



Requerimientos de Modelado y Simulación de Plantas Eólicas y Fotovoltaicas en Estudios de Sistemas Modernos de Potencia

Dr. Gustavo Valverde Mora

gustavo.valverde@ucr.ac.cr

Contenidos

1

- Plantas eólicas
- Modelado y simulación

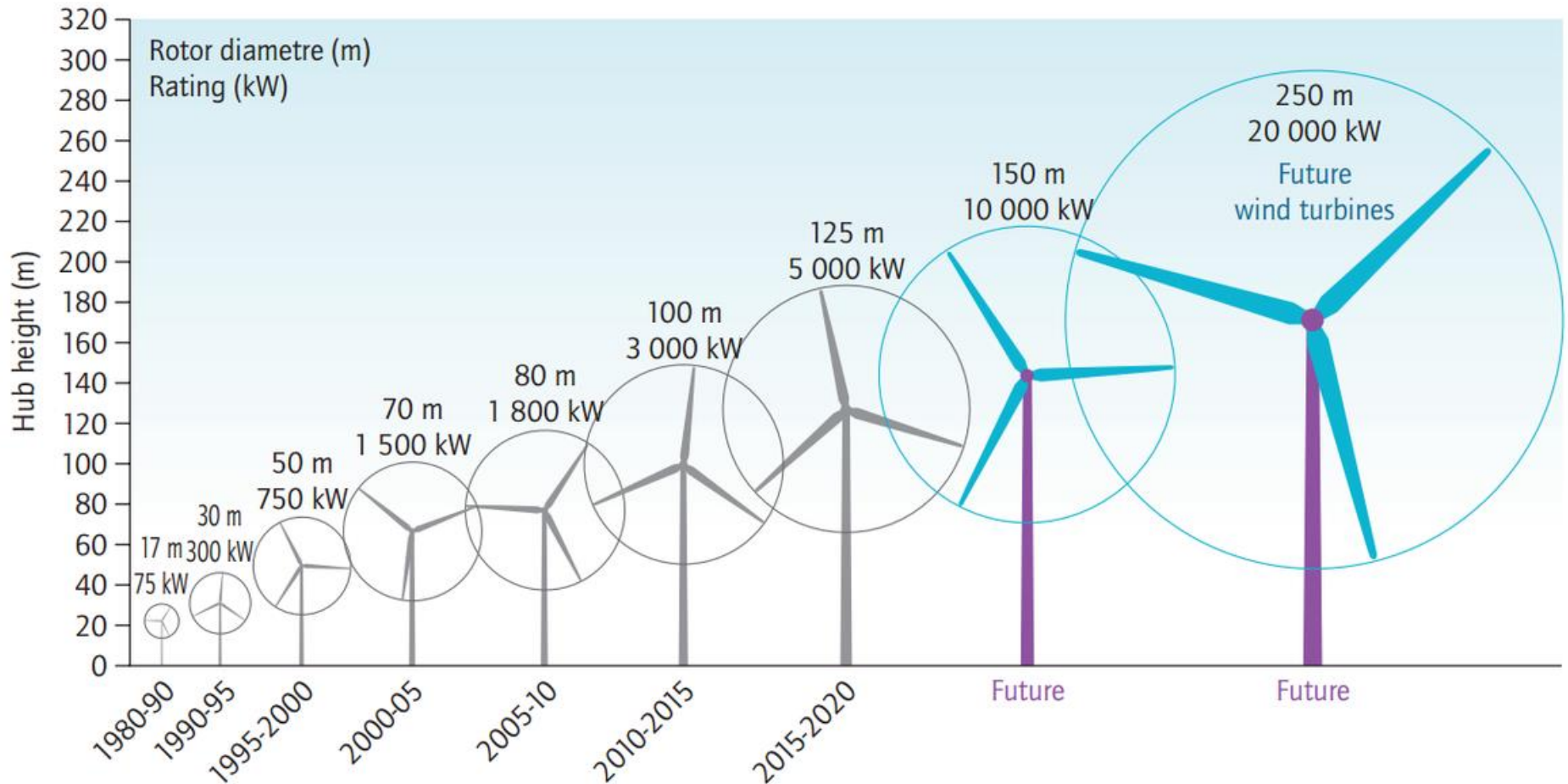
2

- Plantas PV y baterías
- Modelado y simulación

3

- Recursos de energía distribuidos
- Modelado y simulación

Turbinas eólicas



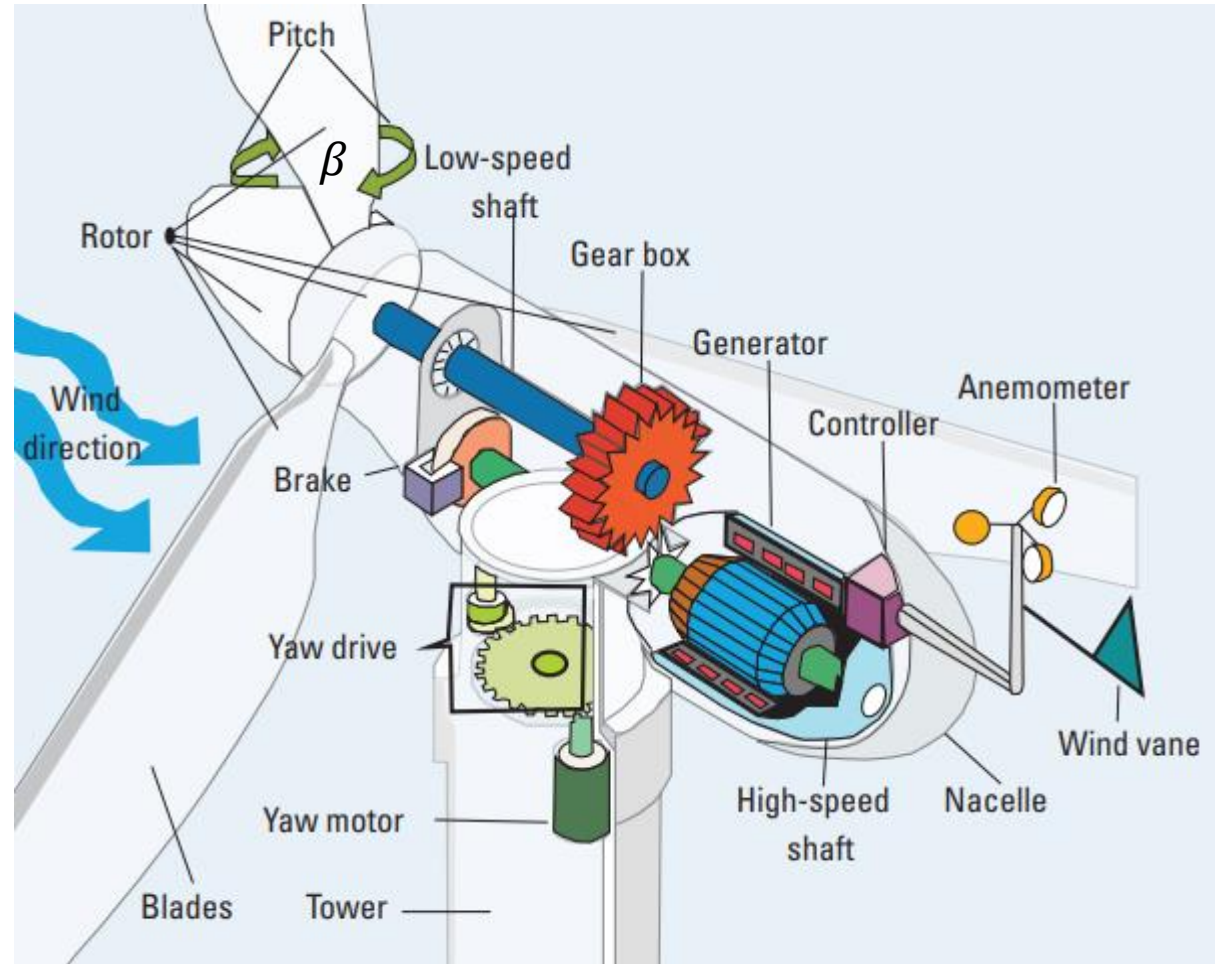
Source: adapted from EWEA, 2009.

Aspectos aerodinámicos

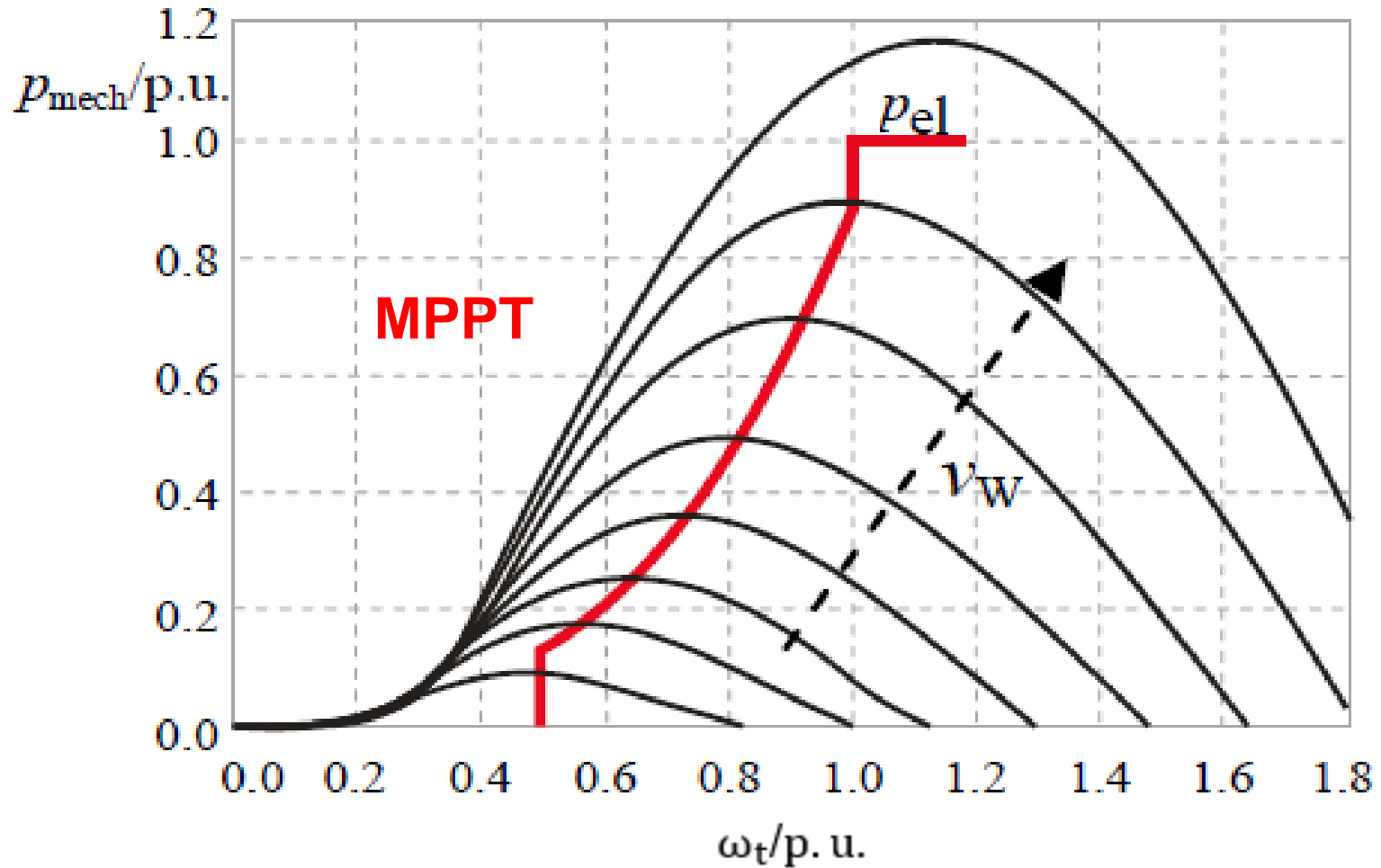
Potencia extraída:

$$P_m = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_w^3 C_p$$

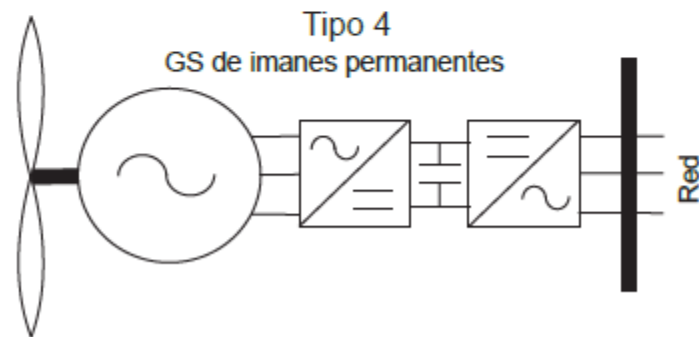
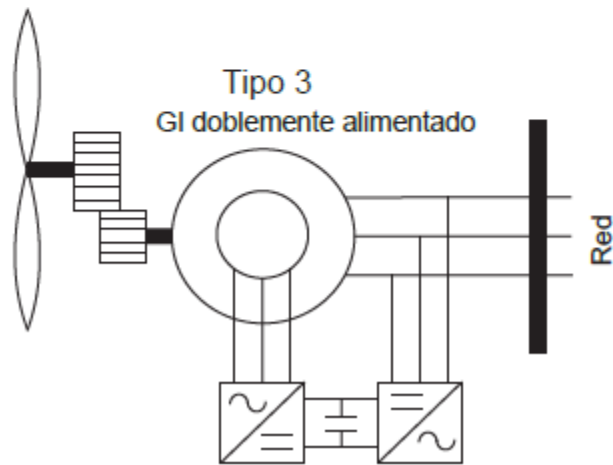
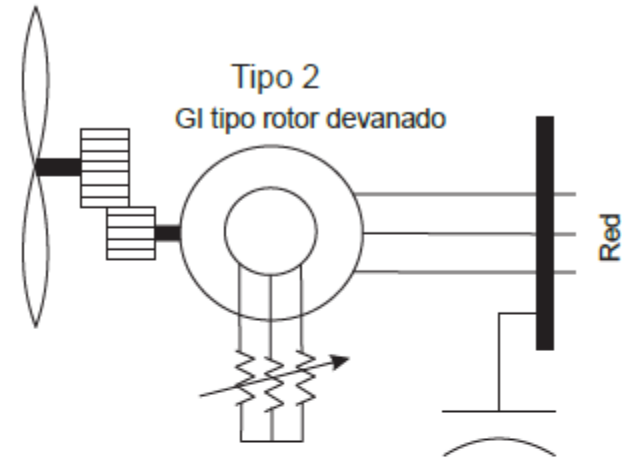
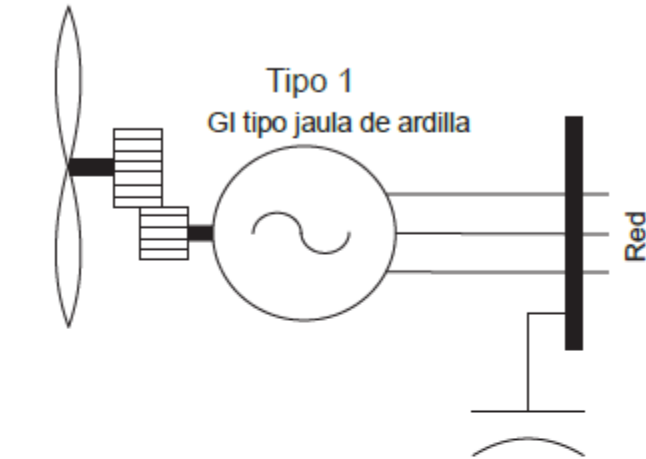
Pitch control reduce C_p por medio del aumento del ángulo β de las aspas.



Aspectos aerodinámicos



Tipos de turbinas



Modelos de WT3 y WT4

Propietarios



- Desarrollado por los propios fabricantes (GE, Vestas, Mitsubishi, etc.)
- Usuarios del software pueden no conocer el modelo que simulan
- Sirven para representar generador de un solo fabricante.
- Son usualmente cerrados pero algunos fabricantes proveen su modelo sin costo.
- Ejemplo: Modelo Vestas V80/V47 disponible ante solicitud en PSS/e.

Genéricos



- Desarrollado por organismos en coordinación con operadores y fabricantes
- El usuario conoce bien lo que está simulando.
- Sirven para representar generadores de varios fabricantes.
- Son abiertos y para uso ilimitado de interesados.
- Ejemplo: Modelos WT3G1, WT3G2, WT4G1, WT4G2 en PSS/e v34.

Modelos genéricos (1/3)

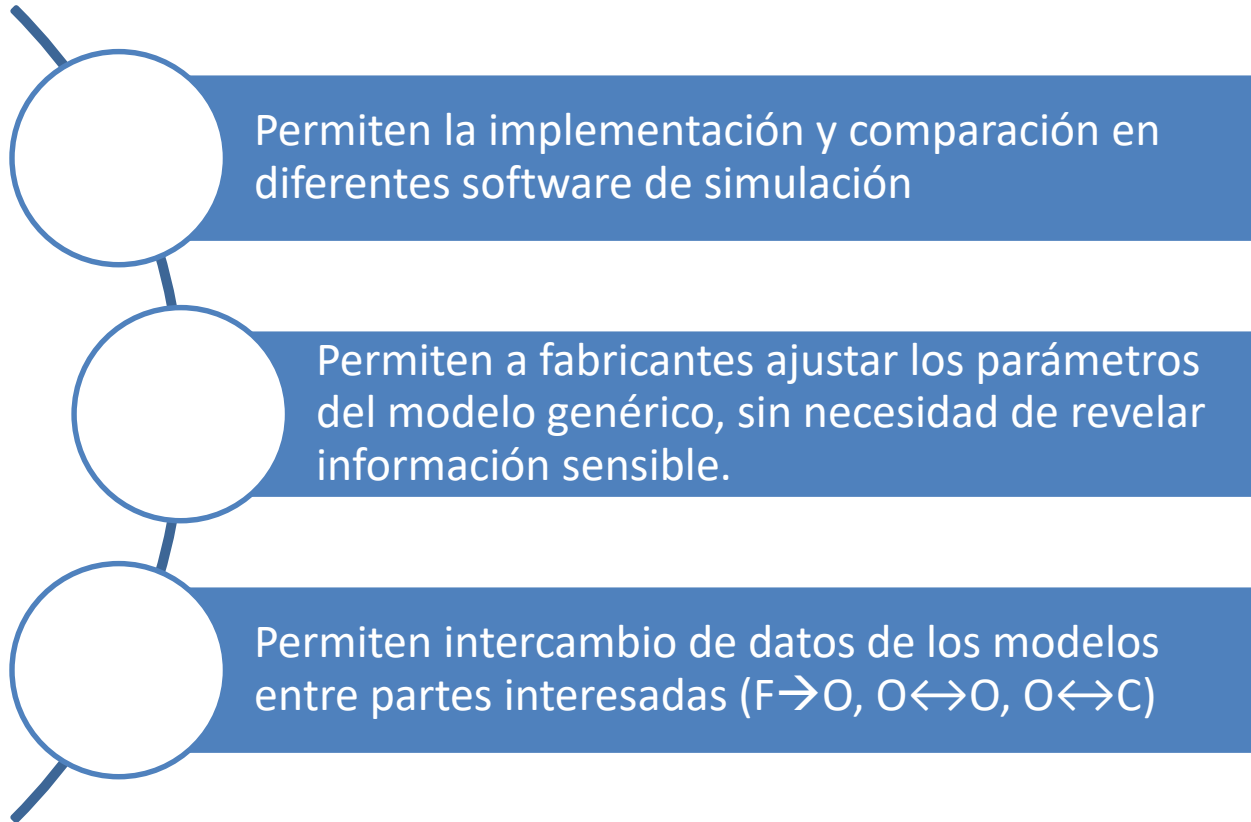
1ra generación (Phase 1)

- Disponible desde 2011
- Basado en modelos de GE por lo que no eran realmente “muy genéricos”
- Difícil de lograr simulación cercana a la realidad (mediciones) de otros *vendors*

2da generación (Phase 2)

- Disponible desde 2013-2015
- Basado en experiencias de interesados y datos de los propios fabricantes
- Hay facilidad de ajustar modelos

Modelos genéricos (2/3)



Modelos genéricos (3/3)



No considera
dinámica de las
máquinas.

