

**CÁLCULO “ON LINE” DE LÍMITES DE ESTABILIDAD ESTÁTICA  
DE GRANDES REDES ELÉCTRICAS MEDIANTE EL PROGRAMA QUICKSTAB.**

**R. D. Molina Mylius\***

**M. Cassano\***

**S. C. Savulescu\*\***

**\* Compañía Administradora del Mercado Eléctrico Mayorista CAMMESA - Argentina**

**\*\* Energy Consulting International, Inc. – EE UU**

***Resumen** - En el presente trabajo se describen los principales resultados de los estudios realizados en CAMMESA, a efectos de comprender la utilidad y potencialidad del programa QuickStab para el análisis y cálculo “online” del límite de estabilidad estática del Sistema Argentino de Interconexión (SADI). El análisis comprendió el uso de diversas técnicas de estudios eléctricos sobre un Sistema eléctrico de Potencia (SEP) de dimensiones reducidas y el desarrollo de una propuesta para mejorar el modelo utilizado para las máquinas sincrónicas.*

***Palabras claves:** Estabilidad estacionaria – reducción de redes - Flujos de potencia – Límites de transporte – Modelo de generadores – Límites de sobreexcitación – Diagramas de capacidad PQ de generadores – Sistemas de Operación en Tiempo Real (SOTR)*

## **1 INTRODUCCION**

La determinación del límite de estabilidad transitoria (TSL), mediante el uso de simuladores de transitorios electromecánicos se realiza mediante detallados análisis, que resultan muy adecuados para estudios fuera de línea, pero no aplicables aún en tiempo real. Una estimación indirecta “online” del TSL puede ser obtenida a partir del conocimiento “online” del límite de estabilidad de régimen permanente (SSSL).

## **2. LIMITE AL TRANSPORTE EN ALTA TENSION (TTC):**

De acuerdo a la definición dada en 1966 por el NERC – Consejo Nacional de Confiabilidad de Sistemas Eléctricos de Potencia de los Estados Unidos - El valor de TTC está dado por el menor valor de:

$$\text{TTC} = \text{Min} \{ \text{Límite térmico, Tensiones mínimas, Límite de estabilidad} \}$$

Si el TTC está determinado por límites térmicos y/o bajos niveles de tensión, su cálculo “online” puede ser realizado con los programas de aplicación convencionales del SOTR. En cambio la identificación y cómputo de los límites de estabilidad en tiempo real es un objetivo muy difícil de cumplir.

La estabilidad del SEP puede verse comprometida en régimen permanente (ante pequeñas perturbaciones) pero también, lo que es mucho más común, ante grandes perturbaciones en la red.

### 3. ESTABILIDAD TRANSITORIA DE UN SEP

Se dice que un SEP es transitoriamente estable si, ante una gran perturbación se mantiene la:

- Estabilidad angular de las máquinas sincrónicas
- Estabilidad en frecuencia
- Estabilidad en tensiones de todos los nodos del SEP

### 4. LÍMITE DE ESTABILIDAD TRANSITORIA (TSL)

Los métodos de estudios de límites asociados a la estabilidad transitoria siguen aproximadamente el siguiente proceso:

- Se parte de un escenario base (flujo pre-falla)
- Se define/n la/s contingencia/s más desfavorable/s (fallas testigo)
- Se visualizan las excursiones de las variables o equipos más comprometidos para la estabilidad transitoria del SEP (ángulos rotóricos de generadores, frecuencia, tensiones en nodos claves, etc...)
- Se resuelven nuevos flujos de potencia para estados del SEP crecientemente más críticos (mayor demanda, red debilitada, etc...)
- Se repite la secuencia de estudios hasta que se obtiene un caso inestable.

El límite de estabilidad transitoria, por su dependencia con la perturbación supuesta, debido a los algoritmos computacionales y la estrategia empleada para su cálculo no resulta cuantificable mediante una fórmula específica. La complejidad técnica y el gran número de contingencias probables que deben ser analizadas para determinar el TSL convierten este problema en insoluble para su estudio en tiempo real y especialmente cuando deben ser “monitoreados” numerosos enlaces de interconexión simultáneamente.

