



# REPORTE FINAL DE ESTADÍA

Julián Solorza Sánchez

**Sistemas de almacenamiento  
de energía mediante el uso de  
tecnología de ultracapacitores.**

2020, Año de Leona Vicario,  
Benemérita Madre de la Patria

2020, Año Internacional de la  
Sanidad Vegetal



# Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa educativo  
Ingeniería en energías renovables

Nombre del asesor industrial  
Dr. Leonardo Rejón García

Nombre del asesor académico  
Dr. Juan Manuel Padilla Flores

Jefe de carrera  
Dr. Octavio Maldonado Saavedra

Presenta  
Julián Solorza Sánchez

Cuitláhuac, Ver. 26 de abril de 2021

2020, Año de Leona Vicario,  
Benemérita Madre de la Patria

2020, Año Internacional de la  
Sanidad Vegetal





VERACRUZ  
GOBIERNO  
DEL ESTADO



SEV  
Secretaría  
de Educación



DET  
Dirección de Educación  
Tecnológica del Estado  
de Veracruz



# Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

Programa educativo

Ingeniería en energías renovables

Reporte para obtener título de Ingeniero en  
energías Renovables

Proyecto de estadía realizado en la empresa  
Universidad Tecnológica del centro de Veracruz

Nombre del proyecto

Sistemas de almacenamiento de energía mediante el uso  
de tecnología de ultracapacitores.

Presenta

Julián Solorza Sánchez

2020, Año de Leona Vicario,  
Benemérita Madre de la Patria

2020, Año Internacional de la  
Sanidad Vegetal



## AGRADECIMIENTOS

A mi hija Nahomi, esperó que un día comprendas que te debo lo que soy ahora y que este logro te sirva de herramienta para guiar cada uno de tus pasos.

A mi esposa Melani, por darme su apoyo aun cuando había adversidades, por desvelarse conmigo en las noches cuando se alargaban las tareas, por sacrificarse económicamente para solventar mi educación, por estas y muchas razones más te doy las gracias.

A mis padres: Reyna y Julián quienes con su amor, sacrificio y dedicación me han brindado la oportunidad de luchar por mis sueños; gracias por sus consejos y sobre todo su apoyo incondicional a lo largo de mi educación.

A mis hermanos y familia, por confiar en mí y de las cosas que soy capaz de lograr; por hacer más alegres mis días con la peculiaridad de nuestra familia.

A mis asesor industrial, el Dr. Leonardo Rejón y al INEEL, por haberme dado la oportunidad de colaborar con él, por sus consejos y apoyo durante mi estadía.

A mi asesor académico, Dr. Juan Manuel Padilla, por guiarme a lo largo de mi estadía, por su apoyo y confianza y labor para hacer todo esto posible.

A todos mis maestros dentro de la universidad, por darme las herramientas necesarias para ser una persona capaz de realizar trabajos de investigación dignos de tener ahora un grado académico.

A amigos y compañeros de clases, quienes han hecho amenos mis días en la universidad y han influido en mi desarrollo durante esta etapa.

## RESUMEN

La evidencia de los estragos causados por el uso de combustibles fósiles en el día a día, ha originado la búsqueda y la explotación de diferentes fuentes de energía más amigables con el medio ambiente, dando como resultado la aparición de las energías renovables o energías alternativas.

Actualmente la energía no se puede almacenar en grandes cantidades, en el caso de las energías renovables no son la excepción. Aunque diversas tecnologías como las baterías de litio y los capacitores han venido satisfaciendo las demandas de almacenamiento, aun se necesitan nuevas técnicas como el ultrasonido, que ayuden a mejorar la capacidad de almacenamiento en estos dispositivos.

La información será distribuida en cuatro capítulos para un mejor entendimiento. El primer capítulo es el estado del arte de nuestro trabajo, la información recabada nos servirá de introducción a los ultracapacitores y sus composiciones, así como las técnicas de ultrasonido en las mezclas homogéneas, de esta forma entenderemos la importancia de su estudio, sus características y lo más importante sus aplicaciones. De igual forma, dentro de este capítulo se plantean las bases del proyecto, es decir, los objetivos que se buscan alcanzar durante el desarrollo del mismo, la hipótesis, la justificación del presente trabajo, limitaciones y alcances presentes. La información recabada en el capítulo 1, nos permitirá establecer las bases de nuestra metodología para el desarrollo de un banco de ultracapacitores, la cual se describe en el capítulo 2, dentro de este capítulo se consideran temas tales como los materiales, equipos, técnicas y procesos involucrados durante la parte experimental. Se muestra la técnica para caracterizar un panel fotovoltaico, comportamiento de los circuitos del banco de ultracapacitores, entre otros.

El capítulo 3 contiene el desarrollo experimental para la obtención un banco de ultracapacitores, así como observaciones que se realizaron durante la experimentación, incluye información necesaria respecto a los cálculos de tiempo de carga, descarga, cantidad de energía almacenada, entre otros datos..

Finalmente, en el capítulo 4 se muestran los resultados obtenidos del proyecto, de igual forma, se presentan las conclusiones del proyecto, así como trabajos futuros y recomendaciones de acuerdo a lo observado durante el desarrollo del mismo

## Contenido

AGRADECIMIENTOS .....	4
RESUMEN.....	5
Contenido.....	6
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
1.1 Marco teórico.....	9
1.1.1 Energías renovables .....	9
1.1.2 Energía solar fotovoltaica .....	9
1.1.3 Sistema fotovoltaico autónomo .....	9
1.1.4 Almacenamiento de energía eléctrica .....	10
1.1.5 Capacitor tradicional.....	11
1.1.7 Ultracapacitores.....	13
1.1.8 Taxonomía de los ultracapacitores .....	14
1.1.9 Mezclas homogéneas con técnicas de ultrasonido .....	17
1.2 Planteamiento del Problema .....	19
1.3 Objetivo general.....	20
1.4 Objetivos específicos.....	20
1.5 Hipótesis .....	20
1.6 Justificación del Proyecto.....	20
1.7 Limitaciones y Alcances.....	21
1.8 Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz.....	22
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....</b>	<b>23</b>
2.1 Caracterización del sistema fotovoltaico autónomo .....	23
2.2 Diseño y construcción del banco de ultracondensadores .....	23
2.3. Análisis circuito serie con ultracondensadores .....	24
2.4. Análisis circuito paralelo con ultracondensadores.....	26
<b>CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO.....</b>	<b>27</b>
3.1 Agrupación del BUC .....	27
3.1. Densidad de energía en la carga almacenada en el BUC.....	29
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>31</b>
4.1 Resultados.....	31
4.2 Conclusiones .....	32

4.3 Trabajos futuros.....	32
4.4 Recomendaciones .....	32
Anexo 1 .....	33
Anexo 2 .....	33
Anexo 3 .....	34
Anexo 4 .....	34
<b>Bibliografía.....</b>	<b>35</b>

## Tabla de ilustraciones

<b>Ilustración 1.</b> Diagrama de una instalación solar fotovoltaica aislada.....	10
<b>Ilustración 2.</b> Capacidad de almacenamiento energético a nivel mundial. ....	10
<b>Ilustración 3.</b> Estructura básica y representación simbólica del capacitor convencional.....	12
<b>Ilustración 4.</b> Esquema de un ultracapacitor. ....	13
<b>Ilustración 5.</b> Taxonomía de los ultracapacitores. ....	14
<b>Ilustración 6.</b> Esquema de un EDLC y su estructura material. ....	15
<b>Ilustración 7.</b> Modelo simplificado de un EDLC.....	15
<b>Ilustración 8.</b> Transmisión de ondas en dos medios diferentes.....	18
<b>Ilustración 9,</b> Impacto del tamaño de las partículas sobre un área. ....	19
<b>Ilustración 10.</b> Diagrama de Ragone. ....	24
<b>Ilustración 11.</b> Conexión de ultracapacitores en serie.....	25
<b>Ilustración 12.</b> Circuito de carga y descarga con los ultracapacitores. ....	25
<b>Ilustración 13.</b> Circuito de carga y descarga con los ultracapacitores en paralelo. ....	26
<b>Ilustración 14.</b> Agrupación del banco de capacitores. ....	28
<b>Ilustración 15.</b> Práctica de carga y descarga del banco con ultracapacitores.....	28
<b>Ilustración 16.</b> La energía almacenada del banco de ultracapacitores.....	31
<b>Ilustración 17.</b> Desarrollo de Corriente en el sistema de iluminación. ....	31
<b>Ilustración 18.</b> Mapa global de objetivos en las energías renovables. ....	33
<b>Ilustración 19</b> .Detalles de construcción de un ultracapacitor de doble capa.....	33
<b>Ilustración 20.</b> Esperanza de vida en ciclos de carga y descarga de baterías y ultracapacitores. ....	34
<b>Tabla 1.</b> Valores del modelo simplificado. ....	16
<b>Tabla 2.</b> Valores mínimos y máximos de tensión, corriente y potencia del circuito resistivo .....	23
<b>Tabla 3.</b> Suministro de los primeros 30s en el circuito. ....	26
<b>Tabla 4.</b> Resultados de carga y descarga del circuito paralelo con ultracapacitores.....	27
<b>Tabla 5.</b> Valores de tensiones, corrientes y potencia del banco de ultracapacitores.....	29
<b>Tabla 6.</b> Características eléctricas del sistema de iluminación. ....	32
<b>Tabla 7.</b> Comparación de las propiedades físico-químicas de los distintos materiales de ultracapacitores.....	34

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables o también llamadas energías alternativas, son fuentes de energía basadas en la utilización de recursos naturales inagotables, el sol, el viento, el agua, la geotermia y la biomasa son caracterizadas por no utilizar combustibles fósiles para su funcionamiento. El principal objetivo de las energías renovables es satisfacer las necesidades energéticas que actualmente se obtienen de los combustibles fósiles, de este modo contribuir a la reducción de emisión de gases efecto invernadero, que provocan el calentamiento global.

