

Comparison of P&O methods for MPPT in a real system with a synchronous buck converter

Pablo Nievas⁽¹⁾, Pablo Petrashin, Walter Lancioni, Juan Castagnola, Agustín Laprovitta,

Universidad Católica de Córdoba

Abstract- Solar power generation systems require maximum power point tracking (MPPT) control for maximum performance. Most conventional MPPT algorithms are based on the concept of slope tracking. One of the typical slope tracking methods is the Perturb and Observe (P&O) algorithm. The two basic factors that determine the performance of the P&O algorithm in MPPT control are the control of the period and the magnitude of the disturbance voltage. In this paper, different maximum power point tracking (MPPT) algorithms are presented, all based on the Perturb and Observe (P&O) method and implemented in a real solar photo-voltaic (SPV) system. Since these algorithms are modifications of the classical algorithm, the types of sensors, the convergence time and the calculated maximum power point can change substantially, depending largely on the environmental conditions. To facilitate the change of algorithms and data collection, the presented MPPT algorithms were implemented and tested using an ESP32 microcontroller, controlling the duty cycle in a DC-DC synchronous step-down converter circuit.

Index: maximum power point tracker (MPPT); DC-DC synchronous step-down converter; solar photovoltaic system (SPV); ESP32

Comparación de métodos P&O para MPPT en un sistema real con un convertidor DC-DC reductor síncrono

Pablo Nuevas⁽¹⁾, Pablo Petrashin, Walter Lancioni, Juan Castagnola, Agustín Laprovitta,

Universidad Católica de Córdoba

Resumen— Los sistemas de generación de energía solar requieren el control de seguimiento del punto de potencia máximo (MPPT) para obtener el máximo rendimiento. La mayoría de los algoritmos MPPT convencionales se basan en el concepto de seguimiento de pendientes. Uno de los métodos típicos de seguimiento de pendientes es el algoritmo de Perturbar y Observar (P&O). Los dos factores básicos que determinan el rendimiento del algoritmo P&O en el control MPPT son el control del período y de la magnitud de la tensión de perturbación. En este trabajo se presentan diferentes algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (maximum power point tracking, MPPT), todos basados en el método de Perturbar y Observar (P&O) e implementados en un sistema solar fotovoltaico (solar photo-voltaic, SPV) real. Dado que estos algoritmos son modificaciones del algoritmo clásico, los tipos de sensores, el tiempo de convergencia y el punto de máxima potencia calculado pueden cambiar sustancialmente, dependiendo en gran medida de las condiciones ambientales. Para facilitar el cambio de algoritmos y de la recolección de datos, los algoritmos MPPT presentados se implementaron y probaron utilizando un microcontrolador ESP32; controlando el ciclo de trabajo en un circuito convertidor DC-DC Reductor síncrono.

Index seguidor del punto de máxima potencia (MPPT); convertidor reductor síncrono DC-DC; sistema solar fotovoltaico (SPV); ESP32

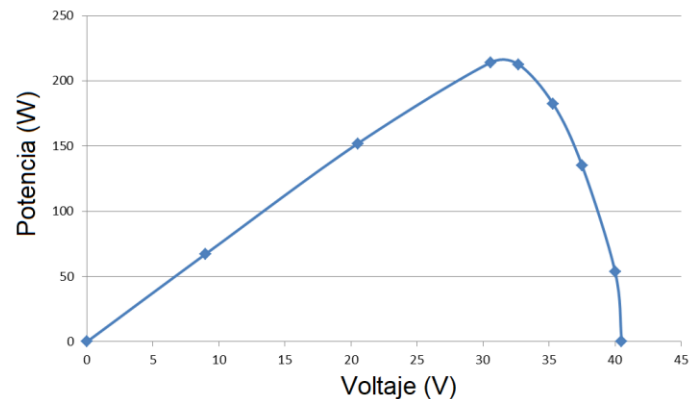
I. INTRODUCTION

En los últimos años se han publicado varios artículos sobre metodologías MPPT, la mayoría de los cuales se han verificado mediante simulaciones o sistemas estables/precisos en laboratorios. Existen actualmente varios métodos MPPT presentados en la bibliografía [1-4].

Al mismo tiempo, muchas topologías de convertidores DC-DC, como buck, boost, buckboost [3, 5, 6] se aplican junto con técnicas MPPT y se evalúa la eficiencia global del sistema, la cual incluye también la de los convertidores DC-DC. En este paper se realiza una comparativa en campo con tres métodos MPPT diferentes, lo que permitirá obtener conclusiones basadas en mediciones reales.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Tradicionalmente, las curvas características de los paneles solares se arman en un par de ejes coordenados, como el modelo mostrado en la Figura 1. Para este trabajo se cambian las variables y la curva característica observable se traza en función del duty cycle, por lo que sigue un comportamiento como el de la Figura 2.



