



# Modelado y Simulación de Conversión de Energía Eólica PMSG Para Sistema ON-GRID

UTN

Facultad Regional Haedo y del Neuquén

*Bufanio, Ruben Domingo<sup>1</sup>, Gonzalez Juan Manuel<sup>2</sup>, Marasco Damian<sup>3</sup>, de Villaflor Alejandro<sup>4</sup>, Scarone Norberto<sup>5</sup>, Juan Pablo Ruscio<sup>6</sup>*

Pedro Rotter s/n, Plaza Huincul, Neuquén. 8318; Paris 532, Haedo, Bs. As. 1706

<sup>1</sup>ruben.bufanio@speedy.com.ar, <sup>2</sup>gonzalezjuanmanuelutn@gmail.com, <sup>3</sup>damian.n.marasco@gmail.com, <sup>4</sup>devillab@speedy.com.ar, <sup>5</sup>scarone\_norberto@hotmail.com, <sup>6</sup>jpruscio@hotmail.com



## Objetivo:

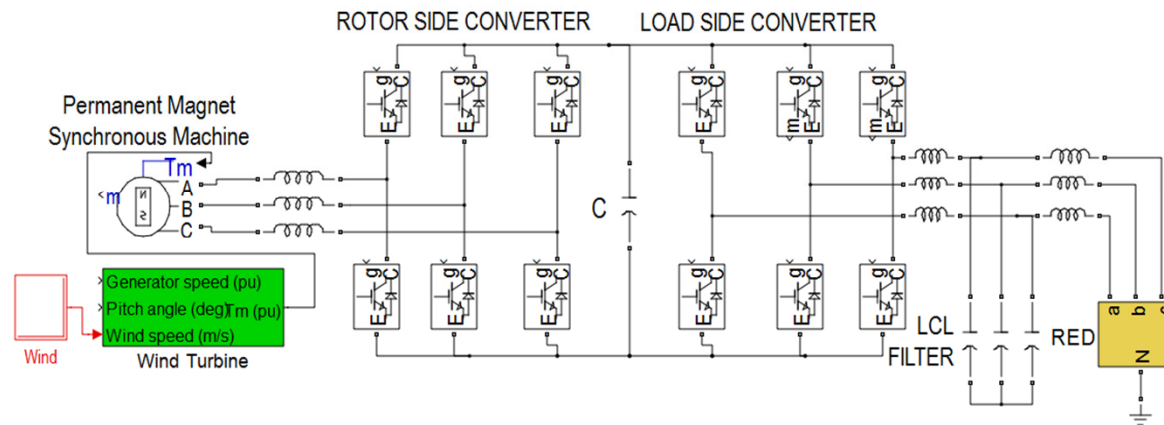
- Modelar y simular un aerogenerador de baja potencia (50kW), con WECS para generador sincrónico a imanes permanentes (PMSG) polos no salientes, acoplamiento directo, velocidad variable con conexión a la red eléctrica.

### ❖ Características:

- Control MPPT (máxima captura de energía)
- Control ZDC (corriente en eje directo  $I_d=0$ )
- Conversión de potencia eléctrica espalda con espalda
- Arreglo vectorial para conmutación de interruptores de potencia (SVM)
- Control de inyección de potencia y reactivo a la red



## Sistemas de Conversión de Energía (WECS)



### Rotor Side Converter :

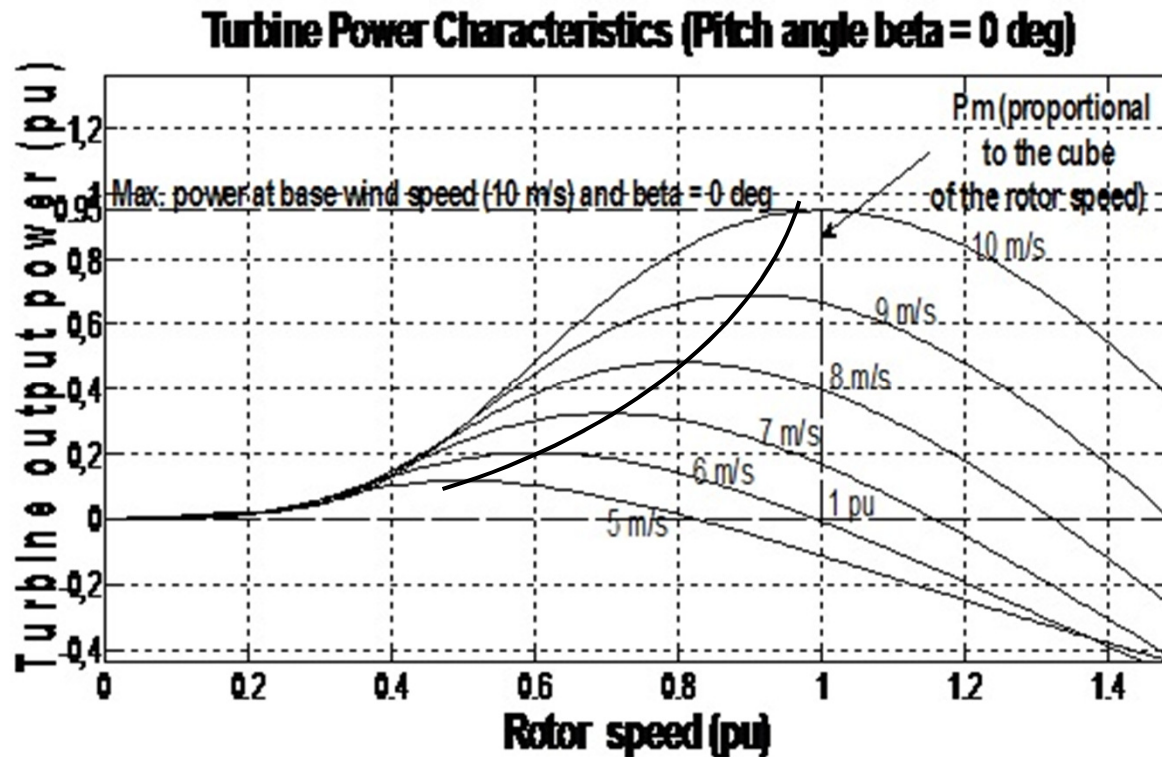
- Maximizar captura de energía del viento (MPPT)
- Controlar flujo de potencia hacia lado carga
- Velocidad de giro óptima

