

Análisis Modal del Sistema Eléctrico Uruguayo

A. Giusto, P. Monzón

Instituto de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República - Uruguay

Proyecto PDT 47/05

Encuentro de Potencia, Instrumentación y
Medidas, IEEE Uruguay

Oct. 2008

Esquema

- Introducción
- Descripción del modelo
- Análisis modal
- Validación
- Mitigación de oscilaciones
- Conclusiones

Introducción

Proyecto PDT 47/05 *Estudios de estabilidad de escenarios a corto plazo del sistema eléctrico uruguayo.*

Equipo de trabajo: Michel Artenstein, Ricardo Franco
Alvaro Giusto, Pablo Monzón, Celia Sena

Facultad de Ingeniería

Estrecha cooperación por parte de UTE:

Planificación de la Explotación y Estudios

Estudios y Proyectos

Protecciones de Transmisión

Introducción

Diferentes conceptos de estabilidad:

- transitoria,
- de tensión, de ángulo,
- Estabilidad frente a pequeñas perturbaciones

Capacidad del sistema eléctrico de mantener el sincronismo frente a pequeñas perturbaciones.

Porqué importa?

- Condición necesaria para estabilidad transitoria.
- Calidad de servicio.
- Aporta información dinámica relevante.
- Hay poderosas herramientas de análisis.

Introducción

Modelo del sistema

$$\dot{x} = f(x, y)$$

$$0 = g(x, y)$$

x: variables de estado: δ, ω

y: variables de enlace: V, θ

Linealización:

$$\dot{x} = Ax$$

$$x(0) = x_0$$

Se estudia la respuesta a una condición inicial fuera del equilibrio.

Introducción

Instrumentos

Autovalores

$$\lambda_i \in \mathbb{C},$$

autovectores derechos (*mode shapes*) $\vec{v}_i \in \mathbb{C}^n,$

e izquierdos

$$\vec{u}_i \in \mathbb{C}^n.$$

$$A \vec{v}_i = \lambda_i \vec{v}_i$$

$$\vec{u}_i A = \lambda_i \vec{u}_i \quad i = 1..n$$

Introducción

Modo de oscilación

- Par $\lambda_i \in \mathbb{C}, \vec{v}_i \in \mathbb{C}^n$

El sistema responde frente a una perturbación con una superposición de modos:

$$\vec{x}(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i e^{\lambda_i t} \vec{v}_i$$

Ejemplo



Descripción del modelo

Sistema interconectado argentino uruguayo

- Red equivalente sistema argentino: 67 barras, 28 máq.
- Total: 360 barras, aprox. 50 máq
- Máquinas sincrónicas de orden 5 o 6
- Modelo PSS/E de UTE,
migrado a DSAT (Powertech Labs).

