



Sistemas HVDC

SESIÓN 3 :

Estado del arte en Metodologías y modelos para HVDC

## Modelado y control de sistemas HVDC para la integración de energía eólica



**ALEJANDRO GARCÉS RUIZ**

Universidad Tecnológica de Pereira - UTP

Un evento:



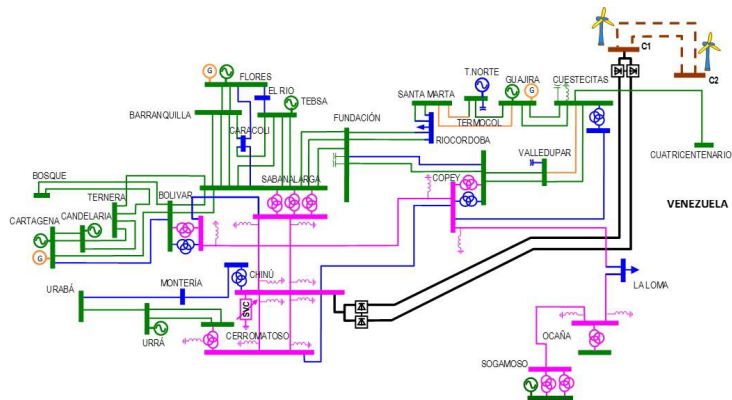
Compartir la experiencia de la Universidad Tecnológica de Pereira sobre estabilidad y control de sistemas HVDC y generación eólica en alta-mar.

- ▶ Design, Operation and Control of Series-Connected Power Converters for Offshore Wind Parks. Tesis doctoral, NTNU-Noruega. 2012
- ▶ HVDC, distribución dc y micro-redes en dc
- ▶ Optimización de la operación y análisis dinámico.
- ▶ Necesitamos desarrollar teoría en **ingeniería eléctrica** para resolver los problemas prácticos.

- ▶ No existe tal dicotomía entre investigación básica e investigación aplicada.
- ▶ A pesar de las ventajas de las cajas negras (machine-learning, artificial intelligence), necesitamos entender los fenómenos eléctricos.
- ▶ Solucionar nuevos problemas implica desarrollar más teoría.
- ▶ Se requiere conversar entre la academia y la industria.

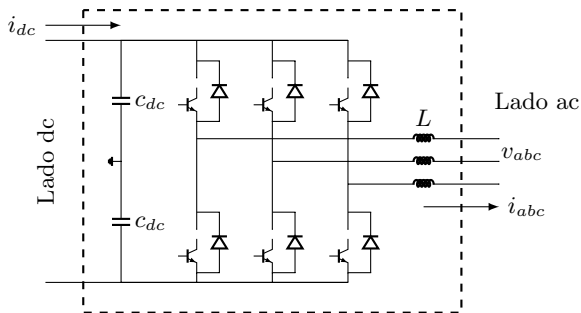


- ▶ Largas distancias a la costa (HVDC)
- ▶ Estabilidad y control del sistema
- ▶ Variabilidad de la potencia generada
- ▶ Eficiencia de los convertidores
- ▶ Confiabilidad
- ▶ Densidad de potencia



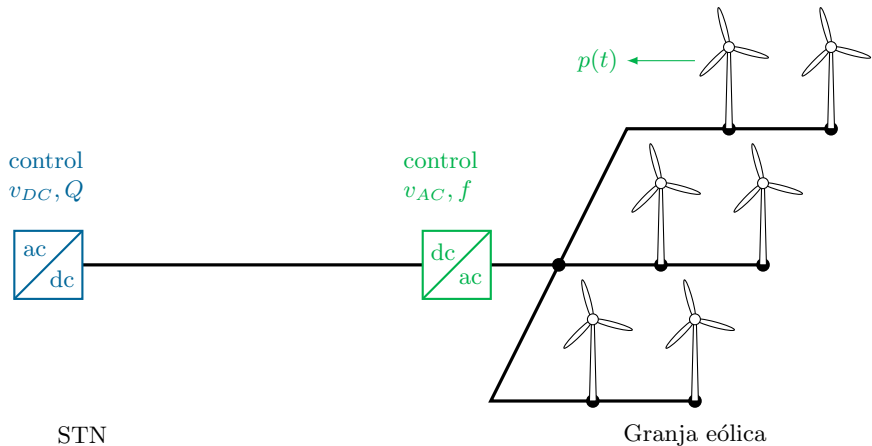
UPME. Plan de expansión de referencia generación transmisión  
2015-2029

- ▶ Conmutación de línea (LCC - CSC)
- ▶ Conmutación forzada
  - ▶ VSC
  - ▶ MMC
  - ▶ PWM-CSC, matrix, un largo etcétera...

