



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 1: ASPECTOS GENERALES Y ESTABILIDAD DINÁMICA

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

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

MARÍA BEATRIZ
BARBIERI
IITREE-LAT
F. Ingeniería. UNLP
La Plata. Bs. As. Argentina

OSCAR COSATTI
Jefe Operaciones
TRANSPA SA
Trelew. Chubut. Argentina

LUIS MACCHIONE
Jefe Proyectos Eléctricos
ALUAR SA
Madrin. 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 primer parte del trabajo se presentan los estudios realizados de flujos de potencia, modelos dinámicos y de estabilidad dinámica. Se definen los escenarios relevantes, considerando pautas de crecimiento de demanda e incorporación de nueva generación.

Para cada escenario se determina la capacidad máxima de transporte por la interconexión SADI-SIP, analizándose tanto la condición importadora como exportadora del SIP.

Se presentan modelos dinámicos de las series desarrollados “ad-hoc” y utilizados en la Base de Datos para estudios dinámicos. Por último, se presentan los estudios dinámicos de pequeña señal realizados, consistentes en simulaciones donde se excitan modos de oscilaciones electromecánicas, las cuales son caracterizadas por los grupos de generadores involucrados, su frecuencia de oscilación y su amortiguamiento.

Palabras clave: Interconexión - Flujo de carga - Modelo de Carga - Estabilidad Dinámica

1 INTRODUCCIÓN

La República Argentina posee dos sistemas eléctricos actualmente desvinculados entre sí, el de mayor porte denominado Sistema Argentino de Interconexión (SADI), ubicado en el centro y norte del país, con interconexiones a países vecinos, Uruguay y Brasil; y el de menor porte denominado Sistema Interconectado Patagónico (SIP), que abarca la región patagónica al sur del país.

El SADI tiene una carga máxima de 14.500 MW y posee una red de transporte en 500 kV con una longitud de 8230.2 Km, de estructura prácticamente radial, con áreas eléctricas bien definidas, NOA, NEA, Centro, Cuyo, Litoral, GBA, Buenos Aires y Comahue. El SIP es relativamente pequeño, su carga máxima es de aproximadamente 800 MW, posee una central hidráulica de 470 MW, que se conecta a través de una doble terna de 330 kV de 550 Km, con una planta productora de aluminio por electrólisis. El resto del sistema, vinculado por dos autotransformadores de 330/132 kV y 60 MVA, tiene un desarrollo de aproximadamente 1300 Km en líneas de 132 kV, con carga y generación distribuida, en configuración radial, estando una importante proporción de esta demanda constituida por motores en yacimientos de hidrocarburos.

En **Fig. 1** se muestra un esquema unifilar simplificado de la ET Pto. Madryn del SIP, mostrando la situación actual de la futura interconexión con el SADI y la planta de aluminio. Sobre el SIP se han realizado estudios de estabilidad para situaciones futuras que contemplan, la ampliación de generación y demanda de la planta de aluminio, y la futura interconexión al SADI.

2 PLANTA DE ALUMINIO

2.1 Situación actual

En Fig. 1 se muestra esquemáticamente la situación actual de la planta de ALUAR en Puerto Madryn.

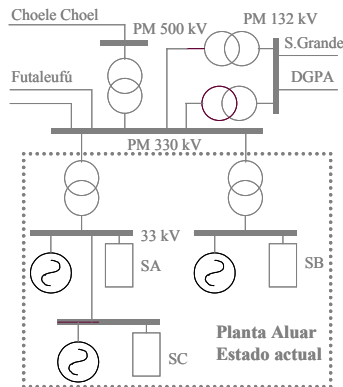


Fig. 1: Unifilar simplificado E.T. Puerto Madryn del SIP.

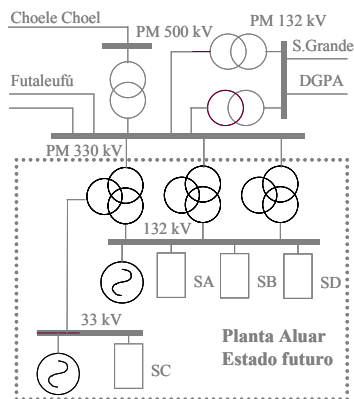


Fig. 2: Unifilar simplificado E.T. Puerto Madryn del SIP.

La demanda actual de la planta está constituida actualmente por 3 series electrolíticas, 2 de 200 cubas y 160 MW c/u y 1 de 140 cubas y 120 MW, más 25 MW de auxiliares, totalizando una demanda de 465 MW. La planta posee 5 bancos de filtros capacitivos de 20 MVar c/u en 33 kV. La planta posee actualmente 8 turbinas a gas, 4 de 20 MW c/u y 4 de 40 MW c/u, 2 de éstas últimas en ciclo combinado con una turbina a vapor de 40 MW totalizando una potencia instalada de 280 MW.

