

Mejoras de las Condiciones de Almacenamiento de Energía a través de Bancos de Supercapacitores: Revisión Bibliográfica

Improving Energy Storage Conditions through Supercapacitor Banks:
A Bibliographical Review

Javier López Karen Guadalupe • karen.jalk29@gmail.com
ORCID 0000-0003-4595-7386

Méndez Ascencio Pablo Enrique • pablomendezascencio@gmail.com
ORCID 0000-0002-2896-1394

Mirabal Aguilar Ana Gabriela • anagabriela.mirabal.a@gmail.com
ORCID 0000-0002-5543-889X

Vázquez Olán Lila Yazmín • lyvazquezo99@gmail.com
ORCID 0000-0002-2963-0167

Olán Ramos Manuel • manuel.olan@comalcalco.tecnm.mx
ORCID 0000-0001-9980-9165

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO CAMPUS COMALCALCO, DIVISIÓN DE
INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y MECATRÓNICA COMALCALCO, TABASCO, MÉXICO



Para citar este artículo:

Javier López, K. G., Méndez Ascencio, P. E., Mirabal Aguilar, A. G., Vázquez Olán, L. Y., & Olán Ramos, M. Mejoras de las Condiciones de Almacenamiento de Energía a través de Bancos de Supercapacitores: Revisión Bibliográfica. *Espacio I+D, Innovación más Desarrollo*, 13(35). <https://doi.org/10.31644/IMASD.35.2024.a07>

RESUMEN

En este trabajo de revisión bibliográfica se presenta la recopilación de diversos estudios realizados en los cuales destacan los temas de sistemas de almacenamiento de energía, Supercapacitores (SC's), bancos de supercapacitores y matrices de conmutación, que se consideran elementales para el futuro de los sistemas eléctricos. Los sistemas de almacenamiento permiten tener un resguardo cuando las líneas de alimentación de energía eléctrica fallan o no son lo suficientemente eficientes y tienen diversas clasificaciones que cambian en función de los tipos y necesidades de los sistemas. Aunado a esto, se describen, de manera general, los supercapacitores, tipos y aplicaciones, además de las características que los posicionan como mejor opción de almacenamiento que las baterías, en la búsqueda de plantear las bases para el desarrollo de bancos de supercapacitores y las matrices de conmutación. Los primeros ayudan a potenciar las características de los supercapacitores mediante diversos arreglos eléctricos; mientras que los segundos son una propuesta para controlar los cambios de los bancos de supercapacitores en la búsqueda del control de parámetros eléctricos.

Palabras Clave:

Supercapacitores; sistemas de almacenamiento de energía; biomasa; matriz de conmutación; banco de supercapacitores.

— Abstract—

This literature review work presents the compilation of various studies in which the topics of energy storage systems, supercapacitors (SC's), supercapacitor banks and switching matrices, which are considered elementary for the future of electrical systems, stand out. The storage systems allow to have a backup when the power supply lines fail or are not efficient enough, and have different classifications, which change depending on the types and needs of the systems. In addition to this, supercapacitors, types and applications are described in general, as well as the characteristics that position them as a better storage option than batteries, in order to lay the foundations for the development of supercapacitor banks and switching matrices; the former help to enhance the characteristics of supercapacitors through different electrical arrangements, while the latter are a proposal to control the changes of supercapacitor banks in the search for control of electrical parameters.

Keywords:

Supercapacitors; energy storage systems; biomass; switching matrix; supercapacitors bank.

La industria eléctrica ha evolucionado de manera exponencial en las últimas décadas, automatizando la mayoría de los procesos y buscando reducir el impacto ambiental, brindando mayor control en los procesos industriales al desarrollar sistemas de respaldo de energía. Los sistemas de almacenamiento de energía se han convertido en temas novedosos de investigación, con la finalidad de producir y suministrar electricidad cuando se presentan periodos de desconexión de las redes convencionales o para mejorar la respuesta del sistema. Es importante resaltar que en el almacenamiento de la energía encontramos dos clasificaciones generales: medios directos como baterías y medios indirectos incluidos los Supercapacitores y capacitores convencionales. Estos sistemas se distinguen por el control de parámetros como densidad de energía y potencia, eficiencias en los ciclos de carga y descarga de la energía y los ciclos de vida de los sistemas de almacenamiento (Reveles, 2013).

Según investigaciones de Reveles (2013), no todos los dispositivos de almacenamiento son eficientes para todo tipo de sistemas, dado que “los parámetros fundamentales que tenemos que considerar son cuánta energía puede almacenar y qué tan rápido puede entregar dicha energía” (Reveles, 2013, p. 29).

La alta demanda de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica se ha convertido en una de las principales metas en materia de ciencia e ingeniería, buscando obtener sistemas de almacenamiento cada vez más eficientes y amigables con el medio ambiente. En las últimas décadas, el sistema de almacenamiento más utilizado han sido las baterías. Sin embargo, su impacto ambiental es muy elevado y no proporciona la eficiencia suficiente a los sistemas, debido a que sus ciclos de carga y descarga son menores en comparación con otros dispositivos y, además, no entregan las características de potencia que se necesitan en la mayoría de los casos.