(1) Trabajo realizado con vistas a la obtención del título de Ingeniero Electrónico en la Universidad Católica de Córdoba

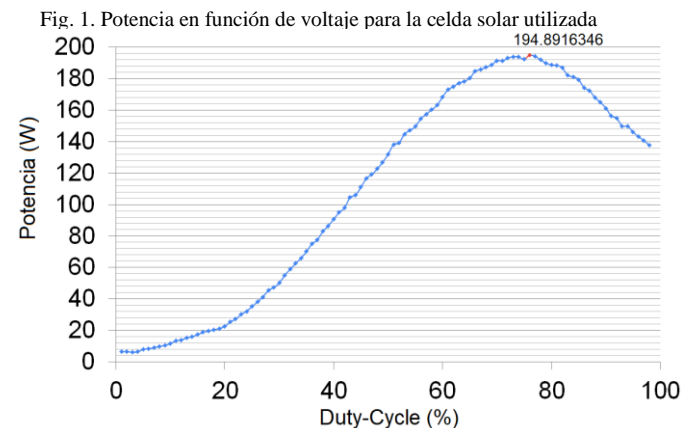


Fig. 2. Curva característica de panel solar

Como se visualiza en la Figura 2, se alcanza un punto de potencia máxima con un duty-cycle del 75%. Se toma este dato como base de cálculos de eficiencia de los métodos empleados en el presente paper

II. CIRCUITO PROPUESTO

Con base en las pruebas realizadas, se elige implementar el sistema con un convertidor buck síncrono. La introducción de

un transistor NMOS en lugar del clásico diodo permite menores pérdidas de potencia, al tiempo que soporta mayor tensión en los terminales de este. A la vez, los núcleos toroidales disponibles en el mercado local trabajan hasta 100KHz para toroides de alta potencia, lo que permite evitar el ruido introducido en caso de trabajar a frecuencias más elevadas. El circuito empleado se muestra en la figura 3.

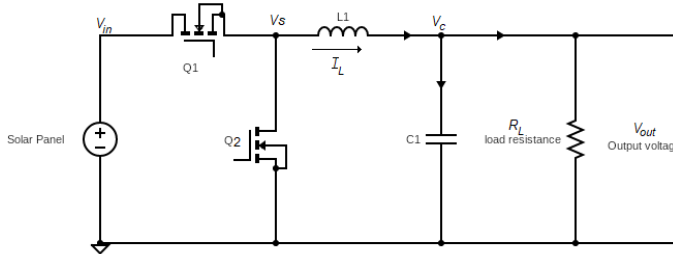


Fig. 3. Convertidor reductor síncrono

III. METODOLOGÍAS

Como se menciona anteriormente, se elige como metodología de base para el algoritmo del sistema la P&O, dado que esta metodología puede ser fácilmente modificada [1], como en los diagramas de la Fig. 4.

En cuanto a la metodología de investigación, este estudio se puede clasificar como un diseño experimental con análisis de datos cuantitativos. Se identificó la variable independiente (algoritmo MPPT), la variable dependiente (potencia del panel solar) y la variable de control (duty-cycle). Además, se llevó a cabo el experimento en un entorno del mundo real, para aumentar la validez externa del estudio.

