



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA.
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ
ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS
REGENERATIVOS PARA LA CARGA DE
SÚPERCONDENSADORES EN VEHÍCULOS AUTOMOTRICES

Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico Automotriz.

Autor:

Adolfo Junior Abad Salinas

Director:

Mateo Fernando Coello Salcedo.

Cuenca – Ecuador
2014

DEDICATORIA

A mis abuelos Adolfo (+), Josefa, Daniel (+), Celia (+) ya que sus deseos de que fuera un ingeniero y así algún día pueda arreglar sus vehículos me motivaban cada día para culminar mi carrera universitaria (desde que la mayoría de ustedes partieron todo en mi vida cambio, los hecho mucho de menos y lo que me gustaría es que estuviesen aquí para poder festejar todos juntos), a mis padres Adolfo y María que con su esfuerzo, dedicación y apoyo incondicional tanto en buenos como en malos momentos han permitido que me forme como persona y profesional.

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer al Ing. Mateo Coello por el tiempo y colaboración en este trabajo de grado, a todos los docentes que supieron compartir cada una de sus experiencias y conocimientos, a mis hermanos que cada día hacían más llevadera la vida lejos de nuestro hogar, a mi novia que ha sido un pilar fundamental en mi vida, a cada una de las personas que con un granito de arena apoyaron para la culminación de este trabajo de grado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE ANEXOS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I: FRENADO REGENERATIVO.

1.1.INTRODUCCIÓN.....	2
1.2.FRENADO REGENERATIVO.....	3
1.2.1. Funcionamiento.....	3
1.3.COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA.....	5
1.3.1. Alternador.....	5
1.3.1.1. Elementos del alternador.....	5
1.3.1.2. Funcionamiento.....	8
1.3.2. Sensor del pedal de acelerador.....	10
1.3.2.1. Tipos de sensores de pedal del acelerador.....	11
1.3.3. Sensor de velocidad del vehículo (VSS).....	12
1.3.3.1. Tipos de sensores de velocidad.....	13
1.3.4. Unidad electrónica de control.....	14
1.3.5. Batería principal.....	15
1.3.5.1. Batería de gel.....	16
1.3.5.2. Batería AGM.....	17

CAPITULO II: SÚPERCONDENSADORES.

2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.....	19
2.2. ESTRUCTURA Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.....	21
2.2.1. Capacitancia de doble capa.....	22
2.2.2. Pseudocapacitancia.....	24
2.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.....	25
2.4. TIPOS DE SÚPERCONDENSADORES.....	26
2.5. LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO EN CARGA Y DESCARGA.....	32
2.5.1. Carga del súpercondensador.....	33
2.5.2. Descarga del súpercondensador.....	34
2.6. IMPORTANCIA DE LA ACUMULACIÓN DE ENERGÍA.....	36
2.7. ESTUDIO COMPARATIVO.....	37

CAPITULO III: DISEÑO DE LA INSTALACIÓN PARA SU IMPLEMENTACIÓN.

3.1. DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO.....	39
3.1.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN.....	39
3.1.1.1. Súpercondensadores.....	40
3.1.1.2. Alternador.....	43
3.1.1.3. Sensor de pedal de acelerador.....	44
3.1.1.4. Sensor de velocidad.....	45
3.1.1.5. Batería.....	46
3.1.1.6. Cables.....	47
3.2. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA.....	50
3.3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA.....	51
3.4. ANÁLISIS DE COSTOS.....	52

CONCLUSIONES.....	53
RECOMENDACIONES.....	54
BIBLIOGRAFÍA.....	55
ANEXOS.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Sistema de frenado regenerativo en vehículos convencionales.....	4
Figura 1.2 Embrague magnético.....	6
Figura 1.3 Rotor.....	6
Figura 1.4 Estator.....	7
Figura 1.5 Regulador de voltaje.....	7
Figura 1.6 Puente rectificador.....	8
Figura 1.7 Circuito de excitación del alternador.....	9
Figura 1.8 Formas constructivas de sensor de pedal del acelerador.....	10
Figura 1.9 Línea característica del sensor de pedal de acelerador con potenciómetro doble	11
Figura 1.10 Sensor de tipo hall.....	12
Figura 1.11 Señal de onda sensor inductivo.....	13
Figura 1.12 Sensor tipo interruptor de reed switch.....	14
Figura 1.13 Unidad electrónica de control.....	15
Figura 1.14 Elementos batería AGM.....	17
Figura 2.1. Estructura de un súpercondensador.....	21
Figura 2.2. Región de doble capa donde los aniones se adsorben específicamente.....	22
Figura 2.3. Perfil de potencial a través de la región de doble capa en la ausencia de adsorción específica de iones.....	24
Figura 2.4 Súpercondensadores electrolíticos de entre caras de carbono de doble capa.....	27
Figura 2.5. Súpercondensadores no electrolíticos de entre caras de carbono de doble capa.....	27
Figura 2.6. Desarrollo de una doble capa cuasi-lineal en una cadena de polímero conductor cargado.....	29
Figura 2.7. Estructura de súpercondensador de flujo electroquímico.....	30
Figura 2.8. Circuito de carga descarga.....	32
Figura 2.9. P1. Carga del súpercondensador.....	33

Figura 2.10. Curva de carga de un súpercondensador.....	34
Figura 2.11. P2. Descarga de un súpercondensador.....	35
Figura 2.12. Curva de descarga de súpercondensador.....	35
Figura 3.1. Propuesta de circuito eléctrico frenado regenerativo.....	40
Figura 3.2. Conexión del sensor de posición de pedal de acelerador.....	44
Figura 3.3. Conexión sensor de velocidad del vehículo.....	45
Figura 3.3. Batería exide ES 450.....	47
Figura 3.4. Equilibrado pasivo del banco de súpercondensadores.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Comparación de características de las baterías.....	18
Tabla 2.1. Características energéticas de acuerdo al tipo de tecnología de súpercondensadores.....	31
Tabla 2.2. Características de distintos tipos de baterías y súpercondensadores.....	38
Tabla 3.1 Características de los cables.....	48
Tabla 3.2 Comparación precios de súpercondensadores.....	51
Tabla 3.3 Costo de batería.....	51
Tabla 3.4. Costo de cable.....	51
Tabla 3.5. Costo del sistema para su implementación.....	52

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Patente registrada por EEstor sobre los súpercondensadores.....	57
ANEXO B: Catalogo súpercondensadores maxwell.....	59

Basado en el 2001/14

TEMA:

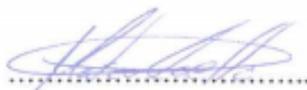
ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS REGENERATIVOS PARA LA CARGA DE SÚPERCONDENSADORES EN VEHÍCULOS AUTOMOTRICES.

RESUMEN:

En el presente trabajo de grado se realizó el compendio teórico del funcionamiento del sistema de frenos regenerativos y la forma en que se carga un banco de súpercondensadores para su correcto uso en vehículos automotrices. De igual manera, se analizó los tipos de súpercondensadores con sus principales características, se comparó con otros sistemas de acumulación de energía tales como: baterías de litio, baterías de plomo-ácido, etc., identificando las ventajas frente a estos sistemas.

Se diseñó el circuito eléctrico del sistema de frenos regenerativos, seleccionándose los componentes necesarios para la instalación en un vehículo automotriz, optimizando el costo de cada elemento, sin perder la calidad. Como conclusión se estableció que es un sistema factible de implementar debido a la relación costo – beneficio, pudiéndose lograr hasta un 10% de ahorro de combustible.

PALABRAS CLAVE: frenos regenerativos, súpercondensadores, pseudocapacitancia, doble capa eléctrica, ciclo profundo.



Ing. Mateo Coello
Director de Tesis



Mg. Mauricio Barros
Director de Escuela



Adolfo Abad Salinas
Autor

ABSTRACT

**PERFORMANCE ANALYSIS OF BRAKE SYSTEM FOR CHARGING
REGENERATIVE SUPERCAPACITORS IN AUTOMOTIVE VEHICLES**

This graduation paper is about a theoretical compilation of the regenerative braking system operation and how a super capacitors bank is loaded for its proper use in motor vehicles. Similarly, the types of super capacitors with its main features were analyzed. They were compared with other energy storage systems such as lithium batteries, lead acid batteries, and so on, identifying advantages over these systems. The electrical circuit of the regenerative braking system was designed, selecting the necessary components for installation in a motor vehicle, optimizing the cost of each item, without losing quality. In conclusion, it is stated, according to cost-benefit relationship, what a workable system to be implemented is, and how it will be possible to achieve up to 10% fuel saving.

Keywords: Regenerative Braking, Supercapacitors, Pseudocapacitance, Electrical Double Layer, Deep Cycle


Ing. Mateo Coello
THESIS DIRECTOR


Mg. Mauricio Barros
SCHOOL DIRECTOR


Adolfo Abad Salinas
AUTHOR




Translated by,
Lic. Lourdes Crespo

Adolfo Junior Abad Salinas

Trabajo de grado

Ing. Mateo Fernando Coello Salcedo

Febrero, 2014.

**ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE FRENOS
REGENERATIVOS PARA LA CARGA DE SÚPERCONDENSADORES EN
VEHÍCULOS AUTOMOTRICES**

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo de grado se basa en el análisis del sistema de frenado regenerativo para aplicación en vehículos convencionales (con motor de combustión interna como medio de propulsión). El sistema estudiado está compuesto de un banco de súpercondensadores el cual es cargado por el alternador al momento del frenado y deja de cargar cuando se acelera, este sistema ayuda a la recuperación de energía que se pierde en forma de calor en el freno, cada uno de los elementos y su funcionamiento es descrito de forma detallada para así conocer la forma correcta de instalación, además se selecciona los elementos en base a las necesidades y parámetros del vehículo modelo (Peugeot 1.6) y se realizó un análisis de costos que ayudó a ver la factibilidad del sistema el cual nos ayudaría a reducir el consumo de combustible en un 10% aproximadamente.

CAPÍTULO I

FRENADO REGENERATIVO

1.1. INTRODUCCIÓN.

La ciencia tecnológica en su participación por la conservación y mejoramiento del medio ambiente, intenta con el pasar del tiempo buscar soluciones innovadoras en los vehículos actuales mediante nuevos sistemas y así poder reducir en gran parte la contaminación, efectuada por los gases de escape, sistemas que son cada vez más avanzados.

Con la invención de los vehículos híbridos y aun mejor de los vehículos eléctricos se ha demostrado que estos podrían ser la solución ante este inconveniente, pero, a pesar de los grandes avances tecnológicos en estos vehículos, aun no se puede comparar con la autonomía que tienen los vehículos convencionales (con motor de combustión interna como fuente primaria de movimiento).

Debido a esto se ve la necesidad de hacer más eficiente el motor de combustión interna, esto se puede lograr mejorando el funcionamiento del grupo electrógeno, aplicando un sistema de frenado regenerativo que pueda convertir de una forma correcta la energía mecánica en energía eléctrica para su posterior uso en los sistemas eléctricos y electrónicos del vehículo.

El funcionamiento de este sistema y los elementos que lo conforman se describirán en los siguientes puntos.

1.2. FRENADO REGENERATIVO.

El sistema de frenado regenerativo permite reducir la velocidad del vehículo, convirtiendo la energía de movimiento en energía eléctrica para que pueda ser almacenada en una batería, sin embargo, existen otras formas de conversión ya sea en forma hidráulica o neumática.

En vehículos híbridos la función de frenado con recuperación de energía arrastra al motor eléctrico de tracción, funcionando como un generador mientras el vehículo desacelera o frena, almacenando esta energía eléctrica en la batería de tracción. Al mismo tiempo utiliza la resistencia al giro del motor de tracción durante la generación de electricidad, como fuerza de frenado del vehículo.

El sistema de regeneración de energía que se analizara en esta monografía, es para aplicación en vehículos convencionales, para lo cual no se contará con un motor eléctrico, sino que la generación de energía se la realizará a través de un alternador, y que se controlará mediante una unidad electrónica.

En los siguientes puntos a tratar se referirá solo al sistema para aplicación en vehículos convencionales.

1.2.1. Funcionamiento.

El momento en que el conductor levanta el pie del acelerador, el sensor de posición del pedal del acelerador envía la información al módulo electrónico de control para que active el alternador, el cual genera de 12V hasta 25V y la envía al súpercondensador para el almacenamiento de carga. El convertidor DC/DC que se encuentra integrada en la ECU, baja la tensión de 25V del súpercondensador a 12V y la distribuye directamente a los diversos componentes eléctricos del vehículo o a su vez carga la batería.

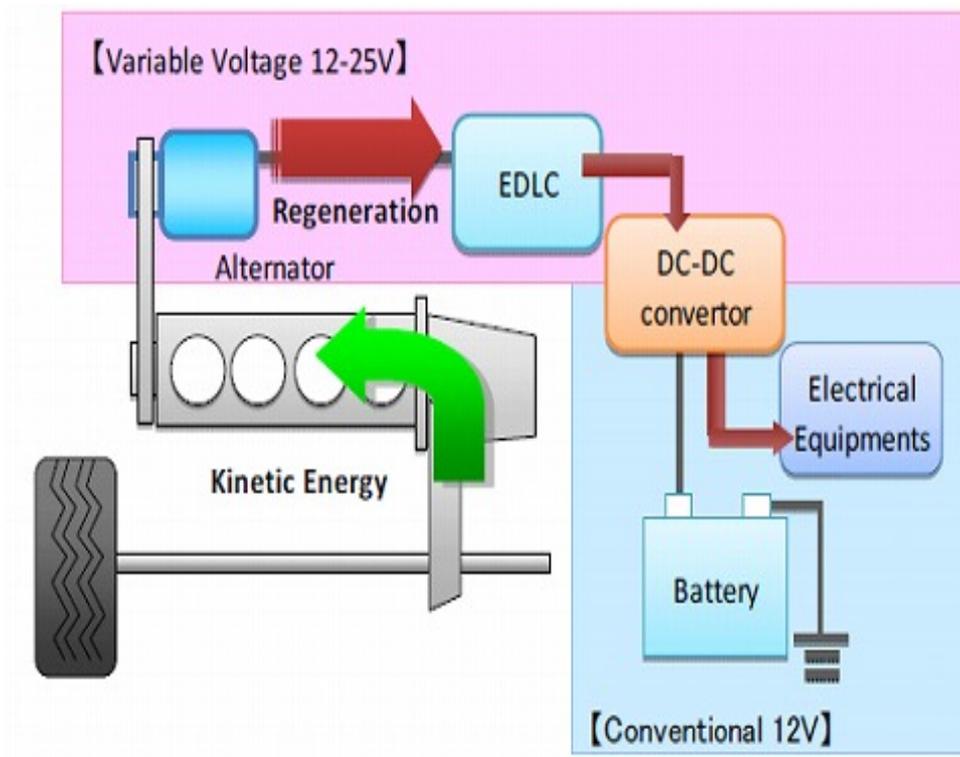


Figura 1.1. Sistema de frenado regenerativo en vehículos convencionales.

Fuente: *Engineers' Breaktime* ielooop; <http://shooting-star.life.coocan.jp/2/archives/2013/03/ielooop.html>; junio 2013.

Cuando el conductor vuelve a pisar el pedal del acelerador el sensor envía la señal a la ECU y el alternador deja de funcionar, enviando toda la potencia del motor a las ruedas.

La energía en ese momento la da el súpercondensador y si es necesario la batería principal, hasta que se vuelva a desacelerar o cuando la ECU determine que el nivel de carga de la batería está por debajo de lo requerido.

1.3. COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA.

Uno de los principales objetivos de esta monografía es la de seleccionar los elementos del sistema de frenado regenerativo que será para aplicación en vehículos con motor de combustión interna, se analizará el funcionamiento de cada uno de los componentes necesarios para la implementación, que más adelante nos servirá de guía para poder elegir de forma correcta los elementos del sistema.

1.3.1. Alternador.

El alternador es el elemento encargado de convertir la energía mecánica del motor, en corriente eléctrica que el vehículo necesita para mantener la carga de la batería, además, de suministrar energía a todos los sistemas eléctricos para su funcionamiento normal.

