

**NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA RED DEL
FUTURO EN CHILE**

**ASPECTOS DE ESTABILIDAD DEL
SEN CON ALTA PENETRACIÓN DE
ENERGÍAS RENOVABLES**

ESTUDIOS ELECTRICOS 

Abril de 2021

David Esteban Perrone



INTRODUCCIÓN

Metodología de estudio y Consideraciones Generales

Programación Largo Plazo

- Análisis preliminar de implicancias técnicas a partir de corridas económicas:
 - Alta penetración de **fuentes renovables**
 - Reducción general de la **inercia**

Despachos PLP
2021-2032

Escenarios Base

Análisis Local
(estático)

Análisis Sistémico
(dinámico)

Resultados y definición de
Requerimientos

Posibles Soluciones

Estudio de viabilidad técnica

- En base a Inputs de corridas económicas
 - ✓ Retiro secuencial a 2030
 - ✓ Retiro 2025 (Fast Track)
- Casos: Adaptado y Desadaptado.



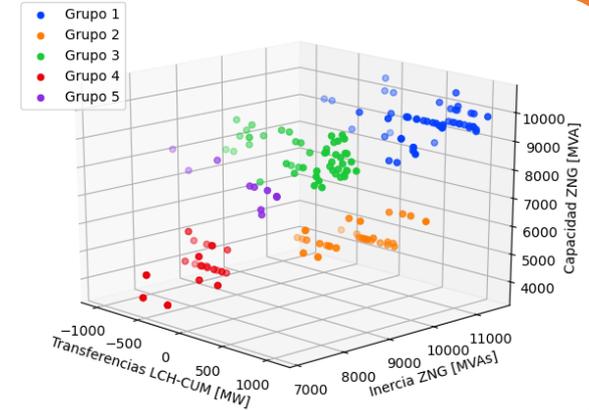
METODOLOGÍA

Construcción de Escenarios

Despachos PLP

Selección de escenarios

- ✓ En base a **análisis multivariable**
- ✓ Tendencias de la operación
- ✓ **Características representativas** del fenómeno a estudiar



Paso de
Información a DS
(diccionario común)



Unidades DS

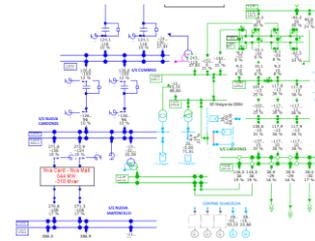


Proyección demanda



Ajuste de
Escenario
DS

- ✓ Reactivos
- ✓ Pérdidas
- ✓ Controles de P



Escenarios Base



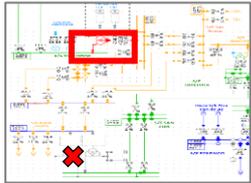
METODOLOGÍA

Fenómenos evaluados

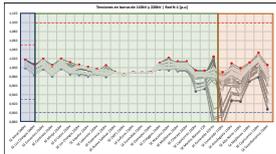
Escenarios Base

Fenómenos evaluados

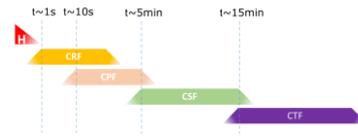
Sobrecargas



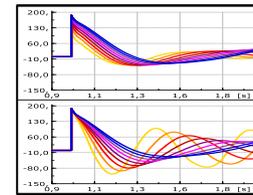
Control de tensión



Control de Frecuencia



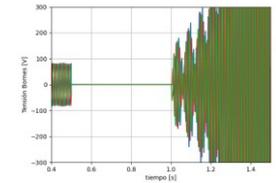
Estabilidad Angular



Short Circuit Ratio



Interacción de controles



Resultados y definición de Requerimientos



ANÁLISIS PRELIMINAR DE ESCENARIOS PLP

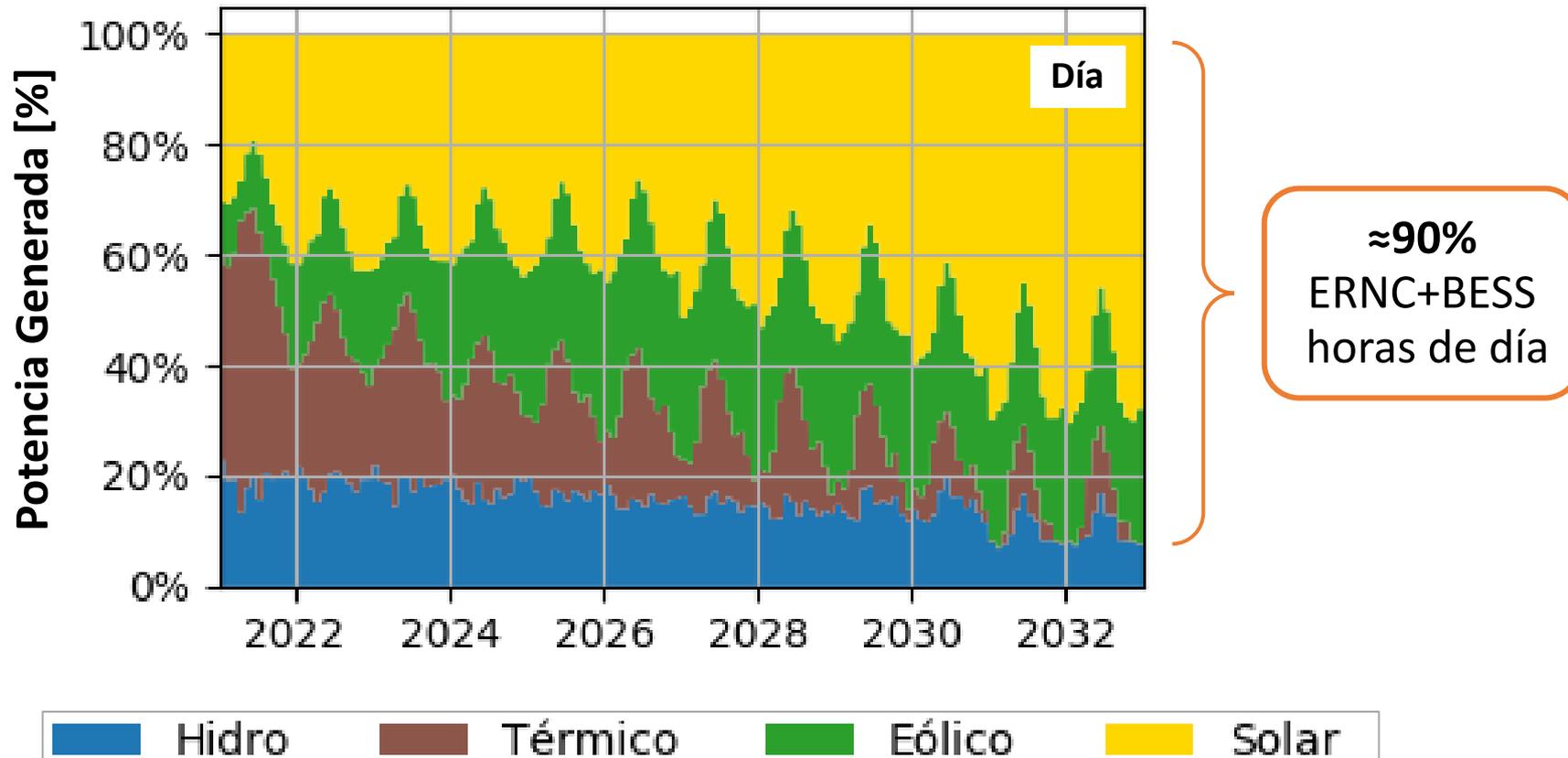
Proyección de generación – Caso adaptado

Generación a Carbón

- Unidades del despacho base
- Reducción de generación convencional

Generación ERNC + BESS

- Reemplazo energético
- Generación en base a convertidores
- BESS compensan variabilidad ERNC





