



Apertura de la Interconexión ITAIPU – ANDE 220kV

Esteban F. Vargas C., Manuel L. Sosa R.

ITAIPU Binacional

Paraguay, Brasil

RESUMEN

El sector de 50Hz de la Central Hidroeléctrica ITAIPU (CHI-50Hz) provee energía eléctrica al Sistema Interconectado Nacional de Paraguay (SIN-PY), mediante cinco líneas de interconexión, y al Sistema Interconectado de Brasil (SIN-BR), a través de un sistema en corriente continua en alta tensión (HVDC), ambos desde la Subestación Margen Derecha (SE-MD). Cuatro líneas, que alimentan al SIN-PY, poseen tensión nominal de 220kV y una de 500kV, denominada LI 500kV MD-VHA 1 (interconecta la SE-MD y la Estación de Villa Hayes, ES-VHA). El sector de 220kV de la SE-MD, que posee configuración interruptor y medio, está formada por cuatro semi-barras; las barras A1-B1 se encuentran acopladas a las barras A2-B2 (cada grupo de semi-barras posee interruptores asociados a dos líneas de interconexión).

En la SE-MD, existen esquemas de aislación forzada, ejecutadas mediante lógicas implantadas en el *Forced Isolation Panel* (FIP-02), con el objetivo de proteger al SIN-PY ante algunas perturbaciones en el HVDC. Este panel posee lógicas relativas a sobre y sub tensión, sobre y sub frecuencia, e inversión de potencia en las líneas de interconexión, cuyas actuaciones podrían abrir la interconexión entre la CHI-50Hz y el SIN-PY.

En los días 5 y 7 de junio de 2014, ocurrieron actuaciones accidentales del FIP-02, derivadas de trabajos de mantenimiento realizados en la SE-MD. Como consecuencia de estos eventos, se originaron aperturas de interruptores, que ocasionaron la separación de las barras A1 y B1 de la SE-MD 220kV. Este hecho tuvo como consecuencia la apertura de la interconexión entre la CHI-50Hz y el SIN-PY en 220kV. Luego de la separación de las barras A1 y B1, parte de la demanda de energía del SIN-PY fue exclusivamente atendida por la línea LI 500kV MD-VHA 1, hasta la normalización del sistema afectado. Este hecho muestra la robustez del sistema de 500kV en la provisión de energía eléctrica al SIN-PY.

Considerando estos hechos, este trabajo tiene como objetivo mostrar la importancia de los sistemas de interconexión, en 220kV y en 500kV, en la atención de la demanda eléctrica del SIN-PY, que a pesar de poseer una línea interconexión en 500kV, capaz de atender gran parte de su demanda, necesita que la interconexión en 220kV se encuentre en condiciones operativas satisfactorias para atender la demanda eléctrica, continuamente creciente, del SIN-PY. El trabajo también resalta la importancia de poseer un sistema actualizado de monitoreo y protección de la interconexión de la CHI-50Hz con el SIN-PY y con el SIN-BR en la SE-MD, que provea toda la información necesaria para realizar un análisis depurado de su desempeño en caso de eventos que podrían afectar a ambas naciones.

PALABRAS CLAVES

Perturbación, Desempeño de protección, SIN-PY, SIN-BR, CHI-50Hz, SE-MD.



1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el Sistema Interconectado Nacional de Paraguay (SIN-PY), también denominado sistema ANDE (debido a las iniciales de la Administración Nacional de Electricidad), viene pasando por constantes cambios en la red de transmisión. Ejemplos de estas alteraciones constituyen la línea de interconexión entre la Subestación Margen Derecha (SE-MD) y la Estación de Villa Hayes (ES-VHA), denominada LI 500kV MD-VHA 1 y, más recientemente comisionada, la línea de transmisión que interconecta las subestaciones de Yacyretá y Ayolas, denominada LT 500kV YAC-AYO. Esos cambios en la configuración de la red, contrarrestan el progresivo crecimiento de la demanda de energía, reduciendo la sobrecarga, en horarios picos de carga, en los equipos que se encontraban previamente en operación.

