

Estudio del Algoritmo de Seguimiento de Punto de Máxima Potencia Perturbar y Observar

Ruiz C. Luis J., Beristáin J. José A., Sosa T. Ian M. y Hernández L. Jesús H.

Study of the maximum power point tracking algorithm perturb and observe

Abstract— This paper studies the Perturb and Observe algorithm for Photovoltaic Maximum Power Point Tracker Systems.

A boost converter is used operating in Continuous Conduction Mode as a power stage, and a DSC (Digital Signal Controller) is used for the algorithm implementation.

The working parameters of the algorithm were modified in order to analyze its behavior taking in account its convergence toward the MPP and its oscillation in steady state.

It is proposed a modification on the algorithm in order to minimize the convergence time while maintaining a small oscillation in steady state.

Experimental results show how the variations of working parameters such as width of perturbation of the algorithm has an effect on the convergence time toward the MPP and in the steady state oscillation. Furthermore, as the modification was realized, it's observed an enhancement in the convergence time and in the steady state oscillation.

Keywords— MPPT, P&O, width of perturbation, DSC, converter.

Resumen— En este artículo se realiza un estudio del algoritmo perturbar y observar para el seguimiento del punto de máxima potencia de sistemas fotovoltaicos.

Se utiliza un convertidor elevador operando en modo de conducción continuo como etapa de potencia y un controlador digital de señales para la implementación del algoritmo de seguimiento.

Se realizan variaciones a los parámetros de funcionamiento del algoritmo para analizar su comportamiento en cuanto al tiempo de convergencia hacia el máximo punto de potencia y su oscilación en estado estable.

Se propone un cambio en el algoritmo perturbar y observar para disminuir el tiempo de convergencia al punto de máxima potencia conservando una oscilación en estado estable pequeña.

Los resultados experimentales muestran cómo la variación del tamaño de la perturbación en el ciclo de trabajo influye en el tiempo de convergencia al punto de máxima potencia y en la oscilación en

estado estable. Así mismo, con el cambio propuesto, se observa una mejora sustancial en el tiempo de convergencia y en la disminución de la oscilación alrededor del punto de máxima potencia.

Palabras clave— MPPT, P&O, tamaño de perturbación, DSC, convertidor.

I. INTRODUCCIÓN

El sol es considerado una de las fuentes de energía más prometedoras, pues se considera una fuente inagotable, debido a esto las tecnologías de aprovechamiento de energía solar han tenido un gran auge en el mercado, donde la tecnología que mayor ha impactado es la fotovoltaica, la cual convierte directamente la energía solar en electricidad [1].

Las celdas fotovoltaicas tienen curvas características $V-I$ que definen el comportamiento de las mismas ante diferentes condiciones de operación. La potencia de una celda solar está dada por el producto de la corriente y el voltaje de la misma. El punto de máxima potencia (MPP, Maximum Power Point) es el producto del voltaje en el punto máximo (V_{MPP}) y corriente en el punto máximo (I_{MPP}) para los cuales la potencia extraída del arreglo fotovoltaico es máxima (P_{MPP}). El punto de máxima potencia varía continuamente, pues depende de factores como la temperatura de la celda solar y de las condiciones de irradiancia [2].

Los algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) se utilizan en sistemas fotovoltaicos para maximizar la energía entregada por los mismos, dicho seguimiento se realiza básicamente variando el valor de ciclo útil de un convertidor de potencia. Existen gran variedad de algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia como se muestra en [3], como por ejemplo: perturbar y observar, basados en lógica difusa, basados en redes neuronales artificiales, RCC (Ripple Correlation Control) [4], conductancia incremental (INC) [5,6,7] entre otros. Estos algoritmos varían en su complejidad, su velocidad de convergencia al punto de máxima potencia, los sensores utilizados, su costo, su efectividad y otros aspectos.

El algoritmo perturbar y observar (P&O) es muy utilizado debido a su simplicidad de funcionamiento [8], éste consiste en modificar el ciclo útil de un convertidor de potencia conectado a la salida del arreglo fotovoltaico, con el cambio del ciclo útil se modifica la corriente extraída del arreglo fotovoltaico, por lo consiguiente la potencia obtenida se modifica en relación a la modificación del ciclo útil de la señal de disparo del convertidor de potencia.

Manuscrito recibido el 4 de Agosto de 2009. Este trabajo fue respaldado por el departamento de Ing. Eléctrica y Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora. Este trabajo se realizó bajo el apoyo del Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (PROFAP) y del Programa del Mejoramiento del Profesorado (PROMEP).

