectos del voltaje carga sobre la célula son distintos en función del valor de este, pudiéndose dividir estos efectos en dos grupos.



## 2.1. Efectos sobrecarga

Si el voltaje de carga se incrementa por encima de su máximo aconsejable de 4,2 V provoca que circule una corriente excesiva, lo que deriva los siguientes problemas:

- **Formación de placas de litio.** Cuando la corriente de carga resulta excesiva, los iones de litio no se acomodan lo suficientemente rápido en los entre los estratos de intercalación del ánodo sino que se acumulan en la superficie del ánodo formando una placa de litio metálico. Este efecto se conoce como “Lithium plating”. Esa formación de placas se traduce en que luego en la descarga no va a haber una cantidad menor de iones de litio libres lo que se traduce en una pérdida de capacidad de la batería y dado que el crecimiento de ese litio de es homogéneo sino dendrítico podría incluso llegar a cortocircuitar los electrodos de la batería. Este mismo proceso también se puede producir por trabajar a temperaturas bajas.
- **Sobrecalentamiento.** Un exceso de corriente en la carga incrementa en calentamiento de la célula por efecto Joule. Este incremento de temperatura genera varios inconvenientes de los que hablaremos en los siguientes puntos.

## 2.2. Efectos sobredescarga

Al igual que someter a la célula a un voltaje de carga excesivo causa problemas el descargarla en exceso genera uno muy importante que es la descomposición de los materiales de los electrodos.

- **Ánodo.** El colector de corriente del ánodo de cobre se disuelve en el electrolito. Esto provoca que aumente la auto descarga de la batería y que cuando se intente recargar la célula y su voltaje aumente de dos voltios los iones de cobre que se disolvieron en el electrolito precipitaran como cobre metálico y no necesariamente se depositaran en el depósito de cobre del ánodo. Esto es un comportamiento de riesgo que puede causar en última instancia un cortocircuito entre electrodos.
- **Cátodos.** Mantener las células a voltajes inferiores de 2 voltios de manera prolongado provoca la descomposición gradual del cátodo. Durante esta descomposición se libera oxígeno del óxido de litio-cobalto y del óxido de litio-manganeso. Esto provoca un aumento de la presión dentro de la célula que se puede llegar a manifestar de una forma violenta si no disponen de una salida más controlada.



### 3. EFECTOS DE LA TEMPERATURA

Del mismo modo que con la tensión los efectos de la temperatura en las células dependen del tipo de esta y por lo tanto dividiremos los efectos en grupos según su causa.

#### 3.1. Baja temperatura de funcionamiento.

El índice de reacciones químicas está relacionado con la temperatura mediante la ley de Arrhenius. El efecto que produce reducir la temperatura de funcionamiento de una célula implica reducir el número de reacciones químicas que se producen dentro de esta. Esto se traduce en una reducción de la corriente que puede soportar la célula durante la carga y descarga. Lo que implica una pérdida de potencia útil de la célula y un aumento del daño generado a esta durante la carga ya que si estas cargando la célula con una corriente superior a la admisible por esta nos veremos de nuevo en la situación en la que los iones de litio en vez de insertarse entre estratos de intercalación de dedicarían a formar placas de litio “lithium planting”.

#### 3.2. Altas temperaturas de funcionamiento.

Operar a temperaturas excesivas produce una serie de problemas que suelen en su mayoría acabar con destrucción de la célula. Como nos explica la ley de Arrhenius (la cual hemos mencionado en el anterior punto) una temperatura elevada provoca un aumento del número de reacciones químicas que se producen en la célula. Esto se traduce en que la corriente que genera la célula aumenta. Esto que en principio parece bueno no lo es ya un aumento de la corriente va de la mano con un aumento de la potencia disipada en la resistencia interna de la célula, potencia que se disipa en calor lo que aumenta aún más la temperatura. Esto si no se controla y se refrigera la célula de manera que se disipe más calor del que se genera hasta llegar a unos márgenes de seguridad provocaría que esa retroalimentación positiva de temperatura derivará a una fuga térmica (la cual explicamos en el siguiente punto).

#### 3.3. Fuga térmica.

Varios procesos están involucrados en el resultado de una fuga térmica y cada uno de ellos en progresivamente más dañino e irreversible.

La primera etapa es la destrucción de la capa SEI (Solid Electrolyte Interface) en el ánodo debido a un sobrecalentamiento de esta o a una perforación. El sobrecalentamiento puede estar producido por una excesiva corriente, una sobrecarga de la célula o por una temperatura ambiente demasiado elevada. La destrucción de este estrato comienza a una temperatura relativamente baja, 80°. Una vez que se daña la capa el electrolito reacciona con el ánodo de carbono tal y como ocurre durante la



formación original de la capa SEI pero ahora de una manera más descontrolada y considerando que es una reacción exotérmica contribuye a ese aumento de temperatura de la célula. Cabe destacar que las células litio-titanio no dependen de la capa SEI por lo que son capaces de trabajar en un rango de temperaturas superior.

A medida que la temperatura de la célula crece el calor generado en el ánodo provoca la descomposición de los disolventes orgánicos utilizados en el electrolito liberando estos gases inflamables como el etano y el metano pero no oxígeno. Esta descomposición suele empezar a los 110° pero esto depende de la naturaleza del electrolito, en algunos casos puede llegar a empezar a los 70°. El gas generado se acumula aumentando la presión dentro de la célula. Aunque la temperatura en ella aumenta por encima del punto de inflamación no se inicia la combustión debido a que no hay oxígeno. Las células suelen estar equipadas con algún mecanismo capaz de liberar presión de la célula sin poner a esta en riesgo evitando así la explosión. Pero una vez los gases son liberado a la atmosfera y a esa temperatura arden.

A los 135° aproximadamente se funde el separador provocando un cortocircuito entre los dos electrodos. El calor generado en este cortocircuito provoca la descomposición del óxido del cátodo lo que libera oxígeno lo que permite que los gases y el electrolito que quedan en el interior de la célula ardan. Esa combustión eleva tanto la temperatura y la presión de la célula que esta explota. La temperatura a la que se suele descomponer el cátodo es de 200° aunque también varía en función de su naturaleza.

#### **4. CONCLUSIONES**

Después de ver los posibles riesgos de un mal uso de las baterías podemos asegurar que un exceso de temperatura el mayor enemigo de la batería no solo la reduce vida útil sino que lleva ligado un gran riesgo a para el usuario que las manipula.

Por eso en un BMS es de vital importancia el control de la temperatura de la batería.

Una sobre descarga o sobre carga de la batería conlleva sobretodos un daño a esta. Estos daños no solo reducen su vida útil sino que empeoran la vida que le quede. Este mal comportamiento no solo trae consigo pérdida de capacidad de la batería, (que sería lo más leve) sino que la batería se calienta más durante su funcionamiento, que sea más inseguro su uso o su completa inutilización.

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

## **ANEXO N° 4**

**ESTUDIO PREVIO:**

**ESTADO DEL ARTE DEL BMS**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



## ÍNDICE ANEXO 4

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>2</b>
<b>2. FUNCIONES DE UN BMS</b>	<b>3</b>
<b>3. BLOQUE DE TOMA DE MEDIDAS</b>	<b>4</b>
<b>4. DETECCIÓN DE FUGA</b>	<b>6</b>
<b>5. BLOQUE DE GESTIÓN TÉRMICA</b>	<b>6</b>
<b>6. ESTIMACIÓN DEL SOC (STATE OF CHARGE)</b>	<b>7</b>
<b>7. ESTIMACIÓN DEL SOH (STATE OF HEAL)</b>	<b>9</b>
<b>8. ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD</b>	<b>10</b>
<b>9. ECUALIZACIÓN O EQUILIBRIO CELULAR</b>	<b>11</b>
<b>10. BLOQUE DE SEÑAL</b>	<b>12</b>
<b>11. CONCLUSIONES</b>	<b>12</b>



## 1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años hemos visto un gran desarrollo de dispositivos electrónicos y equipos de bajo consumo evolución que ha requerido sistemas de almacenamiento de energía mejores. La evolución de estos métodos de almacenamiento ha proporcionado baterías que son capaces de satisfacer a dichos requisitos. Las baterías más populares del momento son las baterías de litio debido a que ofrecen más altas prestaciones entre las que cabe destacar una mayor densidad energética, no presentan efecto memoria, tienen una menor autodescarga y una mayor vida útil. Pero también inconvenientes con los que hay que lidiar como la facilidad de salir de la zona de funcionamiento seguro (Safe Operating Area ,SOA) lo que acarrea un daño, una reducción de su vida útil y un riesgo de incendio. Y por esto se necesitan sistemas para protegerlas y controlar su funcionamiento de manera eficiente.

Prácticamente todas las baterías que hay hoy en los dispositivos electrónicos están acompañadas de un sistema de gestión de batería (BMS), los cuales pueden realizar un gran número de funciones de las cuales iremos seleccionando en función de las necesidades de nuestra instalación.

Un BMS monitoriza una serie de parámetros de la batería y con esos parámetros y un algoritmo que los relaciona se encarga de realizar funciones para que el uso de la batería se encuentre dentro de unos estándares que consideremos aceptables y seguros y también obtener información relevante sobre el estado de la batería.

Obviamente cuanto más compleja sea una batería o la función de esta más importancia adquiere en BMS y más funciones realizarán. No es lo mismo una batería de un teléfono móvil compuesta de una célula que una de un coche que lo está por cientos.

Se elija un BMS muy elaborado o uno más simple los fabricantes consideran imprescindible la instalación de un sistema capaz de controlar en todo momentos el conjunto de células de la batería con el fin de evitar temperaturas elevadas y diferencias de voltajes. Estos sistemas bien implementados par una batería pueden aumentar la vida útil de nuestra batería en un 25%.

En los siguiente puntos veremos más al detalle el papel que realiza el BMS en el control de la baterías y como realiza ese control.



## 2. FUNCIONES DE UN BMS

La función única y principal de un BMS es asegurar el correcto funcionamiento de la batería y para llevarlo a cabo realiza las siguientes operaciones:

- Toma de datos.
- Determinación del estado de la batería.
- Controlar la carga y descarga de la batería.
- Equilibrado eléctrico.
- Gestión térmica.
- Gestión de seguridad.
- Comunicación con la interfaz de usuario.

Como hemos explicado antes no todos los BMS realizan todas estas funciones sino que depende del criterio de los ingenieros el decidir cuáles son de interés para el sistema aunque hay algunas que son de interés general para todas las baterías.

A fin de poder explicar mejor el funcionamiento de un BMS nos ayudaremos de un diagrama de bloques en el que mostramos las relaciones entre ellos y en puntos siguientes iremos explicando más detenidamente cada bloque.

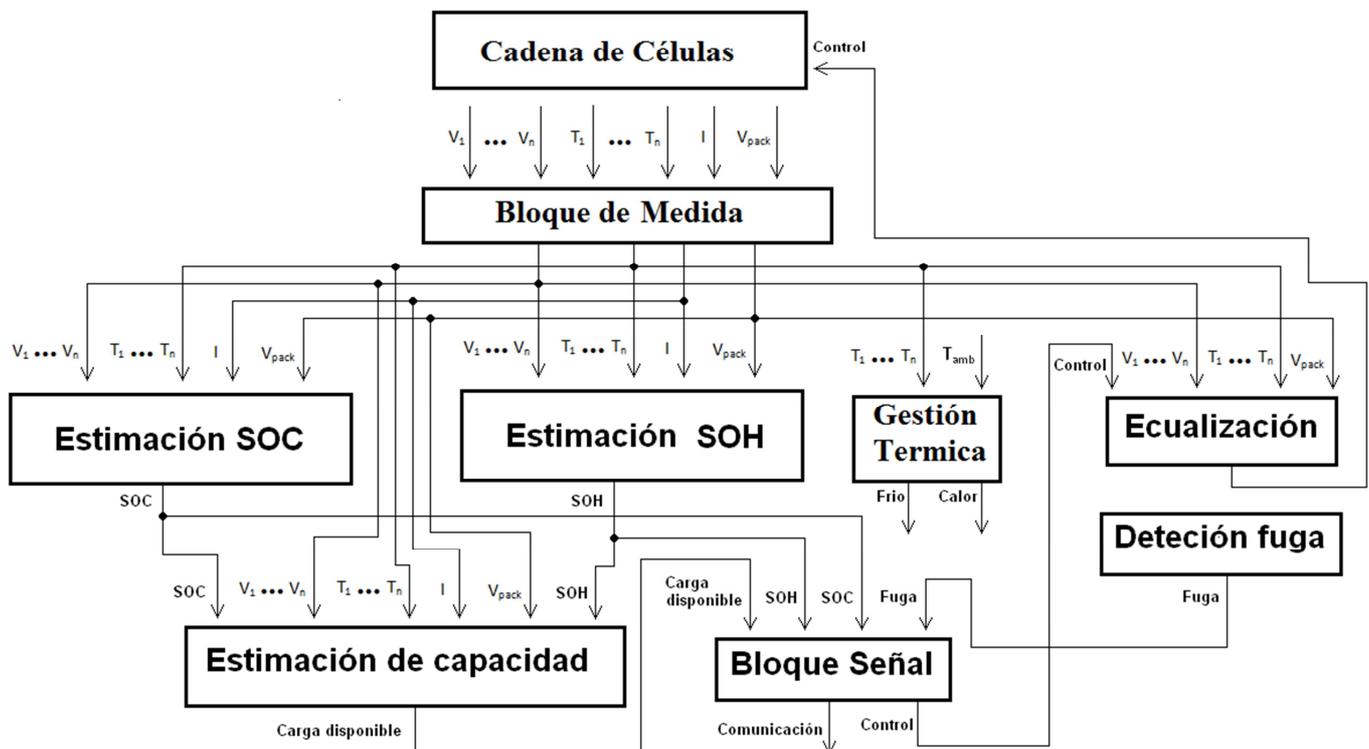


Fig 1: diagrama de bloques del BMS



### 3. BLOQUE DE TOMA DE MEDIDAS

Este bloque se encarga de la toma de información para el BMS. Los parámetros que toma para el BMS son los voltajes, corrientes y temperatura de cada célula así como la temperatura ambiente.

Las características del muestreo y las características del filtrado dependen del tipo de aplicación. Por ejemplo, un muestreo de señales para la batería de un vehículo eléctrico se realiza en menos de un segundo mientras que para una batería de una instalación fotovoltaica o una UPS puede llevar más de 5 segundos.

Hay dos diferentes arquitecturas conocidas para la toma de medidas.

- En caso de un sistema de centralizado la unidad de medidas está localizada dentro del BMS. La ventaja más obvia de esta arquitectura es el ahorro en coste material. Sin embargo aparece el inconveniente del cableado entre el BMS y las células de la batería que en caso de ser muchas puede convertirse en un verdadero problema y hacer que el ahorro no sea tal.

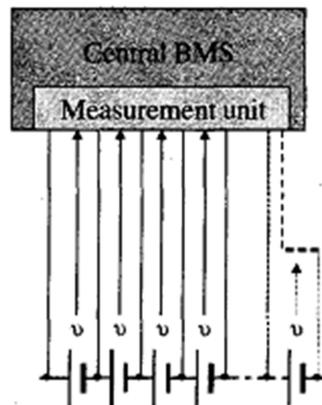


Fig 2: diagrama arquitectura centralizada

- En caso de una arquitectura descentralizada tenemos unidades de medida para cada célula o conjunto de células. Estas unidades se comunican con el BMS vía buss. Este método tiene la ventaja de eliminar cableado y facilitar la adición de nuevas células. Estas unidades de medida pueden dar todas las medidas necesarias de cada célula con lo que mejoraría el cálculo del estado de la batería aunque lo haría más complejo. Este método descentralizado es el escogido para baterías con gran número de células.

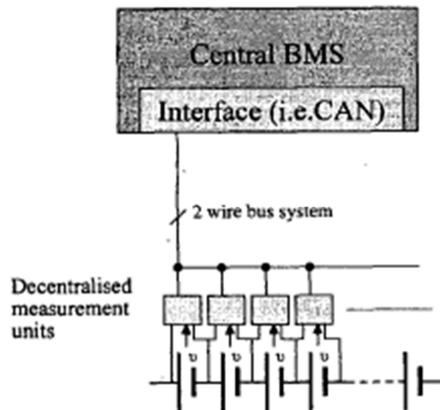


Fig 3: diagrama arquitectura descentralizada

La medida del voltaje de las células presenta una dificultad para el BMS. Se trata de cómo medir los voltajes de una cadena de células en serie en la que hay que poner el voltaje de cada célula a una misma referencia GND para que la toma de valores sea fácil de realizar.

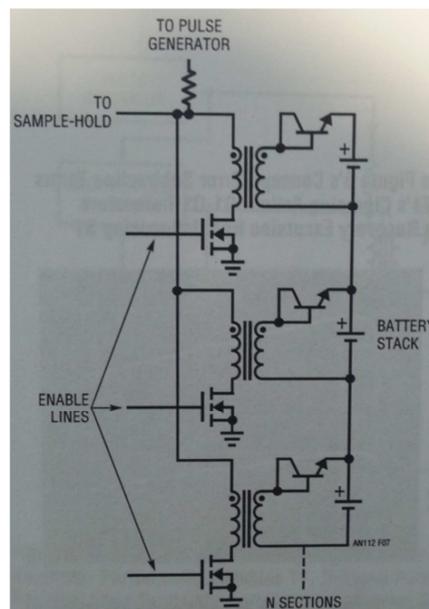


Fig 4: diagrama arquitectura descentralizada

Las medidas antes se realizaban mediante canales de sondeo conmutado con tierras flotantes de referencia pero este sistema no era adecuado pues si querías precisión perdías velocidad y tampoco era una precisión muy buena la que conseguías. Actualmente se usan circuitos integrados para realizar estas mediciones.

Aunque existen otras posibilidades como el uso pequeños transformadores y diodos para fijar los valores de tensión de las células, pero esto claro encarece mucho el sistema.



Para la medida de temperatura existen un gran número de circuitos integrados que funcionan como sensores de temperatura.

La medida de corriente es muy importante para el BMS y hay dos tipos de métodos, la elección de uno dependerá del rango de valores de corriente que queremos medir. Uno de los métodos es usar una resistencia de precisión, el cual es más adecuado para intensidades superiores a 10 A. El otro método consiste en el uso de un sensor de efecto pasillo el cual es más preciso a corrientes pequeñas, si usásemos este tipo de sensor. Pero usemos el método que usemos debemos aplicar unos determinados coeficientes en función del rango que usemos para corregir la falta de linealidad de las mediciones.

#### **4. DETECCIÓN DE FUGA**

En la medida que las baterías han aumentado su voltaje nominal también lo ha hecho la peligrosidad de un defecto de aislamiento. La batería de un VE o de un HEV (vehículo eléctrico híbrido) son baterías cuya tensión nominal varía entre 200 y 400 voltios y hasta 1000 amperios, una fuga en el chasis del vehículo es un grave peligro, por esta razón los BMS implementados para este tipo de aplicaciones incorporan el bloque el cual en caso de detectar un defecto eléctrico envía una señal a la unidad de control para que se activen los protocolos de seguridad correspondientes.

Para esta detección estos sensores se encargan de medir el aislamiento entre la batería y el chasis (tierra), si esta baja de 500 ohms/vol da orden de aislar la batería mediante la apertura de los contactores que conectan esta. La detección de una corriente excesiva también provocaría el aislamiento de la batería. Cabe destacar que para este sistema es necesario que tanto el BMS como los contactores de aislamiento estén alimentados por una batería auxiliar, independiente de la que queremos aislar.

#### **5. BLOQUE DE GESTIÓN TÉRMICA**

El control térmico es necesario para las aplicaciones de potencia más altas y más altas temperaturas. La función de este bloque es el control de la temperatura entre células de la batería. Como vemos el bloque de medida le manda las temperaturas de cada célula y en función de ellas decidirá si enfriar la batería, calentarla o dar por buena la temperatura.

Uno de los mayores problemas es como transferir el calor desde las células a fuera ya que las resistencias térmicas del electrolito y el encapsulado de plástico de las células y de la batería son bastante altos. Para el enfriamiento de la batería se usan ya bien ventiladores o métodos de refrigeración con líquidos en función del calor a disipar.



En el mercado hay gran cantidad de elementos para la refrigeración de la batería que resultan fácilmente adaptables cualquier tipo de dispositivo.



**Fig 5: ejemplo de elemento de refrigeración**

En caso de unidades de almacenamiento de alta potencia como UPS (uninterruptible power supply) que contienen rectificador, inversor y las células propias de las baterías lo que se suele hacer es separarlos de manera que los circuitos de potencia no estén en el mismo armario ya que tiene una gestión de térmica menor.

## **6. ESTIMACIÓN DEL SOC (STATE OF CHARGE)**

El estado de la carga o SOC es uno de los parámetros más importantes requeridos para la carga y descarga de la batería. El SOC se define como la capacidad de la batería en función de su capacidad nominal. Este valor permite la carga y descarga de la batería dentro de unos valores adecuados a fin de mejorar la vida útil de esta.

Este valor que nos indica el estado de la carga no solo es útil para llevar un VE para planificar las paradas en un viaje sino que tiene otras funciones más importantes. Sin ir más lejos dentro de un VE sabemos que se aplican los frenados regenerativos mediante los cuales con la energía que se disipa en la frenada se carga la batería, bien pues si el SOC está a un nivel alto no debería dejar que se produzca el frenado regenerativo a contrario de si está a un nivel más bajo.

Pero la obtención de este valor no es directa sino que implica la medida del voltaje de la batería, de la corriente, la temperatura y otra información perteneciente a la batería con la que trabajamos.

El método convencional de estimación que es la cuenta de Culombios, este método se obtiene directamente integrando la corriente de entrada y de salida de la batería. Si



mido la corriente que entra durante una hora a la batería deduzco que esa misma corriente está disponible para su uso. Pero esto no es así ya que hay ineficiencias en la aceptación de corriente por parte de las baterías, sobre todo al final de la carga, además de pérdidas durante la carga-descarga y durante el almacenamiento. Y a partir de esa medida de carga almacenada se deduce el SOC de tablas de características pre almacenadas en las cuales hay marcado un punto de carga máxima para indicar cuando la batería estaba totalmente cargada. Pero debido al envejecimiento este punto varía con lo que la referencia se pierde y se puede dar la situación de seguir suministrando corriente a batería cuando esta ya está cargada lo que genera un riesgo o a la autodescarga se puede intentar extraer más energía que la adecuada de una batería con el consecuente daño. En torno a este método existen mejoras como la aplicación de coeficientes a la carga en función de determinados parámetros o la recalibración de las tablas de carga realizando un ciclo de carga y descarga monitorizado de la batería.

Debido a estos errores el punto de referencia debía ser contrastado con condiciones reales del momento de uso, se usa para ello la variación del voltaje de una célula en función de su carga. Con esa gráfica se crea una tabla en la que vemos como varía su voltaje en función de su capacidad y tomamos el voltaje máximo a carga máxima como punto de referencia y por supuesto el resto de ellos para saber el SOC de la batería en todo momento. Pero este método no era bueno porque la gráfica de una célula de litio es bastante plana en su parte media y un pequeño error de medida acarrea un error grande en la estimación de la capacidad y si querías eliminar este riesgo y hacer conseguir una mayor garantía de la comprobación de la tabla implicaba mucho tiempo. Y esa eficiencia está limitada ya que durante la carga y descarga esa tensión se perturba y no representa el valor verdadero de la carga, para ello habría de dejarla en reposo entre 4 y 24 horas para que la tensión se estabilice de nuevo y por supuesto medir la tensión de circuito abierto. Aunque es un sistema con bastantes errores se usa bastante debido a su simpleza.

Durante un tiempo se usaron filtros extendidos de Kalman (EKF) para la estimación de SOC. Estos filtros son una buena solución para sistemas lineales basándose en derivadas parciales y series de Taylor pero para sistemas no lineales no son capaces de dar una precisión apropiada.

Otro método para la medición del SOC de una manera directa sería el uso de un hidrómetro que mide la variación de la densidad relativa del electrolito de la batería la cual varía en función de la carga de la batería. Este método está limitado por supuesto por el tipo de batería y sufre también a bastantes errores. Errores provocados por la temperatura, estratificación del electrolito y también requiere someter a la batería a tiempos de reposos después de las cargas y descargas para una correcta medición.



---

El uso de la espectroscopia de la impedancia electroquímica (EIS) mide el valor de la impedancia del modelo Randles no requiere el reposo de la batería antes de cada medición. EIS evalúa las características electroquímicas de una batería mediante la aplicación de un potencial de CA con frecuencias variables y la medición de la respuesta de la corriente de la célula electroquímica. Aunque es un método bastante efectivo es respecto a los anteriores resulta un método caro.

Actualmente existen distintos métodos para el cálculo de SOC y se siguen estudiando para la obtención de métodos más fiables los cuales cada vez usan métodos de cálculos más complejos que en ocasiones requieren nuevas entradas de datos o más tiempo de procesamiento como el uso de vectores de soporte o el uso de la refractometría del electrolito de baterías o incluso del magnetismo cuántico.

## **7. ESTIMACIÓN DEL SOH (STATE OF HEALTH)**

Indica el estado de salud de una batería del cual se reflejan las condiciones físicas de la batería que pueden ir desde condiciones internas como la pérdida de carga a comportamientos externos más graves.

En un EV el SOH hace referencia a la capacidad máxima de la batería en relación con la capacidad nominal de una batería nueva mientras que en un HEV se usa para relacionar la carga que es capaz de absorber en un frenado regenerativo.

Es una indicación del punto que ha alcanzado dentro de su ciclo de vida y una medida en relación a una batería nueva.

Mientras que el SOC se puede determinar mediante la medición real de la carga de la batería, no hay una definición absoluta del SOH. Se trata de una medida subjetiva, más una estimación que una medición que los diferentes usuarios derivan diferentes parámetros relacionados con el rendimiento y tiempo de uso.

So objetivo es proporcionar una indicación del rendimiento que se puede esperar de la batería en su condición actual y obtener de ese modo una indicación de la vida útil consumida y por lo tanto la que queda antes de tener que reemplazarla. Esto ayuda a la realización de planes de mantenimiento, anticipación a posibles fallos...

Para el cálculo de este valor se puede usar cualquier parámetro que varíe con la edad como puede ser la impedancia o conductancia de la pila. Estos cambios significan que se han producido cambios que pueden ser de mayor importancia para la batería como una pérdida de capacidad. Para conseguir una mayor precisión algunos fabricantes no se basan solo en un parámetro para el cálculo del SOH sino en varios como pueden ser la capacidad, la aceptación de carga o los ciclos de carga-descarga experimentados. Estos cálculos se complican rápidamente a medida que queremos



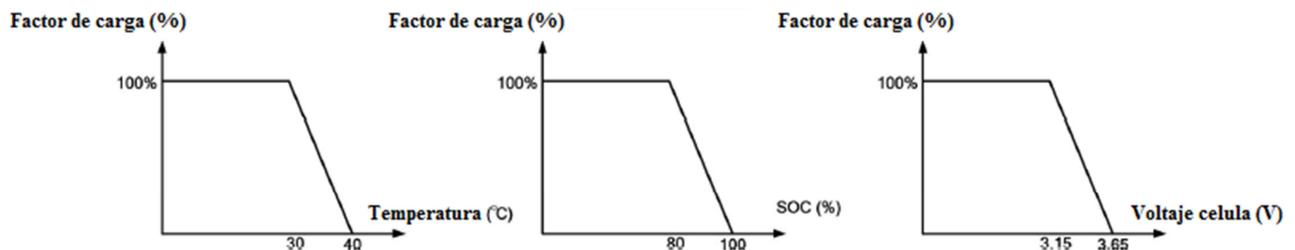
incorporar más parámetros. Para realizar los cálculos los BMS recurren al uso de microprocesadores en los cuales suelen tener en la memoria tablas de datos de ensayos realizados con las baterías a fin de facilitar el cálculo.

## 8. ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD

Este bloque tiene como objetivo deducir la corriente máxima de carga y de descarga en cualquier instante mediante un algoritmo (depende en función del BMS). La salida de este bloque se comunica con la unidad de control electrónica del cargador (a través del bloque de comunicación). De este modo la batería no está sujeta a cargas o descargas por encima de los límites especificados.

Esta información es vital para el correcto funcionamiento de la batería. En la siguiente graficas indicamos de una manera aproximada como varía en función de las variables de entrada del bloque.

### Corriente máxima de carga



### Corriente máxima de descarga

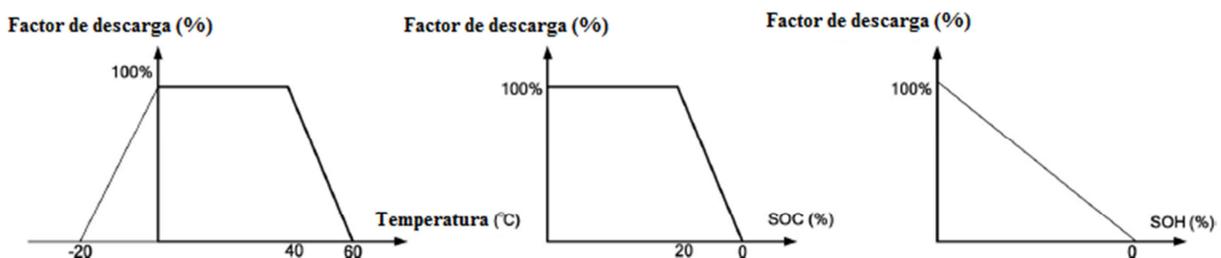


Fig 6: gráficas evolución corrientes máximas en carga y descarga en función de la temperatura, del SOC y del SOH.



Por ejemplo vemos como la corriente de carga varía en función de la temperatura en un rango de 0 °C a 40 °C y como empieza a decrecer a partir de los 30 °C. Sin embargo en la descarga también tenemos arcado que no se puede descargar la batería por debajo de los -20 °C.

Los valores máximos de corriente de carga y descarga de las células están indicados en los datasheet de las células.

## 9. ECUALIZACIÓN O EQUILIBRIO CELULAR

Como hemos indicado anteriormente las células no son idénticas sino que tiene ciertas diferencias como resultado del proceso de fabricación de estas. Estas diferencias provocan que no se carguen al mismo tiempo, lo que supone que durante la carga habrá un momento en el que una célula puede estar totalmente cargada y otras no.

Como hemos dicho al hablar de los procesos de carga de las baterías de litio, una de sus características es que si ya una célula está totalmente cargada todo el exceso de carga que suministremos provoca un deterioro en la célula. Así que cuando una célula alcanza la plena carga se para la carga de la batería pero claro no todas están cargadas. Este problema se traduce en una reducción de la carga que debería tener la batería, una infratilización de la batería y a medida que se realicen más ciclos de carga y descarga este error se irá acumulando hasta dejar la batería fuera de servicio.

Para evitar este efecto se cuenta con este bloque que mediante una serie de circuitos, de los cuales hablaremos más profundamente más adelante, se encarga de reducir la diferencia de carga entre las células. Este equilibrio se produce de dos maneras posibles:

- Método disipativo: iguala la carga a la célula menos cargada disipando en exceso de carga en las demás.
- Método activo: aprovecha la carga de las más cargadas para cargar las menos cargadas.

La elección de un método u otro dependerá de la instalación que queremos que controle como explicaremos más adelante cada método tiene sus ventajas y sus inconvenientes.

El uso de este bloque también está vinculado a un algoritmo que en función de su complejidad realizara un equilibrado más o menos exhaustivo y a un protocolo de utilización. Generalmente el equilibrado se realiza al acabar la carga “normal” de la batería en la que una célula está totalmente cargada y las otras no sin embargo en otras baterías se realiza un equilibrado después de un número determinado de ciclos para



eliminar ese error que se ha ido acumulando. El tipo de funcionamiento también depende del tipo de aplicación en que le vayamos a hacer trabajar y de la calidad de las células con las que vamos a trabajar.

## 10. BLOQUE DE SEÑAL

Este bloque se encarga que comunicar el BMS con la ECU (unidad de control electrónica). Esta comunicación se puede realizar mediante distintos métodos. Los más frecuentes son:

- Bus CAN (Control Area Network): son un tipo de buses con un protocolo diseñado para la comunicación entre microcontroladores y dispositivos dentro de un vehículo sin ordenador central.
- Cableado directo: en función de la cantidad de señales que queramos comunicar puede ser poco aconsejable.
- DC-BUS: un tipo de comunicación más económica que aprovecha las líneas de alimentación para enviar su señal de datos.
- Comunicación inalámbrica.

## 11. CONCLUSIONES

A medida que las baterías cobran importancia en el mundo los fabricantes buscan nuevos avances tanto en el campo de las baterías como en el de los BMS. Las reacciones químicas que tienen lugar dentro de una batería están sujetas a condiciones de uso y por lo tanto en la degradación de la batería intervienen muchas variables. El desarrollo de un BMS meditado y completo es muy importante para los diseñadores que quieren aumentar su cuota de mercado. En este apartado exponemos los principales parámetros que un BMS debe controlar pero esto no es una constante en todos los BMS pues no solo hay multitud de situaciones donde podemos necesitar una batería y su correspondiente gestor sino que también hay gran cantidad de técnicas para la mejora y optimización de estos.

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

## **ANEXO Nº 5**

**ESTUDIO PREVIO:**

**ECUALIZADORES DE BATERÍA**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



---

## ÍNDICE ANEXO 5

<b>1. EL EQUILIBRADO DE CÉLULAS DE UNA BATERÍA</b>	<b>3</b>
<b>2. EQUILIBRADO PASIVO DE CÉLULAS (PASSIVE CELL BALANCING)</b>	<b>4</b>
<b>2.1. Resistencia fija</b>	<b>5</b>
<b>2.2. Diodo ZENER</b>	<b>6</b>
<b>2.3. Resistencia conmutada</b>	<b>6</b>
<b>2.3.1. Control mediante un C.I.</b>	<b>7</b>
<b>2.3.2. Control mediante un microcontrolador</b>	<b>8</b>
<b>3. EQUILIBRADO ACTIVO DE CÉLULAS (ACTIVE CELL BALANCING)</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Condensador conmutado</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Condensadores conmutados</b>	<b>12</b>
<b>3.3. Doble nivel de condensadores</b>	<b>13</b>
<b>3.4. Un/varios inductores</b>	<b>15</b>
<b>3.4.1. Un inductor</b>	<b>15</b>
<b>3.4.2. Varios inductores</b>	<b>17</b>
<b>3.5. Transformador conmutado</b>	<b>18</b>
<b>3.6. Transformador de bobinados múltiples</b>	<b>20</b>
<b>3.7. Múltiples transformadores</b>	<b>24</b>
<b>3.8. Convertidores tipo Cûk</b>	<b>25</b>
<b>3.9. Convertidores tipo Buck-Boost</b>	<b>26</b>
<b>3.10. Convertidores rampa</b>	<b>28</b>



<b>3.11. Convertidores tipo full-bridge</b>	<b>29</b>
<b>3.12. Convertidores tipo Flyback</b>	<b>30</b>
<b>3.13. Convertidores tipo cuasi-resonantes</b>	<b>31</b>
<b>4. TABLAS COMPARATIVAS</b>	<b>32</b>



## 1. EL EQUILIBRADO DE CÉLULAS DE UNA BATERÍA

Dentro de las funciones de un BMS (battery manager system) hay una función sobre la cual vamos a trabajar en este proyecto y por lo tanto explicaremos en este apartado. Esa función es el equilibrado las células de la batería.

Una batería rara vez está compuesta por una sola célula sino que están compuestas por un número de pilas puestas en paralelo entre ellas y compuestas a su vez por un número de células en serie.

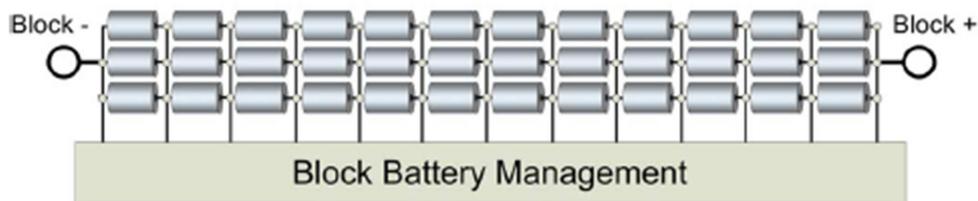


Fig 1: ejemplo de batería con estructura 3P 12S

Aunque cada vez los métodos de fabricación de las células se mejoran más es imposible que las células sean totalmente iguales y esas ligeras diferencias en las características en ocasiones pueden ser suficientes para generar problemas a la hora de la carga y descarga de estas.

Uno de los inconvenientes que genera es la diferencia de velocidad de carga.

Si durante la carga una de las células alcanza la en nivel de plena carga la carga de la batería se debe detener la carga de la batería entera ya que se si se continua se deterioran las células ya cargadas poniendo en peligro toda la batería.

Si después se pone en uso la batería y se descarga considerando que todas las células están plenamente cargadas las que no lo esté sufrirán una sobredescarga, si se para la descarga en cuanto una célula llega al límite de descarga quedaran células con algo de carga y esta se ira acumulando con cada ciclo de carga-descarga.

Esto se traduce en una serie de problemas que se traducen un infrautilización de la batería y una reducción de la vida útil de esta.

Por eso es importante en baterías con gran número de células se realice un equilibrado de las células sino cada ciclo de carga-descarga cada un determinado número de estos.

El equilibrado de las células de una batería se puede realizar de diversas formas.



Estos métodos se dividen principalmente en dos grupos: disipativo y activo. Los cuales explicaremos en profundidad más adelante juntos con los diversos métodos de cada grupo.

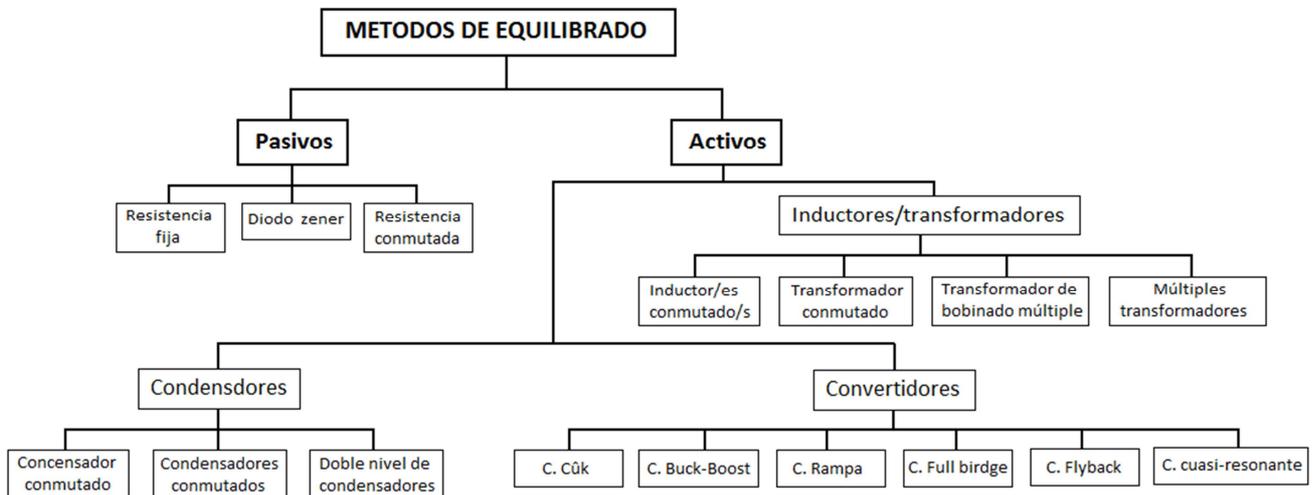


Fig 2: diagrama de tipos de equalizadores

A continuación vamos explicar los distintos modos de equalización vistos en el gráfico anterior.

## 2. EQUILIBRADO PASIVO DE CELULAS (PASSIVE CELL BALANCING)

La mayoría de los diseños utilizados hoy en día se basan en la técnica del "equilibrado pasivo o disipativo". Esta técnica utiliza una resistencia para disipar el exceso de carga que puede acumular una célula hasta que su tensión de salida cae por debajo del punto de voltaje-regulación. Es por esto que a estos circuitos se les llaman disipativos. Su principal ventaja es su simpleza de implementación y de control, y por consiguiente su menor coste en materiales y mantenimiento. Pero presentan dos desventajas:

- La energía que se disipa es energía perdida con las reticencias que esto provoca.
- Se pueden producir altas corrientes durante la disipación lo que implica tener que elegir componentes capaces de soportarlas. La corriente de limitación "máxima" suele ser de 10 mA/Ah
- Estas corrientes de equilibrado en caso de ser altas provocan un calor que puede afectar a las células.

El equilibrado de la célula de un modo pasivo se puede implementar mediante elementos discretos y el control de dichos circuitos se realiza mediante un



microcontrolador o mediante circuitos integrados (C.I.) más complejos que ponen a nuestra disposición distintos fabricantes. Algunos de estos integrados pueden reducir considerablemente el número de componentes del circuito ya que son capaces por si solos de medir la tensión cada célula, una operación que se puede complicar en los circuitos de equilibrado con gran número de células.

Y es la programación de estos dispositivos de control lo que determinara de cómo se realizará el equilibrado de la batería y la frecuencia de estas mediciones, algo condicionado por la velocidad de carga de la batería. Si usamos circuitos integrados la frecuencia de mediciones suele venir predefinida o resulta más difícil de modificar que si usamos microprocesadores.

A continuación mostremos tres circuitos de equilibrado pasivo, los cuales usan para disipar el exceso de carga uno de los siguientes métodos:

- Resistencia fija.
- Resistencia conmutada.
- Diodo zener.

### 2.1. Resistencia fija (Fixed resistor)

Este método usa desvía continuamente la corriente de todas las células de la batería. Y la resistencia limita la tensión de la célula. Este es el método más simple tanto en complejidad como en precio pero está obsoleto debido al continuo gasto de energía. Y solo se puede usar con batería de Plomo-Acido y Níquel porque pueden soportar una sobrecarga sin dañar las células. En la figura 1 podemos ver el esquema de este tipo de equilibrador.

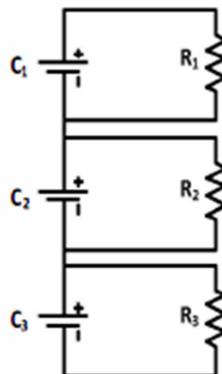


Fig 3: ecualizador de resistencia fija

### 2.2. Diodos zener



Para eliminar el problema de la gran pérdida de energía se usaron diodos zener en la disposición que vemos en la figura 2. Con este sistema las células se protegen de sobrecargas pero a la hora de las descargas este método resulta ineficiente. Los diodos deben ser dimensionados para soportar la corriente de carga lo que supone un aumento del coste considerable y problemas térmicos.

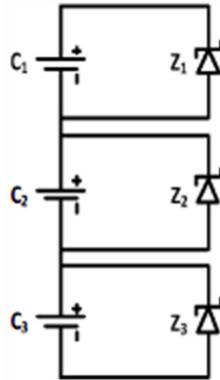


Fig 4: ecualizador de diodos zener

### 2.3. Resistencia conmutada

El siguiente circuito que vemos en la figura 3 es el circuito disipativo más común. Se fundamenta en la disipación de energía a través de una resistencia pero no de manera continua como en el circuito anterior sino que cuenta con un elemento de control. Puede funcionar de dos maneras. La primera forma consiste en que todos los interruptores se controlen con una misma señal de on/off lo que implicaría que todos cierren y abran a la vez. El segundo método y más eficiente requiere un mayor control, lo que se traduce en un mayor coste. En este método se monitorizan las células y cuando una esté llegando al límite se activa el transistor correspondiente y se disipa el exceso hasta igualar a la célula menos cargada. La eficiencia de este método está ligada a la capacidad que tenga el sistema de medir el voltaje o el SOC de cada célula de una manera correcta. Este tipo de equilibrado se puede aplicar a baterías de Ión-Litio.

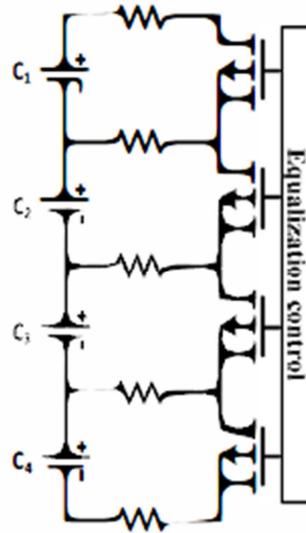


Fig 5: ecualizador de resistencia conmutada

El control de este tipo de circuitos se puede realizar de dos manera distintas:

- Control mediante un circuito integrado (C.I.) comerciales.
- Control mediante microprocesadores.