2.2 Ampliación

En Fig. 2 se muestra esquemáticamente la situación final de la planta de ALUAR en Puerto Madryn después de las distintas etapas de ampliación.

La ampliación de la demanda de la planta de aluminio consiste en una nueva serie electrolítica - serie D - de 244 cubas y 304 MW, alimentada por 4 grupos rectificadores a tiristores conectados a 132 kV. También se prevé el reemplazo por etapas de los grupos rectificadores a diodos de las serie A y B, por grupos rectificadores a tiristores conectados a 132 kV que incrementa la demanda a 172 MW en c/serie. Asimismo, está previsto incrementar la corriente continua de la serie C, lo que implica que esta serie demandará 131 MW. Debido a la ampliación, el

consumo de servicios auxiliares se incrementará a 45 MW. Finalizada las distintas etapas de la ampliación, la planta totalizará un consumo de 824 MW.

La ampliación de la generación de la planta de aluminio consiste en dos turbinas a gas de 150 MW c/u en ciclo combinado con una turbina a vapor de 150 MW, totalizando así una potencia instalada de 730 MW. Las obras de ampliación contienen el reemplazo de los 2 transformadores actuales de 330/33 kV y 305 MVA c/u por 3 transformadores nuevos de 330/135/34.5 kV y 300/300/140 MVA c/u, una nueva barra de distribución de 132 kV, y 7 bancos de filtros capacitivos de 33.5 MVar conectados a 132 kV.

3 MODELOS DINÁMICOS

Además del correcto modelado de los Generadores, de los Sistemas de Control Automático de Tensión, y de los Sistemas de Control Automático Velocidad-Potencia (Refs. [1], [2], y [3]), resulta importante conocer el comportamiento dinámico de las series de cubas electrolíticas, ya que la planta de aluminio en su estado actual constituye aproximadamente el 60 % de la demanda para el SIP aislado.

Por lo tanto, cualquier estudio dinámico que incluya al SIP, esté o no interconectado al SADI, debe contemplar las características particulares de esta carga.

En Refs. [4] y [5] se ha reportado un modelo dinámico de la serie de cubas electrolíticas, basado en mediciones y ensayos realizados sobre las actuales series electrolíticas. Estas series electrolíticas actuales - Series A, B y C - están alimentadas cada una por 4 grupos rectificadores a diodos y reactor saturable conectados a 33 kV. De los ensayos reportados en Ref [4] se extrae el correspondiente a la Fig. 3 que muestra las mediciones de la corriente continua en una serie y la correspondiente potencia activa tomada del suministro de 33 kV, junto con las mismas variables simuladas con el modelo dinámico denominado CARALN.

Dado que las series pueden trabajar con grupos rectificadores de diferente tecnología alimentados desde barras de diferente tensión, surge la necesidad de realizar un nuevo modelo de la carga de las series electrolíticas que contemple no solo la posibilidad de alimentar las series utilizando simultáneamente un número arbitrario (de 0 a 4) de grupos rectificadores de diferentes tecnologías como son los grupos a diodos con reactor saturable o los grupos a tiristores, sino que además contemple la necesidad de conectar a barras con diferentes tensiones cada grupo rectificador de diferente tecnología, como son la actual barra de 33 kV y la futura barra de 132 kV.

Por tal motivo, y a partir de información suministrada por el fabricante de los grupos rectificadores a tiristores, se realizó un nuevo modelo de la carga de las series electrolíticas denominado CARALT, actualmente disponible en la Base de Datos Dinámicos de CAMMESA.

En Fig. 4 se muestra el diagrama de bloques del modelo CARALT. Los principales bloques son: *Grupos Tiristores* y *Grupos Diodos*, con sus reguladores de corriente de grupos denominados *Regulador I_{CC} Grupo*

Tiristores y Regulador I_{CC} Grupo Diodos respectivamente, Control I_{CC} Serie, Toma de Carga, Paralelo Grupos y Serie.

En Refs. [6] y [7] se ha reportado la interacción entre el Sistema de Control de Velocidad – Potencia y el Estabilizador de Potencia en las unidades generadoras de central Futaleufú. El correcto modelado dinámico de estos sistemas de control es de importancia fundamental para los estudios de estabilidad dinámica, particularmente para el SIP aislado del SADI.

En el SIP resulta fundamental el correcto modelado de un automatismo, denominado antipenduleo, realizado con un relé antipenduleo y un relé de impedancia que, ante presuntas oscilaciones de origen electromecánico, separa el SIP Norte (estructuralmente fuerte, formado por la central Futaleufú y la planta de aluminio) del SIP Sur (estructuralmente débil) dejando la Central Ameghino en el SIP Sur. Este automatismo observa la impedancia de la línea Ameghino – Patagonia de 132 kV y produce el disparo de la línea Trelew – Ameghino de 132 kV.