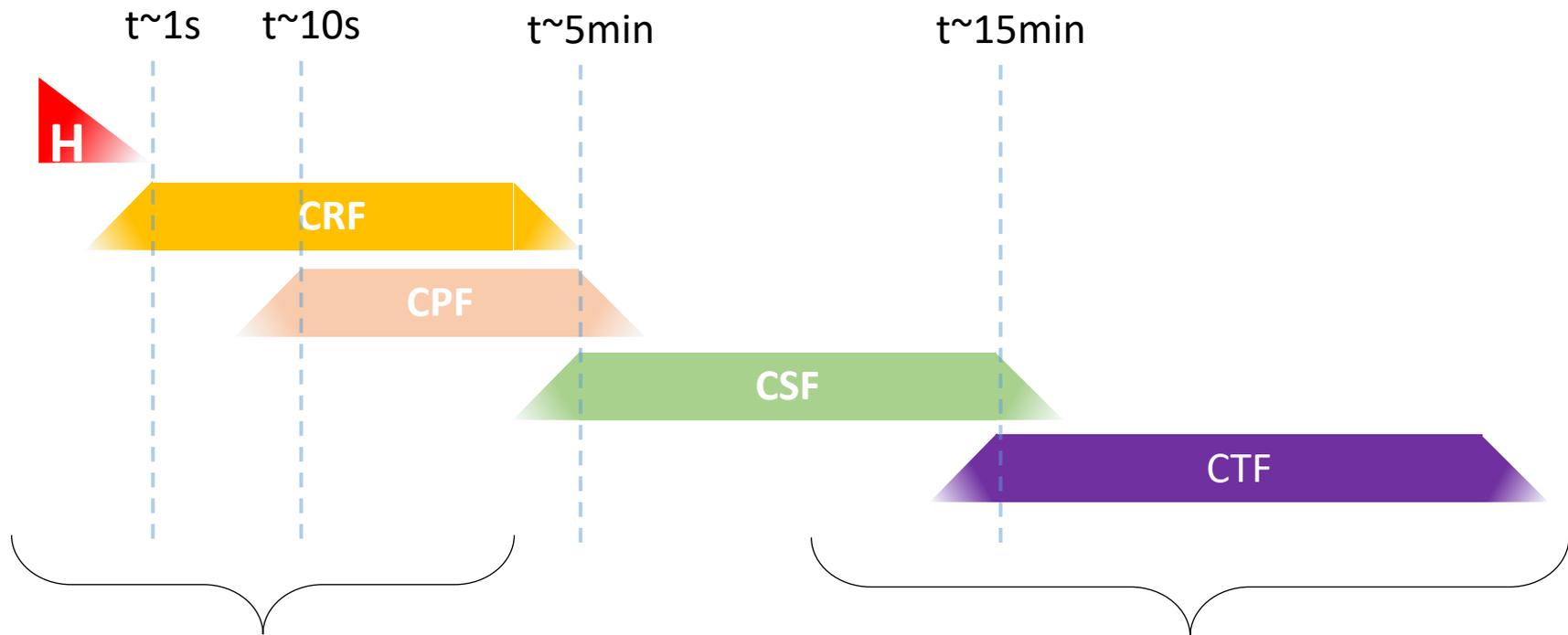
RESULTADOS



ESTABILIDAD EN FRECUENCIA

Impacto del retiro de unidades convencionales

Esquema temporal de la Estabilidad en Frecuencia



Impacto Caso Adaptado

- Reemplazo por ERNC -

- Inercia
- Reservas CRF/CPF
- Ajustes y filosofía EDAC

Impacto Caso Desadaptado

-Utilización de unidades existentes-

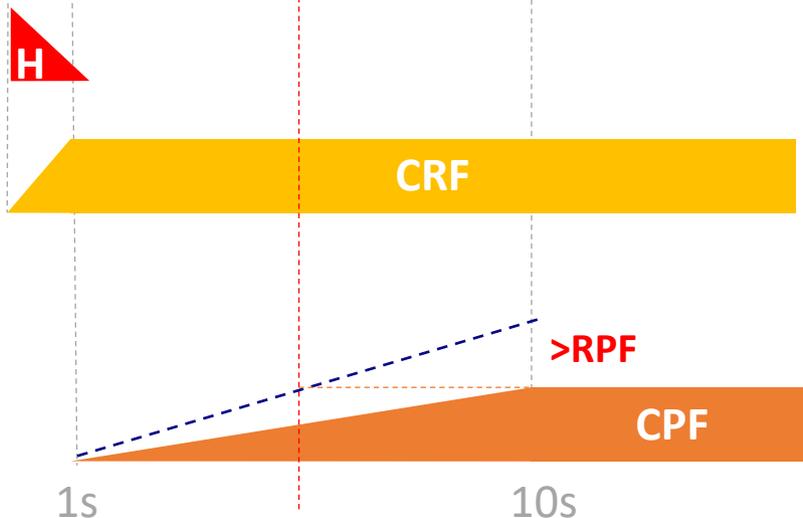
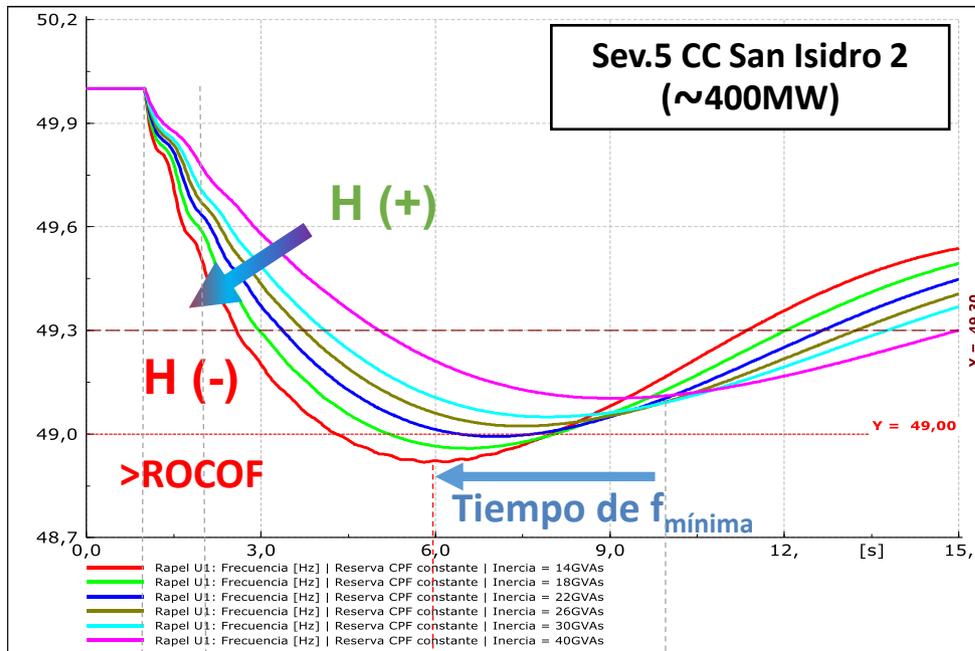
- Reserva Secundaria
- Reserva terciaria (fría y rodante)
- Despacho (Forzado)



