

“Fuertes perturbaciones en aerogeneradores modernos. Redes eléctricas inteligentes”



Dr. Ing. Roberto Daniel Fernández
Depto. de Electrónica – Depto. Ing. Química
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de la Patagonia
San Juan Bosco

“Fuertes perturbaciones en aerogeneradores modernos. Redes eléctricas inteligentes”



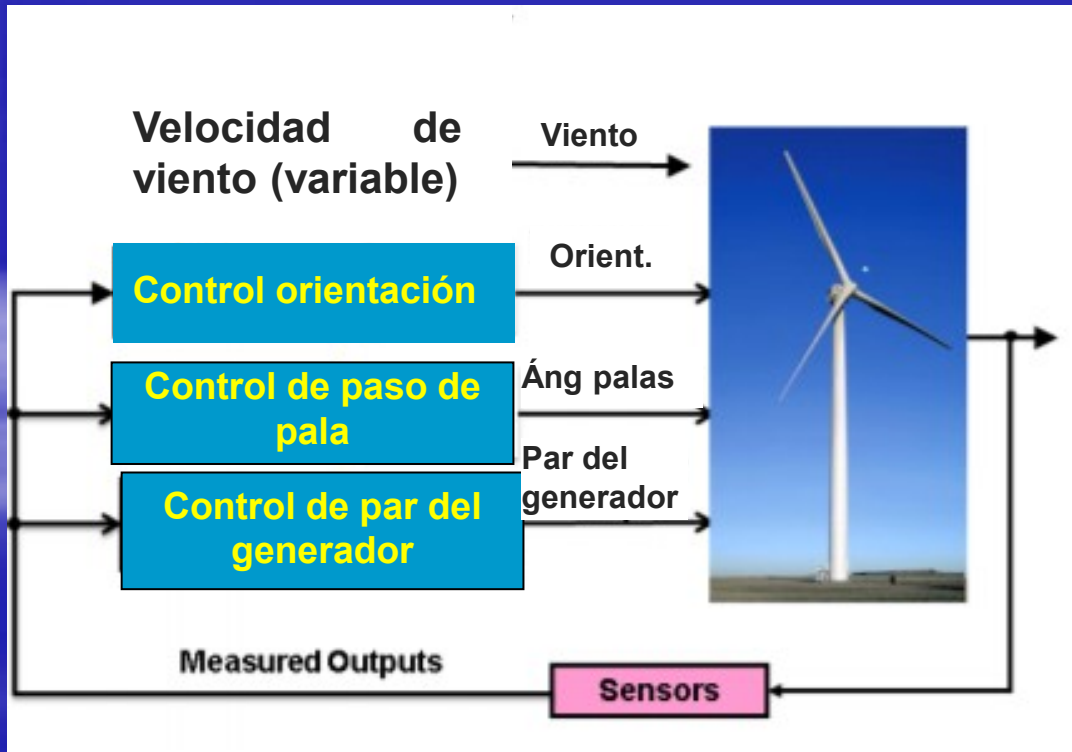
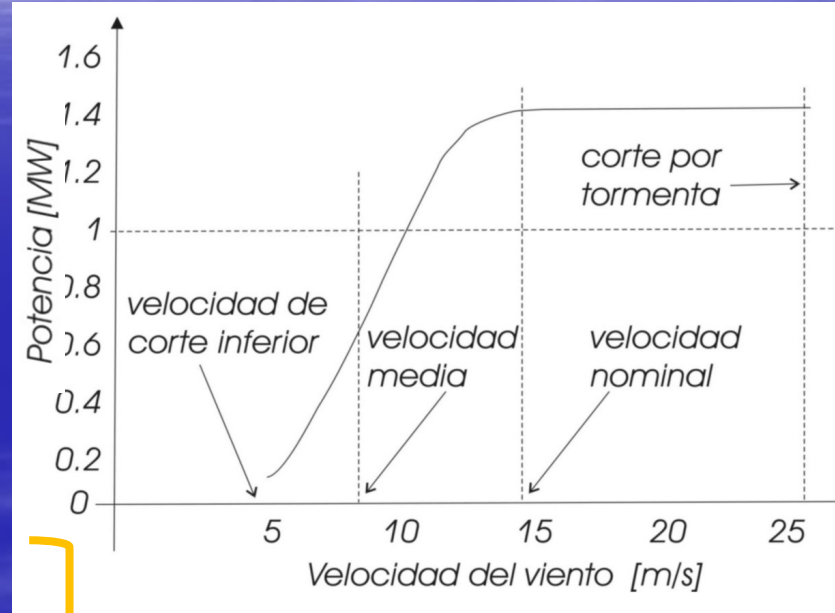
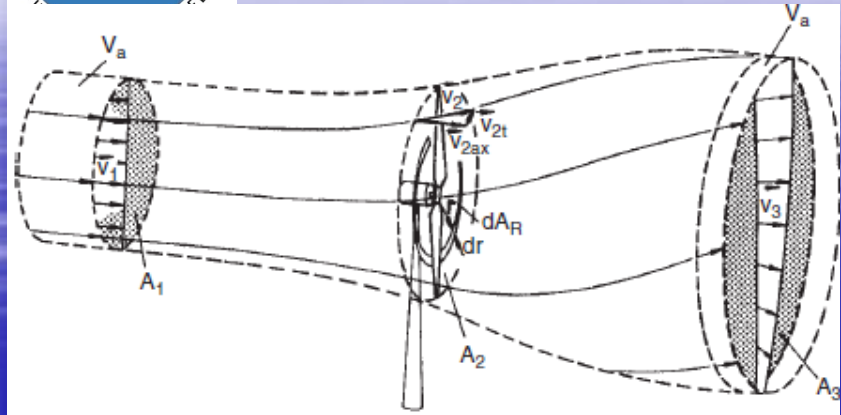
“Podría estar encerrado en una cáscara de nuez y sentirme rey de un espacio infinito”

Hamlet



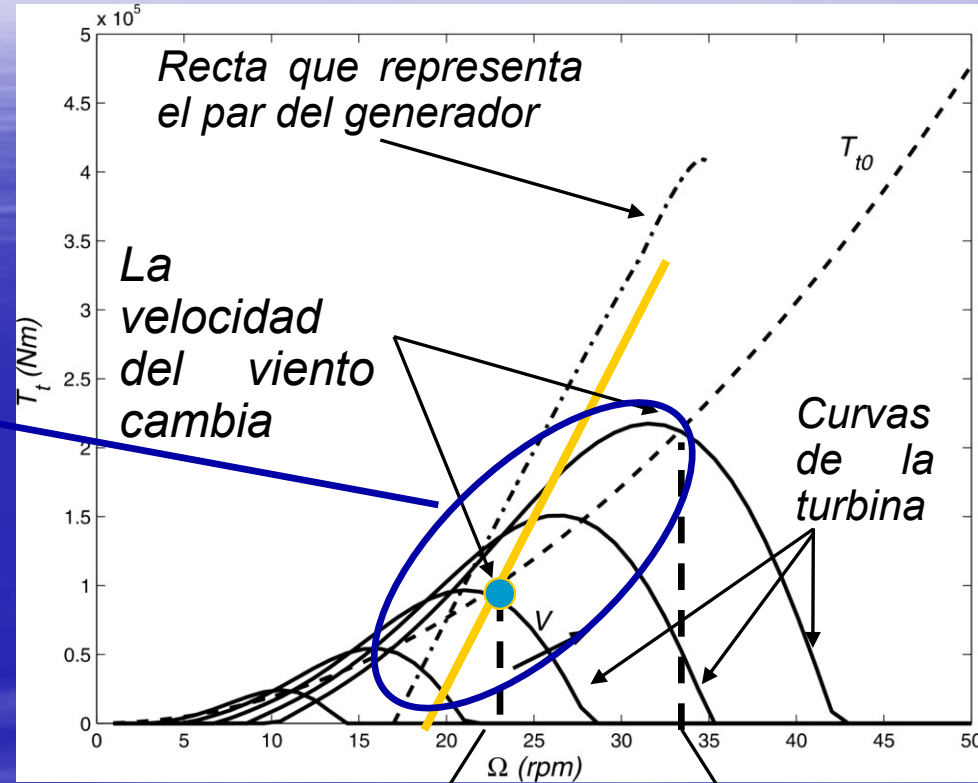
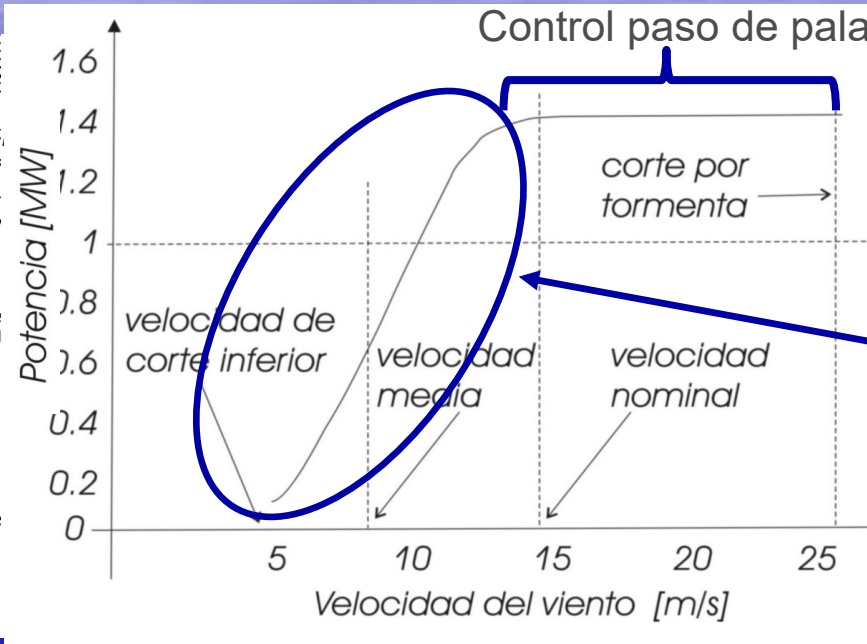
Aerogeneradores modernos

