



Comite Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Energización de la Línea de Transmisión en 220 kV Horqueta – Cerro Corá

Rodrigo Noguera Doldán

Tito Ocariz Krauer

Administración Nacional de Electricidad - ANDE

PARAGUAY

RESUMEN

Este trabajo presenta las máximas sobretensiones a las que estarán sometidos los descargadores e interruptores de la Línea de Transmisión de 220 kV que une las subestaciones de Horqueta y Cerro Corá, durante la energización de la misma.

De los valores de sobretensión son determinados las características de aislamiento de los equipos terminales, así como los niveles de energía a los que estarán expuestos los descargadores.

Estos estudios fueron realizados utilizando el programa digital para análisis de transitorios electromagnéticos EMTP (Electromagnetic Transient Program), con los modelos sugeridos por las referencias [1].

Debido al tamaño del sistema ANDE para la inclusión completa en el modelado del sistema, se utilizaron equivalentes de corto circuito para simplificar el estudio.

Esta línea de transmisión fue puesta en servicio en diciembre del año 2006, donde se adoptó la configuración del sistema ANDE prevista para ese año

PALABRAS CLAVES

Sobretensiones temporarias.

Sobretensiones de maniobras.

Energización.



1. INTRODUCCIÓN

Fueron realizados los estudios de sobretensiones Temporarias y de Maniobras.

Las sobretensiones temporarias (sustentadas), también llamadas de régimen permanente, son perturbaciones de frecuencia fundamental y de duración relativamente larga. Generalmente son inferiores a 2,0 pu y los equipos del sistema deben ser capaces de soportarlas. Sin embargo, los descargadores deben estar proyectados de forma a no actuar ante estos tipos de sobretensiones ya que no están capacitados para soportar sobretensiones de larga duración.

Los principales causantes de las sobretensiones temporarias son:

- Falla monofásica – sobretensiones en las fases sanas.
- Efecto Ferranti – elevación de la tensión en el terminal receptor de una línea de transmisión en vacío debido a su capacitancia.

Las sobretensiones de maniobra son causadas por operaciones de cierre y apertura de interruptores. Estas sobretensiones tienen carácter transitorio, las perturbaciones presentan frentes de onda del orden de decenas de microsegundos. Fueron realizados los siguientes tipos de energizaciones, casos estadísticos con 100 simulaciones:

- Energización de línea en vacío.
- Energización de líneas con falla fase-tierra.
- Reconexión de línea.

Debido a la incertidumbre en el preciso instante en el que se cierran los contactos de los interruptores, estos estudios se deben realizar en forma estadística, realizando una serie de simulaciones con tiempos de maniobra aleatorios (dentro de los parámetros de los equipos). De esas simulaciones se toma el caso en que apareció la mayor tensión estadística. Finalmente, con este caso se verifica la máxima circulación de corriente y energía en los equipos.

2. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA Y MODELOS UTILIZADOS

2.1 Equivalente del Sistema

Como la entrada en servicio de esta línea se realiza en el presente año, se adopta la configuración actual del Sistema ANDE (año 2006) de acuerdo al Plan Maestro de Transmisión de Corto Plazo Periodo 2005-2009 [2].

En la figura 1 se presenta el diagrama unifilar del sistema estudiado. Las simulaciones se realizaron usando un circuito equivalente del sistema en la barra de 220 kV de la SE Carayaó. Este circuito corresponde a una fuente ideal de secuencia positiva e impedancias equivalentes de cortocircuito de secuencia cero y positiva. Estos parámetros se obtuvieron de los niveles de cortocircuito correspondientes a la configuración del sistema prevista para el corriente año 2006, año en el que entra en operación dicha línea de transmisión. Se consideraron los siguientes casos:

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

a) Sistema Fuerte: Incluye todas las líneas de transmisión (220 y 66 kV) y equipos de potencia del SIN. b) Sistema Débil (Se excluye la línea de transmisión de 220 kV Acaray – Coronel Oviedo)