### Load Side Converter :

- Suministrar control de potencia y reactivo a la Red Eléctrica (Producto técnico según normas)



## Familia de curvas de potencia aerodinámica en función de la velocidad del viento y ubicación de potencia mecánica (MPPT)



Fuente: Toolbox Simulink de Matlab (R2010a)



## Control WECS

- ❖ Corriente estatórica en marco síncrono “d q” , ZDC (zero direct current)

$$\vec{i}_s = i_{ds} + j i_{qs} = j i_{qs} \quad \text{para } i_{ds} = 0$$

- ❖ Torque electromagnético

$$T_e = \frac{3}{2} * P * (\phi_r * i_{qs} - (L_d - L_q) * i_{qs} * i_{ds})$$

$$T_e = \frac{3}{2} * P * \phi_r * i_{qs}$$

- ❖ Conversión con MPPT

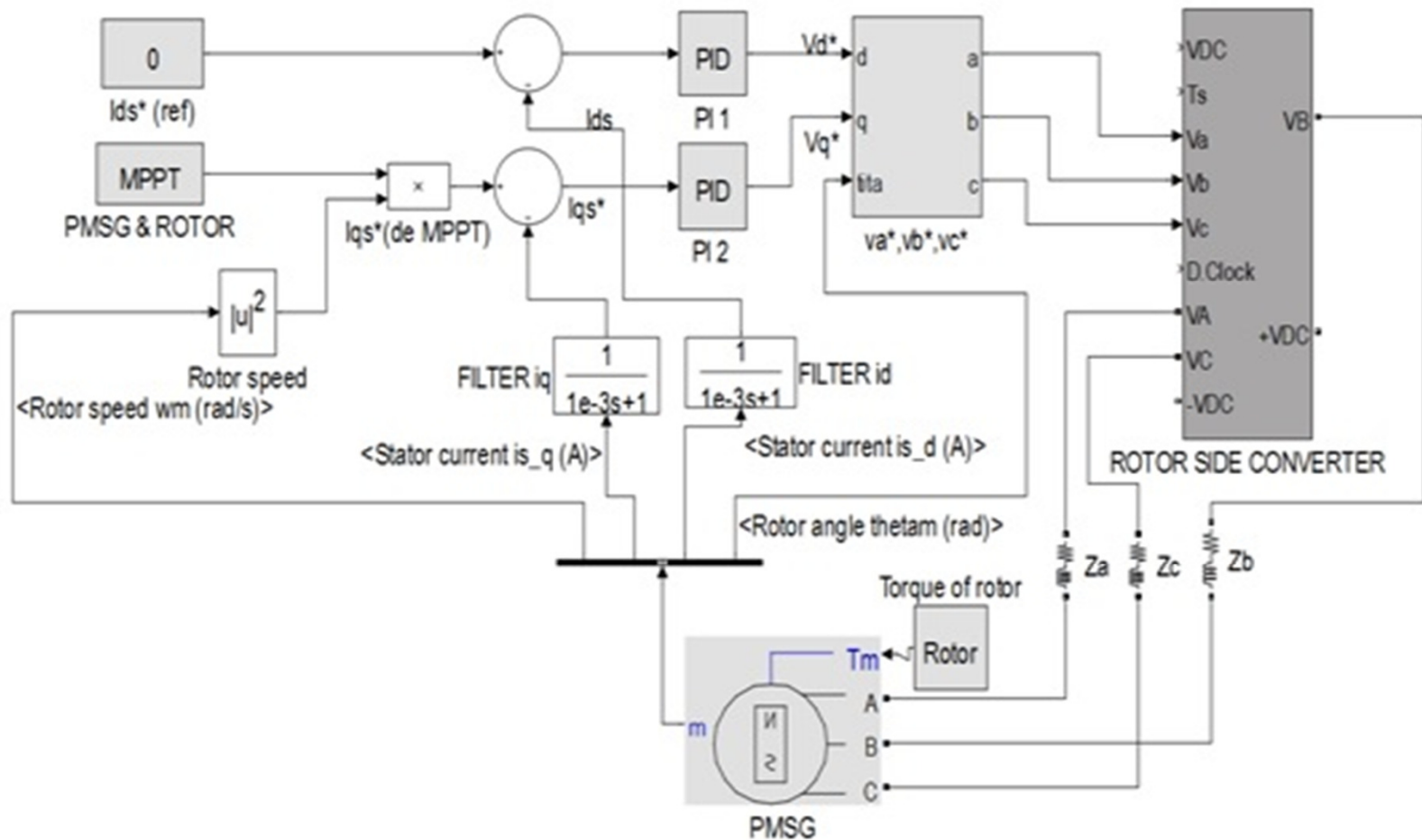
$$\dot{\omega}_r = \frac{1}{J} * (T_m - T_e)$$