Energía cinética del viento a energía eléctrica



Potencia a la red

Aerogeneradores modernos



$$\dot{\Omega} = \frac{T_t(v, \Omega) - T_g(i)}{J}$$

Ω inicial

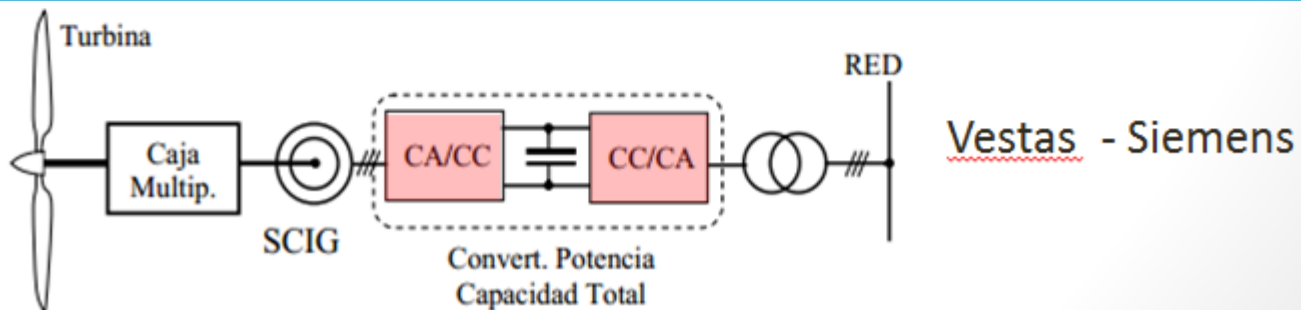
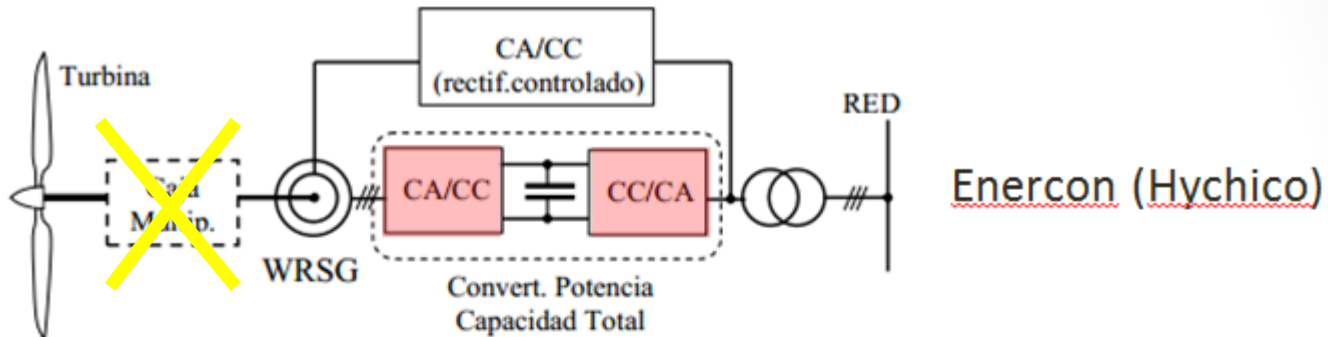
Ω final

Velocidad variable

Velocidad de giro variable = seguimiento del óptimo = maximización de la potencia generada

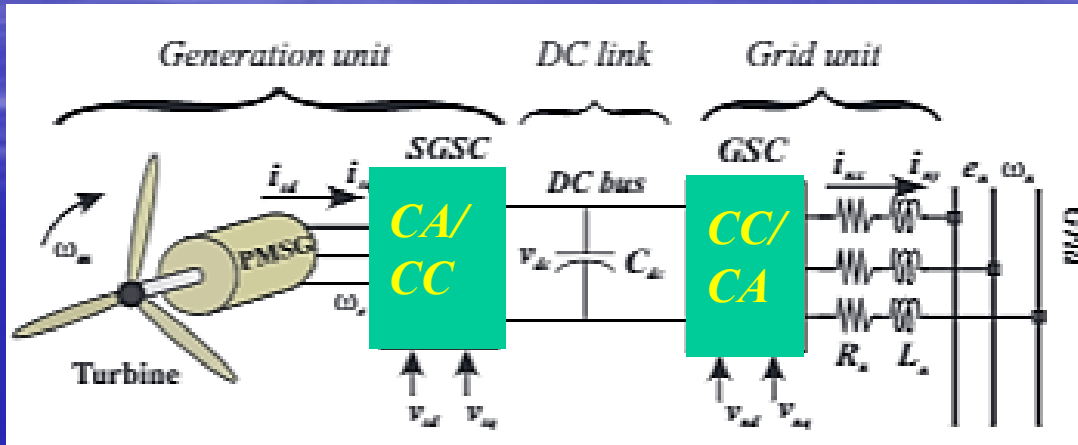
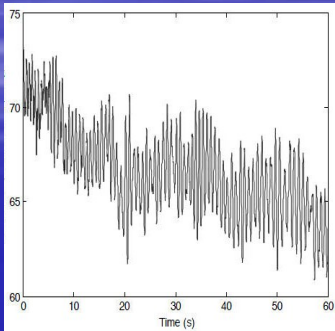
Aerogeneradores modernos

Aerogeneradores de velocidad variable con electrónica de potencia "full converter"

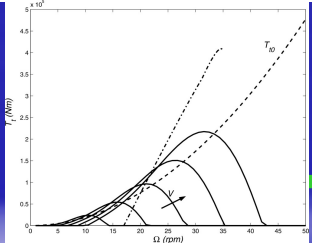
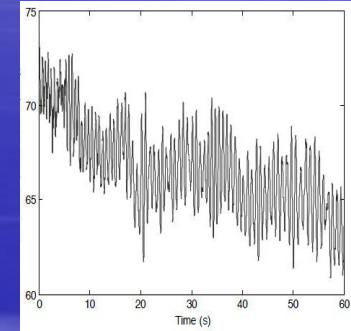


Aerogeneradores modernos

Velocidad de viento variable



Generación de potencia variable



Potencia activa entrante

Potencia activa saliente

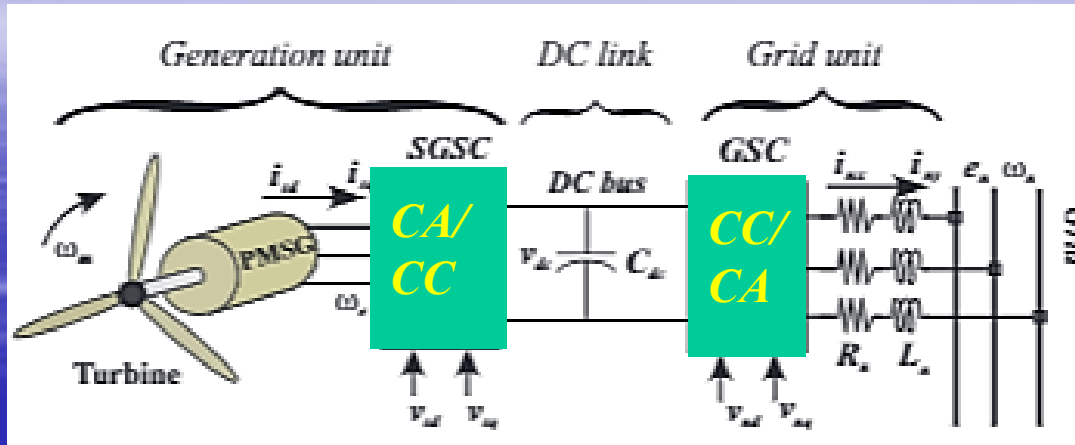
$$V_{dc} = \text{CONSTANTE!!!}$$

(toda la potencia generada debe ir a la red)