Atribuido a lo anterior, comenzaron a analizarse alternativas mucho más eficientes como lo fue el uso de capacitores y el posterior desarrollo de los SC's.

Los primeros son dispositivos formados por dos conductores y separados por una solución dieléctrica, con pH ácido; mientras que los segundos constan de dos electrodos porosos impregnados en un electrolito y aislados de contacto eléctrico por un papel separador; almacenan energía por el principio de doble capa electroquímica formada en la interface electrodo/electrolito, de los cuales centraremos la revisión. Los SC's se clasifican en tres tipos: doble capa electroquímica (EDLC), pseudocapacitores (Ps) e híbridos (Olán *et al.*, 2021).

Es imprescindible destacar que al contener características similares a las baterías, en lo que respecta al manejo de la energía, ha sido necesario el desarrollo de arreglos que ayuden a mejorar los parámetros eléctricos en los sistemas. A su vez, se han sometido a estudios el desarrollo de Supercapacitores que utilicen como componentes biomasa, con la intención

de aprovechar los desechos de ciertos productos como el coco, café, cacao, bambú y arroz, proponiendo así estrategias de almacenamiento novedosas y con un reducido impacto ambiental en consideración a los comerciales.

El objetivo de este documento de revisión bibliográfica es presentar el desarrollo de nuevas tecnologías y mejoras para el almacenamiento de energía, así como su impacto ambiental comparadas con las baterías convencionales, documentando información acerca de los supercapacitores apoyándose en los estudios de otros autores plasmados en artículos y tesis.

SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Los sistemas de almacenamiento de energía se caracterizan por la cantidad de energía que almacenan, la potencia máxima que suministran y los tiempos de respuesta de los procesos de carga/descarga relacionados con su funcionamiento, como se muestra en la Tabla 1. Atendiendo a estos parámetros se puede hablar de sistemas de almacenamiento a gran escala, sistemas de distribución y sistemas de potencia (Díaz, 2016).

Tabla 1

Clasificación y características generales de los sistemas de almacenamiento de acuerdo con la cantidad de energía que almacenan

Tipos de sistemas de almacenamiento de energía	Características
Sistemas de almacenamiento a gran escala	Son capaces de almacenar energías comprendidas entre 10 y 8000 MWh y suministrar potencias de entre 10 y 1000 MW con unos tiempos de descarga comprendidos entre 1 y 8 horas.
Sistemas de distribución	Los valores de energía y potencia oscilan entre 50 a 8000 kWh y 100 a 2000 kW respectivamente, disminuyendo los tiempos de descarga a la mitad respecto a los anteriores.
Sistemas de potencia	Caracterizados por valores de energía comprendidos entre 0.03 a 17 kWh, potencias de 0.1 a 2 MW y tiempos de descarga de 1 a 30 segundos.

Nota. Díaz, 2016.

Este tipo de sistemas también pueden clasificarse atendiendo al tipo de energía que almacenan como se muestra en la Tabla 2.

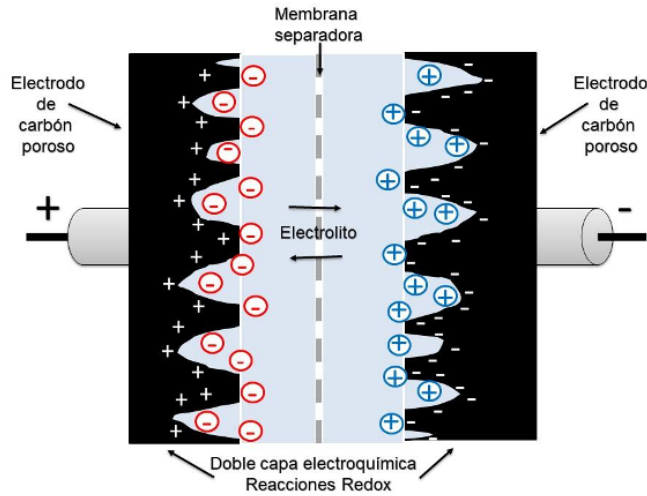
Tabla 2
Sistemas de almacenamiento distribuidos, de acuerdo con el tipo de energía que resguardan

Tipos de sistemas de almacenamiento	Características de los sistemas
Energía eléctrica de forma indirecta	<ul style="list-style-type: none"> - En forma de energía mecánica, como los sistemas de bombeo hidráulico (PHES), los sistemas de aire comprimido (CAES) y los volantes de inercia. - En forma de energía química, como en el caso de las baterías (Mírez, 2012).
Energía eléctrica de forma directa	Como las bobinas superconductoras (SMES) y los supercapacitores (Olán, 2020).

Nota. Es importante conocer el medio de almacenamiento para poder establecer el más óptimo de aplicar de acuerdo a las necesidades de alimentación energética del sistema.

