

**4<sup>to</sup>** CONGRESO  
INTERNACIONAL  
Supervisión del Servicio Eléctrico



Sistemas Eléctricos con alto grado de  
penetración de generación eólica:  
*Algoritmos y estrategias de control  
sobre Aerogeneradores*

Autor: Carlos Veganzones Nicolás

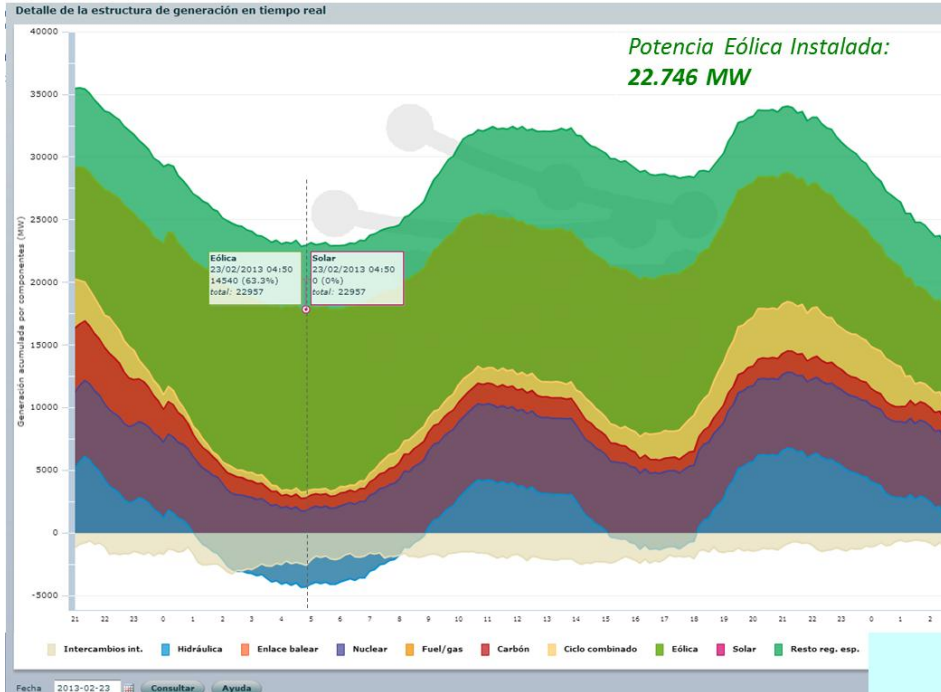
Cargo: Profesor Director del Departamento Ingeniería Eléctrica

Empresa u Organismo: Universidad Politécnica de Madrid

(España)



- Planteamiento: participación en los Parques Eólicos en la **Operación del Sistema (O.S.)**.
- Aerogeneradores de **velocidad variable**
- Aerogeneradores tecnología “**DFIG**”
- Aerogeneradores tecnología “**SGFC**”
- Conclusiones



Máxima Cobertura **Eólica** sobre la Demanda Instantánea : **63%** (23-2-2013)

... gestión de Reservas

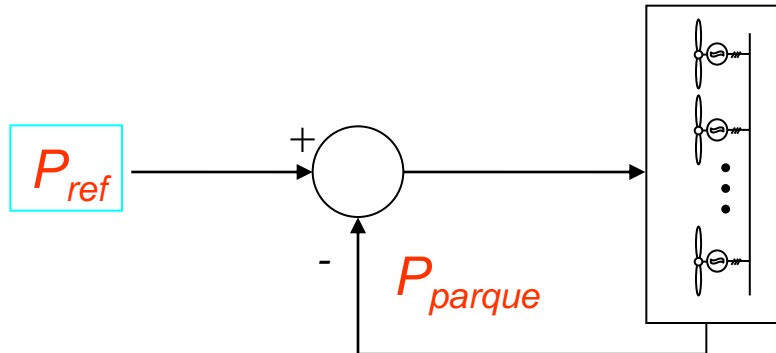
... regulación de Tensión

... Estabilidad del Sistema





...gestión de “reservas”...



...seguir ( $P_{ref}$ )  
P.O.12.3...

... “bajar”  $P_{parque}$  ...



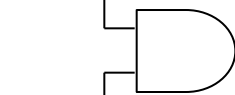
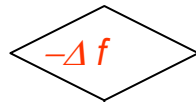
$P_{disponible}$



$0,95 \cdot P_{disponible}$

$P_{ref}$

... “subir”  $P_{parque}$  ...



$1,05 \cdot P_{disponible}$

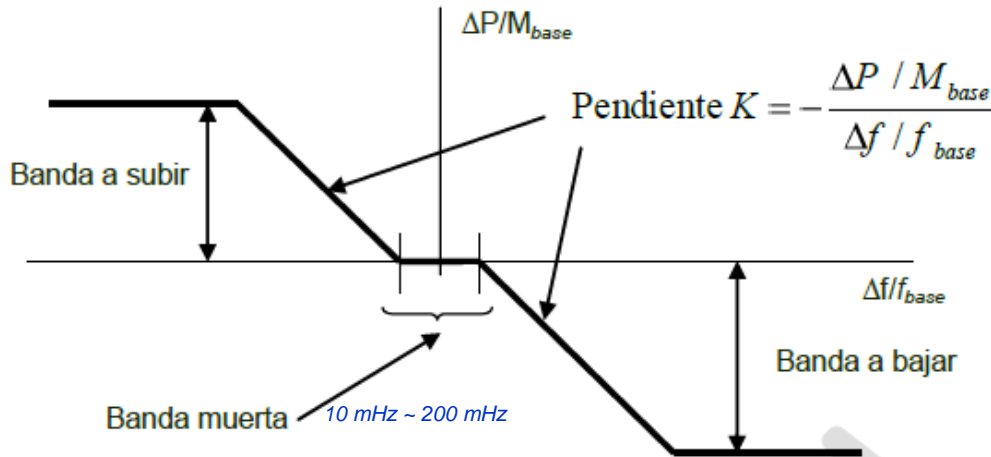
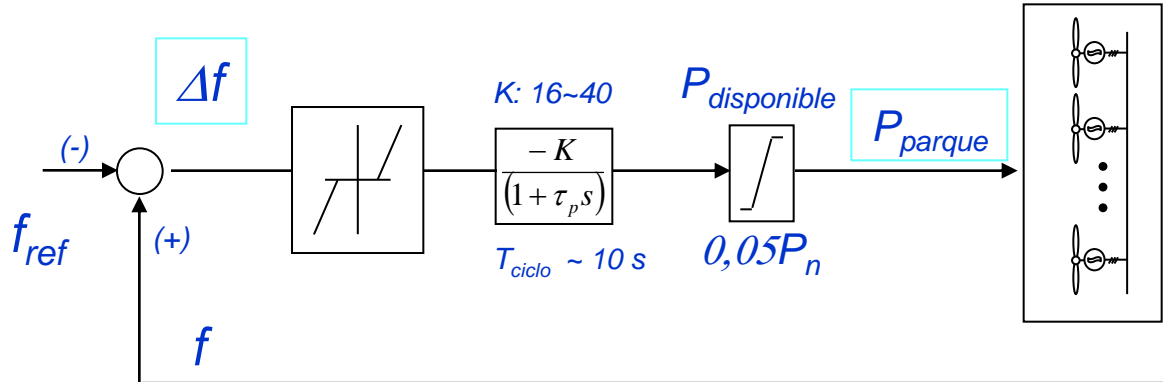


$P_{disponible}$

$P_{ref}$



...gestión de "reservas"...



...P.O.12.2  
control ( $P_{parque}/f$ )  
...

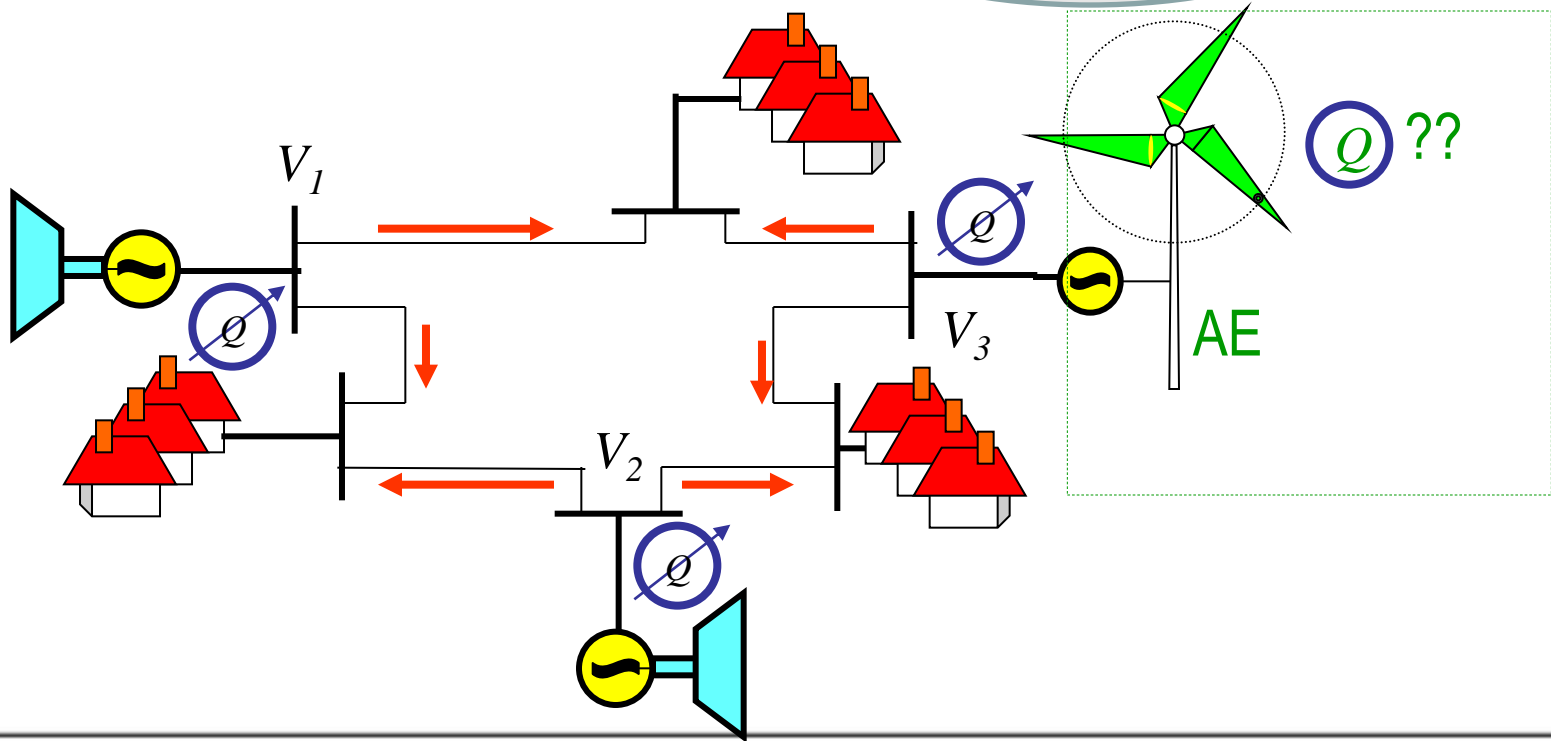
!!! Activo durante 15 min .... !!!

...participación de AG en la Operación del Sistema (O.S.).



...regulación de "tensión"...

...regular  
 $Q_{\text{parque}}$  ....