Rendimiento

Aerogeneradores modernos

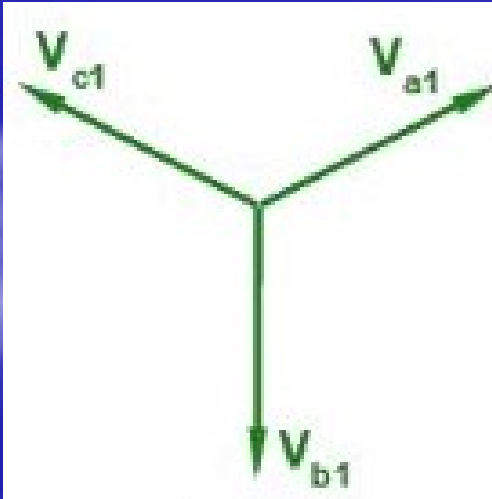
Potencia activa entrante



Potencia activa saliente



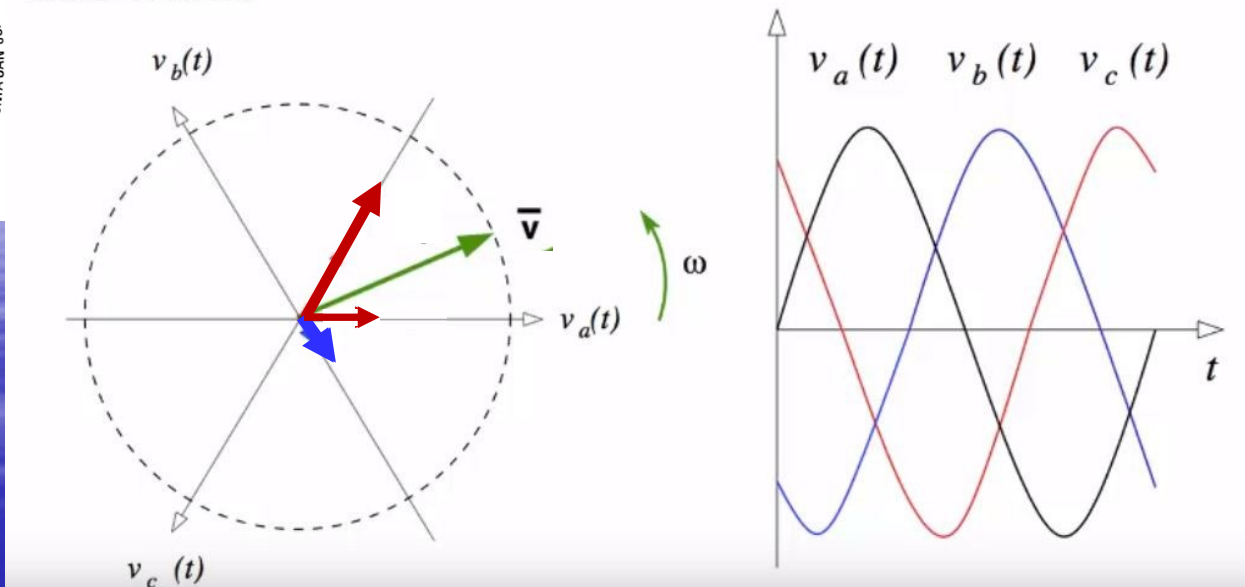
Sist trifásico balanceado



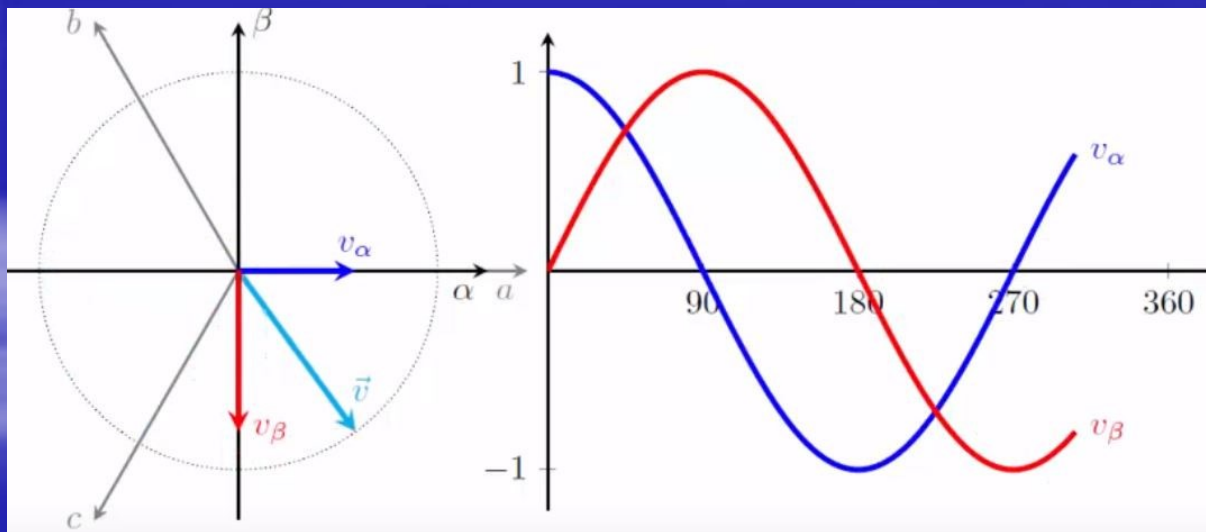
Sabemos que: el sistema trifásico convencional se basa en (tres) fasores separados 120° tanto eléctrica como físicamente



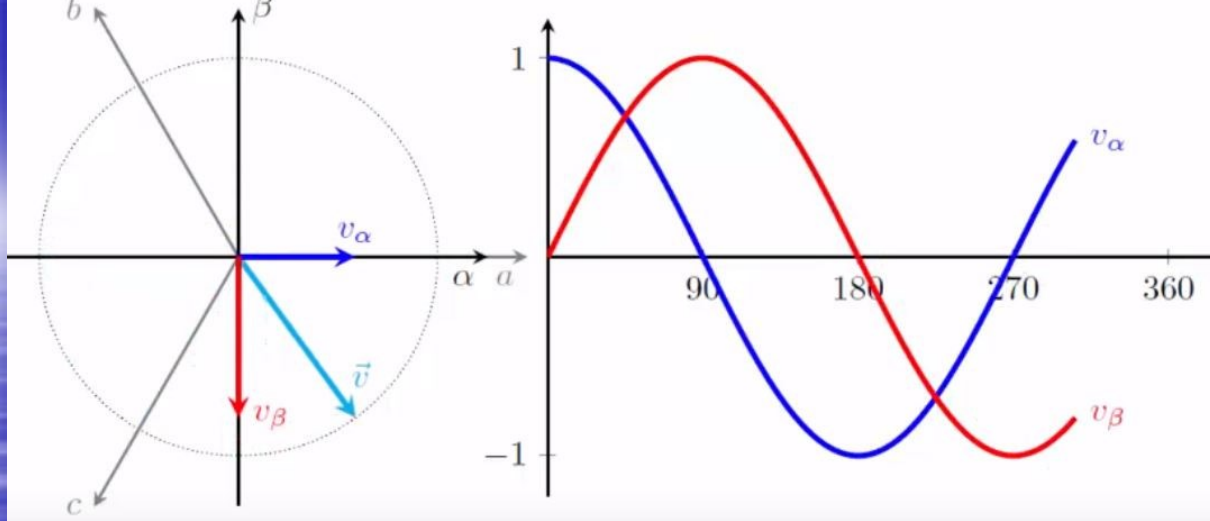
abc-frame



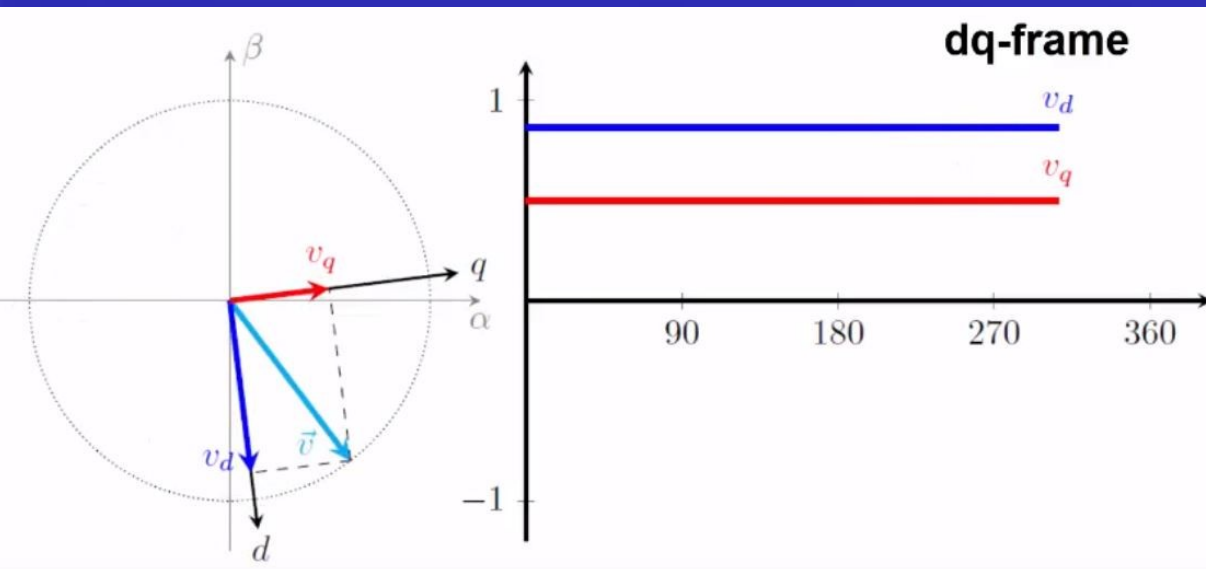
Tres fasores separados 120° tanto eléctrica como físicamente



Como se trata de un plano, al fasor, podemos separarlo en los clásicos ejes fijos "x" e "y" solo que ahora los llamamos " $\underline{\alpha}$ " y " $\underline{\beta}$ ".



De la terna trifásica pasamos a una bifásica “ α ” y “ β ”. Desventaja siguen siendo funciones senoidales con el tiempo (y la frecuencia).