Balance
exactitud y
complejidad

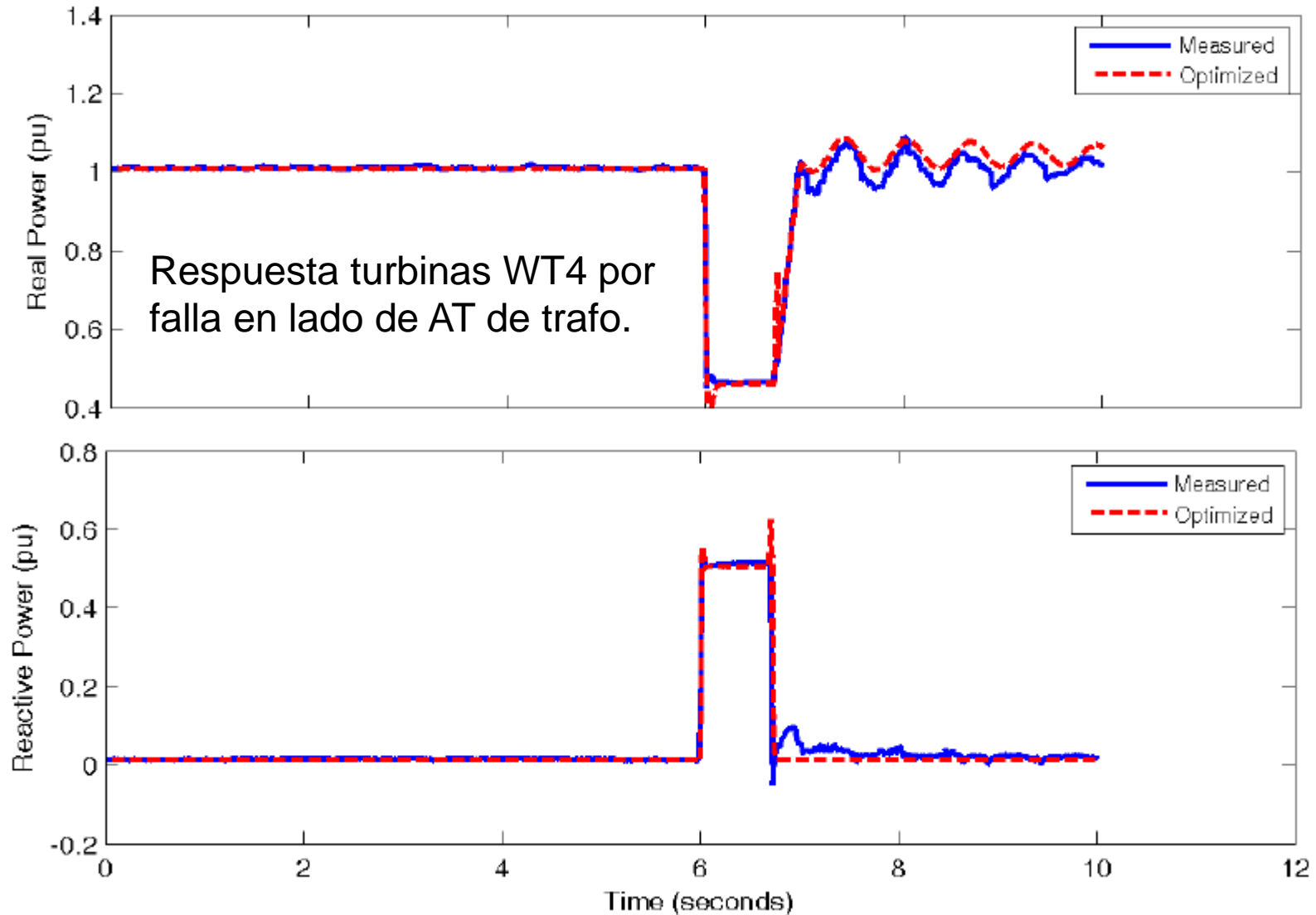
Ideales
para
estudios
estabilidad

Importa la interacción
de los generadores
con la red más que lo
interno del generador

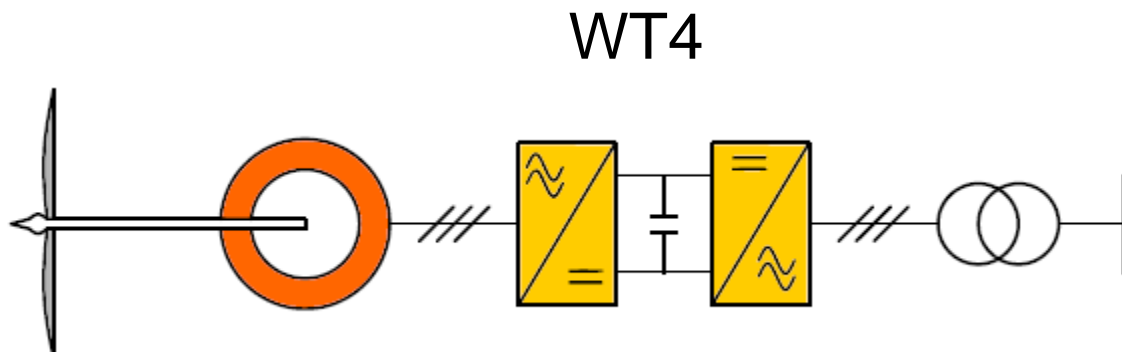
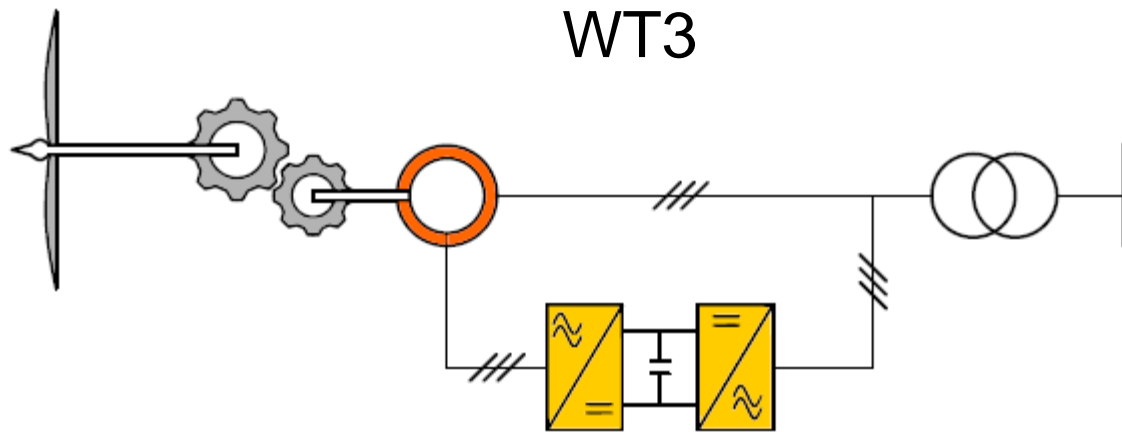
Electrónica
de
potencia
manda

Respuesta es
dominada por
controladores y
limitadores.

Validación de modelos (EPRI)



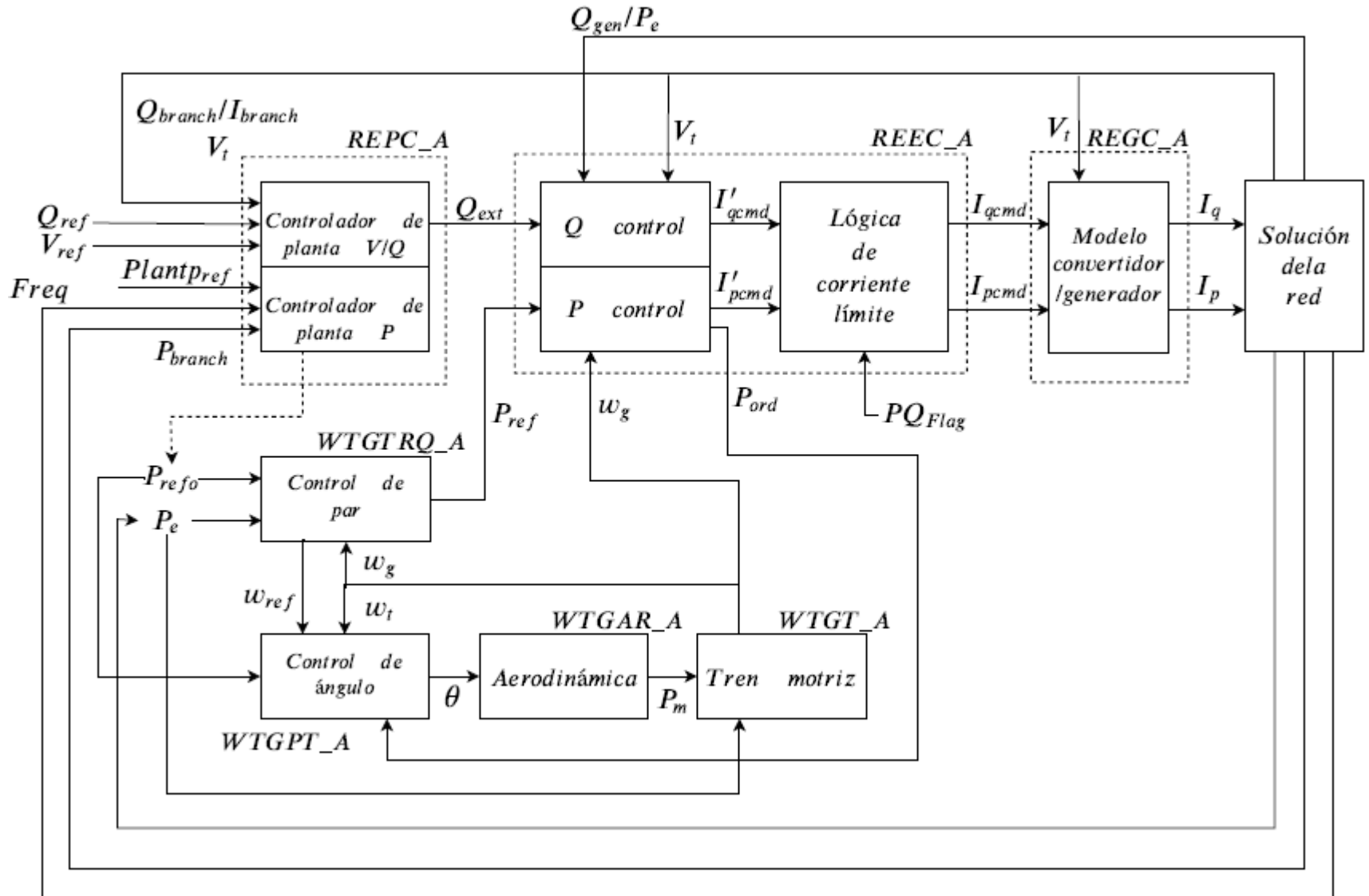
Modelado de WT3 y WT4



Modelo WT3

Módulos	Nombre
REPC_A	Controlador de planta de energía renovable A
WTGTRQ_A	Control de par de la turbina de viento A
WTGPT_A	Controlador de ángulo de la turbina de viento A
WTGAR_A	Aerodinámica de la turbina de viento A
WTGT_A	Tren motriz de generador/turbina de viento A
REEC_A	Controlador eléctrico de energía renovable A
REGC_A	Convertidor/generador de energía renovable A

Modelo WT3

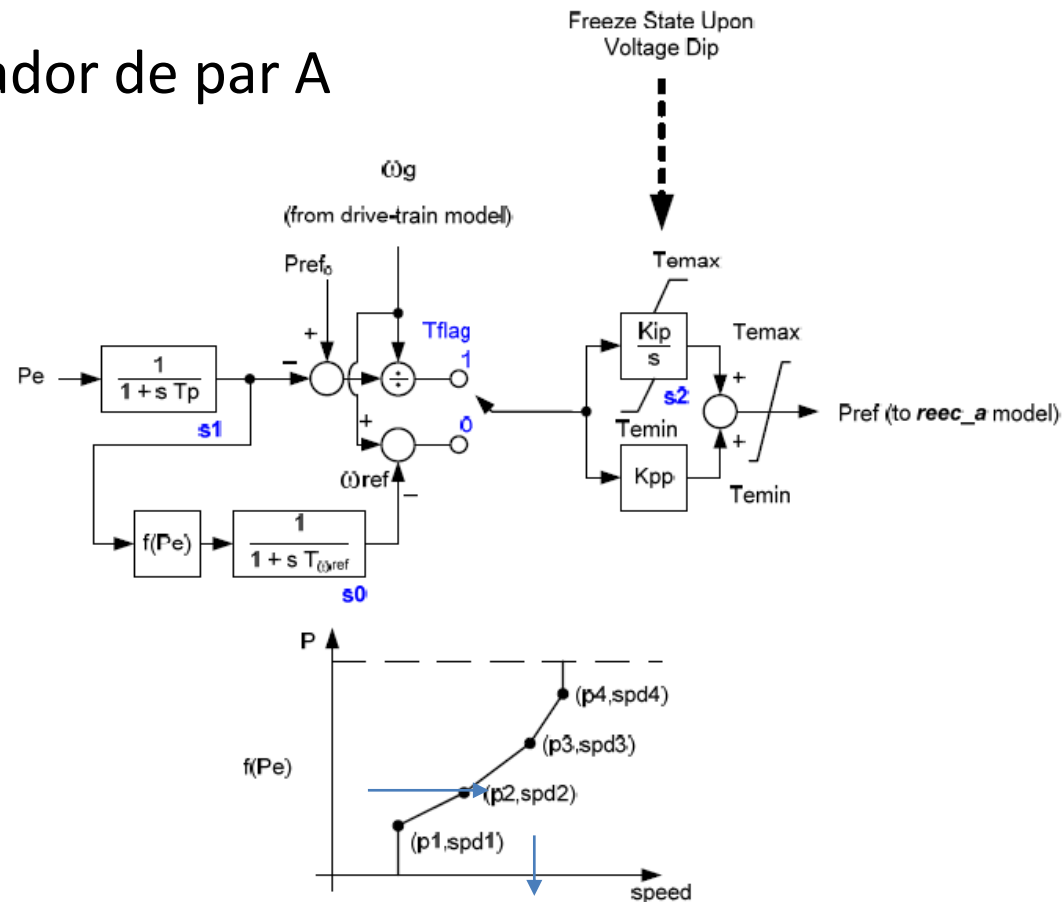


Nombre genérico WECC	PSS/e	PSLF (GE)	PowerWorld
WTGTRQ_A	WTTQAU1 (V33) WTTQA1 (V34)	wtgq_a	wtgtrq_a

Modelo **WTGTRQ_A**: Controlador de par A

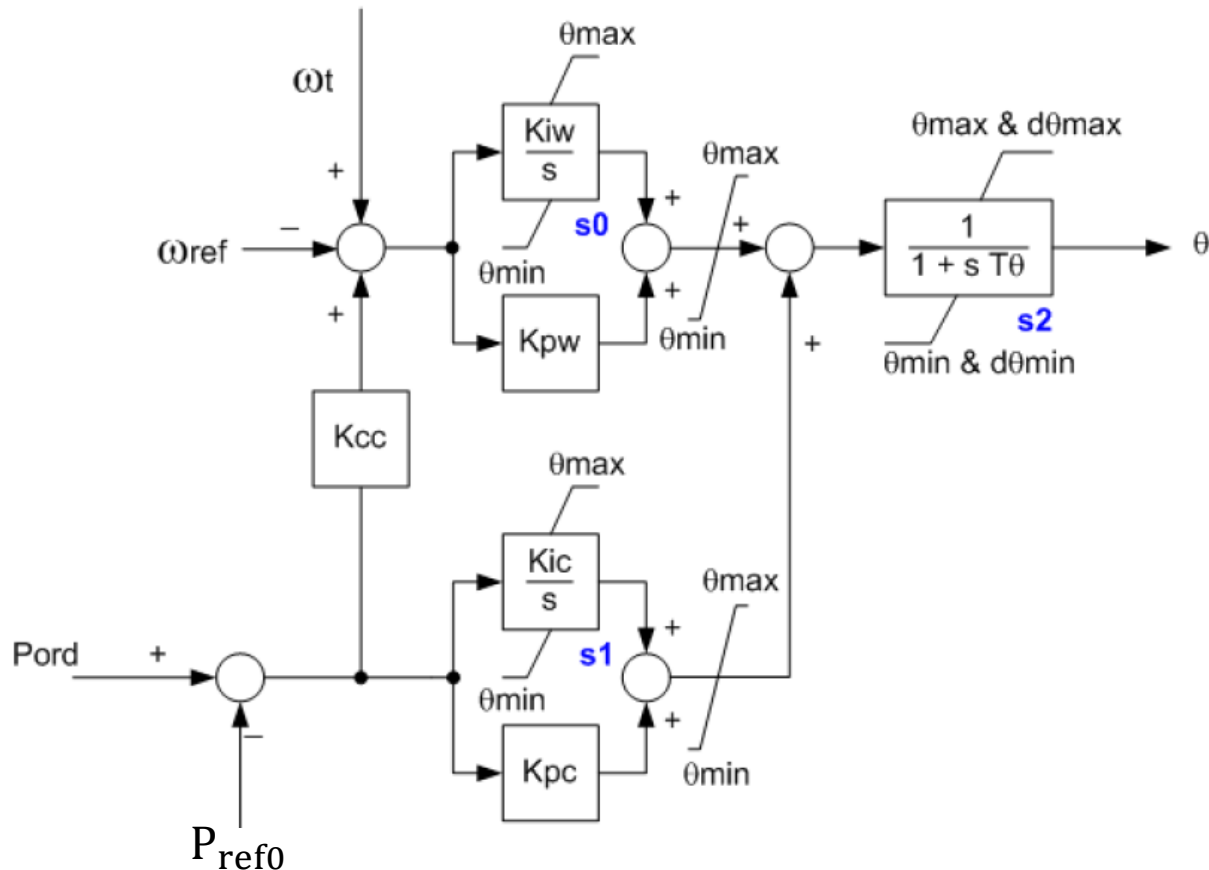
Bloque define si se desea controlar P o ω (MPPT)