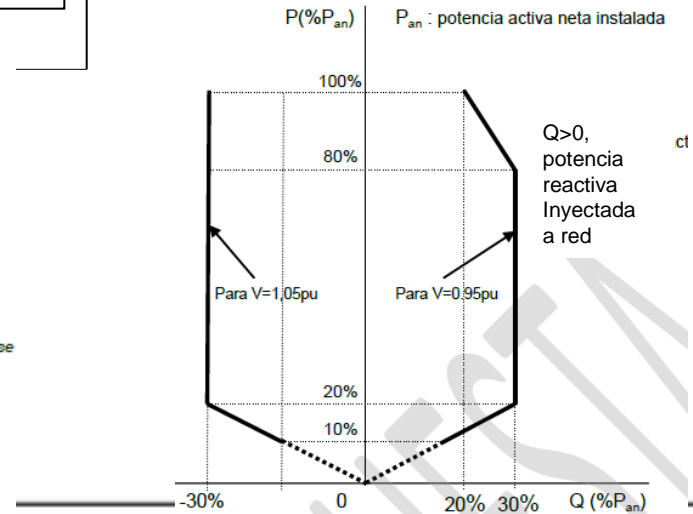
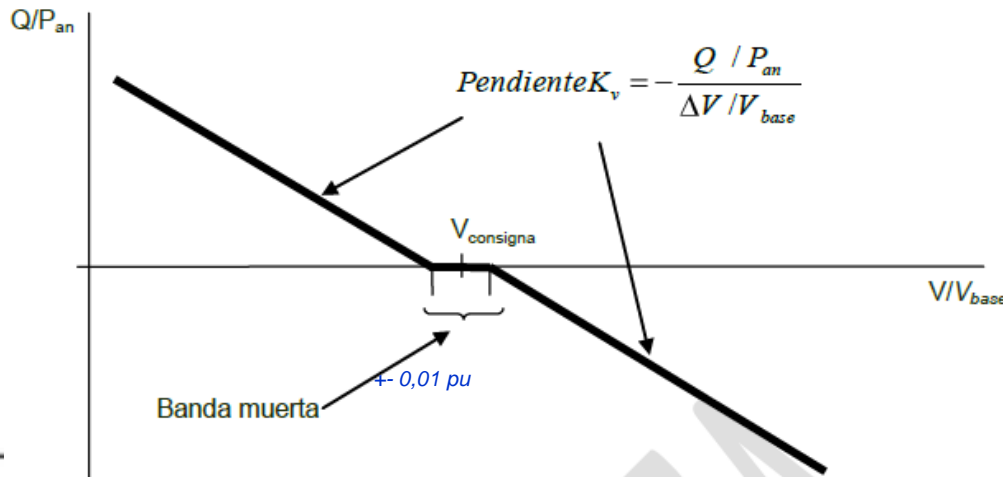
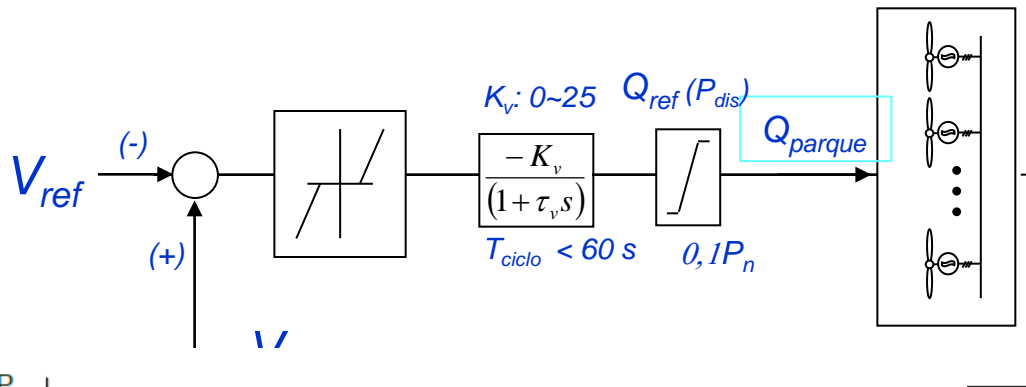
...participación de AG en la Operación del Sistema (O.S.).



...regulación de "tensión" ...entre  $0,85 < V_{pu} < 1,15$

...seguir  $V_{ref}$   $Q_{ref}$   $FP_{ref}$

...P.O.12.2  
control  $(Q_{parque}/V)$   
...

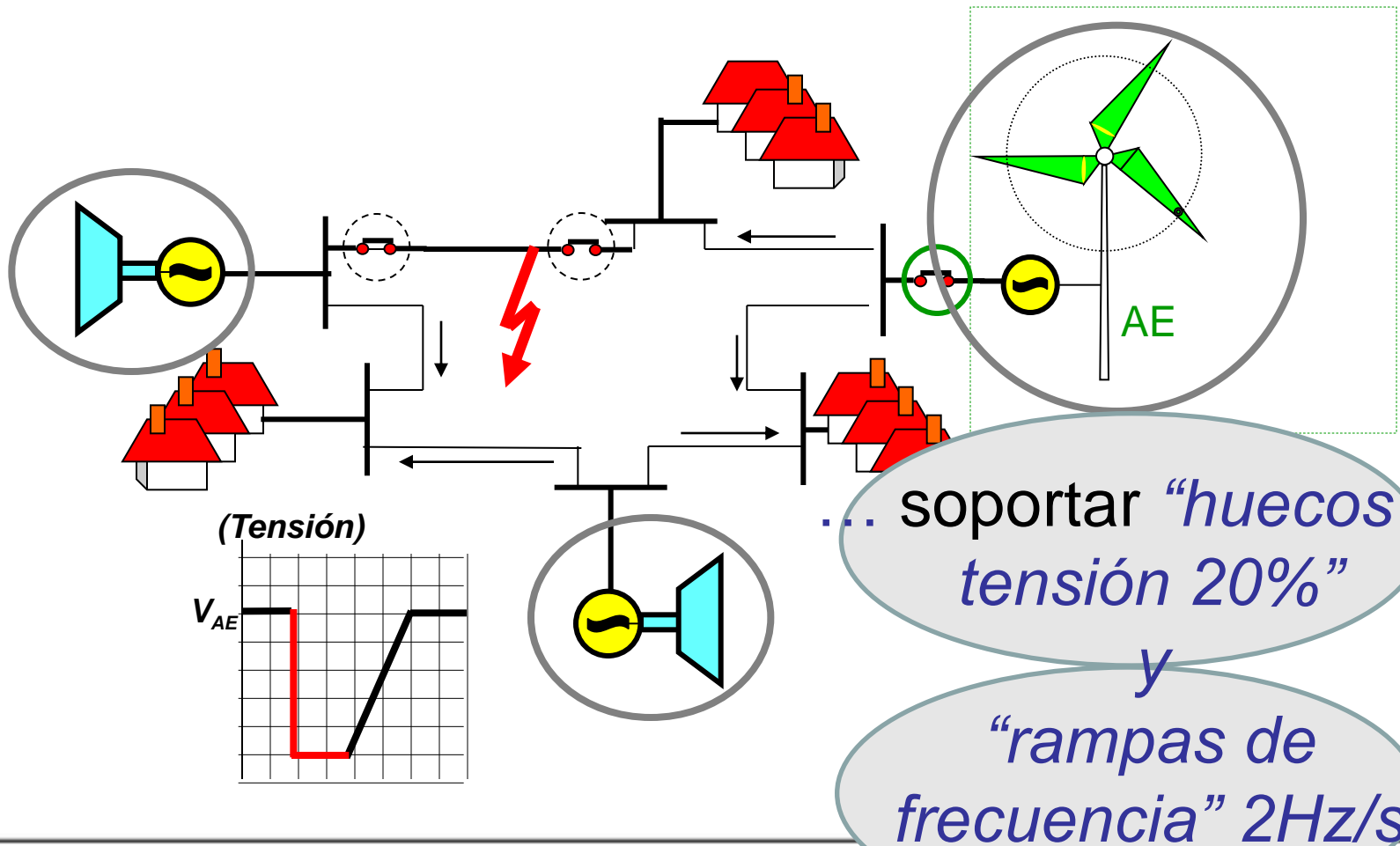


...participación de AG en la Operación del Sistema (O.S.).



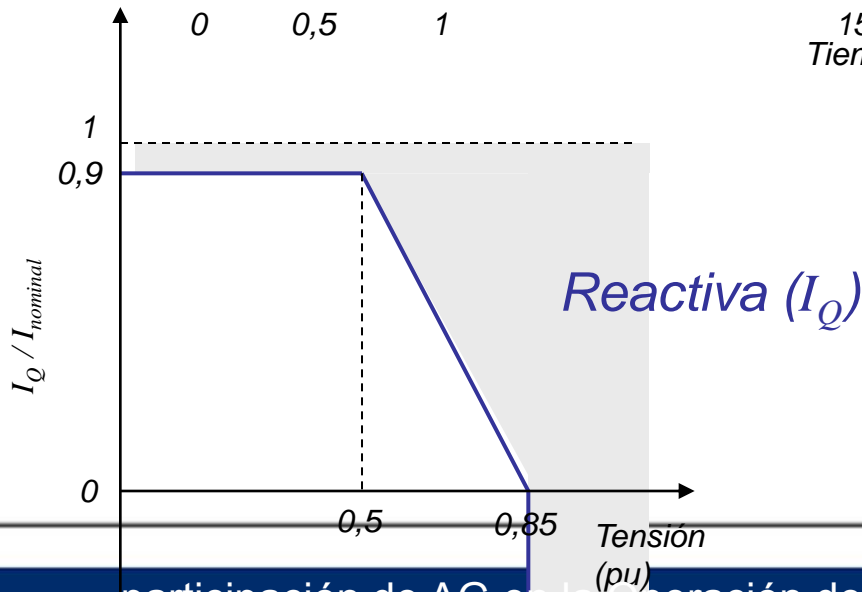
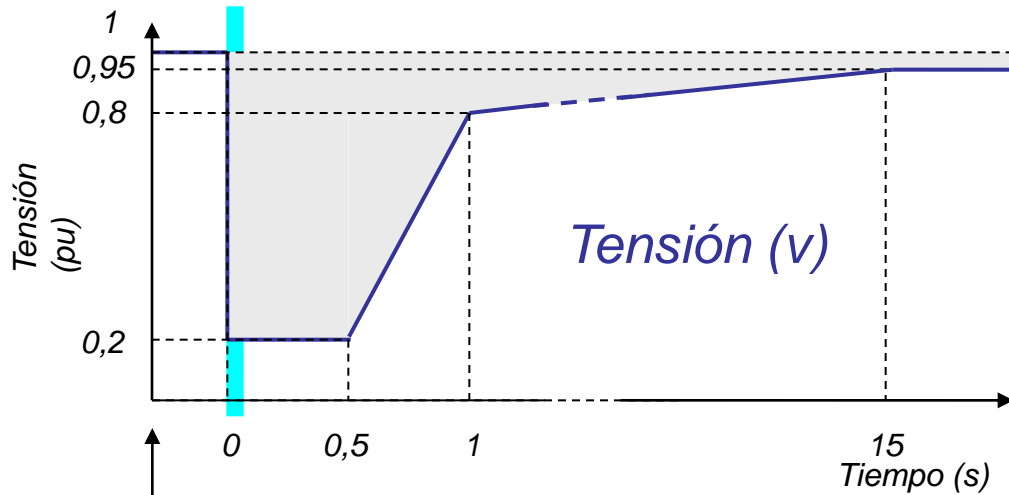


... "estabilidad" del Sistema ... frente a "fallos" ....





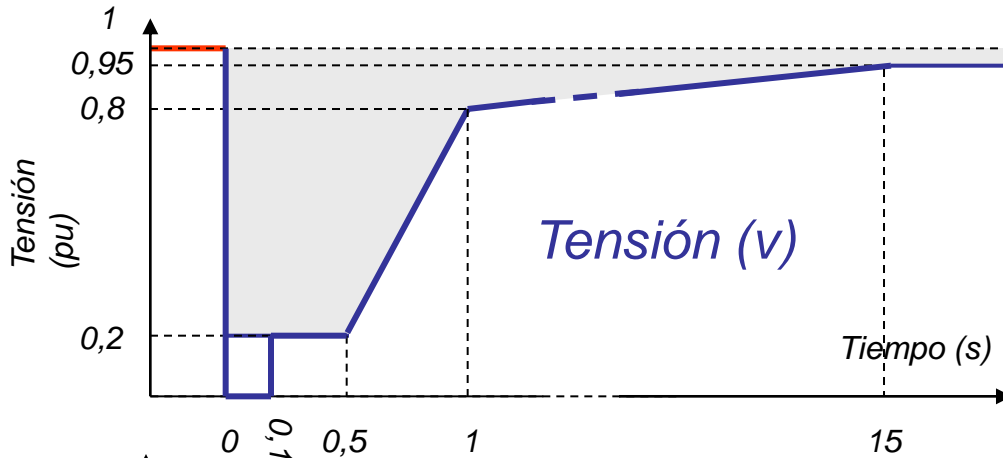
... "estabilidad" del Sistema ...



