

# Conexión de generadores renovables a la red de potencia



MOELLER & POELLER ENGINEERING

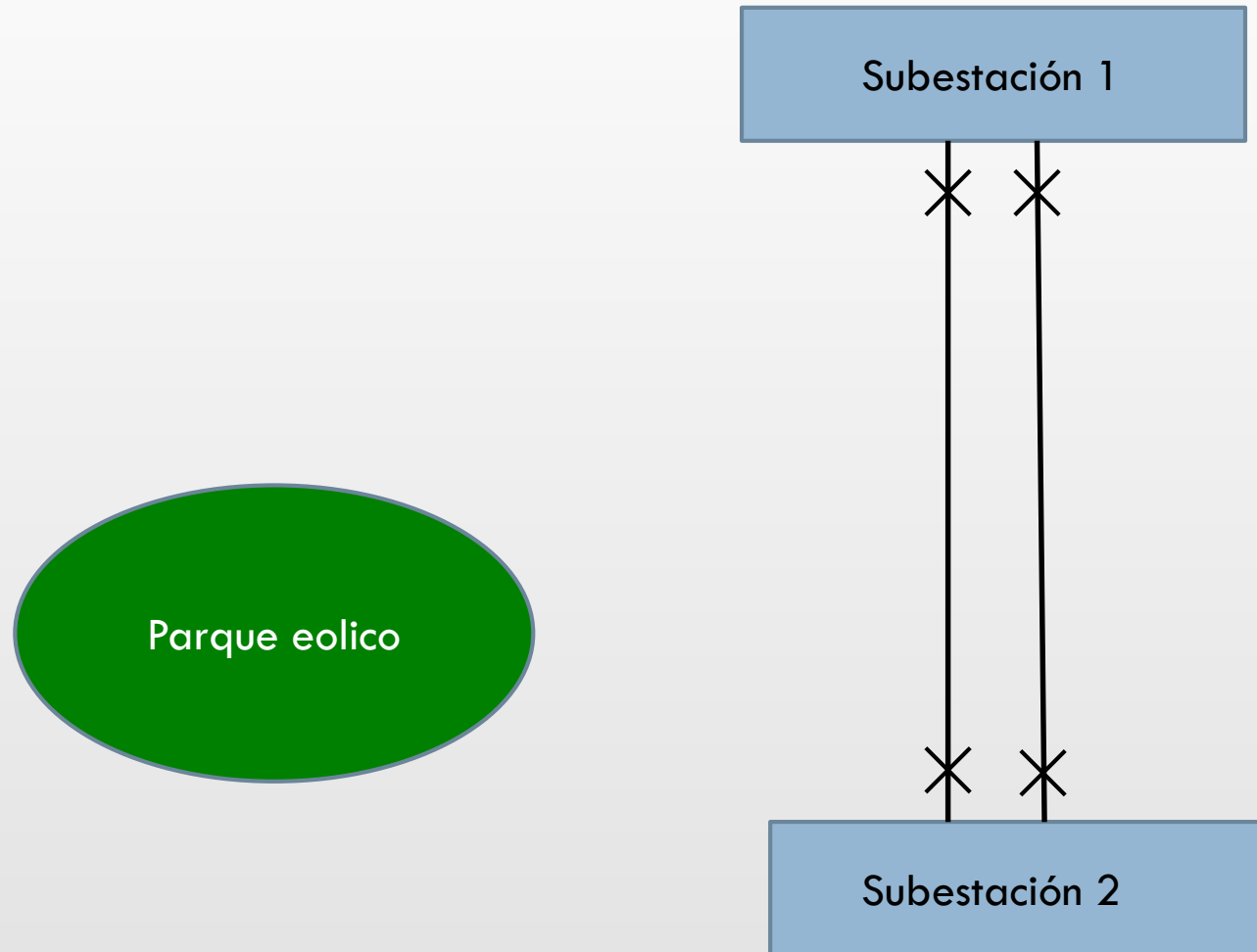
[www.moellerpoeller.de/www.moellerpoeller.co.uk](http://www.moellerpoeller.de/www.moellerpoeller.co.uk)

- Opciones de conexión
- Impacto a la carga termal de los componentes
- Impacto a la variación del voltaje durante operación normal.
- Impacto a la estabilidad del voltaje

