

Conversor DC-DC controlado por MPPT de Salto Selectivo para sistema fotovoltaico

1st Camilo Alexander Díaz Soledad

Departamento de ingeniería y Ciencias de la computación
Pontificia Universidad Javeriana
Cali, Colombia
camiloalexanderdiaz@gmail.com

2nd Carlos Andrés Giraldo Castañeda

Departamento de Ingeniería y Ciencias de la computación
Pontificia Universidad Javeriana
Cali, Colombia
cgiraldoc@javerianacali.edu.co

Resumen—Este artículo presenta un mecanismo de control para un conversor DC-DC reductor, con el cual se logra una conversión eficiente para un sistema fotovoltaico regulado por MPPT. Se implementaron dos algoritmos MPPT: algoritmo de salto selectivo (SH) y algoritmo de perturbación y observación (P&O). Con estos algoritmos acoplados al conversor, se alimentaron unas cargas lumínicas de corriente directa que extraen la potencia máxima de un panel solar. Finalmente se evaluó el funcionamiento del sistema con el algoritmo SH y se comparó su desempeño frente al algoritmo P&O.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas mas grandes de la energía solar fotovoltaica son las variaciones climáticas en los sistemas fotovoltaicos, específicamente en las condiciones de radiación solar y temperatura ambiente [1]. Cuando un panel solar es sometido a variaciones climáticas drásticas o repentinas, trae como consecuencia una disminución considerable del pico de potencia que se podría suministrar. Las técnicas de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) son el método más simple para mejorar el rendimiento del módulo fotovoltaico. Existe gran variedad de técnicas MPPT, que varían en complejidad, costo, eficiencia, fiabilidad, etc. Para aportar otra alternativa de método MPPT, se desarrolló el algoritmo de salto selectivo (SH). El esquema planteado logra encontrar el punto de operación de máxima potencia donde la energía es consumida en cargas de prueba utilizadas por el sistema. Por esta razón, no se está dando un debido aprovechamiento a la energía generada, es decir, se está encontrando el punto de máxima potencia de manera *offline*. El objetivo principal de [2] era caracterizar el algoritmo de Salto Selectivo sin ser integrado como algoritmo de control en un conversor DC-DC. Para que el sistema tenga un uso práctico y sea viable, es necesario implementarlo como un algoritmo MPPT *online*, por lo cual es necesario un conversor de potencia que entregue la energía generada a cargas reales y que a través de la modificación de su ciclo útil de conmutación, se pueda sintonizar el punto de máxima potencia.

II. MÉTODOS MPPT

II-A. Método de perturbación y observación (P&O)

Este método trabaja recorriendo la curva de potencia en pequeños pasos. Primero define un punto de prueba y se calcula la potencia. Si la potencia obtenida es mayor a la obtenida en la iteración anterior, verifica si también el voltaje es mayor que en la iteración anterior; de ser así, se mueve hacia la derecha en el eje de voltaje para hacer otra medición, y si no, entonces se mueve a la izquierda en el eje de voltaje. En caso de que la potencia en la iteración anterior sea mayor que en la actual, se mueve hacia la derecha en el eje de voltaje si el voltaje anterior es mayor al actual, de lo contrario se mueve a la izquierda.

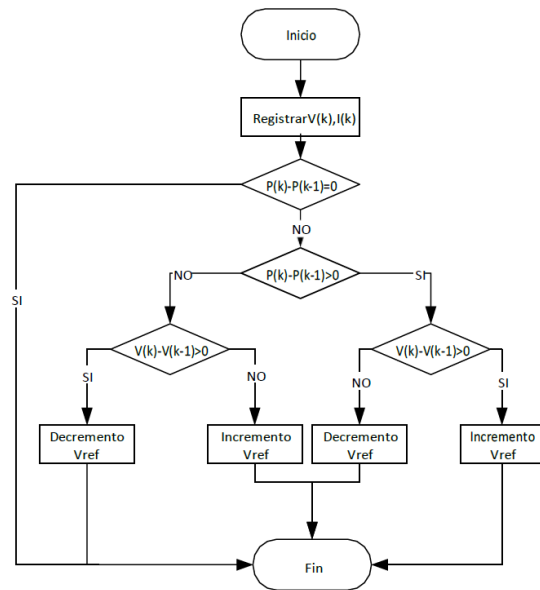


Figura 1. Diagrama de flujo del algoritmo P&O. [3]