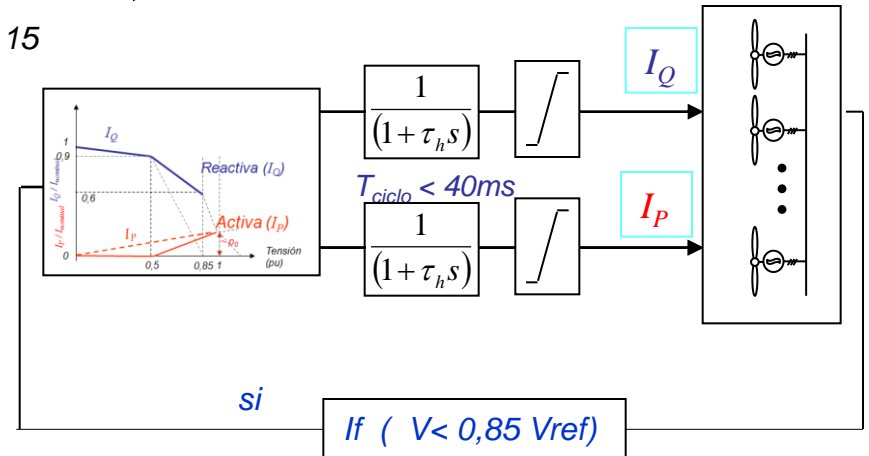
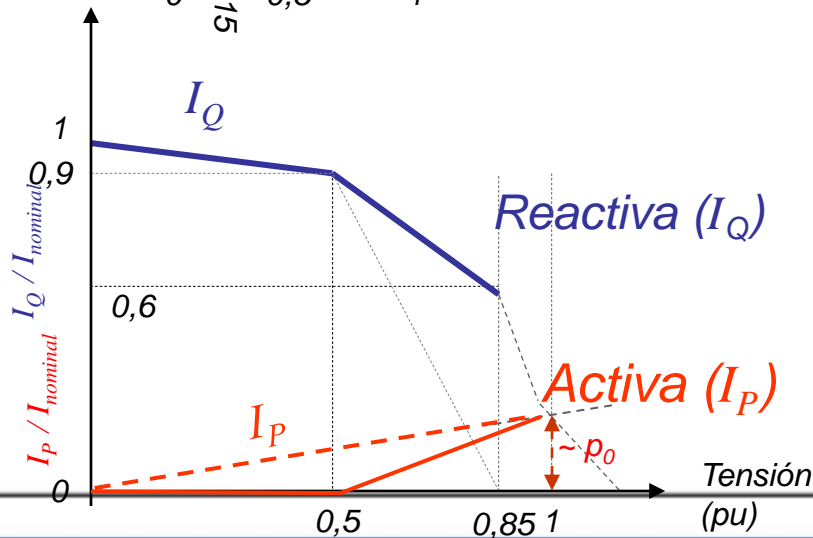
... P.O.12.3  
mantener  
 $\underline{I} \sim 0 + j(I_{nom}) \dots$



... "estabilidad" del Sistema ...



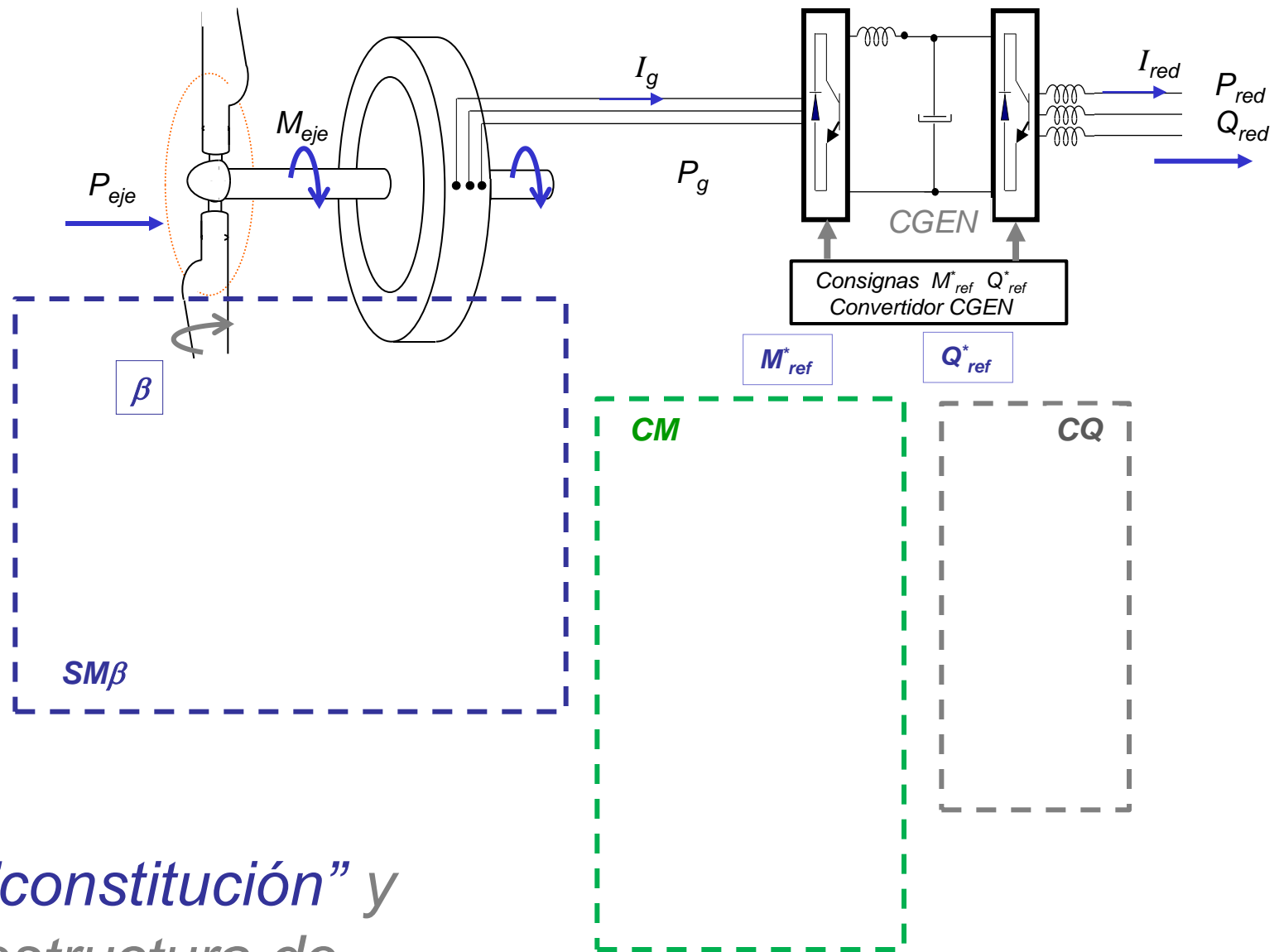
... P.O.12.2  
regular ( $I_Q / V$ )  
( $I_P / V$ ) ...





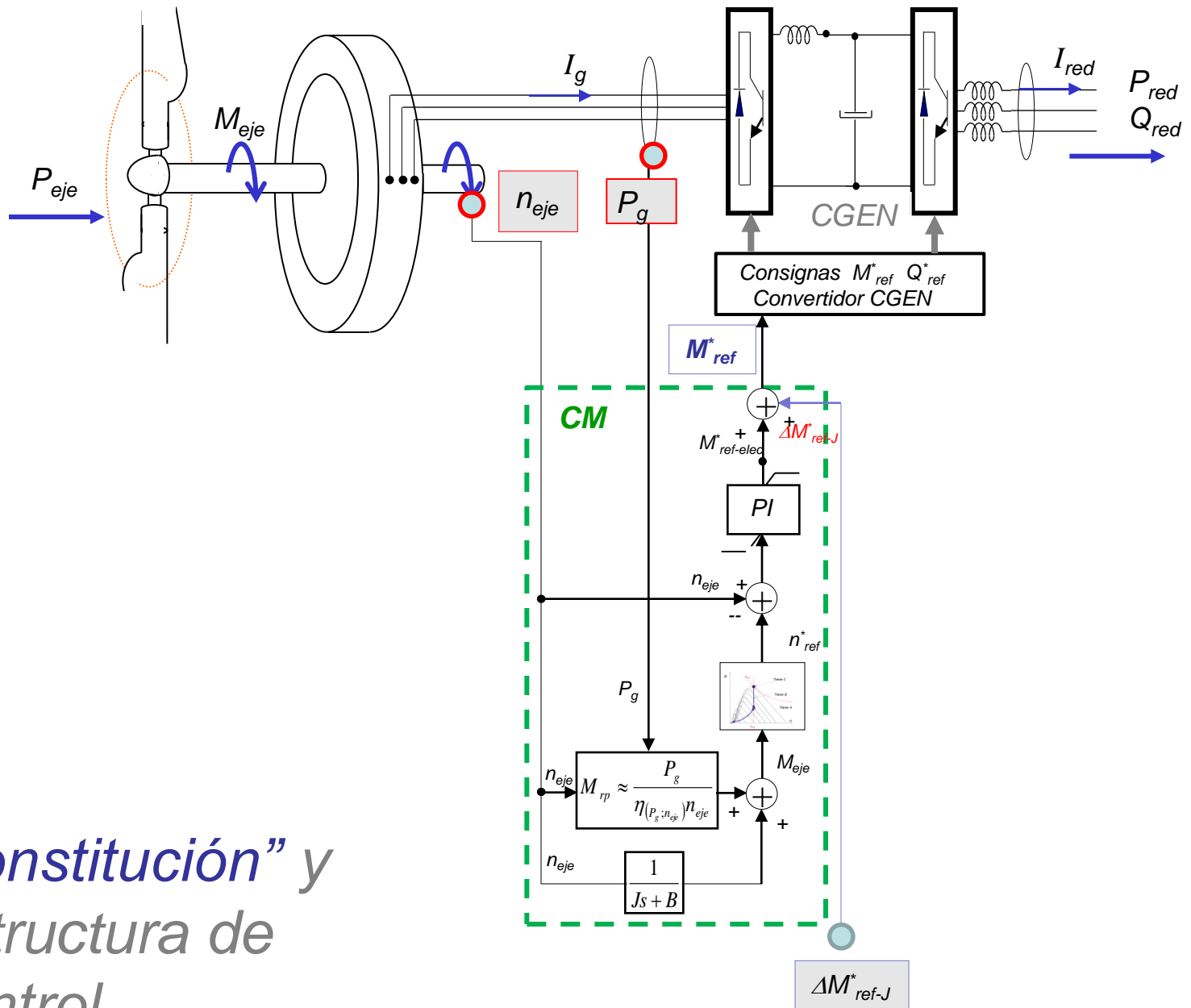
- Planteamiento: participación en los Parques Eólicos en la **Operación del Sistema (O.S.)**.
- Aerogeneradores de **velocidad variable**
- Aerogeneradores tecnología “**DFIG**”
- Aerogeneradores tecnología “**SGFC**”
- Conclusiones

# ...aerogeneradores de velocidad variable



... "constitución" y estructura de control...