Supercapacitores

Los supercapacitores son dispositivos de almacenamiento de energía que se han convertido en un foco de atención para la ciencia, esto debido a que muestran una mayor eficiencia al suministrar energía eléctrica y proveer alimentación a diversos sistemas, basado en fuerzas electrostáticas (Olán *et al.*, 2021). Estos dispositivos contienen dos electrodos sumergidos en un electrolito separados por un material semipermeable, en la búsqueda de reducir la presencia de cortocircuitos sin afectar el traslado de los iones del medio electrolítico (Figura 1). Cuando se les aplica una diferencia de potencial se crea una diferencia de densidad de carga entre sus placas y los iones migran hacia la superficie de los electrodos adsorbiéndose en la región interfacial. No obstante, es importante mencionar que estos dispositivos requieren electrodos fabricados con materiales de elevada área específica, de forma que aumente la capacidad de acumular carga, además de una estructura porosa que brinde mayor área superficial y facilite las condiciones de desplazamiento de los iones en el electrolito (Olán, 2020).



Nota. (Olán, 2020, p.20).

Figura 1. Representación del comportamiento interno de un supercapacitor

Estos dispositivos están formados en su mayoría de forma comercial de carbón activado que actúan como electrodos, los cuales se polarizan y están separados por un ion-permeable que separa los electrodos en la búsqueda de evitar la presencia de corto circuitos entre las placas; además contiene una solución electrolítica formando una distribución de carga a lo largo de la superficie de contacto entre el carbón y el electrolito (Muñoz, 2020).

Un detalle a considerar respecto a los SC's como sistemas de almacenamiento es que la extracción de energía en estos dispositivos es más exigente en comparación de las baterías; esto debido a que cuando los SC's han entregado solo el 75 % de su energía, su voltaje ya ha disminuido al 50 %. Aunque el SC tiene una mayor densidad de potencia, un ciclo de vida más prolongado y una mayor eficiencia de descarga/carga que una batería, un tiempo de carga más rápido, una ventana de temperatura de operación más amplia y una resistencia interna más baja, pero debido a su baja densidad de potencia, reportan una eficiencia máxima de utilización de energía solo del 75% (Reveles-Miranda *et al.*, 2017).

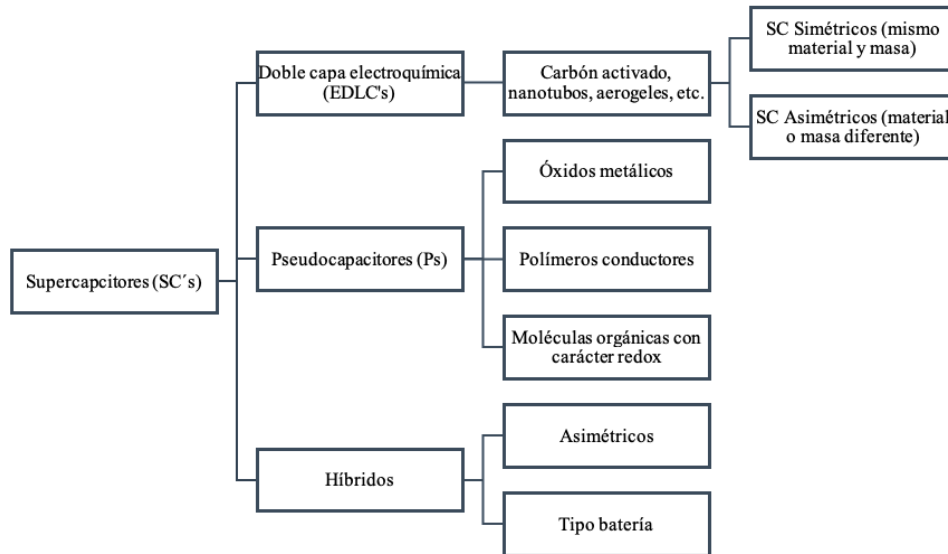
De acuerdo con diversos estudios mostrados en la Tabla 3, el material del electrodo activo en el electrodo procesado es el principal factor que influye en el rendimiento del SC. Se han examinado de tres tipos de materiales de electrodos activos para SC's.

Tabla 3
Materiales de electrodos activos para SC's

Tipo de electrodo	Características
Carbones activados (CA)	<ul style="list-style-type: none"> Muestran un área de superficie más grande, pero una conductividad eléctrica más baja, lo que lleva al uso de aditivos conductores y CA en los electrodos procesados. Materiales de menor costo. Pueden ser derivados de productos y desechos agrícolas (cacao, coco, café, arroz y bambú).
Nanotubos de carbono (NTC)	<ul style="list-style-type: none"> Muestra una alta conductividad eléctrica pero un área de superficie moderada debido a la forma cilíndrica que tienen. Material de alto costo.
Óxido de grafeno reducido (rGO)	<ul style="list-style-type: none"> Muestran una alta conductividad eléctrica pero un área de superficie moderada debido al reapilamiento de las capas de grafeno. Material de alto costo.

Nota. En esta tabla se hace una ligera comparación de las características generales de materiales empleados como electrodos activos para SC's (Olán *et al.*, 2021).

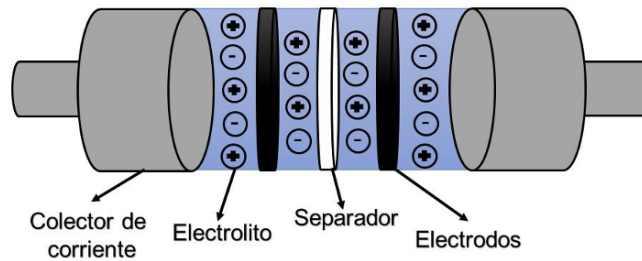
En el estudio de los supercapacitores se han establecido clasificaciones según el electrodo que se emplea, principio de funcionamiento y diseño. Sin embargo, las más aceptadas son tres: supercapacitores de doble capa electroquímica (EDLCs), pseudocapacitores (Ps) y supercapacitores híbridos. Tal como se describe en la Figura 2.