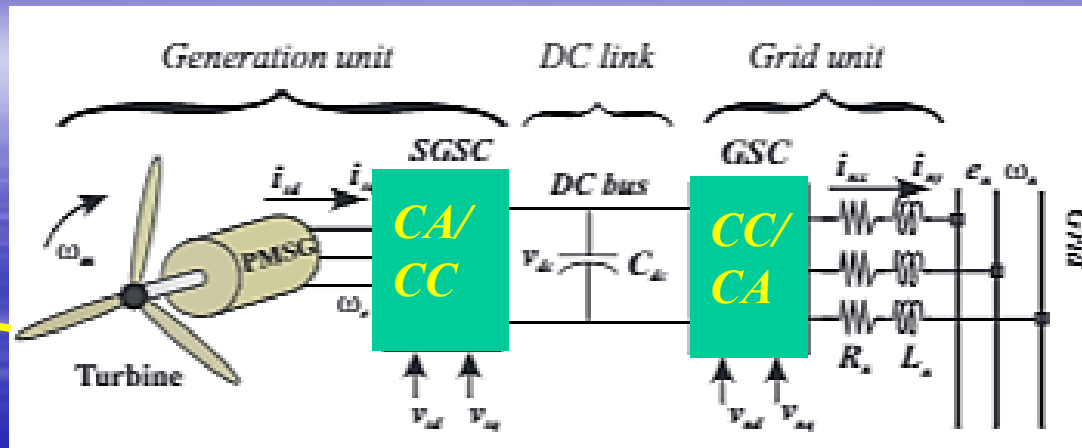


Advertir: de “ α ” y “ β ” pasamos a “ d ” y “ q ”.

En “ d ” y “ q ” tenemos todo en continua!



Aerogeneradores modernos. Modelo



Potencia activa entrante

Potencia activa saliente

Potencia de la turbina

$$P_t(\omega_e, V) = T_t(\omega_e, V) \omega_m = \frac{1}{2} \rho A C_p V^3$$

Ecuaciones del PMSG y SGSC

$$\begin{aligned} \dot{i}_{sd} &= (-R_s i_{sd} + \omega_e L_s i_{sq} - v_{sd}) / L_s \\ \dot{i}_{sq} &= (-R_s i_{sq} - \omega_e L_s i_{sd} + \omega_e \Phi_{PM} - v_{sq}) / L_s \\ \dot{\omega}_e &= \frac{p}{2} \left(T_t(\omega_e, V) - \frac{3p}{2} \Phi_{PM} i_{sq} \right) / J \\ P_g &= \frac{3}{2} \Phi_{PM} i_{sq} \omega_e; \quad Q_g = \frac{3}{2} (v_{sq} i_{sd} - v_{sd} i_{sq}) \end{aligned}$$

Ecuaciones de la red

$$\begin{aligned} \dot{i}_{nx}^{\pm} &= (-R_n i_{nx}^{\pm} \pm \omega_n L_n i_{ny}^{\pm} + v_{nx}^{\pm} - e_{nx}^{\pm}) / L_n \\ \dot{i}_{ny}^{\pm} &= (-R_n i_{ny}^{\pm} \mp \omega_n L_n i_{nx}^{\pm} + v_{ny}^{\pm}) / L_n \end{aligned}$$

Ecuaciones del DC link

$$\dot{v}_{dc} = \frac{P_g}{v_{dc} C_{dc}} - \frac{P_n}{v_{dc} C_{dc}}$$

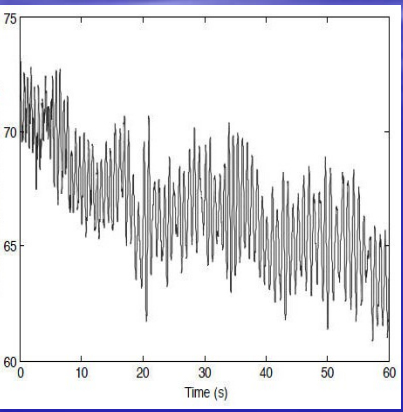
Potencia activa entrante

Potencia activa saliente

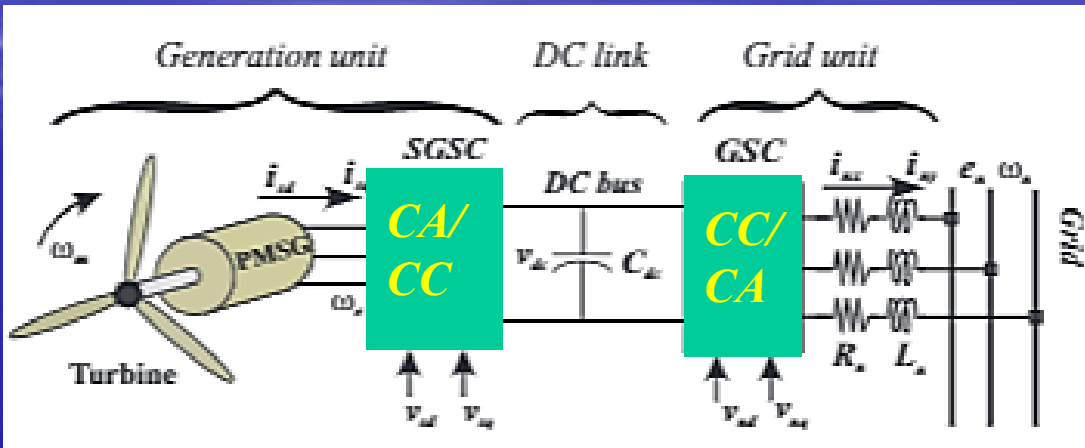
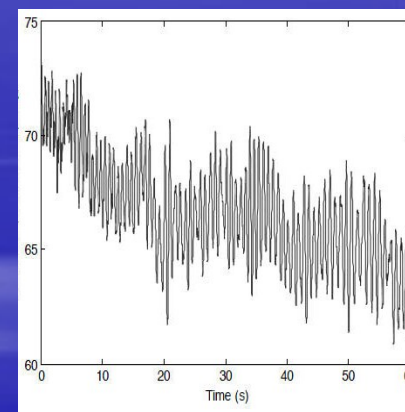
$V_{dc} = \text{CONSTANTE}$

Aerogeneradores modernos. Perturbaciones

Velocidad de viento variable



Generación de potencia variable



$V_{dc} = \text{CONSTANTE}$

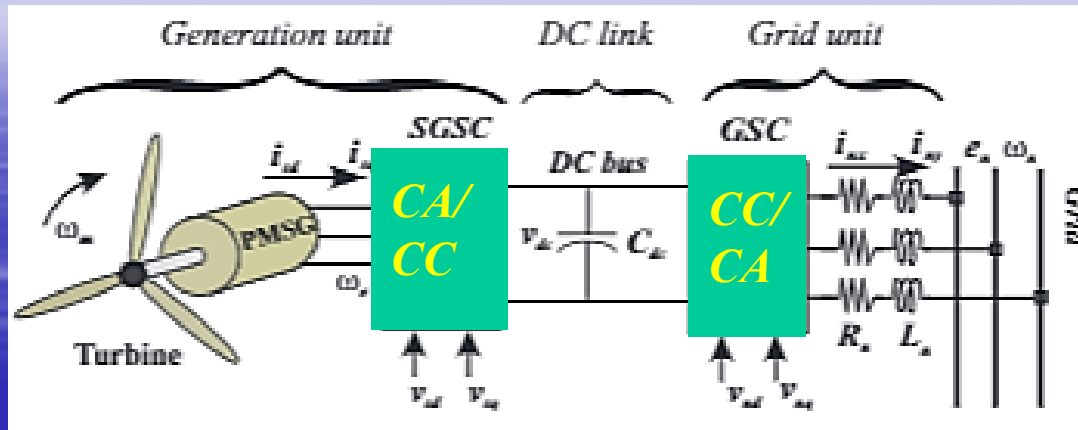
(a la red debe ir toda la potencia generada)

Qué pasa si cae abruptamente (0,2 de la tensión nominal) la tensión de línea?

Aerogeneradores modernos.

Perturbación simétrica

Potencia activa entrante

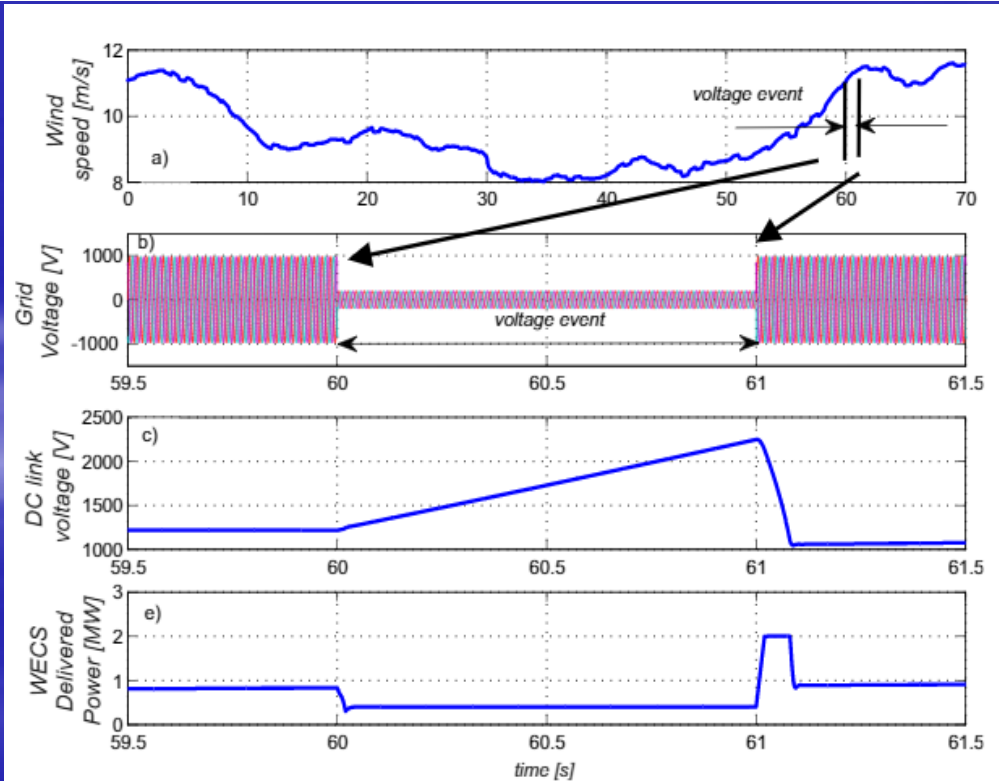


Potencia activa saliente

Velocidad de viento variable

Caída de tensión en la línea

Aumenta la tensión del capacitor!!!