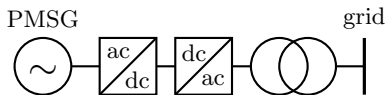
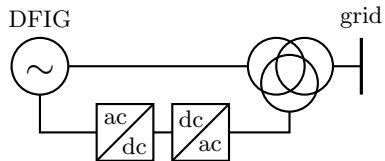
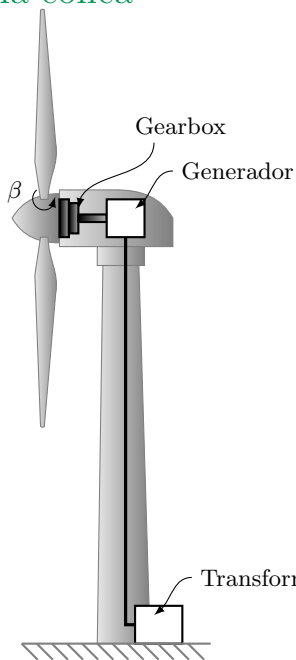


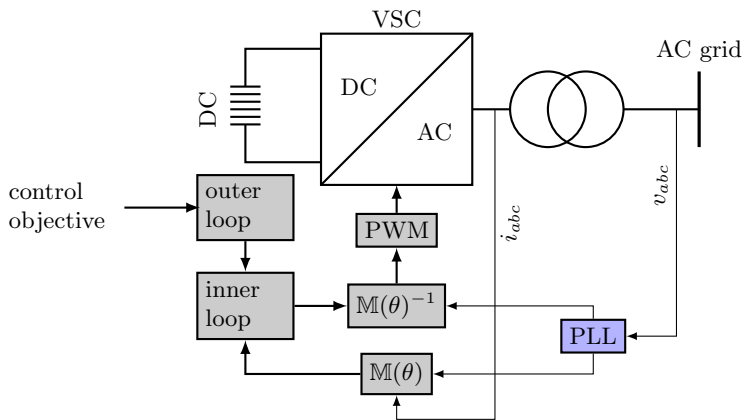


# Esquema de control

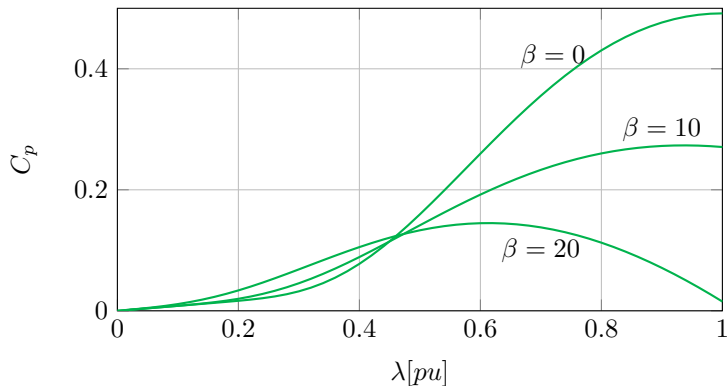


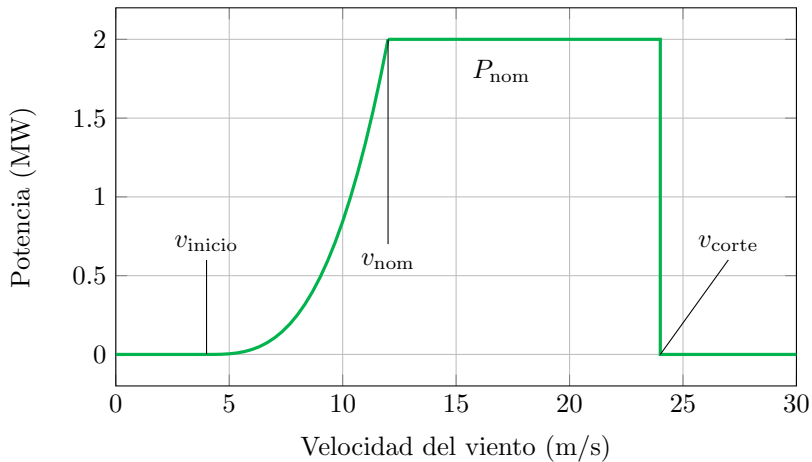
# Turbina eólica

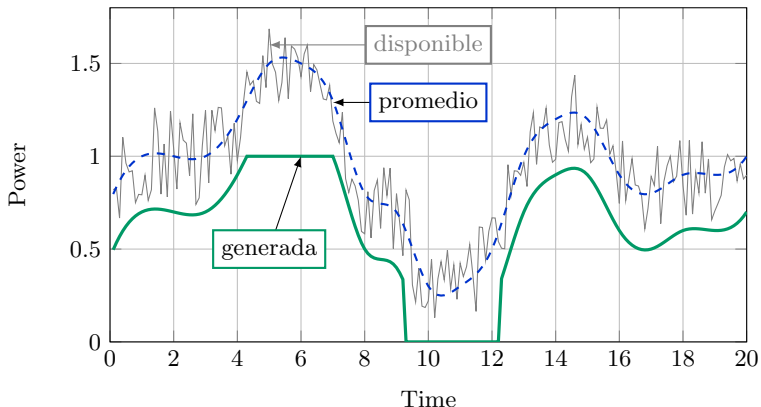




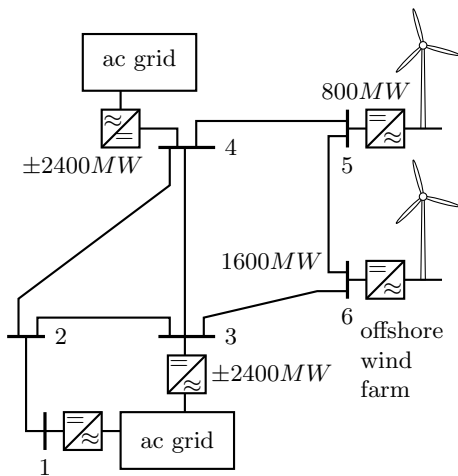
$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3$$







Sorensen, P. E., Hansen, A. D., Iov, F., Blaabjerg, F., Donovan, M. H. (2005). Wind farm models and control strategies. Denmark. Forskningscenter Risoe. Risoe-R, No. 1464(EN)



Control primario, secundario, terciario (OPF).

Sistema no-lineal / no autónomo

$$\dot{x} = f(x, t)$$

Necesitamos más teoría !!!

- ▶ Estabilidad entrada-salida.
- ▶ Control basado en pasividad.
- ▶ Sistemas Hamiltonianos.
- ▶ Teoría de Lyapunov.
- ▶ Teoría de Floquet.

No es difícil, pero hay que acostumbrarse !!



Flujo de carga en redes dc no es un *flujo dc*

$$f(x) = 0$$

El problema es no-lineal/no-convexo!

$$\frac{p_k}{v_k} = \sum_m g_{km} v_m$$



A. Garcés, "On the Convergence of Newton's Method in Power Flow Studies for DC Microgrids," in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 33, no. 5, pp. 5770-5777, Sept. 2018, doi: 10.1109/TPWRS.2018.2820430.

$$\text{minimize } P_L(p, h, v) = \sum_{k=0}^{n-1} \sum_{m=0}^{n-1} g_{km} v_k v_m$$

$$p_k - h_k(1 - v_k) = \sum_{m=0}^{n-1} g_{km} v_k v_m \quad \forall k \in \mathcal{N}$$