En el caso de la LI 500kV MD-VHA 1, ésta redujo considerablemente la sobrecarga en los conjuntos autotransformador/regulador y en las líneas de interconexión en 220kV, que parten de la SE-MD y proporcionan energía eléctrica al SIN-PY. El sector de 220kV de la SE-MD, que posee configuración interruptor y medio, está formada por cuatro semi-barras; las barras A1-B1 se encuentran acopladas a las barras A2-B2 (cada grupo de semi-barras posee interruptores asociados a dos líneas de interconexión). La energía que pasa por la SE-MD, además de atender gran parte de la demanda del SIN-PY, también es la responsable de alimentar al sistema de corriente continua (HVDC) que, a su vez, transmite potencia al sistema interconectado del Brasil (SIN-BR).

Debido a la importancia de esta subestación, en la SE-MD existen esquemas de aislación forzada, ejecutadas mediante lógicas implantadas en el *Forced Isolation Panel* (FIP-02), con el objetivo de proteger al SIN-PY ante algunas perturbaciones en el HVDC. Este panel posee lógicas relativas a sobre y sub tensión, sobre y sub frecuencia, e inversión de potencia en las líneas de interconexión, cuyas actuaciones podrían abrir la interconexión entre el sector de 50Hz de la Central Hidroeléctrica ITAIPU (CHI-50Hz) y el SIN-PY.

En los días 5 [1] y 7 [2] de junio de 2014, ocurrieron sendas actuaciones del FIP-02. Como consecuencia de estos eventos, se originaron aperturas de interruptores, que ocasionaron la separación de las barras A1 y B1 de la SE-MD 220kV. Este hecho tuvo como consecuencia la apertura de la interconexión entre la CHI-50Hz y el SIN-PY en 220kV. Luego de la separación de las barras A1 y B1, parte de la demanda de energía del SIN-PY fue exclusivamente atendida por la línea LI 500kV MD-VHA 1, hasta la normalización del sistema afectado, hecho que muestra la robustez del sistema de 500kV en la provisión de energía eléctrica al SIN-PY.

Basado en estos eventos, este trabajo tiene como objetivo mostrar la importancia de los sistemas de interconexión, en 220kV y en 500kV, en la atención de la demanda eléctrica del SIN-PY, que a pesar de poseer una línea interconexión en 500kV, capaz de atender gran parte de su demanda, necesita que la interconexión en 220kV se encuentre en condiciones operativas satisfactorias para atender la demanda eléctrica, continuamente creciente, del SIN-PY. El trabajo también resalta la importancia de poseer un sistema actualizado de monitoreo y protección de la interconexión de la CHI-50Hz con el SIN-PY y con el SIN-BR en la SE-MD, que provea información necesaria para realizar un análisis depurado en caso de eventos que puedan afectar a ambos países.

2 SISTEMA ELÉCTRICO INTERCONECTADO A LA ITAIPU

La Central Hidroeléctrica ITAIPU posee 20 unidades generadoras; diez operan en 60Hz y diez en 50Hz. El sector de 60Hz provee energía al SIN-BR mediante cuatro líneas de 500kV, que llegan a la subestación de Foz de Iguazú (ST-FI 60Hz). El sector de 50Hz alimenta al SIN-PY y al SIN-BR mediante la SE-MD. Desde la SE-MD, cinco líneas de interconexión proveen energía al SIN-PY; cuatro en 220kV y una en 500kV, correspondiente a una alteración reciente de la red (comisionada en octubre de 2013) y que interconecta la SE-MD y la Estación de Villa Hayes (ES-VHA), denominada LI 500kV MD-VHA 1. El SIN-BR obtiene energía del sistema de corriente continua (HVDC), que es alimentado por dos líneas de interconexión en 500kV desde la SE-MD. El diagrama de la Figura 1, muestra el sistema interconectado a la ITAIPU en el sector de 50Hz.