Ruiz C. Luis Jorge estudiante de la carrera de Ingeniero en Electrónica del Instituto Tecnológico de Sonora, actualmente se encuentra desarrollando su trabajo de titulación. Tel. Cel. (644) 1437422, e-mail: jorgeruiz.c@gmail.com

Beristáin J. José Antonio, Sosa T. Ian M. y Hernández L. Jesús H., se desempeñan como profesores del Instituto Tecnológico de Sonora en el Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica; Ave. Antonio Caso S/N Col. Villa ITSON; Ciudad Obregón, Sonora, México; C.P. 85000; Tel: (644) 4109001, ext. 230, Fax: (644) 4109001; e-mail: bantonio@itson.mx, isosa@itson.mx, jehdez@itson.mx.

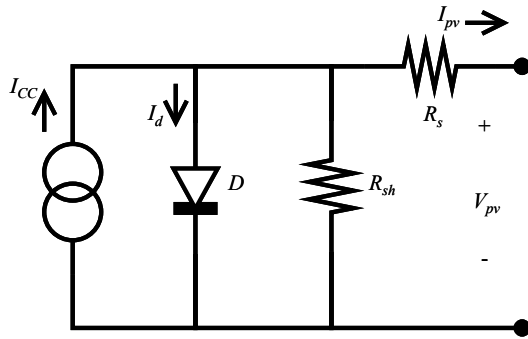


Fig. 1 Modelo de una celda fotovoltaica.

La implementación de los algoritmos de seguimiento puede ser analógica o digital dependiendo de cuál se quiera utilizar. La implementación digital ofrece flexibilidad al momento de realizar variaciones en los parámetros de funcionamiento sin modificación del hardware.

El objetivo de este trabajo es realizar un estudio del algoritmo de seguimiento de punto de máxima potencia perturbar y observar utilizando un controlador digital de señales (DSC) que tenga la flexibilidad de probar cualquiera de los algoritmos mencionados sin la modificación del hardware. Así mismo, se propone una solución para obtener rapidez de convergencia y una oscilación en el punto de máxima potencia pequeña.

II. FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA SOLAR

La figura 1 muestra el circuito eléctrico equivalente de una celda fotovoltaica, se observa que está constituida por una fuente de corriente, I_{CC} , que representa la corriente generada por la radiación solar, un diodo y dos resistencias, R_s en serie y R_{sh} en paralelo. R_s representa las pérdidas debidas a contactos y conexiones y R_{sh} representa la corriente de fuga del diodo [7, 9].

La ecuación característica de una celda solar se muestra en (1). Donde k es la constante de Boltzman, T es la temperatura absoluta, I_0 es la corriente de saturación inversa del diodo, q es la carga del electrón y n es el factor de idealidad del diodo.

$$I_{pv} = I_{CC} - I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Para obtener un voltaje y corriente apropiados para diferentes aplicaciones se interconectan varias celdas solares en serie-paralelo para formar un módulo fotovoltaico, a su vez estos pueden interconectarse entre sí para formar lo que se conoce como un arreglo fotovoltaico [1].

La figura 2 muestra las curvas características de una celda fotovoltaica, se observa, en la curva de potencia, la existencia de un máximo denominado máximo punto de potencia (MPP) al cual le corresponden valores de corriente en el punto de máxima potencia I_{MPP} y de voltaje en el punto de máxima potencia V_{MPP} , dicho punto es único para cada celda solar y varía conforme cambia la irradiancia solar como se muestra en la figura 3. Ésta variación plantea la necesidad de realizar un algoritmo capaz de modificar V_{pv} de manera tal que la energía aprovechada sea la máxima.

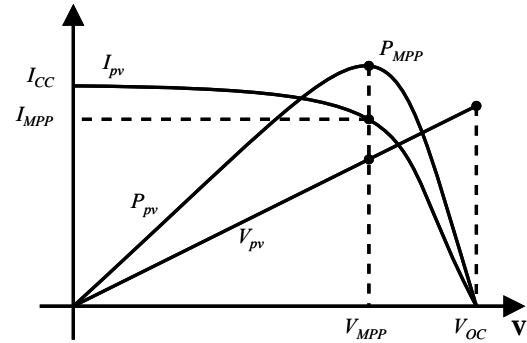


Fig. 2 Gráficas de corriente, potencia y voltaje de una celda fotovoltaica.

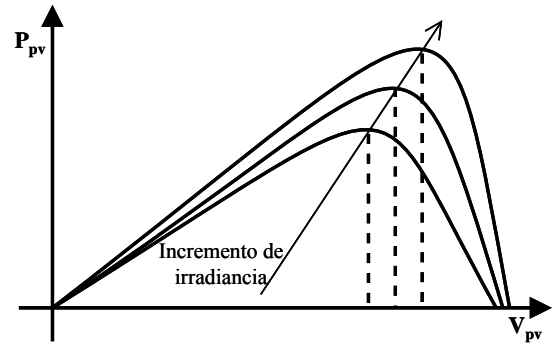


Fig. 3 Gráfica P-V normalizada.