La mayoría de controladores de carga comerciales utilizan este método de rastreo de punto de máxima potencia debido a su simplicidad, ya que comparado a otras técnicas, no es muy exigente respecto al hardware que requiere ni a la complejidad de su algoritmo.

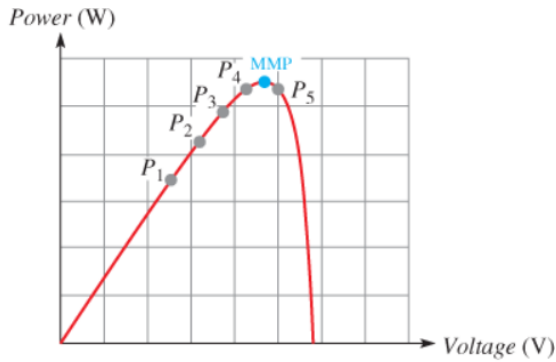


Figura 2. Recorrido de curva de potencia con P&O. [4]

II-B. Método de salto selectivo (SH)

El algoritmo de salto selectivo está basado en el algoritmo P&O. Consiste en un método iterativo en el que se definen dos puntos de voltaje y se comparan las potencias obtenidas con dichos parámetros. En donde se obtenga la potencia menor, se define el punto de corte de la sección que se eliminará del rango de búsqueda de la siguiente iteración. Además, se definirá otro punto de voltaje en sentido contrario al que se tomó el punto de potencia mas baja respecto al de potencia más alta. El rango de búsqueda se disminuye cada vez mas, hasta que se converge al punto de máxima potencia.

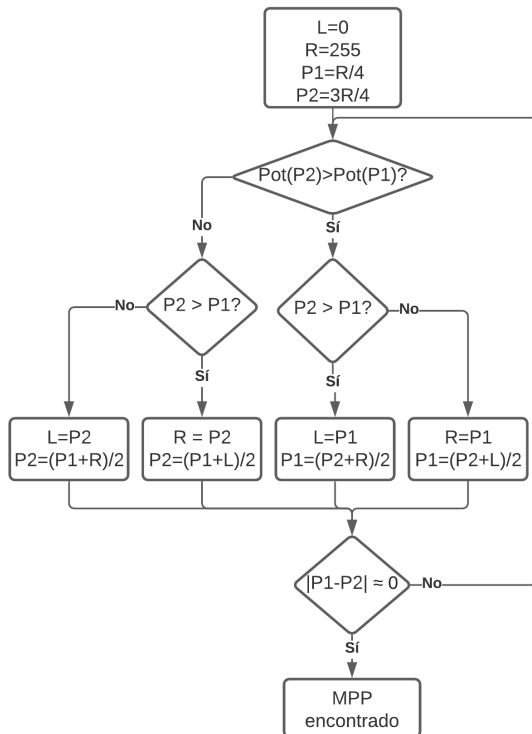


Figura 3. Diagrama de flujo del método de salto selectivo (SH).

En el diagrama de flujo mostrado en la figura 3, L y R son los extremos del rango de búsqueda del algoritmo. En la figura 4 se aprecia la dinámica del algoritmo.