$$T_m = \frac{1}{2} * C_P * \rho * \pi * R^5 * \frac{\omega^2}{\lambda^3}$$

$$i_{qs}^* = \frac{C_{P_{opt}} * \rho * \pi * R^5}{3 * P * \phi_r * \lambda_{opt}^3} * \omega_r^2$$



## Control ZDC para conversión de energía eólica PMSG





## Conversión Espalda con Espalda

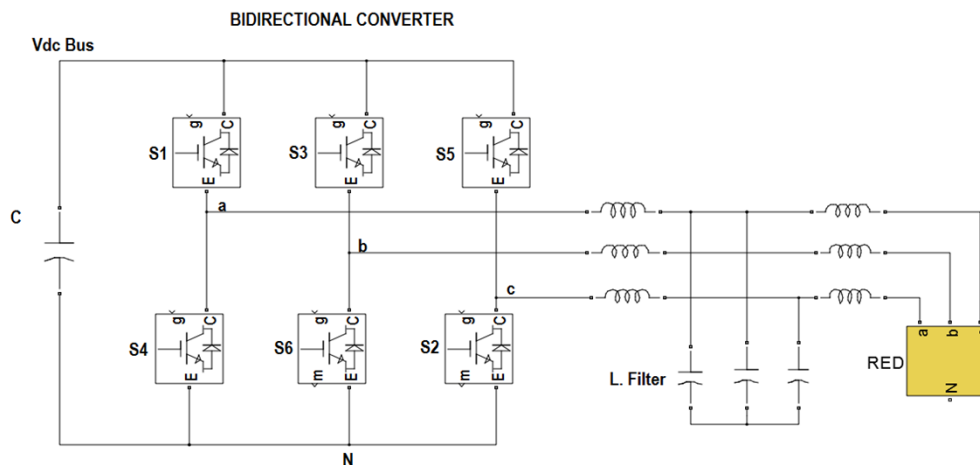
➤ Modulación "SVM"

➤ Dos niveles

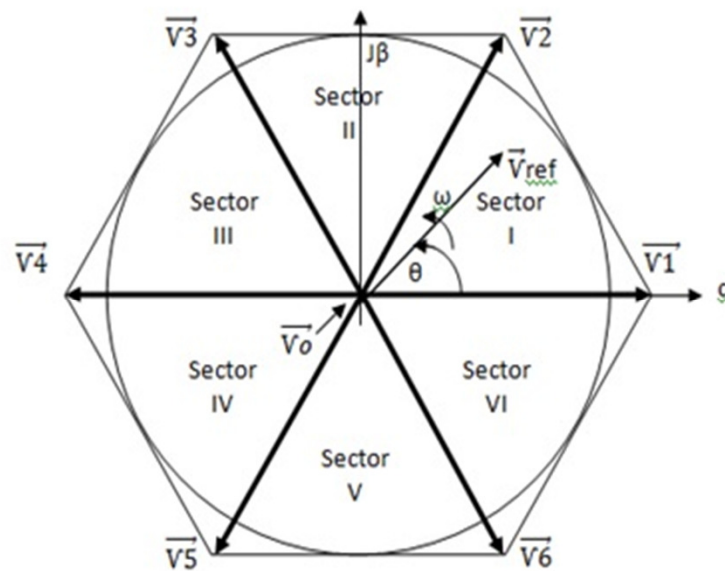
$$T_a = \frac{\sqrt{3} V_{ref} T_s}{V_{dc}} \text{sen} \left( \frac{\pi}{3} - \theta' \right)$$

