



# Desarrollo de un regulador de carga para sistemas fotovoltaicos aplicando instrumentación virtual

Johan Sebastián Patiño Abella<sup>1</sup>

Juan Sebastián Tello Reyes<sup>2</sup>

Johann Alexander Hernández Mora<sup>3</sup>

## RESUMEN

Este artículo presenta el proceso empleado en el desarrollo un regulador virtual de carga para sistemas fotovoltaicos autónomos, el cual incluye adquisición y control de datos, medición en tiempo real del voltaje de las baterías, y registro de eventos en archivo de Excel® en el que se indica la hora, día, mes, año, evento ocurrido y magnitud del mismo. Este regulador de carga fue implementado aplicando instrumentación virtual mediante el software de programación grafica LabVIEW® y una tarjeta de adquisición de datos de National Instruments®, la cual tiene una alta velocidad de muestreo y comunicación por puerto USB.

Las pruebas realizadas indican que el control efectuado por el regulador virtual de carga sobre un sistema fotovoltaico autónomo cumple con los parámetros operativos establecidos para estos dispositivos, logrando un óptimo procesamiento de la información, además de poseer ventajas e innovaciones frente los reguladores de carga convencionales, siendo una apropiada alternativa a la hora de implementar este tipo de sistemas.

**Palabras clave:** Sistemas fotovoltaicos, sistemas fotovoltaicos autónomos, instrumentación virtual, regulador de carga, control, monitoreo.

## DEVELOPMENT OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM LOAD REGULATOR APPLYING VIRTUAL INSTRUMENTATION.

### ABSTRACT

In this work, the procedure used to develop a virtual load regulator for autonomous photovoltaic systems is described. The regulator includes data acquisition and control, real time measuring of batteries voltage, and event tracking that records data items such as hour,

day, month, year, kind of event and voltage magnitude in an Excel ® file. This load regulator was implemented applying virtual instrumentation through the LabVIEW® graphic programming software and a high-speed sampling rate and USB-enabled data acquisition device by National Instruments(c).

Tests indicate that the virtual load regulator operation on a autonomous photovoltaic system meets the operating parameters established for these kind of devices, achieving optimal information processing, as well as having advantages and innovations compared to conventional charge controllers.

**Key words:** Photovoltaic systems, virtual instrumentation, load regulator, control, monitoring.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se presenta una tendencia a descentralizar la producción de electricidad y buscar tecnologías no convencionales para su abastecimiento, donde la energía solar ha surgido como una solución de alto potencial por utilizar un recurso que en teoría es inagotable [1], [8].

Sin embargo, la generación fotovoltaica es una tecnología que se puede considerar que se encuentra en proceso de desarrollo, debido a que se están evaluando la eficiencia y las bondades de sus diferentes aplicaciones como solución a la problemática de suministro de energía en zonas no interconectadas con las redes de suministro eléctrico comerciales [2-3].

Para evaluar la operación de los sistemas fotovoltaicos se debe disponer de herramientas capaces de monitorear su funcionamiento y desempeño, lo que conlleva a adquirir la información necesaria para optimizar la composición de dichos sistemas, de modo que se realice un mayor aprovechamiento del

<sup>1</sup> Miembro de la línea de investigación en fuentes alternativas de energía "LIFAE", Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

<sup>2</sup> Miembro de la línea de investigación en fuentes alternativas de energía "LIFAE", Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

<sup>3</sup> Docente de planta, Facultad de Ingeniería, U. Distrital Francisco José de Caldas.

recurso solar e incremente el monto de energía eléctrica que se puede generar. [4]

El presente trabajo muestra el desarrollo de un instrumento virtual que opera como un regulador de carga para sistemas fotovoltaicos autónomos, el cual tiene como función principal controlar el estado de carga de las baterías que componen dicho sistema. Para cumplir con este propósito, el instrumento desarrollado realiza continuamente la captura de la tensión en las baterías, para posteriormente realizar el análisis del valor de dicha tensión y emitir señales que resulten en la ejecución de maniobras automáticas realizadas por relés que controlan la interconexión de los elementos que componen un sistema fotovoltaico autónomo.