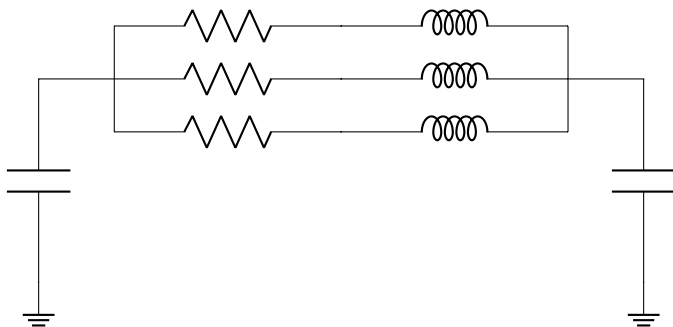
$$p_{k(\min)} \leq p_k - h_k(1 - v_k) \leq p_{k(\max)} \quad \forall k \in \mathcal{N}$$

$$-f_{km(\max)} \leq \frac{v_k - v_m}{r_{km}} \leq f_{km(\max)} \quad \forall km \in \mathcal{E}$$

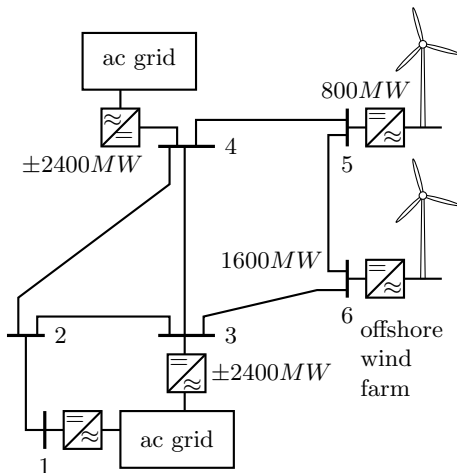
$$v_{\min} \leq v_k \leq v_{\max} \quad \forall k \in \mathcal{N}$$



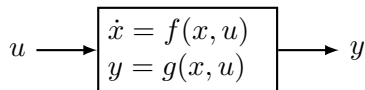
Oscar.D Montoya, Walter J. Gil, Alejandro Garces, "Optimal Power Flow on DC Microgrids: A Quadratic Convex Approximation" in *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs*



J. Beerten, S. D'Arco and J. A. Suul, Frequency-dependent cable modelling for small-signal stability analysis of VSC-HVDC systems, in *IET Generation, Transmission and Distribution*, vol. 10, no. 6, pp. 1370-1381, 21 4 2016



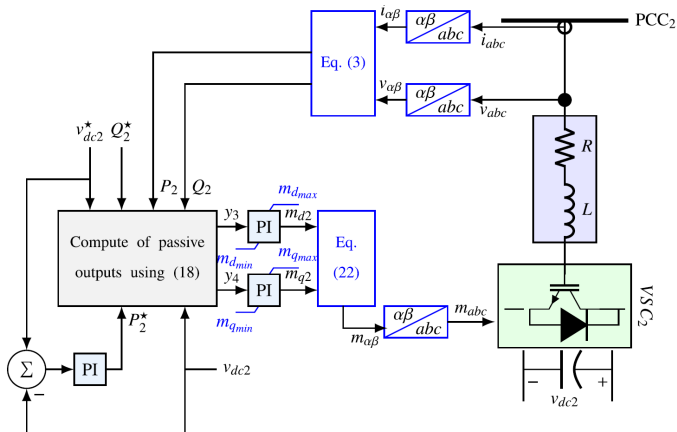
S. Sanchez, A. Garcés, G. Bergna-Diaz and E. Tedeschi, Dynamics and Stability of Meshed Multiterminal HVDC Networks, in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 34, no. 3, pp. 1824-1833, May 2019



## Sistema pasivo

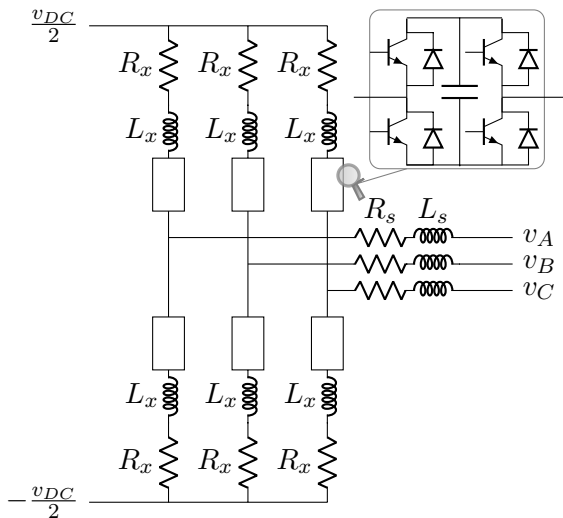
$$H(T) \leq H(0) + \int_0^T y(t)^\top u(t) dt$$

- ▶ Análisis desde el punto de vista de la energía.
- ▶ La interconexión de sistemas pasivos genera un sistema pasivo.



