

# Conceptos de generadores de fuentes renovable de energía



MOELLER & POELLER ENGINEERING

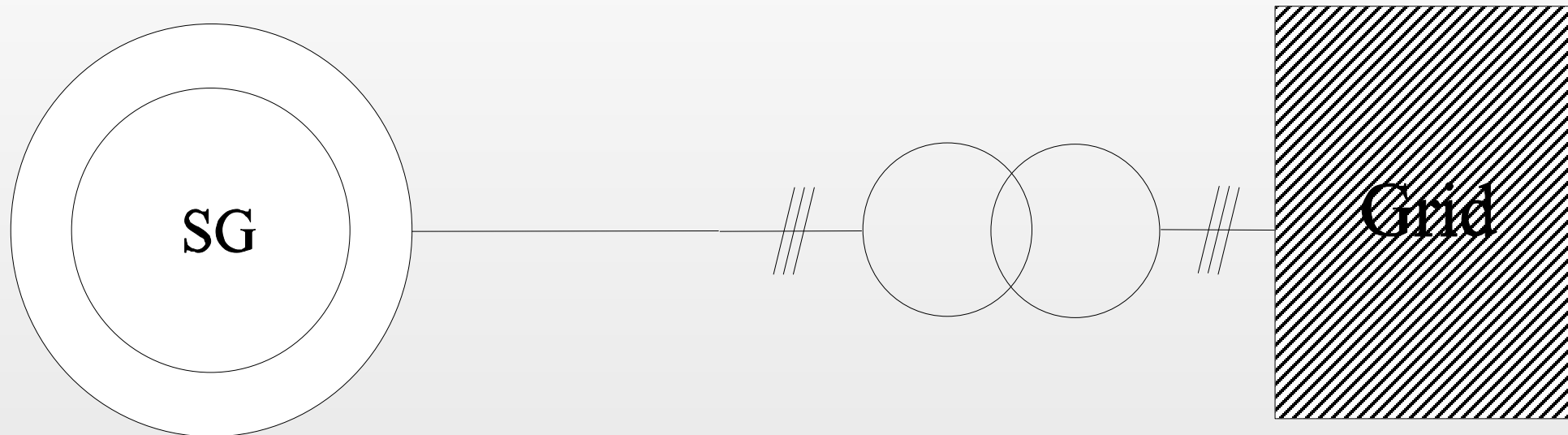
[www.moellerpoeller.de](http://www.moellerpoeller.de)/[www.moellerpoeller.co.uk](http://www.moellerpoeller.co.uk)

- Introducción de conceptos de generadores de generación renovable
  
- Comparación de conceptos de generadores respecto:
  - Aspectos de operación de aerogeneradores de velocidad fija y variable
  - Capacidades de proveer potencia reactiva
  - Comportamiento durante fallas en el sistema (corto circuito, etc.)

