

Entrada en operación de la LI 500kV MD-VHA 1 – Validación de los estudios para la operación

Alfredo Javier Mezger Szostak

ITAIPU

Paraguay

RESUMEN

El día 6 de octubre de 2013 fue colocada en servicio de la línea de transmisión de 500 kV Margen Derecha-Villa Hayes (LI 500 kV MD-VHA 1), de 347 km y con capacidad nominal de 2.215 MVA. La configuración inicial para su puesta en servicio fue con un autotransformador de 500/220 kV – 600 MVA en la Estación Villa Hayes (ES-VHA), y con cuatro líneas de transmisión de 220 kV inyectando potencia a la ANDE desde esa subestación.

Antes de la puesta efectiva en operación fueron energizados el autotransformador en la ES-VHA (día 02.10.2013) y la LI 500 kV MD-VHA 1 desde el terminal SE-MD (día 03.10.2013).

Es objetivo de este trabajo es evaluar el comportamiento de la LI 500 kV MD-VHA 1 durante las maniobras de puesta en servicio, a través de los registros obtenidos, y realizar una comparación con los resultados de simulaciones de régimen permanente y de transitorios electromagnéticos, de forma a validar los modelos utilizados en los estudios.

PALABRAS CLAVES

Entrada en operación, puesta en servicio, LI 500 kV MD-VHA 1, simulaciones de régimen permanente, transitorios electromagnéticos.

1 INTRODUCCIÓN

El día 6 de octubre de 2013 fue colocada en servicio de la línea de transmisión de 500 kV Margen Derecha-Villa Hayes (LI 500 kV MD-VHA 1), de 347 km y con capacidad nominal de 2.215 MVA. La configuración inicial para su puesta en servicio fue con un autotransformador de 600 MVA en la Estación Villa Hayes (ES-VHA), y con cuatro líneas de transmisión de 220 kV inyectando potencia a la ANDE desde esa subestación.

Antes de la puesta efectiva en operación, fue energizado el autotransformador en la ES-VHA (día 02.10.2013) y la LI 500 kV MD-VHA 1 desde el terminal SE-MD (día 03.10.2013).

Para la elaboración de los procedimientos operativos a estas nuevas instalaciones, fueron realizados estudios de régimen permanente [1], de estabilidad dinámica [2] y de régimen transitorio [3]. Estos estudios, que se realizaron en Itaipu y en el ámbito de la Comisión Mixta Operación (CMO), sirvieron de base para la elaboración de las instrucciones que son utilizados por los equipos de operación en tiempo real de la Itaipu y de la ANDE.

En este trabajo se presentan los registros obtenidos durante la puesta en servicio de la LI 500 kV MD-VHA 1, y se realiza una comparación con los resultados de las simulaciones de régimen permanente, transitorio y dinámico, de forma a validar los modelos utilizados en los estudios.

2 ENERGIZACIÓN DEL AUTOTRANSFORMADOR 2AT-1 DE LA ES-VHA

Previo a la puesta en servicio de la LI 500 kV MD-VHA 1, se realizó la energización autotransformadores 2AT-1 de la ES-VHA. Este equipo está compuesto por tres unidades monofásicas de 200MVA, totalizando una potencia trifásica de 600MVA, y realiza la reducción de la tensión de 500kV a 220kV, el cual es el nivel de transmisión a las subestaciones adyacentes del sistema metropolitano de la ANDE.

En la Figura 1, se muestran las tensiones y corrientes durante la primera energización del 2AT-1, realizada el día 2.10.13. Los procedimientos operativos indican que la energización de este autotransformador debe ser realizada por el lado de 220 kV.

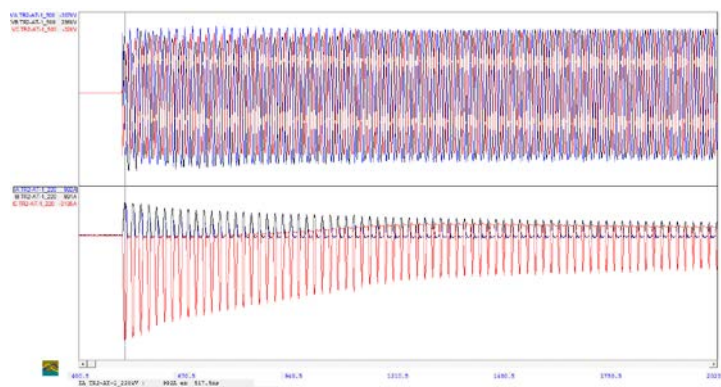


Figura 1 – Primera energización del autotransformador 2AT-1

Puede observarse que la corriente en la fase T tuvo un pico del orden de 3.200A, rápidamente amortiguada, llegando a valores de 450A luego de un segundo. El máximo pico de tensión se verificó en la fase S, con un valor máximo de 501kV fase-tierra (1,23pu).