III. ALGORITMO PERTURBAR Y OBSERVAR (P&O)

El algoritmo perturbar y observar se basa en el siguiente criterio: si el voltaje de operación, V_{pv} , del arreglo fotovoltaico se perturba en cierta dirección y la potencia extraída del mismo se incrementa significa que el punto de operación se ha movido hacia el MPP, por consiguiente el voltaje de operación deberá perturbarse en la misma dirección, de otra forma si la potencia extraída del arreglo fotovoltaico disminuye, el punto de operación se ha movido en dirección opuesta de la ubicación del MPP, por consiguiente el voltaje de operación deberá ser perturbado en dirección contraria a la que se tenía [6, 8, 9].

En la figura 4 se muestra el diagrama de flujo del algoritmo perturbar y observar utilizado en este trabajo, donde $pact$ es la potencia medida, $pant$ es la potencia anterior, $pert$ es una variable binaria que indica la dirección de la perturbación, $step$ es el tamaño de la perturbación y pwm es el valor de ciclo útil utilizado para variar el voltaje del arreglo fotovoltaico, el algoritmo compara la potencia actual con la anterior y con base en ello determina si se sigue aplicando la misma perturbación o se deberá invertir en el siguiente ciclo.

IV. ANÁLISIS TRANSITORIO

Se utiliza un convertidor elevador para modificar la potencia a la salida de los paneles fotovoltaicos. Éste se conecta entre los paneles y el banco de baterías.

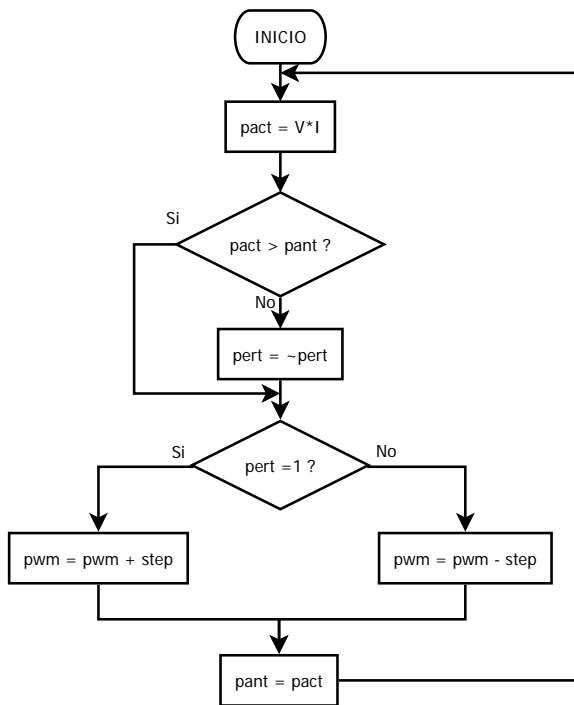


Fig. 4 Algoritmo Perturbar y Observar

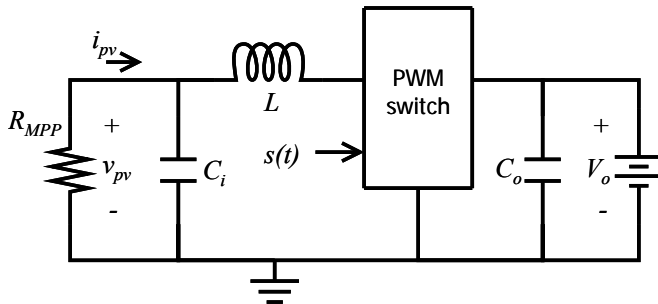


Fig. 5 Modelo del convertidor elevador.

Acorde con [8, 10] la función de transferencia de un convertidor boost conectado a baterías, como el mostrado en la figura 5 se plantea a continuación.

Utilizando métodos de análisis de circuitos se obtienen las ecuaciones de estado del convertidor elevador operando en modo de conducción continuo y utilizando la función de conmutación $s(t)$:

$$\begin{aligned} \dot{i}_L &= \frac{V_{C_i}}{L} - \frac{s(t)V_o}{L} \\ \dot{V}_{C_i} &= -\frac{V_{C_i}}{R_{MPP}C_i} - \frac{i_L}{C_i} \\ V_{C_i} &= -V_{pv} \end{aligned} \quad (2)$$

Donde:

$$s(t) \in \{0,1\} \quad (3)$$

Aplicando el operador de promediado (4) a todas las variables del sistema, se puede expresar (2) de forma matricial como (5):

$$\hat{f}(t) = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}} &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}V_o \\ V_{pv} &= \mathbf{C}\mathbf{x} \end{aligned} \quad (5)$$

En donde:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} i_L \\ V_{C_i} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{L} \\ -\frac{1}{C_i} & -\frac{1}{R_{MPP}C_i} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \frac{d(t)}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$\mathbf{C} = [0 \quad -1] \quad (9)$$