**Opciones para conectar  
parques eólicos y fotovoltaicos  
a la red potencia.**

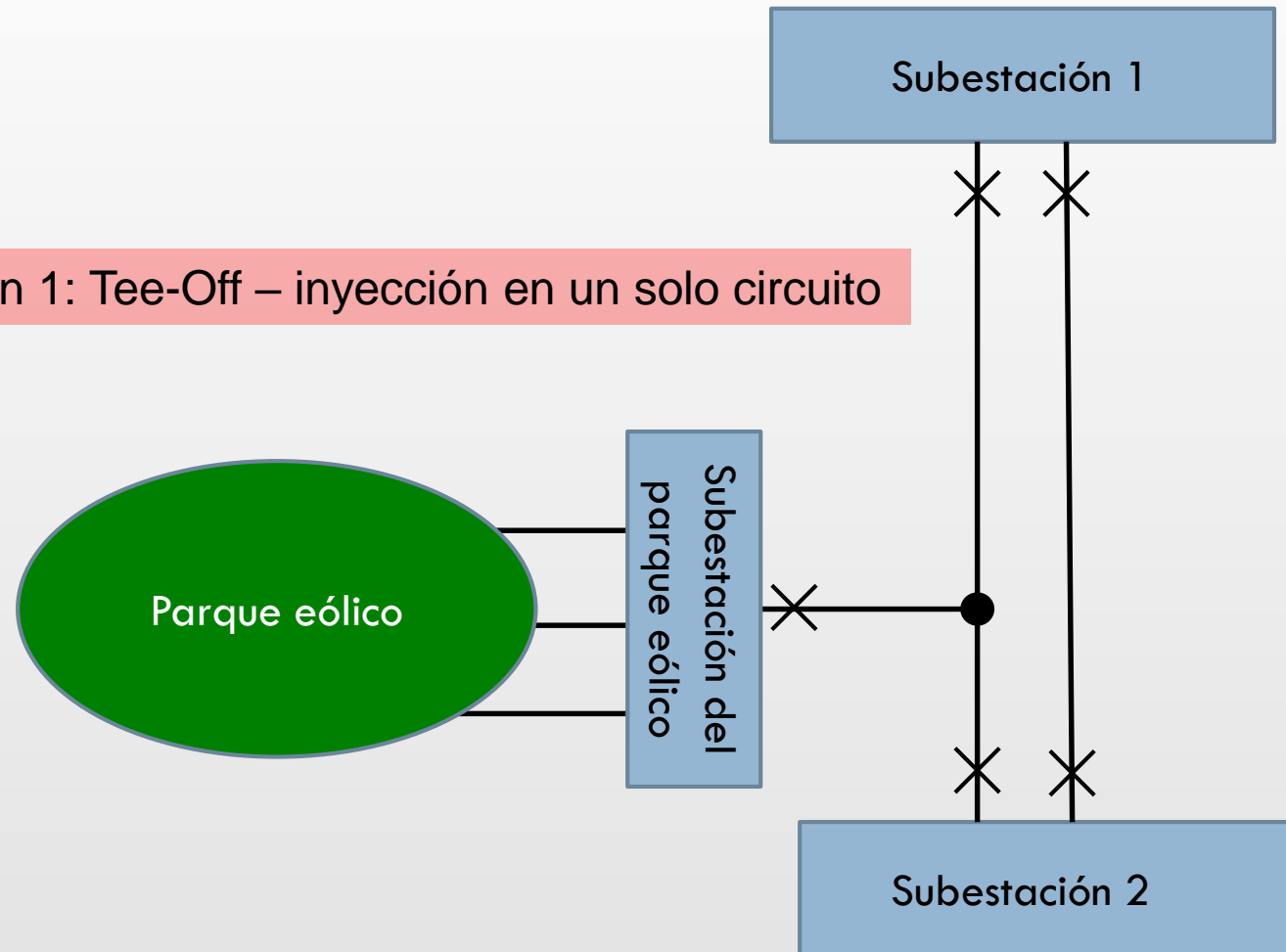
---

# Opciones para conectar un parque eólico



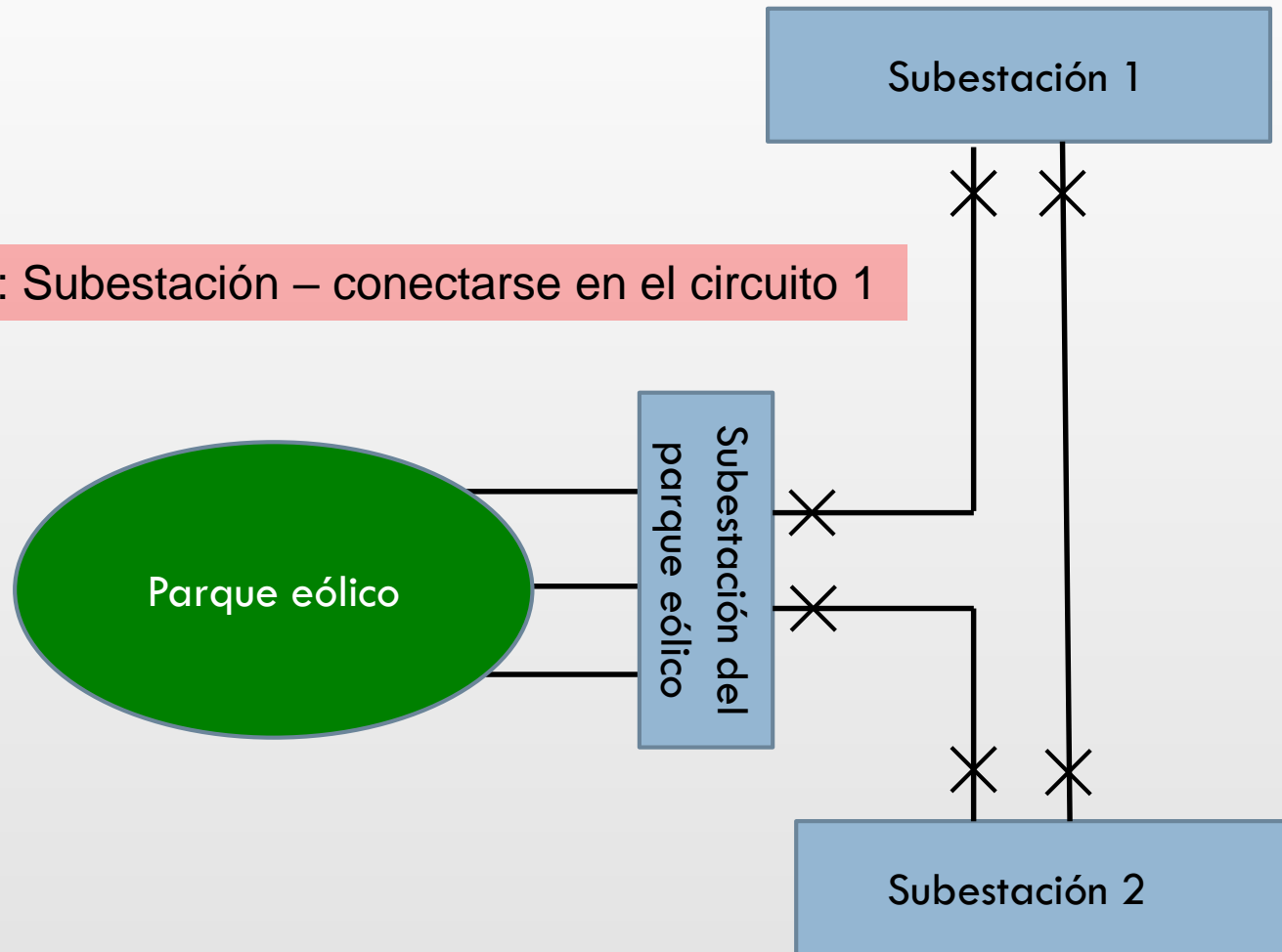
# Opciones para conectar un parque eólico

Opción 1: Tee-Off – inyección en un solo circuito



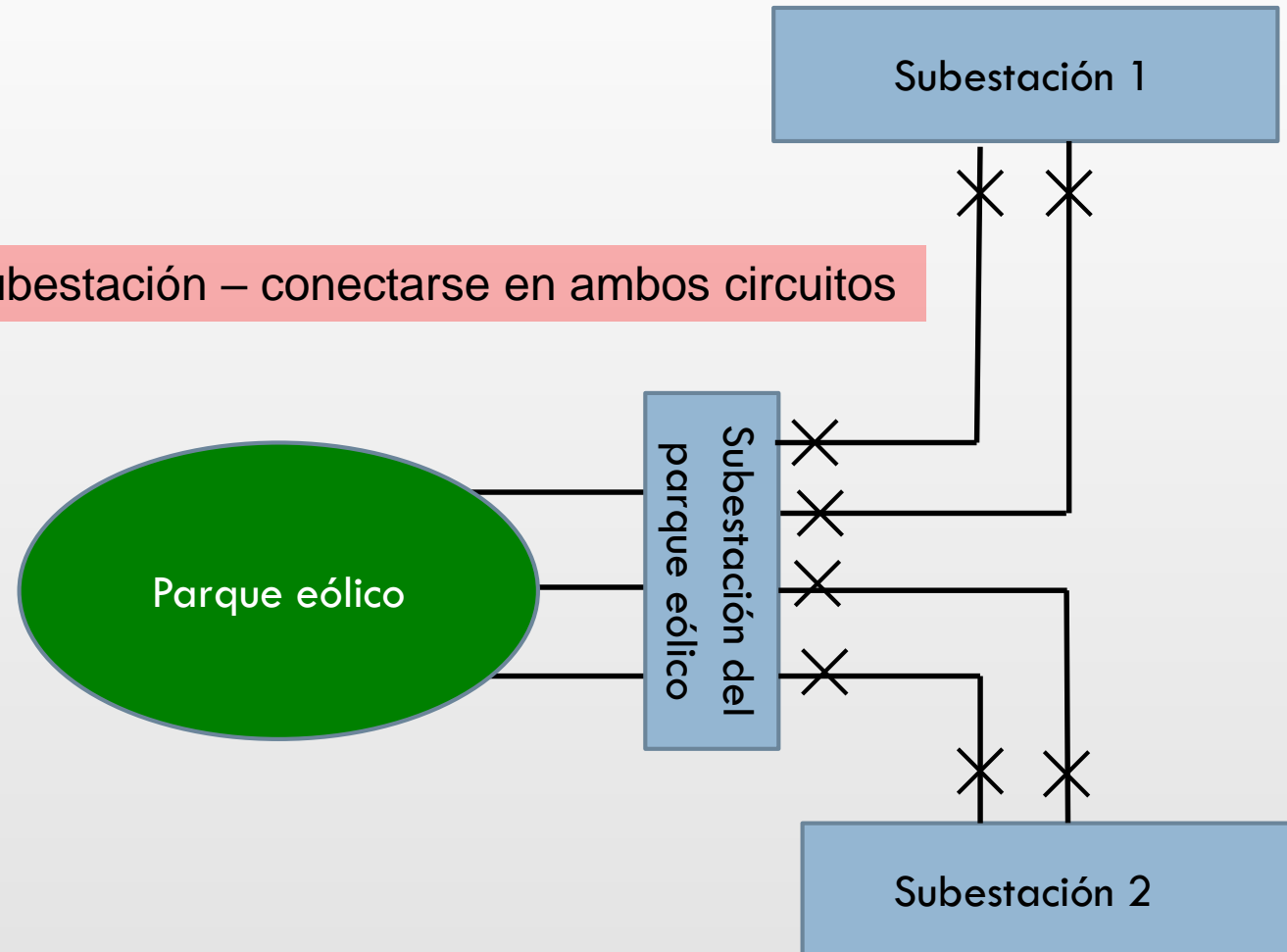
# Opciones para conectar un parque eólico

