

ESTABILIDAD DE VOLTAJE - ESQUEMA DE ALIVIO DE CARGA POR BAJO VOLTAJE PARA EL SISTEMA MANABI

Autor

Ing. Luis E. Pesántez S.- TRANSELECTRIC

Resumen

Este trabajo presenta una metodología de estudio para determinar la máxima capacidad de transmisión por el enlace del Sistema Nacional Interconectado al Sistema Eléctrico Manabí. Se analizan las reservas de reactivos en las barras correspondientes, con el objeto de determinar los mínimos voltajes permitidos sin tener inestabilidad de voltaje; se presenta además un esquema de alivio de carga por bajo voltaje para el caso de darse una contingencia y así evitar un posible colapso en la zona, más aún cuando la generación disponible en Manabí usualmente no se encuentra en el despacho económico diario y es limitada.

Se utiliza como herramienta básica el flujo de potencia, pero enfocado a determinar las curvas P-V y Q-V, que son las que permiten conocer los requerimientos indicados anteriormente. Se realizan simulaciones dinámicas con el objeto de determinar el esquema de alivio de carga propuesto.

Palabras claves: Estabilidad de voltaje, curvas P-V, curvas Q-V, esquema de alivio de carga por bajo voltaje EAC.

Abstract

This paper gives a methodology to get the transmission capacity through the link between the National Interconnected System and the Electrical System of Manabí. Also it makes an analysis to find out the reactive sources in the buses and gives an undervoltage load shedding scheme in order to avoid a voltage collapse in the system area due contingencies, considering that Manabí generation is short or it isn't in the economic dispatch..

The power flow is used as a basic tool to build the Q-V and P-V, these curves are used to examine critical operating conditions. Dynamic simulations are performed to adjust the load shedding scheme proposed.

Correspondencia a: Ing Luis Pesántez S.
lpesan@yahoo.com

Introducción

El sistema eléctrico Manabí se encuentra servido desde el sistema nacional mediante la línea de dos circuitos Quevedo-Daule Peripa-Portoviejo de 134.4 Km. con un calibre de 397.5 MCM. La central hidráulica Hidronación, se encuentra ubicada a 91.2 Km. de la subestación Portoviejo de 138/69 kV, que dispone de 2 transformadores de 75 MVA cada uno y alimenta al sistema de subtransmisión de la empresa eléctrica

Entre las zonas del sistema nacional que tienen deficiencia de reactivos y por tanto problemas de voltaje, se encuentra la zona de Manabí, este problema se superó en parte con la entrada en servicio de la Central Hidronación de 210 MW., sin embargo si se presentara una contingencia como la pérdida de un circuito de la línea Daule-Peripa a Portoviejo o si la central sale de servicio, el problema se agudiza fundamentalmente en demanda máxima.

Métodos

La inestabilidad de voltaje puede ocurrir cuando un sistema está altamente cargado, o en un sistema radial con líneas de gran longitud (o en ambos), cuando una de las dos condiciones se presenta:

- La disponibilidad de potencia reactiva de los capacitores, charging de las líneas, generadores y compensadores estáticos de vars (CEV) caen por debajo de las necesidades de reactivos del sistema y de la carga.
- Las fuentes de potencia reactiva no exceden de manera suficiente a las necesidades de reactivos de modo que los voltajes caen.

Ordinariamente, estas condiciones surgen luego del disparo de una línea o generador o una combinación de salida con otros equipos. Sin embargo una inusual alta demanda en el pico o disturbios menores pueden causar que el voltaje caiga. Si no se dispone de suficientes reactivos cuando los voltajes caen, las reservas de reactivos rápidamente se agotan y los voltajes caen aún más, causando un posible colapso total.

Métodos de análisis para la inestabilidad de voltaje

Varios métodos de análisis son válidos para determinar el riesgo de la inestabilidad del voltaje y el margen entre la operación antes y después de la contingencia al punto de colapso. Entre otros el flujo de potencia es la herramienta principal y puede ser usada para preparar las curvas P-V y Q-V con el objeto de determinar los indicadores de proximidad al colapso de voltaje.

Análisis P-V

El análisis P-V es una herramienta para estado estable que desarrolla una curva, que relaciona el voltaje de las barras con la carga del área respectiva o con el flujo por un determinado enlace. Los voltajes en las barras son monitoreados minuciosamente para el incremento de carga que se presenta. Los beneficios de esta metodología es la de dar un indicativo de la proximidad del colapso de voltaje para niveles de carga determinados, de acuerdo a los flujos simulados en el sistema.

El colapso de voltaje se presenta cuando se incrementa la transferencia de potencia en una región determinada y el perfil de voltaje de la región se va degradando poco a poco hasta que se alcanza el punto de colapso de voltaje (codo de la curva) ver figura 1.

Se comienza el análisis P-V con un caso probado de flujos de potencia, el área susceptible al colapso de voltaje puede ser identificada con un análisis de flujos. Los casos que no convergen o tienen una gran desviación de voltaje están cercanos al punto de inestabilidad, si el flujo de potencia tiene la característica de monitorear el dV/dQ de la matriz jacobiana se puede tener información de que barras son proclives al colapso de voltaje, la barra que tiene el mayor cambio en la relación dV/dQ antes del colapso es la barra más débil.

Se tiene tres tipos de representación o modelación de la carga, potencia constante, corriente constante e impedancia constante, la representación de la carga como potencia constante se debe usar a menos que se tenga una representación más precisa de la misma. Para el presente estudio debido a que no se dispone de un análisis de la composición de la carga para Manabí se ha realizado el estudio modelando la carga como potencia constante en los flujos de potencia.