Nota. Los SC's se clasifican de esta manera con la finalidad de poder realizar la elección adecuada conforme a las necesidades de los sistemas que son necesarios de alimentar (Olán, 2020).

Figura 2. Clasificación de los supercapacitores

“Los supercapacitores electroquímicos de doble capa eléctrica supercapacitores electroquímicos de doble capa eléctrica” (Segura y Remigio, 2016). Los SC's de doble capa almacenan la carga mayormente mediante el efecto de la doble carga interfacial. En este sentido, este tipo de SC busca tener un área superficial lo más elevada posible para poder capturar una gran cantidad de iones en la interface electrodo-electrolito. Generalmente, cuanto mayor es el área superficial del electrodo, mayor es su capacidad de acumular carga. Sin embargo, esta superficie debe ser electroquímicamente accesible a los iones (Delgado, 2018). Aunque los EDLC's son considerados dispositivos electroquímicos, no hay reacciones químicas, ya que están involucrados en el mecanismo de almacenamiento de energía. El mecanismo de almacenamiento de energía es un fenómeno físico y es altamente reversible. La Figura 3 muestra el esquema de un supercapacitor electroquímico de doble capa (Segura y Remigio, 2016).



Nota. El ciclo de vida de los SC's es largo en comparación de baterías, esto se debe al movimiento físico de los iones, quienes regulan las velocidades de carga y descarga (Olán, 2020).

Figura 3. Esquema de supercapacitor electroquímico de doble capa

“Por su parte, los SC's que almacenan energía electroquímicamente son denominados pseudocapacitores, esto debido a que realizan reacción de óxido-reducción o redox reversibles en la superficie del electrodo.” (Segura y Remigio, 2016). En su mayoría están contruidos con electrodos de óxidos metálicos como óxido de Rutenio (también se usa óxido de iridio, óxido de níquel o polímeros conductores); presentan poca eficiencia y tensiones por celda muy bajas debido al uso de electrolitos acuosos, además de ser costosos a nivel producción debido a su composición interna (Romero, 2009).

Otra clasificación relevante es la de los SC's híbridos, también denominados asimétricos, definidos como dispositivos que combinan las pseudocapacitores con capacidades de doble capa, utilizando electrodos asimétricos. Es decir que, en un electrodo, la separación de carga ocurre debido a la formación de doble capa solamente (Yuan *et al.*, 2012).

En la tabla 4 podemos apreciar las características específicas que poseen todos los SC's que los diferencian de otros dispositivos de almacenamiento independientemente de su clasificación.

Tabla 4
Características generales de los SC's para diferenciarlos de otros dispositivos de almacenamiento

Características generales	Descripción
Almacenamiento energético (densidad energética)	Los SC's pueden llegar a tener una densidad energética de magnitud mayor a la obtenida por baterías convencionales.
Gran densidad de potencia.	La cantidad de potencia que un dispositivo es capaz de entregar/recibir por unidad de volumen, para el caso de los SC's se plantea en promedio de 10kW/kg.
Baja resistencia Serie Equivalente (ESR)	Comparados con baterías, la resistencia interna de los EDLC es mucho menor, lo que les permite trabajar con corrientes muy altas con una elevada eficiencia energética.
Carga y descarga muy rápida	Pueden manejar elevadas corrientes y con una eficiencia prácticamente igual, tanto en carga como en descarga.
Vida útil	Según los fabricantes de supercondensadores, la vida útil de estos se puede estimar en alrededor de 1 millón de ciclos de carga/descarga, mientras que la de las baterías de ion litio es de unos 1000 ciclos aproximadamente.
Voltaje por celda	Típicamente los EDLC tienen un voltaje máximo por celda de unos 2,7V. Los supercondensadores pueden trabajar en todo el rango de voltaje hasta su tensión máxima. Además, puedan ser totalmente descargados sin sufrir degradación alguna, mejorando la seguridad en el almacenaje.
Facilidad para determinar el estado de carga	La carga y descarga es prácticamente lineal, y por tanto, el estado de carga (SOC) se obtiene directamente a través de la medición del voltaje en un determinado momento.
Amplio rango de temperatura de funcionamiento	Típicamente los fabricantes establecen un rango de trabajo de entre -40 y 65°C tanto en carga como en descarga. Este rango es mucho mayor que el de las baterías de litio, sobre todo a bajas temperaturas (según datos de fabricantes, -20 a 60°C en descarga y de 0 a 45°C en carga aproximadamente).