Opción 2: Subestación – conectarse en el circuito 1



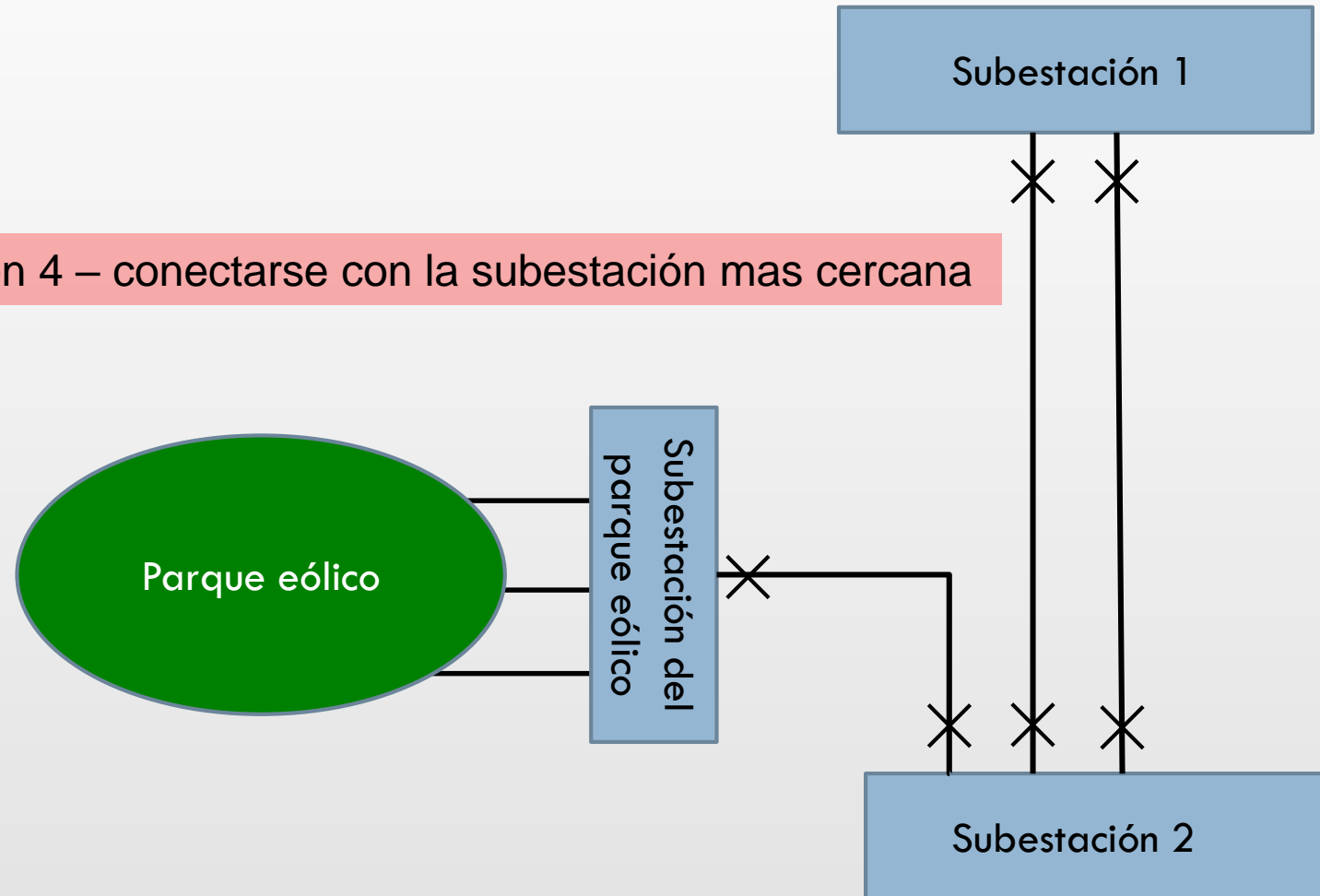
# Opciones para conectar un parque eólico

Opción 3: Subestación – conectarse en ambos circuitos



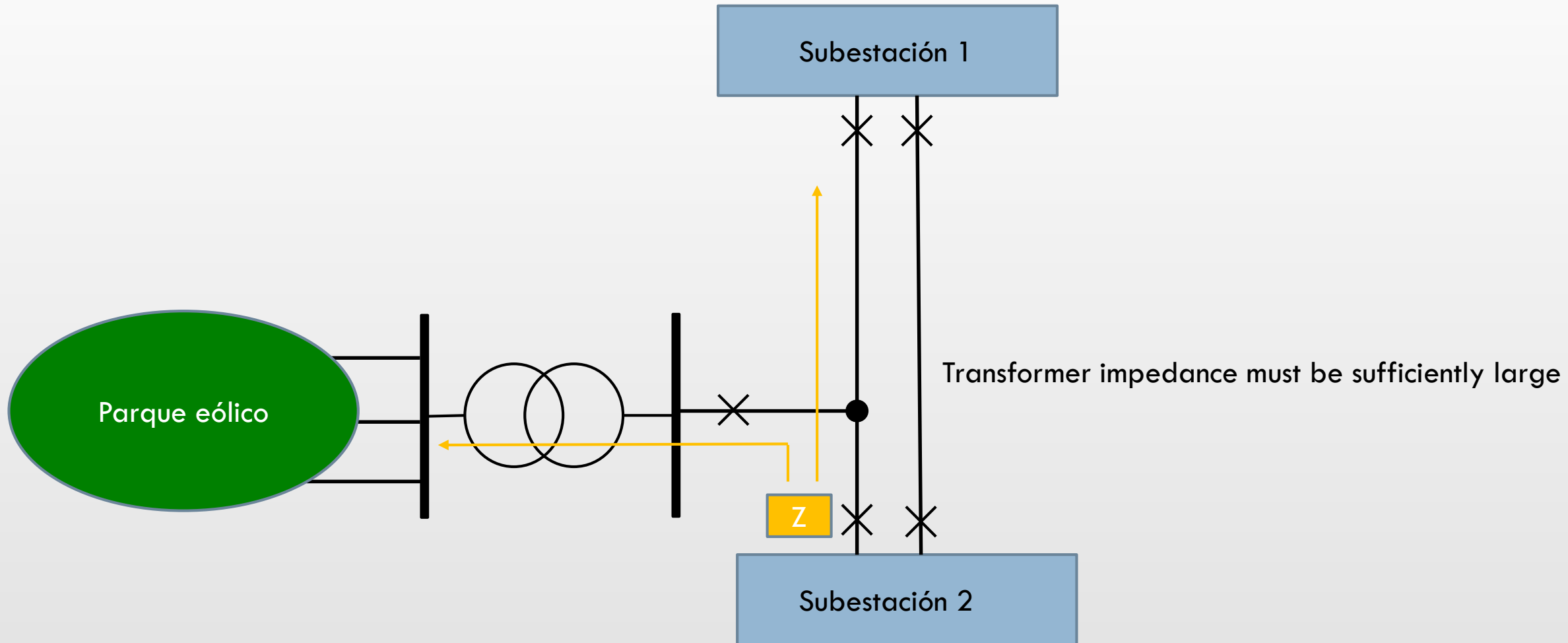
# Opciones para conectar un parque eólico

Opción 4 – conectarse con la subestación mas cercana





# Opción 1: Selectividad de protección



# Opción de conexión de un parque eólicos

- Opción 1 tiene efectos negativos a la selectividad de la protección de distancia.
- Opción 1 y Opción 2 causan una carga diferente en los dos circuitos.
  
- Conclusiones:
  - Opción 1 es la opción menos costosa, pero técnicamente no es recomendable.
  - Opción 2 y 3 son soluciones adecuados para parques eólicos de gran e intermedia escala.
  - Opción 4 una solución económica cuando el parque eólico está ubicado cerca de la subestación.

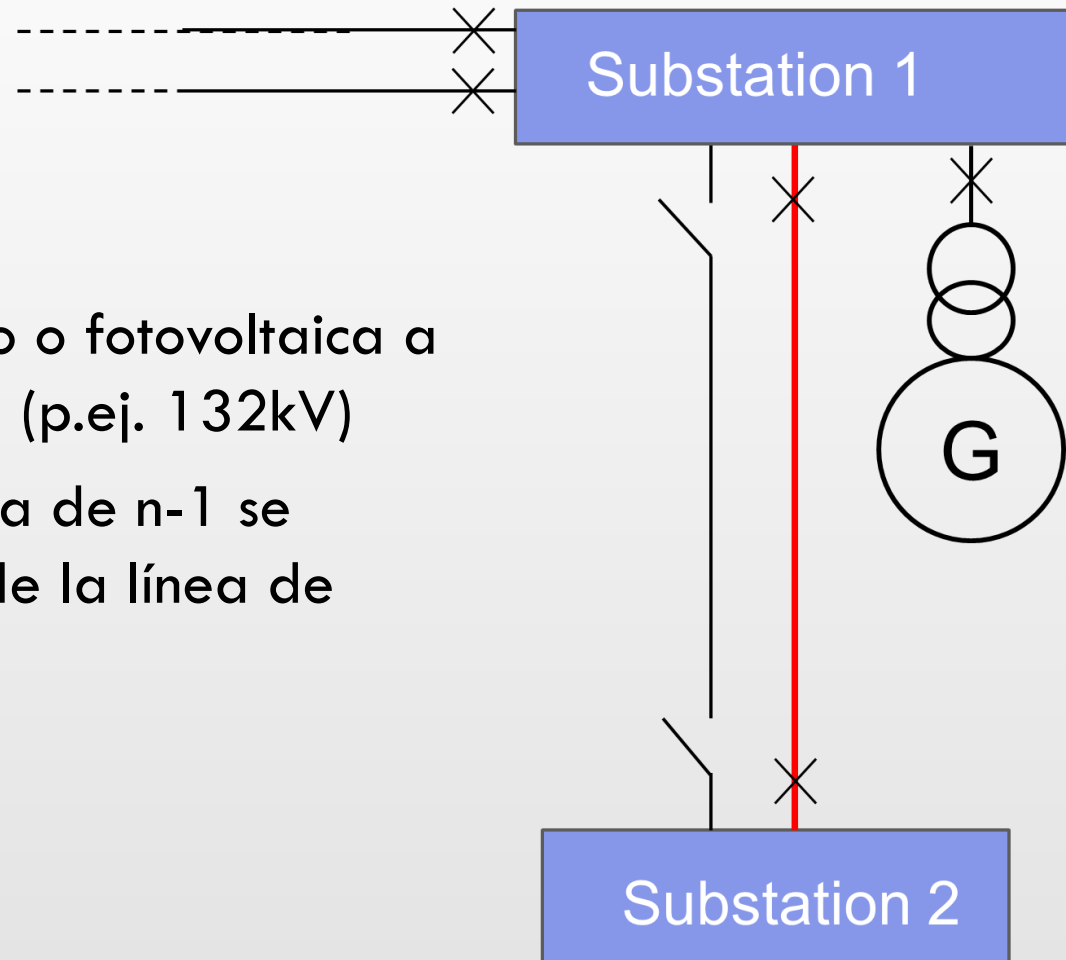
# Impactos a la carga térmica

- Líneas Adicionales de transmisión se debe construir solamente en base a los resultados de estudios bien definidos considerando el tamaño y ubicación del parque eólico o fotovoltaico planificado.
- Se deben realizar estudios de flujo de carga considerando las siguientes combinaciones:
  - Nivel de carga (Carga alta y baja)
  - Nivel de velocidad de viento o irradiación solar (Alta, intermedia, baja velocidad/irradiación)
- En redes en lazo o malla: Se definen en un preprocesamiento una gran variedad de escenarios de estudios de flujo de carga.
- Para evitar inversiones en líneas de transmisión, que se necesitan solo pocas horas al año, se debe asignar probabilidades a los estudios.