Para separar el análisis de señal pequeña del de estado estable del convertidor, se supone que las variables sufren perturbaciones en torno al punto de operación de régimen permanente. El sistema perturbado es:

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \mathbf{X} + \tilde{\mathbf{x}} \\ v_o &= V_o + \tilde{v}_o \\ v_{pv} &= V_{MPP} + \tilde{v}_{pv} \\ d &= D + \tilde{d} \end{aligned} \quad (10)$$

Si los productos de los términos en señal pequeña son omitidos y el voltaje de salida se supone constante.

$$\tilde{v}_o = 0 \quad (11)$$

El modelo en señal pequeña queda:

$$\begin{aligned} \tilde{\dot{\mathbf{x}}} &= \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}} + \mathbf{B}V_o \\ \tilde{v}_{pv} &= \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}} \end{aligned} \quad (12)$$

Aplicando la transformada de Laplace y resolviendo para $\tilde{v}_{pv}(s)$ se obtiene:

$$\tilde{v}_{pv}(s) = \mathbf{C}(s\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{B}V_o \quad (13)$$

Resolviendo las matrices se obtiene la FDT:

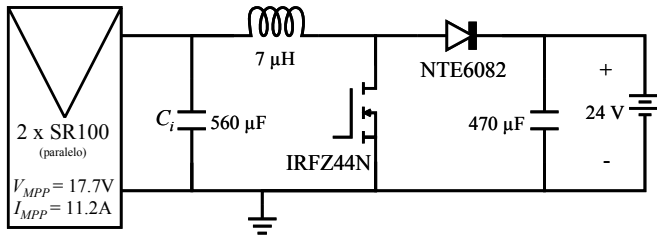


Fig. 6 Convertidor elevador propuesto.

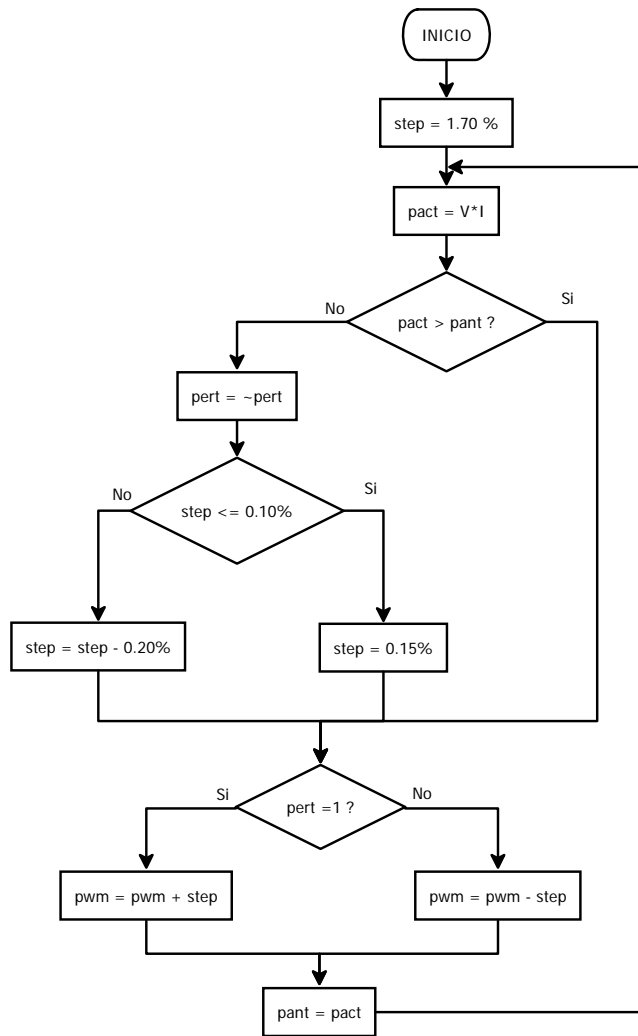


Fig. 7 Modificación al algoritmo P&O.

$$\tilde{v}_{pv}(s) = \frac{-\tilde{d}(s)V_o}{LC_i} \frac{1}{s^2 + s \frac{1}{R_{MPP}C_i} + \frac{1}{LC_i}} \quad (14)$$

Que se puede expresar como:

$$\frac{\tilde{v}_{pv}(s)}{\tilde{d}(s)} = \frac{k\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \quad (15)$$

Con $k = -V_o$, $\omega_n = 1/\sqrt{LC_i}$, $\zeta = 1/(2R_{MPP})\sqrt{L/C_i}$ y $R_{MPP} = V_{MPP}/I_{MPP}$ notando que R_{MPP} depende de los valores de irradiancia.