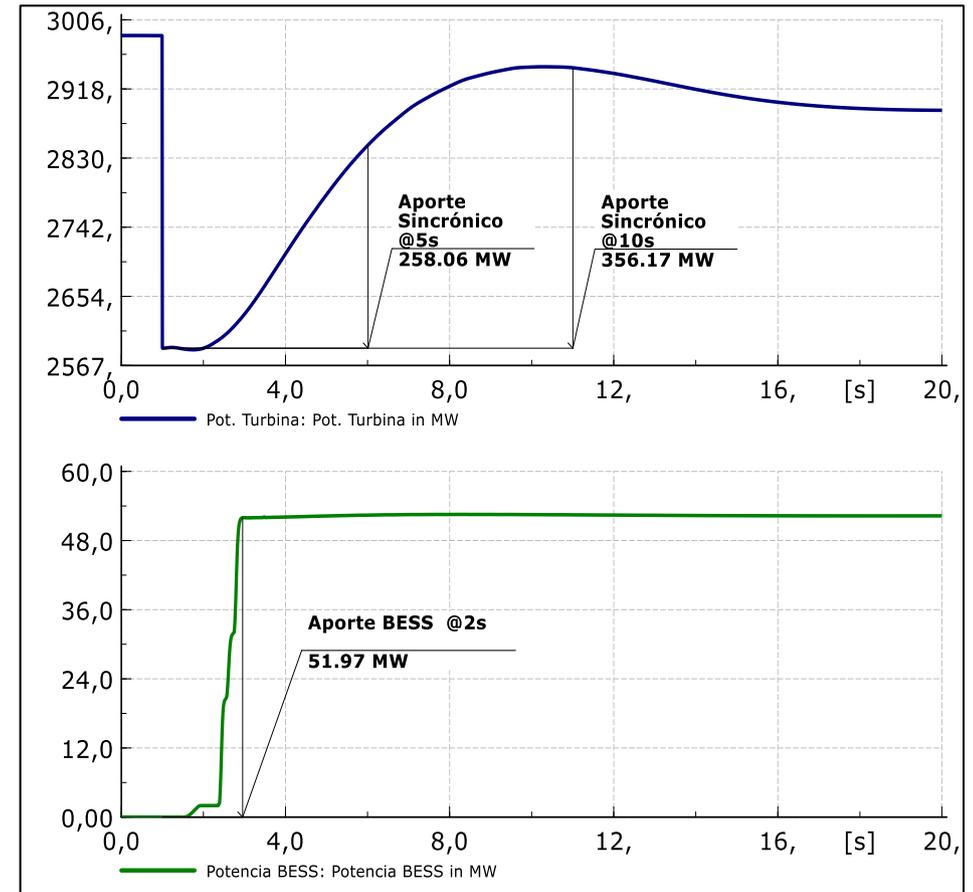
ESTABILIDAD EN FRECUENCIA

Principales Resultados y Conclusiones

Impacto en el control de frecuencia → **H** + **CRF** + **CPF**



Respuesta real del CPF y CRF:



- Impacto en la tasa de caída
- Impacto en el tiempo de frecuencia mínima



ESTABILIDAD EN FRECUENCIA

Principales Resultados y Conclusiones

Resultados obtenidos

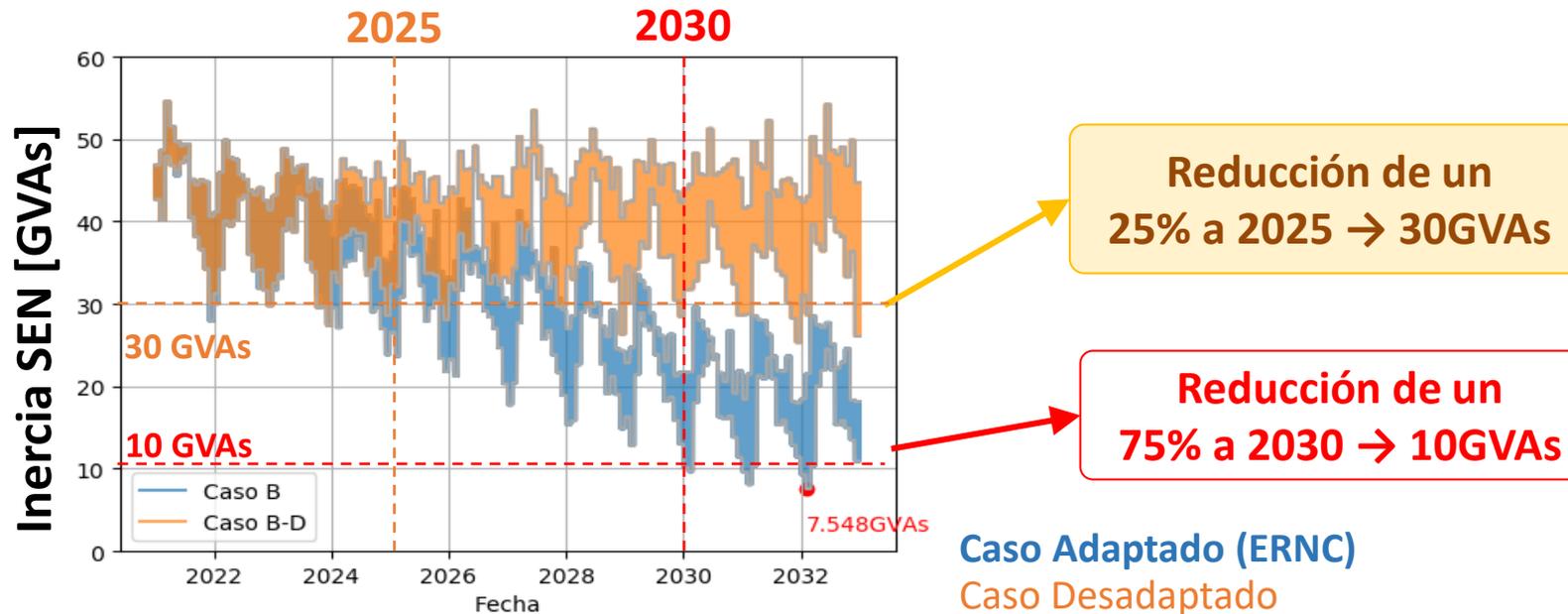
Escenario	Inercia Sistémica [GVAs]	RoCoF teórico Hz/s
dic-21	30	0,33
dic-24	25	0,4
dic-26	21,8	0,46
dic-28	17,5	0,57
dic-30	12,4	0,81

Validado
SILENT DIG

Principales Conclusiones

Límite operativo de 25GVAs | 0,4Hz/s, sin requerir adecuar filosofías de EDAC ni de Reservas. Inercia mínima SIC pre-interconexión

Condiciones bajo 22GVAs pueden presentar **problemáticas numéricas** en modelos disponibles (no implica necesariamente inviabilidad de operación real).