Como se mencionó anteriormente el problema que se pretende resolver con la presente monografía, es mejorar la eficiencia del grupo electrógeno de un vehículo convencional mediante la implementación de un sistema de frenado regenerativo, para lo cual se utiliza un alternador con un circuito de alto factor de potencia que ayudará a reducir el consumo de combustible considerablemente.

1.3.1.1.Elementos del alternador.

El alternador a utilizar es idéntico a los convencionales, con la única diferencia en el accionamiento en la polea de arrastre, a continuación se detalla cada uno de los componentes.

- **Embrague magnético:** Conecta la polea hacia el eje del rotor; cuando la unidad de control envía la señal el electroimán atrae la placa de presión para que el alternador funcione.

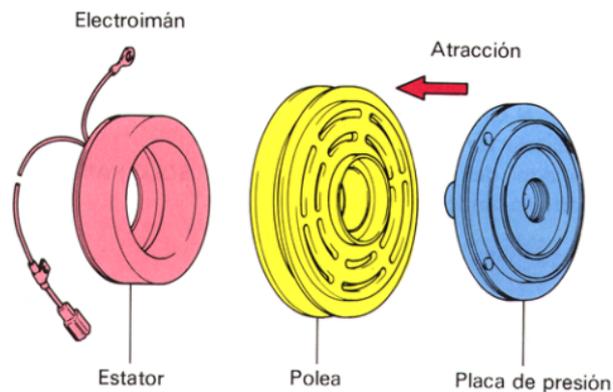


Figura 1.2. Embrague magnético.

Fuente: Embrague magnético; www.ansal.com.ar; junio 2014.

- **Rotor (inductor):** Está formado por un electroimán y es la parte móvil del alternador, tiene la función de crear el campo magnético que inducirá al estator la corriente eléctrica que se genera en el alternador.

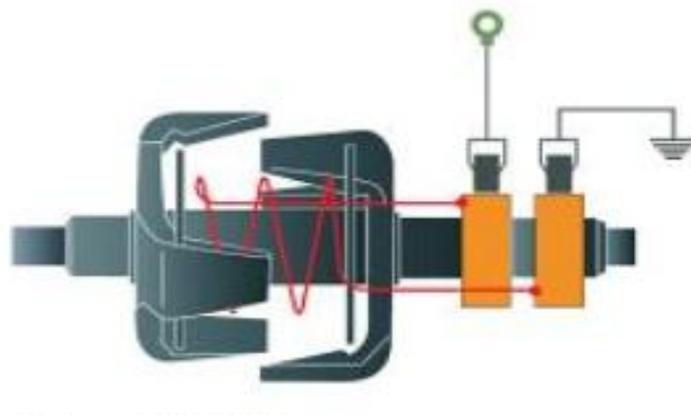


Figura 1.3. Rotor.

Fuente: SERRANO E., Circuitos electrotécnicos básicos, 2008, pg. 146.

- **Estator (inducido):** Es un elemento estático que va sujeto a la carcasa (fig. 1.4), genera la corriente eléctrica debido a la inducción del campo magnético del rotor.



Figura 1.4. Estator.

Fuente: Alternador, estator y regulador de voltaje;
http://mediateca.educa.madrid.org/imagen/ver.php?id_imagen=8eaaidtn8fp8tr1u; junio 2013.

- **Regulador:** Es el encargado de mantener el voltaje en el rango deseado, para este sistema el regulador mantiene el voltaje en un rango variable de 12 a 25V según sea la necesidad del vehículo.



Figura 1.5. Regulador de voltaje.

Fuente: Bosch R., Catalogo motores de arranque y alternadores, 2008

- **Puente rectificador de diodos:** Es el elemento encargado de transformar la corriente alterna en corriente continua, para que pueda ser utilizada por el vehículo.



Figura 1.6. Puente rectificador.

Fuente: BOSCH R., Catalogo motores de arranque y alternadores, 2008.

1.3.1.2. Funcionamiento.

El regulador de voltaje recibe una señal de la ECU para que envíe una corriente de pre-excitación proveniente de la batería al bobinado del rotor a través de las escobillas. La ECU activa el electroimán para que el rotor empiece a girar y se dé el funcionamiento normal del alternador.

La corriente proveniente de la batería pasa por el regulador e ingresa a través de D+ (fig. 1.7) hacia el rotor para que exista la excitación, el rotor gira creando un campo magnético el cual incide en el estator una corriente eléctrica que sale por B+ hacia el súpercondensador.

La regulación del voltaje se hace cambiando la corriente de excitación que pasa a la bobina central a través de las escobillas, para cambiar la potencia del imantado de la bobina lo que hace que genere el voltaje de 12V a 25V. Siendo 25V para ejercer en el motor un mayor efecto de frenado y bajando a 12V para un efecto de frenado más suave, dependiendo de las señales de desaceleración que envíe el sensor de pedal del acelerador y de la velocidad del vehículo.

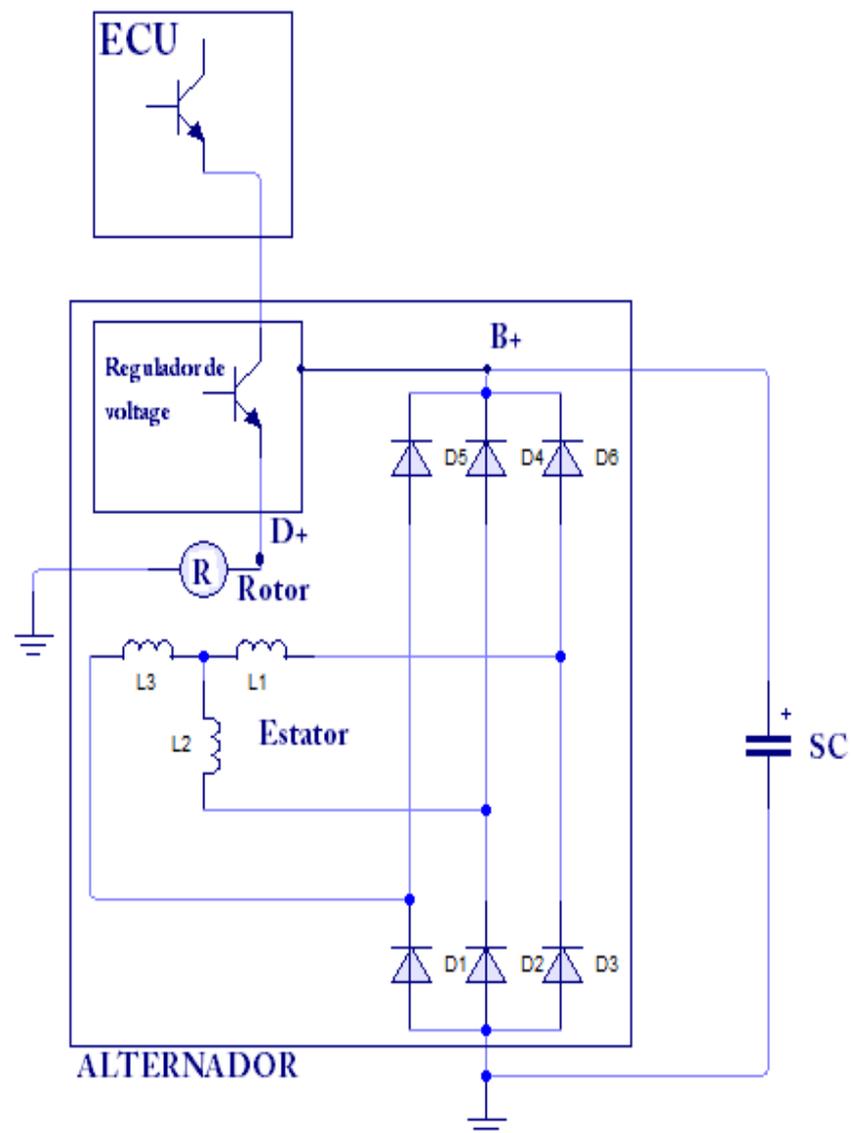


Figura 1.7. Circuito de excitación del alternador

1.3.2. Sensor del pedal de acelerador.

El conductor controla la aceleración o desaceleración del vehículo a través del pedal del acelerador. Antiguamente se realizaban todos estos mandos de forma mecánica, a través de un cable o mediante un sistema de varillas.

Con el pasar del tiempo se empezó a introducir en los vehículos sensores de posición del acelerador (figura 1.8.), los cuales detectan el recorrido del pedal y lo transmiten a la ECU de una forma eléctrica. Esta señal puede ser usada para determinar el comportamiento del motor, para abrir o cerrar la mariposa (acelerador electrónico), en sistemas de frenado regenerativos, etc.

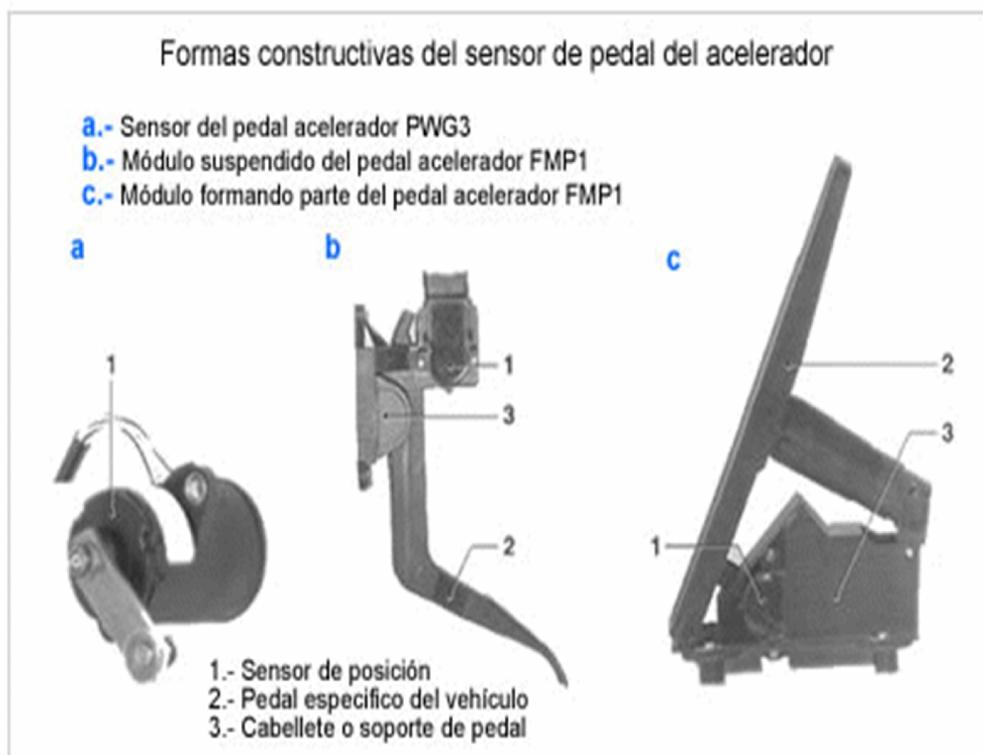


Figura 1.8. Formas constructivas sensor del pedal de acelerador.

Fuente: BOSCH R., Serie amarilla, Los sensores en el automóvil, Reverte, 2003.

1.3.2.1. Tipos de sensores de pedal del acelerador.

Los tipos más utilizados son:

- **Potenciómetro simple.-** No es más que una resistencia variable que ajusta una tensión en función de la posición del pedal.
- **Potenciómetro doble o redundante.-** Este sensor trabaja con dos potenciómetros en donde el segundo suministra siempre la mitad de la tensión que el primero (figura 1.9.)

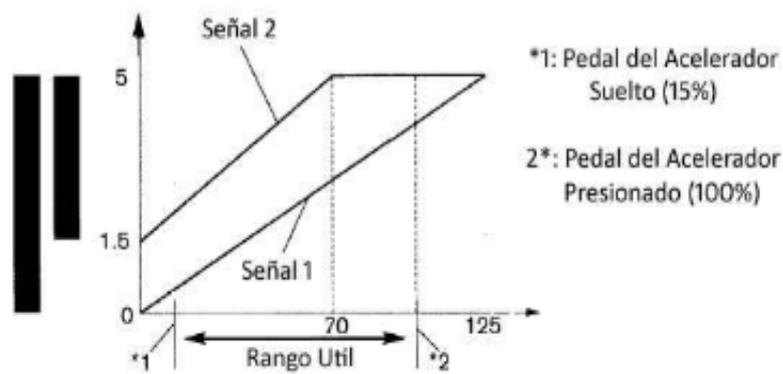


Figura 1.9. Línea característica del sensor de pedal de aceleración con potenciómetro doble.

Fuente: CHIAVETTO G., Curso inyección electrónica, 2010.

- **Tipo hall.-** “Posee una disposición simplificada sin conductores de flujo magnéticamente suaves, en el cual el imán es movido en un arco circular entorno al sensor hall.”¹

¹ BOSCH R, Serie amarilla, los sensores en el automóvil, Reverte, 2003, pg. 33.

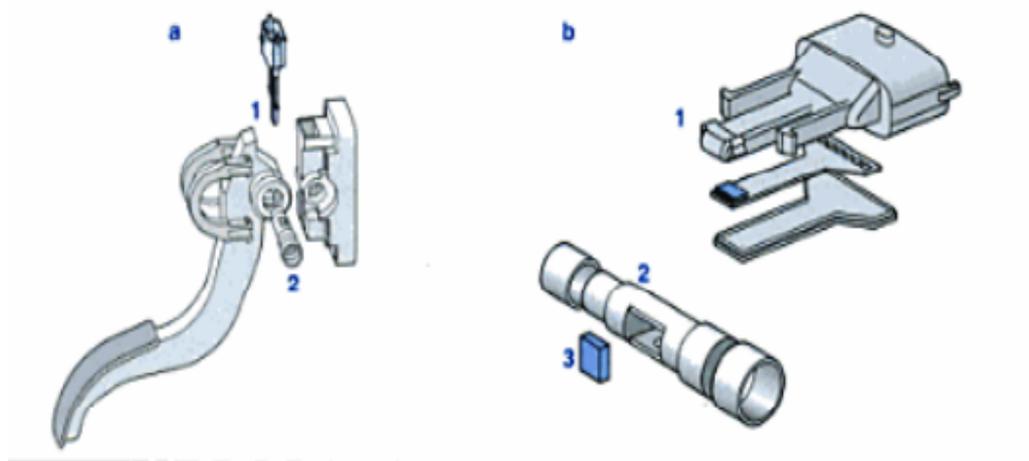


Figura 1.10. Sensor de tipo hall.

Fuente: BOSCH R., Serie amarilla, Los sensores en el automóvil, Reverte, 2003.

1.3.3. Sensor de velocidad del vehículo (VSS).

El sensor de velocidad del vehículo es un captador magnético, que envía la información de la velocidad a la ECU para que realice las correcciones correspondientes en el motor, sistema de frenos etc.

El VSS envía una señal de corriente alterna a la ECU la cual es interpretada como velocidad del vehículo. Este sensor se encuentra colocado en el transeje donde se colocaba el cable del velocímetro. Al aumentar la velocidad del vehículo el voltaje y la frecuencia aumentan, y la ECU convierte ese voltaje en Km/h.

1.3.3.1. Tipos de sensores de velocidad.

Los más utilizados son:

- **Tipo efecto hall.-** Se basa en el principio de efecto hall, donde una pastilla semiconductor recibe el campo magnético de un imán permanente que está cercano o enfrentado, la pastilla se convierte en conductor eléctrico enviando una señal. En cambio cuando una pantalla interrumpe o tapa la acción del campo magnético nuevamente la pastilla deja de conducir electricidad.
- **Tipo inductivo.-** “Este sensor está compuesto por un imán permanente, un núcleo de hierro dulce, y una bobina. Si delante de este captador gira una rueda dentada ferromagnética (o un rotor de estructura similar), en la bobina se induce una variación temporal de flujo magnético proporcional a la tensión.”²

La onda generada por este sensor es de tipo inductiva (figura 1.11.), y el número de dientes que indiquen una revolución dependerá del número de dientes de la rueda menos uno, que será una marca de referencia necesaria que indicará una posición relativa.