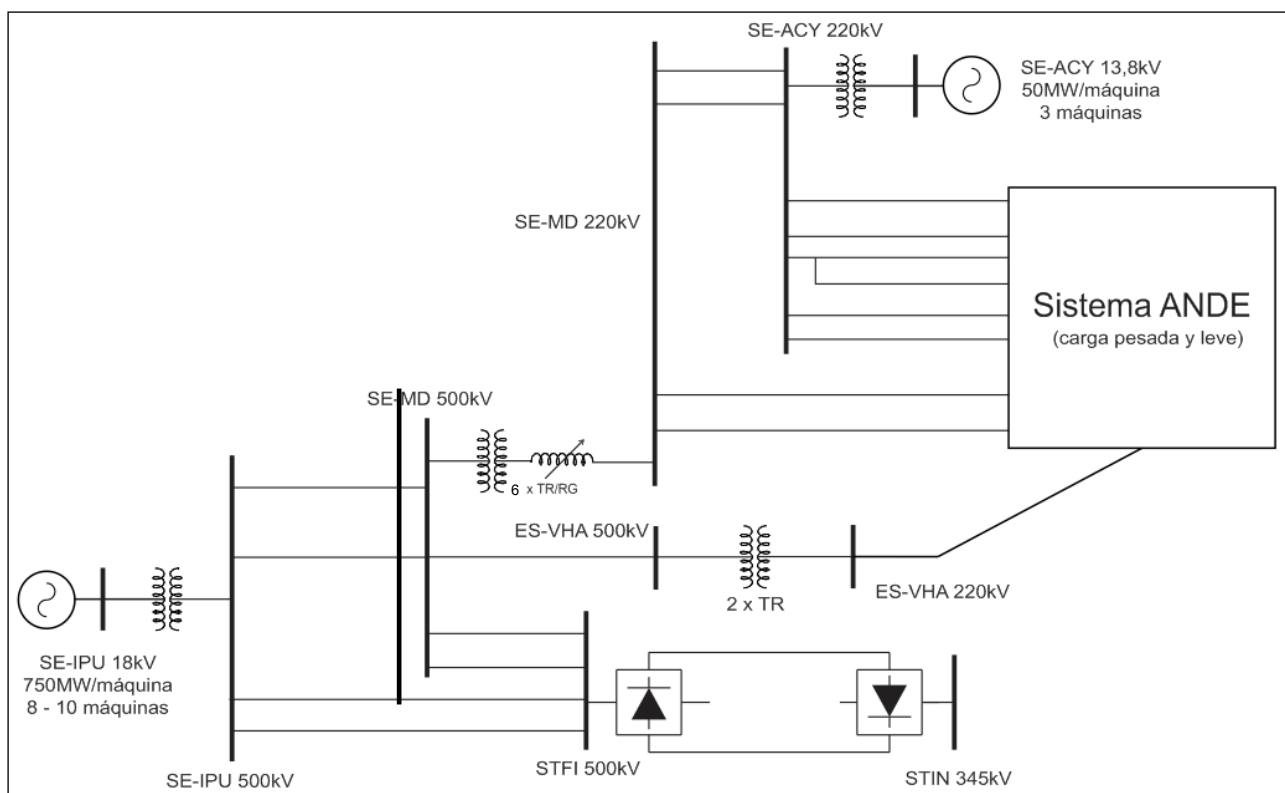


Figura 1: Sistema interconectado a la ITAIPU en el sector de 50Hz

De esta forma, la SE-MD se divide en sectores de 500kV y 220kV, cuya transformación es realizada por seis conjuntos autotransformador/regulador, como indica la Figura 1. En la SE-MD 220kV se encuentra el FIP-02, cuya actuación podría causar la abertura de la interconexión entre CHI-50Hz y el SIN-PY. A continuación, se realiza un análisis de algunos eventos, sucedidos a causa de actuaciones del FIP-02.

3 ACTUACIONES DEL FIP-02

En esta sección serán analizadas las consecuencias de dos actuaciones incorrectas del FIP-02, causadas por fallas en equipos. Este hecho indica la necesidad de mantener constantemente actualizados todos los dispositivos, relés y protecciones inherentes al panel y a la SE-MD 220kV.

3.1 Condición inicial del sistema

En ambos eventos analizados, ocurridos el 5 y 7 de junio de 2014, a las 17h13min y a las 14h12min, respectivamente, la CHI-50Hz estaba operando con diez unidades generadoras, con nivel de generación alrededor de 6.400MW. La tensión era de 500kV y 222kV en los respectivos sectores de la SE-MD, que operaba con cinco conjuntos autotransformador/regulador. El intercambio entre la CHI-50Hz y el sistema ANDE era próximo a 1.000MW. En ambos casos, tres grupos generadores de la Central Acaray se encontraban sincronizados con la CHI-50Hz.