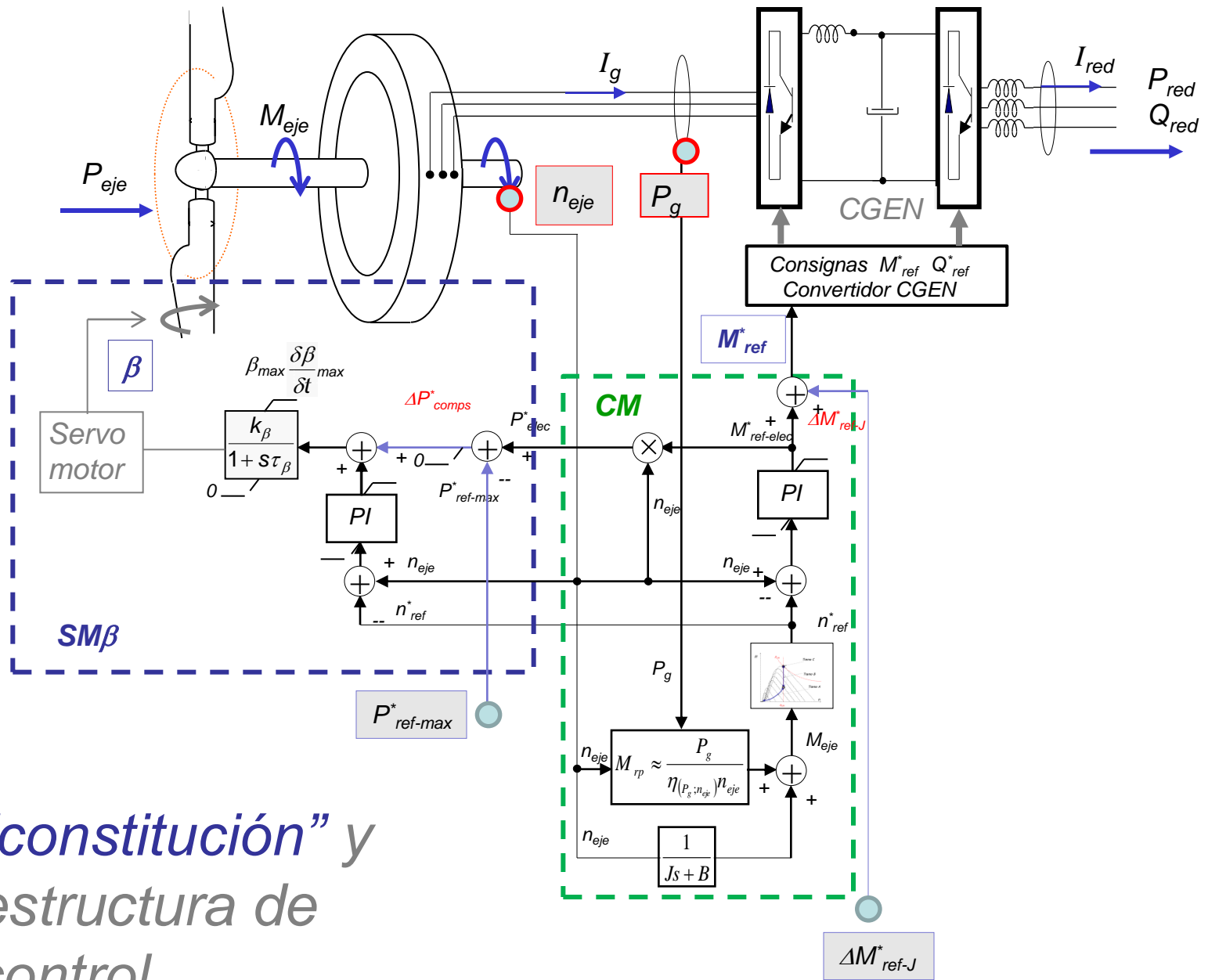
# ...aerogeneradores de velocidad variable



... "constitución" y estructura de control...



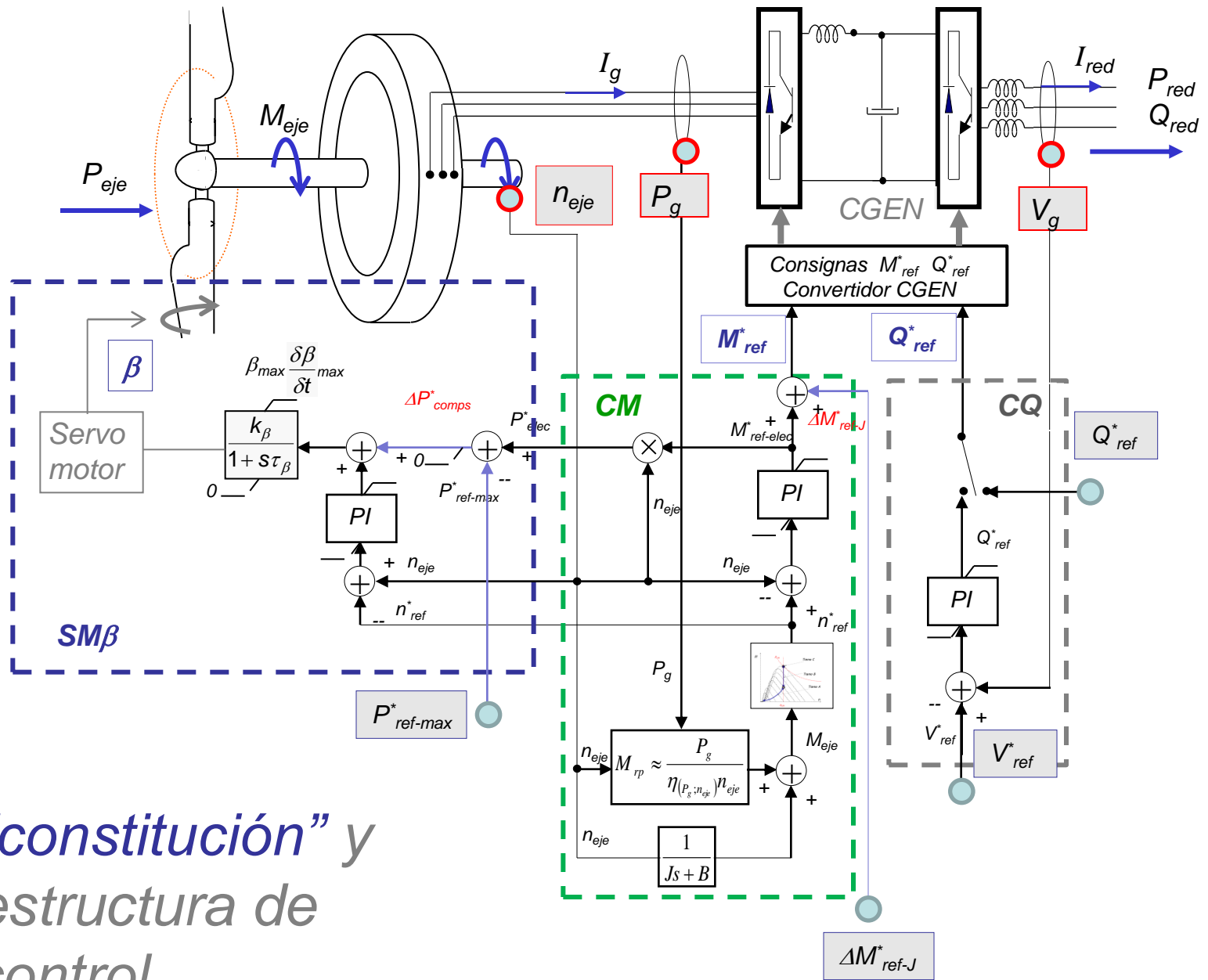
# ...aerogeneradores de velocidad variable



... "constitución" y estructura de control...

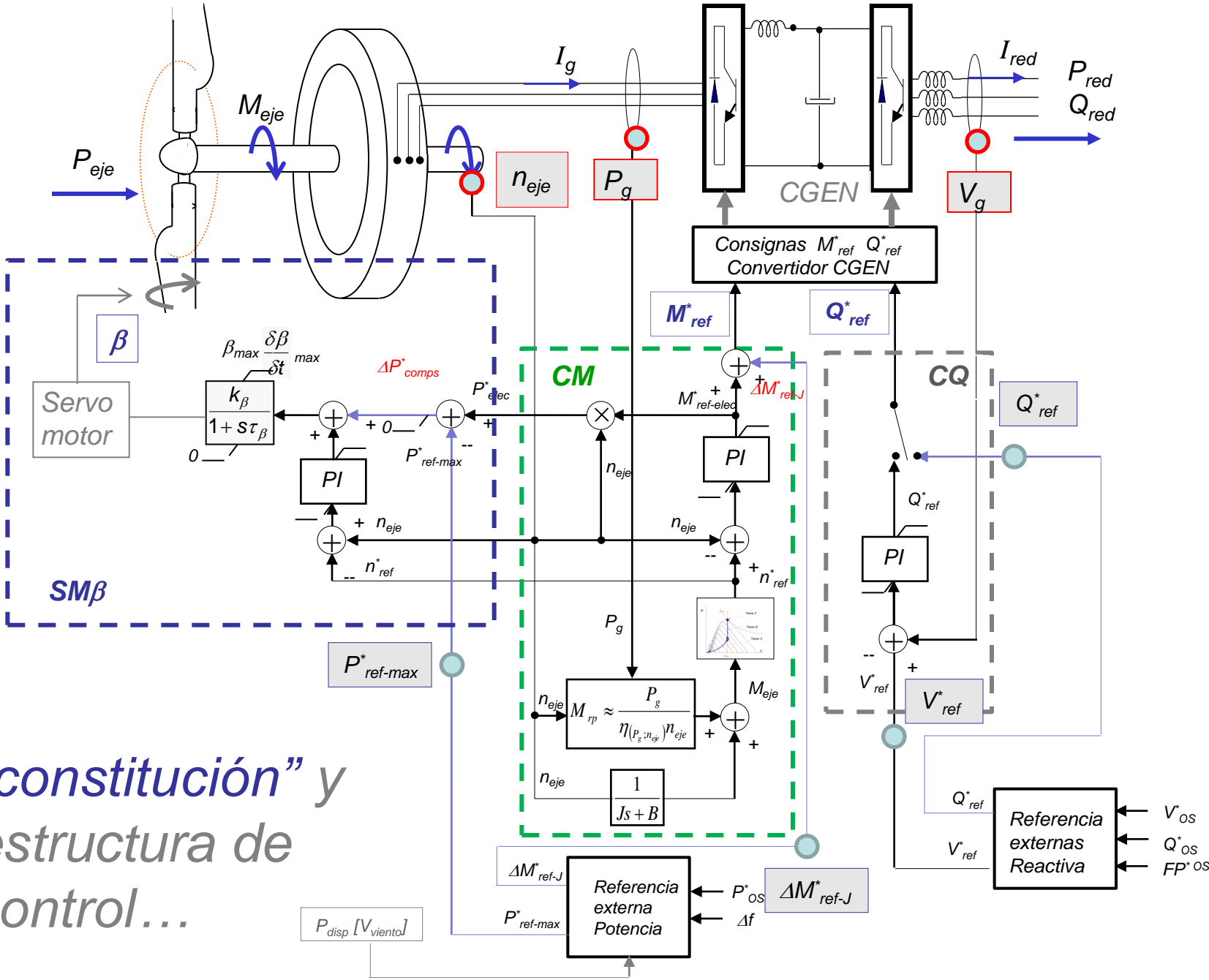


# ...aerogeneradores de velocidad variable



... "constitución" y estructura de control...

# ...aerogeneradores de velocidad variable



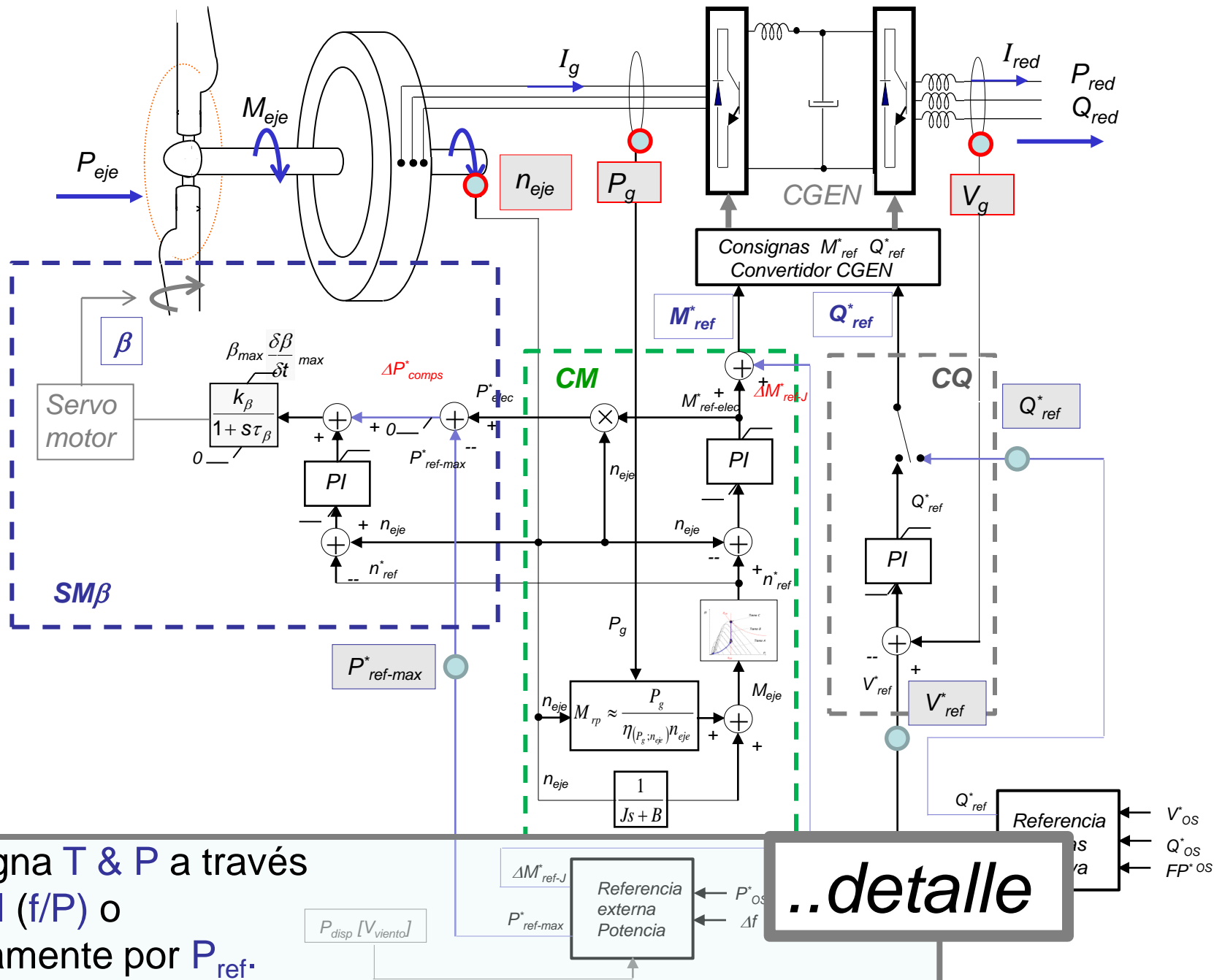
... "constitución" y estructura de control...