- Tflag=0 para eliminar error en velocidad
- Tflag=1 para eliminar error en potencia



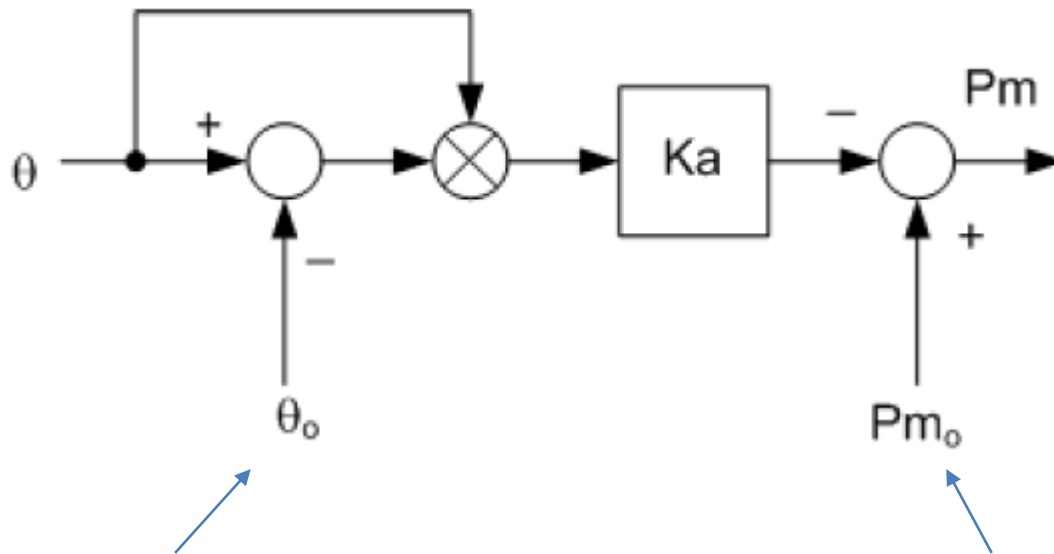
Modelo **WTGPT_A**: Controlador de ángulo pitch (de paso)

Nombre genérico WECC	PSS/e	PSLF (GE)	PowerWorld
WTGPT_A	WTPTAU1 (V33) WTPTA1 (V34)	wtgp_a	wtgpt_a



Modelo **WTGAR_A**: aerodinámica A

Nombre genérico WECC	PSS/e	PSLF (GE)	PowerWorld
WTGAR_A	WTARAU1 (V33) WTARA1 (V34)	wtga_a	wtgar_a

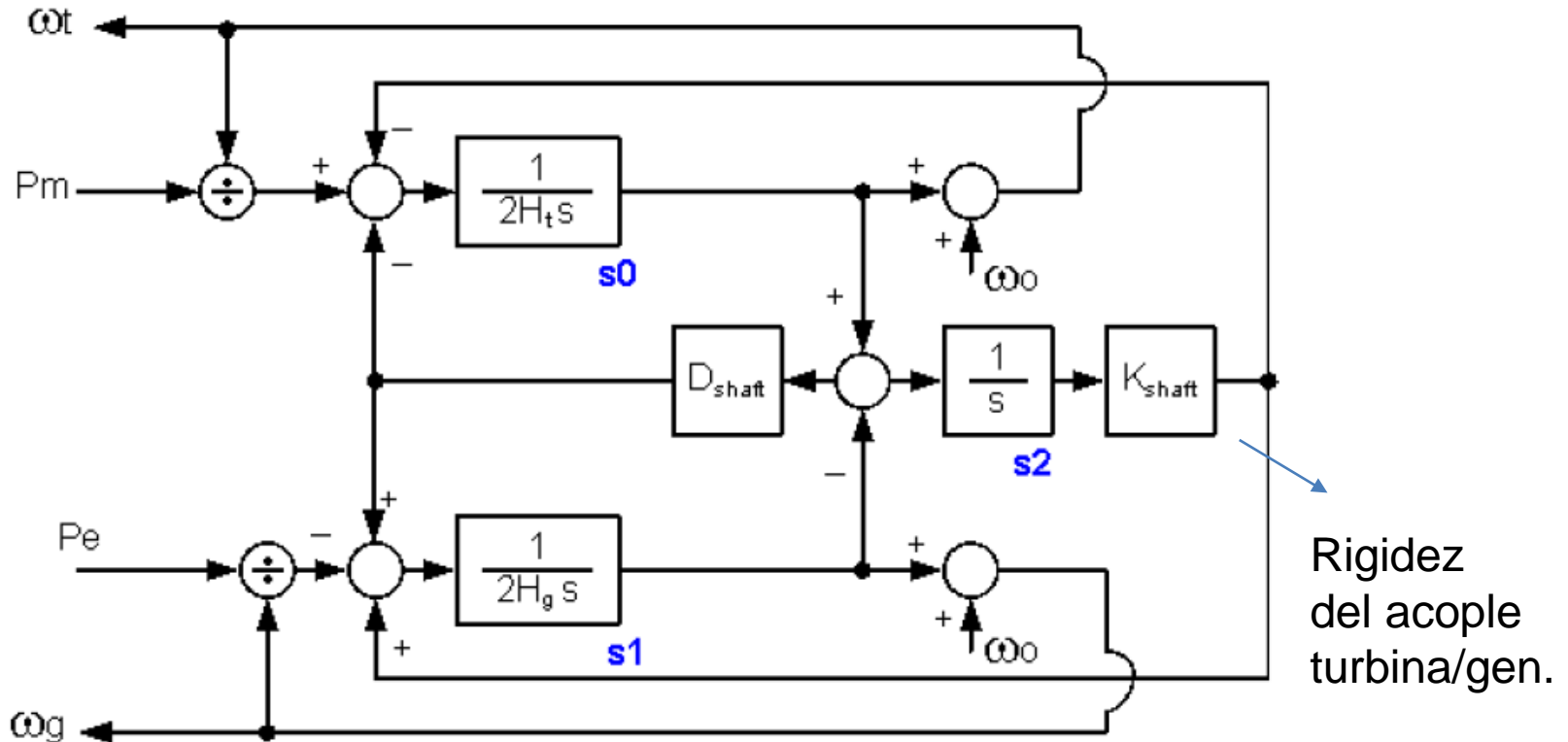


Ángulo pitch al inicio de la simulación

Potencia mecánica al inicio de la simulación, e igual a P_e inicial.

Modelo WTGT_A: Tren motriz A

Nombre genérico WECC	PSS/e	PSLF (GE)	PowerWorld
WTGT_A	WTDTAU1 (V33) WTDTA1 (V34)	wtgt_a	wtgt_a



Modelo WT3

Modelo **REEC_A**: Control eléctrico de energía renovable A

Nombre genérico WECC	PSS/e	PSLF (GE)	PowerWorld
REEC_A	REECAU1 (V33) REECA1 (V34)	reec_a	reec_a

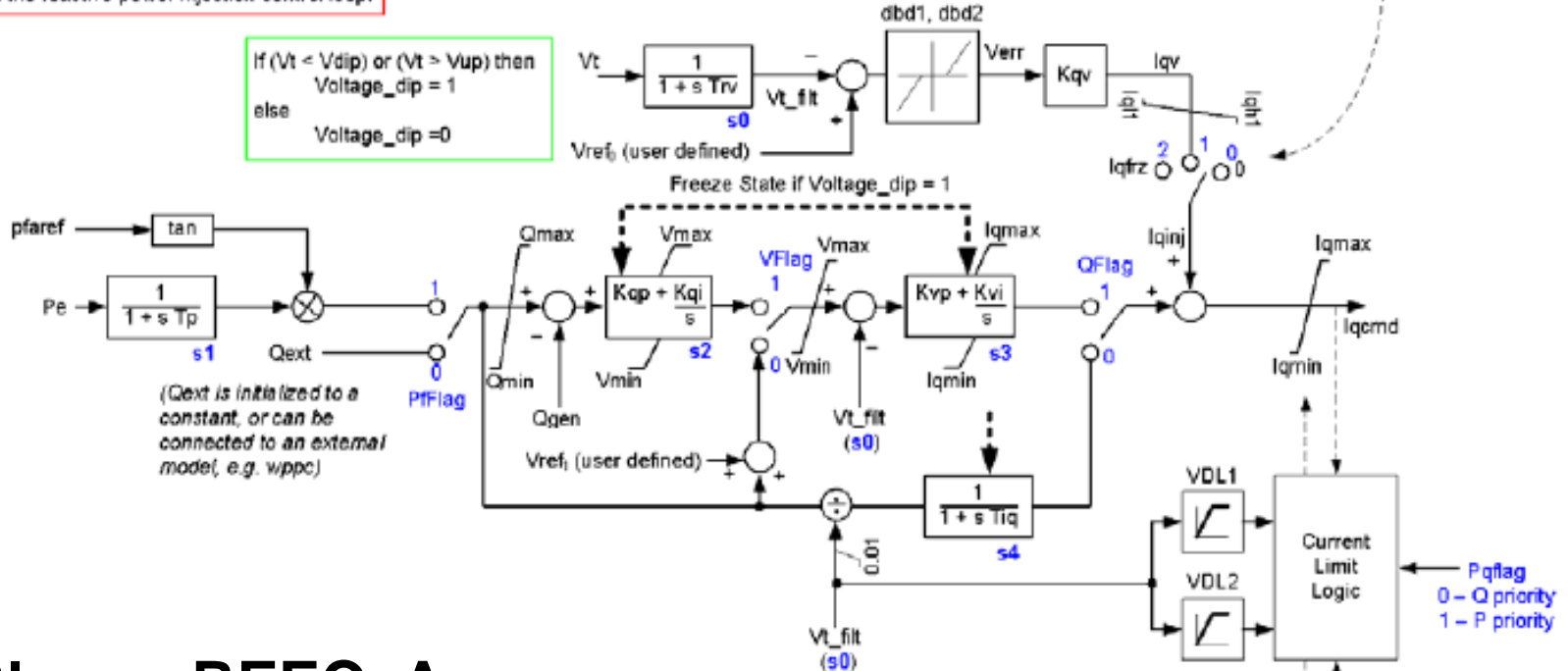
Nota importante: Este bloque también se utiliza para modelar WT4, por lo que de forma genérica presenta la opción de que *PFlag* sea 0 o 1. Sin embargo, por tratarse de WT3 **SIEMPRE** se toma el valor de 1 para ver efecto de oscilaciones torsionales en *P*.

Warning!!

Extreme care should be taken in coordinating the parameters dbd1, dbd2 and Vdip, Vup so as not to have an unintentional response from the reactive power injection control loop.

State Transition – switch position
State 0 - If Voltage_dip = 0, normal operation (|qinj| = 0)
State 1 - If Voltage_dip = 1; |qinj| goes to position 1
State 2 - If Thid > 0, then after voltage_dip goes back to zero, set value to |qtr2| for t= Thid, after which go back to state 0
- If Thid < 0, then after voltage_dip returns to zero stay in State 1 for t = Thid, after which go back to state 0.

If (Vt < Vdip) or (Vt > Vup) then
Voltage_dip = 1
else
Voltage_dip = 0

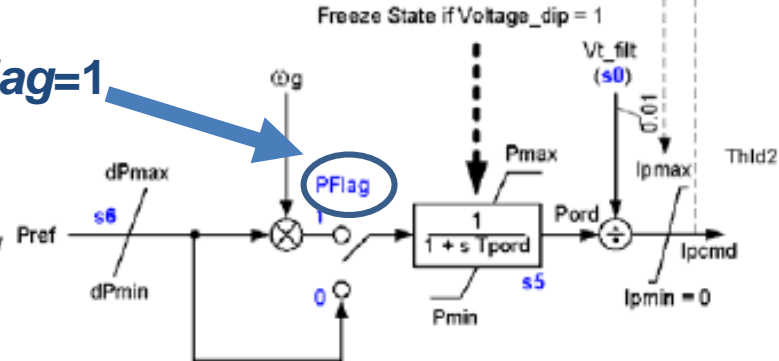


(Qext is initialized to a constant, or can be connected to an external mode, e.g. wppc)

(Ppref is initialized to a constant, or can be connected to an external model)

Bloque REEC_A

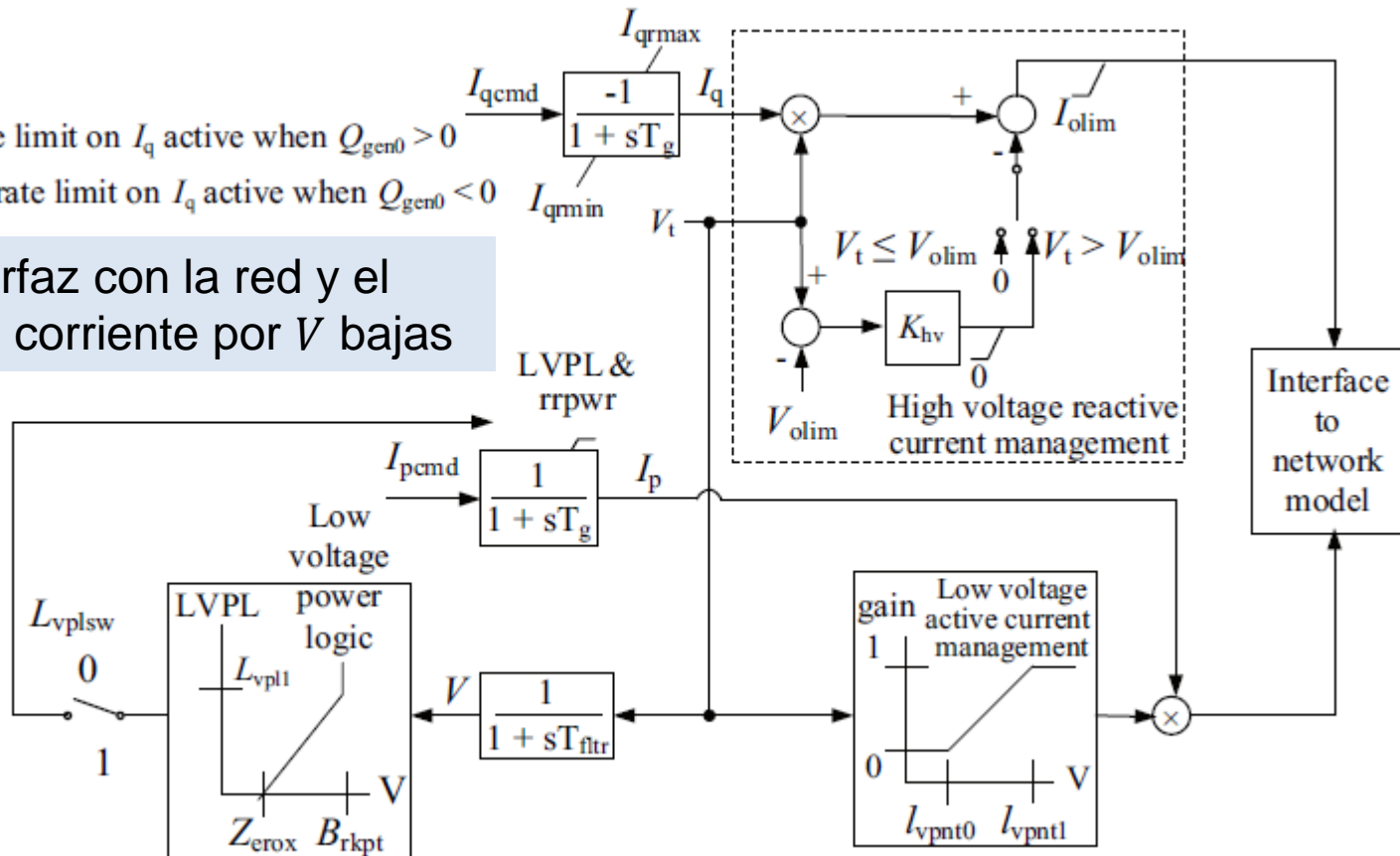
PFlag=1



Modelo REGC_A: Convertidor/generador de energía renovable A

Nombre genérico WECC	PSS/e	PSLF (GE)	PowerWorld
REGC_A	REGCAU1 (V33) REGCA1 (V34)	regc_a	regc_a

Modela interfaz con la red y el limitador de corriente por V bajas

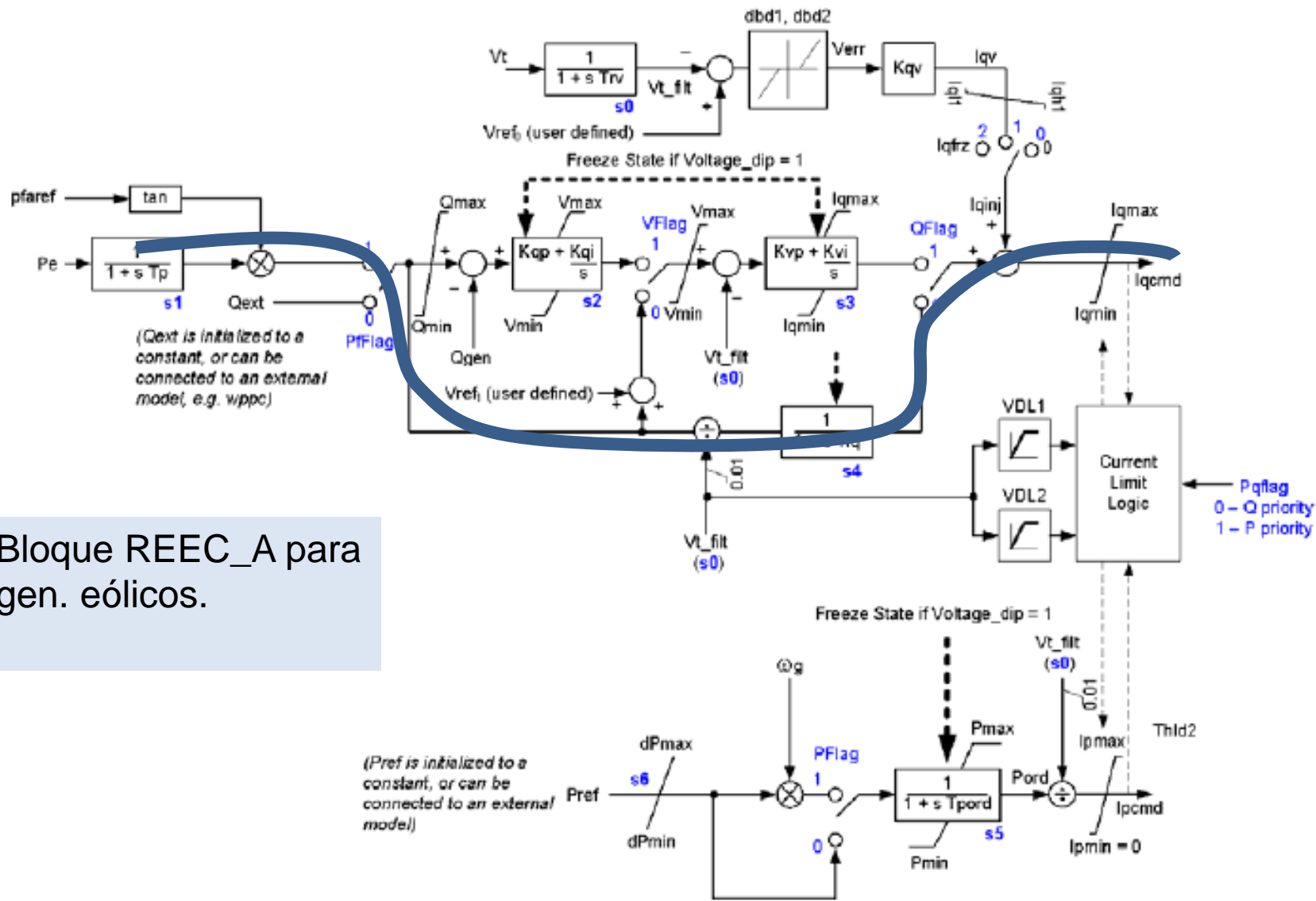


Modos de control de potencia reactiva que permite el WT3:

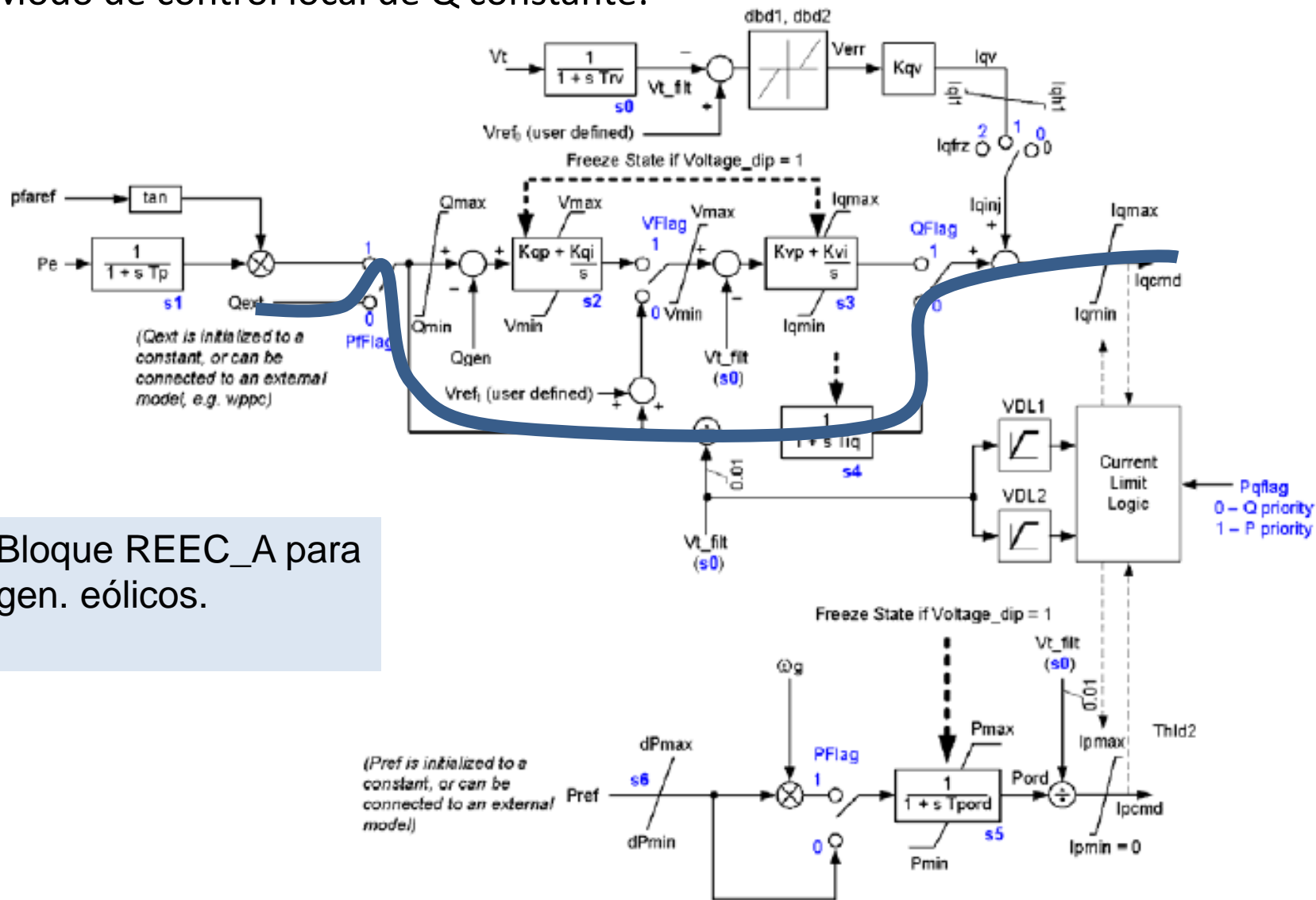
Modo de control de reactivo	Bloques requeridos	PfFlag	Vflag	Qflag	RefFlag
Control local de fp constante	REEC_A	1	N/A	0	N/A
Control local de Q constante	REEC_A	0	N/A	0	N/A
Control local de V	REEC_A	0	0	1	N/A
Control local coordinado V/Q	REEC_A	0	1	1	N/A
Control de Q a nivel de planta	REPC_A REEC_A	0	N/A	0	0
Control de V a nivel de planta	REPC_A REEC_A	0	N/A	0	1
Control de Q a nivel de planta + control local coordinado V/Q	REPC_A REEC_A	0	1	1	0
Control de V a nivel de planta + control local coordinado V/Q	REPC_A REEC_A	0	1	1	1

Nota: En todos los modos se usa el bloque REGC_A

1) Modo de control local de fp constante:

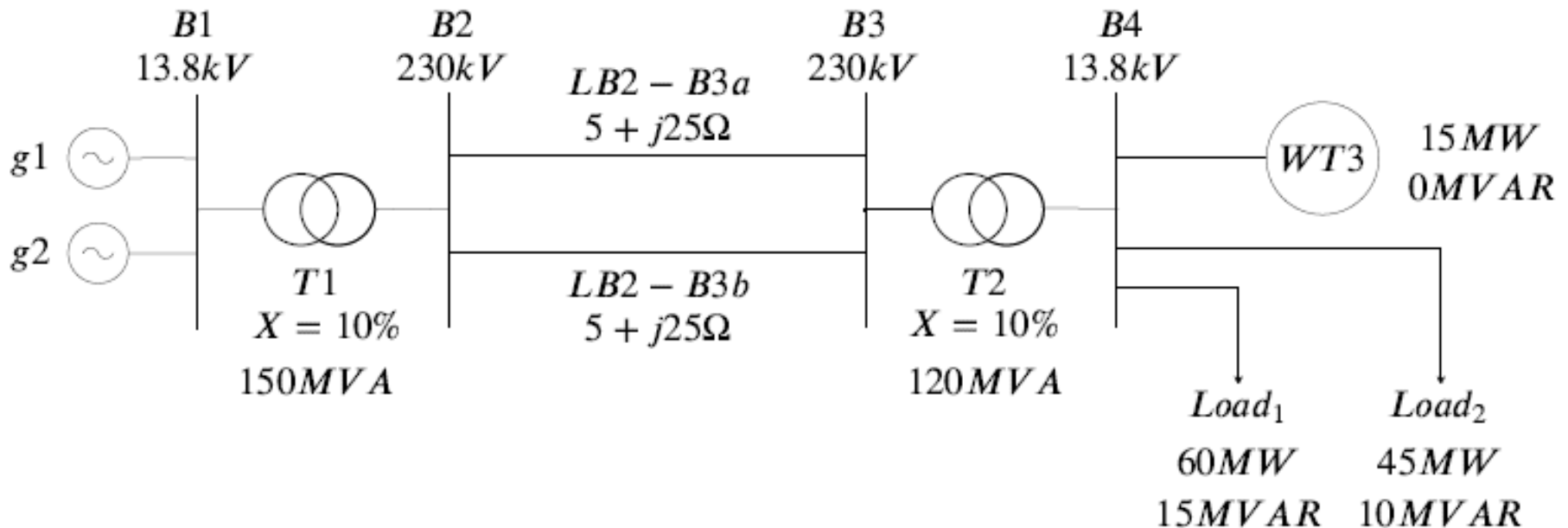


2) Modo de control local de Q constante:



Simulaciones

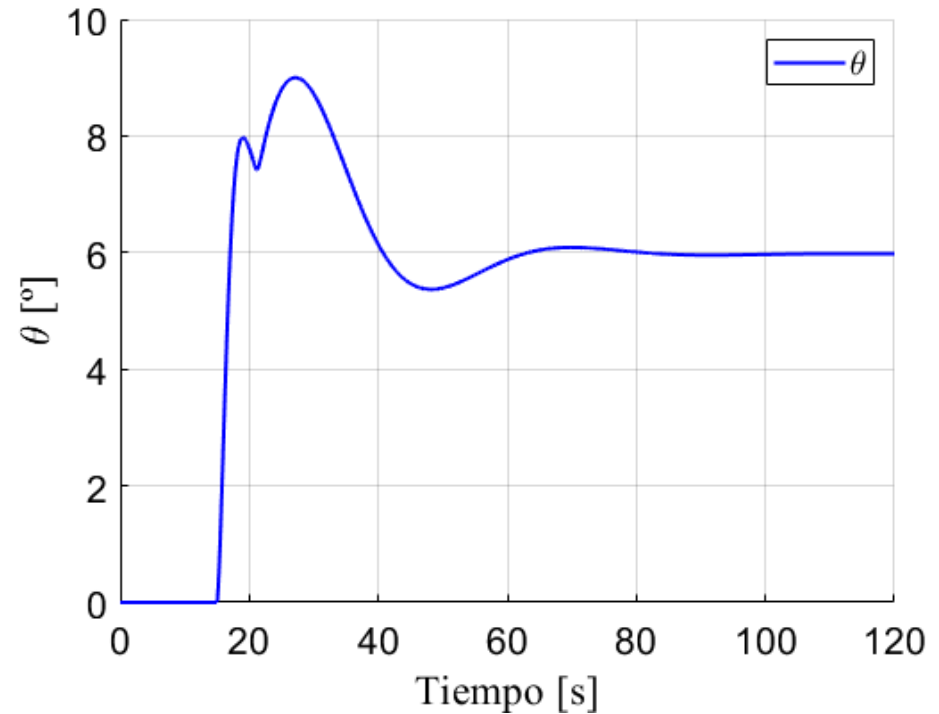
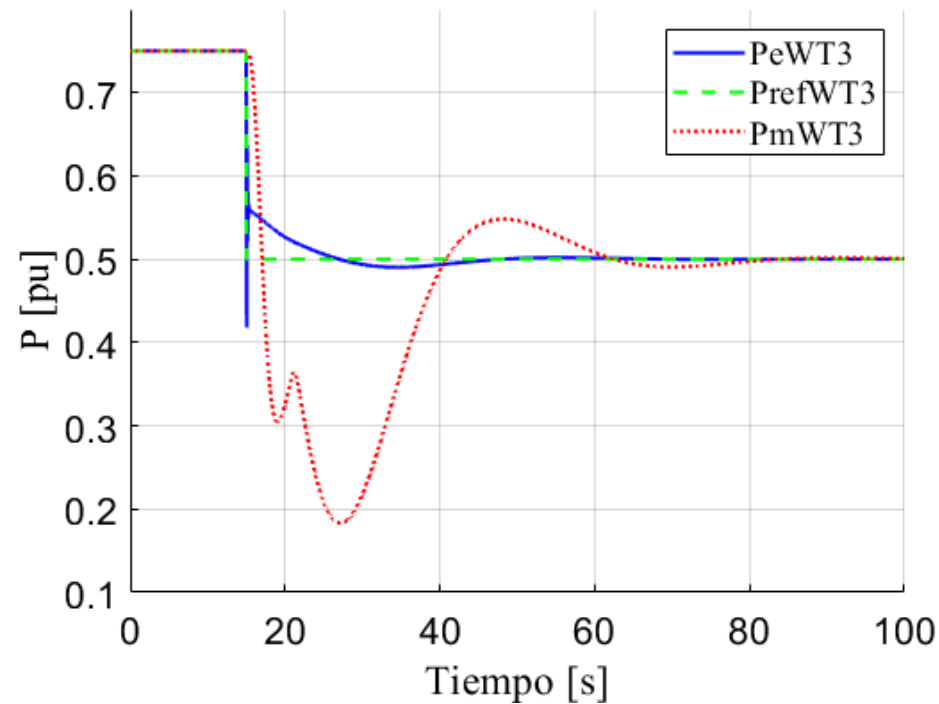
Simulamos disminución en el setpoint P_{ref0} del WT3. Usamos control local de **Q constante**.



Red de prueba modelada en software RAMSES, UCR 2019.

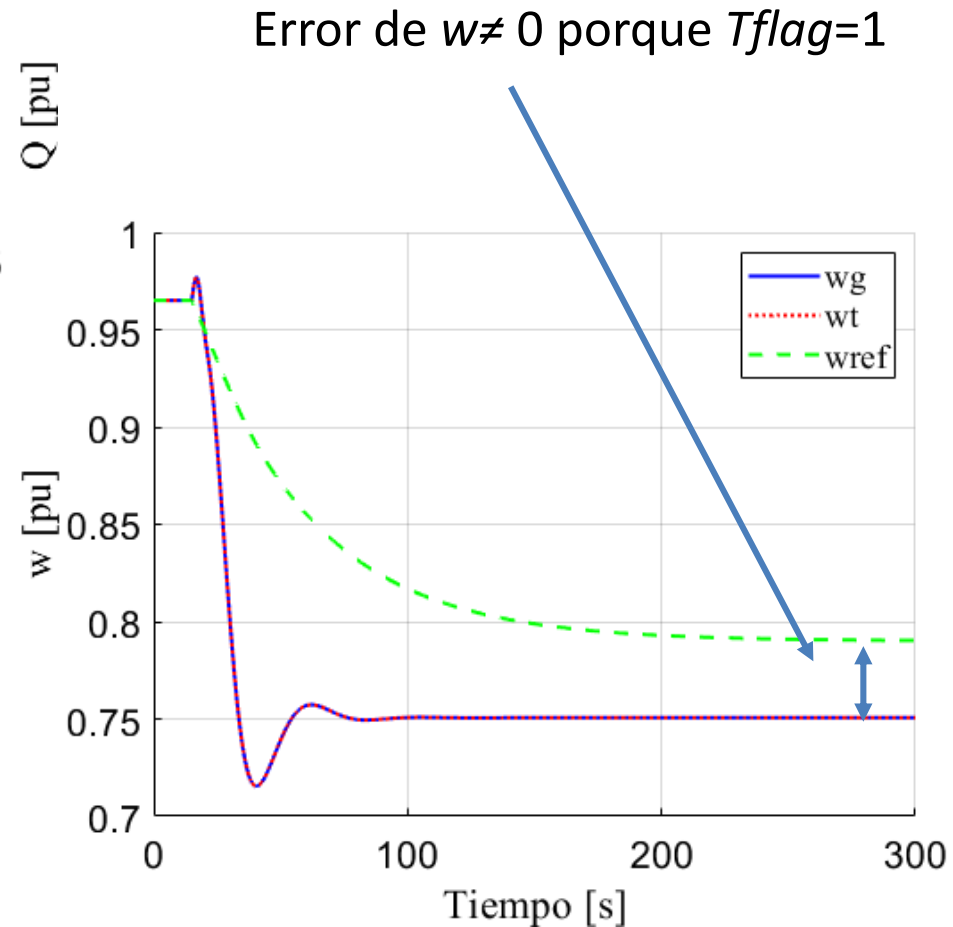
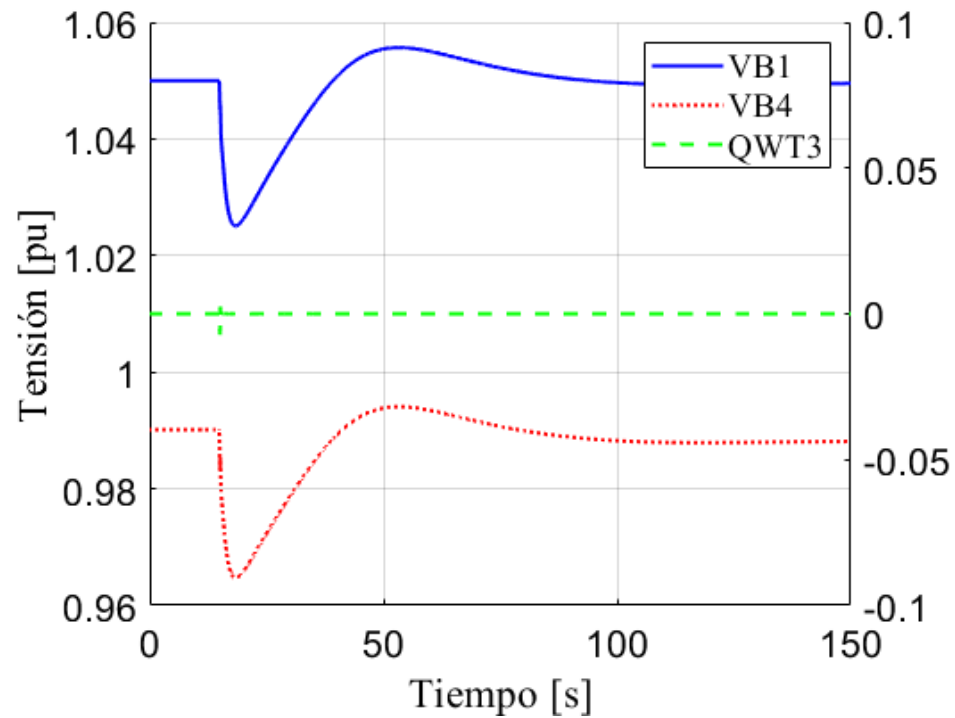
Simulaciones

Disminución en la referencia de potencia activa (P_{ref0}) de WT3



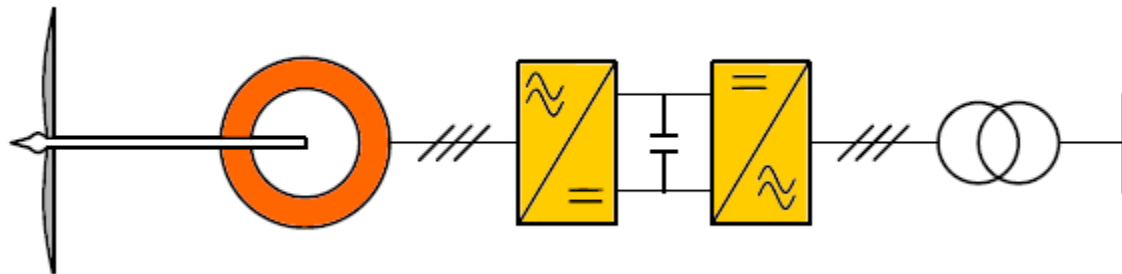
Se observa que al aumentar θ , la potencia mecánica disminuyó.

