



UNIVERSIDAD UTE

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA

**EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉCNICO DE LOS
SUPERCAPACITORES EN LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
SOLARES AISLADOS EN LA EMPRESA DE SERVICIOS
ELECTROMECÁNICOS MANTIS.**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA ELECTROMECÁNICA**

JELITSA LINOSKA CHUM RODRÍGUEZ

DIRECTOR: LIC. IVES TORRIENTE GARCIA, *MSc*

Santo Domingo, junio 2019

© Universidad UTE. 2019

Reservados todos los derechos de reproducción

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1716889637
APELLIDO Y NOMBRES:	Chum Rodríguez Jelitsa Linoska
DIRECCIÓN:	Rosales 4ta etapa Conjunto Valle Bombolí
EMAIL:	jelychumpecsui@hotmail.com
TELÉFONO FIJO:	2750173
TELÉFONO MÓVIL:	0982213953

DATOS DE LA OBRA	
TITULO:	Evaluación del desempeño técnico de los supercapacitores en los sistemas fotovoltaicos solares aislados en la empresa de servicios electromecánicos Mantis
AUTOR O AUTORES:	Chum Rodríguez Jelitsa Linoska
FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	12 de junio de 2019
DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:	Lic. Ives Torriente García, MsC
PROGRAMA	PREGRADO <input checked="" type="radio"/> POSGRADO <input type="checkbox"/>
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Electromecánica
RESUMEN: Mínimo 180 y máximo 250 palabras	<p>El estudio que se realizó en la presente investigación muestra una comparación del desempeño de los supercondensadores y las baterías de Li-ion en los sistemas fotovoltaicos aislados. La investigación se efectuó en la empresa de mantenimiento MANTIS de la ciudad de Santo Domingo. En un primer capítulo se evidencian todos los aspectos teóricos que sustentaron el estudio, así como la definición del problema y los objetivos a alcanzar. Posteriormente en un segundo capítulo se describe toda la metodología ejecutada, se indican los procedimientos para lograr las mediciones que facilitan los criterios comparativos sobre el desempeño de los dispositivos acumuladores de energía en los</p>

	sistemas fotovoltaicos aislados (SFA). Más adelante en el tercer capítulo se revelan los resultados y se explican las consecuencias de los mismos para el sistema, de igual manera se hace un análisis de los resultados obtenidos valorando la factibilidad de los elementos y sus perspectivas de uso en el mercado. Al finalizar el informe se declara a través de las conclusiones las ventajas del uso de supercondensadores en los sistemas fotovoltaicos aislados.
PALABRAS CLAVES:	Sistemas Fotovoltaicos Aislados, Supercapacitores, Desempeño Técnico, baterías Li-ion.

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



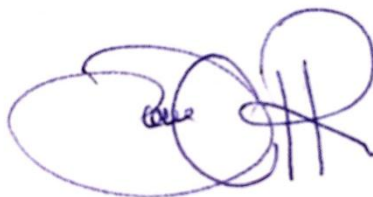
CHUM RODRÍGUEZ JELITSA LINOSKA
C.I 1716889637

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **CHUM RODRÍGUEZ JELITSA LINOSKA**, CI 1716889637 autora del proyecto titulado: **Evaluación del desempeño técnico de los supercapacitores en los sistemas fotovoltaicos solares aislados en la empresa de servicios electromecánicos Mantis** previo a la obtención del título de **INGENIERA ELECTROMECAÁNICA** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo, 12 de junio de 2019



CHUM RODRÍGUEZ JELITSA LINOSKA
C.I 1716889637

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de titulación que lleva por título “**Evaluación del desempeño técnico de los supercapacitores en los sistemas fotovoltaicos solares aislados en la empresa de servicios electromecánicos Mantis.**”, para aspirar al título de **INGENIERA ELECTROMECAÁNICA** fue desarrollado por **CHUM RODRÍGUEZ JELITSA LINOSKA**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y que dicho trabajo cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a la evaluación respectiva de acuerdo a la normativa interna de la Universidad UTE.



Lic. Ives Torriente MsC.

DIRECTOR DEL TRABAJO

C.I. 1726990086



SISTEMAS INTEGRADOS DE MANTENIMIENTO

Santo Domingo a 25 de enero de 2019

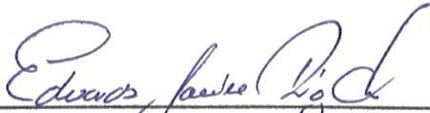
Estimado,
Ing. Xavier Orbea
Coordinador de la carrera de Electromecánica

Por medio de la presente, me dirijo a usted y a la comisión de investigación de la Carrera de Electromecánica, para comunicarle el interés investigativo que tenemos en nuestra empresa MANTIS, dedicada a SISTEMAS INTEGRADOS DE MANTENIMIENTO, en el proyecto investigativo "EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO TÉCNICO DE LOS SUPERCAPACITORES EN SISTEMAS FOTOVOLTAICOS SOLARES AISLADOS". Para nuestra Empresa es de vital importancia que este proyecto técnico sea desarrollado por un estudiante de la Carrera que usted dirige. En función de tal necesidad, queremos establecer los compromisos de la empresa siguientes:

1. Acceso a la información de la empresa requerida para realizar la investigación
2. Autorización de entrada a la empresa
3. Recopilación de datos en la empresa
4. Instrumentos
5. Equipos
6. Insumos
7. Recursos informáticos

Por la atención que se digne dar al presente anticipo mi agradecimiento.

Cordialmente,

f: 

Ing. Eduardo Javier Díaz Chicaiza

CI:1714701644



DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía, acompañante y por haberme permitido llegar hasta este importante momento de mi vida profesional.

A mi madre, Silvia, mi ejemplo de mujer, mi mayor inspiración, por ser el pilar fundamental en mi vida y por apoyarme incondicionalmente y por demostrarme siempre su amor.

A mi padre, John, a pesar de nuestra distancia física, siempre ha estado conmigo y aunque no esté junto a mí, sé que este momento es también especial para él como para mí.

A mis hermanas, Aitana y María Victoria, quienes con sus risas animaban cada caída.

A mi esposo, Ángel, mi compañero de vida, quien con su apoyo, sus consejos, su amor y paciencia me ayudó a concluir esta meta.

A mi hijo, mi pequeño angelito, quien alegra mis días y a quien amo infinitamente.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por darme vida, fuerza y ser siempre mi fortaleza a lo largo de este camino.

A mis padres, por haberme permitido trazar mi camino y otorgarme las herramientas necesarias para empezar mi vida profesional, quienes a través de su amor y buenos valores me ayudaron a llegar aquí.

A mi esposo y a mi hijo por ser mi motor, mis angelitos, mi motivo para seguir adelante, es mi pequeña familia y engrandece mi ser día a día.

Finalmente, gracias al Lic. Ives Torriente MsC. por su confianza y apoyo, por haber compartido sus conocimientos conmigo y por ser no solo mi tutor, sino mi amigo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR	3
1.2 SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS AISLADOS	4
1.3 DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA	6
1.3.1 BATERIAS ELÉCTRICAS	6
1.3.1.1 Modelos de Baterías	8
1.3.1.2 Baterías de Litio	9
1.3.2 SUPERCONDENSADORES O SUPERCAPACITORES	10
1.3.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.4. OBJETIVO GENERAL	11
1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
2. METODOLOGÍA	12
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	12
2.2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO	12
2.3. VARIABLES OBTENIDAS EN LA MEDICIÓN.	15
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS	16
3.2. MEDICIONES OBTENIDAS	16
3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	19
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21
4.1. CONCLUSIONES	21
4.2. RECOMENDACIONES	21
BIBLIOGRAFÍA	23
ANEXOS	26

ÍNDICE DE TABLA

	PÁGINA
Tabla 1 Tiempo (h) de las descargas de los acumuladores	16
Tabla 2 Índice de radiación período I	16
Tabla 3 Índice de radiación período II	17
Tabla 4 Tensión período I	18
Tabla 4 Tensión período II	18