Una curva completa P-V puede ser producida por dos métodos, el primero es por el escalamiento de la carga en el área de estudio e incrementando la generación externa. El segundo es por el

incremento del flujo a través del enlace (transfiriendo generación de la región externa a la región receptora)

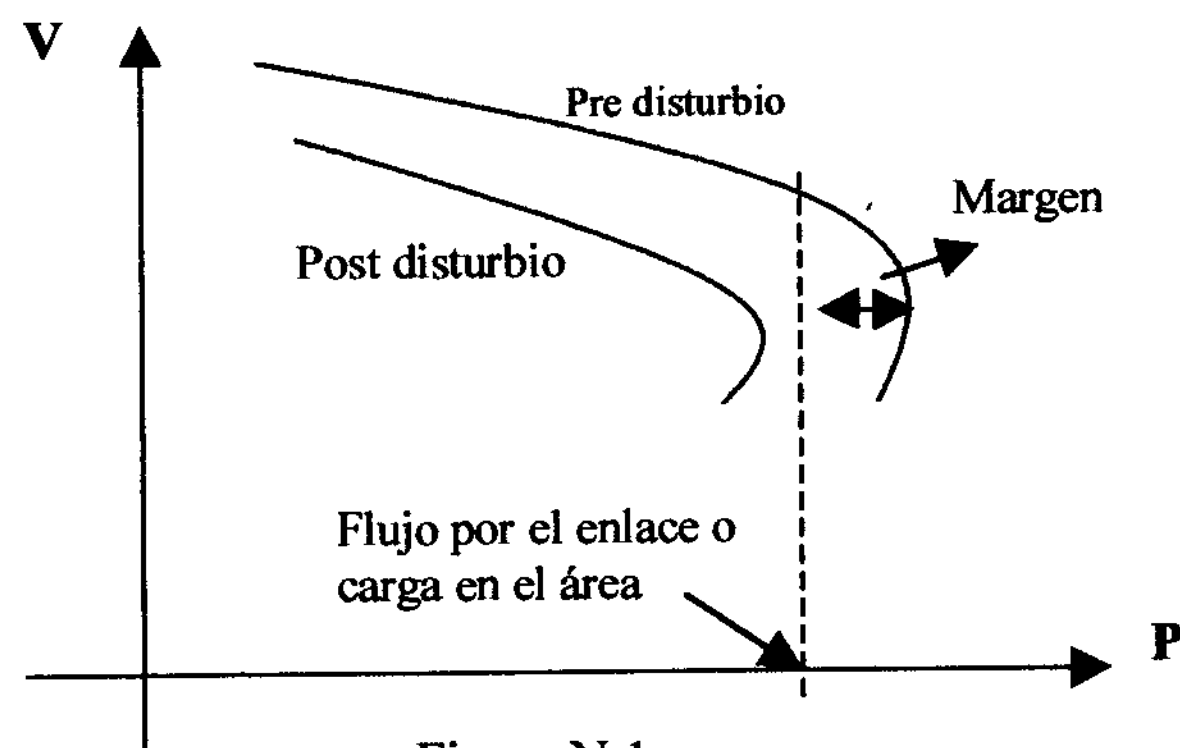


Figura N.1

Análisis V-Q

El análisis V-Q provee otra forma de investigación para el colapso de voltaje, que considera el margen de reactivos en las barras analizadas. Si existe insuficiente o ineficiente control de voltaje en un área que tiene un enlace con alta transmisión de carga durante la operación normal o de contingencia, el voltaje en esta área puede colapsar resultando un apagón en el sistema.

El procedimiento que se tiene para analizar el colapso de voltaje se basa en las curva V-Q; el mismo utiliza un programa de flujos de potencia para su determinación.

Se identifica la barra (s) crítica o la más débil en el sistema para una determinada contingencia, esta es usualmente la barra que tiene la mayor deficiencia en reactivos, en el presente estudio se analizan las barras de la subestación Portoviejo.

Se dibuja la curva y determina el margen de reactivos de acuerdo a la misma. (ver figura N.2)

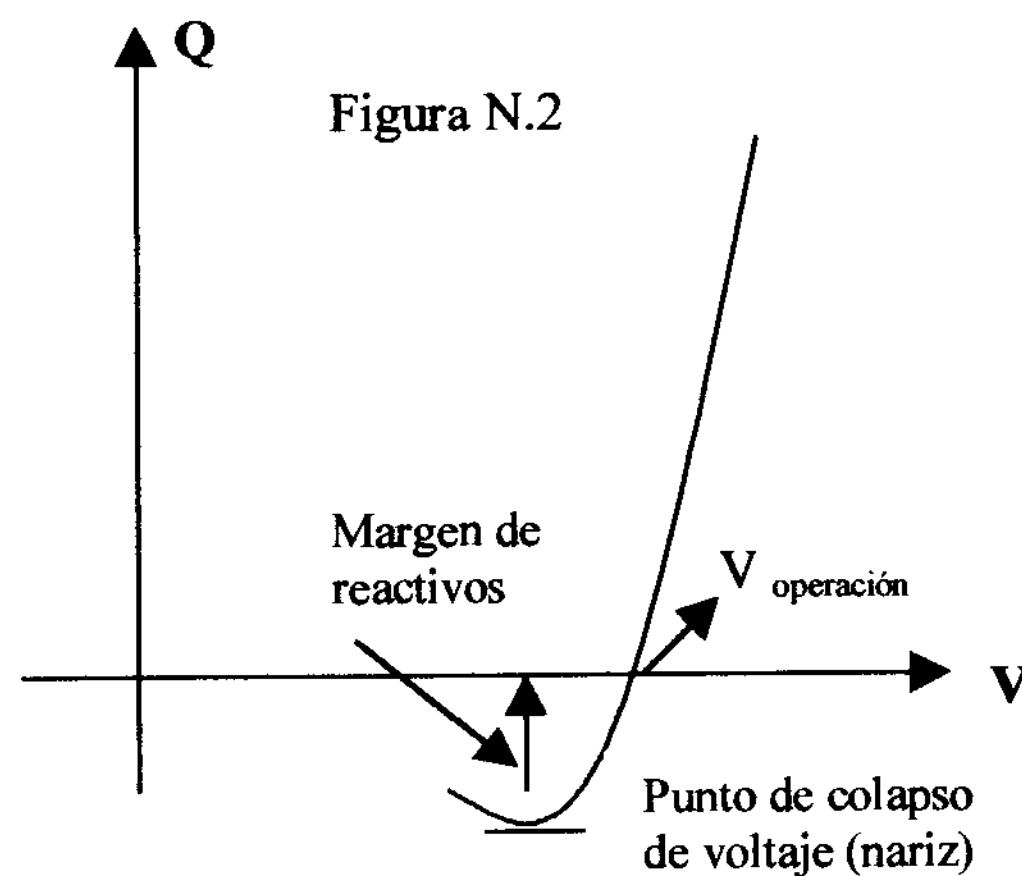


Figura N.2

El punto crítico es el punto mínimo donde $dQ/dV=0$, todos los puntos a la izquierda del mínimo de la curva son inestables, los puntos a la derecha de este punto son estables.

