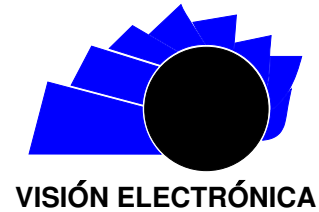




Visión Electrónica

Más que un estado sólido

<https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/visele>



VISIÓN INVESTIGADORA

Almacenamiento de energía usando ultracondensadores en sistemas fotovoltaicos autónomos

Energy storage using ultracapacitors in autonomous photovoltaic systems

Aneider Angulo¹, Fernando Martínez², German López³

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Enviado: 12/04/2017

Recibido: 18/04/2017

Aceptado: 22/05/2017

Palabras clave:

Almacenamiento de energía

Energía solar

Iluminación

Ultracondensadores

Open access



Keywords:

Energy storage

Solar energy

Lighting

Ultracapacitors

RESUMEN

El presente artículo describe la investigación que condujo al diseño y construcción de un banco de ultracondensadores (BUC) puesto en funcionamiento con un controlador electrónico. Estos módulos son alimentados por energía solar fotovoltaica —responsable del suministro y abastecimiento de corriente eléctrica— para aumentar la autonomía en un sistema de iluminación. Se describe el desempeño de los ultracondensadores en serie y paralelo para determinar la energía almacenada en el banco e integrarla al controlador electrónico encargado de la carga, provisión, visualización y ajuste del paso de corriente de la energía solar fotovoltaica al BUC y a la carga conformada por bombillas ledes. Al cumplirse el diagrama de Ragone, el BUC es capaz de suministrar, a corto tiempo, gran densidad de energía, de manera que se explote en el funcionamiento de las luminarias led, contrario a lo que sucede con la batería recargable que, aunque entrega por mayor tiempo carga, lo hace a menor densidad de energía eléctrica.

ABSTRACT

The present article show the research that led to the design and construction of a bench or arrangement with ultra-capacitors (BUC) that is put into operation with an electronic controller. These modules are powered by photovoltaic solar energy -responsible for the supply and supply of electric current- to increase the autonomy in a lighting system. Describes the performance of the ultracapacitors in series and parallel circuit, in order to determine the energy stored in the bank, to integrate it to the electronic controller in charge of the load, provision, visualization and adjustment of the passage of the energy current solar photovoltaic to BUC and the load made up of Leds. Storage of the *Ragone diagram* is fulfilled; which by means of the BUC is able to supply -in a short time- high energy density, contrary to the rechargeable battery used that is responsible for delivering for a longer time lower density of electric energy.

¹Técnico laboratorio Física, pregrado Universidad de los Andes. Correo electrónico: as.angulo108@uniandes.edu.co

²Ingeniero en Control e Instrumentación Electrónica, Universidad Distrital Francisco José de Caldas; magister en Ingeniería, Universidad de Los Andes; docente, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: fmartinezs@udistrital.edu.co

³Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional de Colombia; magister en ingeniería, Universidad de Los Andes; docente, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: galopezm@udistrital.edu.co

1. Introducción

En la presente fase de evolución tecnológica, donde se vive y pervive con adelantos, usos y diseños de dispositivos eléctricos y electrónicos novedosos, surge la necesidad mundial de generar, administrar y satisfacer la demanda excesiva de electricidad. Sin embargo, la electricidad que se produce a diario es muy costosa y los procesos de generación son contaminantes y deficientes frente a los diversos servicios en los sectores que requieren de este recurso energético; desde esta perspectiva, las fuentes de energías alternativas o renovables son parte de la solución por ser amigables con el medio ambiente, eficientes, asequibles y, por supuesto, menos contaminantes.

De otra parte, ante la preocupación de razonamiento, escasez y restricciones que amenazan el servicio de interconexión eléctrico nacional (SIN) y las zonas no interconectadas (ZNI), en los últimos años el Estado colombiano —apoyado por sus unidades y organizaciones— ha reglamentado el uso y desarrollo de las fuentes no convencionales de energías renovables (FNCER), encargándose además de capacitar, difundir e investigar sobre nuevas tecnologías y recursos que promuevan la generación de electricidad con sistemas de carácter renovable [1]. En este sentido, la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética) con el Plan energético nacional Colombia: ideario energético 2050 [2], y la Ley 1715 de 2014, han proporcionado los mecanismos necesarios para establecer estrategias del uso de dichas FNCER [3].