Disminución en la referencia de potencia activa (P_{ref0}) de WT3

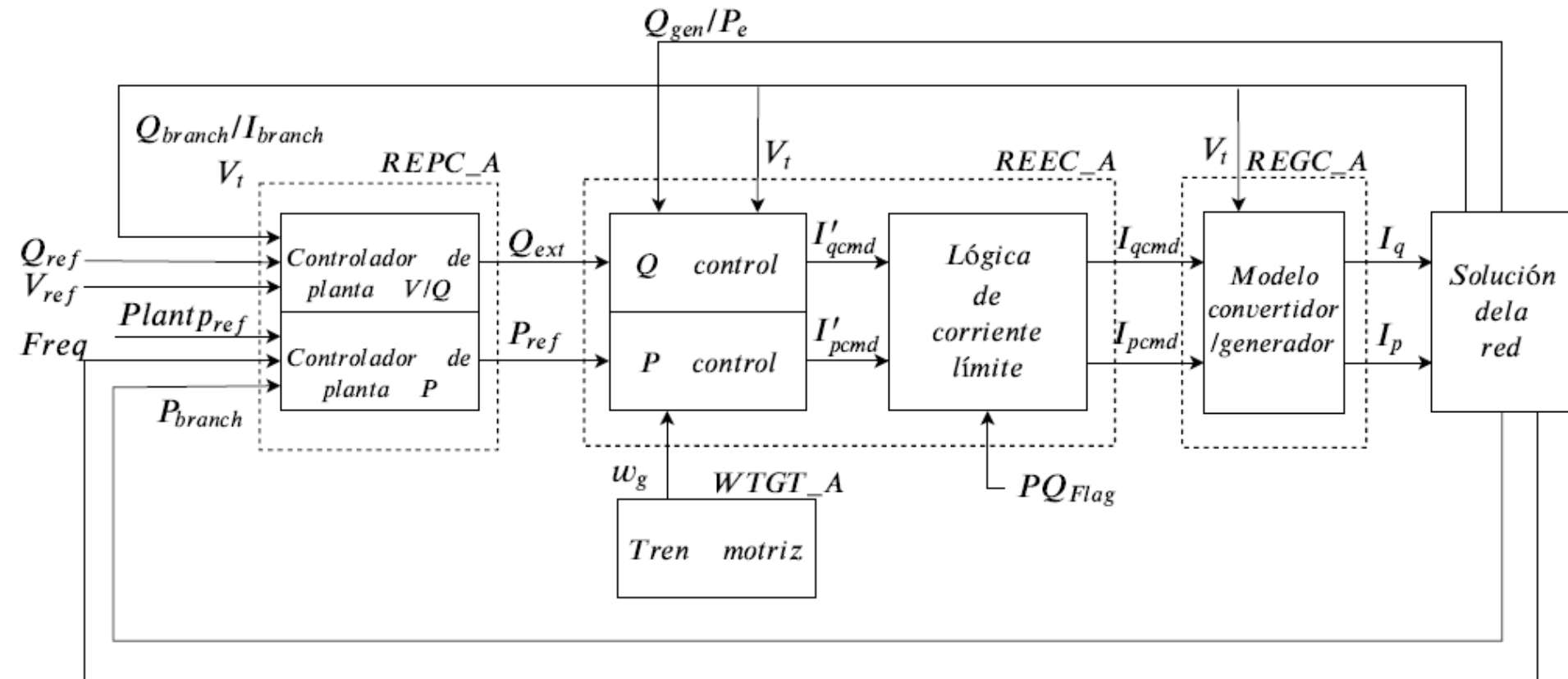


Modelo WT4

Bloque	Nombre
REPC_A	Controlador de planta de energía renovable A
REEC_A	Control eléctrico de energía renovable A
REGC_A	Convertidor/generador de energía renovable A
WTGT_A	Tren motriz del generador de la turbina de viento A

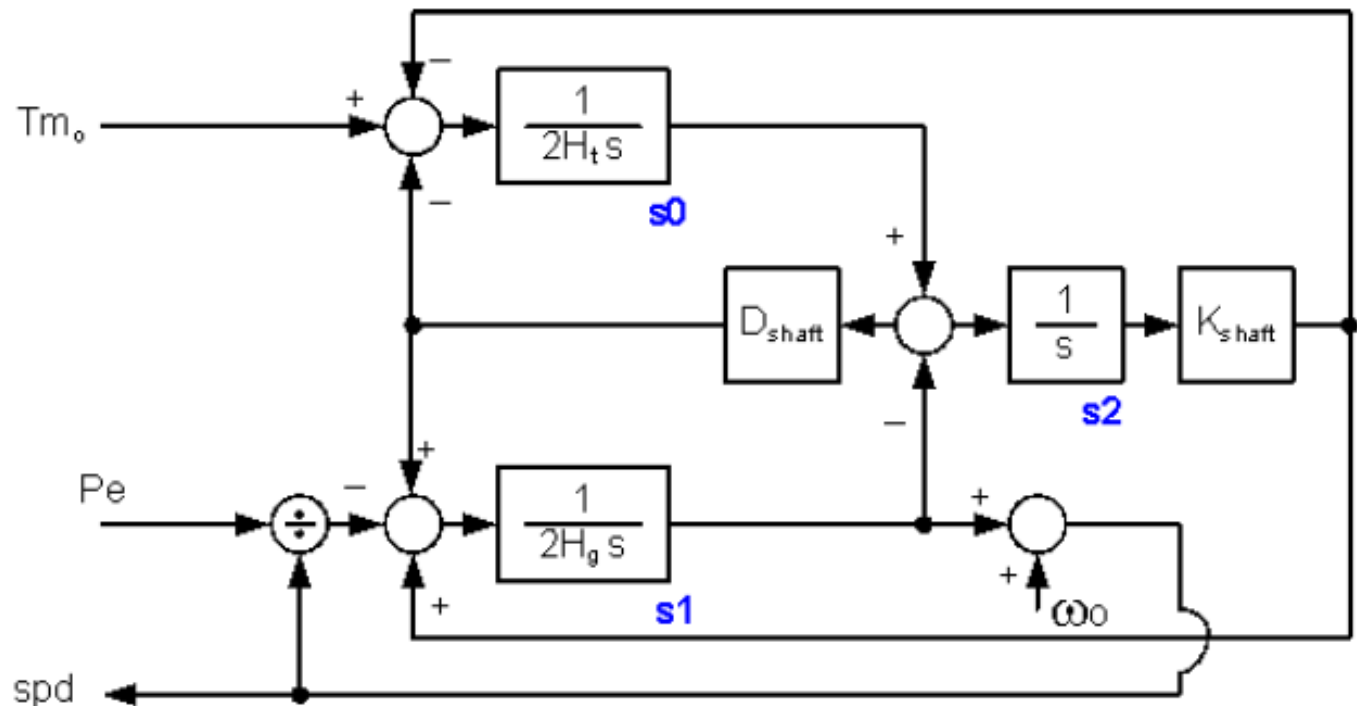


Modelo WT4



Los 4 bloques del modelo WT4 son los mismos al WT3, el único que experimenta un pequeño cambio es WTGT_A (se elimina w_t y el par mecánico T_{m0} se fija en su valor inicial)

WTGT_A simplificado



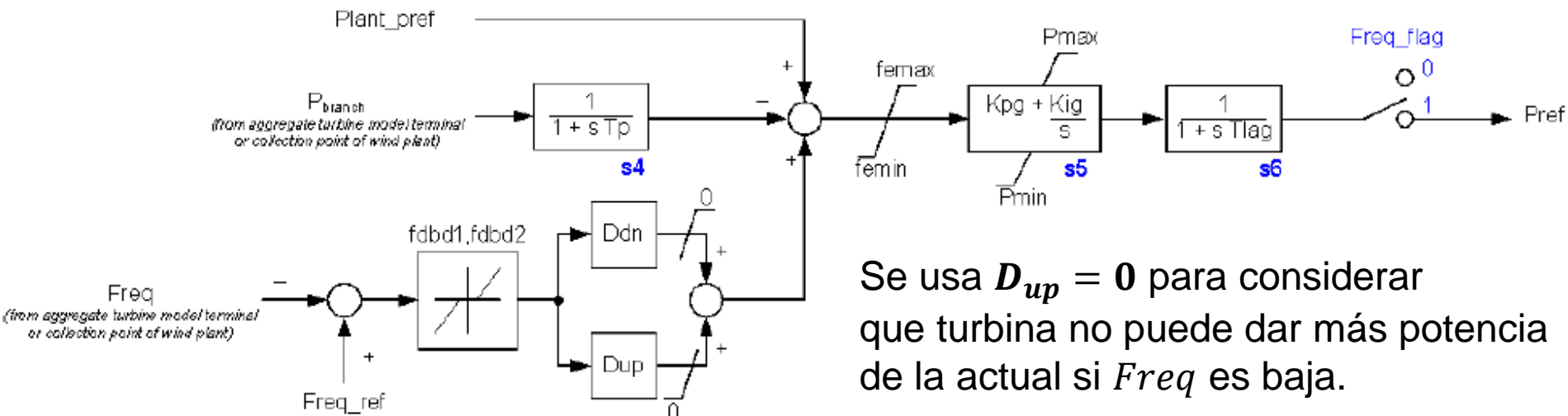
Modelo WT4

- Este modelo cuenta con exactamente los mismos modos de control de Q que tenía el WT3.
- En este caso, *PFlag* sí puede tomar cualquiera de los dos valores:
 - ✓ *Pflag=1* si se desea emular las oscilaciones torsionales en la potencia de salida.
 - ✓ *Pflag=0* si no se desea emular las oscilaciones torsionales en la potencia de salida.

Modelo WT4

Respuesta en frecuencia ($Freqflag = 1$) del modelo está dada por el controlador de planta P del modelo **REPC_A**:

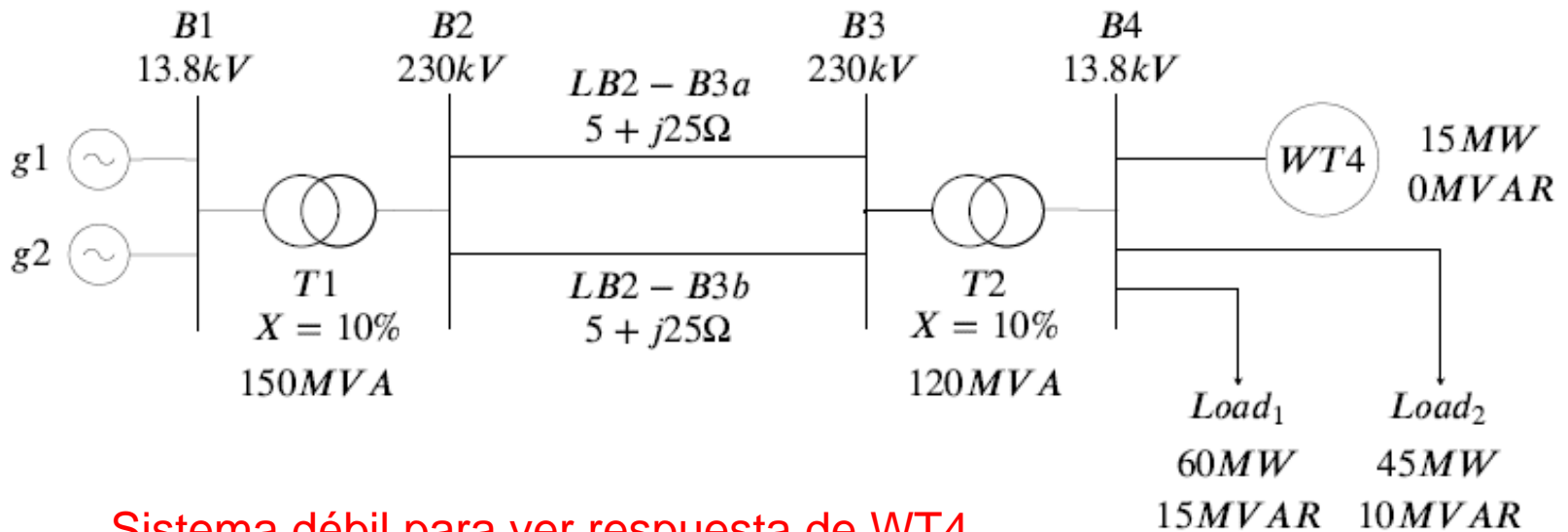
Funcionalidad	Freqflag	Ddn	Dup
Sin respuesta en frecuencia	0	N/A	N/A
Respuesta a alta frecuencia	1	>0	0
Respuesta a alta y baja frecuencia	1	>0	>0



Se usa $D_{up} = 0$ para considerar que turbina no puede dar más potencia de la actual si $Freq$ es baja.

Simulaciones

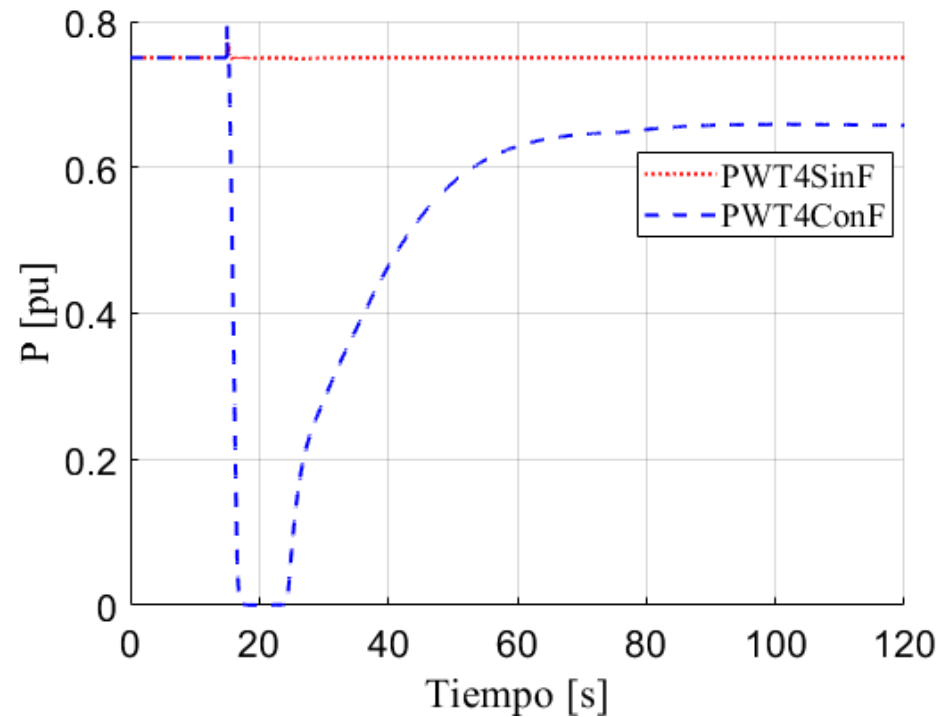
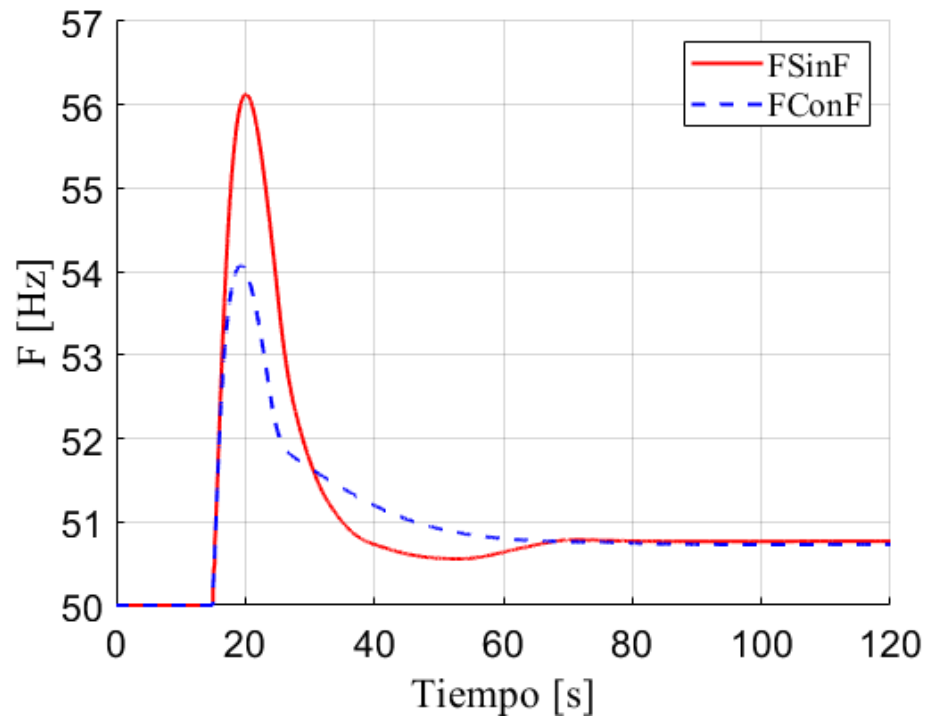
Simulamos la salida de $Load_2$ (aumento en frecuencia). Usamos control de V a nivel de planta. Frecuencia nominal es 50 Hz.



Sistema débil para ver respuesta de WT4.

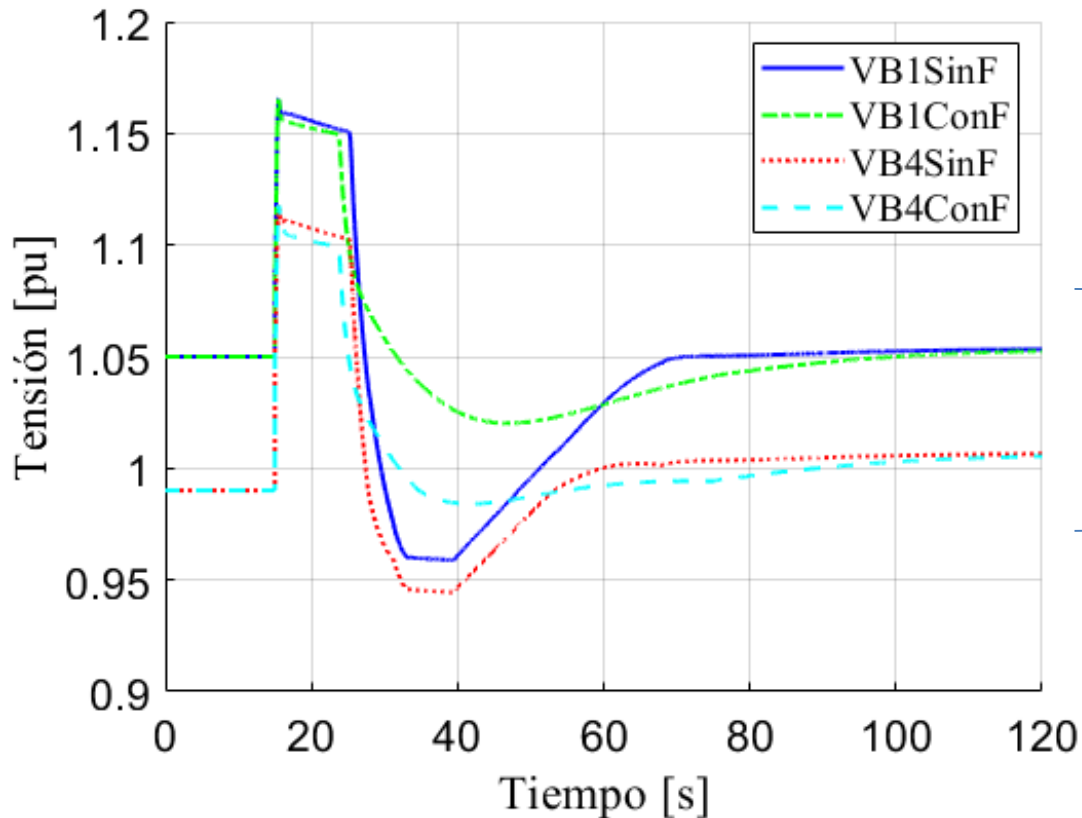
Simulaciones

Comportamiento de WT4 ante salida de $Load_2$. Se simularon 2 casos: a) **con** y b) **sin** respuesta de frecuencia.



