



## UNDÉCIMO ENCUENTRO REGIONAL IBEROAMERICANO DEL CIGRÉ – XI ERIAC

COMITÉ NACIONAL PARAGUAYO DEL CIGRÉ  
22 al 26 de mayo 2005 – Hernandarias – Paraguay

### EVALUACIÓN DE LA AMPLIACIÓN DE ALUAR CON EL SIP AISLADO E INTERCONECTADO AL SADI. PARTE 2: ESTABILIDAD TRANSITORIA

JORGE LUIS AGÜERO  
IITREE-LAT  
F. Ingeniería. UNLP  
La Plata. Bs. As. Argentina

MARIO CÉSAR  
BEROQUI  
IITREE-LAT. P. Pal CIC  
F. Ingeniería. UNLP  
La Plata. Bs. As. Argentina

RAÚL BIANCHI  
LASTRA  
IITREE-LAT  
F. Ingeniería. UNLP  
La Plata. Bs. As. Argentina

OSCAR COSATTI  
Jefe Operaciones  
TRANSPA SA  
Trelew. Chubut. Argentina

LUIS MACCHIONE  
Jefe Operaciones  
ALUAR SA  
Madryn. Chubut. Argentina

**Resumen** – Se presenta una descripción de los tipos de estudios realizados, modelos utilizados y simulaciones de comportamiento efectuados para evaluar el efecto de la ampliación de la planta de Aluar sobre el SIP aislado y sobre el SADI-SIP interconectados.

El objetivo de los estudios es la definición básica de las nuevas instalaciones, la adecuación de las existentes, la definición del equipamiento de control y los recursos estabilizantes requeridos, y la posible modificación de los recursos post falla existentes tanto en el SADI como en el SIP.

Como obra destacada, en los estudios se incorpora la ampliación de la planta de aluminio de ALUAR, planta electro-intensiva que duplicará su demanda e incorporará nueva generación.

En esta segunda parte del trabajo se presentan los estudios realizados consistentes en simular grandes perturbaciones con el objeto de evaluar la estabilidad transitoria, ya sea del SIP aislado como del SIP interconectado al SADI.

También se analiza la efectividad de los recursos estabilizantes existentes (DAG, DAC, etc.), junto con la necesidad de su readecuación o la incorporación de nuevos recursos.

**Palabras clave:** Interconexión - Estabilidad Transitoria - Desconexión Automática de Generación y de Carga.

#### 1 INTRODUCCIÓN

En el punto I. INTRODUCCIÓN de la parte 1 del presente trabajo se realizó una descripción resumida de los sistemas eléctricos involucrados, SADI y SIP. En el punto II. PLANTA DE ALUMINIO de la parte 1 del presente trabajo se realizó una descripción resumida de la obra de ampliación de la planta de aluminio.

En el punto III. MODELOS DINÁMICOS de la parte 1 del presente trabajo se realizó una descripción resumida de la Base de Datos para estudios dinámicos utilizada para los presentes estudios, indicando los nuevos modelos dinámicos a incorporar para los presentes estudios. Esta misma Base de Datos para estudios dinámicos se ha utilizado para los estudios de estabilidad transitoria presentados en esta segunda parte del trabajo.

En el punto IV. FLUJOS DE POTENCIA de la parte 1 del

presente trabajo se realizó una descripción resumida de los flujos de potencia realizados para analizar las condiciones de régimen permanente con SIP aislado e interconectado al SADI. Estos mismos flujos de potencia, más otros adicionales desarrollados “ad-hoc”, se han utilizado para los estudios de estabilidad transitoria presentados en esta segunda parte del trabajo.

#### 2 CRITERIOS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA

Existe un conjunto de criterios para evaluar la estabilidad del sistema eléctrico. Estos criterios dependen de la falla aplicada. A tal fin, se tipifican los siguientes criterios :

##### Criterio 1:

- ❖ Cumplimiento de los criterios de desempeño recomendados por CAMMESA para el SADI, en cuanto a: frecuencia, tensión y ángulo de máquina.
  - Subfrecuencia. Se considera recuperación con exitosa si se cumplen todas las siguientes condiciones:
    - ✓ Frecuencia mínima de 48,3 Hz. Absoluta en centro de carga y permanencia por debajo durante menos de 200 ms en extremos del sistema.
    - ✓ Si actúa el último escalón de corte de carga (48.4 HZ) y la frecuencia se recupera al valor del tercer escalón de corte de carga en menos de 5 segundos.
    - ✓ Si actúa el último escalón de corte de carga (48.4 HZ) y la frecuencia se recupera a 50.8 Hz en menos de 20 segundos.
  - Sobrefrecuencia en SADI. Se considera recuperación exitosa si se cumplen las siguientes condiciones:
    - ✓ Frecuencia máxima de 50.6 Hz.
    - ✓ Recuperación a 50.2 Hz en menos de 30 s.
  - Sobrefrecuencia en un área del SADI (Aplicable al SIP aislado). Se considera recuperación exitosa si se cumplen las siguientes condiciones:
    - ✓ Frecuencia máxima de 51.1 Hz.
    - ✓ Recuperación a 50.2 Hz en menos de 30 s.
  - Tensión: Se considera recuperación exitosa si se cumplen todas las siguientes condiciones:
    - ✓ Recuperación a  $\pm 7\%$  (500 kV) ó  $\pm 10\%$  (200 y 132 kV) antes de los 20 s.
    - ✓ Tensión mínima absoluta superior a 70 %.
    - ✓ Recuperación a 80 % antes de 1 segundo.
    - ✓ Tensión máxima absoluta inferior 120 %.
    - ✓ Si existen sobretensiones superiores a 10 % durante más de 2 s, se deberán definir acciones para evitarlas.