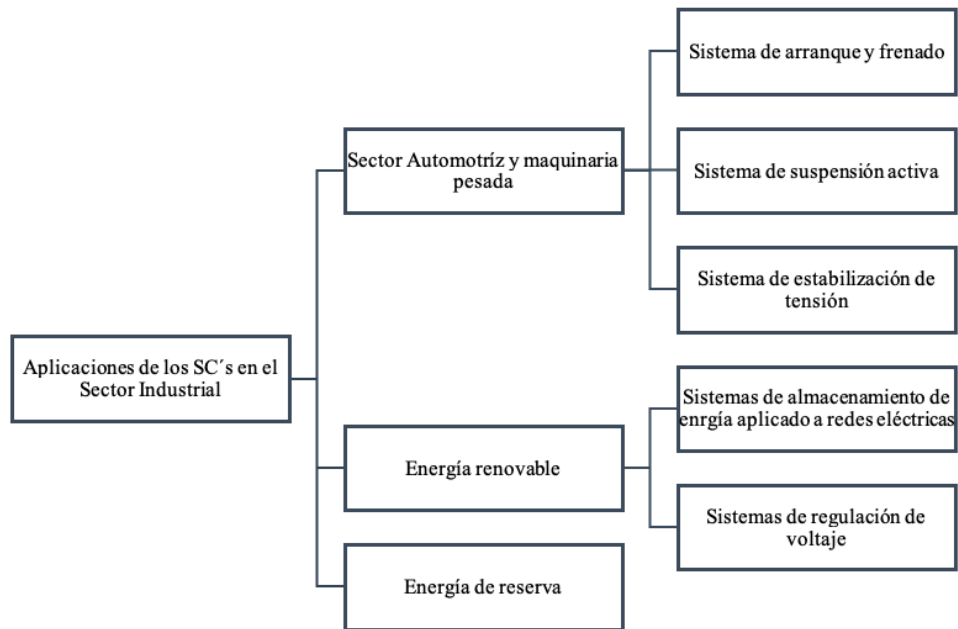
Nota. Estas características son las que hacen una diferencia entre los dispositivos de almacenamiento directos como las baterías y los medios indirectos como los SC's (Pradas, 2013).

“El SC se puede utilizar para completar la capacidad de energía eléctrica de las baterías en numerosas aplicaciones. Se pueden utilizar para almacenar energía y proporcionar picos de demanda de potencia en sistemas electrónicos de potencia” (Reveles-Miranda *et al.*, 2017).

Debido a las ventajas energéticas como disponibilidad para manejar altos valores de voltaje, corriente y temperatura; ciclos cortos de carga/descarga, disponibilidad de mantenimiento óptimo de manera sencilla. En adición a todo lo mencionado y como representación práctica de las cualidades antes mencionadas, a continuación se indican las aplicaciones más generalizadas de los supercapacitores:

- Desarrollo de convertidores integrando supercapacitores aplicando los principios de la electrónica de potencia para el fin antes mencionado.
- Desarrollo de sistemas que permitan disponer de un back-up de energía integrando el uso de supercapacitores.
- Desarrollo de un sistema que permita mejorar la autonomía de carga con la integración de supercapacitores para mejorar los tiempos de carga del sistema antes mencionado (Méndez *et al.*, 2020).

La Figura 4 muestra aplicaciones de los SC's en el sector industrial, en los cuales resulta más eficiente el uso de este tipo de sistemas de almacenamiento (Technologies, 2020).

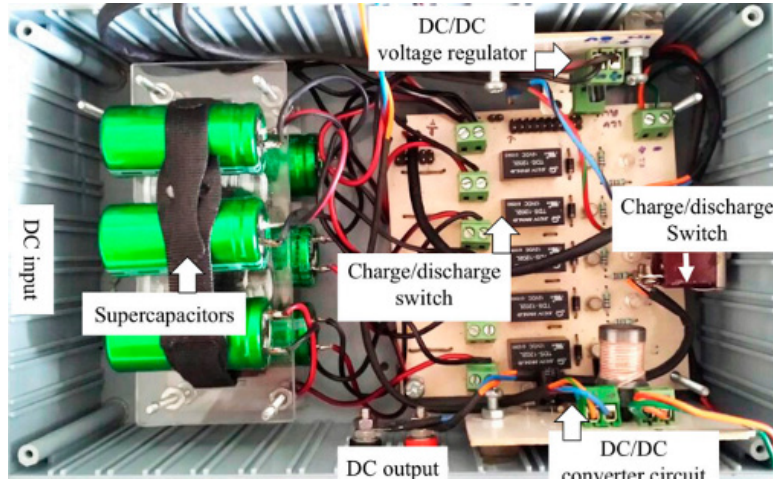


Nota. (Technologies, 2020).

Figura 4. Aplicaciones de los SC's en la industria

Banco de supercapacitores

Un banco de capacitores es un equipo eléctrico de estructura metálica que contiene en su interior dos o más capacitores idénticos y agrupados de forma fija (Figura 5). No obstante, este tipo de sistemas hace uso de diversos arreglos con los cuales podemos potenciar diversos parámetros eléctricos en función de las especificaciones de los SC's que estemos empleando (Domínguez, 2012).



Nota. Banco de supercapacitores realizado para estudio de arreglos aplicados en un Banco de Supercapacitores para potenciar parámetros eléctricos (Revels-Miranda *et al.*, 2017).