Si el punto mínimo de la curva V-Q está arriba del eje horizontal, el sistema es deficiente en reactivos. Una adicional alimentación de potencia reactiva se requiere para prevenir colapso de voltaje, una gran cantidad de potencia reactiva se necesita a fin de guardar un margen de reactivos, como la distancia entre el eje horizontal y el punto crítico. Un adecuado margen deberá darse para garantizar la seguridad del sistema y mantener la confiabilidad.

Si el punto crítico está bajo el eje horizontal, el sistema tiene margen de reactivos, el sistema puede ser todavía deficiente en reactivos, dependiendo del margen deseado y mantener aceptables voltajes post transitorios, adicional inyección de potencia reactiva se requiere si se desea tener un mejor margen.

La inestabilidad o el colapso de voltaje es influenciado por las características dinámicas de la carga. El colapso de voltaje se inicia en la barra más débil y se extiende a las otras barras deficitarias, Por lo tanto la barra más débil es la más importante en el análisis de colapso de voltaje usando las curvas V-Q.

La barra más débil es la que tiene una de las siguientes condiciones bajo la peor simple o múltiple contingencia.

- Tiene el punto de colapso más alto en la curva V-Q
- Tiene el margen de reactivos más bajo
- Tiene la mayor deficiencia de reactivos.
- Presenta el mayor cambio en el voltaje dV/dQ , coeficiente de sensibilidad

Una metodología para determinar la barra más deficitaria de reactivos en una región es:

1.- Se inicia con un caso base y se simulan contingencias para diferentes situaciones y niveles de demanda (los niveles de carga estudiados, pueden o no estar necesariamente en el punto crítico de la curva P-V)

2.- Se desarrollan curvas V-Q en un determinado número de barras sensibles al voltaje usando el programa de flujos con diversas contingencias de salidas de líneas para determinar los disturbios más

restrictivos y la barra más débil en el área de estudio.

Otro método para determinar la barra más débil es monitoreando dV/dQ en la matriz jacobiana, en las barras del sistema donde la curva P-V es calculada, la barra que tiene el más grande cambio en dV/dQ antes del colapso (nariz) es la barra más débil.

Adicionalmente se pueden realizar análisis de sensibilidad.

Alternativas para mejorar la estabilidad de voltaje

Existen varias maneras para fortalecer el control de voltaje en un sistema eléctrico, unas más efectivas que otras, así como más y menos costosas. Entre otras están las siguientes soluciones:

- Cambiador automático de taps bajo carga LTC en transformadores
- Nuevas centrales de generación en la zona
- Capacitores serie en las líneas.
- Compensadores estáticos de VARS.
- Compensadores sincrónicos.
- Capacitores shunt.
- Esquema de alivio de carga por bajo voltaje.

Para el presente caso se analiza un esquema de alivio de carga por bajo voltaje.

Resultados

Determinación de la máxima capacidad de transmisión por la línea Daule Peripa – Portoviejo.

Como se mencionó anteriormente, para encontrar este valor nos valemos de la realización de las curvas P-V, para lo cual consideramos un flujo de potencia base (se consideró el flujo real que se suscitó el 29/02/2000 para demanda máxima), ver Anexo N. 1, se inicia con un valor bajo de carga en las barras; se va cargando la línea, escalando la carga en Manabí progresivamente, manteniendo el factor de potencia constante, con la generación (interna) de activos de la empresa eléctrica constante, los reactivos que da la misma se incrementan progresivamente hasta que se agotan.

Como un valor referencial se observa (Fig. N.3) que para este despacho y para tener un voltaje de 0.93 pu en la barra de 138 kV. la máxima transferencia por las líneas será de 111 MW., y para

un voltaje de 0.95 pu. la transferencia es de 100 MW.

Con el objeto de conocer cual es la contingencia más crítica, se realiza un análisis dinámico de las mismas, determinándose que la pérdida de un circuito entre Daule-Peripa a Portoviejo es la falla más severa, las fallas consideradas fueron:

- a)-Pérdida de 1 unidad de Hidronación
- b)-Pérdida de 2 unidad de Hidronación
- c)-Pérdida de toda la central de Hidronación
- d)-Pérdida de un circuito Daule-Peripa a Portoviejo

Del análisis dinámico realizado se determinó que la falla más severa que causa una mayor caída de tensión en la subestación Portoviejo es la pérdida de un circuito de Daule Peripa a Portoviejo.

Los valores que se determinan son los siguientes (ver Anexo N. 2)

| Contingencia | Voltaje en barra 138 kV | Voltaje en barra 69 kV |
|------------------|-------------------------|------------------------|
| a-)1 Gen. Fuera | 0.92 pu | 0.99 pu |
| b-)2 Gen. Fuera | 0.91 pu | 0.98 pu |
| c-)3 Gen. Fuera | 0.86 pu | 0.94 pu |
| d-)1 Circ. Fuera | 0.81 pu | 0.88 pu |

El análisis se realiza para las barras de 138 y de 69 kV, tanto para condiciones normales de operación como para la peor contingencia analizada, los resultados determinados para la barra de 138 kV se indican a continuación:

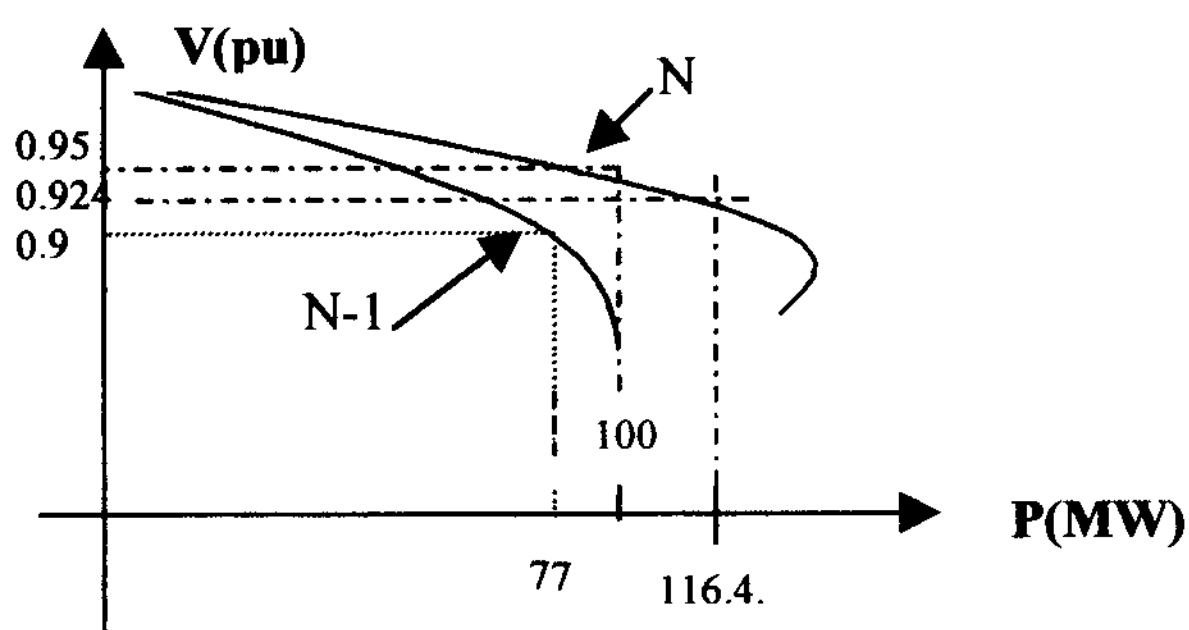


Figura N.3

De acuerdo a lo que se observa en el gráfico anterior (Fig. N.3) se tiene que para la máxima demanda transferida de acuerdo al flujo que se tuvo ese día, se tiene 116.4 MW. de carga con un voltaje de 0.924 pu. Se observa también que si se presenta la contingencia, ya no se tiene margen de activos, la curva no llega a cortar la recta de carga nominal, esto significa que no podemos servir esta carga.

Una vez que se presente la contingencia y considerando que no podemos bajar de un voltaje de 0.9 pu, de acuerdo a lo que indica la Regulación 011/99 de Procedimientos de despacho y operación documento que rige actualmente en el sector eléctrico; la carga que se deberá seccionar es:

$$\begin{aligned} \text{Carga a seccionar} &= 116.4 \text{ MW} - 77 \text{ MW} \\ &= 39.4 \text{ MW} \end{aligned}$$

que corresponde al 32.6 % de la carga máxima servida. Este valor será considerado cuando se analice esquema de alivio de carga.

La curva P-V que se tiene para la barra de 69 kV, se indica a continuación (figura N.4), se debe notar que al actuar los LTC de los transformadores los voltajes son menos críticos que en el estudio previo. De manera similar al caso anterior se tiene un pequeño margen de transferencia para el sistema sin falla, pero al presentarse esta ya no tenemos margen para transferir la carga deseada.

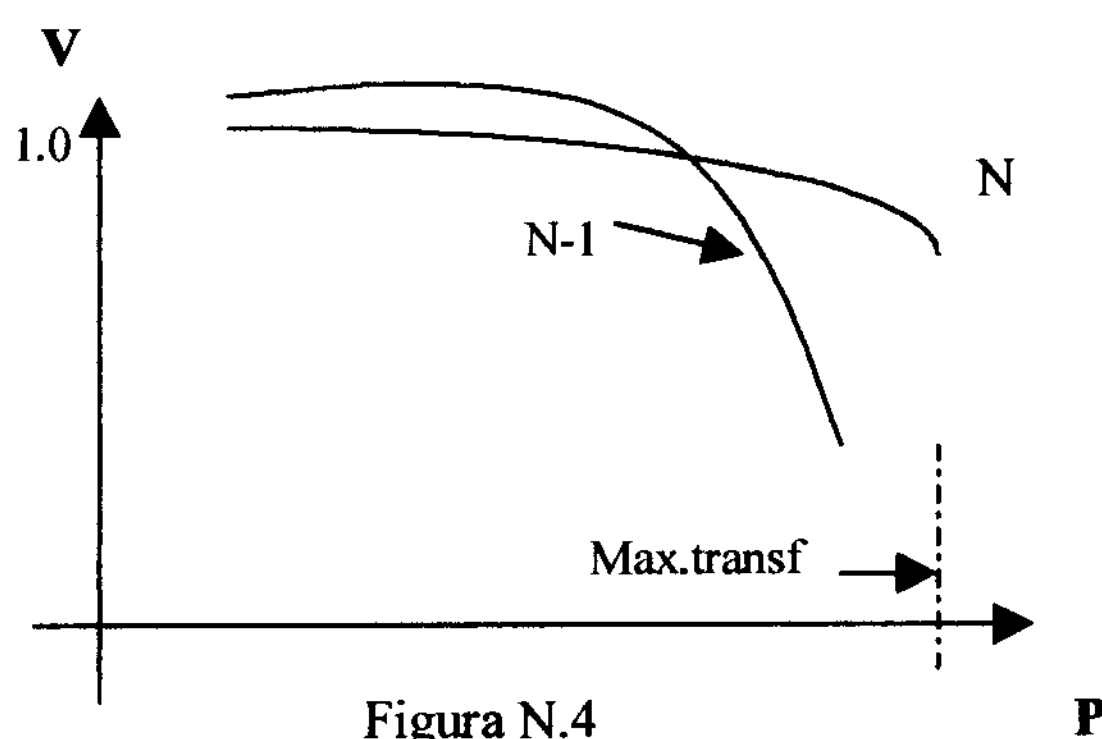


Figura N.4

Determinación de la reserva de reactivos de las barras de la subestación Portoviejo.

Para encontrar este valor se realiza el procedimiento indicado para construir las curvas Q-V, para lo cual se considera el flujo de potencia base anteriormente mencionado, se inicia con un valor alto de tensión en el condensador sincrónico ficticio; la carga en la barra es la de demanda máxima que se mantiene constante, y se van registrando los reactivos entregados por el condensador sincrónico y los voltajes en terminales.