Actualmente la energía no se puede almacenar en grandes cantidades, en el caso de las energías renovables no son la excepción. Aunque diversas tecnologías como las baterías de litio y los capacitores han venido satisfaciendo las demandas de almacenamiento, aun se necesitan complementos.

Los sistemas de almacenamiento energía con ultracapacitores prometen llenar la brecha entre los capacitores y baterías, pudiendo así almacenar la energía necesaria en periodos de baja demanda.

Dentro de los principales sistemas de almacenamiento con ultracapacitores se encuentran 3 tipos que se describirán más adelante, se expondrán sus ventajas y en que arreglo resultan más beneficiosos para su implementación.

## 1.1 Marco teórico

### 1.1.1 Energías renovables

Las energías renovables son aquellas cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la luna. Son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas. (Schallenberg Rodríguez & Piernavieja Izquierdo, 2008)

### 1.1.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar se puede transformar directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica.

Un panel fotovoltaico produce electricidad en corriente continua y sus parámetros característicos (intensidad y tensión) varían con la radiación solar que incide sobre las células y con la temperatura ambiente. La electricidad generada con energía solar fotovoltaica se puede transformar en corriente alterna. Con las mismas características que la electricidad de red eléctrica, utilizando inversores. (Schallenberg Rodríguez & Piernavieja Izquierdo, 2008)

### 1.1.3 Sistema fotovoltaico autónomo

Un sistema fotovoltaico autónomo (SFA) produce energía eléctrica para satisfacer el consumo de cargas eléctricas no conectadas a la red, empleando un sistema de acumulación energético para hacer frente a los períodos en los que la generación es inferior al consumo. ( Perpiñán Lamigueiro, 2012)

Los sistemas aislados o autónomos se emplean en lugares con acceso complicado a la red eléctrica y en las que resulta más fácil y económico instalar un sistema fotovoltaico que tender una línea de enganche a la red eléctrica general. (Schallenberg Rodríguez & Piernavieja Izquierdo, 2008)

Estos sistemas se pueden encontrar por ejemplo, en:

- Zonas rurales aisladas.
- Áreas en vías de desarrollo sin conexión a red.
- Iluminación de áreas aisladas y carreteras.

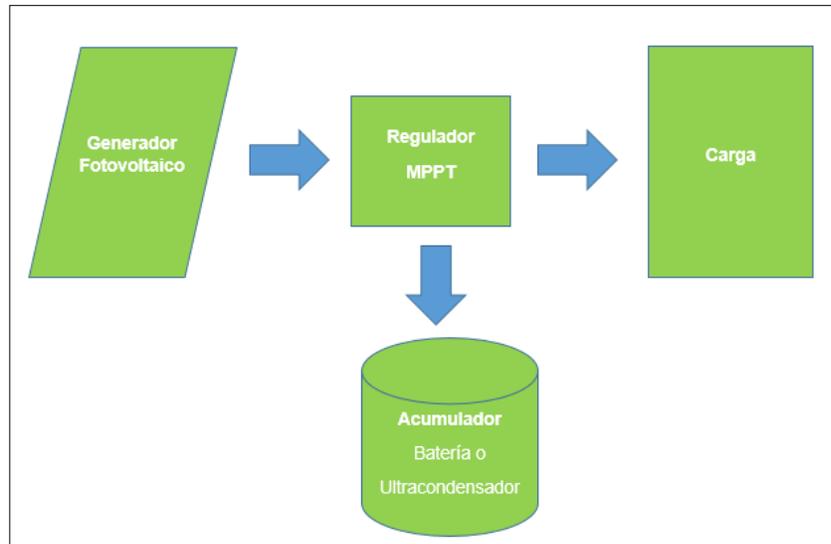


Ilustración 1. Diagrama de una instalación solar fotovoltaica aislada.

#### 1.1.4 Almacenamiento de energía eléctrica

Nos referimos al equipo utilizado para almacenar temporalmente la energía eléctrica como un depósito de energía. La electricidad es una forma de energía llamada secundaria en el sentido de que una vez creada, se vuelve más difícil de almacenar que otras formas de energía. Así, la electricidad producida se consume, se pierde o se almacena instantáneamente en un condensador o en una batería. ( Chetto & Queudet, 2020)

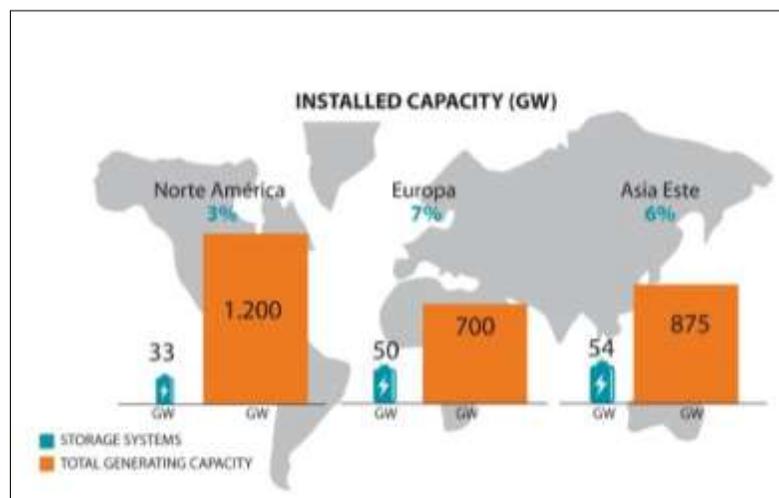


Ilustración 2. Capacidad de almacenamiento energético a nivel mundial.

##### 1.1.4.1 Importancia del almacenamiento de energía

El actual desarrollo de las energías renovables implica la generación de energía usando fuentes renovables. Muchas de ellas tienen comportamiento aleatorio, como por ejemplo: la velocidad del viento sobre las turbinas eólicas, la radiación solar en las fuentes fotovoltaicas, la altura de las olas del mar en las fuentes mareomotrices, entre

otros. Las fuentes renovables están conectadas a las redes eléctricas o microredes de electricidad. Pero la disponibilidad aleatoria de la energía primaria da como consecuencia períodos con exceso y deficiencia de energía. Esto ha llevado a que se desarrollen diferentes formas para almacenar la energía sobrante a fin de utilizarlo cuando sea necesario y las condiciones de operación del sistema eléctrico lo permitan.

Hay dos mecanismos generales por el cual la energía eléctrica puede ser almacenada: uno involucra capacitores, en el cual la energía puede ser almacenada por la separación de cargas eléctricas positivas y negativas; la otra forma involucra las relaciones entre fenómenos eléctricos y magnéticos.

- Almacenamiento de energía en capacitores.
- Almacenamiento de energía en sistemas magnéticos.