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1 Insolación Directa Anual del Ecuador	3
Figura 2 Esquema de un Sistema Solar de Interconexión	5
Figura 3 Esquema de un Sistema Solar Aislado	5
Figura 4 Modelo equivalente Thevenin	8
Figura 5 Supercondensadores de Sistemas Aislados	10
Figura 6 Esquema para determinación de ciclos de cargas	13
Figura 7 Esquema de la estructura implementada	14
Figura 8 Esquema de conexión del DAQ 6008 NI (Labview)	15
Figura 9 Gráfico del índice de radiación período I	17
Figura 10 Gráfico del índice de radiación período II	17
Figura 11 Gráfico de Tensión Período I	18
Figura 12 Gráfico de Tensión Período II	19

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO 1. REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON LOS CIRCUITOS NECESARIOS	26
ANEXO 2. LUGAR DE REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS (TALLER ESPECIALIZADO)	27

RESUMEN

El estudio que se realizó en la presente investigación muestra una comparación del desempeño de los supercondensadores y las baterías de Li-ion en los sistemas fotovoltaicos aislados. La investigación se efectuó en la empresa de mantenimiento MANTIS de la ciudad de Santo Domingo. En un primer capítulo se evidencian todos los aspectos teóricos que sustentaron el estudio, así como la definición del problema y los objetivos a alcanzar. Posteriormente en un segundo capítulo se describe toda la metodología ejecutada, se indican los procedimientos para lograr las mediciones que facilitan los criterios comparativos sobre el desempeño de los dispositivos acumuladores de energía en los sistemas fotovoltaicos aislados (SFA). Más adelante en el tercer capítulo se revelan los resultados y se explican las consecuencias de los mismos para el sistema, de igual manera se hace un análisis de los resultados obtenidos valorando la factibilidad de los elementos y sus perspectivas de uso en el mercado. Al finalizar el informe se declara a través de las conclusiones las ventajas del uso de supercondensadores en los sistemas fotovoltaicos aislados.

Palabras Clave: Sistemas Fotovoltaicos Aislados, Supercapacitores, Desempeño Técnico, baterías Li-ion.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una tendencia a nivel mundial en el uso de las fuentes renovables para la generación de energía eléctrica. Esto surge principalmente por el incremento de las demandas energéticas de los consumidores, por el agotamiento de los combustibles fósiles y por los problemas ambientales producto de los derramamientos de petróleo en los océanos entre otras situaciones que motivan al estudio de los recursos renovables para la obtención de energía (Dominguez, 2017). En las últimas décadas unas de las fuentes renovables más estudiadas han sido la energía solar y la eólica, y la primera es la que más se ha investigado para la generación de energía eléctrica (Velasco, 2015).

De manera global existe una preferencia a la vinculación de los avances tecnológicos para el desarrollo de las energías renovables no convencionales como los recursos hídricos, eólico y solares; y su mayor impacto es perceptible en los países con mayor desarrollo económico como Estados Unidos, Japón, China, Canadá y algunos de la Unión Europea debido a que tienen una mayor demanda de energía (Soete, Schneegans, Eröcal, Angathevar, & Rasiah, 2015), por lo tanto es considerable la necesidad de investigar mejoras para los procesos de aprovechamiento energético. Además según (Díaz, Cano, & Murphy, 2016) plantean que en América Latina las energías renovables también están teniendo un aumento notable debido a las fuertes demandas de energía por el alto consumo de la misma; la alternativa de exportar energía hacia países vecinos como el caso de Ecuador, el aumento de la competitividad de estas tecnologías, entre otros criterios han potenciado la generación de energías renovables no convencionales.

En el caso particular del estudio de la generación de energía a través de paneles solares con celdas fotovoltaicas, se ha visto que una de las mayores dificultades técnicas que se originan en este ámbito es el proceso de almacenamiento de la energía (Dominguez, 2017). La durabilidad de estos dispositivos de almacenamiento unido a la capacidad de autonomía para ser utilizado en entornos aislados como comunidades rurales, son unos de los desafíos tecnológicos que ameritan una investigación para favorecer el servicio de energía eléctrica en diversos sectores del país de forma sostenible sin afectar significativamente el medio ambiente y aprovechar las energías renovables no convencionales.

1.1 ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR

En el caso específico de Ecuador, las fuentes de energía tradicionales y de mayor uso han sido las que provienen de los recursos hídricos (Hidroeléctricas) y la de combustibles fósiles (Termoeléctricas); donde la primera es una fuente renovable y abarca más del 50% de generación de energía en el país (CONELEC, 2014). A partir del 2008 el gobierno ecuatoriano comenzó todo un proyecto para cambiar la matriz productiva, donde el uso de fuentes de energía renovables fue prioritario para la administración central del gobierno, a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) se fomentó el desarrollo de estas fuentes de energía principalmente la hidroeléctrica para abastecer y cubrir el servicio eléctrico a nivel nacional, llegando sobre todo a las zonas más aislados como el sector rural (CONELEC, 2014).

Independientemente de que los recursos hídricos son los más aprovechados para la generación de energía limpia, existe un alto potencial para la obtención de energía mediante el potencial solar, ya que dado la posición geográfica del Ecuador facilita una interacción continua con la radiación solar (CONELEC, 2014). De igual manera el aprovechamiento de este tipo de fuente aún es de baja escala dado el alto costo de implementar sistemas solares de energía. Las empresas industriales de la región sierra son las que se destacan por la incorporación de paneles solares para la reducción del consumo energético. En la figura 1 se muestra la imagen del atlas solar del Ecuador para fines de generación de energía eléctrica por radiación solar.

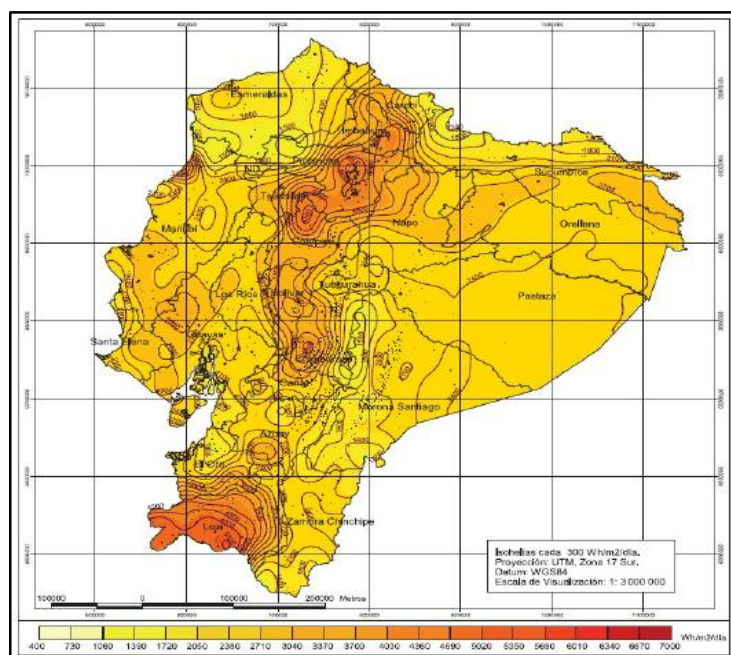


Figura 1 Insulación Directa Anual del Ecuador (Lata, 2015)

Es notorio en la imagen que el área de mayor incidencia de rayos solares está ubicada en la región sierra, donde las provincias con un alto índice de exposición son Chimborazo, Cotopaxi, Pichincha, Napo, Imbabura y el Carchi. Considerando estos elementos se puede afirmar que para la región costa el potencial de radiación no tiene la misma significancia que para la región sierra. Dado que en la región costa donde se encuentra la ciudad de Santo Domingo, no hay índices de insolación de alta incidencia, es necesario que los sistemas solares tengan la capacidad energética para brindar una autonomía prolongada a través de los dispositivos de almacenamiento de energía.