En condiciones climáticas favorables, y déficit de oferta de generación en las áreas consumidoras, el TSL puede ser “sobrepasado” por espacios breves de tiempo. En estos casos la pregunta inmediata es ¿en cuanto puede ser sobrepasado el TSL sin exponer al SEP a un colapso ante maniobras o pequeñas perturbaciones?

### 5. ESTABILIDAD DE ESTADO ESTACIONARIO DEL SEP

La estabilidad de estado estacionario del Sistema Interconectado Eléctrico de Alta Tensión, es la condición de funcionamiento definida por:

- Ausencia de oscilaciones electromecánicas crecientes o sostenidas
- Constancia del valor medio de la frecuencia
- Constancia de las tensiones en los nodos
- Ausencia de sobrecargas excesivas en equipos de la red (ramas, generadores, etc...). Las sobrecargas no toleradas por tiempo indefinido constituyen un indicador de inestabilidad estacionaria del SEP ya que pueden conducir a la salida no programada y/o en cascada de equipos.

### 6 ESTABILIDAD ESTÁTICA vs TIPO DE DEMANDA

El patrón de inestabilidad estática dependerá de la característica del área importadora y de la robustez del sistema de transporte. El colapso de la tensión ante el aumento gradual de la demanda, la pérdida de sincronismo de unidades generadoras en ausencia de grandes perturbaciones, y la amplificación de oscilaciones electromecánicas, son todas formas de inestabilidad de estado estacionario de un SEP. La manifestación de una de estas formas por sobre la otra dependerá principalmente de la conformación de la demanda del área importadora.

En un escenario próximo al SSSL, cualquier incremento de demanda ocasionará:

- a) La pérdida de sincronismo entre la Generación y la “*demanda sincrónica*”: En este caso el límite teórico de transporte de potencia -SSSL- se asociará a la estabilidad angular de la interconexión
- b) El embalamiento o frenado de las “*demandas asincrónicas*”

- c) El colapso de tensiones del área receptora, para el caso que el NODO receptor alimente a una “*demanda estática*” (con escasa reserva de potencia reactiva en el nodo receptor).

### 7. LÍMITE DE ESTABILIDAD ESTÁTICO DE UN CORREDOR DE ALTA TENSION

Mediante el empleo de técnicas de reducción de redes<sup>1</sup> es factible concentrar toda la demanda del SEP en un “centro de carga equivalente” (Fig.1). Para un determinado escenario, el SSSL del SEP queda determinado por el nivel de demanda máximo (MW) que es factible abastecer.

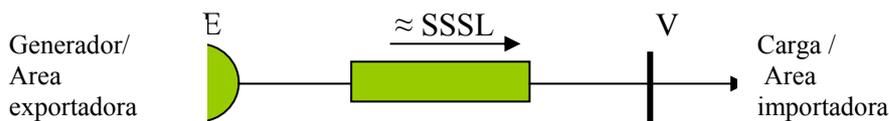


Fig.1

El SSSL de un SEP constituye un valor teórico que, para sistemas como el SADI, no resulta un parámetro de aplicación práctica. Para la operación segura del SEP resulta de mayor utilidad el conocimiento del *límite de estabilidad estática de un corredor de alta tensión*.