3.2 Desempeño del sistema interconectado 50Hz

En ambos eventos mencionados, hubo apertura de la interconexión CHI-50Hz/ANDE en 220kV, debido a la apertura de los interruptores medios de la SE-MD 220kV, que posee configuración interruptor y medio. Como consecuencia, las barras A1 y B1 de la SE-MD 220kV fueron separadas. La Figura 2 muestra el estado del sistema interconectado, donde se indican los flujos de potencia de potencia, después de la perturbación. En ambos eventos, la LI 500kV MD-VHA 1 permaneció conectada al sistema ANDE.

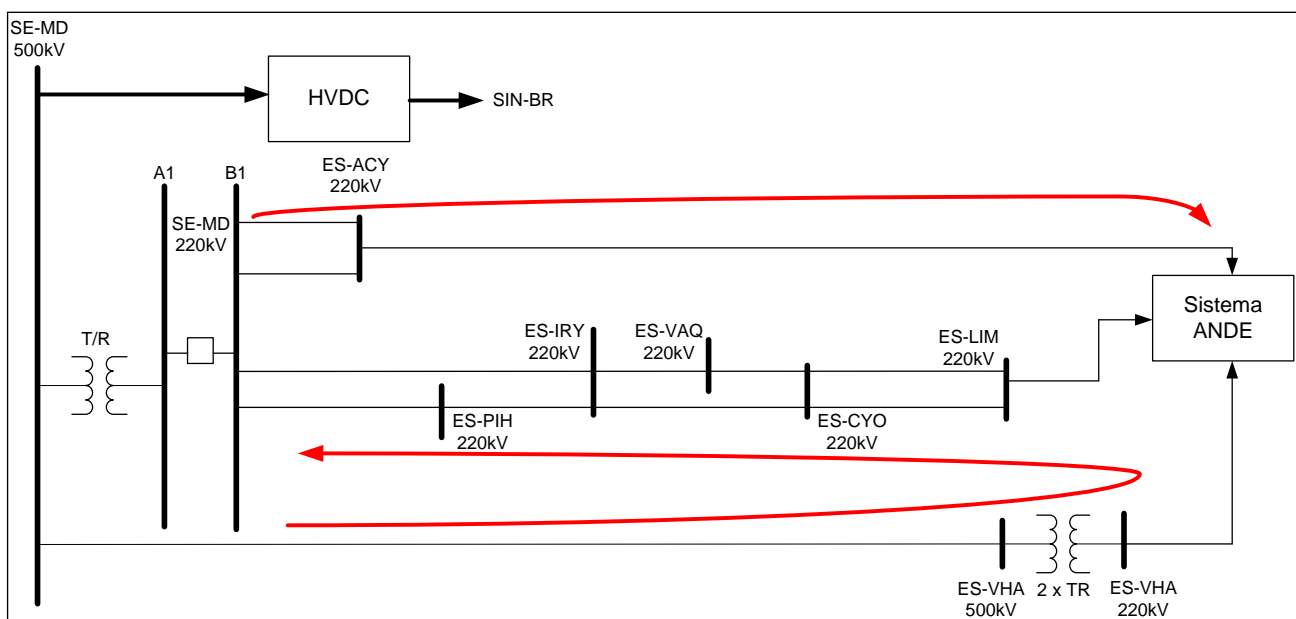


Figura 2: Sistema interconectado a la ITAIPU en el sector de 50Hz

En los dos eventos analizados, después de la apertura CHI-50Hz/ANDE, hubo reducción de flujo de potencia de las líneas LI 220kV MD-ACY 1 y 2 e inversión de potencia de las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2. A modo de ejemplo, la Figura 3 muestra las potencias eficaces transmitidas por las LI 220kV MD-ACY 1 y por la LI 220kV MD-IRY-CYO 1, del evento del día 5.6.2014 [1]. Puede observarse, luego de la apertura de la interconexión CHI-50Hz/ANDE en 220kV, la inversión de la potencia en la LI 220kV MD-IRY-CYO 1. Como en ambos eventos, la LI 500kV MD-VHA 1 permaneció conectada, este hecho es indicativo que parte de la potencia transmitida por esta línea de transmisión, retornaba por las líneas LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2, y era inyectada al

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

sistema de transmisión de la ANDE por las LI 220kV MD-ACY 1 y 2. Esta situación se mantuvo hasta la apertura de las LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2.