Walter Gil-González, Oscar Danilo Montoya, Alejandro Garces, Direct power control for VSC-HVDC systems: An application of the global tracking passivity-based PI approach, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, Volume 110, 2019

# Modular multi-level converter

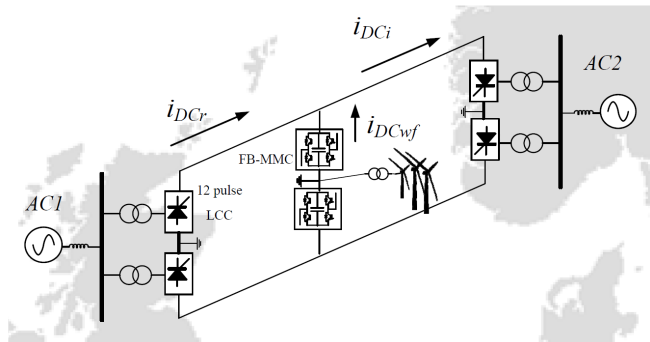


- ▶ Eliminar corrientes circulantes
- ▶ Diferentes esquemas de control
- ▶ Controles híbridos
- ▶ Sistemas multi-terminal
- ▶ Aplicaciones de alta potencia



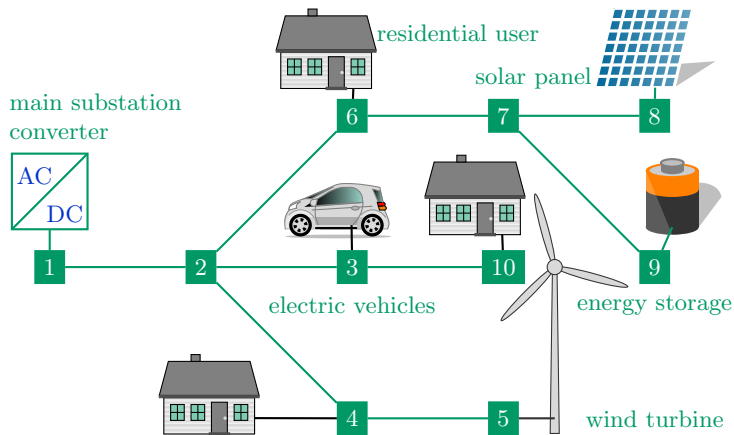
G. Bergna, A Garcés, et al., "A Generalized Power Control Approach in ABC Frame for Modular Multilevel Converter HVDC Links Based on Mathematical Optimization," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 1, pp. 386-394, Feb. 2014, doi: 10.1109/TPWRD.2013.2279300.





R. E. Torres-Olguin, A. Garces, M. Molinas and T. Undeland, "Integration of Offshore Wind Farm Using a Hybrid HVDC Transmission Composed by the PWM Current-Source Converter and Line-Commutated Converter," in *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 28, no. 1, pp. 125-134, March 2013, doi: 10.1109/TEC.2012.2230535

# Distribución de y micro-redes



- ▶ Hay muchos aspectos teóricos que merecen ser estudiados.
- ▶ Necesitamos desarrollar más teoría.
- ▶ La investigación desarrollada sobre generación eólica en alta mar puede servir como base para analizar el caso Colombiano.
- ▶ Los sistemas DC son el futuro no solo en alta tensión.

- ▶ NTNU - Noruega
- ▶ Newton-Fund (UK)
- ▶ CONICET - Chile
- ▶ UNAM - Mexico
- ▶ Universidad de Zaragoza (España)
- ▶ IEEE
- ▶ DAAD (Alemania)



<https://sites.google.com/a/utp.edu.co/alejandro/>

alejandro.garces@utp.edu.co