El almacenamiento de energía tiene un rol crítico en asegurar el futuro energético y que incluye:

- Servirán como una “reserva de electricidad” de mucho mayor capacidad que cualquier reserva de combustibles fósiles.
- Hace viable económicamente las energías renovables.
- Sirve como un amortiguador de precios, es decir, es un elemento para suministrar energía cuando los costos de electricidad son altos, como por ejemplo, en las horas punta.
- Reduce o disminuye la necesidad de instalar nuevas generadoras.
- Realiza un seguimiento de la carga, alternando la respuesta ante variaciones entre el suministro de electricidad y de demanda.
- Permite tener una capacidad de reserva.
- Da una asistencia a lo que es la integración de fuentes solares y eólicas reduciendo la volatilidad de la salida y su variabilidad, mejorando la calidad de la energía, reduciendo los problemas de congestión, entre otras. (Mirez Tamillo, 2012)

### 1.1.5 Capacitor tradicional

En el año 1745, Ewald Georg von Kleist, descubrió que la carga eléctrica se podía almacenar, para ello, conectó un generador electrostático a un volumen de agua en un recipiente de vidrio mediante un cable. Un año después, Pieter van Musschenbroek, diseñó un condensador similar, llamado botella de Leyden

Benjamin Franklin también investigó la botella de Leyden llegando a la conclusión de que la carga se almacenaba en el borde del cristal y no en el agua como muchos habían asumido previamente. Franklin fue quien acuñó el término de batería. Hasta

aproximadamente el año 1900 se emplearon estas botellas de Leyden o algunos dispositivos con más potencia.

Desde que se inició el estudio de la electricidad, los materiales no conductores empleados en la fabricación de condensadores fueron el vidrio, la porcelana, el papel y la mica. El inventor de los condensadores electrolíticos fue Charles Pollak, y se le concedió la patente en 1896. En el año 1950, los Laboratorios Bell inventaron los electrolitos sólidos condensadores de tantalio completando así la nueva invención del transistor.

### ¿Qué es un capacitor eléctrico tradicional?

Se puede considerar como un dispositivo diseñado solo para almacenar cargas eléctricas, por lo tanto en él se manifiesta una notable cualidad de capacidad, básicamente un capacitor está formado por dos placas metálicas separadas por medio de un dieléctrico que puede ser aire, mica, o algún material no conductor. (Zetina, Zetina M., & Zetina C., 2004)

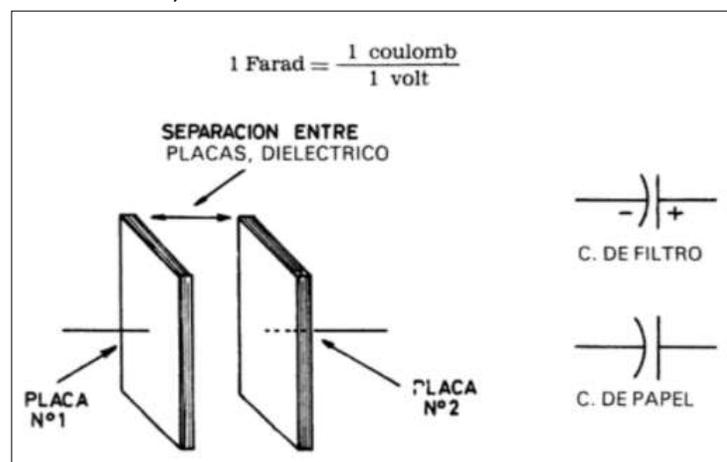


Ilustración 3. Estructura básica y representación simbólica del capacitor convencional.

Algunas de las aplicaciones prácticas más comunes de los capacitores incluyen:

- Dispositivos que requieren capacitores para almacenar una carga la cual debe ser liberada rápidamente; como por ejemplo el flash de la cámara fotográfica, grandes láseres que requieren hacer brillantes e instantáneos.
- Los capacitores pueden eliminar ondas o rizados en la frecuencia de la corriente eléctrica.

Si en un circuito con corriente de voltaje continuo DC hay rizados u ondas un capacitor grande puede absorber los picos y llenar los valles, nivelando el voltaje.

En circuitos en los que el voltaje de la corriente eléctrica fluctúa mucho; mediante el uso de un capacitor intermedio se puede nivelar bastante el mismo; ya que cuando el voltaje aumenta la energía sobrante es almacenada por el capacitor y cuando baja la energía acumulada es liberada. Como dato interesante es bueno saber que si a ese

circuito se le agrega una resistencia junto al capacitor, la fluctuación en el voltaje casi desaparece por completo.

Otra gran propiedad que tienen los capacitores es la de generar demoras o retrasos en los circuitos eléctricos. En electrónica muchas veces es necesario realizar tareas que ocurren con frecuencias determinadas en períodos constantes o entre determinados intervalos de tiempo; esto se logra poniendo demoras en el flujo de la corriente eléctrica. (ElectronicaPTY, 2017)

### 1.1.7 Ultracapacitores

Los supercapacitores o también conocidos como ultracapacitores, son capacitores electroquímicos hechos a partir material carbonado del grafeno, proporciona optimas características eléctricas de resistencia térmica y rapidez de respuesta, por lo que soporta aproximadamente 500 000 ciclos de cargas y descargas; son livianos, poseen mayor capacidad de almacenamiento de carga electroestática y alta densidad de energía que otros elementos equivalentes. (Martínez, Angulo, López , & Harold, 2017)

En comparación con una batería recargable el ultracondensador tiene las siguientes cualidades:

- El proceso de carga descarga y rápido.
- Puede entregar pulsos frecuentes de energía sin el efecto dañino.
- Su vida útil es más larga puede cargarse descargarse hasta miles de veces.
- La resistencia interna es pequeña su eficacia puede alcanzar el 84 a 95 por ciento.
- Se puede cargar a cualquier nivel sin efecto memoria.
- El rango de temperatura de funcionamiento es amplio.

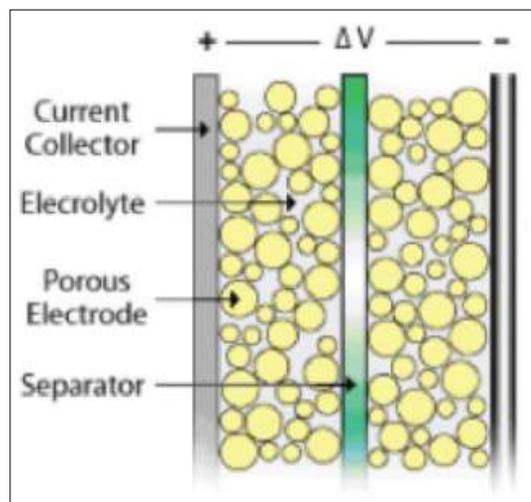


Ilustración 4. Esquema de un ultracapacitor.

### 1.1.8 Taxonomía de los ultracapacitores

Existen diferentes tipos de ultracapacitores, generalmente se suelen dividir según la composición del material dieléctrico o del conductor usado para su constitución.

Los ultracapacitores se pueden dividir en tres clases: condensadores electroquímicos de doble capa, pseudocondensadores y condensadores híbridos. Cada clase se caracteriza por su mecanismo único para carga de almacenamiento. Estos son, respectivamente, no faradaicos, faradaicos y una combinación de los dos. Los procesos faradaicos, como las reacciones de oxidación-reducción, implican la transferencia de carga entre el electrodo y el electrolito. Un mecanismo no faradaico, por el contrario, no utiliza un mecanismo químico. Más bien, las cargas se distribuyen en las superficies por medios físicos. Procesos que no implican la formación o ruptura de enlaces químicos. (Halper & Ellenbogen, 2006)

Cada uno de los ultracondensadores tienen características específicas, a continuación se mostrara una gráfica de la taxonomía de cada uno de ellos y sus clases.

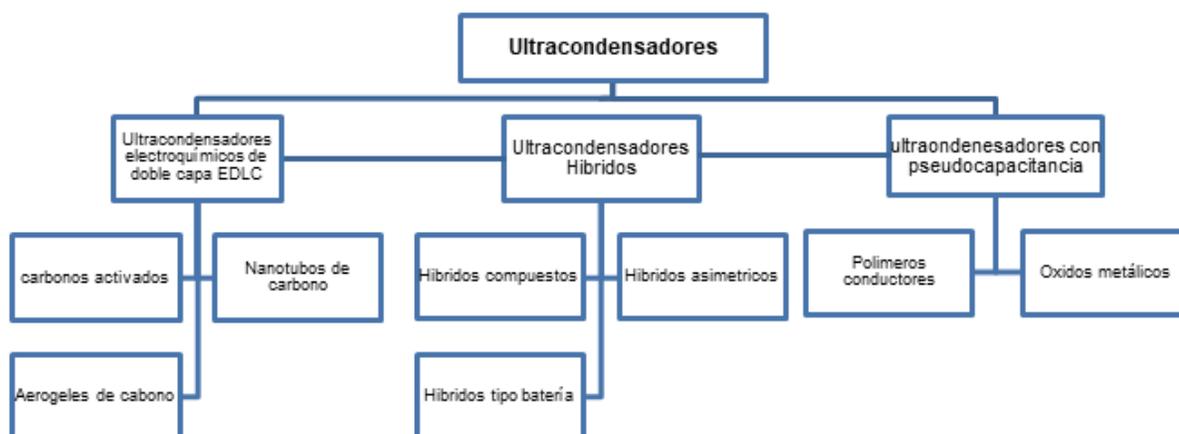


Ilustración 5. Taxonomía de los ultracapacitores.