Figura 5. Banco de SC's a nivel laboratorio

Son utilizados en la corrección del factor de potencia (el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente) de un entorno comercial o industrial que utilizan varios motores eléctricos y transformadores. Es importante este primer punto, ya que en la industria si no se corrige el factor de potencia, puede existir una penalización y un efecto negativo en el funcionamiento de los sistemas, como se muestra en la Tabla 5 de manera detallada: características, tipos de capacitores y cuáles son los más utilizados de este mismo (García, 2022).

Tabla 5

Descripción comparativa del funcionamiento de los bancos de capacitores

Características de los bancos de capacitores		
Tener un control en el factor de potencia ayuda a la eficiencia del consumo de energía y el funcionamiento de algunos sistemas (Arredondo-Ferrer <i>et al.</i> , 2022).	Estabiliza y adapta el voltaje cuando se presenta una deficiencia en los niveles de corriente eléctrica (Rayón, 2018).	Mejora el perfil de voltaje, larga vida útil y mantenimiento de los bancos de capacitores más barato (García, 2022).

Tabla 6

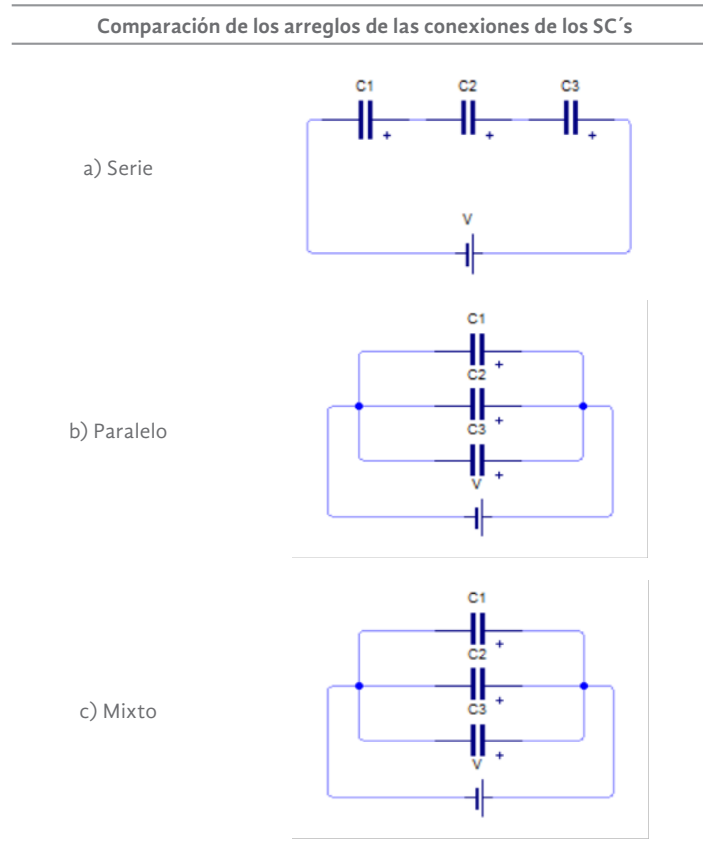
Clasificación y características de capacitores para la realización de conexión con red de balanceo de bancos de capacitores

Tipos de capacitores	Características	Autores
Capacitores cerámicos	Es uno de los capacitores más usados y conocidos dentro del campo de la electrónica y electricidad. Tiene como característica un dieléctrico hecho de distintos tipos de cerámicas. La constante dieléctrica de estos dispositivos suele ser mayor que el promedio.	(Vilela <i>et al.</i> , 2017).
Capacitores electrolíticos	En su interior, existe un electrolito que tiene funcionalidad como cátodo y ánodo, teniendo como característica destacable de recibir corrientes muy grandes. Al tener polaridad y no conectarse correctamente pueden llegar a explotar.	(García, 2022).
Capacitores de aire	Está compuesto de placas conductoras paralelas y como dieléctrico usa el aire. Se utilizan cuando se tiene un consumo menor de energía eléctrica.	(Fornaro <i>et al.</i> , 2012).
Capacitores de mica	Capacitores más resistentes, ya que su dieléctrico está hecho de mica, este material tiene la característica de poca pérdida de energía, hace eficiente el uso de este tipo de capacitor cuando se tiene altas tensiones.	(Vilela <i>et al.</i> , 2017).
Capacitores de aluminio	Este capacitor se utiliza a menudo en el banco de capacitores. Se conforma de aluminio y electrolito a base de ácido bórico, también se ocupa para sistemas de audio.	(Méndez <i>et al.</i> , 2020).
Capacitores de papel	El dieléctrico se fábrica de papel parafinado, a base de baquelita o algún otro material que impida la humedad. Se utilizan dos placas de papel en conjunto con aluminio.	(Vilela <i>et al.</i> , 2017).

En función de las necesidades, se realizan conexiones en serie, paralelo o mixtas. La conexión en serie de un supercapacitor se realiza conectando un conjunto de la parte negativa con la parte positiva de un capacitor. Cuando se requiere un voltaje nominal mayor de un supercapacitor es necesario realizar una conexión en serie ya que el voltaje total es la suma de cada uno de los supercapacitores y la corriente es igual en cada uno. Una desventaja al usar la conexión en serie es que la capacitancia disminuye (Tabla 7a). Por su parte, al aplicar una conexión en paralelo, la capacitancia de cada supercapacitor se suma (Tabla 7b); el voltaje es igual al de un solo supercapacitor y la corriente se suma (Tippens *et al.*, 2007). Finalmente, se debe considerar que para realizar un arreglo de supercapacitores para una aplicación con mayor demanda de voltaje y que, al mismo tiempo mantenga su capacitancia (Tabla 7c), es necesario realizar una conexión mixta, o sea, conectar capacitores tanto en serie como en paralelo (Escribano, 2020).