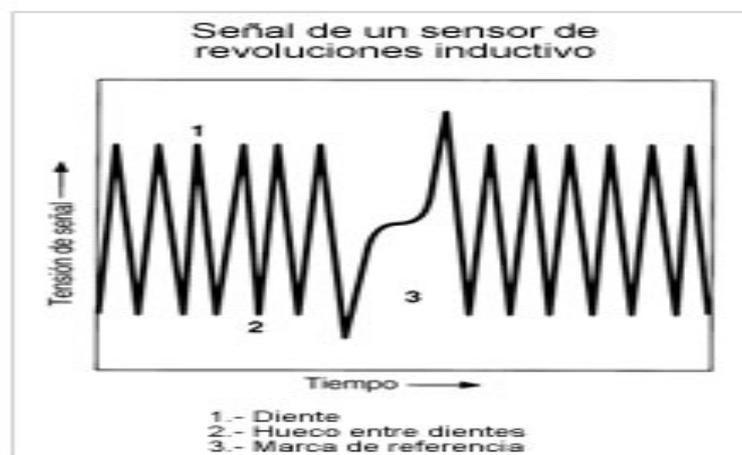


Figura 1.11. Señal de onda sensor inductivo.

Fuente: Sensores en el automóvil; <http://www.aficionadosalamecanica.net/sensores2-modelos.html>; junio 2013

² BOSCH R, Manual de la técnica del automóvil, Reverte, 4ta edición, 2005, pg., 976-1024

- **Tipo interruptor de reed switch.-** Este tipo de sensor de láminas es impulsado por el cable del velocímetro que hace girar a unos imanes (figura 1.12.), los cuales atraen los contactos del interruptor de láminas, haciendo que se abran y se cierren 4 veces por vuelta, lo que genera pulsos que son enviados a la ECU para que determine la velocidad del vehículo.

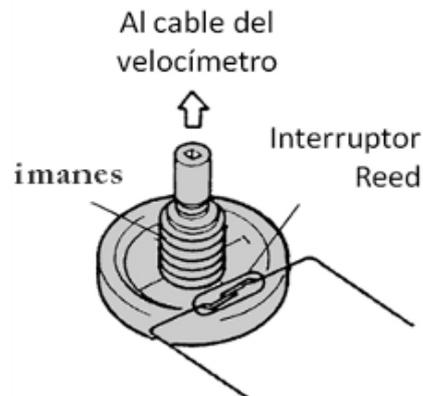


Figura 1.12. Sensor tipo interruptor de reed switch.

Fuente: Sensor de velocidad del vehículo; http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=223 ; junio 2013.

1.3.4. Unidad electrónica de control. (ECU)

La unidad electrónica de control del sistema detecta la cantidad de esfuerzo aplicado al pedal del acelerador de acuerdo a las señales procedentes del sensor de la posición del pedal. La ECU además recibe las señales de la velocidad del vehículo desde el sensor de velocidad (VSS) y determina el momento exacto en el que el alternador entra en funcionamiento comparando las señales de los sensores antes mencionados.

Mientras el vehículo y los consumidores eléctricos estén en funcionamiento el banco de súpercondensadores y la batería cumplen los ciclos de carga y descarga, a través del circuito eléctrico y con el frenado de regeneración de energía durante la desaceleración.

La ECU calcula el estado de carga basándose en los niveles de carga y descarga mediante la detección de la tensión de la batería y la intensidad de corriente y estabiliza el valor de carga en cualquier momento.

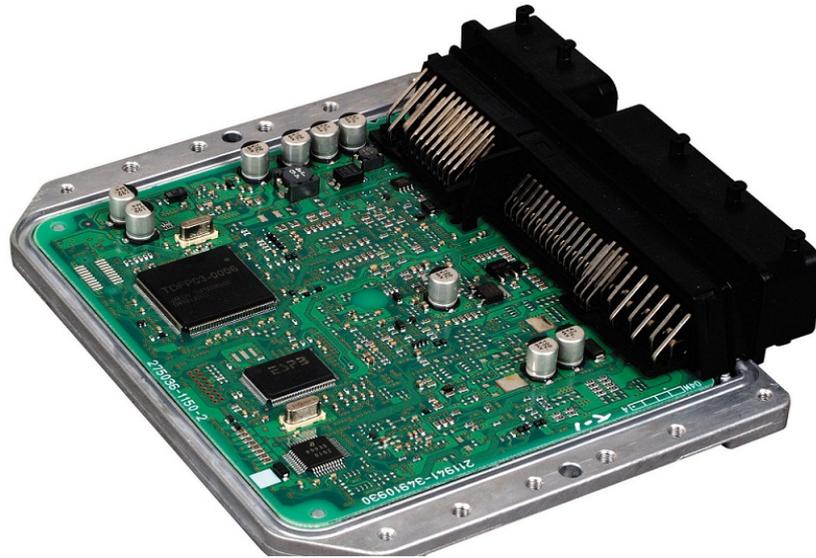


Figura 1.13. Unidad electrónica de control

Fuente: Denso Europe 2013, *Electronic systems* <http://denso-europe.com/products/electronics>; junio 2013.

Otra de las funciones que cumple es la de transformar desde 25V CC a 12V CC la tensión que se almacena en los súpercondensadores para que sea suministrada a los consumidores eléctricos, o a su vez para que pueda cargar la batería principal.

1.3.5. Batería principal.

El uso de una buena batería es fundamental para el funcionamiento de los componentes del sistema eléctrico del vehículo y en el sistema que se está analizando en la presente monografía es aún más importante, debido al intenso uso que se le dará y a los ciclos profundos que debe soportar.

A continuación se detallan dos tipos de baterías de plomo-ácido que cumplen con las especificaciones necesarias, lo cual servirá para posteriormente seleccionar la más indicada para el sistema que se está analizando.

1.3.5.1.Batería de GEL.

“La batería de gel es una forma de batería de plomo en la que está enlazado el electrolito (líquido ácido sulfúrico) mediante la adición de sílice, que hace una resultante masa de tipo gel. Los gases generados durante el proceso se convierten en líquido dentro de la batería de Gel (recombinación).”³

Además se añade ácido fosfórico al electrolito, lo cual hace que soporte los ciclos de carga, y favorece la recarga cuando se producen descargas profundas.

Ventajas:

- Elevada resistencia a ciclos de carga y descarga.
- Reducida gasificación.
- No necesita mantenimiento.
- Soporta descargas profundas.

Desventajas:

- Es más costosa.
- Se debe utilizar un regulador especial.

³ Blanco A., Baterías AGM para vehículos *stop and start*, Cevismap, 2011, pg. 33.

1.3.5.2. Batería AGM.

Su nombre viene dado por las siglas en inglés *Absorbent Glass Mat*, que significa malla de fibra de vidrio absorbente. En estas baterías el electrolito está contenido en una malla micrométrica de fibra de vidrio que se encuentran trenzadas entre sí y tienen la función de separar las placas, además absorben muy bien el ácido sulfúrico.

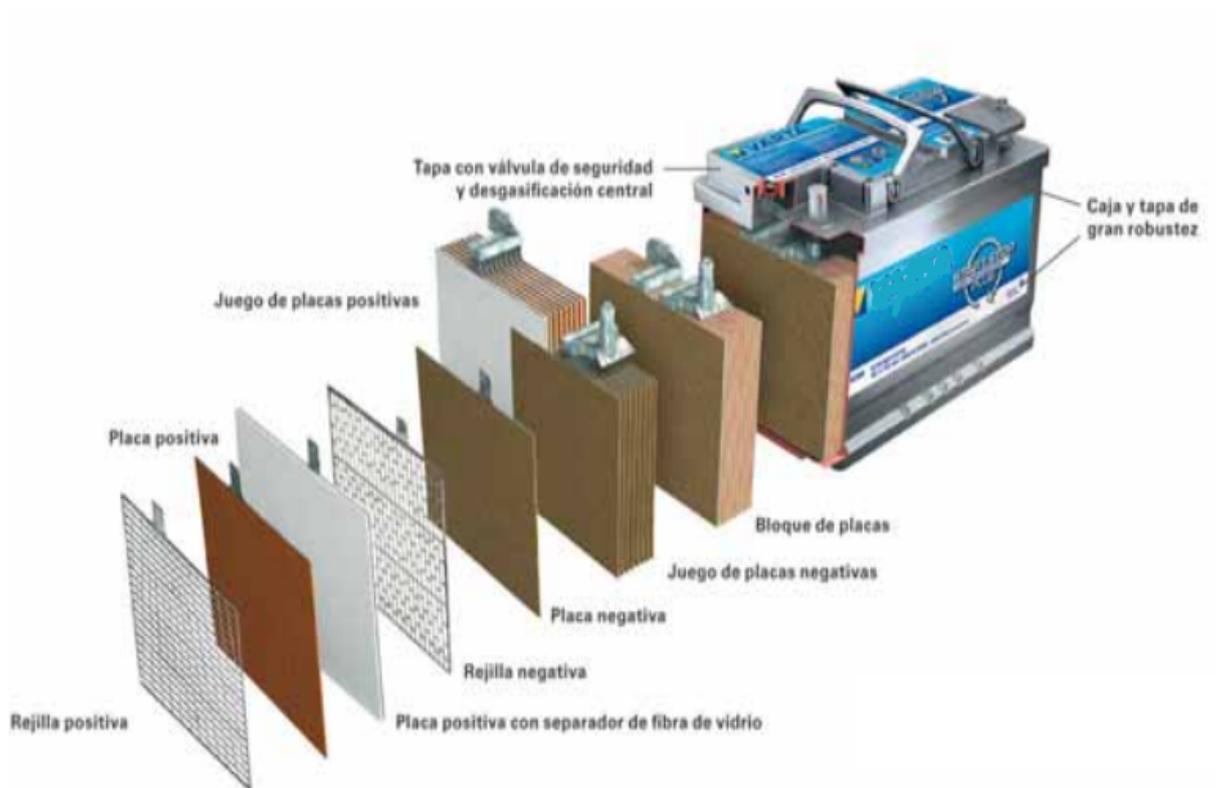


Figura. 1.14. Elementos Batería AGM.

Fuente: Batería AGM; www.varta.com; junio 2013

Ventajas:

- No necesita mantenimiento.
- Resistente a ciclos de carga y descarga.
- Soporta descargas profundas.
- Reducida gasificación.
- Buenas propiedades para el arranque en frío.

Desventajas:

- Alto costo.
- No adecuado para el trabajo a elevadas temperaturas.

Otro factor a destacar es que la resistencia interna es prácticamente nula, lo que provoca que la entrega de potencia sea más alta, eficiente y que la carga sea más rápida.

TIPOLOGÍA DE BATERÍAS			
TECNOLOGÍA	PLOMO-ÁCIDO	GEL	AGM
Voltaje	12V	6V y 12V	6V y 12V
Capacidad de la batería (Ah)	de 40 hasta 180	de 16 hasta 210	de 33 hasta 225
Corriente de arranque en frío EN (A)	de 330 a 920	de 180 a 1030	de 680 a 950
Ángulo de montaje	Sin inclinación	Cualquier posición	Cualquier posición
Requerimientos de carga	DC, 10% de la capacidad	DC, del 25% al 50% de la capacidad	DC, cualquier amperaje
Tiempo de descarga	Tras 8 meses mantiene el 35% de la carga	Tras 2 años mantiene el 85% de la carga	Tras 2 años mantiene el 90% de la carga
Vida útil (ciclos carga / descarga)	Entre 350 a 400	Entre 550 y 600	Entre 950 y 1000
Máxima capacidad de descarga	En torno al 55% - 60%	En torno al 75%	100%
Posible pérdida de electrolito	Posible pérdida de líquido	Posible pérdida de gel	Ninguna

Tabla 1.1. Comparación de características de las baterías.

Fuente: BLANCO, A/ Baterías agm para vehículos *stop&start*/Cesvimap/2011.

CAPÍTULO II

SÚPERCONDENSADORES

2.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS.

A finales del siglo XIX el físico Von Helmholtz desarrollo por primera vez la teoría de la doble capa, para explicar el comportamiento en diferentes condiciones del electrodo y el electrolito. En 1957 ingenieros de General Electric patentaron el primer súpercondensador, el cual basaba su principio en el aumento del área de las placas utilizando un material poroso de carbono en una disolución electrolítica, este dispositivo mostró una alta capacitancia, a pesar de esto no se siguió con los estudios debido a que no se conocía su aplicación es esos tiempos.

Standard Oil de Ohio (SOHIO) accidentalmente re-descubrió el efecto de doble capa mientras trabajaba en diseños experimentales de células de combustible. Su diseño de la célula utilizó una interfaz de carbono y solución electrolítica de sal de tetralquilamonio separado por un aislante poroso delgado, este diseño mecánico básico fue la base de los súpercondensadores durante 20 años. La empresa NEC compró la licencia a SOHIO para comercializar los primeros dispositivos que fueron utilizados para proporcionar energía de reserva para las memorias de los ordenadores.

A finales de los ochentas se obtuvo el primer súpercondensador de un faradio, y a inicios de los noventas se presentaban súpercondensadores de más de 100 faradios construidos por empresas rusas. Además, se realizaron los primeros ensayos en aplicaciones industriales que apoyaban el suministro de energía a los robots.

“El primer éxito para obtener súpercondensadores rentables fue el uso de dióxido de rutenio por Conway y sus colaboradores en 1991, ya que fue el primer súpercondensador que presentó una baja resistencia interna. Estos dispositivos generaron un gran interés debido a su aplicación a automóviles híbridos, por lo que se impulsó su investigación en todo el mundo. Una de las más importantes fue la iniciada en 1998 por el Departamento de Energía de los Estados Unidos y que aún sigue vigente.”⁴

En 2005 la empresa de control de sistemas aeroespaciales Diehl Luftfahrt Elektronik, eligió súpercondensadores para sistemas de energía de accionamiento de emergencia para puertas y rampas de evacuación de aviones, como el Airbus 380 Jumbo.

En febrero del 2006 investigadores del laboratorio de iniciativa energética del MIT, utilizaron una matriz de alineación vertical de nanotubos de carbono de pared simple en la construcción de electrodos para súpercondensadores, obteniendo densidades comparables a las de las baterías. El mismo año EESTOR una empresa de Estados Unidos afirmó en su patente (**Anexo A**) haber desarrollado un súpercondensador que supera la capacidad de almacenamiento de una batería, este dispositivo está formado por una matriz de 31.353 componentes en paralelo, lo que le permite almacenar 52KWh de energía eléctrica, y pesa unos 128 kilos.

En el 2007 se empezó a utilizar las escalas micrométricas para la construcción de súpercondensadores de doble capa de estado sólido, los cuales se basaban en el principio de conductores superiónicos avanzados para la electrónica de baja tensión, tales como nano electrónica profunda de sub-tensión y otras tecnologías relacionadas.

⁴ ZHOU C., *Carbon nanotube based electrochemical supercondensadors*, 2006, pg. 2.

Actualmente Investigadores del *Research Institute of Chemical Defense*, en China, han desarrollado un electrodo elaborado con nano partículas de óxido de magnesio las cuales son depositadas en nanotubos de carbono, formando así una estructura en forma de flor, estos dispositivos almacenarían dos veces más la capacidad de los súpercondensadores de carbón activo.

2.2. ESTRUCTURA Y PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO.

Los súpercondensadores están compuestos por dos colectores de voltaje a base de aluminio unidos a dos electrodos de carbono con una alta porosidad y una elevada capacidad para atraer iones, los cuales se encuentran sumergidos en un electrolito y tienen un separador entre ellos (Figura 2.1.).