A continuación detallamos un poco más la diferencia de estos dos caminos.

### 2.3.1. Control mediante un C.I.

En este circuito vemos un sistema de equilibrado de cuatro células controlado mediante un C.I. En este contaje el C.I. mide periódicamente las tensiones de las células. Una vez medidas todas las células el sistema determina la célula con el voltaje más bajo y descarga las otras hasta igualar los voltajes. Las resistencias y la resistencia interna del MOSFET limitaran la determinarán la corriente máxima de equilibrio. Tambien vemos que hay un condensador en paralelo con el circuito disipador a fin de amortiguar el interruptor.

La principal ventaja de este sistema es la sencillez del circuito y que la implementación del algoritmo ya está integrada en el C.I.

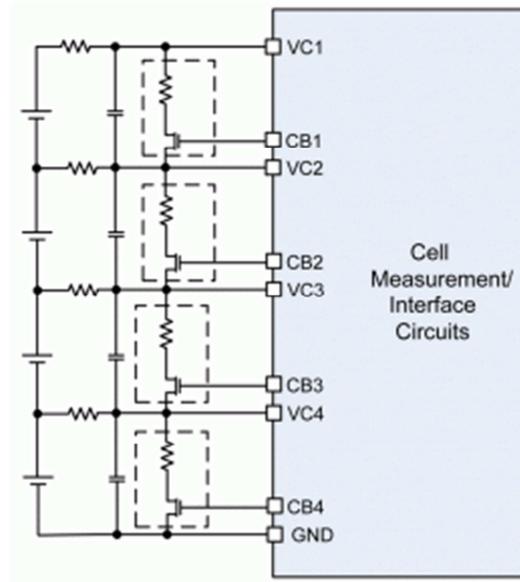


Fig 6: ecualizador de resistencia conmutada controlado por C.I.

Los inconvenientes de este montaje son los comunes de todo sistema de equilibrado pasivo. También hay que tener en cuenta que el algoritmo del controlador, la frecuencia de medición... no se puede modificar (o resulta complicado) lo que implica tener muy presente las características de la batería para buscar un C.I. que se adapte a ella.

### 2.3.2. Control mediante un microcontrolador

En este circuito vemos (de una manera simplificada) como se puede controlar el circuito de equilibrado pasivo mediante un microcontrolador. El circuito de disipación el mucho más simple que en casos anteriores pero se basa en lo mismo. Podemos ver como realiza las mediciones de cada célula las cuales alterna mediante un multiplexor, la frecuencia de esas medidas vemos que viene establecida por el microcontrolador la cual adaptaríamos al tipo de células con las que trabajemos.

Esa medida llega al controlador y el programa que está dentro de este elige que salida excitar y cuánto tiempo. Las posibilidades que puede haber dentro de este proceso las decide el programador del microcontrolador. Esto es una ventaja pero también un inconveniente pues ofrece más libertad de adaptación pero también es un gasto adicional al programarlo.

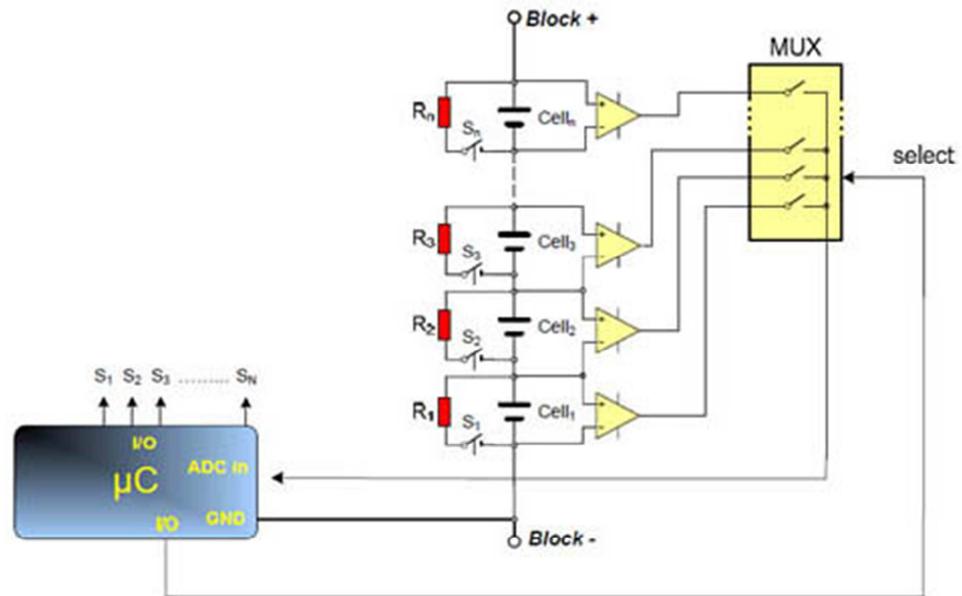


Fig 7: ecualizador de resistencia conmutada controlado por microcontrolador

También vemos el claro inconveniente que presenta el tener que usar un mayor número de componentes para realizar las mediciones y las selecciones de estas, algo de lo que en el anterior circuito teníamos ya es encargaba el C.I.

### 3. EQUILBRADO ACTIVO DE CELULAS (ACTIVE CELL BALANCING)

El equilibrado activo de las células de una batería está adquiriendo cada vez más importancia ya que solventa los principales defectos del equilibrado pasivo pero también presenta sus propios inconvenientes y hay incluso quienes opinan que para baterías con gran número de células puede llegar a resultar hasta antieconómico frente a un equilibrado pasivo.

La principal ventaja de este equilibrado es que no disipa la carga que tienen en exceso las células sino que la utiliza para equilibrar células menos cargadas a través de condensador o inductores (depende del circuito) consiguiendo un uso más eficiente de la energía y un mejor cuidado de la batería, lo que aumentará su vida útil. Del mismo modo que los pasivos deben ser controlados ya bien por un micro o por un circuito integrado comercial (C.I.).



Las principales desventajas del método de balanceo activo son:

- Más componentes que el equilibrio pasivo: mayor costo, menor fiabilidad, ocupa más volumen.
- Energía desperdiciada en stand-by vigente, podrá dar lugar a mayores pérdidas que el equilibrio disipador equivalente

Los principales tipos de circuitos de equilibrado activo son:

1. Circuitos basados en condensadores.
  - 1.1. Condensador conmutado
  - 1.2. Condensadores conmutados.
  - 1.3. Doble nivel de condensadores.
2. Circuitos basados en inductores/transformadores.
  - 2.1. Uno/varios inductores.
  - 2.2. Transformador conmutado.
  - 2.3. Transformador de bobinado múltiple.
  - 2.4. Múltiples transformadores.
3. Circuitos basados en convertidores.
  - 3.1. Convertidor tipo Cúk.
  - 3.2. Convertidor tipo reductor-elevador (Buck/Boost).
  - 3.3. Convertidor tipo rampa.
  - 3.4. Convertidor tipo puente-completo (Full-Bridge).
  - 3.5. Convertidor flyback.
  - 3.6. Convertidor cuasi-resonante.

Otra división muy utilizada para los equilibradores activos los divide en dos grupos:

- Equilibrado célula a célula (directa o adyacente) “cell to cell”.
- Equilibrado paquete a célula “pack to cell” o célula paquete “cell to pack”.

Estas dos últimas divisiones hacen referencia a la relación entre emisor y destinatario de la carga.

Aunque nosotros vamos a trabajar con la primera referencia dentro de la explicación de cada circuito haremos una nota de la segunda.

### **3.1. Condensador conmutado**

En este circuito vemos que solo se requiere un condensador y una serie de interruptores  $n+5$  ( $n$  es el número de células). Este serie un tipo de equalizador “cell to cell” adyacente o directa en función del control más o menos complejo que gobierne en equalizador.

En este tipo de circuito el control se encarga de conectar el condensador en paralelo con la célula B1 y después se abren estas conexiones y se cierran otras que lo



conectan con la B2. Y la diferencia de potencial entre el condensador y la célula decide si el condensador entrega carga o recibe más carga.

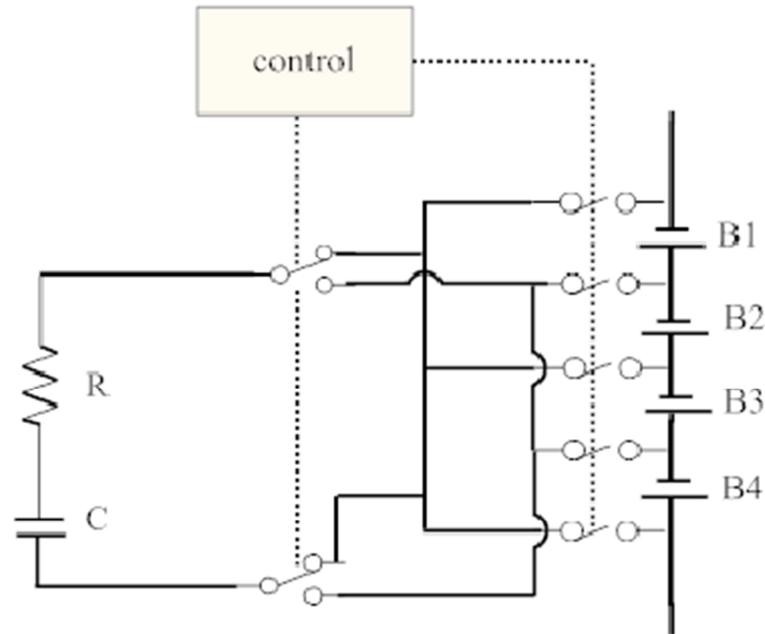


Fig 8: equalizador de condensador conmutado

Después realiza la misma maniobra con las demás células y cuando cabe con la última vuelve a empezar la serie. El que sea un proceso cíclico nos facilita mucho el control ya que bastaría con una secuencia fija que controle los interruptores pero este tipo de control haría la carga un proceso lento ya que si las células desequilibradas son las de los extremos tendría que hacer toda la serie antes de acabar de equilibrar toda la cadena y dejar la batería lista para el servicio. Este método puede ser mejorado mediante sistemas de medición y comparación inteligentes que decidan cual debe ser la secuencia en función de la carga de las células, algo que ahorraría mucho tiempo de carga sobre todo si las células más desequilibradas son la primera y la última.

Como inconvenientes tenemos que necesitamos una gran cantidad de interruptores que deben aguantar unos picos de intensidad que en función de los desequilibrios entre células pueden ser importantes. Estos picos se pueden limitar poniendo una resistencia en serie con el condensador pero esto aumentaría el tiempo de equalización y generaría pérdidas de carga. También tendremos en cuenta que muchos interruptores con sus resistencias internas presentan muchas pérdidas de carga (disipaciones) de hecho parte del equilibrado de este circuito se produce por estas disipaciones.



### 3.2. Condensadores conmutados

Este tipo de ecualización utiliza una serie de condensadores ( $n-1$ ) para equilibrar la carga de  $n$  células de una batería. Es un tipo de equilibrado “cell to cell”. Cuando los condensadores conmutan arriba y abajo varias veces transportan carga entre las células adyacentes de la cadena hasta que todas alcanzan el mismo valor de tensión. El grado de equilibrado es independiente de la capacidad del condensador, la frecuencia de conmutado, propiedades de los componentes o la naturaleza de las células.

Los conmutadores conmutan todos a la vez y conectan alternan continuamente entre en punto superior e inferior de sus contactos. Esta conmutación está controlada por una señal de reloj triestado en la que la posición alta sirve para poner todos los conmutadores en posición superior, la baja los pone en posición inferior y hay una posición intermedia conocida como tiempo muerto la cual evita posibles cortocircuitos.

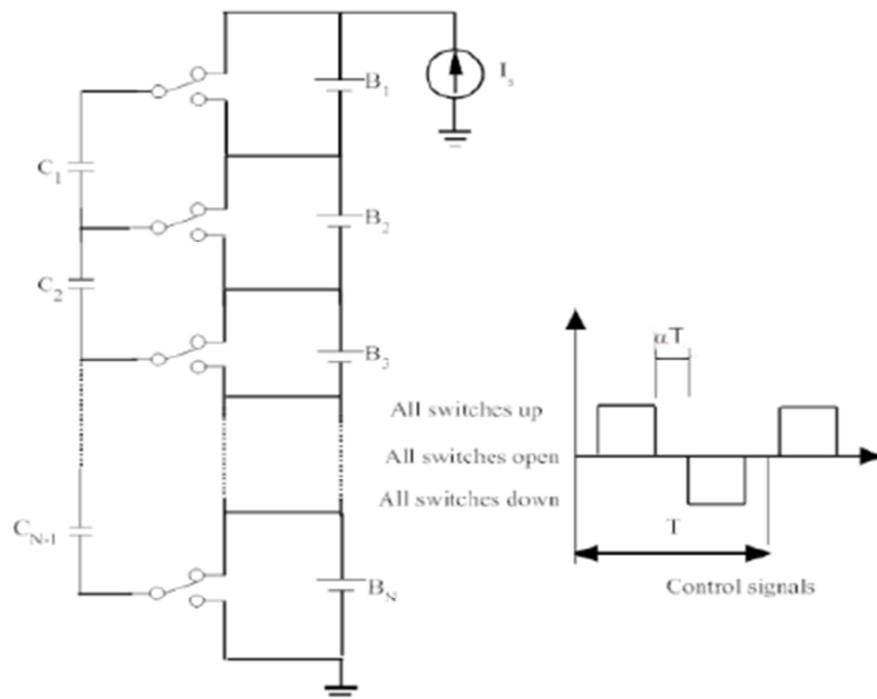


Fig 9: ecualizador de condensadores conmutados

Este tipo de equilibrado no requiere calibraciones y es capaz de equilibrar tanto células individuales como cadenas completas. Tampoco necesita un control continuo mediante sensores de ningún parámetro de la cadena sino que se activa el equilibrado (reloj) y cuando este acabe aunque sigan conmutando los condensadores no modifica la cadena de baterías, cierto que es un gasto de tiempo pero nada más.



---

Es una estructura modular la cual se puede ir ampliando con nuevos módulos sin importar si estos tienen condensadores de distinta capacidad con interruptores distintos. Y se puede realizar sin importar si la batería (conjunto) está en cargada, descargada o en proceso.

Como hemos dicho antes la capacidad del condensador no influye en el grado de ecualización pero sí determina la cantidad de carga transferida en cada conmutación, esto puede disminuir el tiempo necesario para la ecualización, el cual es su principal desventaja.

Respecto a la frecuencia de conmutación nos encontramos en dos situaciones, trabajar a frecuencia “baja” o a frecuencia “alta”.

A frecuencias relativamente bajas el circuito se comporta como un condensador conmutado estándar. En este caso la corriente de ecualización y por lo tanto la cantidad de energía transferida de cada conmutación dependerá de la frecuencia, la capacidad del condensador y la diferencia de voltaje entre células. Pero no depende del valor de resistencia del interruptor en estado ON. La principal ventaja de trabajar a frecuencias bajas es que los elementos de conmutación se pueden elegir para corrientes más bajas y los condensadores con capacidades más bajas, reduciendo así el precio.

Si trabajamos a frecuencias altas nos veríamos trabajando con las mayores corrientes posibles de ecualización. Tendríamos un circuito equivalente a tener las dos células adyacentes en paralelo conectadas a través de dos resistencias internas a las que debemos sumar las de los dos conmutadores. Trabajar a altas frecuencias tiene las ventajas de que reduce el tiempo necesario para el equilibrado y la mejora de este equilibrado. Pero también presenta el inconveniente que se disipa más carga que a bajas frecuencias.

### **3.3. Doble nivel de condensadores**

Ya hemos visto el modelo de ecualización basado en condensadores conmutados, en la que trabajamos con una sola “cadena” de condensadores, sin embargo en el método que vamos a explicar ahora trabajamos con un doble nivel de condensadores.

Para ello se añade una nueva “cadena” de condensadores o un condensador en paralelo con la primera cadena. Esta nueva “cadena” abre un nuevo camino para la transferencia de carga entre células que antes no eran adyacentes con lo que se reduce significativamente el tiempo necesario para el equilibrado de la batería, el principal problema del equilibrado mediante condensadores conmutados.



Como ejemplo vemos el siguiente circuito se han añadido los condensadores C5, C6 y C7. Si no se hubieran hecho estas modificaciones transferir carga de la célula B1 a la B3 hubieran sido necesarios dos ciclos de conmutación ya que en el primero se hubiera transferido carga desde B1 a B2 a través de C1 y en el segundo desde B2 a B3 a través de C2. Sin embargo gracias a C5 podríamos hacer este traspaso de carga en un solo ciclo reduciendo así el tiempo de equalización.

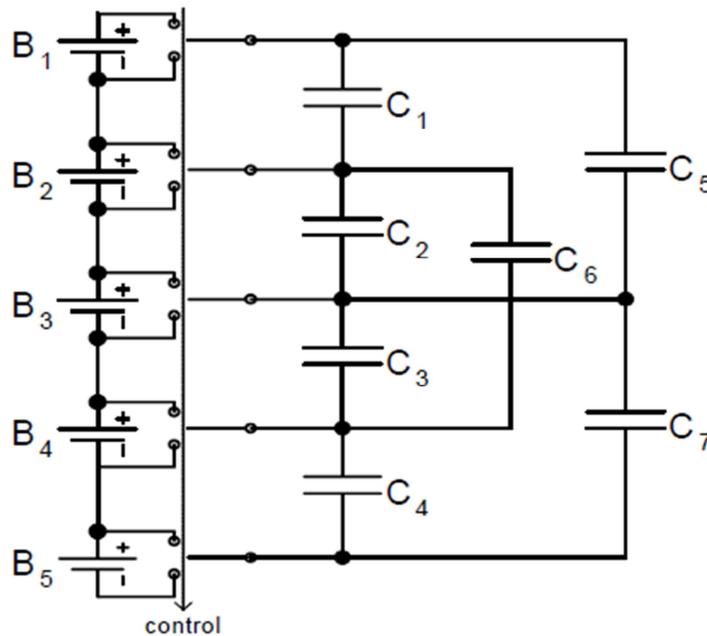


Fig 10: equalizador de doble nivel de condensadores

En el siguiente circuito lo que se ha hecho es dividir la cadena de células en distintos módulos (en este caso de 3 células cada uno) y presenta un nivel de condensadores para transferir carga “célula a célula” mientras que el segundo nivel de condensadores se encarga de transferir carga “módulo a módulo”. Consiguiendo una reducción del tiempo significativa del tiempo de equalización.

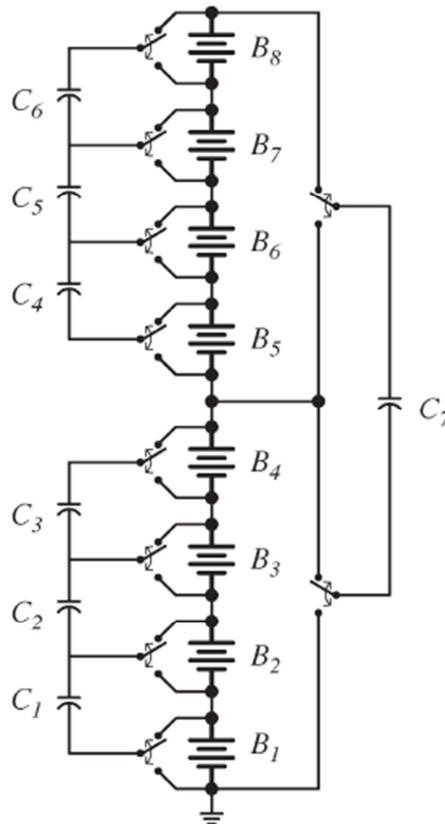


Fig 11: ecualizador de doble nivel de condensadores

### 3.4. Uno/varios inductores

En los circuitos de equilibrado que se basan en el uso de inductores, ya sea uno o varios, acumulan carga de las baterías más cargadas en dichos inductor/es para luego descargarla sobre una menos cargada. Básicamente son convertidores tipo buck-boost pero en configuraciones más simples y esencialmente no disipativa. Hay varios modelos distintos dentro de esta categoría, nosotros vamos a exponer dos de ellos.

#### 3.4.1. Un inductor

En el siguiente circuito vemos que cada terminal de las distintas células tiene dos posibles caminos unidireccionales. Uno de ellos los conecta al terminal A del inductor y el otro al terminal B del mismo. Cada uno de estos posibles caminos está controlado por un interruptor unidireccional. Salvo dos, uno de la primera y otro de la segunda célula, localizados al comienzo y final de la cadena, los cuales estas controlados por diodos.



Gracias al control sobre estos interruptores se puede controlar el paso de la corriente de la célula elegida al inductor. El tipo de equilibrado sería “cell to cell”.

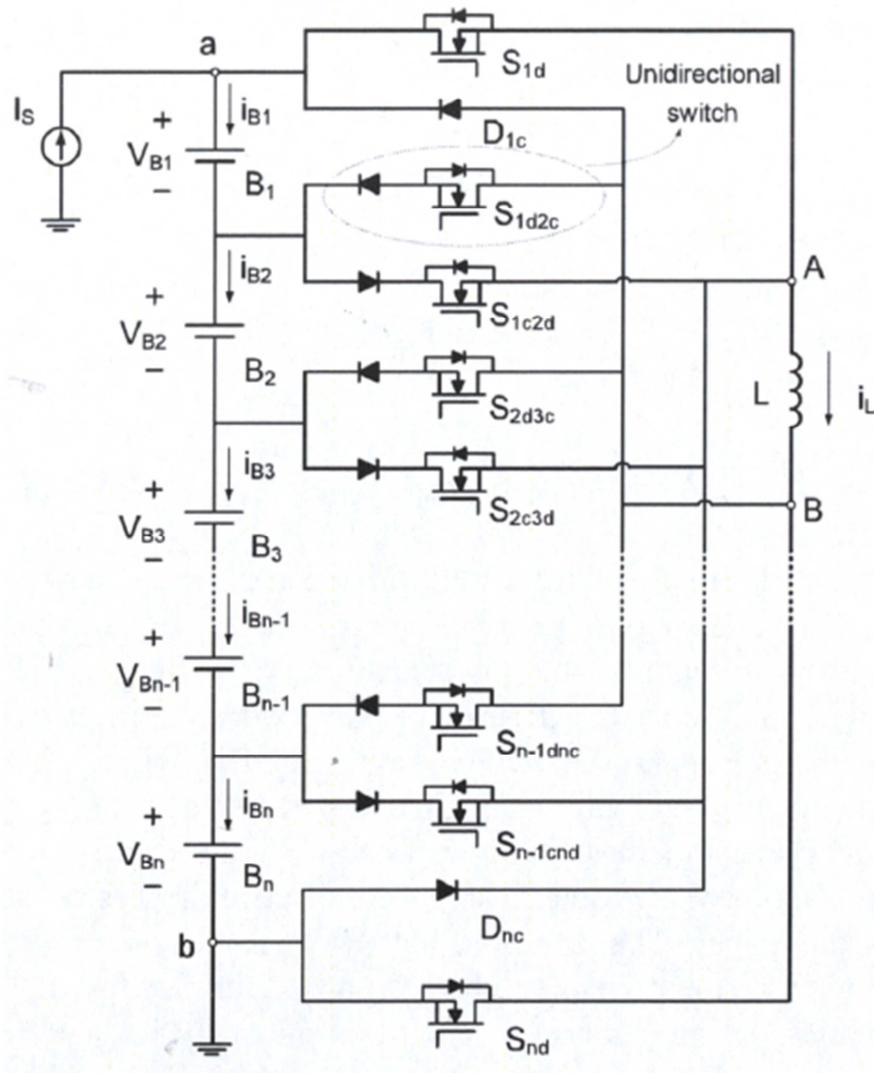


Fig 12: ecualizador de un inductor conmutado

Como ejemplo vamos a ver como transferiría carga de la batería B1 a la B2.

En primer lugar Cierra los interruptores S1d y S1d2c para que la corriente circule de la batería B1 por el inductor acumulando esta carga. Después se abre el interruptor S1d y se cierra el S2c3d, la corriente se mantiene su sentido descargando la carga acumulada en el inductor sobre la batería B2 hasta que su valor cae a 0A donde los diodos se encargan de que no sea la batería B2 la que ahora se empiece a descargar en el inductor.



Gráficamente el recorrido de la corriente sería el siguiente:

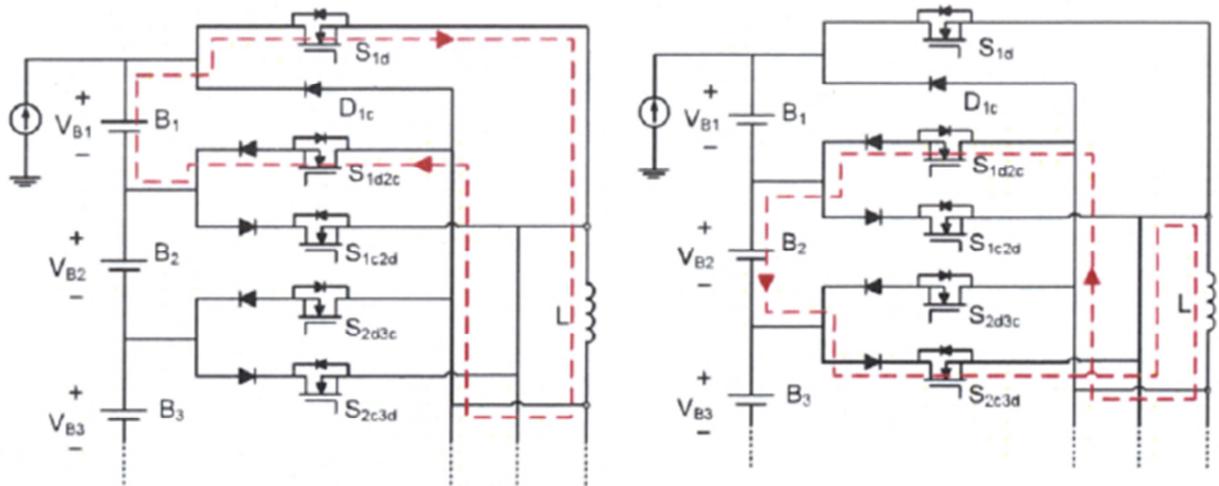


Fig 13: modo en equalización, equalizador de un inductor conmutado

La principal ventaja de este método es la rapidez con la que equilibra la carga de las baterías pero por el contrario presenta una serie de desventajas el gran número de interruptores que requiere, el control que debemos tener en el proceso es más complejo de lo deseado pues debemos controlar la carga de cada batería y que en caso de trabajar a frecuencias altas necesitaremos filtros.

### 3.4.2. Varios inductores

En este caso vemos que tenemos un menor número de interruptores pero más inductores. Podríamos definir un módulo de transferencia de carga entre dos células adyacentes, formado cada uno inductor y dos interruptores. Cada uno de estos módulos tiene la topología de un convertidor simple del tipo buck-boost. El número de estos módulos es igual al número de células menos 1.

El proceso de transferencia de carga entre dos baterías de la cadena sería similar al del anterior circuito pero es más sencillo de controlar ya que intervienen menos interruptores. Si por ejemplo quisiéramos transferir carga de  $V_1$  a  $V_2$  primero tendríamos que cerrar el interruptor  $T_1$ . El inductor  $L_1$  comenzará a acumular carga. Después abrimos el interruptor  $T_1$  y cerramos el  $T_1'$  haciendo así que la carga que ha acumulado el inductor se descargue sobre la batería  $V_2$ .

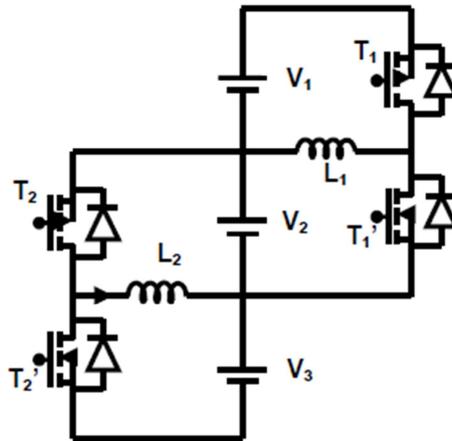


Fig 14: ecualizador de varios inductores conmutados

Las ventajas de este método de equilibrado es su rapidez y su eficiencia en el proceso de ecualización. Por el contrario sigue requiriendo un control relativamente complejo, si bien es cierto que es menos complejo que el circuito que solo usaba un inductor, pero sigue siendo complejo. Y sigue presentado el inconveniente de necesitar filtros de armónicos para frecuencias de conmutación altas.

### 3.5. Transformador conmutado (switched transformer)

En este tipo de circuito el elemento clave para el intercambio de la carga es un único transformador con un solo bobinado primario y secundario. El tipo de intercambio de carga puede ser “cell to pack” o “pack to cell” y es debido a esto que se requiere una correcta identificación de cuáles son las células más cargadas y sobre todo la menos cargada.

Y este control, ha de ser continuo y preciso si queremos conseguir un buen equilibrado. Este es el principal inconveniente de este sistema de ecualización.

El siguiente esquema representa al tipo circuito de equilibrado basado en un transformador conmutado.

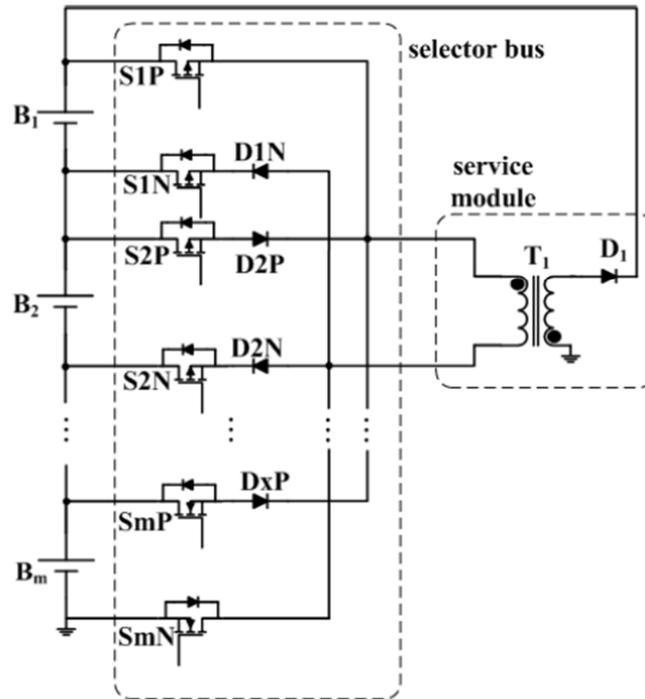


Fig 15: ecualizador de transformador conmutado

Si, por ejemplo una de las células esta sensiblemente más cargada que las demás, pudiéndose transferir carga de dicha batería a la cadena tendríamos que activar los MOSFET (tanto el P como el N) de dicha célula. En esa situación trabajaríamos con un circuito como el siguiente.

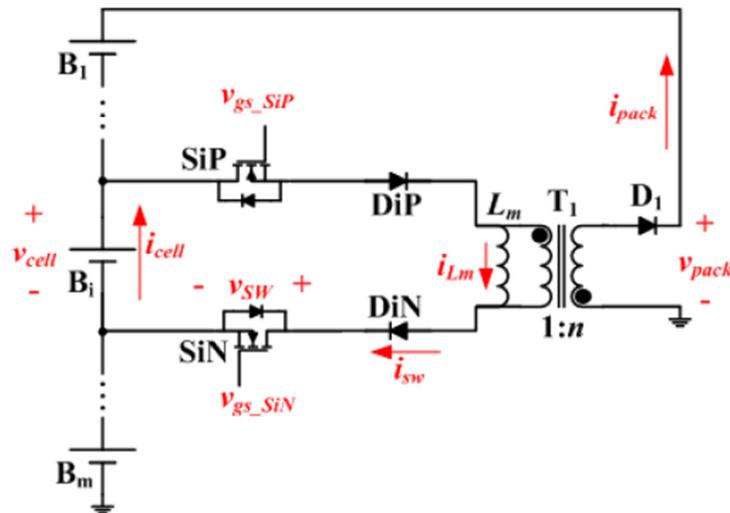


Fig 16: ecualización en un ecualizador de transformador conmutado

En esta situación es la célula Bi la que tiene un exceso de carga en comparación con las del resto del paquete. Para que dicha célula se descargue en el transformador



activamos los MOSFET SiP y SiN y una vez este cerca de la saturación se abren los dos MOSFET y la carga acumulada en el transformador se descarga sobre la cadena de células.

Hay que marcar la importancia de los diodos DiP y DiN para impedir que se puedan producir cortocircuitos en las células adyacentes a la que se está descargando.

Este método de equilibrado de células es rápido y presenta pocas pérdidas pero también presenta una serie de inconvenientes. Como pueden ser la complejidad del control, el precio y que si aumentamos en número de células de la cadena nos deja de servir el transformador original.

### **3.6. Transformador de bobinados múltiples**

El principio del equilibrado de este tipo de circuito se basa en un convertidor tipo flyback. El elemento principal de este tipo de ecualizador es un transformador con múltiples bobinados secundarios, uno para célula de la cadena que queremos equilibrar.

El transformador será el encargado del transporte de la energía. Este tipo de transformador es adecuado para almacenar energía en un campo magnético. Posee un espacio de aire en el núcleo de ferrita que aumenta la resistencia magnética para reducir la saturación.

La conexión del transformador se realiza de la siguiente forma:

- El lado primario se conecta a toda la cadena.
- Cada uno de los bobinados secundarios se conectan a una célula de dicha cadena.

El uso bidireccional del transformador permite dos métodos distintos de equilibrado, en función del tipo de desequilibrio que encontremos.

Una vez hayamos medido el voltaje de todas las células y hayamos calculado el voltaje medio comprobaremos si la célula que presenta la mayor desviación lo presenta en sentido positivo (estaría más cargada que la media) o negativo (menos cargada que la media).

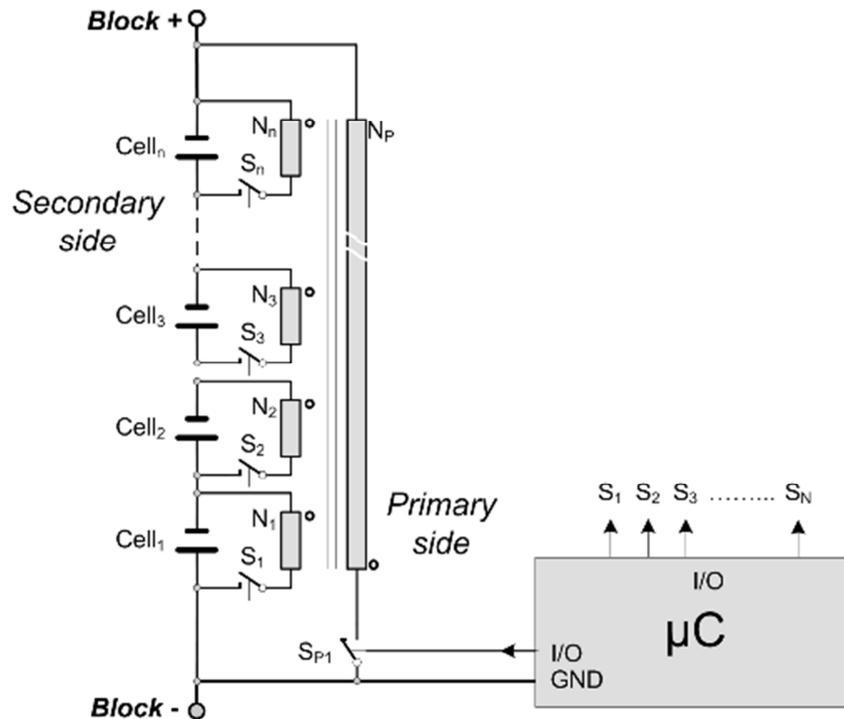


Fig 17: ecualizador de transformador de bobinados múltiples

En caso de encontrarnos ante una desviación (sustancial) positiva aplicaríamos un equilibrado llamado top balancing. En el caso contrario usaríamos el llamado bottom balancing.

### Top balancing:

Si una célula está sensiblemente más cargada que las otras resulta útil poder transferir ese exceso de carga al resto de las células. Este tipo de equilibrado se realiza durante el proceso de carga para prevenir la sobrecarga de una célula. Supongamos que estoy cargando la cadena y una de las células se acerca peligrosamente al margen superior de carga, debería para la carga de toda la batería para no dañar dicha célula, por lo que perdería capacidad de la batería. Sin embargo gracias a este método de equilibrado puedo transferir ese exceso de carga al resto de la cadena y seguir cargando la batería.

En la siguiente figura vemos un ejemplo en el que después de medir la tensión de todas las células vemos que la célula 5 es la más cargada y vemos el proceso de transferencia de carga de dicha célula a la cadena completa.

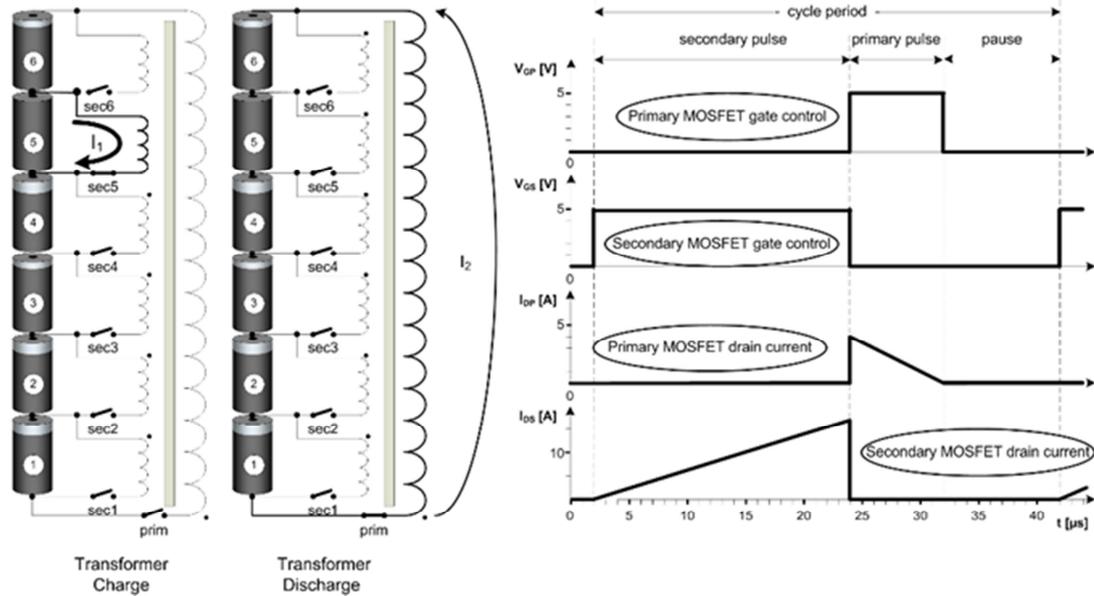


Fig 18: equalización Top balancing

Gracias a este método de equilibrado podemos cargar todas las células completamente, pero claro en función de lo completa que queramos que sea la carga necesitara más o menos tiempo, dependiendo de la corriente de carga, la corriente de equilibrado, el estado de carga de cada célula y la capacidad de estas.

### Bottom balancing

El siguiente método de equilibrado se suele usar durante la descarga de la batería mejorando así el aprovechamiento de la energía almacenada en ella. Si una de las células de la cadena esta próxima al límite inferior de carga debería para la descarga desaprovechando el resto de cagar almacenada en las demás células. Sin embargo si aplicamos bottom balancing puedo almacenar energía en el trasformador procedente de toda la cadena de células y después transferirla a la menos cargada.

En la siguiente figura vamos a ver una cadena en la que se ha identificado la célula 2 como la más débil y los pasos que realiza el equalizador para cargarla al mismo nivel que el resto.

Este metodo podemos descarga una bateria hasta que sus células estan totalmente descargadas dependiendo de la corriente de descarga, la corriente de equilibrado, el estado de carga de cada célula y la capacidad de estas

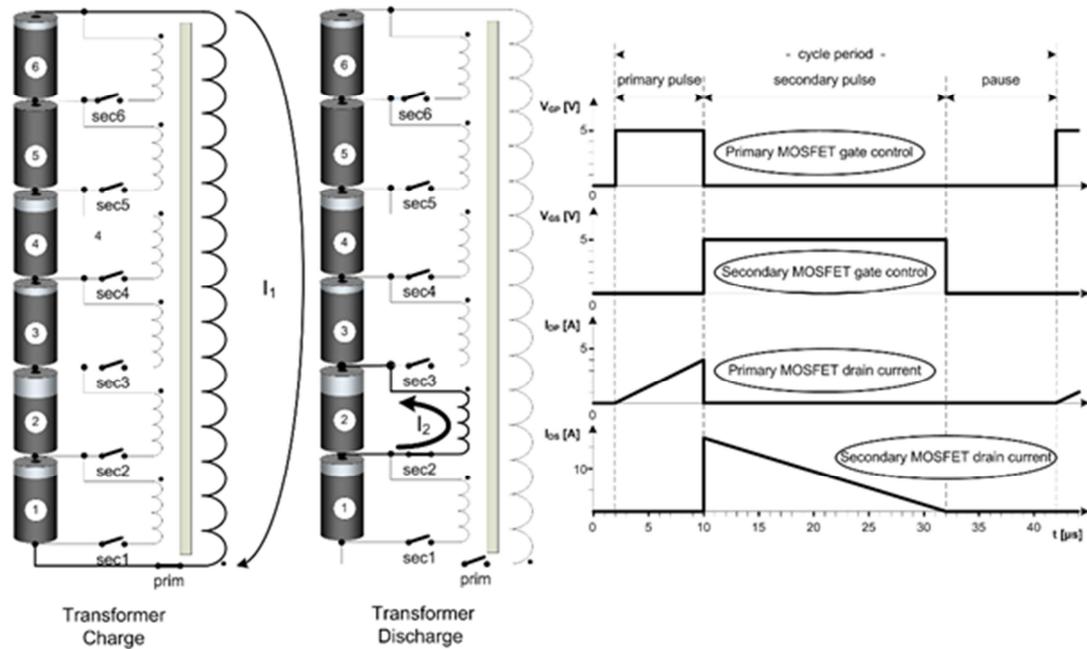


Fig 19: ecualización Bottom balancing

El método basado en transformadores de múltiples bobinados resulta muy eficaz y versátil como hemos visto pero también tiene una serie de inconvenientes. Sus principales inconvenientes son que resulta caro debido al gran número de elementos que requiere y necesita un control complejo, aparte también podemos mencionar que no podríamos ampliar la cadena de la batería debido a las limitaciones a las que nos ata el transformador.

Para solucionar estos problemas tenemos un par de estructuras secundarias derivadas de esta que usan menos componentes y requieren un menor control pero a coste de perder versatilidad. Estas estructuras son:

- Estructura flyback (pack to cell).
- Estructura forward (cell to cell).

El circuito con estructura flyback cierra el interruptor del bobinado primario y acumula energía en dicho bobinado. Cuando se abre el circuito la energía se transfiere al secundario, en función de la carga de las células se repartirá la corriente de modo que llegara más a las menos cargadas vía diodos. El único elemento de control es el que corta corriente del primario lo cual es una ventaja ya que facilita mucho el funcionamiento.

En la estructura forward cuando se detecta una diferencia de voltaje, se cierra el interruptor de la célula con mayor voltaje y la energía se transfiere de dicha célula a las otras a través del transformador de los diodos en anti-paralelo. Este esquema es más costoso que el anterior tanto en precio como en control.