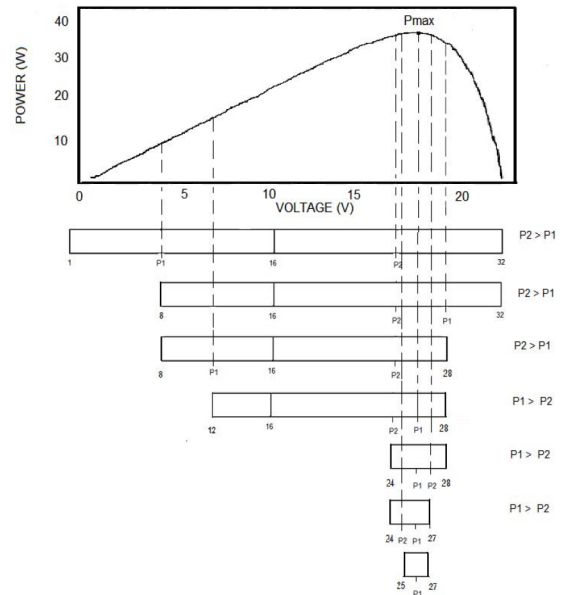


Figura 4. Búsqueda de punto de máxima potencia por el método de salto selectivo (SH). [2].

III. DISEÑO GENERAL DEL SISTEMA IMPLEMENTADO

El esquema planteado es una simplificación del esquema típico de los sistemas fotovoltaicos, en donde no se hace uso de baterías ni de un inversor (convertor DC/AC), sino que se alimentan directamente unas cargas DC con la potencia máxima que el panel puede entregar.

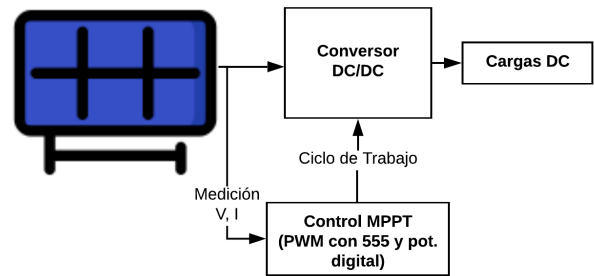


Figura 5. Esquema general del sistema.

Se usó un panel solar de referencia YL255P-29B de Yingli Solar, una carga DC de 250W que se alimenta con un máximo de 24V, un convertidor DC-DC reductor de voltaje y un generador PWM que controla los métodos MPPT a través de la selección de los ciclos de trabajo de conmutación para el convertidor a través de software. Para esto último se utilizó un microcontrolador y sensores de voltaje y corriente que miden las variables a la salida del panel solar.

III-A. Control MPPT por PWM

Para el control PWM se hizo uso del circuito oscilador 555, puesto que este proporciona señales cuadradas de salida de

muy alta frecuencia; y con la configuración que se muestra en la figura 6, se puede obtener una señal PWM cuyo ciclo de trabajo se controla por un potenciómetro.

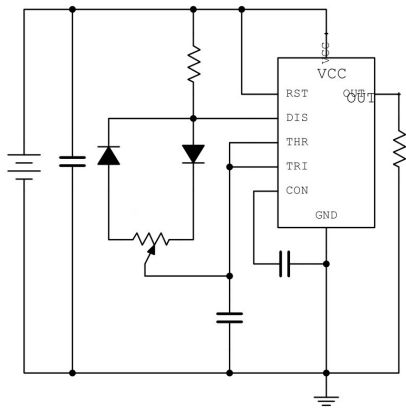


Figura 6. Esquema de control PWM.

Para controlar el ancho de pulso desde el software, se usó un potenciómetro digital.

III-B. Convertidor reductor

Debido a que el voltaje nominal del panel solar es 30V y la carga DC se alimenta con máximo 24V, se requiere un convertidor de topología reductora.

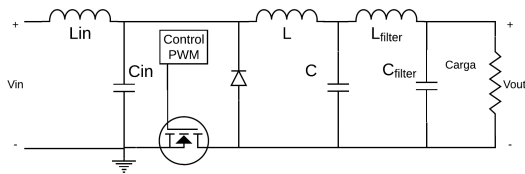


Figura 7. Esquema de conversor reductor implementado.

Se usaron filtros LC a la entrada y la salida del convertidor para atenuar los ruidos producidos por la conmutación de altas corrientes y los componentes no ideales de los elementos del circuito.