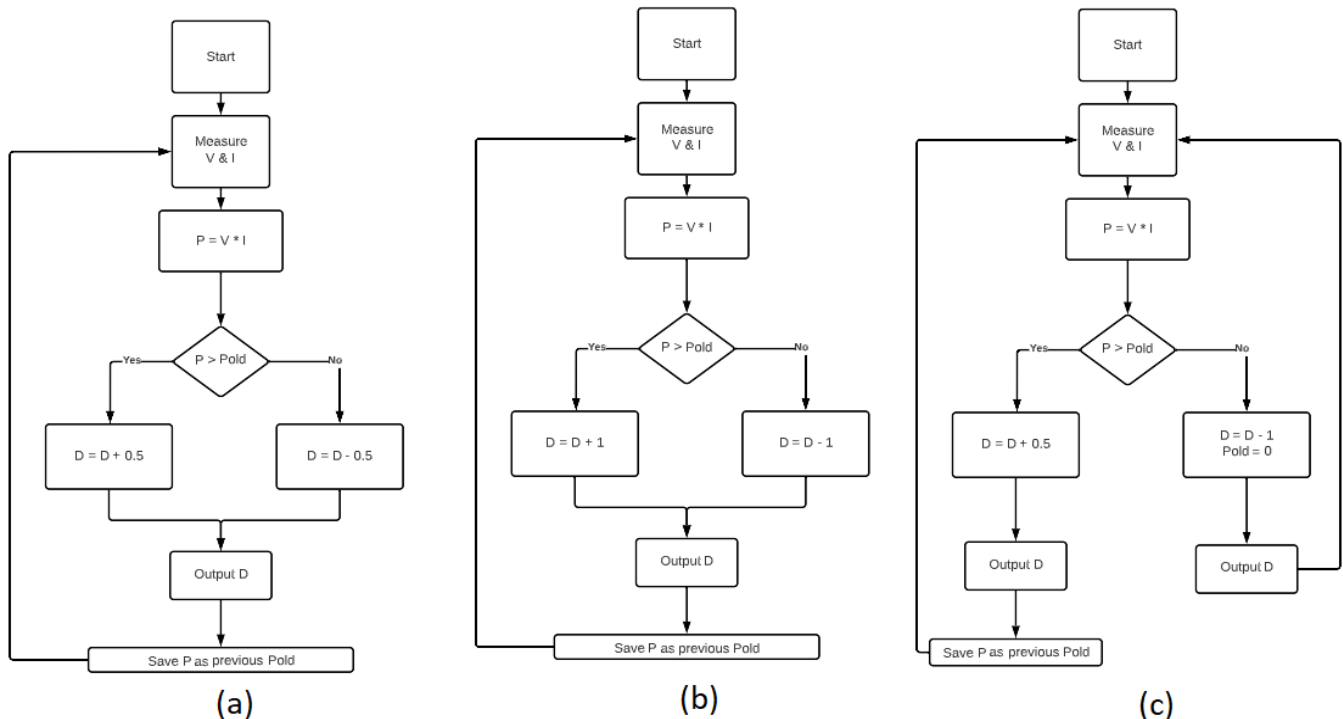


Fig. 4. Diagrama de flujo de algoritmos P&O en potencia modificados

IV. IMPLEMENTACIÓN

La elección de los componentes del sistema se basa en su disponibilidad y coste. El panel solar utilizado en campo es el ilustrado en la Fig. 5. Ubicado en el campus de la Universidad Católica de Córdoba, Avenida Armada Argentina 3555, X5016 Córdoba, Córdoba, Argentina (-31.48, -64.24). Consistente de 2 Paneles solares en serie, mientras que estos están conectados en paralelo a otros 2 paneles solares en serie, marca SOLARTEC® modelo KS75T, [8].



Fig. 5. Panel solar de la Universidad Católica de Córdoba

A. Circuito de control

Los distintos métodos MPPT se implementaron en un microcontrolador ESP32 DEV, utilizando un sensor de corriente por efecto Hall del módulo Arduino con el IC ACS712 y un divisor resistivo como sensor de tensión. Por otro lado, se implementa un controlador Driver con el integrado IR2110, [9], con la configuración estándar para aplicaciones similares, como se ve en la Fig. 6.

Para este convertidor, se observa una eficiencia máxima del 97% a 0,86 de ciclo de trabajo. Y una eficiencia media del 86% en torno a 0,5 ciclos de trabajo. Esto puede observarse en la Fig. 7.