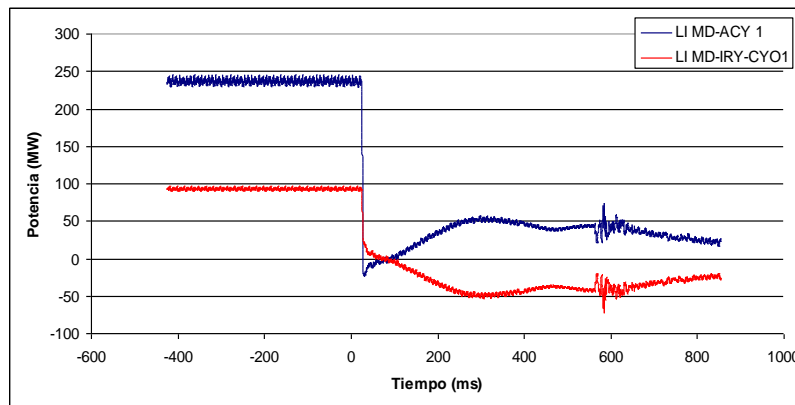


Figura 3: Potencias transmitidas por las LI 220kV MD-ACY 1 y LI 220kV MD-IRY-CYO 1

En la Figura 4 se muestra la tensión eficaz de la barra B1 de la SE-MD 220kV, obtenidas en dos registros. Puede observarse, inicialmente, un comportamiento oscilatorio de la tensión, con un valor mínimo del orden de 0,5pu, que se estabiliza por encima de 0,9pu. Posteriormente, existe una reducción brusca de la tensión, debido probablemente a desconexiones en el sistema ANDE, momento en el cual también se verifica la desconexión de las LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2, por actuación de la función de distancia en primera zona, de la protección.

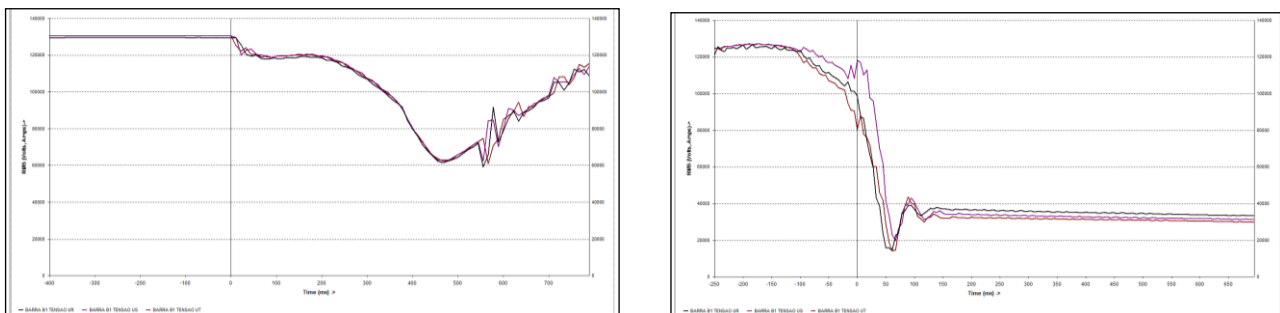


Figura 4: Tensión eficaz en la barra B1 de la SE-MD 220kV

Según informaciones de la ANDE, hubo desconexión de los 3 grupos de la Central Acaray, que estaban en paralelo con la CHI-50Hz:

- G1 por bloqueo del regulador automático de tensión, máxima tensión del generador, mínima impedancia fases S y T;
- G2 igual al G1 más actuación de la función 64S falla estator; y
- G4 por actuación del bloqueo 86E, falla eléctrica generador y excitación.

Si bien no existe información sobre el tiempo en el cual las unidades fueron desconectadas, es probable que estas desconexiones fueran causantes de la degradación de la tensión en la barra B1 de la SE-MD.