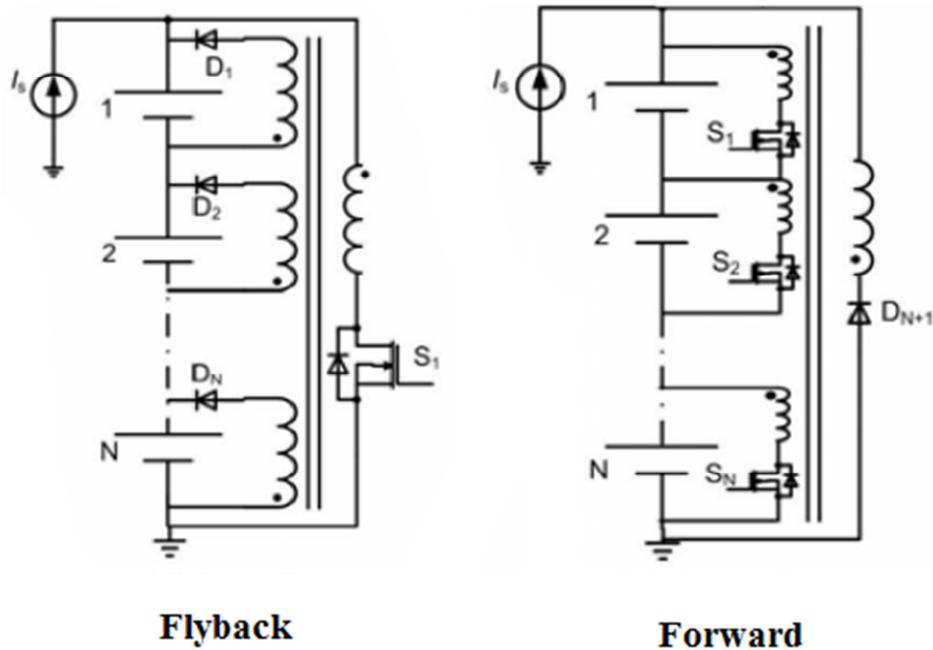


Fig 20: ecualizadores de estructura Flyback y Forward

### 3.7. Múltiples transformadores

Los ecualizadores con múltiples transformadores son un variante de los circuitos anteriores en los que en vez de usar un transformador con bobinado múltiple en el que (generalmente) hay un bobinado secundario por cada célula a equilibrar hay un transformador por cada célula a equilibrar.

El siguiente esquema es un ejemplo de un ecualizador con múltiples transformadores en el que podemos ver como los bobinador primarios se conectan cada uno a su respectiva célula y los secundaros se conectan entre sí en paralelo.

Comparados con los de bobinados múltiples este sistema elimina la dificultad de la incorporación de nuevas células a la cadena. Con este sistema se suele dividir las baterías en cadenas y estas en cadenas más pequeñas siendo entonces un transformador para cada cadena pequeña u la ecualización “pack to pack”.

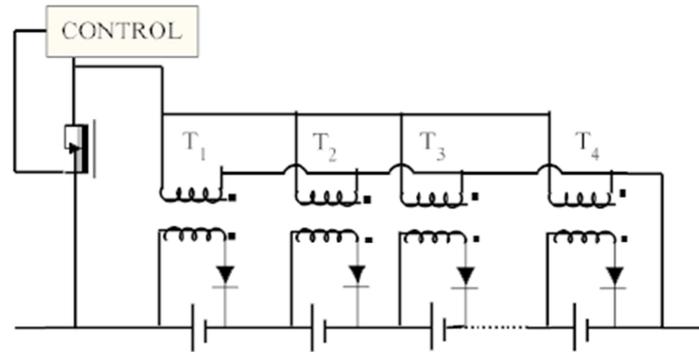


Fig 21: ecualizador de múltiples transformadores

### 3.8. Convertidores tipo Cûk

El método de equilibrado de las células de batería que vamos a estudiar en este apartado está basado en el uso de convertidores DC-DC del tipo Cûk en los que el elemento principal de almacenamiento de energía es el condensador.

Podemos ver un ejemplo de un ecualizador basado en convertidores tipo Cûk en la siguiente figura.

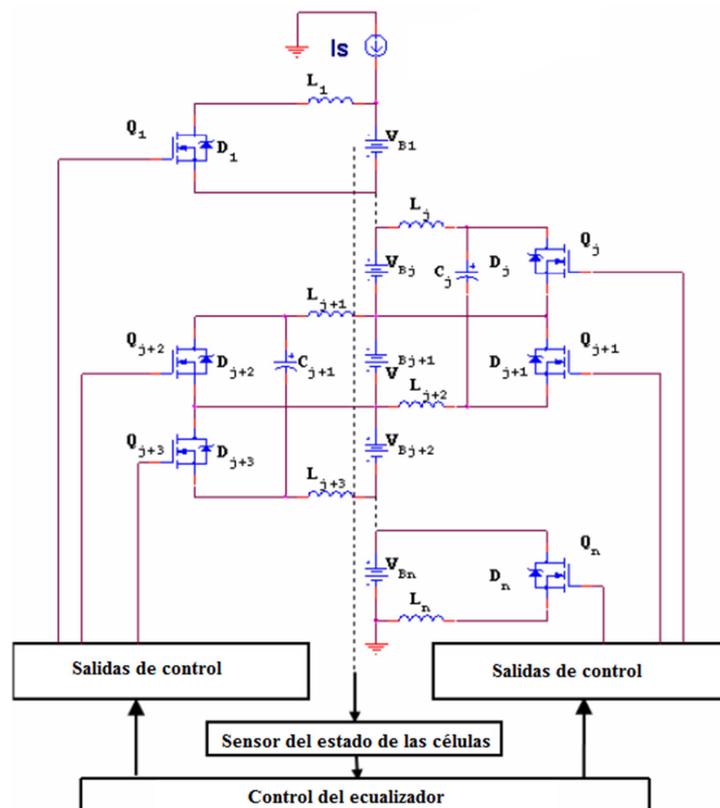


Fig 22: ecualizador de convertidores Cûk



Vemos como la cadena de células compuesta por  $n$  células está acompañada por un número de módulos de equalización individual igual a  $n-1$ .

Cada uno de los módulos se trata de un convertidor  $C^{u}k$  compuesto por dos inductores ( $L$ ) un condensador ( $C$ ) y dos transistores MOSFET.

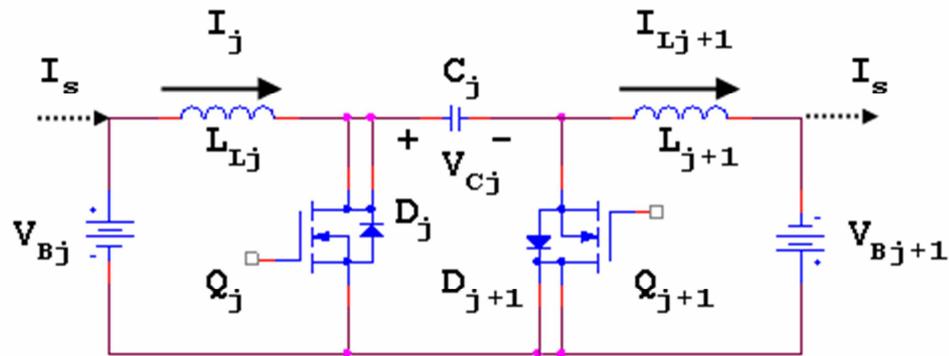


Fig 23: módulo de un equalizador de convertidores  $C^{u}k$

La energía transferida entre las dos células contiguas que forman parte de un mismo de módulos de equalización individual dependerá de la diferencia del estado de carga de estas y del control sobre sus respectivos MOSFET.

Estas dos células contiguas se equilibrarán mediante la conexión o desconexión de los MOSFET de acuerdo con las señales que le mande en PWM del controlador del BMS.

El convertidor tipo  $C^{u}k$  es un convertidor bidireccional el cual se usa en el equilibrado de tipo “cell to cell” de células adyacentes. Dado que traspasan la carga de célula vecina a célula vecina este método de equalización es un método lento, especialmente si la cadena de células es larga.

El elevado número de elementos que forman estos circuitos encarece su implementación y el gran número de interruptores complica ligeramente su mando. Pese a eso es un tipo de equalizador con un nivel de eficiencia bueno.

### 3.9. Convertidores tipo Buck-Boost

El método de equilibrado de las células de batería que vamos a estudiar en este apartado está basado en el uso de convertidores DC-DC del tipo Buck-anod/or-Boost en los que el elemento principal de almacenamiento de energía es el condensador.

En la siguiente imagen vamos a ver un sistema de equalización de una batería mediante convertidores tipo Buck.

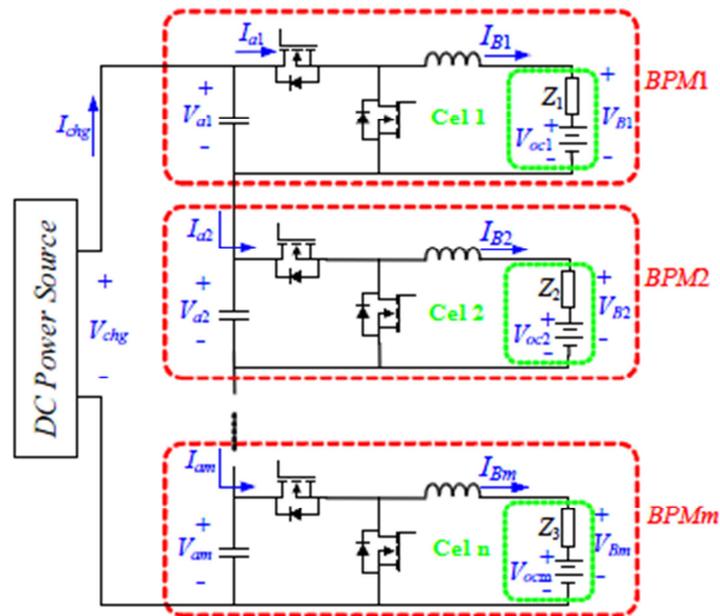


Fig 24: equalizador de convertidores Buck-Boost

Podemos ver que es un tipo de equalización modular. Tenemos un módulo BPM por cada célula de la batería, representada por una fuente DC y su impedancia interna. También podemos ver que los que acumulan la carga en un primer momento son los condensadores de cada módulo, conectados en serie y que después se encargan de transferir esa carga acumulada a su correspondiente célula.

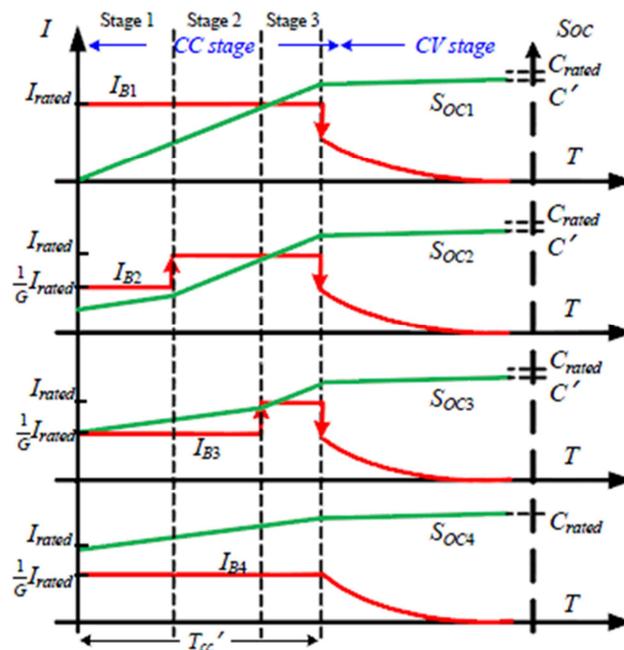


Fig 25 equalización de un equalizador de convertidores Buck-Boost



Supongamos una batería compuesta por 4 células con una gran diferencia de SOC el sistema de control identificará la batería menos cargada (Célula1) y se encargará de realizar una carga en corriente constante (CC) a dicha batería hasta que alcance a la segunda menos cargada (Célula2) así sucesivamente hasta que todas tengan en mismo SOC. Después de esto mantendrá la misma corriente de carga a todas hasta que toque cambiar el modo de carga a tensión constante (CV). Hasta que finalice la carga de la batería en conjunto. Vemos como en función de la célula que se quiere carga en cada momento se configura su correspondiente convertidor para que suministre más corriente que al resto.

Estos tipos de ecualizadores requieren un buena medida lo más exacta posible del voltaje de cada célula así como un control complejo. Esto los convierte en ecualizadores relativamente caros aunque muy buenos para en diseño modular.

### 3.10. Convertidores tipo rampa

El método de equilibrado de las células de batería que vamos a estudiar en este apartado está basado en el uso de convertidores DC-DC del tipo rampa.

En la siguiente figura mostraremos un ecualizador de 27 células basado en convertidores de tipo rampa el cual se modifico para eliminar pérdidas en las conmutación de los interruptores Q1 y Q2 y todos los diodos D1-D27.

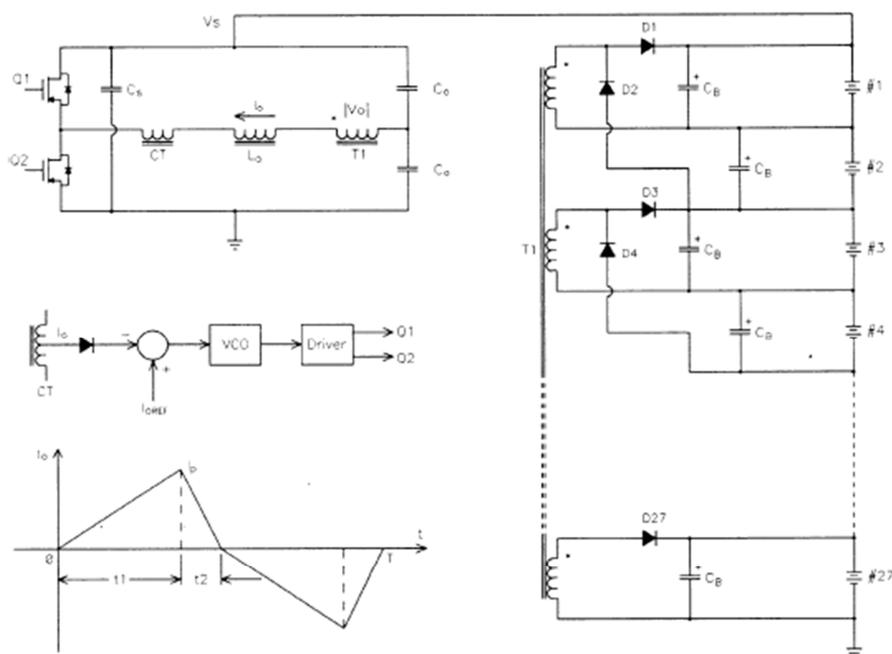


Fig 26: ecualizador de convertidores rampa



Podemos ver que necesitamos un número de bobinados secundarios igual a la mitad del número de células, en caso de ser un número impar necesitaremos otro bobinado secundario para la última célula que nos quede suelta.

La frecuencia de conmutación  $f_s$  vendrá determinada por la siguiente ecuación.

$$f_s \gg f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{2L_0C_0}}$$

Se trata de un tipo de ecualización pack to cell en el que durante a primera mitad del ciclo la mayor parte de la corriente se suministrará a las células impares menos cargadas, y durante la otra mitad a las pares menos cargadas.

### 3.11. Convertidores tipo full-bridge

El método de equilibrado de las células de batería que vamos a estudiar en este apartado está basado en el uso de convertidores DC-DC del tipo Full-Bridge. La incorporación del transformador, que proporciona aislamiento galvánico entre la entrada y la salida también ayuda a la conversión de tensiones, con lo que reduce estreses en componentes semiconductores.

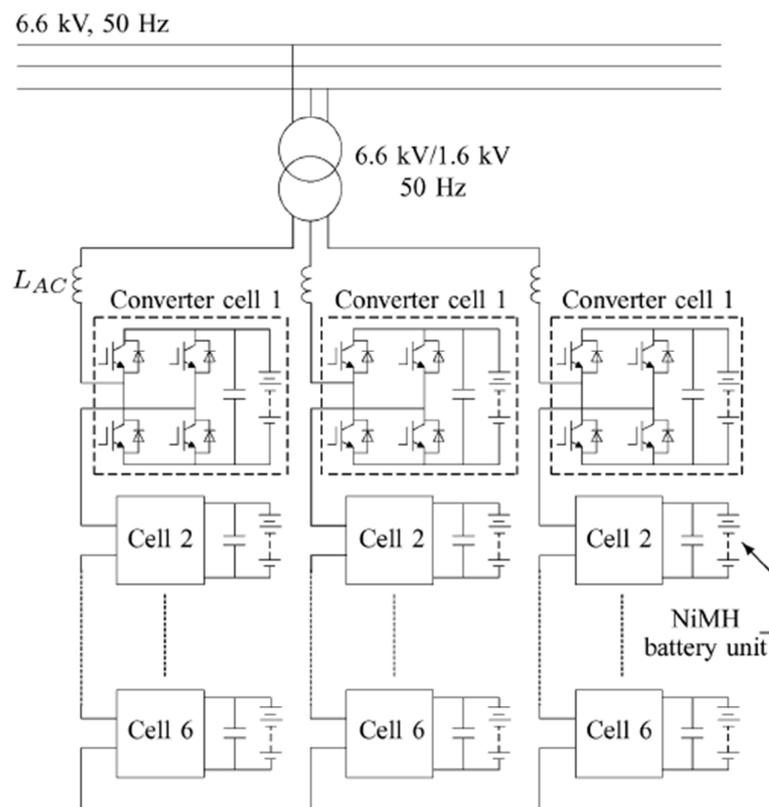


Fig 27: ecualizador de convertidores full-bridge



Estos tipos de convertidores son frecuentemente usados para la conversión DC/DC en aplicaciones de alta potencia, algo que vamos a ver en el siguiente esquema.

Este esquema se usa para compensar fluctuaciones en la alimentación de un sistema grupo de baterías divididas en tres clusters y cada cluster en tres células. Los convertidores full-bridge de cada célula se encargan no solo de la ecualización de los clusters entre sí sino también de las células que los componen.

Resulta evidente dado que trabaja con sistemas de alta potencia y de lo complejo de su control que el punto débil de este tipo de ecualizadores es su precio.

### 3.12. Convertidores tipo Flyback

El método de equilibrado de las células de batería que vamos a estudiar en este apartado está basado en el uso de convertidores DC-DC del tipo Flyback.

Estos convertidores proporcionan un aislamiento galvánico gracias a la incorporación de un transformador en su circuito, el cual no solo funciona como elemento de aislamiento sino que en el convertidor tipo Flyback que el bobinado del transformador no almacena más que una mínima parte de la energía que se pretende transferir, el núcleo magnético por el contrario almacena casi la totalidad de esta. En la siguiente figura veremos un ejemplo de implementar un ecualizador de baterías mediante convertidores tipo Flyback.

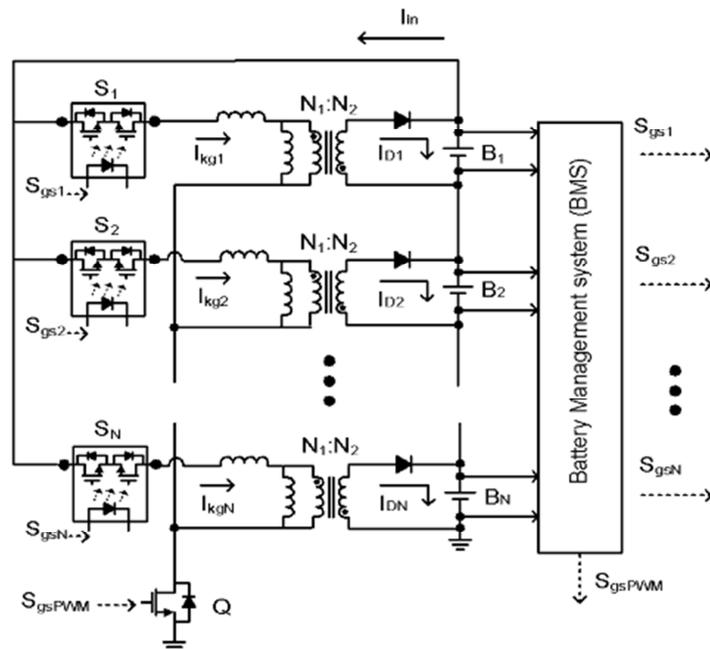


Fig 28: ecualizador de convertidores Flyback



En este ecualizador vamos a distinguir dos estados básicos para transferir carga:

1. Estado 1 en el que el interruptor Q está a On y todos salvo uno de los interruptores S (el de la célula a que la queremos transferir carga están a Off).
2. Estado comienza en el instante en que el interruptor Q pasa a estado Off.

En el estado 1 la cadena de célula de la batería carga el transformador correspondiente a la célula menos cargada y cuyo interruptor S esta en modo de conducción. Cuando el interruptor Q pasa a estar abierto y no deja que el transformador se siga cargando la carga acumulada en este se descarga sobre la célula que queremos cargar.

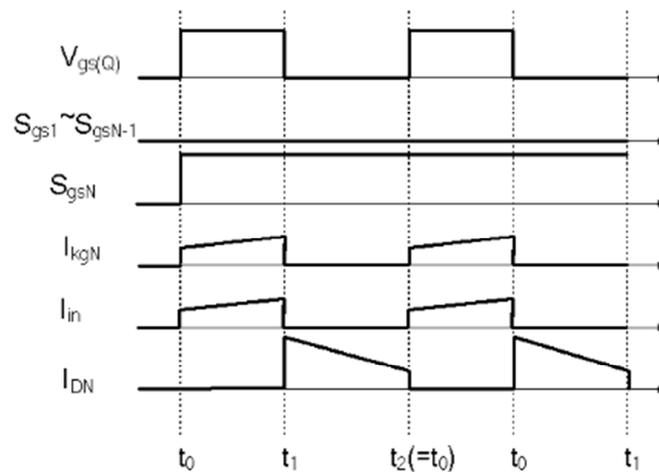


Fig 29: ecualización de un ecualizador de convertidores Flyback

Los modelos de ecualizadores basados en convertidores Flyback pueden ser convertidores tipo pack to cell o cell to pack. Mientras que el control no es excesivamente complejo es uso de transformadores encarece su implementación. Debido al volumen que pueden alcanzar en caso de usarse en aplicaciones de alta potencia estos circuitos se recomiendan para ecualizar sistemas de baja potencia.

### 3.13. Convertidores cuasi-resonantes

El método de equilibrado de las células de batería que vamos a estudiar en este apartado está basado en el uso de convertidores DC-DC cuasi-resonantes.

En los anteriores ecualizadores cuya implementación se basaba en el uso de circuitos convertidores de DC/DC uno de problemas que surgían, sobretudo en sistemas de potencias altas, eran las pérdidas en las conmutaciones. Un modo de mitigar esas pérdidas es conseguir que en el instante de esas conmutaciones haya corriente o tensión 0.



En la siguiente imagen vamos a ver un ecualizador implementado mediante convertidores buck-boost modificado a un comportamiento cuasi-resonante.

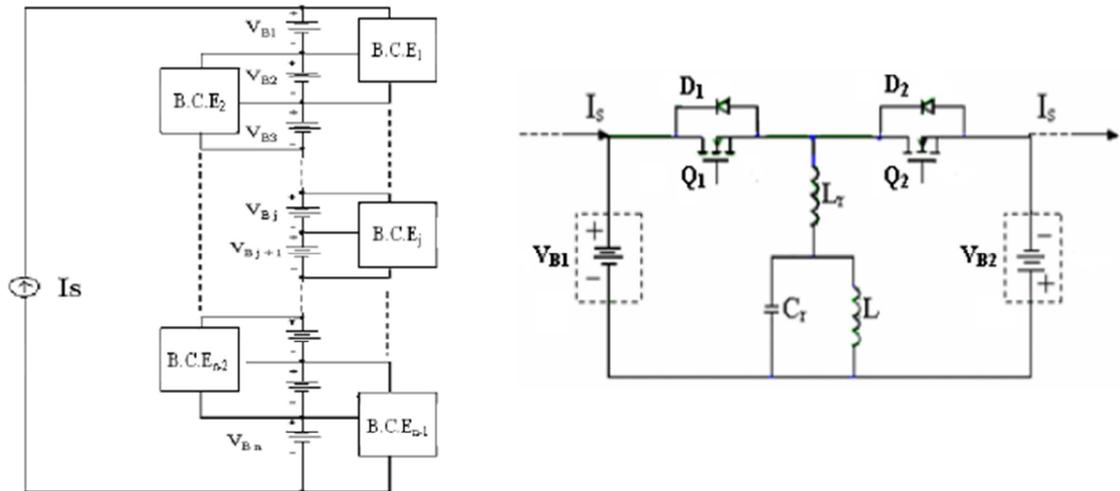


Fig 30: ecualizador de convertidores buck-boost resonantes

Se puede ver que en este modelo se trata de una ecualización cell to cell en el que el elemento de almacenamiento de carga es el  $L_T$  u el grupo de condensador y bobina en paralelo se encarga de hacer que las conmutaciones de los MOSFET se realicen a corriente cero.

Como ya hemos dicho la ventaja de este circuito es la reducción de las pérdidas de conmutación pero al haber incluido un mayor número de elementos aumenta su precio y el control.

#### 4. TABLAS COMPARATIVAS

En esta sección realizaremos serie de tablas en las que se podrán ver de manera más directa las principales características de los distintos ecualizadores anteriormente.

En la primera tabla realizaremos una comparativa de sus principales características ya bien de su funcionamiento como de los elementos que la componen.

En la segunda tabla expondremos las principales ventajas y desventajas.



Tipo	Velocidad de equilibrado	Complejidad De control	Implementación	Tamaño	Precio	Tipo Carga/descarga	Aplicaciones	Eficiencia	Estrés V & I		Elementos activos/ pasivos por número de células (n) y de cadenas (m)					
									V	I	R	L	C	In	D	Nh
Resistencia fija	S	Muy simple	M	E	E	Fija	Baja potencia	P	0	0	n	0	0	0	0	0
Diodos Zener	S	Muy simple	M	E	E	Carga	Baja potencia	P	0	0	0	0	0	0	n	0
Resistencia conmutada	B	Simple	B	E	E	Carga	Baja potencia	S	S	S	n	0	0	0	0	n
Condensador conmutado	S	Compleja	MB	MB	MB	Bidireccional	Media/Alta	MB	E	P	1	0	1	n+5	0	0
Condensadores conmutados	S	Media	MB	B	B	Bidireccional	Media/Alta	B	E	M	0	0	n-1	2n	0	0
Doble nivel de condensadores	G	Media	MB	B	B	Bidireccional	Media/Alta	B	E	M	0	0	n	2n	0	0
Un inductor	MB	Compleja	E	B	B	Bidireccional	Media/Alta	B	B	E	0	1	0	2n	2n	0
Varios inductores	MB	Compleja	E	B	B	Bidireccional	Media/Alta	B	B	E	0	n-1	0	n-1	0	0
Transformador conmutado	B	Compleja	B	B	S	Carga	Media/Alta	S	B	E	0	2	0	n+6	1	1
Transf. bobinado múltiple Flyack	B	Media	B	S	S	Carga	Media/Alta	S	M	E	0	n+1	0	1	n	1
Transf. bobinado múltiple forward	B	Compleja	MB	S	S	Carga	Media/Alta	S	S	S	0	n+1	0	n	1	1
Múltiples transformadores	S	Compleja	B	S	S	Bidireccional	Media/Alta	S	B	B	0	2n+2m	0	m	n	m+n
Convertidor tipo Cûk	S	Compleja	E	B	B	Bidireccional	Media/Alta	B	E	MB	0	n+1	n-1	n+1	0	0
Convertidor tipo Buck/Boost	B	Compleja	B	B	B	Bidireccional	Media/Alta	B	E	E	0	n	n	2n	0	0
Convertidor tipo rampa	S	Compleja	S	S	S	Bidireccional	Media/Alta	S	E	MB	0	n/2	n	n	n	1
Convertidor tipo Full-Bridge	MB	Compleja	MB	S	S	Bidireccional	Alta	MB	E	E	0	0	m	4m	0	0
Convertidor tipo flyback	B	Compleja	B	S	S	Bidireccional	Media/Alta	S	E	MB	0	2n	0	2n	0	n
Convertidor cuasi-resonante	S	Media	S	S	S	Bidireccional	Media/Alta	B	E	E	0	2n-2	n-1	2n-2	0	0

E: excelente; MB: muy buena; B: buen; S: satisfactoria; M: mala R:resistencia; L: inducores; Condensadores; In: interruptores; D: diodos; Nh: entre hierro



Tipo	Ventajas	Desventajas
Resistencia fija	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Barato, fácil de implementar, tamaño reducido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala efectividad, ineficiente, pérdidas de energía.</li> </ul>
Diodos Zener	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce las pérdidas de energía del anterior método.</li> <li>• Barato, fácil de implementar, tamaño reducido.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No protege durante la descarga.</li> <li>• Requiere control térmico.</li> </ul>
Resistencia conmutada	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Barato, fácil de implementar y rápida equalización.</li> <li>• Función durante la carga y la descarga pero mejor solo durante la carga.</li> <li>• Adecuado HEV y par VE con baterías de 10 mA/Ah.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja efectividad. Pérdidas de energía considerables.</li> <li>• Elementos de gran potencia en función de la batería.</li> <li>• Requiere control térmico.</li> </ul>
Condensador conmutado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control simple. Funciona tanto en carga como en descarga.</li> <li>• Un solo condensador y pocos interruptores. Apto para VE y HEV.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de equalización regular.</li> <li>• Si se quiere una mejora en la velocidad el control es complejo.</li> </ul>
condensadores conmutados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control simple. Funciona tanto en carga como en descarga.</li> <li>• Bajo estrés de tensión. No requiere control de lazo cerrado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de equalización sigue siendo regular.</li> <li>• Bajo rango de equilibrado.</li> <li>• Se requieren muchos interruptores.</li> </ul>
Doble nivel de condensadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce el tiempo de equilibrado de los otros montajes con condensadores.</li> <li>• Adecuado para el uso en VE y HEV.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de equalización sigue siendo regular.</li> <li>• Se requieren muchos interruptores.</li> </ul>
Un inductor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidez en la equalización.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control complejo. Los interruptores sufren estrés de corriente.</li> <li>• Se necesitan filtros de por la altas frecuencia de conmutado</li> </ul>
Varios inductores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidez en la equalización.</li> <li>• Buena eficiencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere un control preciso de las tensiones.</li> <li>• Los interruptores sufren estrés de corriente.</li> <li>• Se necesitan filtros de por la altas frecuencia de conmutado.</li> </ul>
Transformador conmutado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidez en la equalización.</li> <li>• Bajas pérdidas magnéticas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control muy complejo. Implementación cara.</li> <li>• Si se añaden una o más células hay que cambiar el núcleo.</li> </ul>
Transf. bobinado múltiple Flyack	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidez en la equalización. No se necesita control en lazo cerrado</li> <li>• Adecuado para el uso en VE y HEV.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste alto.</li> <li>• Dificultad de añadir más células.</li> </ul>
Transf. bobinado múltiple forward	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidez en la equalización. No se necesita control en lazo cerrado</li> <li>• Adecuado para el uso en VE y HEV.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste alto.</li> <li>• Dificultad de añadir más células.</li> </ul>
Múltiples transformadores	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rapidez en la equalización. No se necesita control en lazo cerrado</li> <li>• Adecuado para el uso en VE y HEV. Fácil adición de nuevas células.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste alto.</li> <li>• La eficiencia no es óptima debido a las pérdidas magnéticas.</li> </ul>
Convertidor tipo Cûk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adecuado para el uso en VE y HEV.</li> <li>• Buen nivel de eficiencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste alto.</li> <li>• Control complejo.</li> </ul>
Convertidor tipo Buck/Boost	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena velocidad de equalización.</li> <li>• Fácil aplicación en diseño modular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste alto.</li> <li>• Control preciso.</li> </ul>
Convertidor tipo rampa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conmutado suave junto con un transformador simple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control complejo. Velocidad de equalización regular.</li> </ul>
Convertidor tipo Full-Bridge	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buena velocidad de equalización.</li> <li>• Muy bueno para aplicaciones de transporte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste alto.</li> <li>• Control complejo y preciso.</li> </ul>
Convertidor tipo flyback	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil implementación en cadenas largas de células</li> <li>• Adecuado para el uso en VE y HEV. Y para sistemas modulares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requiere una medida de tensiones óptima.</li> <li>• La velocidad de equalización regular.</li> </ul>
Convertidor cuasi-resonante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajo estrés en corriente en los interruptores. Buena eficiencia-</li> <li>• Implementación simple.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coste alto.</li> <li>• Control preciso y complejo.</li> </ul>



**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

## **ANEXO Nº 6**

**APLICACIÓN PRÁCTICA:  
SELECCIÓN ADOPTADA**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



## ÍNDICE ANEXO 6

<b>1. SELECCIÓN DEL ECUALIZADOR</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Características buscadas</b>	<b>2</b>
<b>2. FUNCIONAMIENTO EDL CIRCUITO ELEGIDO</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Principio de funcionamiento</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Secuencia de ecualización</b>	<b>4</b>
<b>3. SIMULACION</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Circuito de potencia</b>	<b>10</b>
<b>3.2. Circuito de control</b>	<b>14</b>
<b>4. RESULTADOS</b>	<b>18</b>
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>21</b>



## 1. SELECCIÓN DEL ECUALIZADOR

Una vez vistos los principales tipos de ecualizador es hora de decidimos por uno para nuestra batería. Para ello debemos tener en cuenta la batería sobre la que va a trabajar.

En nuestro caso la batería se trata de una batería de una bicicleta eléctrica, la cual está compuesta por varias cadenas de células conectadas en paralelo. Cada una de estas cadenas está formada por 7 células en serie. Estas células son del modelo ICR18650-26A.

Sabemos por lo tanto que vamos a trabajar con pocas células por cadena y que lo que tenemos que equilibrar entre ellas son células y no baterías (como podría ser otra situación) por lo que trabajaremos con ciclos cortos de equilibrado y de poca potencia.

### 1.1. Características buscadas

Las principales características que buscamos en nuestro equilibrador son que sea de un precio asequible, que sea eficiente y que garantice el mayor aprovechamiento de la capacidad de la batería. El que sea asequible es algo básico en cualquier proyecto ya que queremos poder llegar rodo el mercado posible pero para este producto en particular debemos tener presentes que las baterías y cargadores de las bicicletas eléctricas no son excesivamente caros luego no podemos permitir que exista una diferencia de precio significativa con la competencia a cambio de prolongar la vida de un batería cuyo precio no es un problema para un usuario tipo de una bicicleta eléctrica. El que nos permita el mayor aprovechamiento de la capacidad de la batería es importante ya que las baterías de bicicleta son “pequeñas” a las que se las pide grandes esfuerzos y por lo tanto es importante que dispongan de su capacidad total.

Por lo tanto podemos resumir las características del ecualizador que buscamos en las siguientes:

- Eficiente.
- Económico.

En las tablas comparativas del anexo 6 resumimos las principales características y nos fijaremos en esa tabla para elegir nuestro modelo de ecualizador basándonos en los requisitos anteriormente mencionados. Esas características son:

- Eficiencia: descartamos los ecualizadores disipativos por la pobre eficiencia pero como trabajaremos con baterías de pocas células tampoco habrá una diferencia significativa entre la eficiencia de los demás métodos.
- Carga/descarga: para debemos usar algún tipo de ecualizador que nos garantice la posibilidad de un equilibrado bidireccional.



- **Tamaño:** como el ecualizador estará integrado en el cargador y este no lo llevará el usuario en el vehículo el tamaño no es uno de los factores determinantes siempre y cuando por supuesto no sea de un tamaño exagerado y dado que solo tenemos 7 células por cadena no lo sería elijamos el tipo que elijamos.
- **Implementación:** debido a que trabajamos con pocas células la implementación del circuito tampoco será un inconveniente salvo por que nos aumentará el precio final nos conformaremos con una implementación “satisfactoria”.
- **Complejidad del control:** obviamente un control complejo encarecería el precio de fabricación del producto y cuanto más complejo es un control y más fácil es que se produzcan fallos de funcionamiento. Por eso deberemos alejarnos de los controles complejos en lo más posible siempre y esa simplicidad no afecte a la eficiencia del equilibrado.
- **Velocidad del equilibrado:** debido al uso de estas baterías la velocidad del equilibrado no es una característica determinante de la selección siempre y cuando no sea “mala”.
- **Precio:** el precio es, como ya hemos mencionado un factor clave pero al tener un número reducido de células, no necesitaremos un gran número de componentes por lo que parte correspondiente a potencia no debería ser excesivamente cara y sin embargo se nos puede complicar y encarecer si elegimos ecualizadores de control complejo.

Por todo lo dicho anteriormente elegimos un ecualizador de múltiples transformadores, en particular el propuesto en el artículo “*Low-Voltage-Stress AC-Linked Charge Equalizing System for Series-Connected VRLA Battery Strings* Journal of Powers Electronics Vol 13, No 2, March 2013”

## 2. FUNCIONAMIENTO DEL CIRCUITO ELEGIDO

A continuación explicaremos cómo funciona el ecualizador elegido y realizaremos una serie de simulaciones para comprobar como realmente nos equilibra una cadena de células.

### 2.1. Principio de funcionamiento

Partimos de la carga de la batería. Durante esta el ecualizador monitoriza el valor de la tensión de las células. Cuando una de ellas llega a 4,2 V indica al control del BMS que debe para la carga. Acto seguido comprueba la diferencia de tensión entre las células más y menos cargadas. Si esta es superior a 0,1 V comienza la ecualización.

Dicha ecualización se basa en la conexión en paralelo de los bobinados secundarios de los transformadores y la propiedad que tienen estos para almacenar carga. Los primarios



de cada transformador una vez se inicia la ecualización se van conectando a sus respectivas células. Si son células con un nivel carga alto en relación con la media de carga del conjunto estas suministran intensidad que se reparte de manera equitativa entre las células menos cargadas.

## 2.2. Secuencia de ecualización

En dicho artículo se nos expone el siguiente circuito y se nos explica el proceso paso a paso mediante el cual se transfiere energía de las células más cargadas a las menos.

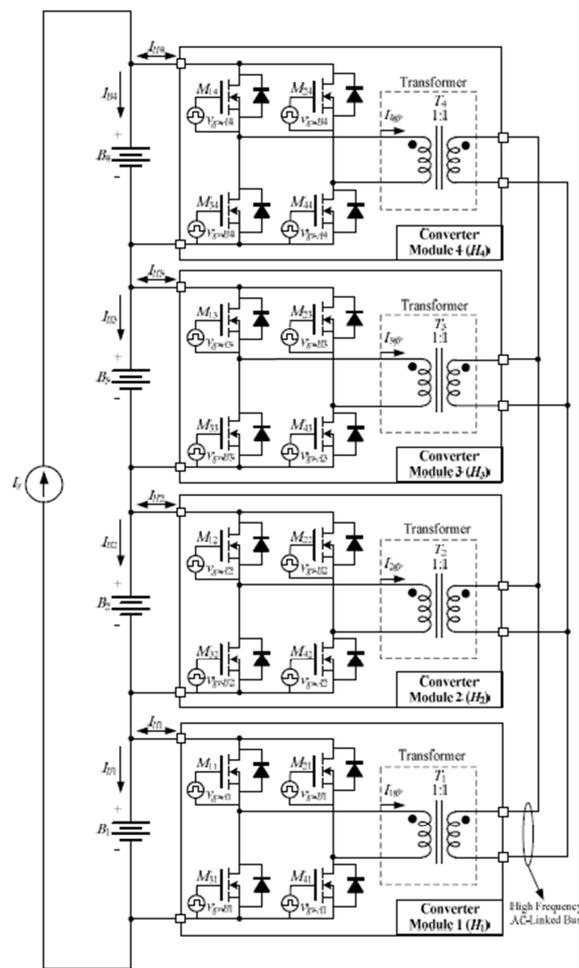


Fig 1: esquema potencia ecualizador elegido

Como podemos ver se trata de un ecualizador modular con un módulo por cada célula y basado en una estructura de múltiples transformadores.

Una ventaja pero también un inconveniente de este ecualizador es la cantidad de posibles transferencias que se puede realizar con ellos. Pero esto es a coste de un gran número de elementos activos y un control complejo. En nuestro caso no necesitamos



tantas posibilidades de funcionamiento por lo que optamos por simplificar el circuito y con él el mando. Esto nos permitirá además simplificar los costes de fabricación.

Dicha modificación se basa en la sustitución en cada módulo de dos MOSFET por dos diodos como vemos en la siguiente imagen.

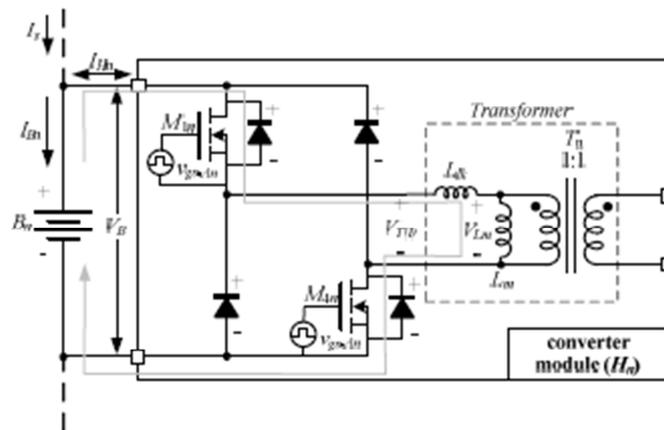


Fig 2: esquema potencia módulo equalizador elegido

Una vez echa esta modificación nuestro mando solo puede actuar sobre los dos MOSFET restantes y para conectar la célula al transformador y poder transferir carga a este debemos conectar los dos a la vez.

Aunque parece que hemos limitado el funcionamiento del equalizador dejándonos solo un modo de control este modo es suficiente para realizar el equilibrado que queremos.

A continuación indicaremos como son los pasos del proceso de equilibrado mediante un ejemplo mostrado en el artículo del que hemos cogido este tipo de equalizador. En dicho ejemplo representaremos los pasos de un periodo de equalización de una cadena de cuatro células con diferentes estados de carga.

### Modo 1

En el primer paso se activan todos los MOSFET con lo que todas las células se conectan a sus respectivos transformadores.

Una vez conectada cada célula empezará a recibir o a suministrar una cantidad de corriente que vendrá determinada por la carga de esta y la carga media de todas las células de la batería.

Parte de la carga que se transfieren las células se empieza acumular en las inductancias magnéticas de los núcleos de los transformadores.



Este modo durará un periodo de tiempo suficiente para garantizar la mayor transferencia de carga posible entre células pero sin dar tiempo a que se sature.

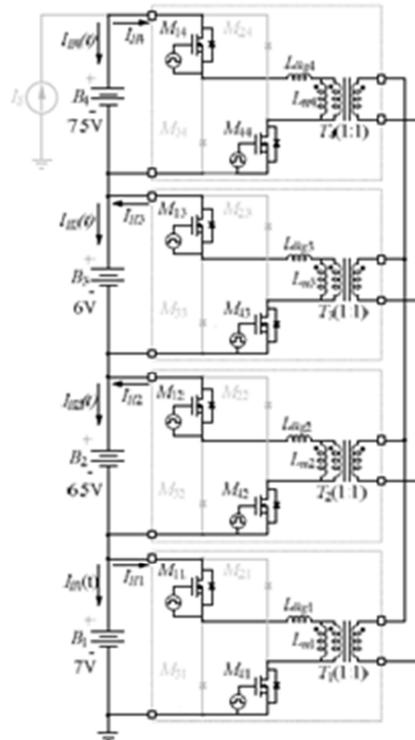


Fig 3: ecualización modo 1

### Modo 2

En este modo todos los MOSFET del circuito se han desactivado, las bobinas de los primarios de cada transformador mantienen el sentido de la corriente que ahora en todos los casos vuelve a cada célula cargando a estas a través del camino marcado por los diodos.

Pero ahora dicha carga de vuelta es la que tenía acumulado el transformador por lo que la carga con la que se ha cargado cada transformador se devolverá a su respectiva célula.

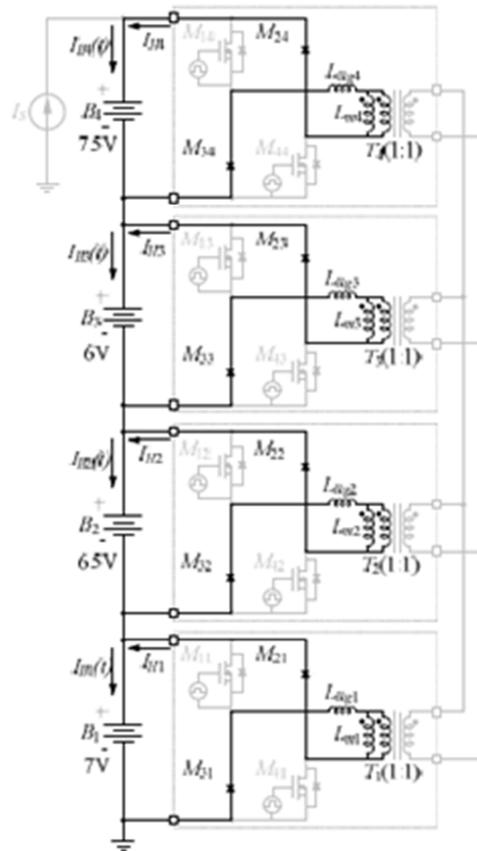


Fig 4: ecualización modo 2

### Modos 3, 4 y 5

En los siguientes tres modos vemos como la carga acumulada en los transformadores se ha ido transfiriendo por completo a las células, en el modo 3 ya no queda carga en el transformador 4, en el modo 4 también se ha acabado la del transformador 1 y en el modo 5 solo queda carga en el transformador 3.