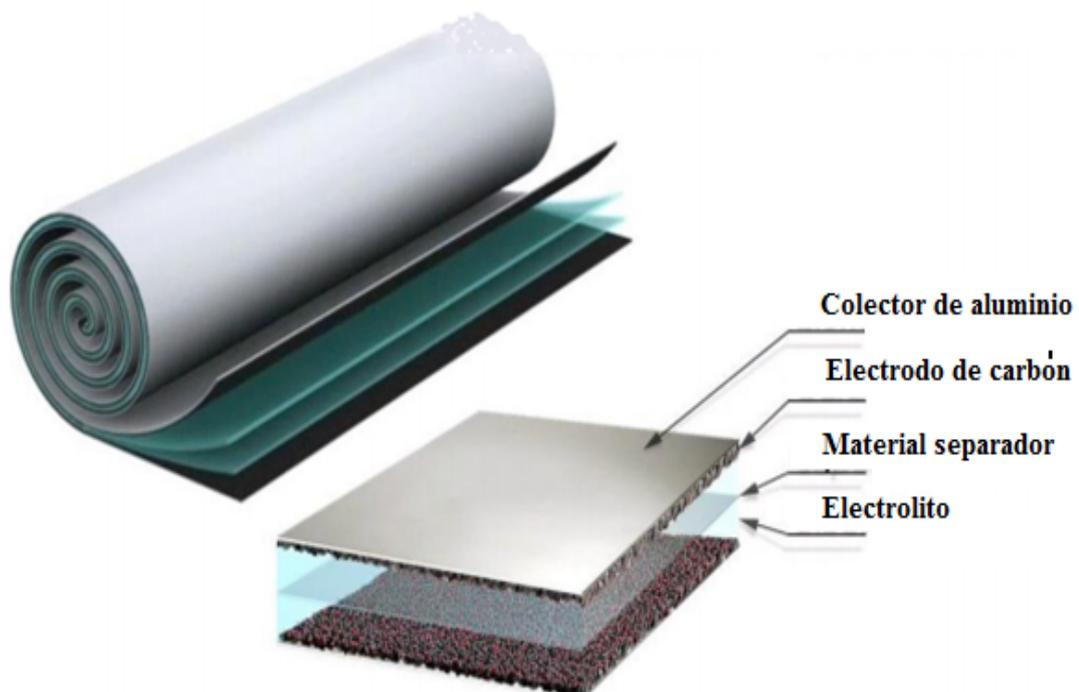


Figura 2.1. Estructura de un súpercondensador.

Fuente: Omegawebsotions, ultracapacitors; <http://seminarprojects.kreview.com/item.php?id=109>; julio del 2013

El principio de funcionamiento de los súpercondensadores se basa en dos aspectos fundamentales que son la capacitancia de doble capa y la pseudocapacitancia las cuales se detallan a continuación.

2.2.1. Capacitancia de doble capa.

“La doble capa eléctrica resulta de fuertes interacciones entre los iones/moléculas en la solución y la superficie del electrodo. En una interface metal solución, hay una capa delgada de carga en la superficie de metal, que resulta de un exceso o deficiencia de electrones. Por otra parte, en las proximidades de la superficie del electrodo, existe una carga opuesta en solución debido a un exceso de cualquiera de los cationes o aniones. Por lo tanto la doble capa eléctrica se compone de toda la gama de especies cargadas y dipolos orientados existentes en la interfaz metal-disolución.

La capacitancia de doble capa es generalmente una función de potencial, que es diferente de un condensador estándar, se puede caracterizar por varias capas como se muestra en la figura 2.2.”⁵

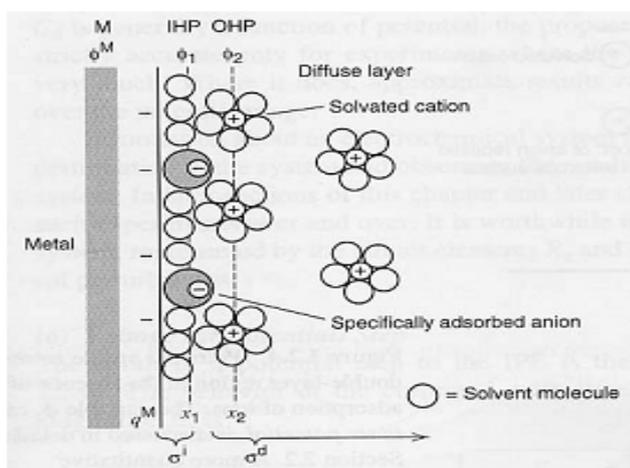


Figura 2.2. Región de doble capa donde los aniones se adsorben específicamente.

Fuente: A. J. Bard, L. R. Faulkner, *Electrochemical Methods, Fundamentals and Applications (2nd)*, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

⁵ A. J. Bard, L. R. Faulkner, *Electrochemical Methods, Fundamentals and Applications (2nd)*, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

La capa interior más próxima al electrodo, también llamado compacto Helmholtz o capa de Stern, consiste en moléculas de disolvente y a veces otros iones o moléculas adsorbidas específicamente. La capa interna se puede dividir en plano de Helmholtz interior (PHI) y el plano exterior de Helmholtz (OHP). El PHI es a una distancia x_1 , donde se encuentran los centros eléctricos de los iones adsorbidos específicamente, mientras que el OHP está a una distancia x_2 , que representa la distancia más cercana que los iones solvatados pueden acercarse al metal o de punto de partida de la capa difusa. Estos iones solvatados no se absorben específicamente ya que la interacción entre los iones solvatados y metales cargados implica sólo las fuerzas electrostáticas de largo alcance, y no depende de las propiedades químicas de los iones.

“Debido a la agitación térmica de la solución, los iones adsorbidos no específicamente son distribuidos desde el OHP en la mayor parte de la solución y formar una capa difusa tridimensional, cuyo espesor se determina por la concentración iónica total en la solución. En una capa doble, la densidad de carga total en la solución se compone de la densidad de carga total de los iones adsorbidos específicamente en la capa interna, y la densidad de carga total del exceso en la capa difusa.”⁶ “Por lo tanto la capacitancia de la doble capa incluye Helmholtz tipo compacto doble capa de capacitancia C_H y región difusa de la capa doble de la capacitancia C_{diff} , y la capacitancia total de la capa doble está dada por la ecuación (2.1).”⁷

$$\frac{1}{C_{dl}} = \frac{1}{C_H} + \frac{1}{C_{diff}} \quad (2.1)$$

“El potencial en estas dos capas es muy diferente, y un perfil potencial de la doble capa se muestra en la figura 2.3. La doble capa eléctrica puede verse afectada por muchos factores, tales como la estructura de los electrodos y el electrolito. Una gran cantidad de trabajo se ha informado sobre los electrodos de grafito de carbono.”⁸

⁶ A. J. Bard/ L. R. Faulkner/ *Electrochemical Methods, Fundamentals and Applications (2nd)*, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

⁷ CONWAY B. E. *Electrochemical supercapacitors: scientific fundamentals and technological applications*, Springer, 1999, pg. 60-120.

⁸ ZHOU C., *Carbon nanotube based electrochemical supercondensadors*, 2006, pg. 7.

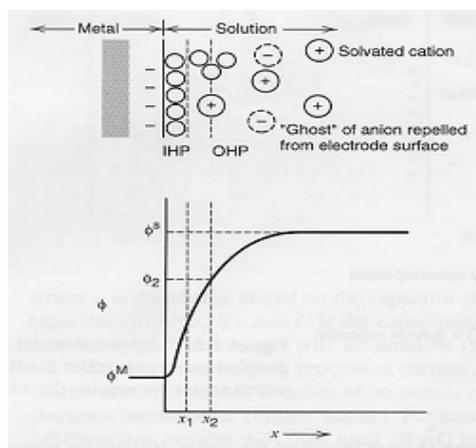


Figura 2.3. Perfil de potencial a través de la región de doble capa en la ausencia de adsorción específica de iones.

Fuente: A. Bard/ L. R. Faulkner/ *Electrochemical Methods, Fundamentals and Applications (2nd)*, John Wiley & Sons, Inc., 2001.

2.2.2. Pseudocapacitancia.

“Pseudocapacitancia es farádica en origen y muy diferente de la clásica capacitancia electrostática observada en la doble capa. En el caso de la pseudocapacitancia, la carga se transferirá a través de la doble capa, similar a la de carga y descarga en una batería, así la capacitancia se puede calcular mediante el uso de la medida de la carga almacenada (Δq) y el cambio del potencial (ΔV). La relación entre ellos puede ser descrita por:”⁹

$$C = \frac{\partial(\Delta q)}{\partial(\Delta V)} \quad (2.2)$$

“En general, en un condensador de doble capa de carbono, hay aproximadamente 1-5% pseudocapacitancia debido a los grupos funcionales en la superficie, pero también hay alrededor del 5-10% capacitancia de doble capa en una batería.

⁹ ZHOU C., *Carbon nanotube based electrochemical supercondensadors*, 2006, pg. 7.

Pseudocapacitancia puede ser causada por electro absorción de H o átomos de metal, y las reacciones redox de las especies electro activas, que dependen en gran medida de la afinidad química de la superficie a los iones en el electrolito. Por una parte, la pseudocapacitancia puede mejorar notablemente la capacidad de súpercondensadores, por otro lado, también se mejora otras propiedades, tales como el ciclo de vida. Existen varios tipos de materiales con comportamiento de pseudocapacitancia significativa que han sido investigados: 1) Óxido de electro activo o películas hidratadas de óxido de metales de transición, tales como MnO₂, IrO₂, RuO₂, MoO₃, WO₃, Co₃O₄; 2) Películas de polímeros conductores, polipirrol, poli tiofeno, polianilina, y sus derivados; 3) Electro absorción de H en metales Pt.”¹⁰

2.3. CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES.

Desde la invención del primer súpercondensador en 1957 por *General Electric*, las propiedades de los materiales han ido evolucionando y con esto sus características.

A continuación se detallan las características más relevantes de los súpercondensadores.

- **Alta eficiencia.**- Dependiendo de la aplicación que se les dé, su eficiencia está en un rango de 97-99%.
- **Soporta descargas profundas.**- A diferencia de las baterías, los súpercondensadores no se ven afectados cuando se da una descarga del 100%.
- **Baja degradación.**- La degradación se presenta a partir de los cientos de miles de cargas y descargas, con una pérdida de capacidad menor al 20% a partir del décimo año.
- **Vida útil elevada.**- Tiene una vida estimada de 20 millones de ciclos de carga y descarga, a diferencia de una batería con miles de ciclos.

¹⁰ CONWAY B. E. *Electrochemical supercapacitors: scientific fundamentals and technological applications*, springer, 1999, pg. 60-120.

- **Baja impedancia.-** Tiene un mejor impulso de corriente, con lo que se logra un mejor manejo de la carga en una conexión en paralelo con una batería.
- **Baja resistencia interna.-** Tienen una resistencia de 1/10 en comparación a una batería electroquímica.
- **Alta capacidad.-** Existen súpercondensadores con capacidad de 1 hasta 5000F.
- **Baja densidad de energía.-** Tienen una densidad de 1 a 15Wh/kg dependiendo del material usado para su construcción.
- **Alta densidad de potencia.-** Tienen una densidad de hasta 20 KW/kg, esto se debe a que permite descargar muy altas corrientes.
- **Son reciclables.-** Debido a que no contiene materiales tóxicos se vuelven muy amigables con el medio ambiente, y sus materiales pueden ser reutilizados.
- **Tiempos de carga y descarga muy bajos.-** Se pueden cargar y descargar en periodos de tiempo muy bajos de 1 a 10s.

2.4. TIPOS DE SÚPERCONDENSADORES.

Los tipos de súpercondensadores se clasifican de acuerdo a los materiales con los que son elaborados. Según Zhou y Dinh – Nguyen hay cuatro tipos principales, pero actualmente se han encontrado nuevos materiales y métodos de construcción, de los cuales se hará referencia a continuación.

- **Súpercondensadores electrolíticos de entre caras de carbono de doble capa.**

Sus principales componentes son hidróxido de sodio-potasio o ácido sulfúrico. En los que la solución se separa en iones positivos de sodio o potasio, este tipo de súpercondensador acumula una mayor energía eléctrica debido a la presencia de un potencial por aumento de la atracción entre las caras.



Figura 2.4. Súpercondensadores electrolíticos de entre caras de carbono de doble capa.

Fuente: Ultracondensadores; <http://es.dhgate.com/product/free-ship-super-capacitor-2-7v-60f-ultra/111234771.html>, Octubre del 2013.

- **Súpercondensadores no electrolíticos de entre caras de carbono de doble capa.**

Son elaborados de aerogeles, nanotubos de carbón, carbón activo y soles (fig. 2.5.), ya que el carbono es un material muy común y de bajo costo, además se utiliza este material debido a que tiene una gran área superficial ($1000\sim 2000\text{ m}^2/\text{gr.}$) y su capacidad está alrededor de $50\text{-}70\ \mu\text{f}/\text{cm}^2$.

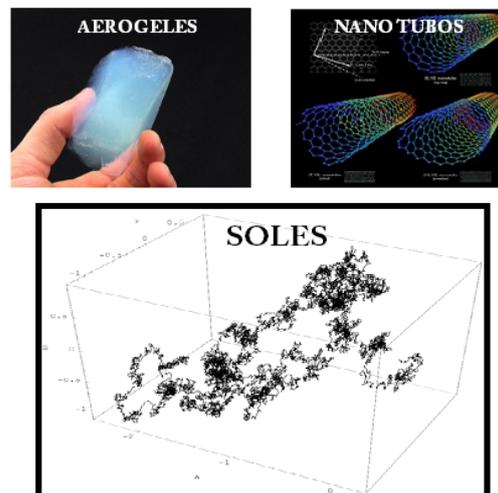


Figura 2.5. Súpercondensadores no electrolíticos de entre caras de carbono de doble capa.

Este tipo de súpercondensadores es uno de los más prometedores, en especial los que se realizan con electrodos de nanotubos de carbón. Según estudios realizados por la Universidad Rice los nanotubos de carbono tienen una capa sólida, a nano escala de material dieléctrico de óxido que reemplaza los electrolitos completamente.

- **Súpercondensadores acuosos de óxido de doble capa con pseudocapacitancia redox.**

Además de los electrodos de carbono, los electrodos de óxido de metal son muy importantes en dispositivos de almacenamiento eléctrico. Trasatti et al. utilizó por primera vez RuO_2 como electrodos de súpercondensadores. Los electrodos de RuO_2 , también llamados ánodos dimensionalmente estables (DSA), se construyen termoquímicamente de RuCl_3 o $(\text{NH}_4)_3\text{RuCl}_6$ pintados en sustratos de Ti a temperaturas entre 350°C y 550°C , con la adición de isopropóxido de titanio o de TiCl_3 . El sistema de RuO_2 -acuosa ha sido ampliamente estudiado, y la capacitancia específica llegó a ser tan alta como 720 F/gr. con electrolitos de H_2SO_4 . Sin embargo, el metal usado es muy caro. Recientemente, otros óxidos metálicos para súpercondensadores también han sido investigados, tales como IrO_2 , MnO_2 .

La capacitancia del Fe_3O_4 en solución acuosa de Na_2SO_3 también es una opción muy alentadora, va desde unas pocas decenas hasta 510 F/gr. y depende del estado de dispersión de los cristalitos de óxido.

- **Súpercondensadores basados en polímeros conductores.**

“Los polímeros conductores, tales como polianilina, polipirrol, politiofenos, poliacetileno, y poli [bis (fenilamino) di sulfuro]” (Y.-Z. Su et al., 2004), comprenden un gran grado de conjugaciones orbitales que conducen a la

conductividad electrónica y pueden oxidarse o reducirse electroquímicamente por la retirada o la inyección de electrones, respectivamente. El mecanismo de almacenamiento de carga en polímeros conductores se ilustra en la figura 2.6. Prasad et al. en 2002 recubrió la polianilina en acero inoxidable por un método potencio-dinámico de un electrolito ácido y obtuvo muy alta capacidad específica, por arriba de 450 F/gr.

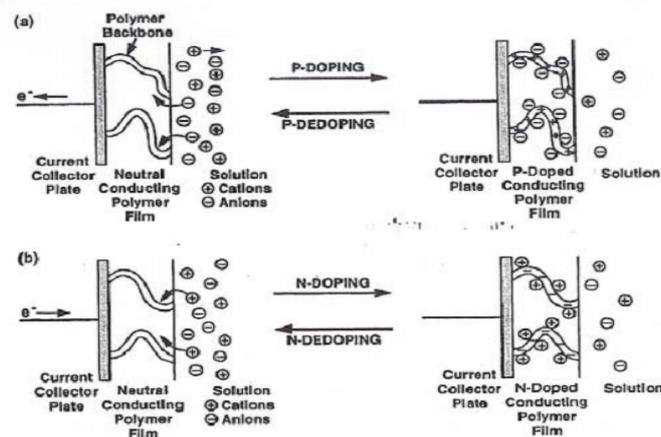


Figura 2.6. Desarrollo de una doble capa cuasi-lineal en una cadena de polímero conductor cargado.