### 8. RELACION ENTRE EL SSSL y el TSL (fig.2)

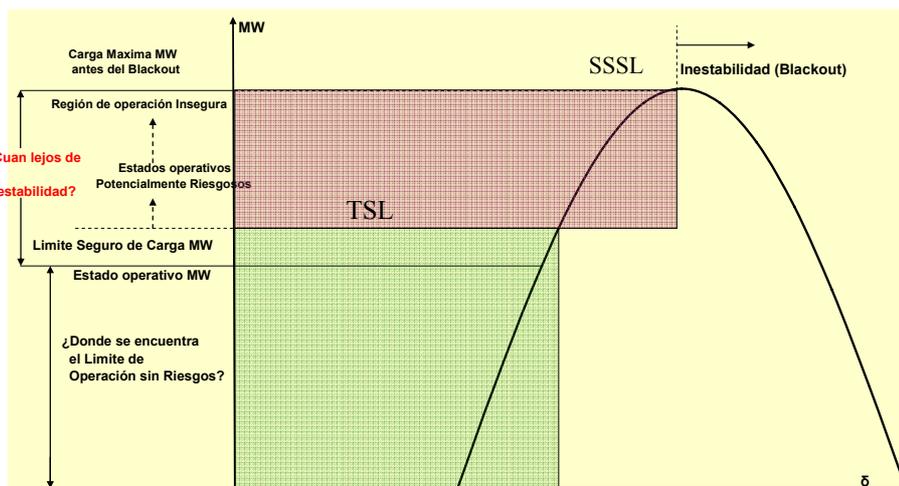


Fig. 2

Para un conjunto dado de recursos estabilizantes (DAG, resistores de frenado, PSS, etc...) el TSL dependerá, al igual que el SSSL, de la topología, los niveles de tensión y el nivel de demanda. Para cualquier escenario operativo del SEP el SSSL y el TSL están relacionados y se modifican “coherentemente”, es decir si el SSSL es elevado, el TSL también lo será y viceversa. Se desconoce la fórmula matemática que relaciona TSL y SSSL, y tampoco se sabe si esta relación puede ser desarrollada analíticamente.

El SSSL constituye el límite teórico de transmisión de cada corredor; la diferencia entre el SSSL y el TSL constituye el Margen de estabilidad estática del corredor.

### 9. MOTIVOS PARA LA DETERMINACION “ON LINE” DEL SSSL

El Límite de Estabilidad Transitoria (TSL) de cada corredor de alta tensión es calculado regularmente mediante estudios “fuera de línea” para los escenarios más frecuentes; en cambio, el Límite de Estabilidad de régimen permanente (SSSL), es un parámetro desconocido para los operadores del

<sup>1</sup> Red REI, eliminación Gaussiana de Nodos, etc...

Sistema. Si hasta el presente el SSSL ha sido una incógnita, no parece necesario su cálculo. Cabe entonces preguntarse: ¿para qué sirve conocer el SSSL? y, ¿cual es la motivación para su cálculo?

### **9.1 ESCENARIOS IMPREVISTOS**

Los operadores solamente conocen el TSL de los escenarios más probables (típicamente red N y algunas condiciones de red N-1). Para escenarios imprevistos surgen los interrogantes siguientes:

- ¿Se opera respetando el TSL del corredor?
- ¿Se justifica forzar generación de elevado costo en el área receptora?
- ¿Es necesario cortar demanda en el área receptora para restablecer márgenes de seguridad?
- ¿Que riesgo se asume cuando se opera momentáneamente en escenarios no estudiados?
- ¿Con que margen de estabilidad se opera?

El SSSL depende solamente del escenario (configuración de la red, perfiles de tensión, despacho de generación y nivel de demanda). Su cálculo aproximado es muy rápido, no requiere de Ingenieros especialistas, y con programas específicos puede monitorearse “online”.

Para aquellos escenarios donde se conoce el TSL, si se calcula el SSSL, podrá determinarse el Margen típico de operación de cada corredor en cada banda horaria. Una herramienta de cálculo “online” del SSSL podría ayudar a mejorar la seguridad operativa del SEP.

### **9.2 ESCENARIOS CON ESCASA OFERTA DE GENERACION**

Los corredores de alta tensión pueden transportar una potencia superior al TSL. En condiciones climáticas favorables este riesgo puede ser asumido. Debido a que el SEP está sometido permanentemente a pequeñas perturbaciones, el valor de potencia transmitida no debe aproximarse al SSSL. El SSSL es un límite máximo que nunca podrá ser superado en la operación.

Para escenarios imprevistos o escenarios con generación escasa, si se calcula “online” el SSSL y se adopta el Margen de estabilidad típico será posible estimar indirectamente “online” el TSL. Este concepto es fundamental como motivación para el cálculo “online” del SSSL.

## **10 LIMITACIONES CURVAS PV “ON LINE”**

Los SOTR modernos incluyen programas de cálculo “online” para determinar la máxima carga de régimen permanente de un corredor a partir de las curvas *potencia vs tensión*, también conocidas como curvas PV.