Es muy importante que se haya descargado por completo todos los transformadores antes de empezar un nuevo periodo de transferencia pues si queda algo de carga en alguno, esta irá aumentando con cada periodo de ecualización lo que provocará que se acabe saturando dicho transformador.

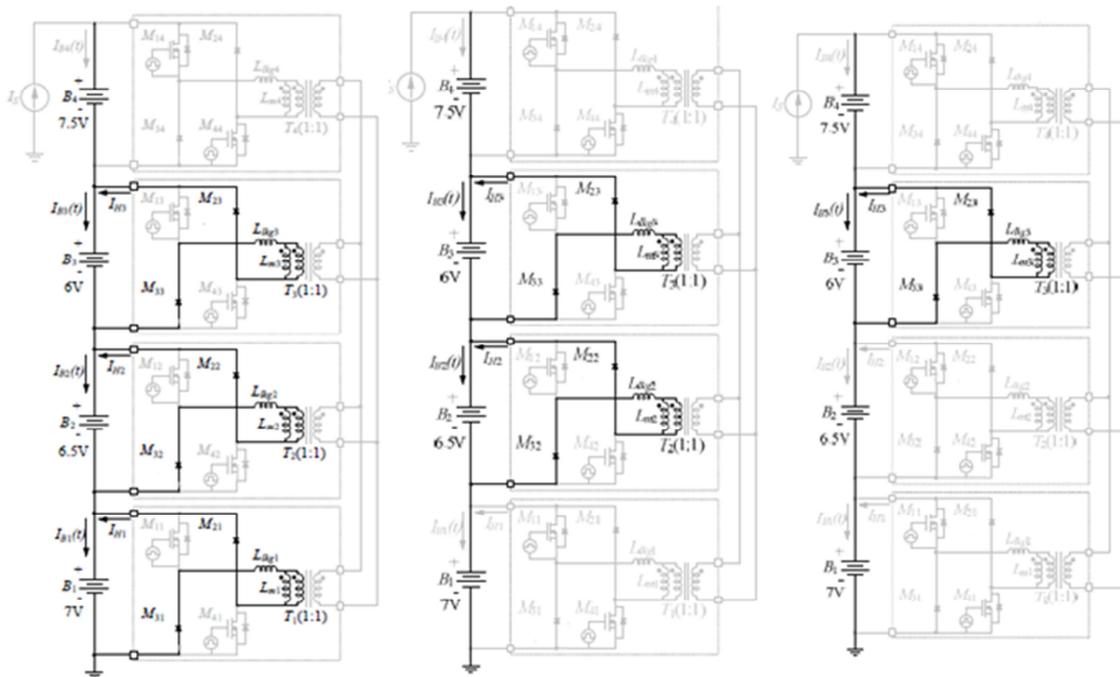


Fig 5: ecualización modo 3, modo 4 y modo 5.

En el siguiente diagrama indicaremos de manera esquemática las intensidades del circuito de en cada uno de los modos de un periodo de ecualización.

Cabe destacar que cuanto menor sea el voltaje de la célula a equilibrar más tarda en descargarse el transformador.

Desde  $t_0$  a  $t_1$  corresponderá al modo 1, desde  $t_1$  a  $t_2$  con el modo 2, desde  $t_2$  a  $t_3$  con el modo 3, desde  $t_3$  a  $t_4$  con el modo 4 y el modo 5 al intervalo entre  $t_4$  y  $t_5$ .





### 3. SIMULACIÓN

Para la simulación realizaremos un circuito en el programa PSIM 9.1.1. En que crearemos una cadena la batería compuesta por siete células con unos valores de tensión iniciales de entre 4,2 V y 3 V.

Dichas tensiones serán variables ya a medida que la intensidad entre o salga de las células, durante el proceso de equilibrado esta se señal de intensidad se irá integrando y restándose (el resultado de dicha integral) al valor de la tensión de la célula.

La medida de la tensión de las células se realiza una vez cada ciclo de programa y mientras la diferencia entre los valores máximos y mínimos sea superior a un valor dado por nosotros 0,5 V se mantendrá activo un generador de pulsos de frecuencia de pulso 20KHz con un periodo positivo y negativo del 50% cada uno.

#### 3.1. Circuito de potencia

El circuito de potencia de nuestra simulación está compuesto por la cadena de células de la batería y por los distintos módulos de equalización.

Los valores de las tensiones de las distintas células con las que se inicia la simulación son las siguientes:

- Célula 1: 4,2 V.
- Célula 2: 4 V.
- Célula 3: 3,4 V.
- Célula 4: 3,8 V.
- Célula 5: 3 V.
- Célula 6: 3,6 V.
- Célula 7: 4,1 V.

Podemos ver que en cuanto arranque la simulación el sistema vera que hay una diferencia superior a los 0,5 V entre tensiones de las células por lo que inmediatamente se activará el PWM y comenzará la equalización.

También vemos que la célula más cargada es la célula 1 y que la menos cargada es la célula 5 por lo que las mayores corrientes de salida y de entrada respectivamente se deberán ver en dichas células.

Como vemos en la siguiente figura la conexión de una fuente de tensión dependiente en el programa PSIM se realiza con de la siguiente manera:

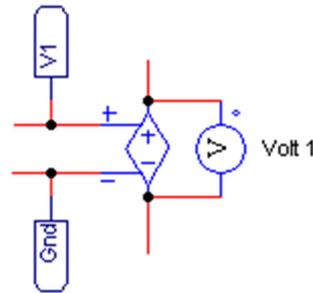


Fig 7: fuente de tensión dependiente

Donde los terminales + y - se usan para definir el valor de tensión que tiene el célula en cada momento. En nuestro caso vemos que están vinculadas a dos etiquetas de las cuales hablaremos en el parte de mando.

Los distintos módulos de equalización se componen de dos MOSFET, dos diodos rectificadores y de un transformador.

Las conexiones de cada módulo con el resto del circuito serial las siguientes:

- V+: terminal positivo de su correspondiente célula.
- V-: terminal negativo de su correspondiente célula.
- PWM: conexión a la señal de PWM del circuito de mando.
- ST+: terminal positivo de los secundarios de todos los transformadores de circuito.
- ST-: terminal negativo de los secundarios de todos los transformadores de circuito.

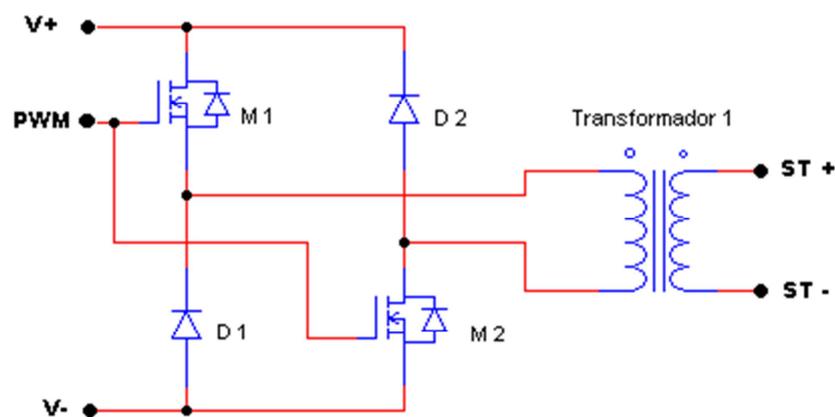


Fig 8: esquema modulo equalizador



Más adelante se realizará en el anejo de dimensionamiento de potencia se realizan las simulaciones necesarias para la correcta selección de los elementos de potencia que forman nuestro circuito.

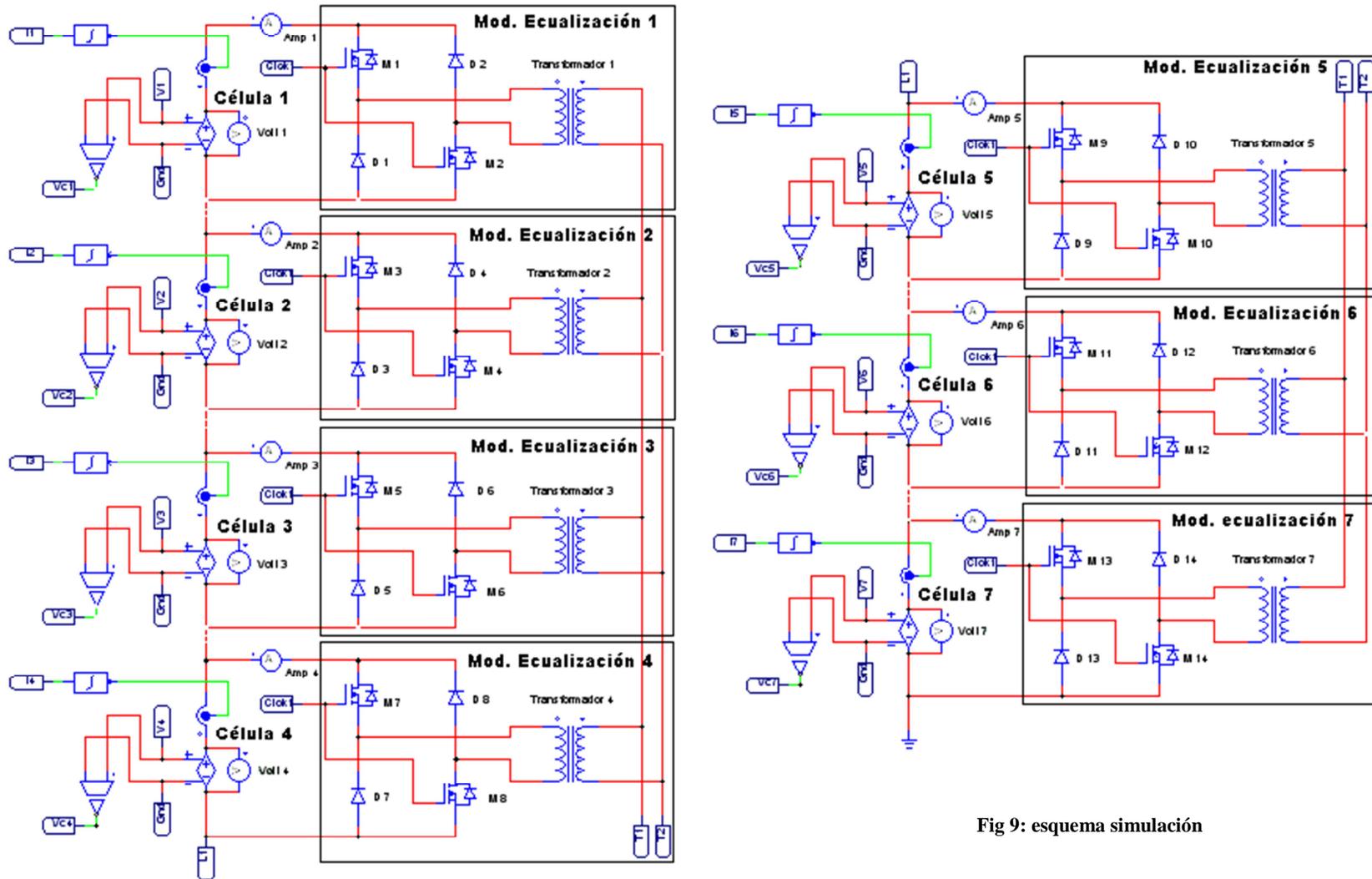


Fig 9: esquema simulación



### 3.2. Circuito de control

Para realizar el control de la simulación necesito las siguientes dos mediciones:

- Tensión de cada célula ya que esta está directamente relacionada con la carga de la misma.
- Corriente que entra o sale de cada célula, pues en función de ella puede ir variando el valor de la carga y por consiguiente de tensión que tienen las células.

Para realizar estas mediciones uso dos sensores, uno de tensión diferencial y otro de corriente.

El sensor de tensión se conecta en paralelo con la fuente de tensión variable y su salida ya la puedo mandar directamente los bloques de comparación. Como vemos en la siguiente imagen el terminal V+ (indicado con un círculo) del sensor se debe conectar al polo positivo de la célula y el terminal V- al negativo para obtener la medición correcta.

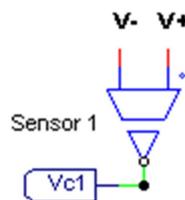


Fig 10: sensor de tensión diferencial

El sensor de intensidad se conecta en serie con la célula y su salida la paso por un bloque integrador para calcular la carga y voy transfiriendo. En el sensor de la siguiente imagen el círculo indica el sentido en el que la corriente se considera positiva. En nuestro caso consideramos el sentido de salida de corriente de las células como positivo luego conectamos ese terminal al polo positivo de las células. Por supuesto todo depende del signo con el que consideras la carga en las ecuaciones de bloque de operaciones.

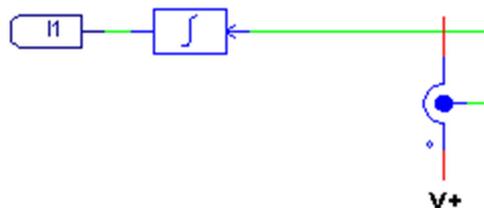


Fig11: sensor de intensidad y módulo integrador



La salida del integrador se manda al bloque de operaciones para actualizar el valor de la tensión de la fuente.

Como hemos dicho antes las medidas de tensión de las células se envían en unos bloques comparadores los cuales me dan el valor máximo y mínimos de todas las mediciones.

Una vez tenga los valores máximos y mínimos los resto y el resultado lo comparo con el valor al que considero que las células ya están suficiente mente equilibradas, en nuestro caso ese valor es de 0,05 V.

Para realizar el generador de pulsos que activará y desactivará los MOSFET he usado una fuente DC con la forma de onda cuadrada la cual mando a una puerta lógica AND de dos entradas.

La otra entrada de dicha puerta la conecta la salida del comparador que me indicaba si la diferencia de tensiones entre células era mayor de 0,05 V. La salida de la puerta AND ya la puedo usar para excitar los transistores MOSFET cuando la situación lo requiera previo paso por un elemento On-Off controler el cual en el programa PSIM separa los circuitos de fuerza y mando.

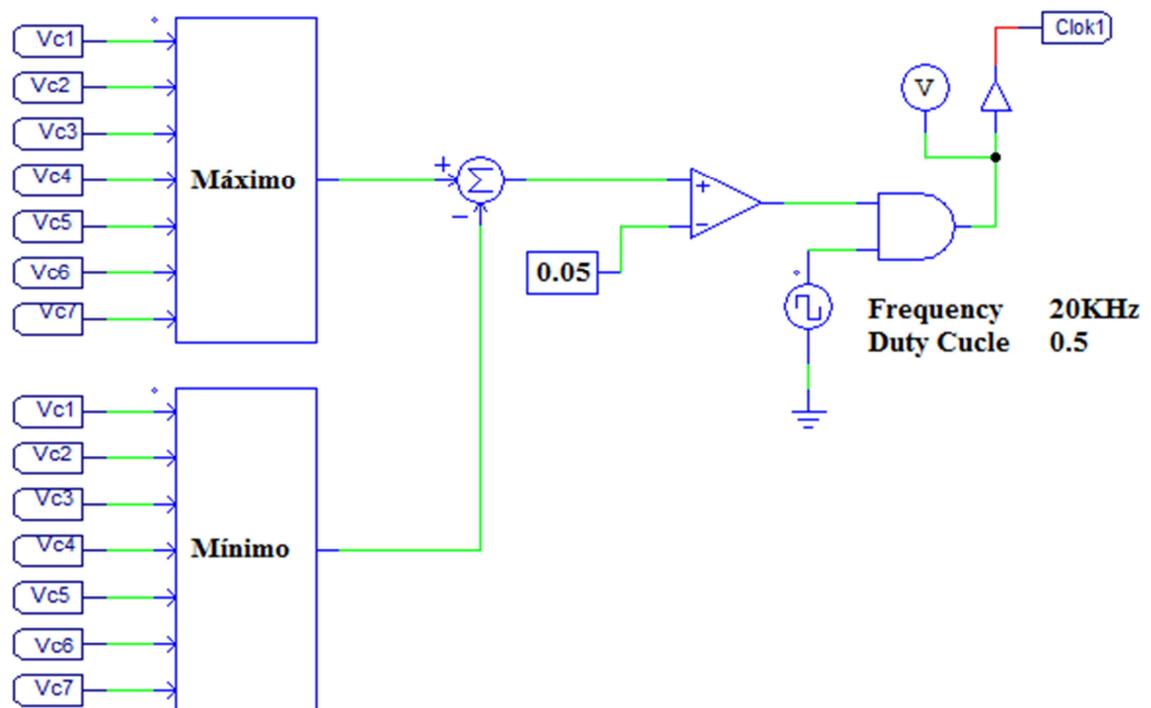


Fig 12: esquema comparador de máximo y mínimo

Como hemos mencionado antes los valores de las tensiones de las células son variables y depende de la carga que se entra o sale de cada una esa variación. Para



conseguir este efecto uno un bloque de función en que defino catorce entradas y siete salidas las cuales son:

TABLA DE ENTRADAS DEL BLOQUE FUNCIÓN			
Nº entrada	Relación	Nº entrada	Relación
<b>X1</b>	Tensión inicial de la célula 1	<b>X8</b>	Carga extraída de la célula 4
<b>X2</b>	Carga extraída de la célula 1	<b>X9</b>	Tensión inicial de la célula 5
<b>X3</b>	Tensión inicial de la célula 2	<b>X10</b>	Carga extraída de la célula 5
<b>X4</b>	Carga extraída de la célula 2	<b>X11</b>	Tensión inicial de la célula 6
<b>X5</b>	Tensión inicial de la célula 3	<b>X12</b>	Carga extraída de la célula 6
<b>X6</b>	Carga extraída de la célula 3	<b>X13</b>	Tensión inicial de la célula 7
<b>X7</b>	Tensión inicial de la célula 4	<b>X14</b>	Carga extraída de la célula 7

TABLA DE SALIDAS DEL BLOQUE FUNCIÓN			
Nº entrada	Relación	Nº entrada	Relación
<b>Y1</b>	Tensión actual de la célula 1	<b>Y5</b>	Tensión actual de la célula 5
<b>Y2</b>	Tensión actual de la célula 2	<b>Y6</b>	Tensión actual de la célula 6
<b>Y3</b>	Tensión actual de la célula 3	<b>Y7</b>	Tensión actual de la célula 7
<b>Y4</b>	Tensión actual de la célula 4		

En la siguiente figura vemos con “declaramos “ las tensiones iniciales de las células las relacionamos a sus correspondientes etiquetas y como relacionamos también le etiqueta de GND con el punto de tierra de nuestro circuito. Esto podría haberse hecho dentro del bloque mediante valores constantes dentro de las funciones o mediante bloque de constante.

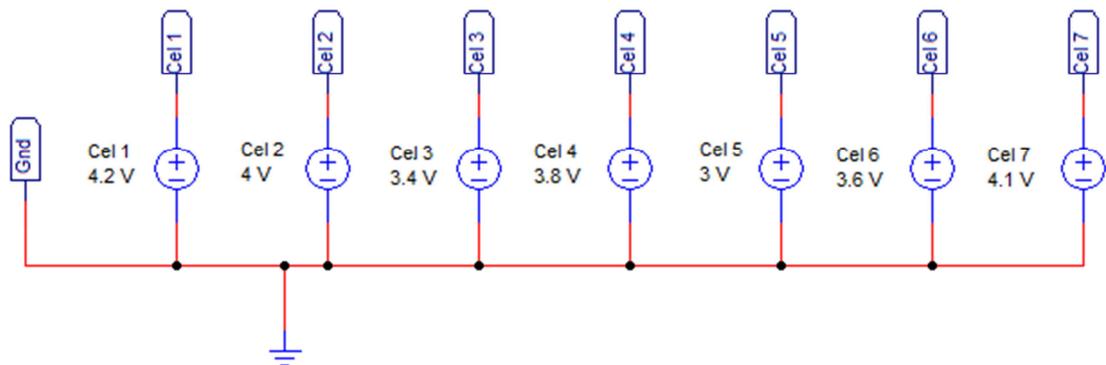


Fig 13: esquema inicialización células



En el bloque de funciones podemos ver como se conectan a él las distintas señales medidas de nuestro circuito a través de sus catorce (X1-X14) entradas y como envía los valores de tensión de cada fuente a través de sus siete salida (Y1-Y7).

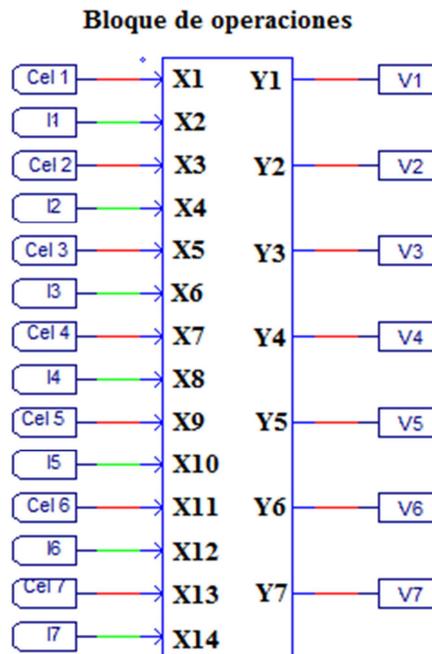


Fig 14: esquema bloque de funciones

Dentro del bloque funcional hemos escrito las siguientes funciones:

- $y1=x1-x2$ ;
- $y2=x3-x4$ ;
- $y3=x5-x6$ ;
- $y4=x7-x8$ ;
- $y5=x9-x10$ ;
- $y6=x11-x12$ ;
- $y7=x13-x14$ ;

Si bien es cierto que de este modo conseguiríamos una relación lineal entre la carga y la tensión de cada batería está no es así en la realidad y hay que destacar que se trata solo de ejemplo para ver el proceso de equilibrado de la batería.



## 4. RESULTADOS

Una vez que ya tenemos el circuito montado realizamos una simulación durante un par de periodos del generador de pulsos. Para ver el sentido y los valores máximos de circulación de la corriente entre las células.

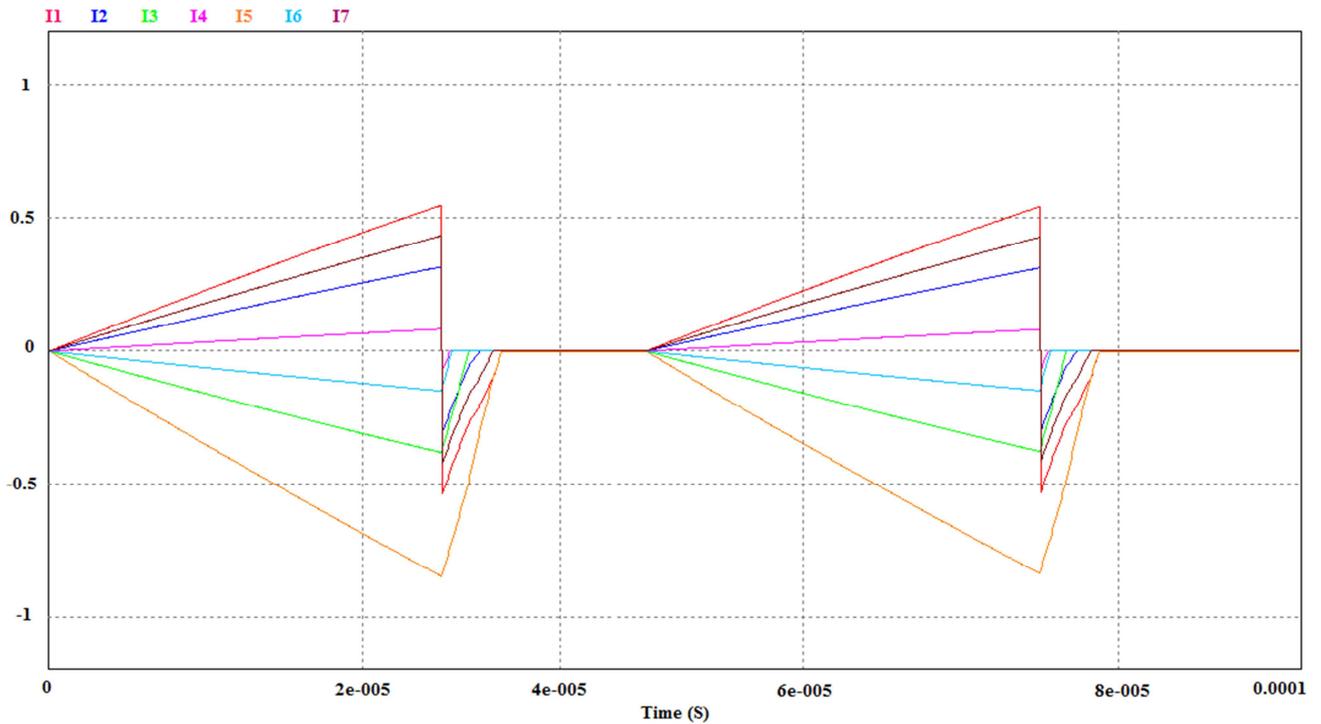


Fig 15: grafica corrientes en dos periodos de equalización

En el instante de tiempo 0 en el que los MOSFET se activan podemos ver como la corriente empieza a circular atraes de ellos en algunos casos hacia las células y en otros desde las células.

Time	2.4999840e-005
I1	5.4926533e-001
I2	3.1632276e-001
I3	-3.8250498e-001
I4	8.3380176e-002
I5	-8.4839014e-001
I6	-1.4956240e-001
I7	4.3279431e-001



Podemos ver las células más cargadas (tensión superior a la media de 3.72 V) suministran energía a las demás, cuanto más cargada este una célula más energía

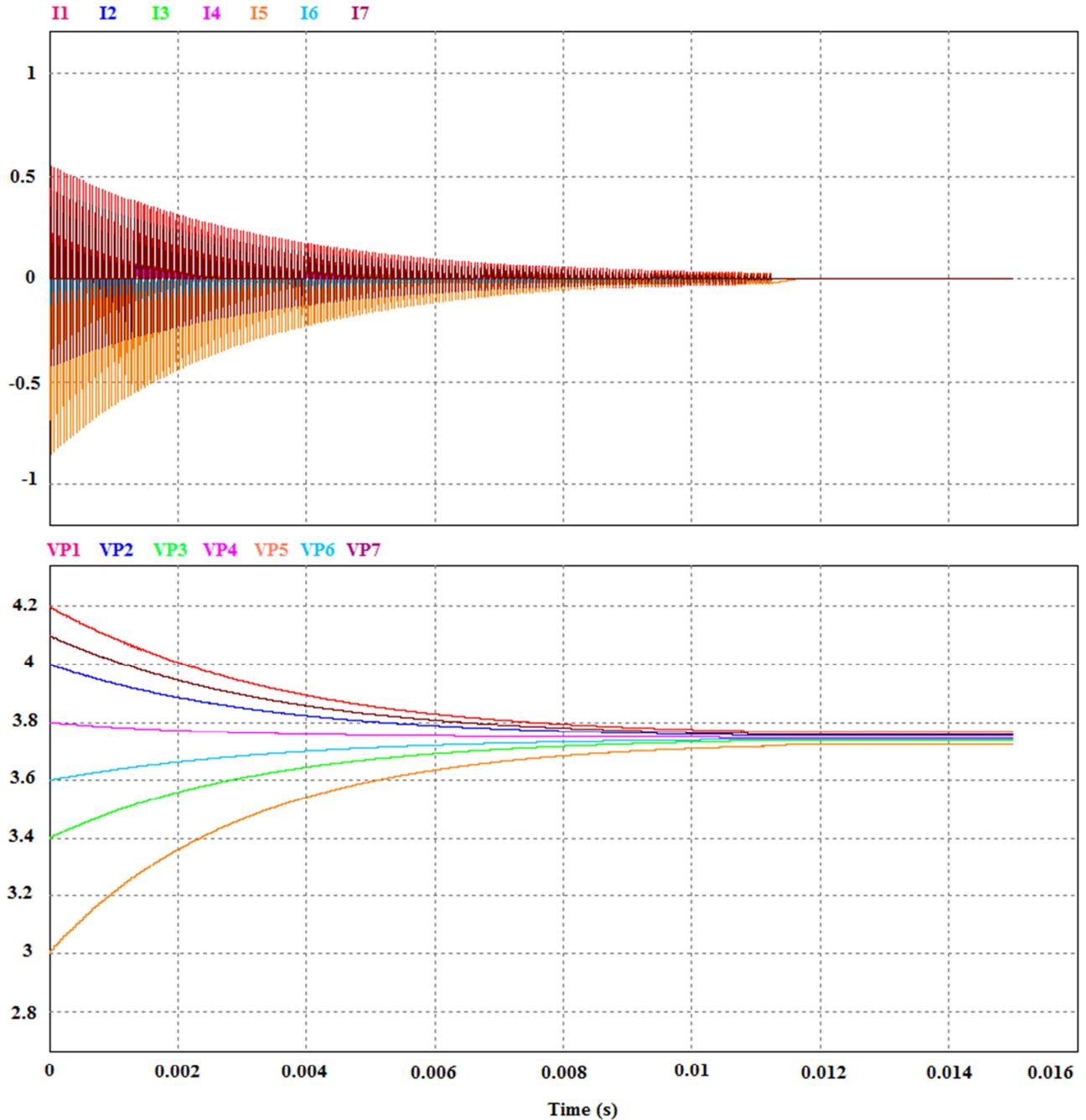


Fig 16: grafica corrientes y tensiones durante la equalización

aporta. Del mismo modo las células menos cargadas reciben esa carga, repartida en función de sus cargas, las menos cargadas reciben más carga que otras más cargadas.

A partir del instante  $t=0,000025$  s en el que se desactivan los MOSFET la carga acumulada en los transformadores se descarga en las células a través de los diodos.



Es importante ver que los transformadores se descargan completamente ya que si acumulasen algo de carga al final de cada ciclo, con el caso de estos la carga se iría acumulando y los transformadores se acabarían saturando con lo que ya no se podría producir la ecualización.

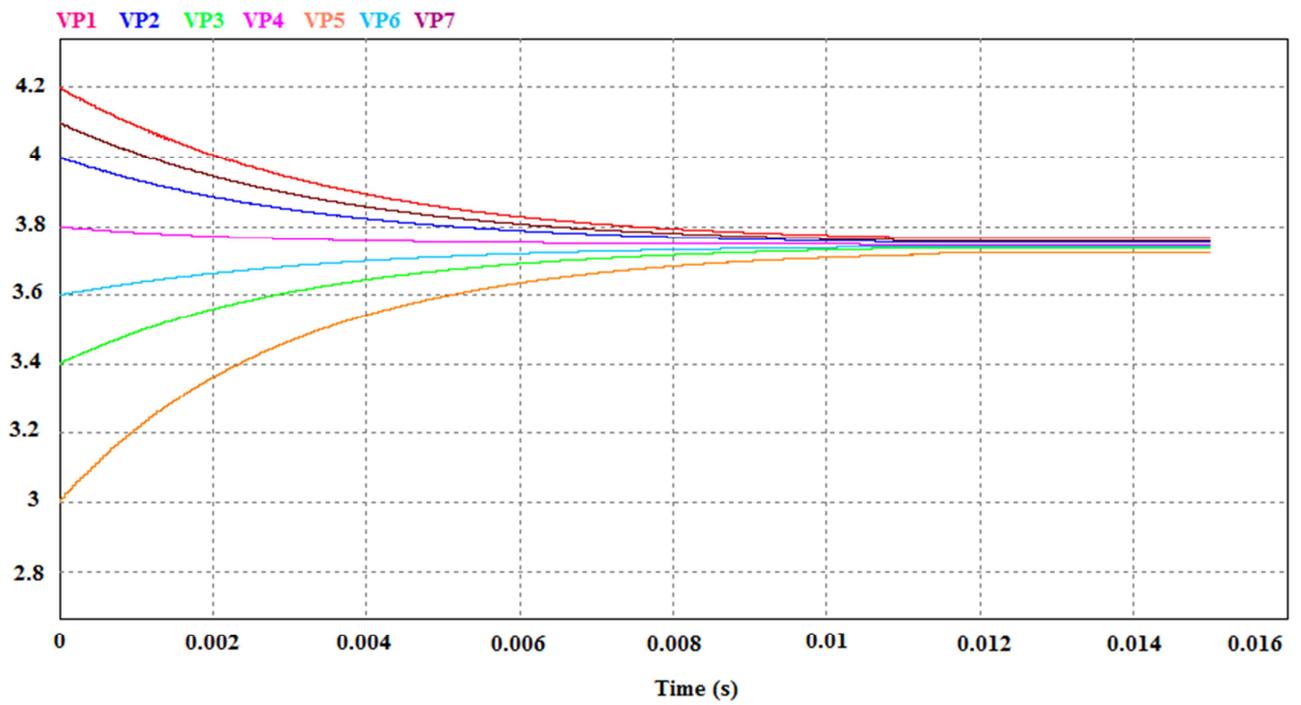
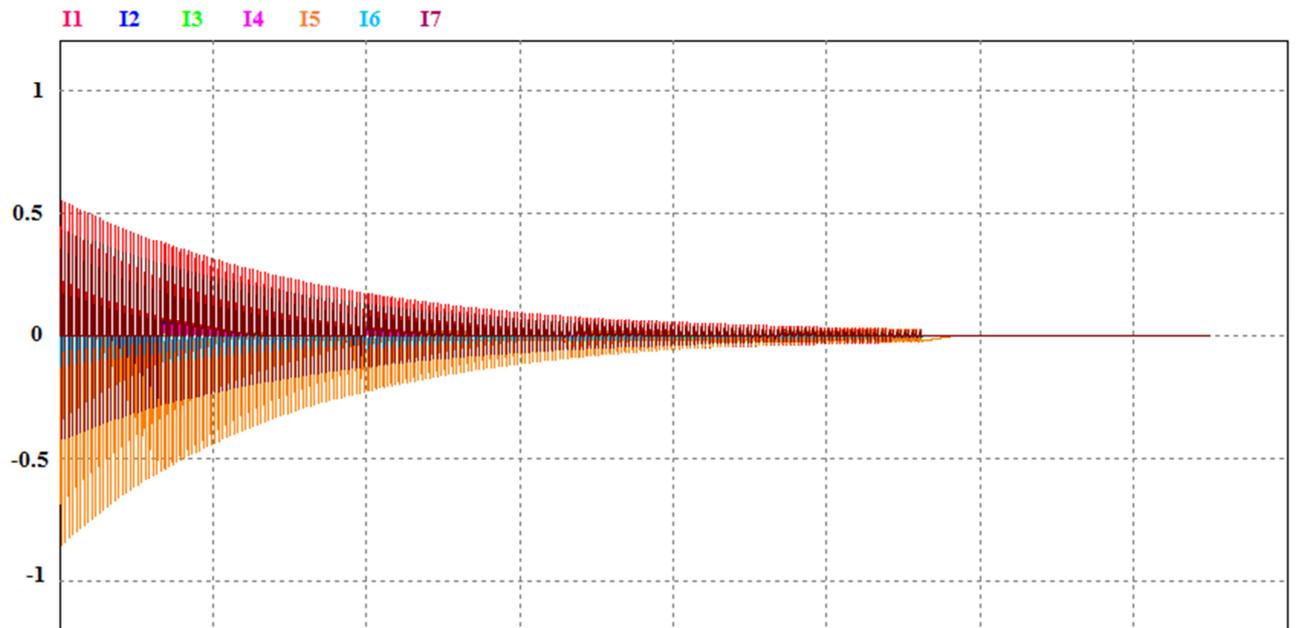
En la anterior simulación solo veíamos dos periodos de la señal de pulsos y por lo tanto es muy difícil ver una variación los valores máximos y de las pendientes de las corrientes como producto de la variación de las tensiones de las células.

Sin embargo en la siguiente simulación vamos a simular un mayor tiempo de modo que aunque será muy difícil tomar valores en puntos concretos, pero si nos hacen una idea del cómo van evolucionando las corrientes y las tensiones de las células.

## 5. CONCLUSIONES

A partir de las gráficas (indicar grafica nº) podemos ver como la tensión de las células se va equilibrando hasta que la diferencia de tensión entre ellas es igual a 0,05 V. Al mismo tiempo que la diferencia de tensiones se reduce lo hacen también las intensidades y por lo tanto la carga que se transfiere por cada periodo del oscilador.

Debido a esto resulta muy importante elegir circuitos que no opongan una gran resistencia al camino de la corriente para que se pierda la menor carga posible.



**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

## **ANEXO Nº 7**

### **APLICACIÓN PRÁCTICA: SISTEMA DE POTENCIA**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



## ÍNDICE ANEXO 7

<b>1. DIMENSIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE POTENCIA</b>	<b>2</b>
<b>2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRANSISTORES MOSFET</b>	<b>2</b>
<b>3. DIMENSIONAMIENTO DEL DIODO</b>	<b>5</b>
<b>4. DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR</b>	<b>9</b>
<b>5. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PROTECCIONES</b>	<b>12</b>
<b>6. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PISTAS DE POTENCIA</b>	<b>14</b>
<b>7. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA</b>	<b>15</b>



---

## 1. DIMENSIONAMIENTO DEL CIRCUITO DE POTENCIA.

En este apartado explicaremos como ha sido el proceso de selección de los elementos que intervienen en el circuito de potencia de nuestro ecualizador.

A fin de asegurar una correcta selección de dichos componentes realizaremos el siguiente proceso:

1. Determinar basándonos en la tarea a realizar el tipo de componente adecuado.
2. Determinar cuáles son los parámetros determinantes de cada uno de los componentes.
3. Realización de simulaciones en condiciones extremas a fin de obtener valores mínimos para los parámetros comentados en el punto 2 a fin de que nos ayuden a acotar el modelo a elegir.
4. Buscar un modelo de componente que se adapte a nuestras necesidades e indicarlo en el apartado correspondiente.

La realización de las simulaciones se llevara a cabo mediante el programa, PSIM 9.1.1 y en las que el sistema se reducirán a un sistema de solamente dos células pero con la máxima diferencia de carga posible entre ellas.

## 2. DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRANSISTORES MOSFET

A la hora de elegir el tipo de transistores que vamos a usar en nuestro circuito vemos que en el ejemplo de artículo del que hemos obtenido nuestro modelo de ecualizador usan transistores MOSFET.

Para nuestra aplicación nos puede podríamos usar transistores bipolares normales pero al igual que el ejemplo usaremos transistores MOSFET de acumulación por que presenta una serie de ventajas respecto a los transistores bipolares comunes que nos pueden resultar muy interesantes para nuestro ecualizador.

- Consumo en modo estático muy bajo.
- Tamaño inferior a los bipolares.
- Funcionamiento por tensión, son controlados por voltaje por lo que tienen una impedancia de entrada muy alta. La intensidad que circula por la puerta es del orden de los nanoamperios.
- Los circuitos digitales realizados con MOSFET no necesitan resistencias, con el ahorro de superficie que conlleva.
- La velocidad de conmutación es muy alta, siendo del orden de los nanosegundos.



Del mismo modo que hemos hecho con el diodo los parámetros que nos resultan más importantes y que a su vez nos van a ayudar a determinar el modelo de transistor que vamos a usar son:

- Caída de tensión en conducción.
- Intensidad nominal.

Realizaremos una simulación en las condiciones más adversas posibles para ver cuál es el valor máximo de intensidad que debe soportar el MOSFET.

La simulación para obtener la máxima intensidad que circula por el MOSFET es muy semejante a la que hemos hecho para el dimensionamiento del diodo. Una simulación con dos células. Una de ellas (Célula 1) estará totalmente cargada y presentará la máxima tensión que nos podremos encontrar durante el proceso de equilibrado. La segunda (Célula 2) estará lo más descargada posible y por lo tanto presentará la mínima tensión posible en sus terminales.

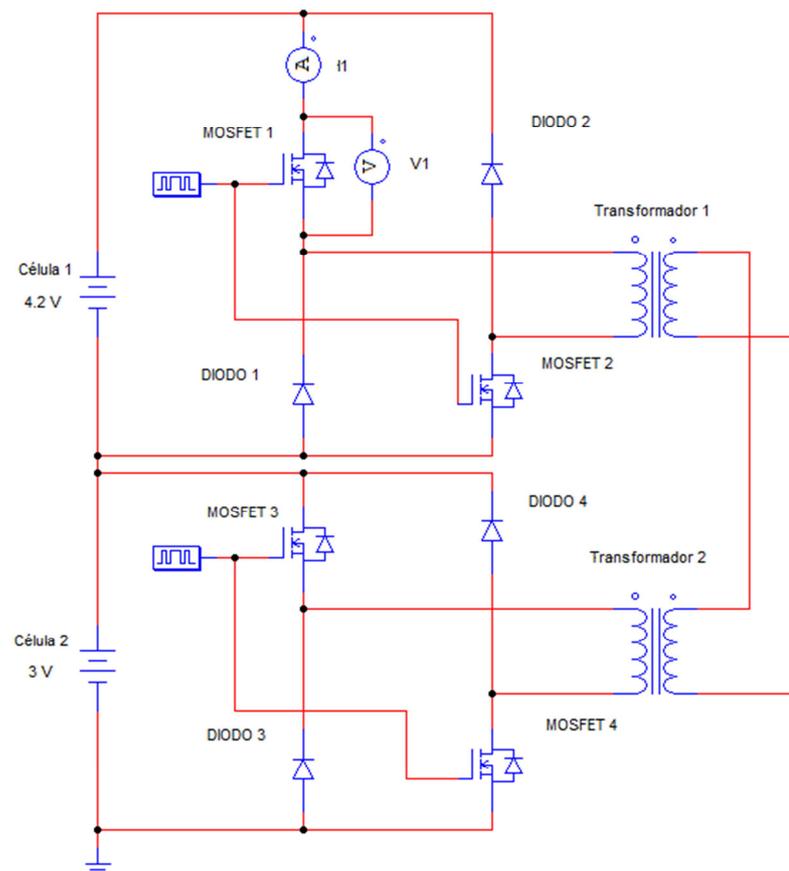


Fig 1: esquema simulación del MOSFET

De este modo nos aseguramos que la corriente que tengan que soportar el MOSFET sea máxima.



Para medir el valor de la intensidad que atraviesa el MOSFET usaremos un amperímetro en serie con el transistor.

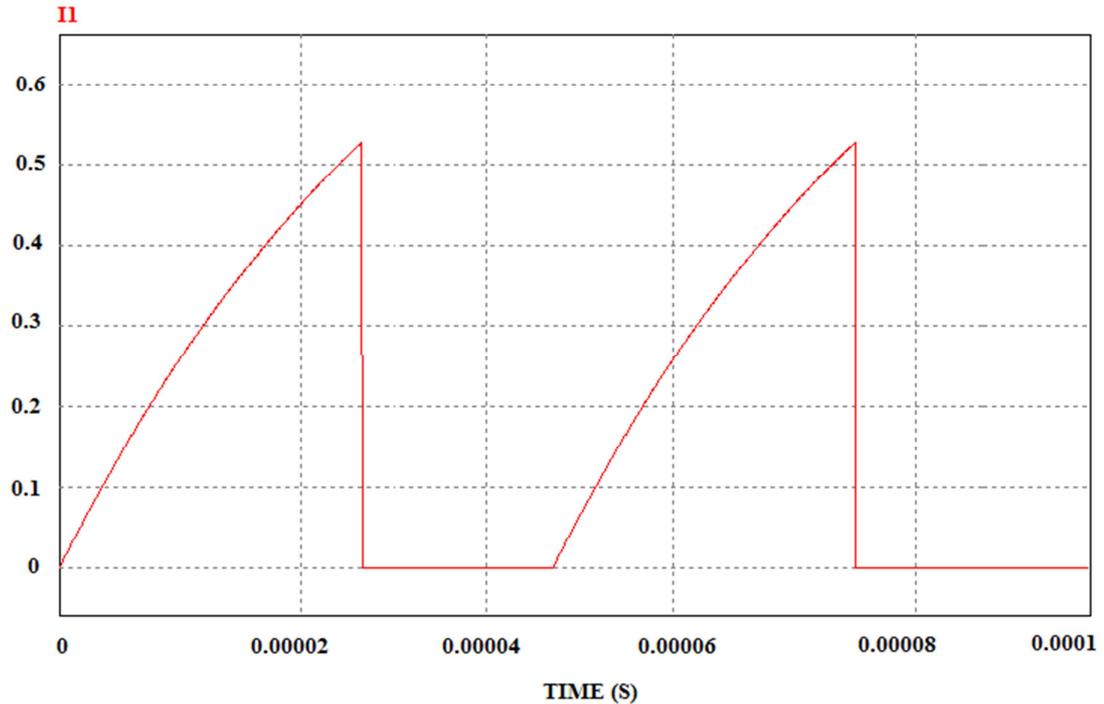


Fig 2: grafica intensidad en el MOSFET

Aunque no va a ser un valor muy determinante ya que es un valor muy bajo vamos a medir también la tensión que soporta el MOSFET cuando no está conduciendo. Aunque como ya hemos dicho no es un valor determinante.