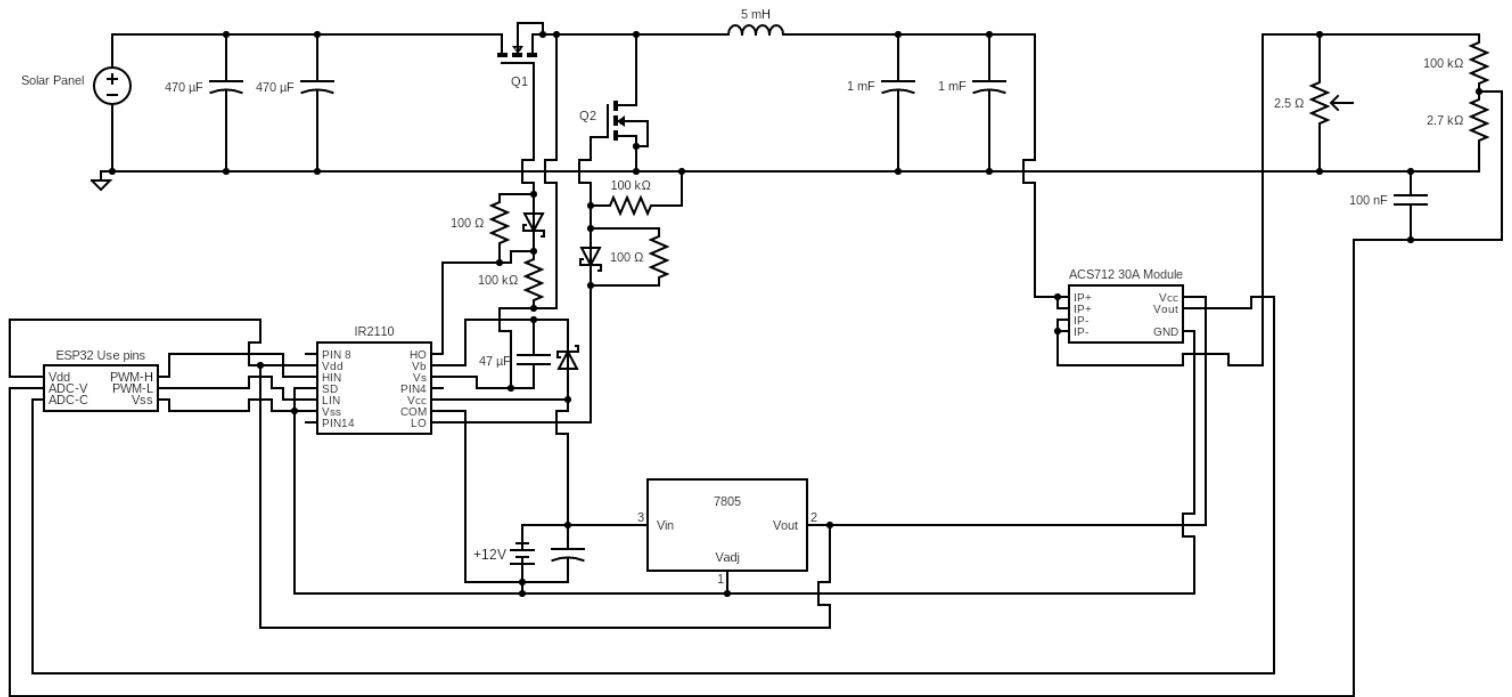


Fig. 6. Diagrama de flujo de algoritmo P&O modificado con limitador de memoria

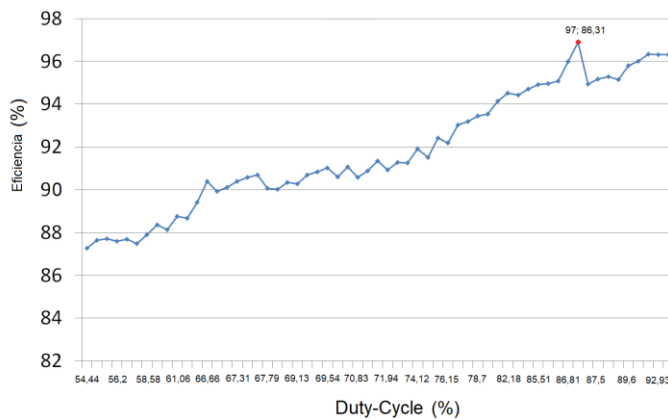


Fig. 7. Eficiencia del convertidor reductor síncrono utilizado en sistema real

Ante los resultados de la Figura 2, y la Figura 7, se considera que el circuito funciona de manera correcta cuando se tiene un duty-cycle próximo a 75%. Y se plantea un duty-cycle menor al 50%, y mayor a 90% como un algoritmo ineficiente, y que la potencia de salida es menor al posible punto de potencia máxima.

V. ALGORITMOS IMPLEMENTADOS

Implementando el método de la Fig. 4 (a) P&O en potencia se observa una convergencia de potencia de 140[W], Fig 8, a un duty-cycle que tiende al 100%, Fig. 9.

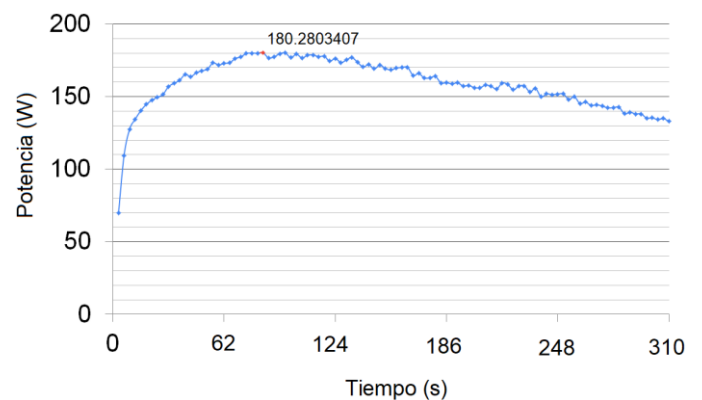


Fig. 8. Curva de potencia con método modificado simple, con un incremento de 1% y decremento del 0,5%

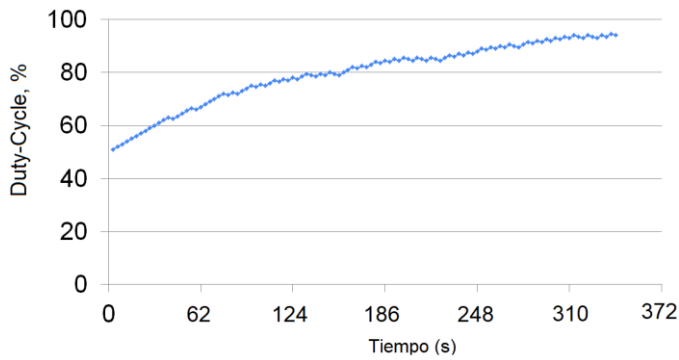


Fig. 9. Curva de duty-cycle con método modificado simple, con un incremento de 1% y decremento del 0,5%

El duty-cycle del algoritmo de P&O con mayor incremento converge a un $D=100\%$, por lo que no se considera un algoritmo funcional o eficiente.

La implementación del algoritmo de la figura 4 (b) P&O basado en potencia de salida, con un incremento igual al decremento tiene resultados indeseados. Efectivamente, la potencia y el duty-cycle termina cayendo a cero, como se muestra en la figura 10. Por lo que el algoritmo P&O equilibrado se considera ineficiente

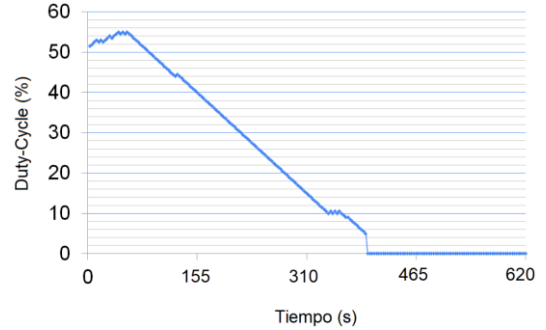
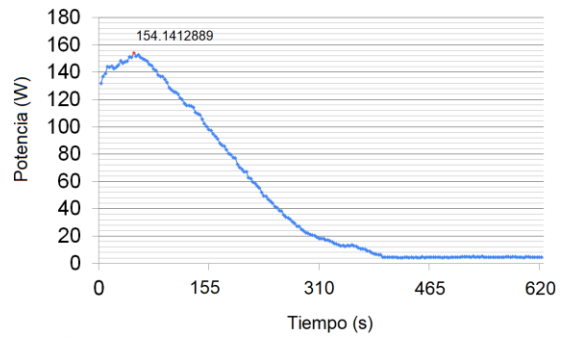