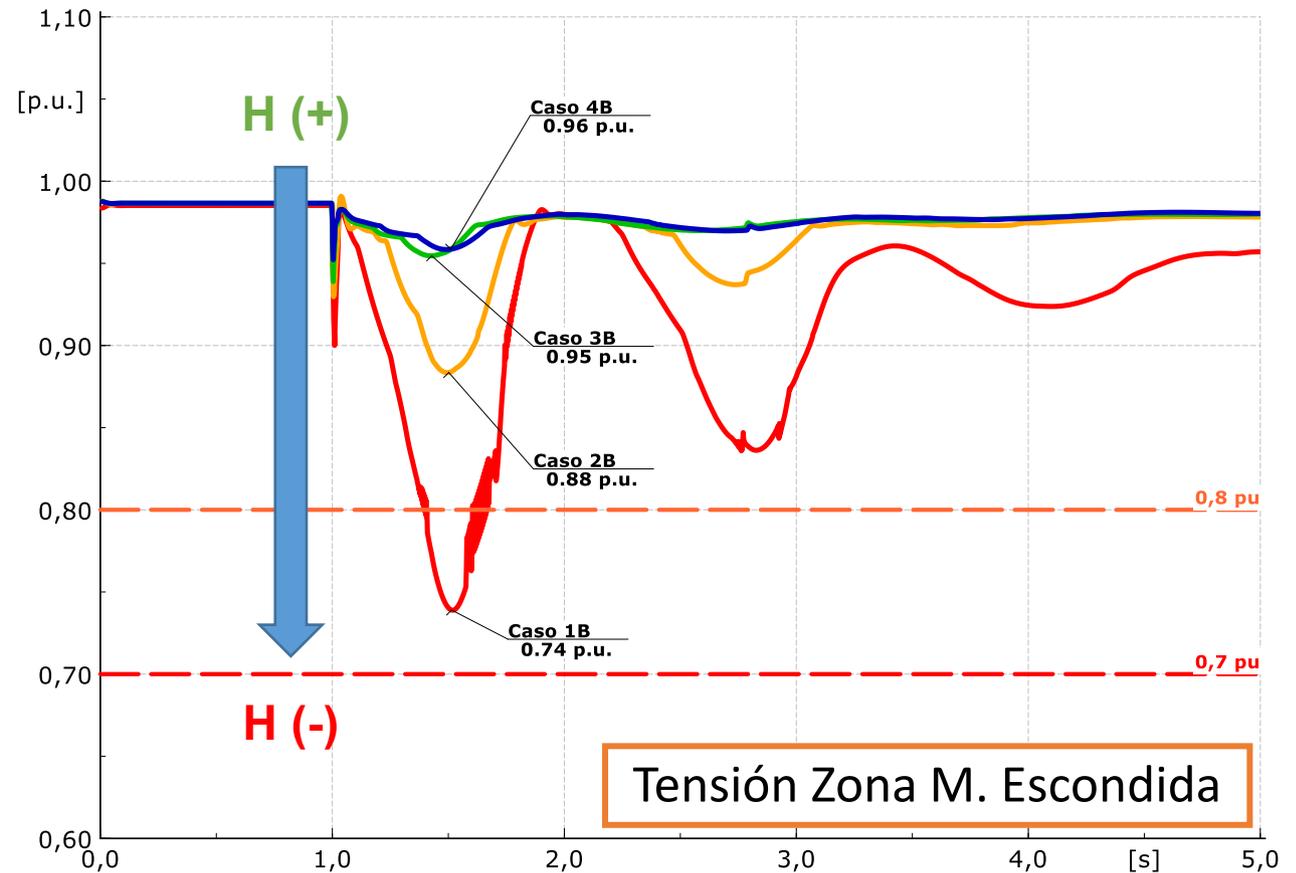
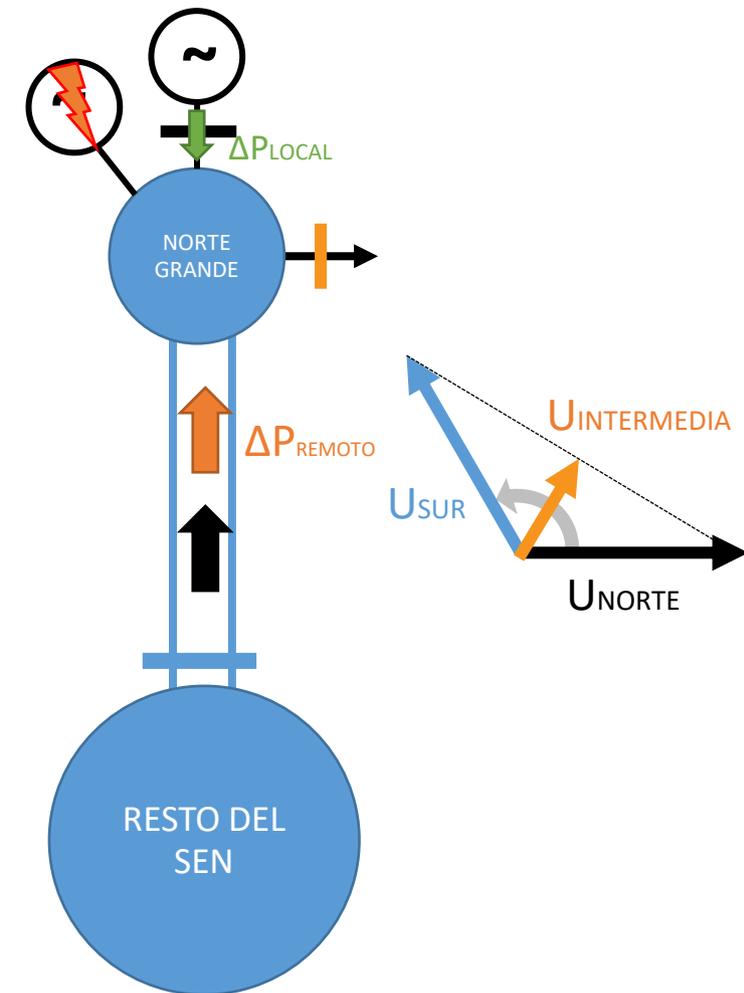
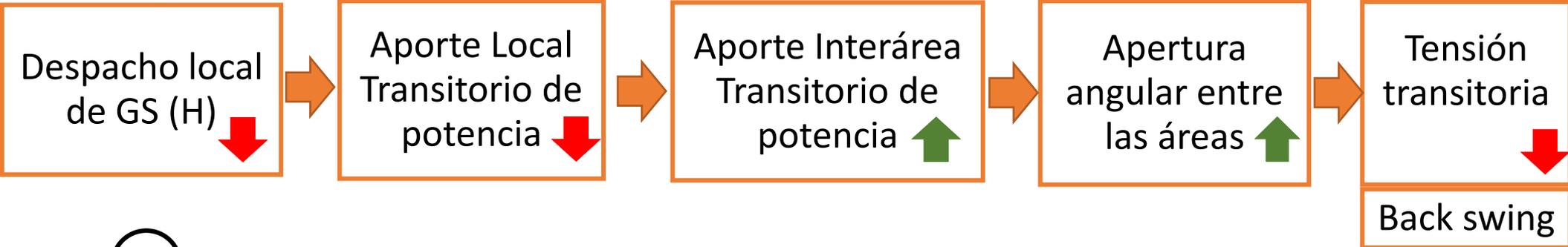


Retroceso en los niveles de inercia sistémica



ESTABILIDAD ANGULAR

Inercia Mínima Zona Norte Grande



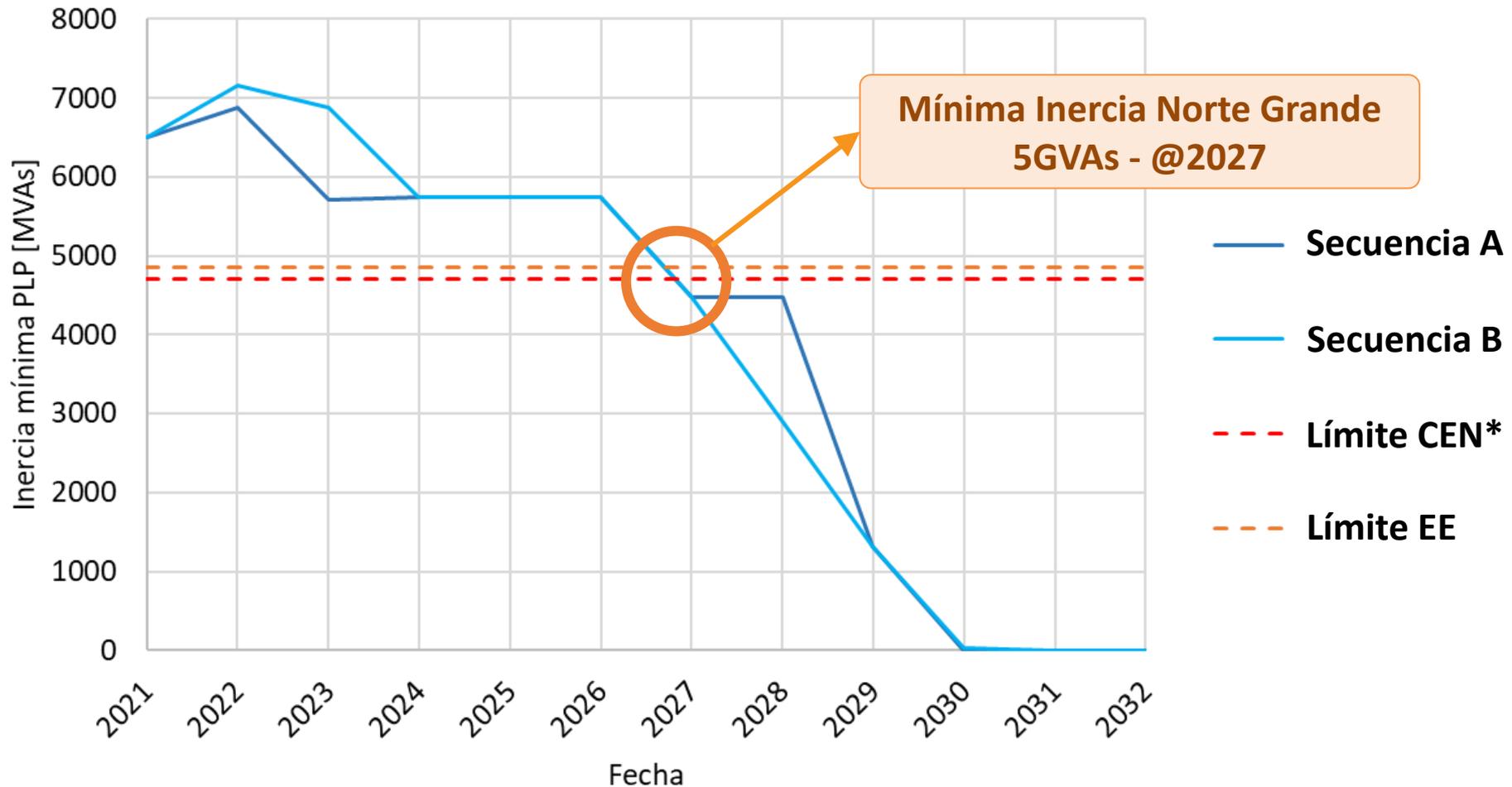
Inestabilidad en el orden de los 500ms



ESTABILIDAD ANGULAR

Inercia Mínima Zona Norte Grande

PROYECCIÓN INERCIA NORTE GRANDE



→ Valores de Inercia post-contingencia (N-1)