Fuente: B. E. Conway, *Electrochemical Supercapacitors, Scientific fundamental and Technological Applications*, Plenum Publishers, 1999.

- **Súpercondensador de flujo electroquímico.**

Investigadores de la Universidad de Drexel han logrado crear un súpercondensador híbrido, el cual consiste de una celda conectada a dos depósitos los cuales contienen una mezcla de electrolito líquido y partículas de carbono que tienen la capacidad de transportar cargas eléctricas (fig. 2.7.). Esta suspensión al encontrarse sin carga es enviada hacia las celdas de flujo desde los tanques de reserva para que la energía almacenada sea transferida a las partículas de carbono. Esta energía puede ser almacenada en tanques para cuando se requiera ser utilizada, en este momento todo el proceso vuelve a ser revertido.

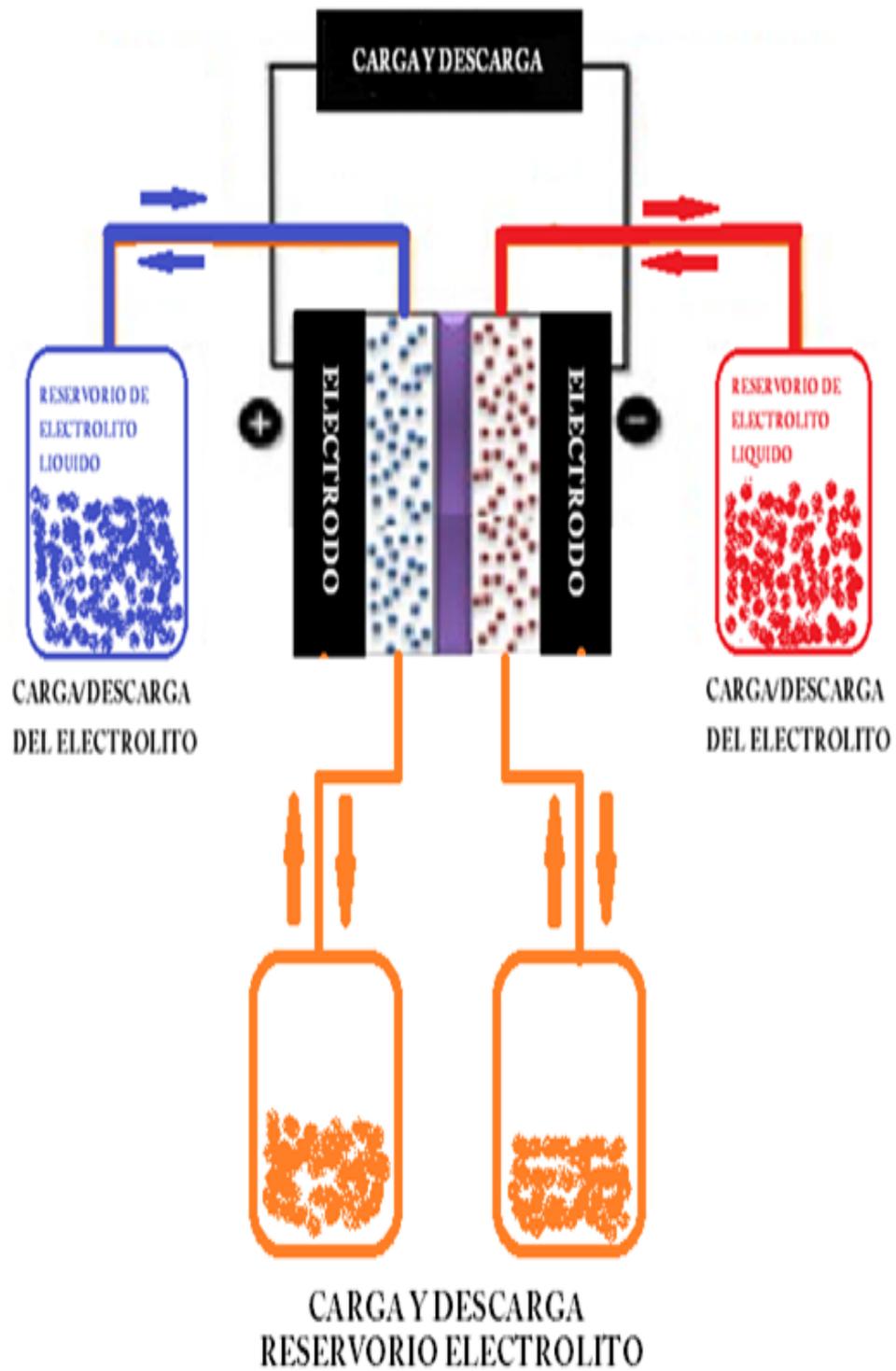


Figura 2.7. Estructura de súpercondensador de flujo electroquímico.

- **Súpercondensadores híbridos.**

Este tipo de súpercondensador tiene un electrodo hecho de carbono microporoso y el otro electrodo esta hecho de un material pseudocapacitivo o material de Faraday similar al utilizado en una batería. A este tipo de dispositivos también se los conoce como súpercondensadores asimétricos. Las características de carga / descarga de los súpercondensadores híbridos son similares a los de un condensador de doble capa (una tensión lineal frente al tiempo para una carga / descarga a corriente constante) y la de una batería (límites de tensión fijados por el potencial del electrodo). Como se indica en la Tabla 2.1, la densidad de energía de los condensadores híbridos que utilizan la intercalación de carbono en uno de los electrodos es significativamente mayor que la de los condensadores de doble capa de carbono/carbono. Sin embargo, a pesar de que la densidad de potencia de estos dispositivos es relativamente alto (alrededor de 2.000 W / kg, 95%), la capacidad de potencia no ha aumentado de forma proporcional al aumento de la densidad de energía.

Tipo de tecnología	Materiales de los electrodos	Mecanismos de almacenamiento de energía	Tensiones de la célula	Densidad de energía Wh / kg	Densidad de potencia kW / kg
Eléctrica de doble capa	Carbón activado	Separación de cargas	2.5-3.	5-7	1-3
Carbono Avanzada	Carbono/ grafito	Transferencia de carga o intercalación	3-3.5	8-12	1-2
Carbono Avanzada	Bosque de nanotubos	Separación de cargas	2.5-3.	No es conocida.	No es conocida.
Pseudo-capacitiva	Óxidos metálicos	Transferencia de carga Redox	2-3.5	10-15	1-2
Híbrido	Carbono / Óxido de metal	Transferencia de carga/doble capa	2-3,3	10-15	1-2
Híbrido	Carbono / Óxido de plomo	Doble capa / farádica	1.5 - 2.2	10-12	1-2

Tabla 2.1. Características energéticas de acuerdo al tipo de tecnología de súpercondensadores (BURKE A., 2009, pg. 17).

2.5. LÓGICA DE FUNCIONAMIENTO EN CARGA Y DESCARGA.

Como se ha dicho anteriormente el proceso de carga/descarga de un súpercondensador se basa en la transferencia de electrones, al aplicarle una diferencia de potencial entre los dos conductores metálicos estos se cargarán debido a que no se encuentran interconectados entre sí, sino que se encuentran separados por un aislante el cual hace que se genere un campo eléctrico debido a que una placa se carga positivamente y la otra lo hace negativamente.

Para explicar de una mejor manera el funcionamiento de carga y la descarga del súpercondensador utilizaremos un circuito electrónico conmutado de dos posiciones (fig. 2.8.).

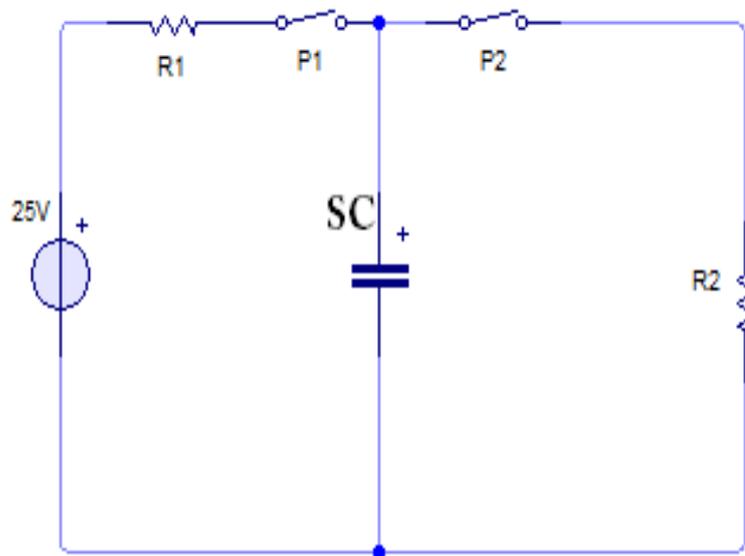


Figura 2.8. Circuito de carga descarga.

2.5.1. Carga del súpercondensador.

Cuando el conmutador P1 de la figura 2.8. se cierra, el súpercondensador empieza a cargarse debido a que los electrones de la placa superior son transferidos y se van fijando en la capa inferior, tal como se muestra en la figura 2.9., este flujo de electrones hace que una placa tenga una carga positiva y la otra tenga un carga negativa respectivamente.

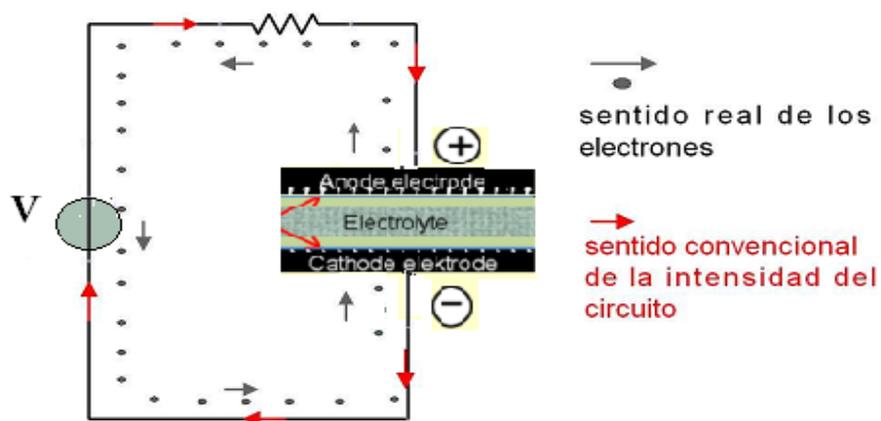


Figura 2.9. P1. Carga del súpercondensador.

El súpercondensador no se carga de una forma instantánea, sino que adquiere cierta carga por unidad de tiempo, que depende de su capacidad y de la resistencia del circuito. Este proceso se mantiene hasta que el súpercondensador se cargue completamente, luego de esto pasa a un estado de régimen permanente como se muestra en la curva de carga (figura 2.10.)

“Al producto RC se le llama constante de tiempo del circuito τ y equivale al tiempo que el condensador tardaría en cargarse de continuar en todo momento la intensidad inicial I_0 . También equivale al tiempo necesario para que el condensador se cargue con una carga

equivalente al $0,63 (1-1/e)$ de la carga final, o lo que es lo mismo que la intensidad decaiga hasta $0,37I_0$.¹¹

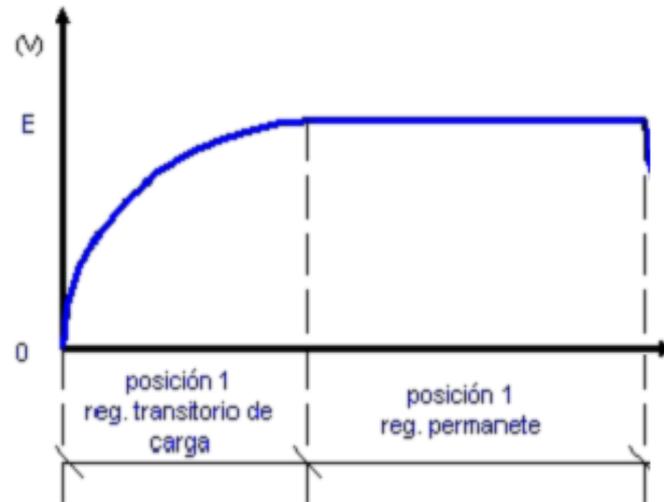


Figura 2.10. Curva de carga de un supercondensador.

2.5.2. Descarga del supercondensador.

Cuando P2 se encuentra conectado y P1 desconectado inicia la fase de descarga del supercondensador esto se da debido a la ausencia del generador y a la presencia de un consumidor (R2), el proceso se da de forma inverso al proceso de carga, los electrones pasan de la placa inferior (tiene menos carga negativa debido a la ausencia de electrones) hacia la placa superior (tiene menos carga positiva debido a que recupera los electrones) como se muestra en la figura 2.11. donde se puede evidenciar que la corriente cambia de sentido en relación al de la carga ya que el supercondensador actúa como una batería en el momento de la descarga.

¹¹ J. Quiles (et al), *Cuestiones y problemas de electromagnetismo y semiconductores*, 2003.

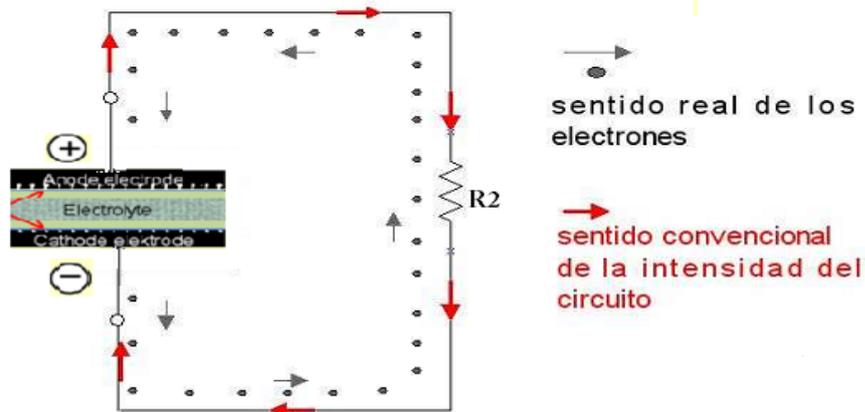


Figura 2.11. P2. Descarga de un súpercondensador.

“Al producto RC se le llama constante de tiempo del circuito t y equivale al tiempo que el condensador tardaría en descargarse de continuar en todo momento la intensidad inicial I_0 . También equivale al tiempo necesario para que el condensador adquiriera una carga igual al $0,37$ ($1/e$) de la carga inicial, o lo que es lo mismo que la intensidad decrezca hasta $0,37I_0$.”¹²

Este proceso se da hasta que las cargas sean completamente nulas y lleguen nuevamente a un estado de régimen permanente (figura 2.12.).

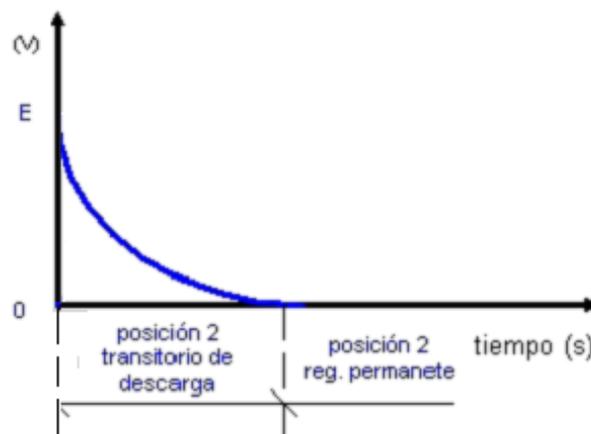


Figura 2.12. Curva de descarga de súpercondensador.