Descripción del modelo

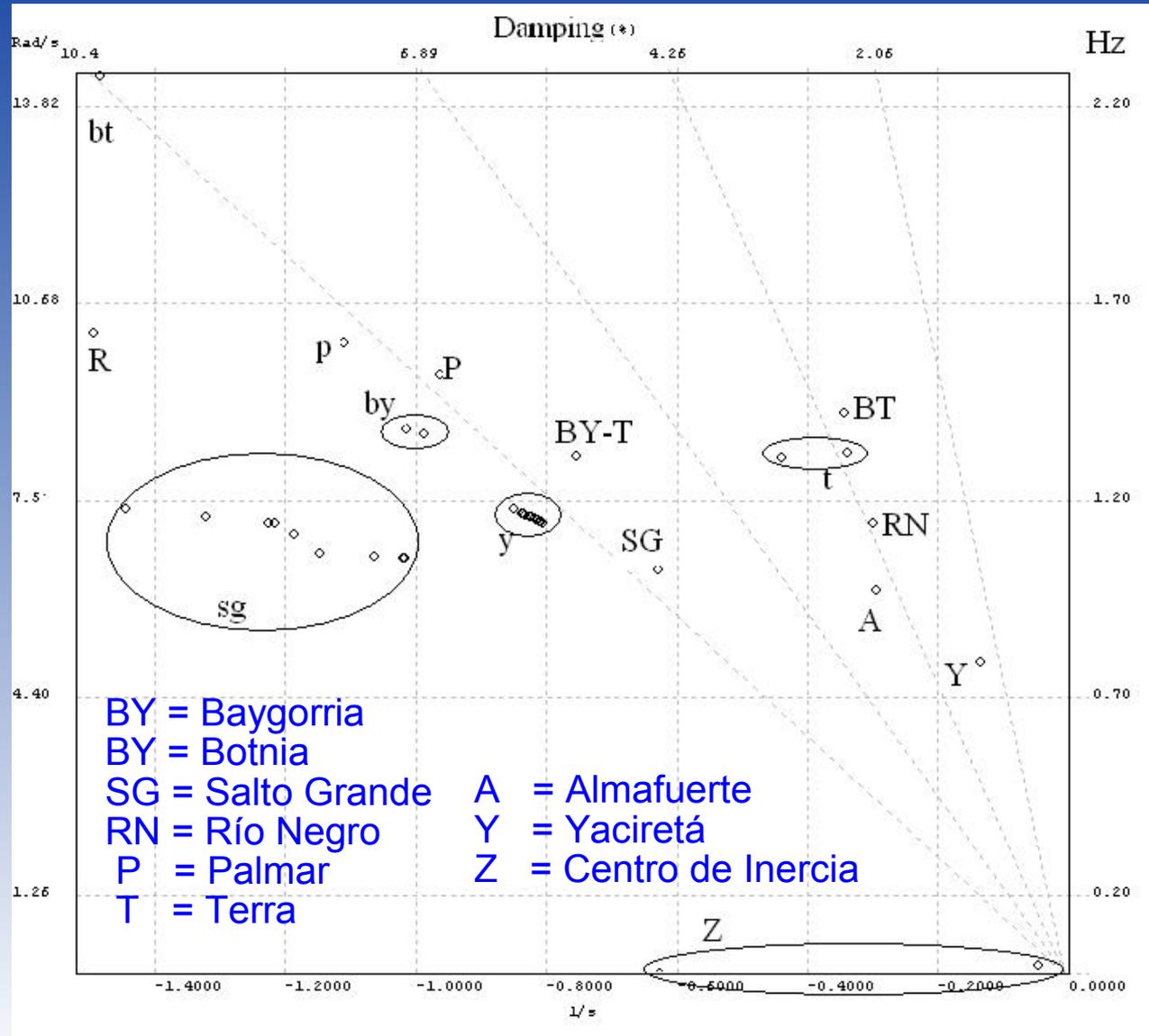
Escenarios estudiados

- Máximo hidráulico 2010
- Máximo térmico 2010
- Máximo 2004, esencialmente hidráulico

Contingencias

- Línea Young-Terra, 150 kV
- Línea San Javier-Fray Bentos, 150 kV
- Barra Trinidad, 150 kV
- Línea San Javier-Salto Grande, 500 kV
- Conexión SG Uruguay-SG Argentina, 500 kV

Análisis modal



Modos
electromecánicos,
escenario
hidráulico 2010

Análisis modal

Escenario 2010

Modo Río Negro $\omega \approx 1.1 \text{ Hz}$, $\zeta \in [3.4, 4.3]$

Modo Botnia $\omega \approx 1.3 \text{ Hz}$, $\zeta \in [2.4, 4.2]$

Parámetros de referencia (UTE, CAMMESA)

Coeficiente ζ de amortiguación mínimo: 5%,
equivalente a un 73 % de atenuación entre picos consecutivos