$$T_b = \frac{\sqrt{3} V_{ref} T_s}{V_{dc}} \text{sen} \theta'$$

$$T_s = T_a + T_b + T_o$$

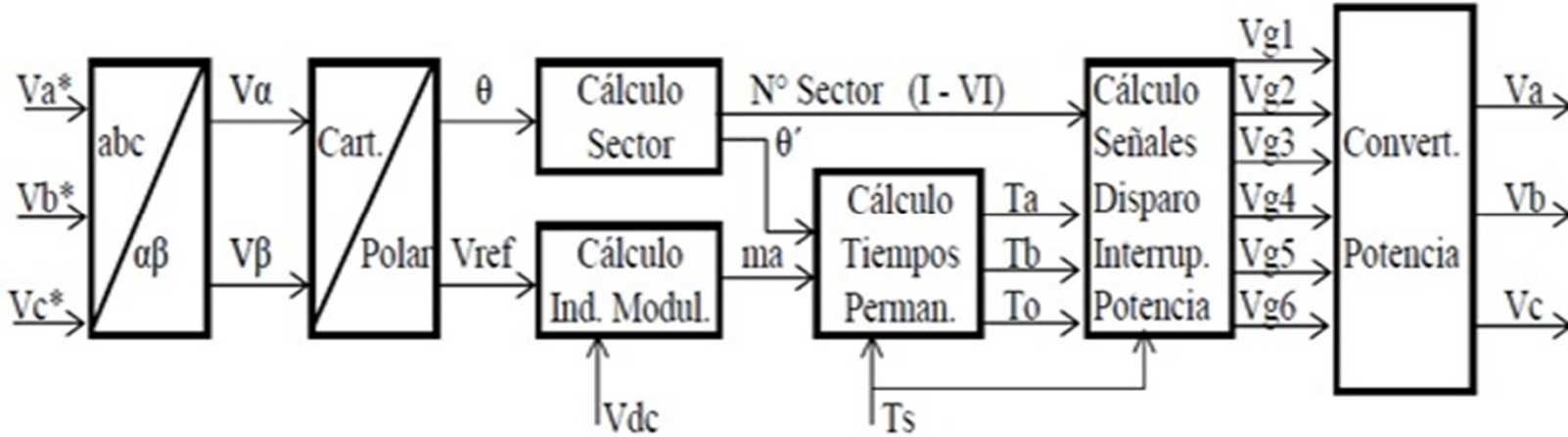


|                     | $T_o/4$ | $T_b/2$ | $T_a/2$ | $T_o/2$ | $T_a/2$ | $T_b/2$ | $T_o/4$ |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Sector I            | 111     | 110     | 100     | 000     | 100     | 110     | 111     |
| Sector III          | 111     | 011     | 010     | 000     | 010     | 011     | 111     |
| Sector V            | 111     | 101     | 001     | 000     | 001     | 101     | 111     |
| ←----- $T_s$ -----> |         |         |         |         |         |         |         |
|                     | $T_o/4$ | $T_a/2$ | $T_b/2$ | $T_o/2$ | $T_b/2$ | $T_a/2$ | $T_o/4$ |
| Sector II           | 111     | 110     | 010     | 000     | 010     | 110     | 111     |
| Sector IV           | 111     | 011     | 001     | 000     | 001     | 011     | 111     |
| Sector VI           | 111     | 101     | 100     | 000     | 100     | 101     | 111     |
| ←----- $T_s$ -----> |         |         |         |         |         |         |         |



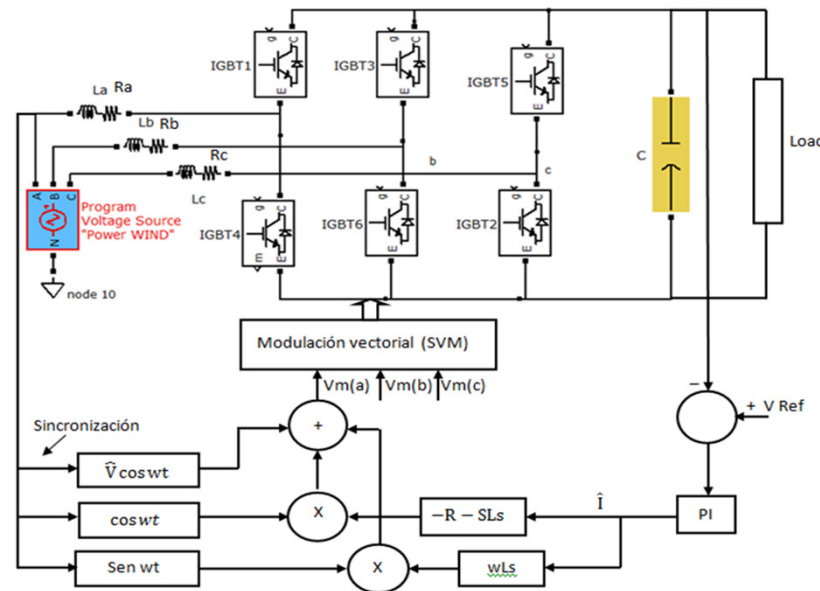


➤ Diagrama de bloques utilizado para modelar y simular los convertidores bidireccionales



$$V_m(t) = \tilde{V} \cos(\omega t) - L \left( \frac{di(t)}{dt} \cos(\omega t - \varphi) - \omega \tilde{I}(t) \sin(\omega t - \varphi) \right) - R_s \tilde{I}(t) \cos(\omega t - \varphi)$$

➤ Diagrama general de modelado estrategia de control lado red







## Esquema de modelado de conversión de energía eólica PMSG

- Datos principales nominales

### Rotor :

$P_m = 51.5 \text{ kW}$   
 $\beta = 0^\circ$   
 $V = 10.27 \text{ m/s}$   
 $\omega = 10.3 \text{ r/s}$   
 $R = 7.17 \text{ m}$   
 $T_m = 5000 \text{ Nm}$   
 $J = 2100 \text{ kgm}^2$

### Generador

$P = 12 \text{ (pares de polos)}$   
 $L_d = L_q = 8 \text{ mHy}$   
 $\Phi_r = 2.8 \text{ V.s}$   
 $K_v = 6530 \text{ V L-L/krpm}$