→ Transferencias máximas Sur → Norte: 1500 MVA a 1800 MVA

* Estudio análisis operación retiro a 2025 (septiembre 2020): 7764 MVAs (N) ≈ 4700 MVAs (N-1)



ROBUSTEZ PARA LA OPERACIÓN (SCR)

Short Circuit Ratio - Antecedentes

En condiciones de **alta penetración** de generación basada en **convertidores** (i.e. parques eólicos/fotovoltaicos, BESS, HVDC), se requiere que la vinculación sea en áreas **robustas** del sistema (evita interacciones de control).

Indicadores:

Nivel de cortocircuito



Scc brinda orientación de robustez, pero no es suficiente.

SCR
(Short Circuit Ratio)



Mayor precisión para evaluar robustez al conectar un único generador. Relaciona **Scc** con la **Pnom** del generador.

$$\text{SCR} = \frac{\text{POTENCIA DE CORTOCIRCUITO EN EL POI}}{\text{POTENCIA NOMINAL DEL PARQUE}}$$

WSCR
(Weighted Short
Circuit Ratio)



Mayor precisión para evaluar con varios convertidores conectados en puntos eléctricamente cercanos. Aplica un SCR ponderando pesos a cada convertidor.

$$\text{WSCR} = \frac{\sum_i^N S_{SCMVA_i} \cdot P_{RMW_i}}{(\sum_i^N P_{RMW_i})^2}$$



ROBUSTEZ PARA LA OPERACIÓN

Short Circuit Ratio - Análisis y Resultados

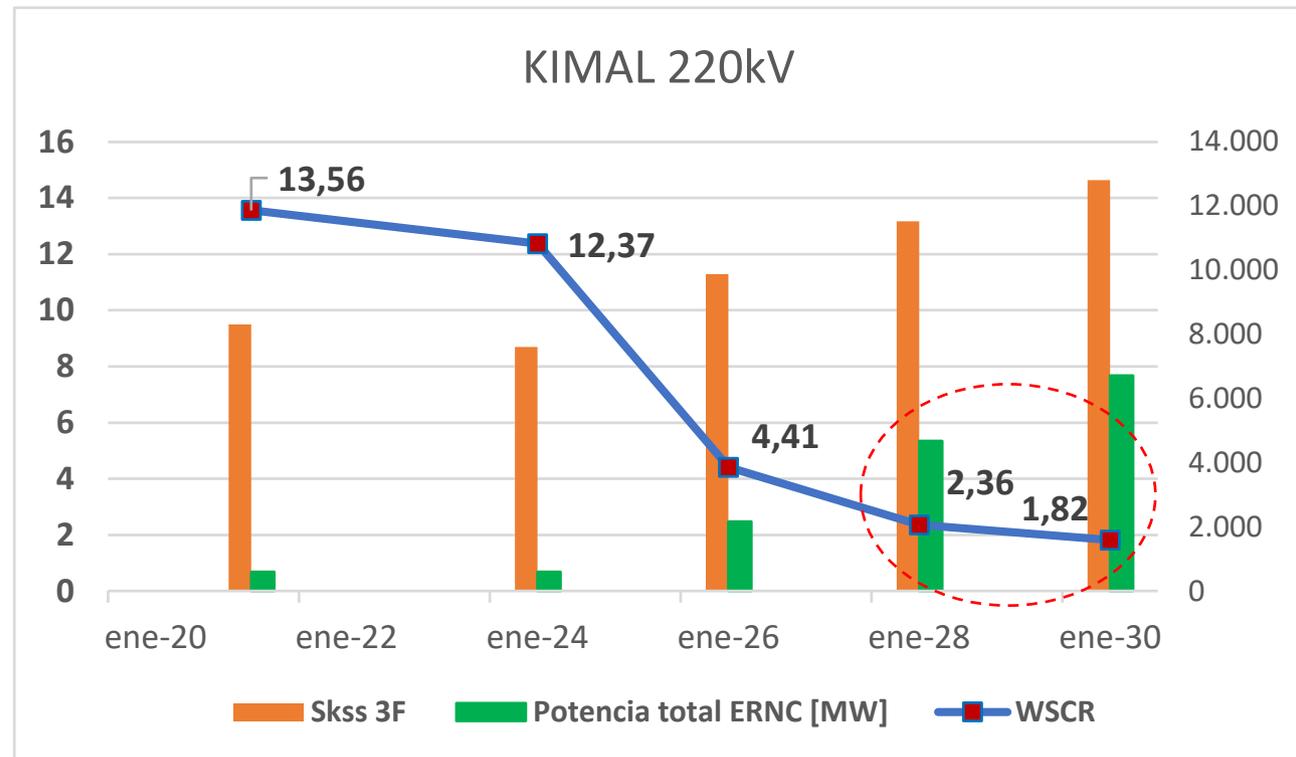
- Se calcula WSCR en 3 nodos representativos del SEN.
- Se pone en evidencia la significativa **reducción de WSCR** especialmente en Kimal.

LÍMITES REFERENCIALES:

- **Australia (AEMO):** WSCR 3,5
- **USA (ERCOT):** WSCR 1,5
- **Alemania (VDE):** $S_k'' \geq 6P_n$
- **Fabricantes (SCR):**
 - Fabricante A: 5
 - Fabricante B: 3
 - Fabricante C: 3
 - Fabricante D: 6 a 1,5

- Actualmente **no existen exigencias** ni evaluaciones específicas relativas a este indicador u otro similar.
- El parque de generación actual y en construcción **no está preparado**, deberá adaptarse.
- Los nuevos parques deberán contar con **nuevas capacidades**.

NODO	Inercia Sistémica [GVAs]				
	30	25	21,8	17,5	12,4
WSCR					
Kimal 220kV	13,6	12,4	4,4	2,4	1,8
Diego de Almagro 220kV	2,5	2,6	2,6	2,5	1,7
Mulchén 220kV	7,7	8,9	4,2	3,4	3,0
Fechas referenciales:	dic-21	dic-24	dic-26	dic-28	dic-30