A continuación en la figura N. 5 se observan las curvas que nos indican el margen de reserva de reactivos en la barra de 138 kV, para un flujo por el enlace de 116.4 MW. Cuando se tienen las dos ternas de la línea operando tenemos un margen de reactivos, lo que nos permitiría circular un mayor flujo por la línea analizada, sin embargo para la

contingencia N-1 (pérdida de un circuito) al no cortar la curva con el eje de las abscisas ya no se dispone de margen de reactivos siendo la barra deficitaria de los mismos. Esto confirma lo indicado al realizar el análisis de las curva P-V que no se tiene margen con la contingencia.

Como complemento y con el objeto de conocer la cantidad de capacitores que se necesitaría instalar para tener un margen para soportar la contingencia, se analiza los MVAR entregados ($MVAR_{ent} = V^2 * MVAR_{nom}$) para el voltaje que deseo operar, por ejemplo de la curva se observa que si deseo tener un $V=0.9$ pu, se requiere 45 MVAR, entonces los capacitores que necesito serán $45/0.9^2 = 55$ MVAR. Otra alternativa es trazar familia de rectas correspondientes a diferentes capacitores y en el punto donde corta la recta con la curva se tiene el nuevo voltaje de operación y se determinan los capacitores necesarios, naturalmente el voltaje que deseamos tener lo seleccionamos previamente.

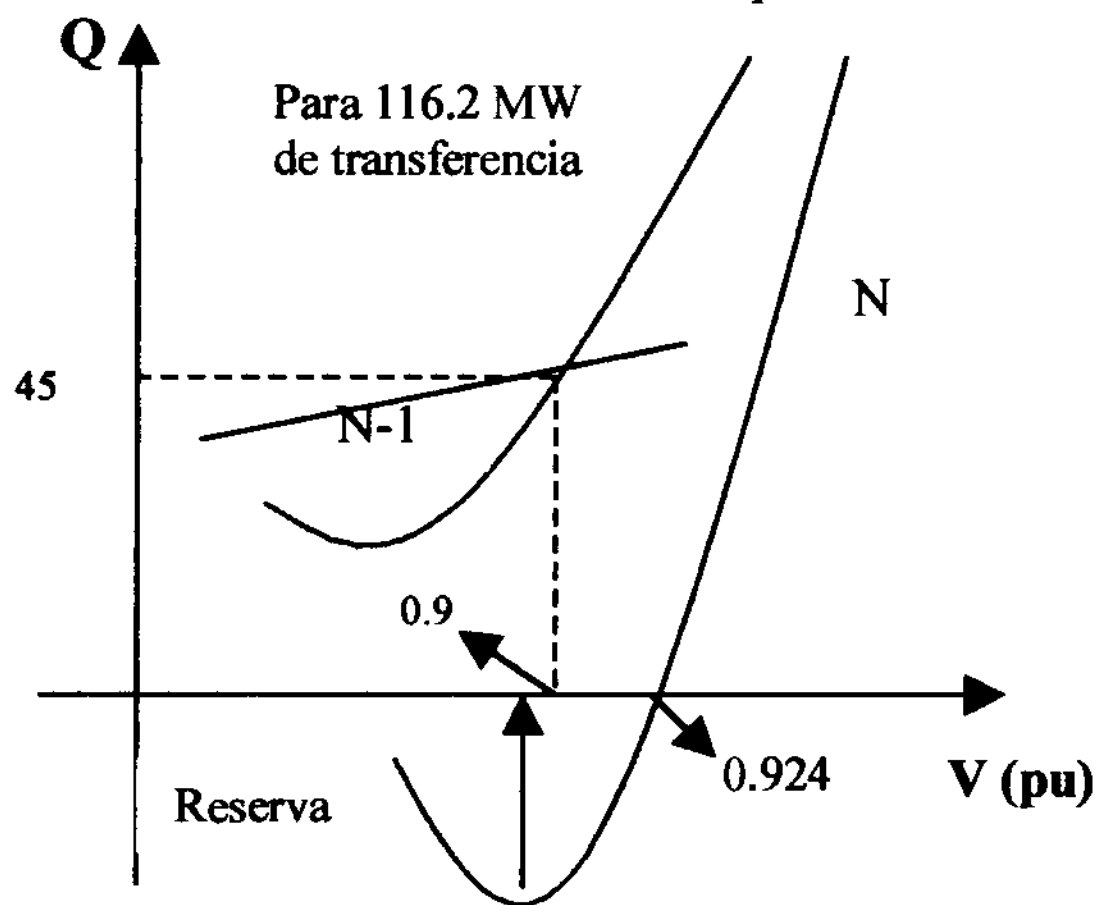


Figura N.5

Esquema de alivio de carga:

Como una alternativa de solución para evitar caer en el colapso de voltaje, se analiza esta opción que es mucho más económica que construir nuevas líneas o instalar generación en la zona, adicionalmente estos proyectos toman mucho tiempo hasta ponerlos en operación.

Se puede pensar en realizar el corte de carga de manera manual, sin embargo esto podría llevar al colapso debido a que hasta que los operadores de los centros de control de Transelectric y del CENACE, coordinen esta acción pueden pasar minutos valiosos que podrían ocasionar un apagón, ante un pequeño incremento de carga o cambio en su factor de potencia. Se debe indicar también que al perder el un circuito de la línea, el circuito restante se sobrecarga, por tal motivo este esquema además de evitar el colapso, ayuda a aliviar la

sobrecarga en la línea indicada. En el anexo N. 2 se puede observar los voltajes en la subestación de Portoviejo ante esta falla, cae a valores menores a 0.9 pu, en la barra de 138 kV y menores a 0.95 pu en la de 69 kV, valores que son los mínimos permitidos de acuerdo a lo que indica la Regulación 011/99 Procedimientos de despacho y operación. Con el objeto de recuperar el voltaje a valores adecuados 0.9 pu o más, se diseña un esquema de alivio de carga por bajo voltaje, que permita llegar al voltaje mencionado, adicionalmente se supera un voltaje crítico que puede causar el colapso en la zona, ante cualquier inesperado incremento de carga.

El esquema considera que se debe seccionar un 32.6 % de la carga, después de 3 seg. que el relé detecta el bajo voltaje (el análisis se lo realiza para demanda máxima), debido a que el voltaje cae súbitamente y a pesar que se estabiliza la recuperación del mismo debe ser inmediata, por tal motivo se secciona toda la carga en un solo paso. En cuanto al retardo de tiempo considerado este puede variar entre 3 a 5 seg.