### Convertidor

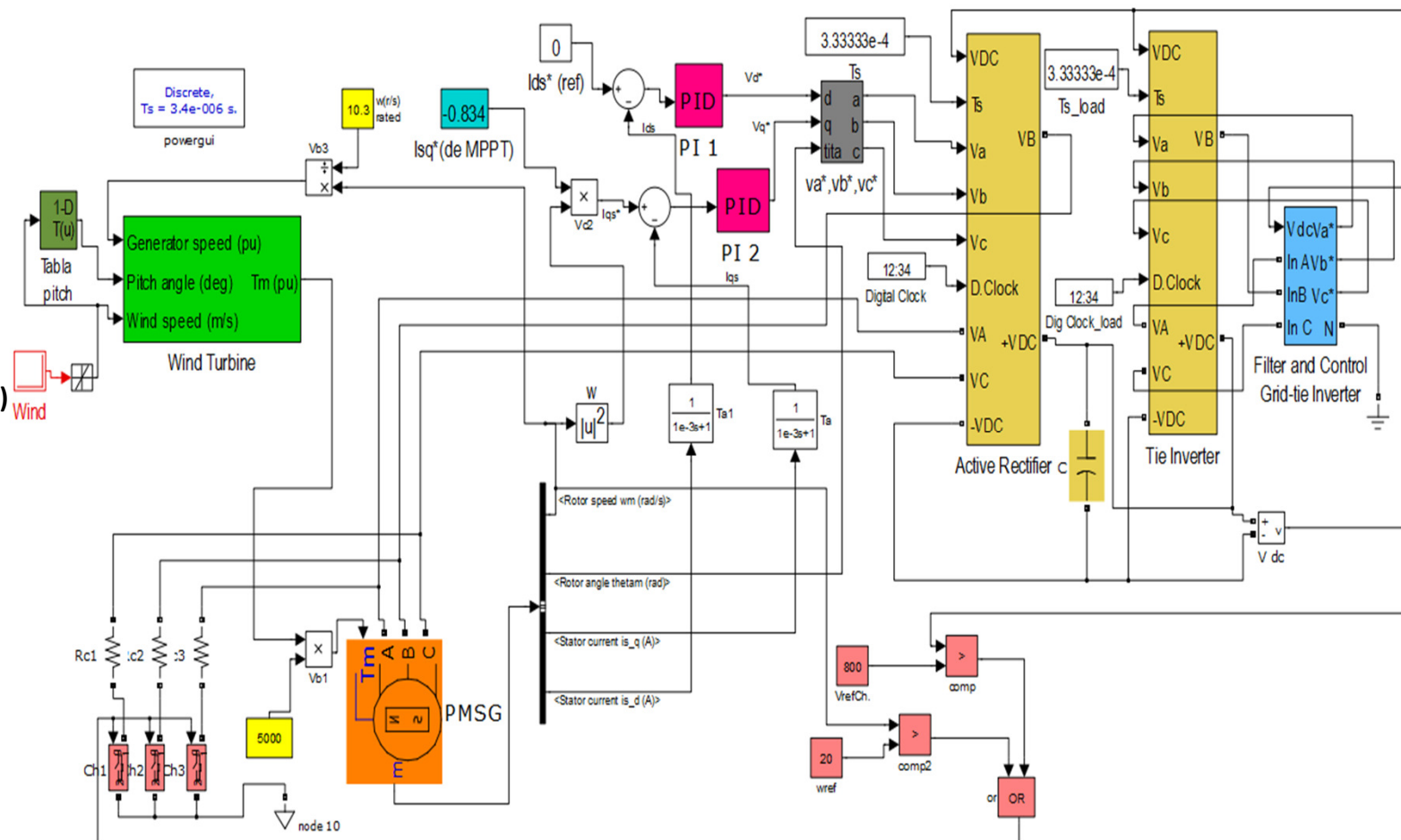
$m_a = 0.8$   
 $V_L = 380 \text{ V}$   
 $f_s = 3000 \text{ Hz}$