IV. RESULTADOS

En cada prueba, para observar el comportamiento de las variables al ejecutar los algoritmos, se muestran las gráficas de potencia contra tiempo y la curva de potencia contra voltaje para indicar en donde se ubicaron los puntos de prueba del rastreo.

IV-A. Prueba de P&O

Las condiciones bajo las cuales se realizó el rastreo fueron $Irradiancia = 805W/m^2$ y $Temperatura = 68^{\circ}C$. La prueba se realizó el día 23 de junio de 2021 a las 12:28 p.m. en Cali, Colombia. Las curvas se muestran en la siguiente figura:

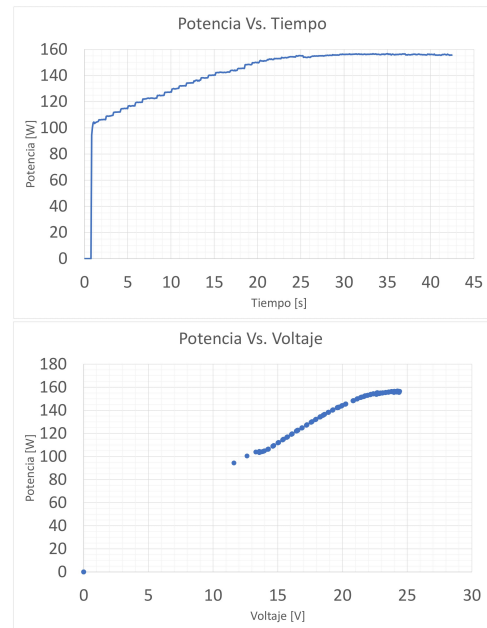


Figura 8. Curvas de rastreo usando P&O.

Se puede observar que el rastreo se ejecuta de forma escalonada utilizando puntos de prueba únicamente en la parte de la curva con pendiente positiva.

IV-B. Prueba de SH

Las condiciones bajo las cuales se realizó el rastreo fueron $Irradiancia = 802W/m^2$ y $Temperatura = 62^{\circ}C$. La prueba se realizó el 21 de junio de 2021 a las 12:33 p.m. en Cali, Colombia. Las curvas se muestran en la siguiente figura:

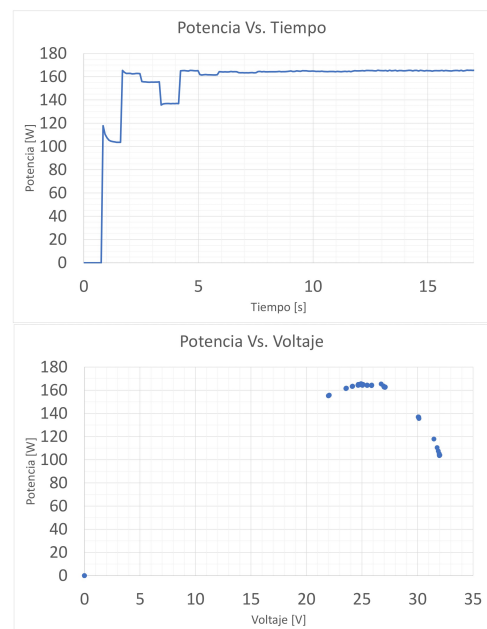


Figura 9. Curvas de rastreo usando SH.

En este caso el rastreo no se ejecuta de forma escalonada como con el método P&O, sino que se usan puntos de prueba a ambos lados del punto de máxima potencia y se recorta el rango de búsqueda en cada iteración.

IV-C. Pruebas de comparación entre P&O y SH

Para comparar los desempeños de los algoritmos, se ejecutaron uno tras de otro en el menor tiempo posible, para que las condiciones climáticas afecten mínimamente los resultados. El siguiente rastreo se realizó el 23 de junio de 2021 a las 12:00 p.m. en Cali, Colombia.