Esta herramienta de cálculo se basa en un Modelo convencional de flujos de potencia. Una importante limitación de esta técnica de cálculo para la determinación del límite de estabilidad estática es la representación de los generadores y su control automático de la excitación, los cuales deben ser tenidos en cuenta a efectos del estudio de la estabilidad estática en tensiones (Barbier and Barret, 1980; Ionescu and Ungureanu, 1981; Sauer and Pai, 1990; Kundur and Morison, 1993).

Si se incluyen las reactancias de los generadores en el modelo del SEP, los cálculos numéricos del Flujo divergirán debido a que las fuerzas electromotrices internas de los generadores tendrían valores mucho mayor que 1.0 p.u.. Si las máquinas fueran representadas con detalle, sería necesario emplear algoritmos mucho más complejos (EPRI, 1992; Morison, 2004) y esto aumentaría significativamente el esfuerzo computacional.

Las curvas PV se aplican para estimar el límite de estabilidad estático en tensiones pero nada dicen del límite de estabilidad estático angular

## **11. CALCULO DEL SSSL DE UN SEP DE 6 NODOS**

En el nodo DOS del SEP de Fig.3 se conecta el equivalente de 12 generadores (12 x 250 MW,  $Q_{\max} = 3000$  MVar,  $Q_{\min} = -1500$  MVar).

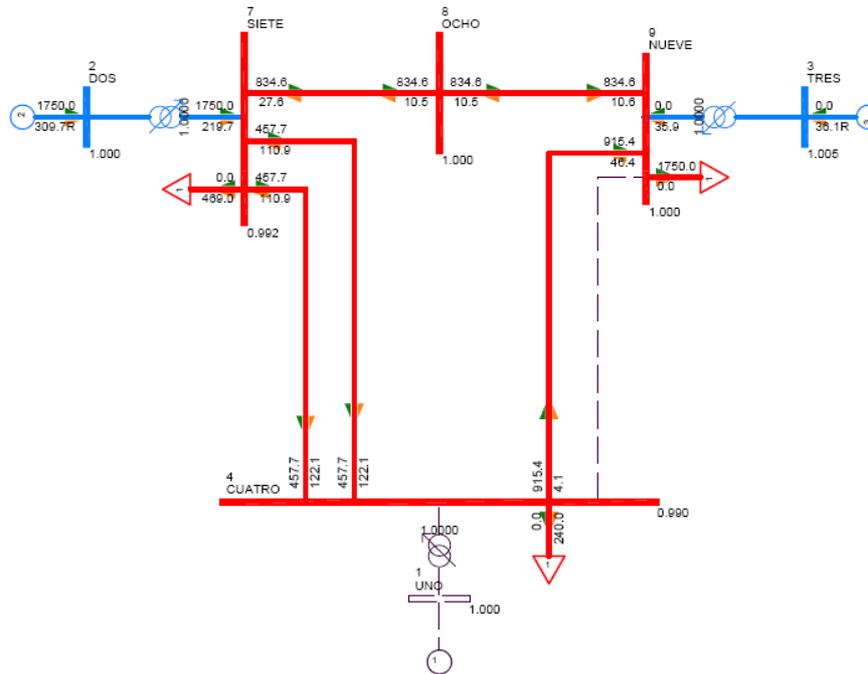


Fig. 3: Flujo de Potencia del SEP de 6 nodos – Demanda base 1750 MW

En el nodo TRES se conecta el equivalente de dos compensadores síncronos (2 x 250 MVA,  $Q_{\text{máx}} = 500$  MVA y  $Q_{\text{mín}} = -500$  MVA). Mediante sendos transformadores estos nodos se conectan a la red de 500 kV (color rojo). Toda la demanda se concentra en el nodo NUEVE. En los nodos SIETE y CUATRO se conectan reactores shunt de 469 y 240 MVA respectivamente

### 11.1 Cálculo preciso del SSSL

**Modelo de red extendida de 8 nodos:** Los programas de Estabilidad Transitoria requieren como punto de partida, el estado pre-falla de las variables internas de los generadores. Como primer paso “extienden” la red hasta los “nodos internos” de los generadores. Este mismo concepto debe aplicarse para una estimación precisa del SSSL. Se adopta el siguiente modelo de generadores y compensadores síncronos:

- Modelo clásico (Fuente de tensión detrás de la reactancia transitoria)
- con AVR ( f.e.m. variable para mantener cte  $V_t$  cuando aumenta la demanda)

Los estudios de Flujos de Potencia sobre un modelo de red extendida dieron como resultado que es factible abastecer una demanda máxima de **2130 MW**.