De acuerdo con lo expuesto, el almacenamiento de energía —usando ultracondensadores para sistemas fotovoltaicos autónomos— sigue la directriz de desarrollo de sistemas de energías alternativas, la cual propende por garantizar la optimización de una fuente solar fotovoltaica autónoma; en este caso, instalada en la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, requiere mayor energía de respaldo. En consecuencia, el uso de nuevos elementos como los ultracondensadores —que son amigables con el medio ambiente, además de resistentes a condiciones severas en la electricidad y del clima— brindan un óptimo rendimiento de densidad de energía y desempeño al almacenar carga eléctrica, esta puede emplearse en aplicaciones que tienen que ver con el funcionamiento de dispositivos eléctricos y electrónicos de uso cotidiano.

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente documento se estructura así: primero se establece la metodología caracterizando el sistema fotovoltaico autónomo, el

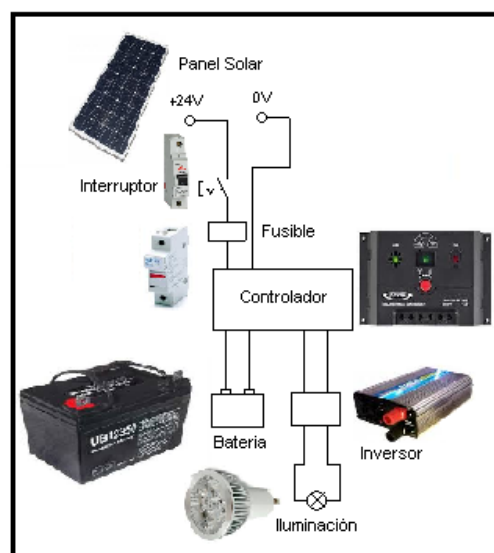
diseño y construcción del BUC, el análisis de circuito en serie en paralelo con ultracondensadores, la implementación del BUC, densidad de energía en la carga almacenada en el BUC, el diseño del módulo de almacenamiento, así como el diseño del controlador. Posteriormente, se exhibe la alternativa implementada estableciendo el algoritmo de control así como su visualización y las respectivas pruebas de eficiencia; seguidamente, se establece un comparativo en términos de costo entre un sistema fotovoltaico y el de ultracondensadores. Para finalizar, se presentan los resultados y las conclusiones.

2. Materiales y 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 del grupo de GIEAUD (Grupo de Investigación de Energías Alternativas de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas) [4], correspondiente a nuevas tecnologías y desarrollo de energías alternativas. Este ha instalado en la universidad — Facultad Tecnológica— un sistema fotovoltaico autónomo conformado por: un panel solar, el correspondiente controlador solar SCC (Solar Charge Controller) SCF 0606 [5], el sistema de protección, el inversor de potencia, la batería recargable y un conjunto de luminarias led, como muestra en la Figura 1.

Figura 1: Plano eléctrico y representativo del sistema fotovoltaico autónomo



Fuente: elaboración propia.

El panel solar [6] 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, con la estación meteorológica Pegassus —antena APOO20— 0030 [7], estación producto de GIEAUD. Los valores máximos y mínimos de referencia promedio se observan en la Tabla 1, 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 1: 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

Fuente: elaboración propia.

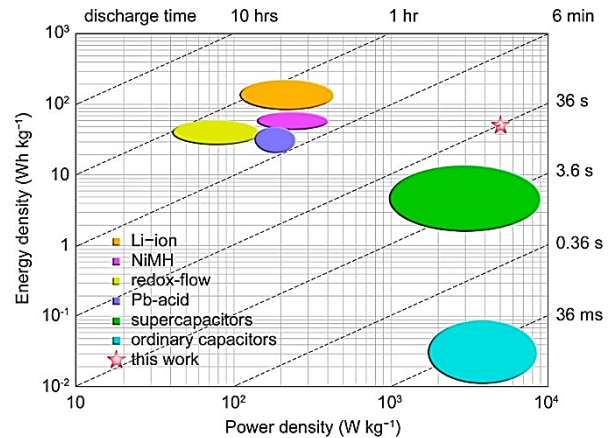
2.2. Diseño y construcción del banco de ultracondensadores

Los ultracondensadores son capacitores electroquímicos hechos a partir material carbonado del grafeno [8], proporciona óptimas 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 electrostática y alta densidad de energía que otros elementos equivalentes. Debido a su estructura interna —porosa y carbonada— permite aumentar la superficie significativamente más de lo que lo hace un capacitor electrolítico convencional: se obtiene una capacitancia de variación de 1F hasta 3.000F [9–11]. 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 [12].