¹² J. Quiles (et al), *Cuestiones y problemas de electromagnetismo y semiconductores*, 2003.

2.6. IMPORTANCIA DE LA ACUMULACIÓN DE ENERGÍA.

En los últimos años el aprovechamiento de las fuentes de energía renovable en sistemas automotrices (sistemas de frenado regenerativo) han ido tomando fuerza, es por esto que es de vital importancia el estudio de las formas de incorporación de éstas de una manera eficiente.

En un vehículo convencional (motor térmico como fuente de movimiento) el alternador genera energía sea que el vehículo la necesite o no, lo que conlleva a que se pierda potencia en el motor, uno de los principales objetivos del presente estudio es disminuir o eliminar esa pérdida de potencia, para lo cual se pretende generar solo la energía que sea necesaria, para lo que se aprovechará las frenadas y desaceleraciones del vehículo, es por esto que es sumamente importante el uso de sistemas de almacenamiento de energía a base de un banco de súpercondensadores, ya que como se sabe los periodos de frenado y desaceleración son muy cortos. Las características de carga rápida de los súpercondensadores los hace la principal opción para la construcción de un banco de almacenamiento a base de estos dispositivos y poder tener así un sistema autónomo, fiable y eficiente.

Los sistemas de almacenamiento a base de súpercondensadores en sistemas de energía renovable para vehículos proveen mayor autonomía y robustez a los mismos, ya que almacenan la energía producida desde el alternador en el momento de que se realiza el frenado y la liberan en los momentos de mayor demanda, elevado coste de generación de energía (horas pico o de tráfico) o cuando no exista otra fuente de energía (Batería).

Estos acumuladores permiten que la reserva de energía esté disponible para los momentos en los que el vehículo la necesite, permitiendo así aprovechar toda la potencia que el motor genere, logrando disminuir el consumo de combustible y con ello la contaminación

producida por los gases de escape, además, se reduciría el costo de km/litro que como se ha venido hablando anteriormente, es el principal objetivo de este estudio.

2.7. ESTUDIO COMPARATIVO.

A continuación se muestra una comparación de las características de los diferentes tipos de baterías y súpercondensadores, las cuales determinarán el porqué del uso de un banco de súpercondensadores para el almacenamiento de la energía de un sistema de frenado regenerativo que será utilizado en vehículos convencionales.

Como se puede ver en la tabla 2.2. los súpercondensadores son ideales para el propósito que tiene este estudio, ya que se pueden cargar en tan solo segundos y se puede aprovechar toda la energía que se genera en el momento que está en funcionamiento el sistema de frenado regenerativo, a diferencia de cualquier otro tipo de sistema de acumulación de energía como lo son las baterías.

TECNOLOGÍA PARÁMETROS	Pb-Acido	Ni-Cd	Ni-Mh	Li-Ion	Li-Fe	Li-Po	Sc
Voltaje (V/celda)	2	1.2	1.2	3.6-3.7	3.3	3.7	>2.75
Densidad Energética (Wh/l)	60-75	50-150	140-300	250-360	220	300	
Potencia Especifica (W/kg)	180	150	250-1000	250-340	3000	7100	<14,000
Energía Especifica (Wh/kg)	30-40	40-60	30-80	100-250	90-110	130-200	1-15
Autodescarga (%/ mes)	3-20	10	30	8	-	5	0.5
Tiempo de carga	Horas	Horas	Horas	Horas	Horas	Horas	Segundos
Ciclos de vida	500-800	1500-2000	300-500	400-1200	2000	>1000	>1,000,000
Altas temperaturas	Media	M. Buena	Media	M. Mala	Mala	M. Mala	M. Buena
Tolerancia a sobrecargas	Media	M. Buena	Media	M. Mala	Mala	M. Mala	Buena
Mantenimiento	Fácil	Malo	Regular	Fácil	Bueno	Fácil	Nunca
Eficiencia Carga/ Descarga	50-92	70-90	66	80-90	-	99	85-99
Seguridad	M. Buena	M. Buena	M. Buena	M. Buena	M. Buena	Buena	M. Buena
Soporte a impactos	Buena	M. Buena	Buena	M. Mala	Media	M. Mala	M. Buena

Tabla 2.2. Características de distintos tipos de baterías y súpercondensadores.

CAPITULO III DISEÑO DE LA INSTALACIÓN PARA SU IMPLEMENTACIÓN

3.1. DISEÑO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO.

A continuación se muestra la propuesta del circuito eléctrico del sistema de frenado regenerativo que puede ser implementado en cualquier vehículo con motor de combustión interna, teniendo en cuenta ciertos parámetros y diferencias en las capacidades de los elementos de acuerdo al requerimiento de energía de cada vehículo.

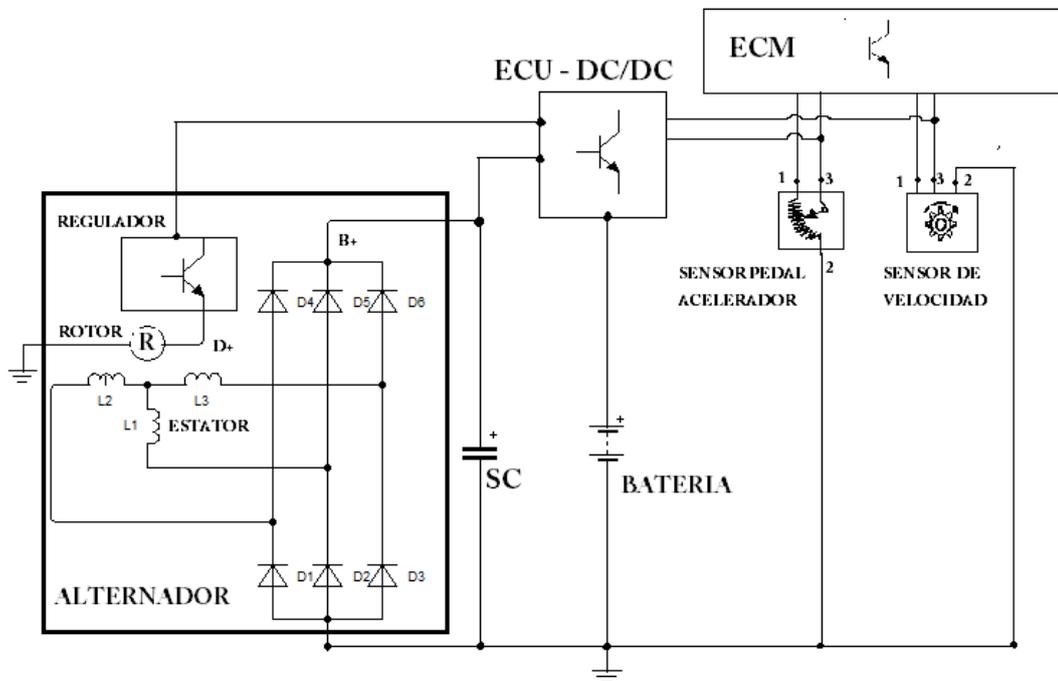


Figura 3.1. Propuesta de circuito eléctrico frenado regenerativo.

3.1.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN.

Para hacer la selección de los elementos primeramente se debe conocer la cantidad de energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del sistema eléctrico del vehículo, se

puede acudir a cuadros para obtener los valores de consumo medio de energía, sin embargo la mejor opción es recurrir al manual del fabricante del vehículo ya que ese será un valor exacto del consumo del vehículo.

Para nuestro propósito y como ejemplo elegiremos a un Peugeot 206 motor 1.6 un vehículo muy común en nuestro país, el mismo que tiene un consumo medio de 600W (según manual del fabricante).

Para obtener la cantidad de energía necesaria tenemos que:

$$E = P \cdot t \quad (3.1)$$

Donde:

E: Energía eléctrica necesaria para suministrar a los consumidores (J).

P: Potencia (W)

t: Tiempo que el súpercondensador suministrará la energía. (s)

Entonces:

$$E = 600W \cdot 60s$$

$$E = 36000J$$

3.1.1.1. Súpercondensadores.

Para la selección de los súpercondensadores es necesario saber cuál es la capacidad de almacenamiento que deben tener así como el número de súpercondensadores necesarios para la construcción del banco, sin embargo este es un punto a estudiar en el presente trabajo para lo cual a continuación se realizará el cálculo teórico de la capacidad de energía necesaria del banco de súpercondensadores para suministrar a los consumidores eléctricos del vehículo y el número de súpercondensadores.

Cálculo del número de elementos para el banco de súpercondensadores.

Según el fabricante que elijamos tenemos el número de súpercondensadores necesario para la construcción del banco, debido a la variación de voltaje según la marca, para nuestro caso elegiremos súpercondensadores de la marca maxwell debido a su precio, lo cual se mostrara más adelante.

Entonces tenemos que el voltaje nominal es de 2.7V y el voltaje máximo es de 2.85V (Anexo B).

$$n = \frac{VT}{Vc} \quad (3.2)$$

$$n = \frac{25}{2.77}$$

$$n=9$$

Cálculo de capacitancia de los súpercondensadores

$$E = \frac{1}{2} CT \cdot V^2 \quad (3.3)$$

Donde:

E: Energía eléctrica necesaria para suministrar a los consumidores (J).

CT: Capacitancia total del banco de súpercondensadores (F).

V: voltaje total banco (V).

Despejando C de la ecuación 3.2. se tiene que:

$$CT = 2 \frac{E}{V^2} \quad (3.4)$$

Donde:

$$E= 36000J$$

$$V= 25 \text{ vdc}$$

Tenemos que:

$$CT = 2 \times \frac{36000}{25^2}$$

$$CT= 115F$$

Como la configuración del banco de súpercondensadores es en serie se debe realizar el cálculo de cada uno de los súpercondensadores, para lo cual utilizaremos la siguiente fórmula.

$$V = Q/C \quad (3.5)$$

Entonces tenemos que la proporción de igualdad de las cargas con las capacitancias es:

$$\frac{QT}{CT} = \frac{Q1}{C1} + \frac{Q2}{C2} + \dots \frac{Qn}{Cn} \quad (3.6)$$

Debido a que en una conexión de súpercondensadores en serie la carga es igual en todos ellos y dividiendo (3.5) para Q se tiene:

$$\frac{1}{CT} = \frac{1}{C1} + \frac{1}{C2} + \dots \frac{1}{Cn} \quad (3.7)$$

Entonces:

$$CT = \frac{C1 \times C2 \times \dots \times Cn}{C1 + C2 + \dots + Cn} \quad (3.8)$$

Donde:

$$C1 = C2 = \dots = Cn$$

$$\frac{1}{CT} = \frac{n}{C}$$

$$C = nCT \quad (3.9)$$

$$C = 9 \times 115$$

$$C = 1035 \text{ F}$$

En el mercado encontramos un súpercondensador maxwell de 1200F con la denominación BCAP1200 (Anexo B) que sería el que se puede utilizar ya que cumple con la capacidad de energía necesaria para suministrar a los consumidores del vehículo.

3.1.1.2. Alternador.

Para determinar las características del alternador se debe tener en cuenta factores similares a los necesarios para el diseño del banco de súpercondensadores, ya que en cualquier situación el alternador debe suministrar suficiente energía eléctrica para alimentar a los elementos eléctricos del vehículo.

Sin embargo, no es necesario realizar el cambio del alternador que viene colocado de fábrica, ya que la demanda de energía es la misma y el sistema a colocar no representa un consumo significativo y con las características de fábrica se puede cubrir aquella demanda, lo único que se debe cambiar sería la forma de accionamiento, así como la regulación del voltaje.

Pero si la demanda de energía es elevada por diversos motivos, ya sea por haber colocado algunos consumidores adicionales, resulta más conveniente cambiar el alternador que viene de fábrica por uno de mayor potencia, para lo cual se debe determinar la intensidad nominal mínima necesaria, que de acuerdo a tablas, la intensidad del alternador será la décima parte de la potencia promedio que se consume por los distintos elementos del

vehículo, por ejemplo si la suma de los consumidores sería de 500W la intensidad nominal del alternador necesaria debe ser de 50A.

En nuestro caso la intensidad nominal del alternador según el manual del fabricante es de 57 A.

3.1.1.3. Sensor de pedal de acelerador.

Para el vehículo que hemos tomado como ejemplo no es necesario el de añadir el sensor de pedal de acelerador, ya que cuenta con este tipo de sensor, este sensor es de tipo potenciómetro doble o redundante como se estudió en el capítulo 1, y se encuentra conectado al computador como se muestra en la figura 3.2.

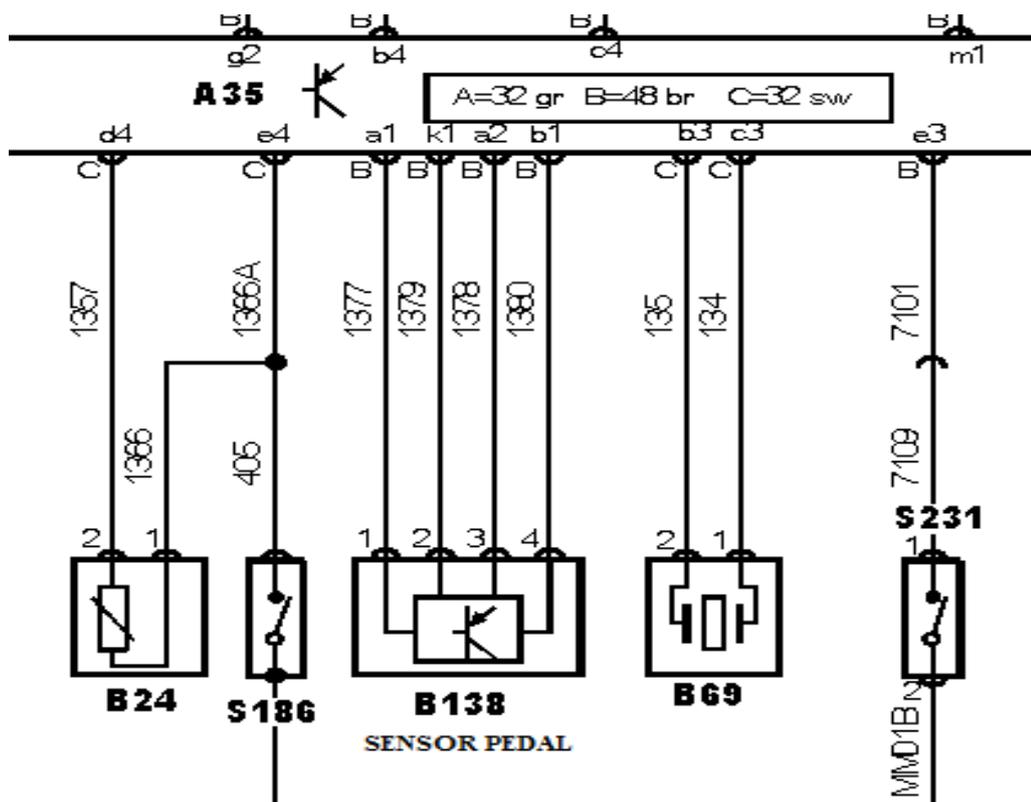


Figura 3.2. Conexión del sensor de posición de pedal de acelerador.

Fuente: Autodata limited 2010.

La configuración de los pines es la siguiente:

- B a1.-** Señal 1, rango variable al acelerar 1 a 4V.
- B a2.-** Señal 2, rango variable al acelerar 0,5 a 2V.
- B k1.-** Alimentación positiva, 5V.
- B b1.-** Conexión a masa.

Las señales a utilizar para el sistema son B a1 y B a2.

3.1.1.4. Sensor de velocidad.

El sensor de velocidad del vehículo al igual que el sensor de posición del acelerador viene colocado de fábrica para el vehículo que se ha tomado como ejemplo en este estudio, el cual es un sensor de tipo hall.