Una de áreas de mayor interés investigativos dentro de los sistemas solares fotovoltaicos son los dispositivos de almacenamiento de energía, pues la mayor dificultad en los sistemas fotovoltaicos para el uso de la energía solar son las tradicionales baterías de acumuladores (plomo ácido) y las de níquel cadmio, que son eficientes pero no factibles para un proceso de reutilización y sostenibilidad (Hernández Mora, Gaona García, & Cruz Moreno, 2017). Este tipo de falencia técnica ha generado estudios sobre las fuentes de almacenamiento de energía como los realizados por (Dominguez, 2017), (Gil, 2012), (Hernández Mora, Gaona García, & Cruz Moreno, 2017), donde se destaca como alternativa de solución adecuada el uso de supercapacitores.

1.2 SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS AISLADOS

En la región de investigación pocas empresas disponen de sistemas fotovoltaicos, con este tipo de recurso se destaca PRONACA, con la mayor implementación de estos dispositivos. Los sistemas fotovoltaicos están formados por células fotovoltaicas de dos tipos de materiales, las de silicio y las compuestas. Las de silicio se agrupan en las de silicio monocristalina, policristalina y amorfas, siendo las segundas más económicas y eficientes con un 16% de eficiencia, muy superior a las demás (Taghvaei, y otros, 2013). En el caso de las compuestas las hay de diversos componentes semiconductores, la mayoría son de alto costo y su nivel de eficiencia no llega al 15 % (Báez Mora , 2018).

Los sistemas fotovoltaicos también se clasifican según su tipo de conexión a la red, y se dividen en dos grupos los conectados a la red y los sistemas aislados, estos últimos son los que se estudian en la presente investigación (Báez Mora , 2018). Cuando el sistema fotovoltaico está conectado a la red eléctrica, existe un excedente de generación de energía necesaria para el consumo diario, esta energía extra se agrega a la red eléctrica pero evitar el

desperdicio de energía, en los casos cuando la radiación del día no es suficiente para generar la energía necesaria se toma energía de la red y de esta manera hay un servicio estable, esto es en los sistemas interconectados a la red (Báez Mora , 2018).

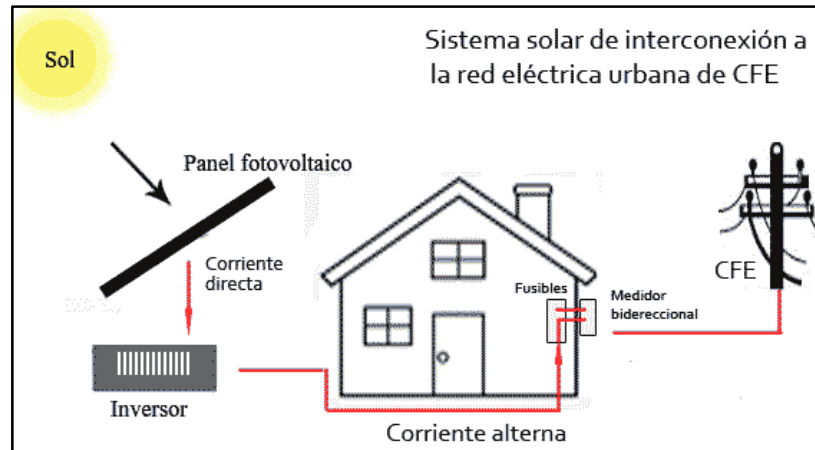


Figura 2 Esquema de un Sistema Solar de Interconexión (Escotel, 2019)

En el caso de los sistemas aislados, o sistemas independientes como le suelen llamar, están diseñados para generar más energía de la necesaria, con la intencionalidad de almacenar el excedente energético en baterías para su posterior uso (Abella, 2010), son los ideales para zonas rurales. Un aspecto importante de este tipo de dispositivos es la ubicación, dado que requiere un entorno geográfico donde impacten los rayos solares con irradiancia significativa y sobre todo alta irradiación (Báez Mora , 2018). La irradiancia se mide en watts por metros cuadrados y normalmente su índice de incidencia sobre la superficie terrestre es de 1100 W/m^2 según (NASA, 2019); por otra parte la irradiación se mide en watts hora por metros cuadrados, lo cual depende de la superficie del dispositivo (Báez Mora , 2018).

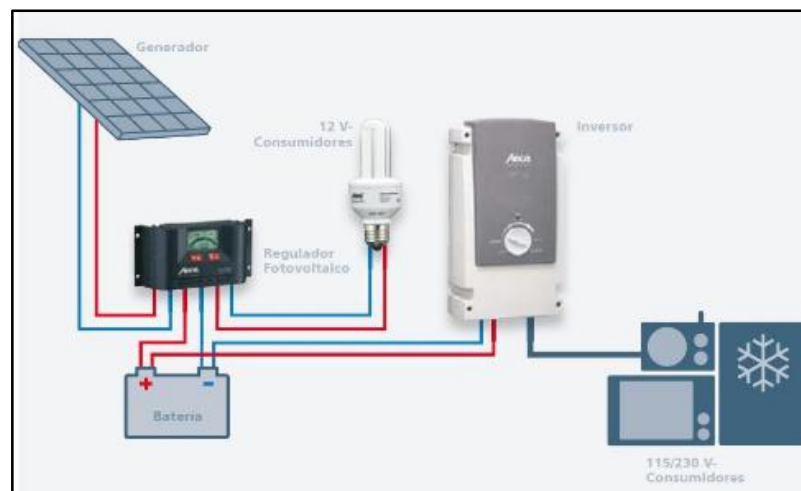


Figura 3 Esquema de un Sistema Solar Aislado (Cablematsolar, 2019)

1.3 DISPOSITIVOS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

El almacenamiento de energía eléctrica ha sido un reto en la implementación de sistemas energéticos, considerando que existen diferentes factores que afectan la generación de energía eléctrica, como son, las estaciones del año (energía hidroeléctrica y eólica) y la irradiancia (energías solar), a esto se le une un aspecto que no se suele considerar que son los cambios de carga presentes en los sistema (Guacaneme, Velasco, & Trujillo, 2014). Además dada las diferencias existentes debido a las fuentes energéticas es necesario determinar que dispositivo es el más adecuado para el almacenamiento de la energía lo que trae consigo la necesidad de seleccionar de forma precisa que dispositivo es el más favorable para operar amplios rangos de densidad de potencia y de energía (Lechêne, y otros, 2016).

El estudio de los dispositivos de almacenamientos de energía incorporados a los sistemas electromecánicos es de vital importancia para lograr un mejoramiento en el rendimiento de los mismos (Bando, Sasaki, Asano, & Tagami, 2008). En la actualidad es notable que por el acelerado desarrollo tecnológico, se han incorporado dispositivos con nuevas tecnologías orientadas al procesamiento y almacenamiento de energías dentro de los sistemas según afirma (Guacaneme, Velasco, & Trujillo, 2014); uno de los dispositivos que actualmente se utilizan son los supercapacitores dado sus ventajas técnicas con relación a las baterías y demás elementos de almacenamiento de energía (Gil, 2012).

También es importante valorar que ninguna tecnología de almacenamiento de energía por si sola logra, los niveles de eficiencias más idóneos en los rangos de densidad de potencia, razón por la cual algunos autores como (Vázquez, Lukic, Galvan, & Franquelo, 2010), expresan que lo más adecuado es una implementar una combinación de diferentes tipos de tecnologías para el almacenamiento de la energía y sugieren establecer un diseño de dispositivos que contenga supercondensadores, baterías, superconductores magnéticos de almacenamiento de energía y bobinas superconductoras entre otros dispositivos (Ma, Yang, & Lu, 2015).

1.3.1 BATERIAS ELÉCTRICAS

Un acumulador o batería es un dispositivo que transforma energía química en energía eléctrica mediante una reacción de reducción y oxidación, estableciendo una transferencia de electrones entre los reactivos. Por lo general se utilizan baterías secundarias donde la reacción es reversible de

forma tal que una vez descargada, la batería puede recargarse (Iglesias, 2012).

Una batería consta de una o más celdas conectadas en serie y/o paralelo en función de las características eléctricas de salida y de la capacidad de almacenamiento de energía deseadas. El voltaje teórico, o potencial estándar, de las celdas que componen una batería está definido por los materiales con los que están construidas y puede calcularse a partir de los potenciales estándar de los electrodos, según (Li, Z., Huang, Liaw, & Zhang, 2017) conociendo el voltaje se puede determinar la energía teórica que genera una batería con la siguiente fórmula:

$$Et = Ut * Ct \quad (1)$$

Donde Et es la Energía teórica en Watts/horas, Ut es el voltaje teórico en Volts y Ct es la capacidad teórica de la celda en Amperios/horas, la capacidad depende de las características específicas de las baterías.