Los valores registrados se encuentran dentro de lo esperado para este tipo de maniobra, conforme puede ser observado en la Figura 2, que muestra la corriente de energización obtenida en una simulación realizada con el programa ATP. Puede observarse una corriente del orden de 3.000A, rápidamente amortiguada. De esta forma, puede concluirse que el modelo del autotransformador utilizado en ATP representa adecuadamente a dicho equipo. La diferencia en la magnitud de la corriente puede estar relacionada con la representación del sistema ANDE, considerando que en el modelo de ATP no fue representado en detalle el compensador estático de Limpio.

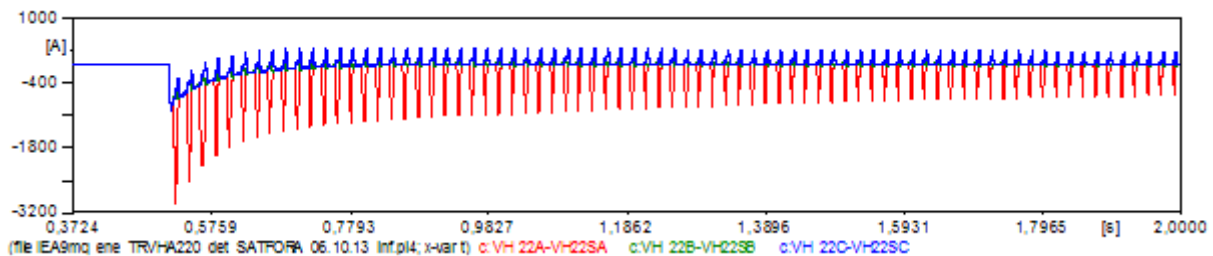


Figura 2 – Corriente de energización de la simulación en ATP

3 ENERGIZACIÓN DE LA LI 500 kV MD-VHA 1

El día 3.10.2013 se realizó la primera energización de la LI 500 kV MD-VHA 1. La tensión de pre-energización en la subestación Margen Derecha (SE-MD) era de 500 kV, conforme especificado en las instrucciones de operación. La Figura 3 muestra las tensiones en ambos terminales, observándose picos máximos de tensión de 487 kV (fase-tierra) en la SE-MD, y de 706 kV en la ES-VHA. Estos valores son compatibles con los calculados en los estudios de transitorios electromagnéticos. La línea permaneció energizada en vacío por 30 minutos aproximadamente para realización de ensayos, y posteriormente fue desenergizada

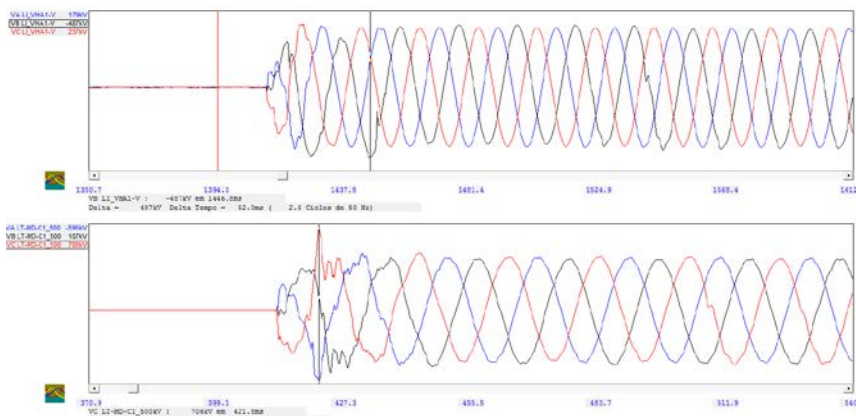


Figura 3 – Tensiones durante la primera energización de la LI 500kV MD-VHA 1

Según el registrador dinámico (de larga duración) del terminal SE-MD de la línea, cuando la misma estuvo en vacío, inyectó una potencia reactiva de 391 Mvar. Asimismo el registrador de la ES-VHA indicó una tensión de 536,9 kV en el terminal abierto de la línea. En la Figura 4 se muestra la simulación de la línea en vacío, realizada en el programa de flujo de potencia, con un valor de inyección de 383 Mvar y una tensión terminal de 537 kV (1,074 pu) en el terminal Villa Hayes. De este comparativo puede concluirse que el modelo de régimen permanente representa correctamente a la línea en esta situación.