$$P_{disp} [V_{viento}]$$

Referencia externa Potencia  
 Referencia externa Reactiva

$V_{os}^*$   
 $Q_{os}^*$   
 $FP_{os}^*$

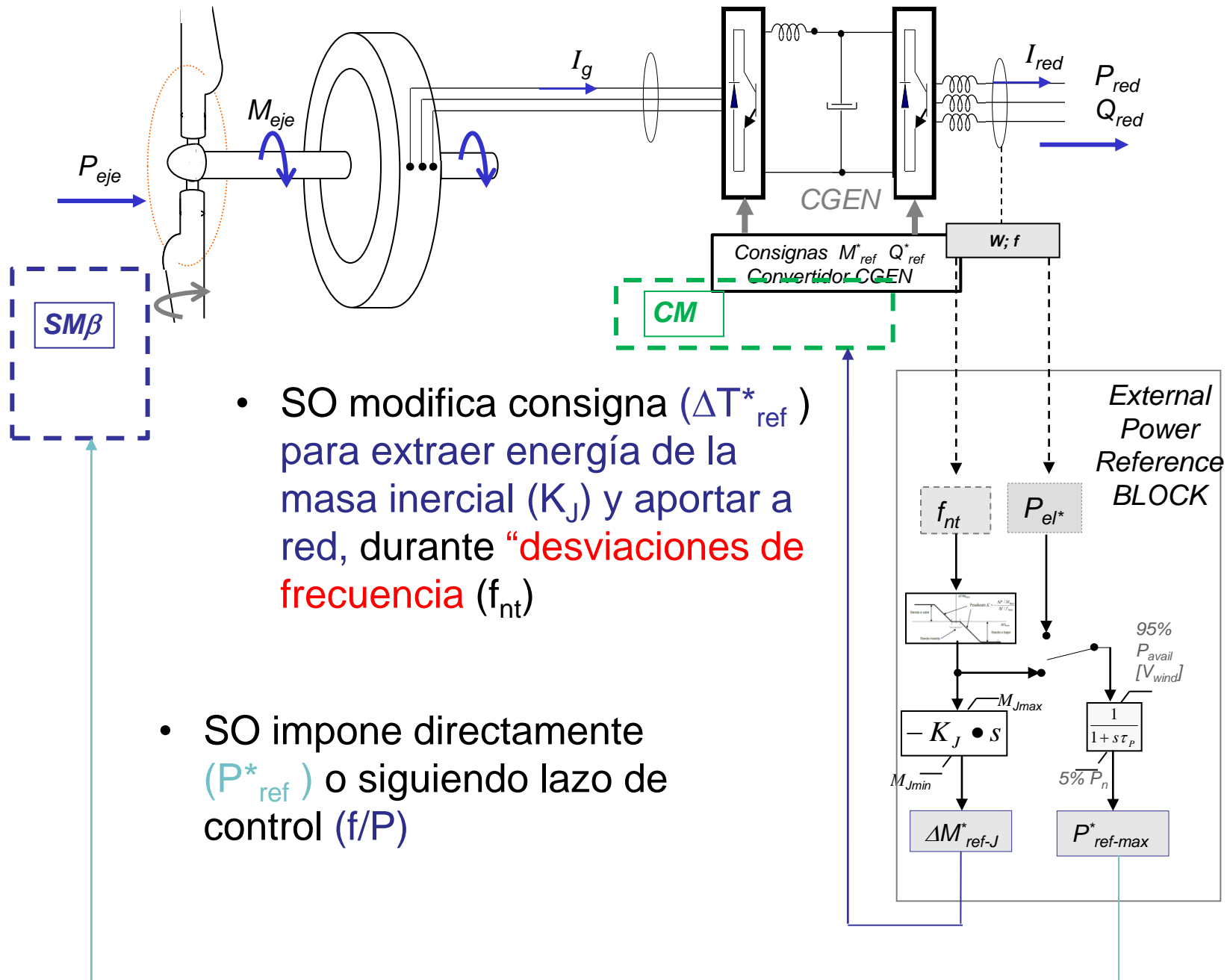
# ...aerogeneradores de velocidad variable



- Consigna T & P a través control (f/P) o directamente por  $P_{ref}$ .

**..detalle**

# ...aerogeneradores de velocidad variable



- SO modifica consigna ( $\Delta T_{ref}^*$ ) para extraer energía de la masa inercial ( $K_J$ ) y aportar a red, durante “desviaciones de frecuencia ( $f_{nt}$ )”

- SO impone directamente ( $P_{ref}^*$ ) o siguiendo lazo de control ( $f/P$ )

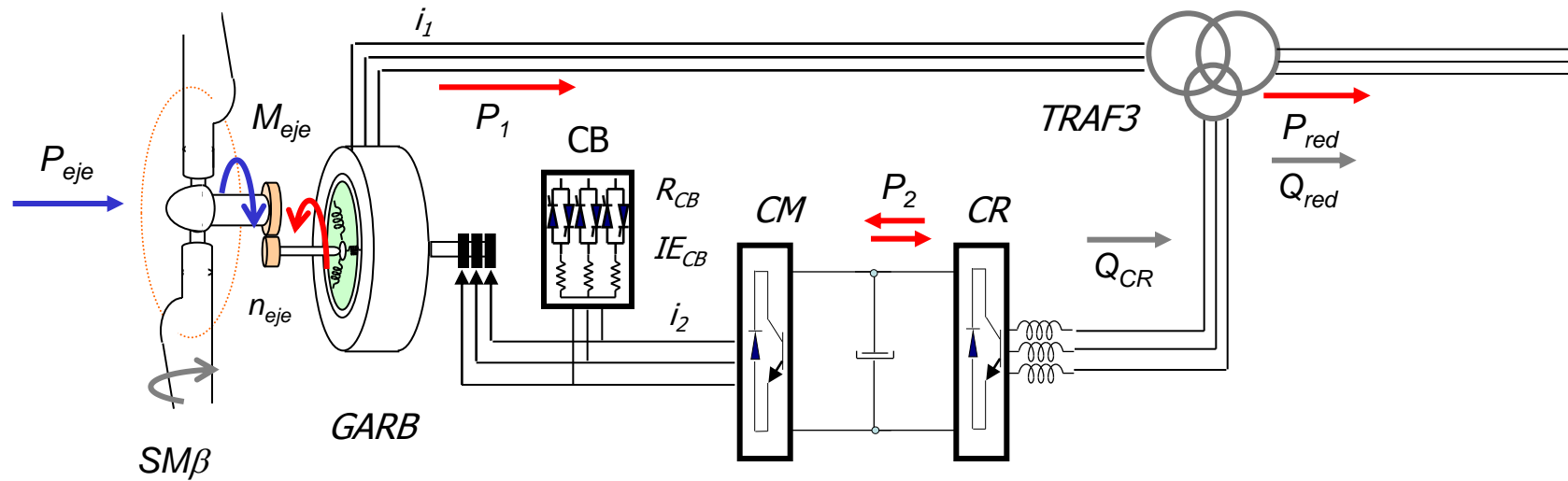


- Planteamiento: participación en los Parques Eólicos en la **Operación del Sistema (O.S.)**.
- Aerogeneradores de **velocidad variable**
- Aerogeneradores tecnología **“DFIG”**
- Aerogeneradores tecnología **“SGFC”**
- Conclusiones



... protector  
"cortocircuitos" ...

... transformador  
"3 bobinados" ...

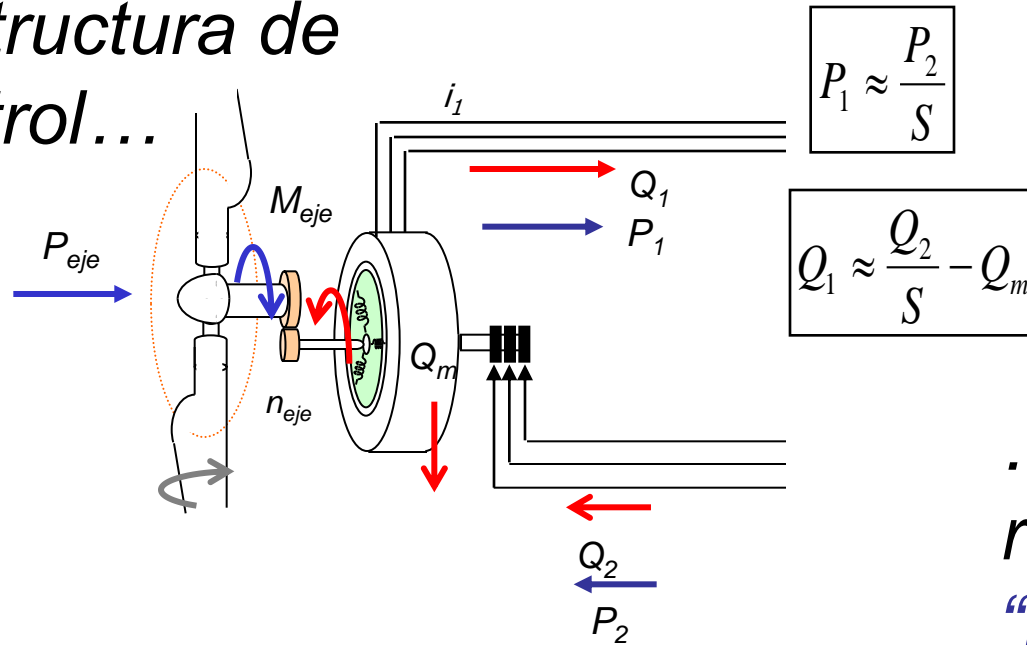


... precisa  
"multiplicador" ...

... convertidor  
"reducido" ...

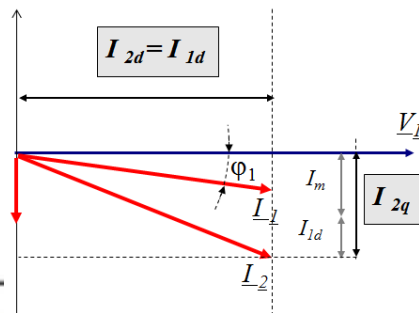


.....estructura de control...



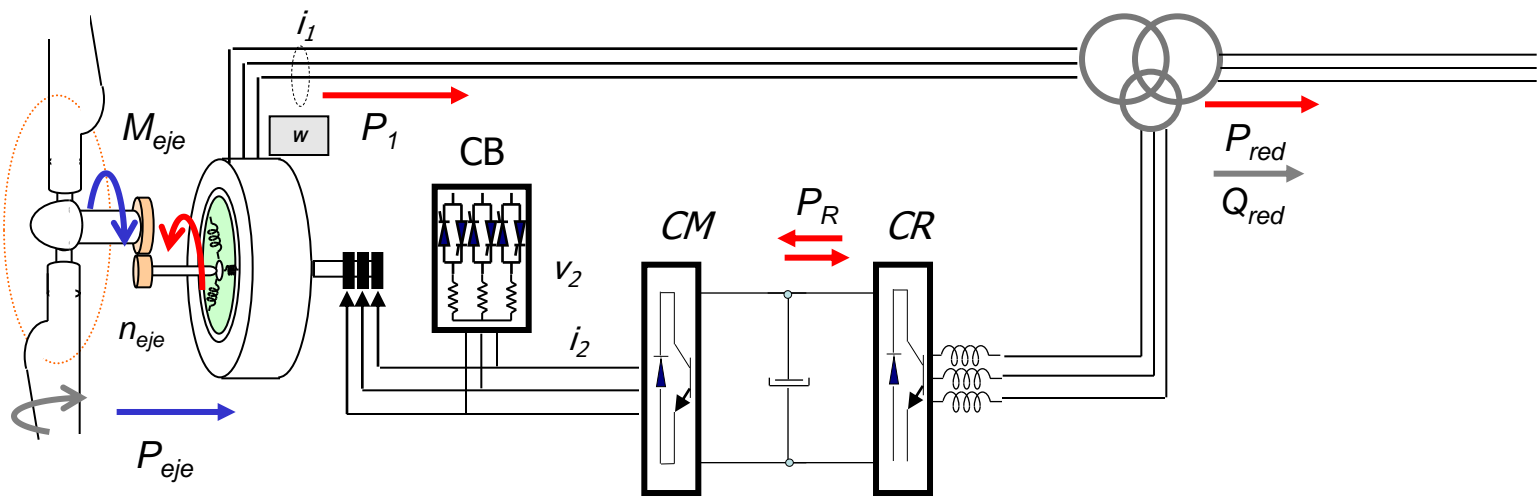
... efecto "multiplicador" sobre P y Q ...