La novedad en el uso de este regulador virtual es que permite cambiar los rangos de voltaje dentro de los cuales se considera una batería sobrecargada o descargada según las características operativas de la misma, mediante programación gráfica de manera sencilla y eficaz. Además, realiza un registro de eventos que permite establecer patrones de comportamiento del sistema y hacer un seguimiento cronológico a su operación de tipo lineal paralelo.

Para el presente artículo, en primera instancia se hace una revisión de las funciones desempeñadas por un regulador de carga convencional, y de esta forma definir las que debe llevar a cabo el regulador realizado con instrumentación virtual. Posteriormente, se detallan las características de los elementos que permiten la operación del regulador desarrollado, así como la composición y modos de operación del mismo. Por último, se realiza una evaluación de los resultados obtenidos durante la operación del regulador, y se compara el desempeño del regulador desarrollado frente a uno convencional.

## 2. REGULADOR DE CARGA CONVENCIONAL

Este dispositivo sirve como punto de acople para los elementos que conforman un sistema fotovoltaico autónomo, el cual realiza una supervisión del estado de carga de la batería mediante una captura constante del voltaje presente en los bornes de la misma, para de esta forma protegerla contra sobrecargas o descargas profundas que afectan su vida útil. Los valores bajo los cuales se consideran las

baterías sobrecargadas o descargadas vienen establecidos en la memoria del regulador, los cuales dependen de cada fabricante [5].

Cuando el regulador detecta que el voltaje de las baterías es menor o igual al establecido como voltaje de descarga, desconecta automáticamente las cargas para que las baterías se recarguen con la energía generada por los paneles fotovoltaicos. Así mismo, cuando el voltaje de las baterías es igual o superior al valor fijado en el regulador como tensión de sobrecarga, se desconectan automáticamente los módulos fotovoltaicos evitando perjuicios a las mismas que acorten su vida útil (ver Figura 1).

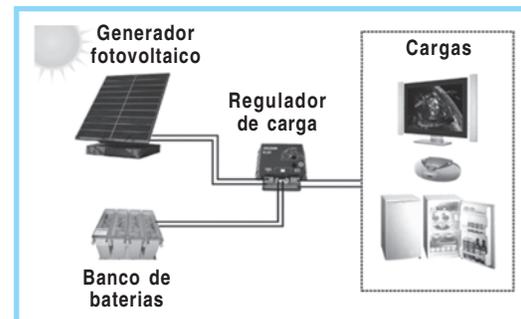


Figura 1. Esquema de un sistema fotovoltaico con regulador de carga convencional. Tomado de [7].



Figura 2. Sistema fotovoltaico implementado. Tomado de [7].

## 3. DISPOSITIVOS NECESARIOS PARA EL CONTROL DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO

El control desarrollado a partir de instrumentación virtual para llevar a cabo el monitoreo y control del funcionamiento del sistema fotovoltaico está compuesto por los siguientes elementos: tarjeta de adquisición de datos, el computador con el programa que opera el sistema, los relés de interconexión RB1 Y RB2 que permiten la conexión/desconexión de los módulos fotovoltaicos y las cargas respectivamente, junto con un circuito de

amplificación de señal destinado a realizar la activación de dichos relés. La Figura 2 muestra la posición de los relés RB1 y RB2 dentro del sistema fotovoltaico autónomo que se controla con el regulador desarrollado.

## 4. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA

### 4.1 Tarjeta de adquisición de datos

La adquisición del voltaje de las baterías se realiza mediante la tarjeta de adquisición de datos NI© USB-6008, la cual hace un muestreo de 20.000 muestras/seg sobre dicha señal, permitiendo hacer un análisis en tiempo real del estado de carga de las baterías.

La tarjeta usada captura señales por sus puertos análogos en modo común o en modo diferencial. Al realizar la captura en modo común, las señales son medidas por puertos individuales y son referenciadas al borne designado como tierra de la tarjeta, además que la amplitud máxima permitida para dichas señales es de  $\pm 10$  V. Al realizar la captura en modo diferencial, la medición de la señal se realiza mediante dos puertos y el dato guardado corresponde a la diferencia de potencial vista entre dichos puertos, por lo que las señales medidas por este medio pueden tomar valores con una amplitud máxima de  $\pm 20$  V. Debido a que la señal de voltaje de las baterías es tomada directamente de los bornes de la misma, y que dicho voltaje puede elevarse hasta 15 V, esta señal es capturada en modo diferencial.