Se propone un periodo de muestreo mayor a un tiempo de asentamiento del 5%, que se muestra en (16) [11]:

$$T_{0.05} = \frac{3}{\zeta \cdot \omega_n} \quad (16)$$

Simplificando (16) se obtiene (17):

$$T_{0.05} = 6 \cdot \frac{V_{MPP}}{I_{MPP}} \cdot C_i \quad (17)$$

V. DESARROLLO DEL SISTEMA PROPUESTO

La implementación del sistema de seguimiento del punto de máxima potencia se lleva a cabo mediante el convertidor elevador mostrado en la figura 6, se utilizan dos módulos fotovoltaicos SR100 conectados en paralelo y un banco de baterías de 24V. El convertidor se diseña para operar en modo de conducción continuo, se utiliza un sensor de corriente de efecto Hall y un divisor resistivo para el sensado de las señales I_{pv} y V_{pv} utilizadas en el algoritmo.

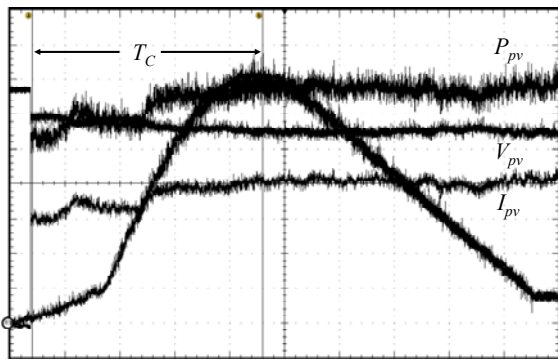
Para realizar el cálculo para el periodo de muestreo se utilizan los valores mostrados en la figura 7 y se sustituyen en (17), se obtiene que el periodo de muestreo debe ser mayor a 5.31 ms, por lo que se propone un periodo de muestreo 8 ms.

Considerando un valor menor al máximo voltaje del arreglo fotovoltaico (V_{OC}) igual a 19 V y un voltaje de baterías máximo de $V_{Bat} = 26$ V cuando están plenamente cargadas, se establece un ciclo útil, d , inicial del convertidor elevador. Este valor se obtiene tomando en cuenta que en un convertidor elevador $V_f = V_o(1-d)$ de donde se obtiene que $d \geq 0.27$. Para los experimentos que se presentan en este artículo se utilizó un ciclo de trabajo inicial de 0.35.

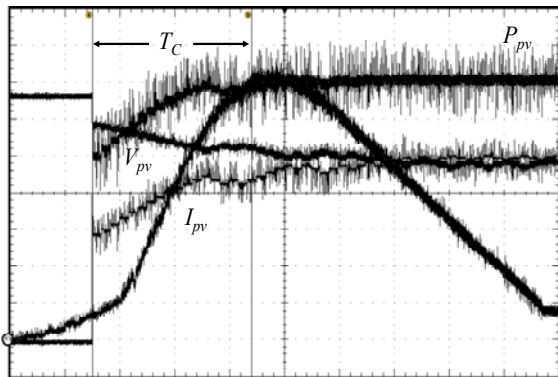
Se propone un cambio al algoritmo presentado en [8] que realiza una mejora sustancial en el tiempo de convergencia al punto de máxima potencia y al mismo tiempo disminuye la oscilación en estado estable ya que se utiliza un tamaño de perturbación variable que se reduce conforme el algoritmo ubica el MPP. El diagrama de flujo con la modificación propuesta se presenta en la figura 7.

VI. PRUEBAS Y RESULTADOS

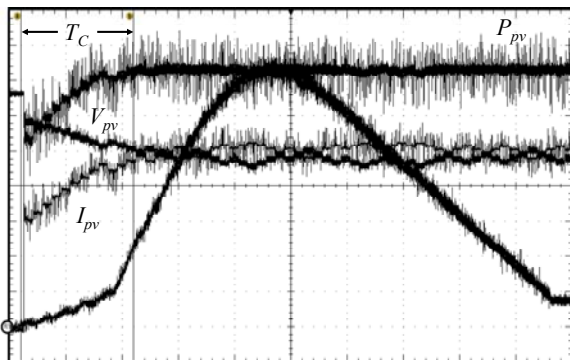
Se realizaron pruebas al prototipo utilizando el algoritmo perturbar y observar propuesto implementado en un DSC dsPIC30F2020, el cual posee un módulo PWM de alta velocidad y alta resolución para fuentes de alimentación conmutadas y un módulo ADC de diez bits de resolución con capacidad de muestrear hasta cuatro canales de manera simultánea. El diagrama de flujo del programa se muestra en el apéndice, se utilizaron diferentes tamaños de paso en la perturbación para comprobar su comportamiento en cuanto al tiempo de convergencia hacia el MPP y su oscilación en estado estable.