#### 1.1.8.1 Ultracapacitor electroquímico de doble capa EDLC

El capacitor electroquímico de doble capa, también conocido como ultracapacitor o supercapacitor, usa sus dos capas de carga cuando se le aplica un voltaje a un electrodo inmerso en una sustancia electrolítica. Los electrodos en un EDLC (Electrochemical Double-Layer Capacitor) son construidos en carbono altamente poroso, dando como resultado una superficie con una amplia relación de volumen.

La ilustración 6 muestra el esquema de constitución de un supercapacitor electroquímico de doble capa.

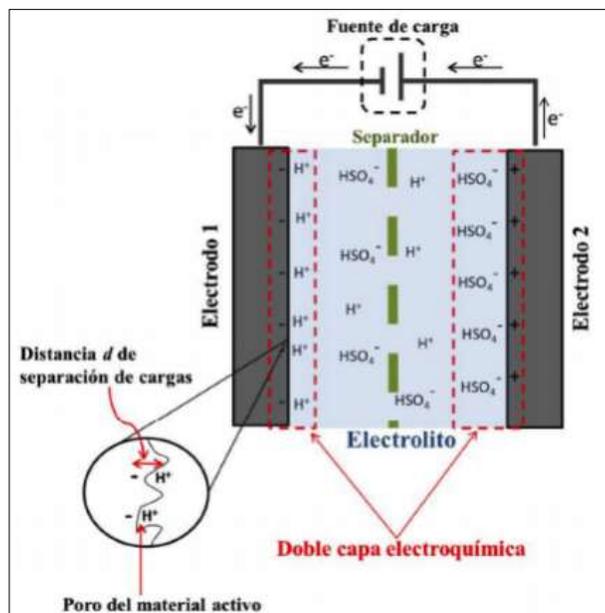


Ilustración 6. Esquema de un EDLC y su estructura material.

Se muestra dos electrodos de carbono, cada uno con una doble capa de interfaz electrolítica de carga. La pequeña separación para las capas electrolíticas y la gran área de superficie producen capacitancias en el orden de los 40-60F/cm<sup>3</sup>. La energía necesaria para entrar en el campo de ruptura, es extremadamente alta, en relación a los capacitores convencionales, se la calcula en V/cm.

Un EDLC posee una capacitancia volumétrica en el orden de 10<sup>6</sup> y 10<sup>8</sup>, comparado con un capacitor electrolítico del mismo tamaño. Sin embargo el voltaje de trabajo de un EDLC está por 10<sup>-2</sup>, comparado con un electrolítico, la densidad energética de un EDCK comercial está por 10<sup>2</sup> y 10<sup>3</sup>, en relación a un electrolítico. Por otro lado el bajo ESR de un EDLC da como resultado un dispositivo con una densidad de energía muy alto. Un modelo simplificado se muestra en la ilustración 7, corresponde al dispositivo comercial 2500 F EDLC, los valores que se muestran fueron dimensionados mediante experimentación, los datos obtenidos se muestran en la Tabla 1. (Conway, 1999)

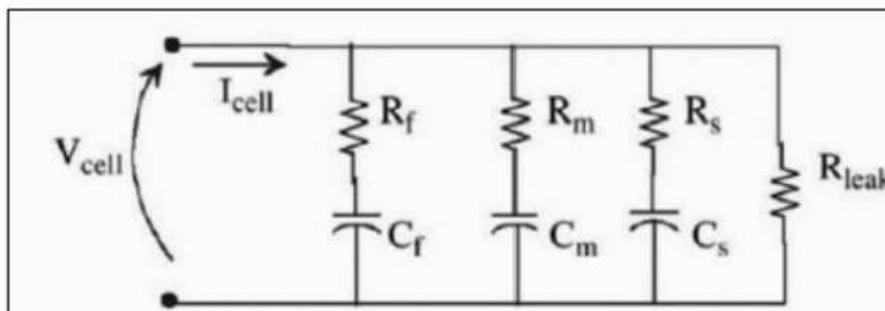


Ilustración 7. Modelo simplificado de un EDLC.

Tabla 1. Valores del modelo simplificado.

Rama Rápida		Rama Intermedia		Rama Lenta		Pérdida	
Rf	0.68 mΩ	Rm	0.8 mΩ	RI	2.9 mΩ	Rp	3 kΩ
Cf	2600 F	Cm	250 F	CI	560 F		
tf	1.768 s	tm	200 s	tl	1624 s		

### 1.1.8.2 Ultracapacitor con pseudocapacitancia

A diferencia de los EDLC, que almacenan carga electrostáticamente, los pseudocondensadores almacenan carga Faradaicamente a través de la transferencia de carga entre el electrodo y el electrolito. Esto se logra mediante reacciones de electroadsorción, reducción-oxidación y procesos de intercalación. Estos procesos faradaicos pueden permitir pseudocondensadores para lograr mayores capacitancias y densidades de energía que los EDLC. Hay dos materiales de electrodos que se utilizan para almacenar carga en pseudocondensadores, conduciendo polímeros y óxidos metálicos. (Halper & Ellenbogen, 2006). Existen dos materiales por los que se componen los electrodos que en su propósito sub-clasifica a este grupo de supercapacitores, estos son:

- Electrodo de materiales polímeros conductores
- Electrodo compuesto de Metal-óxidos

#### Supercapacitores basados en materiales polímeros

Los supercapacitores que disponen de materiales polímeros conductores disponen de las siguientes características:

- Pseudocapacitancia alta
- Bajo coste
- Buena conductividad eléctrica

El funcionamiento de los mismos se produce gracias a que después del proceso de carga del capacitor, también llamado proceso de “dopado”, los polímeros del capacitor se vuelven electrónicamente conductores. (Mangostino, Arbizzani, & Francesca, 2001) Cabe destacar que la finalidad principal de un supercapacitor de este tipo, es la de entregar energía específica en un periodo de tiempo (Potencia) muy corto generalmente en el orden de los segundos o menos.

## Supercapacitores basados en compuestos metal-óxidos

Debido a la alta conductividad que tiene este tipo de compuestos, este prototipo de supercapacitor puede generar una pseudocapacitancia en el proceso de cargado. Un ejemplo práctico de un metal-óxido es el óxido de Rutilio. Su capacitancia es muy alta en comparación a otros materiales, esto es debido a que presenta una estructura anómala con protones que se intercalan entre sus enlaces, esto brinda la característica singular del presente material de estudio. La densidad de almacenamiento de energía de este tipo de material es muy elevada, muy similar a un EDLC (Halper & Ellenbogen, 2006).

### *1.1.8.3 Ultracapacitores híbridos*

Estudios en los años recientes, han podido demostrar una alternativa a los EDLC's convencionales y para los pseudocapacitores implementando sistemas híbridos, usan un sistema que combina procesos no Farádicos y Farádicos para almacenar carga, un EDLC híbrido puede almacenar cantidades de energía mucho mayores al de un EDLC típico, sin la necesidad de sacrificar la estabilidad y el ciclo de accesibilidad, ambos consisten en las mayores limitaciones de los pseudocapacitores. Las combinaciones de los materiales con los que se han realizado varias pruebas son: dióxido de rutenio ( $\text{RuO}_2$ ), óxido de cobalto ( $\text{Co}_3\text{O}_4$ ), óxido de níquel ( $\text{NiO}$ ), óxido de vanadio ( $\text{V}_2\text{O}_5$ ), hidróxido de níquel ( $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ), óxido de manganeso ( $\text{MnO}_2$ ); siendo el óxido de manganeso ( $\text{MnO}_2$ ) el que mejores cualidades presenta, a más de ser un material abundante en la tierra, es muy amigable con el planeta. Entre los sistemas que lo usan se encuentran las baterías, que implementado a este sistema híbrido consigue de manera considerable mejorar la eficiencia. (Méndez, Arrobo, & Morocho, 2020)

### *1.1.9 Mezclas homogéneas con técnicas de ultrasonido*

#### *1.1.9.1 Método ultrasónico.*

En el método ultrasónico se utilizan instrumentos que transmiten ondas con ciertos intervalos de frecuencia y se aplican para detectar defectos como poros, fisuras, también para conocer las propiedades básicas de los líquidos y sólidos como la composición, estructura.