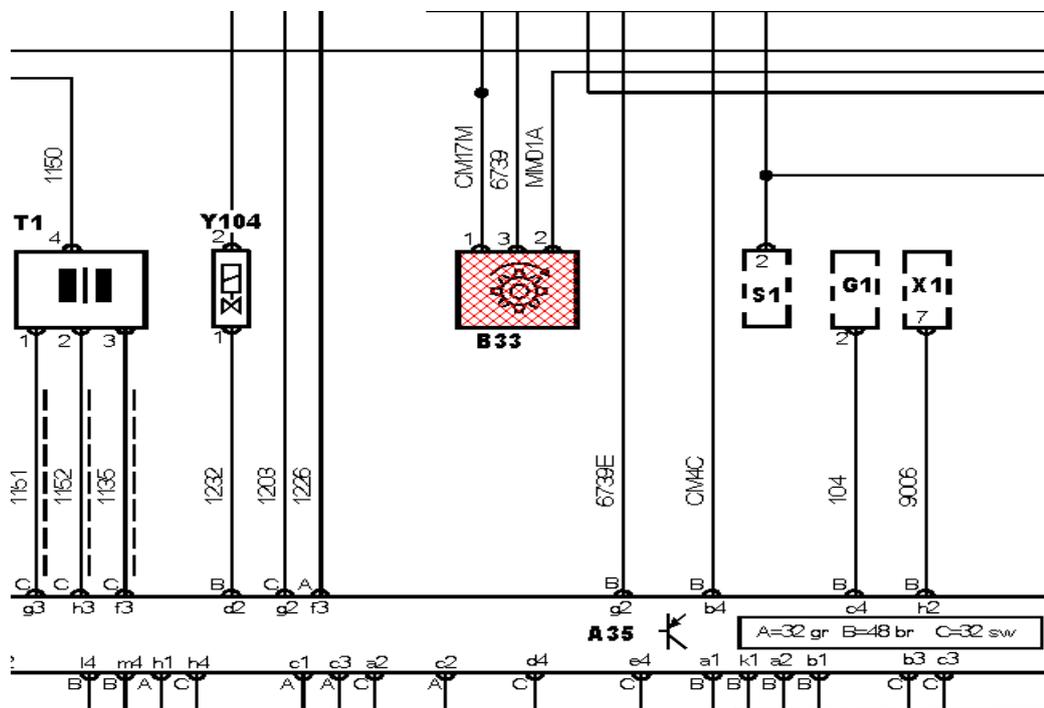


Figura 3.3. Conexión sensor de velocidad del vehículo.

Fuente: Autodata limited 2010.

La configuración de los pines es la siguiente:

- 1.- Alimentación positiva 5V.
- 2.- Conexión a masa.
- 3.- Señal del sensor.

La señal a utilizar para el sistema se obtiene del pin 3.

3.1.1.5. Batería.

Como se sabe la batería en muchos vehículos es la encargada de almacenar la energía que necesita el motor para arrancar y hacer funcionar los diferentes sistemas eléctricos cuando el vehículo está apagado, para lo cual la batería que viene de fábrica cubre las necesidades necesarias que se requiere para el funcionamiento óptimo del sistema a utilizar, sin embargo uno de los principales objetivos de la realización de este sistema es el de reducir el consumo de combustible al máximo posible.

Es por este motivo que se puede colocar una batería con mejores prestaciones y con ciclos de descarga profunda como las estudiadas en el primer capítulo, lo cual nos permitiría mantener el alternador desconectado el mayor tiempo posible sin que se vea afectado el suministro de energía que el vehículo necesita para su funcionamiento normal.

Para hacer la selección se podría consultar al manual del vehículo, tomando en cuenta la capacidad (Ah), la reserva de carga (A), para nuestro vehículo de referencia (Peugeot 206 1.6), necesitaríamos una batería de 12V, 33Ah, una reserva de 50 A con un amperaje máximo de arranque de 89 a 109 A.

Para nuestro sistema utilizaremos una batería exide ES-450 de gel, debido a que cumple con las especificaciones necesarias, además se eligió por el costo de la misma el cual se analizara más adelante.



Figura 3.3. Batería exide ES 450

Fuente: Batería de gel exide; www.bateriastotal.com, noviembre del 2013.

Características Técnicas

- **Fabricante:** EXIDE
- **Referencia:** ES-450
- **Tecnología:** GEL
- **Tipo:** Monoblock
- **Aplicación:** Arranque/Servicio
- **Voltios:** 12
- **Amperios C20:** 40
- **Medidas:** 207x175x175mm.
- **Peso:** 15Kg.
- **Borne Positivo:** Derecha
- **Mantenimiento:** Sellada, Sin mantenimiento

3.1.1.6. Cables.

Para la elección del cable de conexión entre el alternador y el banco de súpercondensadores, así como la conexión del banco hacia el convertidor de voltaje,

necesitamos analizar la corriente máxima que circulara por el circuito, la potencia media para nuestro vehículo es de 600W.

Como sabemos:

$$P = VI \quad (3.10)$$

De donde

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{600W}{25V}$$

$$I = 24A$$

Para la selección del cable recurrimos a la tabla q se muestra a continuación.

Calibre AWG - MCM	Sección Real (mm ²)	Intensidad Admisible (Amperios)
14	2.081	30
12	3.309	40
10	5.261	55
8	8.366	70
6	13.300	100
4	21.150	130
3	26.670	150
2	33.630	175
1	42.410	205
1/0	53.480	235
2/0	67.430	275
3/0	85.030	320
4/0	107.200	370
250 MCM	126.700	410
300 MCM	151.000	460

Tabla 3.1 Características de los cables.

Fuente: Cables AWG; www.viakon.com; noviembre 2013.

Como se puede observar en la tabla 3.1, para la intensidad de corriente de 24 A que circula por el circuito necesitamos cables AWG 14 ya que cumple con las especificaciones

necesarias para su utilización en el circuito, sin embargo como factor de seguridad utilizaremos un cable AWG 10.

3.2. PRINCIPIOS BÁSICOS PARA LA INSTALACIÓN DEL SISTEMA.

Para realizar la conexión de los elementos es necesario tener en cuenta algunos principios básicos.

Alternador:

- Antes de realizar la conexión del alternador se debe tener en cuenta la polaridad, ya que una mala conexión podría causar daños en los diodos.
- No se debe hacer trabajar el alternador en vacío.
- Antes de montar o desmontar el alternador se debe desconectar la batería.

Súpercondensadores:

- Como se ha estudiado en los puntos anteriores debido a que la tensión de cada una de los súpercondensadores es limitada, se hace necesario realizar una conexión en serie para lograr alcanzar el voltaje requerido por el sistema.

Para realizar la carga del banco de súpercondensadores es necesario equilibrar o prevenir la sobretensión en cada elemento, esto se explica a continuación.

Si se considera tres súpercondensadores (C1, C2, C3) en una conexión en serie, y si cada uno inicialmente se encuentra a 0V, y la cadena de súpercondensadores se carga a 7.5V, entonces, C1 podría alcanzar los 2,5V antes que C2 o C3, si la cadena no se encuentra a 7,5V C1 se seguirá cargando por encima del voltaje nominal, lo que podría causar daño en el elemento, es por esto que es necesario el equilibrio del banco de súpercondensadores.

Para lo cual se puede utilizar dos métodos, el equilibrado activo o el equilibrado pasivo como se muestra en la siguiente figura.

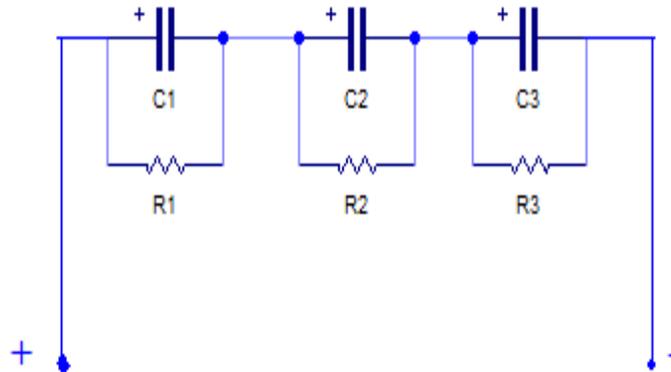


Figura 3.4. Equilibrado pasivo del banco de súpercondensadores.

- Se debe verificar la polaridad de la conexión del banco de súpercondensadores ya que podría afectar la vida útil de las mismas.
- Se debe aislar de una manera eficiente las conexiones ya que el banco de súpercondensadores podría entrar en cortocircuito y generar daños en los elementos o provocar un incendio.

Nota: Para realizar una buena conexión de los demás elementos se puede recurrir a los diagramas eléctricos del manual del fabricante del vehículo.

3.3. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA.

Los elementos seleccionados y que podrían ser utilizados en este sistema son libres de mantenimiento, sin embargo se debe revisar el estado de los mismos, verificar la apariencia de los elementos, verificar que las conexiones estén limpias, libres de polvo, corrosión y que no estén flojas, esto se debe hacer periódicamente para que el funcionamiento sea el óptimo en todo momento.

3.4. ANÁLISIS DE COSTOS.

Para el estudio y análisis de los elementos se ha optado por varios tipos de elementos los mismos que se muestran a continuación, así mismo los valores serán expresados en dólares americanos.

Súpercondensadores.

Fabricante	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Cornell Dubilier	CDLC122P2R7K04	9	81,93	737,37
Ioxus	RSC2R7128LR	9	60	540
Maxwell	BCAP1200 P270 K04	9	47,50	427,5
Nichicon	JJC0E128MSEFBB	9	320	2880

Tabla 3.2 Comparación precios de súpercondensadores.

Como podemos observar en la tabla 3.1 los súpercondensadores que son más aconsejables de comprar son los maxwell BCAP1200 P270 K04 debido a su costo ya que cumplen con los requerimientos necesarios para utilizar en este sistema.

Batería.

Fabricante	Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Exide	ES-450	1	225,91	225,91

Tabla 3.3 Costo de batería.

Cable.

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
10 AWG	6m	0,80	4,80

Tabla 3.4. Costo de cable.

Costos totales del sistema.

Descripción	Cantidad	Valor total (USD).
Súpercondensadores.	9	427,5
Batería	1	225,91
Cables	6	4,80
Imprevistos	15%	98,64
Total		756,85

Tabla 3.5. Costo del sistema para su implementación.

CONCLUSIONES.

- Al utilizar un sistema de frenado regenerativo en vehículos convencionales se recupera la energía en forma eléctrica que es desperdiciada en forma de calor en los frenos de fricción y se aprovecha la potencia máxima generada por el motor al momento de la aceleración, con lo que logramos mejorar el consumo de combustible.
- El análisis muestra que la utilización de súpercondensadores en un sistema de frenado regenerativo ayuda a mejorar su fiabilidad ya que a diferencia de las baterías pueden cargarse y descargarse cientos de miles de veces, además, lo hacen en cuestión de segundos sin que se vea afectado su rendimiento. Su tamaño y peso reducido hacen que estos elementos sean la mejor opción para la acumulación de energía, sin embargo debido a su baja densidad de energía no pueden suplir a las baterías, pero con la utilización en paralelo hacen de este un sistema con una alta fiabilidad.
- Algunos de los elementos seleccionados no se encuentran en nuestro medio, sin embargo se los puede comprar por internet, el análisis de costos muestra que el precio en relación a eficiencia y vida útil de los elementos hacen que este sistema sea muy factible de implementar en vehículos convencionales, ya que nos ayudaría a reducir el consumo de combustible en un 10% según pruebas realizadas por *Mazda Motor Corporation*.
- El análisis de este sistema servirá de guía para futuros estudios, así mismo ayudara a que la selección de los elementos y la implementación del mismo se haga de una forma correcta.

RECOMENDACIONES.

- Para la selección de los súpercondensadores a utilizar en otros vehículos es necesario considerar la potencia media de consumo para ese vehículo, refiriéndose si es posible al manual del fabricante.
- La cantidad de súpercondensadores varía para cada vehículo, es necesario realizar el cálculo basándose en la tensión nominal, máxima y capacidad de carga del súpercondensador.
- Para realizar la conexión del banco de súpercondensadores se recomienda descargar por completo el banco, ya que un cortocircuito podría afectar seriamente a los elementos eléctricos del vehículo.
- Se recomienda colocar al banco de súpercondensadores un tapón de servicio que desconecte la conexión en serie para cuando sea necesario realizar mantenimientos o algún trabajo en el vehículo.
- Para que no existan cruces de corriente entre las líneas que van desde el banco de súpercondensadores y el convertidor, así como las líneas que salen del convertidor a la batería, se recomienda tener un banco de carga y otro de alimentación por separado, así mismo se debe aislar completamente con relés.

BIBLIOGRAFÍA.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- BARD A. J. y FAULKNER L. R. *Electrochemical Methods. Fundamentals and Applications*, 2 edición, Wiley, 2001, pg 13- 77.
- BLANCO A., Baterías AGM para vehículos *stop and start*, Cevismap, 2011, pg. 33.
- BOSCH R., Manual de la técnica del automóvil, Reverte, 4ta edición, 2005, pg. 976-1024.
- BOSCH R., Serie amarilla, Los sensores en el automóvil, Reverte, 2003, p. 33-42.
- BOSCH R., Catálogo motores de arranque y alternadores, 2008.
- BURKE A., *Ultracapacitor Technologies and Application in Hybrid and Electric Vehicles*, IJER, California, 2009, pg. 15.
- CHABOT V., et al, *Electrochemical Supercapacitors for Energy Storage and Delivery: Fundamentals and Applications*, CRC Press, 2013, pg. 37-132.
- CHIAVETTO G., Curso inyección electrónica, 2010, pg 12.
- CONWAY B. E., *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications*, Springer, 1999, pg. 60-120.
- DINH y NGUYEN B., *Performance of supercondensadors as energy storage alternatives. Long Beach: California State University Long Beach*, 2003, pg 127.
- K. R. Prasad, N. Munichandraiah. *J. Power Sources*, 2002, pg.112, pg. 443-451.
- MILLER, Jhon M/ *Ultracapacitor applications/ IET/ Londres/ 2010*, pg 123.
- MAXWELL Technologies, Catálogo de súpercondensadores, 2013.
- SERRANO E, Circuitos electrotécnicos básicos, 2008, pg. 148.
- Y.-Z. Su, et al, *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry*, 2004, pg. 2329-2339.
- ZHOU C., *Carbon nanotube based electrochemical supercondensadors*, 2006 pg 123-165.

REFERENCIAS DIGITALES.

- Alternador, estator y regulador de voltaje [en línea]; http://mediateca.educa.madrid.org/imagen/ver.php?id_imagen=8eaaidtn8fp8tr1u; [Consultada el 5 junio del 2013].
- Batería AGM [en línea]; www.varta.com; [Consultada el 28 de junio del 2013]
- Batería de gel exide [en línea]; www.bateriastotal.com, [Consultada el 14 de noviembre del 2013].
- Cables AWG [en línea]; www.viakon.com; [Consultada el 18 de noviembre del 2013].
- Denso Europe 2013, *Electronic systems* [en línea]; <http://denso-europe.com/products/electronics>; [Consultada el 22 de junio del 2013].
- *Engineers' Breaktime* ieloop [en línea]; <http://shooting-star.life.coocan.jp/2/archives/2013/03/ieloop.html>; [Consultada el 2 de junio del 2013].
- Embrague magnético [en línea]; www.ansal.com.ar; [Consultada el 13 de junio del 2013].
- Omegawebsolutions, ultracapacitors [en línea]; <http://seminarprojects.kreview.com/item.php?id=109>; [Consultada el 26 de Julio del 2013]
- Sensor de velocidad del vehículo [en línea]; http://e-auto.com.mx/manual_detalle.php?manual_id=223 ; [Consultada el 24 junio del 2013].
- Ultracondensadores [en línea]; <http://es.dhgate.com/product/free-ship-super-capacitor-2-7v-60f-ultra/111234771.html>, [Consultada el 22 de octubre del 2013].

ANEXOS.

ANEXO A: Patente registrada por EEstor sobre los súpercondensadores.