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

En forma resumida, podemos decir que, los eventos registrados por la protección de las LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2 se caracterizaron porque ambos relés tuvieron medición de zona 1, fases R y T, lo cual accionó el envío de disparo trifásico y de la señal de *carrier* al otro terminal. No hubo recepción de señal de la teleprotección, por lo cual puede concluirse que no hubo actuación de la protección en el terminal remoto.

A causa de la apertura de la interconexión CHI-50Hz/ANDE en 220kV, en la perturbación del día 7.6.2014 [2], hubo partida del registrador dinámico de la SE-MD, cuyo registro se muestra en la Figura 5, donde se verifica los siguientes hechos:

- Ocurrieron varias tentativas de recierre automático del sistema HVDC de Furnas;
- La frecuencia de la barra A1, que permaneció con el sistema CHI-50Hz/ANDE/Furnas, en 500kV, alcanzó el valor máximo de 52,6Hz;
- La apertura de la interconexión CHI-50Hz/ANDE en 220kV ocurrió después que la frecuencia alcance el valor de 51,04Hz;
- La frecuencia de la barra B1 fue anulada después de la desconexión automática de las líneas de transmisión LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2.

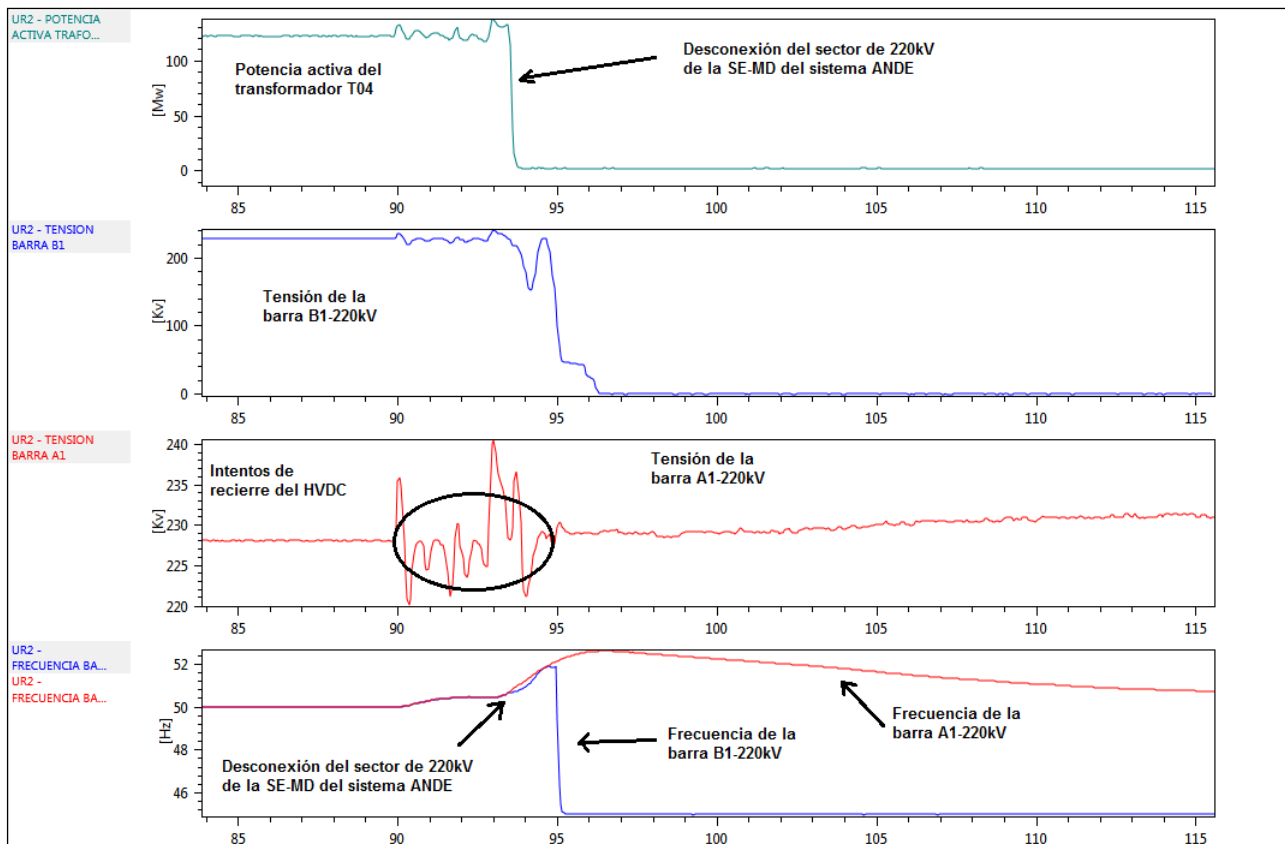


Figura 5: Registro dinámico de la SE-MD

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

En la Figura 6 se muestran las magnitudes de la LI 500kV MD-VHA 1, registradas en el evento del día 5.6.2014 [1], correspondientes a las potencias activa y reactiva, tensión y frecuencia, medidas en el terminal de la SE-MD, cuyo registro partió por tasa de variación de la tensión ($>0,2pu/s$). Puede observarse que, posterior a la apertura de la interconexión CHI-50Hz/ANDE en 220kV, hubo un aumento en la potencia transmitida por la línea de LI 500kV MD-VHA 1, la cual permaneció oscilante, con una frecuencia de oscilación del orden de 2Hz, y con un valor máximo de 1.005MW. Durante un período de 1,4s la LI 500kV MD-VHA 1 alimentó a todo el subsistema 1 de la ANDE (SS1) hasta que, con la apertura de las LI 220kV MD-IRY-CYO 1 y 2, pasó a alimentar radialmente a parte del sistema ANDE, con un suministro del orden de 310MW.