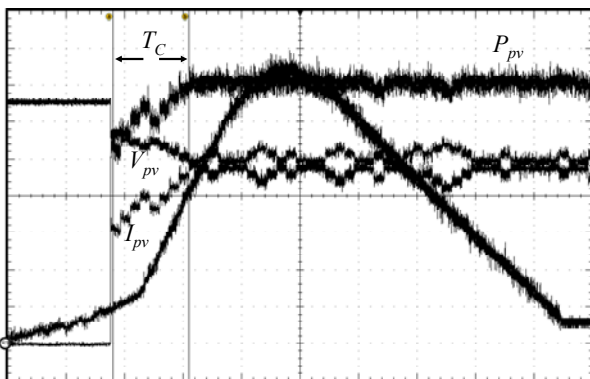
(a) $T_C = 8.4$ s, $step = 0.10$ %, $V_{pv} = 3$ V/div, $I_{pv} = 1$ A/div, $P_{pv} = 10$ W/div, $Caracterización = 10$ W/div, $horizontal = 2$ s/div.



(b) $T_C = 145$ ms, $step = 0.86$ %, $V_{pv} = 3$ V/div, $I_{pv} = 1$ A/div, $P_{pv} = 10$ W/div, $Caracterización = 10$ W/div, $horizontal = 50$ ms/div.



(c) $T_C = 100$ ms, $step = 1.29$ %, $V_{pv} = 3$ V/div, $I_{pv} = 1$ A/div, $P_{pv} = 10$ W/div, $Caracterización = 10$ W/div, $horizontal = 50$ ms/div.



(d) $T_C = 65$ ms, $step = 2.15$ %, $V_{pv} = 3$ V/div, $I_{pv} = 1$ A/div, $P_{pv} = 10$ W/div, $Caracterización = 10$ W/div, $horizontal = 50$ ms/div.

Fig. 8 Tiempo de convergencia al MPP con diferentes tamaños de perturbación:

(a) 0.10%, (b) 0.86%, (c) 1.29%, (d) 2.15%.

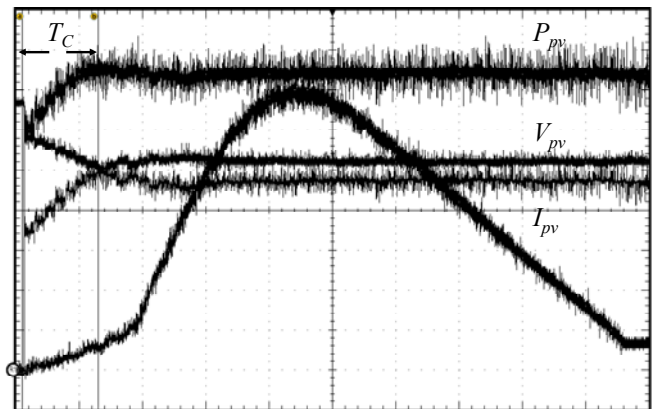
Datos obtenidos con osciloscopio digital Tektronix DPO7104.

TABLA I
TIEMPO DE CONVERGENCIA AL MPP VS TAMAÑO DE PERTURBACIÓN

Tamaño de perturbación	Tiempo de convergencia
0.10 %	8.4 s
0.86 %	145 ms
1.29 %	100 ms
2.15 %	65 ms

TABLA II
OSCILACIÓN EN EL MPP VS TAMAÑO DE PERTURBACIÓN

Tamaño de perturbación	Oscilación en el MPP
0.10 %	No perceptible a CD
0.86 %	No perceptible a CD
1.29 %	6 W
2.15 %	6 W



$T_C = 60$ ms, $\Delta P_{pv} =$ No perceptible a CD, $V_{pv} = 3$ V/div, $I_{pv} = 1$ A/div, $P_{pv} = 10$ W/div, $Caracterización = 10$ W/div, $horizontal = 50$ ms/div.

Fig. 9 Tiempo de convergencia y oscilación en estado estable para algoritmo modificado.

La figura 8 muestra el tiempo de convergencia hacia el MPP con un tamaño de perturbación de 0.1, 0.16, 0.21 y 0.27% respectivamente y sus resultados se resumen en la tabla I.

En la tabla I se observa cómo incrementando el tamaño de la perturbación el tiempo de convergencia disminuye haciendo que se localice el MPP de una manera más rápida.

En la figura 9 se observa el tiempo de convergencia y la oscilación del algoritmo presentado en la figura 7.

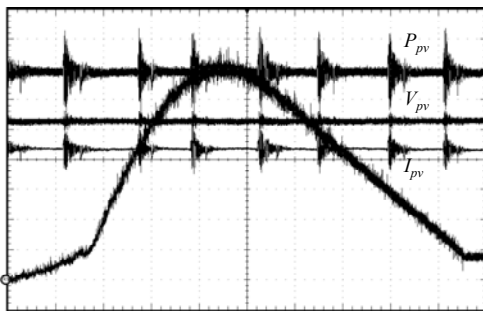
La figura 10 muestra la oscilación de la curva de potencia en estado estable en el MPP con un tamaño de perturbación de 0.1, 0.16, 0.21, y 0.27% respectivamente y sus resultados se resumen en la tabla II.