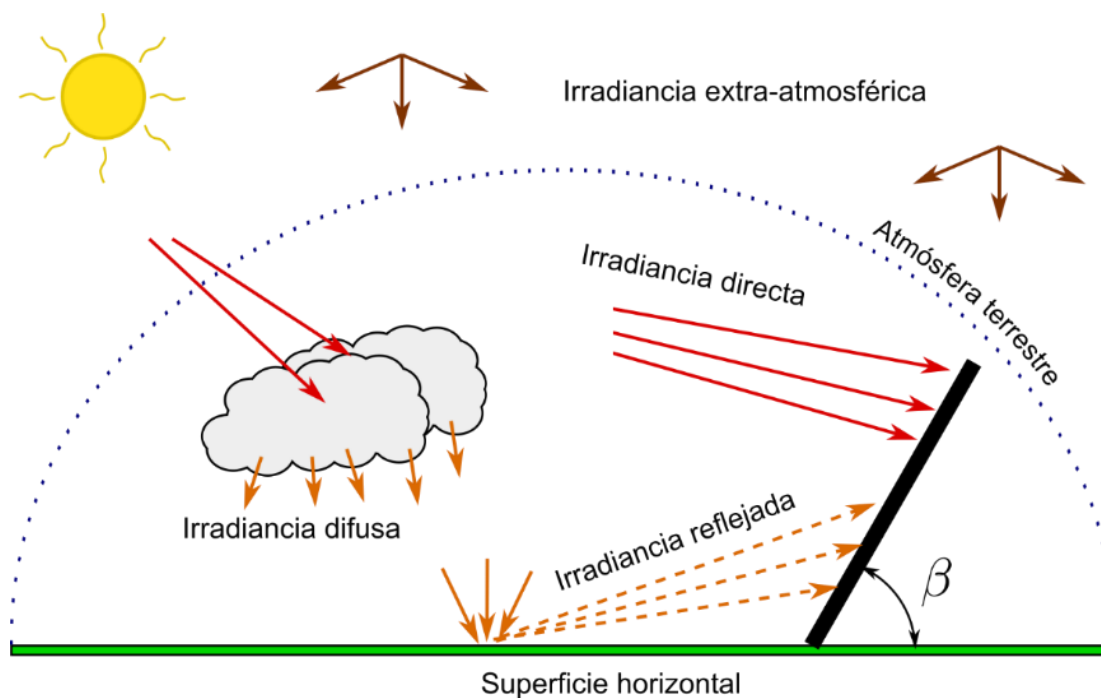
Simulaciones

Comportamiento de WT4 ante salida de $Load_2$. Se simuló con control de V a nivel de planta **con y sin** respuesta de frecuencia.



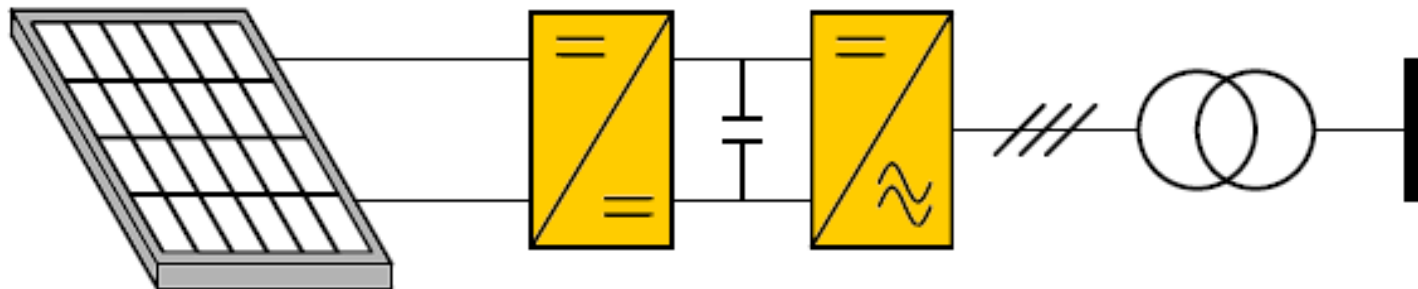
Tensiones igual a condición antes de perturbación.

Plantas Fotovoltaicas (PV)



Modelado de Planta PV

Usados para estudios de estabilidad de sistemas de potencia, no para representar transitorios en la irradiancia solar. Además se ignoran las dinámicas del lado DC del inversor.

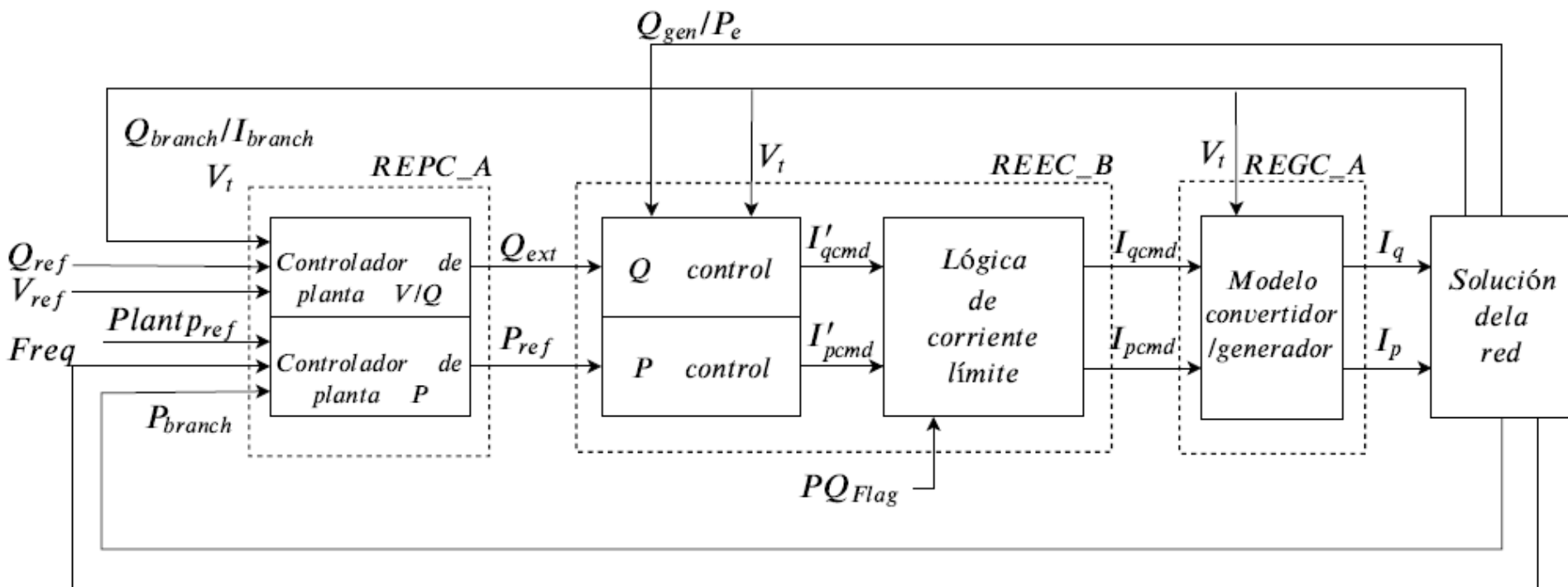


Modelado de PV

Bloque	Nombre
REPC_A	Controlador de planta de energía renovable A
REEC_B	Control eléctrico de energía renovable B
REGC_A	Convertidor/generador de energía renovable A



Modelo de Planta PV



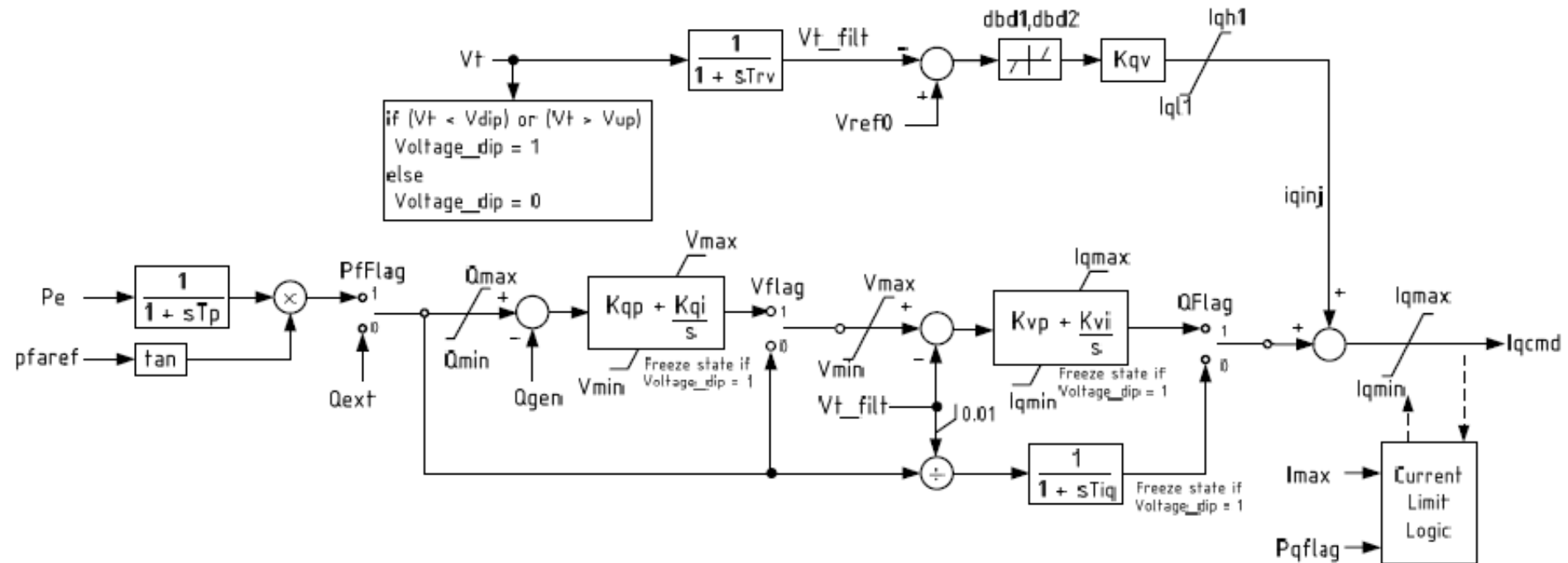
Modelo de Planta PV

El modelo usa 2 bloques ya vistos anteriormente: REPC_A y REGC_A. El bloque que cambia es el de control eléctrico, que para un PV corresponde al tipo REEC_B.

Modelo **REEC_B**: Control eléctrico de energía renovable B

Nombre genérico WECC	PSS/e	PSLF (GE)	PowerWorld
REEC_B	REECBU1 (V33) REECB1 (V34)	reec_b	reec_b

Al igual que en baterías, este último bloque se asemeja mucho al de tipo A. Debido a esta gran semejanza, los modos de control de Q son esencialmente los mismos que se vieron anteriormente.



Current Limit Logic

Q Priority ($Pqflag = 0$):

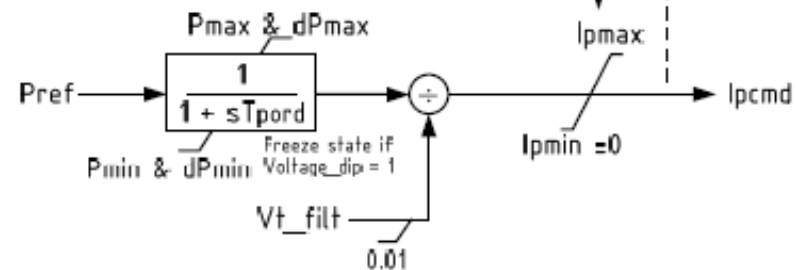
$$I_{pmax} = (I_{max}^2 - I_{qcmd}^2)^{1/2}, I_{pmin} = 0$$

$$I_{qmax} = I_{max}, I_{qmin} = -I_{qmax}$$

P Priority ($Pqflag = 1$):

$$I_{pmax} = I_{max}, I_{pmin} = 0$$

$$I_{qmax} = (I_{max}^2 - I_{pcmd}^2)^{1/2}, I_{qmin} = -I_{qmax}$$

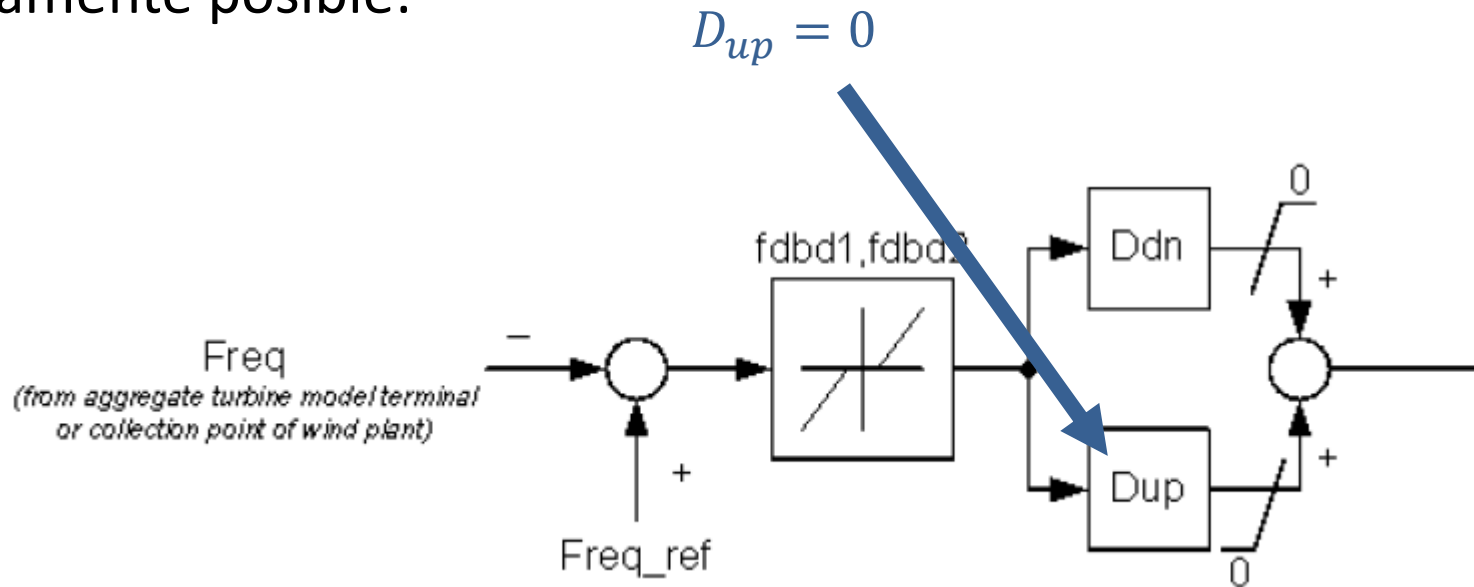


Bloque REEC_B para sistemas PV

Modelo de planta PV

Al igual que WT4, se debe tener cuidado al modelar la respuesta en frecuencia de este sistema cuando se usa el bloque REPC_A ($Freq_{flag} = 1$).

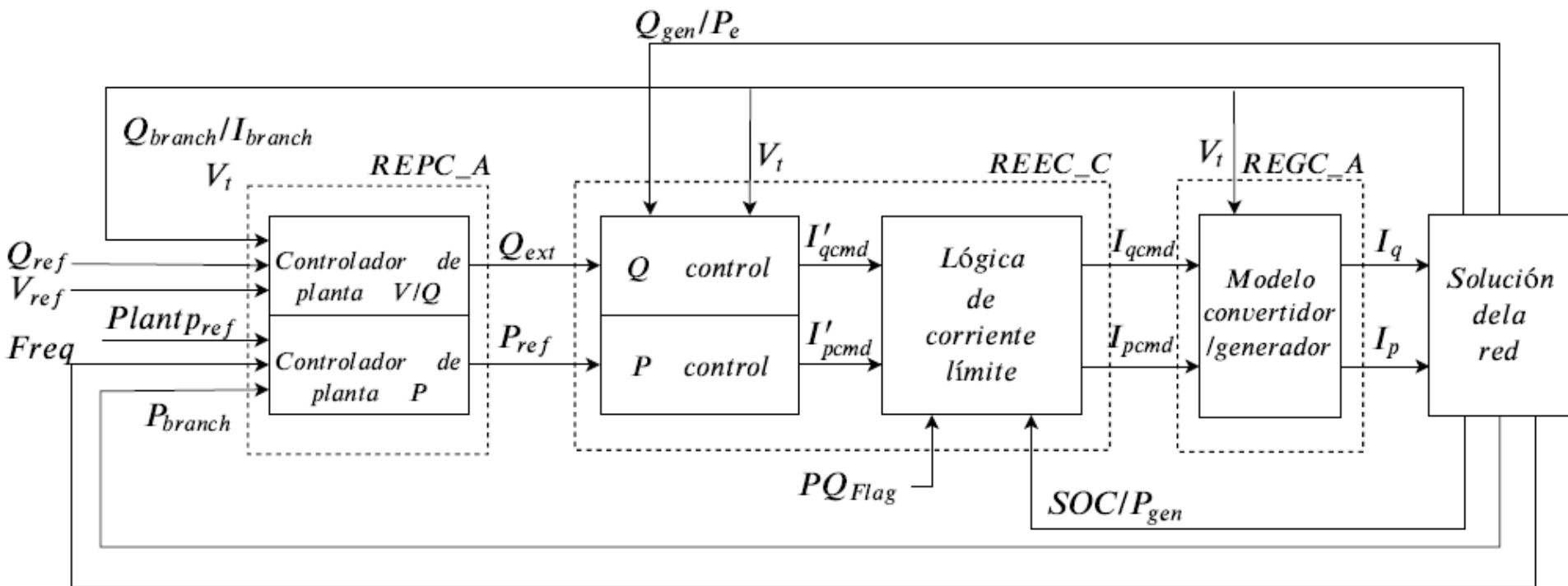
La respuesta ante baja frecuencia de estos sistemas puede no ser físicamente posible:



Modelo de Baterías

Bloque	Nombre
REPC_A	Controlador de planta de energía renovable A
REEC_C	Control eléctrico de energía renovable C
REGC_A	Convertidor/generador de energía renovable A