Por otra parte, la tarjeta emite señales digitales con la finalidad de activar relés encargados de hacer las conexiones y desconexiones de los elementos del sistema según los niveles de tensión medidos. Dicha señal de salida tiene una tensión de 5 V con un límite de corriente de 5 mA, donde dicho límite de corriente no debe ser superado ya que se incurriría en daños irreparables para la tarjeta.

### 4.2 Circuito de amplificación de señales de control

Dado que la señal de salida de la tarjeta es insuficiente para realizar la activación de los relés, fue necesario diseñar un circuito de amplificación con el voltaje y corriente

necesario para realizar ésta operación. La Figura 3 muestra el circuito implementado.

Cuando la salida digital de la tarjeta se encuentra en estado lógico “1” presenta una tensión de 5 V, mientras que al encontrarse en estado lógico “0” presenta una tensión de 36mV, por lo que en la primera parte del circuito se implementó un amplificador operacional no inversor en lugar de una configuración que conlleve a la saturación de éste, ya que esta última no podría distinguir entre los estados lógicos de la salida de la tarjeta.

La señal de salida se lleva a un arreglo de transistores, el cual tiene una ganancia de voltaje un poco inferior a la unidad, pero aumenta en gran cantidad el monto de corriente que puede suministrarse a la carga del circuito.

Para efectos de la simulación del circuito, la fuente de 5 V representa la tensión de los canales digitales de la tarjeta y el interruptor simula los mandos que se efectúan por software según la magnitud de voltaje del banco de baterías. Debido a la alta impedancia de entrada que tienen los amplificadores operacionales, la corriente que entrega por la tarjeta tiene una magnitud cercana a los 890 nA, el cual es un valor muy inferior al valor máximo de corriente que puede suministrar la tarjeta.

## 5. COMPOSICIÓN DEL REGULADOR VIRTUAL DE CARGA

Empleando el software LabVIEW®, se desarrolló un instrumento virtual (VI) denominado “regulador virtual de carga”. A continuación se exponen las características de este instrumento, así como las funciones desarrolladas por el mismo.

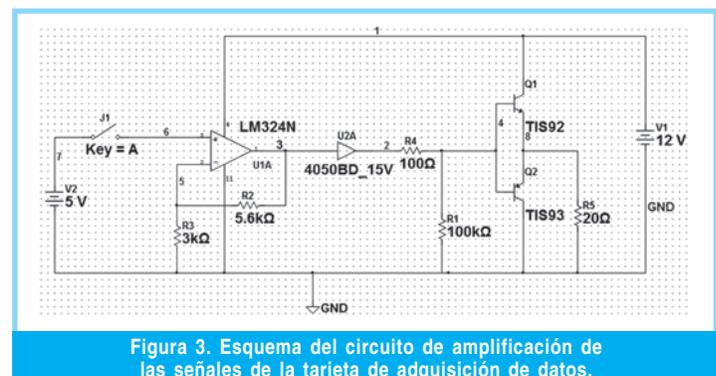


Figura 3. Esquema del circuito de amplificación de las señales de la tarjeta de adquisición de datos.

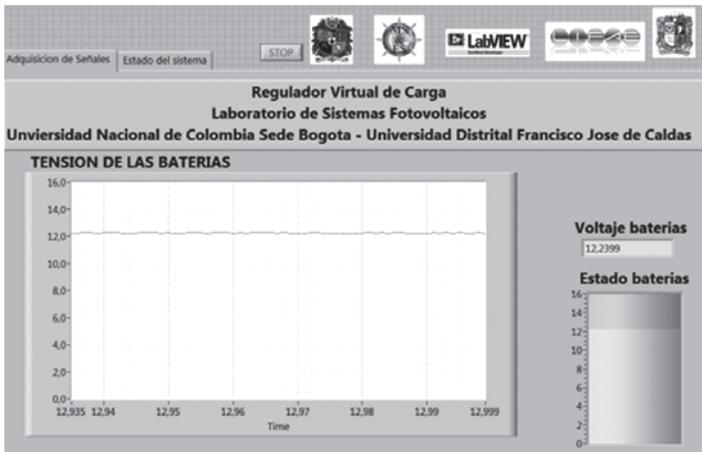


Figura 4. Panel frontal del regulador virtual de carga, pestaña "Adquisición de señales".