- Ángulo de máquina. Se considera recuperación exitosa si se cumplen todas las siguientes condiciones:
  - ✓ Primera excursión (first swing) respecto del centro de carga  $\pm 120^\circ$ . Signo dependiente de importación / exportación respecto de centro de carga.

#### Criterio 2:

- ❖ Recuperación del sistema al estado previo a la falla.

#### Criterio 3:

- ❖ Cumplimiento de los criterios de desempeño recomendados por TRANSPA para el SIP:
  - No actuación del automatismo “Antipenduleo” del SIP, que separa ordenadamente el SIP Norte del SIP Sur.
  - En caso de actuación del automatismo “Antipenduleo”, recuperación exitosa de ambos subsistemas (SIP Norte y Sur).
  - Ante la pérdida de series y/o generación, la tensión final de estado estacionario en las barras de Aluar, debe permanecer dentro de una banda de  $\pm 5\%$  respecto al valor nominal.

### 3 RECURSOS POST FALLA

Para los estudios realizados se utilizan los recursos estabilizantes post falla existentes y, en caso de no cumplimiento de los criterios de estabilidad aplicables se proponen nuevos recursos estabilizantes o se adecuan los existentes. Los recursos estabilizantes actualmente disponibles en el SIP son:

#### 3.1 Recursos Estabilizantes en el SIP, actuales y nuevos

- ❖ Para fallas en corredor 330 kV Futaleufú - P. Madryn:
  - DAG de 1 unidad de Futaleufú a los 180 ms, si hay 4 unidades en servicio y transmisión del corredor supera 311MW.
  - De ser necesario, también se considera la DAG de 2 unidades en esta central.
- ❖ Para pérdida de un línea en el SIP.
  - Esquema de corte de carga denominado “DAC-SIP” para SIP aislado de SADI. Cuenta con 12 escalones de subfrecuencia, 8 habilitados y 4 no habilitados por pendiente de subfrecuencia.
- ❖ Reducción Automática de Carga (RAC-Aluar). Series de Aluar.
- ❖ Desconexión Automática de Carga (DAC-Aluar). Series de Aluar. Activado por 4 escalones de subfrecuencia absoluta.
- ❖ Desconexión automática de bancos de capacitores para compensación de reactivo de la planta de Aluar (CAP-CON-Aluar).
  - Disparo por sobretensión superior a 1.05 pu durante un tiempo superior a 0.1 ms.
  - Desconecta de 1 módulo del banco por vez (20 ó 33.5 MVar) en la barra con sobretensión hasta agotar todos los módulos. Luego dispara módulos de bancos de otras barras.
- ❖ Conexión automática de bancos de capacitores para compensación de reactivo de la planta de Aluar (CAP-DES-Aluar).
  - Conexión por subtensión inferior a 0.95 pu durante un tiempo superior a 2 s.

#### 3.2 Recursos Estabilizantes SADI, actuales y nuevos

- ❖ DAG Comahue.
- ❖ Esquema de corte de carga por sub frecuencia. Para SIP interconectado a SADI éste esquema reemplaza al esquema “DAC-SIP”.
- ❖ Control tensión post-falla en corredor Comahue – GBA.

Las fallas analizadas para los estudios de estabilidad transitoria son las siguientes:

- ❖ Fallas monofásicas con recierre exitoso en líneas de 132 kV del SIP y en la interconexión en 500 kV entre SADI y SIP.
- ❖ Fallas monofásicas y trifásicas con despeje definitivo en líneas de 132 kV, 330 kV y en la interconexión en 500 kV entre SADI y SIP
- ❖ Fallas trifásicas simples y dobles con despeje definitivo en corredor 500 kV Comahue – GBA para analizar variantes de DAG Comahue. SIP exportador al SADI.
- ❖ Fallas monofásicas con recierre exitoso y fallas trifásicas

simples y dobles con despeje definitivo en corredor 500 kV Comahue – GBA. SIP importador desde el SADI.

- ❖ Fallas internas en la planta de aluminio.

### 4 ESTUDIOS DE ESTABILIDAD TRANSITORIA

Se analizaron un conjunto de fallas para estudiar su efecto sobre la estabilidad transitoria, teniendo en cuenta, para el SIP aislado e interconectado al SADI, los distintos tipos de flujos posibles en el SIP y las distintas etapas de ampliación de la planta de aluminio.

A continuación se indican los estudios realizados y los resultados obtenidos para cada tipo de falla citada previamente.