# Impacto a los límites térmicos - Ejemplo

## Ejemplo:

- Conectar un parque eólico o fotovoltaica a una subred de transmisión (p.ej. 132kV)
- Por una contingencia crítica de n-1 se detecta una sobrecarga de la línea de transmisión de 120%
- Que hacer?



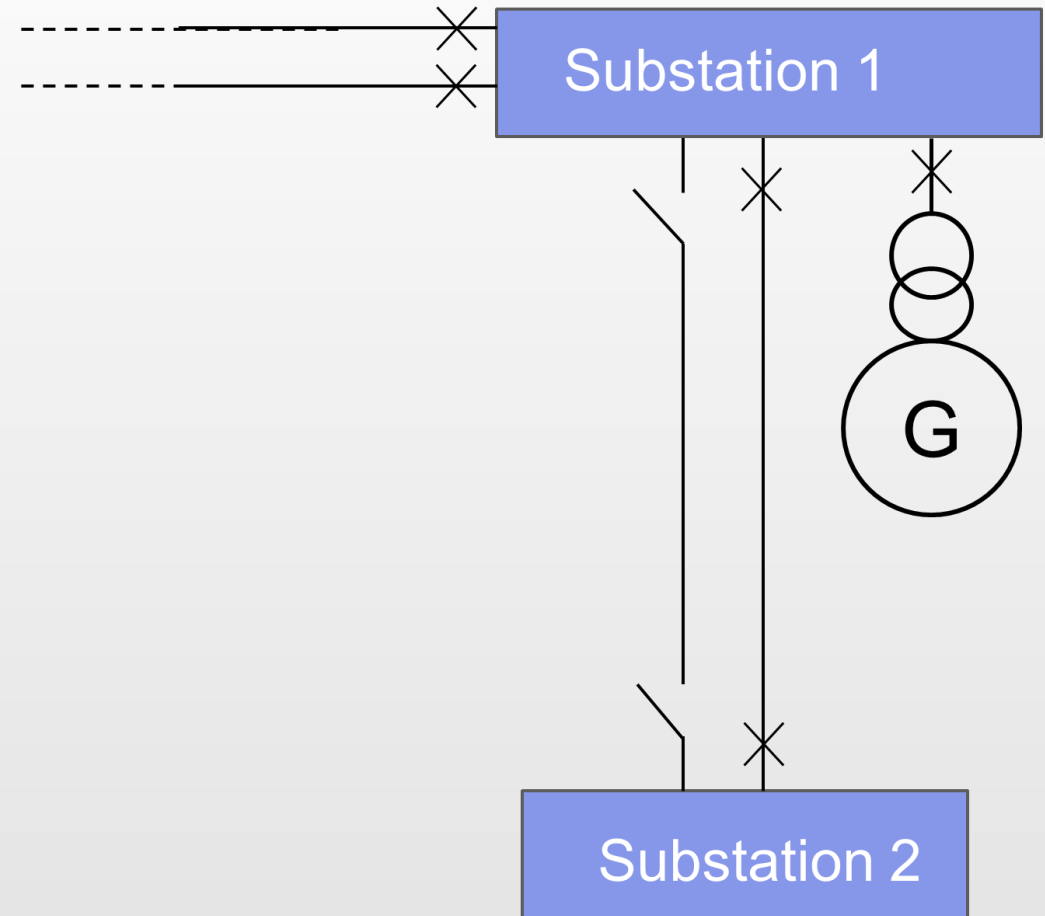
# Impacto a los límites térmicos - Ejemplo

## Opciones:

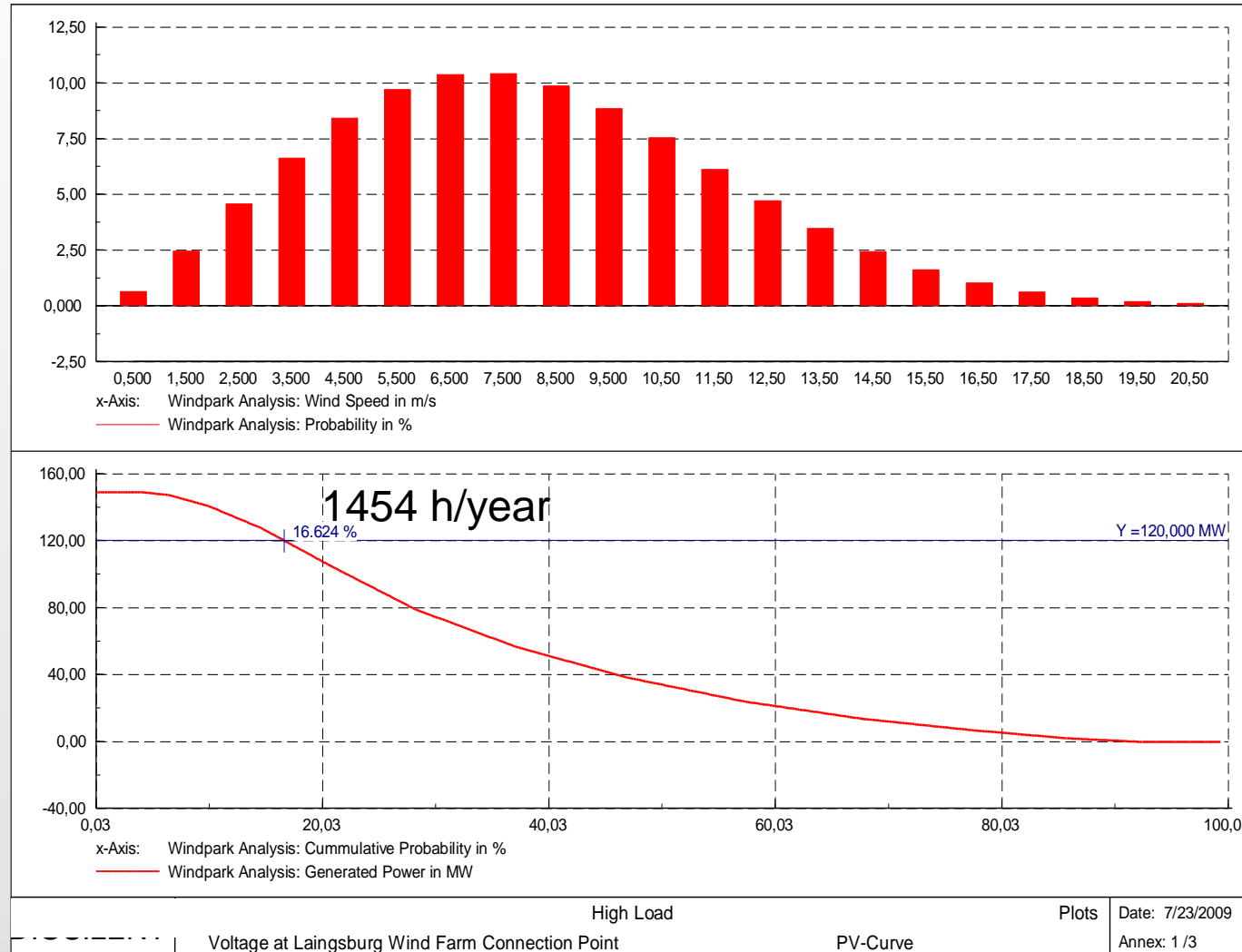
- Construir una línea nueva.
- Limitar la generación de la planta constantemente a 80% (de la potencia nominal)
- Limitar la generación de la planta en caso de una falla (disparo manual o automático)
- Considerar un monitoreo dinámico de las capacidades de transmisión (ingl. Dynamic line rating)