También en el SIP Sur, resulta importante el modelado de las cargas de los yacimientos de hidrocarburos.

En el SADI se cuenta con un nuevo modelo para los 6 Compensadores Sincrónicos ubicados en la ET Ezeiza. Este modelo ha sido homologado por ensayos y consiste en un lazo primario para control de tensión en bornes y un lazo secundario para control de reactivo en cada Compensador Sincrónico. Además contiene un único lazo terciario para control de tensión en 500 kV.

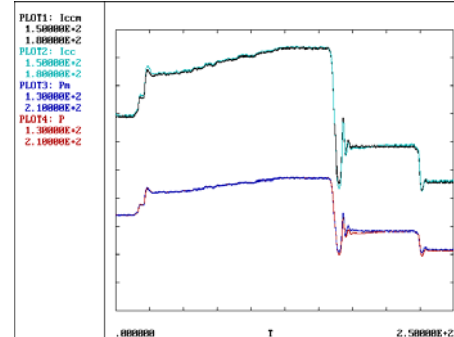


Fig. 3: Corrientes y potencias medidas (I_{ccm} y P_m) y simuladas (I_{cc} y P) con el modelo CARALN.

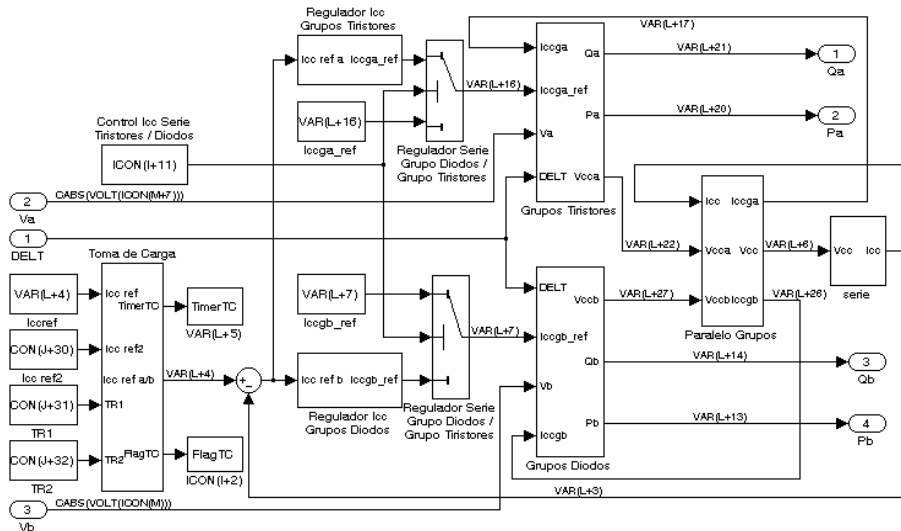


Fig. 4: Modelo CARALT. Diagrama de bloques

TABLA 1: Etapas de ampliación de la planta de aluminio

| Escenario | Serie A MW | Serie B MW | Serie C MW | Serie D MW | Serv. Aux. MW | Generación Aluar MW | Transformadores Arribos | Capacitores 132 kV MVAr | Demanda MW | Año |
|-----------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------|------|
| Actual | 160 | 160 | 120 | - | 15 | 280 | - | - | 455 | 2003 |
| I | 168 | 168 | 131 | - | 32 | 280 | TR1/TR3 | 2*33,5 | 499 | 2004 |
| II | 168 | 172 | 131 | 76 | 38 | 430 | TR1/TR3 | 4*33,5 | 585 | 2006 |
| III | 172 | 172 | 131 | 152 | 38 | 430 | TR1/TR3/TR2 | 5*33,5 | 665 | 2008 |
| IV | 172 | 172 | 131 | 304 | 45 | 730 | TR1/TR3/TR2 | 6*33,5 | 824 | 2010 |

4 FLUJOS DE POTENCIA

Se realizaron flujos de potencia para analizar las condiciones de régimen permanente con SIP aislado e interconectado al SADI.

Para ello se tuvo en cuenta las pautas de crecimiento de la demanda, particularmente la ampliación de la planta de aluminio con escenarios que abarcan las distintas obras, tipificada en 5 etapas denominadas actual, I, II, III y IV, según se indica en TABLA 1.

