



## Evaluación de la Estabilidad de Tensión con el auxilio del Estimador de Estados

Carolina M. Villasanti López – Rui Jovita Godinho Correa da Silva

carolv@itaipu.gov.py

ruijgcs@itaipu.gov.br

ITAIPU Binacional

Paraguay-Brasil

### RESUMEN

La operación en tiempo real de los sistemas eléctricos de potencia (SEP) tiene como principal objetivo el suministro de energía eléctrica, en obediencia a la trilogía de continuidad, calidad y economía en el servicio. Para alcanzar tal objetivo, es necesario que los niveles de tensión, frecuencia, flujo en las interconexiones, niveles de corriente en las líneas y demás equipos, estén operando dentro de los límites de operación permitidos.

Este trabajo propone un método de evaluación de estabilidad de tensión para la interconexión ITAIPU/ANDE utilizando como dato de entrada una solución válida del Estimador de Estados, con el objetivo de evaluar relativamente la seguridad operativa de cada punto de equilibrio. Para ello será utilizado un método de análisis estático que consiste en la utilización de métodos desacoplados para evaluar la estabilidad de tensión con el objetivo de obtener la curva QV e PV para determinar cuáles son las barras críticas, el margen de carga de potencia activa y reactiva.

La principal contribución de este trabajo será utilizar los resultados del estimador de estados para realizar análisis de estabilidad de tensión, cuyas informaciones podrán auxiliar a los operadores de tiempo real en las acciones de control que deberán ser tomadas para mantener la operación dentro de los límites de seguridad.

### PALABRAS CLAVES

Estimador de Estados, Curva QV, Curva PV, Margen de potencia activa, Margen de potencia reactiva, análisis de estabilidad de tensión, Vector Tangente.



XII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

## 1 INTRODUCCIÓN

La operación en tiempo real de los sistemas eléctricos de potencia (SEP) tiene como principal objetivo el suministro de energía eléctrica, en obediencia a la trilogía de continuidad, calidad y economía en el servicio. Para alcanzar tal objetivo, es necesario que los niveles de tensión, frecuencia, flujo en las interconexiones, niveles de corriente en las líneas y demás equipos, estén operando dentro de los límites de operación permitidos. La operación de los SEP's exige que una gran cantidad de informaciones esté disponible para los operadores de tiempo real, para que puedan ser alcanzados estos objetivos.

Actualmente la mayoría de los centros de control de las empresas del sector eléctrico utilizan sistemas de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA, Supervisory Control and Data Acquisition) y sistemas de Gerenciamiento de energía (EMS, Energy Management Systems), para gerenciar y controlar el sistema eléctrico de una manera segura y económica [1]-[2].

El Sistema EMS está constituido por varios aplicativos entre ellas el control automático de generación (CAG), control automático de tensión (CAT), como así también los sistemas de analices de red (Configurador de red, Estimador de Estados (SE), Evaluación de seguridad) [1]-[2]-[3].

El objetivo principal del operador del sistema es mantener el sistema operando en el estado normal por más que las condiciones operativas varían durante el día. Para acompañar este objetivo es necesario de un monitoreo continuo de las condiciones operativas del sistema, identificación del estado operativo y determinación de acciones preventivas, en el caso que la condición operativa del sistema sea insegura. Esta secuencia de acciones es conocida como análisis de seguridad del sistema [4].

Uno de los enfoques de este trabajo es la utilización de los resultados del Estimador de Estados. El proceso de estimación de estados consiste en la obtención en tiempo real de las tensiones complejas nodales de un SEP a través de un modelo de la red eléctrica, de sus parámetros y de un conjunto de medidas analógicas redundantes con ruido. Las tensiones complejas nodales son las variables de estado del SEP, al obtener, el estado del SEP queda determinado, de ahí el nombre Estimador de Estado.

La herramienta utilizada en los centros de control para procesar las medidas es el estimador de estados, constituido de un conjunto de algoritmos que procesan tele medidas que son proveídas por el sistema SCADA. El objetivo del Estimador de Estados es proveer medidas estimadas confiables para todas las variables de estado de la red.