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 [13]. La Figura 2, muestra la comparación entre los diferentes tipos de baterías.

Figura 2: Diagrama de Ragone



Fuente: elaboración propia.

Para el diseño del BUC se emplean cinco ultracondensadores, cada uno de 500 F a 2.7 V nominales [14]. 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 Figura 3. La alimentación del circuito se realiza con una tensión de 13.5 V y al descargarlos se obtiene la misma tensión aproximadamente.

Figura 3: Conexión de ultracondensadores en serie



Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4 se ilustra el montaje de carga y descarga en serie la alimentación de forma directa al cargar y el circuito con la resistencia en la descarga.

Figura 4: Circuito de carga y descarga con los ultracondensadores en serie



Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 2 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 2: Suministro de los primeros 30s en el circuito serie

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

Fuente: elaboración propia.

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 Figura 5 muestra el circuito en paralelo.

Figura 5: Circuito de carga y descarga con los ultracondensadores en paralelo



Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 3, 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 3: Resultados de carga y descarga del circuito paralelo con ultracondensadores

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

Fuente: elaboración propia.

3. Implementación 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 Figura 6 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.

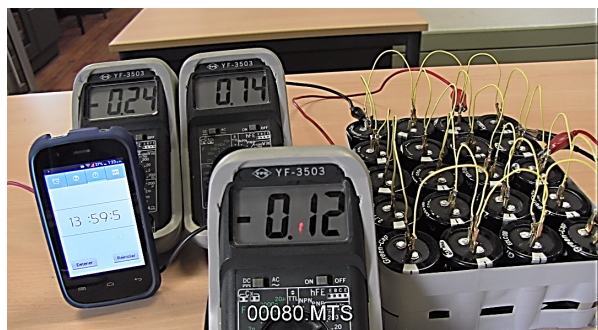
Figura 6: Construcción del banco de ultracondensadores



Fuente: elaboración propia.

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.

Figura 7: Practica de carga y descarga del banco con ultracondensadores



Fuente: elaboración propia.

Los datos de la carga y descarga de banco de los ultracondensadores, tabulados en la Tabla 4, 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 4: Valores de tensiones, corrientes y potencia del banco de ultracondensadores

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

Fuente: elaboración propia.

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.

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

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

$$C = 625F \quad (4)$$

$$V = 10,8V \quad (5)$$

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.

$$RC(t) = 3125 s \quad (6)$$

$$T = 5400 \text{ s} \quad (7)$$

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

$$E = (10,8 \text{ V})^2 (625 \text{ F}) \left(e^{-(t/T)} - 1 \right) J \quad (8)$$

La energía total almacenada en el banco de ultracondensadores es:

$$E = (32076) J$$

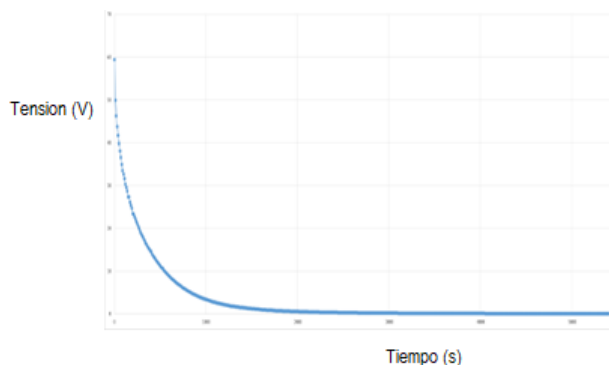
Para hallar la densidad de energía total, Wh (Vatios horas), se determina que $1 \text{ Joule} = 0.0002778 \text{ Wh}$, para obtener por la ecuación (9).

$$Wh = \frac{32076 J \times 0,0002778 Wh}{1 J} \quad (9)$$

$$Wh = 8,91071 \approx 9$$

La Figura 8 representa la energía almacenada del banco de ultracondensadores.