Tabla 7

Comparación de los tipos de arreglos para potenciar los parámetros eléctricos de los SC's



Nota. (Tippens *et al.*, 2007)

Matriz de conmutación

Una matriz de conmutación es un circuito el cual implica tener todos los niveles de un banco de supercapacitores (SCB) y controlar los cambios entre los niveles del banco, con el fin de aprovechar las características de los SC's (Tabla 8).

Tabla 8

Comparación de aplicaciones de matrices de conmutación en diferentes sistemas de almacenamiento

Autores	Año	Objetivo	Resultados
Freddy Chan, Jorge Aguilar, Víctor Sánchez, Emmanuel Torres y Marlos Alpuche	2019	“Matriz de conmutación aplicada a un sistema fotovoltaico (SFVI) para reconfigurar tanto a los módulos fotovoltaicos, los inversores y las cargas conectadas bajo ciertas condiciones de operación, generación y consumo de energía eléctrica”.	Se desarrolla la evaluación experimental del desempeño ante diferentes condiciones de generación y para diferentes tipos de carga conectadas a la red. El sistema tiene capacidades de reconfiguración ante diversas situaciones, como pueden ser fallas de los inversores, sobrecarga de fases, desbalances de línea, incremento de consumos, cortocircuitos etc. El sistema es capaz de adaptarse ante diversas condiciones de operación (Ramiro <i>et al.</i> , 2019).
María Guadalupe Reveles-Miranda, Manuel Israel Flota-Bañuelos, Freddy Chan-Puc, and Daniella Pacheco-Catalán	2017	Celda de conmutación básica (BSC) que permite la reconexión de los SC's para aumentar el tiempo de entrega de energía del banco de almacenamiento a un nivel de voltaje constante dentro de un intervalo establecido para garantizar una extracción de energía uniforme de cada SC con ciclos profundos de carga/descarga.	Mediante la implementación de la matriz de conmutación, la energía media extraída se incrementó hasta el 98.87%. Los patrones de descarga muestran que las reconfiguraciones propuestas aumentan el tiempo de descarga en todos los casos. (Reveles-Miranda <i>et al.</i> , 2017b).
Pietro Romano, Roberto Candela, Marzia Cardinale, Vincenzo Li Vigni, Domenico Musso, Eleonora Riva Sanseverino	2013	“Sistema de reconfiguración que mejora la energía extraída por un generador fotovoltaico en condiciones de irradiación solar no uniformes mediante una topología de matriz de interruptores flexibles para maximizar la potencia generada en tiempo real bajo varias condiciones de desajuste”.	El sistema eléctrico dinámico (DES) totalmente reconfigurable para generadores fotovoltaicos permitió una ganancia de potencia satisfactoria tanto en el caso de irradiación no uniforme como en el caso de obstáculos fijos (Romano <i>et al.</i> , 2013).

CONCLUSIÓN

En la industria actual se ha considerado de vital importancia el desarrollo de nuevas tecnologías de almacenamiento energético propiciado por la creciente automatización de los sistemas de producción; debido a que este tipo de sistemas requieren que los dispositivos estén correctamente alimentados eléctricamente, y a su vez, entreguen las características eléctricas necesarias para garantizar que el proceso se lleve a cabo de manera correcta como potencia, tiempos de carga/descarga y amperaje. Los SC's representan una alternativa de solución en materia de almacenamiento de energía, debido a que son dispositivos más estables a comparación de las

baterías convencionales, y gracias a diversos estudios se han propuesto configuraciones que les permiten conservar los parámetros eléctricos como voltaje, potencia, amperaje y mejores condiciones en los ciclos de carga/descarga; aunado a esto, el carbón activado que compone los electrodos de los SC's puede estar elaborado de biomasa (coco, cacao, bambú, café y arroz), lo que representaría una alternativa amigable con el ambiente y con un ciclo de vida mayor comparado a los comerciales. Dentro de las mejoras que se proponen con el uso de SC's encontramos el desarrollo de bancos de supercapacitores, definidos como una serie de SC's conectados entre sí por arreglos eléctricos (serie, paralelo o mixto) que permiten mejorar los parámetros de voltaje y amperaje, estabilizando los sistemas, a modo de potenciar los parámetros eléctricos. Sin embargo, estos bancos requieren de control de acuerdo a sus aplicaciones; a partir de lo cual se presentan las matrices de conmutación, también conocidas como matrices de cambio, estas tienen la particularidad de permitir cambiar los parámetros entregados de acuerdo a las necesidades del sistema que se está alimentando; este es un tema que se encuentra en desarrollo de investigación y propone cambios revolucionarios para la industria eléctrica.