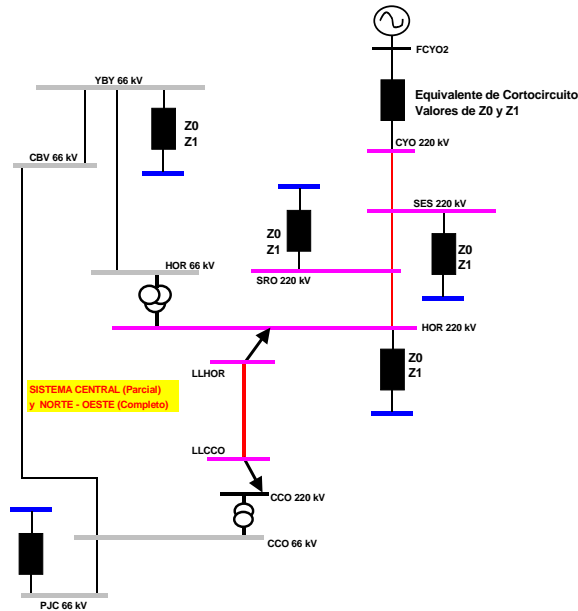


Figura 1: Diagrama unifilar del equivalente del sistema

2.2 Líneas de Transmisión

Las líneas de transmisión indicadas en el diagrama de la Figura 1 fueron modeladas como elementos con parámetros distribuidos (tipos -1, -2 y -3 de la referencia [1]). Se eligió el modelo de resistencia concentrada para líneas transpuestas con parámetros no dependientes de la frecuencia. Dicho modelo es apropiado para el estudio de tensiones de maniobras realizadas en este trabajo.

2.3 Transformadores

Los transformadores modelados para las simulaciones fueron los de 220/71/13.8 kV – 60 MVA de la SE Horqueta y 220/66/13.8 kV – 37.5 MVA de la SE Cerro Corà, los mismos fueron considerados como lineales. Los parámetros utilizados para estos transformadores fueron extraídos de la Base de Datos ANDE disponibles en el Departamento de Estudios de Transmisión e Impacto Ambiental.

2.4 Interruptores

Para la simulación de la apertura y cierre de los interruptores fueron utilizados los modelos de interruptores controlados por tiempo (Time-controlled switch) e interruptores de cierre estadístico (Closing statistics switch) [1] y [3] para los casos determinísticos y estadísticos respectivamente.



VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Se adoptó como máxima discrepancia de simultaneidad entre polos de los interruptores un tiempo de 5 ms. Para los estudios estadísticos se adoptó que el tiempo de cierre de los diferentes polos tenga una distribución normal de Gauss, con los siguientes parámetros:

$$6\sigma = \text{máxima discrepancia entre polos} = 5 \text{ ms}$$

$$\sigma = 0.833 \text{ ms}$$

$$T = \text{tiempo de cierre medio} > 3\sigma \text{ (requerimiento del programa EMTP).}$$

2.5 Descargadores

Los descargadores de óxido de zinc utilizados en las simulaciones fueron modelados mediante el elemento tipo 99, Pseudo - Nonlinear Resistance (Resistencia pseudo-no lineal). Las curvas características, Máxima Tensión Residual vs. Corriente, fueron obtenidas en base a curvas de descargadores de ZnO tipo EXLIM de ABB.

3. ANÁLISIS DE TRANSITORIOS – CRITERIOS BÁSICOS

A seguir presentamos algunas reglas generales utilizadas para los análisis de transitorios:

Los valores de sobretensiones fase-tierra y fase-fase no deberán ser superiores a los niveles de soportabilidad de líneas y equipos.

Los valores de tensión, corriente y energía en los pararrayos, cuando estos llegan a operar, deberán permanecer por debajo de los límites especificados por los fabricantes.

Además de las normas operativas, dispositivos limitadores de sobretensiones, tales como reactores en derivación o amortiguamiento, resistores de pre-insercción, etc. podrán ser utilizados en el caso de sobretensiones elevadas. A continuación se presentan las principales características con respecto a las Energizaciones realizadas.

3.1 Energización de línea

Se estudiaron 100 casos estadísticos de energización, de los cuales se selecciona el peor caso. Para la energización se considera la línea en vacío, esto es, sin carga inicial alguna, y en general con el extremo receptor abierto. También fue considerada la energización con falla monofásica en el extremo receptor.