Para verificar si este valor correspondía al SSSL se emplearon dos programas diferentes de estabilidad los cuales representan a las máquinas síncronas con un modelo de 5to orden (GENSAL) y el modelo dinámico del sistema de control de la excitación (AVR y estabilizador del sistema de potencia):

- Simulación de pequeñas perturbaciones (PSS/E): Se utilizó el Simulador digital de Transitorios Electromecánicos PSS/E de Siemens para simular una pequeña perturbación en la carga.
- Análisis Modal (SMAS3): Partiendo de un flujo resuelto con una demanda de 2130 MW se realizó el cálculo de los autovalores de la Matriz de estado del SEP. Para este estudio se utilizó el programa de Estabilidad de Pequeña Señal de la Universidad Pontificia de Comillas - SMAS3.

Ambos estudios probaron que el SEP de 6 nodos admite pequeñas perturbaciones con un adecuado amortiguamiento de las oscilaciones para una demanda límite de 2133 MW.

### 11.2 Cálculo aproximado del SSSL

Para la estimación del SSSL de cada escenario se emplearon tres métodos diferentes basados en:

1. Estudio de Flujos de Potencia sobre un Modelo típico de la red (6 nodos) – Curva PV
2. Cálculos manuales sobre red “*radial equivalente*” REI [1]
3. Programa QuickStab.

Todos los cálculos del SSSL partieron de los resultados de un estudio base (escenario estable) de Flujos de potencia. Cabe destacar que el método 2) solamente es aplicable a redes muy pequeñas..

- **Flujos de potencia sobre un modelo típico de 6 nodos:** No se consideran las reactancias “internas” de las máquinas sincrónicas. Para la estimación del SSSL, a partir del caso base (1750 MW) se aumenta gradualmente la demanda del nodo NUEVE hasta que el flujo no converge o se alcanza el límite de capacidad de los compensadores sincrónicos. Este estudio dió como resultado una demanda máxima de **2180 MW**. Para este nivel de demanda los compensadores sincrónicos alcanzan su máxima capacidad. → Resultado optimista
- **Cálculos manuales sobre red REI:** Se calculó el SSSL de la red de 6 nodos, a partir de leyes electrotécnicas básicas. Este estudio [1] permitió comprender y verificar la validez de las aproximaciones aplicadas por QuickStab tanto en la construcción de la red REI equivalente como en el método de aproximación y búsqueda de SSSL
- **QUICKSTAB:** Este programa presenta los resultados de una manera gráfica (Fig.5) que se asemeja a dos “velocímetros”. Las zonas celestes o verdes corresponden a condiciones de funcionamiento del SEP estacionariamente estables y con adecuado margen de estabilidad. Las zonas amarillas corresponden a una condición de funcionamiento del SEP con escaso margen de estabilidad (< 15%). La aguja de color negro ubica al escenario base del estudio. Partiendo del escenario base con una demanda de 1750 MW y representando los generadores a través de sus reactancias transitorias  $x'_d$ , el SSSL obtenido por QuickStab resultó, aproximadamente **1850 MW** →. Se comprobó que el programa QuickStab conducía a resultados muy conservativos del SSSL cuando los generadores eran representados con las reactancias transitorias
- Para llegar a este resultado el programa QuickStab supuso que las tensiones internas de las máquinas sincrónicas se mantienen constantes (corriente de campo constante) a medida que la carga del SEP aumenta, es decir sin AVR (regulador automático de tensión).

## 12. EFECTO DEL MODELO DEL GENERADOR y AVR EN EL CÁLCULO DEL SSSL

Cuando las líneas de alta tensión transportan más potencia activa, demandan más potencia reactiva que debe ser aportada por los nodos “activos” de la red (generadores, compensadores sincrónicos, SVC, STATCOM, etc...). Durante el procedimiento de cálculo del SSSL a partir de un caso base estable, se aumenta progresivamente la carga, en un proceso gradual de deterioro de la estabilidad, mediante pequeños aumentos de carga. Si, durante todo el proceso de búsqueda del SSSL, se consideran constantes las tensiones internas de los generadores, el resultado del SSSL será muy conservativo.