Modelo de Baterías (BESS)



Modelado de BESS

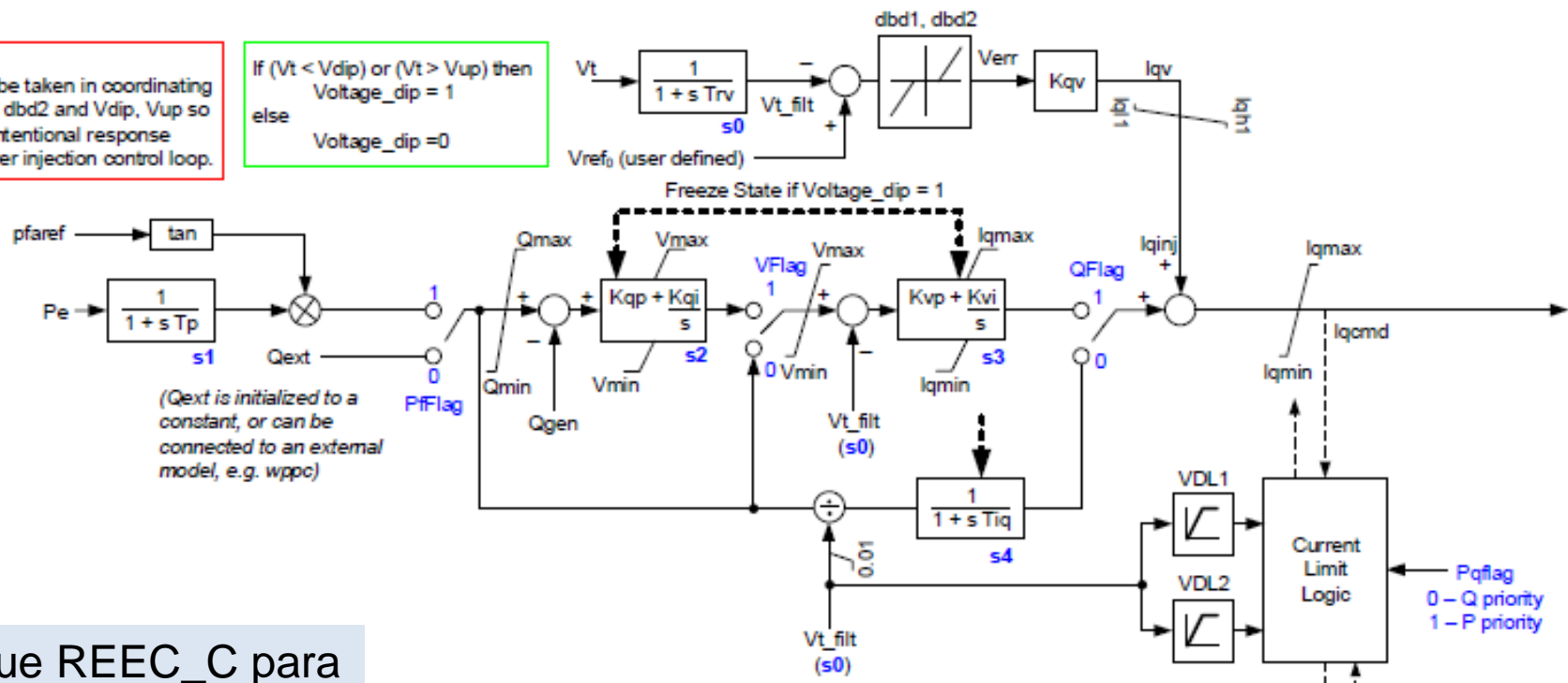
El modelo usa 2 bloques ya vistos anteriormente: REPC_A y REGC_A. El bloque que cambia es el de control eléctrico, que para una batería corresponde al de tipo **REEC_C**.

Modelo **REEC_C**: Control eléctrico de energía renovable C

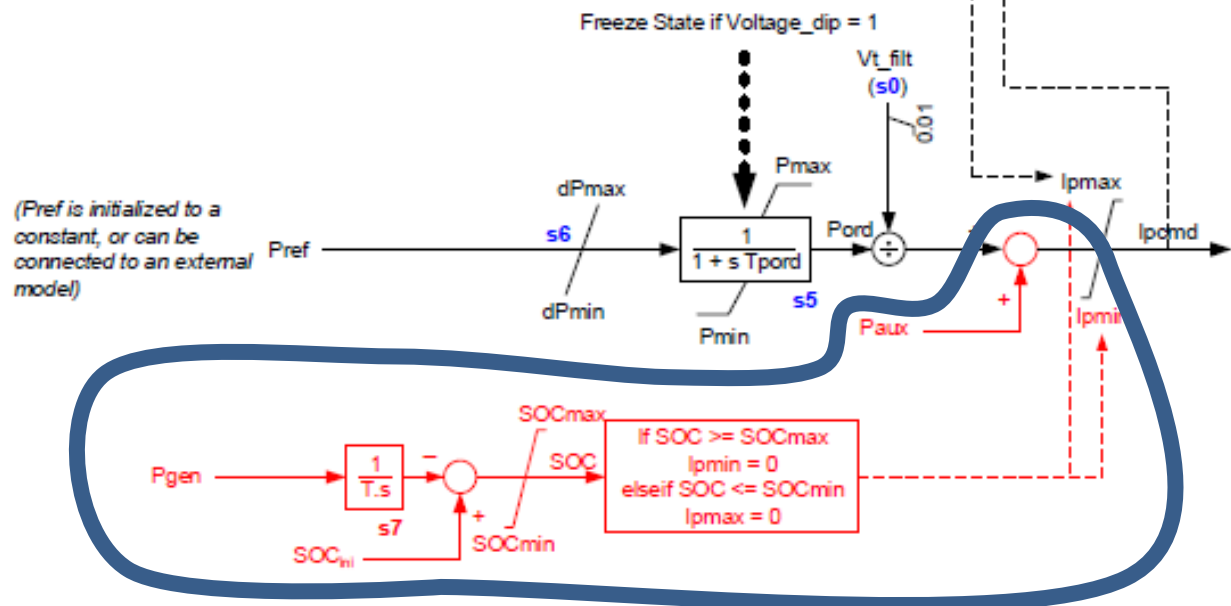
Nombre genérico WECC	PSS/e	PSLF (GE)	PowerWorld
REEC_C	REECCU1 (V33 y V34)	reec_c	reec_c

Warning!!
 Extreme care should be taken in coordinating the parameters dbd1, dbd2 and Vdip, Vup so as not to have an unintentional response from the reactive power injection control loop.

If $(V_t < V_{dip})$ or $(V_t > V_{up})$ then
 Voltage_dip = 1
 else
 Voltage_dip = 0

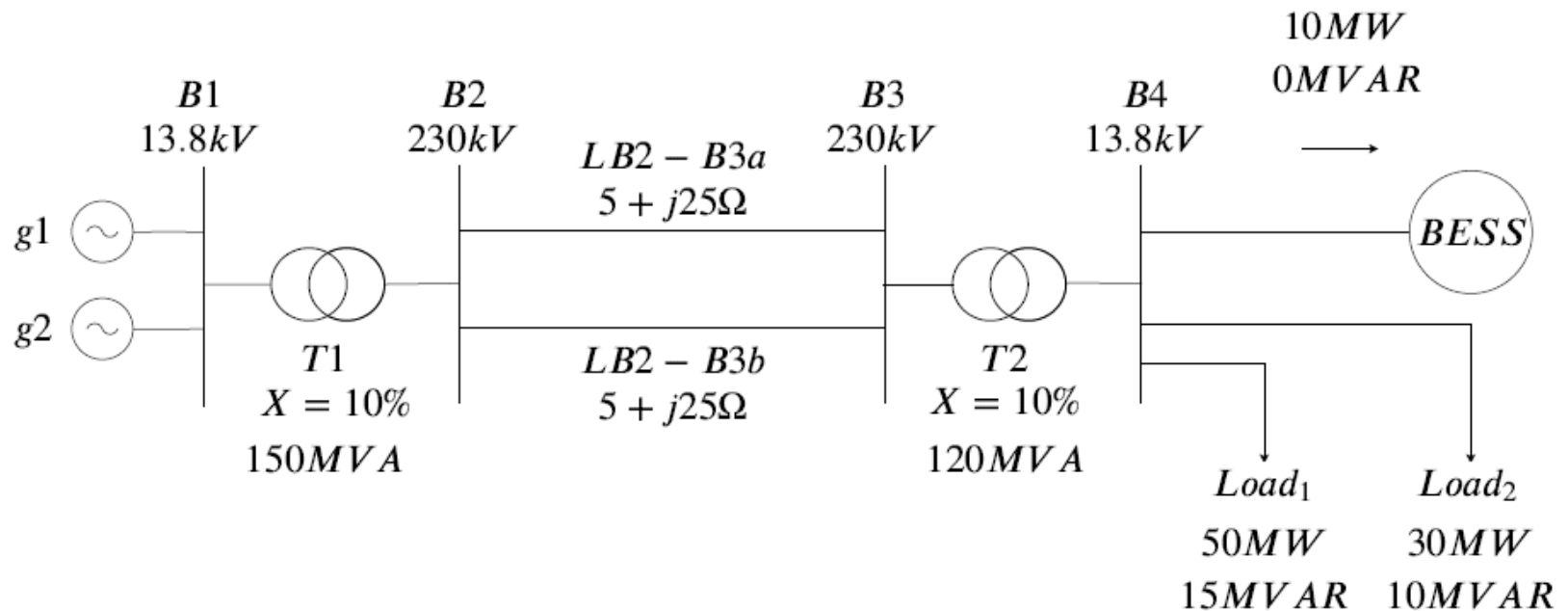


Bloque REEC_C para sistemas de baterías



Simulaciones

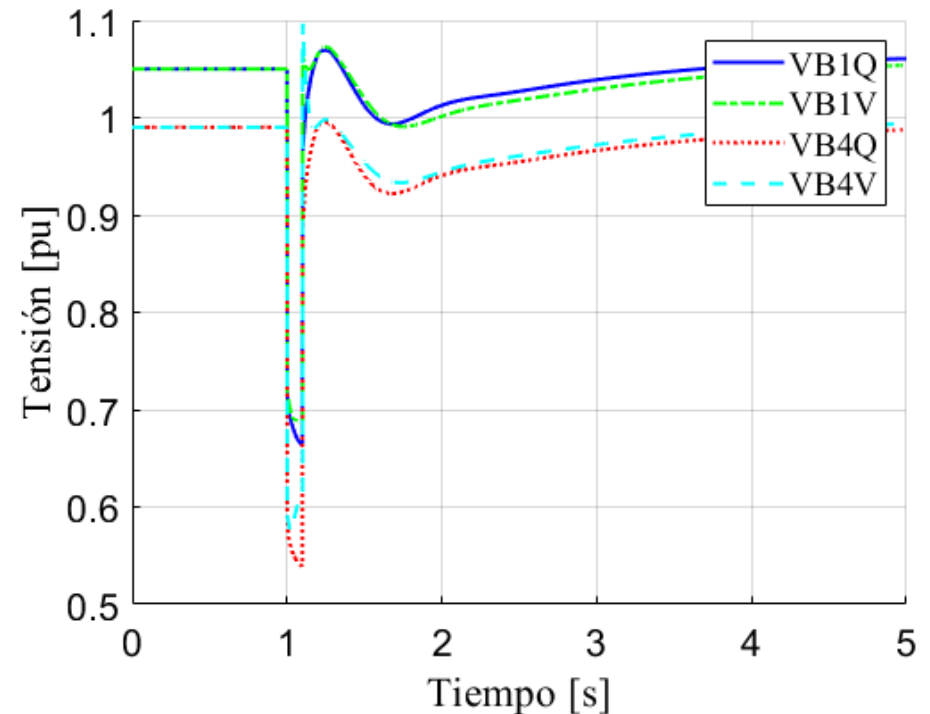
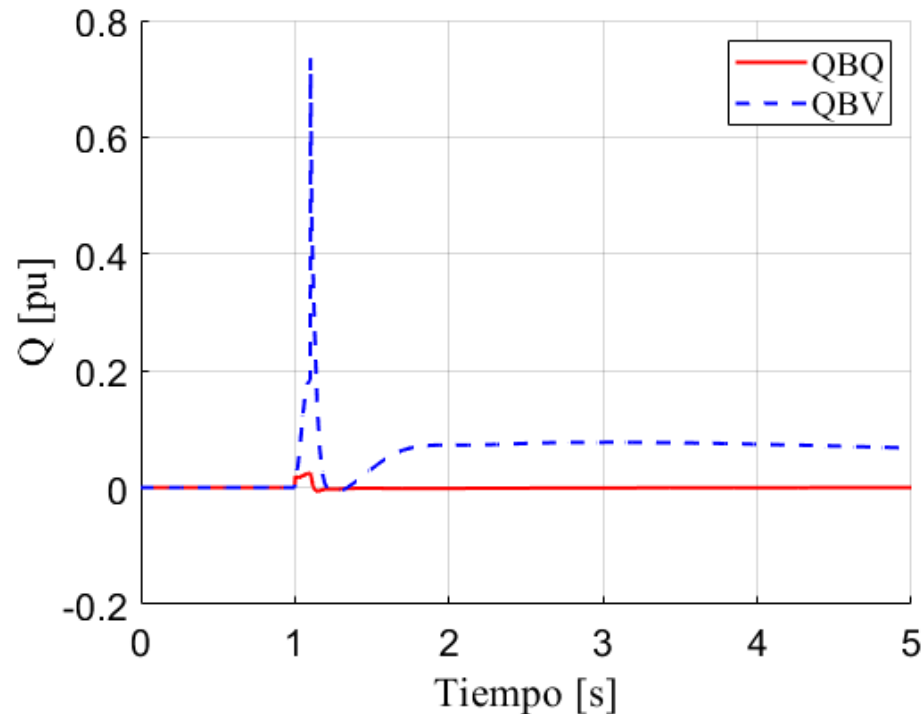
Sistema a simular para los casos descritos a continuación.



Simulaciones

Comportamiento ante falla y salida de línea LB2-B3b
BESS se simuló usando los siguientes modos de Q:

- Control local de Q constante.
- Control local de V.



Modelado de recursos distribuidos

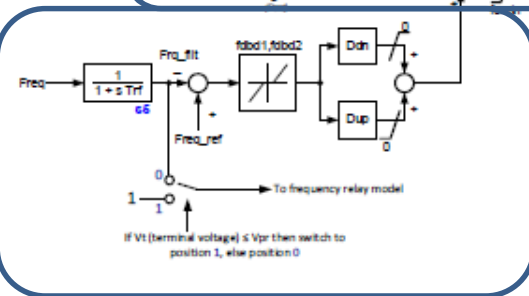
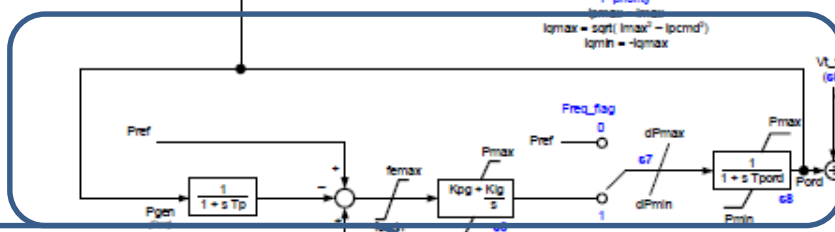
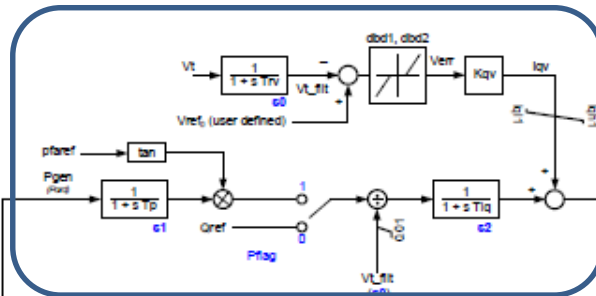
¿Debe operador de transmisión modelar cada PV y baterías en redes de media y baja tensión?

- No es práctico.
- Requeriría mucha información
- No se necesita tanto detalle
- Se pueden usar modelos agregados.