### Red

$V_L = 380 \text{ V}, 50 \text{ Hz}$

### Filtro: L-CR- L

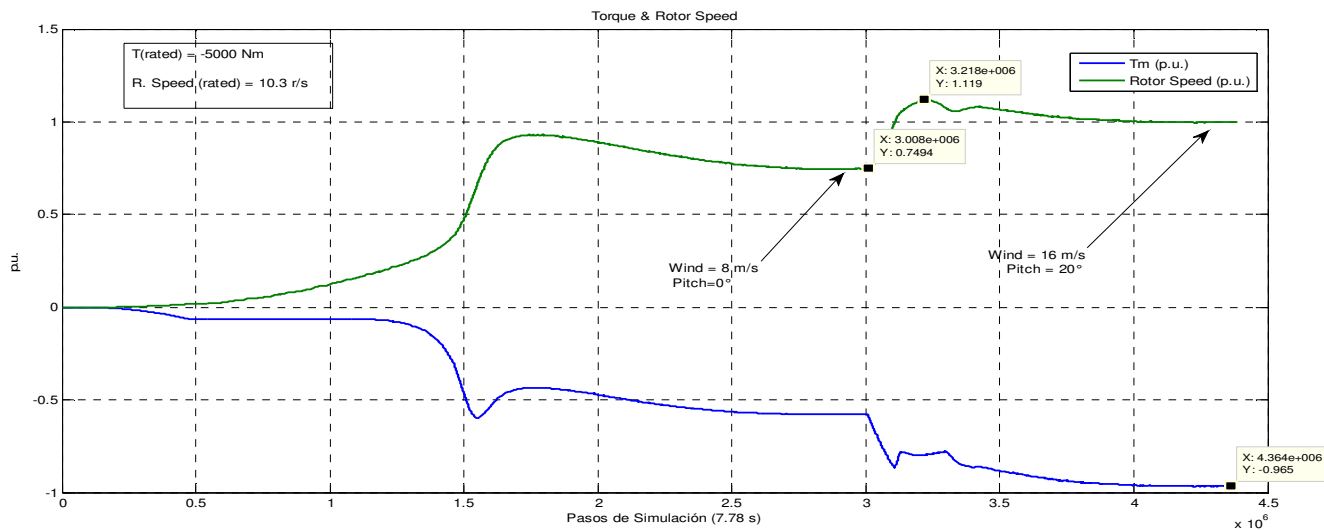
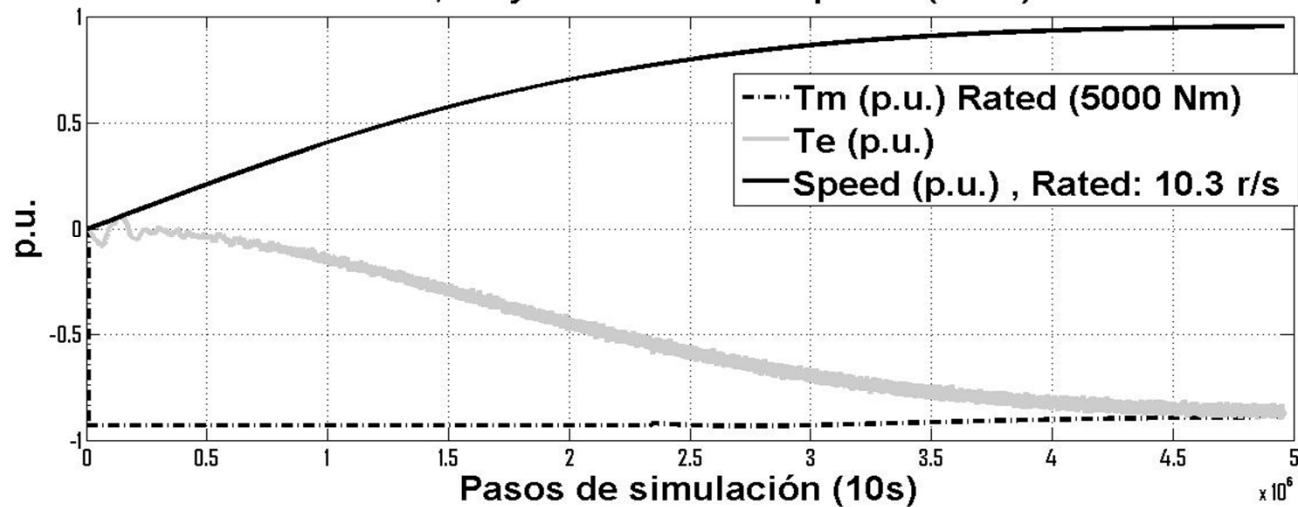
$L = 1.5 \text{ mHy}, L_2 = 1.2 \text{ mHy}, C = 22 \mu\text{F}, R = 2 \Omega$