**12.1 Modelo del generador:** Cuando los generadores disponen de margen de potencia reactiva y operan en modo control de tensión, la tensión en bornes se mantiene igual a la del escenario base. Ante cada pequeño incremento de demanda, el generador experimenta oscilaciones electromecánicas, de una frecuencia típica entre 0.3 y 2.5 Hz, hasta alcanzar un nuevo estado estacionario estable con mayor potencia generada. Durante este período el generador presenta una reactancia interna menor a la de régimen permanente, la reactancia transitoria  $x'_d$ . Debido a que el SEP está sometido permanentemente a pequeñas perturbaciones, en los estudios de estabilidad de régimen estacionario se emplea el *modelo clásico* del generador.

### 12.2 Respuesta del Sistema de Control de la excitación (AVR y OEL):

A medida que crece la demanda aumenta la tensión interna a efectos de compensar la mayor caída de tensión en la reactancia transitoria. Cuando la carga aumenta, el AVR solicita una mayor corriente de campo (la f.e.m es directamente proporcional a la corriente de campo  $I_{fd}$ ). Esto es lo que ocurre durante el proceso de cálculo del SSSL, como se muestra en la figura 4.

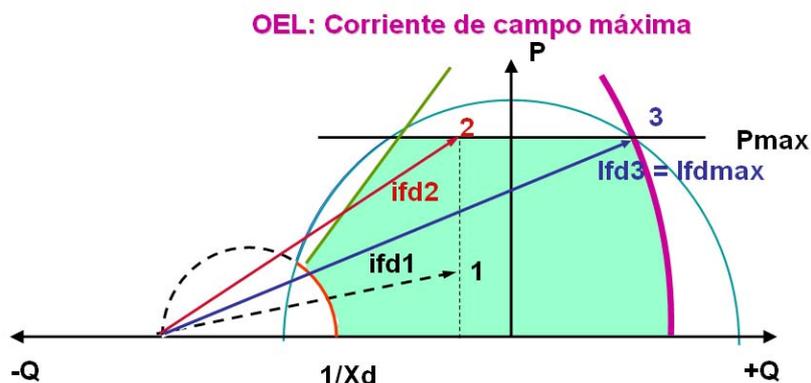


Figura 4

Frente a una mayor demanda de potencia reactiva, el AVR aumentará  $I_{fd}$  para mantener constante la tensión terminal. El AVR podrá sostener la tensión terminal hasta alcanzar el valor de  $Q_{max}$  permitido por el OEL, correspondiente con  $I_{fd3} = I_{fdmax}$ . La f.e.m permanecerá constante solo en aquellos generadores que no dispongan de AVR, ó a partir del instante en que el limitador de sobreexcitación (OEL) “abre” el lazo de control automático de tensión. Cuando los generadores alcanzan  $Q_{max}$  el OEL (limitador de sobreexcitación), mantienen la máxima potencia reactiva y la tensión en bornes descenderá si la demanda continúa aumentando

Los generadores normalmente se operan con el AVR en *modo control de tensión* y con suficiente margen de potencia reactiva para enfrentar contingencias o picos de demanda. Por este motivo en los escenarios base de estudio del SSSL, las tensiones internas de los generadores normalmente tienen un valor inferior al máximo permitido por el OEL.

### 13. PRECISION DEL CÁLCULO DEL SSSL DEL SEP DE 6 NODOS CON QUICKSTAB

Se evaluó el impacto del modelo de los generadores y su sistema de control de la excitación sobre la precisión de los resultados del programa QuickStab, obteniéndose la siguiente conclusión:

*Si se asume que la tensión interna (f.e.m) de los generadores es constante e igual a la calculada para el caso base, conduce a resultados pesimistas del SSSL, tanto más pesimistas cuanto más lejos del SSSL se encuentre el caso base.*

