



Conference: Congreso Interdisciplinario de Energías Renovables -
Mantenimiento Industrial - Mecatrónica e Informática

Booklets



RENIECYT - LATINDEX - Research Gate - DULCINEA - CLASE - Sudoc - HISPANA - SHERPA UNIVERSIA - E-Revistas - Google Scholar
DOI - REDIB - Mendeley - DIALNET - ROAD - ORCID

Title: Convertidor SEPIC para MPPT (Maximum Power Point Tracking) en Turbina Eólica

Author: Crescencio, GARCIA-GUENDULAIN, Edgar, PERALTA-SÁNCHEZ, Pedro Martín, GARCIA-VITE, Claudia Graciela, TORRES-OROZCO

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 23
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 | 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	of Congo
Ecuador	Taiwan	Nicaragua
Peru	Paraguay	

Turbinas de viento con PMSG

- Un generador síncrono de imanes permanentes (PMSG) con múltiples polos puede operar a bajas velocidades, de esta forma se puede omitir el uso de engranes. Los engranes son costosos, producen un diseño más pesado, generan pérdidas y demandan continuo mantenimiento. La conexión comúnmente utilizada para este generador se muestra en la Figura 1.

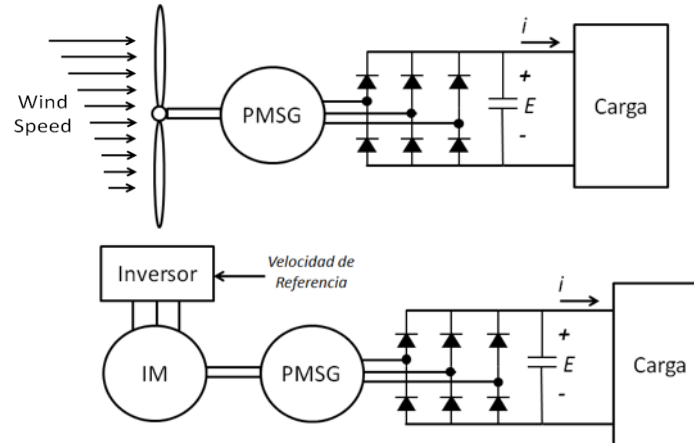


Figura 1. Turbina de viento con PMSG

Potencia de salida en una turbina de viento

- La potencia del viento sobre un área está dada por la siguiente ecuación: [2]

$$P_t = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

- La potencia de salida de una turbina está limitada por un coeficiente de potencia (C_P).

$$P_w = \frac{1}{2} \rho C_P(\lambda) A v^3 \quad (2)$$

- El coeficiente de potencia depende de λ , la cual define una relación entre la velocidad del rotor de la turbina y la velocidad libre del viento (Tip Speed Ratio o TSR), está dada por:

$$\lambda = \frac{R \omega_r}{v} \quad (3)$$

Potencia de salida en una turbina de viento

- Es posible hacer una aproximación algebraica de la curva mostrada en la Figura 2, de esta forma se puede obtener la función que define al coeficiente de potencia. La función obtenida para el coeficiente de potencia se puede representar mediante una función polinomial es decir:[4]

$$\bullet C_P(\lambda) = \sum_{i=0}^n a_i \lambda^i \quad (4)$$

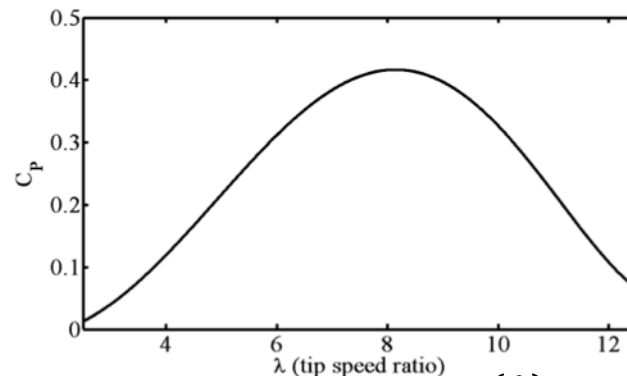


Figura 2. Curva de Potencia $C_P(\lambda)$ [5]

Par mecánico de una turbina de viento

- El par mecánico de la turbina puede obtenerse dividiendo directamente la ecuación (2) entre la velocidad del rotor, esto es:

$$\bullet T_w = \frac{P_w}{\omega_r} = \frac{1}{2\omega_r} \rho C_P(\lambda) A v^3 \quad (5)$$