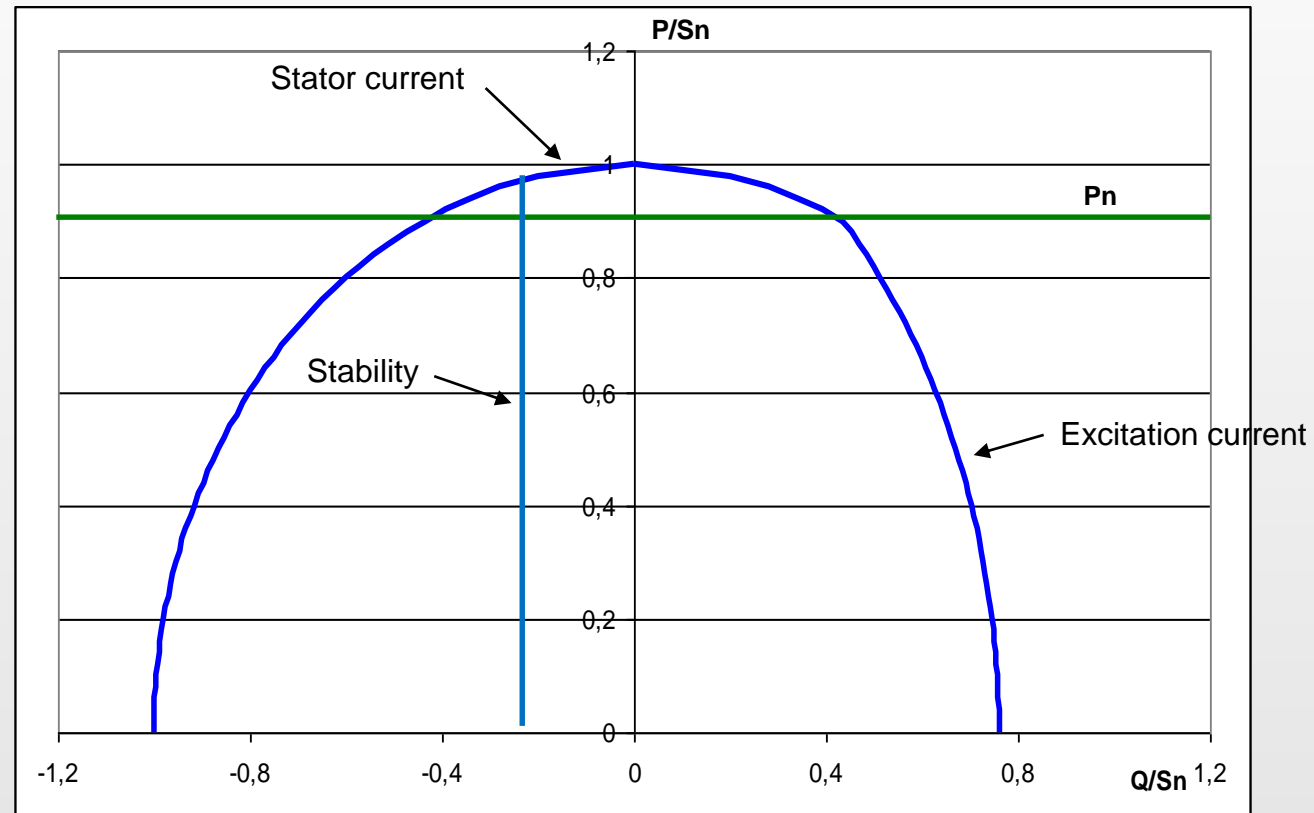
# Generadores síncronos

---

# Generadores síncronos (Plantas de gran escala)

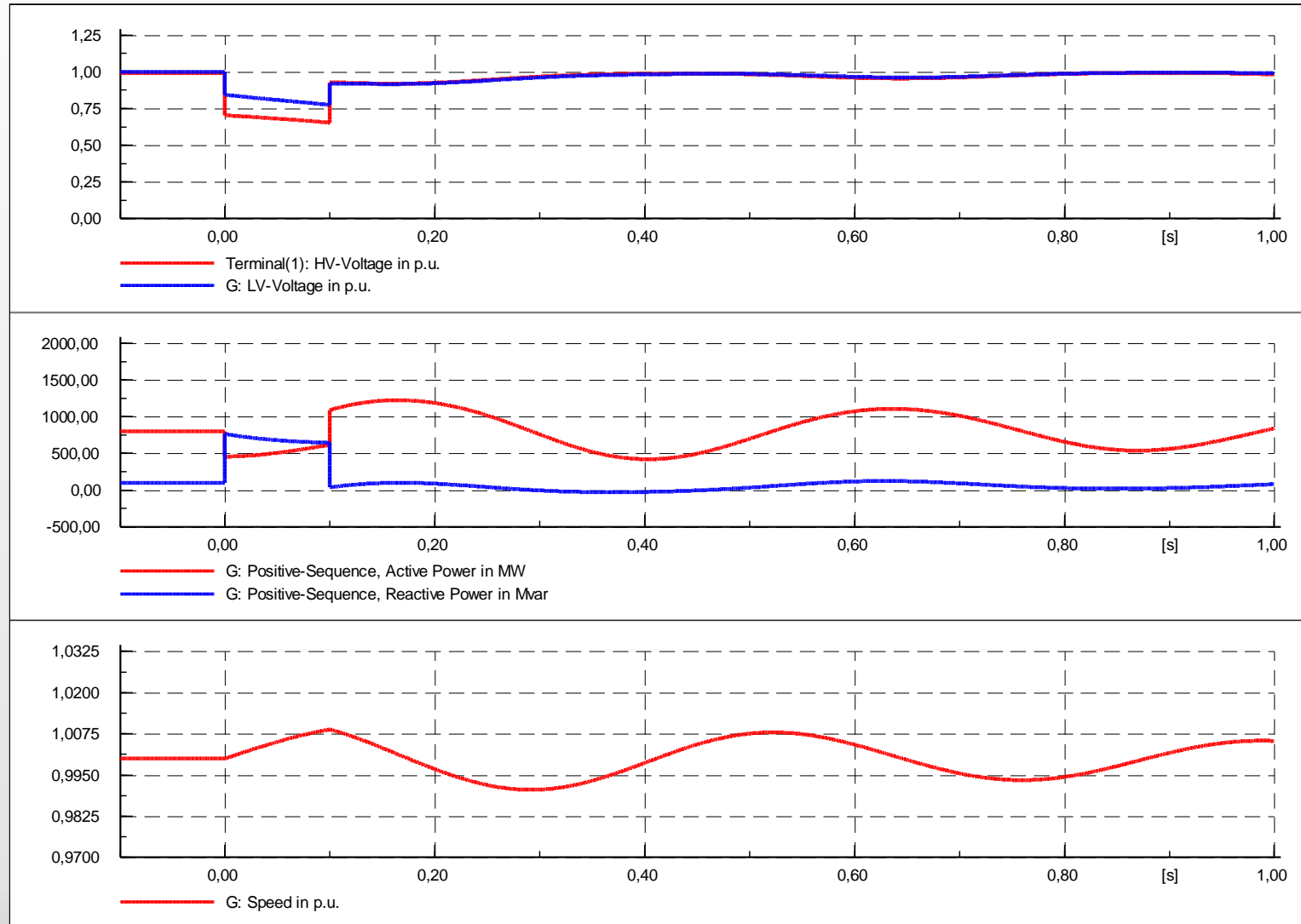


# Generador síncrono – capacidad de potencia reactiva

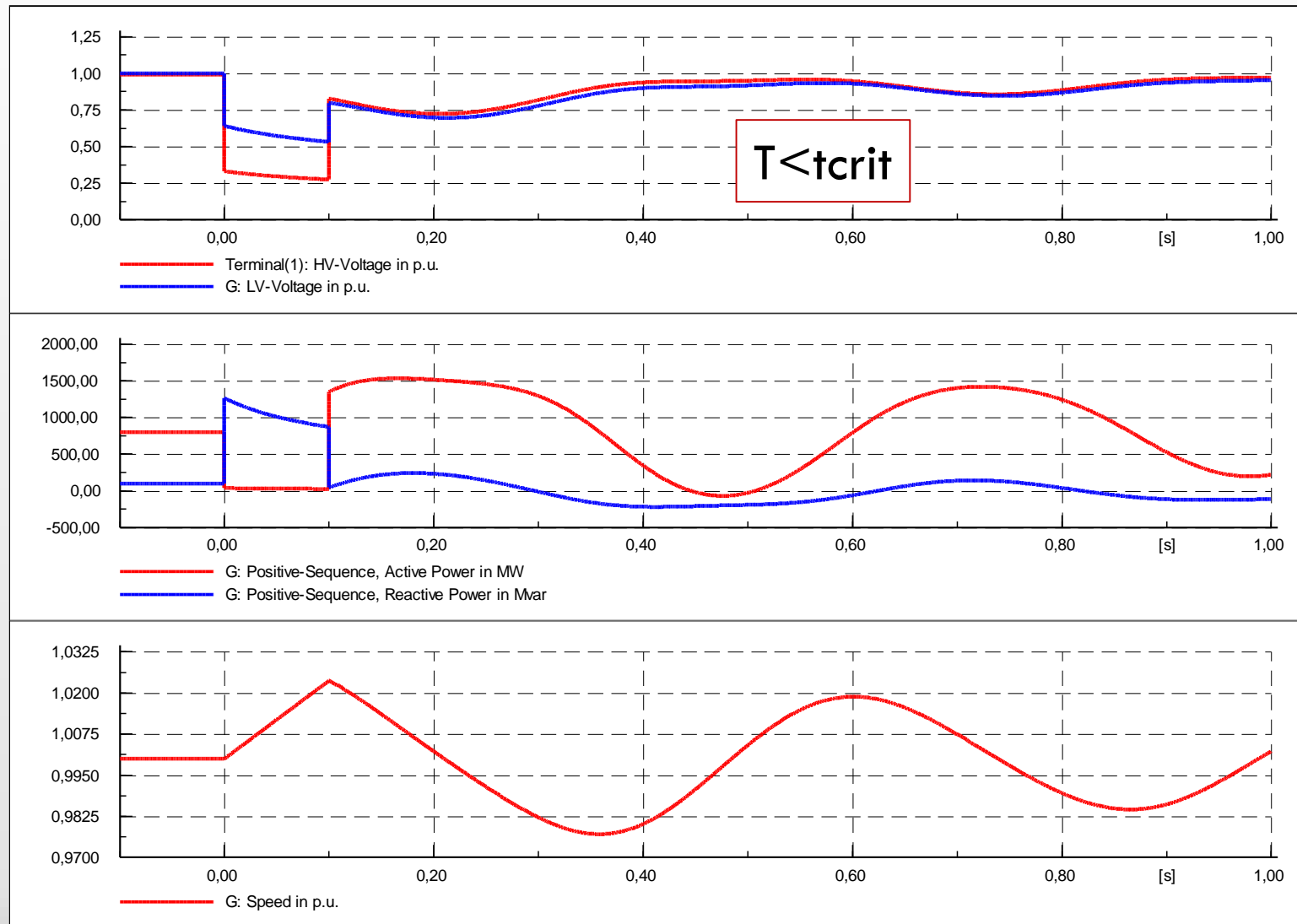


— capacidad de potencia reactiva

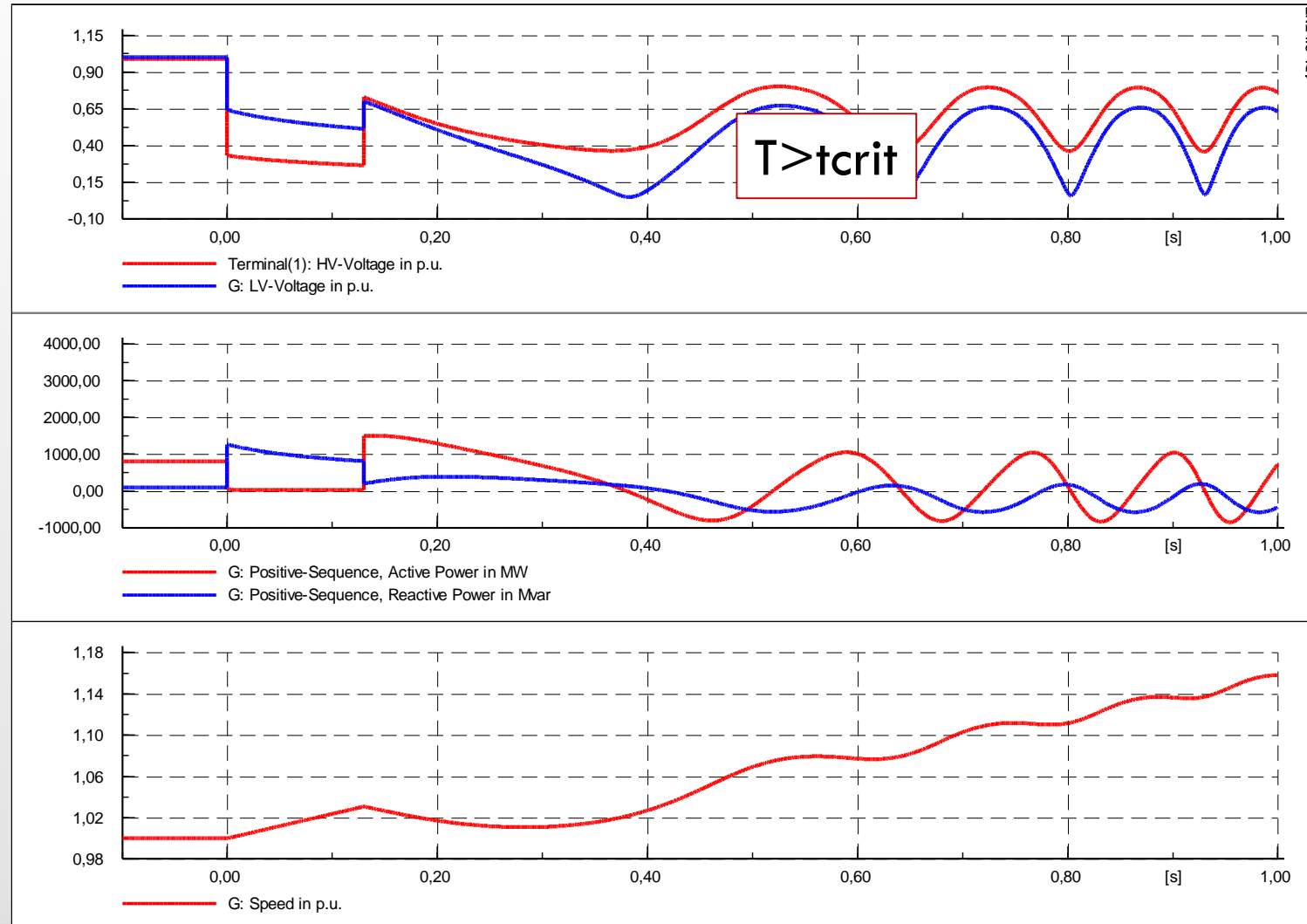
# Generador síncrono – Comportamiento durante un hueco de tensión ligero



# Generador síncrono – Comportamiento durante un hueco de tensión fuerte



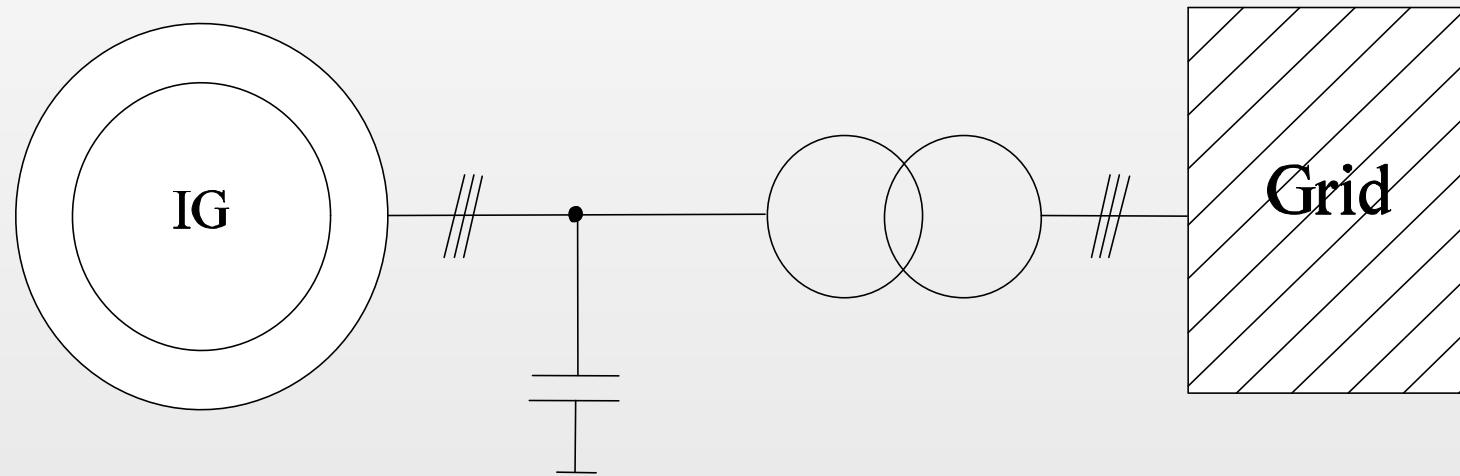
# Generador síncrono – Comportamiento durante un hueco de tensión fuerte