Fig. 10. Curva de potencia y duty-cycle con método modificado simple, con un incremento de 0,5% y decremento del 0,5%

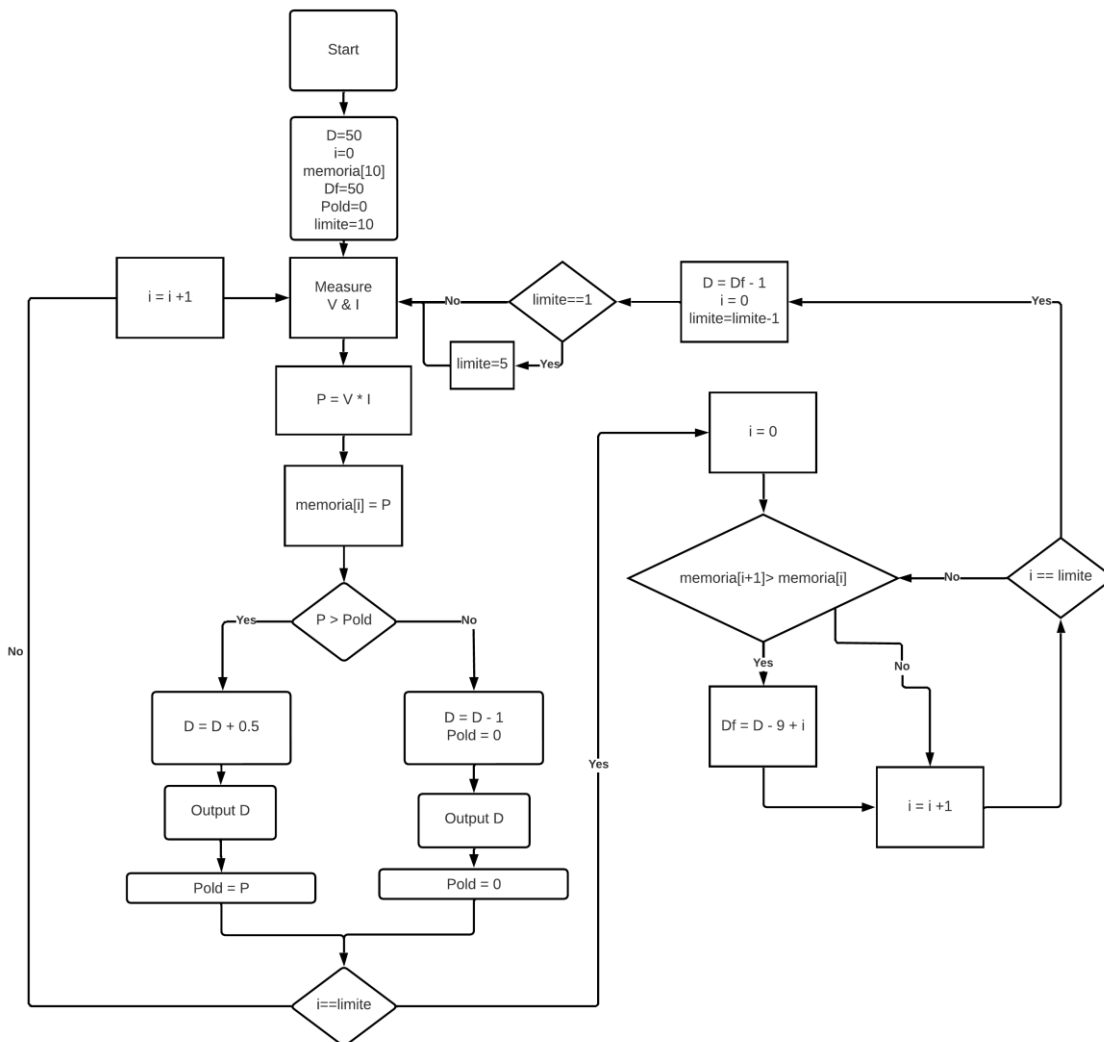


Fig. 11. Diagrama de flujo de algoritmo P&O modificado con limitador de memoria

Finalmente, para la implementación del algoritmo de la figura 4 (c) P&O basado en voltaje de salida se elige hacer una sutil variación, según se ilustra en la figura 11. (con limitador de memoria y un mayor decremento)

Implementando este último algoritmo, se observa una convergencia de la potencia cercana a la óptima con un duty cycle del orden del 55%, según se observa en la figura 12.