- También es posible utilizar una ecuación para el par mecánico que no requiera dividir la ecuación entre la velocidad del rotor. la ecuación para el par mecánico definido en (5) puede reescribirse de la siguiente forma:

$$\bullet T_w = \frac{1}{2} \rho C_Q(\lambda) R^3 v^2 \quad (6)$$

- La dinámica de la velocidad del rotor de la turbina de viento está dada por la siguiente ecuación estado:

$$\bullet \frac{d}{dt} \omega_r = \left(\frac{P}{2} \right) \left[\frac{0.5 \rho C_Q(\lambda) R^3 v^2 - T_e}{J} \right]$$

$$\bullet y = \omega_r \quad (7)$$

Par mecánico de una turbina de viento

- Se implementó la ecuación (7), para el cálculo del par mecánico de la turbina, el cual será aplicado a la máquina síncrona. La Figura 3 muestra la simulación ante una carga resistiva después de haber rectificado el voltaje generado.

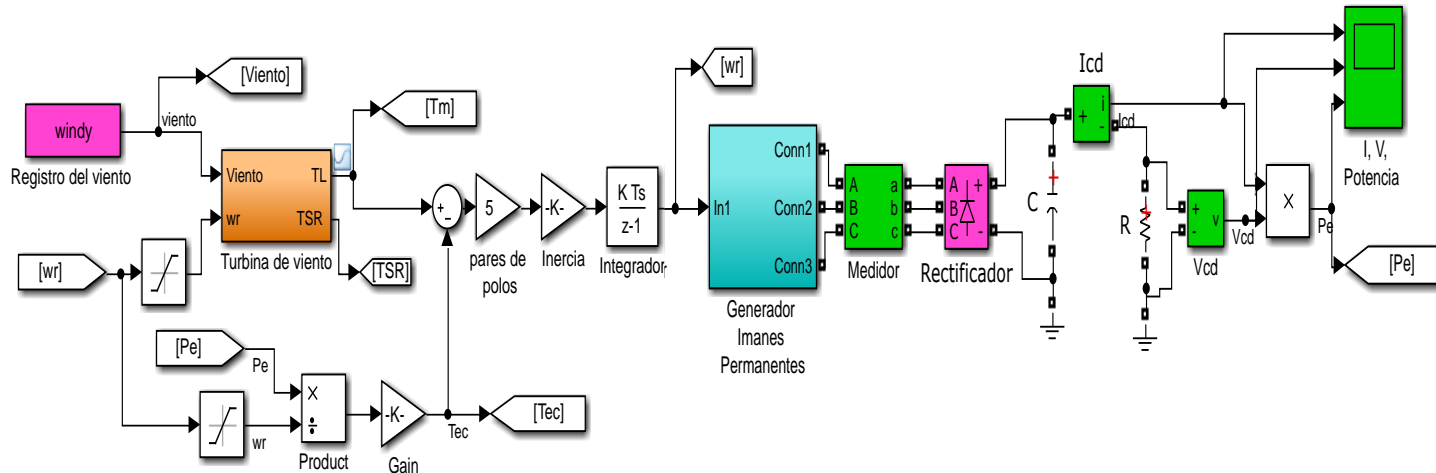


Figura 3. Cálculo del par mecánico de la turbina

Implementación del emulador



Figura 4. Implementación del emulador

Implementación del emulador

- Para controlar el motor de inducción de 1HP, se utilizó un inversor marca Baldor, modelo Vector H2.
- Para calcular la velocidad de referencia para el motor de inducción, se utilizará una computadora personal con el software LabVIEW® que se comunica con la plataforma CompactRIO.
- Para resolver en tiempo real la ecuación del modelo de la turbina, es necesario conocer la velocidad del rotor y los parámetros que varían constantemente, tales como la velocidad del viento, el voltaje en el capacitor y la corriente.