Modo Río Negro

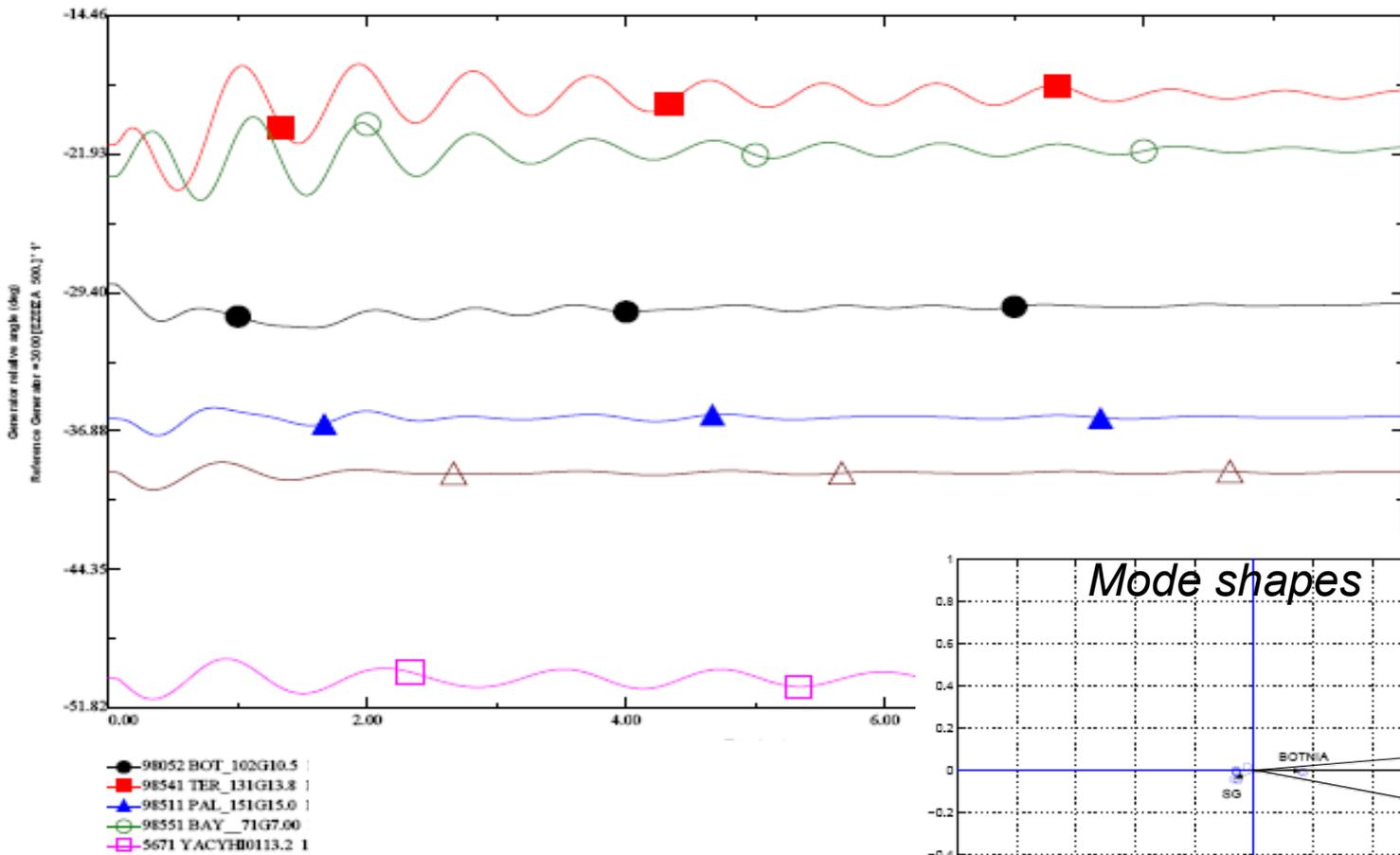


Fig. 4. Falta en Línea Young-Terra, Escenario # 1. Ángulo

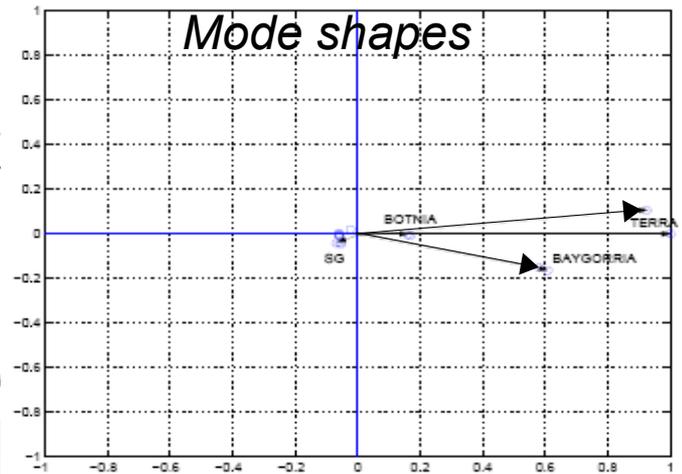


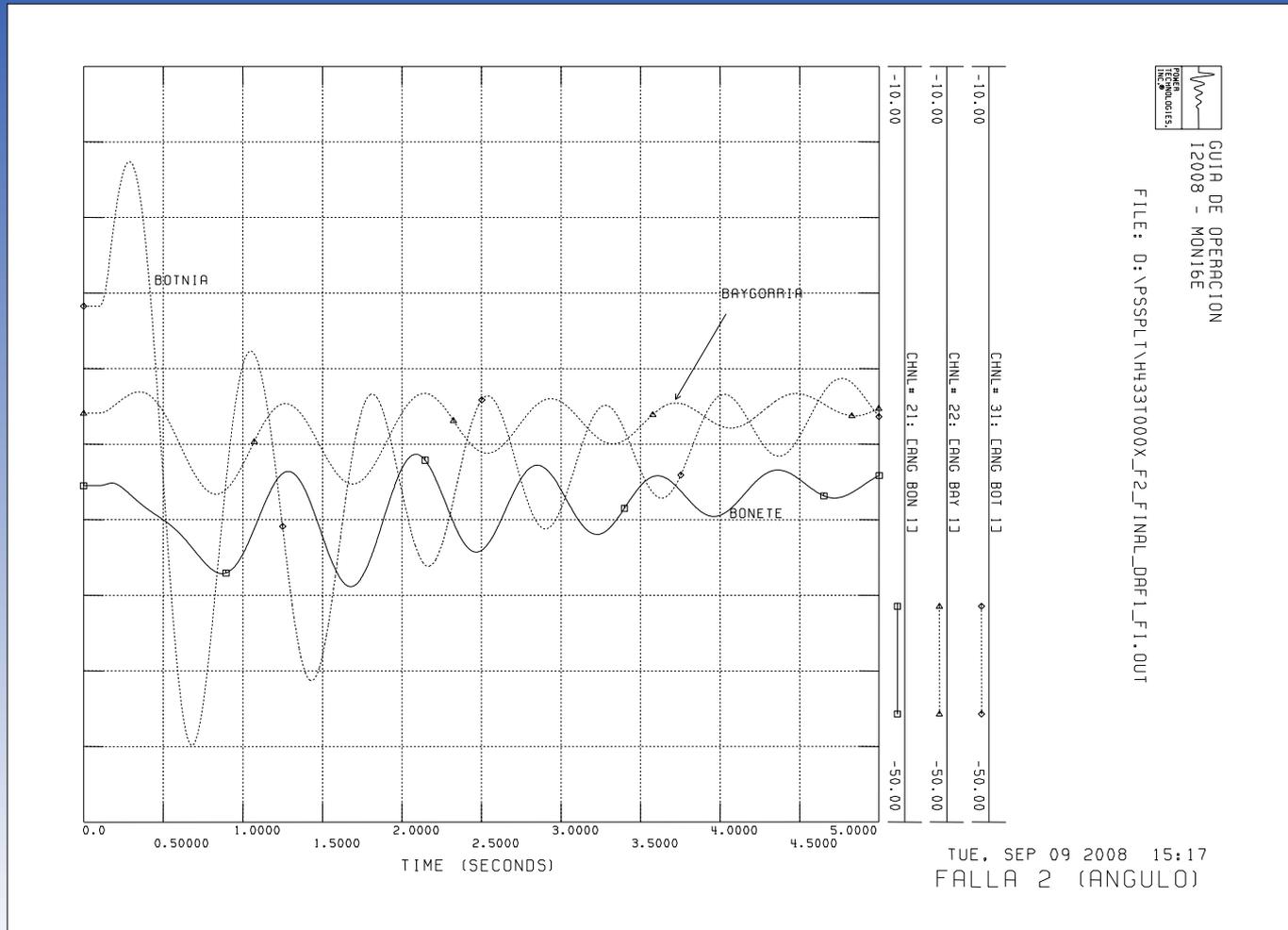
Fig. 2. Mode shape del modo Río Negro.

Validación

- Sobre el modelo DSAT: respuesta transitoria
- Sobre el modelo PSS/E: análisis de Prony y respuesta transitoria (Ing. A. Musetti, PEE-UTE).

Validación

Falla Fray Bentos-San Javier. Modelo PSS/E con ajustes.