Las baterías como sistemas de almacenamiento electroquímicos son una tecnología ya de mucha experiencia en el mercado, pero por su aplicación en la red eléctrica, es una tecnología que aún se puede explotar con fuerza, aspecto que resulta de interés para investigaciones futuras pues debido a sus facilidades y adaptabilidad se realizan nuevos avances que permiten su mayor implementación (Morante, 2017).

Por otra parte según (Martín, 2016), existen parámetros esenciales para establecer las especificaciones de las baterías en su funcionamiento, los cuales son Capacidad, Tensión de circuito abierto, Estado de carga, Corriente de descarga máxima, Vida de la batería y Profundidad de descarga; a continuación se especifican:

- Capacidad: Es el parámetro más importante en la especificación de una batería y se mide en Ah. La capacidad está relacionada con la capacidad de descarga de la batería, por lo tanto, cuanto mayor es la descarga de la batería, menor será su capacidad. Generalmente se tiene una curva típica de descarga, que proporciona una determinada capacidad, establecida por el fabricante, que variará según el régimen de descarga al que sea sometida.
- Tensión de circuito abierto: Es el voltaje máximo que efectúa una batería; considerando que la batería posee una resistencia interna, existe una tensión en la carga algo variable dependiendo del tiempo debido a esta resistencia interna.

- Estado de carga (SOC, State of Charge): El estado de carga indica el porcentaje de carga en la batería. Aunque en teoría el recorrido de carga/descarga de una batería es del 0-100%, en la práctica, en muchos tipos de baterías no es posible o recomendable descargar a menos de un 20-30%.
- Corriente de descarga máxima: Existe una corriente máxima que puede generar una batería, y cuanto mayor sea esta, menor cantidad de energía podrá dar. Si aumenta la corriente de descarga, disminuye la capacidad.
- Vida de la batería (SOH, State of Health): Se refiere a la vida útil que posee la batería. Esta disminuirá en mayor o menor medida dependiendo de su uso, la profundidad de descarga alcanzada, número de ciclos completados, etc.
- Profundidad de descarga (DOD, Depth of Discharge): es el parámetro que indica el porcentaje de descarga que se puede alcanzar en una batería sin que sufra daños.

Estos parámetros son considerados para la selección del modelo de batería adecuado según los tipos de circuitos eléctricos.

1.3.1.1 Modelos de baterías

Las baterías se clasifican en dos modelos específicos, uno basado en las reacciones químicas del dispositivo conocido como modelo electroquímico y el otro enfocado en el sistema eléctrico que se conoce como modelo equivalente o modelo de circuitos equivalentes (Iglesias, 2012). En la investigación nos enfocamos en los modelos de circuitos equivalentes para realizar los cálculos, siguiendo el criterio de modelación de un circuito de Thevenin como se muestra en la figura 4:

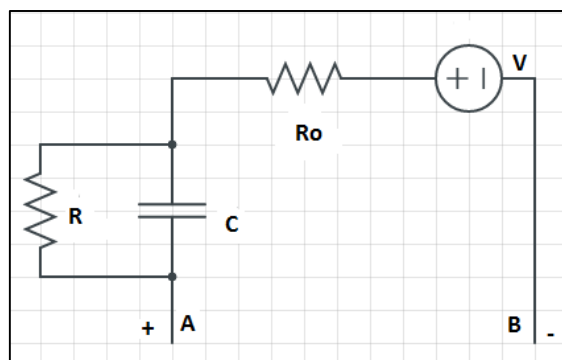


Figura 4 Modelo equivalente Thevenin

Este modelo consiste en una fuente, dos resistores y un condensador. La fuente V tiene como valor la tensión de circuito abierto, el resistor R_o modela la resistencia interna de la batería, el condensador C modela la capacidad en los electrodos de las celdas que componen la batería y el resistor R representa la resistencia no lineal entre dichos electrodos y el electrolito. Esta red modela la respuesta transitoria común a las baterías.

Desde el punto de vista de la forma de almacenamiento de energía las más usadas son las baterías de Plomo-ácido; las de NaS y las Li-ion. Las baterías plomo ácido son las más antiguas y las más utilizables, combinan costes asumibles con el uso de materiales abundantes y un circuito de reciclado optimizado para evitar el impacto ambiental. Forman la tecnología más aplicada en el mundo a causa de su amplio uso en los sistemas de automoción como fuente de energía (Martín, 2016). A su vez la batería de sulfuro de sodio (NaS), está conformada por dos electrodos separados por un electrolito, como la mayoría de las baterías; con la diferencia que los electrodos son líquidos y el electrolito sólido. En el caso de la batería Li-ion, que es analizada en la investigación se explica a continuación.

1.3.1.2 Baterías de Litio

El litio es un material con un gran potencial electroquímico, por lo tanto tiene características que lo hacen poseer propiedades energéticas muy favorables ya que puede acumular grandes cantidades de energía. Las baterías de Ion-litio también tienen la característica de que los dos electrodos pueden absorber o devolver iones reversiblemente (Ahmad Hamidi, Ionel, & Nasiri, 2015). El cátodo está compuesto de litio, el ánodo en su primera versión utilizaba un electrodo de carbón, pero actualmente son de grafito, debido a sus características de descarga (Morante, 2017).

Las baterías de Li-ion tienen una alta densidad de energía, un buen rendimiento a altas temperaturas y son reciclables (Dominguez, 2017). Las principales ventajas de las baterías de Li-ion son un bajo efecto de memoria, una alta potencia específica (W/kg), una elevada energía específica (Wh/kg) y una larga vida útil.

De manera general las baterías de ion-litio atraen mucho interés por la tecnología que utiliza, unido al uso de nuevos materiales prometen un rango mejorado de prestaciones. Actualmente su mayor utilización es en vehículos híbridos, en los eléctricos y en sistemas fotovoltaicos. Las características de almacenamiento de energía y la tecnología de su confección hace de estas baterías unas con los más altos costos de fabricación (Liu, y otros, 2015).

1.3.2 SUPERCONDENSADORES O SUPERCAPACITORES

La tecnología de los supercondensadores para mejorar el almacenamiento de energía lleva más de 50 años de investigaciones, tienen múltiples ventajas con relación las baterías tradicionales según estudios realizados por (Hernández Mora, Gaona García, & Cruz Moreno, 2017), afirman que la velocidad de carga y descarga es muy rápida con relación a otros recursos de almacenamiento, por otra parte una ventaja técnica muy importante es que no requieren de mantenimiento e interactúan con corrientes altas y tienen una alta densidad de potencia; no obstante la implementación de estos dispositivos es costosa por lo cual solo empresas de alta capacidad adquisitiva disponen ellos.; además de las enormes dimensiones (Wang, Guo, & Ji, 2018).

Además de los superconductores en el mercado existen otros dispositivos como las bobinas superconductoras que tienen la característica de almacenar grandes cantidades de energía en periodos de tiempos mínimos (Lamus, 2017). Es importante agregar que tanto los supercondensadores como las bobinas superconductoras tienen un alto potencial renovable, pero su implementación generalizada no ha sido posible debido a sus altos costos de producción (Dominguez, 2017). De igual manera es necesario el estudio y seguimiento de este tipo de tecnologías pues se va generalizando cada vez con mayor frecuencia.



Figura 5 Supercondensadores de Sistemas Aislados (*Cablematsolar, 2019*)

Muchos autores como (Dominguez, 2017), (Báez Mora , 2018), (Martín, 2016), (Romli, 2018)entre otros dan por hecho que los supercondensadores serán la principal fuente de almacenamiento de energía para el siglo XXI.