Cae la potencia en la línea, aunque la corriente sea la máxima

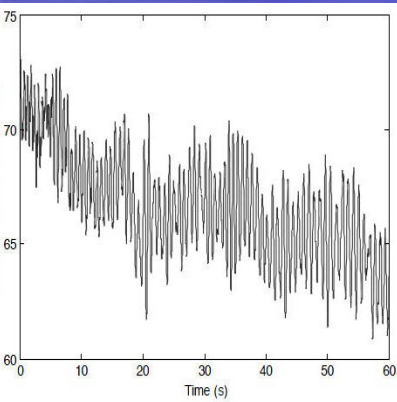
La potencia activa entrante es mayor que la saliente!!!

HAY QUE DESCONECTAR EL AEROGENERADOR!

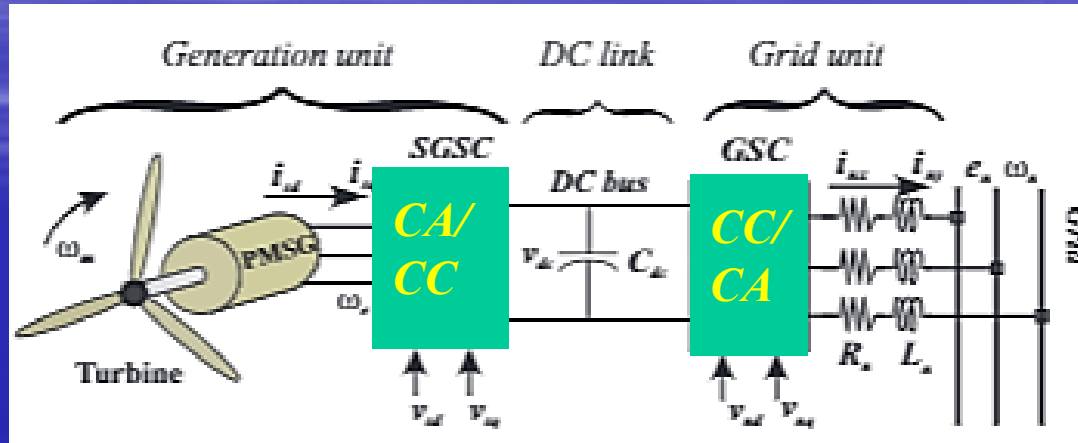
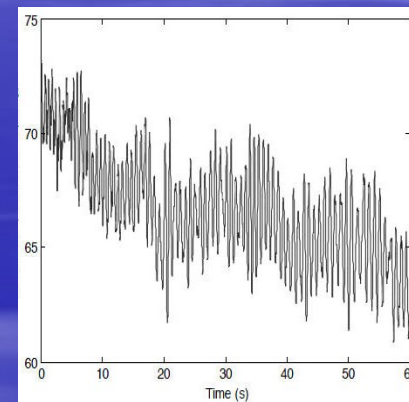


Aerogeneradores modernos. Perturbación simétrica

Velocidad de viento variable



Generación de potencia variable



Potencia activa entrante

Potencia activa saliente

$$V_{dc} = \text{CONSTANTE!!!}$$

(a la red **NO PUEDE** ir toda la potencia disponible)

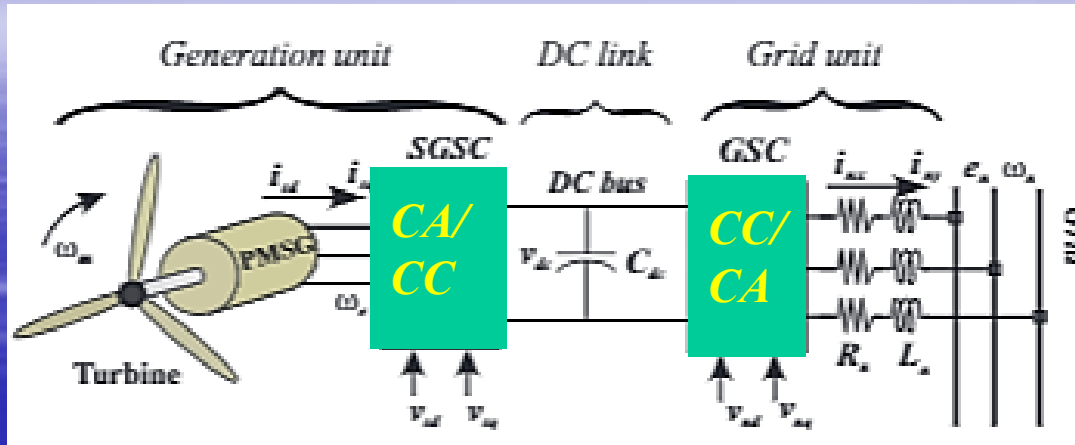
Qué pasa si cae abruptamente (0,2 de la tensión nominal) la tensión de línea?

Rta: hay que disminuir la potencia inyectada desde el viento

Aerogeneradores modernos.

Perturbación simétrica

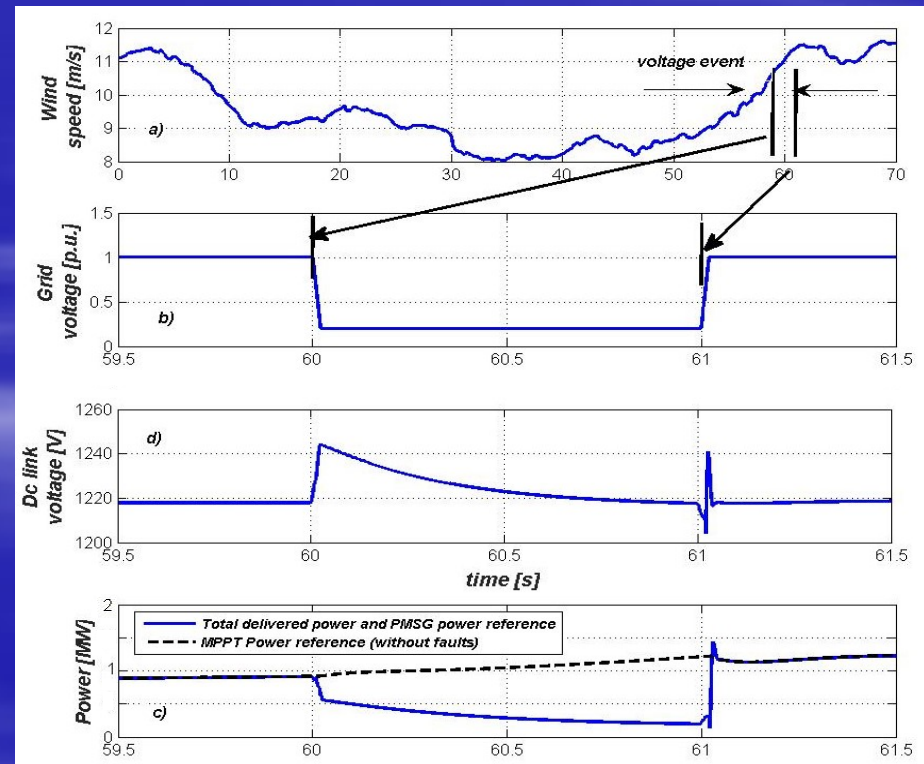
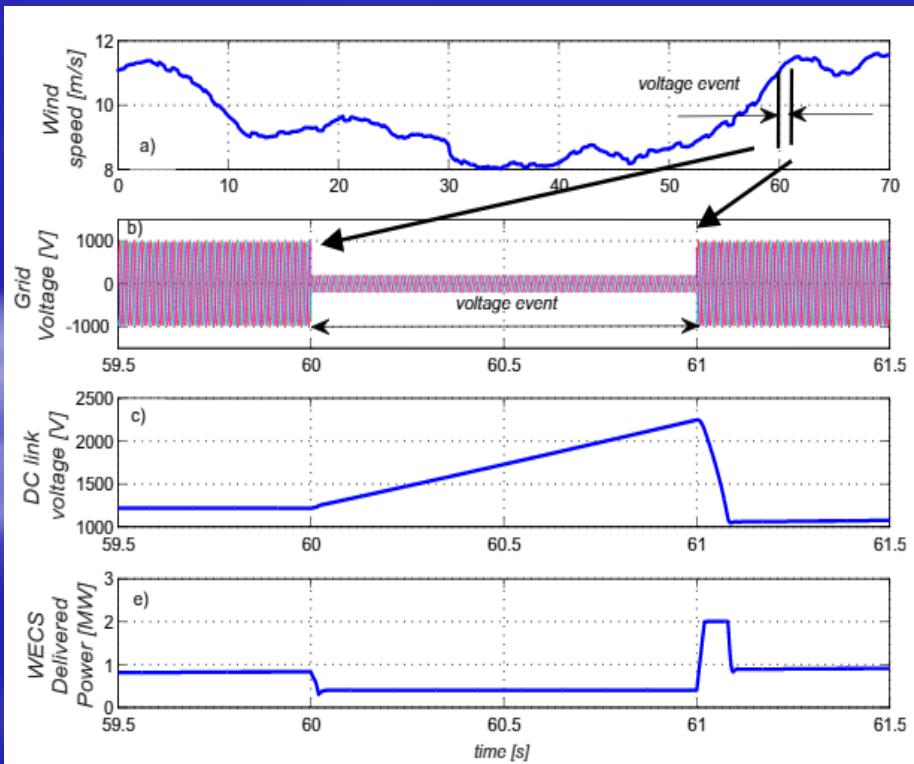
Potencia activa entrante