Figura 8: La energía almacenada del banco de ultracondensadores



Fuente: elaboración propia.

4. Diseño del módulo de almacenamiento

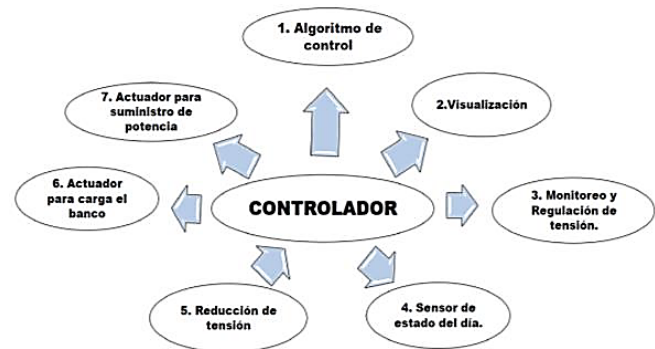
El sistema fotovoltaico autónomo como fuente generadora de corriente eléctrica y el BUC como elemento almacenador de energía, se integran para mejorar y optimizar el almacenamiento de todo el sistema; no obstante, el sistema fotovoltaico tiene su propia batería que proporciona electricidad por mayor tiempo, es decir, el banco complementa suministrando masa corriente, aprovechando que es un conjunto de ultracondensadores que mitiga la producción del CO_2 , no genera residuos contaminantes, son durables en comparación de las baterías y ayudan a conservar la vida útil de estas. Es mínimo el calentamiento y son

eficientes a temperaturas bajas. Este conjunto es una solución para el almacenamiento de energía eléctrica aprovechable en aplicaciones, en este caso de iluminación servicio importante para las tareas diarias.

5. Controlador electrónico

Para que el conjunto sea más eficiente, se diseña un controlador electrónico. El controlador electrónico se encarga del paso de la corriente para el almacenamiento y suministro de electricidad del BUC; este, como lo muestra la Figura 9, realiza la supervisión, monitoreo, verificación, visualización e inspección de tensión en el banco y el sistema fotovoltaico autónomo, además de proporcionar la potencia suficiente para el encendido de las iluminarias.

Figura 9: Conjuntos del controlador electrónico



Fuente: elaboración propia.

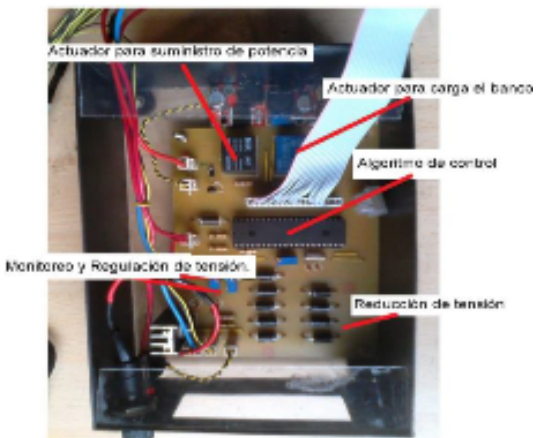
El circuito electrónico de la Figura 10 muestra los elementos que conforman el controlador electrónico, así como los actuadores de apertura y cierre de tensiones, los elementos de monitoreo y regulación y un microcontrolador para el mando de las variables relacionadas.