MPPT (Maximum Power Point Tracking)

- Se mostró el modelo dinámico de la turbina de viento, el cual incluía una curva característica del coeficiente de potencia. Este coeficiente describe el porcentaje de potencia que puede ser aprovechado por la turbina de viento, el cual tiene un punto máximo de operación dependiendo del diseño de la turbina. Claramente existe una cierta relación entre la velocidad del rotor y la velocidad libre del viento, donde se logra la máxima posible absorción de energía disponible en el viento. Para la turbina modelada en esta trabajo la curva característica presentada en la Figura 1, el valor máximo para el coeficiente de potencia se encuentra con $\lambda = 8$. Por lo tanto se deduce que la velocidad del rotor y la velocidad del viento deben de estar relacionadas por la siguiente expresión

$$\omega_{ref} = \frac{8V}{R} \quad (9)$$

- Para la referencia de velocidad del rotor, es posible implementar un controlador que sea capaz de alcanzar el punto máximo de aprovechamiento de la energía del viento y mantenerlo a pesar de que la velocidad del viento varíe, lo que se conoce como el control del MPPT.
- Es posible controlar la corriente de un convertidor estático, en este caso el convertidor SEPIC, el cual está acoplado eléctricamente al generador síncrono de imanes permanentes. De este modo se puede deducir que el par eléctrico del generador depende de la potencia entrada del Convertidor. A su vez, el par eléctrico influye en la dinámica de la velocidad del rotor del generador o de la turbina de viento, debido a que se encuentran directamente acoplados. Para hacer más claro esto, se puede observar la siguiente ecuación.

$$\frac{d}{dt} \omega_r = \left(\frac{P}{2} \right) \left[\frac{0.5 \rho C_Q(\lambda) R^3 v^2}{J} - \frac{3P}{4J} \left(\frac{Ei}{\omega_r} \right) \right] \quad (10)$$

- Donde E es el voltaje de entrada y la corriente de entrada como i . Es posible tomar en cuenta la corriente de referencia del controlador para el Maximum Power Point Tracking. Entonces una nueva alternativa de control podría implicar utilizar una cierta referencia. i_{ref} en función de una velocidad del rotor deseada que lleva a la turbina de viento a su operación óptima. Para lograr un control de velocidad del rotor, se puede reescribir la ecuación (9) de la siguiente forma:

$$\frac{d}{dt} \omega_r = \left(\frac{P}{2} \right) \left[\frac{0.5 \rho C_Q(\lambda) R^3 v^2}{J} - \frac{3P}{4J} \left(\frac{E}{\omega_r} \right) i_{ref} \right] \quad (11)$$

- En esta primera etapa se utilizó un control PI para alcanzar el valor deseado de velocidad ante el coeficiente de potencia máximo.

Convertidor SEPIC

- El Convertidor SEPIC es un convertidor reductor-elevador cuyo voltaje de salida tiene la misma polaridad que el voltaje de entrada. Se caracteriza por tener a la entrada un inductor y a la salida un capacitor, que deberá mantener el voltaje de salida cuando el Diodo D está apagado.
- El Convertidor SEPIC esta formado por dos dispositivos semiconductores, y por cuatro elementos pasivos L1, L2, C1 y C2, como aparecen en la Figura 5.

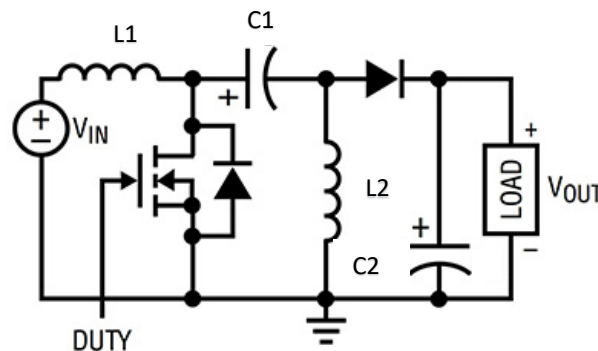


Figura 5. Diagrama del circuito convertidor SEPIC

Convertidor SEPIC

- Modelo linealizado del convertidor SEPIC

- $$\frac{di_{L_1}}{dt} = \frac{-(1-D)}{L_1} v_{C_1} - \frac{(1-D)}{L_1} v_{C_2} + \frac{V_{C_1}+V_{C_2}}{L_1} u + \frac{V_{C_1}+V_{C_2}}{L_1} (1-2D)$$

- $$\frac{di_{L_2}}{dt} = \frac{-D}{L_2} v_{C_1} - \frac{(1-D)}{L_2} v_{C_2} + \frac{V_{C_1}+V_{C_2}}{L_2} u + \frac{V_{C_2}}{L_2} \frac{V_{C_1}+V_{C_2}}{L_2} (2D)$$