Para cada escenario, tipificado por verano e invierno del año correspondiente, se realizaron flujos en condiciones de pico y de valle. Con el SIP aislado e interconectado al SADI, se realizaron flujos de potencia para las siguientes condiciones de la red de transporte del SIP:

- ❖ Típico
- ❖ Máximo transporte SIP Norte – SIP Sur
- ❖ Transporte SIP Sur – SIP Norte
- ❖ Una línea de 330 kV y máxima generación ALUAR
- ❖ Una línea de 330 kV y Transporte SIP Sur – SIP Norte

Además, con el SIP interconectado al SADI también se realizaron flujos de potencia para las siguientes condiciones de la red de transporte del SIP:

- ❖ Central Futaleufú F/S
- ❖ Exportación del SIP al SADI
- ❖ Máxima exportación del SADI al SIP
- ❖ Intercambio nulo entre SADI y SIP

En definitiva, se realizaron un total de 88 flujos, 34 y 54 para el SIP aislado e interconectado respectivamente.

De todos los escenarios analizados se extraen las siguientes conclusiones:

- ❖ Para todos los casos analizados, se cumple que el perfil de tensiones en el SIP es de $I_{pu} \pm 5\%$ (excepto en barras 330 kV de Central Futaleufú) y en la interconexión de 500kV $I_{pu} \pm 3\%$.
- ❖ Todos los generadores del SIP resultan despachados sin subexcitación.
- ❖ La ampliación de ALUAR en carga y generación, en los distintos escenarios y casos considerados no genera limitación adicional en ningún elemento del sistema.

5 ESTABILIDAD DINÁMICA

La interconexión SADI-SIP modifica los modos de oscilación dominantes en cada sistema aislado y genera nuevos modos de oscilación. Asimismo, la ampliación de la planta de aluminio tiene potencial efecto sobre estos modos de oscilación. Por lo tanto, se realizaron simulaciones temporales aplicando pequeñas perturbaciones al sistema de transporte con el objeto de poner de manifiesto modos de oscilaciones electromecánicas predominantes y poco amortiguados, evitando no linealidades intrínsecas en el sistema eléctrico. Para el SIP aislado o interconectado al SADI, las perturbaciones aplicadas fueron:

- ❖ Variación de 15% durante 100 ms de la reactancia de la línea de 132 kV F. Ameghino-Patagonia
- ❖ Conexión durante 100ms de un reactor de 25 MVar en barras de 330 kV de ET Puerto Madryn

Además y para el SIP interconectado al SADI, también se aplicó la siguiente perturbación:

- ❖ Variación de 15% durante 100 ms de la reactancia de la línea de 500kV Choele Choel-Puerto Madryn.

Luego, se realizaron análisis de Prony sobre las siguientes variables:

- ❖ Potencia activa Aluar
- ❖ Potencia activa línea F. Ameghino-Patagonia

- ❖ Potencia activa línea P. Madryn-Futaleufú
- ❖ Potencia activa línea P. Madryn-Choele Choel

Si bien el método de Prony resulta más trabajoso y requiere un conocimiento mayor del sistema analizado (por ejemplo donde aplicar la perturbación y donde observar su efecto), evita las necesarias simplificaciones que se realizan en el análisis modal clásico. Por ejemplo, es práctica habitual en el análisis modal la anulación de variables de estados tales como las correspondientes a los Sistemas de Regulación de Velocidad – Potencia. También es conocida la interrelación entre los Sistemas de Regulación de Velocidad – Potencia y los Estabilizadores de Potencia (PSS), la que habitualmente se obvia con el análisis modal clásico. El análisis de Prony consiste en descomponer una variable que evoluciona temporalmente – $A(t)$ - en una sumatoria de señales exponenciales (autovalor real) o senoidales amortiguada (autovalor complejo). Es decir:

$$A(t) = \sum A_i * e^{-\lambda_i t}$$

λ_i : Autovalor i

$\lambda_i = -\lambda_{ni} - \xi_i \pm j\omega_{ni}$ $(1 - \xi_i^2)^{\omega/2}$, cada λ tiene un par de valores complejos conjugados, pues $A(t)$ es una función Real.

ω_{ni} : $2 \cdot \pi \cdot f_i$

f_i : frecuencia de la componente i ,

ξ_i : amortiguamiento de la componente i

A_i : Amplitud de la componente i

En **Fig. 5** se muestra un ejemplo de reconstrucción de una variable a partir de las componentes modales predominantes obtenidas mediante análisis de Prony. Se observa que la suma de las componentes 1 y 2 (reales) y de las componentes 3, 4 y 5 (complejas) reconstruye muy bien la variable original.

En **TABLA 2** se muestra el resultado numérico del análisis de Prony de la variable de **Fig. 5**. El análisis de Prony realizado fue agrupado por modo y por escenario (o flujo de potencia).