Figura 5. Panel frontal del regulador virtual de carga, pestaña "Estado del sistema".

### 5.1 Interfaz de adquisición del voltaje de las baterías

La Figura 4 presenta la parte del panel frontal del instrumento dedicada a la visualización de la señal de tensión proveniente del banco de baterías, la cual se grafica en tiempo real. Además de esto, se cuenta con un indicador numérico que muestra el valor de tensión medido y un indicador tipo tanque que cambia de color según el estado de carga de la batería.

### 5.2 Interfaz del esquema del sistema fotovoltaico

En la Figura 5 se ilustran los elementos que integran el sistema fotovoltaico, así como la ubicación de los relés que realizan las interconexiones de los elementos. La posición de los contactos de los relés se denota a partir de indicadores lumínicos, los cuales se encienden o apagan en correspondencia a las

maniobras ejecutadas por los relés a partir de las señales de mando generadas por el regulador, y de esta forma configurar la conexión del sistema según se presente una carga normal, sobrecarga o descarga de las baterías.

Para complementar la operación del sistema, se establecen controles manuales para la activación de los relés, lo cual permite atender condiciones de falla de los elementos que componen el sistema y la realización de procedimientos de mantenimiento sobre dichos elementos.

### 5.3 Clave de autorización

Para realizar modificaciones en el programa o llevar a cabo operaciones manuales se debe ingresar una secuencia alfanumérica que coincida con la establecida en la programación del dispositivo, en el espacio del panel frontal dedicado a control de texto.

### 5.4 Evaluación de la tensión del banco de baterías

Se evalúa la señal tensión de las baterías para conocer si su estado de carga se encuentra entre los parámetros normales de operación, o si por el contrario, presentan una condición ya sea de sobrecarga o de descarga según lo establecido por el diseñador. Dicha evaluación se realiza de la misma forma en que un regulador de carga convencional detecta la ocurrencia de estos eventos.

Una de las características operativas de las baterías, es que el voltaje medido en bornes bajo exigencia de carga es menor que el voltaje medido al momento de retirar la carga, por lo que pueden presentarse conexiones y desconexiones sucesivas de las cargas al momento de presentarse una descarga de las baterías; en el momento en que se registre esta condición, el sistema desconecta las cargas y permite la reconexión de las mismas solo cuando las baterías eleven su nivel de tensión a un punto determinado por el diseñador [9-11].

Así mismo, cuando la batería se recarga, su voltaje en bornes es mayor al voltaje medido cuando se retira la fuente de carga, por lo que en condición de sobrecarga se sigue un

razonamiento similar al expuesto para la descarga, en el cual se desconectan los módulos fotovoltaicos al momento de presentarse una sobrecarga, y estos se reconectan solo cuando el nivel de tensión haya disminuido hasta un punto determinado por el diseñador [9-11].

### 5.5 Habilitación de escritura de datos

Cuando el sistema detecta algún evento en las baterías del sistema fotovoltaico, el regulador realiza un registro automático de estos eventos en una hoja de cálculo de Excel®, el cual contiene la fecha, hora y valor de tensión medido al momento de presentarse dicho evento. Esto facilita un seguimiento cronológico a la operación del regulador para establecer tendencias de operación, lo cual permitirá determinar el evento que se presenta con mayor frecuencia para tomar las medidas necesarias.

La Figura 6 muestra un ejemplo del registro tomado en las pruebas del sistema, donde además aparece el formato bajo el cual se graban los datos producto de la operación del regulador.