El análisis de los materiales mediante ultrasonido se basa en el principio físico: El movimiento de una onda acústica, sabido es que la onda acústica es afectada por el medio a través del cual viaja y se distinguen los siguientes tipos: onda longitudinal, transversal y superficial (Rayleigh), según se muestra en la ilustración 8, debido a ello ocurren los cambios asociados con el paso de una onda sonora de alta frecuencia a través de un material en uno o más de los cuatro parámetros siguientes: tiempo de tránsito, atenuación, reflexión y frecuencia. Estos parámetros a menudo pueden estar

correlacionados con los cambios de las propiedades físicas, dureza, módulo de elasticidad, densidad, homogeneidad, estructura y grano del material. (Santos De la cruz, Cancino Viera, Yenque Dedios, Ramírez Morales, & Palomino Pérez, 2005)

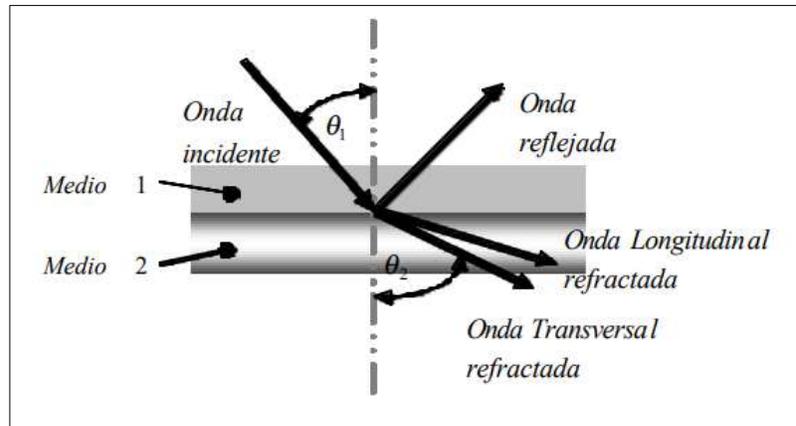


Ilustración 8. Transmisión de ondas en dos medios diferentes.

#### 1.1.9.2 Dispersión ultrasónica

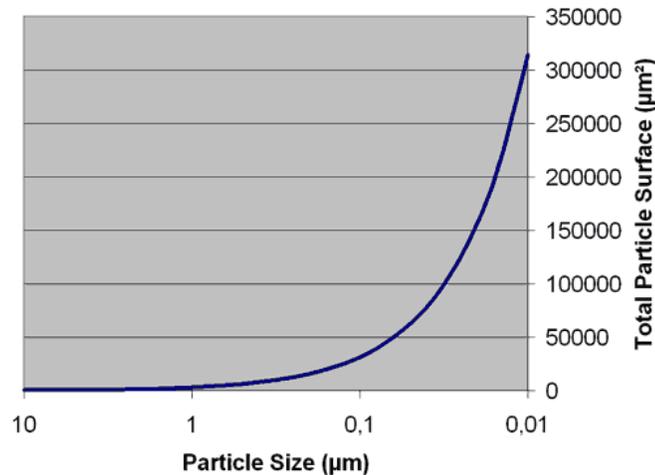
Para casi cualquier producto es necesario que las partículas estén separadas unas de otras para incrementar la superficie específica y lograr así una distribución uniforme. Mediante la ultrasonificación, es posible conseguir dispersiones homogéneas fácilmente, para producir dispersiones de tamaño muy fino, en el rango de micras y nanómetros. (Hielscher ULtrasound Technology, s.f.)

#### 1.1.9.3 Homogeneizadores ultrasónicos

Los homogeneizadores ultrasónicos son herramientas poderosas para mezclar y homogeneizar suspensiones sólido-líquido y líquido-líquido. La homogeneización ultrasónica es un proceso mecánico para reducir las partículas en un líquido de modo que se vuelvan uniformemente pequeñas y se distribuyan uniformemente. (Hielscher ULtrasound Technology, s.f.)

#### 1.1.9.4 Impacto de los homogeneizadores ultrasónicos

Cuando se utilizan homogeneizadores ultrasónicos para aplicaciones como mezclar, dispersar y emulsionar, el objetivo es reducir pequeñas partículas o gotitas en un líquido o lodo para mejorar la uniformidad y estabilidad de la mezcla. Estas partículas (fase de dispersión) pueden ser tanto sólidas como líquidas. Una reducción en el diámetro medio de las partículas aumenta el número de partículas individuales. Esto conduce a una reducción de la distancia media de las partículas y aumenta el área de la superficie de las partículas. El gráfico muestra la correlación entre el diámetro de las partículas y la superficie total. (Hielscher ULtrasound Technology, s.f.)



*Ilustración 9, Impacto del tamaño de las partículas sobre un área.*

#### 1.1.9.4 Ventajas de los homogeneizadores ultrasónicos

En comparación con los métodos de homogeneización convencionales, los homogeneizadores ultrasónicos destacan por las siguientes cualidades:

- Los homogeneizadores ultrasónicos producen pequeñas partículas / gotitas y un curva de distribución estrecha.
- Los homogeneizadores ultrasónicos pueden manejar concentraciones de sólidos elevadas.
- Los homogeneizadores ultrasónicos preparan estable suspensiones, dispersiones y emulsiones.
- Los homogeneizadores ultrasónicos son Precisamente controlable ya que los parámetros importantes del proceso (p. ej. amplitud, potencia, tiempo, temperatura y presión) pueden ser influenciados y ajustados.
- Los homogeneizadores ultrasónicos son muy eficaz, energéticamente eficiente y fácil de usar y seguro para operar.

## 1.2 Planteamiento del Problema

Las energías renovables tienen una producción variable y en alguna medida incierta, por lo que a veces se les denomina intermitente. Debido a esto el tema del almacenamiento de energía en ultracapacitores es algo indispensable para la integración de las mismas como fuentes primarias de producción de energía en sistemas de energías renovables.

### 1.3 Objetivo general

Analizar la literatura actual sobre ultracapacitores para establecer una nueva propuesta de síntesis mediante la incorporación de técnicas de ultrasonido que den al ultracapacitor características técnicas que le permitan mayor almacenamiento de energía eléctrica.

### 1.4 Objetivos específicos

- Revisión bibliográfica
- Mostrar la importancia del almacenamiento de energía.
- Describir la diferencia entre los capacitores convencionales y los ultracapacitores
- Clasificar los diversos sistemas de almacenamiento con ultracapacitores de energía existentes.
- Mostrar los cálculos de capacitancia de los ultracapacitores
- Mencionar las ventajas y desventajas que tienen el uso de los ultracapacitores en la como sistemas de almacenamiento.

### 1.5 Hipótesis

El uso de técnicas de ultrasonido durante la síntesis de ultracapacitores permitirá una mejor mezcla entre sus constituyentes, lo que podría resultar en una mayor capacidad de almacenamiento de energía eléctrica.

### 1.6 Justificación del Proyecto

La mayoría de los investigadores atribuyen el primer modelo de ultracapacitor al físico alemán Hermann von Helmholtz en 1853, que estudiaba el efecto de la doble capa eléctrica sobre el que se sustenta el funcionamiento de dicho dispositivo. Sin embargo, no fue hasta principios de 1950 cuando se presentó la primera patente de SC de la mano de la Compañía General Electric. El condensador desarrollado por General Electric reemplazaba la interfaz cerámica o polimérica que se sitúa habitualmente entre las placas del condensador, por electrodos de carbón poroso (permitiendo así aumentar el área de la placa y por tanto la capacidad del condensador) y utilizaba los mecanismos capacitivos de doble capa desarrollados por Helmholtz para almacenar la carga.

Los ultracapacitores son una tecnología en vías de desarrollo caracterizados por almacenar la energía electrostáticamente en la superficie de un material, en lugar de químicamente como en el caso de las baterías. La clave del alto rendimiento de los

ultracapacitores es la gran área superficial que tienen disponible para almacenar la carga electrostáticamente, almacenándola en una doble capa mucho más delgada que la que puede lograrse con cualquier dieléctrico. Con muy pocas aplicaciones comerciales hasta hace relativamente pocos años, el estudio de estos dispositivos no se ha perseguido hasta que los avances en la ciencia de los materiales han permitido alcanzar un mejor rendimiento en la fabricación y reducción de costes. Estos dispositivos se basan en materiales de alto rendimiento que permiten una muy alta densidad de potencia. En función de los materiales que se utilicen para la construcción de los electrodos, se clasifican en distintos tipos de ultracapacitores

La presente investigación resulta muy relevante, debido a que se propone el uso de técnicas de ultrasonido para incrementar la capacidad de almacenamiento de energía eléctrica. Mediante una síntesis de ultrasonido se favorece a la mezcla y se le hace más homogénea que la de los capacitores actuales, con ello se logra una mejor distribución de los constituyentes, lo que puede conferir a los materiales una mayor habilidad para almacenar la energía. A partir de estas atribuciones, se lograría producir bancos de ultracapacitores y bancos híbridos de ultracapacitores con baterías que puedan almacenar mayores cantidades de energía que los actuales.