El porcentaje indicado, 32.6 % de seccionamiento de carga, se determina realizando simulaciones dinámicas, sin embargo al realizar las curvas P-V, se determinó ya este valor con gran aproximación

En el anexo N. 3 se puede observar la recuperación de los voltajes una vez aplicado el esquema, ahora bien el voltaje se estabiliza en 0.9 pu en la barra de 138 kV, con el objeto de mejorarlo y una vez que el voltaje superó valores críticos, se puede disponer de generación forzada en las unidades de la empresa eléctrica con el objeto de tener mejores valores de tensión.

Una vez que se realiza el seccionamiento de carga, y con el un circuito de la línea fuera de servicio, se realizan las curvas P-V y P-Q, (figuras 6 y 7) determinándose los resultados que se esperaban, es decir para el voltaje de operación 0.9 pu, en la curva P-V, la correspondiente transmisión de potencia es 77 MW. y para la curva Q-V esta corta en el eje de las abscisas, en el voltaje de operación determinado es decir en 0.9 pu.

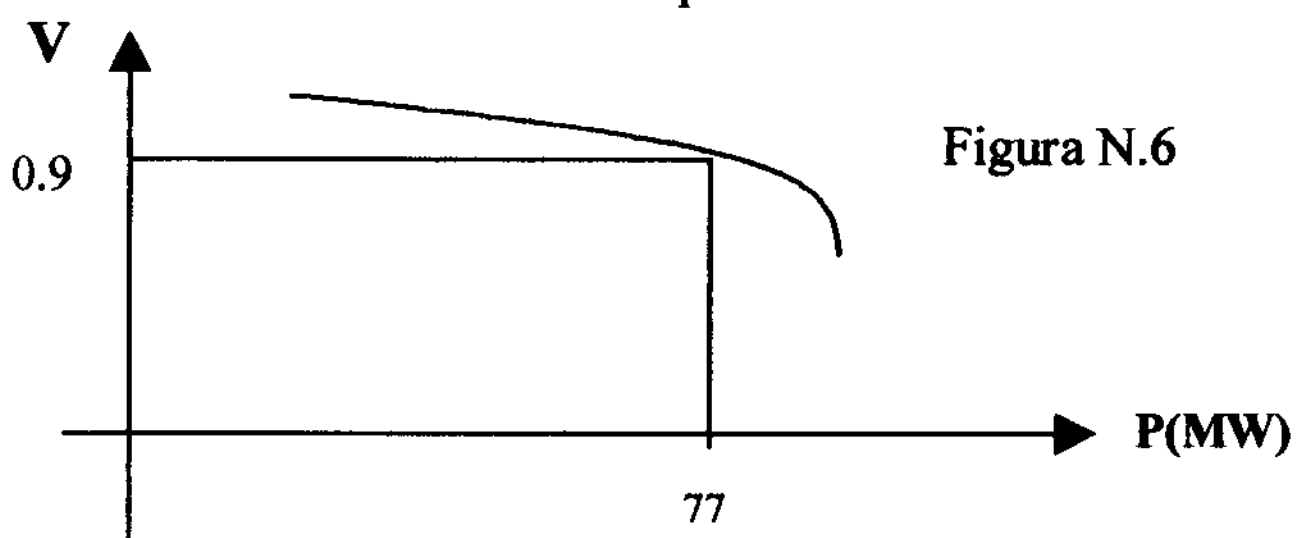


Figura N.6

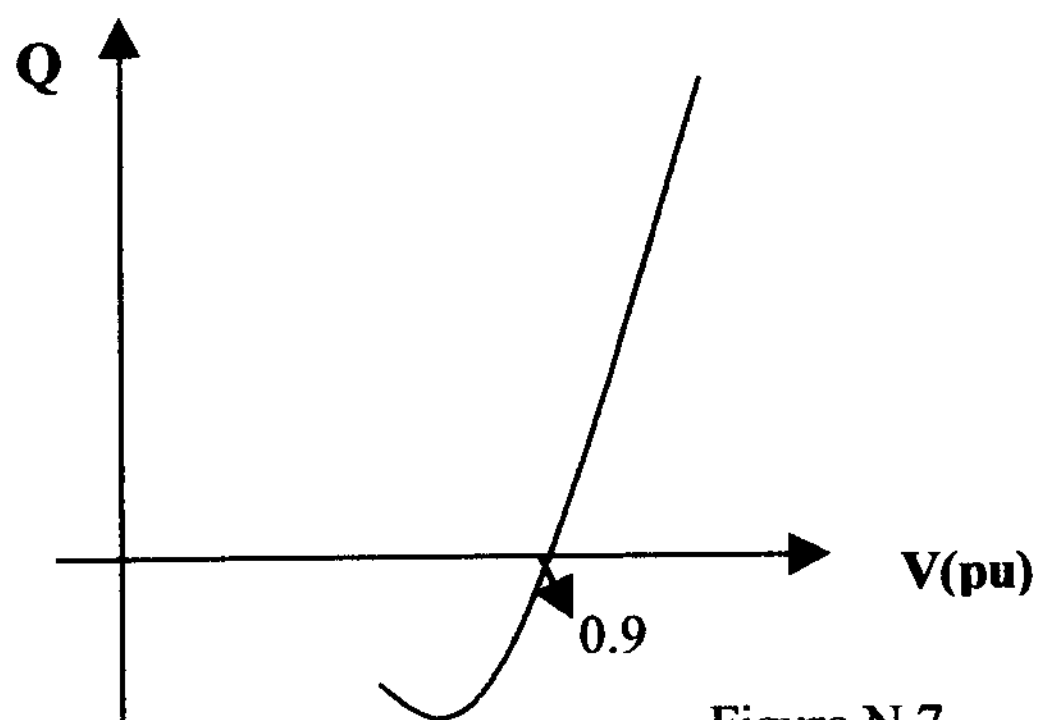


Figura N.7

Discusión

El análisis curvas Q-V y P-V se pueden usar para determinar los márgenes de potencia activa y reactiva para un amplio rango de condiciones de operación; las curvas Q-V permiten determinar la compensación reactiva en una barra, de modo de conocer cuantos MVAR de capacitores o CEV se debe instalar con el objeto de tener un margen adecuado de reactivos.