Mitigación de oscilaciones

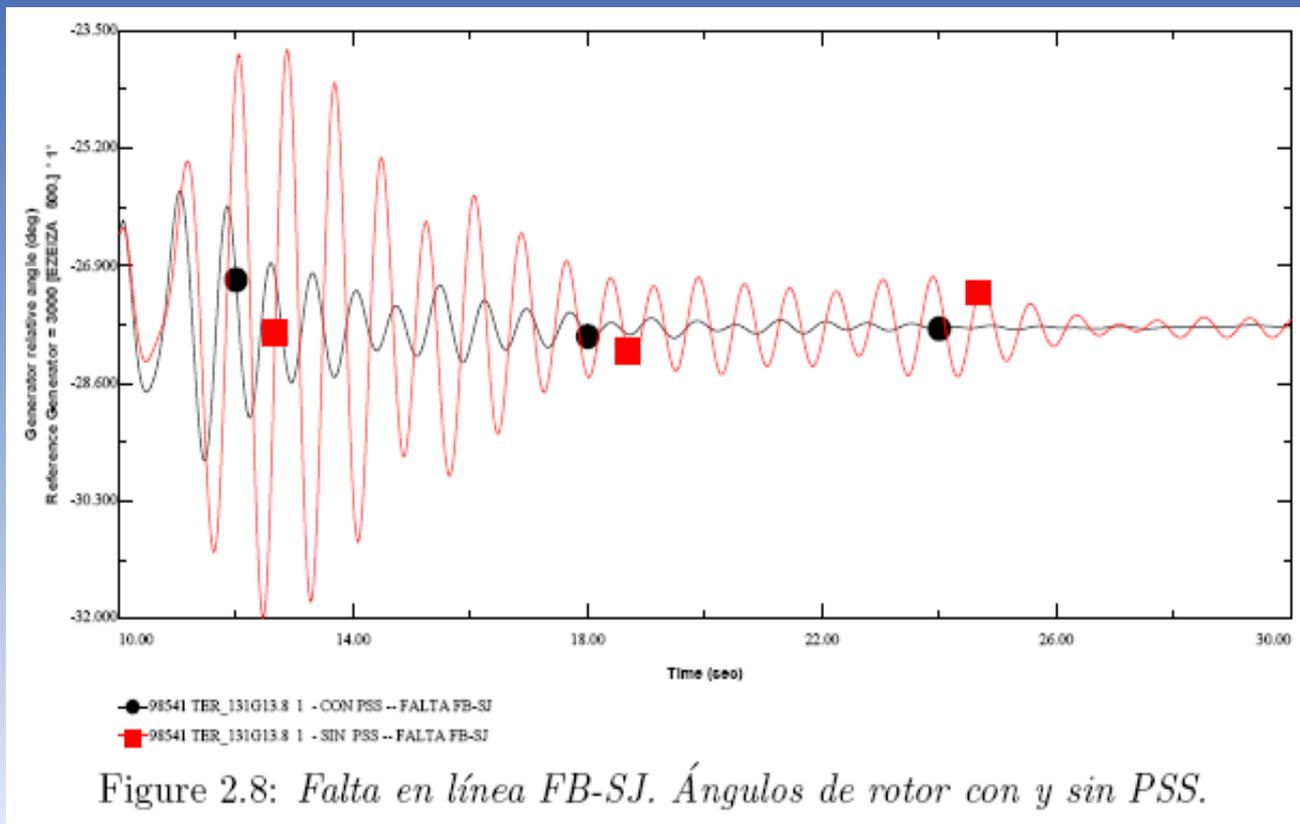
Vemos que el modo Río Negro puede ser amortiguado eficazmente desde la Central Terra:

FACTORES DE PARTICIPACIÓN DEL MODO RÍO NEGRO

Factor de participación	Máquina	Central
1	TER 131G13.8	TERRA
0,83	TER 134G13.8	TERRA
0,83	TER 132G13.8	TERRA
0,83	TER 133G13.8	TERRA
0,37	BAY 71G7.00	BAYGORRIA
0,37	BAY 72G7.00	BAYGORRIA
0,33	BAY 73G7.00	BAYGORRIA
0,04	BOT 101G10.5	BOTNIA
0,03	BOT 102G10.5	BOTNIA
0,02	SGU 134G13.8	SALTO GRANDE
0,02	SGU 139G13.8	SALTO GRANDE