6. Controlador: alternativa propuesta

6.1. Algoritmo de control

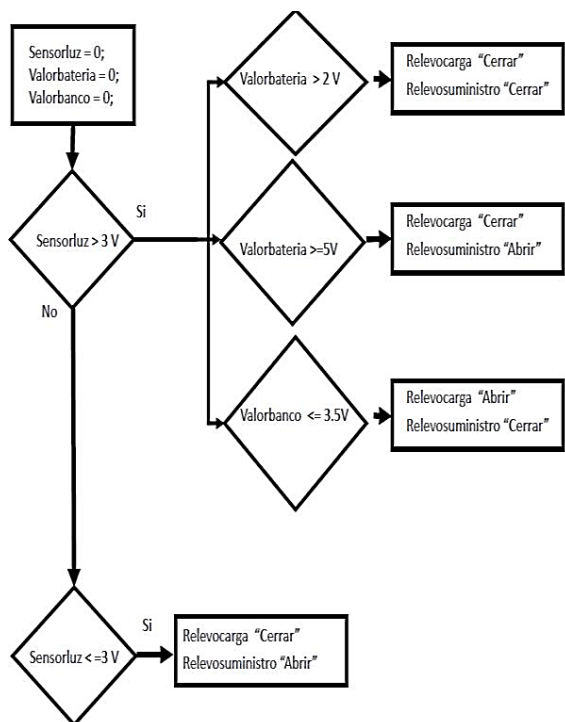
La Figura 11 ilustra el algoritmo de control. Se determinan variables como: valorbanco, que indica la tensión de controlador solar de carga; valorbateria, que indica el suministro de la corriente eléctrica a la tarjeta electrónica, y sensorluz, que indica el sensor que determina el huso horario. Por otro lado, las variables de relevocarga y relevosuministro indican respectivamente la cargar y el suministro de la electricidad al banco y aplicación.

Figura 10: Tarjeta electrónica del controlador electrónico.



Fuente: elaboración propia.

Figura 11: Algoritmo del controlador electrónico



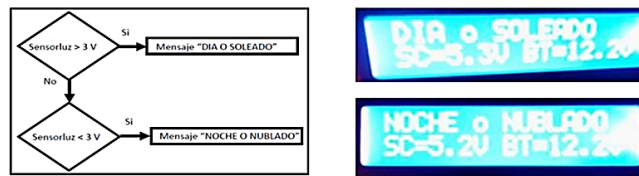
Fuente: elaboración propia.

7. Visualización

En esta fase se muestra el comportamiento de las variables de algoritmo de control, permitiendo observar la tensión de la carga del banco y el sistema fotovoltaico autónomo; además, se indica el estado climático y cómo

el sistema es capaz de detectar la jornada en la cual se encuentra, es decir A.M. o P.M., como se puede visualizar en la Figura 12.

Figura 12: Algoritmo y visualización de las variables del sistema del controlador electrónico



Fuente: elaboración propia.

8. Sensor de estado del día

En esta etapa, formada por un circuito con fotorresistencia y la radiación solar del ambiente, se presenta el cambio en el valor resistivo permitiendo que el microcontrolador identifique y represente cuándo es día o sol, o sea de noche, o día nublado; así, se logra activar o desactivar la carga del BUC. La Figura 13 muestra la ubicación y circuito correspondientes. Este sensor funciona como sistema de protección, permitiendo al controlador electrónico proteger de daños al panel solar en el momento de poca presencia de radiación, evitando sobrecargas y daños al almacenamiento de carga por el BUC.

Figura 13: Circuito electrónico del sensor de estado del día e instalación en el recinto

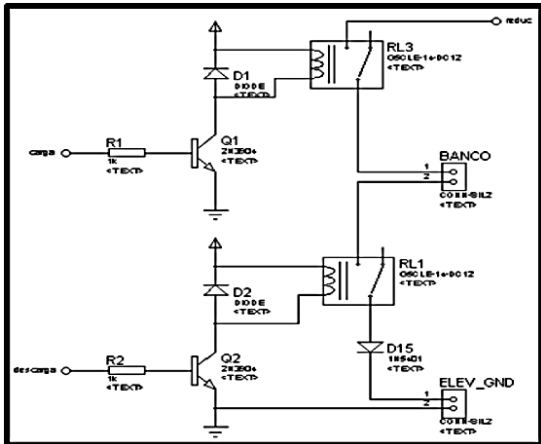


Fuente: elaboración propia.

9. Actuador para la carga y suministro del banco

En la Figura 14 se ilustra esta etapa; se emplean dos relevos electromecánicos comandados por el controlador electrónico, con el fin de que uno sea para la carga independiente del banco —de acuerdo con la condición atmosférica y la cantidad suficiente de radiación solar— y el otro para el suministro de la corriente eléctrica seguido luego una fuente tensión tipo elevador para el sistema de iluminación.