El análisis de las curvas P-V nos permite conocer la máxima capacidad de transferencia por una línea para una determinada condición de operación y regulación de tensión.

Con el objeto de tener resultados más precisos es necesario que la composición de la carga se la modele lo más cercano a la realidad debido a que el problema depende de cuan sensible sea la carga con las variaciones del voltaje, por tal motivo sería importante a futuro realizar este tipo de estudios, no solo para Manabí sino para el país.

El esquema de alivio opera solamente en demanda máxima debido a que en demandas media y mínima no se presentan problemas de voltaje, sin embargo de presentarse el caso el esquema operará adecuadamente.

Estas herramientas ayudan a que los operadores de los sistemas eléctricos, conozcan cuales son los puntos de operación adecuados de sus líneas con el objeto de no caer en problemas de inestabilidad de tensión, y establezcan límites o márgenes aceptables de operación.

El estudio se lo realiza con toda la central de Hidronación en línea, si están solamente dos o menos unidades operando, las condiciones son más críticas y se justifica aún más el esquema

Al ser el problema del control de voltaje, muy particular para cada subsistema, se deben realizar estudios específicos con el objeto de encontrar una solución para cada caso.

El trabajo aborda tres temas, cada uno de ellos se puede estudiar con mayor amplitud y ser un tema independiente, por tal motivo sería interesante estudiarlos más profundamente y aplicarlos en otras zonas del SNI, de modo de determinar las barras débiles y robustas del sistema, capacidades de transferencia de líneas, estabilidad de voltaje, cuantificar la compensación reactiva en barras, determinar la reserva de potencia activa y reactiva, esquemas de alivio de carga por bajo voltaje etc.

Es importante disponer de la información adecuada de los sistemas de control de las centrales de generación, especialmente para este caso de los sistemas de excitación involucrados, con el objeto de modelarlos adecuadamente y tener una respuesta correcta al realizarse la simulación.

Debido a que la zona de Manabí, no tiene reservas de reactivos, es importante la instalación de las mismas, la más adecuado será instalar capacitores.

Reconocimiento

Al Ing. Luis Ruales por sus comentarios y sugerencias.

Referencias

Harrison Clark, *The voltage collapse phenomenon*

WSCC, *voltage stability criteria, undervoltage load shedding strategy and reactive power reserve*

R.J. Koessler, C.J. Rosecrans, *Optimal power flow, a new tool for analyzing voltage collapse.*

R.J. Koessler, *Voltage collapse analysis, using IPLAN*

Florencio Aboytes G, *Control de voltaje y frecuencia en Sistemas Eléctricos de Potencia.*

Regulación 011/99 Procedimientos de despacho y operación del MEM.

Unidad de Ingeniería Especializada de CFE *Aplicación del simulador PSS/E para estudios de SEP.*

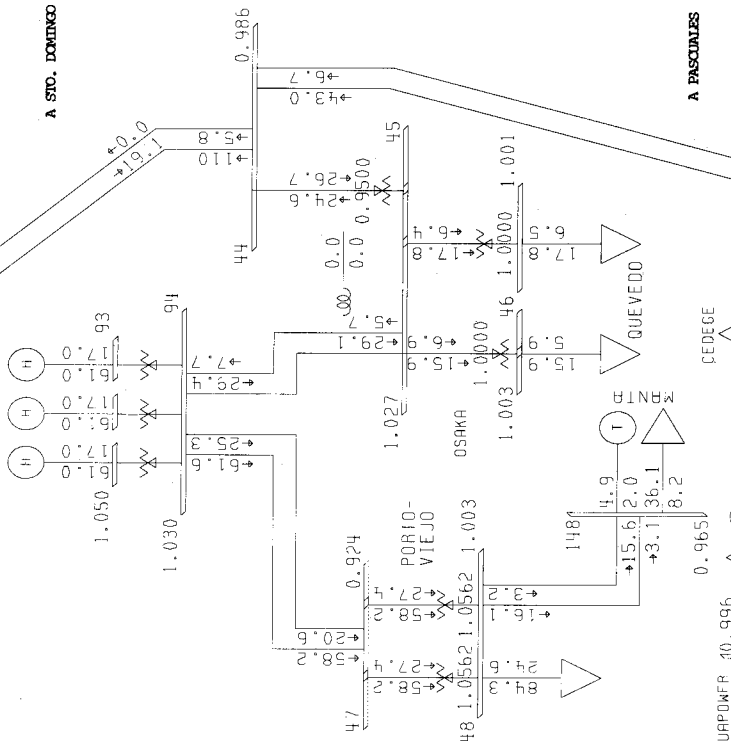
Biografía



El autor es ingeniero eléctrico, graduado en la Escuela Politécnica Nacional ha prestado sus servicios en INECEL desde 1984 trabajando principalmente en análisis, diagnóstico y planificación de los sistemas de subtransmisión y distribución en las empresas eléctricas y luego en el área de Planeamiento del CENACE por dos años; actualmente trabaja en la Compañía de Transmisión TRANSELECTRIC, en el área de Estudios, entre las principales actividades que realiza están el desarrollo del Plan de Expansión del SNI, y en estudios flujos de potencia, análisis de cortocircuitos, estabilidad transitoria y estudios de la operación del sistema nacional.