1.3.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente trabajo se realizó un estudio para evaluar el desempeño técnico de los supercapacitores en los sistemas fotovoltaicos solares aislados de la empresa de servicios electromecánicos MANTIS de la ciudad de Santo Domingo de los Tsáchilas. La empresa realiza servicios de mantenimiento electromecánico a diferentes industrias del sector público y privado a nivel nacional; en sus acciones operacionales se les ha presentado dificultades técnicas en el proceso de mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos solares aislados. Estas dificultades radican en el hecho de que la mayoría de los sistemas utilizan baterías de iones de litio y dado el nivel de utilidad estas baterías incrementan su consumo con el tiempo, generando una alta densidad de potencias, que en el ciclo de cargas y descargas afecta el rendimiento de estos sistemas fotovoltaicos (Hernández Mora, Gaona García, & Cruz Moreno, 2017, pág. 175). En función de estas situaciones se definió como problema de estudio la siguiente interrogante: ¿Cómo contribuir al mejoramiento del rendimiento de los sistemas fotovoltaicos solares aislados?

Considerando la problemática planteada se estableció como alternativa de solución la implementación de supercapacitores en los sistemas fotovoltaicos solares aislados, considerando que en la revisión de la literatura científica asociada al tema existe una tendencia al uso de este tipo de elemento en los sistemas de estudio (Pontoriero , Molina, & Mercado , 2009); unido al hecho de los resultados obtenidos en la investigación a raíz del análisis de los ciclos de carga y descarga realizado a un sistema fotovoltaico en comparativa con los ciclos de carga habituales.

1.4. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el desempeño técnico de los supercapacitores en los sistemas fotovoltaicos solares aislados en la empresa de servicios electromecánicos Mantis.

1.5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar los fundamentos teóricos que sustentan el estudio de los supercapacitores como elementos de almacenamiento de energía en sistemas fotovoltaicos aislados.
- Definir la metodología adecuada para la evaluación del desempeño técnico de los supercapacitores.
- Analizar y valorar los resultados obtenidos en las mediciones realizadas.

2. METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se aplicó una metodología descriptiva sobre la base de una orientación experimental para el proceso de investigación. Se utilizó el método inductivo-deductivo, donde a partir de los resultados particulares obtenidos en las mediciones se procede a establecer un criterio general para elementos dentro de sistemas similares al del estudio (Bernal, 2010).

2.2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

2.2.1. SELECCIÓN DE ELEMENTOS

Los elementos siguientes fueron los utilizados para el montaje del circuito del experimento

- Batería de Li-ion (Vn: 3.6V, con una capacidad de 600mAh y una energía de 2.5Wh) con un costo de 14usd
- Supercondensadores AVX (Vn: 6V, con una capacidad de 47F, un ESR de 300mOhm y una energía de 2.3Wh) con un costo de 162.50usd.
- Cargas constantes de 24Ω, 30Ω y 49Ω
- Módulo con Tarjeta de Datos USB6008 de NI con un DAQ de segunda con un costo de 405usd
- Paneles Solares Fotovoltaicos (Vn: 12V, una potencia de 1500W y una energía de 3200Wh) con un costo de 1302usd.
- Conectores
- Ordenador con software Labview instalado
- Instrumentos de medición de parámetros eléctricos (Multímetro)

2.2.2. ESTRUCTURA DEL CIRCUITO

Se procedió a la ubicación de dos baterías de Li-ion para lograr una tensión elevada dentro del circuito sin que existan afectaciones en proceso de la capacidad de carga y de descarga, se tuvo en cuenta el método de tensión para la medir el estado inicial de las cargas de las baterías (SOC) antes de comenzar con las mediciones. Para la medición del tiempo de descargas según (Hernández Mora, Gaona García, & Cruz Moreno, 2017) se consideró usar a través de la siguiente fórmula:

$$t = Cb/Is \quad (2)$$

Posteriormente se procedió a la ubicación de los supercondensadores, donde el estado de la carga inicial es conocido previamente. Este tipo de

elementos no se diferencian mucho de un condensador normal con relación al cálculo de las cargas y se puede determinar su tensión a través de la siguiente fórmula según (Wen, 2016).

$$T(t) = \frac{Q}{C} * e^{-t/RC} \quad (2)$$

Donde T(t) es la tensión de carga del supercondensador de la que se parte para hacer las mediciones comparativas de cargas y descargas.

Para la concepción de la medición del ciclo de cargas se procedió con el uso del regulador MPPT del sistema fotovoltaico como intermediador entre la batería y los supercondensadores (Widyan, 2015).

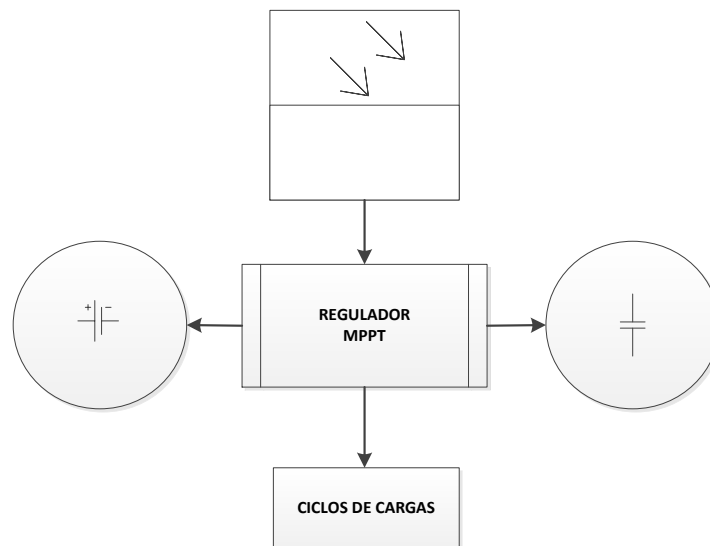


Figura 6 Esquema para determinación de ciclos de cargas

En la figura 6 se percibe como se recibe la energía del panel fotovoltaico y se usa el regulador para poder establecer criterios comparativos de las variaciones en el ciclo de carga de ambos elementos. Esta información de los ciclos de cargas es recibida por el módulo de Tarjeta de Datos USB6008 de NI, que codifica la información y la envía hacia el ordenador para recopilar y analizar la información sobre el comportamiento de ambos elementos de forma tal que pueda establecer un criterio valorativo sobre el rendimiento de cada uno. Este tipo de modulo es satisfactorio para la recopilación de información a partir de un circuito, el USB-6008 es un dispositivo DAQ multifunción con entradas y salidas analógicas y digitales, además cuenta con un contador de 32 bits. Su funcionalidad básica fue implementada en el experimento para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio (Bogdan, 2017).

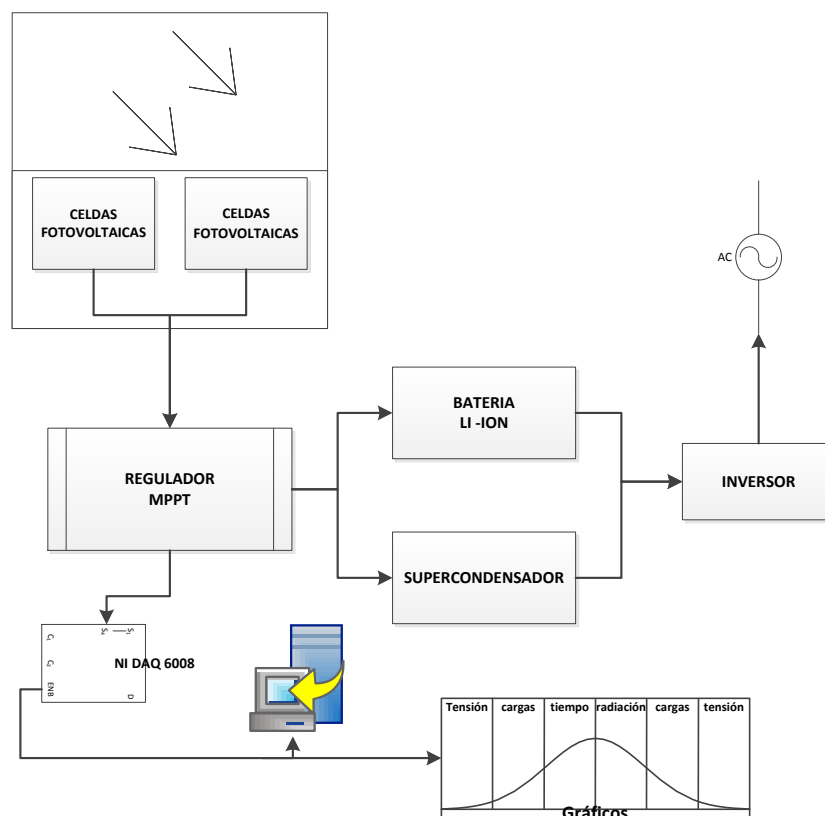


Figura 7 Esquema de la estructura implementada

Como se observa en el esquema de la figura 7, la estructura del experimento se desarrolló disponiendo cada uno de los elementos como se muestra. Para la representación gráfica de los resultados se procedió con el programa RStudio y con Minitab2017. Para favorecer la representación gráfica se reajustaron los datos para manejar la escala de representación en un nivel ilustrativo para las variaciones de los ciclos de carga en cada uno de los elementos.