La Evaluación de seguridad de la operación es realizada mediante tres funciones básicas que son Monitoreo de Seguridad, Análisis de Contingencia y Control Preventivo [4]. El desempeño de estas funciones depende de la disponibilidad de informaciones confiables con respecto al punto de operación actual del sistema y de funciones de diagnósticos sofisticados, llamados de funciones de Análisis de Red. De esta manera, el estimador de estados provee los subsidios para ejecutar las funciones de análisis de red que utilizan los métodos para el análisis de seguridad del sistema [5][6].

Este trabajo propone un método de evaluación de estabilidad de tensión para la interconexión ITAIPU/ANDE utilizando como dato de entrada una solución válida del Estimador de Estados, con el objetivo de evaluar relativamente la seguridad operativa de cada punto de equilibrio [7]. Para ello será utilizado un método de análisis estático que consiste en la utilización de métodos desacoplados para evaluar la estabilidad de tensión con el objetivo de obtener la curva QV e PV para determinar cuáles son las barras críticas, el margen de carga de potencia activa y reactiva.

## 2 ESTIMADOR DE ESTADOS

El Estimador de Estados (SE) utilizado en la CH-ITAIPU tiene su metodología basada en el método de los mínimos cuadrados ponderados (WLS, del inglés Weighted Least Squares Algorithm) desacoplado

**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**25 y 26 de Agosto de 2016**

rápidamente, reduciendo al mínimo la suma de los cuadrados de las mediciones residuales (diferencia entre el valor medido y calculado) [8] [9] [10] [11] [12] [13].

### **2.1 Modelo Eléctrico de la CH-ITAIPU**

El estimador de estado exige un conjunto redundante de medidas, en síntesis, tanto el algoritmo del estimador de estado como el programa de flujo de carga asociado tienen que convergir.

Las remotas del sistema SCADA solamente adquieren datos de la casa de máquinas y de la SEMD, con poca redundancia en el sistema de servicios auxiliares (SSAA), y no se cuentan con mediciones en las barras de ANDE y FURNAS.

En consecuencia, el sistema SCADA recibe periódicamente datos en tiempo real del PLC (PLC, del inglés Programmable Logic Controller) de FURNAS utilizado por el esquema de corte de emergencia (ECE) de 765 kV y utiliza un link de comunicaciones vía ICCP (ICCP, del inglés Inter-Control Center Communications Protocol) con el centro regional de operación del sistema (COSR-SE) del Operador Nacional del Sistema (ONS, portugués Operador Nacional do Sistema), con informaciones de topología y mediciones asociados al tronco de 765 kV. Estos tres aspectos citados influenciaron enormemente en el modelo eléctrico de la red eléctrica a ser observado por el estimador de estado.

En general, en el sistema EMS los siguientes equipos del sistema eléctrico se modelan: Barras (normal, regulado y ficticio) representan los nodos, equipos de un solo terminal (unidades generadoras, capacitor shunt, reactores, carga) y equipos de dos terminales (transformadores y líneas de transmisión).

### **2.2 Modelo Eléctrico de la CH-ITAIPU**

La Figura 1 presenta modelo eléctrico del sistema de transmisión asociado a la CH-ITAIPU 50 Hz observado por el SE, compuesto por los siguientes componentes: Sistema eléctrico principal con barras de 500 kV, 220 kV y 66 kV, internamente el sistema termina en la primera barra de 13.8 kV o 18 kV. Externamente en el sistema de 50 Hz, fueron modeladas las barras de 500 kV de la Subestación de Furnas en 500 kV con cargas equivalentes de potencia constante en los bipolos del sistema de HVDC y Barras en Acaray, Carayao y Villa Hayes con cargas equivalentes de potencia constante.