Mitigación de oscilaciones

Se sintonizó un controlador PSS (*Power System Stabilizer*) para la central Terra



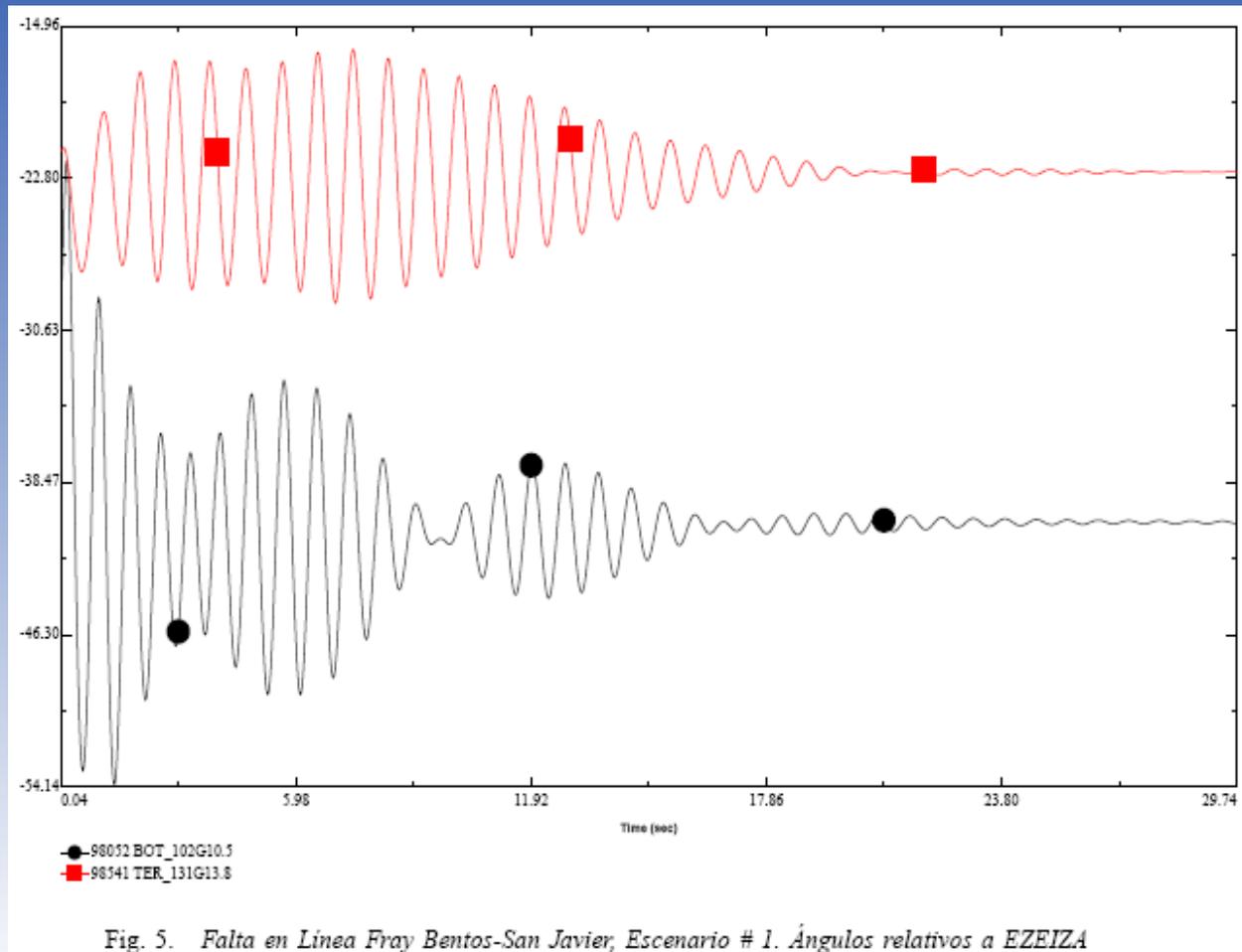
Conclusiones

- Análisis modal del sistema uruguayo
 - frecuencias, coef. de amortiguamiento
 - *mode shapes*, fact. participación
- Validación sobre modelos no lineales,
- Validación sobre modelos PSS/E y DSAT
- Mitigación de oscilaciones mediante PSS
- Capacidad local de hacer estos estudios
- Formación de recursos humanos

Gracias por su atención!