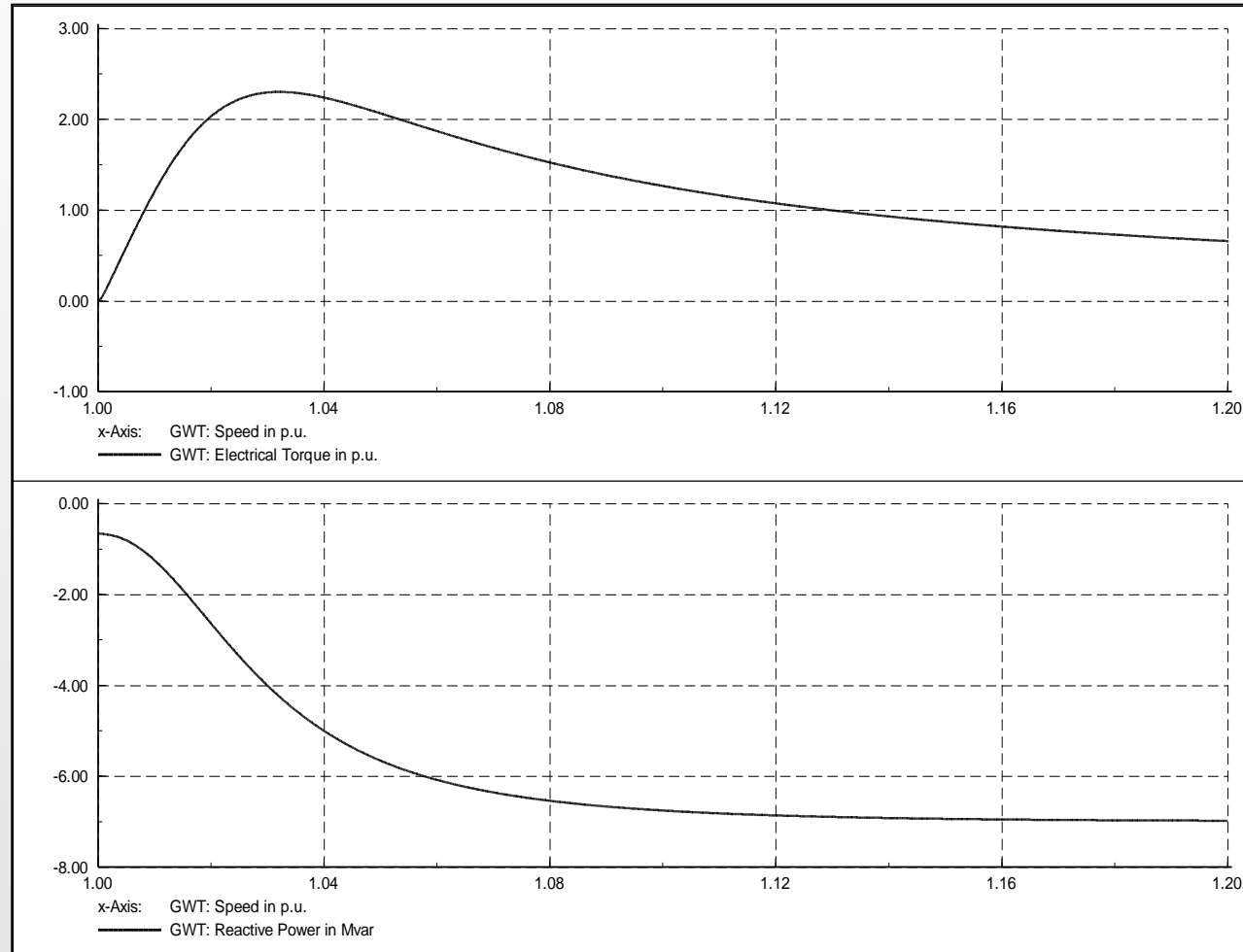


- Concepto común para generadores de velocidad fija.
  - Plantas hidroeléctricas de pequeña y gran escala.
  - CSP (Centrales térmicas solares)
  - Ciclos combinados
  - Generación eólica (en combinación con una caja de velocidad)
- Excelente capacidad de control de potencia reactiva (inductiva y reactiva)
- Capacidades de proveer soporte a huecos de tensión (LVRT) pero con problemas de pérdida de la sincronización (inestabilidad transitoria)
- Soporte de voltaje (inyección de corriente reactiva) durante fallas del sistema.
- Contribuye inercia
- Contribuye “momento de fuerza” para la sincronización, que es el par que actúa sobre el eje de una máquina síncrona cuando la velocidad de rotación del rotor se desvía de la velocidad síncrona y mantiene la máquina en sincronismo.

# Generador de inducción y velocidad fija (IEC-Type 1 WTG)



# Generador de inducción

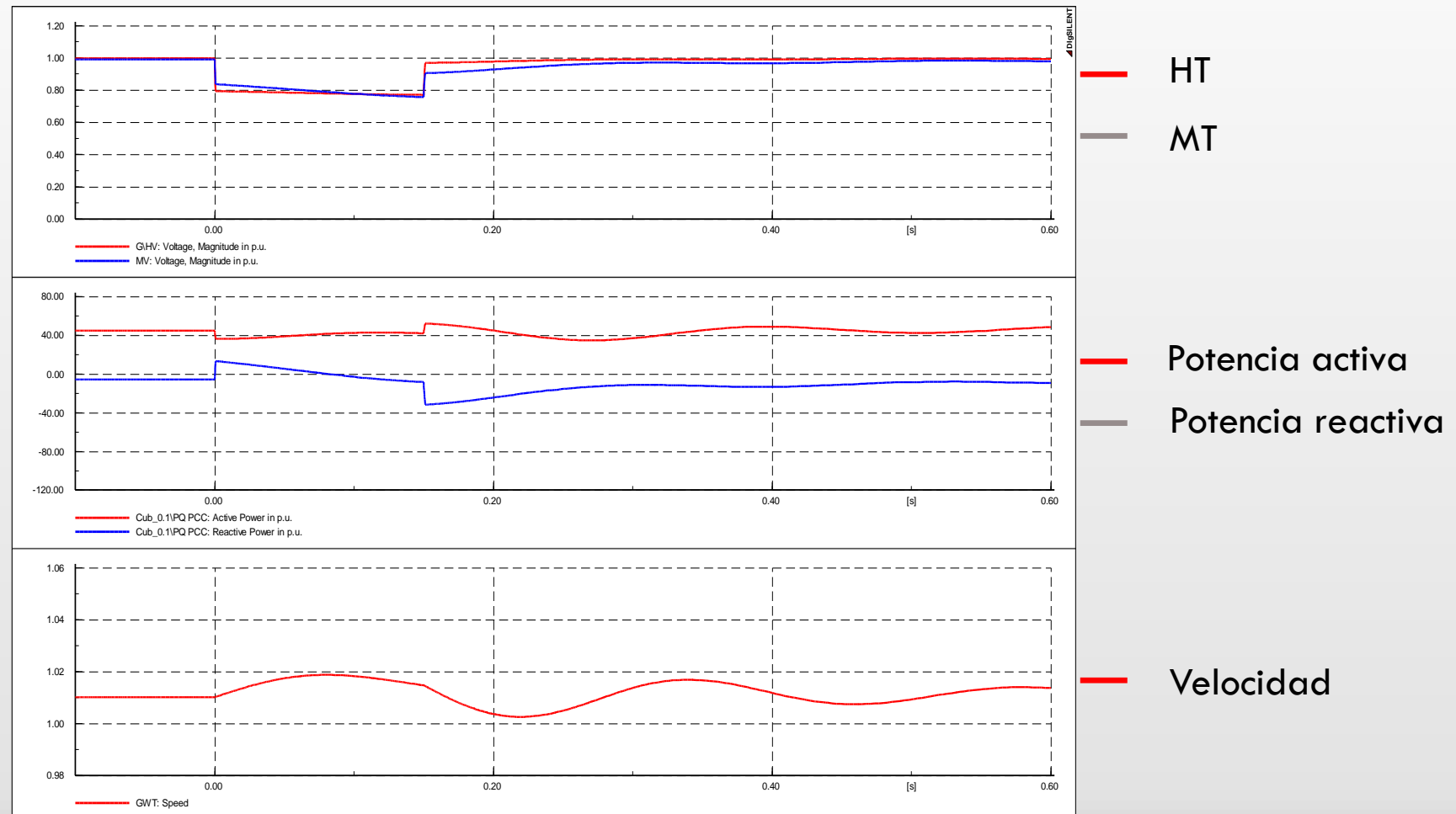


Característica  
velocidad –  
“momento de  
fuerza”

Característica  
velocidad –  
potencia reactiva

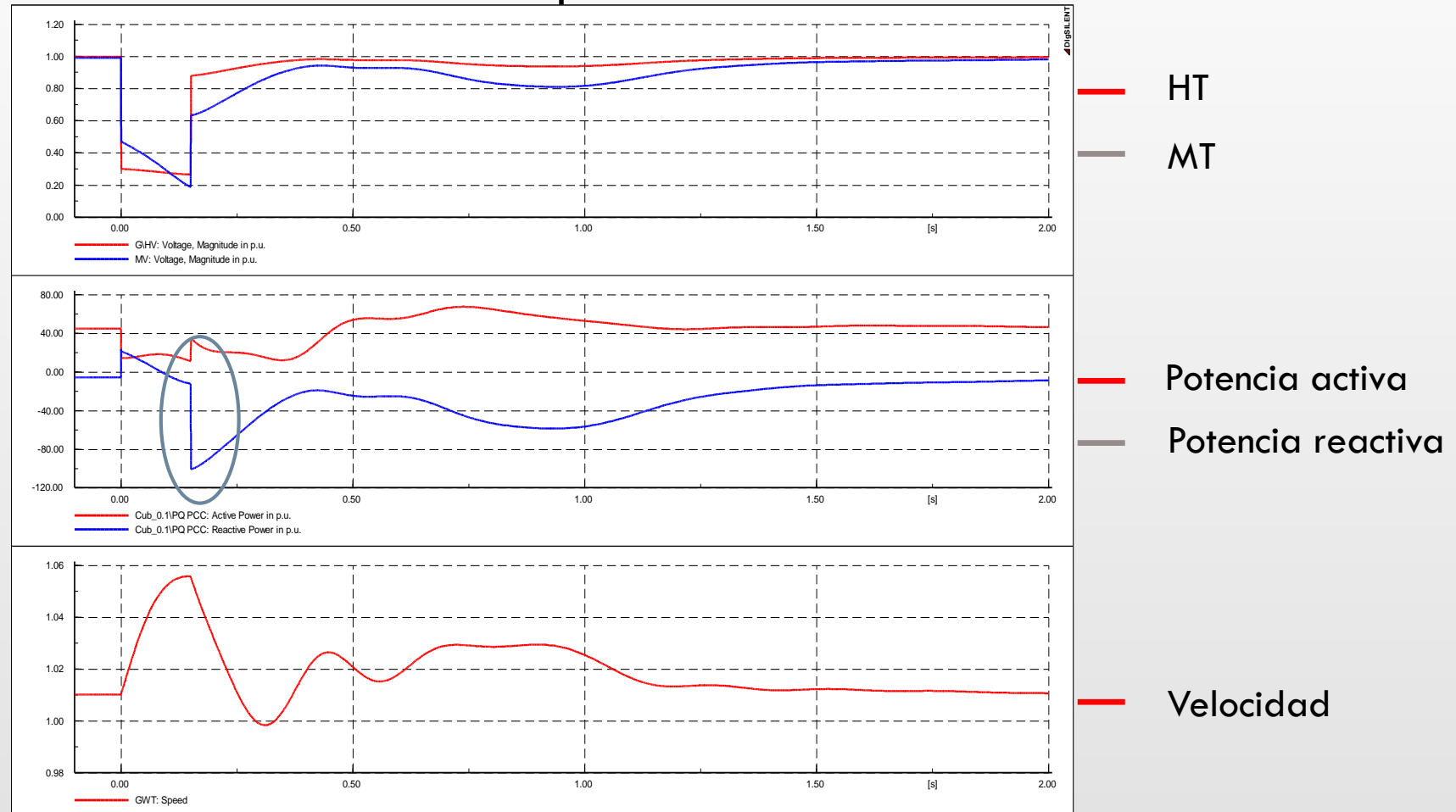
# Generador de inducción – Comportamiento durante un hueco de tensión

Comportamiento durante un hueco de tensión ligero:



# Generador de inducción – Comportamiento durante un hueco de tensión

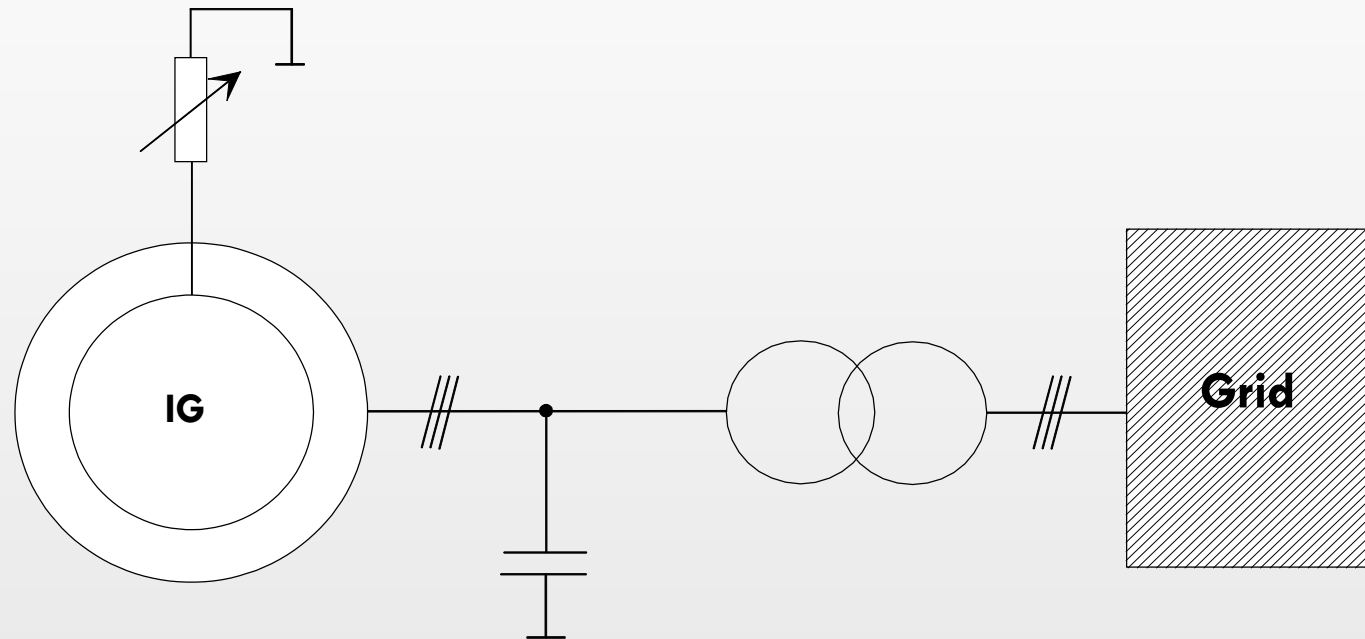
Comportamiento durante un hueco de tensión fuerte:



- ❑ Solamente permite la operación en velocidad fija (control de “entrada en pérdida”; ingl. stall)
- ❑ Aplicación:
  - ❑ Hidroeléctricas de pequeña escala
  - ❑ Aerogeneradores anticuados o de pequeña escala
  - ❑ Cogeneración de pequeña escala
- ❑ No tiene la capacidad de control de potencia reactiva.
- ❑ Requiere una compensación de potencia reactiva.
- ❑ Riesgo de un colapso de voltaje dinámico.  
  
-> Se requiere que este generador se desconecte en caso de un hueco de tensión.
- ❑ Contribuye inercia.
- ❑ **No** contribuye “momento de fuerza” para la sincronización.

# **Conceptos de generadores de velocidad variable.**

# Generadores de inducción con resistencia variable del rotor. (IEC-Type 2 WTG)

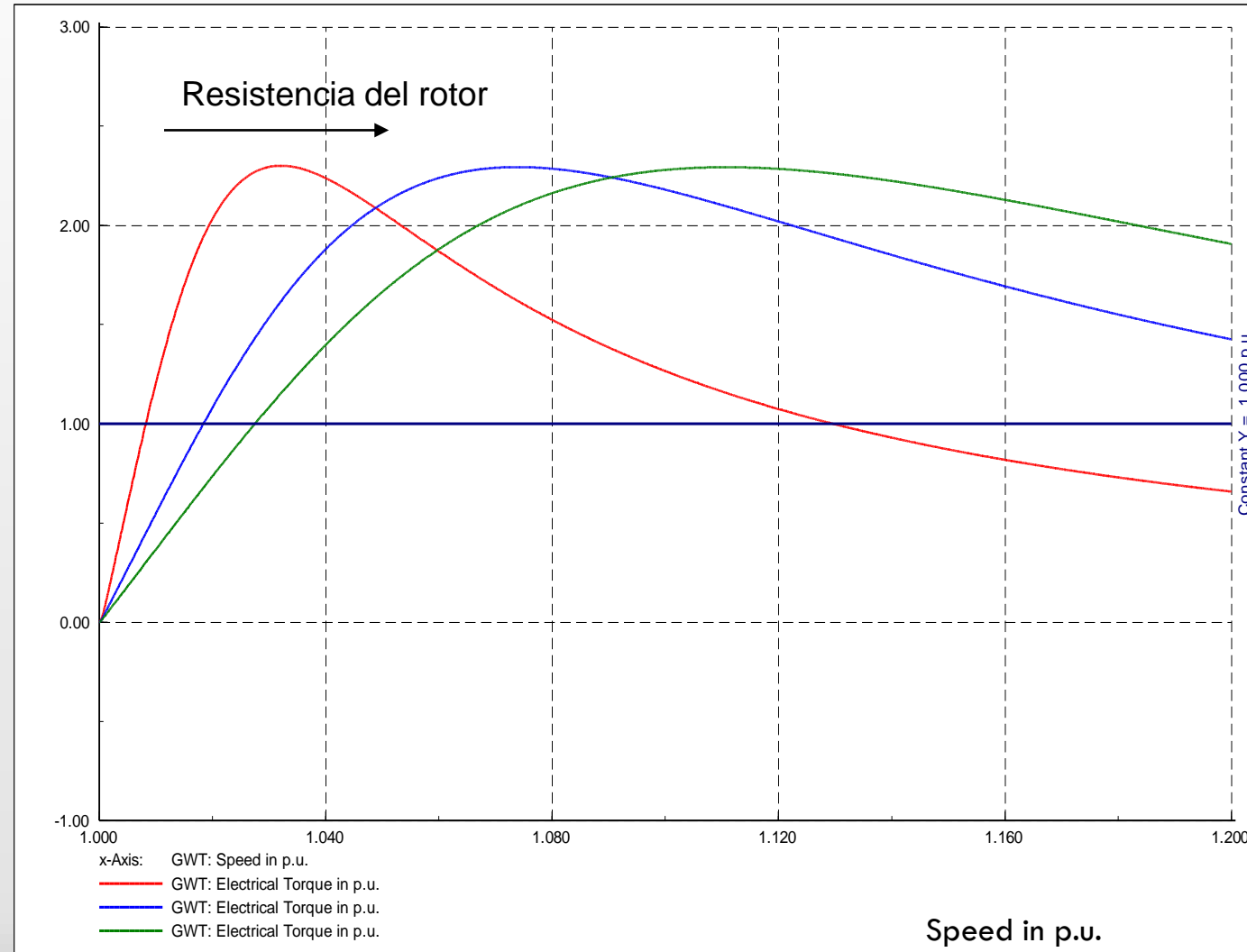




# Generadores de inducción con resistencia variable del rotor.



Momento de fuerza p.u.

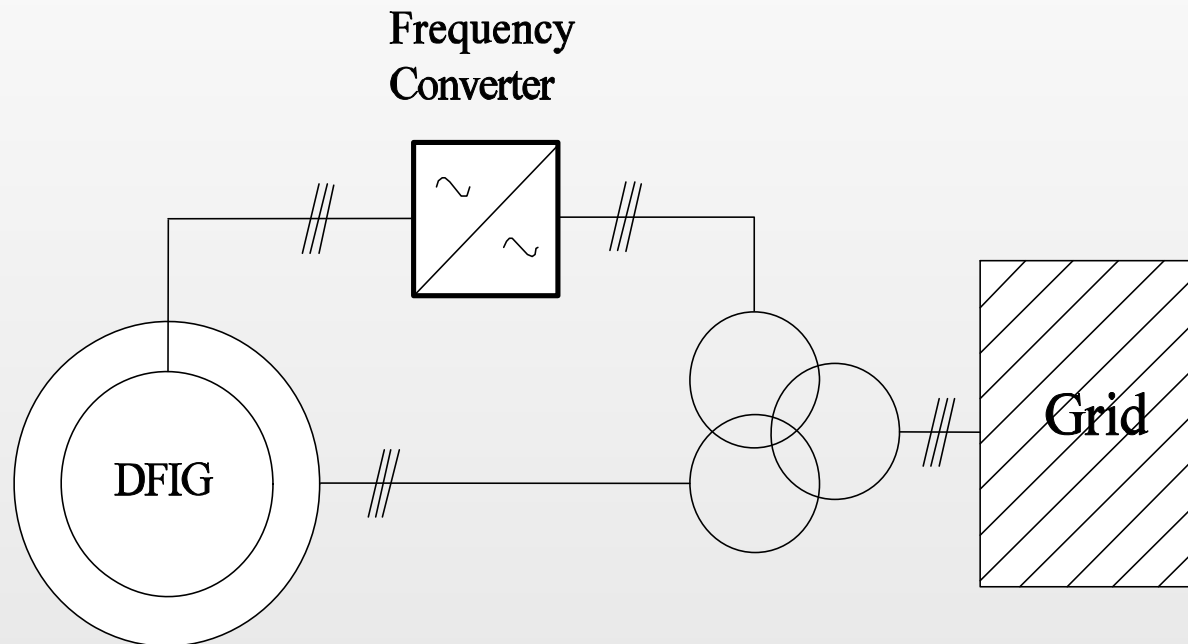


# Generadores de inducción con resistencia variable del rotor. (IEC-Type 2-WTG) - Resumen

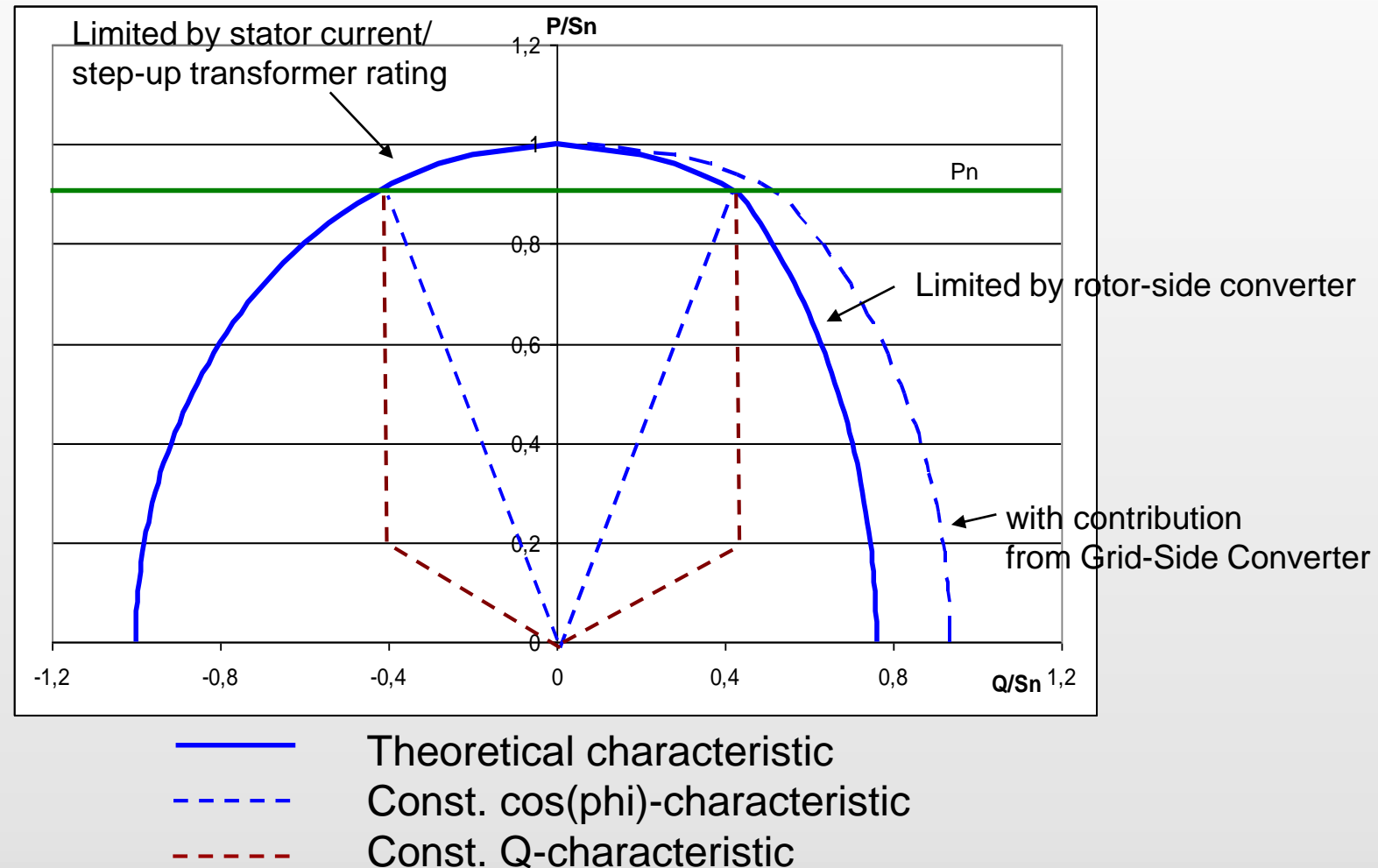


- Un concepto simple para generadores de velocidad variable (Suzlon, antes VESTAS “Opti-Slip”)
- No tiene capacidades de control de potencia reactiva.
- Requiere una compensación de potencia reactiva.
- Capacidades limitadas de control de soporte ante huecos de tensión. Los problemas de colapso de voltaje dinámico se deben mitigar a través de:
  - Un aumento rápido de la resistencia del rotor durante fallas.
  - Adicionales dispositivos de compensación de potencia reactiva (típicamente TSCs)
- **No** contribuye inercia.
- **No** contribuye “momento de fuerza” para la sincronización.