# Criterios de planificación

Seguridad N-1 sin acciones post-falla



# Incumplimiento con los límites térmicos – Limitar la generación





## Energía no entrega (ingl. Energy no delivered) depende de:

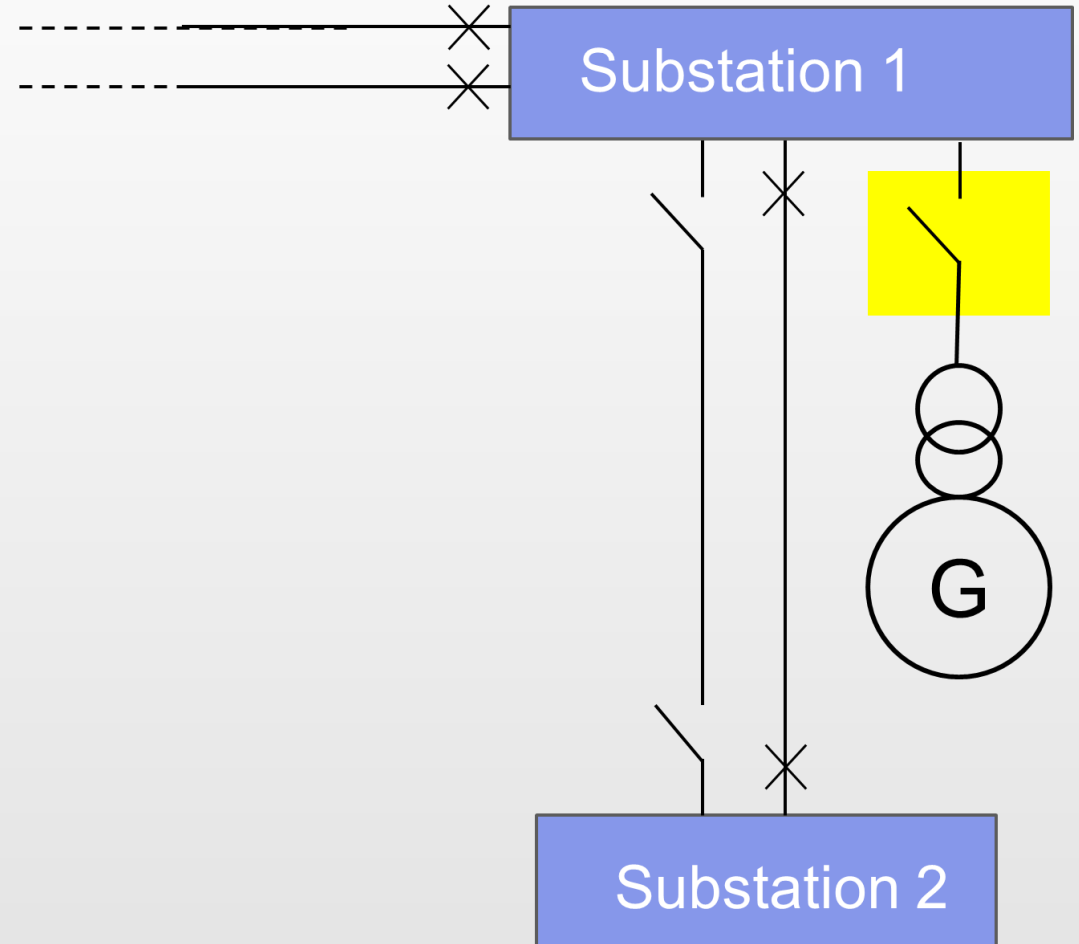
- Condiciones de viento/irradiación
- Aspectos del sitio
- Características de la turbina o sistema fotovoltaico.

## Estimación de costos (ejemplo con una tarifa de 8 ct€/kWh):

- Promedio de viento = 7m/s:
  - Energía no entrega de aprox. 5% de la energía total
  - 150 MW parque eólico: 19 000MWh no entregadas -> 1 520 000 Euro/año
- Promedio de viento = 8m/s:
  - Energía no entrega de aprox. 7.5% de la energía total
  - 150 MW parque eólico: 37 000MWh no entregadas -> 2 960 000 Euro/año
- Las anualidades de la inversión en la expansión de la red deben ser comparados con los costos de energía no entregada.

# Criterios de planificación

Seguridad N-1 con acciones post-falla  
(esquema inter-trip)



## Incumplimiento con los límites térmicos – Limitar la generación durante contingencias.

### Situaciones N-1 con acciones post-falla permite las siguientes opciones:

- Limitar la generación de la planta renovable en situaciones en que solamente un circuito está disponible (indisponibilidad no-/programada)
- En caso de sobrecarga menores (debajo del límite de emergencia):
  - Acciones manuales del operador del sistema
  - Esquema automático “run-back”
- En caso de sobrecargas mayores (encima del límite de emergencia)
  - Esquema automático de “inter-trip”

- La carga térmica de una línea aérea depende de:
  - Temperaturas ambientales
  - Velocidad de viento (correlación con la generación eólica)
- Aerogeneradores:
  - Velocidad de arranque: 2.5...4m/s, nominal: 12...16m/s
  - Pero se debe considerar la altura y el medio ambiente.

Ambient Temperature	Line Rating expressed in MVA at 66 kV*		
	Wind Speed = 0.5 m/s	Wind Speed = 3.0 m/s	Wind Speed = 5.0 m/s
30 °C	22.6	39.9	49.5
35 °C	16.5	32.9	41.5

- Análisis de caso base: asumir que 100% de la potencia nominal están disponibles en el punto de interconexión.
- En el caso que no se observan problemas-> o.k. (con margen de seguridad)
- En el caso que se observan problemas -> se requieren estudios más detalladas:
  - Considerar la probabilidad de la generación renovable (incluyendo pérdidas eléctricas, etc.)
  - Considerar la limitación de la generación renovable.
  - Considerar esquemas automáticos de “inter-trip” o “run-back”
  - Considerar el monitoreo dinámico de las capacidades de transmisión.
- La decisión final depende de análisis costo-beneficio y requisitos de seguridad.

---

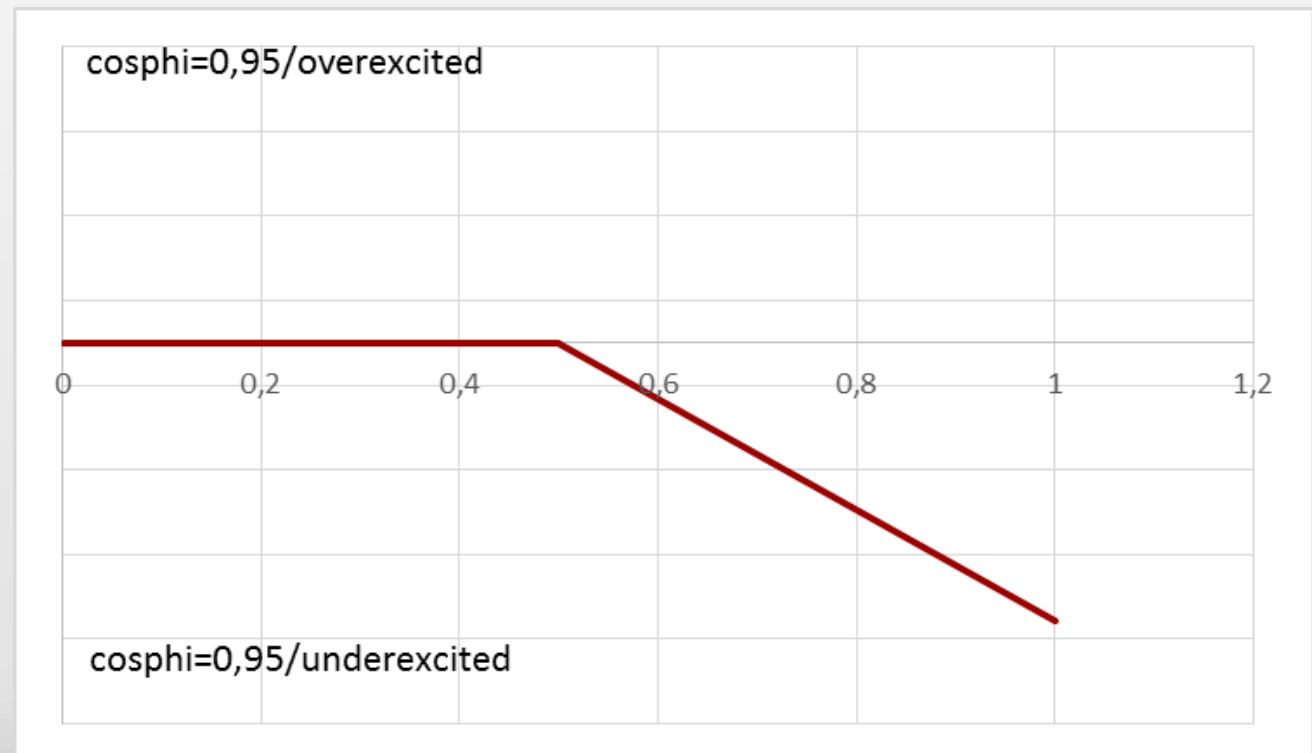
# **Impacto a las variaciones del voltaje.**

- Redes de distribución: Variaciones considerable del voltaje por la variación de la inyección, porque la proporción  $X/R$  es baja (la resistencia  $R$  es alta)
  
- Redes de Transmission: Considerablemente menos variaciones del voltaje por las variaciones de la inyección, porque la proporción  $X/R$  es alta ( $R$  es bajo). Casos de contingencias son aspectos más relevantes.
  