Una vez ejecutada la simulación medimos sobre las gráficas y obtenemos los siguientes valores:

- Intensidad eficaz ( $I_{rms}$ ): 0,236 A.
- Intensidad media ( $I_{avg}$ ): 0,149 A.
- Corriente de pico transitoria ( $I_{FSM}$ ): 0,528 A.
- Tensión máxima en circuito cerrado ( $V_{DSS}$ ): 5.1 V.

Con estos datos buscamos en internet y encontramos el siguiente modelo:

- IRF33N15DPbF de International IOR Rectifier

Del cual nos fijamos en su datasheet en una serie de características muy importantes para su funcionamiento en el circuito y que exponemos en la tabla siguiente.

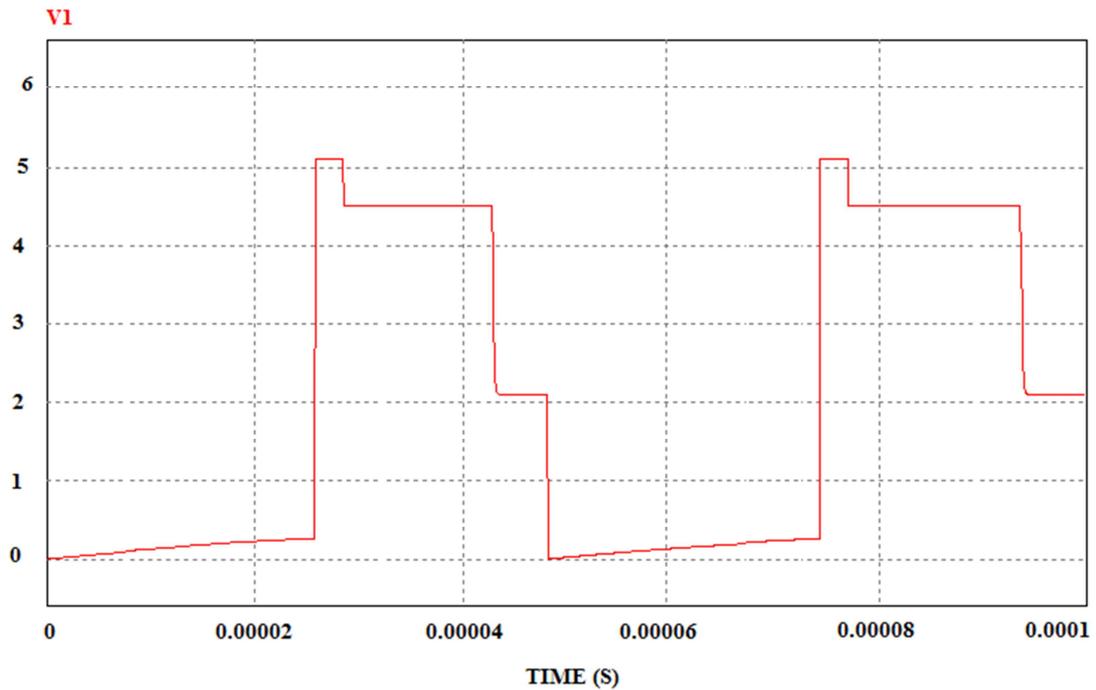


Fig 3: grafica tensión en el MOSFET

Comparación parámetros simulación/modelo real		
	Simulación	1N4001
$R_{DS}$	-	0,056 $\Omega$
$I_{FSM}$	0,528 A	33 A
$V_{DSS}$	5,1 V	150 V

A simple vista podemos ver que hemos elegido un transistor para circuitos de potencia muy superiores al nuestro y de que hemos elegido un modelo sobredimensionado. Pero esto se ha elegido este modelo principalmente por la baja resistencia interna que tiene. Ya que esa baja resistencia  $R_{DS}$  mejorará la eficiencia del circuito.

### 3. DIMENSIONAMIENTO DEL DIODO

Para la selección del diodo más adecuado a nuestro circuito debemos fijarnos en los siguientes parámetros:

1. Corriente máxima en directa: Es la corriente continua máxima que puede atravesar el diodo en directa sin que este sufra ningún daño. Dentro de este punto englobamos los siguientes tres parámetros.
  - a. Corriente máxima continua.
  - b. Corriente de pico transitoria.



- c. Corriente de pico repetitivo.
- 2. Tensión de ruptura en polarización inversa: es la tensión a la que se produce el fenómeno de ruptura por avalancha.

A estos parámetros hay que sumar la función que le vamos a pedir al diodo que realice. En nuestro caso podríamos dudar entre un diodo rectificador común o un diodo Schottky. El Schottky nos proporciona un menor tiempo de conmutación entre conducción directa e inversa. La frecuencia con la que trabaja nuestro circuito, de 20 kHz, no es una frecuencia alta con lo que podríamos descartar el Schottky y elegir el diodo rectificador común que eligiendo bien el modelo cumplirá su función en el circuito sin ningún tipo de contratiempo.

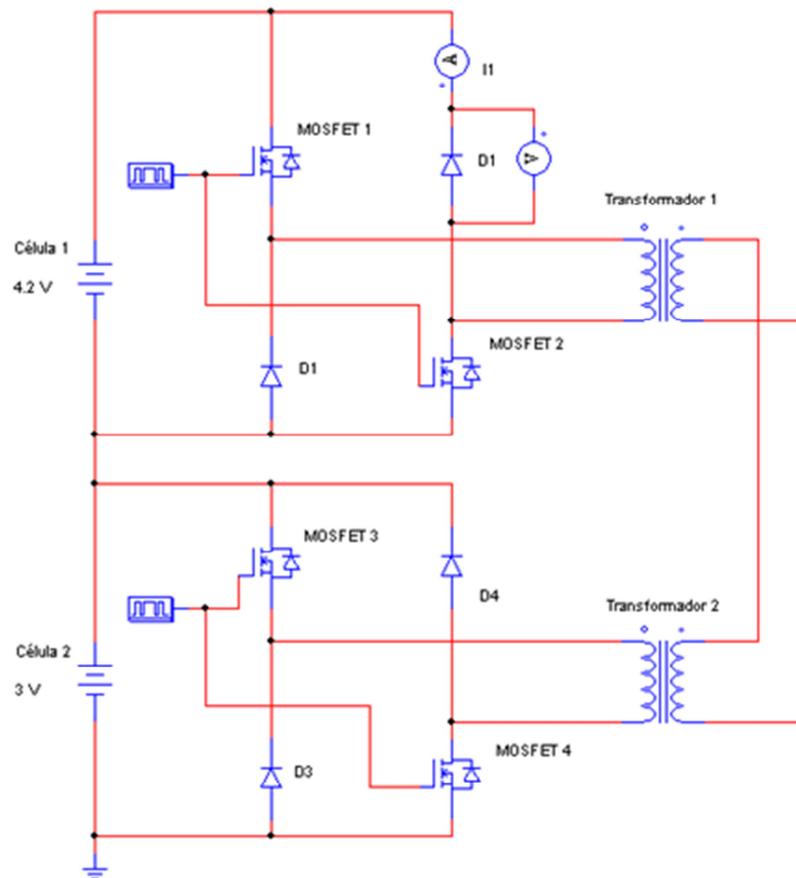


Fig 4: esquema simulación del diodo

Sabiendo ya el tipo de diodo a usar y los parámetros que definen a este vamos a buscar valores mínimos para estos últimos a fin de poder elegir un modelo de diodo que cumpla los requisitos pero sin sobredimensionarlo en exceso.

Para obtener estos valores realizamos una simulación en las condiciones más extremas posibles, en nuestro caso realizamos una simulación con dos células. Una



de ellas (Célula 1) estará totalmente cargada y presentará la máxima tensión que nos podremos encontrar durante el proceso de equilibrado. La segunda (Célula 2) estará lo más descargada posible y por lo tanto presentará la mínima tensión posible en sus terminales.

De este modo nos aseguramos que las corrientes y tensión que tengan que soportar los diodos sean máximas.

Para medir dichos valores usaremos un voltímetro y un amperímetro conectado en paralelo y en serie respectivamente con el diodo 1.

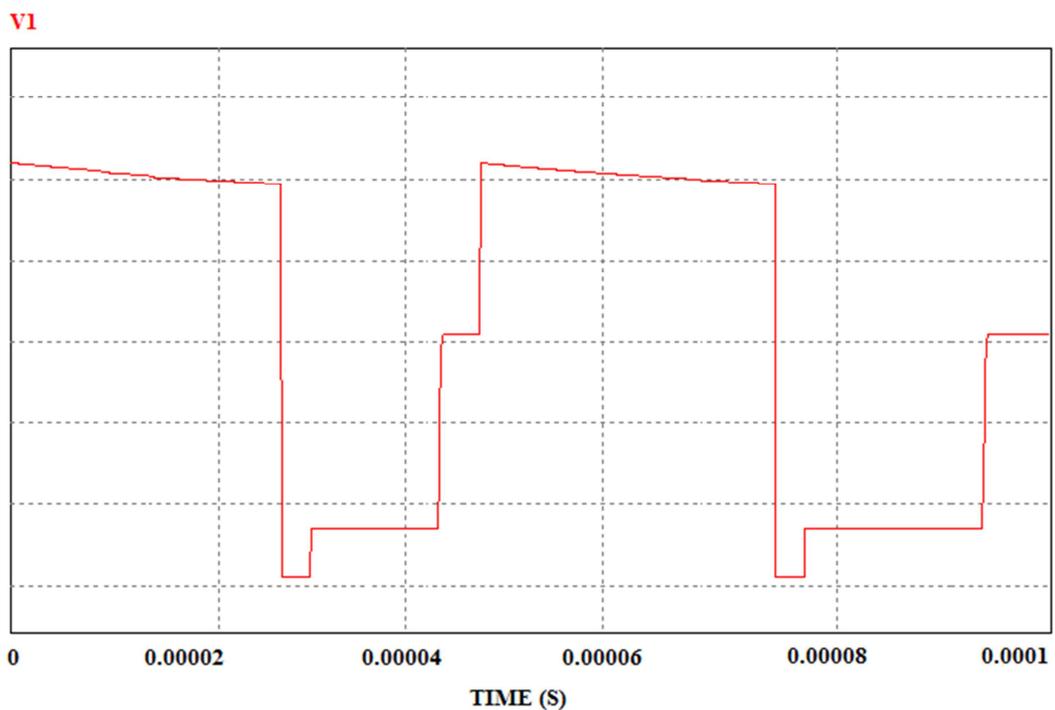


Fig 5: grafica tensión en el diodo

Una vez realizada la simulación medimos en las gráficas los valores mínimos que debe cumplir el diodo para cada uno de los parámetros mencionados al comienzo de este apartado.

1. Corriente máxima continua. El propio programa nos indica los valores eficaces y medios de las distintas señales. En nuestro caso:
  - Intensidad eficaz ( $I_{rms}$ ): 0,0642 A.
  - Intensidad media ( $I_{avg}$ ): 0,0119 A.
2. Corriente de pico transitoria ( $I_{FSM}$ ): en la gráfica vemos que los picos que recibe la señal son pueden llegar a los 0,5 A en momento puntuales. No se observan ningún otro tipo de pico durante la simulación.



3. Tensión de ruptura en polarización inversa ( $V_{RRM}$ ): en la gráfica donde se representa la tensión de medida por el voltímetro vemos que la tensión máxima de polarización inversa es 4,19 V.

Por supuesto una vez elegido el modelo del diodo debemos prestar atención a parámetros como la caída de tensión en polarización directa o la corriente en inversa. No podemos definir valores para estos parámetros a través de la simulación pero buscaremos valores bajos ya que una caída de tensión en PD alta significaría pérdidas en los diodos y una corriente en inversa conllevaría un mal funcionamiento y un equilibrado ineficiente.

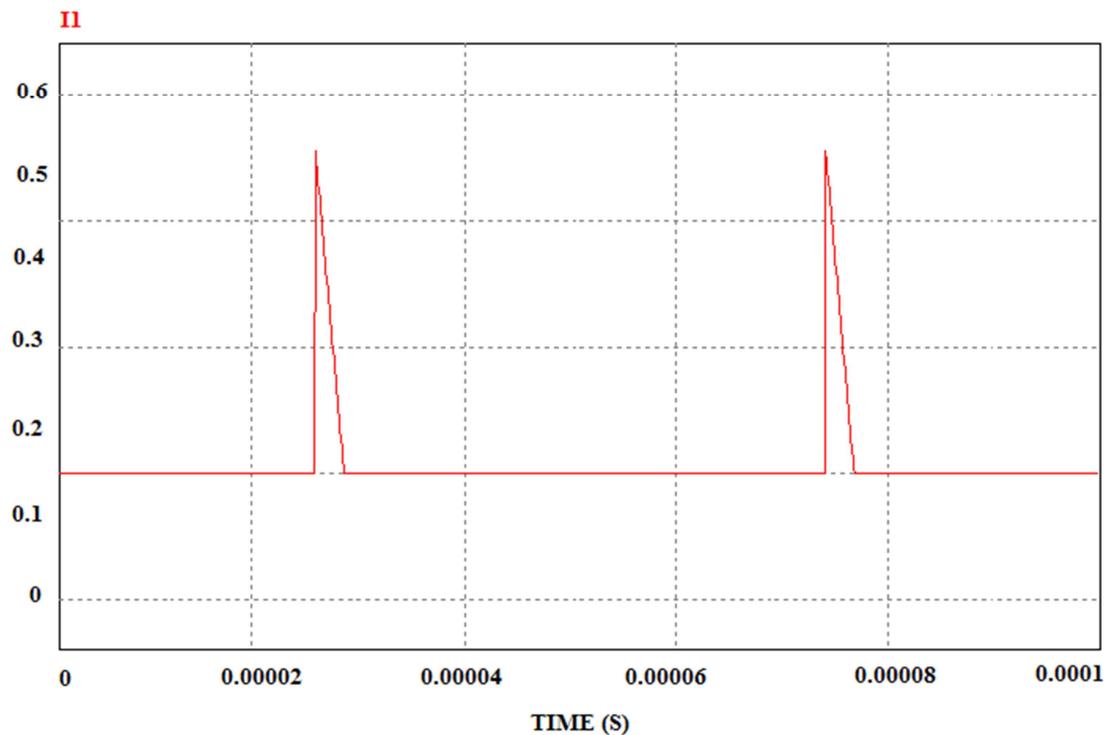


Fig 6: grafica intensidad en el diodo

Con todo lo comentado en este apartado busco el Internet un modelo de diodo que se adecue a nuestras necesidades y encontramos el siguiente:

- 1N4001 de FAIRCHILD SEMICONDUCTOR

Del cual nos fijamos en su datasheet en los valores de los parámetros de los que hemos obtenido valores mínimos en la simulación anterior.

Comparación parámetros simulación/modelo real		
	Simulación	1N4001
$V_{RRM}$	4,2 V	50 V
$I_{FSM}$	0,528 A	30 A
$I_{avg}$	0,0119 A	1 A



---

#### 4. DIMENSIONAMIENTO DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA

En este apartado vamos a obtener los parámetros necesarios para definir nuestros transformadores a fin de poder elegir un modelo cuyo funcionamiento se adecue a nuestro circuito.

En nuestro ecualizador usamos siete transformadores que en función de la carga que tienen las células en cada momento tendrán que ser capaces de soportar más o menos potencia. Como la relación de cargas de las células es algo de desconocemos a la hora de diseñar el ecualizador elegiremos a los siete transformadores iguales y capaces de soportar la situación más adversa.

Para la selección un transformador debemos definir los siguientes parámetros:

- Tensión en el primario.
- Tensión en el secundario.
- Potencia asignada.
- Frecuencia de trabajo.

De los cuatro parámetros antes mencionados hay uno que ya podemos definir y es la frecuencia de trabajo. Dicha frecuencia es de 20 KHz y es importante definirla ya que las corrientes parásitas que recorren el núcleo de un transformador (corrientes de Foucault) y las pérdidas de histéresis aumentan conforme lo hace la frecuencia de trabajo. Mientras que la mayoría de los transformadores tienen un núcleo formado por láminas de hierro (espesor de entre 0,5 y 0,35 mm) para transformadores de frecuencia y superiores a 10KHz se suelen usar núcleos de ferrita compuestos por de microscópicos granitos de hierro unidos por pegamentos especiales.

Como hemos mencionado unas líneas más arriba vamos a buscar que cada transformador sea capaz de trabajar en las condiciones más adversas posibles vamos a realizar una simulación en la que vamos a equilibrar dos células con la mayor diferencia de carga posible entre ellas. La célula 1 estará totalmente cargada por lo que la diferencia de tensión en sus terminales será máxima y la célula dos estará en el umbral mínimo de carga por lo que la tensión en sus terminales será la mínima con la que nos podamos encontrar.

Una vez realizado el circuito vamos a medir la tensión en el primario, en el secundario y la corriente de primario mediante dos voltímetros, uno en paralelo con cada bobinado y un amperímetro en serie con el bobinado primario.

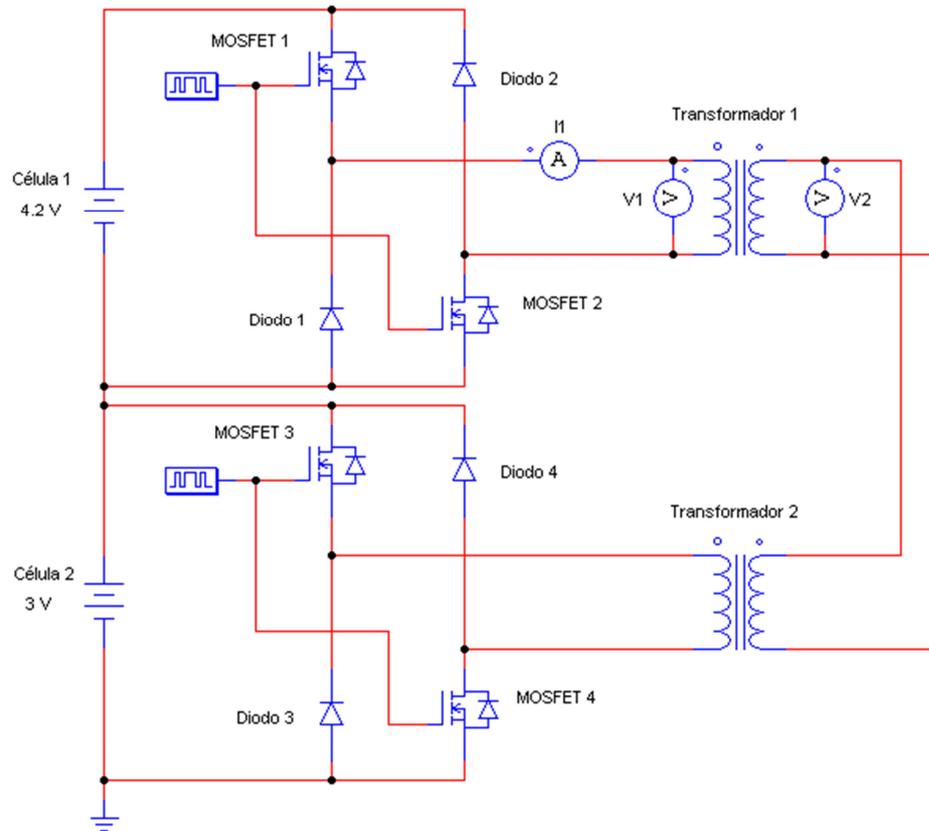


Fig 7: esquema simulación del transformador

Realizamos una simulación de dos ciclos de reloj de la cual obtenemos las siguientes graficas en las que medimos los siguientes valores

- Tensión en el primario ( $V_p$ ): 4,2 V.
- Intensidad eficaz en el primario ( $I_{rms}$ ): 0,244 A.

La potencia del transformador es el producto ente la tensión eficaz del primario ( $V_{rms}$ ) y la corriente eficaz ( $I_{rms}$ ).

De la gráfica de la tensión también podemos obtener el valor de la tensión eficaz del primario ( $V_{rms}$ ) es 4,15 V.

Por lo que la potencia del transformador será:

$$P = V_{rms} \times I_{rms} = 4,15 \text{ V} \times 0,244 \text{ A} = 1,01 \text{ W}$$

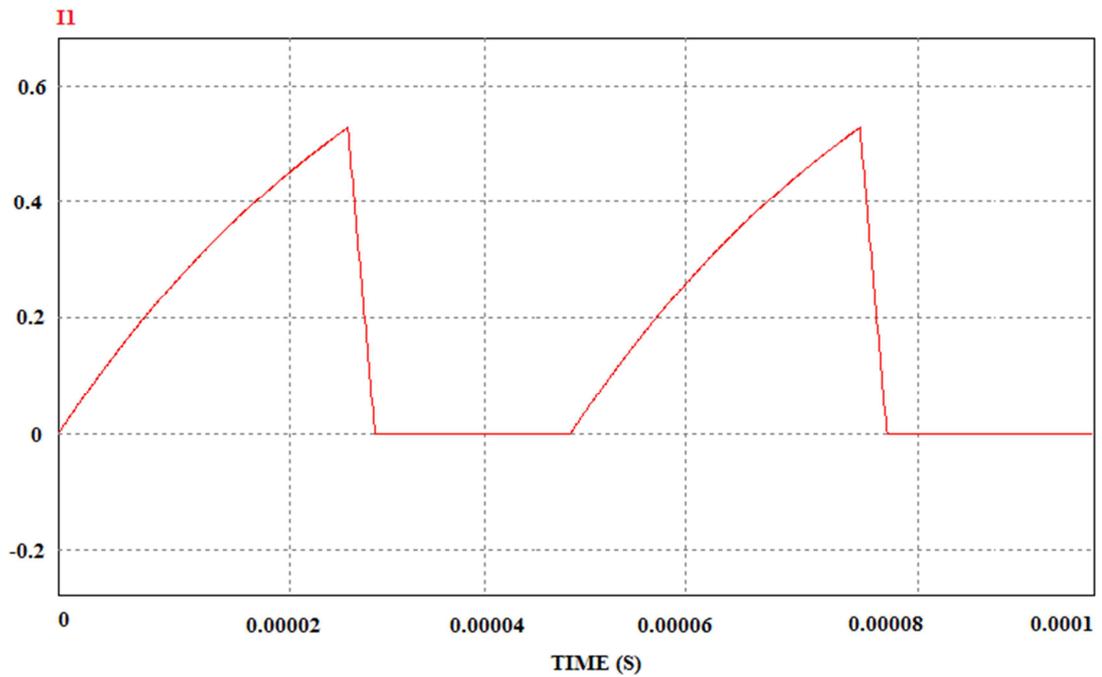


Fig 8: grafica intensidad en el transformador

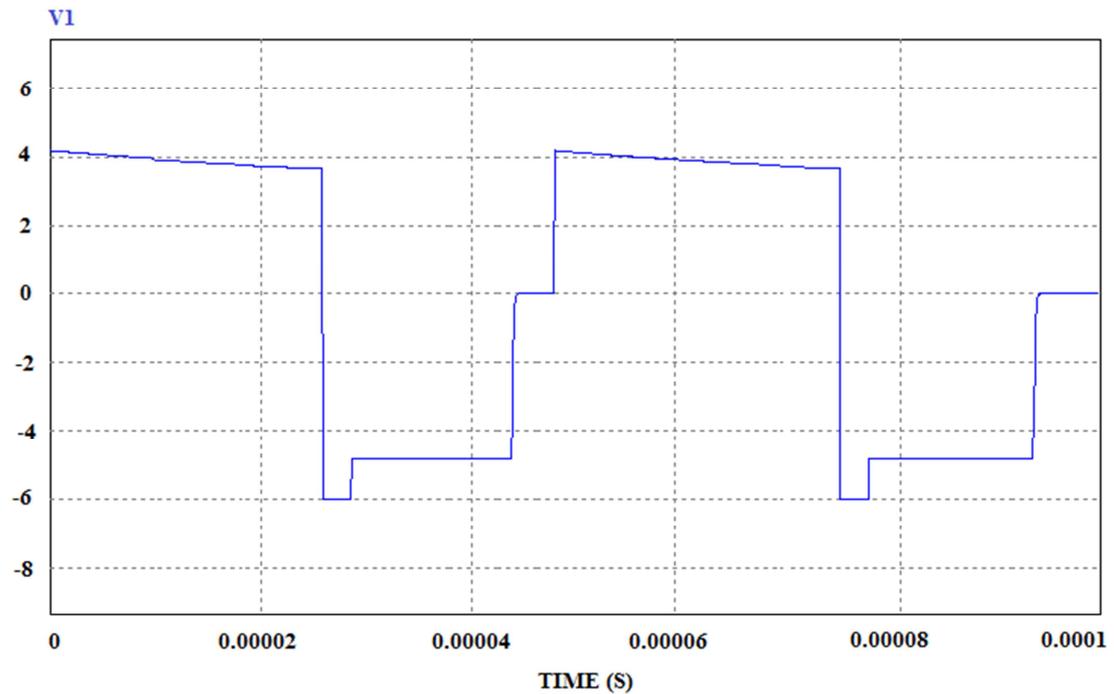


Fig 8: grafica tensión en el transformador

Lamentablemente debido a las particularidades de nuestros transformadores no encontramos un modelo que se adapte a nuestras necesidades por lo que tendremos pedir a un fabricante que nos lo fabrique. Para que pueda fabricarnos el transformador adecuado le daremos la siguiente información.



- Tensión del primario (V): 4,2 V.
- Tensión del secundario (V): Aunque experimentalmente no es de 4,2 V debido a las pérdidas internas como la relación de transformación de nuestro 1:1 se lo indicaremos al fabricante diciéndole que la tensión del secundario también es de 4,2 V.
- Potencia (W o VA): por motivo de seguridad sobredimensionaremos la potencia antes calculada un 50% por lo que al fabricante le indicaremos una potencia de 1,5 W.
- Frecuencia de trabajo (Hz): 20KHz importante a la hora de diseñar el núcleo.
- 

## 5. SELECCIÓN DE PROTECCIONES DE LOS MOSFET

En este documento dimensionaremos en caso de necesitarlas las protecciones que van a necesitar nuestros transistores MOSFET. Partiendo de que está bien elegido el modelo que va a soportar las tensiones e intensidades que se le van a aplicar. La protección que nos afecta en caso de los transistores es una protección térmica que evite que alcances temperaturas que puedan poner en riesgo su correcto funcionamiento o su integridad física.

Para ello primero tenemos que calcular la potencia que disipa un transistor MOSFET (los 14 son iguales) tanto en conducción como en conmutación. Las fórmulas por las que vamos a calcular esas potencias son las siguientes:

Potencia por conducción:

$$P_c(W) = R_{DS} \times I_D^2$$

Potencia por conmutación:

$$P_n(W) = \frac{V_{DSmax} \times I_{Dmax}}{6} \times (t_{on} + t_{off}) \times frec$$

En la siguiente tabla hacemos una relación de cada variable con su valor en nuestros MOSFET.

Símbolo	Magnitud	Valor
$R_{DS}$	Resistencia drenador fuente	0,056 $\Omega$
$I_D$	Intensidad eficaz por el drenador	236 mA
$V_{DSmax}$	Tensión máxima drenador fuente	4,2 v
$I_{Dmax}$	Intensidad máxima por el drenador	528 mA
$t_{on}$	Tiempo de subida	38 ns
$t_{off}$	Tiempo de bajada	21 ns
frec	Frecuencia de conmutación	20 KHz



Por lo que sustituyendo en las formulas anteriores obtenemos los valores de las potencias correspondientes

$$P_c(W) = 0,056\Omega \times 0,236A^2 = 0,003 W$$

$$P_n(W) = \frac{4,2V \times 0,528A}{6} \times (38s \times +21s) \times 10^{-9} \times 20000Hz = 4.4 \times 10^{-4} W$$

La potencia total disipada por el MOSFET sería la suma de ambas.

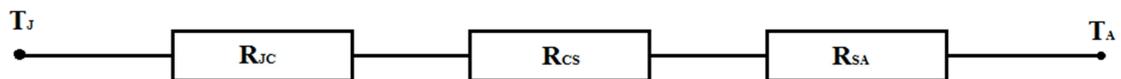
$$P_t(W) = P_c(W) + P_n(W) = 0,003 W + 4.4 \times 10^{-4} W = 3,44 mW$$

Ahora que ya tenemos la potencia que disipa el transistor debemos asegurarnos que su temperatura se mantiene dentro de un rango aceptable, en nuestro caso ese rango aceptable será de un 60% de la temperatura máxima soportable por el semiconductor.

Además consideramos que la temperatura ambiente en la que va a trabajar nuestro ecualizador es de 45°. Puede que sea una temperatura excesiva pero así damos un margen de seguridad al dimensionamiento de nuestras protecciones.

A través de la hoja de características del MOSFET vemos que la temperatura máxima que puede soportar el componente es de 175° y como hemos dicho antes el rango en el que queremos que trabaje será del 60% de esta, lo que corresponde a un 105°. Por lo tanto si elegimos bien los disipadores de calor el MOSFET no debería pasar de esta temperatura siendo la temperatura ambiente de un máximo de 45° y lo consumos de potencia no son superiores a los calculados antes.

La siguiente figura muestra un esquema de las distintas resistencias térmicas que debemos tener en cuenta para calcular las protecciones de nuestro transistor.



De este esquema podemos despejar el valor de  $R_{SA}$  correspondiente a la resistencia térmica ofrecida por el disipador mediante la siguiente formula.

$$P_t = \frac{T_J - T_A}{R_{JC} + R_{CS} + R_{SA}} \rightarrow R_{SA} = \left( \frac{T_J - T_A}{P_t} \right) - (R_{JC} + R_{CS})$$



Símbolo	Magnitud	Valor
$R_{JC}$	Resistencia unión caja	0,9 °C/W
$R_{CS}$	Resistencia caja pila	0,5 °C/W
$R_{SA}$	Resistencia pila ambiente	Incógnita a despejar
$T_J$	Temperatura de la unión	105°
$T_A$	Temperatura ambiente	45°
$P_t$	Potencia total	3,44 mW

Por lo que sustituyendo en la formula anterior obtenemos El valor del  $R_{SA}$  correspondientes.

$$R_{SA} = \left( \frac{105^\circ - 45^\circ}{3,44 \times 10^{-3}W} \right) - (0,9 \text{ } ^\circ\text{C}/W + 0,5 \text{ } ^\circ\text{C}/W) = 17440 \text{ } ^\circ\text{C}/W$$

Dicha resistencia térmica es superior a la que ofrece la convección natural a través de aire por lo que llegamos a la conclusión de que no necesitamos disipador para mantener los componentes a una temperatura adecuada.

## 6. DIMENSIONAMIENTO DE LAS PIESTAS DE POTENCIA

En este apartado vamos a calcular el ancho de las pistas de la placa del circuito de potencia.

Para ello nos vamos a apoyar en el estándar ANSI-IPC 2221 el cual nos permite obtener un valor para el ancho de la pista en función de tres variables.

- $I_{max}$ : corriente máxima que puede circular por la pista.
- $T$ : incremento máximo de temperatura que puede soportar esa pista.
- $G$ : el grosor de la pista.

En nuestro circuito la corriente máxima que circulará por las pistas es de 0,6 A pero vamos a sobredimensionar y nos vamos a ir a 1 A.

El incremento de temperatura admisible lo consideraremos de 10°C para asegurar la integridad de esta y de sus componentes.

El grosor de la pista nos lo pide en onzas por pie cuadrado (una onza equivale a 35 micras), debido a que este es un estándar anglosajón. Las medidas más comunes de grosores en placas son 1, 2 y 3 onzas por pie cuadrado. Elegiremos una placa de un grosor de 1 onza por pie cuadrado.



Una vez que tengamos ya definidas nuestras variables, aplicamos la siguiente ecuación.

$$\text{Ancho} = \frac{\left(\frac{I}{k_1 \times T^{k_2}}\right)^{\frac{1}{k_3}}}{G \times 1.378}$$

Dónde:

- k1: es 0.0647 al ser una pista externa.
- k2: es 0.4281 al ser una pista externa.
- k3: es 0.6732 al ser una pista externa.
- Ancho: es el ancho de la pista en milésimas de pulgada.

Sustituimos los valores para nuestro caso y obtenemos el siguiente ancho.

$$\text{Ancho}(mils) = \frac{\left(\frac{1}{0.0647 \times 10^{0.4281}}\right)^{\frac{1}{0.6732}}}{1 \times 1.378} = 9.8 \text{ mils}$$

Considerando que una milésima de pulgada corresponde a 0.0254 mm el ancho mínimo de las pistas deberá ser:

$$\text{Ancho}(mm) = 9.8 \text{ mils} \times \frac{0.0254 \text{ mm}}{1 \text{ mils}} = 0.25 \text{ mm}$$

Aunque ya hemos sobredimensionado estos cálculos aumentando la corriente máxima dado que en las placas disponemos de suficiente espacio daremos un ancho final a las pistas de 1,4 mm.

## 7. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

En nuestro sistema para evitar perturbaciones por conducción que pueda provocar el rectificador del cargador no aseguraremos que este sea  $\cos\theta = 1$  y de bajo coeficiente de armónicos. Así eliminaremos los armónicos que este pueda introducir en la red.

Respecto al ecualizador también tenemos un rectificador pero que debido a las pequeñas corriente con la que trabaja no provoca armónicos de una magnitud considerable. También presentan perturbaciones por campo magnético que aunque no es un campo excesivo vamos a dar una serie de pautas que tendremos que seguir a la hora del diseño de nuestro ecualizador para eliminar reducir los efectos que puede causar esta.



- Las conexiones entre la placa de potencia y los transformadores de potencia se realizarán mediante cables apantallados de la, cuya pantalla se conectará a la masa de circuito de potencia. Y procurando que esas conexiones sean lo más corta posibles.
- A la hora del trazado de las pistas tanto de mando como de potencia, se trazaran estas lo más cerca posibles unas de otras, respetando una distancia mínima de seguridad entre estas de 0,05 mm. A fin de hacer los posible bucles de las pistas lo más pequeños posible.
- En caso de que los transformadores estén en un espacio confinados la entrada y salida de los cables a este se hará de mediante orificios individuales para cada cable y dichos agujeros serán del diámetro más justo posible sin poner en riesgo la integridad del cable.
- Para eliminar posibles efectos antena vamos a calcular la longitud máxima que deben tener las pistas de nuestras placas. Donde:
  - C= velocidad de la luz  $3 \cdot 10^8$  m/s
  - f= es la frecuencia de nuestra señal de 20KHz
  - L= la longitud máxima de las pistas.

$$L \leq \frac{C}{10 \times F} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}}{10 \times 200000Hz} = 1500 m$$

Como vemos una longitud muy superior a la que vamos a necesitar para nuestras placas. Y dado que nuestra señal de potencia no tiene armónicos importantes no calcularemos longitudes máximas con otras frecuencias más que con la fundamental.

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

## **ANEXO Nº 8**

**APLICACIÓN PRÁCTICA:**

**SISTEMA DE MANDO**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



---

## ÍNDICE ANEXO 8

<b>1. SISTEMA DE CONTROL</b>	<b>2</b>
<b>2. MEDIDAS Y ACONDICIONAMIENTO</b>	<b>6</b>
<b>3. DIMENSIONAMIENTO DEL TRNASFORMADOR DE MANDO</b>	<b>8</b>
<b>4. DIMENSIONAMIENTO DEL RECTIFICADOR</b>	<b>11</b>
<b>5. DIMENSIONAMIENTO DEL MICROCONTROLADOR</b>	<b>14</b>
<b>6. ALGORITMO DE CONTROL Y PROGRAMA</b>	<b>15</b>
<b>6.1. Módulo 5: función principal</b>	<b>16</b>
<b>6.1.1. Diagrama de flujo</b>	<b>20</b>
<b>6.1.2. Código de programa</b>	<b>21</b>
<b>6.2. Módulo 2: función máximo</b>	<b>23</b>
<b>6.2.1. Diagrama de flujo</b>	<b>24</b>
<b>6.2.2. Código de programa</b>	<b>24</b>
<b>6.3. Módulo 3: función mínimo</b>	<b>25</b>
<b>6.3.1. Diagrama de flujo</b>	<b>25</b>
<b>6.3.2. Código de programa</b>	<b>26</b>
<b>6.4. Módulo 4: función ADC</b>	<b>26</b>
<b>6.4.1. Diagrama de flujo</b>	<b>27</b>
<b>6.4.2. Código de programa</b>	<b>28</b>
<b>6.5. Módulo 1: bibliotecas y definiciones</b>	<b>28</b>



## 1. SISTEMA DE CONTROL

En este apartado enunciaremos los elementos que componen el circuito de control del ecualizador y también explicaremos el algoritmo de control que gestiona la información captada por los sensores.

En nuestro ecualizador la única medida que debemos tomar es la medición de la tensión de las células la cual está relacionada con la carga que estas almacenan. Esta medida ha de ser lo suficientemente precisa como para notar la variación de carga en la célula mediante la variación de tensión incluso en la parte lineal de la curva de carga de nuestras células.

Una vez obtenida la medida de la tensión de cada una de las células necesitamos digitalizarla mediante un convertidor ADC que tenga la suficiente resolución como para no estropear la precisión que nos ofrecen los sensores.

Dado que vamos a usar un microcontrolador para controlar el ecualizador buscaremos uno que tenga un convertidor ADC integrado. Son muchos los microcontroladores que integran ADC algunos más de uno pero en esos casos se encarece mucho el microcontrolador. Estos aspectos y otros importantes a la hora de elegir un controlador los desglosaremos más adelante.

El microcontrolador no solo se encargará de la conversión ADC de las señales obtenidas por los sensores sino que también será en encargado de en función los valores de estas y del algoritmo con el que le programemos deberá gestionar el control del circuito.

Para la realización y simulación del algoritmo de control del microcontrolador nos apoyaremos en tres programas los cuales se usan principalmente para el desarrollo de programas de microcontroladores.

- Proteus 8 Profesional
- MPLAB X IDE V2.00
- PIC SIMULATOR IDE – Evaluation Copy

Una vez los sensores haya enviado una medida fiable a microcontrolador, este hay digitalizado la señal y ya realizado las operaciones adecuadas para ver si es necesaria o no la ecualización, en caso de serlo y de activarse el PWM este debe ser capaz de activar los MOSFET del circuito de potencia.

Para ello usaremos un circuito de control compuesto por un transformador con catorce bobinados secundarios y uno primario. Cada uno de los bobinados suministrara la tensión necesaria para activar el MOSFET, dicha tensión deberá ser rectificadas y controlada mediante un optoacoplador.



Para la simulación de este circuito usaremos el programa PSIM 9.1.1.

En la siguiente figura mostraremos el esquema del circuito para el control de un MOSFET.

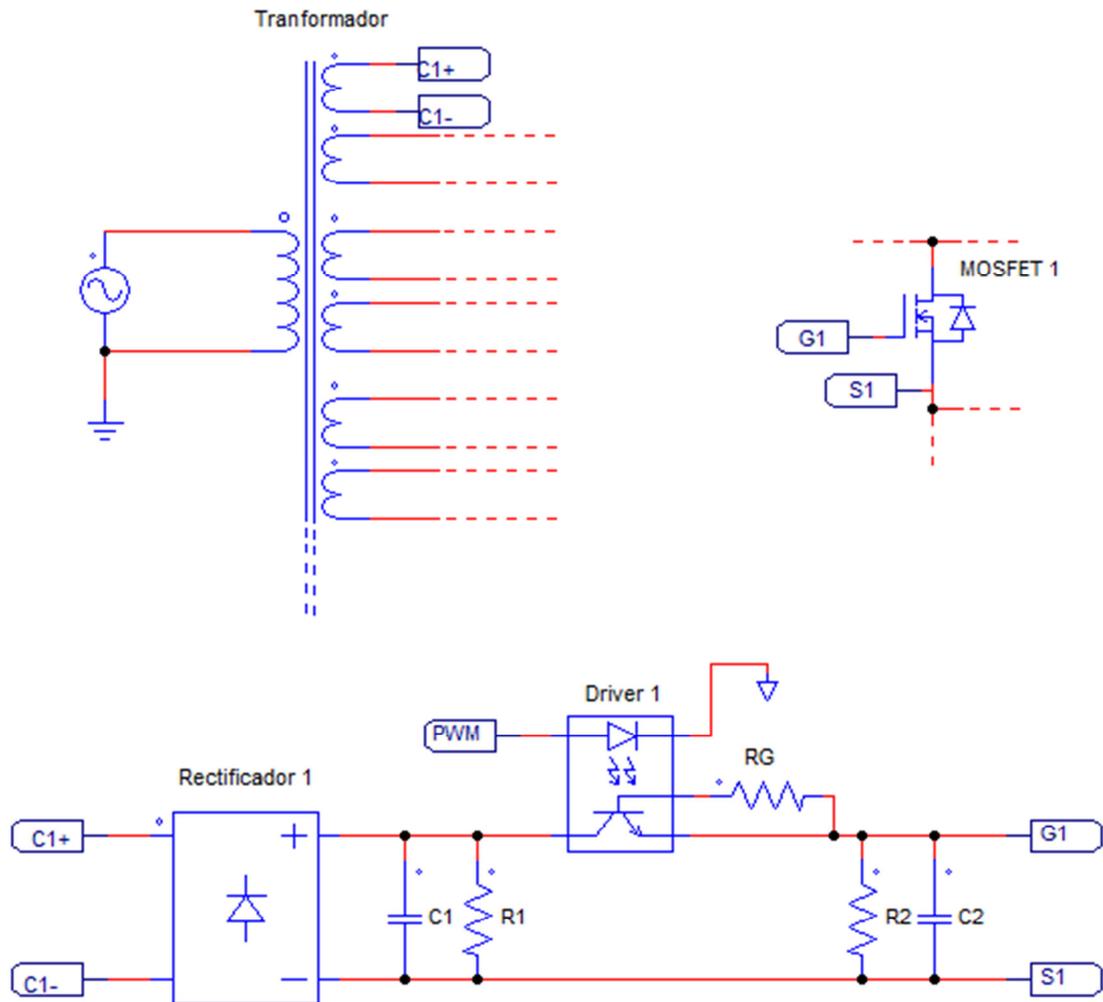


Fig 1: esquema circuito de mando

Los terminales de G1 y S1 se conectan a la puerta (G) y a la fuente (S) del MOSFET 1 respectivamente, así sucesivamente en los catorce MOSFET con sus catorce circuitos de mando.

Para asegurar una buena rectificación y que la tensión en la entrada del transistor del por lo tanto la que vamos a enviar la puerta del MOSFET tenga un valor aproximado de 10 V y un bajo rizado debemos elegir con cuidado la caída de tensión en los diodos del rectificador teniendo en cuenta la tensión de salida del transformador, de lo que hablaremos en sus correspondientes apartados.

Para eliminar el rizado dispondremos del condensador C1. Como el transformador está alimentado con la tensión de red (frecuencia de 50Hz) la salida del rectificador



será de 100 Hz. Considerando la constante de tiempo  $\tau$  como el producto de RC y que el tiempo de descarga es de  $5\tau$ . Buscamos unos valores de R y C de tal forma que el condensador no se descargue mucho entre pico y pico (0,01 s) de tensión rectificada y mantenga la tensión en valores muy cercanos a 10 V.

$$0.01 \text{ s} \ll 5 \times C1 \times R1$$

Elegimos un valor de 20K $\Omega$  para R1 y de 220 $\mu$ F para C1.

$$5 \times C1 \times R1 = 5 \times 20000\Omega \times 220 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 22 \text{ s} \gg 0.01 \text{ s}$$

En la siguiente grafica vamos a ver como se reduce el rizado y como el valor eficaz de la tensión es muy próximo a 10 V.