Las energizaciones fueron realizadas tanto desde el lado de la SE Horqueta como de la SE Cerro Corá. La tensión de pre-cierre fue variada en los siguientes valores: 1,05, 1,07 y 1,10 p.u. de tensión. También fueron estudiados los mismos casos pero tomando en cuenta el sistema débil.

3.2 Reconexión de línea

Para este tipo de estudio, verificamos el efecto que alguna carga residual en la línea puede traer en una maniobra de reconexión. Se puede tener un efecto negativo, si en el momento del cierre la tensión de la línea, debida a la carga residual, es de polaridad contraria a la de generación.

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Todos los casos de reconexión han sido considerados estadísticos, efectuándose 100 reconexiones. La tensión pre-reconexión es adoptada igual a 1.10 pu. Se estudió la reconexión con el extremo receptor abierto, con y sin falla en el mismo. Se estudiaron también los casos considerando el sistema débil.

4. RESULTADOS OBTENIDOS

A seguir se presentan en las tablas I a IV todos los resultados obtenidos del estudio de energización:

Tabla I

Caso	Energización desde:	Sistema	Vpre-man. HOR-pu	Energía disip. por el desc.	Vsost. HOR - pu	Vsost. CCO - pu	Vmáx. HOR - pu	Vmáx. CCO - pu
HCF1dsp	Horqueta	Fuerte	1.05	S/Des.	1.11	1.13	1.78	2.91
HCF1dcp	Horqueta	Fuerte	1.05	CCO 26 kJ F/B	1.11	1.12	1.54	2.25
HCF2dsp	Horqueta	Fuerte	1.07	S/Des.	1.13	1.15	1.81	2.67
HCF2dcp	Horqueta	Fuerte	1.07	Des CCO 16 kJ F/ C	1.13	1.14	1.69	2.24
HCF3dsp	Horqueta	Fuerte	1.10	S/Des.	1.16	1.17	1.78	3.07
HCF3dcp	Horqueta	Fuerte	1.10	Des CCO F/C 19 kJ	1.16	1.18	1.79	2.25
HCF4dsp	Cerro Cora	Fuerte	1.10	Sin Des.	1.16	1.18	2.96	2.72
HCF4dcp	Cerro Cora	Fuerte	1.10	Des HOR 21 kJ F/C	1.16	1.18	2.22	1.98

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

Tabla II

Caso	Energización desde:	Sistema	Vpre-man. HOR-pu	Energía disip. por el desc.	Vsost. HOR - pu	Vsost. CCO - pu	Vmáx. HOR - pu	Vmáx. CCO - pu
HC1FRdcp	Horqueta	Fuerte	1.05	Des CCO 23 kJ F/C	1.11	1.12	1.68	2.33
HC2FRdcp	Horqueta	Fuerte	1.10	Des CCO 26 kJ F/C	1.17	1.18	1.85	2.35
HC1Ffdcp	Horqueta	Fuerte	1.05	Des CCO 22 kJ F/C	1.08 (fases sana)	1.23 (fases sanas)	1.61	2.20
HC2Ffdcp	Horqueta	Fuerte	1.10	Des CCO 25 kJ F/C	1.14 (fases sana)	1.29 (fases sanas)	1.81	2.21

Tabla III

Caso	Energización desde:	Sistema	Vpre-man. HOR-pu	Energía disip por el desc.	Vsost. HOR - pu	Vsost. CCO - pu	Vmáx. HOR - pu	Vmáx. CCO - pu
HCD1dsp	Horqueta	Débil	1.05	Sin Des	1.12	1.13	1.98	3.01
HCD1dcp	Horqueta	Débil	1.05	Des CCO 9 kJ F/A	1.12	1.13	1.87	2.23
HCD2dsp	Horqueta	Débil	1.07	Sin Des	1.14	1.16	1.88	3.11

VIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
29, 30 y 31 de Octubre de 2008

HCD2dcp	Horqueta	Débil	1.07	Des CCO 12 kJ F/C	1.14	1.16	1.67	2.25
HCD3dsp	Horqueta	Débil	1.10	Sin Des	1.17	1.20	1.88	3.16
HCD3dcp	Horqueta	Débil	1.10	Des CCO F/A 12 kJ	1.17	1.19	1.64	2.24
HCD6dsp	Cerro Cora	Débil	1.10	Sin Des	1.17	2.11	2.97	2.81
HCD6dcp	Cerro Cora	Débil	1.10	Des HOR 35 kJ F/B	1.18	1.88	2.05	2.01