#### 4.1 Fallas monofásicas c/recierre exitoso

En este estudio se simuló fallas monofásicas con recierre exitoso en la interconexión de 500 kV entre el SADI y el SIP, y en varias líneas de 132 kV del SIP, estando el SIP aislado e interconectado al SADI.

Las fallas se aplicaron en las siguientes líneas:

- ❖ Ameghino - C. Patagonia 132 kV.
- ❖ Trelew - DGPA 132 kV.
- ❖ Los Perales - Las Heras 132 kV.
- ❖ Choele Choel - P. Madryn 500 kV.

La falla se aplica en el extremo receptor y se simula según se indica en **TABLA 8**.

T = 0,00 s.	Inicio simulación
T = 1,00 s.	Aplicación falla monofásica
T = 1,10 s.	Apertura fase fallada
T = 1,45 s (132 kV) T = 1,80 s (500 kV)	Recierre exitoso fase fallada
T = 20,0 s.	Fin simulación.

**TABLA 8:** Falla monofásica con recierre exitoso

Se analizaron un total de 59 casos, 23 con el SIP aislado y 36 con el SIP interconectado al SADI. Para estas fallas los criterios de estabilidad aplicados son los **Criterios 1, 2 y 3** mencionados previamente.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- ❖ En todos los casos, excepto en uno, el sistema se recupera al estado previo a la falla.
- ❖ Para un único caso actúa el automatismo “Antipenduleo”. Este caso corresponde a la falla aplicada en la interconexión SADI-SIP, en la etapa IV de la ampliación de la planta de aluminio y con Futaleufú F/S.
- ❖ En general, la ampliación de la planta de aluminio no influye sobre el desempeño dinámico post falla ni aumenta la posibilidad de actuación del automatismo “Antipenduleo”.
- ❖ En particular, la ampliación de la planta de aluminio mejora el desempeño dinámico post falla para algunos casos con el SIP aislado.

#### 4.2 Fallas monofásicas y trifásicas c/despeje definitivo

En este estudio se simuló fallas trifásicas con apertura definitiva en la interconexión de 500 kV entre el SADI y el SIP, y fallas monofásicas y trifásicas con apertura definitiva en varias líneas de 132 kV y 330 kV del SIP, estando el SIP aislado e interconectado al SADI.

Las fallas se aplicaron en las siguientes líneas:

- ❖ Falla monofásica Futaleufú – Pto. Madryn 330 kV, lado Pto. Madryn. Ver **TABLA 9**.
- ❖ Falla monofásica Pto. Madryn – Aluar 330 kV (Arribo # 3), lado Aluar. Ver **TABLA 10**.
- ❖ Falla trifásica Pto. Madryn -DGPA 132 kV, lado DGPA. Ver **TABLA 11**.
- ❖ Falla trifásica Choele Choel - P. Madryn 500 kV, lado recibo. Ver **TABLA 12**.

Se analizaron un total de 40 casos, 15 con el SIP aislado y 25 con el SIP interconectado al SADI. Para estas fallas los criterios de estabilidad aplicados son los **Criterios 1 y 3** mencionados previamente.

Los resultados obtenidos para el **SIP aislado** son los

siguientes:

- ❖ Falla monofásica Futaleufú – Pto. Madryn 330 kV.
  - Etapa I actúa “Antipenduleo”.
  - Etapas II, III y IV estable según DAG.
  - En ningún caso actúa “CAP-Aluar” por sobretensión.
- ❖ Falla monofásica Pto. Madryn – Aluar 330 kV.
  - Estable para todos los casos, sin necesidad de realizar DAG, DAC o RAC.
  - En ningún caso actúa automatismo “Antipenduleo”.
  - En ningún caso actúa “CAP-Aluar” por sobretensión.
- ❖ Falla trifásica Pto. Madryn -DGPA 132 kV
  - Etapas I y II estables con DAG Futaleufú.
  - Etapas III y IV estables con DAG Aluar.
  - En ningún caso actúa “CAP-Aluar” por sobretensión.

Tiempo [s]	Evento
0.000	Inicio simulación
0.100	Aplica falla monofásica
0.180	Abre extremo P. Madryn
0.220	Abre extremo Futaleufú
0.280	DAG 1 ó 2 unidades Futaleufú
2.000	DAC y/o RAC serie Aluar
40.00	Fin simulación

**TABLA 9:** Falla trifásica Futaleufú – Pto. Madryn 330 kV, lado Pto. Madryn

Tiempo [s]	Evento
0.000	Inicio simulación
0.100	Aplicación falla monofásica
0.180	Desconexión arribo
40.00	Fin simulación

**TABLA 10:** Falla trifásica monofásica Pto. Madryn – Aluar 330 kV (Arribo # 3), lado Aluar

Tiempo [s]	Evento
0.000	Inicio simulación
0.100	Aplicación falla trifásica
0.200	Despeje falla
40.00	Fin simulación

**TABLA 11:** Falla trifásica Pto. Madryn -DGPA 132 kV, lado DGPA

Tiempo [s]	Evento
0.000	Inicio simulación
0.100	Aplicación falla trifásica.
0.200	Despeje falla
0.280	DAG ó DAC serie y/o desconexión bancos
2 ≈ 3	RAC serie B
60.00	Fin simulación