# Generador doblemente alimentado (IEC-Type 3 – WTG)

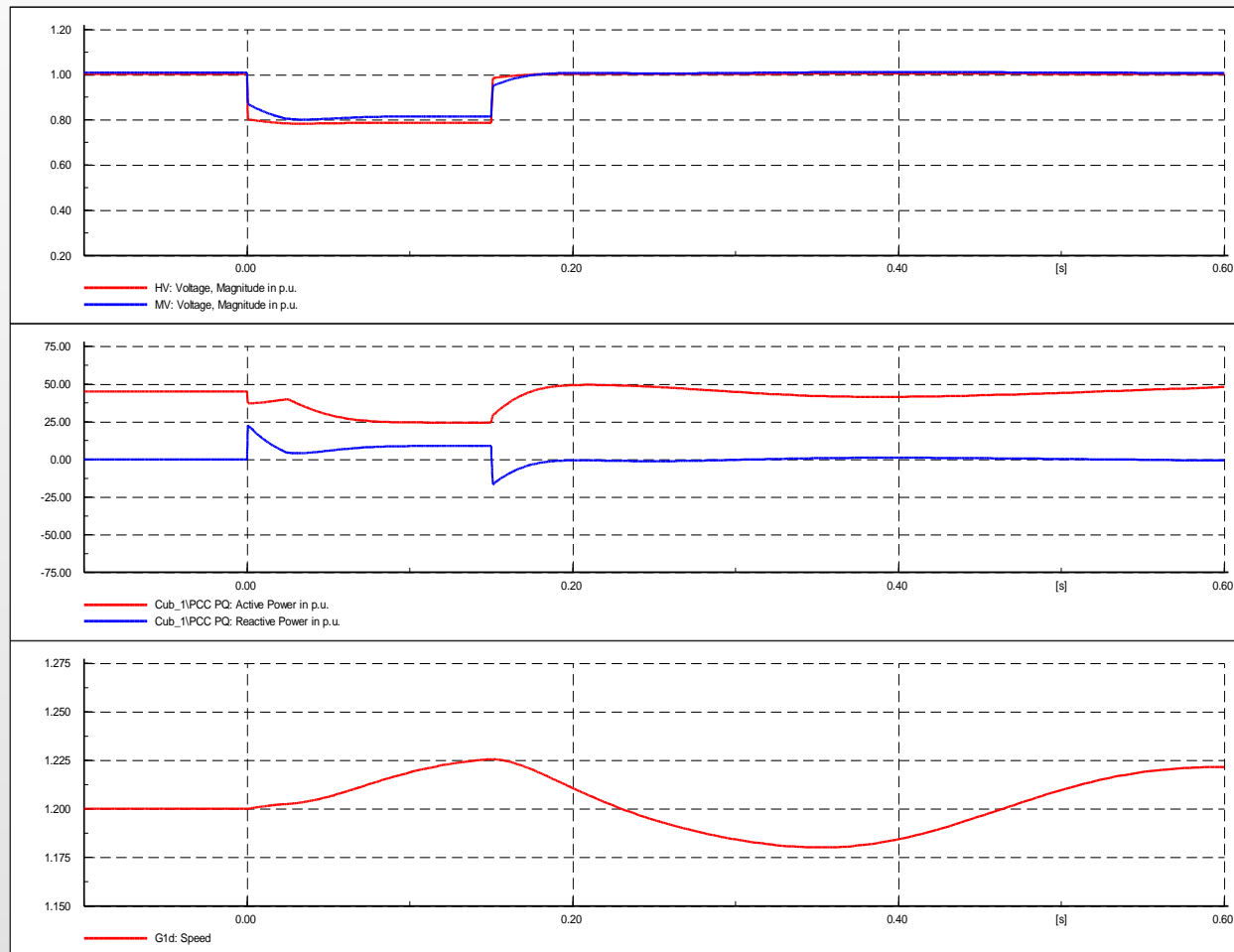


# Generador doblemente alimentado – Capacidades de potencia reactiva



# Generador doblemente alimentado – Comportamiento durante un hueco de tensión

Comportamiento durante un hueco de tensión ligero:



— HT

— MT

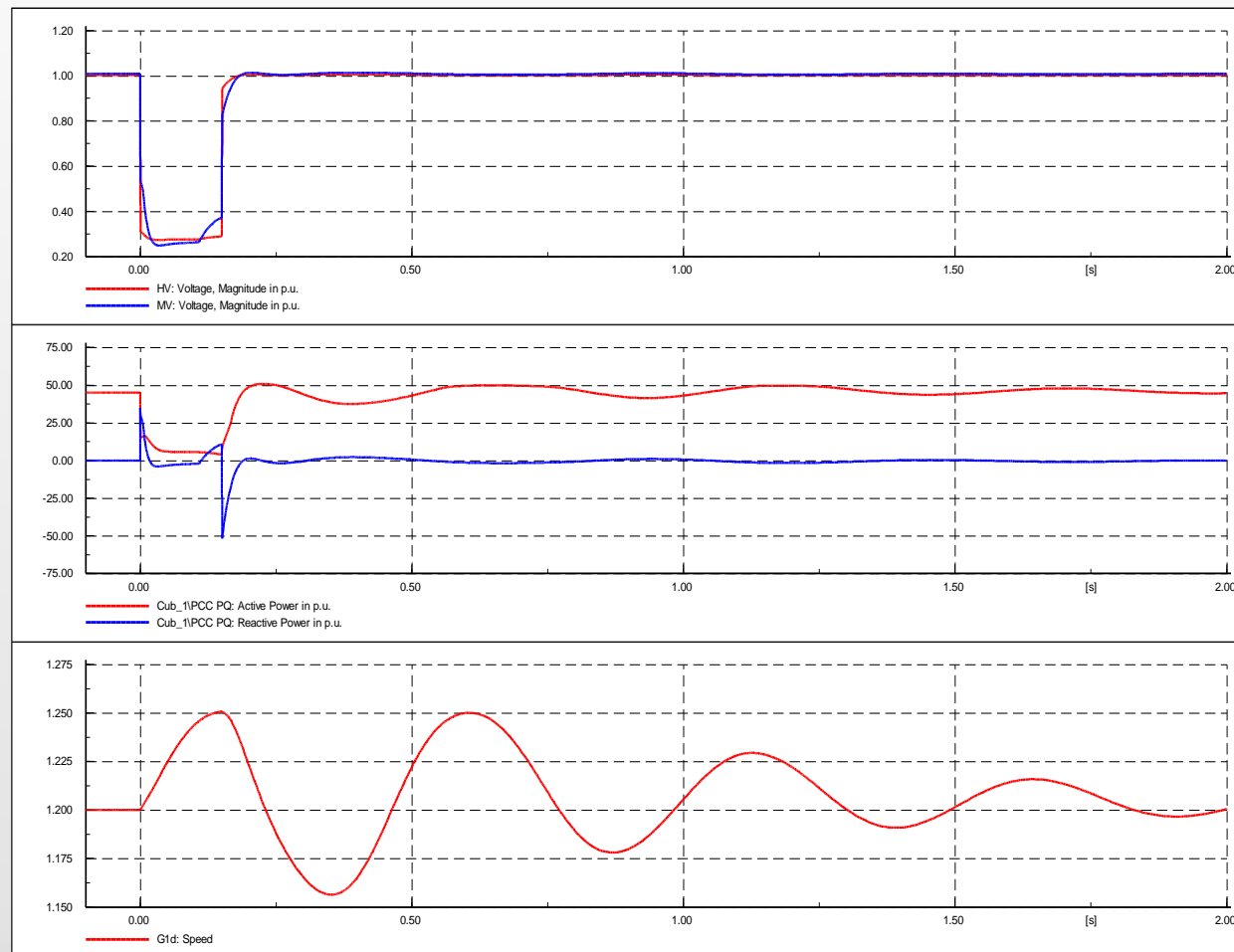
— Potencia activa

— Potencia reactiva

— Velocidad

# Generador doblemente alimentado – Comportamiento durante un hueco de tensión

Comportamiento durante un hueco de tensión fuerte (crow-bar operation):