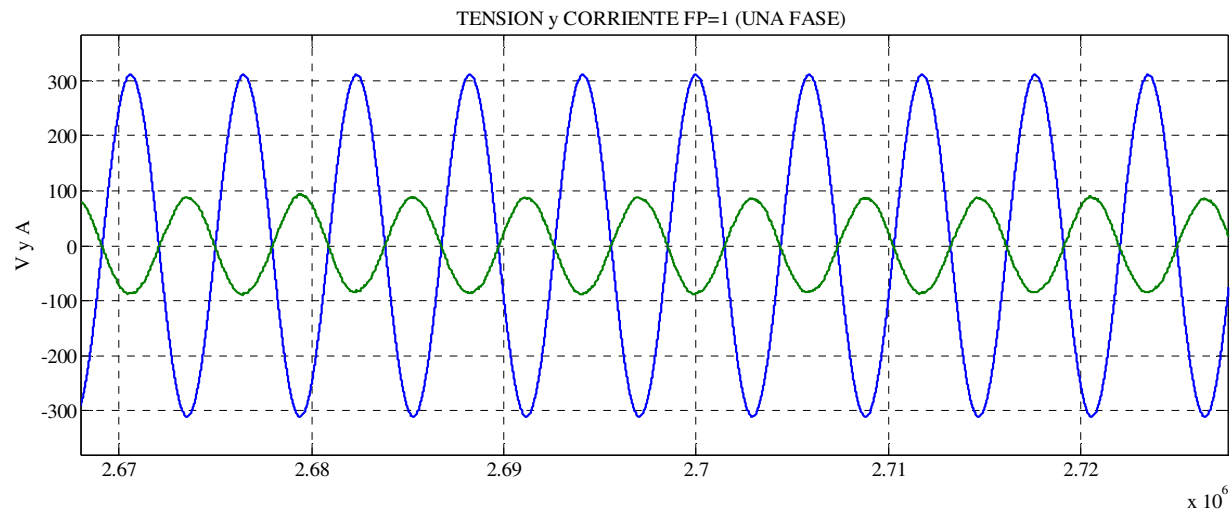
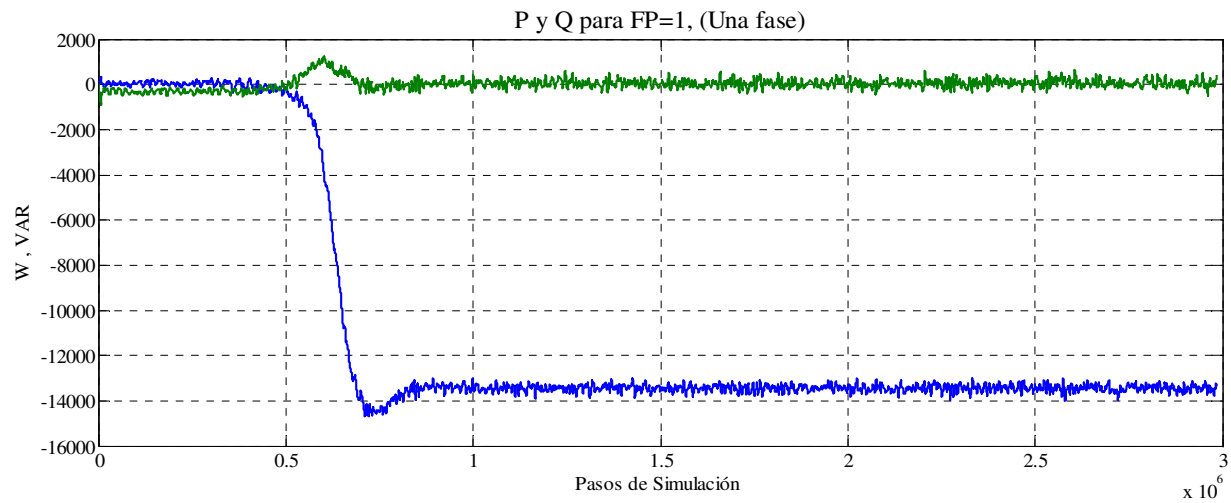
# Desempeño de modelo WECS PMSG