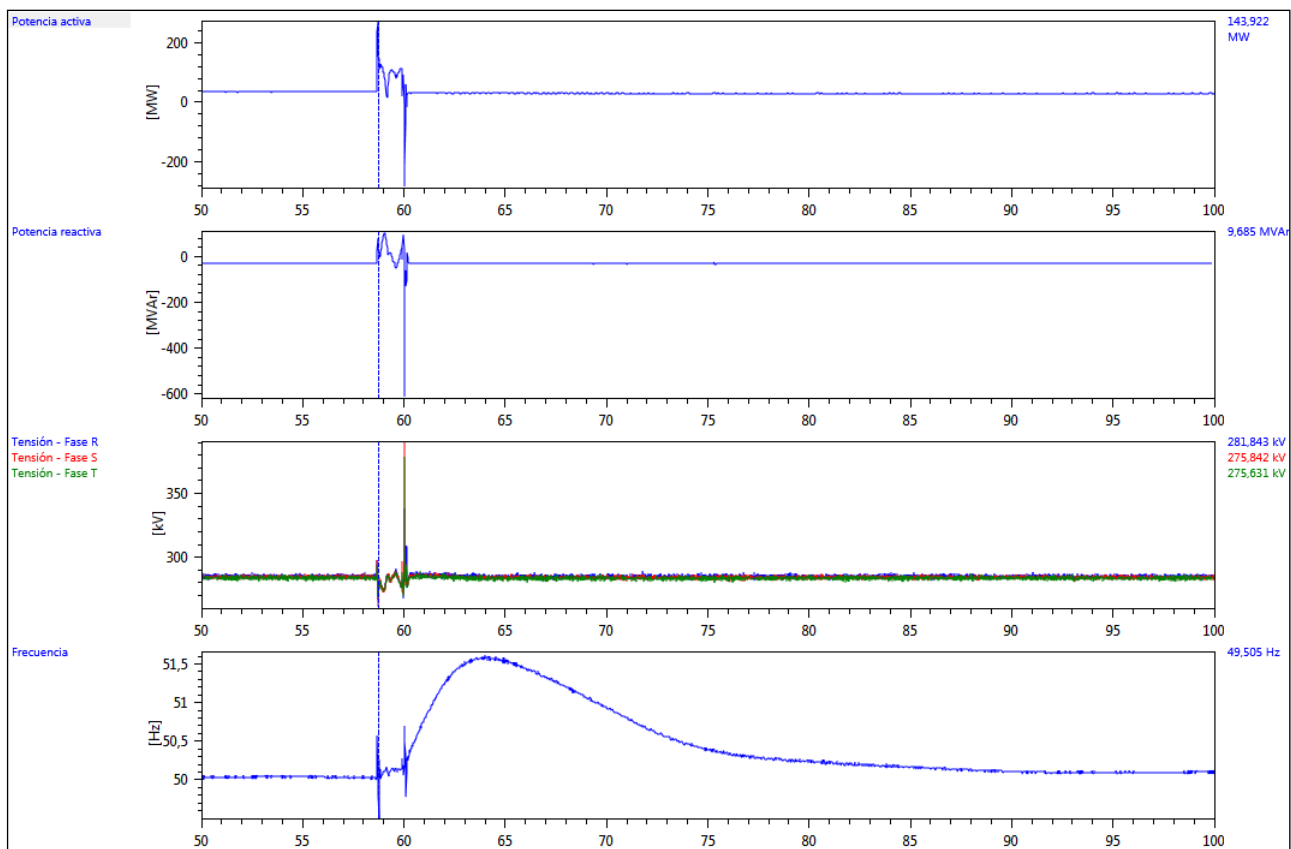


Figura 6: Magnitudes eléctricas de la LI 500kV MD-VHA 1

La tensión en 500kV también verificó oscilaciones, con un valor mínimo de 481,5kV y máximo de 502,3kV, normalizándose en torno al valor pre-perturbación por acción del control de tensión de la CHI-50Hz. Con la reducción del intercambio total CHI-50Hz/ANDE se verificó un aumento de la frecuencia, alcanzando un valor máximo de 51,57Hz y normalizándose próximo a 50Hz, por acción de las regulaciones de frecuencia primaria y secundaria. La frecuencia permaneció con un valor superior a 50,5Hz por 13 segundos, período en que la regulación secundaria de frecuencia permaneció suspendida, siendo reconectada automáticamente. En ese mismo periodo, el control de tensión de la CHI-50Hz también permaneció suspendido, debido a que el vínculo entre ambos controles estaba activo. El comportamiento de esos dispositivos de control fue conforme a lo esperado para este tipo de perturbaciones.



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

En ambos eventos analizados, hubo reducción de cerca de 650MW del intercambio total CHI-50Hz/ANDE.

3.3 *Restablecimiento de la interconexión entre la CHI-50Hz y el SIN-PY*

El restablecimiento de la interconexión CHI-50Hz/ANDE fue iniciado mediante la energización de las líneas de transmisión, del sector de 220kV, desde la SE-MD. Luego, estas líneas fueron colocadas en carga, cerrando sus correspondientes interruptores en el terminal del sistema ANDE.

4 CONCLUSIONES