- $$\frac{dv_{C_1}}{dt} = \frac{(1-D)}{C_1} i_{L_1} - \frac{D}{C_1} i_{L_2} - \frac{I_{L_1}+I_{L_2}}{C_1} u - \frac{I_{L_1}}{C_1} + \frac{I_{L_1}+I_{L_2}}{C_1} (2D)$$

- $$\frac{dv_{C_2}}{dt} = \frac{(1-D)}{C_2} i_{L_1} + \frac{(1-D)}{C_2} i_{L_2} - \frac{1}{RC_2} v_{C_2} - \frac{I_{L_1}+I_{L_2}}{C_2} u - \frac{V_{C_2}}{RC_2} + \frac{I_{L_1}+I_{L_2}}{C_2} (2D-1)$$

Control del Convertidor SEPIC

- Se utiliza la retroalimentación de estados para el Control del Convertidor. Para iniciar el diseño se proponen los siguientes parámetros de desempeño: un sobreimpulso del 10% y un tiempo de asentamiento de 1ms. Estos parámetros de desempeño originan un polinomio característico deseado definido en la ecuación (8), a partir de este polinomio de segundo grado se genera un polinomio de quinto grado ya que el sistema es de cuarto orden y el esquema de control contiene un integrador. Se agregan tres polos, lo suficientemente alejados de los polos del polinomio deseado de segundo orden. Al agregar tres polos mayores en 5, 10 y 15 veces respecto de la parte real de las raíces del polinomio de segundo grado, el nuevo polinomio se define en la ecuación (9).

- $pd = s^2 + 8000s + 4.5784 \times 10^7$ (8)

- $pda = s^5 + 1.321 \times 10^5 s^4 + 5.755 \times 10^9 s^3 + 9.741 \times 10^{13} s^2 + 6.634 \times 10^{17} s + 2.569 \times 10^{21}$ (9)

Resultados

- Para poder llegar a la obtención de los resultados se estimó el radio de la pala con una dimensión de 1.5 m y la carga resistiva a fin de que no generarán un par excesivo superior al que requiere para su diseño la máquina síncrona. La máquina opera a un par promedio de 5 Nm.
- La Figura 4, muestra la implementación del inversor, el motor de inducción y el generador síncrono de imanes permanentes. La implementación del emulador permite obtener resultado en tiempo real de las variables más importantes en un sistema de generación eoloeléctrica. El programa implementado en LabVIEW® permite graficar par mecánico y eléctrico; velocidad del generador; coeficiente de potencia y el viento. Todo durante los 1400 segundos que dura la emulación. La Figura 4 muestra la pantalla principal de graficación durante los 1400 segundos.