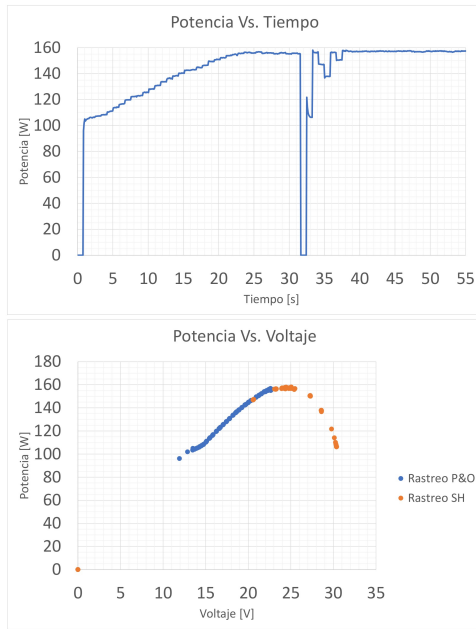


Figura 10. Comparación de curvas de rastreos con P&O y SH.

En esta prueba se observa la significativa diferencia de número de iteraciones y de tiempo de convergencia entre los algoritmos: Para el caso de SH se alcanzó una potencia de 156W en 10 segundos con 12 iteraciones; y en el caso de P&O se alcanzó también una potencia de 156W pero en un tiempo de 23 segundos con 27 iteraciones.

Se realizaron varias pruebas de este mismo tipo y se registraron los tiempos de convergencia y la potencia obtenida. La síntesis de los resultados se muestra en la siguiente tabla:

Cuadro I
RESULTADO DE PRUEBAS DE P&O Y SH

Prueba	T. de convergencia		Potencia obtenida	
	P&O	SH	P&O	SH
1	29 seg	9 seg	134W	134W
2	23 seg	10 seg	155W	157W
3	30 seg	12 seg	131W	132W
4	25 seg	10 seg	154W	156W
5	32 seg	12 seg	152W	152W
6	34 seg	12 seg	123W	123W
7	31 seg	9 seg	163W	162W
8	30 seg	12 seg	141W	141W

Con estos resultados se aprecia la considerable mejora en el tiempo de convergencia al usar rastreo SH frente al convencional algoritmo P&O, llegando en algunos casos a ser tres veces más rápido. Además, con frecuencia se obtiene una mayor potencia con el rastreo SH.

Este análisis es válido para los rastreos en donde las condiciones iniciales se definen de manera que se realice un rastreo completo de la curva según la naturaleza de cada método. Sin embargo, conociendo los valores típicos de ciclo de trabajo se pueden lograr variaciones muy significativas en el número de iteraciones, y por ende, en el tiempo de convergencia.

IV-D. Variaciones de condiciones iniciales

Los ciclos de trabajo con los que se encuentran los puntos de máxima potencia están dentro de un rango independientemente de la potencia obtenida. En las pruebas realizadas, el mínimo ciclo de trabajo con el que se encontró un punto de máxima potencia fue 71 %, mientras que el máximo fue 78 %. Conociendo este rango de ciclos de trabajo es posible definir condiciones iniciales para los métodos de rastreo, de manera que se reduzca el número de iteraciones y el tiempo de convergencia.

Un ejemplo de esto se puede observar en las siguientes curvas de rastreo de P&O:

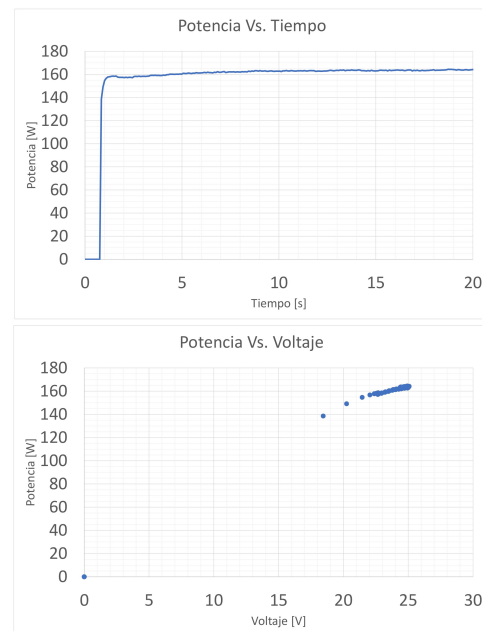


Figura 11. Rastreo P&O con ciclo de trabajo inicial de 78 %.