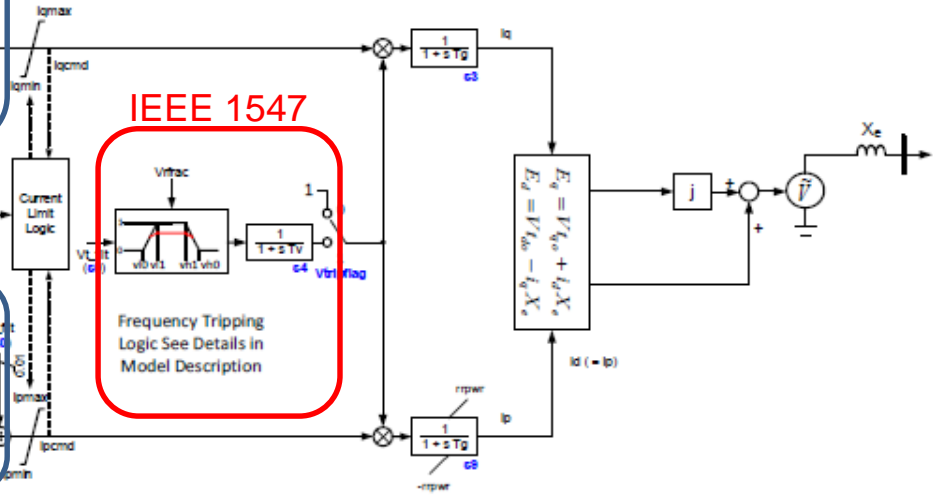
Modelo DER_A

Modelo DER_A

Control de Q y V



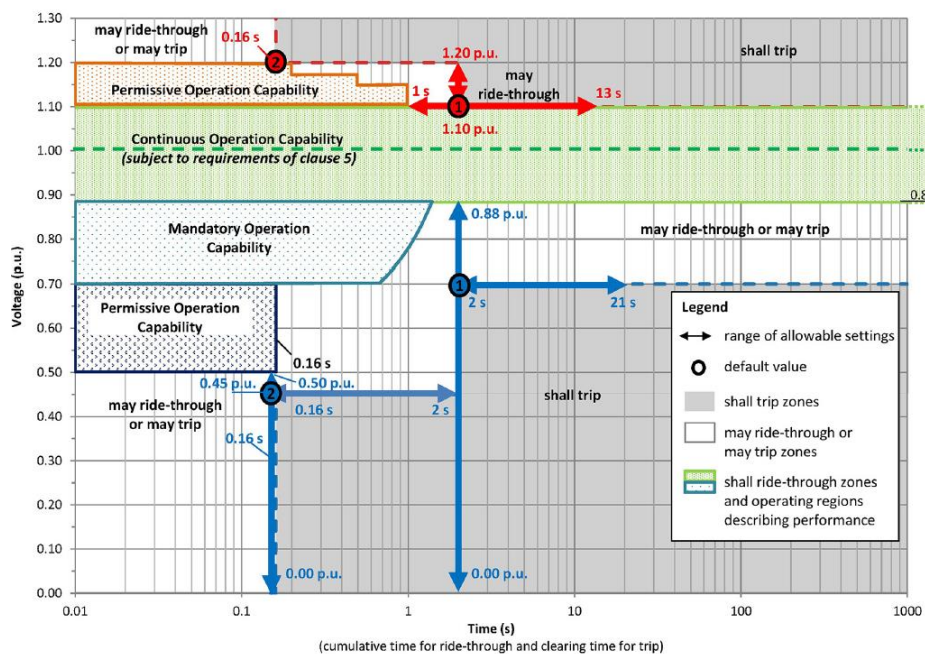
Control de P



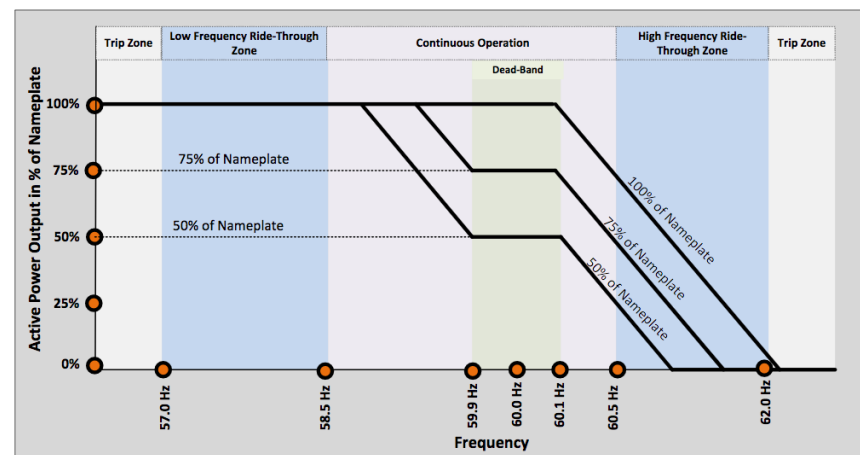
Reg. de frecuencia

Requerimientos de IEEE 1547 para DER

Low and High Voltage Ride Through



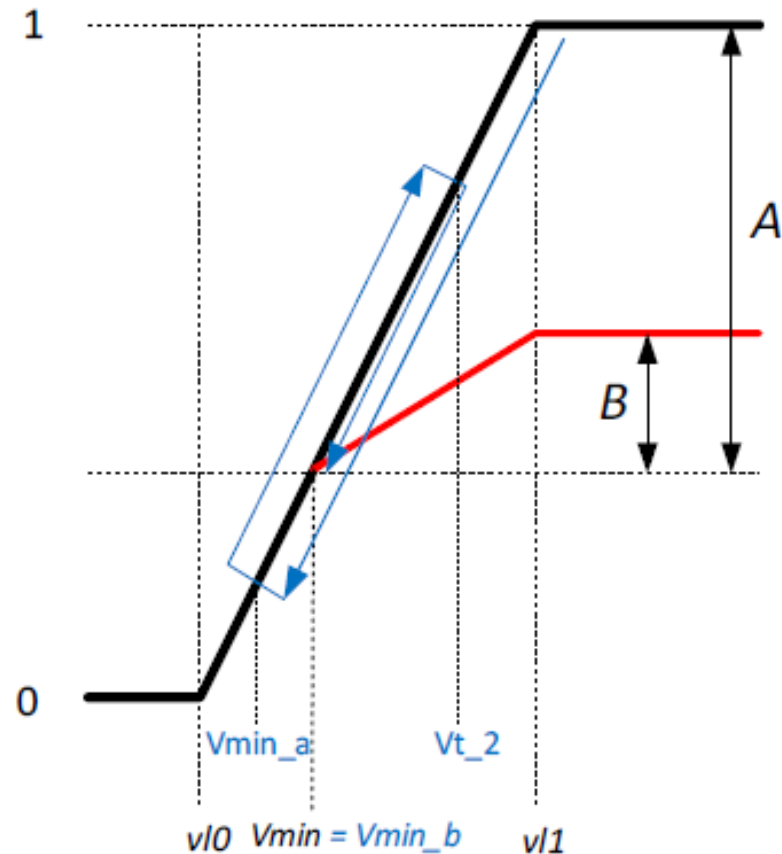
Frequency Ride Through



Requerimientos de IEEE 1547 en DER_A

Fractional tripping model:

Representa una porción de la totalidad de PVs que se desconectaron por una condición duradera de alta o baja tensión.

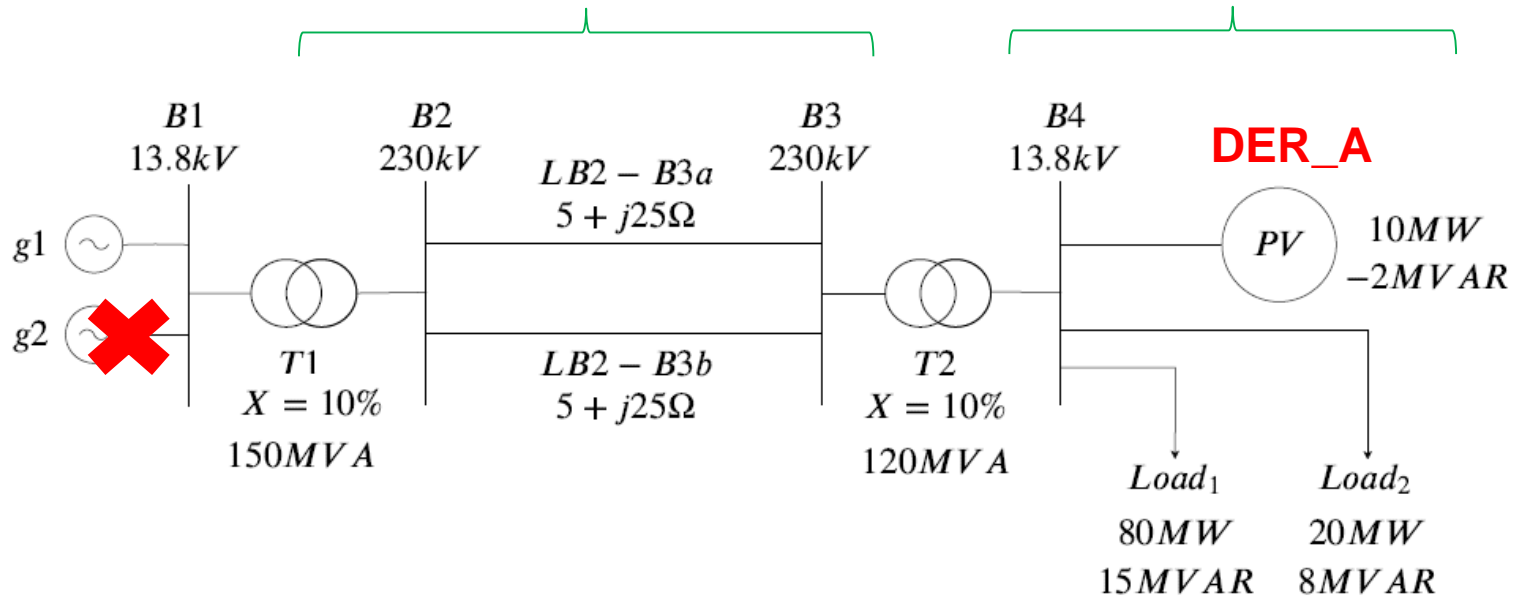


Simulaciones

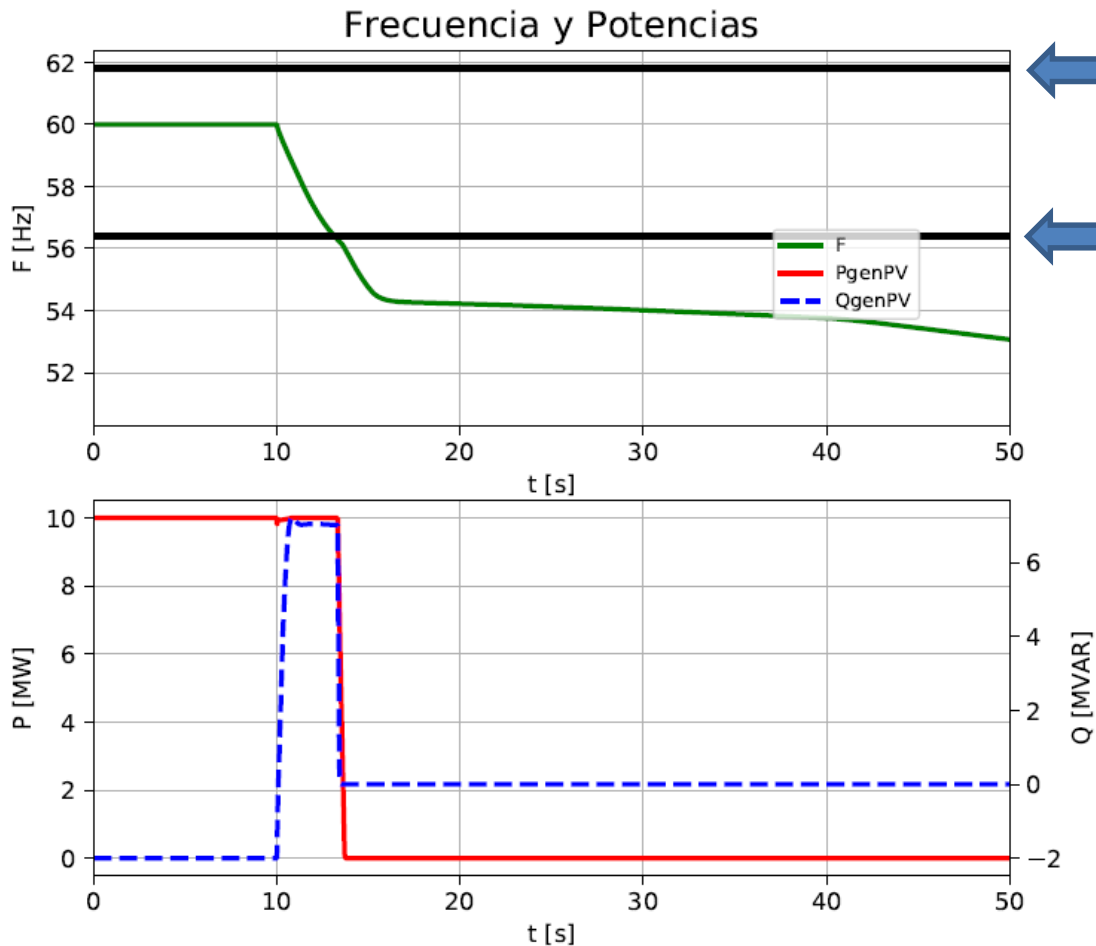
Simulamos la salida de G_2 (caída en tensión y frecuencia).
Frecuencia nominal es 60 Hz.

Red de Transmisión

Representación agregada
generadores distribuidos y
red de distribución.

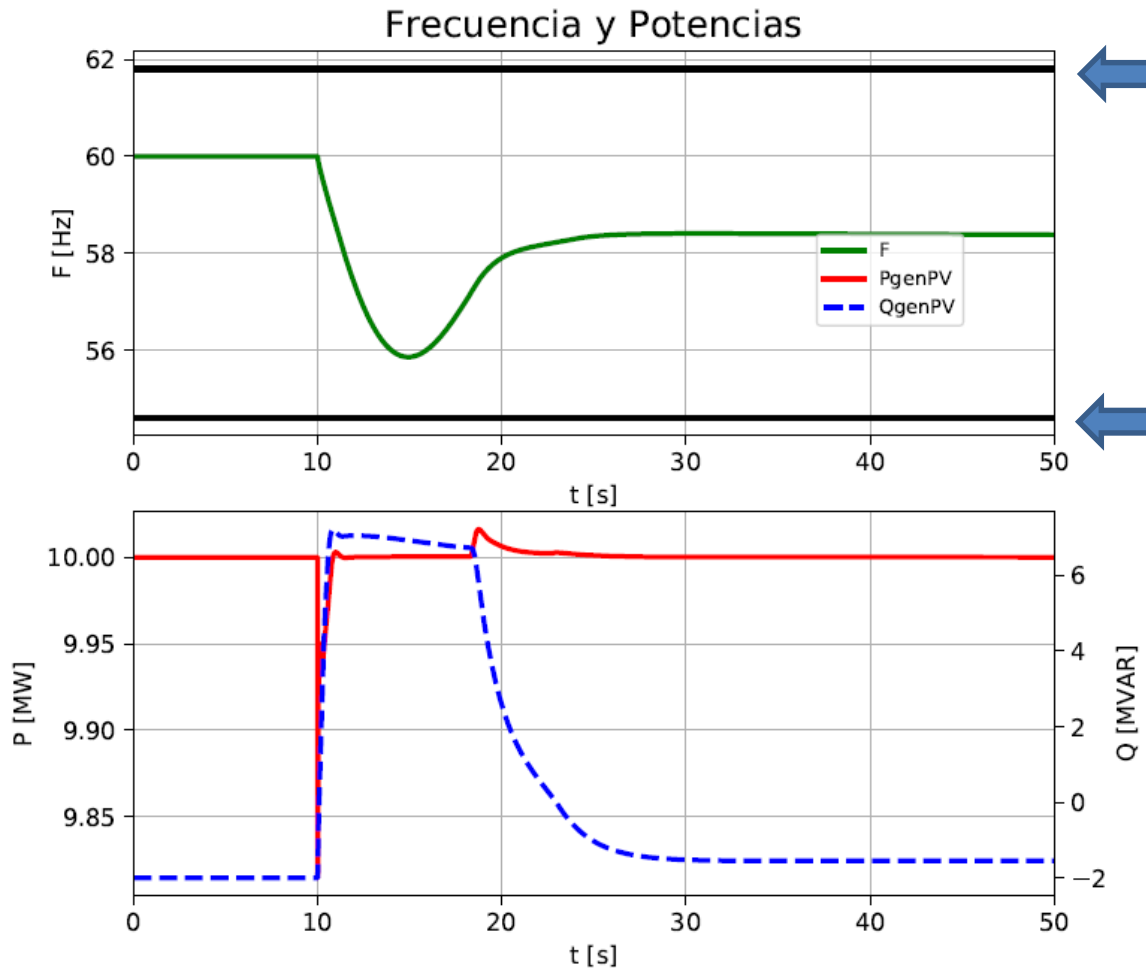


Simulaciones



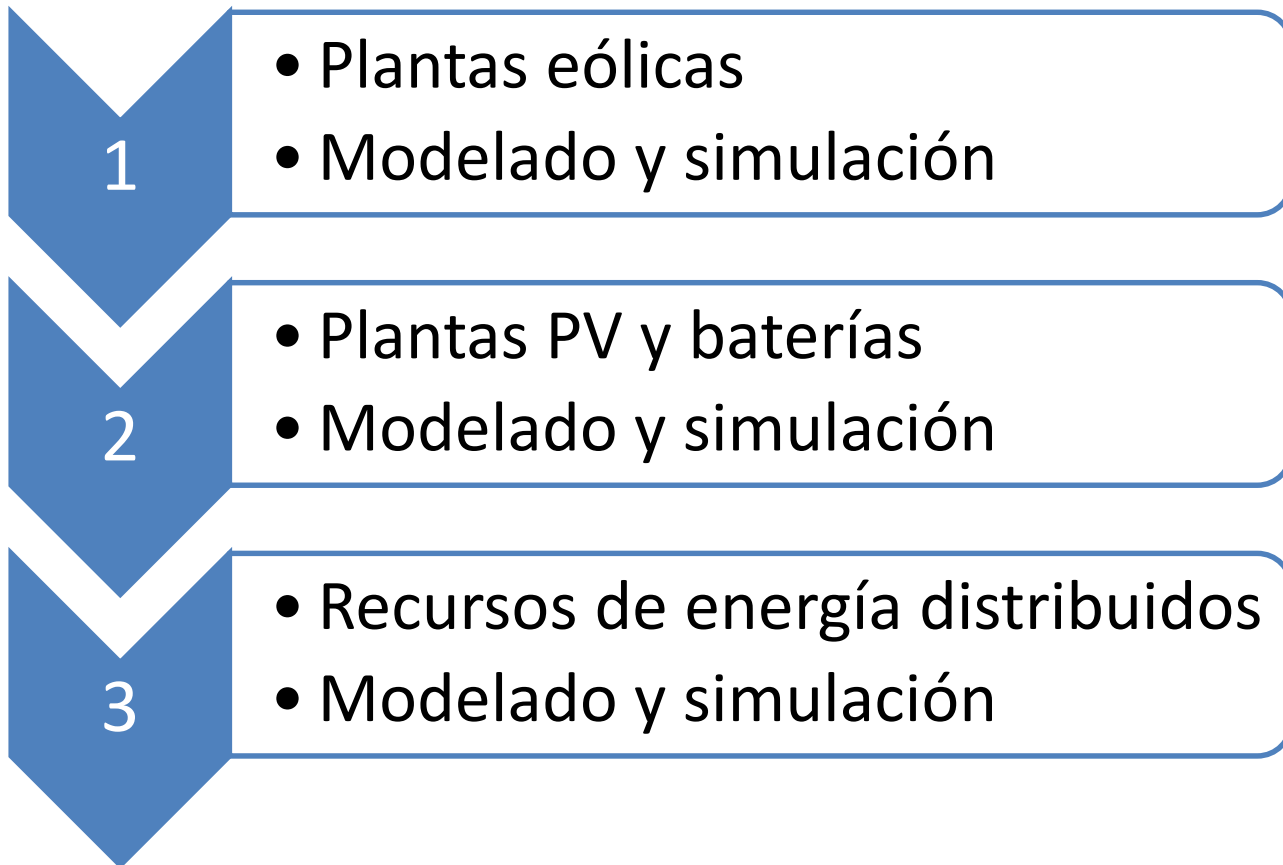
- Simulación de la salida de Gen. 2.
- PVs **se disparan** durante perturbación.
- PVs **no ayudan** al sistema a mantener frecuencia.
- **Sistema inestable.**

Simulaciones



- Simulación de la salida de Gen. 2.
- **PVs se mantienen** durante perturbación.
- **PVs ayudan** al sistema a mantener frecuencia.

Contenidos abarcados



Cursos de Estabilidad y Control de Sistemas Modernos de Potencia

Parte I: Sesiones virtuales (4-6 horas)

Parte II: Sesiones presenciales (3 días)

- 22 al 24 de abril, El Salvador
- 6 al 8 de mayo, Panamá
- 27 al 29 de mayo, Honduras

Cursos de Estabilidad y Control de Sistemas Modernos de Potencia

Día 1

- Mod. & Sim. de cargas, transformadores y líneas
- Mod. & Sim. de máquina sincrónicas
- Mod. & Sim. de sistemas de control y turbinas

Día 2

- Estabilidad de pequeña señal
- Análisis modal, sintonización de PSS
- Estabilidad transitoria, tiempos críticos

Día 3

- Estabilidad y control de tensión
- Estabilidad y control de frecuencia
- Renovables en estudios de estabilidad



Requerimientos de Modelado y Simulación de Plantas Eólicas y Fotovoltaicas en Estudios de Sistemas Modernos de Potencia

Dr. Gustavo Valverde Mora

gustavo.valverde@ucr.ac.cr