— HT

— MT

— Potencia activa

— Potencia reactiva

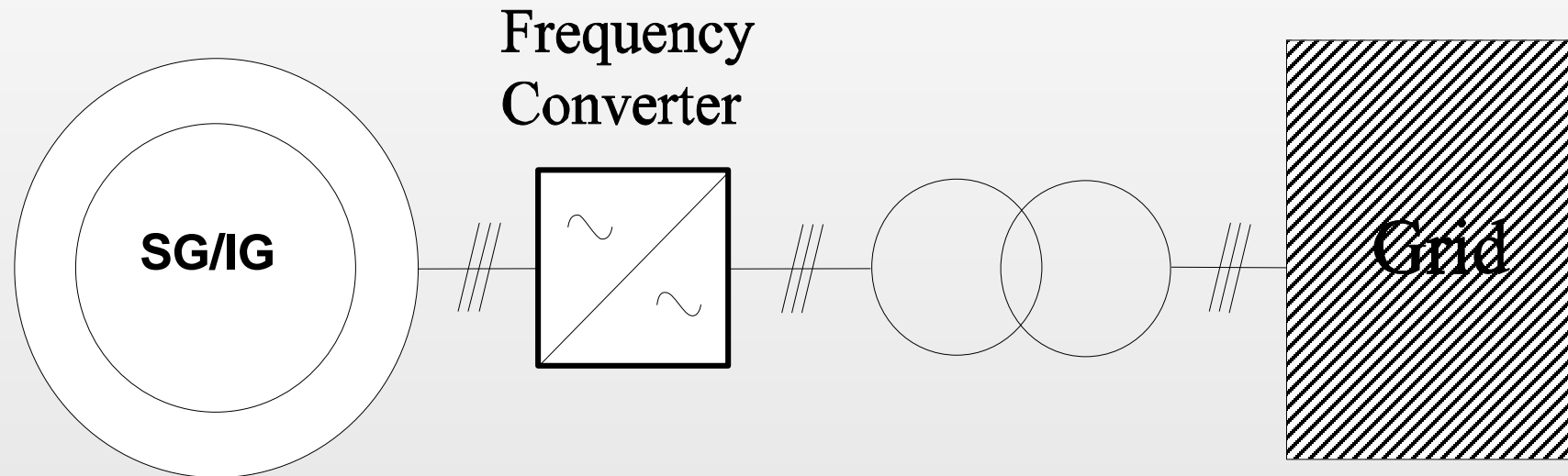
— Velocidad

# Generador doblemente alimentado – (DFIG, IEC Type 3 WTG) Resumen



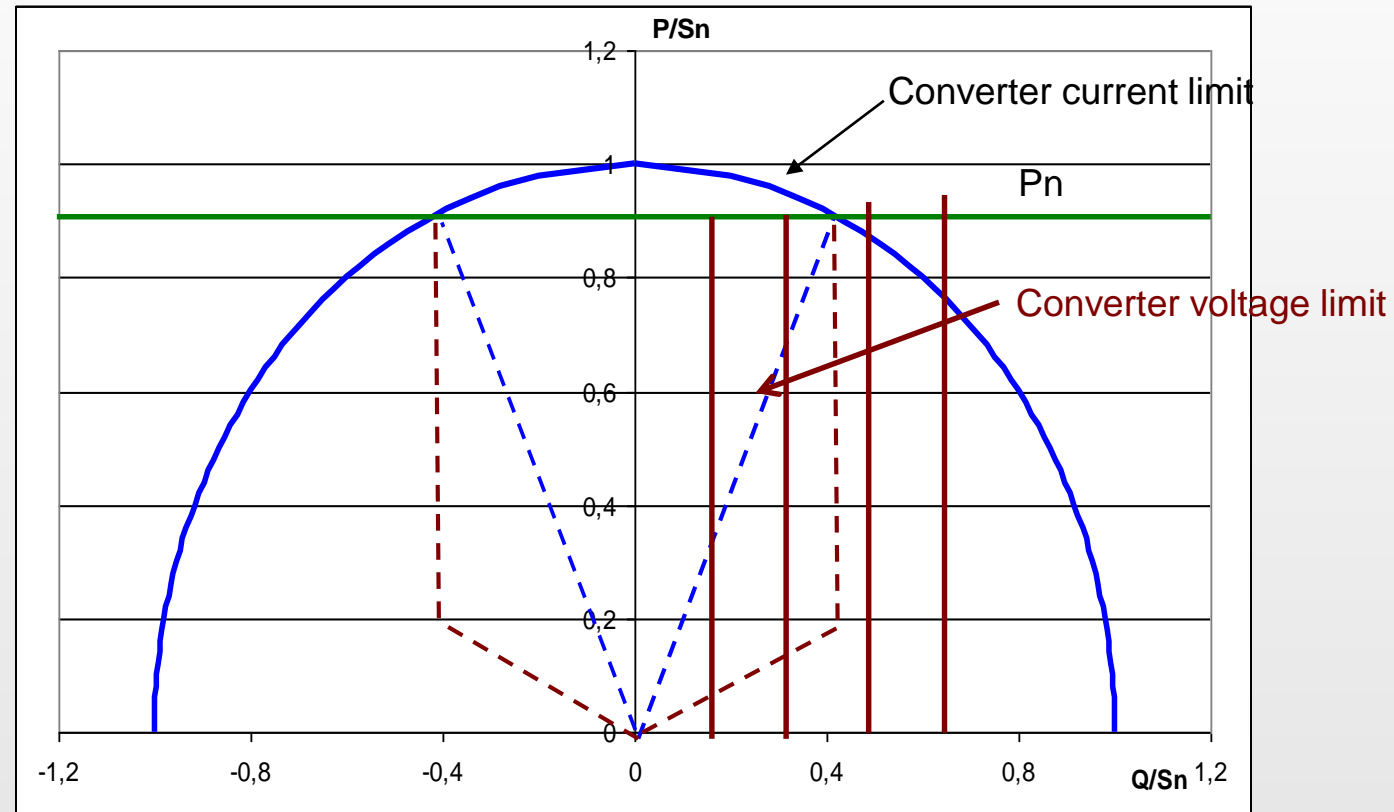
- Concepto común para generadores de velocidad variable:
  - Generación eólica (VESTAS, REpower, Nordex, etc.)
  - Hidroeléctricas de pequeña escala.
  - Central hidroeléctrica reversible
- Excelente capacidad de control de potencia reactiva (inductiva y reactiva)
- La capacidad de soporte ante huecos de tensión necesita dispositivos adicionales de protección y control (Chopper, Crow-bar, etc.)
- Soporte de voltaje (inyección de corriente reactiva) durante fallas del sistema es posible (no con crow bar).
- **No** contribuye inercia (excepción: “Inercia artificial”)
- **No** contribuye “momento de fuerza” para la sincronización.



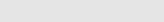
# Generador con un convertidor de potencia - (IEC-Type 4 WTG)





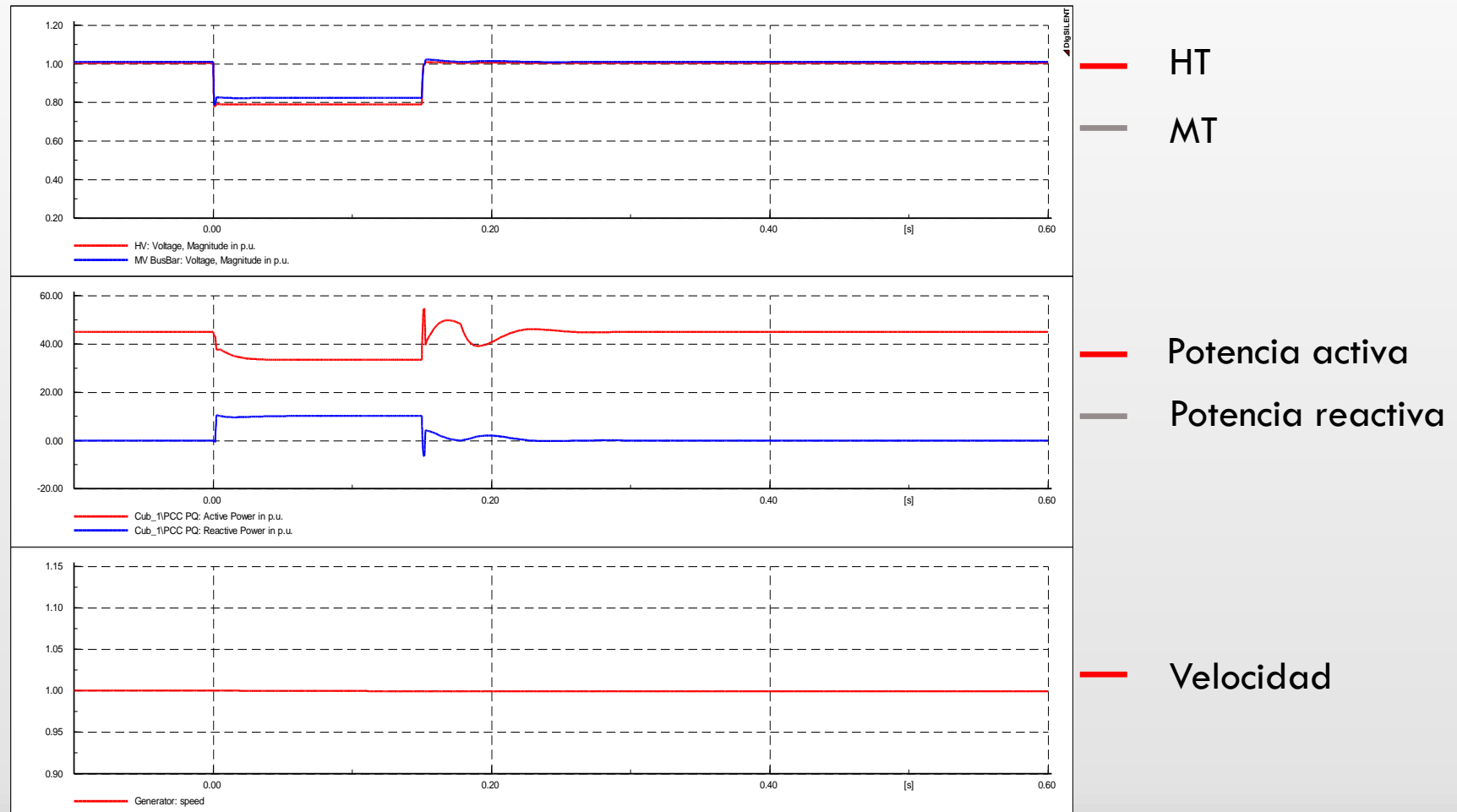
# Generador con un convertidor de potencia - Capacidades de potencia reactiva.



-  Theoretical characteristic
-  Const.  $\cos(\phi)$ -characteristic
-  Const.  $Q$ -characteristic

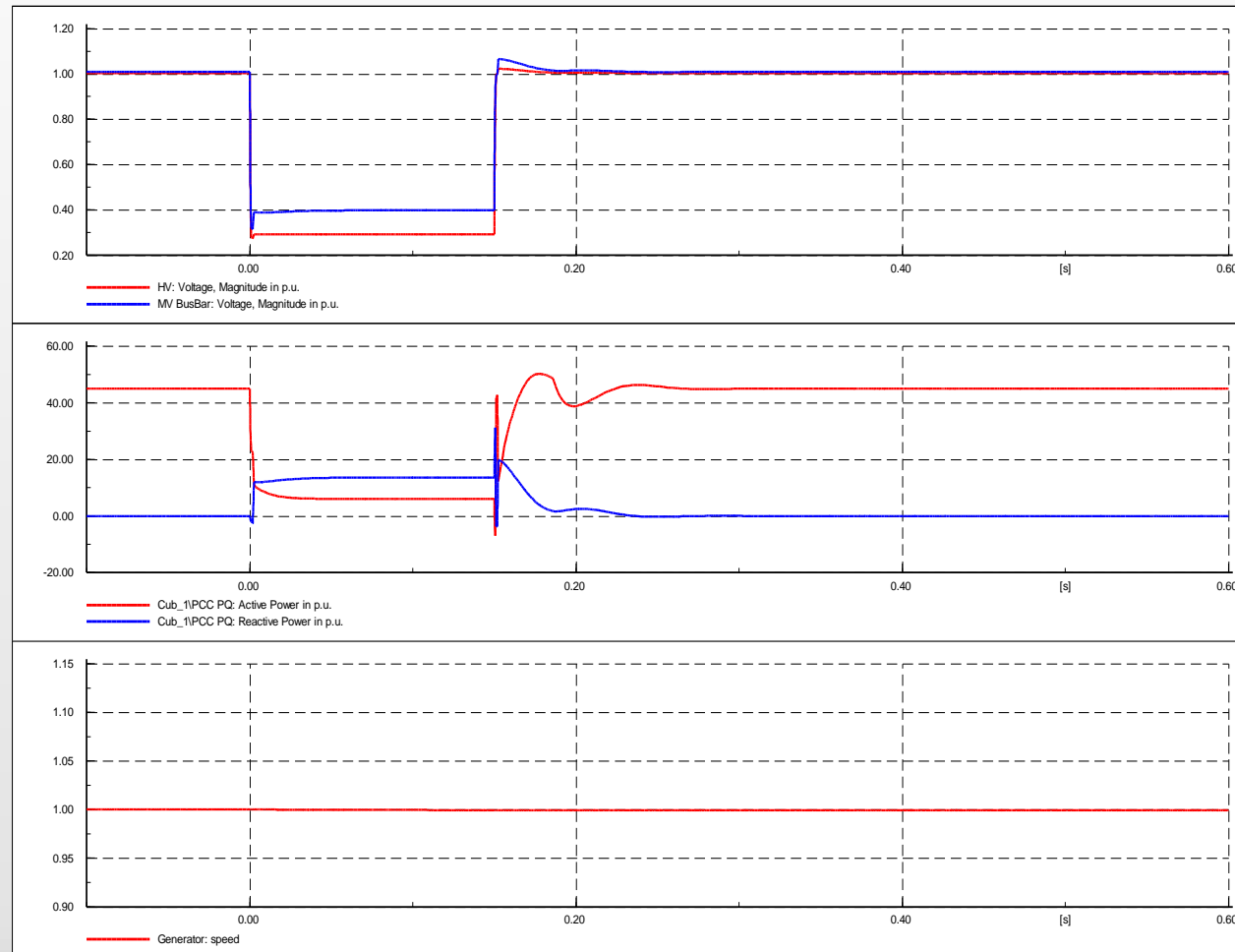
# Generador con un convertidor de potencia - Comportamiento durante un hueco de tensión