La cantidad de análisis de Prony efectuados es:

- ❖ SIP aislado
 - 13 flujos (etapas de obra y tipo de flujo)
 - 26 casos (13 flujos por 2 perturbaciones)
 - 78 análisis de Prony (26 casos por 3 variables)
 - 234 cálculos de amortiguamiento (78 Prony por 3 modos)
- ❖ SIP interconectado al SADI
 - 16 flujos (etapas de obra y tipo de flujo)
 - 48 casos (16 flujos por 3 perturbaciones)
 - 192 análisis de Prony (48 casos por 4 variables)
 - 768 cálculos de amortiguamiento (192 Prony por 4 modos)

Luego, con la información resultante de los análisis de Prony se identificaron los modos de oscilación dominantes en el SIP.

Con el SIP aislado del SADI resultaron 3 modos dominantes, que fueron denominados de la siguiente forma:

- ❖ Modo Norte – Sur

- ❖ Modo Aluar – Futaleufú
- ❖ Modo local Ameghino

Con el SIP interconectado al SADI resultaron 3 modos dominantes, que fueron denominados de la siguiente forma:

- ❖ Modo SADI – SIP Sur
- ❖ Modo (ALUAR + Futaleufú) – (SADI + SIP Sur)
- ❖ Modo local Ameghino

En **Fig. 6** a **Fig. 11** se muestran ejemplos de estos modos de oscilación. En estos gráficos se muestran evoluciones temporales de potencias, con la convención que parten desde ET Pto. Madryn, siendo las siglas PM: Pto. Madryn; FA: Ameghino; FU: Futaleufú; CH: Choele Choel y AL: ALUAR.

Por último, se evaluó la evolución de estos modos dominantes, en cuanto a frecuencia y amortiguamiento, con y sin interconexión SADI-SIP, con los distintos tipos de flujos de potencia, y con las distintas etapas de obra de la planta de aluminio. En **TABLA 2** a **TABLA 7** se resumen las evoluciones de los modos dominantes. Como conclusión de los análisis dinámicos realizados pueden citarse:

- ❖ Modo Norte – Sur. SIP aislado
 - Oscilación de las máquinas del SIP Sur versus las del SIP Norte (Aluar + Futaleufú).

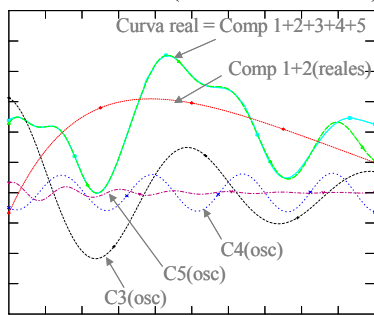


Fig. 5: Ejemplo. Reconstrucción mediante componentes modales.

- Frecuencia muy cercana a 0.4 Hz.
- Amortiguamiento sensible al tipo de Flujo.
- Frecuencia de alrededor de 1 Hz.
- Amortiguamiento sensible al tipo de Flujo.
- Para flujo normal (configuración completa y flujo desde el SIP norte al SIP sur, flujo tipo 1) mejora levemente su amortiguamiento con las etapas de la obra.
- Para flujo desde SIP sur hacia SIP norte (flujo tipo 4), el amortiguamiento no varía con las etapas de la obra.
- Para configuraciones N-1 (una línea de 330 kV, flujo tipo 3) el amortiguamiento empeora levemente con las etapas de la obra.
- ❖ Modo Aluar – Futaleufú. SIP aislado
 - Oscilación de las máquinas de Aluar versus las de Futaleufú.
 - Para flujo de Máximo Transporte (Flujo 1) el amortiguamiento disminuye con las etapas de ampliación, llegando en la etapa IV a un amortiguamiento de 11.5 %.
 - Para flujo con una línea de 330 kV (flujo 3) el amortiguamiento varía con las etapas de la obra

entre un 8.6 % en la etapa I a un 12.4 % en la etapa IV.