... conviene regular por el "rotor" ....

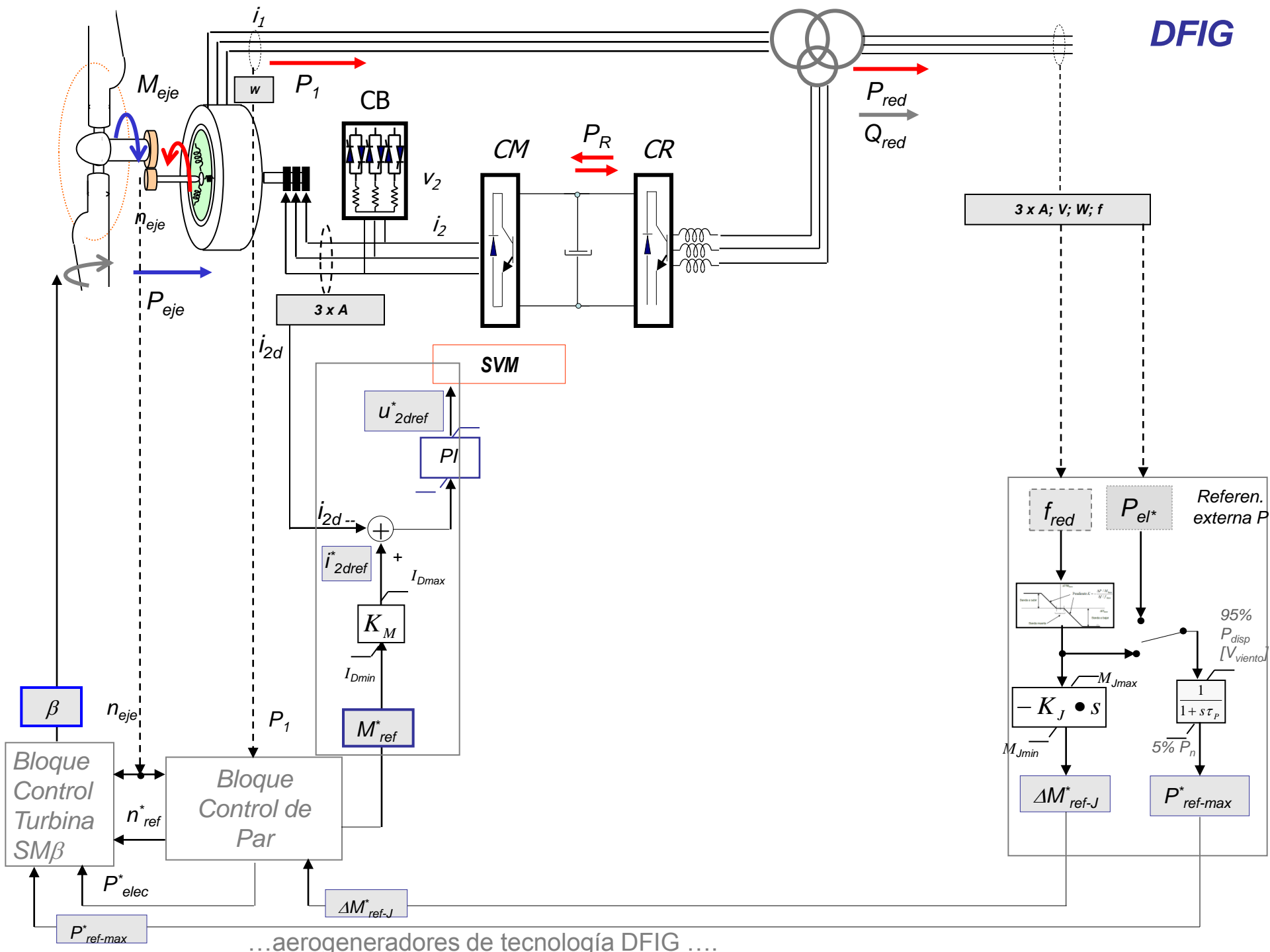


$$M_{elec} \approx \left[ \frac{3V_1}{\omega_{red}} \right] \bullet I_{2d}$$

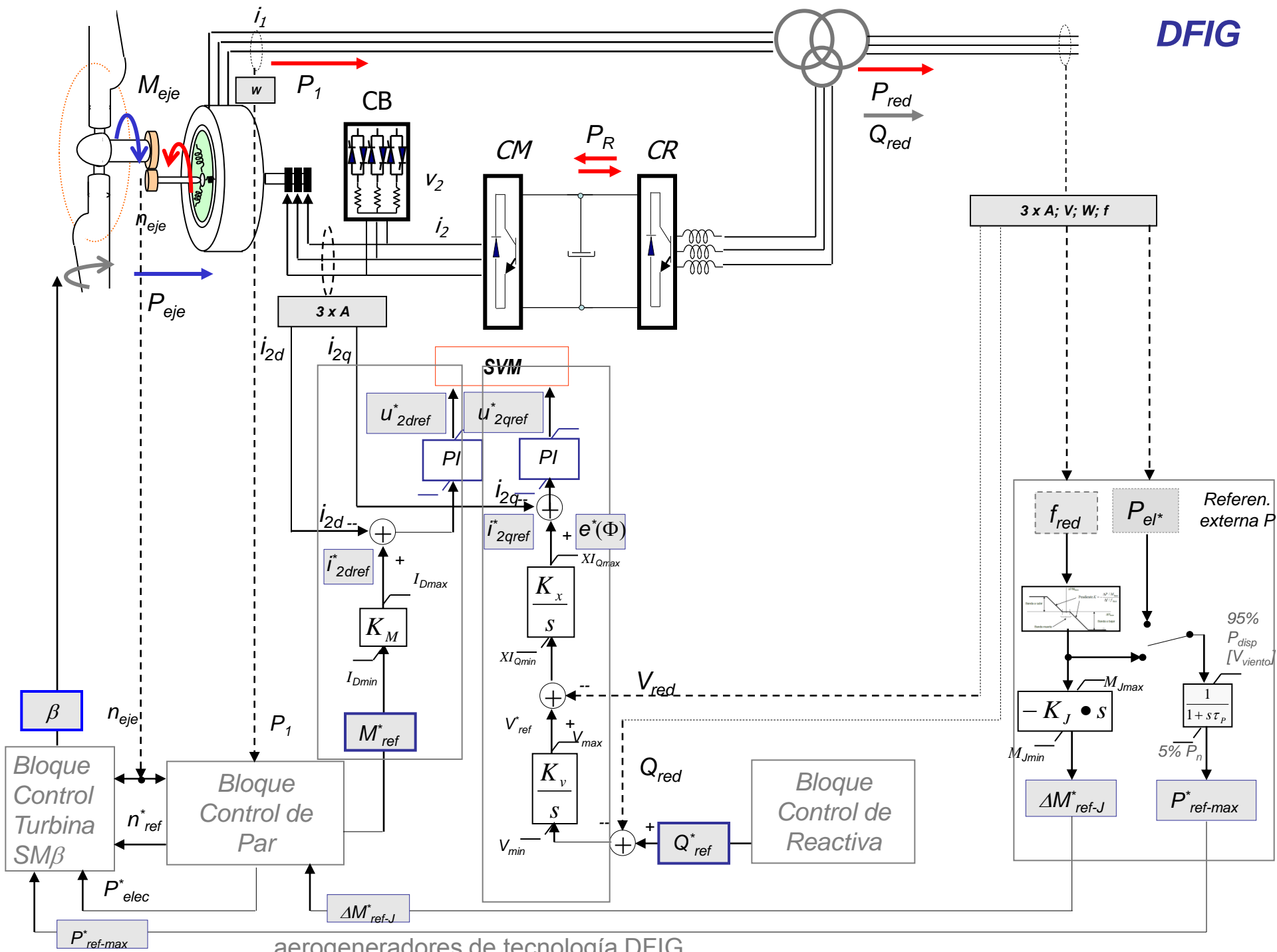
$$Q_1 \approx \left[ \frac{3V_1}{\omega_{red}} \right] \bullet I_{2q} - \left[ \frac{3V_1 I_m}{\omega_{red}} \right]$$



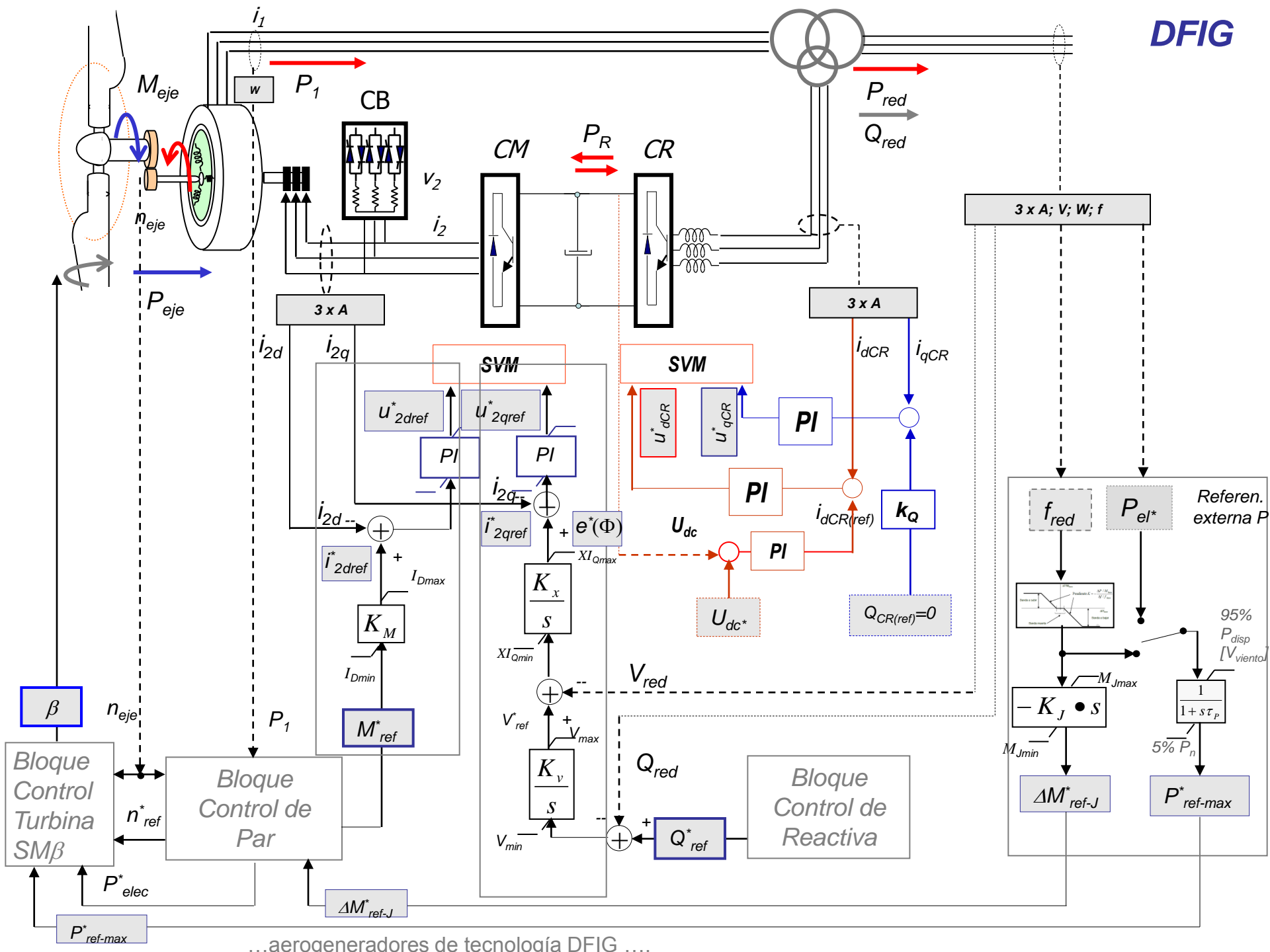




...aerogeneradores de tecnología DFIG ...