2.3. VARIABLES OBTENIDAS EN LA MEDICIÓN.

Las variables que se midieron fueron la radiación y la caída de tensión por cada elemento en el tiempo. Se realizó la medición en dos etapas de 35 días aproximadamente cada una, con los resultados de estas mediciones se realizó el análisis correspondiente para definir los resultados. A continuación se muestra el esquema del diagrama de bloques que se utilizó con el software Labview para obtener los resultados.

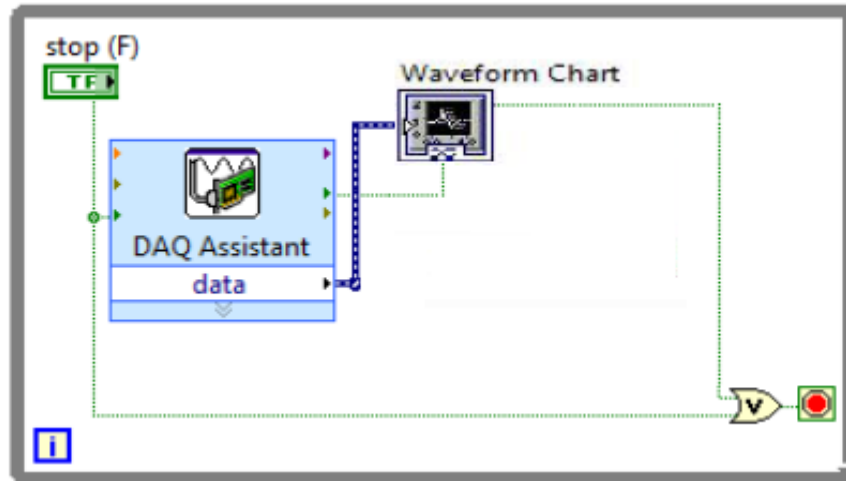


Figura 8 Esquema de conexión del DAQ 6008 NI (Labview)

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RECOPIACIÓN DE DATOS

En el proceso de recopilación de la información se procedió con la implementación en el circuito de unas cargas constantes de 24Ω , 30Ω y 49Ω para poder realizar las mediciones de las descargas rápidas, a continuación se muestra los tiempos de descarga de los elementos seleccionados, la batería de Li-ion y el Supercondensadores.

Tabla 1 Tiempo (h) de las descargas de los acumuladores (Li-ion/Supercondensadores)

Acumuladores	Cargas Constantes		
	24Ω	30Ω	51Ω
Bat. Li-ion	1,67	1,94	3,46
Supercond.	1,81	2,26	4,01

Analizando los resultados es notorio como el supercondensador tiene un mayor tiempo de descarga al interactuar en el sistema con las cargas ubicadas.

3.2. MEDICIONES OBTENIDAS

Posteriormente se procedió a realizar las mediciones de la radiación solar y de las tensiones de carga y descarga de los elementos. Se establecieron dos períodos de medición, cada uno con una extensión de 30 a 35 días y se midieron los índices de cada uno de los elementos obteniéndose los siguientes datos:

Tabla 2 Índice de radiación período I

Días	0	2,5	5	7,5	8,5	9,5	10	12,5	13,5	14,5	15
Li-ion	12,81	12,88	12,65	12,47	3,82	11,46	12,86	11,2	11,04	10,42	5,11
Supercond.	4,11	10,21	7,05	9,33	9,99	5,14	8,01	11,03	4,31	9,12	10,84

Al revisar los datos se observa como la diferencia promedio entre los índices de la radiación para cada uno de los elementos no es muy significativa, en términos porcentuales la variación promedio entre cada uno de ellos es de un 19% aproximadamente, para ilustrar con mayor precisión esta información se elaboró el siguiente gráfico:

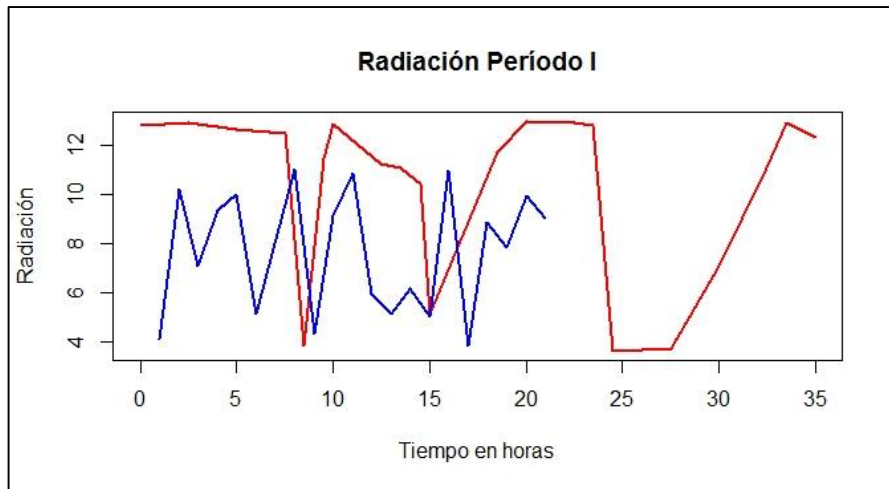


Figura 9 Gráfico del índice de radiación período I

La línea roja representa el comportamiento del índice de radiación para la batería de Li-ion y la línea azul es el supercondensador, donde se evidencia que la media no varía significativamente.

En el segundo período de mediciones de radiación se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 3 Índice de radiación período II

Días	0	2,5	5	7,5	8,5	9,5	10	12,5	13,5	14,5	15
Li-ion	12,81	12,88	12,11	11,40	3,82	12,08	12,56	11,2	11,01	10,42	5,11
Supercond.	4,12	10,23	7,05	9,44	10,03	5,14	8,01	11,03	4,38	9,14	10,84

Los datos obtenidos en el segundo periodo son similar al primer periodo a continuación se muestra la gráfica:

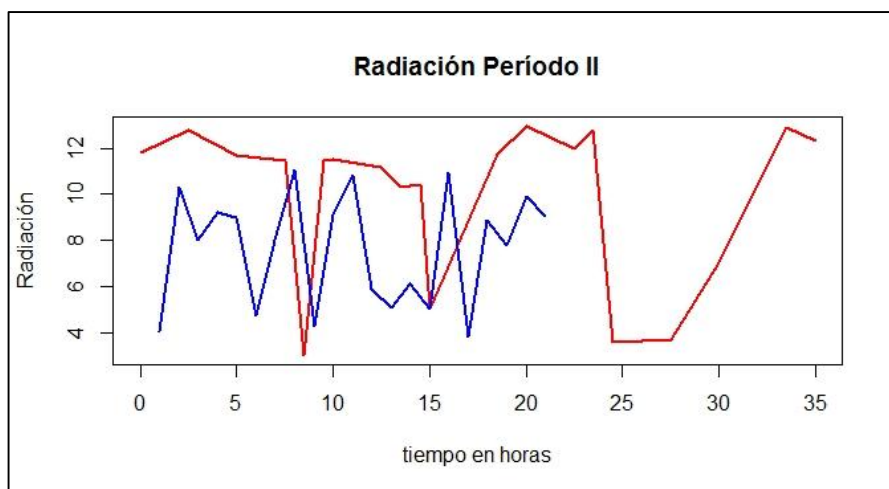


Figura 10 Gráfico del índice de radiación período II

Por otra parte se realizaron las mediciones de la caída de tensión por período para tener una referencia de los ciclos de descargas por cada uno de los acumuladores seleccionados.