## 6. PUESTA EN OPERACIÓN Y DESEMPEÑO DEL REGULADOR VIRTUAL DE CARGA

El regulador virtual de carga desarrollado ha sido implementado para el monitoreo y control de un sistema fotovoltaico autónomo, que se encuentra en funcionamiento desde el mes de octubre 2009 en la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá. Este sistema autónomo está compuesto por módulos de silicio policristalino que proveen una potencia de 740 Wp, un banco de baterías que cuenta con una capacidad de 500 A.h y una corriente foto-generada pico de 40.1A.

Para las condiciones de este sistema y según las hojas de especificaciones de los elementos usados, se determinó que el banco de baterías se encontraba descargado cuando el nivel de tensión en bornes del mismo tenía un valor de 11.1V, y la reconexión de las cargas se permite cuando el nivel de tensión del banco asciende a 11.6V. Por otra parte, se determinó que el banco de baterías se encuentra sobrecargado

Fecha--08/11/2009--09:36 a.m.	Sobrecarga de las baterías	14,1022 Voltios DC
Fecha--08/11/2009--11:05 a.m.	Reconexion de los modulos	12,4503 Voltios DC
Fecha--08/11/2009--02:13 p.m.	Sobrecarga de las baterías	14,0516 Voltios DC
Fecha--08/11/2009--05:47 p.m.	Reconexion de los modulos	12,4304 Voltios DC
Fecha--09/11/2009--12:36 p.m.	Descarga de las baterías	11,0969 Voltios DC
Fecha--09/11/2009--02:17 p.m.	Reconexion de las cargas	11,6169 Voltios DC
Fecha--10/11/2009--11:10 a.m.	Sobrecarga de las baterías	14,0471 Voltios DC
Fecha--10/11/2009--04:45 p.m.	Reconexion de los modulos	12,3972 Voltios DC
Fecha--11/11/2009--09:55 a.m.	Sobrecarga de las baterías	14,1697 Voltios DC
Fecha--11/11/2009--12:39 p.m.	Reconexion de los modulos	12,4173 Voltios DC
Fecha--11/11/2009--02:17 p.m.	Sobrecarga de las baterías	14,1596 Voltios DC
Fecha--11/11/2009--07:39 p.m.	Reconexion de los modulos	12,0521 Voltios DC
Fecha--12/11/2009--08:40 a.m.	Descarga de las baterías	11,1083 Voltios DC
Fecha--12/11/2009--10:10 a.m.	Reconexion de las cargas	11,2494 Voltios DC

Figura 6. Registro de eventos guardado en Excel por el regulador virtual de carga.

cuando su nivel de tensión tiene un valor de 14V, y se permite la reconexión de los módulos cuando el voltaje del banco desciende a 12.4V.

El control del funcionamiento de este sistema era anteriormente realizado por un regulador de carga comercial (Ref. CGR 300), el cual se reemplazó por el desarrollado con instrumentación virtual.

Realizando una comparación entre la operación de estos reguladores, se puede decir que en cuanto a su función principal de proteger las baterías contra sobrecargas o descargas profundas, ambos cumplen con este propósito de la misma forma. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el regulador con instrumentación virtual permite realizar un registro de las operaciones efectuadas por el mismo, lo cual facilitó evidenciar que el sistema fotovoltaico presentaba constantes sobrecargas de las baterías, lo que a su turno indica un sobredimensionamiento del generador fotovoltaico y una deficiencia en la capacidad del banco de baterías para almacenar una mayor cantidad de la energía generada.

Por otra parte, el regulador convencional es un dispositivo electrónico compacto de un tamaño relativamente pequeño, el cual realiza la desconexión/conexión de los elementos del sistema a partir de dispositivos de estado sólido, mientras que el regulador desarrollado necesita una caja de maniobras que contenga los relés responsables de realizar las interconexiones de los elementos además de un dispositivo de adquisición de datos compatible con el software con el que se realizó la implementación. Sin embargo, teniendo en

cuenta que se trata de un prototipo, dicho regulador se encuentra abierto a mejoras en orden de compactar en un solo circuito las tareas de adquisición de datos, conexión/desconexión automática de los elementos del sistema y usar puertos como el RS-232 que es admitido por LabVIEW®, gracias a la versatilidad que tiene el regulador desarrollado.