Al modelo eléctrico de la figura 1, fue adicionado una parte del sistema de transmisión ANDE (modelo reducido ANDE) que está compuesto por dos sectores I y II para la interconexión con la CH-ITAIPU. Actualmente el sistema de transmisión ANDE no es observado por el SE de la CH-ITAIPU.

En la Figura 2, se muestra el subsistema ANDE adicionado al modelo eléctrico 50 Hz de la CH-ITAIPU. Este subsistema está compuesto por 9 líneas de 220 kV para el sector I y 5 líneas de 220 kV más el compensador estático de reactivos de la Subestación de Limpio, con capacidad de -150 MVar a 250 Mvar (SVC, del inglés Static Var Compensator).

## **3 METODO CRIC FLUJO DE POTENCIA CONTINUADO**

El método CRIC flujo de potencia continuado es utilizado para calcular el margen de carga (curva PV), margen de potencia reactiva (curva QV) y para identificación de las barras críticas [7]. Con el objetivo de reducir el tiempo computacional de cálculo, los autores propusieron trazar la parte superior (o estable) de la curva PV con la ayuda de métodos desacoplados y para reducir el tiempo a través del cálculo de un índice de parada. Los autores proponen calcular un índice de colapso de tensión como un criterio de parada para el método CRIC de bajo costo computacional [7].

Este trabajo utiliza el método continuado QV para trazar la curva QV. Los pasos utilizados para trazar la curva como así también los criterios de parada están detallados en [7].

XII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

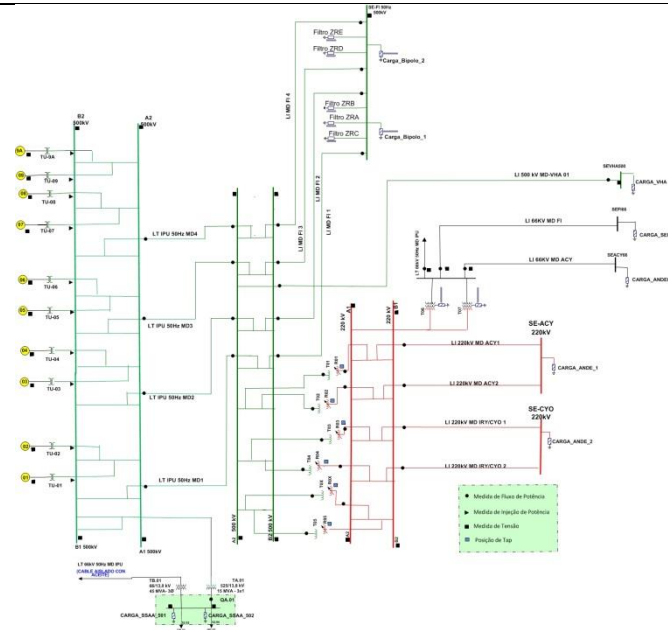


Figura 1: Modelo Eléctrico del sistema de transmisión CH-ITAPU 50 Hz observado por el SE.

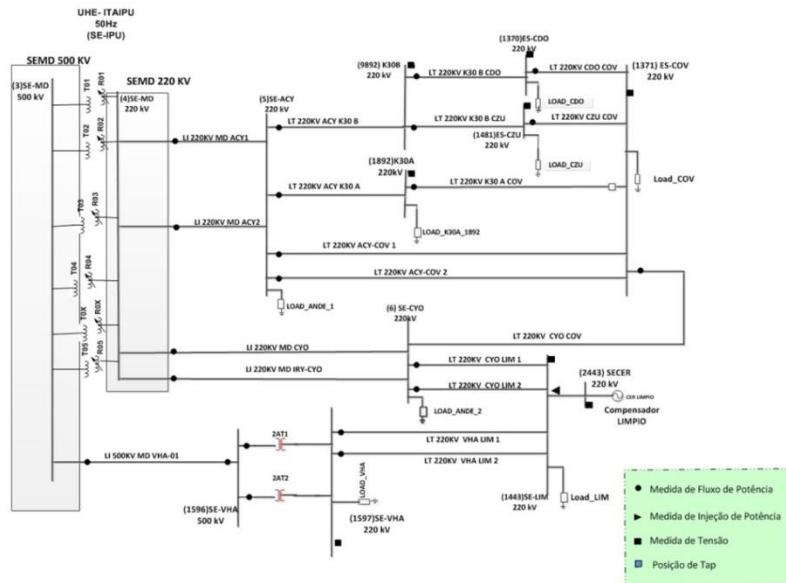


Figura 2: Modelo eléctrico del Sistema ANDE que fue adicionada al modelo CH-ITAPU 50 Hz.