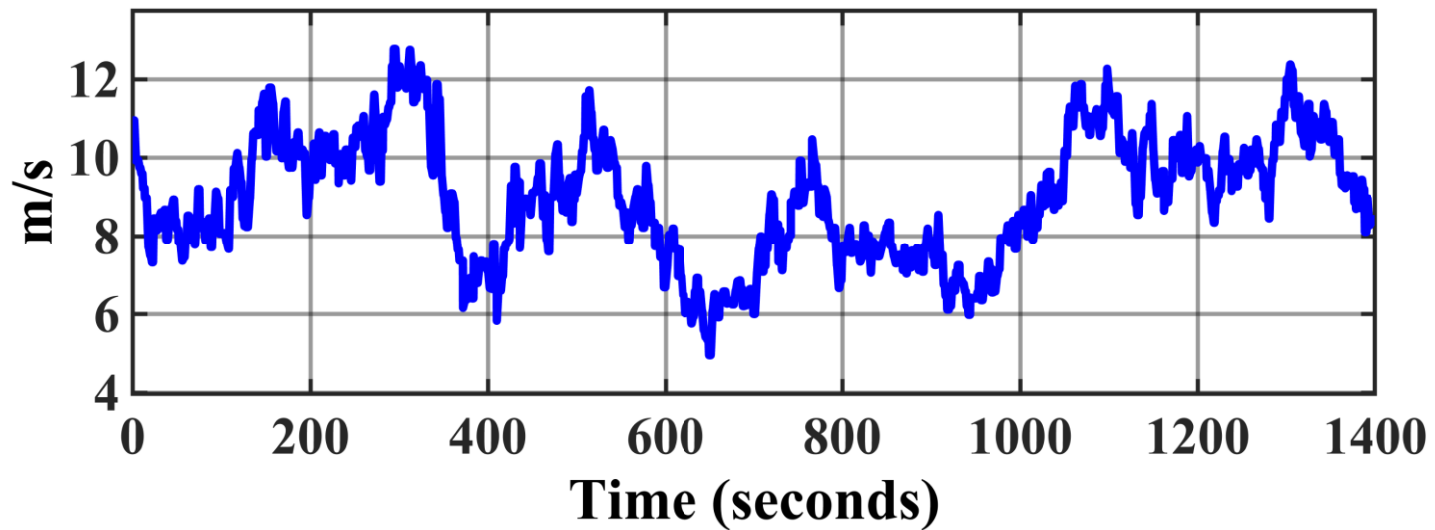


Figura 6. Grabación de viento

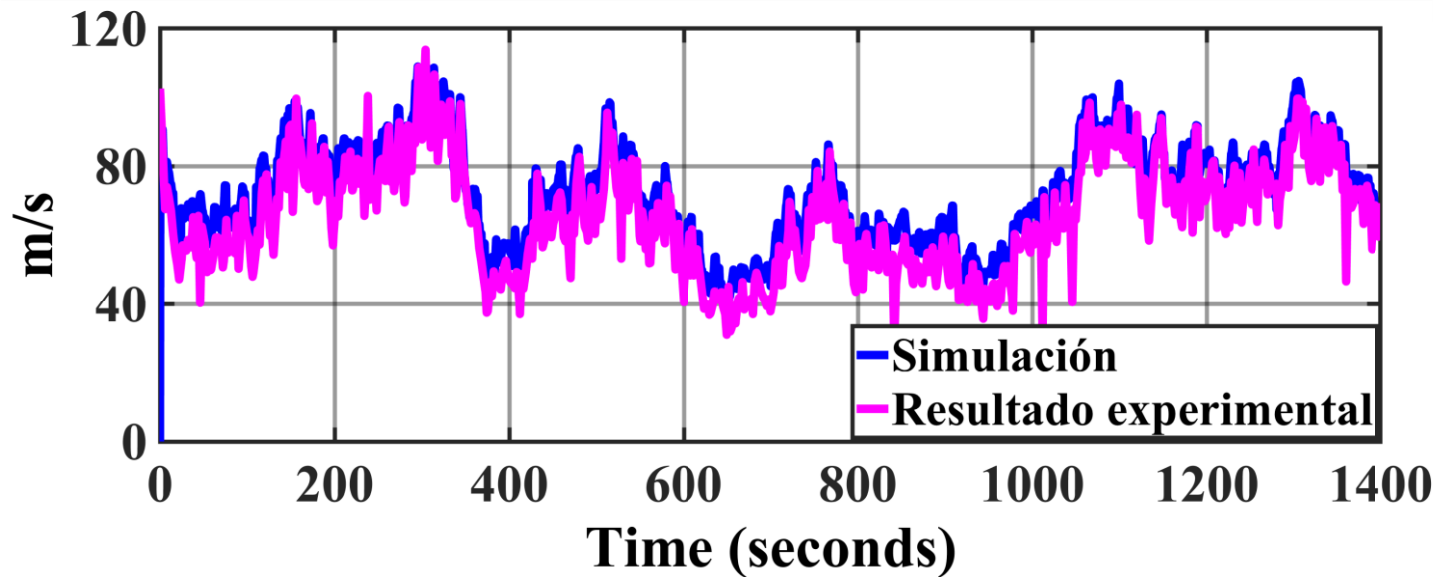


Figura 7. Comparación entre simulación y resultados experimentales