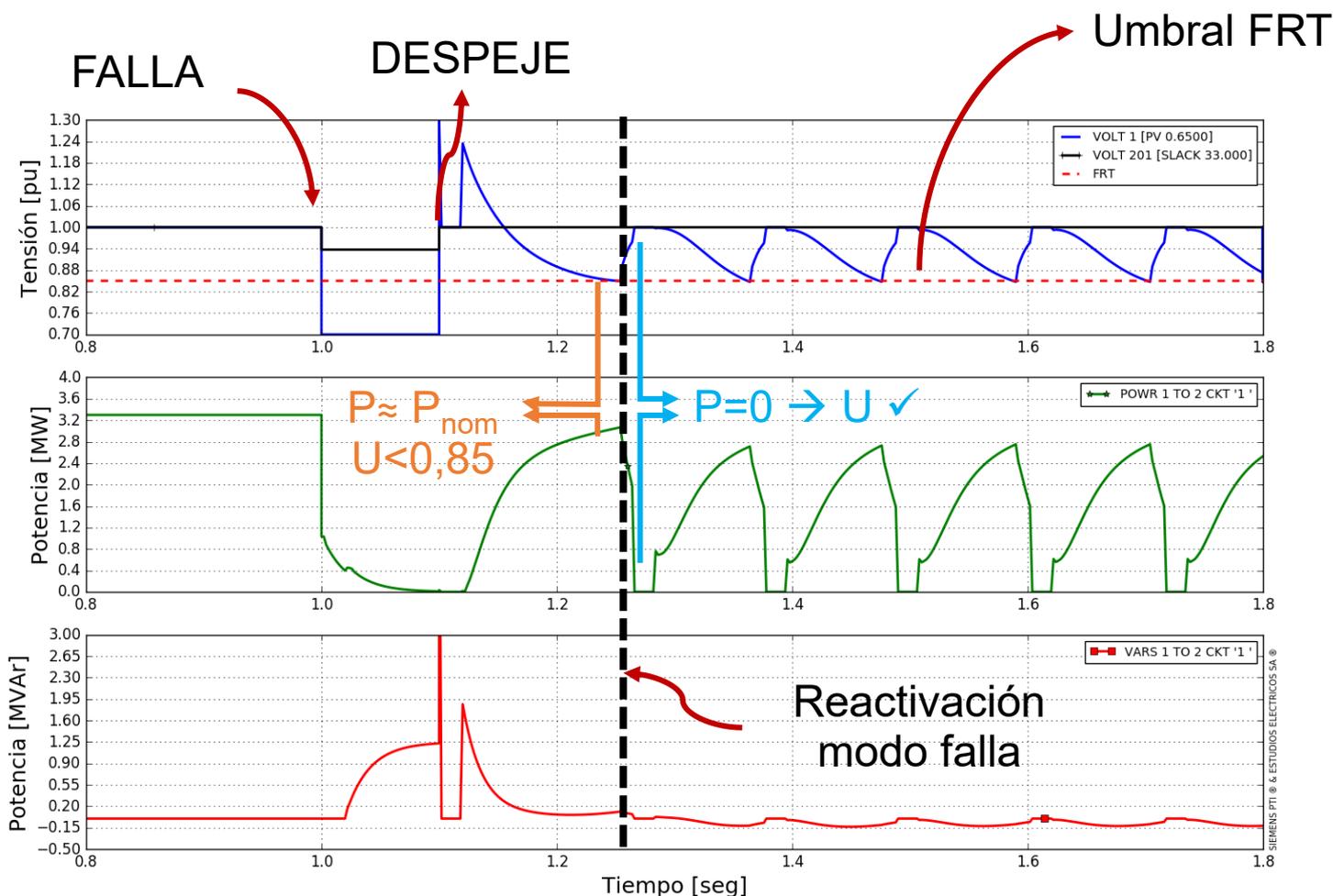




ROBUSTEZ PARA LA OPERACIÓN

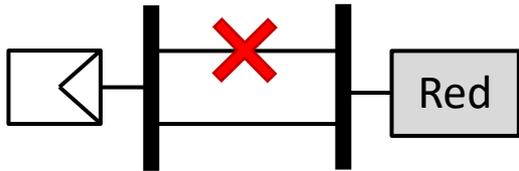
Inestabilidad LVRT – Enfoque RMS

Ante condiciones de **bajo SCR** se produce una interacción inestable entre la red y el proyecto por la activación/desactivación del **modo falla LVRT**



Ajuste activación modo falla:
0,85pu

SCR (N-1) = 2



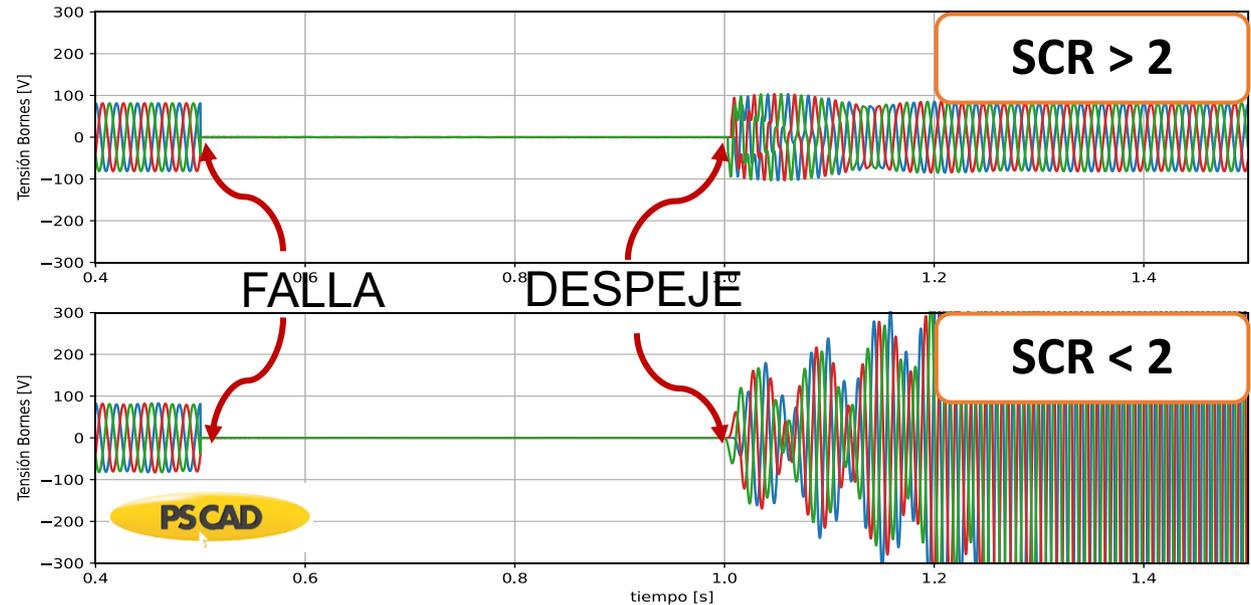


ROBUSTEZ PARA LA OPERACIÓN

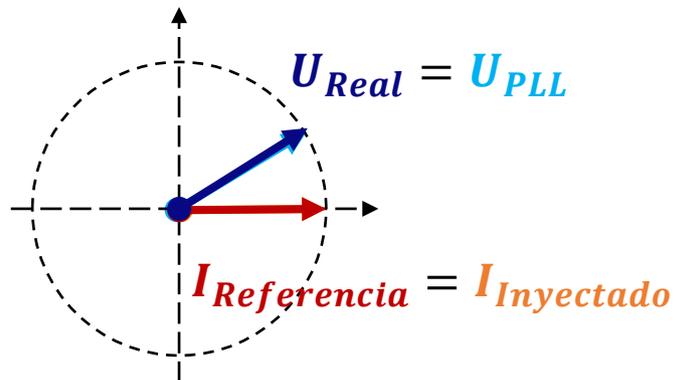
Inestabilidad de controles – Enfoque EMT

Bajo SCR produce una interacción inestable del PLL

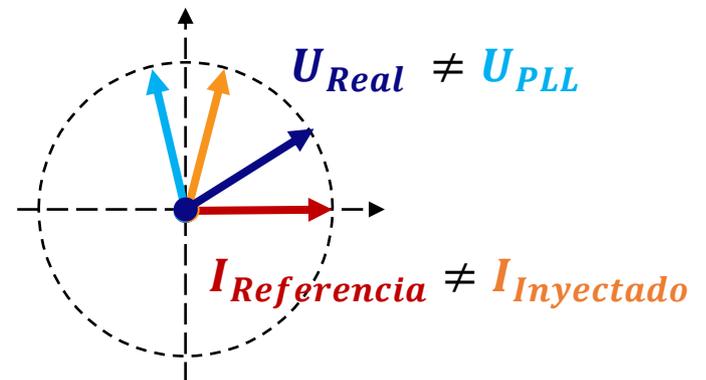
Al reducir el SCR/WSCR se podrían observar inestabilidades por interacción entre controles intra e inter planta



SCR > 2 (Post-falla)



SCR < 2 (Post-falla)



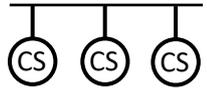
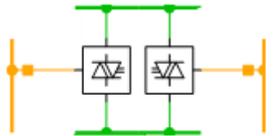
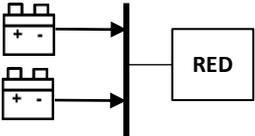