Al iniciar el rastreo P&O con un ciclo de trabajo del 78 %, el tiempo de convergencia fue de 9 segundos, con un total de 11 iteraciones.

De igual manera se pueden cambiar las condiciones iniciales para un rastreo SH:

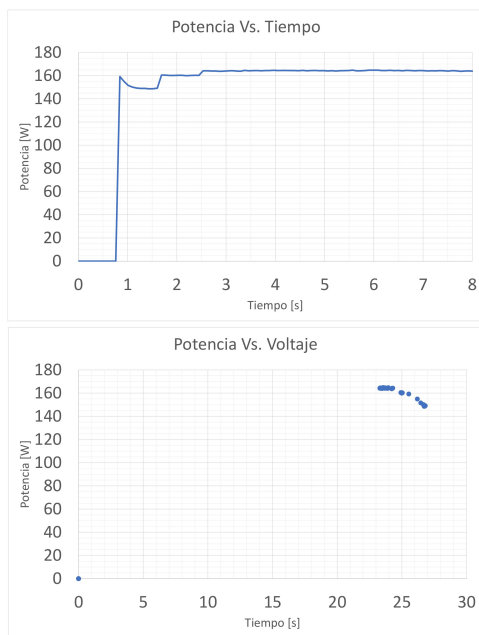


Figura 12. Rastreo SH con rango de búsqueda entre el 55 % y el 80 %.

Al definir la zona de rastreo de SH entre el 50 % y el 80 %, el tiempo de convergencia fue de 6 segundos, con un total de 7 iteraciones.

V. CONCLUSIONES

La implementación mostrada en [2] permite un tiempo de convergencia muy bajo para el método SH, llegando a ser incluso de 1 segundo. Sin embargo, con la implementación mostrada en este artículo no se obtienen tiempos tan bajos, debido a que cada iteración debe cumplir con un tiempo mínimo para que las variables se estabilicen, definido por el tiempo de respuesta de la carga y del convertidor DC-DC; mientras que en [2] se definió el tiempo de iteración tomando en cuenta únicamente el tiempo de respuesta del panel solar utilizado.

El método SH muestra ser mucho más rápido que el método P&O cuando la búsqueda del punto de máxima potencia se hace con el rango completo de la curva de potencia, es decir, sin seleccionar condiciones iniciales que optimicen el proceso. Sin embargo, al seleccionar estas condiciones iniciales no se puede predecir cuál algoritmo converge más rápido, puesto que en el caso del método P&O el tiempo de convergencia depende de que tan cercano esté el punto inicial de rastreo al punto de máxima potencia, existiendo incluso la posibilidad de que el punto inicial de rastreo coincida con el punto de máxima potencia; mientras que en el caso de SH, el tiempo de convergencia depende de qué tan estrecho sea el rango de búsqueda inicial.

Estos algoritmos fueron implementados para el sistema simplificado mostrado en la figura 5, por lo que para la implementación de un sistema con baterías es necesario adecuar los algoritmos para que trabajen con una correcta lógica de carga de baterías, de manera que se entregue la máxima

potencia únicamente cuando las baterías, junto con las cargas conectadas a esta, así lo requieran.

REFERENCIAS

- [1] S. Cuestas and L. Lebus, "Diseño de un seguidor de punto máximo de potencia", pp. 37–42.
- [2] Giraldo Castañeda, C. (2008). Maximum power point tracking using modified P&O method for the off grid radar. Master. Universidad de Puerto Rico - Mayagüez.
- [3] B. Valenzuela Pazmiño, " DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA EN SISTEMAS DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO UTILIZANDO EL ALGORITMO PERTURBACIÓN OBSERVACIÓN P&O". Quito, 2020, p. 14.
- [4] "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Charge Controller Working Principle — Electrical Academia", Electrical Academia. [Online]. Available: electricalacademia.com. [Accessed: 21- Sep- 2019].