### 1.7 Limitaciones y Alcances

En la presente investigación nos encontramos con las limitaciones de no poder estar físicamente en las estadías lo que implica no poder hacer pruebas físicas con los ultracapacitores, debido a la pandemia Covid- 19, sin embargo a partir de la revisión bibliográfica y de los estudios que se analizaron se pueden determinar algunas desventajas y puntos a trabajar sobre los ultracapacitores.

- El ultracapacitor es incapaz de utilizar el espectro de energía totalmente, dependiendo del uso no toda la energía está disponible.
- La densidad baja de energía lleva a cabo típicamente un quinto a un décimo de energía de una batería electroquímica.
- Las células tienen bajas tensiones, es por eso que las conexiones seriales son necesarias para obtener voltajes más altos.
- Se requiere balancear el voltaje si más de tres ultracapacitores están conectados en serie.

Actualmente se están investigando una variedad de tecnologías prometedoras con la idea de aumentar las densidades de energía y eliminar los componentes más tóxicos de los sistemas de almacenamiento de energía.

El alcance de esta investigación es presentar un aporte sobre los sistemas de almacenamiento que incluyan ultracapacitores, en la cual las consideraciones de eficiencia en la operación del sistema sean consideradas en cada una de sus clases.

- Los ultracapacitores son utilizados también para alargar la vida útil de las baterías, ya que estos almacenan energía.

- Los ultracapacitores al no depender de reacciones químicas (como las baterías) pueden ser cargados y descargados rápidamente,
- El ultracapacitor entrega la energía almacenada en él, como un pulso eléctrico poderoso.
- Los ultracapacitores es una tecnología renovable y sobre todo amigable con el medio ambiente.

## 1.8 Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz

### *Historia*

La Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz se crea el 9 de noviembre de 2004, como una Institución Pública de Educación Superior, con carácter de Organismo Público Descentralizado del Gobierno del Estado, con personalidad jurídica y patrimonio propios, lo que fue publicado en la Gaceta Oficial del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, Número 224, Tomo CLXXI.

Finalmente, el 3 de enero de 2005 iniciaron oficialmente las actividades de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz “UTCv”, y la primera generación, 2005-2006, inició sus estudios en el nivel Técnico Superior Universitario con una matrícula de 199 estudiantes en las instalaciones prestadas del Centro de Estudios Tecnológico Industrial y de Servicios 164, en el municipio de Cuitláhuac, Ver.

En la Gaceta Oficial del Órgano del Gobierno del Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, en el Tomo CLXXXVI del día 12 de julio de 2012, se amplió la oferta educativa de la Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz, para ofrecer programas de continuidad de estudios para sus egresados y egresadas del nivel Técnico Superior Universitario o Profesional Asociado de otras Instituciones de Educación Superior, que permita a la comunidad estudiantil alcanzar el nivel académico de Licenciatura.

### *Misión*

Formar profesionistas responsables, creativos y competentes a nivel nacional e internacionalmente, mediante una educación tecnológica, científica e integral, basada en procesos, certificados y acreditados, asegurando el cumplimiento de la Nueva Escuela Mexicana, a fin de impactar positivamente en la sociedad.

### *Visión*

Ser considerada una institución referente en el marco nacional e internacional a través de su calidad educativa y de servicios, con un enfoque sustentable, coadyuvando al fortalecimiento de una sociedad incluyente.

### *Objetivos*

- Tener egresados y egresadas que se reconozcan nacional e internacionalmente por la calidad de su formación, lo que permite colocarse rápidamente en el sector productivo.

- Tener una mayor participación en programas de becas de movilidad nacional e internacional.
- Ampliar el contacto con el sector productivo y social para el desarrollo de las prácticas de su alumnado.
- Contar con un mejor entorno para el desarrollo de las actividades, controlando y reduciendo los impactos ambientales.
- Fomentar la cultura de prevención y cuidado del medio ambiente.
- Trabajar con un enfoque de mejora continua y la promoción de valores.
- Desarrollar proyectos con un enfoque sustentable.
- Identificar y gestione el enfoque basado en riesgo.

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

### 2.1 Caracterización del sistema fotovoltaico autónomo

El desarrollo de la investigación sobre almacenamiento de energía por ultracondensadores en sistemas fotovoltaicos autónomos, está encaminada en la línea de investigación, correspondiente a nuevas tecnologías y desarrollo de energías alternativas.

El panel solar posee las características técnicas para suministrar una tensión P máxima de 17.6 V, corriente P máxima de 3.41 y potencia máxima de 60 W, las que son óptimas para almacenar carga en los condensadores de acuerdo con su desempeño. A partir de estos términos, se hace la caracterización del sistema fotovoltaico autónomo a través de la toma de valores de tensión, corriente, radiación solar, temperatura ambiente y el estado del clima.

Los valores máximos y mínimos de referencia promedio se observan en la Tabla 2, que, junto con la revisión y verificación de los planos y datos técnicos de fabricación del panel solar, y la supervisión de cada uno de los elementos componentes, se anticipan posibles sobrecargas, garantizándose un aprovechamiento efectivo del sistema fotovoltaico.

Tabla 2. Valores mínimos y máximos de tensión, corriente y potencia del circuito resistivo

Características	Valores máximos	Valores mínimos
Tensión sobre carga	21.8 V	12. 51 V
Corriente sobre carga	2 A	1.2 A
Potencia nominal	43.164 W	15.012 W

### 2.2 Diseño y construcción del banco de ultracondensadores

Los ultracapacitores proporcionan una capacitancia de variación de 1F hasta 3.000F.

Sin embargo, los ultracondensadores pueden soportar una tensión nominal entre 2.5 V a 2.7 V, por lo que, para aumentar la capacitancia y tensiones, se conectan en circuito serie o paralelo o combinación de las dos para formar un banco, de manera que se potencializan las características eléctricas ya mencionadas.

Desde esta perspectiva, entre las principales ventajas que tienen los ultracondensadores se destaca su capacidad de almacenar gran densidad energética (energía/masa) y densidad de potencia (potencia/masa).

Con estos indicadores se evalúa la capacidad de almacenamiento e intercambio de energía por unidad de masa conocido como diagrama de Ragone. La ilustración 8, muestra la comparación entre los diferentes tipos de baterías.

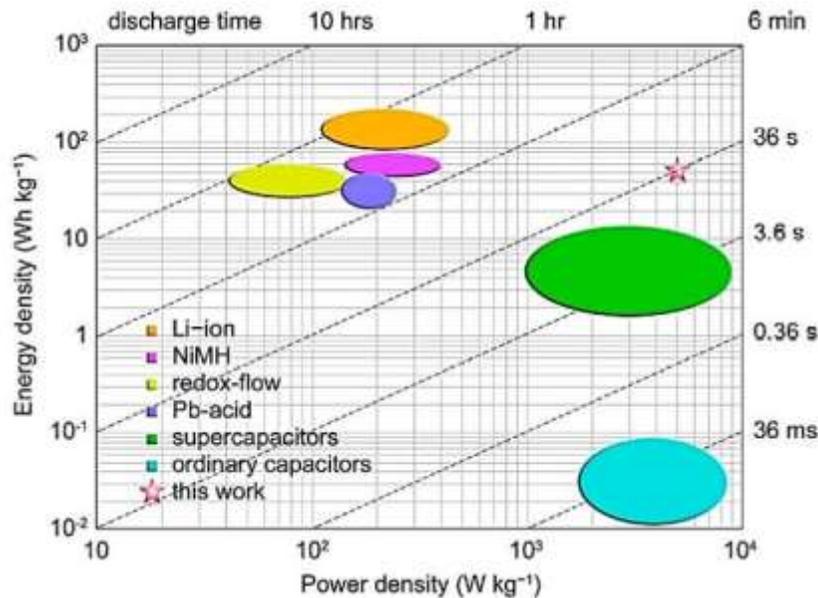


Ilustración 10. Diagrama de Ragone.

Para el diseño del BUC se emplean cinco ultracondensadores, cada uno de 500 F a 2.7 V nominales. A continuación, se ilustra la realización de los cálculos de los circuitos serie y paralelo del BUC.

### 2.3. Análisis circuito serie con ultracondensadores

El desempeño del circuito de ultracondensadores en serie con una capacitancia total de 100 F, se reduce una quinta parte de un solo elemento, como se observa en la ilustración 9. La alimentación del circuito se realiza con una tensión de 13.5 V y al descargarlos se obtiene la misma tensión aproximadamente.



Ilustración 11. Conexión de ultracapacitores en serie.

En la ilustración 10 se muestra el montaje de carga y descarga en serie la alimentación de forma directa al cargar y el circuito con la resistencia en la descarga.