Tabla IV

Caso	Energización desde:	Sistema	Vpreman HOR-pu	Enerdisip. por el desc.	Vsost. HOR pu	Vsost. CCO pu	Vmáx. HOR pu	Vmáx. CCO pu
HC2DRdcp	Horqueta	Débil	1.10	Des CCO 150 kJ F/C	1.17	1.18	2.16	2.35
HC2Dfdcp	Horqueta	Débil	1.10	Des CCO 27 kJ F/B	1.14 (fases sana)	1.30 (fases sanas)	1.64	2.23

5. GRÁFICOS DE LAS SIMULACIONES

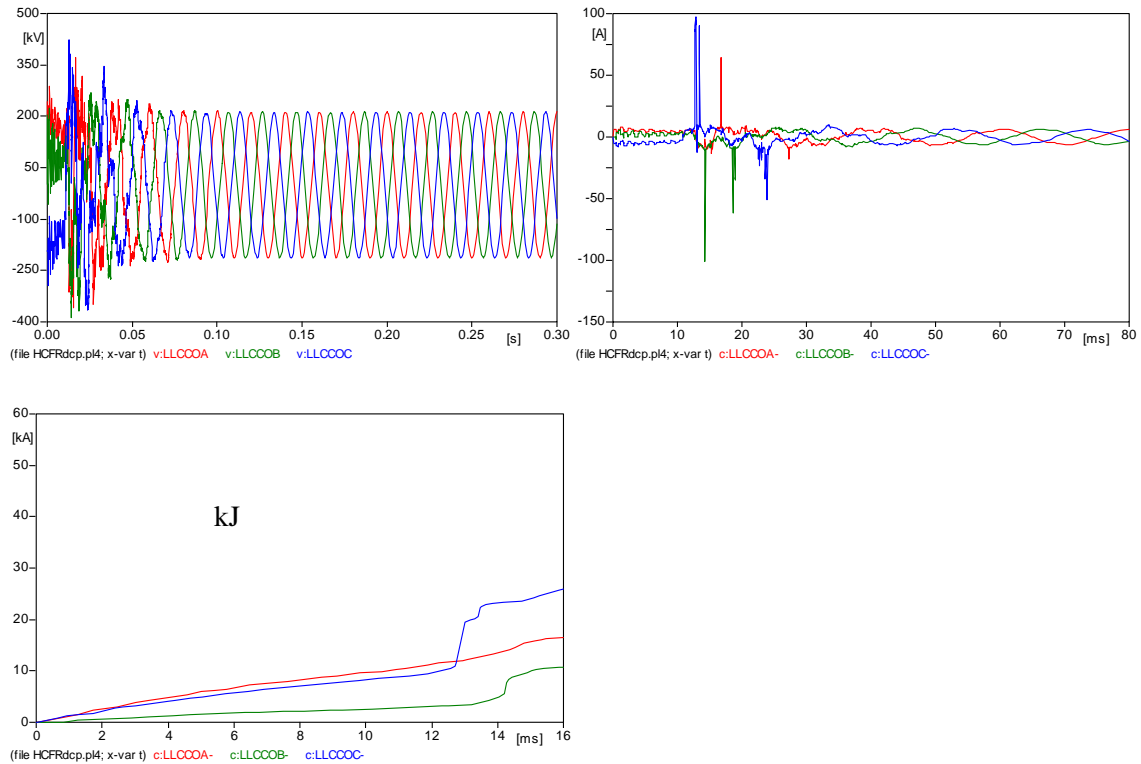


Figura 2: Caso de Reconexión de Línea, desde Horqueta, con tensión de pre-maniobra igual a 1,10 pu en Horqueta, Corrientes en los descargadores y Energía absorbida por el descargador de Cerro Corá (kJ).