**TABLA 12:** Falla trifásica Pto. Madryn -DGPA 132 kV, lado DGPA

Los resultados obtenidos para el **SIP interconectado al SADI** son los siguientes:

- ❖ Falla monofásica Futaleufú – Pto. Madryn 330 kV.
  - Etapas I a IV estable aplicando “DAG-Futaleufú”, “DAC-Aluar” y “RAC-Aluar” según corresponda.
  - No actúa “Antipenduleo”.
  - No actúa cortes de carga de “DAC-SIP”.
- ❖ Falla monofásica Pto. Madryn – Aluar 330 kV.
  - Estable para todos los casos.
  - Para etapa II y flujo Sur-Norte (baja generación en Aluar) necesidad de realizar “RAC-Aluar”.
  - No actúa “Antipenduleo”.
  - No actúa cortes de carga de “DAC-SIP”.
  - En ningún caso actúa “CAP-Aluar” por sobretensión.
- ❖ Falla trifásica Pto. Madryn -DGPA 132 kV
  - Estable para todos los casos, sin necesidad de aplicar “DAG-Futaleufú”, “DAC-Aluar” y “RAC-Aluar”.
  - Actuación de “CAP-Aluar” por sobretensión.
  - No actúa “Antipenduleo”.
  - No actuación cortes de carga de “DAC-SIP”.
- ❖ Falla trifásica Choele Choel - P. Madryn 500 kV
  - Etapas I a IV estable aplicando “DAG-Futaleufú” para casos con exportación del SIP al SADI, y “DAC-Aluar” y “RAC-Aluar” para casos con importación al SIP desde el

SADI. Simultáneamente con la “DAC-Aluar” se disparan bancos de capacitores.

- Actuación de “CAP-Aluar” por sobretensión.
- Etapas I a III actúa “Antipenduleo”. Etapa IV no actúa “Antipenduleo”.
- Actuación cortes de carga de “DAC-SIP” para casos importación al SIP desde SADI.

#### 4.3 Fallas trifásicas simples y dobles c/ despeje definitivo. Corredor 500 kV Comahue – GBA. SIP exportador.

En este estudio se simularon fallas trifásicas simples y dobles con despeje definitivo en líneas de 500 kV del corredor Comahue – GBA, con el SIP exportando hacia el SADI.

El objeto de este estudio es analizar variantes de la actual DAG Comahue teniendo en cuenta la presencia de la interconexión SADI-SIP. Para este estudio se realizaron flujos de potencia particulares que contemplan situaciones N y N – 1 en el corredor Comahue – GBA, en escenarios del 2004 para el SADI incluyendo la ampliación de los capacitores serie en Bahía Blanca y Olavaria, la compensación capacitiva de 150 MVAR en Bahía Blanca 132 kV y “anticipando” la etapa final de obra de la planta de aluminio del SIP, prevista para el 2010. En todos los casos la exportación del SIP al SADI es de 250 MW. Estos flujos de potencia adicionales se realizaron teniendo en cuenta que la transmisión Comahue – GBA sea el 45 % (condición N) o 37 % (condición N-1) de la demanda total del SADI. La transmisión Comahue – GBA se mide como la suma de las potencias desde Chocón Oeste a Puelches y desde Choele Choel a Bahía Blanca.

Los flujos de potencia adicionales son:

- ❖ **Condición N, Flujo 1:** Transmisión Comahue - GBA = 4900 MW, con 6 resistores de frenado en Chocón y 2 en Planicie Banderita. Demanda SADI = 10900 MW.
- ❖ **Condición N, Flujo 2:** Transmisión Comahue - GBA = 3850 MW, con 4 resistores de frenado en Chocón. Demanda SADI = 8600 MW.
- ❖ **Condición N-1, Flujo 3:** F/S 1 circuito Chocón Oeste - Choele Choel. Transmisión Comahue - GBA = 3250 MW, con 6 resistores de frenado en Chocón y 2 en Planicie Banderita. Demanda SADI = 8800 MW.
- ❖ **Condición N-1, Flujo 4:** F/S 1 circuito Puelches - Henderson. Transmisión Comahue - GBA = 3250 MW, con 6 resistores de frenado en Chocón y 2 en Planicie Banderita. Demanda SADI = 8800 MW.
- ❖ **Condición N, Flujo 5:** Transmisión Comahue - GBA = 4640 MW, con 6 resistores de frenado en Chocón y 2 en Planicie Banderita. Demanda SADI = 10900 MW. Este flujo se realizó porque para la falla D1 no resulta estable ninguna variante de DAG.

En **condición N del corredor Comahue - GBA** se aplicaron las siguientes fallas:

- ❖ **S1:** Falla trifásica simple en Choele Choel tramo Bahía Blanca. Para flujos N y N-1. Ver **TABLA 13**.
- ❖ **S2:** Falla trifásica simple en Chocón Oeste tramo Puelches. Para flujos N. Ver **TABLA 13**.
- ❖ **D1:** Desconexión intempestiva (sin falla) Choele Choel tramo Bahía Blanca. Para flujos N y N-1. Ver **TABLA 14**.
- ❖ **D2:** Falla trifásica doble (tornádica) en Chocón Oeste tramo Puelches. Para flujos N. Ver **TABLA 15**.