Ilustración 12. Circuito de carga y descarga con los ultracapacitores.

En la Tabla 3 se observan los valores de carga y descarga durante 30 segundos, arrojándose una corriente aproximada de 3 A y una tensión de salida de 12 V, inicialmente suministrando una potencia nominal de 34.56 W.

Tabla 3. Suministro de los primeros 30s en el circuito.

Tiempo (s)	Carga		Descarga	
	Tension (V)	I (A)	Tension(V)	I (A)
0	0,543	2,48	2,54	-2,88
3	0,611	2,44	2,25	-2,73
6	0,637	2,37	2,2	-2,79
9	0,733	2,25	2,07	-2,73
12	0,822	2,16	1,95	-2,63
15	0,905	2,05	1,86	-2,47
18	0,974	1,97	1,77	-2,36
21	1,07	1,88	1,66	-2,19
24	1,13	1,81	1,57	-2,09
27	1,199	1,72	1,5	-1,98
30	1,281	1,64	1,44	-1,9

## 2.4. Análisis circuito paralelo con ultracondensadores

Para el análisis del circuito con ultracondensadores en paralelo se conecta una fuente de alimentación a 2.7 V, al presentarse una mayor tensión de los ultracondensadores se sobrecalientan un poco pero no explotan como es usual en los ultracondensadores electrolíticos convencionales. La ilustración 1 muestra el circuito en paralelo.



Ilustración 13. Circuito de carga y descarga con los ultracapacitores en paralelo.

En la Tabla 4, se observa la carga y descarga del circuito en paralelo; la descarga es más lenta por un periodo de más largo, siendo una gran ventaja para el diseño a partir de una tensión inferior a la fuente de alimentación y se obtiene una potencia nominal de inicial 5.874 W.

Tabla 4. Resultados de carga y descarga del circuito paralelo con ultracapacitores.

Tiempo (s)	Carga			Descarga	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Voltaje	Corriente
0	0,537	2,42	2,46	2,2	-2,67
10	0,54	2,46	2,46	2,19	-2,84
20	0,49	2,58	2,47	2,18	-2,87
30	0,563	2,63	2,48	2,15	-2,87
40	0,578	2,61	2,48	2,13	-2,84
50	0,593	2,62	2,48	2,11	-2,82
60	0,608	2,61	2,47	2,09	-2,77
70	0,624	2,59	2,47	2,06	-2,69
80	0,64	2,57	2,47	2,04	-2,75
90	0,658	2,52	2,47	2,02	-2,69
100	0,67	2,51	2,47	2	-2,72
110	0,688	2,46	2,47	1,99	-2,7
120	0,702	2,48	2,46	1,96	-2,68
130	0,715	2,54	2,46	1,94	-2,65
140	0,73	2,53	2,45	1,91	-2,62
150	0,745	2,5	2,44	1,89	-2,59
160	0,762	2,48	2,44	1,88	-2,56
170	0,774	2,47	2,44	1,86	-2,53
180	0,788	2,45	2,43	1,84	-2,51
190	0,802	2,44	2,43	1,82	-2,48
200	0,818	2,37	2,43	1,81	-2,46
210	0,834	2,35	2,44	1,78	-2,42
220	0,844	2,31	2,45	1,77	-2,41

## CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL PROYECTO

### 3.1 Agrupación del BUC

Del análisis de los circuitos en serie y en paralelo, se sigue la evaluación del desempeño de las características eléctricas del BUC para lograr ventajas como la descarga lenta presentada en el circuito paralelo, así como el buen suministro de corriente en el circuito serie; por lo anterior, se diseña el banco como una matriz de cinco ultracondensadores en serie por cuatro en paralelo. La ilustración 12 muestra el BUC con la capacitancia total de 625 F; se alimenta el BUC con 12 V del sistema fotovoltaico autónomo, obteniendo un módulo de almacenamiento de energía adicional.



*Ilustración 14. Agrupación del banco de capacitores.*

Se realiza la práctica experimental de carga y descarga del banco de ultracondensadores conectado al sistema fotovoltaico autónomo; además, se verifica y observa el desempeño del comportamiento de tensión y corriente acorde a los resultados observados en los circuitos serie y paralelo. En la Figura 7 se muestra la puesta en marcha del BUC.



*Ilustración 15. Práctica de carga y descarga del banco con ultracapacitores.*

Los datos de la carga y descarga de banco de los ultracondensadores, tabulados en la Tabla 5, muestran que arroja una potencia nominal inicial de 60 W, la que durante 60 segundos de desempeño del BUC se reduce a cerca de 40 W, cumpliéndose con el objetivo planteado.

Tabla 5. Valores de tensiones, corrientes y potencia del banco de ultracapacitores.

Tiempo (s)	Carga		Descarga		Potencia	
	Tensión	Corriente	Voltaje	Corriente	Carga	Descarga
0	0,628	2,14	11,81	-5,03	1,34392	59,4043
10	0,72	2,14	10,71	-4,66	1,5408	49,9086
20	0,816	2,14	10,42	-4,44	1,74624	46,2648
30	0,912	2,14	10,21	-4,29	1,95168	43,8009
40	1,091	2,14	10,02	-4,16	2,33474	41,6832
50	1,178	2,14	9,83	-4,05	2,52092	39,8115
60	1,263	2,14	9,66	-3,94	2,70282	38,0604

### 3.1. Densidad de energía en la carga almacenada en el BUC

La energía acumulada total por un determinado tiempo es conocida como la densidad de energía; para determinarla, se emplea la ecuación (1), donde P representa la potencia eléctrica. Por otro lado, se tiene la tensión máxima, la resistencia interna, los tiempos y la constante de tiempo que se obtuvo a partir de la práctica experimental de carga y descarga del BUC.

$$P = \frac{V^2}{R} \int_0^T e^{-t/RC} dt \quad (1)$$

Donde

$$E = \int_0^T P dt \quad (2)$$

La ecuación (2) representa la densidad de energía figurada por la integral de potencia eléctrica en un determinado tiempo. La respuesta de la ecuación (2), representada en la ecuación (3), indica las variables de la energía almacenada en el banco.

$$E = -V^2 C \left( e^{-T/RC} - 1 \right) \quad (3)$$

Los valores de capacitancia y tensión almacenados en el BUC están dados por las variables (4) y (5).

$$C = 625 F \tag{4}$$

$$V = 10.8 V \tag{5}$$

Los valores de las variables (6) y (7) son los de la variable  $t$  —el tiempo medido en la carga total—, y los de  $T$  que representa la constante de tiempo calculada por la resistencia interna hallada en el BUC.

$$RC(t) = 3125 s \tag{6}$$

$$T = 5400 s \tag{7}$$

Por último, se reemplazan los anteriores valores en la ecuación (8), pudiéndose determinar la cantidad de energía almacenada con respecto al tiempo.

$$E = (10.8 V)^2 (625 F) \left( e^{-t/T} - 1 \right) J \tag{8}$$

La energía total almacenada en el banco de ultracondensadores es:

$$E = (32076) J$$

Para hallar la densidad de energía total,  $Wh$  (watts horas), se determina que 1 Joule = 0.0002778Wh, para obtener por la ecuación (9).

$$Wh = \frac{32076 J \times 0.0002778 Wh}{1 J} \tag{9}$$

$$Wh = 8.91071 \cong 9$$

La ilustración 14 representa la energía almacenada del banco de ultracondensadores.

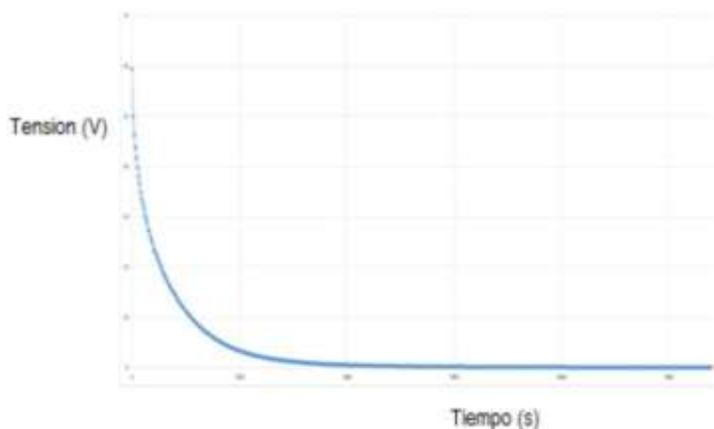


Ilustración 16. La energía almacenada del banco de ultracapacitores.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

### 4.1 Resultados

El sistema de iluminación basado en lámparas LED poseen múltiples ventajas en ahorro, eficiencia energética, durabilidad, resistencia y bondades medio ambientales, además de lo más importante que es su bajo consumo, razón por la que se opta en la implementación del módulo. En la ilustración 17 se muestra una variación de corriente con una caída muy lenta, siendo esto un indicador de buen desempeño porque se aprovecha en gran parte la potencia eléctrica por ser de bajo consumo.