#### 4 RESULTADOS

Los resultados del SE utilizados como dato de entrada para el análisis de estabilidad de tensión, fueron obtenidos utilizando el simulador de entrenamiento del sistema SCADA/EMS de la CH-ITAPU (DTS, del inglés Dispatcher Training Simulator) [14]. El DTS combina una duplicación del software del sistema SCADA/EMS de tiempo real con un modelo matemático exacto de la red eléctrica produciendo una simulación de alta fidelidad del funcionamiento dinámico del sistema eléctrico de potencia. Proporciona un ambiente de entrenamiento para los operadores y despachantes para la toma de decisiones de forma rápida sobre diversas condiciones operativas.

**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016**

**4.1 Análisis de los Resultados**

Fue seleccionado un caso base inicial con 10 unidades generadoras sincronizadas en 50 Hz, intercambio ITAIPU/ANDE típico de 1775 MW distribuido a través de 4 líneas de 220 kV y una línea de 500 kV.

La Tabla I presenta el margen de carga de potencia activa de la curva PV y las Tablas III y IV muestran el margen de potencia reactiva RPM por barra y la clasificación de las barras críticas del sistema ANDE para el caso base inicial. Cabe resaltar que la barra 2443 es una barra del tipo PV conectado a un SVC.

La clasificación mostrada en la Tabla III refleja que la barra con el menor RPM es la barra 2443, seguida por las barras 1481, 1370, 1371. La barra conectada a un SVC es la barra crítica, conforme la curva QV. La tabla IV muestra la clasificación de las barras críticas por el método de vector tangente anticipando las barras críticas del sistema [15][16][17].

La Tabla IV muestra que la barra crítica es la barra 1371 conforme la clasificación de barras críticas por el método del vector tangente (VT).

Las Tablas II, V y VI presentan los resultados de Margen de Carga, RPM y clasificación de las barras críticas por el método de VT de las barras del sistema ANDE utilizando un caso base con un intercambio ITAIPU/ANDE igual a 2535 MW, que es el resultado de elevar la carga del sistema ANDE muy próximo al margen de carga calculado para el caso base inicial (Tabla I). El margen de carga y el RPM disminuyen a medida que el sistema se aproxima al punto de colapso de tensión, como puede ser observado en las tablas II e V, el sistema se encuentra con un nivel de carga mayor.

**Tabla I: Margen de Carga Caso Base inicial**

Sistema	Margen de Carga (pu)
Caso Base Inicial	1.5435

**Tabla II: Margen de Carga Caso Final**

Sistema	Margen de Carga (pu)
Caso Final	1.2184

La Tabla VI presenta la clasificación de barras críticas del sistema para el caso final no sufriendo ninguna alteración. Con estos resultados podemos concluir que existen dos sectores de inestabilidad en el sistema ANDE. El sector I compuesto por las barras 1371, 1370 y 1481 y el sector II compuesto por las barras 6, 1443 y 1597. Estas barras críticas contribuyen definitivamente para llevar el sistema eléctrico al colapso de tensión.