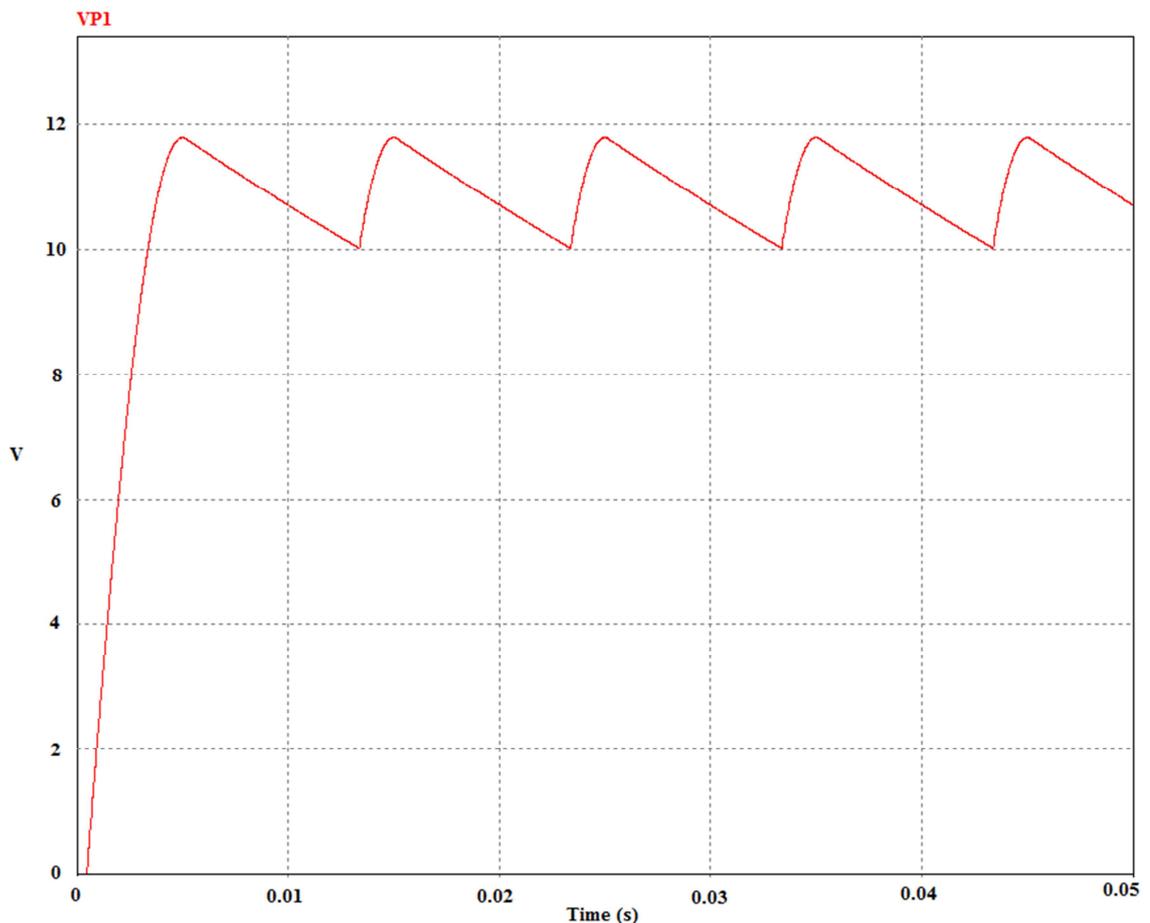


Fig 2: grafica tensión a la salida del rectificador

El condensador C2 representa a la capacidad parasita del MOSFET el cual para asegurar que cierre la conducción de rápidamente le ponemos una resistencia de descarga. Del mismo modo que antes considerando la constante de tiempo  $\tau$  como el producto de RC y que el tiempo de descarga es de  $5\tau$ . Buscamos unos valores de R y C de tal forma que el la capacidad parasita del MOSFET se descargue en un tiempo



que no afecte al correcto funcionamiento del ecualizador. En nuestro caso consideramos ese tiempo de  $3\mu\text{s}$ . Consideramos una capacidad parasita de  $5\text{ nF}$  por lo que atendiendo a la siguiente formula.

$$3\mu\text{s} = 5 \times 5\text{ nF} \times R2 \rightarrow R2 = \frac{3 \cdot 10^{-6} \text{ F}}{5 \times 5 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = 120 \Omega$$

En la siguiente grafica vamos a ver cómo se comporta el condensador C2 cuando el PWM esta activo. Para ello ponemos un voltímetro en paralelo con este cuya tención vemos en la siguiente grafica en forma de VC2

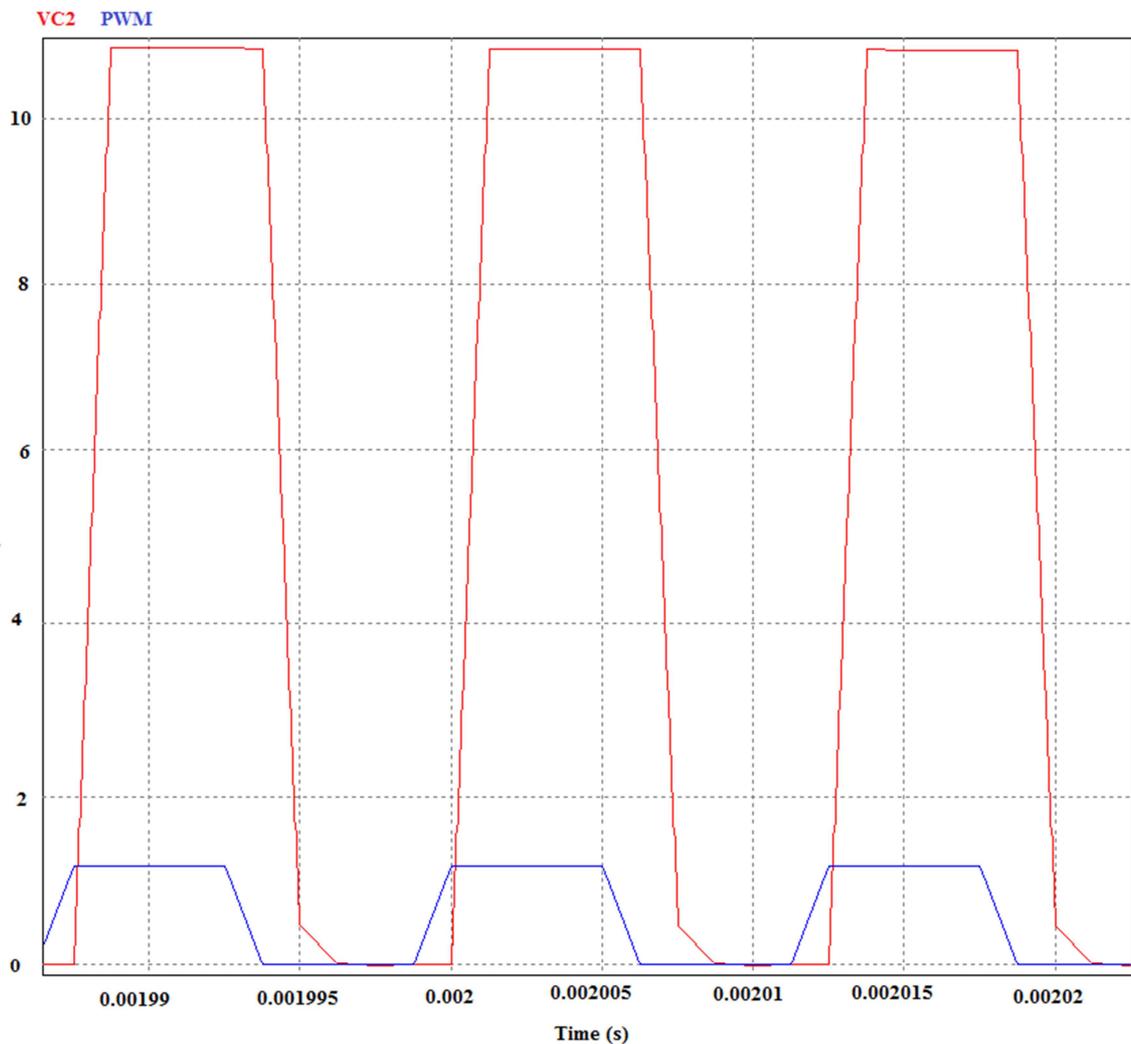


Fig 3: grafica descarga capacidad parásita del MOSFET

Podemos ver en la gráfica anterior como la tensión del condensador se descarga antes de que pasen  $5\mu\text{s}$ .



## 2. MEDIDAS Y ACONDICIONAMIENTO

Como hemos indicado en el apartado anterior necesitamos realizar la medición de las células que componen la batería. Es importante destacar que cuando hacemos mención al proceso de medida este engloba desde que captamos el valor físico que queremos medir, los transformamos en una señal eléctrica comprensible para nuestro sistema, la acondicionamos para poder trabajar con ella y la digitalizamos para que ya sea el algoritmo de control el que se encargue de realizar las operaciones adecuadas.

Para poder realizar la medida correctamente no solo debemos elegir un sensor con una precisión adecuada sino que debe garantizar que no afectara al correcto funcionamiento del circuito.

En el mercado existen múltiples sensores de tensión algunos ya implementados dentro de circuitos integrados y otros realizados a partir de elementos discretos que al unirse proporcionan la señal eléctrica relativa a la magnitud que se desea medir.

Los primeros si bien es cierto que suelen ser de un precio superior a los segundos y pierden versatilidad nos ofrecen robustez y una mayor precisión ya que sus circuitos internos están diseñados de una manera precisa y por lo tanto ofrecen una mayor precisión que los primeros. Debido a esto último optaremos por un sensor integrado.

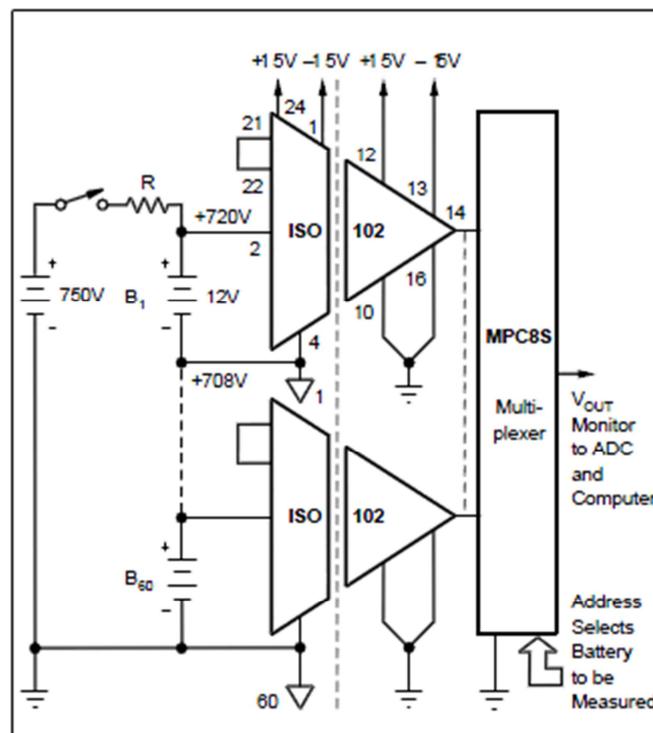


Fig 4: esquema conexión amplificadores diferenciales



A la hora de decántanos por un sensor integrado dada la disposición serie de las células de la batería una de las principales características que debe tener nuestro sensor es un elevado rechazo de modo común pues en la séptima batería la tensión de modo común será pequeña pero en las primeras será considerablemente mayor.

Otro de los factores es la precisión de la medida, características que viene determinada principalmente por los errores de ganancia, offset... del sensor. Es importante que sean bajos o que sean relativamente estables y el circuito disponga de patillas auxiliares de referencia para poder eliminar la mayor parte posible del error mediante su calibración.

Hay que ver también que el valor de tensión de las células no debería bajar de 3V ni ser superior a 4,2V. Habiendo comentado anteriormente que se pretende realizar la conversión ADC mediante el convertidor interno de un microcontrolador y que los rangos de estos suelen poderse configurar a las tensiones de alimentación de estos, que suelen ser de 5V  $V_{ref+}$  y 0V  $V_{ref-}$ . Deberíamos aprovechar que la tensión de las células ya se encuentra dentro del rango del conversor ahorrándonos así amplificación previa o posterior a la captación de la medida. Para ello buscaremos un sensor que tenga ganancia 1 y un rango de entrada que al menos acepte 5V.

Otro factor que debemos buscar es que nos ofrezca aislamiento galvánico pues a fin de garantizar la seguridad de los componentes de control y de eliminar perturbaciones por conducción los circuitos de potencia y de control, son distintos con masas diferentes y por lo tanto no podemos usar un sensor que de una medida al control referenciada con la masa de la potencia.

Y el último de los principales factores que buscaremos será que tenga una resistencia de entrada lo más grande posible. Esta característica la cumplen por norma general todos los sensores del mercado pues no interesa que su resistencia de entrada se baja y que al medir modifique las características de funcionamiento del circuito y en nuestro caso descargarnos las células que estamos intentando equilibrar.

Circuitos basados en AOP nos proporcionan valores de resistencia de entrada cercanos a los megaohmios con lo que resultan sensores ideales para nuestros propósitos.

Seleccionamos el modelo ISO106B el cual nos ofrece las prestaciones que buscamos y si bien es cierto que presente un ligero error de offset que nos da también la opción de su eliminación mediante una calibración previa.

### **2.1. Calibración del sensor**

Para el proceso de calibración de los sensores se disponen de dos potenciómetros R1 y R2 conectados como se muestra en la siguiente figura.

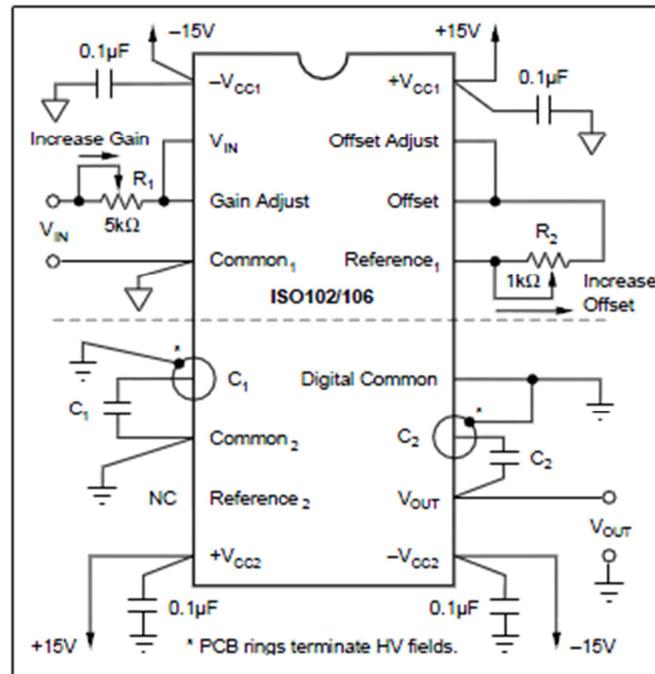


Fig 5: esquema conexión amplificadores diferenciales para la calibración

Dado que nosotros vamos a trabajar con una ganancia fija de 1 solo debemos realizar esta calibración una vez (salvo tareas de mantenimiento).

El proceso consta de dos pasos.

1. Ajuste del offset: conectar  $V_{in}$  a 0V y ajustar  $R_1$  hasta que en la salida haya 0V eliminando así el error de offset.
2. Eliminar el error de ganancia: conectar el  $V_{in}$  a la tensión máxima de escala (5V) ajustar  $R_2$  hasta que en la salida haya un valor de 5V.

### 3. DIMENSIONAMIENTO DEL TRANSFORMADOR DE MANDO

En este apartado vamos a obtener los parámetros necesarios para definir nuestro transformador de mando a fin de poder elegir un modelo cuyo funcionamiento se adecue a nuestro circuito.

Como hemos mencionado anteriormente este transformador tiene un bobinado primario y catorce secundarios los cuales usamos para excitar los 14 transistores MOSFET de nuestro circuito de potencia.

Para poder elegir o encargar fabricar un transformador, en caso de no haber un modelo comercial disponible, hay que definir los siguientes cuatro parámetros de funcionamiento.



- Tensión en el primario.
- Tensión en el secundario.
- Potencia aparente.
- Frecuencia de trabajo.

De los cuatro parámetros anteriores hay uno que ya podemos definir que es la frecuencia de trabajo que se corresponde con la frecuencia de la red eléctrica que alimentará el primario 50Hz. Así como la tensión del primario que son 230 V

A fin de encontrar unos valores que definan el resto de los parámetros de vamos a realizar una simulación en la que podremos medir los valores de tensión e intensidad necesarios para definir lo parámetros restantes.

En dicha simulación vamos medir la tensión del secundario de uno de los bobinados así como la corriente que circula por el mientas que el PWM está activo.

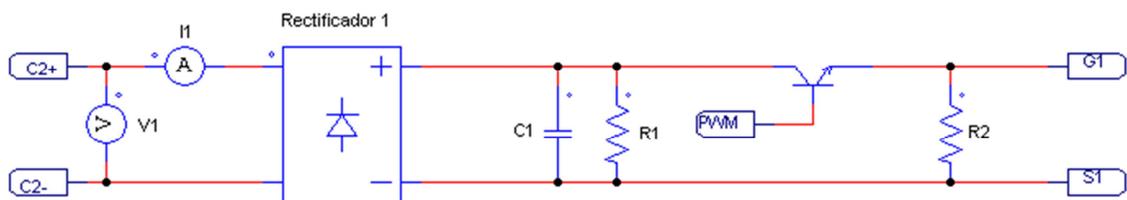


Fig 6: esquema simulación transformador de mando

Para la simulación se les da a C1, R1 y R2 los siguientes valores.

- $C1 = 220 \mu\text{F}$
- $R1 = 20\text{K}\Omega$
- $R2 = 120 \Omega$

En las siguiente grafica podemos medir los valores de intensidad y de corriente necesarios para nuestro dimensionamiento.

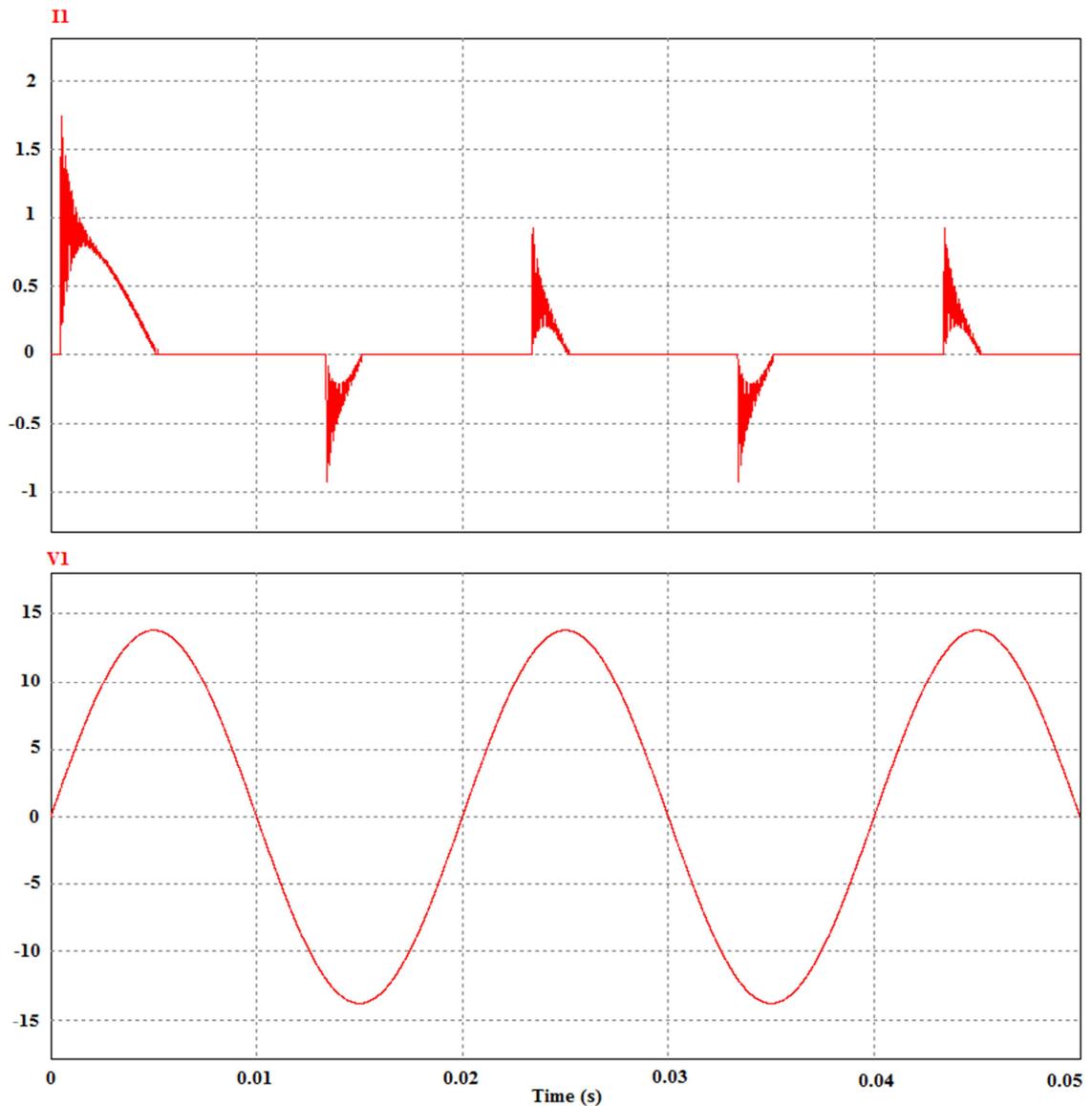


Fig 7: grafica tensiones e intensidades por en secundario del transformador

Des las anteriores graficas obtenemos los siguientes valores:

- Tensión del secundario ( $V_p$ ): 13,8 V
- Tensión eficaz del secundario ( $V_{rms}$ ): 9.75 V
- Intensidad eficaz ( $I_{rms}$ ): 0.238 A

Del mismo modo que hicimos en el apartado de los transformadores de potencia calculamos la potencia de un bobinado secundario como:

$$S_s = V_{rms} \times I_{rms} = 9,75 V \times 0,238 A = 2.32 VA$$

Por lo que la potencia aparente del transformador será catorce veces la de un bobinado.



$$S_T = 14 \times 2.32 \text{ VA} = 32.48 \text{ VA}$$

Lamentablemente del mismo modo que paso con el dimensionamiento de los transformadores de potencia debido a las particularidades de nuestros transformadores no encontramos un modelo que se adapte a nuestras necesidades por lo que tendremos pedir a un fabricante que nos lo fabrique. Para que pueda fabricarnos el transformador adecuado le daremos la siguiente información.

- Tensión del primario (V): 230 V.
- Tensión del secundario (V): 13.8 V.
- Potencia (S): por motivo de seguridad sobredimensionaremos la potencia antes calculada un 50% por lo que al fabricante le indicaremos una potencia de 48.72 VA.
- Frecuencia de trabajo (Hz): 50Hz.

#### 4. DIMENSIONAMIENTO DEL RECTIFICADOR

En este apartado vamos a obtener los parámetros necesarios para definir nuestro rectificador de mando a fin de poder elegir un modelo cuyo funcionamiento se adecue a nuestro circuito.

Lo primero es elegir el tipo y ya que queremos conseguir una tensión de 10 V a través de una señal senoidal que nos proporciona el bobinado secundario de un transformador. Debido a que los transformadores con tomas intermedias en sus bobinados son más complejos usaremos un Rectificador de onda completa tipo puente doble de Graetz.

Los parámetros con lo que podemos definir un rectificador son principalmente:

- Tensión eficaz ( $V_{\text{rms}}$ )
- Intensidad media ( $I_{\text{avg}}$ )
- Intensidad de pico ( $I_{\text{fsm}}$ )

Para poder elegir un modelo que se adecue a nuestro circuito vamos a realizar una simulación en la que mediremos la tensión y la corriente a la salida del rectificador. En esta simulación vamos a dar una caída de tensión en los diodos del rectificador de 1 V ya que con esa es la caída de tensión máxima que nos garantiza una tensión eficaz de 10 V en la entrada del driver.



Para la simulación se les da a C1, R1 y R2 los siguientes valores.

- C1= 220  $\mu$ F
- R1= 20K $\Omega$
- R2= 120  $\Omega$

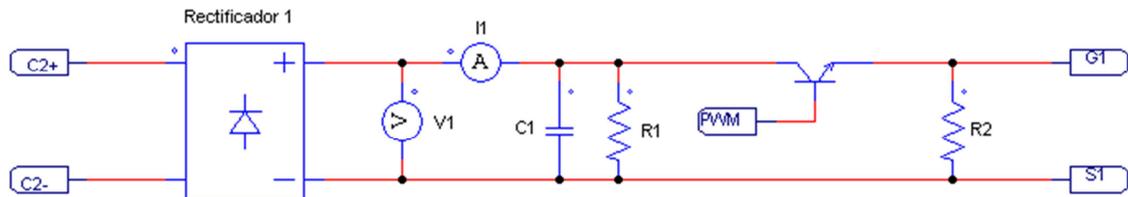


Fig 8: esquema de simulación del rectificador

En las siguientes graficas veremos la corriente y la tensión que debe soportar el rectificador.

De estas graficas obtenemos los siguientes valores:

- Tensión eficaz ( $V_{rms}$ ) = 10.7 V
- Intensidad media ( $I_{avg}$ ) = 0.093 A
- Intensidad eficaz ( $I_{rms}$ )= 0,238 A
- Intensidad de pico ( $I_{fsm}$ ) = 1.7 A

La potencia que debe de ser capaz soportar el rectificador la obtenemos mediante el producto entre la tensión eficaz y la corriente eficaz.

$$P = V_{rms} \times I_{rms} = 10,7 V \times 0,238 A = 2.55 W$$

Con estos valores elegimos el modelo de rectificador:

- MB05S de M.C.C.

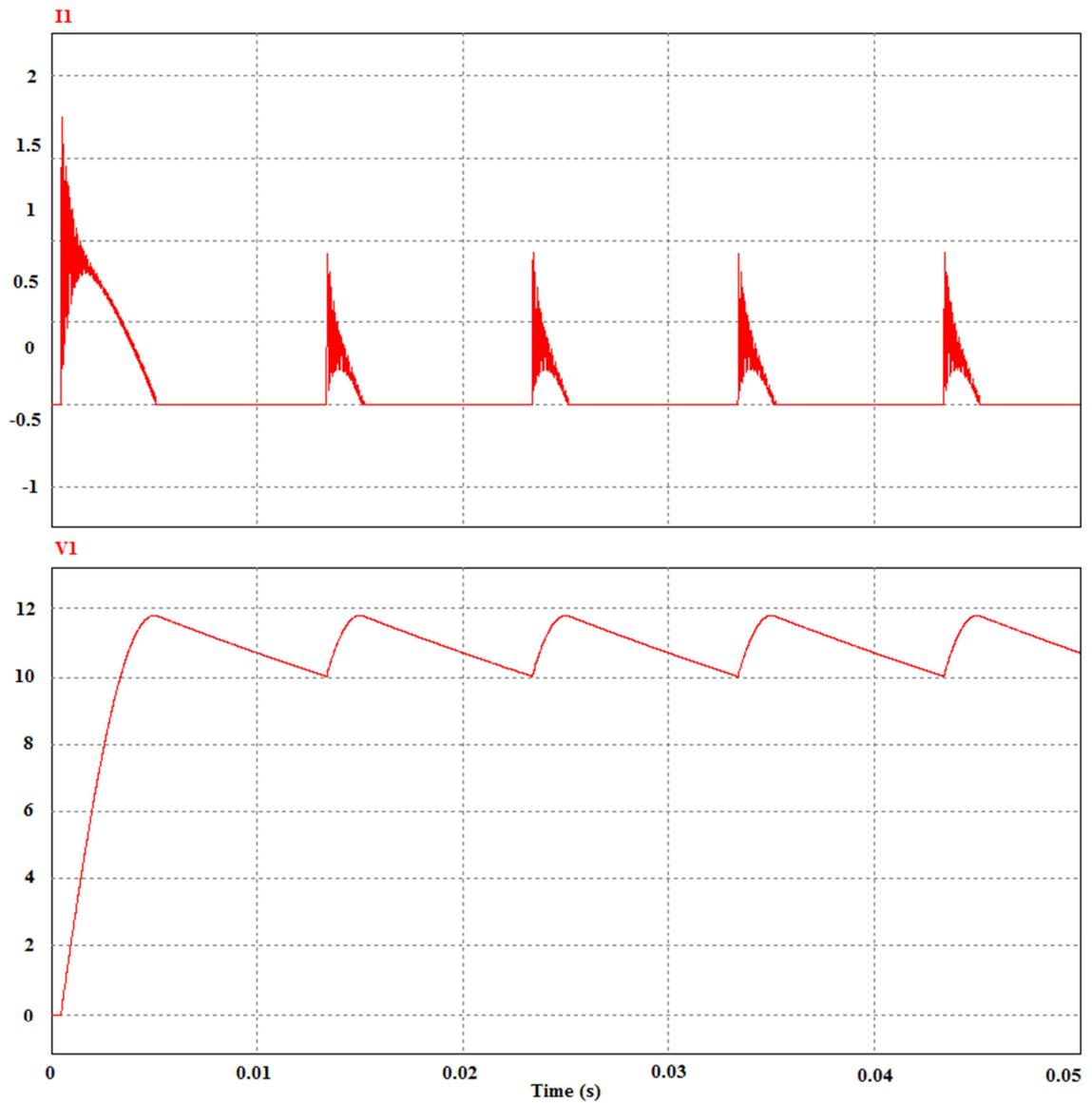


Fig 9: grafica tensiones e intensidades por el rectificador

En la siguiente tabla comparamos los valores de los parámetros que necesitamos, obtenidos por la simulación y los que nos ofrece el modelo elegido.

Comparación parámetros simulación/modelo real		
	Simulación	1N4001
$V_{rms}$	10.7 V	35 V
$I_{avg}$	0.093 A	0.5 A
$I_{fsm}$	1.7 A	30 A



A demás de los anteriores valores nos importa que la caída de tensión en los diodos no sea superior a 1 voltio y que los diodos también aguanten la tensión inversa que alas que se les van a someter.

En el datasheet del modelo vemos que la máxima caída de tensión en los diodos es de 1 V y que los diodos son capaces de soportar 50 V de tensión de pico inversa por lo que en este aspecto el rectificador también cumple con los requisitos de nuestro equalizador.

## 5. SELECCIÓN DEL MICROCONTROLADOR

Para la selección del microcontrolador que va controlar el circuito debemos tener presente cuales van a ser sus requisitos. Para ello veremos una lista de aspectos de todo microcontrolador los cuales estudiando su importancia en nuestro circuito nos orientaran hacia un modelo más concreto.

1. Lista de las interfaces de hardware requeridas. En nuestro sistema no tendremos ningún tipo de periférico tipo USB, I2C, SPI, UART, CAN, LIN... por lo que ese tipo de interfaces no son limitadores para la selección de nuestro microcotrolador.

Sin embargo en este apartado también entran I/O, ADC, DCA y PWM. Parámetros que sin son muy importantes para nosotros.

En nuestro caso necesitaremos un microontrolador con al menos 7 entradas analógicas y una salida que se pueda asociar a un interno PWM.

Potencia del microcontrolador. La potencia del microcontrolador viene determinada por la frecuencia de trabajo. En general se habla de microcontroladores de 4Mhz o de más de 100Mhz. Elegir una frecuencia u otra viene en función del tiempo que queremos que tarde en realizar las operación que le encomendemos y la complejidad de estas claro está.

En nuestro si bien es cierto que necesitaremos que digitalice siete señales analógicas y esta es una operación relativamente lenta y compleja no estamos especialmente limitados por estos tiempos tanto como lo podemos en temas de reducción de costes y es por eso que elegiremos un microcontrolador con una potencia de cálculo media y nos basta con una frecuencia de trabajo de 4Mhz.

2. Necesidades de memoria. En este apartado dado que la cantidad de memoria de programa y la memoria RAM es muy pequeña (aproximadamente 15k) no



se trata de un factor limitador ya que salvo contadas excepciones nos serviría cualquier modelo del mercado.

3. Familiaridad con el dispositivo. Dado que no tenemos ninguna limitación que nos limite mucho el tipo de modelo nos decantaremos por modelos con los que ya hayamos trabajado y por lo tanto tengamos familiaridad a la hora de programarlos así como los programas necesarios para la compilación y simulación del programa.

Por todo ello utilizamos el modelo de microcontrolador PIC16F886 el cual dispone de suficientes entradas analógicas, un convertidor ADC de una resolución adecuada y un PWM. Este microcontrolador trabaja a una frecuencia de 4Mhz y además hemos trabajado con él con anterioridad ya disponemos de todo tipo de documentación y herramientas (entrenadores, compiladores...) para trabajar con él.

Este microcontrolador tiene un módulo ADC que digitaliza una señal analógica a 10 bits de resolución. Por lo que un LSB de los registros en los que guardamos los resultados de las conversiones tendrá un valor de tensión:

$$LSB = \frac{Rango}{N^{\circ} combinaciones} = \frac{5V}{2^{10}} = 0,00488 V$$

En caso de tener que convertir el valor de ese registro en un valor de tensión para poder compararlo en el algoritmo de control diremos que un LSB corresponde a 0,0049 V así además de simplificar cálculos daremos un margen de seguridad.

## 6. ALGORITMO DE CONTROL Y PROGRAMA

En este apartado explicaremos el programa de microprocesador encargado de la gestión del ecualizador.

Para dicho control se usan principalmente dos módulos del microprocesador, el ADC y PWM.

Y se basa en medir los valores de las tensiones de las células. Cuando una de ellas alcanza el valor de 4,2 V activa una señal para que el BMS pare la carga de la batería.

Los valores máximos y mínimos de tensión de las baterías se comparan y si la diferencia de ambos es superior a 0.1 V se activa el PWM a una frecuencia de 20KHz y un ancho de pulso del 50%.



Mientras se genera dicha señal se sigue midiendo la tensión de las células, cuando la diferencia entre la máxima y la mínima sea 0.05 V o menos se desactiva el PWM y si la tensión máxima es igual a 4V o menos activa la salida correspondiente para que el BMS entienda que es posible seguir cargando la batería.

Si en cualquier momento de la carga o de la equalización la tensión de cualquiera de las baterías baja de 2,8 V se parara el proceso y se activará la correspondiente señal para indicar al BMS que la batería esta averiada y que no resulta seguro intentar cargarla.

La estructura de nuestro programa está dividida en varios segmentos los cuales explicaremos más adelante.



Fig 10: estructura del programa

A continuación explicaremos la función que realiza cada uno de los módulos.

### 6.1. Módulo 5: función principal

En este bloque se encuentra la función principal de programa la que se repetirá hasta que se reciba la señal de para pertinente.

Lo primero que hacemos es configurar los puertos de entradas y de salidas. En puerto A y B lo configuraremos todo como entradas mientras que el puerto C será solo de salidas.

También debemos indicar cuales de dichas entradas van a ser analógicas lo hacemos mediante los registros ANSEL y ANSELH. En ANSEL se usa para el puerto A por



lo que indicamos que del bit 0 al 3 serán analógicos poniendo a los cuatro primeros bits de dicho registro. El caso del ANSELH se usa para el puerto B y tenemos que poner a uno los bits 1, 3 y 5.

Después borramos toda información que puedan tener los puertos cargando 0 en los registros PORTA, PORTB y PORTC.

A continuación configuramos en módulo PWM para ello vamos a definir el ancho del pulso y la frecuencia de los pulsos.

En ancho del pulso se define con 10 bits, los ocho del registro CCPR2L y los bits 5 y 4 del CCP2CON siendo estos los últimos los de menor peso. Si todos los bits estuvieran a 1 el ancho del pulso abarcaría el 100% del periodo como lo queremos que sea del 50% pondremos todos los bits a uno salvo el séptimo de bit del registro CCPR2L.

Para asegurarnos una frecuencia de 20KHz debemos trabajar configurando del TIMER2 el registro T2CON y el PR2.

La frecuencia del TIMER2 viene determinada por la siguiente formula.

$$\text{Periodo} = [(PR2) + 1] \times 4T_{osc} \times \text{Prescaler del TIMER2}$$

En donde:

- PR2 es el valor que carguemos en el homónimo registro.
- $T_{osc}$  es el periodo de oscilación como nuestra frecuencia de oscilación es 4MHz el producto de  $4T_{osc}$  corresponde a  $1\mu s$ .
- El Prescaler del TIMER2 se usa para tener más posibilidades a la hora de buscar una frecuencia de oscilación.

Dado que nuestra frecuencia de 20KHz implica un periodo de  $50\mu s$  cargaremos un 49 en el PR2 y fijaremos un prescaler del TIMER2 a 1 lo cual se consigue poniendo los bits cero y uno del registro T2CON.

Una vez tenemos ya configurado el PWM pasamos a configurar el ADC lo cual conseguimos mediante los registros ADCON1 y ADCON0.

Del registro ADCON1 ponemos a cero los bits ADFM, VCFG1 y VCFG0 con lo que configuro la justificación a izquierdas del resultado de la conversión, que la VREF- sea  $V_{ss}$  de alimentación y que la VREF+ sea  $V_{dd}$  de alimentación respectivamente.

Con los bits ADCS1 y ADCS0 del registro ADCON0 selecciono el tipo de reloj del convertidor el cual establezco a  $F_{osc}/8$  poniendo estos dos bits a cero y uno respectivamente.



Después definimos todos los registros que vamos a usar. Dos de tipo entero para indicar si se ha producido una alarma de exceso de tensión (alarमतensionmax) o si por el contrario una de las células está cargada por debajo del umbral de seguridad (alarमतensionmin).

Declaramos también 10 de tipo long de los cuales siete (Bateria1, Bateria2... Bateria7) son para almacenar el valor ya digitalizado de la tensión sus correspondientes células, otro llamado maxload para almacenar el valor de la tensión máxima, el minload para la tensión mínima y un último difload para la diferencia entre la maxload y el minload.

Dado que queremos que nuestro programa se esté continuamente realizando hasta que las baterías alcancen el valor deseado pondremos un bucle while del cual solo se saldrá si recibimos la señal correspondiente del BMS a través de la patilla RA5.

Una vez dentro del bucle lo primero que tenemos es un if al cual entramos si recibimos tensión a través de la patilla RA4. Dentro de ese if realizamos una puesta a cero de los registros de Bateria1:7, de los registros de alarma y de las patillas de salida RC2 y RC3.

Lo siguiente que nos encontramos son 7 llamadas a la función ADC para adquirir los valores de tensión de las siete células de nuestra batería. Los cuales vamos almacenando en sus correspondientes registros.

Después llamamos a las funciones máximo y mínimo, las enviamos los siete registros de carga de las baterías y guardamos los valores de las tensiones máxima y mínima en los registros maxload y minload. También hacemos la resta entre maxload y minload y la guardamos en difload.

Ahora empezamos a comprobar si los valores de las cargas de las células están dentro de los valores de seguridad. Para ello mediante un if comprobamos si el valor de registro maxload multiplicado por 0,0049 (lo explicamos en el tema del microprocesador) es superior o igual a 4,2. En caso afirmativo el registro alarमतensionmax adquirirá un 1 y se activará el salida RC2 indicando al BMS que pare la carga de la batería.

Mediante otro if comprobamos si el valor de registro minload multiplicado por 0,0049 es igual o inferior a 2,9. En caso afirmativo el registro alarमतensionmin adquirirá un 1 y se activarán las salidas RC2 indicando al BMS que pare la carga de la batería y RC3 indicado que no es segura la carga de esta batería.

Si el registro difload multiplicado por 0,0049 es igual o superior a 0,1, alguna de las células ya llegado a su carga máxima de 4,2 V y ninguna de las células tiene una carga inferior a la de seguridad configuran los siguiente bits. El bit TMR2ON se



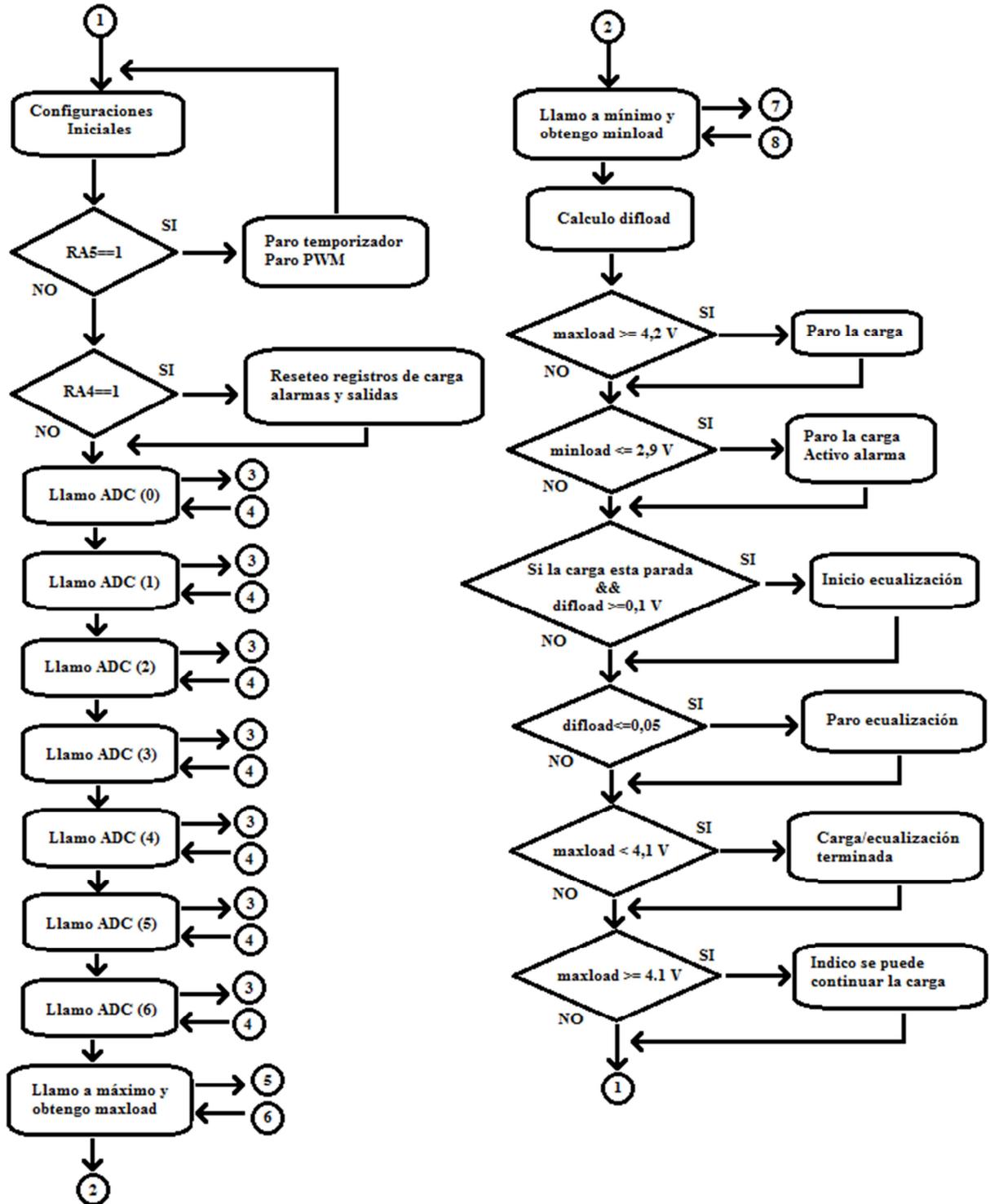
pone a uno activando así en TIMER2 y bits CCP2M3, CCP2M2, CCP2M1 y CCP2M0 los ponemos a uno, uno, cero y cero respectivamente para activar el PWM e indicarle que su salida es la RC1.

Cuando difload multiplicado por 0,0049 sea menor o igual que 0,05 pongo a cero los bits TMR2ON, CCP2M3, CCP2M2, CCP2M1 y CCP2M0 con lo que desactivo el tanto el TIMER2 como el PWM. También ponemos el registro almatensiónmax a 0. Y miramos si el valor del registro maxload multiplicado por 0,0049 es menor o igual que 4,1. De ser así la batería habría quedado suficientemente cargada y estaría lista para su uso lo que le indicamos al BMS activando la patilla RC4. Si por el contrario es inferior la batería podría seguir cargándose y desactivamos la patilla RC2 que era la que paraba la carga.

Si durante la ecualización se activa la entrada RA5 saldríamos del bucle y desactivaríamos tanto el TIMER2 como el PWM.