Potencia activa saliente

SE DESCONECTA

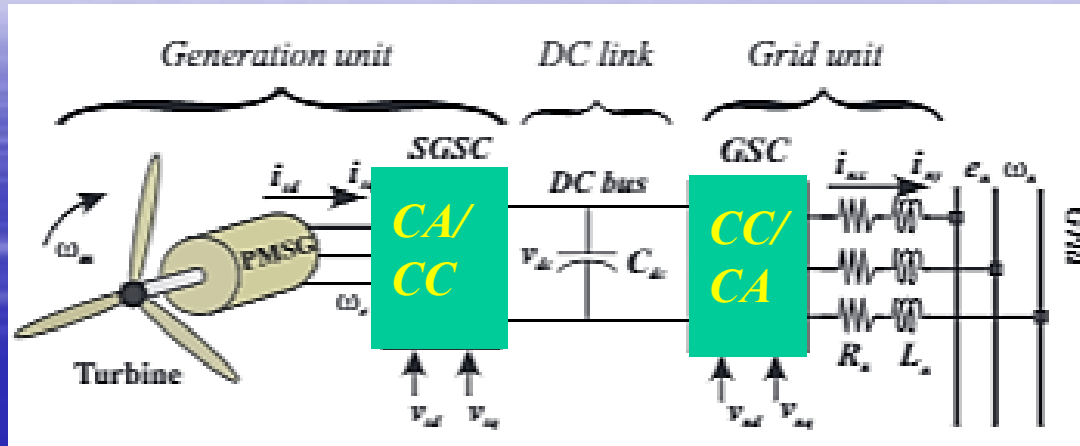
NO SE DESCONECTA



Aerogeneradores modernos.

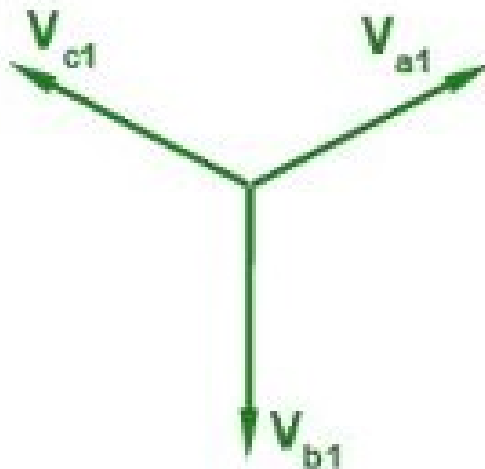
Perturbación asimétrica

Potencia activa entrante



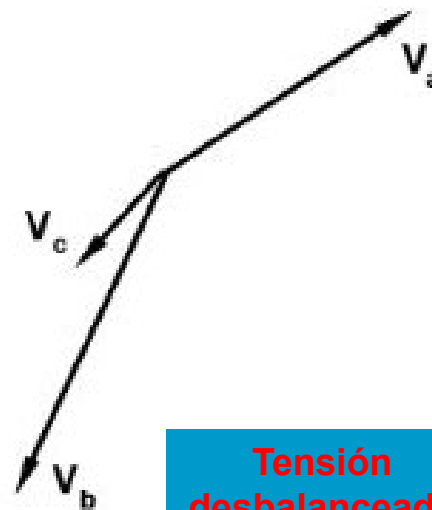
Potencia activa saliente

Antes

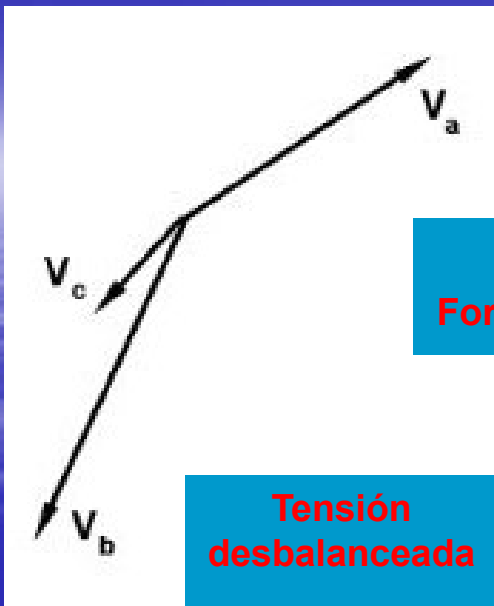


Tensión balanceada

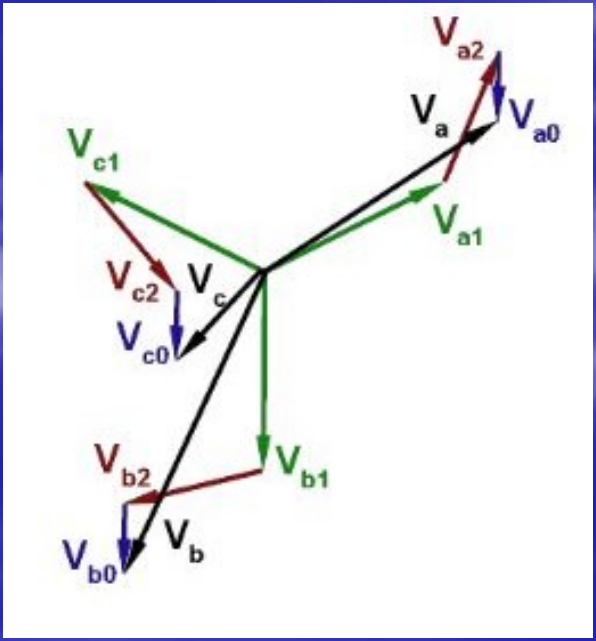
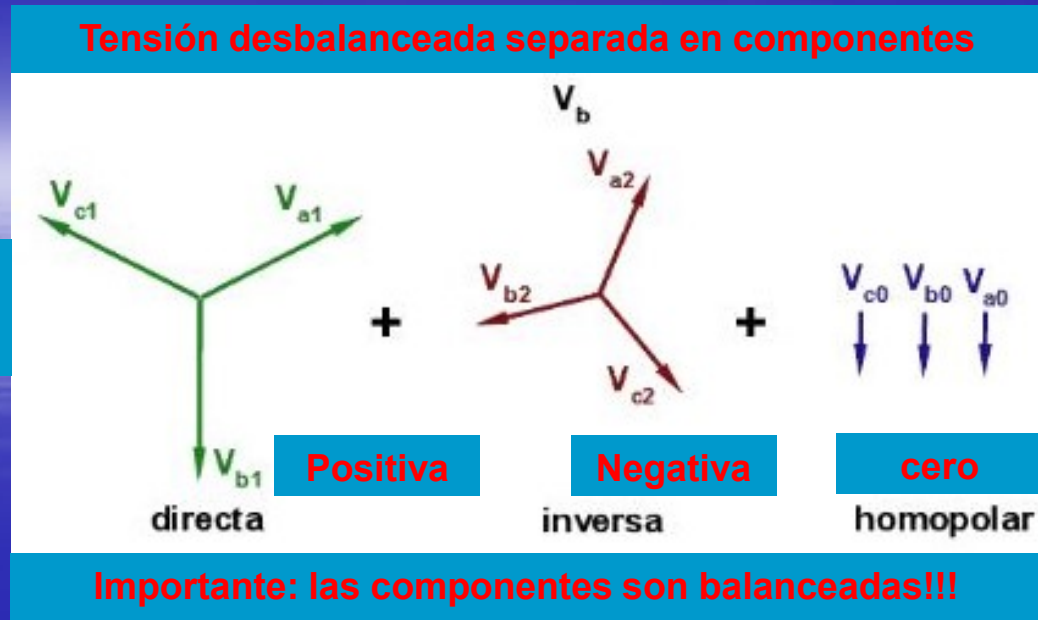
Ahora



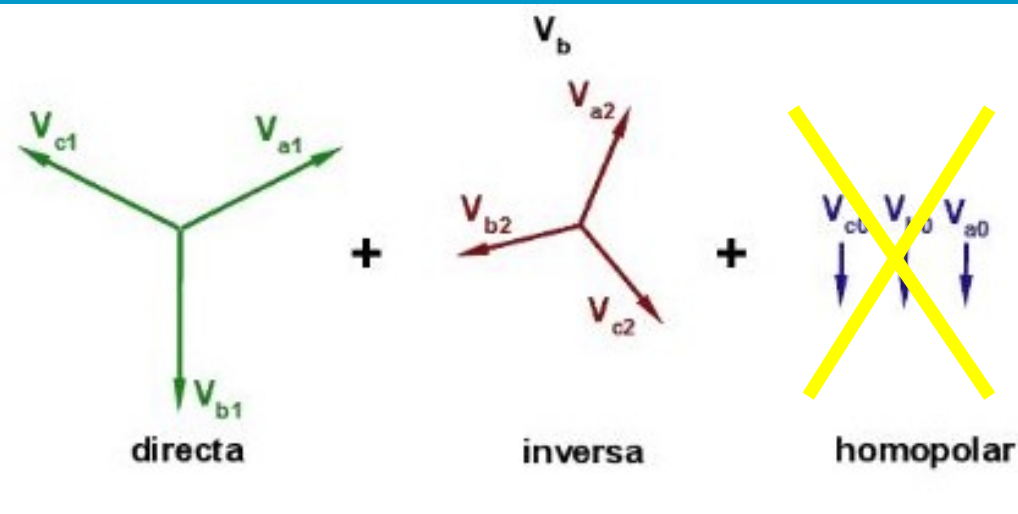
Tensión desbalanceada



=
Fortescue



Tensión desbalanceada separada en sus componentes



Sin conexión de neutro la secuencia cero u homopolar es nula.