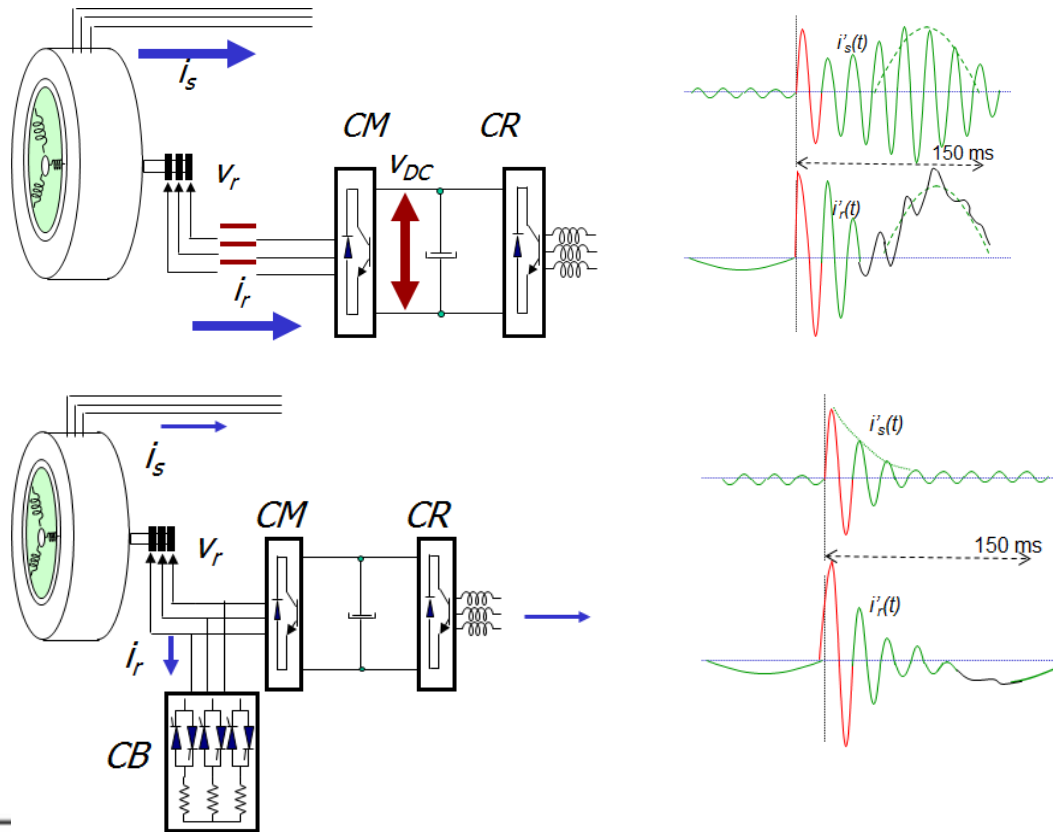
...aerogeneradores de tecnología DFIG ...



... aerogeneradores de tecnología DFIG ...



.....protección “*crowbar*” frente a cortocircuitos...

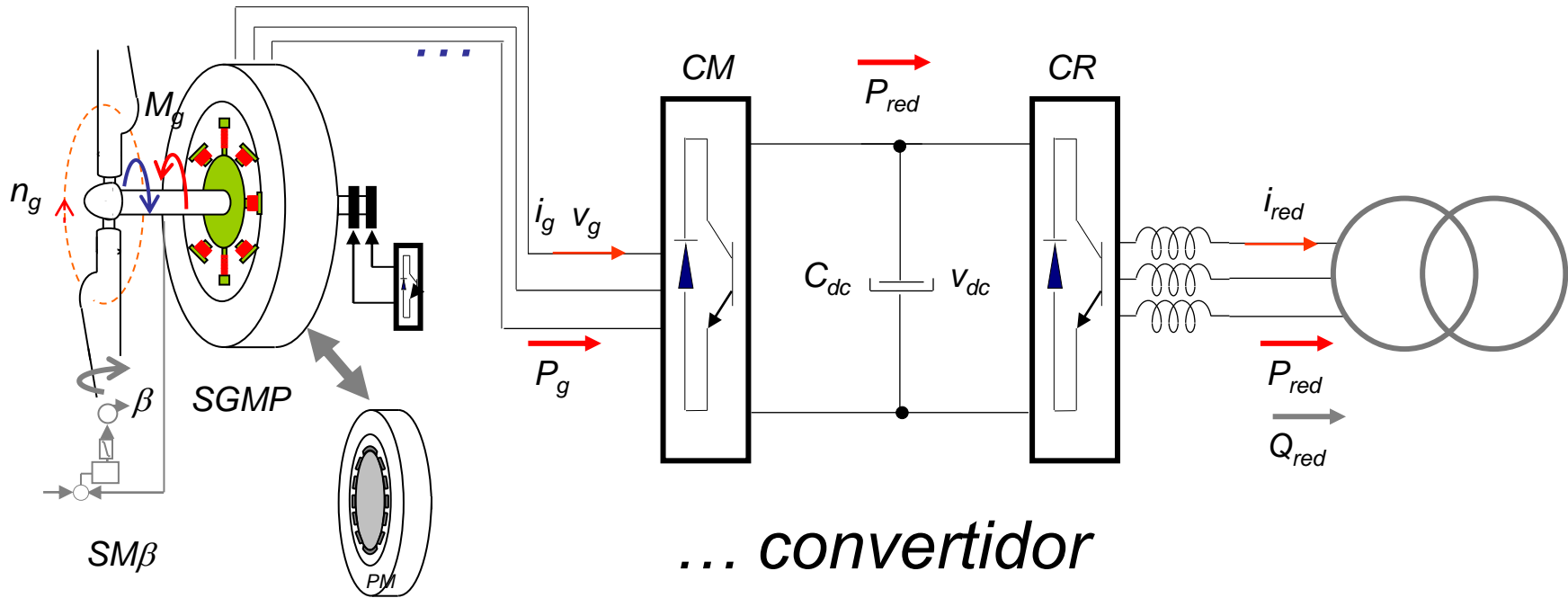




- Planteamiento: participación en los Parques Eólicos en la **Operación del Sistema (O.S.)**.
- Aerogeneradores de **velocidad variable**
- Aerogeneradores tecnología “**DFIG**”
- Aerogeneradores tecnología “**SGFC**”
- Conclusiones

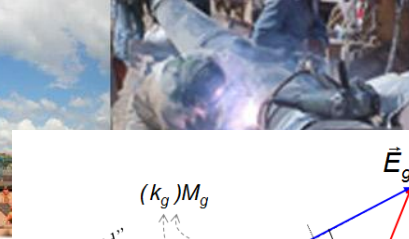


... generador  
"grande multipolar"

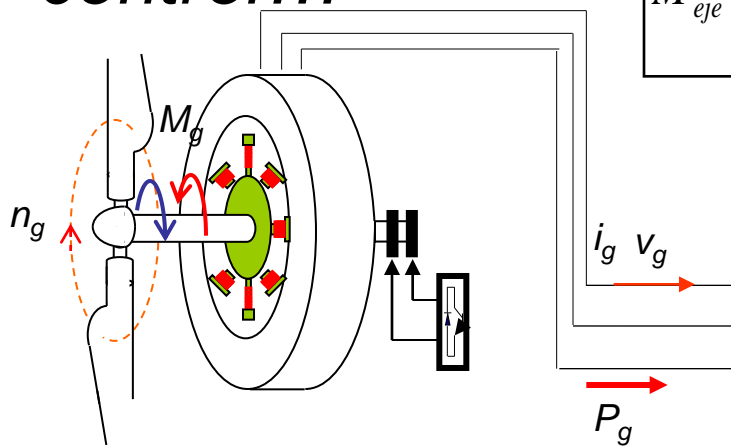


... no precisa  
"multiplicador" ...

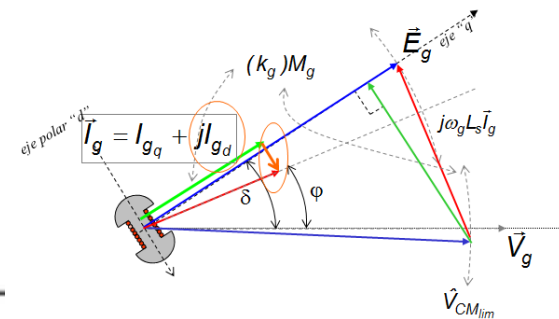
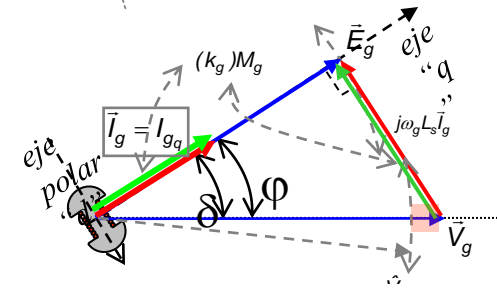
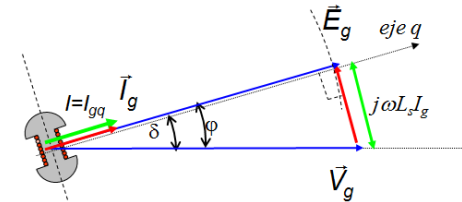
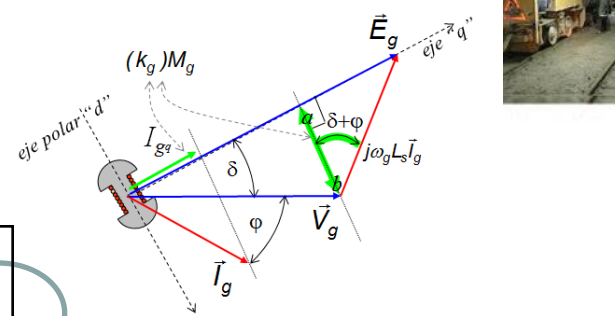
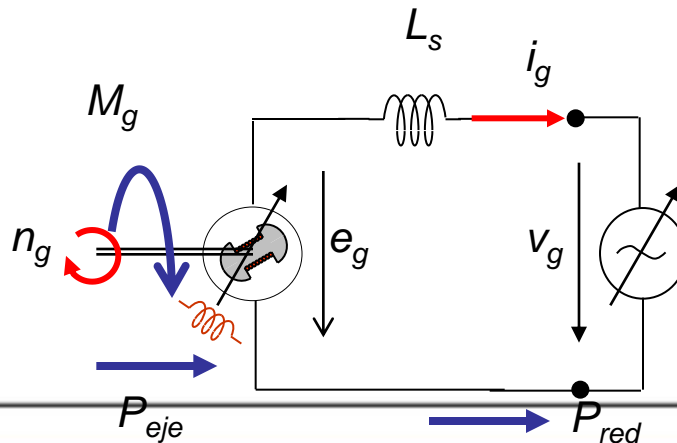
... convertidor  
"grande" ...