- Opciones de mitigación:
  - Característica-Q(P)
  - Control de voltaje (voltage feed-back)

# Ejemplo 1 : Interconexión en media tensión.

## Opción típica de control de potencia reactiva / voltaje en MT

- Potencia reactiva constante (const Q)
- Factor de potencia constante (const cosphi)
- Característica-cosphi(P)





# Ejemplo 1 : Interconexión en media tensión

## Resumen:

- Operación con  $\cos\phi = 1$ : Se exceden los límites del voltaje.
- Operación con  $\cos\phi(P)$ : Voltaje dentro de los límites.
- Control del voltaje “feed-back”: No se recomienda para redes de media tensión.
  - La operación de una red MT resulta más complejo.
  - No se requiere, porque el problema de incremento del voltaje es un problema local.
  - Típicamente no se observan problema de estabilidad de voltaje en MT

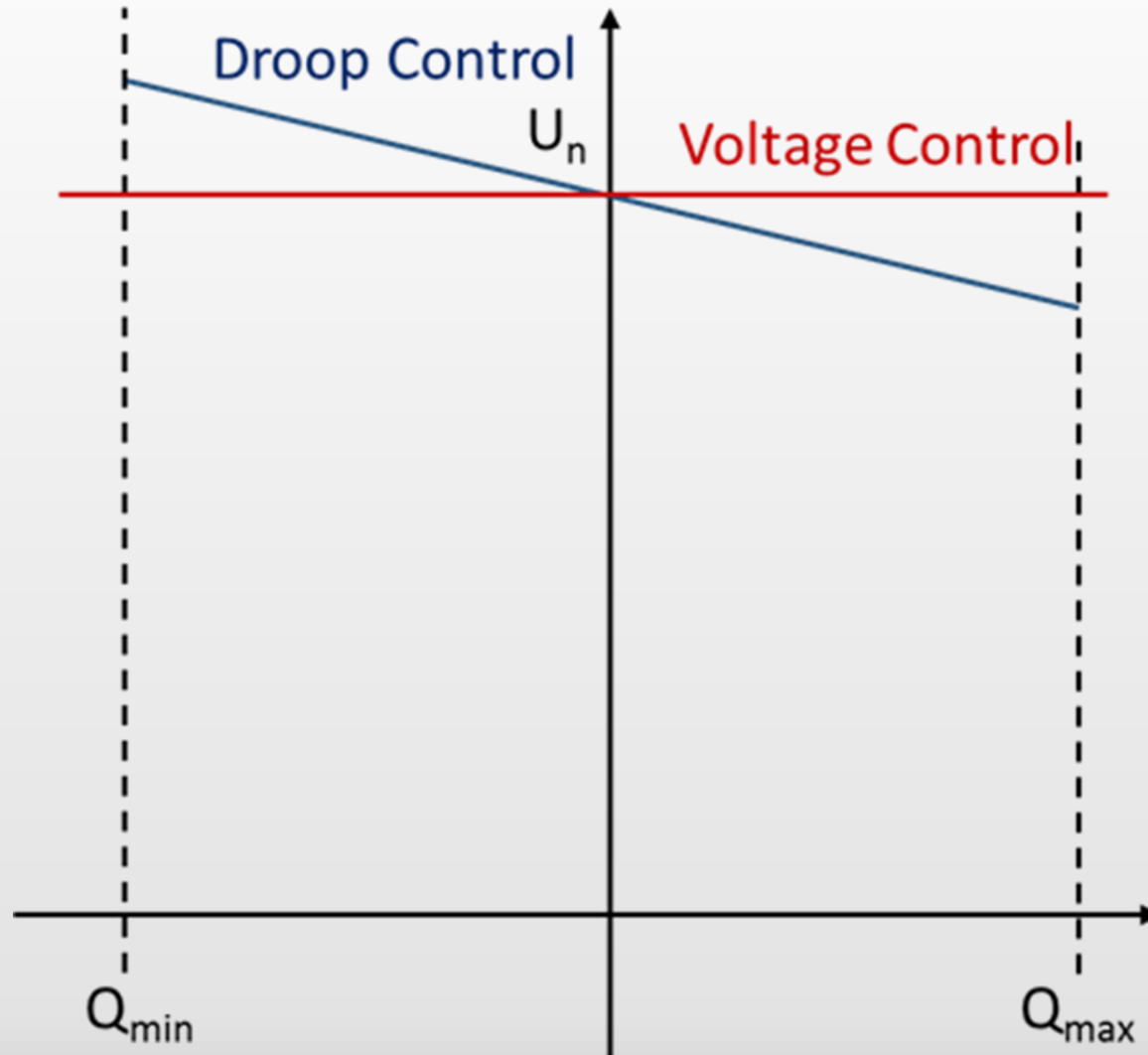
## Ejemplo 2: Conexión en alta tensión

### Opciones comunes de control de potencia reactiva / voltaje en AT:

- Control de voltaje “feed-back”
- Control droop de voltaje
- Control de potencia reactiva
- Factor de potencia constante en el Punto de Interconexión