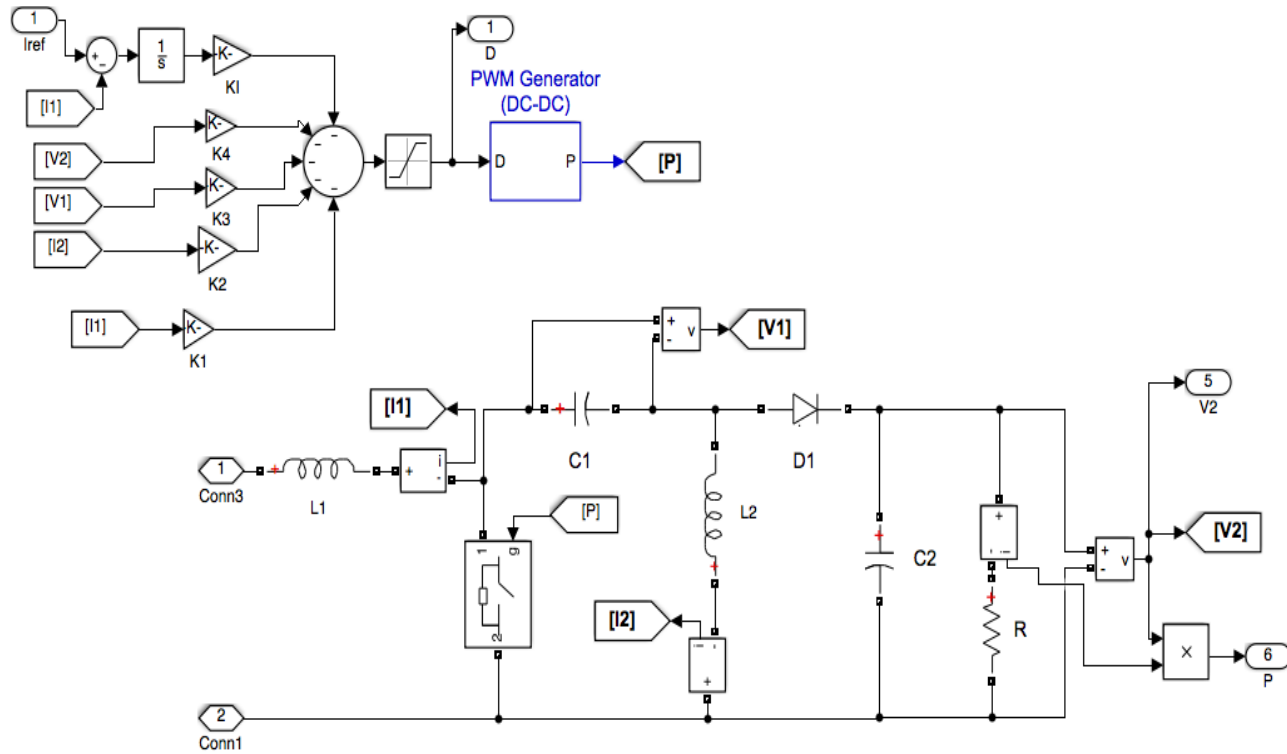


Figura 8. Implementación de controlador

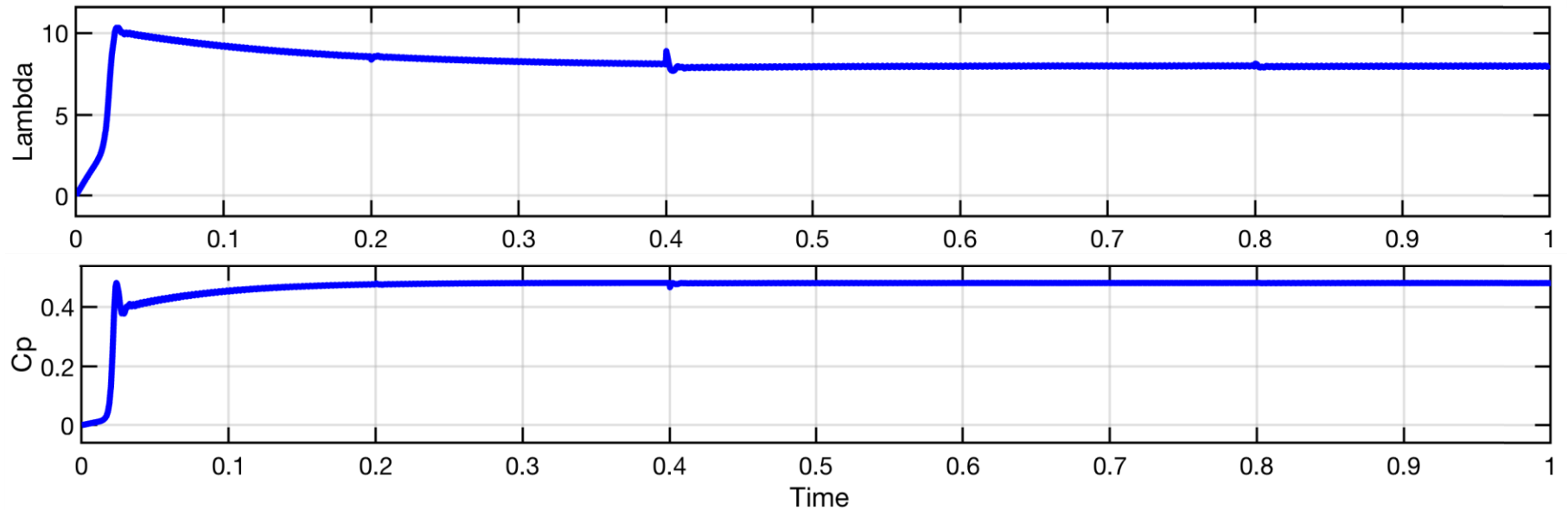


Figura 9. Gráfica de lambda y Cp.