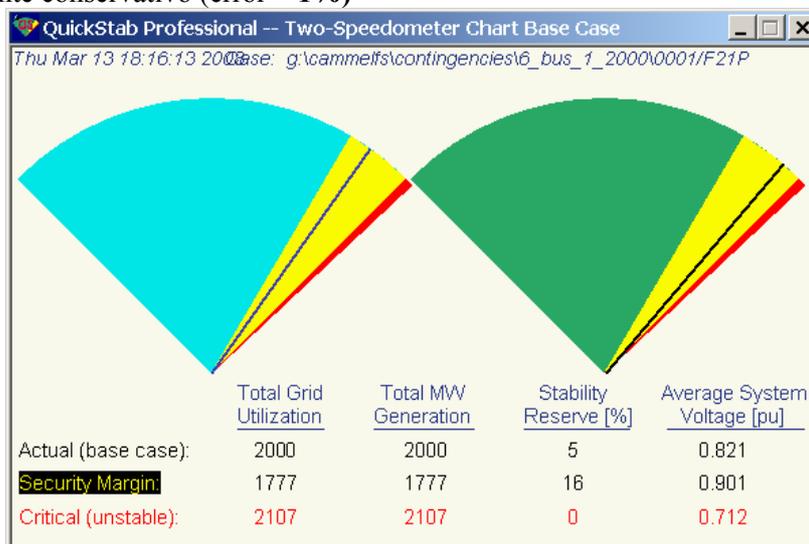
En vista de los resultados del estudio se propuso modificar el modelo de los generadores y compensadores sincrónicos. Se concluyó que, para mejorar la precisión del programa QuickStab, era necesario adaptar en cada paso de cálculo el modelo de los generadores a efectos de actualizar la tensión interna de cada generador a medida que aumenta su carga en el proceso de búsqueda del SSSL. Para poder realizar esto se requería un cambio importante en la programación del software principal de QuickStab y esto no era posible. A cambio se propuso realizar algunas correcciones paramétricas sobre el modelo de los generadores

Adaptación del Modelo de los generadores – corrección de parámetros: En el programa QuickStab, todos los nodos de generación son retenidos en la red REI y el algoritmo de cálculo monitorea la potencia reactiva de cada máquina. Esto permite detectar aquellas unidades que alcanzan  $Q_{max}$  durante el proceso de búsqueda del SSSL. Este dato resulta clave para mejorar la precisión del cálculo del SSSL, ya que es factible representar a los generadores con diferentes parámetros cuando operan bajo la acción del AVR o cuando operan a potencia reactiva constante.

Criterio adoptado: Se emplea el modelo clásico de los generadores con una reactancia interna arbitrariamente pequeña para representar el efecto del AVR. De esta forma, aunque la tensión interna permanezca constante, la tensión en bornes de los generadores permanecerá sin variaciones durante el proceso de cálculo del SSSL. Cuando los generadores alcanzan  $Q_{max}$  esta reactancia, arbitrariamente

pequeña es reemplazada por la reactancia sincrónica  $x_d$  y, en consecuencia, la tensión terminal de la unidad descenderá rápidamente en el próximo paso de cálculo.

Un nuevo estudio con QuickStab, partiendo de un flujo base con una demanda de 2000 MW y considerando el efecto del AVR se muestra en la figura 5. El límite calculado fue de **2107 MW** → Resultado levemente conservativo (error  $\approx 1\%$ )



**Figura 5:** SSSL estimado por QuickStab = 2107 MW partiendo de un flujo base de 2000 MW

#### 14. VARIACION DEL SSSL FRENTE A MANIOBRAS OPERATIVAS

Se estudió el efecto de maniobras operativas habituales y de contingencias simples, sobre el SSSL de la red de 6 nodos. A partir del escenario base (red N, VT=1 pu) se plantearon diferentes hipótesis de tensiones de operación, equipamientos E/S (reactores shunt, líneas) y de modelo de las unidades generadoras y su control de la excitación. Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Cada vez que se conectan o desconectan capacitores y reactores shunt, cada cambio de la relación de transformación (tap) de un transformador, maniobra de una línea, variación de carga y desconexión de un generador impacta sobre el valor del SSSL.
- El límite SSSL al igual que el TSL aumenta con el incremento de la tensión en bornes de generación y viceversa.
- Si se supone que el AVR se encuentra fuera de servicio los resultados obtenidos para el SSSL resultan muy conservadores.
- Para una variación de la tensión de generación de  $\pm 5\%$  SSSL varía +120 MW  $\rightarrow$  -180 MW.
- EL SSSL de cada corredor varía con la sensibilidad de la demanda, perfil de tensiones y topología del SEP.
- Debido a la naturaleza cambiante del SSSL, resulta necesario su actualización y recálculo permanente tan seguido como sea posible.