En **condición N-1 del corredor Comahue - GBA** se aplicaron las siguientes fallas:

- ❖ **S1:** Falla trifásica simple en Choele Choel tramo Bahía Blanca. Ver **TABLA 13**.
- ❖ **D1:** Desconexión intempestiva (sin falla) Choele Choel tramo Bahía Blanca. Ver **TABLA 14**.

Se analizan cuatro variantes para la DAG Comahue:

- ❖ **DAG1:** DAG Comahue actual, sin participación de generación del SIP.
- ❖ **DAG2:** Participación del SIP con generación de Futaleufú y Aluar con una potencia similar al 100% de exportación por línea Choele Choel -Puerto Madryn. Resto con DAG Comahue.
- ❖ **DAG3:** Participación del SIP con el 100% de la generación en Futaleufú y una máquina de 150 MW del nuevo Ciclo

Combinado de ALUAR. Resto con DAG Comahue.

- ❖ **DAG4:** Apertura línea Choele Choel - Puerto Madryn. Resto con DAG Comahue.

El orden de máquinas para conformar la DAG Comahue es:

- ❖ Fallas simples
  - Alicurá
  - Pichi Picún Leufú
  - Piedra del Aguila
  - Agua del Cajón, etc.
- ❖ Fallas dobles
  - Loma de La Lata.
  - Sigue lista para fallas simples

El volumen de DAG realizado es:

- ❖ Falla simple, flujo en condiciones N: 1200 MW
- ❖ Falla doble, flujo en condiciones N: 2500 MW
- ❖ Falla simple, flujo en condiciones N-1: 1000 MW
- ❖ Falla doble, flujo en condiciones N-1: 2000 MW

Tiempo [s]	Evento
0.000	Inicio simulación
0.100	Aplicación falla trifásica.
0.180	Despeje falla
0.280	DAG unidades Comahue
0.330	DAG unidades SIP
60.00	Fin simulación

**TABLA 13:** Falla trifásica simple.

Tiempo [s]	Evento
0.000	Inicio simulación
0.100	Aplicación falla trifásica.
0.180	Despeje falla
0.280	DAG unidades Comahue
0.330	DAG unidades SIP
60.00	Fin simulación

**TABLA 14:** Desconexión sin falla Choele Choel - Bahía Blanca.

Tiempo [s]	Evento ( <b>Primera falla trifásica</b> )
0.000	Inicio simulación
0.100	Aplicación falla trifásica primer circuito
0.165	Apertura línea fallada lado Chocón Oeste
0.190	Tramo T.C. de la Costa - P. Banderita energizado desde circuito sano
0.225	Apertura línea fallada r lado Puelches
0.280	DAG unidades Comahue (y/o línea Choele Choel - Pto. Madryn)
0.330	DAG unidades SIP

**TABLA 15a:** Falla trifásica doble (tornádica).

Tiempo [s]	Evento ( <b>Segunda falla trifásica</b> )
1.100	Aplicación falla trifásica segundo circuito
1.165	Apertura línea fallada lado Chocón Oeste
1.190	Apertura tramo T.C. de la Costa - P. Banderita
1.220	Apertura transformador P. Banderita 500/132 kV
1.280	DAG unidades Comahue
0.330	DAG unidades SIP
60.00	Fin simulación

**TABLA 15b:** Falla trifásica doble (tornádica).

Se analizaron un total de 32 casos con flujos N y 16 casos con flujos N-1. Los resultados se indican en **TABLAS 16 a 19**.

En las **Fig. 12 a 19** se muestran, para uno de los casos analizados (Flujo 1, condición N), la evolución de las siguientes variables:

- ❖ Frecuencia Ezeiza [Hz]
- ❖ Frecuencia Puerto Madryn [Hz]
- ❖ Tensión Puerto Madryn 500 kV [pu]
- ❖ Tensión Ezeiza 500 kV [pu]
- ❖ Tensión Chocón Oeste 500 kV [pu]
- ❖ Potencia activa Choele Choel - Puerto Madryn [MW]
- ❖ Potencia activa Corredor Sur Comahue - GBA [MW]
- ❖ Potencia activa Corredor Norte Comahue - GBA [MW]

En cada una de las **Fig. 12 a 19** se muestra la evolución de la

respectiva variable para las 4 variantes de DAG: DAG1(celeste), DAG2 (verde), DAG3 (rojo) y DAG4 (negro). Para estas fallas los criterios de estabilidad aplicados son los **Criterios 1 y 3** mencionados previamente.