REFERENCIAS

- Arredondo-Ferrer, E., Buitrago-Sierra, R., & López, D. (2022).** Hierarchical carbonaceous materials derived from spent coffee grounds for application in supercapacitors. *Revista de La Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 46(178), 233–247. <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1585>
- Delgado Fernández, S. (2018).** Estudio de viabilidad acerca del uso de un sistema de almacenamiento basado en hidrogeno como alternativa al almacenamiento en batería de una instalación fotovoltaica aislada para abastecer a una vivienda.
- Díaz Baizán, P. (2016).** *Supercondensadores híbridos asimétricos con especies redox inorgánicas*. Tesis doctoral.
- Domínguez Ponce, A. (2012).** *Diseño y construcción de un banco de pruebas para baterías y supercapacitores*.
- Escribano Reyes, M. (2020).** *Modelo y control de un banco de supercapacitores con convertidor*.
- Fornaro, P., Talpone, J. I., Moré, J., & Riva, D. (2012).** *Diseño y construcción de un banco de supercapacitores*. 1–12.
- García Hilario, J. C. (16 de agosto de 2022).** Bancos de Capacitores, Ejemplos, Usos y Beneficios. Capacitores.net. <https://capacitores.net/bancos-de-capacitores/Que-debo-conocer-de-los-bancos-de-capacitores>.
- Méndez, E. F., Arrobo, E. V. y Morocho, A. F. (2020).** Supercapacitores como aporte al desarrollo energético eléctrico, análisis comparativo mediante herramientas computacionales de simulación aplicadas. *Espacios*, 41, 29.
- Mírez Tarrillo, J. (2012).** *Sistemas de almacenamiento de energía*. 1–9.
- Muñoz Menéndez, D. A. (2020).** *Modelado y validación experimental de un banco de supercapacitores y baterías con propósitos de diagnóstico de fallas fuera de línea*.
- Olán Ramos, M., del Ángel Meraz, E., Rojo, J. M., Pacheco-Catalán, D. E., Pantoja Castro, M. A., & Mora Ortiz, R. S. (2021).** Activated carbons from coconut shell and NiO-based composites for energy storage systems. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 32(4), 4872–4884. <https://doi.org/10.1007/s10854-020-05227-0>
- Olán Ramos, M. (2020).** *Diseño de materiales de almacenamiento de energía fabricados a partir de cáscara de coco*.
- Pradas Luengo, A. (2013).** *Sistema de ensayo y caracterización de supercondensadores. Estudio de supercondensadores sometidos a radiación ionizante*.
- Ramiro, I., Carrillo, A. A., de Finanzas, S., Comercialización, Y., Teresita, M. C., Chan, I., Secretaria Técnica, E., De, J., Vicente, I. I., Coronado, R., de Edición, J., Producción, Y., De, M. A. L., Luz, L. A., Vázquez, R., Digital, E., Rosa, P. L., Montero, P., de Resguardo, J., ... Publicaciones,**

- D. E. (2019). *Revista del centro de Graduados e Investigación Instituto tecnológico de Mérida. Centro de Investigación de Graduados e Investigación TECNOLÓGICA MÉRIDA*, 1–100.
- Rayón López, N.** (2018). “Supercapacitores electroquímicos ensamblados con electrodos de carbón activado y nanocompuestos de WO_3 obtenido con energía solar”.
- Reveles Miranda, M. G.** (2013). *Diseño y elaboración de un módulo de supercondensadores con configuración flexible para el incremento de tiempo de descarga a voltaje constante*.
- Reveles-Miranda, M. G., Flota-Bañuelos, M. I., Chan-Puc, F., & Pacheco-Catalán, D.** (2017a). Experimental evaluation of a switching matrix applied in a bank of supercapacitors. *Energies*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/en10122077>
- Reveles-Miranda, M. G., Flota-Bañuelos, M. I., Chan-Puc, F., & Pacheco-Catalán, D.** (2017b). Experimental evaluation of a switching matrix applied in a bank of supercapacitors. *Energies*, 10(12). <https://doi.org/10.3390/en10122077>
- Romano, P., Candela, R., Cardinale, M., Li Vigni, V., Musso, D., & Riva Sanseverino, E.** (2013). Optimization of photovoltaic energy production through an efficient switching matrix. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 1(3), 227–236. <https://doi.org/10.13044/j.sdewes.2013.01.0017>
- Segura, C. and Remigio, J.** (2016). Modelación y simulación de un sistema híbrido de almacenamiento de energía eléctrica para la propulsión de embarcaciones tipo taxis en puerto ayora. Master’s thesis, Quito.
- Technologies, M.** (2020). Ultracapacitors application.
- Tippens, P. E., Orozco, J. H. C., and Ruiz, Á. C. G.** (2007). Física: conceptos y aplicaciones. Number Sirsi) i9789701035146. McGraw-Hill Interamericana.
- Vilela, J. A., De, E. A., & Fabro, G.** (2017). *Conversor forward para carga de bancos de supercapacitores*. 1–4.
- Yuan, L., Xiao, X., Ding, T., Zhong, J., Zhang, X., Shen, Y., Hu, B., Huang, Y., Zhou, J., and Wang, Z. L.** (2012). Paper-based supercapacitors for self-powered nanosystems. *Angewandte Chemie International Edition*, 51(20). 4934–4938.