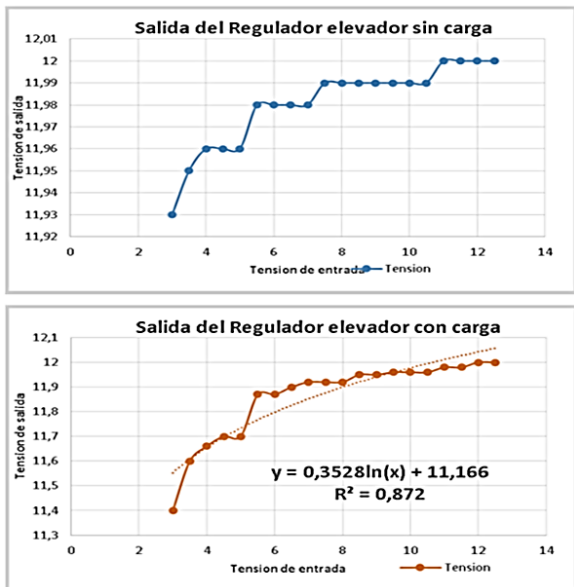
Figura 14: Esquema electrónico del Actuador para la carga y suministro del banco



Fuente: elaboración propia.

10. Pruebas y resultados de eficiencia de la fuente elevadora de tensión

Figura 15: Salida de tensión de la fuente elevadora de tensión al sistema de iluminación



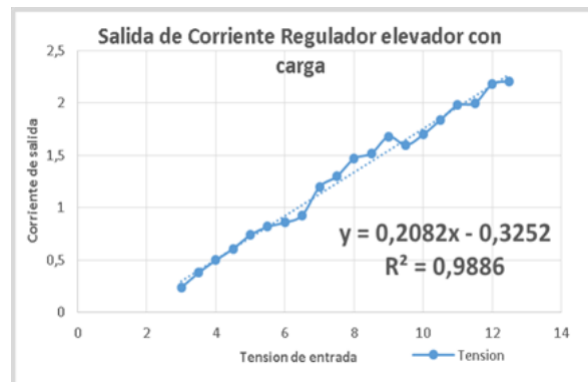
Fuente: elaboración propia.

Puesta en marcha la etapa de los actuadores para cargar y descargar la energía almacenada en el banco de ultracondensadores. Las pruebas, como se muestra en la Figura 15, indican que es regulado el paso de potencia eléctrica a las luminarias led. Se verifica que es eficiente, ya que la tensión de entrada a partir de 3.5 V suministra el voltaje necesario para el funcionamiento

de las lámparas; esto se presenta, además, porque los ultracondensadores están en capacidad de entregar una alta corriente, compensando la potencia requerida para el encendido de las lámparas.

El sistema de iluminación basado en bombillas led posee múltiples ventajas en ahorro, eficiencia energética, durabilidad, resistencia, salud y bondades medio ambientales [12], además de lo más importante que es su bajo consumo, razón por la que se opta en la implementación del módulo. En la Figura 16 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.

Figura 16: Desarrollo de corriente en el sistema de iluminación



Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 5 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 5: Características eléctricas del sistema de iluminación

Tensión	12 V DC
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

La Figura 17 y la Figura 18 muestran el sistema de iluminación funcionando a carga completa del banco de ultracondensadores.

Figura 17: Puesta en marcha del módulo de almacenamiento implementado con ultracondensadores



Fuente: elaboración propia.

Figura 18: Funcionamiento almacenamiento implementado con ultracondensadores



Fuente: elaboración propia.

11. Estudio comparativo de costos entre el sistema fotovoltaico y el de ultracondensadores

En el 2015, los veinte ultracondensadores costaban cerca de 160 000 pesos colombianos. Dado que la densidad de energía de la batería recargable es de 1.1232×10^6 J o 312 Wh, y la generada por el banco de ultracondensadores es 3.6450 J o 10.125 Wh; proporcionalmente, el dinero para obtener la misma densidad de energía del banco de ultracondensadores a

la de la batería es de 4 930 400, y se requieren una cantidad cercana de 616 ultracondensadores. Esto indica 75,85 años para recuperar la inversión. De otro lado, los principales fabricantes de ultracondensadores aseguran la durabilidad —por cargas y descargas— de 500 000 ciclos, mientras que la de la batería es de aproximadamente 500 ciclos. Por lo tanto, si el banco de ultracondensadores realizara doce ciclos diarios, tendrán que pasar 114 155 años para averiarse, eso representa un ahorro cercano a 7 420 091 que representan cerca de dos años para que se cambien las baterías al deteriorarse

12. Conclusiones

Esta investigación, que integra el uso de ultracondensadores con sistemas de energía alternativa, evidencia que se puede brindar un soporte eficiente de respaldo energético. En este sentido, se puede inferir que, además de implementar un sistema con energía limpia, se genera suficiente corriente eléctrica para lograr un conjunto eficiente en el suministro y almacenamiento de electricidad.