Flujo	C-GBA MW	Falla	DAG Tipo	Estable	Anti-penduleo
1, N	4851	S1	DAG1	SI	NO
		S1	DAG2	SI	NO
		S1	DAG3	SI	NO
		S1	DAG4	SI	NO
2, N	3841	S1	DAG1	SI	SI
		S1	DAG2	SI	NO
		S1	DAG3	SI	NO
		S1	DAG4	SI	NO
3, N-1	3245 F/S Choele Bahía	S1	DAG1	SI	NO
		S1	DAG2	SI	NO
		S1	DAG3	SI	SI
		S1	DAG4	SI	SI
4, N-1	3257 F/S Puelches Henderson	S1	DAG1	SI	NO
		S1	DAG2	SI	NO
		S1	DAG3	SI	NO
		S1	DAG4	SI	NO

**TABLA 16:** Falla simple Choele Choel tramo Bahía Blanca.

Flujo	C. GBA MW	Falla	DAG Tipo	Estable	Anti-penduleo
1, N	4851	S2	D1	SI	SI
		S2	D2	SI	SI
		S2	D3	SI	SI
		S2	D4	SI	NO
2, N	3841	S2	D1	SI	SI
		S2	D2	SI	SI
		S2	D3	SI	SI
		S2	D4	SI	NO

**TABLA 17:** Falla simple Chocón Oeste tramo Puelches.

Flujo	C. GBA MW	Falla	DAG Tipo	Estable	Anti-penduleo
1, N	4851	D2	D1	SI	SI
		D2	D2	SI	SI
		D2	D3	SI	SI
		D2	D4	SI	NO
2, N	3841	D2	D1	SI	SI
		D2	D2	SI	SI
		D2	D3	SI	SI
		D2	D4	SI	NO

**TABLA 18:** Falla trifásica doble (tornádica) en Chocón Oeste tramo Puelches

Flujo	C. GBA MW	Falla	DAG Tipo	Estable	Anti-penduleo
5, N	4640	D1	D1	NO	SI
		D1	D2	NO	SI
		D1	D3	NO	SI
		D1	D4	NO	NO
2, N	3841	D1	D1	NO	SI
		D1	D2	SI	SI
		D1	D3	SI	SI
		D1	D4	SI	NO
3, N-1	3245 F/S Choele Bahía	D1	D1	NO	SI
		D1	D2	SI	SI
		D1	D3	SI	SI
		D1	D4	SI	NO
4, N-1	3257 F/S Puelches Henderson	D1	D1	NO	SI
		D1	D2	NO	SI
		D1	D3	NO	SI
		D1	D4	SI	NO

**TABLA 19:** Desconexión sin falla en Choele Choel tramo Bahía Blanca.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

- ❖ Todas las variantes de DAG resultan estables para todas las fallas simples y la falla doble tornádica para todos los flujos de potencia analizados.
- ❖ Todas las variantes de DAG resultan inestables para la salida intempestiva del doble circuito Choele Choel - Bahía Blanca con flujo de 4900 MW Comahue - GBA. Reduciendo el flujo a

4640 MW Comahue – GBA solo resulta estable la DAG 4.

- ❖ Para flujo de 3850 MW Comahue – GBA en condición N (flujo 2) y salida intempestiva del doble circuito Choele Choel – Bahía Blanca solo resulta inestable la DAG 1.
- ❖ Para flujos en condición N-1 y fallas simples o dobles en tramo Choele Choel – Bahía Blanca solo resulta estable la DAG 4.
- ❖ Para la variante de DAG con mejor desempeño dinámico post falla, DAG 4, solo actúa el automatismo “Antipenduleo” para condición N-1 (F/S Chocón Oeste – Puelches, flujo 3) ante falla simple en Choele Choel tramo Bahía Blanca.

#### 4.4 Fallas monofásicas c/recierre exitoso. Corredor 500 kV Comahue – GBA. SIP importador.

En este estudio se simularon fallas monofásicas con recierre exitoso y fallas trifásicas simples y dobles con despeje definitivo en el sistema de transporte de 500 kV Comahue – GBA del SADI, con el SIP importando entre 170 MW y 370 MW desde el SADI.

Las fallas monofásicas con recierre exitoso se aplicaron en las siguientes líneas:

- ❖ Choele Choel tramo Bahía Blanca.
- ❖ Choele Choel tramo Piedra del Águila.

La falla se aplica en el extremo receptor y se simula según se indica en **TABLA 13**. Para este tipo de fallas se analizaron escenarios de valle. Para estas fallas los criterios de estabilidad aplicados son los **Criterios 2 y 3** mencionados previamente.

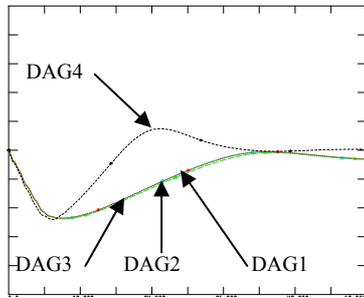


Fig. 12: Frecuencia Ezeiza [Hz]. Escala 52.5 / 47.5.

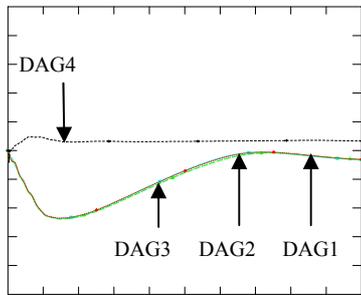


Fig. 13: Frecuencia Puerto Madryn [Hz]. Escala 52.5 / 47.5.