- ❖ Modo local Ameghino. SIP aislado
 - Oscilación de las máquinas de Ameghino contra el resto del sistema.
 - Frecuencia de alrededor de 1.35 Hz.
 - Amortiguamiento promedio del 11 %.
 - Frecuencia y amortiguamiento no dependen de las obras de ampliación de Aluar en sus diferentes etapas y tampoco por los diferentes tipos de flujos.
- ❖ Modo SADI – SIP Sur. SIP y SADI interconectados
 - Oscilación de las máquinas del SIP Sur contra las del SADI. Participación despreciable de Futaleufú y Aluar.
 - Frecuencia de alrededor de 0.35 Hz.
 - Amortiguamiento aceptable en todos los casos analizados.
 - Amortiguamiento es más sensible al tipo de Flujo que a las etapas de ampliación.
 - Amortiguamiento mínimo de 12.2 % en la etapa I con transporte desde el SIP Sur al SIP Norte (flujo tipo 4).
- ❖ Modo (ALUAR + Futaleufú) – (SADI + SIP Sur). SIP y SADI interconectados
 - Oscilación de las máquinas de Futaleufú y Aluar versus el SADI y SIP Sur. Participación mínima del SIP Sur.
 - Frecuencia de alrededor de 0.85 Hz.
 - Amortiguamiento pobre y no depende de las etapas de ampliación.
 - Amortiguamiento sensible al tipo de Flujo.
 - Amortiguamiento para flujo de Máximo Transporte (tipo 1) de 7.8 % en la primera etapa y llega a 12.1 % en la etapa IV.
 - Amortiguamiento para flujo correspondiente a una línea de 330 kV (flujo 3) de 7.4 % para la etapa I y de 8 % para la etapa II.
 - Un caso equivalente al flujo 3 (considerando la configuración de la red) es el flujo con una línea de 330 kV y transporte Sur-Norte (tipo 7), con un amortiguamiento del 10.5 % en la etapa IV.
 - Amortiguamiento aceptable para el resto de los flujos analizados, superando el 15 % en la etapa IV.
- ❖ Modo local Ameghino. SIP y SADI interconectados
 - Oscilación de las máquinas de Ameghino contra el resto del sistema.
 - Frecuencia de alrededor de 1.35 Hz.
 - Amortiguamiento promedio del 10 %.
 - Frecuencia y amortiguamiento no dependen de las obras de ampliación de Aluar en sus diferentes etapas y tampoco por los diferentes tipos de flujos.

Estos resultados pueden confrontarse con los parámetros de desempeño establecidos por CAMMESA para el SADI:

- ❖ Amortiguamiento > 15 % para condición N de la red de transporte.
- ❖ Amortiguamiento > 10 % para condición N-1 de la red de transporte.

- ❖ Cualquiera sea la nueva instalación no debe empeorar los amortiguamientos de los modos preexistentes.