**Tabla III: Margen de Potencia Reactiva, caso base inicial**

	Table QV Margin	
	Barra	Margen[MVAR]
Sistema	5	-1958,97
	1892	-997,49
	9892	-982,13
	1596	-794,17
	1597	-759,59
	1443	-744,54
	6	-668,35
	1371	-646,37
	1370	-465,99
	1481	-457,89
2443	-433,63	

**Tabla IV: Clasificación de Barras por el método VT**

Barra	Barras Críticas
	RANK
1371	1
6	2
1443	3
1481	4

**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016**

La tabla VII presenta los resultados del cálculo de margen de carga utilizando como dato de entrada una solución válida del SE de la CH-ITAIPU versus la utilización de un resultado de flujo de carga del programa ANAREDE para el caso base inicial.

**Tabla VII: Margen de Carga, Caso Base inicial**

<i>Sistema</i>	<i>Margen de Carga (pu)</i>	
	SE	ANAREDE
Caso Base Inicial	1.5435	1.535

**Tabla V: Margen de Potencia Reactiva, Caso Final**

	<b>Table QV Margin</b>	
	<i>Barra</i>	<i>Margen[MVAR]</i>
<b>Sistema</b>	5	-651.6
	1892	-525.3
	9892	-450.76
	1596	-393.27
	1597	-374.71
	1443	-366.1
	6	-299.69
	1370	-267.9
	1371	-267.17
	1481	-240.09
	2443	-128.18

**Tabla VI: Clasificación de Barras por el método VT, Caso Final**

<b>Barra</b>	<b>Barras Criticas</b>
	<i>RANK</i>
1371	1
6	2
1443	3
1481	4
1597	5

#### 4.2 *Análisis de los Resultados de las Simulaciones Sistema ANDE completo – Sistema ANDE reducido*

A seguir serán presentados los resultados obtenidos de la comparación de las pruebas realizados en el sistema ANDE SS1 con los resultados del sistema reducido ANDE de la figura 3. Para tal efecto fueron utilizados dos casos bases, un caso base del SS1 ANDE utilizado actualmente para operar el sistema ANDE (Tabla VIII) y otro caso base SS1 ANDE de planificación (Tabla IX) [17].

**Tabla VIII: Datos de entrada caso base Operativo**

	<i>MW</i>	<i>MVAr</i>
10 UG sincronizadas en 50 Hz	6488.6	2138.4
Intercambio ITAIPU/ANDE	1757	80
Intercambio ITAIPU/FURNAS	4696	2486

**Tabla IX: Datos de entrada caso base Planificación**

	<i>MW</i>	<i>MVAr</i>
10 UG sincronizadas en 50 Hz	6294.4	981.6
Intercambio ITAIPU/ANDE	2339	-231.8
Intercambio ITAIPU/FURNAS	3925	1656

Las tablas X y XI corresponden a la clasificación de barras según RPM, mientras que las tablas XII y XIII corresponden a la clasificación según el método VT para las dos representaciones del sistema ANDE (completo SS1 ANDE y el reducido ANDE). En las tablas X y XI, las barras CYO, CZU y CDO salieron para ambos modelos utilizados para el análisis como barras con menor RPM. Para el caso del método VT los resultados no coincidieron, pero al realizar un análisis en la región donde están localizadas las barras CCO, LPA, VM1, VM2, HOR las mismas están próximas a la barra de CYO.

**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
25 y 26 de Agosto de 2016

En las tablas XIV a XVII se presentan los resultados para el caso de base de planificación de la Tabla IX. Las tablas XIV y XV muestran los resultados para el caso base de planificación según la RPM, mientras que en las tablas XVI y XVII corresponden a los resultados por el método VT utilizando las dos representaciones del sistema ANDE (completo SS1 y reducido ANDE).

Se puede observar en las tablas XIV y XV los resultados del RPM, las barras RED, SAN, LAM, GUA, SLO, su equivalente está en la barra de COV, sin embargo la barra HOR está próxima a CYO. Mientras que, las barras PSA, PBO se encuentran próximas a la barra de VHA. Las barras CYO, LIM, COV, VHA están entre las barras críticas del sistema para ambos modelos utilizados. Para el caso de los resultados por el método VT, las barras LPA, VM1, VM2, HOR su equivalente esta en la barra de CYO.