### 6.1.1. Diagrama de flujo





### 6.1.2. Código programa

```
int main() {
    //Configuraciones iniciales

    ANSEL = 0X0F; //Desde el bit 0 al 3 del PORTA son analógicos
    TRISA = 0XFF; //Configurar PORTA del 0 al 7 como entradas
    ANSELH = 0X26; //El bit 1 3 y el 5 son analógicos
    TRISB = 0XFF; // Configurar puerto B como entradas
    TRISC = 0X00; // Configurar puerto C como salidas
    PORTA = 0X00; // Poner las entradas del PORTA a cero
    PORTB = 0X00; // Poner las entradas del PORTB a cero
    PORTC = 0X00; // Poner las salidas del PORTC a cero

    //Configuro en PWM
    //Los dos primeros bits no se usan.
    //Los dos siguientes se usan para definir el duty cycle LSB.
    //Con los 4 siguientes configuro el RC1/CCP2.
    CCP2CON=0b00110000;
    //Los ocho bits se usan para configurar el duty cycle MSB
    CCPR2L=0b01111111;
    //Preescaler de 1
    T2CON=0b00000000;
    //Cargo el
    PR2=49; //Cargo un 49 a fin de que cuente hasta 50

    //Configuro en conversor ADC
    //Configuro de ADCON1
    ADFM=0; //Justificación izquierdas
    VCFG1=0; //Selección la tensión VREF- a Vss de alimentación
    VCFG0=0; //Selección la tensión VREF+ a Vdd de alimentación
    //Configuro del ADCON0
    //Mediante ADCS1 y ADCS0 Selección una frecuencia de conversión de //Foc/8
    ADCS1=0;
    ADCS0=1;

    //Declaración de las variables del programa
    int alarमतensionmax=0;
    int alarमतensionmin=0;
    long Bateria1=0;
    long Bateria2=0;
    long Bateria3=0;
    long Bateria4=0;
    long Bateria5=0;
    long Bateria6=0;
    long Bateria7=0;
    long maxload=0;
    long minload=0;
    long difload=0;

    //Inicio del programa
    while(RA5==0){
```



```
//Un reset para reiniciar variables y registros
if(RA4==1){
  Bateria1=0;
  Bateria2=0;
  Bateria3=0;
  Bateria4=0;
  Bateria5=0;
  Bateria6=0;
  Bateria7=0;
  alarमतensionmax=0;
  alarमतensionmin=0;
  RC2=0;
  RC3=0;
}
Bateria1=ADC(0);
Bateria2=ADC(1);
Bateria3=ADC(2);
Bateria4=ADC(3);
Bateria5=ADC(4);
Bateria6=ADC(5);
Bateria7=ADC(6);

maxload=maximo(Bateria1, Bateria2, Bateria3, Bateria4, Bateria5, Bateria6, Bateria7);
minload=minimo(Bateria1, Bateria2, Bateria3, Bateria4, Bateria5, Bateria6, Bateria7);
difload=maxload-minload;
//Si una de las células ha llegado a 4,2 voltios.
if ((maxload*0.0049)>=4.2){
  alarमतensionmax=1; //Activo la alarma de tensión máxima
  RC2=1; //Activo la salida RC0 que para la carga
}
//Si una de las células tiene menos de 2,8 voltios.
if ((minload*0.0049)<=2.9){
  alarमतensionmin=1; //Activo la alarma de tensión máxima
  RC2=1; //Activo la salida RC0 que para la carga
  RC3=1; //Activo la salida RC0 indica célula rota.
}
//Si se ha llegado a la carga máxima con una de las células y la diferencia
//entre la más y menos cargada en superior a 100 mV iniciamos la
//ecualización.
if((alarमतensionmax==1)&&(difload*0.0049)>=0.1&&alarमतensionmin==0){
  TMR2ON=1; //Activo el PWM
  CCP2M3=1;
  CCP2M2=1;
  CCP2M1=0;
  CCP2M0=0;
}
if((alarमतensionmax==1)&&(difload*0.0049)<=0.05){
  TMR2ON=0; //Desactivo el PWM
  CCP2M3=0;
  CCP2M2=0;
  CCP2M1=0;
}
```



```
CCP2M0=0;
alarmatensionmax=0; //Desactivo la alarma de tensión máxima
if((maxload*0.0049)<=4,1){
RC2=0; //Activo la salida RC0 que para la carga
}
if((maxload*0.0049)>4,1){
RC4=1; //Activo la salida RC0 que para la carga
}
}
}
TMR2ON=0; //Desactivo el PWM
CCP2M3=0;
CCP2M2=0;
CCP2M1=0;
CCP2M0=0;
return;
}
```

## 6.2. Módulo 2: función máximo

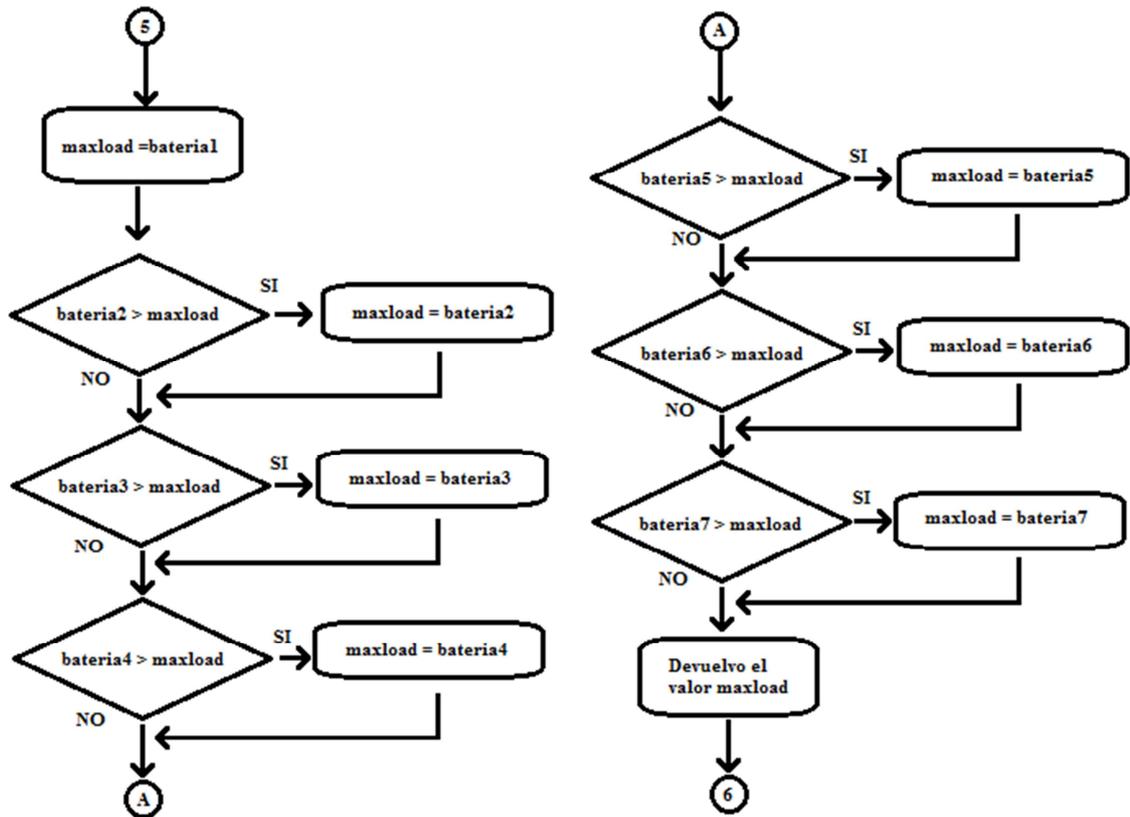
Esta función a la que llamamos en cada ciclo de programa recibe los 7 registros en los que almacenamos los valores ya digitalizados de las tensiones de las células. Se llamara a la función dándole los valores en orden siendo Valor1 el valor de tensión de la célula 1, Valor2 el valor de tensión de la célula 2 y así sucesivamente. Aunque el resultado final no se vería afectado ante cambios en este.

La función usa un registro interno llamado *max* de tipo long en el cual graba el valor de la tensión de la célula uno. Después compara el valor de *max* con el valor de la tensión de la célula 2. En caso de que este nuevo valor de tensión sea mayor se carga sobre el registro *max*. Así sucesivamente hasta que haya comparado con todas las células.

Después devuelve el valor que haya en el registro *max* que será el máximo de los dados a la hora de llamar a la función.



### 6.2.1. Diagrama de flujo



### 6.2.2. Código programa

```
long maximo(long Valor1, long Valor2, long Valor3, long Valor4, long Valor5, long Valor6,
long Valor7){
    long max=0; //Declaro e inicializo el registro max.
    max=Valor1; //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 1.
    if(Valor2>max){
        max=Valor2; //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 2.
    }
    if(Valor3>max){
        max=Valor3; //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 3.
    }
    if(Valor4>max){
        max=Valor4; //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 4.
    }
    if(Valor5>max){
        max=Valor5; //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 5.
    }
    if(Valor6>max){
        max=Valor6; //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 6.
    }
    if(Valor7>max){
        max=Valor7; //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 7.
    }
}
```

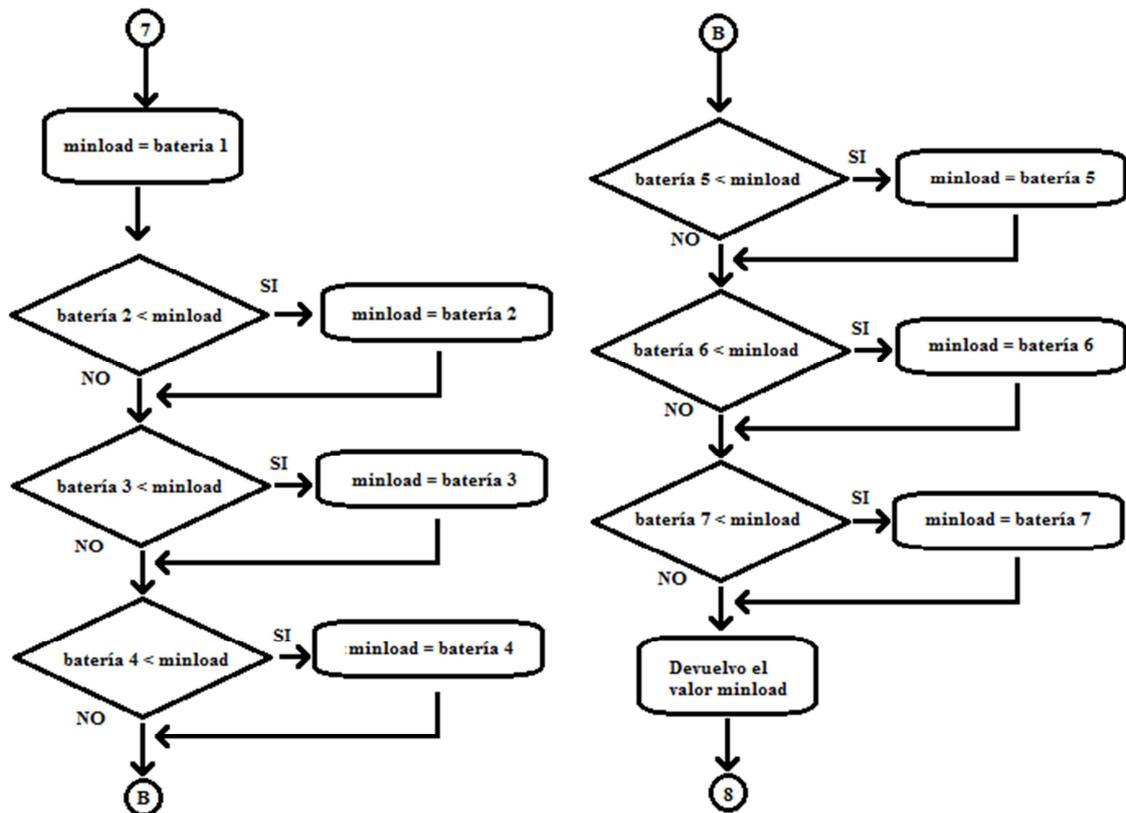


```
}  
return max;  
}
```

### 6.3. Módulo 3: función mínimo

Esta función a la que llamamos en cada ciclo de programa. Al igual que la anterior recibe los 7 registros en los que almacenamos los valores ya digitalizados de las tensiones de las células. Se llamara a la función dándola los valores en orden siendo Valor1 el valor de tensión de la célula 1, Valor2 el valor de tensión de la célula 2 y así sucesivamente. Aunque el resultado final no se vería afectado ante cambios en este. La función usa un registro interno llamado *min* de tipo long en el cual graba el valor de la tensión de la célula uno. Después compara el valor de *min* con el valor de la tensión de la célula 2. En caso de que este nuevo valor de tensión sea menor se carga sobre el registro *min*. Así sucesivamente hasta que haya comparado con todas las células. Después devuelve el valor que haya en el registro *min* que será el mínimo de los dados a la hora de llamar a la función.

#### 6.3.1. Diagrama de flujo





### 6.3.2. Código programa

```
long minimo(long Valor1, long Valor2, long Valor3, long Valor4, long Valor5, long Valor6,
long Valor7){
    long min=0;    //Declaro e inicializo el registro min
    min=Valor1;    //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 1.
    if(Valor2<min){
        min=Valor2;    //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 2.
    }
    if(Valor3<min){
        min=Valor3;    //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 3.
    }
    if(Valor4<min){
        min=Valor4;    //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 4.
    }
    if(Valor5<min){
        min=Valor5;    //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 5.
    }
    if(Valor6<min){
        min=Valor6;    //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 6.
    }
    if(Valor7<min){
        min=Valor7;    //Mas adquiere el valor de la medida de la batería 7.
    }
    return min;
}
```

### 6.4. Módulo 4: función ADC

Esta función se encargara de activar el ADC seleccionando la entrada analógica correspondiente y pasar de los dos registros en los que te guarda el dato digitalizado el ADC a un solo registro de tipo long.

Para ello cuando llamamos a la función ADC le tenemos que dar un valor de tipo entero el cual hace referencia a la célula que queremos medir. En la siguiente tabla hacemos una relación de cada número con su correspondiente configuración.

Ese valor se introduce en un switch el cual en función del número introducido activa una terminada configuración de los bits CHS0, CHS1, CHS2, y CHS3 del registro ADCON0 los cuales seleccionan la entrada analógica correspondiente.

Una vez se ha selecciona la entrada activamos el bit ADON del mismo registro ADCON0 para activar el convertidor. Ahora debemos dar un tiempo de adquisición al convertidor que en nuestro caso (depende del tipo de microprocesador y del reloj que usemos para el convertidor) es de 10 $\mu$ s. Una vez esperado ese tiempo iniciamos la conversión mediante el bit GO\_nDONE también del registro ADCON0.

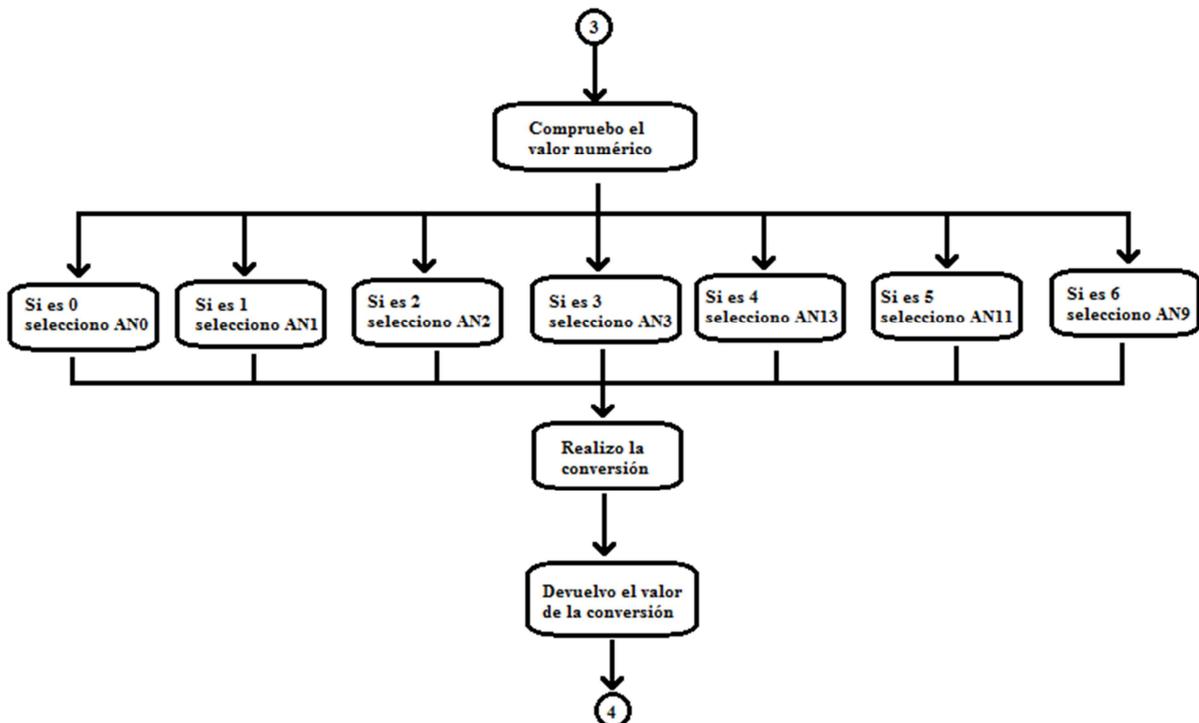


La conversión es un proceso que requiere un tiempo por lo que entramos en un bucle realizado mediante una función if en la que si el bit GO\_nDONE sigue siendo 1 indicando así que la conversión aún no ha acabado salta otra vez a la línea del if.

Cuando la conversión haya acabada, debido a la configuración a izquierdas que hemos elegido en el siguiente bloque, tendremos el valor de 10 bits repartidos en dos. Los dos bits de menor peso estarán en los bits 6 y 7 del registro ADRESL y los 8 de mayor peso en el ADRESH. Mediante dos desplazamientos y una suma los juntamos en el registro valor el cual es un registro de tipo long que usa esta función y que cuyo valor devuelve al programa principal.

Nº case	Nº de batería	Nº entrada analógica	CHS3:0
0	1	AN0	0000
1	2	AN1	0001
2	3	AN2	0010
3	4	AN3	0011
4	5	AN13	1101
5	6	AN11	1011
6	7	AN9	1001

#### 6.4.1. Diagrama de flujo





### 6.4.2. Código programa

```
long ADC(int baterianumero){
    long valor=0;
    //Configuro del ADCON0
    //Mediante CHS3, CHS2, CHS1 y CHS0 selecciono la entrada analógica
    switch (baterianumero){
        case 0: //Selecciono AN0
            CHS0=0; CHS1=0; CHS2=0; CHS3=0;
            break;
        case 1: //Selecciono AN1
            CHS0=1; CHS1=0; CHS2=0; CHS3=0;
            break;
        case 2: //Selecciono AN2
            CHS0=0; CHS1=1; CHS2=0; CHS3=0;
            break;
        case 3: //Selecciono AN3
            CHS0=1; CHS1=1; CHS2=0; CHS3=0;
            break;
        case 4: //Selecciono AN13
            CHS0=1; CHS1=0; CHS2=1; CHS3=1;
            break;
        case 5: //Selecciono AN11
            CHS0=1; CHS1=1; CHS2=0; CHS3=1;
            break;
        case 6: //Selecciono AN9
            CHS0=1; CHS1=0; CHS2=0; CHS3=1;
            break;
    }
    ADON=1; //Activo el convertidor
    __delay_us(10); //Doy un tiempo de adquisición (obtenido por tablas)
    GO_nDONE=1; //Inicio la conversión
wait: if(GO_nDONE==1){ //Espero a que la conversión finalice
    goto wait;
}
    valor=(ADRESH<<2);
    valor=valor+(ADRESL>>6);
return valor;
}
```

### 6.5. Módulo 1: bibliotecas y definiciones

En este bloque lo que hacemos es definir las distintas librerías que va a necesitar nuestro programa y también las definiciones globales que afectarán a todo nuestro programa.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <pic16f886.h>
```