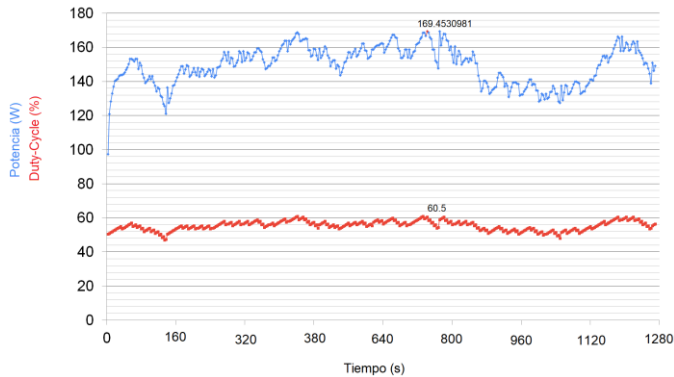


Fig. 12. Curva potencia y duty-cycle del método P&O modificado con limitador de memoria, con un incremento de 0,5% y decremento del 1%

Como este algoritmo de P&O con mayor decremento con memoria tiene un duty-cycle promedio de 55% y un máximo de 60%, se considera el método como funcional pero no completamente eficiente.

Reduciendo la resolución de este algoritmo se obtiene un comportamiento distinto con menor rango de oscilación como se ilustra en las figuras Fig 13 y 14. Se observa también una menor potencia, lo que no es debido al algoritmo en sí sino a una reducción de la intensidad solar, a medida que anochece.

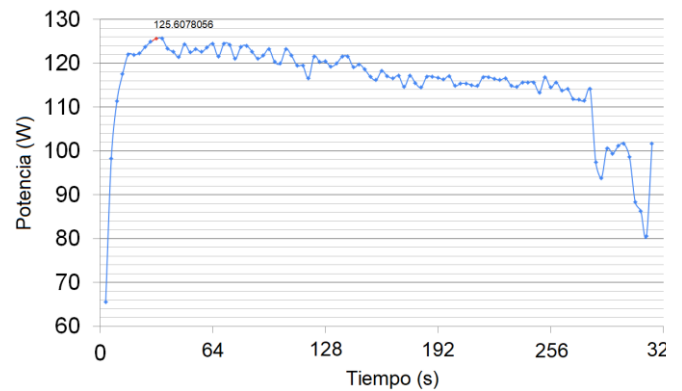


Fig. 13. Curva potencia del método P&O modificado con limitador de memoria, con un incremento de 1% y decremento del 1%

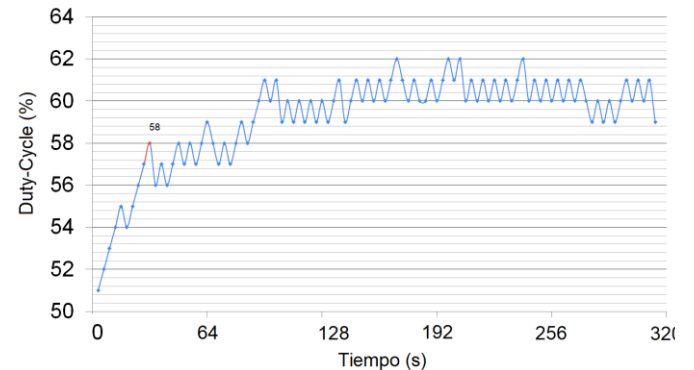


Fig. 14. Curva duty-cycle del método P&O modificado con limitador de memoria, con un incremento de 1% y decremento del 1%

Como el algoritmo de P&O equilibrado con memoria converge a un duty-cycle del 60%, se considera al algoritmo como funcional y eficiente