Figura 4 – Simulación de la operación en vacío de la LI 500kV MD-VHA 1

3 PUESTA EN SERVICIO DE LA LI 500 kV MD-VHA 1

El día 6.10.13, se realizaron las maniobras para la puesta en servicio de la LI 500kV MD-VHA 1, conforme la secuencia a seguir:

- energización del 2AT-1 y la barra II en la ES-VHA, a las 9h03min;
- energización de la LI 500 kV a partir del interruptor 04LI5 de la SE-MD, a las 9h34min;
- energización de la barra I en la ES-VHA, a las 9h58min;
- cierre del interruptor 44L56 en la SE-MD, a las 10h01min; y
- cierre del anillo en la ES-VHA, a las 10h04min.

A partir de las condiciones anteriores al cierre de anillo, fue realizada una simulación de flujo de potencia, de forma a consolidar el modelo utilizado. En la Tabla I se muestran los valores medidos por los registradores dinámicos de la SE-MD y de la ES-VHA, y los valores obtenidos en las simulaciones. Puede observarse que existe coherencia en los resultados, lo cual valida el modelo utilizado.

Tabla I – Valores medidos y simulados posteriores al cierre de anillo

	Simulación	Valores medidos	Error
Tensión SE-MD	501,0 kV	495,4 kV	1,1%
Potencia activa SE-MD	252 MW	242 MW	4,1%
Potencia reactiva SE-MD	-294 Mvar	-301Mvar	2,3%
Tensión ES-VHA	519 kV	521 kV	0,4%
Potencia activa ES-VHA	250 MW	240 MW	4,2%
Potencia reactiva ES-VHA	61 Mvar	65 Mvar	6,2%

Nota:

Diferente a los estudios realizados para la entrada en operación de la línea, el cierre de anillo se realizó sin que se encuentren en operación las líneas LT 220 kV VHA-PSA 1 y 2. Además, durante la maniobra de cierre de anillo, el autotransformador 2AT-1 se encontraba con el conmutador en la posición 11 (214.500 V) y no en la posición central.

En la Figura 5 se muestra la tensión en la barra 1 de la ES-VHA, y la corriente en el terminal de la SE-MD de la LI 500 kV MD-VHA 1, durante la maniobra de cierre de anillo. Puede observarse distorsiones en las ondas de tensión y corriente, inclusive en régimen permanente. Cabe resaltar que en el estudio de transitorio electromagnético [3] se apuntaba al posible aumento de la distorsión armónica de la tensión con la entrada en operación de la línea de 500 kV.

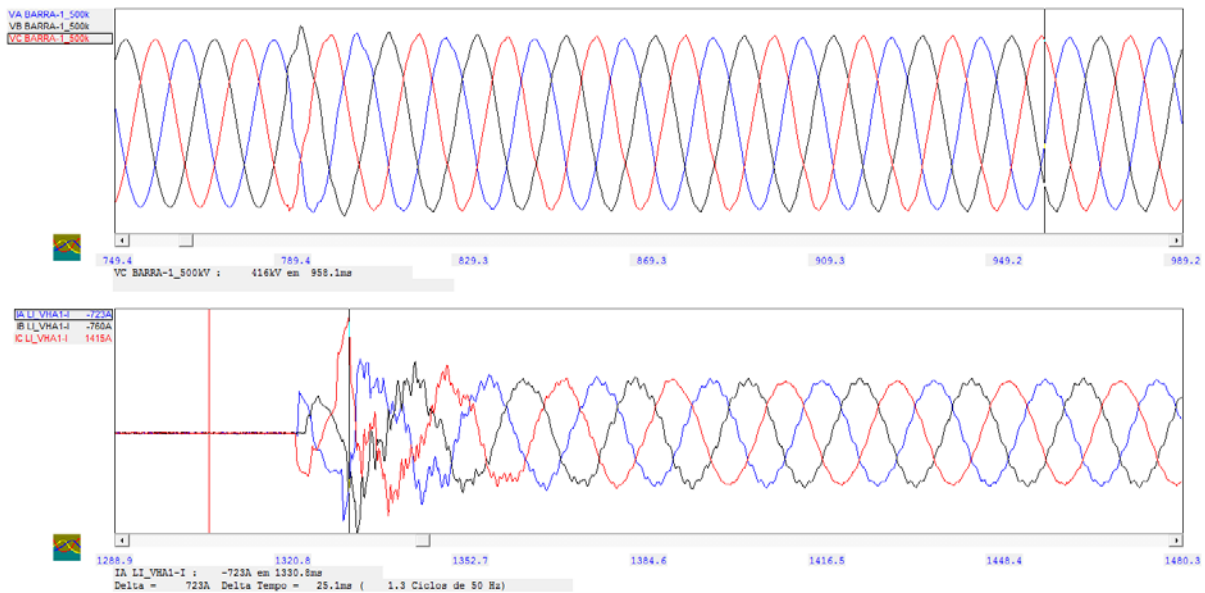


Figura 5 – Tensión en la barra 1 de la ES-VHA y corriente en la línea de 500kV

En la Figura 6.a y 6.b se muestra el contenido de armónica en la tensión de la barra 1 de la ES-VHA antes y después del cierre del anillo, pudiendo observarse el aumento de la 13ª armónica luego de esta maniobra.