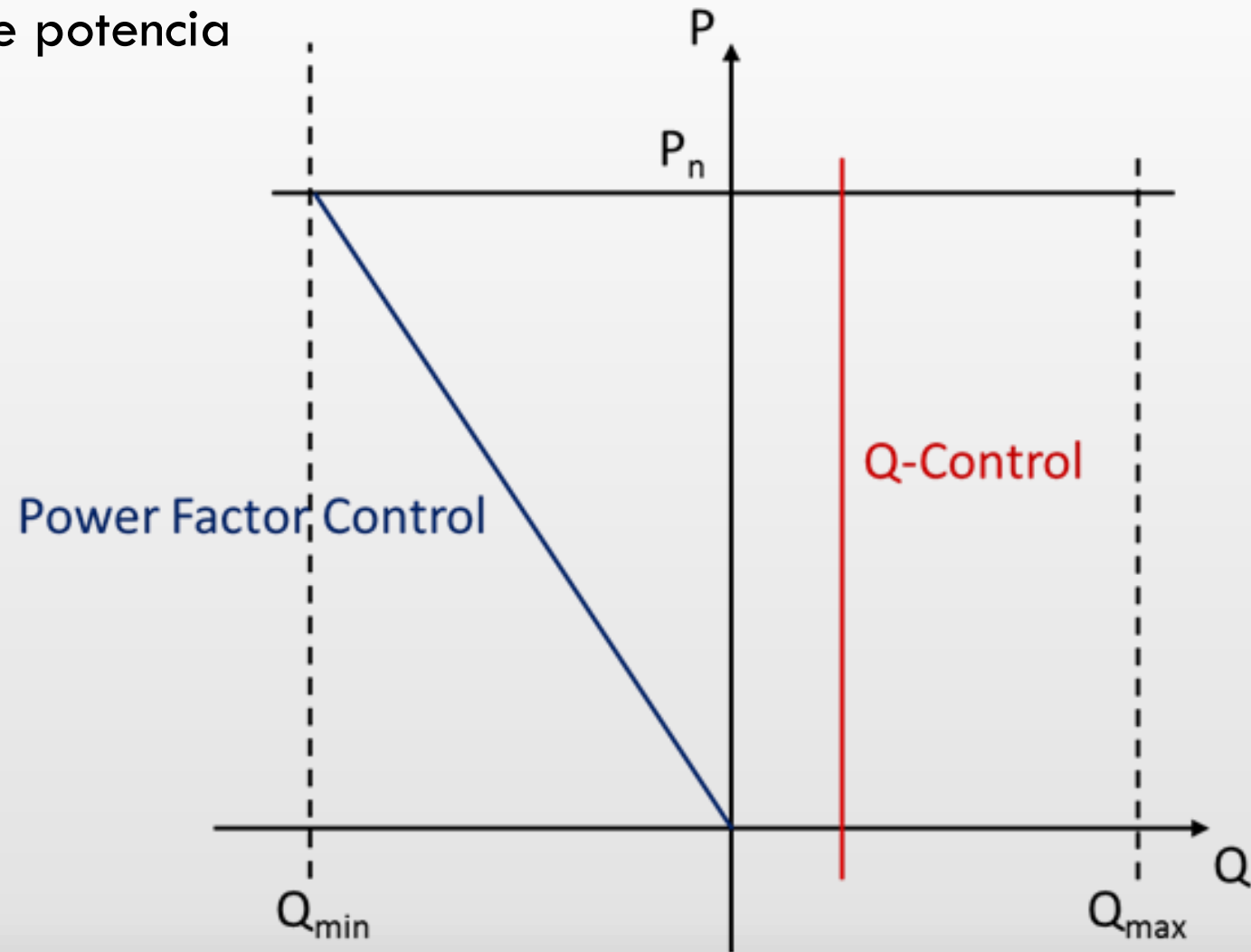
## Ejemplo 2: Conexión en alta tensión

- Control de voltaje
- Control de droop



## Ejemplo 2: Conexión en alta tensión

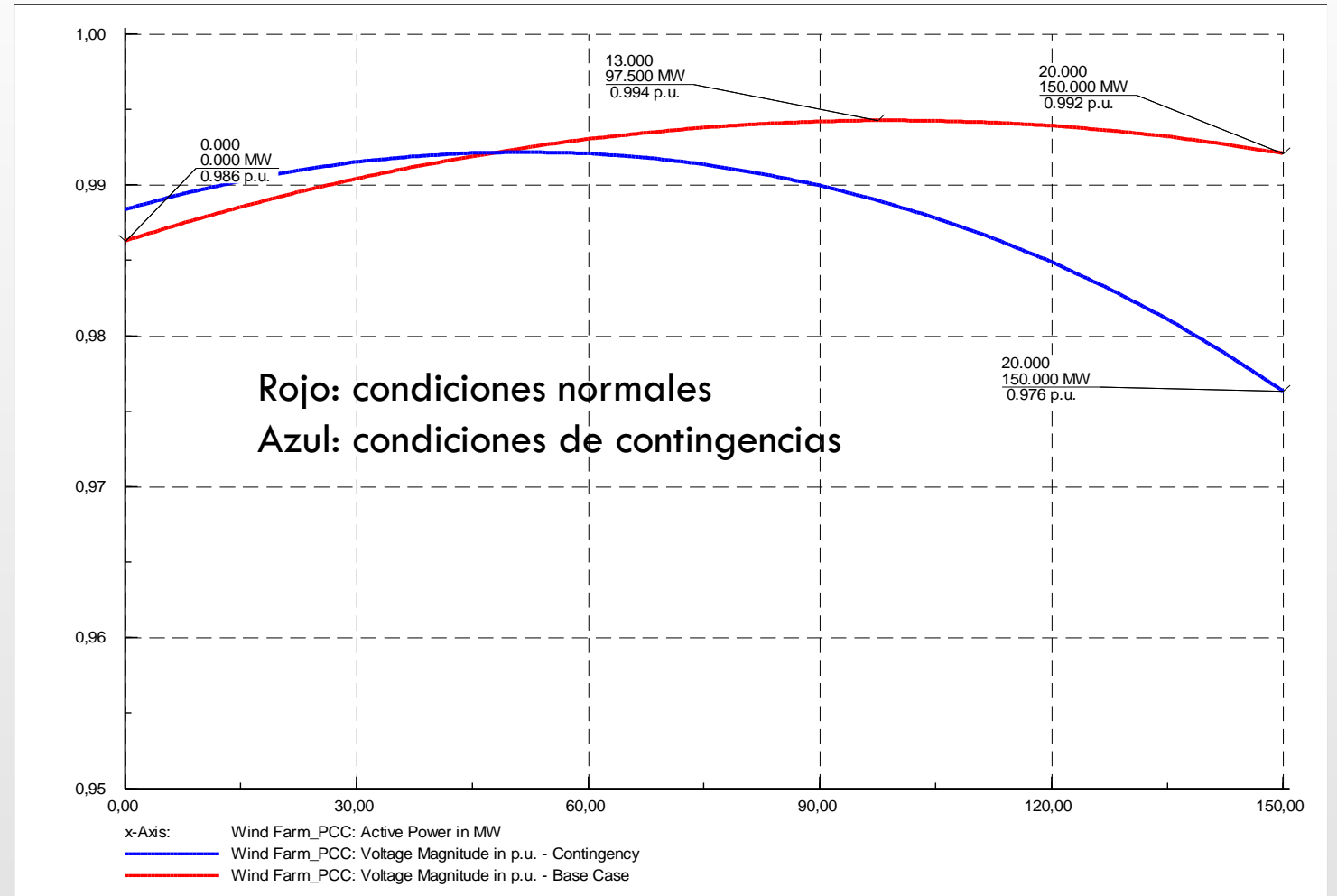
- Control con un factor de potencia
- Control-Q



# Ejemplo 2: Conexión en alta tensión

Operación con un cosphi constante:

- Altos cambios de voltaje cerca de los límites de estabilidad del voltaje.