La tabla II muestra que a mayor tamaño de perturbación existirá un menor aprovechamiento de la energía disponible, dada una mayor oscilación en las cercanías del MPP.

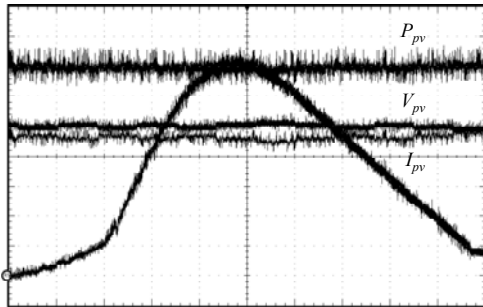
VII. CONCLUSIONES

En este trabajo se realiza un estudio del efecto de variar el tamaño de la perturbación observándose las siguientes relaciones:

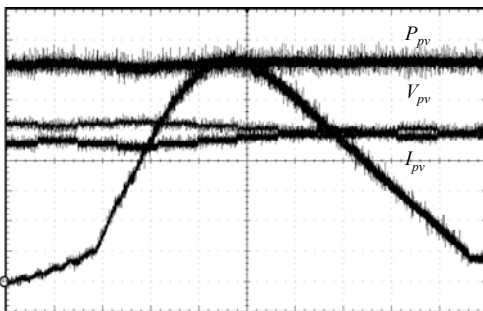
- El tiempo de convergencia al MPP es inversamente proporcional al tamaño de perturbación
- La oscilación de potencia alrededor del MPP es directamente proporcional al tamaño de perturbación.

(a) $\Delta P_{pv} = \text{no perceptible a CD, step} = 0.10\%$

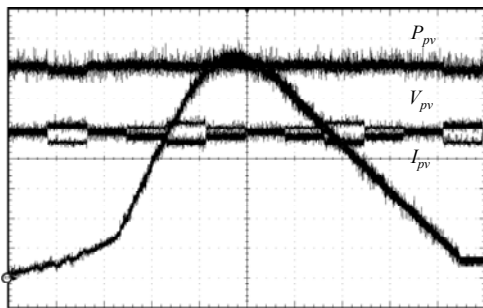
$V_{pv} = 3 \text{ V/div}$, $I_{pv} = 1 \text{ A/div}$, $P_{pv} = 10 \text{ W/div}$, Caracterización = 10 W/div , horizontal = 20 ms/div .

(b) $\Delta P_{pv} = \text{no perceptible a CD, step} = 0.86\%$

$V_{pv} = 3 \text{ V/div}$, $I_{pv} = 1 \text{ A/div}$, $P_{pv} = 10 \text{ W/div}$, Caracterización = 10 W/div , horizontal = 10 ms/div .

(c) $\Delta P_{pv} = 6 \text{ W, step} = 1.29\%$

$V_{pv} = 3 \text{ V/div}$, $I_{pv} = 1 \text{ A/div}$, $P_{pv} = 10 \text{ W/div}$, Caracterización = 10 W/div , horizontal = 10 ms/div .

(d) $\Delta P_{pv} = 6 \text{ W, step} = 2.15\%$

$V_{pv} = 3 \text{ V/div}$, $I_{pv} = 1 \text{ A/div}$, $P_{pv} = 10 \text{ W/div}$, Caracterización = 10 W/div , horizontal = 10 ms/div .

Fig. 10 Comportamiento en estado estable con diferentes tamaños de paso:
(a) 0.10%, (b) 0.86%, (c) 1.29%, (d) 2.15%.

Datos obtenidos con osciloscopio digital Tektronix DPO7104.

Se realiza la propuesta de modificación al algoritmo perturbar y observar mostrado en la figura 7, la cual permite obtener un tiempo de convergencia al MPP y una oscilación alrededor del MPP optimizada para obtener un mayor

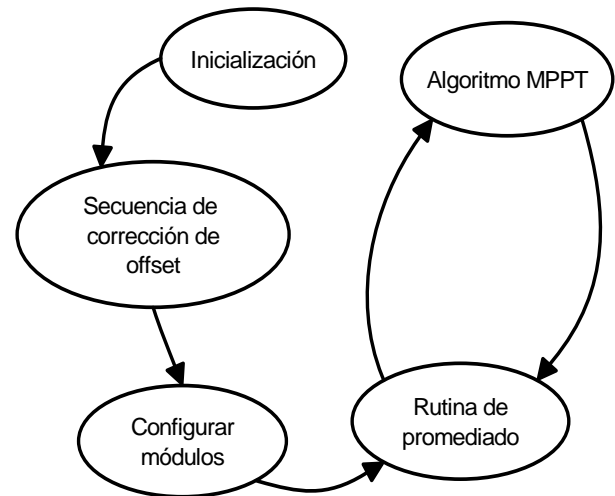


Fig. 11 Diagrama de estados para la implementación del sistema.

aprovechamiento de la energía generada por el arreglo fotovoltaico.