Salidas de Tm, Te y velocidad rotor para V(wind) = 10 m/s



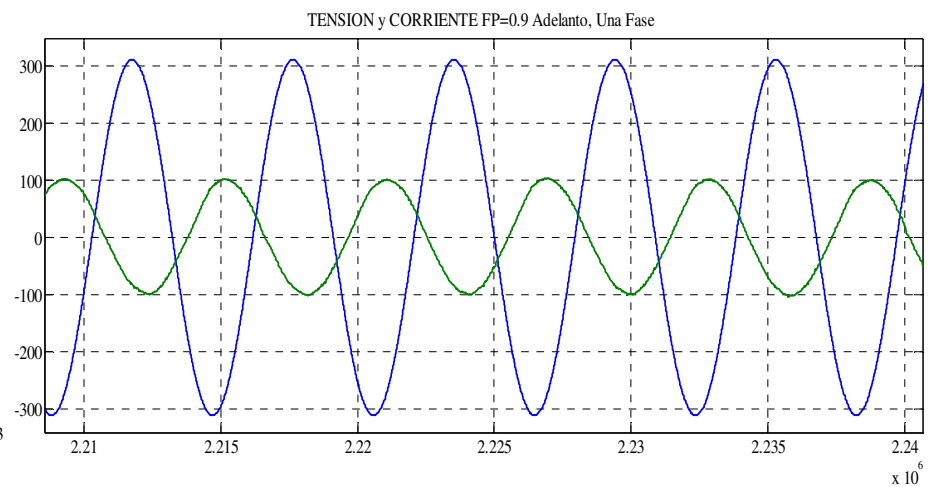
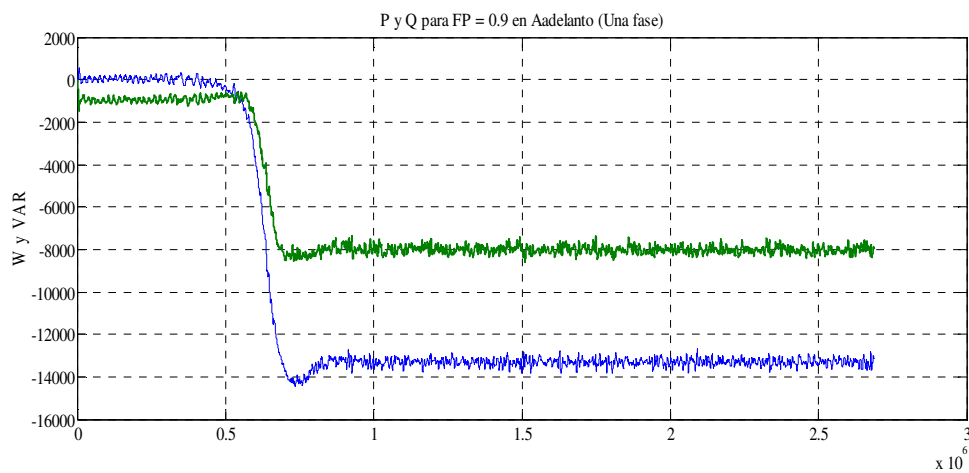
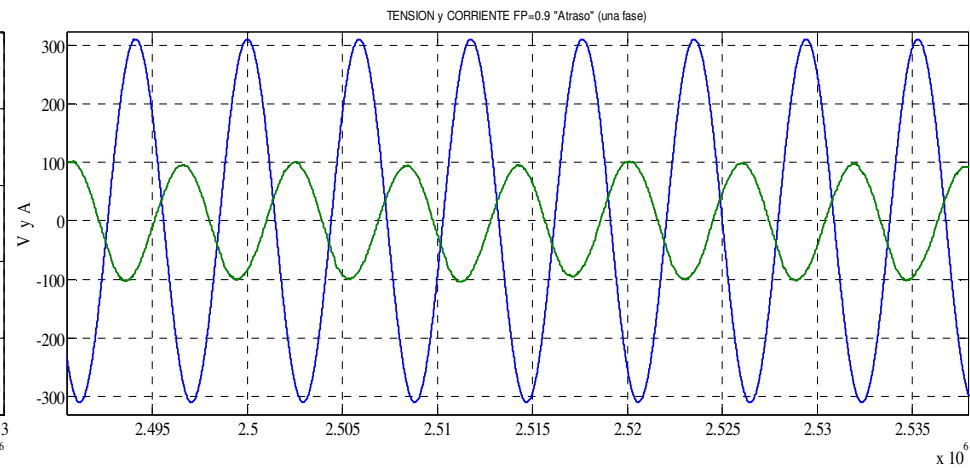
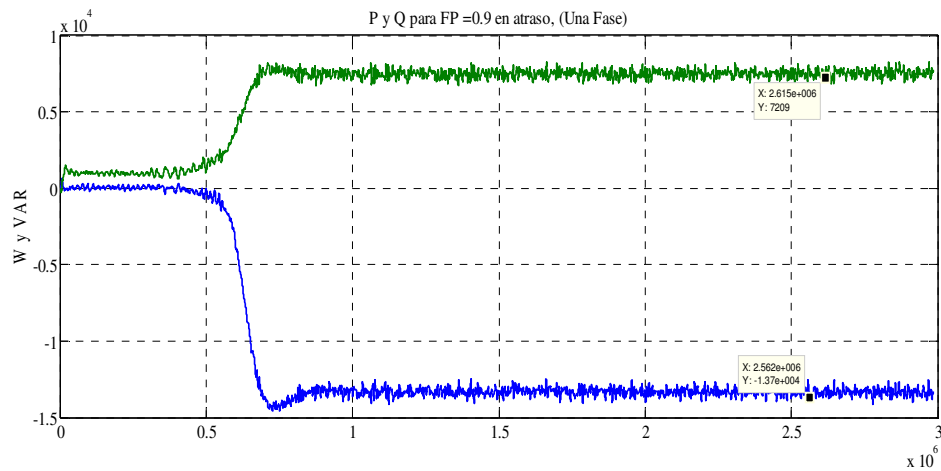


## Desempeño de modelo WECS PMSG





# Desempeño de modelo WECS PMSG





## **CONCLUSIONES**

- ✓ El modelo, en etapa de simulación, entrega índices que validan la bondad de la propuesta desarrollada (Wu, B., Yongqiang, L., Zargari, N. & Kouro, S. (2011). Power Conversion and Control of Wind Energy Systems. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc..)
- ✓ Permite, en principio dado los costos, realizar pruebas de desempeño a través de prototipo en potencia menor a la planteada (del orden del kW).
- ✓ Una mayor frecuencia de muestreo permitirá mejor desempeño global del sistema (20 kHz). Se trabaja a menor valor (3 kHz) con el fin de disminuir el consumo de recurso informático y por ende reducir los tiempos de las corridas. Dicho valor de muestreo sin embargo es indicador del buen funcionamiento del modelo elaborado.
- ✓ Corroborar el buen desempeño del control de potencia tanto en carga parcial como total, en donde en la primera (por debajo del viento nominal) el MPPT permite adquirir la máxima potencia del viento incidente. Superado dicho límite el control de paso de pala actúa correctamente de manera de mantener la potencia a la nominal.
- ✓ La estrategia de control lado red, aunque simple, permite controlar satisfactoriamente la inyección de potencia y reactivo a la red con muy bajo contenido armónico de corriente menor al 5%. Se deberá probar su desempeño frente a perturbaciones en la misma, cambio de su impedancia, y parámetros del convertidor lado red en especial de su filtro LCL.
- ✓ Queda, por último, ratificar desempeños de simulación con prototipo experimental, para ello se está trabajando en la implementación del algoritmo de control a través de la familia de microprocesadores “DELFINO C2000” de Texas Instruments.



**Muchas Gracias**

**¿CONSULTAS?**