$$S = P_n + jQ_n = \frac{3}{2} [v_{nx}^+ + v_{nx}^- e^{-j2\omega_n t}] [(i_{nx}^+ + j\check{i}_{ny}^+) + (i_{nx}^- + j\check{i}_{ny}^-) e^{j2\omega_n t}]$$

$$P_n = \left[v_{nx}^+ i_{nx}^+ + v_{nx}^- i_{nx}^- + (v_{nx}^+ i_{nx}^- + v_{nx}^- i_{nx}^+) \cos(2\omega_n t) + (v_{nx}^+ i_{ny}^- - v_{nx}^- i_{ny}^+) \sin(2\omega_n t) \right] \frac{3}{2}$$

$$Q_n = \left[-v_{nx}^+ i_{ny}^+ - v_{nx}^- i_{ny}^- - (v_{nx}^+ i_{ny}^- + v_{nx}^- i_{ny}^+) \cos(2\omega_n t) + (v_{nx}^+ i_{nx}^- - v_{nx}^- i_{nx}^+) \sin(2\omega_n t) \right] \frac{3}{2}$$

Sin la sec negativa las potencias son:

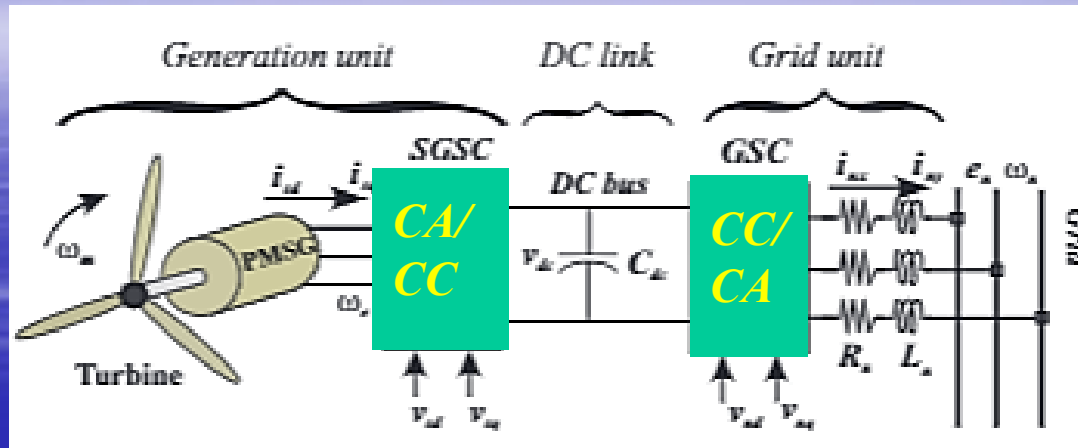
$$P_n = \frac{3}{2} v_{nx}^+ i_{nx}^+ \quad Q_n = -\frac{3}{2} v_{nx}^+ i_{ny}^+$$

La presencia de secuencia negativa da lugar a que las potencias activa y reactiva tengan componentes del doble de la frecuencia de red.

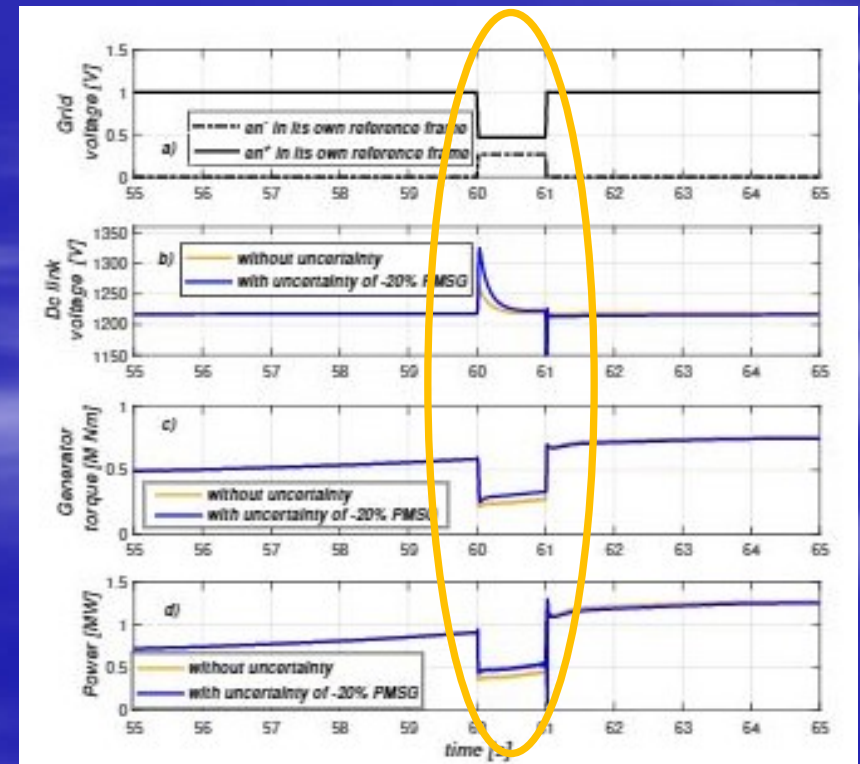
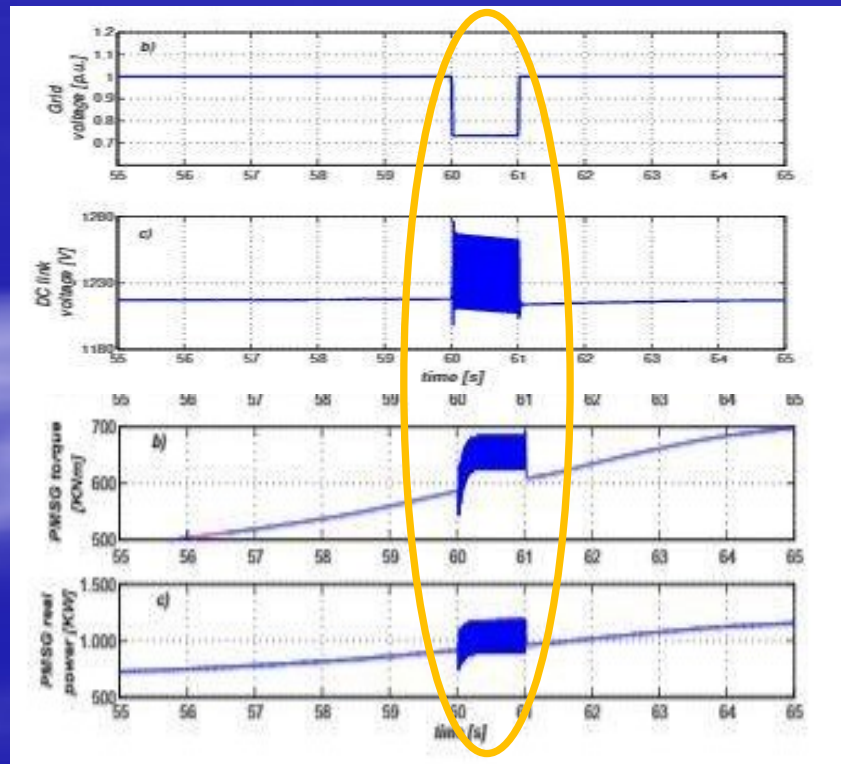
¿Son peligrosas las oscilaciones?

Perturbación asimétrica

Potencia activa entrante



Potencia activa saliente

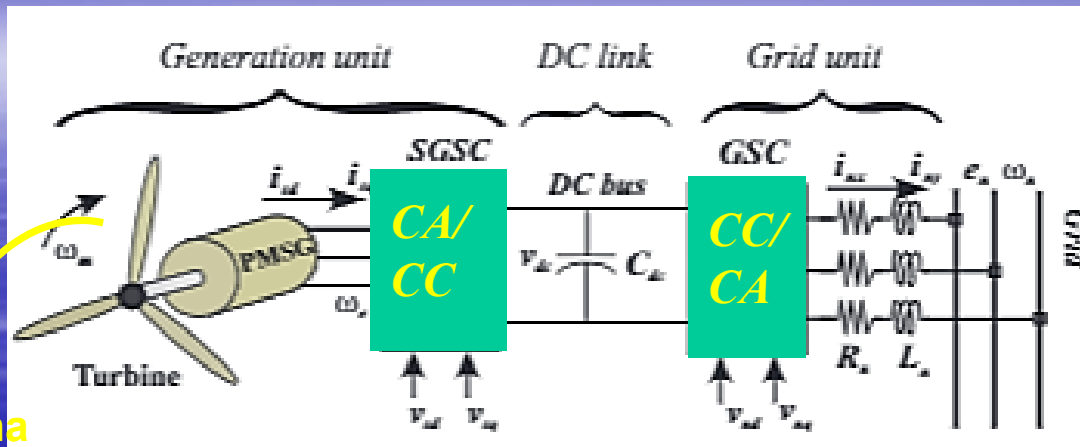




Fuertes perturbaciones. Final

Potencia activa entrante

Potencia de la turbina



Potencia activa saliente

$$P_t(\omega_e, V) = T_t(\omega_e, V) \omega_m = \frac{1}{2} \rho A C_p V^3$$

Ecuaciones del PMSG y SGSC

$$\begin{aligned} \dot{i}_{sd} &= (-R_s i_{sd} + \omega_e L_s i_{sq} - v_{sd}) / L_s \\ \dot{i}_{sq} &= (-R_s i_{sq} - \omega_e L_s i_{sd} + \omega_e \Phi_{PM} - v_{sq}) / L_s \\ \dot{\omega}_e &= \frac{p}{2} \left(T_t(\omega_e, V) - \frac{3}{2} \frac{p}{2} \Phi_{PM} i_{sq} \right) / J \end{aligned}$$