Tabla 4 Tensión período I

Días	0	2,5	5	7,5	8,5	9,5	10	12,5	13,5	14,5	15
Li-ion	9,6	9,6	9,6	0	0	0	0	0	0	0	9,6
Supercond.	1,2	5,5	9,52	8,3	7,6	6,1	4,3	3,7	2,1	1,03	5,3

Como se observan en la tabla 4 la batería de litio presenta efecto de memoria en su ciclo de carga y descarga, con una interrupción significativa estableciendo una variación que es perceptible en el siguiente gráfico:

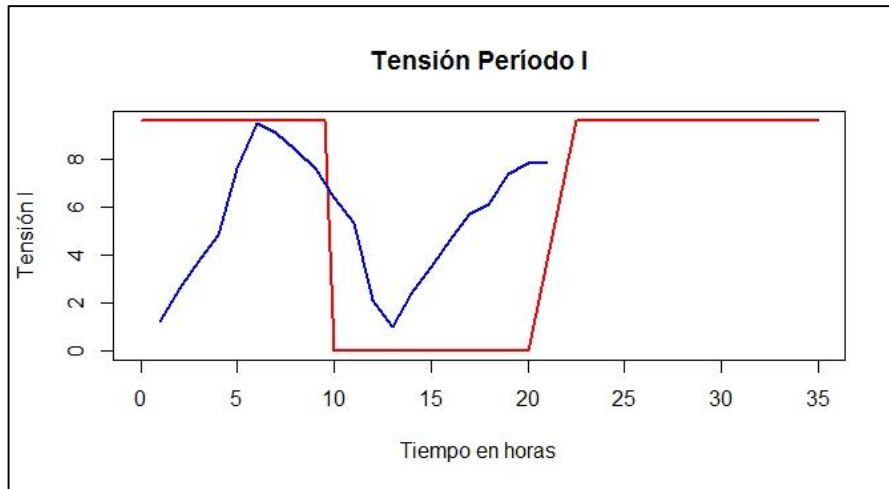


Figura 11 Gráfico de Tensión Período I

De igual forma el color rojo es para la batería de Li-ion y el color azul para el supercondensadores. Se aprecia como existe una interrupción surgiendo un salto de descarga, lo que es una muestra de continuidad y sostenibilidad en el servicio de los ciclos de carga y descarga. Este resultado muestra en este primer periodo como las cargas que afectan a la batería de Li-ion son soportadas por el supercondensador sin generar problemas en su funcionamiento, manteniendo un servicio estable y prolongado.

Tabla 5 Tensión período II

Días	0	2,5	5	7,5	8,5	9,5	10	12,5	13,5	14,5	15
Li-ion	9,6	9,6	9,6	0	0	0	0	9,6	9,6	9,6	9,6
Supercond.	1,2	5,5	9,52	8,3	7,6	6,1	4,3	3,7	2,1	1,03	5,3

El comportamiento es similar al periodo anterior, se ve la sostenibilidad de la carga del supercondensador y las variaciones en la batería de Li-ion. En el gráfico a continuación:

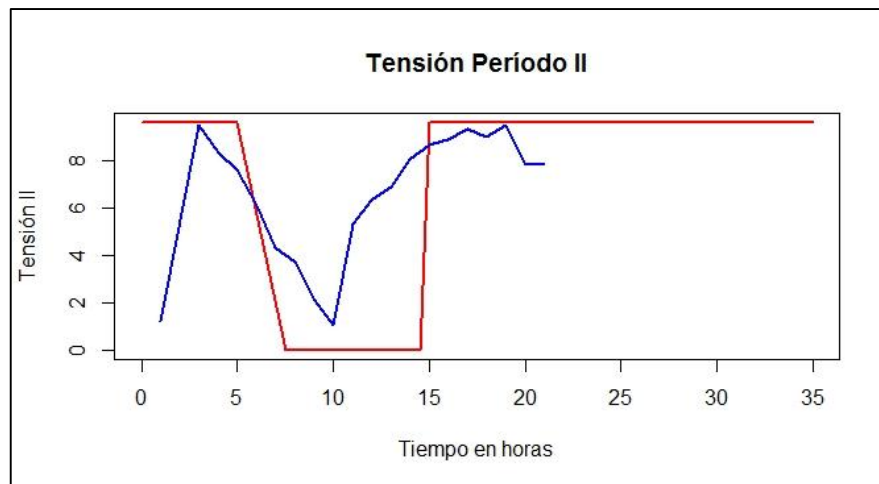


Figura 12 Gráfico de Tensión Período II

De manera similar al anterior se observa como el supercondensador tiene una carga estable en ciclo de carga y descarga su caída de tensión.

Es importante agregar que para realizar las mediciones de forma satisfactoria es necesario que el regulador MPPT esté ajustado de forma correcta al sistema fotovoltaico, pues una mala calibración del mismo afecta las mediciones generando datos que no son correctos en los acumuladores, sobre todo en la batería de Li-ion.

3.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Según resultados estadísticos es notorio las ventajas que presentan en los ciclos de carga y descarga los supercondensadores con relación a la batería de Li-ion. Los sistemas fotovoltaicos aislados actuales que implementen supercondensadores tendrán un mayor rendimiento. También se conoció en las actividades de campo como la radiación no fue constante dado que los factores climáticos de la zona de estudio presentó nubosidad, de igual manera la radiación no afectó significativamente en experimento.

La diferencia de las medias de la radiación por elementos fue estable en el periodo de experimentación, no superó el 19% aun con las condiciones del clima. Estos efectos en los sistemas fotovoltaicos aislados generaron que los dispositivos de almacenamiento no logren una carga completa, lo que reduce el periodo de vida de los elementos.

Por otra parte los supercondensadores al recibir mayor corriente dado que tienen una menor caída de tensión para la misma potencia, lo cual muestra la superioridad de los mismos sobre las baterías de Li-ion. Otro factor que hay que considerar es el costo de estos supercondensadores, en el mercado

estos dispositivos tienen un alto costo, de igual forma la continuidad de sus ciclos de carga y descarga los hace superiores a los ciclos incompletos de cargas y descarga de los demás dispositivos de almacenamiento.

También se pudo observar en los resultados que los tiempos de carga del condensador son muchos más largos y continuos dado su alta capacitancia que aumenta la constante de tiempo además de tener mayor corriente, lo que en el caso de las baterías de Li-ion tienen el tiempo es mucho más corto y depende principalmente de la corriente.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. CONCLUSIONES

En la investigación se revisó la literatura relacionada con el tema determinándose que no hay mucha información científica sobre proyectos experimentales como el realizado.

El tema de estudio de los supercondensadores como dispositivos de almacenamiento asociado a los sistemas fotovoltaicos aislados es aún insuficiente en el ámbito científico.

La comparación estadística como metodología es adecuada para realizar experimentos donde se evalúe el rendimiento de dispositivos de almacenamiento dentro de sistemas eléctricos.

Se concluyó que para los ciclos de cargas y descargas en los procesos de almacenamiento energético es recomendable el uso de supercondensadores, dado su reducción de tiempo carga y su largo tiempo de descarga en comparación las baterías de Li-ion.

4.2. RECOMENDACIONES

Realizar estudios donde se comparen otros dispositivos de almacenamiento que sean favorables para la profundizar y publicar resultados científicos asociados al tema de estudio.

Capacitar a los técnicos y operarios de la empresa MANTIS en los procesos de mantenimiento y optimización del uso de los condensadores en sistemas fotovoltaicos aislados.