El papel del controlador eléctrico consigue realizar de manera eficiente la actividad de proveer, acumular y regular el sistema a partir de una tensión muy baja, por lo que se logra el cumplimiento efectivo de iluminación. Se puede concluir que el papel de la innovación en ingeniería es vital en el momento de hacer sistemas mucho más eficientes.

Por otra parte, las tecnologías en Colombia sobre el empleo de ultracondensadores siguen siendo escasas; por el momento, se reportan apenas estudios de mejoras estructurales del grafeno en algunas universidades del país. El presente trabajo, por lo tanto, abre la posibilidad de aplicar esta innovación en otros proyectos que mejoren sistemas sostenibles de producción agropecuaria, industrial, transporte, entre otras actividades relacionadas con el mejoramiento de la calidad de vida de habitantes en regiones apartadas y vulnerables del país, siendo ambientalmente amigable y eficiente.

Referencias

- [1] Minambiente, “Gobierno Nacional sanciona Ley que incentiva el uso de energías renovables”. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/compon\ent/content/article?id=669:el-uso-sostenible-de-los-bos\ques-prioridad-de-minambiente-78>

- [2] UPME, “Plan energético nacional Colombia: ideario energético 2050”. 2015. [En línea] Disponible en: http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf
- [3] Fedesarrollo, “Análisis costo beneficio de energías renovables no convencionales en Colombia”. 2013. [En línea]. Disponible en: http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/WWF_Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-convencionales-en-Colombia.pdf
- [4] UD, “GIEAUD-Facultad Tecnológica”. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/gieaudfactec/>
- [5] Pacopower, “3 Stage Automatic 12V/24V 6A Solar Charge Controller”. 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.pacopower.com/productshow.asp?ID=57WSQ82TPT>
- [6] Erasmus, “Panel solar erasmus”. 2017, [En línea]. Disponible en: <http://www.erasmus.com.co/>
- [7] TECMES, “Estación meteorológica pegasus línea ep 201”. 2017. [En línea]. Disponible en: <http://www.tecmes.com/wp-content/uploads/2014/pdf/equipos-autonomos/EP-201.pdf>
- [8] S. K. Pati, C. N. R Rao Y T. Enoki, “Graphene and its Fascinating Attributes”. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2011, pp 2-26. doi: <https://doi.org/10.1142/7989>
- [9] Automática e instrumentación, “Ultracondensadores: mayor densidad de energía”. 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.cinergia.coop/sites/default/files/2009_03_aei_2009_ultracaps_j_rafecas_0.pdf
- [10] A. Yu, V. Chabot y J. Zhang., “Electrochemical Supercapacitors for Energy Storage and Delivery: Fundamentals and Applications”. Canada: editorial CRC Press, Abril 2013, pp 56-97.
- [11] M. Lu, F. Beguin, “Supercapacitors: Materials, Systems and Applications”. Editorial Wiley-VCH Verlag GmbH, April 2013, pp 10-24.
- [12] I.V. Barsukov, C.S. Johnson, J.E. Doninger, V.Z. Barsukov, “New Carbon-Based Materials for Electrochemical Energy Storage Systems: Batteries, Supercapacitors and Fuel Cells”. Editorial Springer, vol. 229, 2006, pp 10-35. doi: <https://doi.org/10.1142/7989>
- [13] E.G. Calvo, A. Arenillas, J.A. Menéndez, M. González, J.C. Viera, “Propiedades, ventajas e inconvenientes de los materiales utilizados en supercondensadores”. Instituto Nacional del Carbón, CSIC, Oviedo, España, 2009.
- [14] Green-Cap, “Electric Double Layer Capacitors”. 2017. [En línea]. Disponible en: http://www.samwha.co.kr/SW_catalogue/ecatalog.asp?Dir=72