**Tabla X: Clasificación de barras críticas por el método Continuo QV- Modelo SS1 ANDE .**

Caso Base	Operativo	
	Ranking	Numero de Barra
1	1622	KPSA AB 220
2	1975	KCLO B1 220
3	1968	KADM TA 220
4	1575	KSAN TA 220
5	1514	KYNE TA 220
6	1497	KCAP TA 220
7	1374	KSLO B1 220
8	1501	KPIR B1 220
9	1442	KIRY B1 220
10	1370	KCDO TA 220
11	1481	KCZU TA 220
12	1375	KLAM B1 220
13	1522	KCYO A 220
14	1444	KPBO B1 220
15	1537	KLPA B1 220
16	1943	KCMY B1 220
17	1443	1443 KLIM B1 220
18	1818	KSJN A 220
19	1809	KCCO B1 220
20	1436	KVM1 B1 220

**Tabla XI: Clasificación de barras críticas por el método Continuo QV- Modelo Reducido ANDE .**

Caso Base	Operativo	
	Ranking	Numero de Barra
1	2443	LIM B1 220
2	1481	CZU TA 220
3	1370	CDO TA 220
4	1481	COV B1 220
5	6	DCYO 220
6	1443	LIM B1 220
7	1597	VHA220 220
8	1596	VHA500.500
9	9892	K30 B 220
10	1892	K30 A 220
11	5	DACY 220

**Tabla XII: Clasificación de barras por el método VT- Modelo SS1 ANDE .**

Caso Base	Operativo	
	Ranking	Numero de Barra
1	1537	KLPA B1 220
2	1809	KCCO B1 220
3	1436	KVM1 B1 220
4	1536	KVM2 B1 220
5	1373	KHOR B1 220

**Tabla XIII: Clasificación de barras por el método VT- Modelo Reducido ANDE**

Caso Base	Operativo	
	Ranking	Numero de Barra
1	1371	COV B1 220
2	6	DCYO 220
3	1443	LIM B1 220
4	1481	CZU TA 220
5	1597	VHA220 220

**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016**

**Tabla XVI: Clasificación de barras críticas por el método VT- Modelo SS1 ANDE .**

Caso Base	Planificación	
	Ranking	Numero de Barra
1	479	KLPA B1 220
2	598	VM2 F1 220
3	469	KVM1 B1 220
4	1469	KVM2 B1 220
5	468	KHOR B1 220

**Tabla XVII: Clasificación de barras críticas por el método VT- Modelo Reducido ANDE**

Caso Base	Planificación	
	Ranking	Numero de Barra
1	1443	LIM B1 220
2	1597	VHA220 220
3	6	DCYO 220
4	1596	VHA500 500
5	1371	COV B1 220
6	1481	CZU TA 220

**Tabla XIV: Clasificación de barras críticas por el método Continuo QV- Modelo SS1 ANDE .**

Caso Base	Planificación	
	Ranking	Numero de Barra
1	4468	KHOR cop 220
2	430	KRED TA 220 KSAN TA 220
3	410	KLAM B1 220
4	405	KGUA B1 220
5	404	KCYO A 220
6	6	KCYO A 220
7	6	KPSA B2 220
8	4413	KPBO B1 220
9	408	KLPA B1 220
10	479	KCOV B1 220
11	1371	KPBU F1 220
12	1451	KLIM B1 220
13	1443	VM2 F1 220
14	598	KVM1 B1 220
15	409	KVM2 B1 220
16	1469	KPMA B1 220
17	730	KLAMFI 220
18	1400	KSLO B1 220
19	403	KVIC TA 220
20	2418	

**Tabla XV: Clasificación de barras críticas por el método Continuo QV- Modelo Reducido ANDE .**

Caso Base	Planificación	
	Ranking	Numero de Barra
1	2443	LIM B1 11.8
2	1481	CZU TA 220
3	1370	CDO TA 220
4	1597	VHA220 220
5	1443	LIM B1 220
6	1596	VHA500 500
7	6	DCYO 220
8	1371	COV B1 220
9	1892	K30 A 220