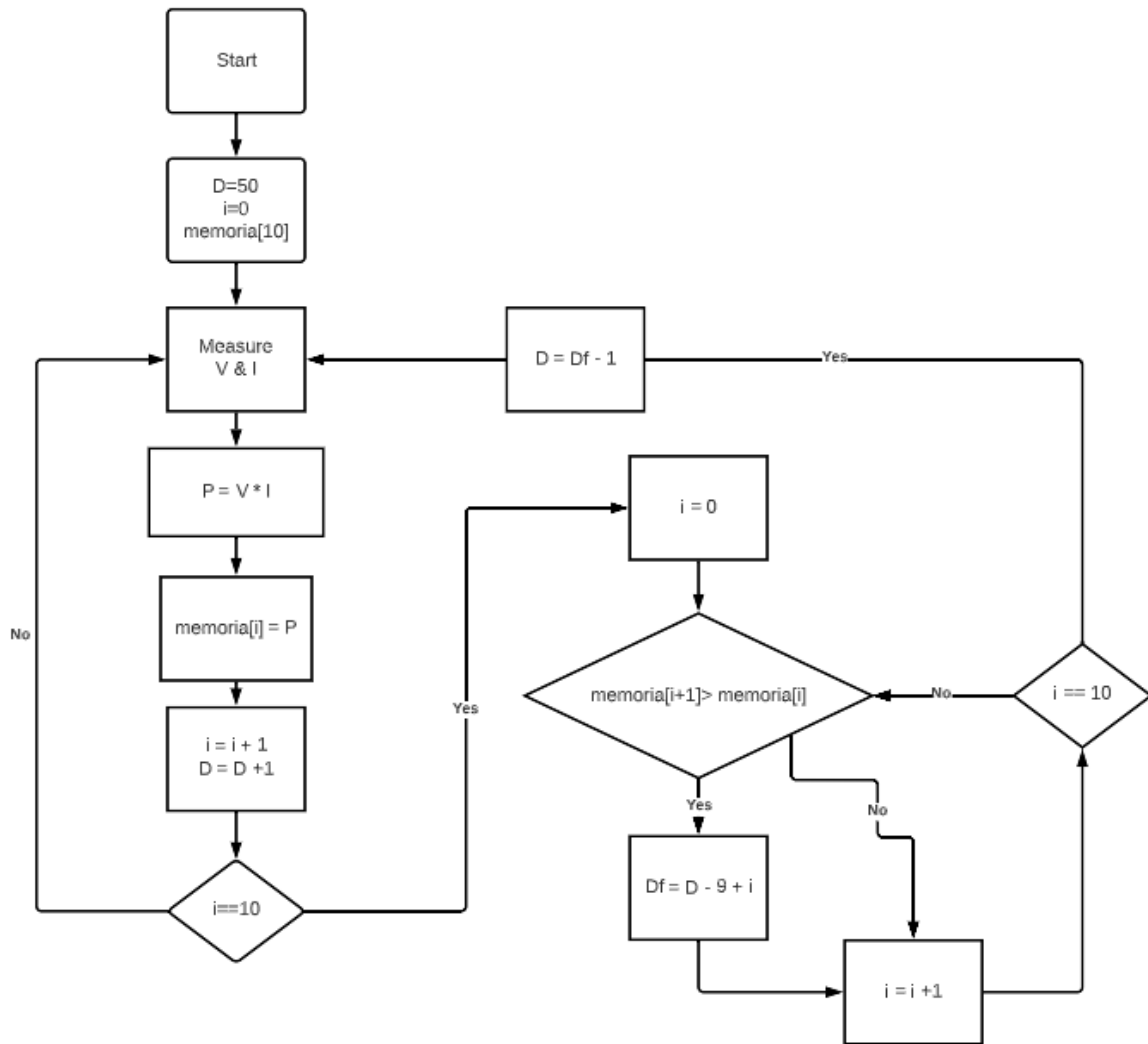


Fig. 15. Diagrama de flujo de algoritmos de memoria simple

Para finalizar, se probó con otra modificación del mismo algoritmo de la figura 4 (c), según se ilustra en la figura 15.

Para este algoritmo, que solo usa memoria, se observa un comportamiento similar al P&O modificado con limitador de potencia. Esto es mostrado en las figuras 16 y 17. Como el duty-cycle de este algoritmo de memoria converge a 60%, se considera el algoritmo como funcional y eficiente.

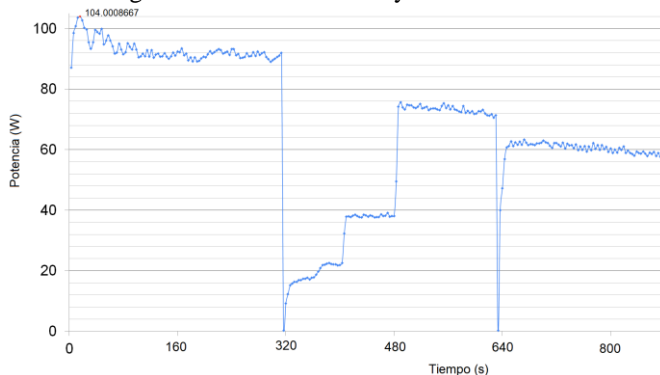


Fig. 16. Curva de potencia del método de memoria

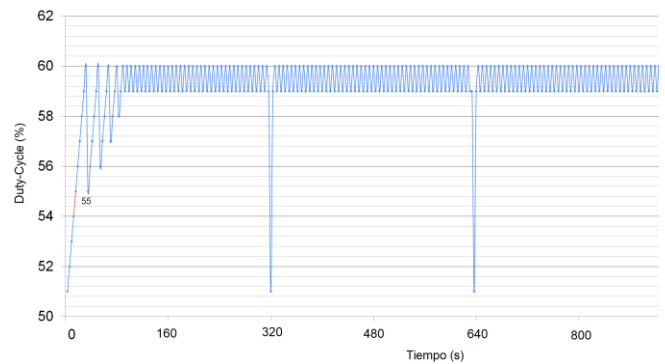


Fig. 17. Curva de duty-cycle del método de memoria

Debido a la larga exposición del sistema, se puede observar el instante en que se envían los datos a una hoja de cálculos en internet (pulsos hacia abajo en ambas figuras). Como esto dura un tiempo prolongado, deliberadamente se desconecta la carga del panel solar, teniendo potencia de 0[W] y un duty-cycle de 0%. Cabe destacar que esto es por razones puramente académicas y no representa el funcionamiento normal del método descrito.