Ilustración 17. Desarrollo de Corriente en el sistema de iluminación.

En la Tabla 6 se observan las características eléctricas que conforman el módulo de almacenamiento de energía para un sistema de iluminación solar fotovoltaico basado en ultracondensadores, donde se evidencia que el sistema, al ser de respaldo, es de bajo consumo en un tiempo de encendido de dos horas.

Tabla 6. Características eléctricas del sistema de iluminación.

<b>Tensión</b>	<b>12 V DC</b>
Corriente	2 A
Potencia suministrada por los ultracondensadores.	36 W
Potencia consumida	26,4 W
Potencia total de los Led	30 W
Tiempo de encendido	2 horas aprox

## 4.2 Conclusiones

- El uso de nuevas técnicas como el ultrasonido podrían favorecer el descubrimiento de nuevos materiales de almacenamiento, cuyas propiedades o características se vean incrementadas favoreciendo su rendimiento o capacidad.
- La aplicación de técnicas de ultrasonido para la síntesis de ultracapacitores en el proceso de implementación del BUC, podrían proveer del recurso energético necesario para incrementar el tiempo de encendido de 2 h o aumentar la cantidad de carga en el circuito.

## 4.3 Trabajos futuros

Realizar investigaciones a mayor escala sobre el comportamiento de las mezclas homogéneas a partir de las técnicas de ultrasonidos, de esta manera profundizar un poco más sobre las consecuencias que tendrían en el campo de los ultracapacitores.

## 4.4 Recomendaciones

En referencia a los resultados obtenidos, se recomienda trabajar más la parte experimental y realizar una metodología diferente en el diseño del banco de ultracapacitores, para hacer una comparación de ambos resultados.

## Anexos

### Anexo 1

Los países en azul y rosa están comprometidos con la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.



Ilustración 18. Mapa global de objetivos en las energías renovables.

### Anexo 2

1. Terminales, 2. Ventilación, 3. Disco de sellado hermético, 4. Lata de aluminio, 5. Polo positivo, 6. Separador, 7. Electrodo, 8. Colector, 9. Electrodo, 10. Polo negativo.

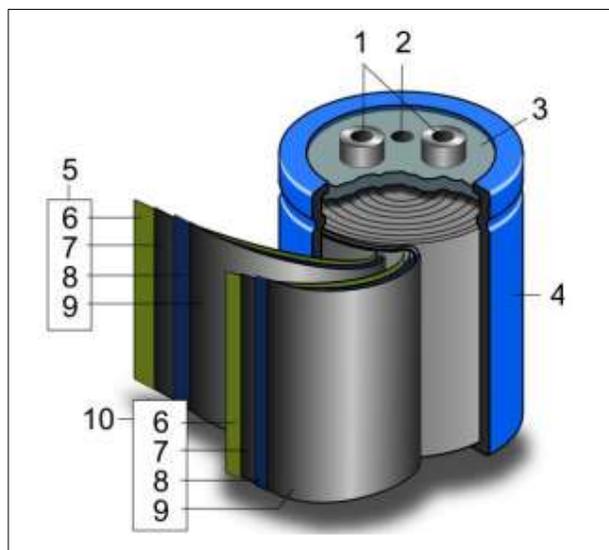


Ilustración 19. Detalles de construcción de un ultracapacitor de doble capa.

### Anexo 3.

Tabla 7. Comparación de las propiedades físico-químicas de los distintos materiales de ultracapacitores.

*Alto: ☺☺☺☺, Medio: ☺☺, Bajo: ☺, Muy bajo: ●*

Propiedades fisicoquímicas	Materiales de carbono	Óxidos metálicos	Polímeros conductores
Capacidad no farádica (doble capa)	☺☺☺☺	☺☺	☺☺
Capacidad farádica (pseudocapacidad)	●	☺☺☺☺	☺☺☺☺
Conductividad	☺☺☺☺	☺	☺☺☺☺
Densidad energética	☺	☺☺☺	☺☺
Densidad de potencia	☺☺☺	☺	☺☺
Coste	☺☺	☺☺☺	☺☺
Estabilidad química	☺☺☺☺	☺	☺☺☺
Ciclo de vida	☺☺☺☺	☺☺	☺☺
Facilidad de fabricación	☺☺	☺	☺☺☺
Flexibilidad	☺☺	●	☺☺☺

### Anexo 4.

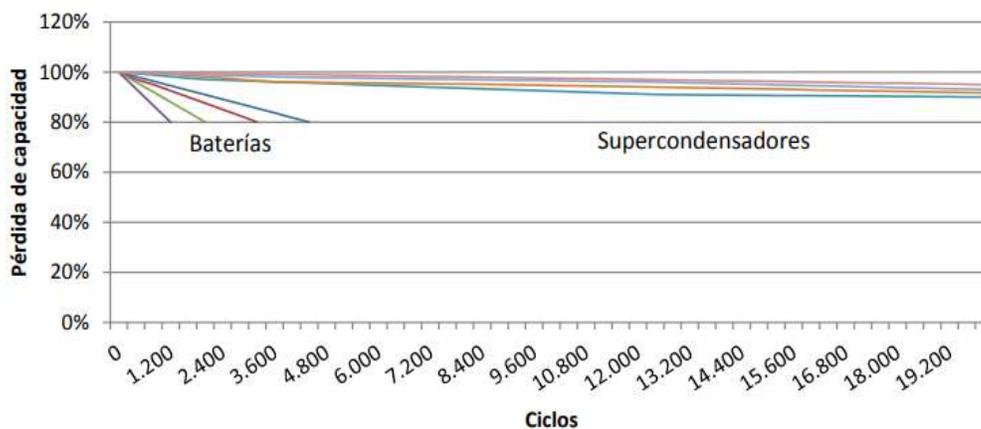


Ilustración 20. Esperanza de vida en ciclos de carga y descarga de baterías y ultracapacitores.

## Bibliografía

- Chetto, M., & Queudet, A. (2020). Sistemas de tiempo real autónomos en energía. Reino unido: ISTE International.
- Conway, B. E. (1999). Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamentals and Technological Applications. Ontario, Canadá.
- ElectronicaPTY. (2017). Recuperado el 16 de febrero de 2021, de 2017: <http://www.electronicapty.com/component/k2/item/36-el-capacitor/36-el-capacitor>
- Halper, M. S., & Ellenbogen, J. C. (Marzo de 2006). Supercapacitors: A Brief Overview. Virginia, Estados unidos de América.
- Hielscher ULtrasound Technology*. (s.f.). Recuperado el 12 de marzo de 2021, de [https://www.hielscher.com/es/homogenize\\_01.htm](https://www.hielscher.com/es/homogenize_01.htm)
- Mangostino, M., Arbizzani, C., & Francesca, S. (2001). Polymerbased supercapacitors, Journal of power sources.
- Martínez, S. F., Angulo, A., López, G., & Harold, V. (Enero de 2017). Research Gate. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/338335412\\_Almacenamiento\\_de\\_energia\\_usando\\_ultracondensadores\\_en\\_sistemas\\_fotovoltaicos\\_autonomos](https://www.researchgate.net/publication/338335412_Almacenamiento_de_energia_usando_ultracondensadores_en_sistemas_fotovoltaicos_autonomos)
- Méndez, E. F., Arrobo, E. V., & Morocho, A. F. (23 de abril de 2020). Supercapacitores como aporte al desarrollo energético eléctrico, análisis comparativo mediante herramientas computacionales de simulación aplicadas. Revista espacios, 4, 29. Recuperado el 18 de marzo de 2021
- Mirez Tamiño, J. L. (17 de Noviembre de 2012). Sistemas de almacenamiento de energía. Lima, Peru.
- Perpiñán Lamigueiro, O. (2012). Recuperado el 12 de febrero de 2021, de [https://oscarperpinan.github.io/esf/SFA\\_Componentes.pdf](https://oscarperpinan.github.io/esf/SFA_Componentes.pdf)
- Santos De la cruz, E., Cancino Viera, N., Yenque Dedios, J., Ramírez Morales, D., & Palomino Pérez, M. (2005). El ultrasonido y su aplicación. Revista de la facultad de ingeniería industrial, 4 paginas.
- Schallenberg Rodríguez, J. C., & Piernavieja Izquierdo, G. (2008). Energías renovables y eficiencia energética. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
- Zetina, Á., Zetina M., Á., & Zetina C., Á. (2004). Electrónica básica. MEXICO: LIMUSA.