```
#include <xc.h> //librería del compilador de C XC8
#define _XTAL_FREQ 4000000
#define Fosc 4000000
#define __delay_ms(x) _delay((unsigned long)((x)*(_XTAL_FREQ/4000.0)))
#define __delay_us(x) _delay((unsigned long)((x)*(_XTAL_FREQ/4000000.0)))
```



GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA

GESTOR DE CARGAS DE BATERÍA (BMS)

---

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



**GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

**PLANOS**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

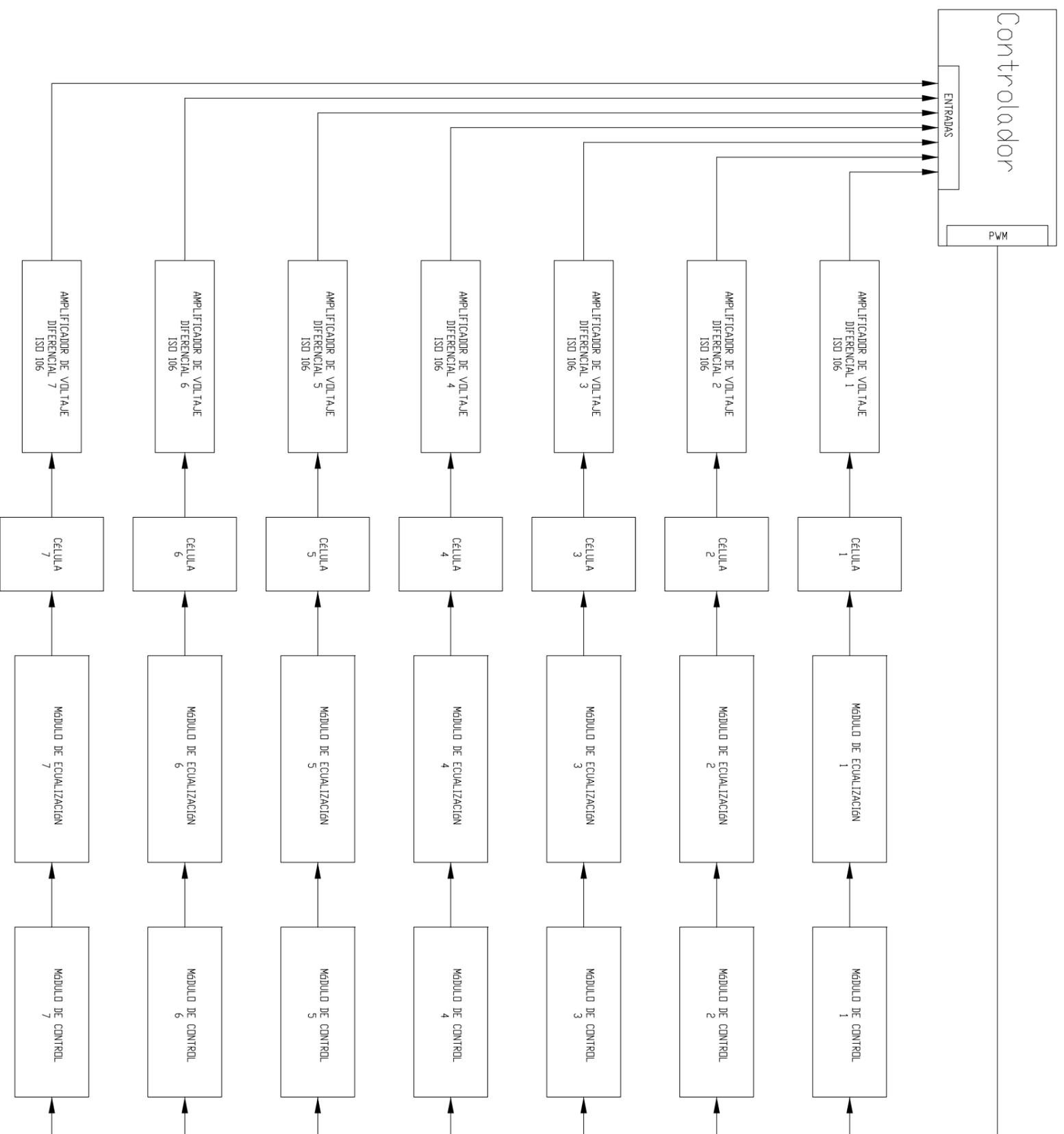
**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



## ÍNDICE PLANOS

- 1. ESQUEMA DE BLOQUES**
- 2. ESQUEMA DE POTENCIA**
- 3. ESQUEMA DE CONTROL**
- 4. ESQUEMA DE MANDO**
- 5. PLACA MICROCONTROLADOR**
- 6. PLACA POTENCIA**
- 7. PLACA DRIVERS 1**
- 8. PLACA DRIVERS 2**



UBU

Firma:



Gestor de carga de baterías (BMS)

Técnico: GABRIEL HUERTA ILLERA

Revisado:

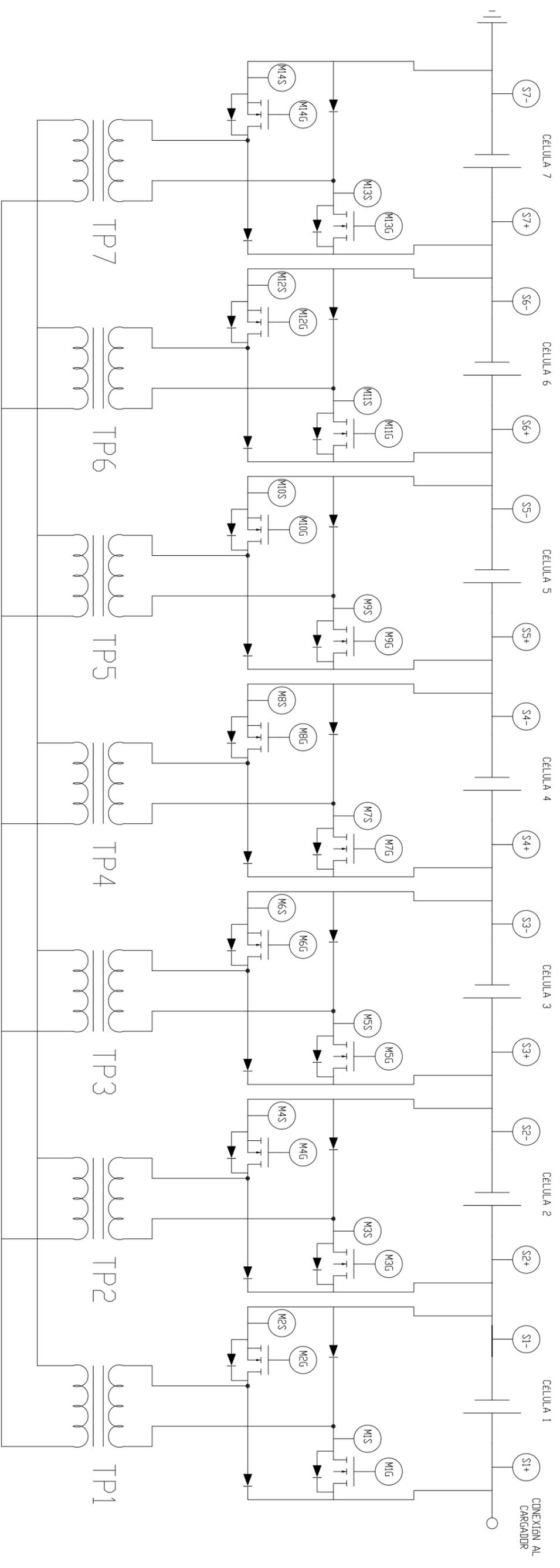
ESQUEMA DE BLOQUES

PLANO Nº  
01

Fecha: BURGOS-2014

Escala:

-



UBU

Firma:



Gestor de carga de baterías (BMS)

Técnico: GABRIEL HUERTA ILLERA

Revisado:

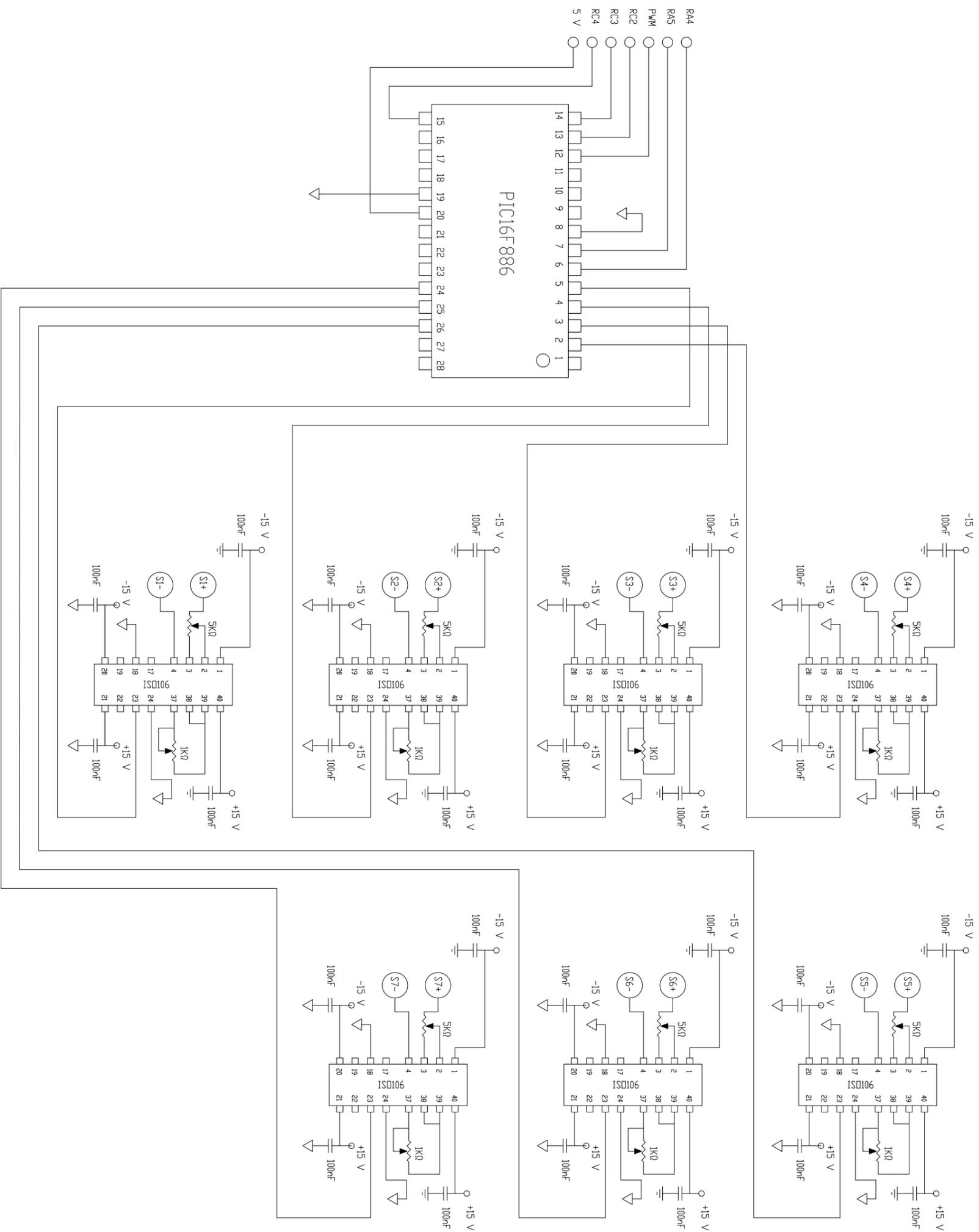
ESQUEMA POTENCIA

Fecha: BURGOS-2014

Escala:

PLANO Nº 02

-



UBU

Firma:



Gestor de carga de baterías (BMS)

Técnico: GABRIEL HUERTA ILLERA

Revisado:

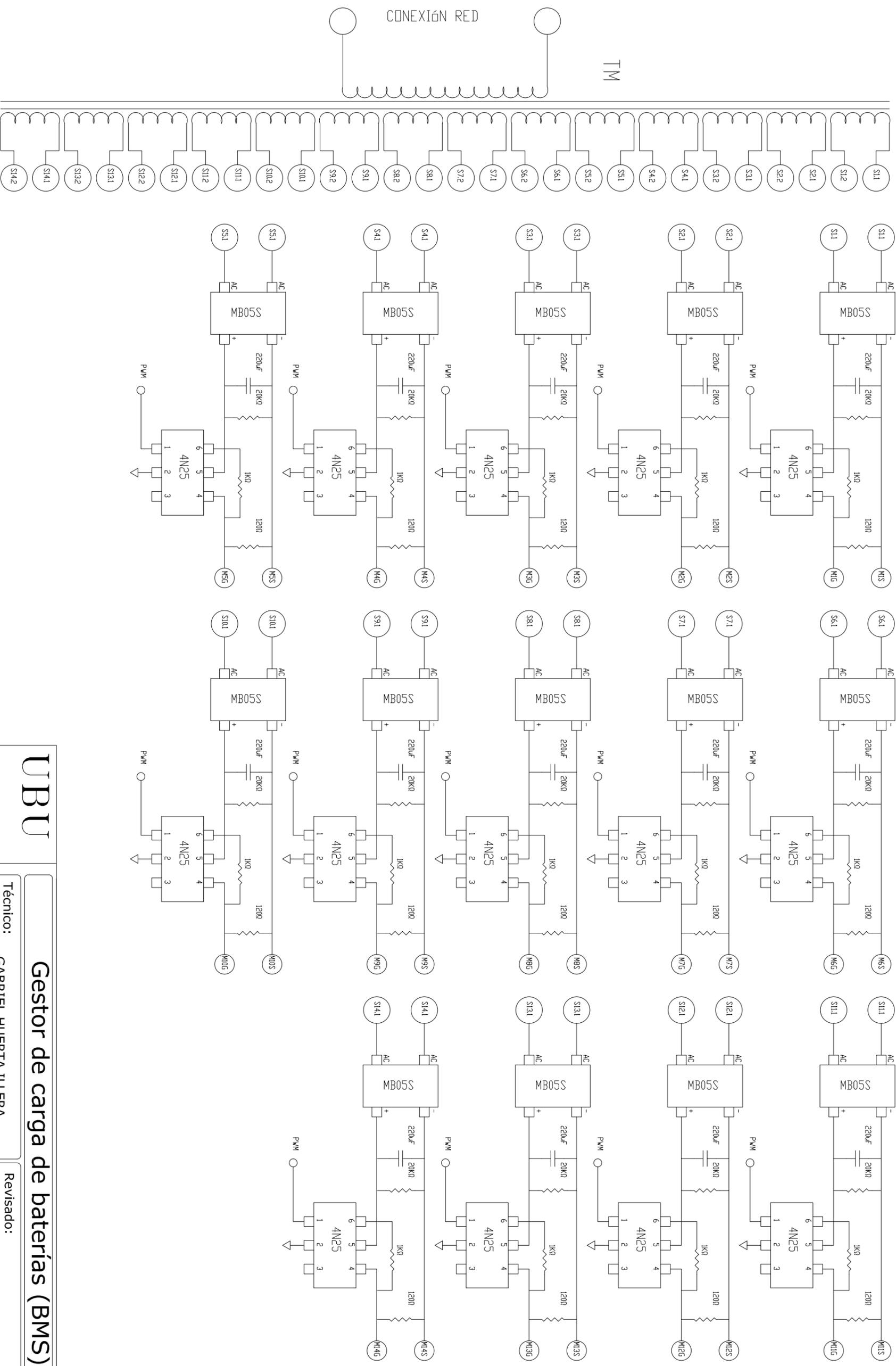
ESQUEMA CONTROL

Fecha: BURGOS-2014

Escala:

PLANO Nº  
03

-



UBU

Firma:



Gestor de carga de baterías (BMS)

Técnico:

GABRIEL HUERTA ILLERA

Revisado:

ESQUEMA MANDO

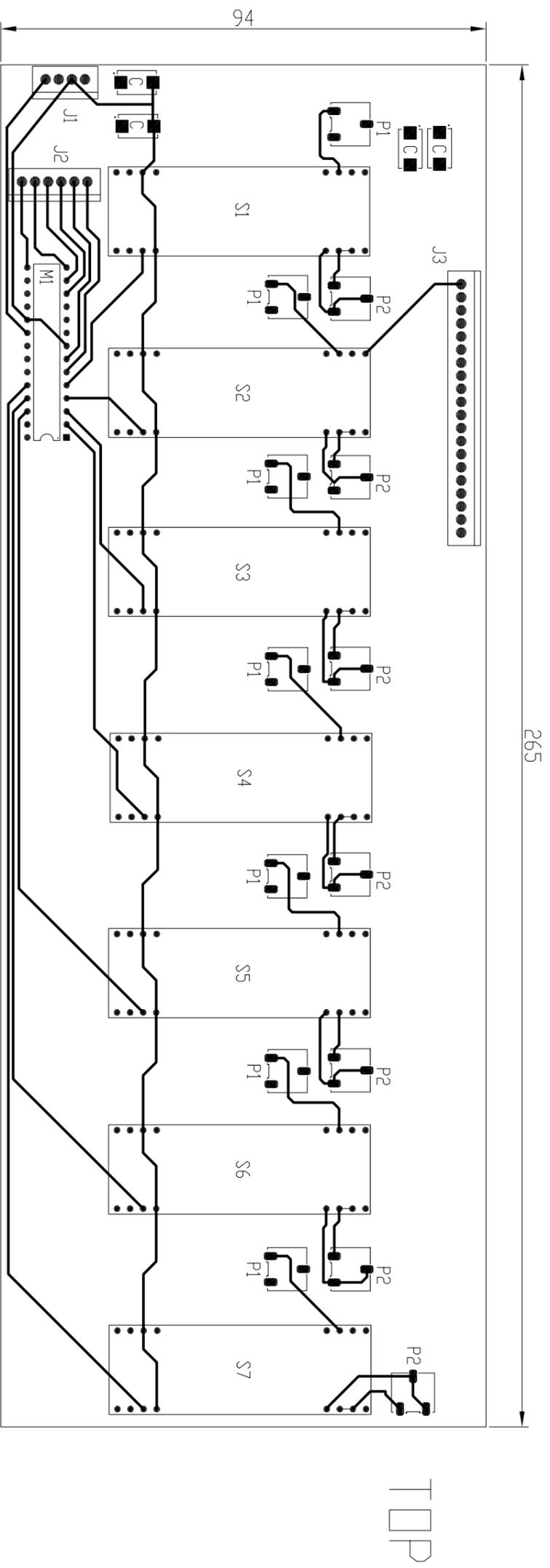
Fecha:

BURGOS-2014

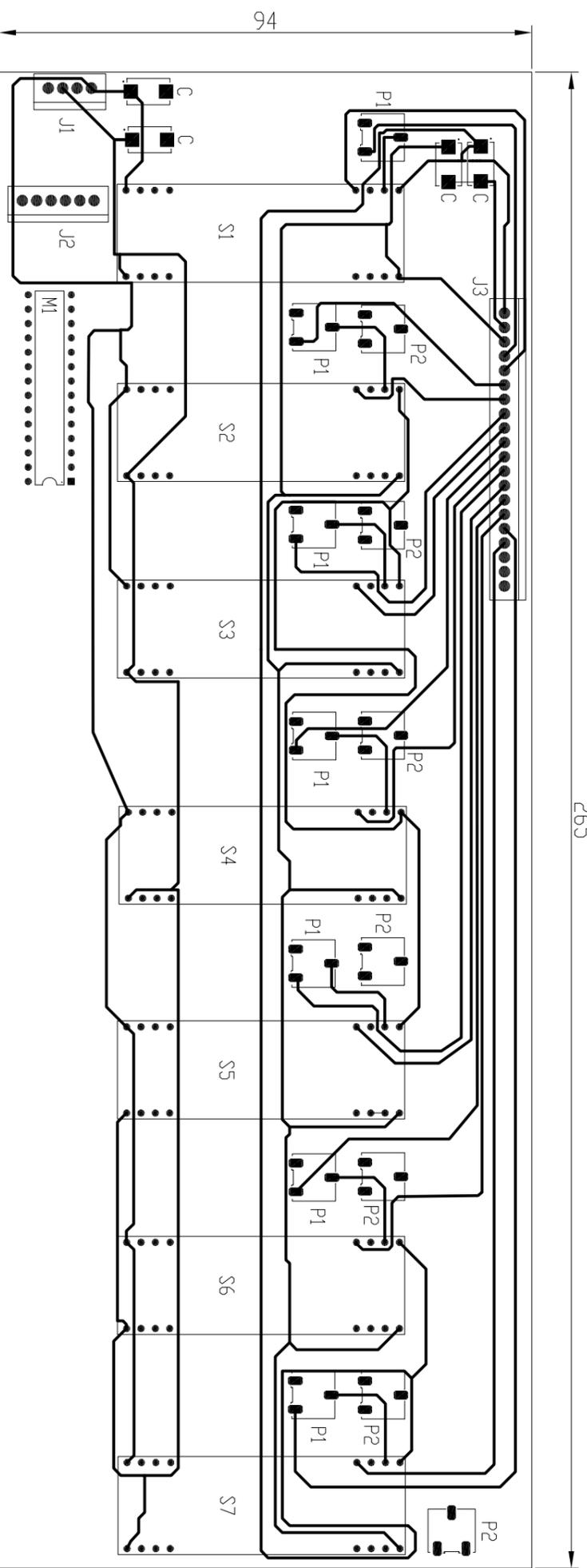
Escala:

-

PLANO Nº  
04



TOP



BOTTOM

UBU

Gestor de carga de baterías (BMS)

Firma:



Técnico: GABRIEL HUERTA ILLERA

Revisado:

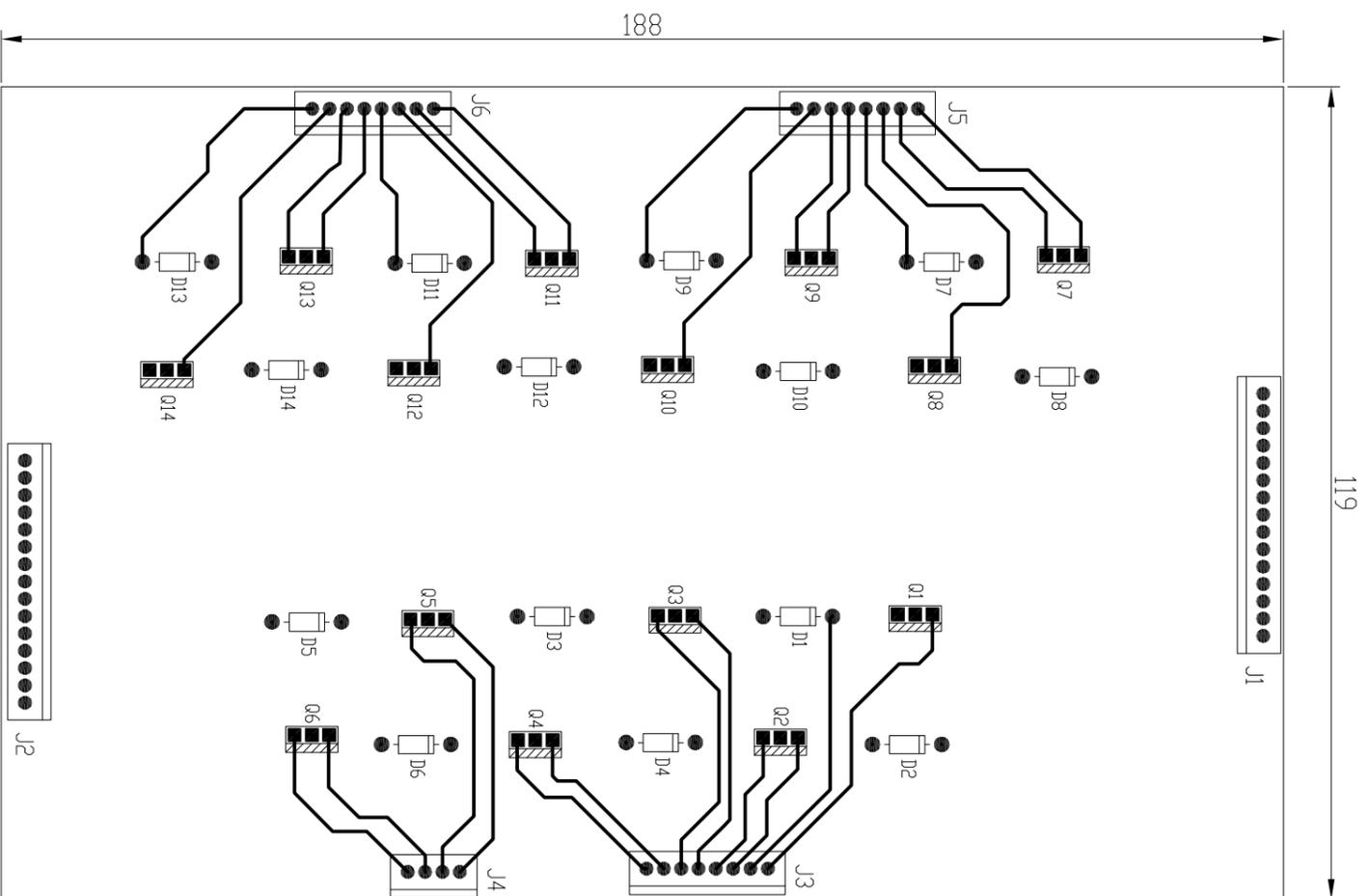
PLACA MICROCONTROLADOR

PLANO Nº 05

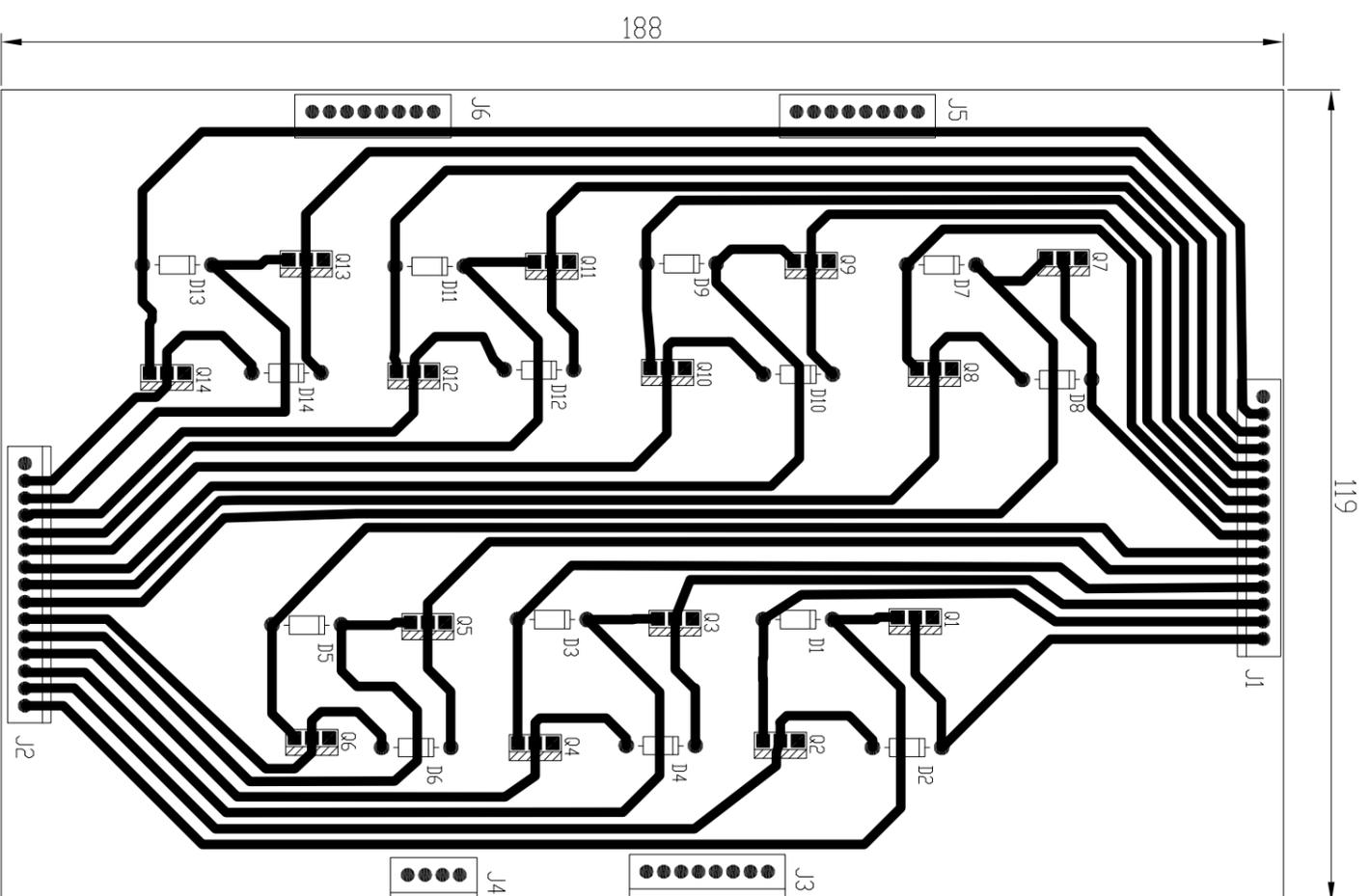
Fecha: BURGOS-2014

Escala:

1/1



TOP



BOTTOM

UBU

Firma:



Gestor de carga de baterías (BMS)

Técnico: GABRIEL HUERTA ILLERA

Revisado:

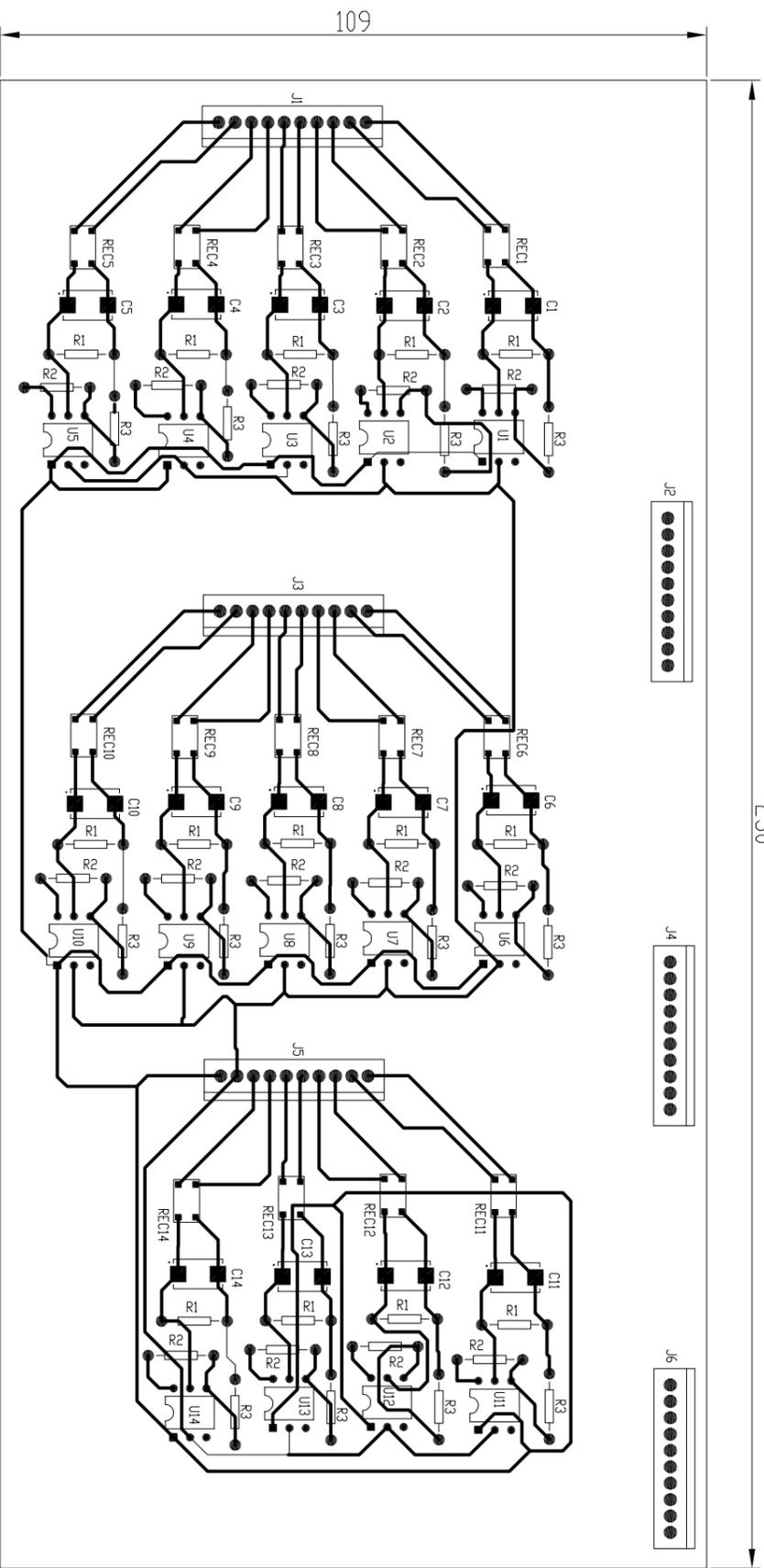
PLACA POTENCIA

Fecha: BURGOS-2014

Escala:

PLANO Nº  
06

1/1



TOP

UBU

Firma:



Gestor de carga de baterías (BMS)

Técnico: GABRIEL HUERTA ILLERA

Revisado:

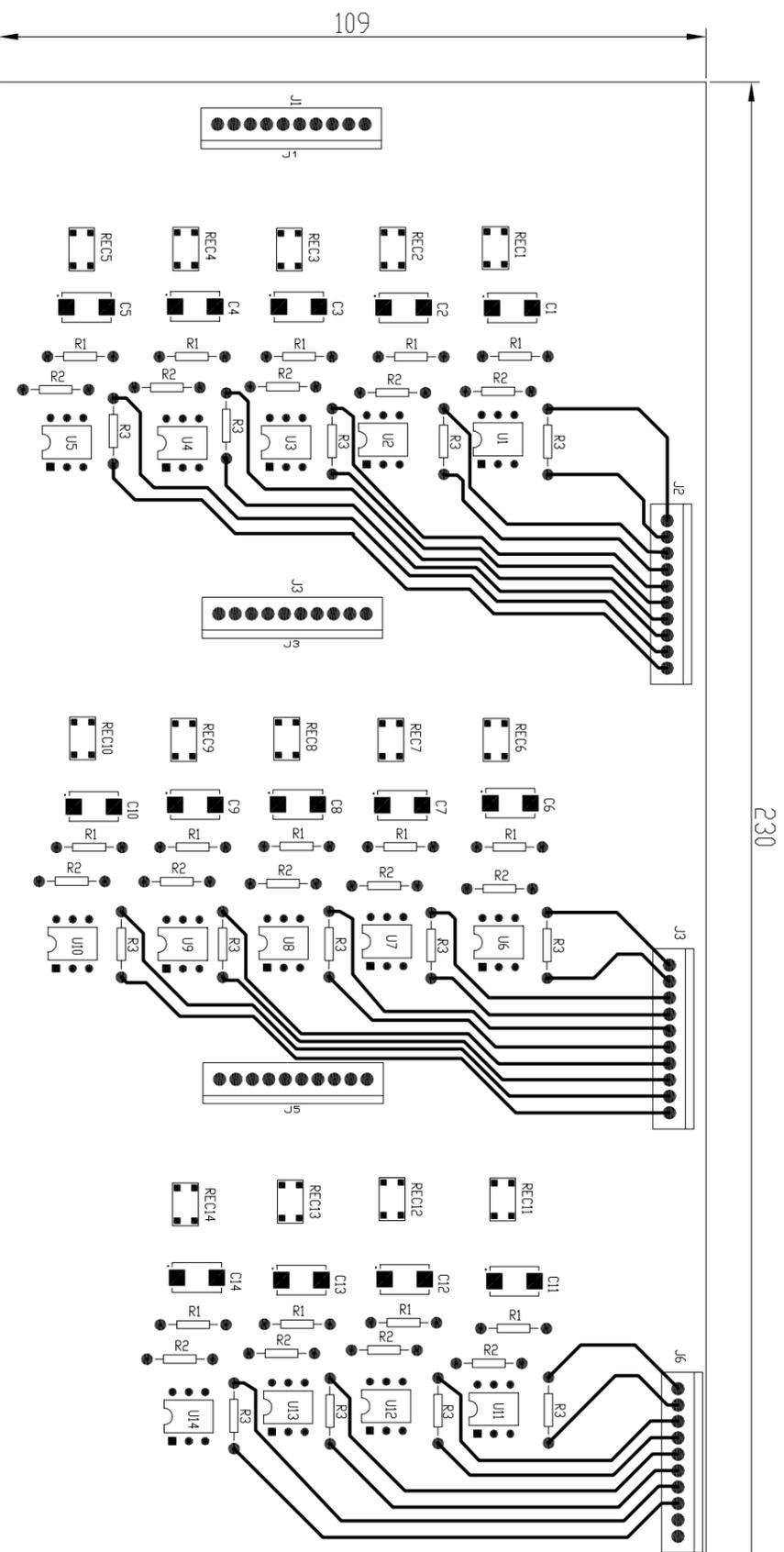
PLACA DRIVERS 1

PLANO Nº  
07

Fecha: BURGOS-2014

Escala:

1/1



BOTTOM

UBU

Firma:



Gestor de carga de baterías (BMS)

Técnico: GABRIEL HUERTA ILLERA

Revisado:

PLACA DRIVERS 2

PLANO Nº  
08

Fecha: BURGOS-2014

Escala:

1/1

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

## **PRESUPUESTO**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



---

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. MEDICIONES</b>	<b>2</b>
<b>1.1. Medición placa de potencia.</b>	<b>2</b>
<b>1.2. Medición placa de drivers</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Medición placa del microcontrolador</b>	<b>3</b>
<b>2. CUADRO DE PRECIOS</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Precios unitarios en cifra y letra</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1. Precios unitarios placa de potencia</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2. Precios unitarios placa de drivers</b>	<b>4</b>
<b>2.1.3. Precios unitarios placa del microcontrolador</b>	<b>4</b>
<b>2.2. Aplicación de precios</b>	<b>5</b>
<b>2.2.1. Aplicación de precios a la placa de potencia</b>	<b>5</b>
<b>2.2.2. Aplicación de precios a la placa de drivers</b>	<b>6</b>
<b>2.2.3. Aplicación de precios a la placa del microcontrolador</b>	<b>7</b>
<b>3. PRESUPUESTO TOTAL</b>	
<b>3.1. Sobre el presupuesto de control de calidad</b>	<b>7</b>
<b>3.2. Costes de diseño</b>	<b>8</b>
<b>3.3. Presupuesto de ejecución material (PEM)</b>	<b>9</b>
<b>3.4. Presupuesto de Ejecución por Contrata</b>	<b>9</b>



## 1. MEDICIONES

Se calcula el presupuesto para la implementación del prototipo del ecualizador diseñado en este proyecto.

### 1.1. Medición placa de potencia

Designación	Valor/Identificación	Nº de elementos	Descripción
TPx		7	Transformadores de potencia
Placa 200x150 mm	PCB-POOL	1	Placa fenólica 200x150 mm de doble cara
Dx	1N4001	14	Diodo Circuito de potencia
Qx	IRF33N15DPbF	14	MOSFET circuito te potencia
J6, J5 J3	CTB7300/8M	3	Conector 8 pins
J1, J2	CTB7300/25M	2	Conector 15 pins
J4	CTB7300/4M	1	Conector 4 pins

### 1.2. Medición placa de drivers

Designación	Valor/identificación	Nº de elementos	Descripción
TM		1	Transformador de mando
Placa 250x150 mm	PCB-POOL	1	Placa fenólica 250x150 mm de doble cara
Jx	CTB7300/10M	6	Conector 10 pins
Ux	4N25	14	Phototransistor
RECx	MB05S	14	Rectificador Graetz
Cx	10ML220MEFC8X7	14	220 $\mu$
R1	MF12 20K	14	Resistencia 20 K $\Omega$
R2	MF12 1K	14	Resistencia 1 K $\Omega$
R3	MF12 120R	14	Resistencia 120 $\Omega$



### 1.3. Medición placa del microcontrolador

Designación	Valor/identificación	Nº de elementos	Descripción
Placa 300x100 mm	PCB-POOL	1	Placa fenólica 300x100 mm de doble cara
M1	PIC16F886	1	Microcontrolador
Sx	ISO106	7	Amplificador diferencial de aislamiento
J1	CTB7300/4M	1	Conector 4 pins
J2	CTB7300/6M	1	Conector 6 pins
J3	CTB7300/20M	1	Conector 20 pins
P1	248BBHS0XB25502MA	7	Potenciómetro 50 K $\Omega$
P2	14910F0GJSX10502KA	7	Potenciómetro 1 K $\Omega$
C	MB05S1NZQD	4	0,1 $\mu$

## 2. CUADROS DE PRECIOS

### 2.1. Precios unitarios en cifra y letra

#### 2.1.1. Precios unitarios placa de potencia

Designación	Precio letra	Precio cifra (€)
TPx	Veinte euros	20,00 €
Placa 200x150 mm	Ciento cincuenta y seis euros y treinta y dos céntimos	156,32 €
Dx	Cuatro céntimos	0,04 €
Qx	Un euro con 35 céntimos	1,35 €
J6, J5 J3	Setenta y ocho céntimos	0,78 €
J1, J2	Un euro con 46 céntimos	1,46 €
J4	Treinta y nueve céntimos	0,39 €

**2.1.2. Precios unitarios placa drivers**

<b>Designación</b>	<b>Precio letra</b>	<b>Precio cifra (€)</b>
<b>TM</b>	Ciento veinte euros.	120 €
<b>Placa 250x150 mm</b>	Ciento cincuenta y dos euros y treinta y dos céntimos	152,32 €
<b>Jx</b>	Noventa y ocho céntimos	0,98 €
<b>Ux</b>	Cuarenta y tres céntimos	0,43 €
<b>RECx</b>	Un euro y ocho céntimos	1,08 €
<b>Cx</b>	Treinta y nueve céntimos	0,39 €
<b>R1</b>	Sesenta y dos céntimos	0,62 €
<b>R2</b>	Sesenta y dos céntimos	0,62 €
<b>R3</b>	Treinta y un céntimos	0,31 €

**2.1.3. Precios unitarios placa microcontrolador**

<b>Designación</b>	<b>Precio letra</b>	<b>Precio cifra (€)</b>
<b>Placa 300x100 mm</b>	Ciento treinta y seis euros y sesenta y ocho céntimos	136,68
<b>M1</b>	Dos euros y cuarenta y seis céntimos	2,46 €
<b>Sx</b>	Cuarenta y ocho euros y noventa y tres céntimos	48,93 €
<b>J1</b>	Cincuenta y dos céntimos	0,52 €
<b>J2</b>	Sesenta y siete céntimos	0,67 €
<b>J3</b>	Un euro y ochenta y cinco céntimos	1,85 €
<b>P1</b>	Seis euros y cincuenta y cinco céntimos	6,55 €
<b>P2</b>	Seis euros y cincuenta y treinta y céntimos	6,35 €
<b>C</b>	Ocho céntimos	0,08 €



## 2.2. Aplicación de precios

En este apartado incluiremos el coste de la mano de obra y maquinaria del montaje de las placas el cual estimaremos.

Hay que destacar que en las tablas de precios unitarios los precios de las placas ya incluyen el grabado, el rebelado y el taladrado pues se lo encargamos a la misma empresa que nos la suministra PCB-POOL.

### 2.2.1. Aplicación de precios a la placa de potencia

Designación	Valor/identificación	Nº de elementos	Precio unitario (€)	Precio (€)
TPx		7	20 €	140,00 €
Placa 200x150 mm	PCB-POOL	1	30 €	30,00 €
Dx	1N4001	14	0,04 €	0,56 €
Qx	IRF33N15DPbF	14	1,35 €	18,90 €
J6, J5 J3	CTB7300/8M	3	0,78 €	2,34 €
J1, J2	CTB7300/25M	2	1,46 €	2,92 €
J4	CTB7300/4M	1	0,39 €	0,39 €
			<b>Total componentes</b>	<b>195,11 €</b>

Placa de potencia		
<b>Coste componentes</b>		<b>195,11 €</b>
<b>Mano de obra</b>	3 horas técnico -20€/h	60 €
<b>Maquinaria</b>	Herramientas manuales	15 €
<b>Coste placa potencia</b>		<b>270,11 €</b>

**2.2.2. Aplicación de precios a la placa de drivers**

Designación	Valor/identificación	Nº de elementos	Precio unitario (€)	Precio (€)
TM		1	120 €	120,00 €
Placa 250x150 mm	PCB-POOL	1	152,32 €	152,32 €
Jx	CTB7300/10M	6	0,98 €	5,88 €
Ux	4N25	14	0,43 €	6,02 €
RECx	MB05S	14	1,08 €	15,12 €
Cx	10ML220MEFC8X7	14	0,39 €	5,46 €
R1	MF12 20K	14	0,62 €	8,68 €
R2	MF12 1K	14	0,62 €	8,68 €
R3	MF12 120R	14	0,31 €	4,34 €
			<b>Total componentes</b>	<b>326,50 €</b>

Placa de drivers		
<b>Coste componentes</b>		<b>326,50 €</b>
<b>Mano de obra</b>	4 horas técnico -20€/h	80 €
<b>Maquinaria</b>	Herramientas manuales	15 €
<b>Coste placa potencia</b>		<b>421,50 €</b>



### 2.2.3. Aplicación de precios a la placa de microcontrolador

Designación	Valor/identificación	Nº de elementos	Precio unitario (€)	Precio (€)
Placa 300x100 mm	PCB-POOL	1	136,68	136,68 €
M1	PIC16F886	1	2,46 €	2,46 €
Sx	ISO106	7	48,93 €	342,51 €
J1	CTB7300/4M	1	0,52 €	0,52 €
J2	CTB7300/6M	1	0,67 €	0,67 €
J3	CTB7300/20M	1	1,85 €	1,85 €
P1	248BBHS0XB25502MA	7	6,55 €	45,85 €
P2	14910F0GJSX10502KA	7	6,35 €	44,45 €
C	MB05S1NZQD	4	0,08 €	0,32 €
			<b>Total componentes</b>	<b>575,31 €</b>

Placa de microcontrolador		
<b>Coste componentes</b>		<b>575,31 €</b>
<b>Mano de obra</b>	4 horas técnico -20€/h	80 €
<b>Maquinaria</b>	Herramientas manuales	15 €
<b>Coste placa potencia</b>		<b>670,31 €</b>

## 3. PRESUPUESTO TOTAL

### 3.1. Sobre el presupuesto de control de calidad

Las operaciones que engloban el control de calidad son las siguientes.

Antes del montaje:

- Certificación del buen estado de los componentes.
- Comprobación del correcto estado de las placas.
- Comprobación del correcto funcionamiento de los transformadores.

Después del montaje:

- Examen visual de aspecto final de las placas.
- Comprobación de las soldaduras de los componentes de estas.
- Calibración de los amplificadores de aislamiento ISO106.

En función de complejidad de las tareas del control de calidad fijamos un porcentaje de un 1,5% del total.

### 3.2. Costes de diseño

Los costes del diseño se dividirán entre el número de unidades vendidas. Dicho costes ascienden a la siguiente cantidad:

Costes de diseño	
Actividad	Tiempo dedicado
Estudio previo	140
Simulaciones	130
Diseño placa de drivers	20
Diseño placa de drivers	20
Diseño placa de microcontrolador	20
Realización del proyecto técnico	70
Suma	400
<b>Total (25€/h)</b>	<b>10.000,00 €</b>



### 3.3. Presupuesto de ejecución de material (PEM)

<b>Presupuesto de Ejecución material</b>	
Placa de potencia	270,11 €
Placa de drivers	421,50 €
Placa de microcontrolador	575,31 €
Costes de diseño	10.000,00 €
<b>Total</b>	<b>11.266,92 €</b>
Control de calidad 1,5 %	169,00 €
<b>Presupuesto de Ejecución material</b>	<b>11.435,92 €</b>

Asciende el presupuesto de ejecución material (PEM) a la cantidad de once mil cuatrocientos treinta y cinco euros con noventa y dos céntimos.

### 3.4. Presupuesto de Ejecución por Contrata

<b>Presupuesto de Ejecución por Contrata</b>	
<b>Presupuesto de ejecución material</b>	<b>11.435,92 €</b>
<b>Gastos generales (15 %)</b>	<b>1.715,39 €</b>
<b>Beneficio industrial (6 %)</b>	<b>686,16 €</b>
<b>Total sin IVA</b>	<b>13.837,47 €</b>
<b>IVA (21 %)</b>	<b>2.905,87 €</b>
<b>PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCIÓN POR CONTRATA</b>	<b>16.743,34 €</b>



Asciende el Presupuesto Total de Ejecución por Contrata del prototipo del Gestor de carga de baterías (BMS) a la citada cantidad de dieciséis mil setecientos cuarenta y tres euros con treinta y cuatro céntimos.

**Burgos, a fecha de 14 de Julio de 2014**

**Gabriel Huerta Illera**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



# **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

## **PLIEGO DE CONDICIONES**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



---

## ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

<b>1. OBJETIVO DEL PLIEGO</b>	<b>2</b>
<b>2. NORMATIVA DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO</b>	<b>2</b>
<b>3. PRESCRIPCIONES ECONÓMICAS</b>	<b>3</b>
<b>3.1. Contrato</b>	<b>3</b>
<b>3.2. Abonos y precio</b>	<b>3</b>
<b>3.3. Rescisión</b>	<b>3</b>
<b>4. PRESCRIPCIONES FACULTATIVAS. RESPONSABILIDADES DEL DIRECTOR DE EJECUCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>5. PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES</b>	<b>5</b>
<b>5.1. Descripción e interpretación del proyecto</b>	<b>5</b>
<b>5.2. Condiciones de los materiales</b>	<b>5</b>
<b>5.2.1. Modificaciones a los planos y materiales</b>	<b>7</b>
<b>5.3. Ejecución del proyecto</b>	<b>7</b>
<b>5.4. Disposiciones generales o finales</b>	<b>7</b>
<b>5.4.1. Montaje y mantenimiento. Disposiciones de seguridad a tener en cuenta</b>	<b>7</b>
<b>5.4.2. Pruebas y recepción</b>	<b>8</b>
<b>5.4.3. Garantía</b>	<b>8</b>



## 1. OBEJTIVOS DEL PLIEGO

Este documento tiene como objetivo establecer un conjunto de prescripciones de tipo técnico, facultativo, económico y legal que serán vinculantes a la empresa encargada de la realización del presente proyecto durante su ejecución.

## 2. NORMATIVA DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO

La dirección de ejecución deberá cumplir tanto en los equipos suministrados, como en el montaje, toda la normativa que afecte al cometido de sus trabajos. En este proyecto conviene destacar:

- Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).
- Normativa DIN 43.539; CEI/IEC 95-1, sobre la normativa a seguir en mediciones y métodos de carga.
- Normas de Compatibilidad Electromagnética. UNE-EN 6100.
- Norma ANSI-IPC 2221 sobre el diseño de circuitos impresos.

Del mismo modo será de obligado cumplimiento la reglamentación medioambiental que afecta a los equipos electrónicos en España, en concreto mencionaremos:

- Real Decreto 208/2005, del 25 de Febrero.
- Directiva 2002/96/CE, Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos.

El contratista deberá cumplir todas las ordenanzas de carácter social y de seguridad que estén estipuladas. Deberá también recabar todos los permisos de las autoridades, no pudiendo exigir indemnización alguna por tal motivo.

El contratista es el único responsable del incumplimiento de las disposiciones vigentes en la materia laboral respecto a su personal y por lo tanto de los accidentes que puedan sobrevenir y de los derechos que pueden derivarse de ellos.

Es competencia y responsabilidad del Director de Ejecución la revisión del proyecto antes de realizar ningún pedido, ni ejecutar ningún montaje y su denuncia a la Dirección y Propietario, de cualquier concepto no compatible con la correspondiente reglamentación exigida.



### **3. PRESCRIPCIONES ECONÓMICAS**

#### **3.1. Contrato**

La Dirección Técnica se reserva el derecho de determinar la prioridad en la condiciones de contrato en caso de disconformidades.

Cualquier reglamentación oficial tiene preferencia respecto al presente Pliego de Condiciones.

#### **3.2. Abonos y precios**

Los abonos tanto de las liquidaciones parciales como de la liquidación total del proyecto, estando previamente y perfectamente fijadas en el contrato, deberán ser verificados por la administración dentro de las fechas establecidas, habiendo sido certificadas por la Dirección Técnica.

Serán de carácter contractual los precios de las unidades que integren el proyecto, las cuales serán presentadas por el contratista al formalizar el contrato.

#### **3.3. Rescisión**

En caso de que la ejecución no o el material presentado no reuniera los requisitos exigidos, la Dirección Técnica podrá solicitar la rescisión del contrato.

Si esta fuese la situación se marcará un plazo para determinar las actuaciones cuya paralización pudiese perjudicar sin que durante este plazo se empiecen los trabajos. No se abonarán los acopios que se hubiesen efectuado.

### **4. PRESCRIPCIONES FACULTATIVAS. RESPONSABILIDADES DEL DIRECTOR DE EJECUCIÓN**

El Director de Ejecución es responsable de ejecutar correctamente el montaje, siguiendo siempre las directrices y normas del director técnico, no pudiendo sin su autorización variar trazados, cambiar materiales o introducir modificaciones al proyecto.

Manifestará expresamente que encuentra el proyecto correcto o no, en su defecto se entiende que el proyecto es conocido y ha sido debidamente estudiado y que lo encuentra completo, correcto y acorde con las normativas oficiales vigentes en toda su extensión, para obtener las características que se fijan en los documentos del proyecto.



Aún lo expresado en puntos anteriores, si el Director de Ejecución encontrase falta, error u omisión en el proyecto durante la ejecución de los trabajos, tendrá la obligación de comunicarlo de inmediato a la Dirección Técnica.

Es responsable de efectuar el montaje cumpliendo fielmente la legislación vigente, especialmente el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y el apartado de Seguridad e Higiene, así como la normativa relacionada específicamente.

Es responsable de la confección en el modo, tiempo y forma de la documentación necesaria para la legalización del proyecto y la dirección de obra, así como de la mejor gestión ante los organismos oficiales y compañías suministradoras, para obtener las correspondientes aprobaciones a la documentación presentada.

Es responsable de efectuar las pruebas mínimas exigidas por la legislación, las especificadas en el apartado 5.4.4 de este documento y aquellas otras que el director técnico considere necesarias, asumiendo los costes de su realización.

Es responsabilidad del Director de Ejecución asegurar al titular las garantías especificadas y realizar las comprobaciones, reparaciones o sustituciones necesarias en el plazo mínimo posible.

El Director de Ejecución es responsable de realizar un correcto uso del proyecto, respetando la propiedad intelectual del autor, no realizará copias sin autorización, y en todo caso presentará las permitidas al director técnico para su visado. Asimismo, se compromete a no divulgar el contenido del proyecto a terceros y sin otro fin que no sea la ejecución del montaje.

El Director de Ejecución se responsabilizará de conocer en todos sus extremos y totalidad el proyecto, en base a lo cual lo asumirá como completo, correcto y acorde con las normativas y los fines previstos, asumiendo igualmente la responsabilidad de los dimensionamientos, potencias, cálculos e idoneidad de los sistemas.

Igualmente asumirá las mediciones, extensión y definiciones de la relación de materiales y presupuesto, aceptando estos como correctos y suficientes para la estricta ejecución de la instalación, según proyecto y sujeto en todo caso a la interpretación que pueda realizar la Dirección Facultativa.



---

## 5. PLIEGO DE PRECIPCIONES TÉCNICAS PARTICULARES

### 5.1. Descripción e interpretación del proyecto

La interpretación del proyecto es competencia exclusiva del ingeniero autor o en su defecto del ingeniero director de obra.

En caso de discrepancia entre los documentos que lo componen prevalecerá el criterio del ingeniero director de obra.

En todo momento los planos de proyecto quedan confinados personalmente al Director de Ejecución, estando prohibida la reproducción de los mismos, más que para fines de montaje o previa autorización escrita.

Los planos tendrán validez si están aprobados por la Dirección de la Obra y no se efectuará ningún montaje si no existe el correspondiente plano.

### 5.2. Condiciones de los materiales

Todos los elementos deberán reunir las condiciones y características necesarias determinadas en sus respectivos documentos del proyecto. De cuya verificación se encargará la Dirección Técnica.

A continuación haremos referencia a dichas especificaciones.

- **Diodo:**

Intensidad nominal: 1 A

Intensidad máxima: 30 A

Tensión inversa de ruptura: 30 v

- **MOSFET**

Intensidad nominal: 33 A

Tensión drenador-fuente: 150V

- **Transformador de potencia**

Tensión primario: 4,2 V

Tensión secundario: 4,2 V



Potencia aparente: 1,5 VA

Frecuencia de trabajo: 20KHz

- **Transformador de mando**

Tensión del primario: 230 V

Tensión del secundario: 13,8 V

Potencia aparente: 50 VA

Frecuencia de trabajo: 50Hz

- **Rectificador**

Intensidad nominal: 0,8 A.

Intensidad de pico: 30 A

Caída de tensión máxima en directa: 1 V

- **Microcontrolador**

Debe disponer de al menos 7 entradas analógicas y de un conversor ADC que ofrezca una resolución de máxima de 5 mV.

- **Amplificador diferencial de aislamiento.**

Debe ser un amplificador diferencial de aislamiento con un rango de medida no inferior a  $\pm 5$  V y con la posibilidad de calibración para la eliminación de errores de ganancia y offset.

- **Conducciones**

Las secciones de las pistas del circuito de potencia serán de al menos 1,4 mm de ancho a fin de eliminar sobrecalentamientos en la placa. Las pistas del circuito de mando al ser circular por ellas corrientes menores deberán ser como mínimo de 0,5 mm.

Para evitar interferencias conductivas entre circuitos con consumos dispares la puesta a masa de los circuitos será puntual en paralelo. Para evitar interferencias por acoplamiento inductivo y capacitivo los cables de señal deberán estar alejados físicamente de los de potencia en la medida en que esto sea posible. En los casos en los que sea necesario (especialmente para las señales analógicas y de medida), los cables de señal deberán ir apantallados con una malla conductora conectada a masa.



### **5.2.1. Modificaciones a los planos y materiales**

Los componentes seleccionados en este proyecto pueden modificarse por otros de características similares siempre que estas modificaciones estén justificadas por mejoras de calidad o montaje de los diferentes elementos. Y siempre que no afecte al presupuesto o en todo caso los reduzca.

Estas posibles variaciones deberán realizarse por escrito acompañadas por la causa, elemento eliminado, elemento nuevo, modificaciones de precios y de fechas de entrega, no pudiéndose efectuar ningún cambio si el anterior documento no ha sido aprobado por la Propiedad y Dirección de Obra.

Los materiales o cualquier otro elemento en el que sea definible una calidad, será la indicada en el proyecto. Si el Director de Ejecución propusiese una de calidad similar, sólo la Dirección Técnica, definirá si es o no similar, por lo que todo elemento que no sea específicamente indicado en el presupuesto, deberá haber sido aprobado por escrito por aquella, siendo eliminado si no cumpliera este requisito.

### **5.3. Ejecución del proyecto**

En este apartado trataremos sobre los aspectos importantes a tener en cuenta durante la realización del proyecto.

Este se trata de un proyecto básicamente de montaje de tres placas de circuito por lo que los principales factores que debemos tener en cuenta son, la verificación de las uniones y el asegurarnos la fiel conexión de cada uno de los elementos en el lugar que le corresponde.

### **5.4. Disposiciones generales o finales**

En este apartado daremos una serie de indicaciones generales sobre los elementos del proyecto así como las medidas que se deben tomar para evitar percances.

#### **5.4.1. Montaje y mantenimiento. Disposiciones de seguridad a tener en cuenta.**

La zona para el montaje deberá estar ordenada y limpia, con acceso restringido a personas ajenas, que puedan desconocer las precauciones necesarias.



Las operaciones de corte o soldadura, en el caso de realizarse de forma manual, se realizarán utilizando visores, protectores faciales, etc., según corresponda en cada caso. Tras la operación de soldadura no se podrá utilizar oxígeno para realizar labores de limpieza y soplado. Además deberá haber siempre disponible un extintor apropiado, cercano a la zona de trabajo.

En cuanto a las medidas de protección eléctrica, se deberá emplear calzado aislante y guantes, así como herramientas eléctricas aisladas. Asimismo, se deberán retirar del cuerpo elementos metálicos como anillos y relojes, ya que corrientes de cortocircuito pueden soldar los elementos y causar quemaduras graves.

#### **5.4.2. Pruebas y recepción**

El Director de Ejecución garantizará después de la terminación de los trabajos bajo este contrato, que todos los sistemas estén listos para una operación perfecta, de acuerdo con todos los términos legales y restricciones y de conformidad con la mejor práctica.

Además de cualquier otra referencia indicada en estas especificaciones, con relación a pruebas y puesta en marcha, el Director de Ejecución estará obligado por esta sección de las especificaciones, a probar y dejar en perfecto orden de funcionamiento, todos los sistemas. Se realizarán los siguientes ensayos generales:

- Examen visual general.
- Comprobación de las dimensiones.
- Comprobación de las conexiones.
- Pruebas de funcionamiento y activación.

Una vez comprobado que el funcionamiento es el correcto, el proyecto está listo para su recepción.

#### **5.4.3. Garantía**

El Director de Ejecución garantizará que todos los materiales utilizados en la ejecución del proyecto, son nuevos y libres de defectos.

Deberá garantizar todos los materiales suministrados por un período de 1 año, a partir de la fecha de recepción y se comprometerá durante este período a reemplazar libre de costo alguno para la propiedad, cualquier material que resultase defectuoso.

Transcurrido dicho tiempo, la propiedad se reserva el derecho de contratar al adjudicatario, para proseguir con el mantenimiento.



**Burgos, a fecha de 14 de Julio de 2014**

**Gabriel Huerta Illera**

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR  
UNIVERSIDAD DE BURGOS**



## **GESTOR DE CARGA DE BATERÍAS (BMS)**

**GRADO EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL Y AUTOMÁTICA**

### **BIBLIOGRAFÍA**

AUTORES:

**Gabriel Huerta Illera**

TUTORES:

**Carmelo Lobo de la Serna**

**JULIO DE 2014**



## 1. ESTUDIO PREVIO

### 1.1. Anexo N°1: consideraciones generales sobre el vehículo eléctrico.

- *“Estudio de mercado sobre el coche eléctrico en España y en Finlandia”* por Álvaro Sotomayor Basilio, Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Helsinki, 2010.
- *“El coche eléctrico: el futuro del transporte y el medio ambiente”* por Alberto Ceña y José Santamarta, World Watch 2009.
- <http://www.coches.net/noticias/el-vehiculo-electrico-en-espana>

### 1.2. Anexo N°2: consideraciones para la carga y descarga de las baterías de ión-litio.

- *“A Review of Battery Charging Algorithms and Methods”* by Herman L.N. Wiegman for Power Designers, rev. 3, Nov 28, 1999
- <http://www.radio-electronics.com/info/power-management/battery-technology/lithium-ion-battery-advantages-disadvantages.php>
- [http://batteryuniversity.com/learn/article/charging\\_lithium\\_ion\\_batteries](http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries)
- *“Lithium Ion Rechargeable Batteries Technical Handbook”* Sony Corporation Electric Device Marketing Dept.



### 1.3. Anexo N° 3: riesgos de las baterías ión-litio.

- [http://www.powerstream.com/1922/battery\\_1922\\_WITTE/batteryfiles/chapter10.htm](http://www.powerstream.com/1922/battery_1922_WITTE/batteryfiles/chapter10.htm)
- [http://www.mpoweruk.com/lithium\\_failures.htm](http://www.mpoweruk.com/lithium_failures.htm)
- [http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium\\_ion\\_safety\\_concerns](http://batteryuniversity.com/learn/article/lithium_ion_safety_concerns)

### 1.4. Anexo N°4: estudio del arte del BMS

- **“Battery Management Systems (BMS) for Increasing Battery Life Time”**  
by A. Jossen, V. Spath, H. Doring, J. Garche, Center for Solar Energy and Hydrogen Research (ZSW Ulm) IEEE
- **“Battery Management System and Control Strategy for Hybrid and Electric Vehicle”** by B.P.DIVAKAR K.W.E.CHENG H.J.WU J. XU H.B.MA W. TING EE Department, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon Shanghai Jiao Tong University Automotive Parts and Accessory Systems R&D Centre Limited, Hong Kong 2009 IEEE
- **“Research on Li-ion Battery Management System”** by Dongping XU, Lifang Wang, JianYang Insititute of Electrical Engineering Chinese Academy of Science Beijing,China 100190 IEEE 2010
- **“Study on Battery Management System and Lithium-ion Battery”** Li Siguang , Zhang Chengning School of Mechanical and Vehicular Engineering IEEE 2009



- ***“Automotive Battery Management Systems”*** by Pattipati, B. ; Pattipati, K. ; Christopherson, J.P. ; Namburu, S.M. **IEEE 2008**

#### **1.5. Anexo N°5: ecualizadores de bacteria**

- ***“Switched Capacitor System for Automatic Series Battery Equalization”*** by Cesar Pascual Philip T. Krein Department of Electrical and Computer Engineering University of Illinois, Urbana, Illinois **IEEE 1997**
- ***“Selective Flyback Balancing Circuit with Improved Balancing Speed for Series Connected Lithium-ion Batteries”*** by Jong-Won Shin, Gab-Su Seo, Chang-Yoon Chun, and Bo-Hyung Cho **IEEE 2010**
- ***“Optimized Structure for Next-to-Next Balancing of Series-Connected Lithium-ion Cells”*** by Thanh Hai PHUNG, Jean-Christophe CREBIER, Alexandre CHUREAU, Alexandre COLLET, The Van NGUYEN **IEE 2011**
- ***“Cell Equalization In Battery Stacks Through State Of Charge Estimation Polling”*** by Carmelo Speltino, Anna Stefanopoulou and Giovanni Fiengo **IEEE 2010**
- ***“Quasi-Resonant Zero-Current-Switching Bidirectional Converter for Battery Equalization Applications”*** by Yuang-Shung Lee, *Member, IEEE*, and Guo-Tian Cheng **IEEE 2006**
- ***“Improved Performance of Serially Connected Li-Ion Batteries With Active Cell Balancing in Electric Vehicles”*** by Markus Einhorn, *Student Member, IEEE*, Werner Roessler, and Juergen Fleig **IEEE 2011**



- ***“State-of-Charge (SOC)-Balancing Control of a Battery Energy Storage System Based on a Cascade PWM Converter”*** by Laxman Maharjan, *Student Member, IEEE*, Shigenori Inoue, *Member, IEEE*, Hirofumi Akagi, *Fellow, IEEE*, and Jun Asakura **IEEE 2009**
- ***“Individual Charge Equalization Converter with Parallel Primary Winding of Transformer for Series Connected Lithium-Ion Battery Strings in an HEV”*** by Chol-Ho Kim, Hong-Sun Park, Chong-Eun Kim, Gun-Woo Moon, and Joong-Hui Lee **IEEE 2009**
- ***“Double-Tiered Capacitive Shuttling Method for Balancing Series-Connected Batteries”*** by Andrew Baughman and Mehdi Ferdowsi **IEEE 2009**
- ***“Battery Equalization Using Bi-directional Cúk Converters in DCVM Operation”*** by Yuang-Shung, Lee Chun-Yi Duh, Guo-Tian Chen, Shen-Ching Yang **IEEE 2005**
- ***“Parallel Operation of Battery Power Modules”*** by Chin-Sien Moo, *Member, IEEE*, Kong Soon Ng, *Student Member, IEEE*, and Yao-Ching Hsieh, *Member, IEEE* **2008**



## 2. APLICACIÓN PRACTICA

### 2.1. Anexo N° 6: selección adoptada.

- ***“A Review of Cell Equalization Methods for Lithium Ion and Lithium Polymer Battery Systems”*** by Stephen W. Moore, Peter J. Schneider  
**Society of Automotive Engineers**
- ***“Passive and Active Battery Balancing comparison based on MATLAB Simulation”*** by Mohamed Daowd, Noshin Omar, Peter Van Den Bossche,  
**Joeri Van Mierlo IEEE 2011**
- ***“Low-Voltage-Stress AC-Linked Charge Equalizing System for Series-Connected VRLA Battery Strings”*** by Charnyut Karnjanapiboon, Kamon Jirasereamornkul, and Veerapol Monyakul IEEE 2013

### 2.2. Anexo N° 7: sistema de potencia

- ***<http://www.ipc.org>***

### 2.3. Anexo N° 8: sistema de mando

- ***“Microcontroladores PIC teoría y práctica”*** por Mikel Etxebarria  
**Isuskiza CREACIONES COPYRIGHT 2011**