Algoritmo	duty-cycle convergente (%)	Diferencia del MPP (%)	Eficiencia de duty-cycle relativo a 75%
P&O con mayor incremento	100	25	66,66%
P&O equilibrado	0	75	0%
P&O con mayor decremento con memoria	55	20	73,33%
P&O equilibrado con memoria	60	15	80%
Memoria	60	15	80%

VI. CONCLUSIÓN

En este artículo, se propone un estudio comparativo en condiciones reales de algoritmos de Perturbar y Observar para control de MPPT. Se muestran los resultados de un algoritmo de tamaño de perturbación variable, propuesto para cambios repentinos en la irradiancia. A diferencia del P&O convencional, el algoritmo propuesto tiene una respuesta más rápida con oscilaciones reducidas alrededor de MPP. Sin embargo, no se observa una convergencia aceptable en todos los métodos P&O modificados. Esto es resultado principalmente del estado físico del panel solar, así como los cambios en el entorno, temperatura e intensidad solar. Al mismo tiempo, al tener una curva característica de potencia con varios puntos de máxima potencia locales, los algoritmos P&O oscilan rápidamente en valores que pueden no ser de máxima potencia global.

AGRADECIMIENTO

Se desea agradecer a la Universidad Católica de Córdoba por brindar el espacio, recursos, elementos, y referencias para la elaboración del presente paper.

REFERENCIAS

- [1] T. Andrejašič, M. Jankovec, and M. Topič, "Comparison of direct maximum power point tracking algorithms using EN 50530 dynamic test procedure," *IET Renewable Power Generation*, vol. 5, pp. 281-286, 2011.
- [2] P.-C. Chen, P.-Y. Chen, Y.-H. Liu, J.-H. Chen, and Y.-F. Luo, "A comparative study on maximum power point tracking techniques for photovoltaic generation systems operating under fast changing environments," *Solar Energy*, vol. 119, pp. 261-276, 2015.
- [3] M. E. Başoğlu and B. Çakır, "Comparisons of MPPT performances of isolated and non-isolated DC-DC converters by using a new approach," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1100-1113, 2016.
- [4] R. Faranda and S. Leva, "Energy comparison of MPPT techniques for PV Systems," *WSEAS transactions on power systems*, vol. 3, pp. 446-455, 2008.
- [5] S. Sivakumar, M. J. Sathik, P. Manoj, and G. Sundararajan, "An assessment on performance of DC-DC converters for renewable energy applications," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, pp. 1475-1485, 2016.

- [6] M. Taghvaei, M. Radzi, S. Moosavain, H. Hizam, and M. H. Marhaban, "A current and future study on non-isolated DC-DC converters for photovoltaic applications," *Renewable and sustainable energy reviews*, vol. 17, pp. 216-227, 2013.
- [7] Verma, D.; Nema, S.; Agrawal, R.; Sawle, Y.; Kumar, A. A Different Approach for Maximum Power Point Tracking (MPPT) Using Impedance Matching through Non-Isolated DC-DC Converters in Solar Photovoltaic Systems. *Electronics* 2022, 11, 1053. <https://doi.org/10.3390/electronics11071053>.
- [8] Modulo Fotovoltaico Policristalino de Alto Rendimiento de SOLARTEC® KS75T
- [9] International Rectifier. Application Note AN978a.



Pablo Nieves received the Electronic Engineering degree from Universidad Católica de Córdoba (UCC), Argentina. He has collaborated to the Microelectronics Lab at UCC Engineering Faculty and his current interest include the design and test of analog and mixed-signal integrated circuits, Energy harvesting and low-power and low-voltage microelectronics



Pablo A. Petrashin received the Electrical - Electronic Engineering and Doctoral degrees from Universidad Católica de Córdoba (UCC), Argentina, where he currently works as a Professor. He has conducted graduate studies in Belgium and Japan. During his professional activity, he has participated and coordinated several national and international projects, and published international journal and conference papers on microelectronics analog design. Since 2008, he leads the Microelectronics Lab at UCC Engineering Faculty and his current interest include the design and test of analog and mixed-signal integrated circuits, RF microelectronics, low-power and low-voltage microelectronics and integrated circuits implementations on nanotechnologies.



Walter J. Lancioni received the Electrical - Electronic Engineering degree from Universidad Católica de Córdoba (UCC), Argentina, in 1983, and the Licentiate in Applied Science with specialization in microelectronic and integrated circuits design from the Université Catholique de Louvain La Neuve, Belgium, in 1992. He joined Invel Corporation, Córdoba Argentina, from 1985 to 1987. From to 1987 at present he is with the Microelectronics Laboratory at UCC Engineering Faculty. His research interests are in Delta-Sigma Modulators and analog low power low voltage design.



Agustin M. Laprovitta received the Doctoral degree in Electronic Engineering from Universidad Católica de Córdoba (UCC), Argentina in 2014. Currently he is a Full-Time Professor with the

Communications Lab at UCC Engineering Faculty, where he also served as the Research & Graduate Assistant Dean of the school. His research interest is in the field of low-power test strategies and SW-based built-in self-test.

Juan L. Castagnola was born in Argentina on August 6, 1963. He received the Electrical - Electronic Engineering degree from Universidad Católica de Córdoba (UCC), Argentina, in 1989 and the PhD degree from the same university in 2019. Since 1990, he has been a Researcher and Professor at the UCC Communications Lab. In 2001, he became Full Professor and Project Director at the UCC Engineering Faculty. He has participated in several national and international projects and published international journal and conference papers on RF microelectronic.