POSIBLES VÍAS DE SOLUCIÓN



POSIBLES VÍAS DE SOLUCIÓN

Propuestas preliminares evaluadas

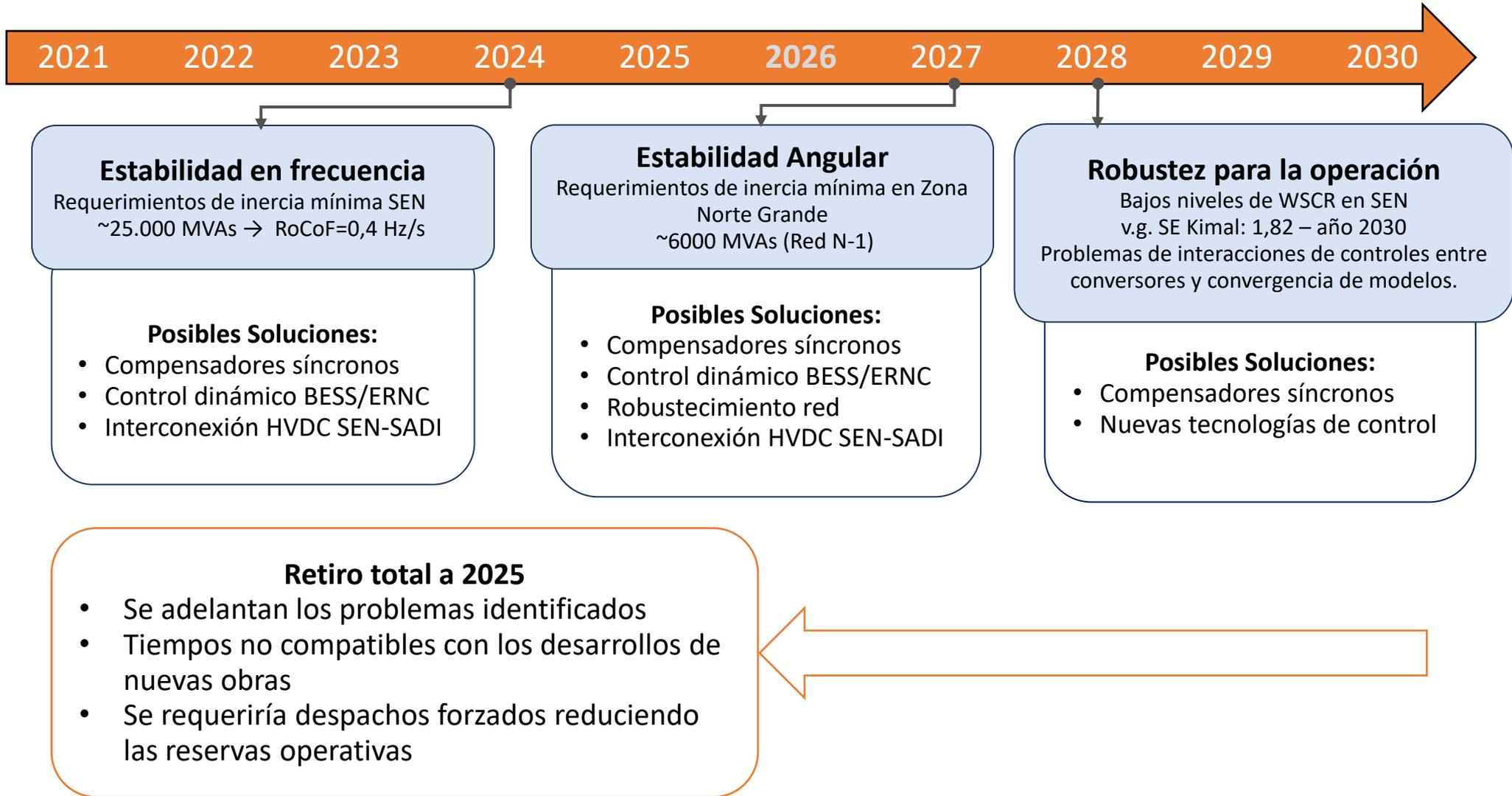
Solución / Problemática		Estabilidad Angular Inercia Norte	Estabilidad en Frecuencia Inercia Total	Robustez de la operación con convertidores
Compensadores Sincrónicos Reconversión		+	+	+*
Robustecimiento Topológico		+	=	!
SEN-SADI Convertora HVDC		+	+	=
Nuevas Tecnologías y controles en ERNC+BESS		+	+	+

La solución completa requiere de una evaluación integral de las múltiples alternativas



RESULTADOS DEL RETIRO SECUENCIAL A 2030

Problemáticas y Posibles vías de solución





CONCLUSIÓN GENERAL

- Se identifican **problemas técnicos relevantes** asociados al reemplazo de unidades del tipo sincrónica por generación renovable no convencional; que afectarán la calidad, seguridad y confiabilidad de SEN:
 - **Mínima Inercia Sistémica**
 - **Mínima Inercia en el Norte Grande**
 - **Robustez de la operación**
- Estos fenómenos **no son únicos del sistema chileno**, se presenta en todos los países donde la generación ERNC se encuentra reemplazando a la generación convencional.
- Sobrellevar estas problemáticas sin despacho forzado GNL/Diesel (curtailment, costos, reservas operativas, confiabilidad), **implica incorporar soluciones primarias a la red.**
- Un **plan de retiro secuencial a 2030 no resulta factible** en términos de calidad y seguridad del sistema, **si no se resuelven los desafíos técnicos planteados.**
- Es necesario incorporar **obras de infraestructura y una adecuación tecnológica** del parque renovable proyectado, que permita mitigar los efectos de reducir generación convencional.
- Contemplando la magnitud de las obras y el tipo de adecuaciones requeridas, se estima que **no estarán disponibles al año 2025.**



Gracias

ESTUDIOSELECTRICOS 



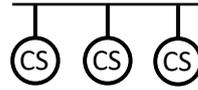
ANEXO



POSIBLES VÍAS DE SOLUCIÓN

Incorporación/Reconversión a Compensadores Síncronos

Compensadores Síncronos

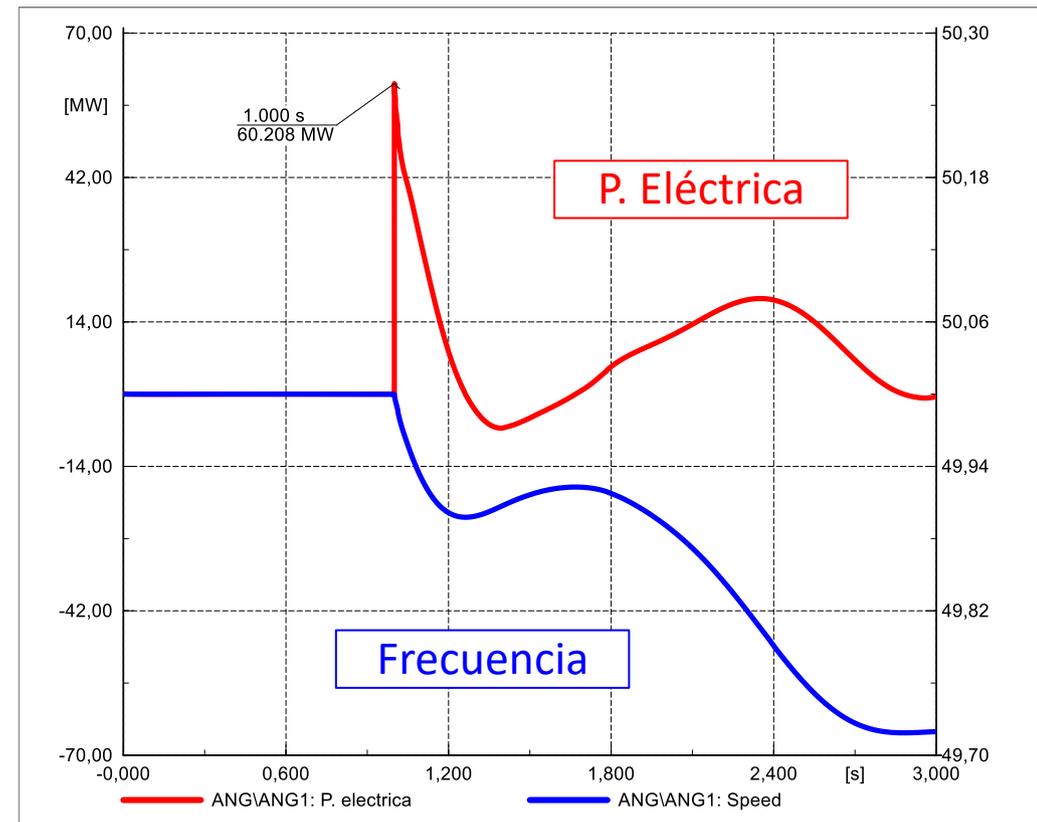


Beneficios:

- ✓ Aumenta la inercia local/sistémica
- ✓ Aporte al nivel de CC
- ✓ Brinda soporte dinámico de control de tensión
- ✓ Solución probada

Requerimientos técnicos:

- ✓ Reajuste de controladores
- ✓ Evaluación:
 - Desacople de turbina
 - Acoplamiento de volante de inercia
 - Estabilidad transitoria





POSIBLES VÍAS DE SOLUCIÓN

Robustecimiento Topológico – Mejora de los enmallamientos

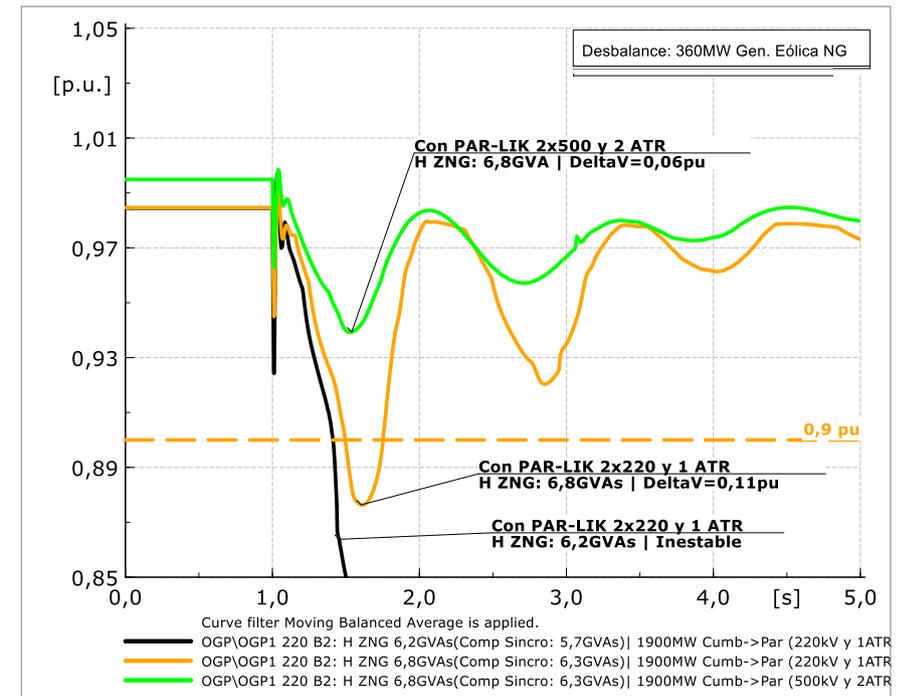
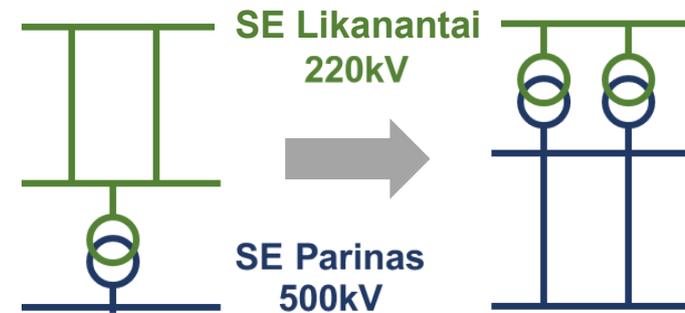
Mejora de Enmallamientos

Propuesta referencial estudiada:

- ✓ LT Parinas - Likanantai operada en 500kV
- ✓ Desarrollo de SE Parinas 500/220kV con capacidad de al menos 2x750MVA

Beneficios:

- ✓ Aumenta la capacidad de transmisión Norte grande – resto del SEN
- ✓ Disminuye impedancia de vinculación Norte grande – resto del SEN
- ✓ Disminuye requerimientos de inercia local del Norte Grande
- ✓ Mejora el soporte reactivo en zona minera Escondida





POSIBLES VÍAS DE SOLUCIÓN

Robustecimiento Topológico – Vínculo SEN-SADI vía convertora HVDC

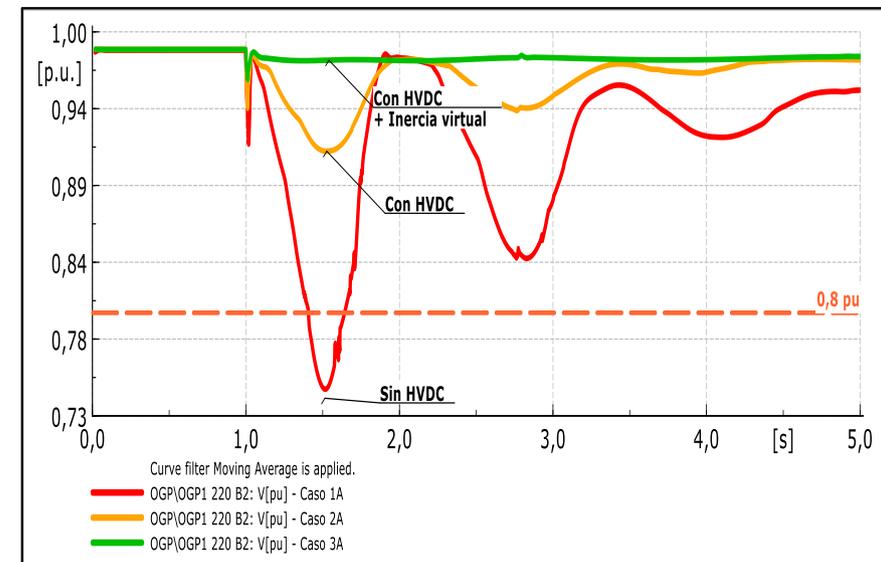
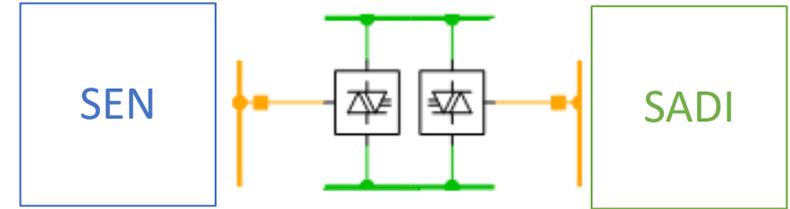
Convertora HVDC SEN-SADI

Propuesta referencial estudiada:

- ✓ Convertora HVDC B2B VSC 250MW/300MVA en ANDES 345kV

Beneficios:

- ✓ Viabiliza la interconexión Chile - Argentina
- ✓ Permite regular los niveles de apoyo entre los sistemas
- ✓ Importante apoyo a la robustez en la zona del SEN que más lo requiere
- ✓ Disminuye requerimientos de inercia local del Norte Grande
- ✓ Mejora el soporte reactivo en zona minera Escondida





POSIBLES VÍAS DE SOLUCIÓN

Implementación de servicios complementarios

Funciones adicionales en equipos ERNC/BESS

Propuestas referenciales:

- ✓ Agregado de funciones complementarias a equipos ERNC/BESS:
 - Control de tensión
 - Control primario de frecuencia
 - Control rápido de frecuencia
 - Inercia sintética
 - Grid Forming

Beneficios:

- ✓ Disminuye requerimientos de inercia local del Norte Grande
- ✓ Disminuye requerimientos de inercia sistémica
- ✓ Mejora el soporte reactivo en el Norte Grande