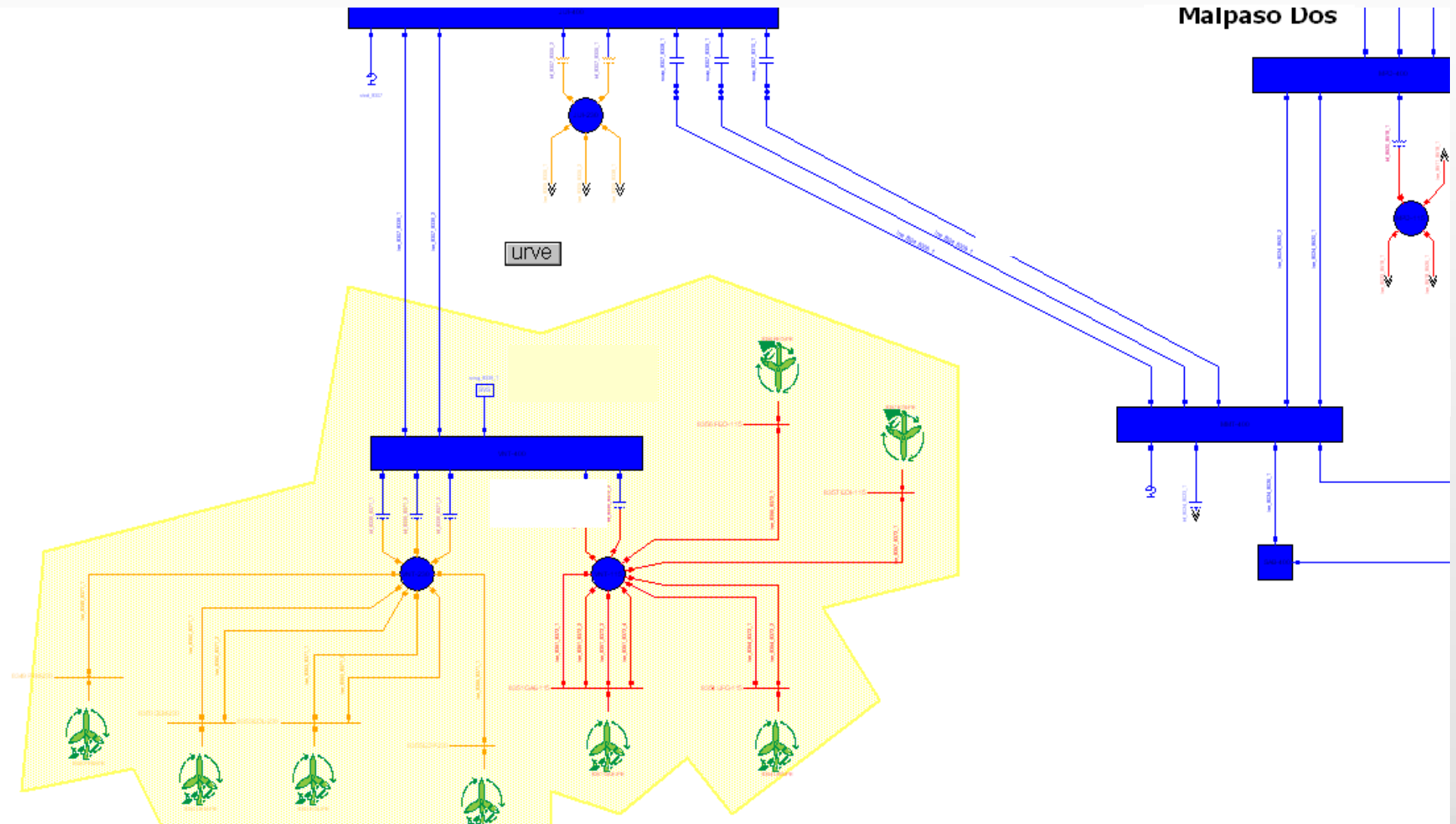


## Ejemplo 2: Conexión en alta tensión

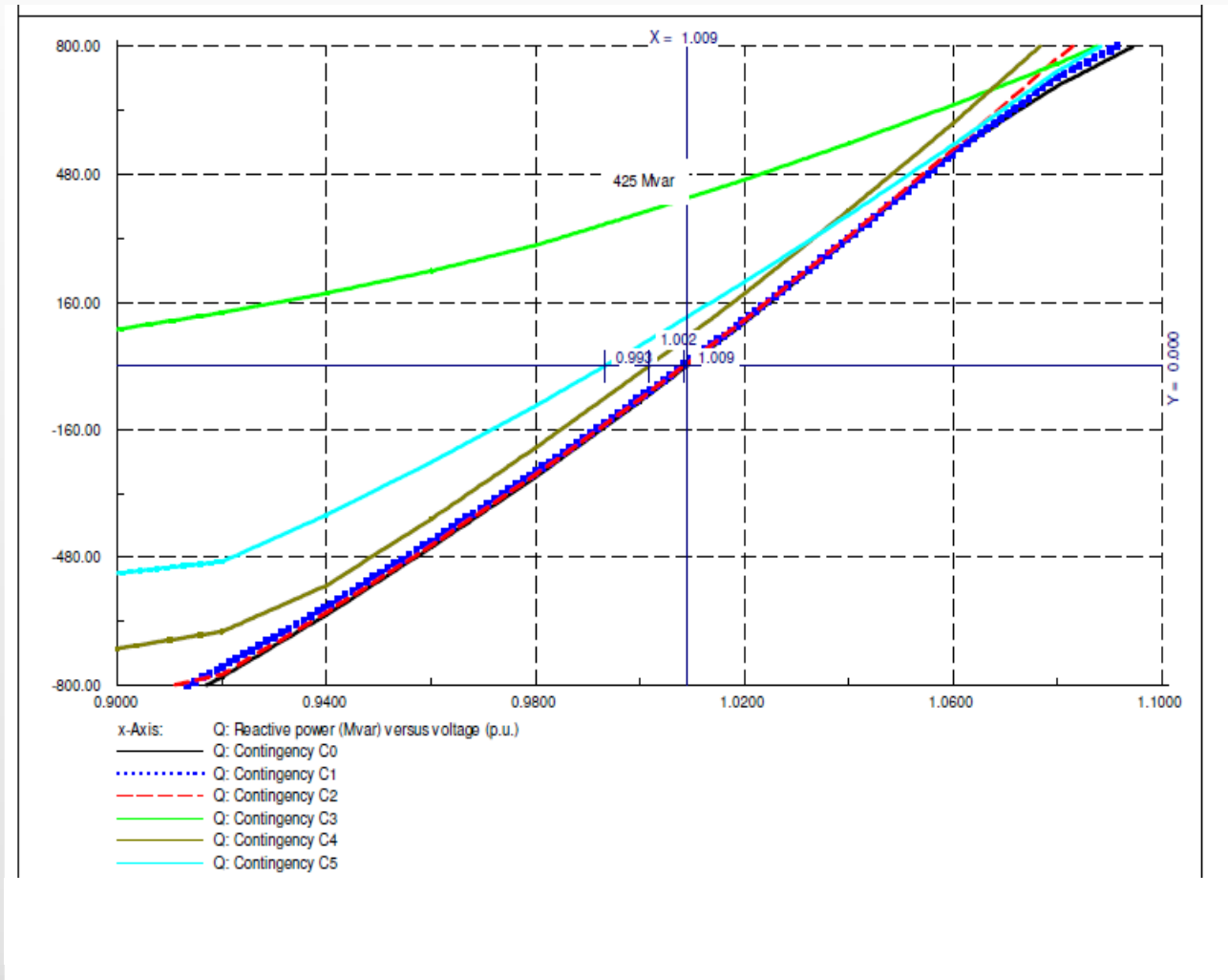
### Recomendación:

- Control de voltaje
- Control de voltaje-droop
- Justificación para control de voltaje “feed-back” (o droop):
  - Problemas de voltaje externos de la planta renovable (p.ej. pérdida de una línea de transmisión)
  - La operación cerca de los límites de estabilidad del voltaje aumenta los cambios de tensión.
  - Definición de una tensión de objetivo es una práctica común de operadores de sistemas de alta tensión  $\Rightarrow$  no se aumenta la complejidad de operación.

# Ejemplo 3: Plantas eólicas de gran escala conectados en AT



# Ejemplo 3: Voltaje vs. Potencia reactiva – Estabilidad de voltaje





# Ejemplo 3: Variaciones de voltaje

## Resumen:

- ❑ Pequeñas variaciones de voltaje en función de las variaciones de potencia activa (relación  $X/R$  es grande)
- ❑ Altas variaciones de la tensión en caso de contingencias críticas.
- ❑ Control de voltaje (con “feed-back”) en el punto de interconexión es requerido para mantener la estabilidad del voltaje.
- ❑ Los rangos de potencia reactiva requeridos se pueden determinar a través de análisis de las curvas QV.

## ■ Redes de distribución:

- El impacto de las fluctuaciones de la potencia activa al voltaje es considerable.
- Problemas del voltaje se pueden mitigar normalmente operando la planta renovable con un factor de potencia en rango subexcitado.
- Control de voltaje “feed-back” normalmente no es requerido, hasta puede causar problemas (conflictos con el control de voltaje del transformador)

## ■ Redes de transmisión:

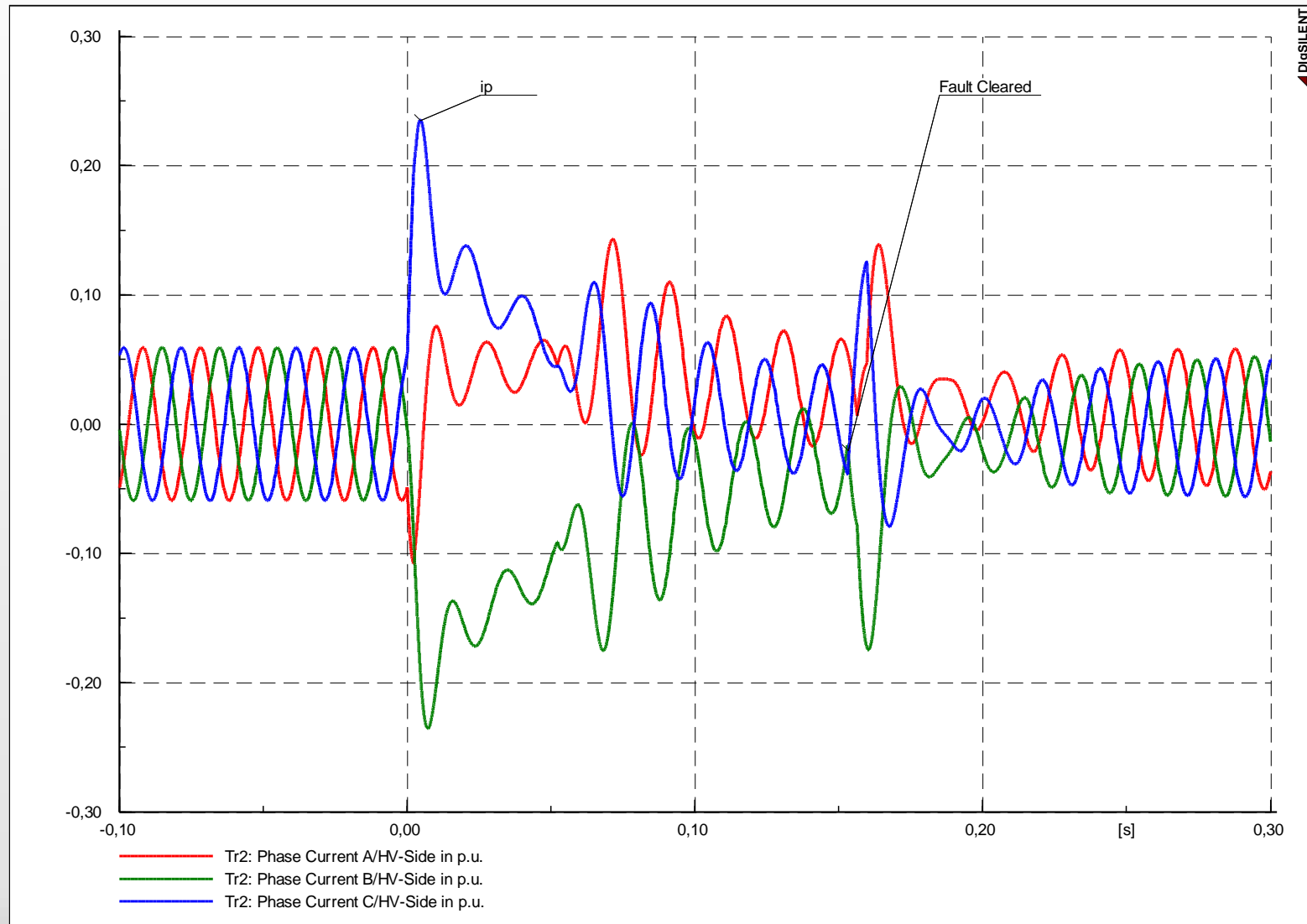
- El impacto de las fluctuaciones de la potencia activa al voltaje es bajo.
- Estabilizar el voltaje en caso de contingencias es el problema dominante.
- Control de voltaje “feed-back” es requerido en caso de problemas de estabilidad del voltaje.
- En grandes sistemas de transmisión puede resultar necesario instalar SVCs y STATCOMs adicionales.

---

# Contribución Corto Circuito

- Cálculo del corriente máximo de corto circuito:
  - Determinar el impacto a los componentes existentes (subestación, capacidad de cables y línea de distribución/transmisión, etc.)
  - Impacto a nuevos componentes del parque de generación renovable.
  
- Calcular del corriente mínimo de corto circuito:
  - Verificación de los parámetros de la protección.

# Contribución de corto-circuito de un parque eólico.



Corriente de corto circuito de un aerogenerador de doble alimentación con protección „crow-bar“

# Muchas gracias

Marko Obert

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

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

<http://www.moellerpoeller.de>