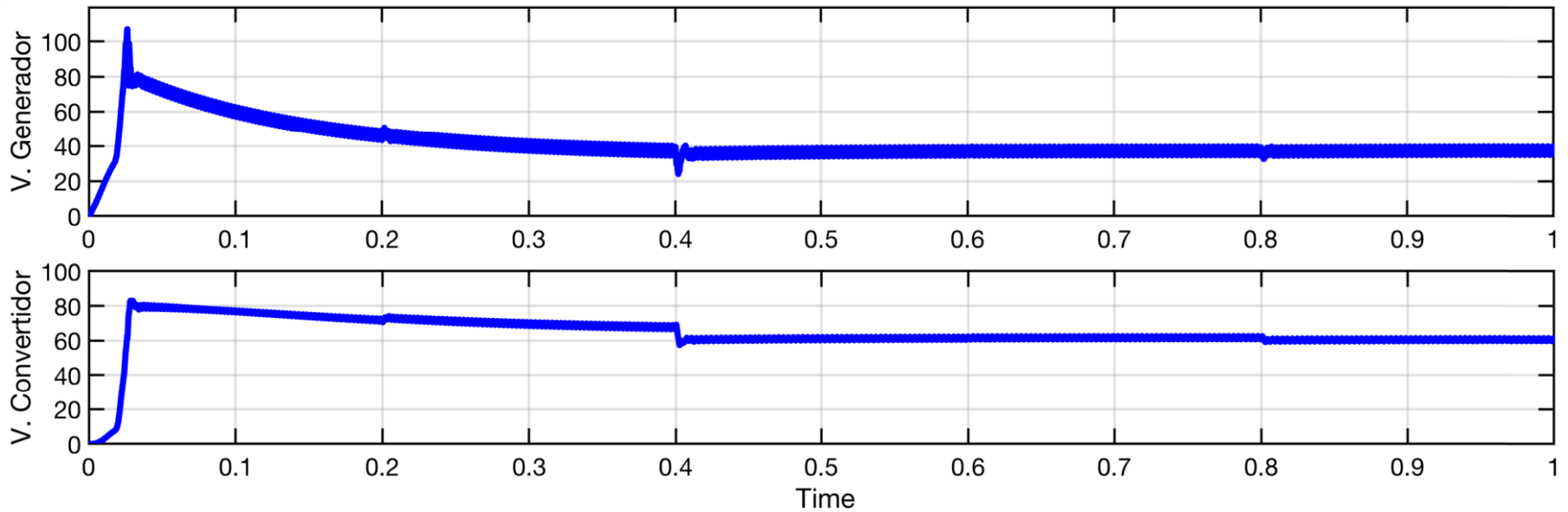


Figura 10. Voltaje generado y Voltaje del Convertidor

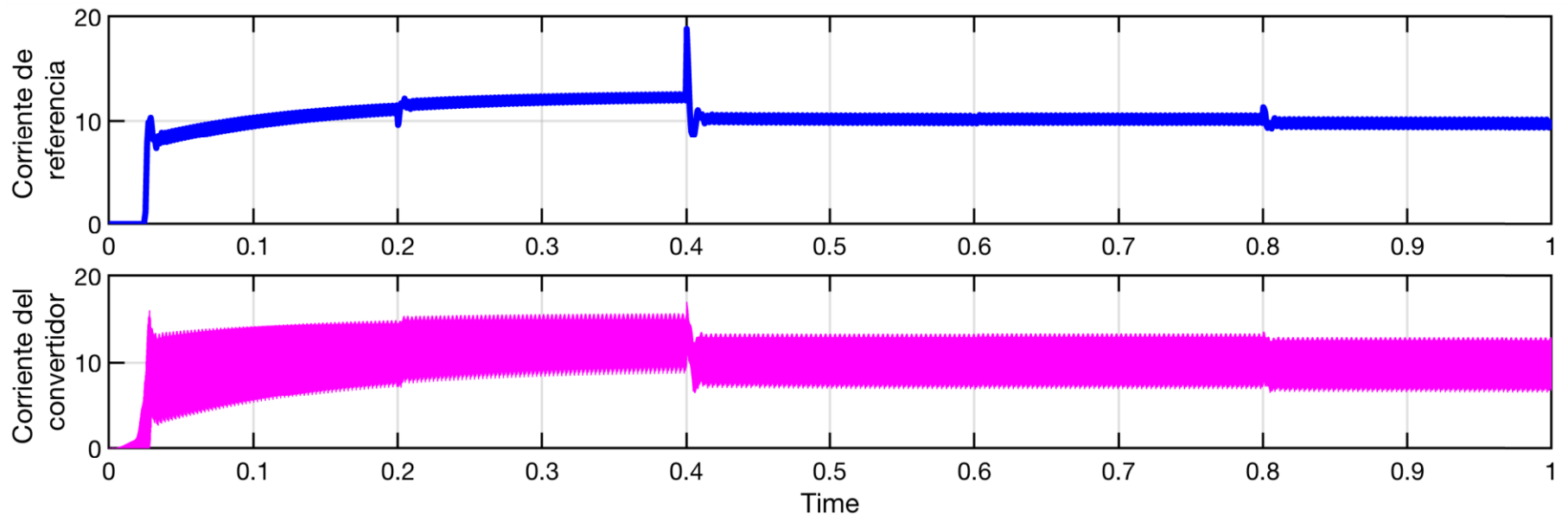


Figura 11. Corriente de Referencia MMPT y Corriente en el convertidor

Conclusiones

- La desventaja de esta aplicación, es que el voltaje de CD de salida del convertidor no sería constante, inclusive sería igual de variable que la velocidad del viento. Por lo tanto, si se requiere implementar el algoritmo del MPPT presentado en este trabajo para conectarse a la red eléctrica por medio de un inversor de voltaje, se requiere controlar el voltaje en el bus de CD variando el ángulo de fase del inversor, aunque esta última es una metodología que se encuentra disponible en la literatura desde hace varios años y además ha sido ampliamente estudiada.
- Por otro lado el controlador del MPPT presentado ofrece ventajas en las topologías recientes para los sistemas de conversión de la energía viento que están basados en generadores síncronos de imanes permanentes. La velocidad del rotor es controlada por medio de una realimentación de estados en el convertidor.

Conclusiones

- En este trabajo se emplea el modelo de la turbina de viento para construir de forma experimental un emulador que sea capaz de representar físicamente la dinámica de una turbina de viento real. Se utilizó un archivo que contiene una medición real de la velocidad del viento, un motor de inducción acoplado directamente a un generador síncrono de imanes permanentes, algunas mediciones y una plataforma en tiempo real. Los resultados experimentales son comparados con los resultados esperados obtenidos con simulaciones y ambos son muy similares.
- El emulador presenta una dinámica que describe el comportamiento transitorio de las variables como velocidad de la máquina, potencia y el coeficiente de par.

Conclusiones

- El propósito principal de este trabajo, es construir un sistema de generación de energía eléctrica a partir del viento que permita a futuro seguir desarrollando investigación en esta área. Al momento se ha simulado el desarrollo de un control de máximo aprovechamiento de energía (Maximum Power Point Tracking). Se concluye que variando la velocidad del rotor de la turbina de viento, se puede obtener el máximo aprovechamiento posible de la energía del viento.
- Dentro de los trabajos futuros se tiene contemplado la utilización de varios modelos de cálculo de coeficiente de potencia y par.
- Finalmente se concluye que este trabajo de emulación de turbina eólica utilizando plataforma en tiempo real, permite realizar experimentación y en un futuro inmediato proponer nuevas alternativas en el aprovechamiento del potencial eólico, con el propósito de impulsar la transición energética y con ello detonar el potencial de México como productor de energías renovables.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)