## 5 CONCLUSIONES

Este trabajo propuso la utilización de una solución válida del Estimador de Estado como dato de entrada para hacer el análisis de estabilidad de tensión para la interconexión ITAIPU/ANDE. El método utilizado para el análisis de estabilidad de tensión fue el CRIC. Los resultados obtenidos





XII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
25 y 26 de Agosto de 2016

fueron el margen de carga, margen de potencia reactiva y las barras críticas del sistema ANDE. Fueron realizadas comparaciones entre el sistema ANDE SS1 y el sistema reducido ANDE, utilizando dos casos de análisis, uno que corresponde a la operación actual del sistema ANDE y el otro a un caso de planificación. Los resultados de la RPM coincidieron para ambos modelos.

Con estos resultados, este trabajo podrá auxiliar la operación en tiempo real en las acciones de control que deberán ser tomadas en cuenta para mantener la operación de la interconexión ITAIPU/ANDE dentro de los límites de seguridad.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] B.Zhang, H.Sun, and W.Wu. "A new generation of EMS implemented in chinese electric power control centers," in Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century. 2008.
- [2] F.WU, K.Moslehi, and A.Bose, "Power system control centers: Past, present and future," Proceedings of IEEE, Vol-93, p. 1890-1908, 2005.
- [3] A. Monticelli, A. *State Estimation in Electric Power Systems: A Generalized Approach*. Kluwer Academic Publisher, 1999.
- [4] A. Abur, and A. Exposito A. *Power System State Estimation Theory and Implementation*. CRC Press-Taylor and Francis Group, 2004.
- [5] T.E. Dy Liacco, "Real time computer control of power systems," Proceedings of IEEE, Vol-62, n° 7, p. 884-891, 1974.
- [6] A.C. Zambroni, J.C. Souza, and A.D. Silva, "On-line voltage stability monitoring," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 15, no. 4, 2000, pp. 1300-1305.
- [7] F. Mohn and A.C. Zambroni. Silva, "Tracing PV and QV curves with the help of Cric Continuation method," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 21, no. 3, 2006, pp. 885-895.
- [8] J.J.Allemong, L.Radu, and A.M.Sasson, "A fast and reliable state estimation algorithm for AEP's new control center," IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, vol. 101, no. 4, 1982, pp. 933-944.
- [9] A.Monticelli and A.Garcia, "Fast decoupled state estimators," in Conf. Power Industry Computer Application, Seattle,1989, pp. 34-40.
- [10] F.C, Schweppe. and J., Wildes, "Power systems static state estimation, part i: Exact model," IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, vol. 89, no. 4, 1970, pp. 120-125.
- [11] A.Monticelli and F.Wu, "A method that combines internal state estimation and external network modeling," IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, vol. 104, no. 1, 1985, pp. 91-103.
- [12] A.Garcia, A.Monticelli, and P.Abreu, "Fast decoupled state estimation and bad data processing," IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, vol. 98, no. 5, 1979, pp. 1645-1652.
- [13] ABBINC, "State Estimation (SE) Subsystem Design Document," 2010.
- [14] ABBINC, DTS Power System Simulator (SPSS) Subsystem Design Document. 2010.
- [15] F. Mohn, *Uso de Modelos Desacoplados em Estudos de Estabilidade de Tensão*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá – Minas Gerais, 2005.
- [16] A. Zambroni, *New Techniques to Efficiently Determine Proximity to Static Voltage Collapse*. Dissertação (Mestrado). Dissertação (Mestrado). University of Waterloo–Ontario– Canada, 1995.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

**XII SEMINARIO DEL SECTOR ELÉCTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**25 y 26 de Agosto de 2016**

- 
- [17] O. Barboza, Curva QV e Vetor Tangente na Análise da Estabilidade de Longo-Termo como Ferramentas de Planejamento. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Itajubá – Minas Gerais, 2015.