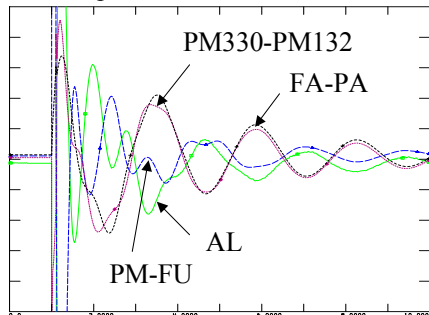


Fig. 6: Ejemplo. Modo Norte – Sur. SIP aislado

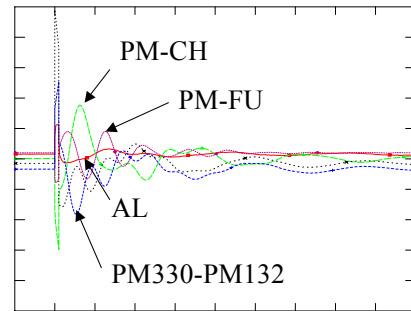


Fig. 9: Ejemplo. Modo SADI – Sur. SIP y SADI

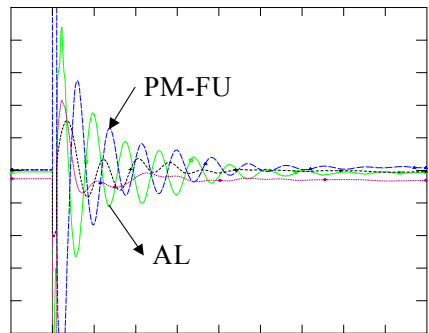


Fig. 7: Ejemplo. Modo ALUAR - Futaleufú. SIP aislado

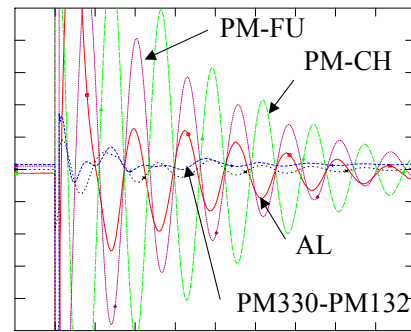


Fig. 10: Ejemplo. Modo (AL+FU) – (SADI+SIP Sur). SIP y SADI

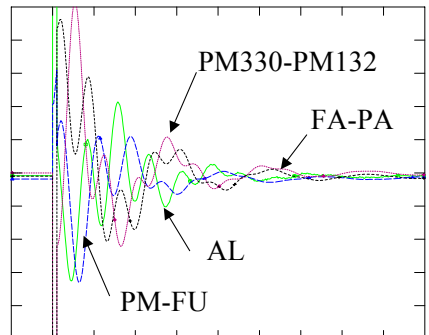


Fig. 8: Ejemplo. Modo local Ameghino. SIP aislado

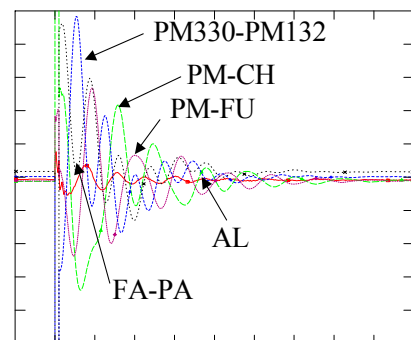


Fig. 11: Ejemplo. Modo local Ameghino. SIP y SADI

| FLUJO | 1 | | | | 3 | | | | 4 | | | | 5 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | IA | IIA | IIIA | IVA | IA | IIA | IIIA | IVA | IA | IIA | IIIA | IVA | IVA |
| ξ [%] | 18.8 | 22.2 | 24.4 | 23.1 | 17.4 | 19.2 | 13.2 | 14.7 | 10.1 | 11.4 | 10.6 | 11.0 | 10.7 |
| f [Hz] | 0.42 | 0.41 | 0.42 | 0.41 | 0.43 | 0.42 | 0.41 | 0.41 | 0.42 | 0.40 | 0.40 | 0.39 | 0.39 |

TABLA 2: Evolución Modo Norte – Sur. SIP aislado

| FLUJO | 1 | | | | 3 | | | | 4 | | | | 5 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | IA | IIA | IIIA | IVA | IA | IIA | IIIA | IVA | IA | IIA | IIIA | IVA | IVA |
| ξ [%] | 21.7 | 18.0 | 15.4 | 11.5 | 8.6 | 13.5 | 8.43 | 12.4 | 16.4 | 13.9 | 12.0 | 13.8 | 13.3 |
| f [Hz] | 1.1 | 1.25 | 1.04 | 1.2 | 0.95 | 0.98 | 0.86 | 0.94 | 1.15 | 1.15 | 1.11 | 1.16 | 0.92 |

TABLA 3: Evolución Modo ALUAR - Futaleufú. SIP aislado

| FLUJO | 1 | 3 | 4 | 5 |
|-------|---|---|---|---|
| O | | | | |

| ETAP A | IA | IIA | IIIA | IVA | IA | IIA | IIIA | IVA | IA | IIA | IIIA | IVA | IVA |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ξ [%] | 10.4 | 10.8 | 10.5 | 10.3 | 11.3 | 11.3 | 11.2 | 11.5 | 10.5 | 11.6 | 11.7 | 12.2 | 11.7 |
| f [Hz] | 1.36 | 1.36 | 1.37 | 1.39 | 1.33 | 1.36 | 1.36 | 1.34 | 1.33 | 1.35 | 1.36 | 1.35 | 1.35 |

TABLA 4: Evolución Modo local Ameghino. SIP aislado

| FLUJO | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | |
|-----------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|------|-----|
| ETAP A | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS |
| ξ [%] | 35.6 | | 31.6 | 28.1 | 23.2 | 19.9 | 22.4 | | 28.5 | 24.4 | | | 12.2 | | | |
| f [Hz] | 0.35 | | 0.37 | 0.35 | 0.37 | 0.37 | 0.36 | | 0.37 | 0.37 | | | 0.35 | | | |

TABLA 5.a: Evolución Modo SADI – Sur. SIP y SADI interconectados

| FLUJO | 5 | | | | 6 | | | | 7 | 9 | 10 |
|-----------|----|-----|------|------|----|------|------|------|------|------|------|
| ETAP A | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS | IVS | IVS | IVS |
| ξ [%] | | | 19.1 | 27.8 | | 15.7 | | 14.4 | 14.1 | 27.0 | 28.6 |
| f [Hz] | | | 0.37 | 0.36 | | 0.33 | | 0.31 | 0.33 | 0.36 | 0.35 |

TABLA 5.b: Evolución Modo SADI – Sur. SIP y SADI interconectados

| FLUJO | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | |
|-----------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|------|-----|
| ETAP A | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS |
| ξ [%] | 7.8 | | 9.9 | 12.1 | 13.9 | 17.4 | 16.3 | | 7.4 | 8.0 | | | 11.6 | | | |
| f [Hz] | 0.85 | | 0.88 | 0.86 | 0.86 | 0.87 | 0.85 | | 0.79 | 0.79 | | | 0.97 | | | |

TABLA 6.a: Evolución Modo (AL+FU) – (SADI+SIP Sur). SIP y SADI interconectados

| FLUJO | 5 | 6 | | | | 7 | 9 | 10 | | | |
|-----------|----|-----|------|------|----|------|------|------|------|------|------|
| ETAP A | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS | IVS | IVS | IVS |
| ξ [%] | | | 16.6 | 18.6 | | 13.2 | | 19.5 | 10.5 | 18.8 | 21.4 |
| f [Hz] | | | 0.89 | 0.90 | | 0.77 | | 0.73 | 0.79 | 0.82 | 0.85 |