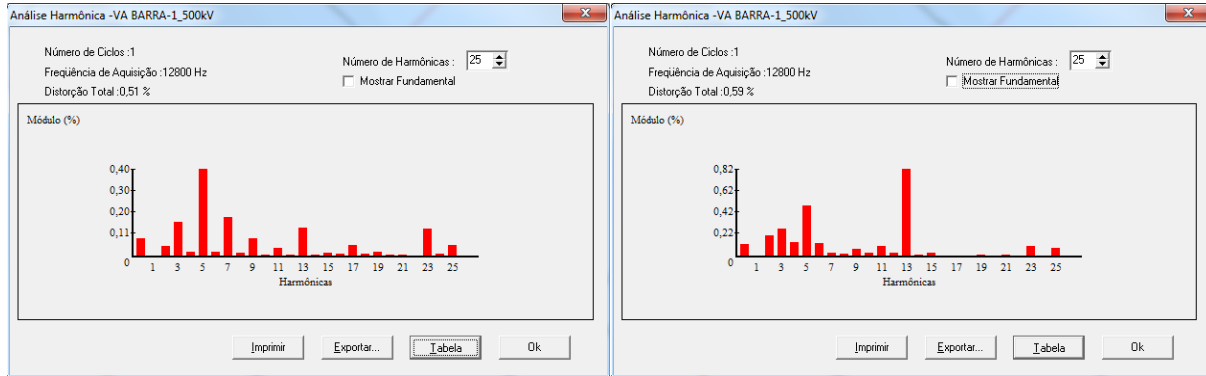


Figura 6 – Contenido de armónicas en la tensión

La Figura 7 muestra el contenido de armónica en la corriente que circula por la LI 500 kV MD-VHA 1, notándose fuerte presencia en las 11^a y 13^a componentes, las cuales son típicas en sistemas con puentes tiristorizados de 12 pulsos, como es el caso del HVDC de Furnas. Estos armónicos circulan por la línea de 500 kV, en función a la respuesta en frecuencia del sistema de transmisión, y causan la distorsión en la tensión en la barra de 500 kV de Villa Hayes.

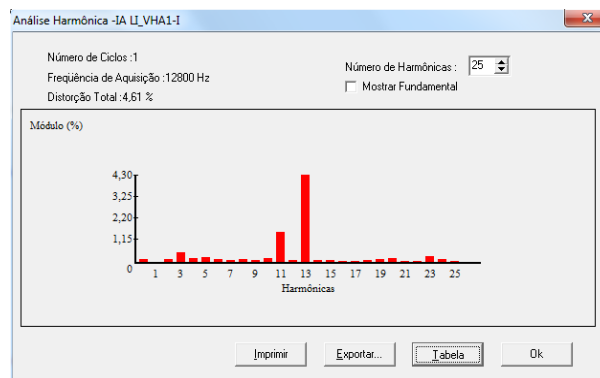


Figura 7 – Contenido de armónicas en la corriente

Si bien el sistema de medición utilizado no es específico para medición de armónicas, dan un fuerte indicio de la presencia de las mismas, reforzando lo ya mencionado en los estudios.

4. CONCLUSIONES

La energización de los autotransformadores 2AT-1 y 2AT-2, y de la línea de transmisión LI 500 kV MD-VHA 1, y el cierre de anillo a través de dicha línea, fueron realizados conforme los procedimientos operativos en vigencia, y no presentaron sobretensiones fuera de los rangos aceptados en los criterios de los estudios para su entrada en operación.

Las simulaciones de flujo de potencia muestran resultados coherentes con las mediciones registradas durante la puesta en servicio, lo cual valida el modelo de línea de transmisión y de transformador utilizados en los estudios de régimen permanente y dinámico.

Las mediciones registradas durante el cierre de anillo indican la posibilidad de aumento de las distorsiones armónicas en la tensión de la ES-VHA. Estas mediciones refuerzan lo mencionado en estudios anteriores.

BIBLIOGRAFIA

- [1] NT OPSE.DT/06/2011 Influencia de la LI 500kV MD-VHA - Estudios de regimen permanente. Itaipu Binacional, 2011
- [2] NT OPSE.DT/03/2013 Estudio dinámico relativo a la entrada en servicio de la LI 500kV MD-VHA. Itaipu Binacional, 2013
- [3] NT OPSE.DT/07 /2013 Estudos de Transitórios para a Entrada em Operação da LI 500kV MD-VHA. Itaipu Binacional, 2013
- [4] NT OPSE.DT/07 /2013 Entrada en operación de la LI 500kV MD-VHA 1. Itaipu Binacional, 2013.