Validación

Los dos modos de interés, de manifiesto en la respuesta transitoria



Descripción del modelo

Porqué no usar, directamente, el modelo PSS/E?

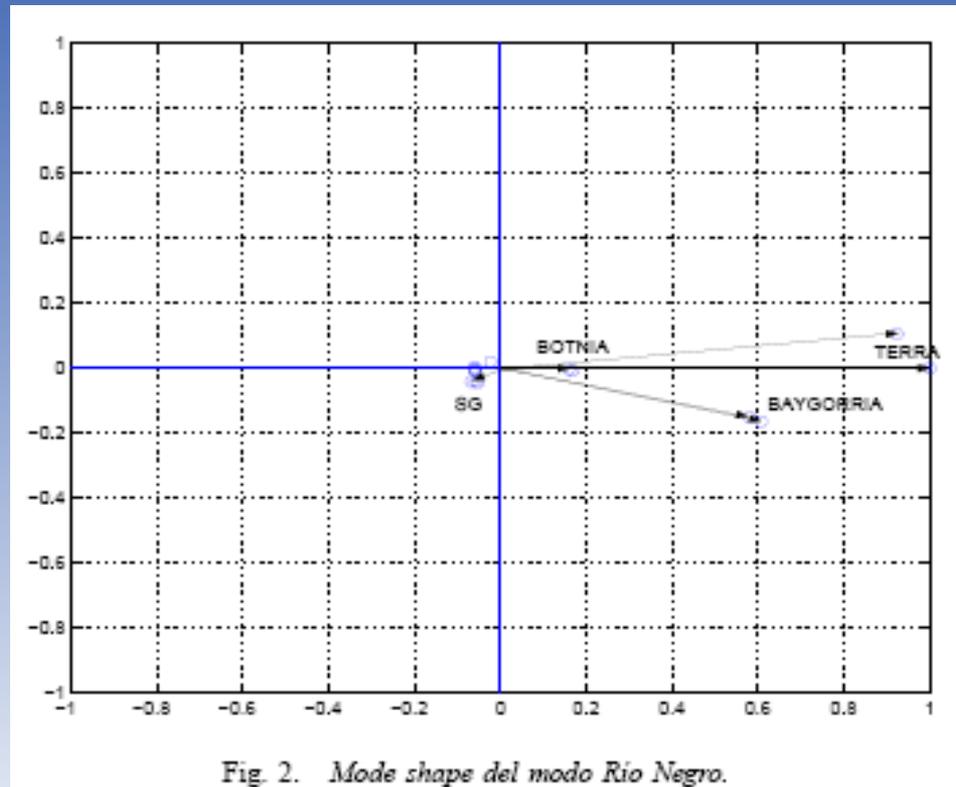
- Objetivos de la actividad universitaria (docencia, investigación, extensión)
- Condiciones de la licencia académica del paquete.
- Objetivos concretos del trabajo
 - Investigación académica
 - No es un estudio de planificación de la red
- El modelo usado tiene el nivel de detalle necesario para los objetivos del estudio.

Modo Río Negro

Coef. de amortiguación: 4.1%,
Frecuencia: 1.1 Hz

Mode shape :

Terra y Baygorria en fase,
contra el resto.



Descripción del modelo

Modelos dinámicos

Unidad	Modelo de máquina	Sistema de excitación	PSS	Reg. de velocidad
ALMAFUERTE	GENSAL	X	X	X
EZEIZA	GENSAL	X	X	Slack
RODRIGUEZ	GENSAL	X	X	X
YACIRETA	GENSAL	X	X	X
SALTO GRANDE	GENSAL	UDM	UDM	IEEEG3
TERRA	GENSAL	UDM	X	X
BAYGORRIA	GENSAL	IEEET2	X	X
PALMAR	GENSAL	UDM	X	IEEEG3
BATLLE 4a	GENROU	X	X	X
BATLLE 5a	GENROU	UDM	X	IEEEG1
BATLLE 6a	GENROU	UDM	X	IEEEG1
PTA DEL TIGRE	GENROU	ESAC6A	X	IEESG0
BOTNIA	GENROU	UDM	X	IEEEG1
CTR	GENROU	IEEET2	X	X