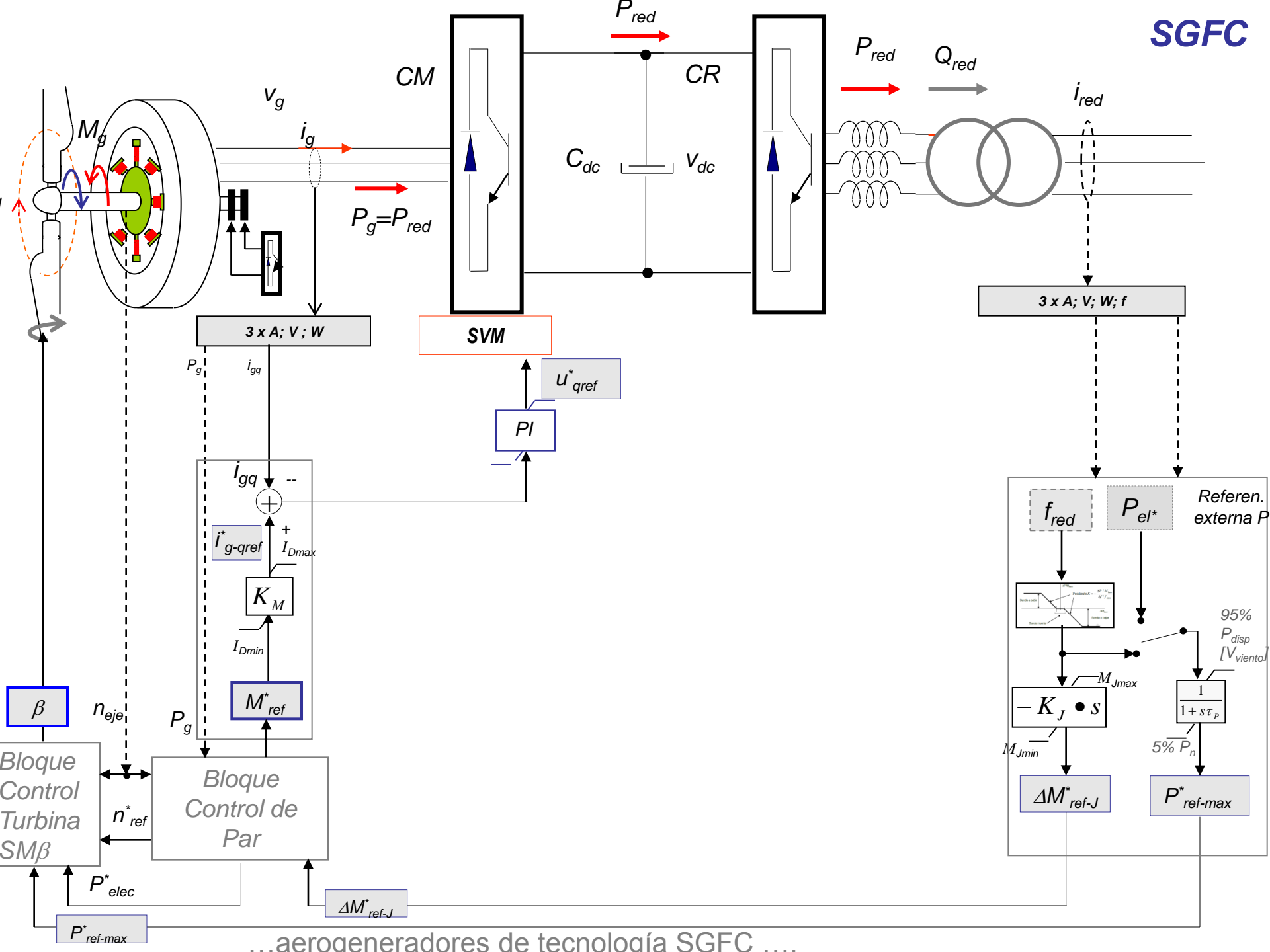
.....estructura de control...



$$M_{eje} \approx \left[ 3 \frac{E_g}{2\pi f} \right] \bullet I_{gq}$$

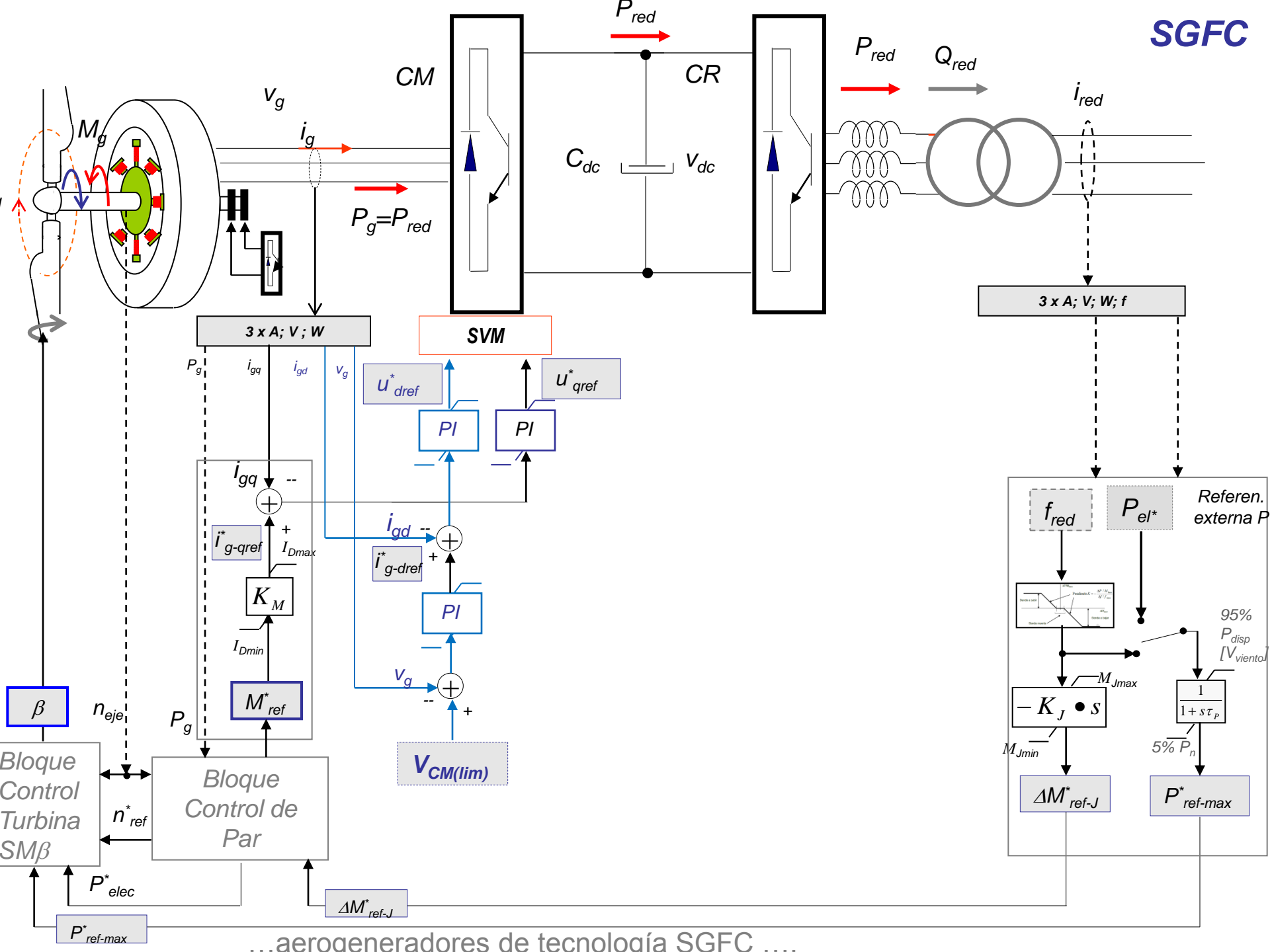


...aerogeneradores de tecnología SGFC ...

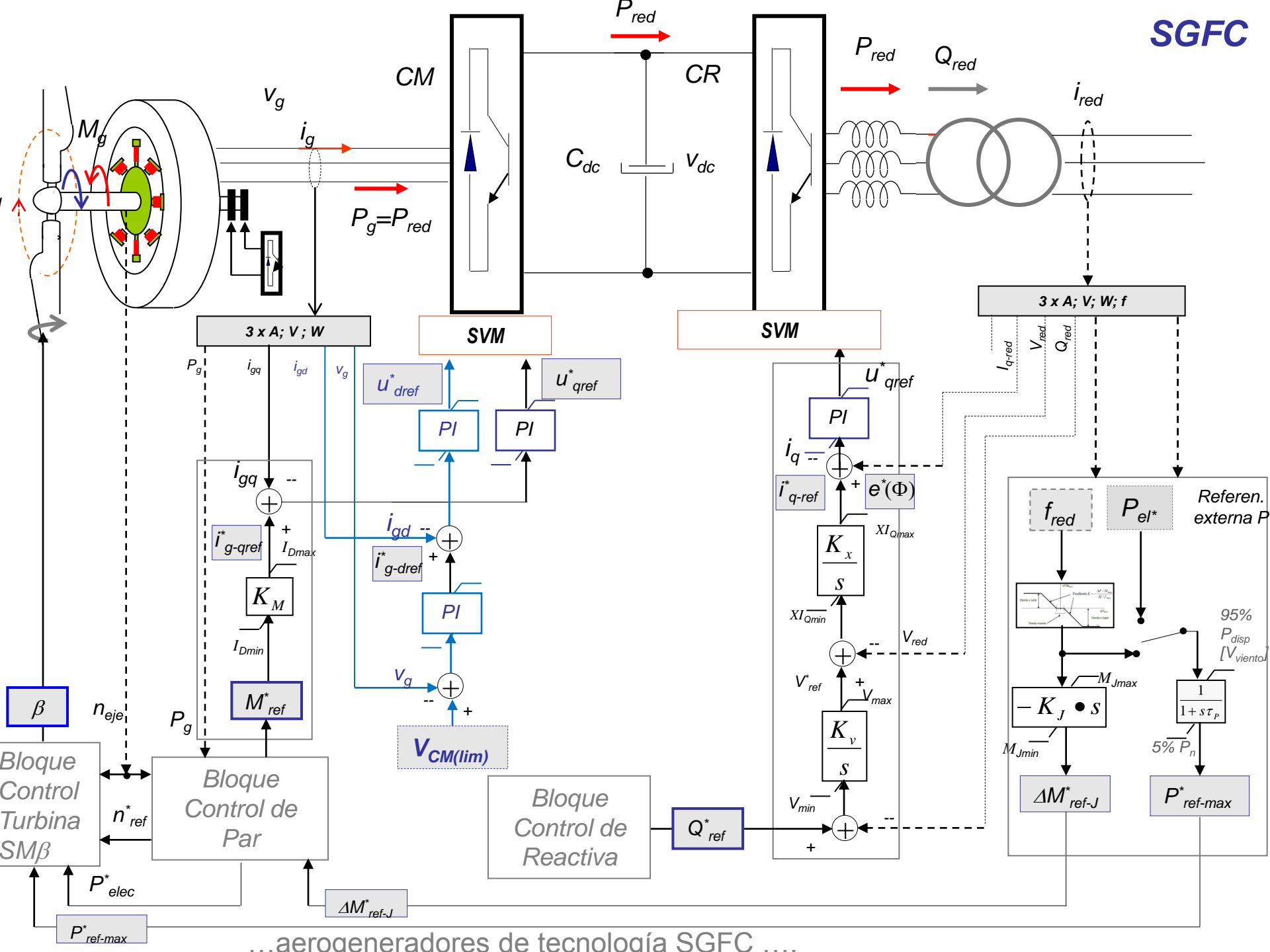


...aerogeneradores de tecnología SGFC ...





...aerogeneradores de tecnología SGFC ...



...aerogeneradores de tecnología SGFC ...





- Planteamiento: participación en los Parques Eólicos en la **Operación del Sistema (O.S.)**.
  - Aerogeneradores de **velocidad variable**
  - Aerogeneradores tecnología “**DFIG**”
  - Aerogeneradores tecnología “**SGFC**”
- Conclusiones



- AE de “velocidad variable” participan adecuadamente en la **regulación  $P/f$  ;  $Q/V$**  y en la “**estabilidad**” del Sistema Eléctrico
- Tecnología **DFIG**; **generador** sencillo; **convertidor** reducido; precisa caja **multiplicadora** y protección “**crowbar**”.
- Tecnología **SGFC**; **generador multipolar** complejo; **convertidor** grande; transmisión “**directa**”; protección “**crowbar**” **no** es preciso.



Conclusiones

Departamento de Ingeniería Eléctrica  
**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES**  
Universidad Politécnica de Madrid



POLITÉCNICA

Master Ingeniería eléctrica

[http://www.etsii.upm.es/estudios/masteres/ingenieria\\_electrica.es.htm](http://www.etsii.upm.es/estudios/masteres/ingenieria_electrica.es.htm)

## Bienvenidos

En esta web encontrarás toda la información sobre el Depart

*Energías Renovables*  
*Transporte de la Energía Eléctrica*  
*Control de Máquinas*  
*Calidad del Servicio Eléctrico*  
*Vehículos Eléctricos*  
*Medidas*  
*Protecciones*  
*Diseño de Máquinas Eléctricas*  
*etc...*

I+D+i Doctorado

<http://www.dinel.upm.es/investigacion.html>





Muchas gracias por su  
atención ....

[carlos.veganzones@upm.es](mailto:carlos.veganzones@upm.es)