#### 15. RECOMENDACIONES PARA EL USO DEL QUICKSTAB EN EL SADI

El estudio realizado permitió además identificar un conjunto de tareas complementarias como paso previo a la puesta en producción del programa. Las principales comprenden:

- Revisión de las Bases de Datos disponible en el SOTR – Sistema de operación en tiempo real (Modelos de Generadores; reactancias, curvas de Capacidad PQ)
- Identificación de la sensibilidad de la demanda con la tensión (por cada centro de carga)
- Clasificación y modelado de contingencias (Definición de la lista de contingencias, Modelo del efecto de las DAG – Desconexión Automática de Generación – con y sin cortes de demanda por subfrecuencia)
- Definir los corredores de alta tensión principales a Monitorear.

**Décimo Tercer Encuentro Regional  
Ibero-americano del CIGRÉ**  
Puerto Iguazú, Argentina - xx a xx de mayo de 2009

- Verificar los límites calculados de los corredores contra estudios realizados fuera de línea (Análisis Modal y PSS/E)
- Verificar la compatibilidad del programa *QuickStab* con el Estimador de Estado del nuevo Sistema de Operación en Tiempo real de CAMMESA.

## 16. CONCLUSIONES

- Si el SEP es conducido a una condición de inestabilidad, no existirá tiempo para reaccionar y evitar el apagón total o del área receptora. En consecuencia es necesario que los indicadores de la distancia a la condición de inestabilidad puedan ser recalculados rápidamente para cada nuevo estado del sistema definido por una salida válida del estimador de estado.
- El cálculo del SSSL no requiere integrar las ecuaciones diferenciales de un Modelo Dinámico Complejo del SEP, ni definir fallas testigos y tampoco evaluar curvas temporales y su cálculo aproximado para numerosos corredores, con las computadoras actuales, es factible para una red del “tamaño” del SADI en un lapso inferior al segundo. Esta particularidad del SSSL lo hace particularmente atractivo para su cálculo “online”.
- Un programa de cálculo “online” del SSSL necesariamente debe adoptar hipótesis simplificadoras de modelos de red, generadores y cargas por cuanto debe ser una herramienta sencilla y eficaz que proporcione rápidos resultados en tiempo real que se actualizan cada 10 o 5 segundos
- Los estudios sobre un Modelo Típico de flujos de potencia - curvas PV- conducen a resultados optimistas. No brindan la seguridad buscada. Las curvas PV además nada dicen del límite de estabilidad estático angular
- El monitoreo de nodos claves mediante sincrofasores (PMUs) proporciona valiosa información instantánea del estado del SEP y permite advertir cuando el SEP comienza a experimentar oscilaciones, pero no permitirá anticipar suficientemente las medidas preventivas para evitar el colapso del SEP. Los indicadores de la distancia a la condición de inestabilidad deben ser recalculados permanentemente online para permitir adoptar medidas operativas eficaces contra el colapso del SEP.
- El programa *QuickStab* ha sido revalorizado debido a su capacidad de sintetizar y visualizar información de interés sobre un conjunto muy grande y complejo de datos. En razón de su velocidad de cálculo esta metodología que fue utilizada inicialmente en estudios de Planificación es actualmente el núcleo de las aplicaciones de evaluación de estabilidad en tiempo real integrada en numerosas aplicaciones SCADA/EMS.

## 8. REFERENCIAS

- [1] Molina Mylius, R. D., Cassano, M., Savulescu, S.C., “*Dimo’s Approach to Steady-State Stability Assessment: Methodology Overview and Algorithm Validation*”, en el libro *Real-Time Stability Assessment in Modern Power System Control Centers*, pp. 320-353, John Wiley & Sons and IEEE Press, New York, NY, USA, 2009