## 7. CONCLUSIONES

El regulador virtual de carga que se desarrolló en este trabajo, es una herramienta innovadora frente al regulador de carga convencional debido a su adaptabilidad en la configuración de su operación, además de adaptarse a las características constructivas de los elementos usados para la implementación del sistema fotovoltaico.

Otras de sus características son:

- Su capacidad para registrar eventos permite facilitar el análisis del comportamiento del sistema fotovoltaico sobre el cual se implementa el regulador desarrollado.
- Debido a que el software con el que se desarrolló la aplicación pertenece a National Instruments®, el sistema no está restringido a usar la tarjeta de adquisición de datos mencionada, ya que un pequeño ajuste en la programación del regulador permitiría utilizar cualquier producto de captura de datos compatible.
- Gracias a la interfaz implementada y al respectivo software, es posible visualizar la señal de tensión proveniente del banco de baterías y el estado del sistema según las conexiones realizadas por los relés.
- Para desarrollos futuros, es necesario implementar un sistema de medición de la corriente que entra o sale de la batería, para realizar una supervisión más efectiva del estado de carga de las mismas e incluir un indicador de temperatura.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Bayegan. "A Vision of the Future Grid" *IEEE Power Engineering Review*. Volume 21, December 2001, Pages 10-12.
- [2] J. Aristizábal. "Desarrollo de prototipo para monitoreo del desempeño de sistemas de generación fotovoltaica embebida usando instrumentación virtual" Tesis Doctoral, Departamento de Física. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 2008.
- [3] R. Lawrence, S. Middlekauff, "The New Guy on the Block" *IEEE Industry Applications Magazine*. Volume 11, January - February 2005, Pages 54-59.
- [4] S. Hegedus, N. Okubo. "Real BOS and system costs of off-grid PV installations in the US: 1987-2004". 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference. 2005. Pages 1651-1654.
- [5] H. Murcia, S. Hurry. "Manual de entrenamiento en sistemas fotovoltaicos para electrificación rural". PNUD, OLADE, JUNAC. Bogotá, Colombia. 1995, 189 Pág.
- [6] T. Markvart. "Solar Electricity". Second Edition. John Wiley and Sons Inc, Southampton, United Kingdom. 2000, 256 Pages.
- [7] Grupo de Investigación "Materiales Semiconductores y Energía Solar GMS&ES". (2009). Material Académico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Física. Bogotá.
- [8] Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems. IEEE Standard 929. 2000.
- [9] J. Hernández, et al. "Development of a system for measuring the parameters determining the quality of electrical power generated by grid-connected PV systems". 31st IEEE Photovoltaic Specialists Conference. 2005. Pages 1738-1741.
- [10] J. Aguilar, P. Pérez, J. De la Casa, "Calculo de energía generada por un sistema fotovoltaico". Congreso TAAE'06, 12 - 15 de Julio de 2006.
- [11] H. Gasquet. "Sistemas fotovoltaicos". Departamento de Información Científica y Técnica, Solartronic S.A. de C.V, SOL/DT-002-04, Octubre
- [12] Oficina de información medioambiental. "Manual sobre aprovechamiento de Energía Solar". Ayuntamiento de Sant Vicent del Raspeig, Edición Octubre 2005.

### Johan Sebastián Patiño Abella

Ingeniero Eléctrico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Miembro de la línea de investigación en fuentes alternativas de energía "LIFAE", Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [jpatino@soleingenieria.com](mailto:jpatino@soleingenieria.com)

### Juan Sebastián Tello Reyes

Ingeniero Eléctrico, Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Miembro de la línea de investigación en fuentes alternativas de energía "LIFAE", Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [sebastian.tello@ieee.com](mailto:sebastian.tello@ieee.com)

### Johann Alexander Hernández Mora

Ingeniero Electricista, Universidad Nacional de Colombia, Msc. En distribución de energía, docente de planta Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Candidato a Ph.D. Universidad Nacional de Colombia. Miembro de la línea de investigación en fuentes alternativas de energía "LIFAE", Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [jahernandezm@udistrital.edu.co](mailto:jahernandezm@udistrital.edu.co)