TABLA 6.b: Evolución Modo (AL+FU) – (SADI+SIP Sur). SIP y SADI interconectados

| FLUJO | 1 | | | | 2 | | | | 3 | | | | 4 | | | |
|-----------|------|-----|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|------|-----|
| ETAP A | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS |
| ξ [%] | 10.3 | | 9.6 | 10.2 | 9.8 | 11.3 | 10.8 | | 10.7 | 11.2 | | | 10.5 | | | |
| f [Hz] | 1.36 | | 1.37 | 1.36 | 1.37 | 1.35 | 1.37 | | 1.34 | 1.34 | | | 1.35 | | | |

TABLA 7.a: Evolución Modo local Ameghino. SIP y SADI interconectados

| FLUJO | 5 | 6 | | | | 7 | 9 | 10 | | | |
|-----------|----|-----|------|------|----|------|------|------|------|------|------|
| ETAP A | IS | IIS | IIIS | IVS | IS | IIS | IIIS | IVS | IVS | IVS | IVS |
| ξ [%] | | | 11.8 | 11.1 | | 10.0 | | 9.9 | 12.0 | 9.6 | 10.2 |
| f [Hz] | | | 1.35 | 1.37 | | 1.36 | | 1.36 | 1.36 | 1.36 | 1.36 |

TABLA 7.b: Evolución Modo local Ameghino. SIP y SADI interconectados

6 CONCLUSIONES

Se han presentado una serie de estudios sobre la interconexión SADI – SIP consistente en una línea de 500 kV entre Choele Choel y puerto Madryn.

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

Particularmente, se ha tenido en cuenta la obra de ampliación de la planta de aluminio de ALUAR en Puerto Madryn, con un desarrollo por etapas, y su efecto tanto en el SIP aislado como en el SIP interconectado al SADI.

Los estudios realizados han permitido determinar los distintos modos de oscilación electromecánica dominantes en el SIP, tanto en caso del SIP aislado como en el caso del SIP interconectado al SADI.

También se ha determinado la evolución de estos modos de oscilación electromecánica dominantes, en cuanto a frecuencia y amortiguamiento, con las distintas etapas de la obra de la planta de aluminio.

En general, se observa que la obra de la planta de aluminio tiene un efecto positivo sobre los modos de oscilación electromecánica dominantes.

Debido a que el SIP es un sistema estructuralmente débil, tanto con el SIP aislado como con el SIP interconectado al SADI, en el SIP no son de aplicación los criterios impuestos para el SADI para los modos de oscilación electromecánica dominantes, para condiciones N y N-1.

7 REFERENCIAS

- [1] “*IEEE Recommended Practice for Excitation System Models for Power System Stability Studies*”. IEEE Std. 421.5-1992.
- [2] “*Hydraulic Turbine and Turbine Control Models for System Dynamic Studies*”. IEEE Working Group Report. IEEE Trans., Vol. PWRS-7, No. 1, pp. 167-179, February 1992.
- [3] “*Guide for Synchronous Generator Modeling Practices in Stability Analyses*”. IEEE Std. 1110-1991.
- [4] “*Planta de Aluminio. Modelo de Carga para Estudios de Estabilidad*”. J.L. Agüero, M.C. Beroqui, S. Achiles y O. Cosatti. VIII Encuentro Regional Latinoamericano de CIGRE (VII ERLAC). Ciudad del Este, Paraguay, mayo 1999.
- [5] “*Aluminum Plant. Load Modeling for Stability Studies*”. J.L. Agüero, M.C. Beroqui y S. Achilles. 1999 Summer Meeting, Power Engineering Society (PES), Institute of Electric and Electronics Engineers (IEEE). Edmonton, Canadá, Julio 1999. Conference Proceedings, Vol. 2, pp. 1330-1336, ISBN 0-7803-5569-5.
- [6] “*Amortiguamiento de Oscilaciones Electromecánicas en Central Hidráulica*”. J.L. Agüero, M.C. Beroqui, P. Stoeff Belkenoff. VIII Encuentro Regional Latinoamericano de CIGRE (VII ERLAC). Ciudad del Este, Paraguay, mayo 1999.
- [7] “*Electromechanical Oscillation Damping in one Hydraulic Central*”. J.L. Agüero y M.C. Beroqui. 1999 Summer Meeting, Power Engineering Society (PES), Institute of Electric and Electronics Engineers (IEEE). Edmonton, Canadá, Julio 1999. Conference Proceedings, Vol. 2, pp. 1286-1291, ISBN 0-7803-5569-5.