Divulgar los resultados de la investigación incorporando más variables de estudio que permitan valorar la utilidad de estos dispositivos de almacenamiento en otros servicios eléctrico

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. Abella, M. (2010). "Sistemas Fotovoltaicos." . *Laboratorio de energía solar fotovoltaica, CIEMAT*, .
2. Ahmad Hamidi, S., Ionel, D., & Nasiri, A. (2015). Modeling and management of batteries and ultracapacitors for renewable energy support in electric power systems—an overview. *Electric Power Components and Systems*,, 43(12), 1434-1452.
3. Báez Mora , J. (2018). *Energía solar fotovoltaica, una alternativa sustentable para el futuro*. Bogotá.
4. Bando, S., Sasaki, Y., Asano, H., & Tagami, S. (2008). Balancing control method of a microgrid with intermittent renewable energy generators and small battery storage,. *Power and Energy Society General Meeting Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, 1-6.
5. Bernal, C. (2010). Metodología de la Investigación en administración, economía, humanidades y ciencias sociales. En C. Bernal. Colombia: Trillas.
6. Bogdan, M. (2017). Using the NI USB-6008 DAQ Device, to Make a Traffic Light. *In Proceedings of the 12th International Conference on Virtual Learning ICVL* , (págs. pp. 281-285).
7. CABLEMATSOLAR. (30 de 04 de 2019). *CABLEMATSOLAR*. Obtenido de <http://www.cablematsolar.com/>
8. CONELEC. (2014). *EVOLUCIÓN Y SITUACIÓN ENERGETICA DEL ECUADOR*. Quito.
9. Díaz, O., Cano, M., & Murphy, F. (2016). *El desarrollo de las Energías Renovables en América Latina y en Argentina*. Buenos Aires.
10. Dominguez, J. (2017). *Análisis de viabilidad técnico-económico de sistemas con energías renovables a pequeña escala con nuevas tecnologías dealmacenamiento*. Leiria, Portugal.
11. Escotel. (30 de 04 de 2019). *ESCOTEL*. Obtenido de http://www.escotel.com/interconexion_cfe.html
12. Gil, I. (2012). *Diseño de un sistema de Almacenamiento Híbrido basado en baterías y Superconductores para su uso en microred eléctrica*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.

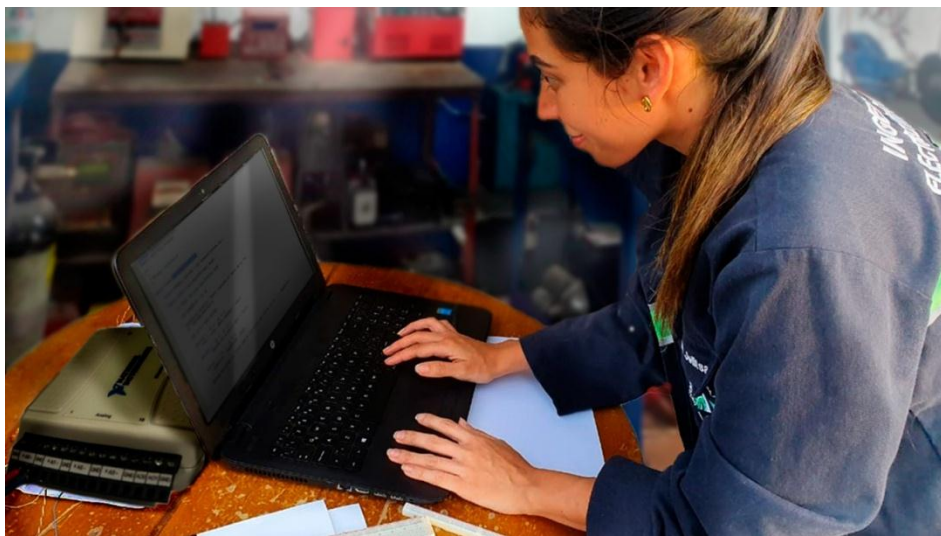
13. Guacaneme, J., Velasco, D., & Trujillo, C. (2014). Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes. *Información tecnológica*, 175-188.
14. Hernández Mora, J., Gaona García, E., & Cruz Moreno, L. M. (2017). Análisis teórico y experimental del comportamiento de supercondensadores, baterías de iones de litio y metal hidruro en un sistema solar fotovoltaico aislado. *Revista Electrónica Redes de Ingeniería.*, 173-183.
15. Iglesias, R. L.-P. (2012). Modelado y simulación de una batería de ion-litio comercial multicelda. *Seminario anual de automática, electrónica industrial e instrumentación*. Vigo.
16. Lamus, R. A. (2017). (2017). *Alimentation d'une bobine supraconductrice par une pile à combustible à hydrogène et conception d'un aimant vectoriel de 3 T*. Nancy and Metz: (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
17. Lata, J. (2015). *Estimación del potencial urbano de sistemas fotovoltaicos en la ciudad de*. País Vasco.
18. Lechêne, B., Cowell, M., Pierre, A., Evans, J., Wright, P., & Arias, A. (2016). Organic solar cells and fully printed super-capacitors optimized for indoor light energy harvesting. *Nano Energy*, 26, 631-640.
19. Li, Z., Z., Huang, J., Liaw, B., & Zhang, J. (2017). On state-of-charge determination for lithium-ion batteries. *Journal of Power Sources*, 348, 281-301.
20. Liu, Y., Du, W., Xiao, L., Wang, H., Bu, S., & Cao, J. (2015). Sizing a hybrid energy storage system for maintaining power balance of an isolated system with high penetration of wind generation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(4), 3267-3275.
21. Ma, T., Yang, H., & Lu, L. (2015). Development of hybrid battery–supercapacitor energy storage for remote area renewable energy systems. *Applied Energy*, 153, 56-62.
22. Martín, G. (2016). *SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA*. Valladolid.
23. Morante, J. (2017). *El almacenamiento de la electricidad*. Zaragoza. Cataluña.
24. NASA. (30 de 4 de 2019). “*Surface meteorology and Solar Energy*.”. Obtenido de NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources: <https://power.larc.nasa.gov/>

25. Pontoriero, D., Molina, M., & Mercado, P. (2009). Evaluación Técnica y Económica de Generación Híbrida Solar-Eólica en la Provincia de San Juan-Argentina. *XIII Encuentro Regional Iberoamericano de Cigré*.
26. Romli, M. I. (2018). *Solar energy management system with supercapacitors for rural application (Doctoral dissertation, University of Nottingham)*.
27. Soete, L., Schneegans, S., Eröcal, D., Angathevar, B., & Rasiah, R. (2015). *INFORME DE LA UNESCO SOBRE LA CIENCIA HACIA EL 2030*. Luxemburgo.
28. Taghvaei, M., Radzi, M., M, A., Moosavain, S., Hizam, H., & Marhaban, M. (2013). A current and future study on non-isolated DC–DC converters for photovoltaic applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 17, 216-227.
29. Vázquez, S., Lukic, S., Galvan, E., & Franquelo, L. (2010). Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 57 (12), 3881-3895.
30. Velasco, M. (2015). *¿ ENERGÍAS RENOVABLES O AGRICULTURA? UN ANÁLISIS DE LA PERCEPCIÓN CIUDADANA SOBRE LOS HUERTOS Y LATIFUNDIOS SOLARES EN ANDALUCÍA*. Andalucía: NIMBUS nº 25-26, 205.
31. Wang, L., Guo, J., & Ji, F. (2018). Energy management strategy for super capacitor energy storage system based on phase shifted full bridge converter. *In 2018 IEEE International Power Electronics and Application Conference and Exposition (PEAC)* (págs. (pp. 1-6).). IEEE.
32. Wen, Z. Y. (2016). Self-powered textile for wearable electronics by hybridizing fiber-shaped nanogenerators, solar cells, and supercapacitors. *Science advances*, 10.
33. Widyan, M. S. (2015). Operational characteristics of hybrid-powered three-phase induction motor via synchronous and photovoltaic generators with MPPT utilised by synchronous generator automatic voltage regulator. *IET Renewable Power Generation*, 9(6), 638-646.

ANEXOS

ANEXO 1.

REALIZACIÓN DE PRUEBAS CON LOS CIRCUITOS NECESARIOS



ANEXO 2.

LUGAR DE REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS (TALLER ESPECIALIZADO)