Comportamiento durante un hueco de tensión ligero (ideal DC-chopper):



# Generador con un convertidor de potencia – Comportamiento durante un hueco de tensión

Comportamiento durante un hueco de tensión fuerte (ideal DC-chopper):



— HT

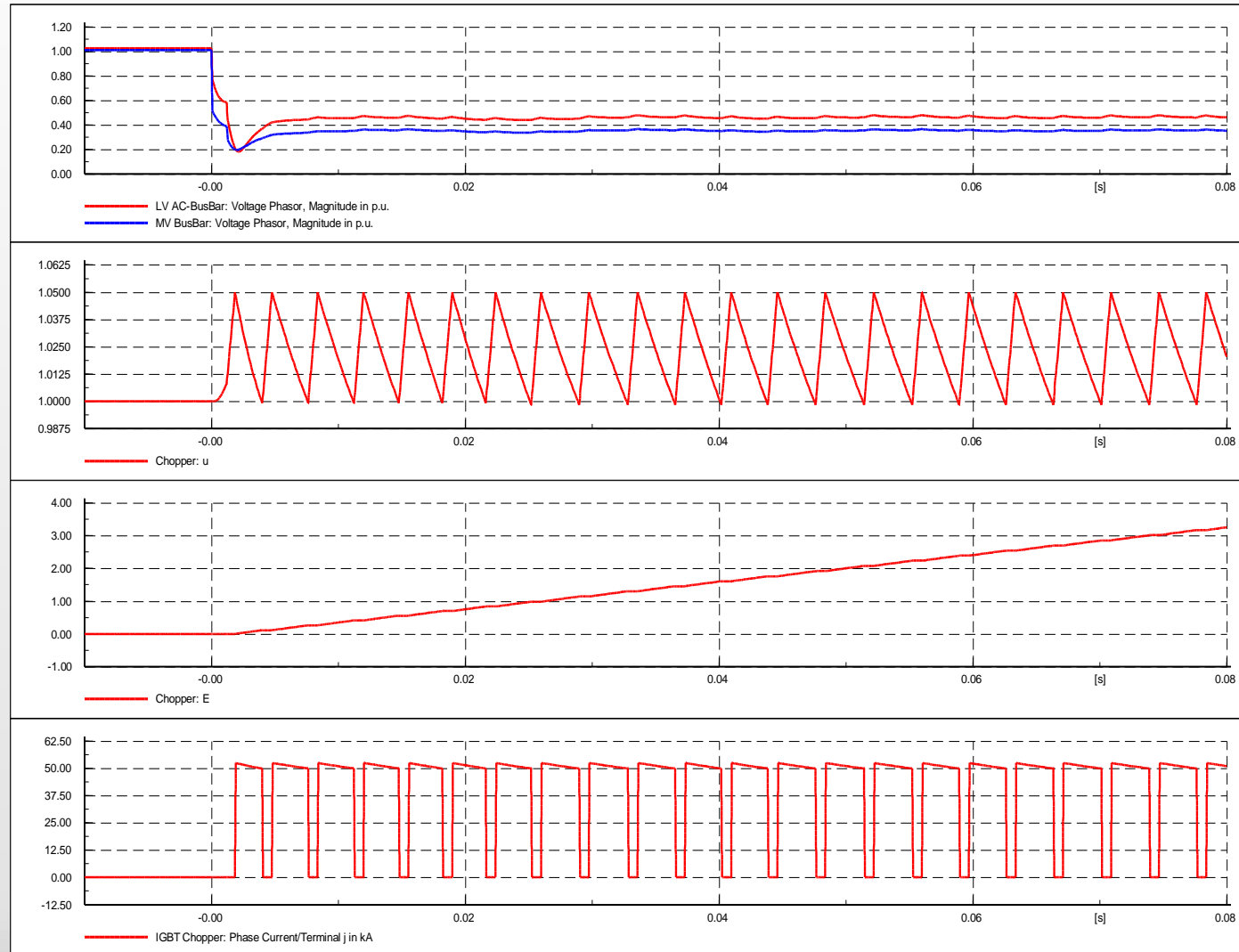
— MT

— Potencia activa

— Potencia reactiva

— Velocidad

# FCD-Chopper



# Generador con un convertidor de potencia (IEC-Type 4 WTG) - Resumen

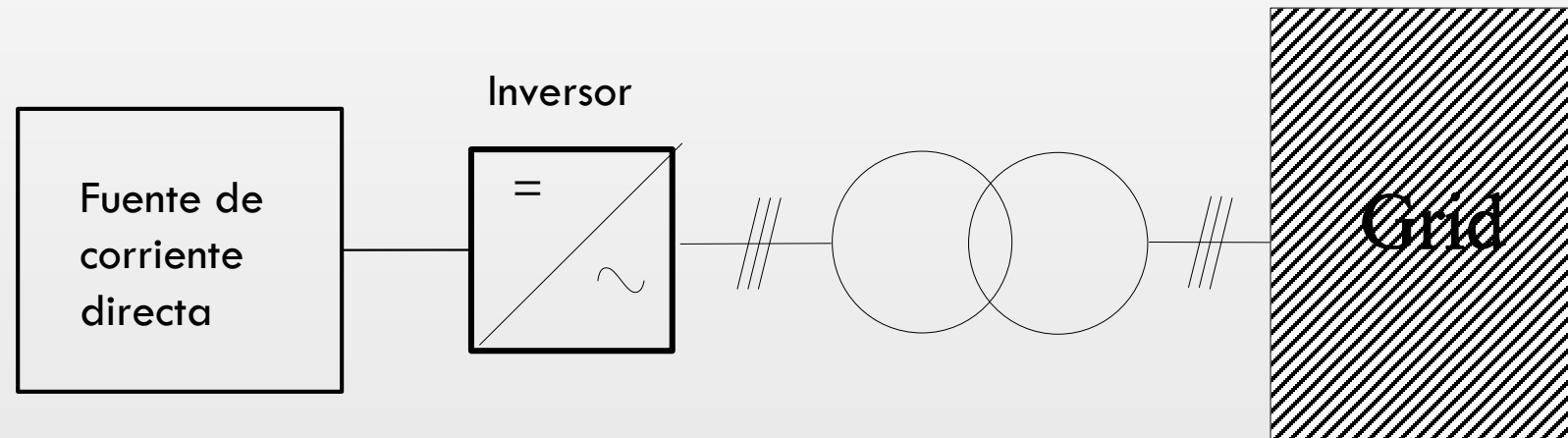


- Un concepto común para generadores de velocidad variable.
- en combinación con diferentes tecnologías de generadores:
  - Generadores de inducción
  - Generadores síncronos con excitación eléctrica
  - Generadores síncronos con magneto permanente.
- Excelente capacidad de control de potencia reactiva (inductiva y reactiva)
- La capacidad de soporte ante huecos de tensión (generadores eólicos requieren un DC-chopper)
- **No** contribuye inercia (excepción: “Inercia artificial”)
- **No** contribuye “momento de fuerza” para la sincronización.

## **Fuentes de corriente directa (sistemas fotovoltaicas)**

---

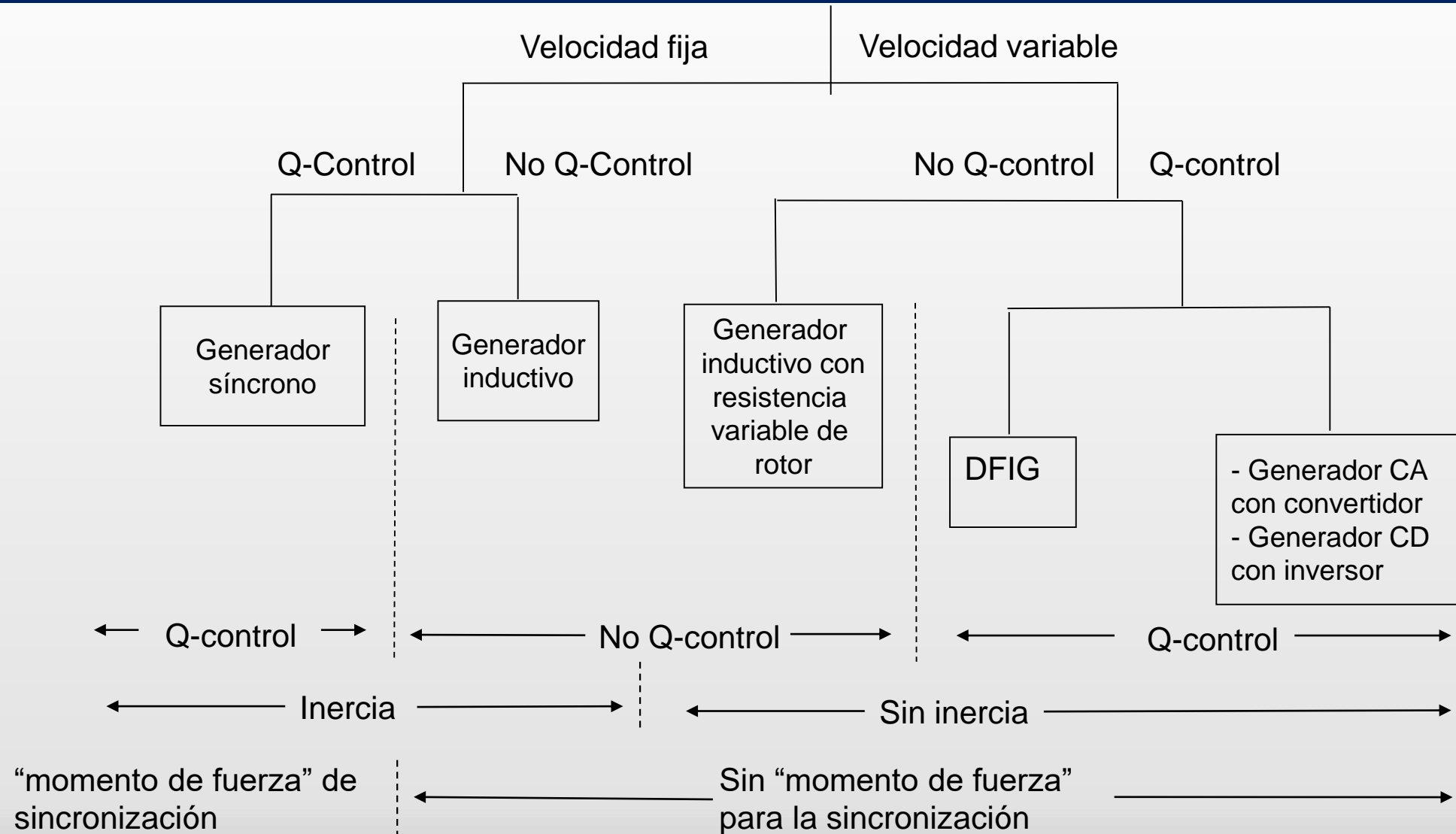
# Fuente de corriente directa con un inversor



- Características similares que generadores de corriente alterna con un convertidor de potencia
- Excelente capacidades de control de potencia reactiva (inductiva y reactiva)
- Soporte ante huecos de tensión (Fotovoltaicos no requieren una resistencia chopper)
- Soporte de voltaje (inyección de corriente reactiva) durante fallas del sistema es posible.