(19) World Intellectual Property Organization
International Bureau



(43) International Publication Date
9 March 2006 (09.03.2006)

PCT

(10) International Publication Number
WO 2006/026136 A2

- (51) International Patent Classification:
H01M 4/06 (2006.01)
- (21) International Application Number:
PCT/US2005/028970
- (22) International Filing Date: 15 August 2005 (15.08.2005)
- (25) Filing Language: English
- (26) Publication Language: English
- (30) Priority Data:
10/917,144 13 August 2004 (13.08.2004) US
- (71) Applicant (for all designated States except US):
EESTOR, INC. [US/US]; 1404 Wesson Cove, Cedar Park, TX 78613 (US).
- (72) Inventors: WEIR, Richard, D.; 1404 Wesson Cove, Cedar Park, TX 78613 (US). NELSON, Carl, Walter; 7507 Downridge Drive, Austin, TX 78731 (US).
- (74) Agent: ASCOLESE, Marc, R.; Campbell Stephenson Ascolese, LLP, 4807 Spicewood Springs Road, Building 4, Suite 201, Austin, TX 78759 (US).

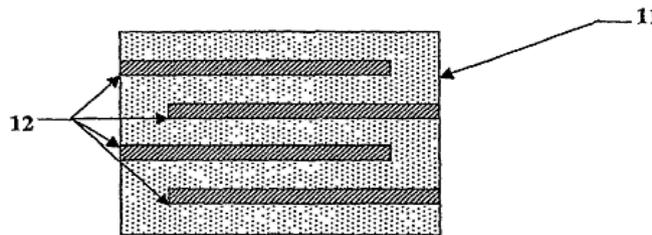
- (81) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of national protection available): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.
- (84) Designated States (unless otherwise indicated, for every kind of regional protection available): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), Eurasian (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Published:
— without international search report and to be republished upon receipt of that report

For two-letter codes and other abbreviations, refer to the "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" appearing at the beginning of each regular issue of the PCT Gazette.

(54) Title: UTILIZATION OF POLY(ETHYLENE TEREPHTHALATE) PLASTIC AND COMPOSITION-MODIFIED BARIUM TITANATE POWDERS IN A MATRIX THAT ALLOWS POLARIZATION AND THE USE OF INTEGRATED-CIRCUIT TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT ULTRAHIGH ELECTRICAL ENERGY STORAGE UNITS (EESU)

COMPONENT – Side View Cross Section



(57) Abstract: An electrical-energy-storage unit (EESU) has as a basis material a high-permittivity compositionmodified barium titanate ceramic powder. This powder is single coated with aluminum oxide and then immersed in a matrix of poly(ethylene terephthalate) (PET) plastic for use in screen-printing systems. The ink that is used to process the powders via screen-printing is based on a nitrocellulose resin that provide a binder burnout, sintering, and hot isostatic pressing temperatures that

are allowed by the PET plastic. These lower temperatures that are in the range of 40° C to 150° C also allows aluminum powder to be used for the electrode material. The components of the EESU are manufactured with the use of conventional ceramic and plastic fabrication techniques which include screen printing alternating multilayers of aluminum electrodes and high-permittivity composition-modified barium titanate powder, sintering to a closed-pore porous body, followed by hot-isostatic pressing to a void-free body. The 31,351 components are configured into a multilayer array with the use of a solder-bump technique as the enabling technology so as to provide a parallel configuration of components that has the capability to store at least 52.22 Kw•h of electrical energy. The total weight of an EESU with this amount of electrical energy storage is 281.56 pounds including the box, connectors, and associated hardware.

WO 2006/026136 A2

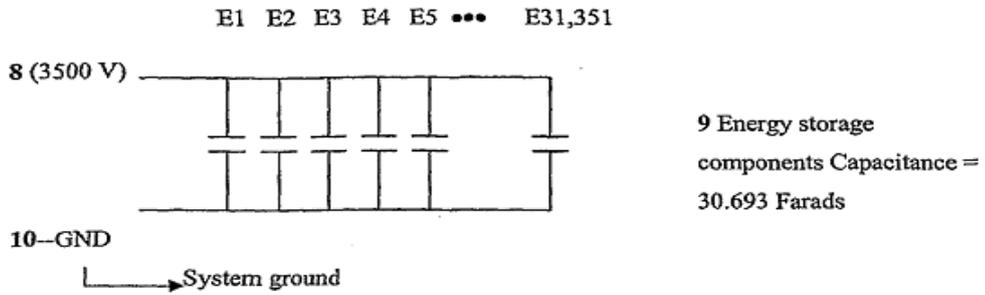


Figure 1

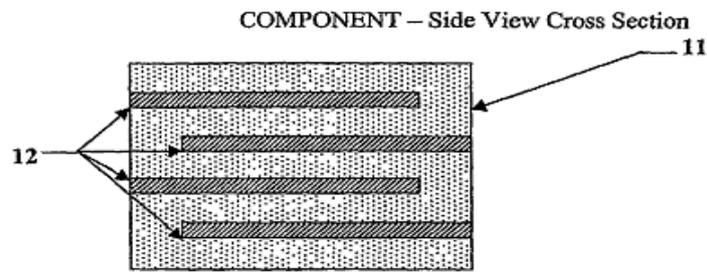


Figure 2

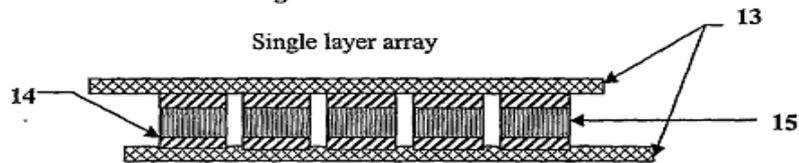


Figure 3

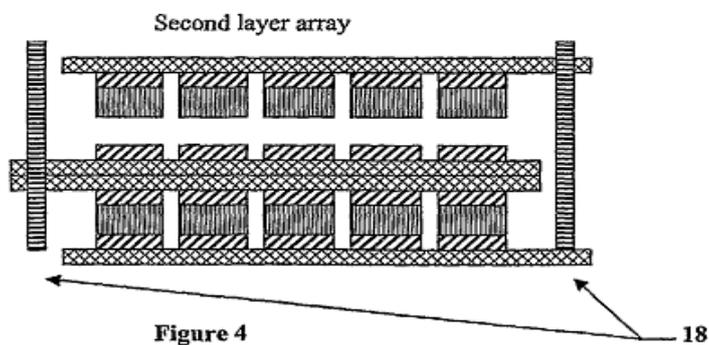


Figure 4

ANEXO B: Catalogo súpercondensadores maxwell.

DATASHEET
K2 SERIES ULTRACAPACITORS
BOOSTCAP[®]
ULTRACAPACITOR

FEATURES AND BENEFITS

- ⦿ Highest power performance available
- ⦿ Lowest RC time constant
- ⦿ Over 1,000,000 duty cycles
- ⦿ Proprietary material science and packaging technology
- ⦿ Threaded terminal or weldable posts

TYPICAL APPLICATIONS

- ⦿ Automotive subsystems
- ⦿ Grid Stabilization
- ⦿ Hybrid drive trains
- ⦿ Rail system power
- ⦿ Transportation
- ⦿ Utility vehicles



PRODUCT SPECIFICATIONS

ELECTRICAL	BCAP0650	BCAP1200	BCAP1500	BCAP2000	BCAP3000
Rated Capacitance ¹	650 F	1,200 F	1,500 F	2,000 F	3,000 F
Minimum Capacitance, initial ¹	650 F	1,200 F	1,500 F	2,000 F	3,000 F
Maximum ESR _{DC} , initial ¹	0.8 mΩ	0.58 mΩ	0.47 mΩ	0.35 mΩ	0.29 mΩ
Rated Voltage	2.70 V	2.70 V	2.70 V	2.70 V	2.70 V
Absolute Maximum Voltage ¹¹	2.85 V	2.85 V	2.85 V	2.85 V	2.85 V
Maximum Continuous Current (ΔT = 15°C) ²	54 A _{RMS}	70 A _{RMS}	84 A _{RMS}	110 A _{RMS}	130 A _{RMS}
Maximum Continuous Current (ΔT = 40°C) ²	88 A _{RMS}	110 A _{RMS}	140 A _{RMS}	170 A _{RMS}	210 A _{RMS}
Maximum Peak Current, 1 second ³	600 A	1,000 A	1,200 A	1,600 A	2,200 A
Leakage Current, maximum ⁴	1.5 mA	2.7 mA	3.0 mA	4.2 mA	5.2 mA

TEMPERATURE	BCAP0650	BCAP1200	BCAP1500	BCAP2000	BCAP3000
Operating temperature range (Cell case temperature)					
Minimum	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	65°C	65°C	65°C	65°C	65°C
Storage temperature range (Stored uncharged)					
Minimum	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C	-40°C
Maximum	70°C	70°C	70°C	70°C	70°C

PHYSICAL	BCAP0650	BCAP1200	BCAP1500	BCAP2000	BCAP3000
Mass, typical	160 g	260 g	280 g	360 g	510 g
Terminals	Threaded or Weldable				
Vibration	IEC 16750				
Shock	SAE J2464				

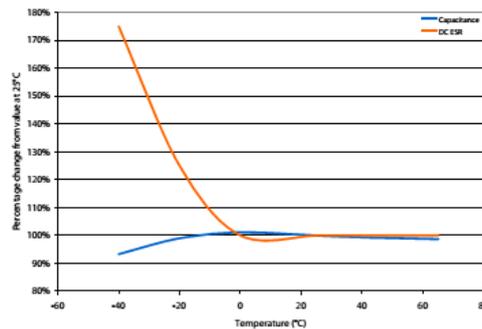
PRODUCT SPECIFICATIONS (Cont'd)

POWER & ENERGY	BCAP0650	BCAP1200	BCAP1500	BCAP2000	BCAP3000
Usable Specific Power, P_d^5	6,800 W/kg	5,800 W/kg	6,600 W/kg	6,900 W/kg	5,900 W/kg
Impedance Match Specific Power, P_{max}^6	14,000 W/kg	12,000 W/kg	14,000 W/kg	14,000 W/kg	12,000 W/kg
Specific Energy, E_{max}^7	4.1 Wh/kg	4.7 Wh/kg	5.4 Wh/kg	5.6 Wh/kg	6.0 Wh/kg
Stored Energy ⁸	0.66 Wh	1.22 Wh	1.52 Wh	2.03 Wh	3.04 Wh
LIFE					
High Temperature ¹ (at Rated Voltage & Maximum Operating Temperature)	1,500 hours				
Capacitance Change (% decrease from minimum initial value)	20%	20%	20%	20%	20%
ESR Change (% increase from maximum initial value)	100%	100%	100%	100%	100%
Room Temperature ¹ (at Rated Voltage & 25°C)	10 years				
Capacitance Change (% decrease from minimum initial value)	20%	20%	20%	20%	20%
ESR Change (% increase from maximum initial value)	100%	100%	100%	100%	100%
Cycle Life ^{1,9}	1,000,000 cycles				
Capacitance Change (% decrease from minimum initial value)	20%	20%	20%	20%	20%
ESR Change (% increase from maximum initial value)	100%	100%	100%	100%	100%
Test Current	65 A	100 A	100 A	100 A	100 A
Shelf Life ^{1,10} (Stored uncharged up to a maximum storage temperature)	2 years				
SAFETY					
Short Circuit Current, typical (Current possible with short circuit from rated voltage. Do not use as an operating current.)	3,400 A	4,700 A	5,700 A	7,700 A	9,300 A
Certifications	RoHS, UL810a	RoHS, UL810a	RoHS, UL810a	RoHS, UL810a	RoHS, UL810a

DATASHEET K2 SERIES ULTRACAPACITORS **BOOSTCAP[®]**
ULTRACAPACITOR

TYPICAL CHARACTERISTICS

THERMAL CHARACTERISTICS	BCAP0650	BCAP1200	BCAP1500	BCAP2000	BCAP3000
Thermal Resistance (R _{th} , Case to Ambient), typical ¹	6.5°C/W	5.3°C/W	4.5°C/W	3.8°C/W	3.2°C/W
Thermal Capacitance (C _{th}), typical ²	190 J/°C	300 J/°C	320 J/°C	410 J/°C	600 J/°C



NOTES

- Capacitance and ESR_{DC} measured at 25°C per Document Number 1007239 available at www.maxwell.com.
- Per Maxwell Document 1007239 available at www.maxwell.com.
- Maximum Peak current (1 sec) = $\frac{1/2 CV}{C \times ESR_{DC} + 1}$
- After 72 hours at 25°C and rated voltage. Initial leakage current can be higher.
- Per IEC 62391-2, $P_d = \frac{0.12V^2}{ESR_{DC} \times mass}$
- $P_{max} = \frac{V^2}{4 \times ESR_{DC} \times mass}$
- $E_{max} = \frac{1/2 CV^2}{3,600 \times mass}$
- $E_{stored} = 1/2 CV^2$
- Cycle per Document Number 1007239 available at www.maxwell.com.
- No more than 10% decrease in capacitance from minimum initial capacitance or 50% increase in ESR from maximum initial ESR.
- Absolute maximum voltage non repeated, not to exceed 1 second.

MOUNTING RECOMMENDATIONS

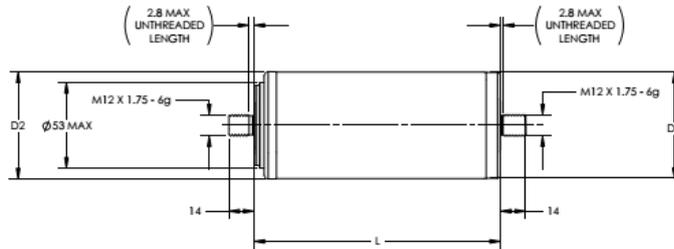
Do not reverse polarity. Please refer to document number 1016419, available at maxwell.com for soldering recommendations.

MARKINGS

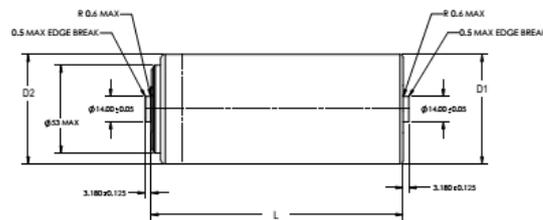
Products are marked with the following information: Rated capacitance, rated voltage, product number, name of manufacturer, positive and negative terminal, warning marking, serial number.

DATASHEET K2 SERIES ULTRACAPACITORS **BOOSTCAP[®]**
ULTRACAPACITOR

BCAPxxxx P270 K04



BCAPxxxx P270 K05



Part Description	Dimensions (mm)			Package Quantity
	L (±0.3mm)	D1 (±0.2mm)	D2 (±0.7mm)	
BCAP0650 P270 K04/05	51.5	60.4	60.7	15
BCAP1200 P270 K04/05	74	60.4	60.7	15
BCAP1500 P270 K04/05	85	60.4	60.7	15
BCAP2000 P270 K04/05	102	60.4	60.7	15
BCAP3000 P270 K04/05	138	60.4	60.7	15

Product dimensions are for reference only unless otherwise identified. Product dimensions and specifications may change without notice. Please contact Maxwell Technologies directly for any technical specifications critical to application. All products featured on this datasheet are covered by the following U.S. patents and their respective foreign counterparts: 7511941, 7492574, 7307830, 6.842.330, 6.631.074, 6.804.108, 6.813.139, 7.352.558, 7.295.423, 7.090.946, 7.508.651, 7.492.571, 7.342.770, 6.643.119, 7.384.433, 7.147.674, 7.317.609, 7.495.349, 7.102.877.


Maxwell Technologies, Inc.
Global Headquarters
 5271 Viewridge Court, Suite 100
 San Diego, CA 92123
 USA
 Tel: +1 858 503 3300
 Fax: +1 858 503 3301


Maxwell Technologies SA
 CH-1728 Rossens
 Switzerland
 Tel: +41 (0)26 411 85 00
 Fax: +41 (0)26 411 85 05


Maxwell Technologies, GmbH
 Brucker Strasse 21
 D-82205 Gilching
 Germany
 Tel: +49 (0)8105 24 16 16
 Fax: +49 (0)8105 24 16 19


Maxwell Technologies, Inc.
Shanghai Representative Office
 13E, CR Times Square
 500 Zhangyang Road, Pudong
 Shanghai 200122, P.R. China
 Tel: +86 21 5836 8780
 Fax: +86 21 5836 8790