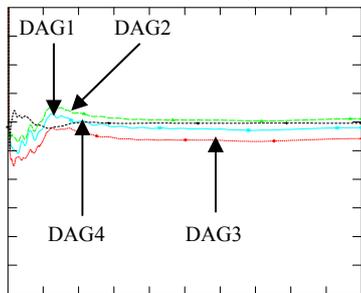


Fig. 14: Tensión Puerto Madryn 500 kV [pu]. Escala 1.2 / 0.7.

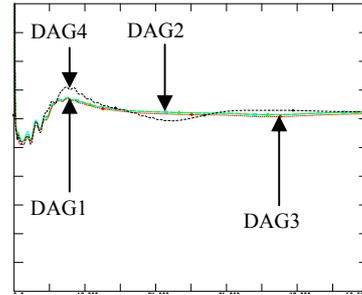


Fig. 15: Tensión Ezeiza 500 kV [pu]. Escala 1.2 / 0.7.

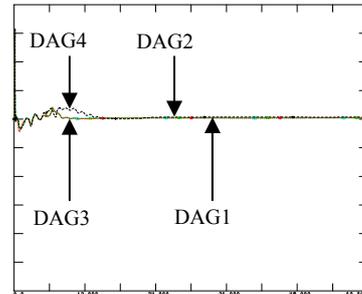


Fig. 16: Tensión Chocón Oeste 500 kV [pu]. Escala 1.2 / 0.7.

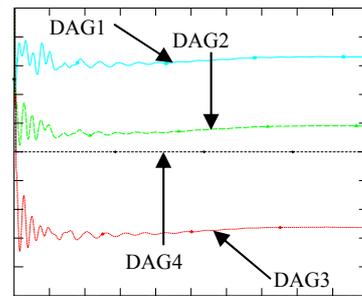


Fig. 17: Potencia activa Choele Choel – Puerto Madryn [MW]. Escala +500 / -500.

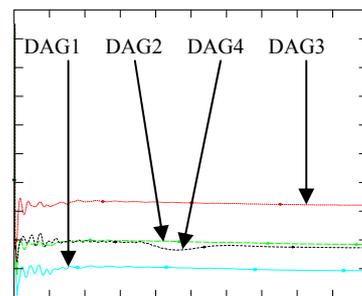


Fig. 18: Potencia activa Chocón O. – C. Choel + P. del Águila – C. Choel [MW]. Escala +3750 / +1250.

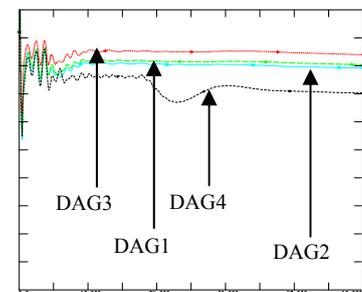


Fig. 19: Potencia activa suma Cerrito de la Costa – Puelches (ambos circuitos) [MW]. Escala +2500 / +1250.

Las fallas trifásicas simples con apertura definitiva se aplicaron en las siguientes líneas:

- ❖ Choele Choele tramo Bahía Blanca.
- ❖ Choele Choele tramo Piedra del Águila.
- ❖ Chocón Oeste tramo Puelches.

La fallas se aplican en el extremo receptor y se simula según se indica en **TABLA 14**.

La falla trifásica doble con apertura definitiva se aplicó en la siguiente línea:

- ❖ Chocón Oeste tramo Puelches (tornádica).

La falla se aplica en el extremo receptor y se simula según se indica en **TABLA 15**.

Para las fallas trifásicas simples y dobles se analizaron escenarios de valle y resto. Además, para este tipo de fallas se utilizaron los siguientes recursos post falla:

- ❖ DAG Comahue sin modificaciones.
- ❖ Recursos post falla para control de tensiones en corredor Comahue – GBA.
- ❖ DAC en planta de aluminio.
- ❖ Automatismo disparo banco capacitores en planta de aluminio (desconexión por módulo de 20 ó 33 MVar si tensión barra > 1.05 pu durante más de 0.1 s).

Para las fallas trifásicas simples y dobles los criterios de estabilidad aplicados son los **Criterios 1 y 3** mencionados previamente.

Los resultados obtenidos son los siguientes para las **fallas monofásicas con recierre exitoso** son:

- ❖ Estable en todos los casos analizados.

Los resultados obtenidos son los siguientes para las **fallas trifásicas simples con apertura definitiva** son:

- ❖ Falla Choele Choele tramo Bahía Blanca:
  - Actuación “Antipenduleo” en cualquiera de las etapas de obra de la planta de aluminio.
- ❖ Falla Choele Choele tramo Piedra del Águila (con Chocón Oeste – Choele Choele F/S):
  - En la etapa II de la obra de la planta de aluminio es inestable sin aplicar recursos post falla en el SIP.
  - Estable con DAC y automatismo capacitores en planta de aluminio. Actuación “Antipenduleo”.
  - Estable con un mínimo de generación en planta de aluminio y un máximo de transmisión SIP Sur hacia SIP Norte.
- ❖ El resto fallas trifásicas simples resultan estables.
- ❖ Todas las fallas trifásicas dobles resultan estables.