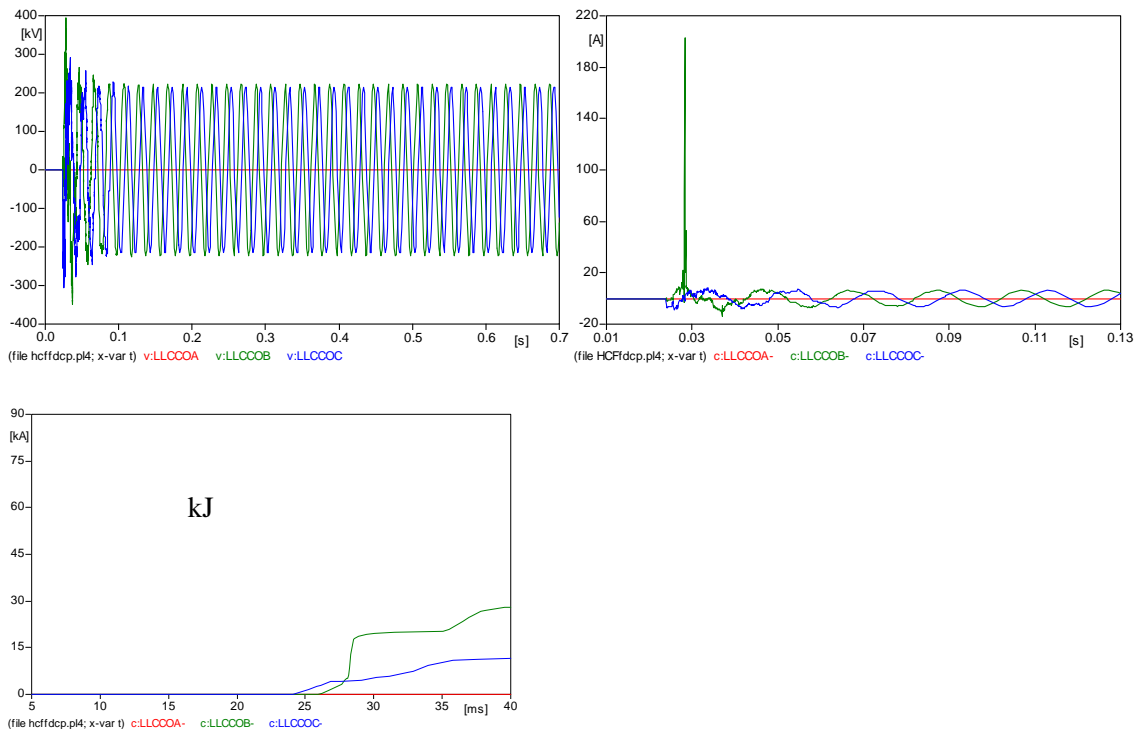


Figura 3: Caso de Conexión de Línea, con falla monofásica en el extremo receptor, Energización desde Horqueta, con tensión de pre-maniobra igual a 1,05 pu, Corrientes en los descargadores y Energía absorbida por el descargador de Cerro Corá (kJ).

6. CONCLUSIONES

Los resultados de los estudios de sobretensiones de maniobras y temporarias, de las simulaciones realizadas en la energización de la nueva línea de transmisión de 220 kV entre las subestaciones de Horqueta y Cerro Corá, indican que los valores obtenidos se encuentran por debajo de los límites permitidos según los niveles de aislamientos para niveles de tensión de 220 kV.

Tampoco se han registrados valores superiores a los tolerados por la capacidad de descarga de los pararrayos modelados. Se utilizó como valor de aislamiento para los equipos de 220 kV, el valor de tensión soportable nominal a impulso atmosférico (1050 kV – valor de cresta).

No obstante, se sugiere realizar más adelante nuevos estudios, de resonancia o ferresonancia y de parámetros de líneas dependientes de la frecuencia. Con estos tipos de estudios se estaría verificando la presencia o no de armónicos indeseables en el sistema.

7. REFERENCIAS

- [1] Leuven EMTP Center, Alternative Transients Program Rule Book. Bélgica, Julio 1987.
- [2] ANDE – DEE/TI – Plan Maestro de Transmisión de Corto Plazo Periodo 2005-2009
- [3] A. D’Ajuz et al., Transitorios Eléctricos e Coordenação de Isolamento. Brasil, 1987.