El trabajo presentó el análisis de eventos relativos a la desconexión CHI-50Hz/ANDE en 220kV, debido a actuaciones del panel FIP-02, ubicado en la SE-MD. Las actuaciones del FIP-02 resultaron en la apertura de los interruptores del medio de la SE-MD 220kV. Durante un periodo de tiempo, la carga del sistema ANDE fue atendida por la LI 500kV MD-VHA 1, hecho que muestra la robustez del sistema de 500kV de la ITAIPU en la provisión de energía al SIN-PY. En ambos eventos, el valor de intercambio, previo a la perturbación, era próximo a 1.000MW. Como consecuencia de los eventos, hubo variaciones de tensión y excursiones de frecuencia en la SE-MD del orden de 51,5Hz, así como incrementos en el flujo de potencia de la LI 500kV MD-VHA 1.

En caso de eventos de esta envergadura y considerando la configuración actual de la ES-VHA, con valores de intercambio entre la CHI-50Hz/ANDE superiores a 1.000MW, el sistema de 500kV sería incapaz de atender la carga del SIN-PY.

Este hecho indica que, a pesar de disponer de un sistema en 500kV robusto, es necesario mantener actualizado el sistema en 220kV, tanto en cuestión mantenimientos de equipos, como con respecto a registradores y protecciones, que permitan obtener oscilografías para análisis posteriores.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

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

BIBLIOGRAFIA

- [1] División de Estudios Eléctricos y Normas, OPSE.DT. ITAIPU Binacional. “Informe de Análisis de Perturbación”, RAP 06/2014, Agosto 2014.
- [2] División de Estudios Eléctricos y Normas, OPSE.DT, ITAIPU Binacional. “Informe de Análisis de Perturbación”, RAP 07/2014, Julio 2014.