Se puede destacar que para su uso en condiciones de rápido cambio de irradiancia, es preferible un tiempo de convergencia muy pequeño a pesar de un aprovechamiento menor de energía en estado estable, sin embargo para regiones cuyas condiciones ambientales permanezcan relativamente constantes durante el día es preferible una menor oscilación en el MPP a pesar de mantener un tiempo de convergencia elevado.

APÉNDICE

En la figura 11 se muestra el diagrama de estados utilizado en el DSC para llevar a cabo este trabajo.

El proceso consiste en inicializar el DSC con las variables y constantes necesarias, se realiza una secuencia de corrección de offset necesario para la utilización de un sensor de corriente de efecto Hall (ACS755), posteriormente se configura el módulo PWM, el ADC y los temporizadores para realizar una rutina de promediado y aplicar el algoritmo P&O cada 4 ms.

REFERENCIAS

- [1] Rashid Muhammad H. and Lana Char "Solar Power Conversion" *Power Electronics Handbook*, Capítulo 26, pp. 661 - 672, Academic Press, Segunda edición, 2007.
- [2] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli "Optimizing Duty-cycle Perturbation of P&O MPPT Techinque" *Power Electronics Especialists Conference, 2004. PESC 2004. 35th Annual. vol. 3*, pp 1939 - 1944, 20 - 25 Junio 2004.
- [3] Trishan ESRAM and Patrick L. Chapman "Comparision of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking techniques", *IEEE Transactions on energy conversion*, vol 22 (2), Junio de 2007.
- [4] Trisham ESRAM, Jonathan Kimball, Phillip T. Krein, Patric L. Chapman and Pallab Midya "Dynamic Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Arrays Using Ripple Correlation Control" *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 21 (5), Septiembre 2006.
- [5] Chad Alberts, Justin Brown, Rpbert Button, Anna Flower and Srinivasa Vemuru "Solar Array Peak Power Tracker", *American Socierty*, 31 Marzo de 2006 - 1 Abril 2006.
- [6] Dezso Sera, Tamas Kerekes, Remus Teodorescu and Frede Blaabjerg "Improved MPPT algorithms for rapidly changing environmental conditions", *Power Electronics and Motion Control Conference, 2006. EPE-PEMC 2006*, pp 1614 - 1619, 12th International. 30 Agosto 2006 - 1 Septiembre 2006.
- [7] J. Kouta, A. El-Ali, N. Moubayed, and R. Outlib "Improving the incremental conductance control method of a solar energy conversion

system”, *International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPO'08), Santander, Spain, March 12-14 2008.*

- [8] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli “Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method” *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 20 (4), pp 963 – 973, Julio 2005.
- [9] Joe-Air Jiang, Tsong-Liang Huang, Ying-Tung Hsiao and Chia-Hong Chen “Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Power Systems”, *Tamkang Journal Science and Engineering*, vol. 8, pp. 147 – 153, 2005.
- [10] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli “Optimizing sampling rate Perturbation of P&O MPPT Techinque” *Power Electronics Especialists Conference, 2004. PESC 2004. 35th Annual*. vol. 3, pp 1945 – 1949, 20 – 25 Junio 2004.
- [11] Katsuhiko Ogata “Análisis de la Respuesta Transitoria” *Ingeniería de Control Moderna, Capítulo 4*, pp. 134 – 210, Prentice Hall, Tercera edición, 1998.



Ruiz C. Luis J. nació en Uruapan, Michoacán en Agosto de 1986. El es estudiante de la carrera de Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora, actualmente se encuentra desarrollando su trabajo de titulación.



Beristáin J. José A. obtuvo el grado de Maestro en Ciencias en el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), y el grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña, actualmente labora en el Instituto Tecnológico de Sonora como Maestro-Investigador de tiempo completo.



Sosa T. Ian M. nació en Tampico, Tamaulipas en Noviembre de 1982, obtuvo el grado de Ingeniero en Electrónica en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) y el grado de Maestro en Ciencias en la Universidad Estatal de Arizona (ASU), actualmente se desempeña como Profesor-Investigador en el Instituto Tecnológico de Sonora.



Hernández L. Jesús H. obtuvo el grado de Doctor en Ciencias con especialidad en Ingeniería Eléctrica en el año 2008 en el Centro de ed Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Guadalajara. Actualmente se desempeña como Profesro-Investigador en el Instituto Tecnológico de Sonora. Sus áreas de interés son: Análisis y control de sistemas eléctricos de potencia, calidad de la energía eléctrica y aprovechamiento de

energía solar.