Ecuaciones de la red

$$\begin{aligned} \dot{i}_{nx}^{\pm} &= (-R_n i_{nx}^{\pm} \pm \omega_n L_n i_{ny}^{\pm} + v_{nx}^{\pm} - e_{nx}^{\pm}) / L_n \\ \dot{i}_{ny}^{\pm} &= (-R_n i_{ny}^{\pm} \mp \omega_n L_n i_{nx}^{\pm} + v_{ny}^{\pm}) / L_n \end{aligned}$$

$$\dot{v}_{dc} = \frac{P_g}{v_{dc} C_{dc}} - \frac{P_n}{v_{dc} C_{dc}}$$

Ecuaciones del DC link

El objetivo es maximizar la extracción de energía o mantenerse conectado aún bajo fuertes perturbaciones

Se debe diseñar un comportamiento muy distinto si se opera normalmente o cuando aparece una perturbación balanceada o desbalanceada (switcheo en el control)

Si existe fuerte perturbación, el objetivo de maximizar la extracción de energía se abandona. Siendo, mínimo, 6 ecuaciones diferenciales; 8 si existe una perturbación desbalanceada, ¿qué sucede si se quiere analizar o una granja o una red?



Redes eléctricas inteligentes.

Introducción



La evolución de las redes eléctricas actuales se denomina redes eléctricas inteligentes.

Implican el empleo adecuado de los recursos disponibles buscando maximizar la relación costo – beneficio. Manejo eficiente de los recursos.

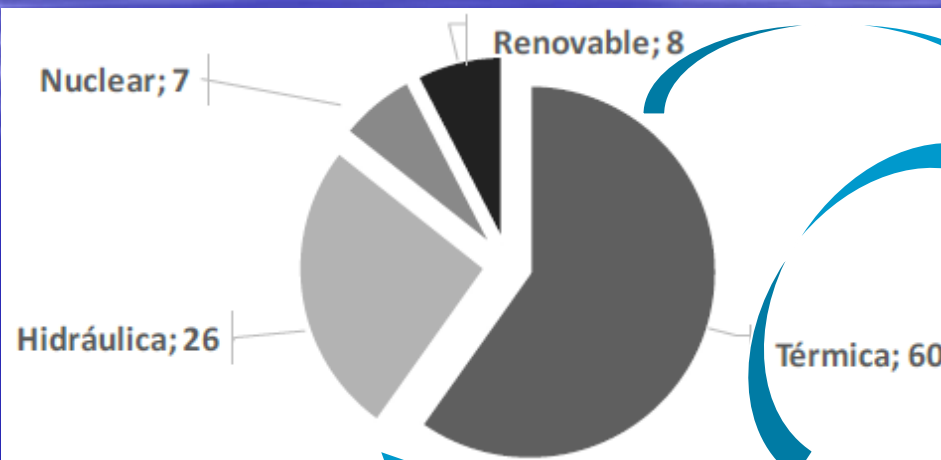
Reemplazo de la energía convencional a partir de la renovable.

Integración de los sistemas de almacenamiento y conversión de energía.

IoT: gran cantidad de información; análisis por data mining u otras herramientas a desarrollar; conectividad entre dispositivos

Generación en Argentina. Octubre de 2019

Argentina. Participación de cada tecnología en la generación durante Octubre 2019

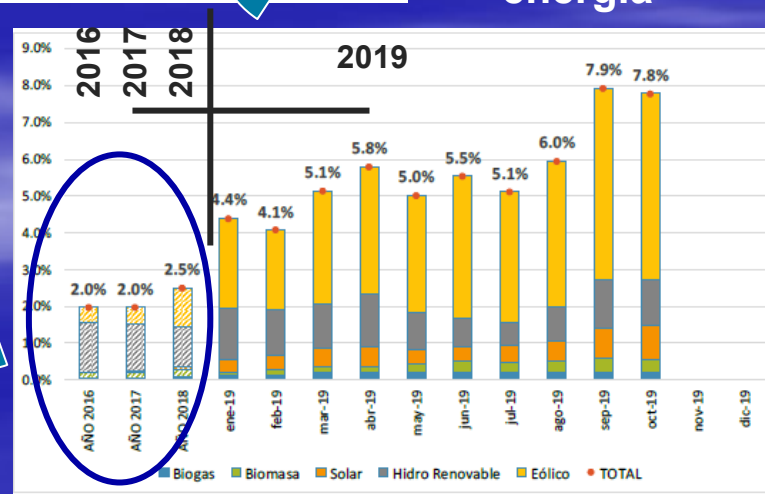


Tendencia:

Se modifica, el diagrama, hacia lo renovable disminuyendo el empleo del gas y combustibles fósiles.

¿Se agregará el uso de los sistemas de almacenamiento para acumular cuando haya exceso del recurso renovable?,...
¿hidrógeno por ejemplo?

Fuerte dispersión de las fuentes de energía



Sistema de generación grande junto a varios sistemas más chicos distribuidos



“European Smart Grids. Vision and Strategy for Europe’s electricity Networks of the future”



Redes eléctricas inteligentes.

Control

Cualquier red eléctrica es una estructura, relativamente, extensa para entregar energía en distintos lugares

Análisis muy sofisticado: red compleja, fuertemente distribuida, no lineal e híbrida

Capacidad de respuesta de la red eléctrica o de cada subsistema que la conforma



Ideas actuales y pasos que se están evaluando:

- 1) Redes inteligentes. Modelo matemático
- 2) Predicción del comportamiento futuro
- 3) Índice de performance que determina las prioridades dentro del sistema
- 4) Minimizar el índice de performance = control... restricciones
- 5) Intercambiar energía o funcionar en modo isla

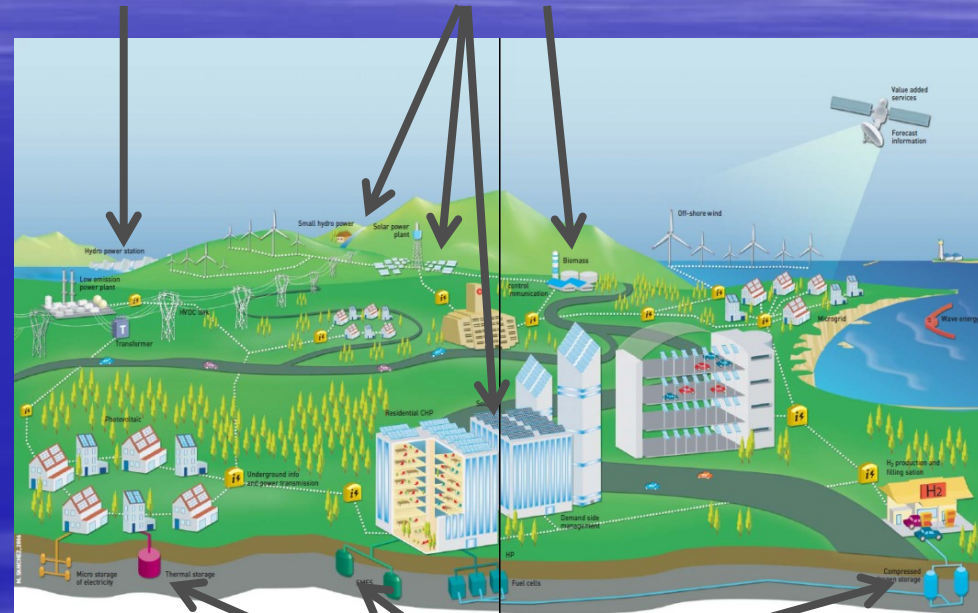
Redes eléctricas inteligentes.

Control

Sistema de generación grande junto a varios sistemas más chicos distribuidos

Criterio de Optimización

- menor consumo de combustibles fósiles ...
- calidad de la energía, restricciones en frecuencia y tensión y sus variaciones ...
- prioridad de cargas...
- manejo del almacenamiento ...
- predicción del consumo...
- predicción del clima ...
- perturbaciones, qué pasa si se desconectan cargas? ...
- ... etc... etc



Sistemas de almacenamiento

“Fuertes perturbaciones en aerogeneradores modernos. Redes eléctricas inteligentes”

- Las granjas eólicas, se consideran como una central no convencional aunque equivalente a sus contrapartes convencionales.
- Los aerogeneradores deben mantenerse conectados aún en presencia de fuertes perturbaciones.
- Las redes eléctricas evolucionan hacia las redes inteligentes.
- Las redes eléctricas son sistemas intrínsecamente variables y tienden a estar cada vez más congestionadas. El control de las diversas fuentes de energía es sinónimo de red inteligente.
- El almacenamiento y las cargas deben contribuir no solo a la estabilidad del sistema sino a maximizar la relación costo-beneficio.

“Fuertes perturbaciones en aerogeneradores modernos. Redes eléctricas inteligentes”



MUCHAS GRACIAS

Daniel Fernández

Depto. de Electrónica – Depto. Ing. Química

Facultad de Ingeniería

Universidad Nacional de la Patagonia

San Juan Bosco