#### 4.5 Fallas internas en la planta de aluminio

En este estudio se simularon fallas en la generación y la demanda de la planta de aluminio para las diferentes etapas de la obra de ampliación, con el SIP aislado e interconectado al SADI. Las fallas que se aplicaron, tanto para SIP aislado como para SIP interconectado al SADI, son las siguientes:

- ❖ Desconexión a plena carga de la serie A.
- ❖ Desconexión a plena carga de la serie B.
- ❖ Desconexión a plena carga de la serie D.
- ❖ Desconexión de una turbina a gas del nuevo ciclo combinado.
- ❖ Desconexión del nuevo ciclo combinado.

Para este tipo de fallas se analizaron escenarios de pico y de valle. El objeto de este estudio es analizar las distintas posibilidades de recursos post falla para estabilizar el sistema. Los recursos estabilizantes utilizados son:

- ❖ Para SIP aislado:
  - DAG Futaleufú más DAG planta aluminio para desconexión de series. Determinación máximo retardo para DAG.
  - DAC o RAC en planta aluminio para desconexión de generación.
  - CAP-DES-ALUAR. Desconexión automática de banco de capacitores en planta de aluminio.
  - DAC-SIP para desconexión de generación.
  - Reserva rotante de 4%.

- ❖ Para SIP interconectado al SADI:
  - CAP-CON-ALUAR modificado. Conexión automática de banco de capacitores en planta de aluminio para evitar DAC en la planta.
  - Esquema de corte de carga por subfrecuencia del SADI. Idem esquema para el SIP.
  - Reserva rotante de 3%.

Para estas fallas internas de la planta de aluminio los criterios de estabilidad aplicados son los **Criterios 1 y 3** mencionados previamente.

Para SIP aislado los resultados obtenidos son los siguientes:

- ❖ Para desconexión de series se muestran en **TABLA 20**, donde se indica: la serie desconectada, la máxima frecuencia alcanzada, el tiempo máximo para la DAG, la pérdida de carga, el volumen de DAG y la relación porcentual entre la pérdida de carga y el volumen de DAG.
- ❖ Para desconexión de generación se muestran en **TABLA 21**, donde se indica: el generador desconectado, la máxima o mínima frecuencia alcanzada, el tiempo máximo para la DAC o RAC, la pérdida de generación, el volumen de DAC y RAC, la relación porcentual entre la pérdida de generación y el volumen de DAC y RAC, y el volumen de corte de carga dado por la “DAC-SIP”.

Elemento	F <sub>máx</sub> [Hz]	T <sub>DAG</sub> [ms]	Pérdida [MW]	DAG [MW]	Pérd/DAG [%]	
Serie	C	50,50	600	131	90,0	70
	A	50,60	600	172	128,5	75
	D	> 51	400	304	240,0	79
		50,55	400	304	278,5	92
	50,45	400	304	390,0	128	

**TABLA 20:** Desconexión series. SIP aislado

Elemento	F <sub>min</sub> /F <sub>máx</sub> [Hz]	T <sub>DAC</sub> /T <sub>RAC</sub> [ms]	Pérdida a [MW]	DAC + RAC [MW]	Pérd / DAC + RAC [%]	Corte [MW]	
Unidad	TG	48,6	100/100	150	113,0	75	57,8
		49,2	100/100	150	131,0	87	8,5
		49,2	100/100	150	141,0	94	8,5
	CC	49,7	100/100	150	165,4	110	0
		50,5	100/100	429	442,0	103	0
		50,2	600/100	429	442,0	103	0

**TABLA 21:** Desconexión generación. SIP aislado

Para SIP interconectado los resultados obtenidos son los siguientes:

- ❖ Desconexión series. No es necesario realizar DAG.
- ❖ Desconexión turbina a gas. No es necesario hacer DAC/RAC.
- ❖ Desconexión ciclo combinado. Es necesario conectar capacitores (CAP-CON-ALUAR) y hacer RAC para mejorar evolución tensiones post falla.

## 5 CONCLUSIONES

Se han presentado una serie de estudios realizados para analizar la obra de ampliación de generación y de demanda de la planta de aluminio de ALUAR en Puerto Madryn, con un desarrollo por etapas.

Particularmente, se ha tenido en cuenta su efecto tanto en el SIP aislado como en el SIP interconectado al SADI mediante una línea de 500 kV entre Choele Choele y Puerto Madryn.

Como obras de ampliación de la capacidad de transporte del corredor Comahue – GBA se han tenido en cuenta la ampliación de los capacitores series en Bahía Blanca y Olavaria y el capacitor paralelo de compensación en Bahía Blanca.

**Los estudios realizados han permitido determinar los recursos post-falla (automatismos) que serán necesarios diseñar en detalle en el futuro, tanto para el SIP aislado como para el SIP interconectado al SADI, para contar con un sistema robusto ante diferentes fallas.**