# Conceptos de generadores - resumen



---

# Desarrollos tecnológicos

---

# Control de potencia activa / control de frecuencia de aerogeneradores

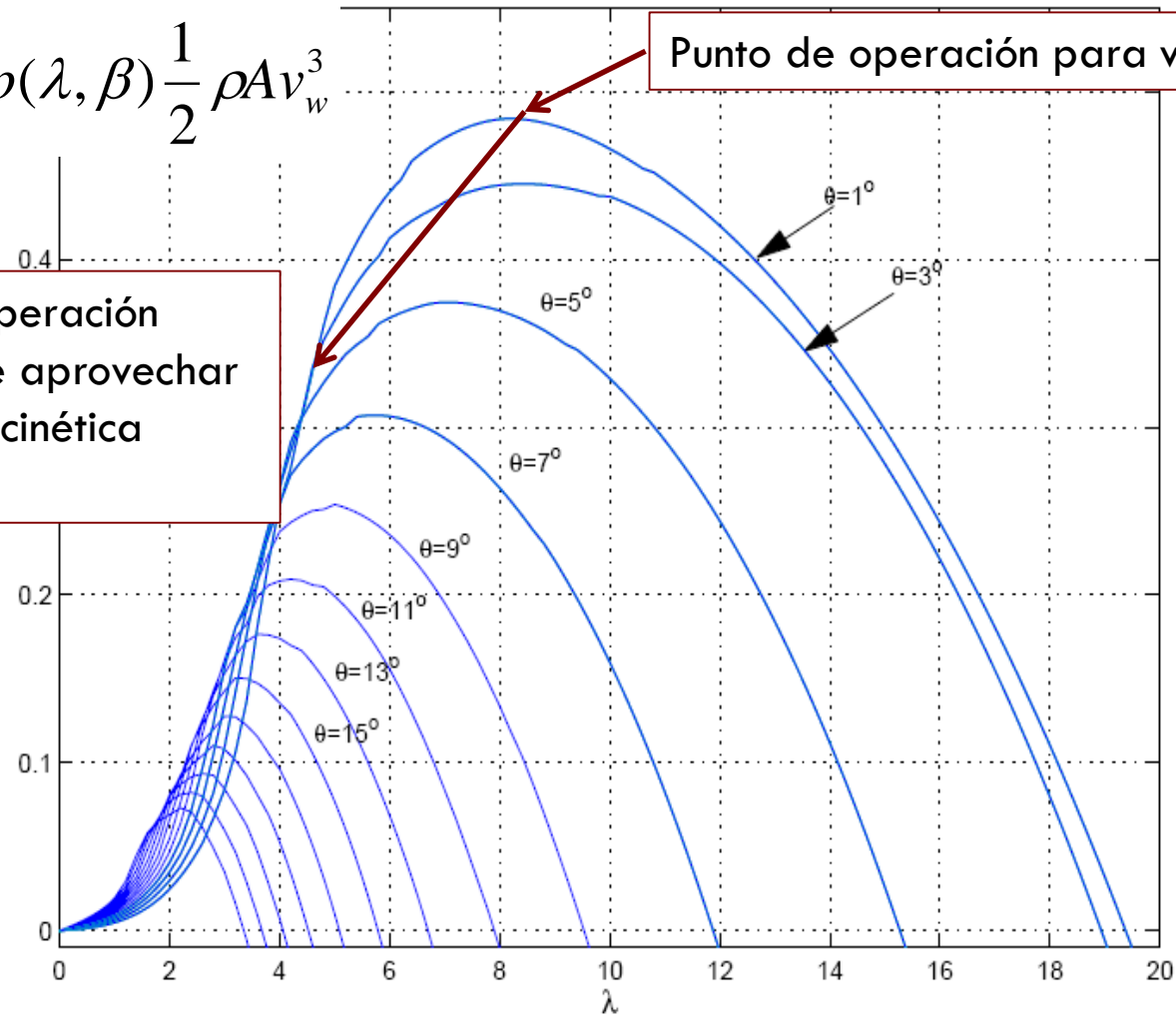


- Control de potencia activa / control de frecuencia a través de control del “pitch”.
- Una respuesta de frecuencia muy rápida es posible (pocos segundos), más rápido que termoeléctricas.
- Proveer reserva primaria positiva requiere limitar la generación (como en todos los casos para plantas generadoras)
  - > Muy costoso, porque la energía primaria (solar/viento) es sin costo.
- „Inercia artificial”:  
Utilizando la energía cinética rotacional de los rotores de un aerogenerador para proveer soporte de frecuencia => una propuesta de varios proveedores de turbinas (vea problemas en las siguiente laminas)

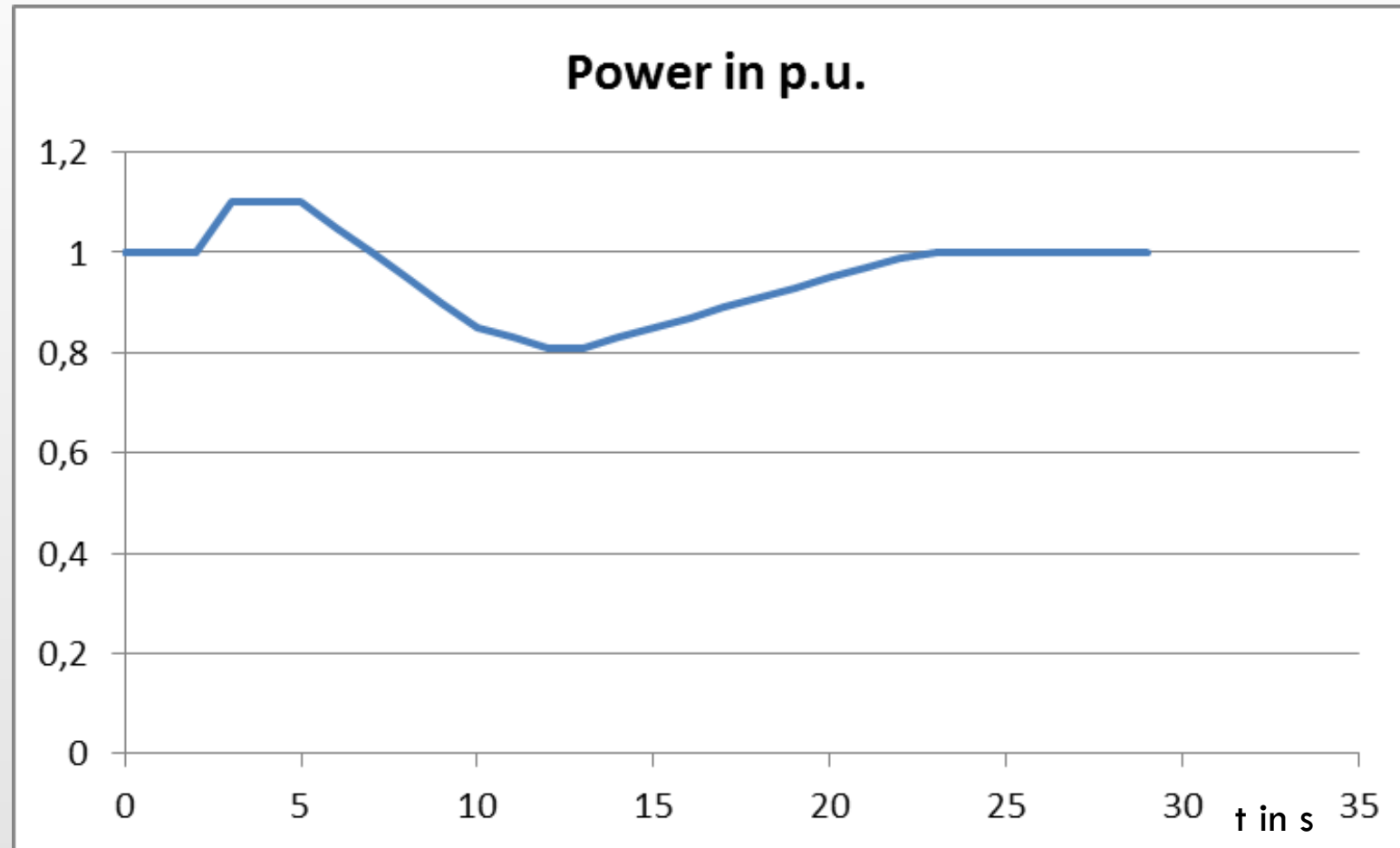
$$P_w = c_p(\lambda, \beta) \frac{1}{2} \rho A v_w^3$$

Punto de operación para  $v_w < v_{w, \text{rated}}$

Punto de operación después de aprovechar la energía cinética rotacional.



# Generación eólica – inercia artificial



- Utilizar la energía inercial del roto de un aerogenerador es problemático porque operar con una velocidad reducida también reduce la eficiente de la turbina.
- Por consiguiente, menos potencia activa está disponible después de haber utilizado la energía inercial.

## Recomendaciones:

- No se recomienda utilizar la inercia artificial, pero:
- Control de frecuencia con generación renovable o soporte rápido de frecuencia con baterías (p.ej. Reinos unidos, Irlanda)

- Inversores de sistemas fotovoltaicos pueden proveer control de potencia activa / frecuencia instantánea.
- Control primario con generación fotovoltaicas requiere limitar la potencia activa.
  - > Costoso porque la energía primaria (sol) es sin costo
  - > Recomendación: si es necesario baterías deberían proveer reserva primaria.

# Control de potencia activa / control de frecuencia con generación renovable - resumen



- Técnicamente el control de potencia activa / frecuencia es posible con la generación eólicas y fotovoltaica.
- El control de potencia activa puede ser muy rápido (eólicas: pocos segundos, Fotovoltaicas: instantáneo)
- Pero: Proveer reserva de potencia activa requiere limitar la potencia del generador, que es muy costoso, porque la energía primaria de la generación renovable es sin costo.

En muchos casos proveer control de potencia activa por sistemas de almacenamiento (p.ej. Baterías, hidroeléctrica reversible) es más costo-eficiente.



# Muchas gracias

Marko Obert

[marko.obert@moellerpoeller.de](mailto:marko.obert@moellerpoeller.de)

Moeller & Poeller Engineering GmbH (M.P.E.)

<http://www.moellerpoeller.de>

---