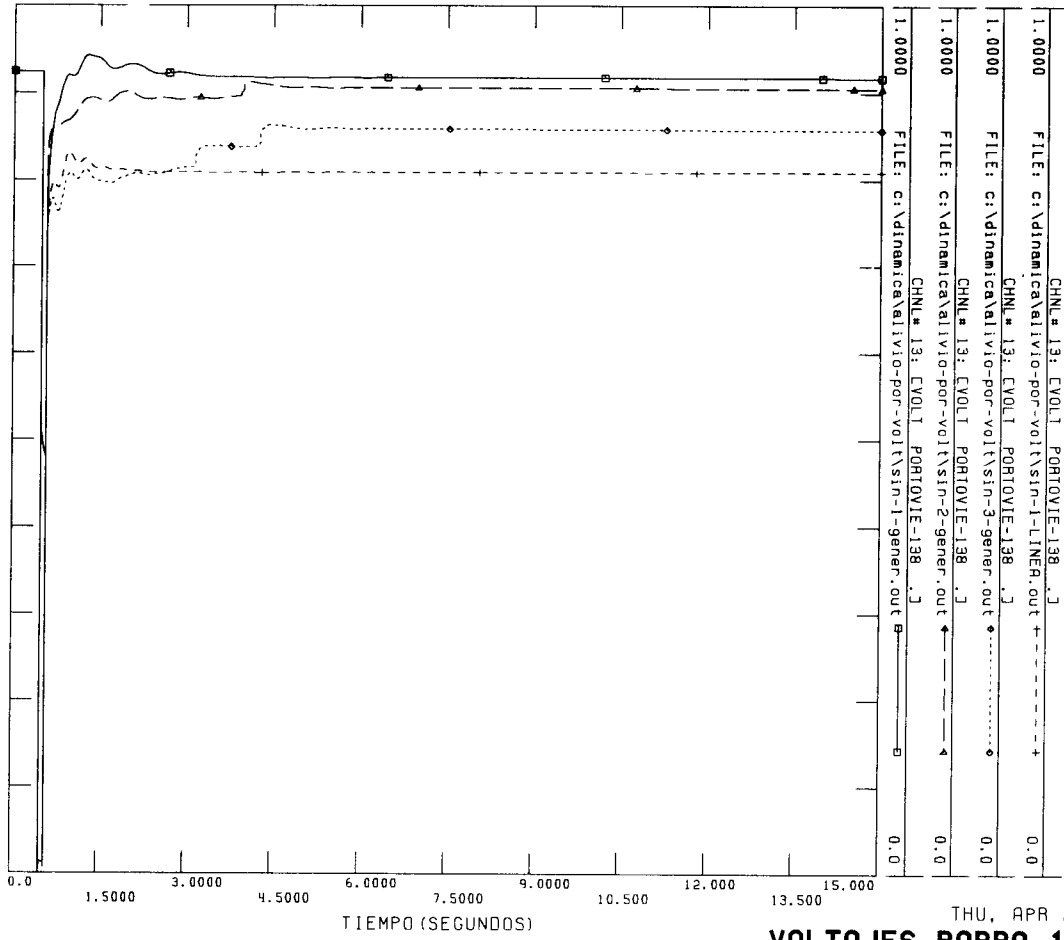
A STO. DOMINGO

A PASCUAYLES





FLUJO DE POTENCIA DEL SNI - DEMANDA MAXIMA - 29/FEB/2000
 DIA MARTES REPL - PARA ING. L. PESANTEZ
 VOLTAJE EN LA BARRA, LUEGO DE LA CONTINGENCIA
 INDICADA

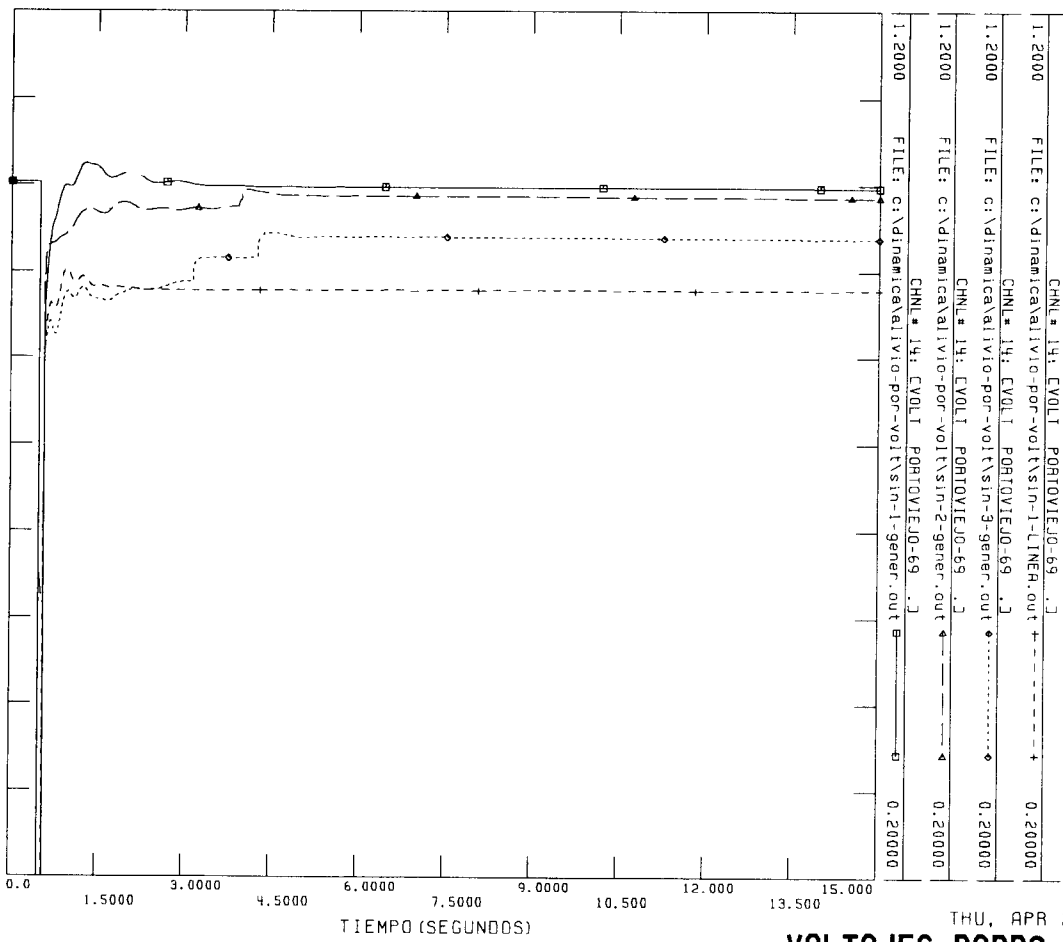


THU, APR 27 2000 10:07

VOLTAJES BARRA 138 KV PU.



FLUJO DE POTENCIA DEL SNI - DEMANDA MAXIMA - 29/FEB/2000
 DIA MARTES REPL - PARA ING. L. PESANTEZ
 VOLTAJE EN LA BARRA, LUEGO DE LA CONTINGENCIA
 INDICADA



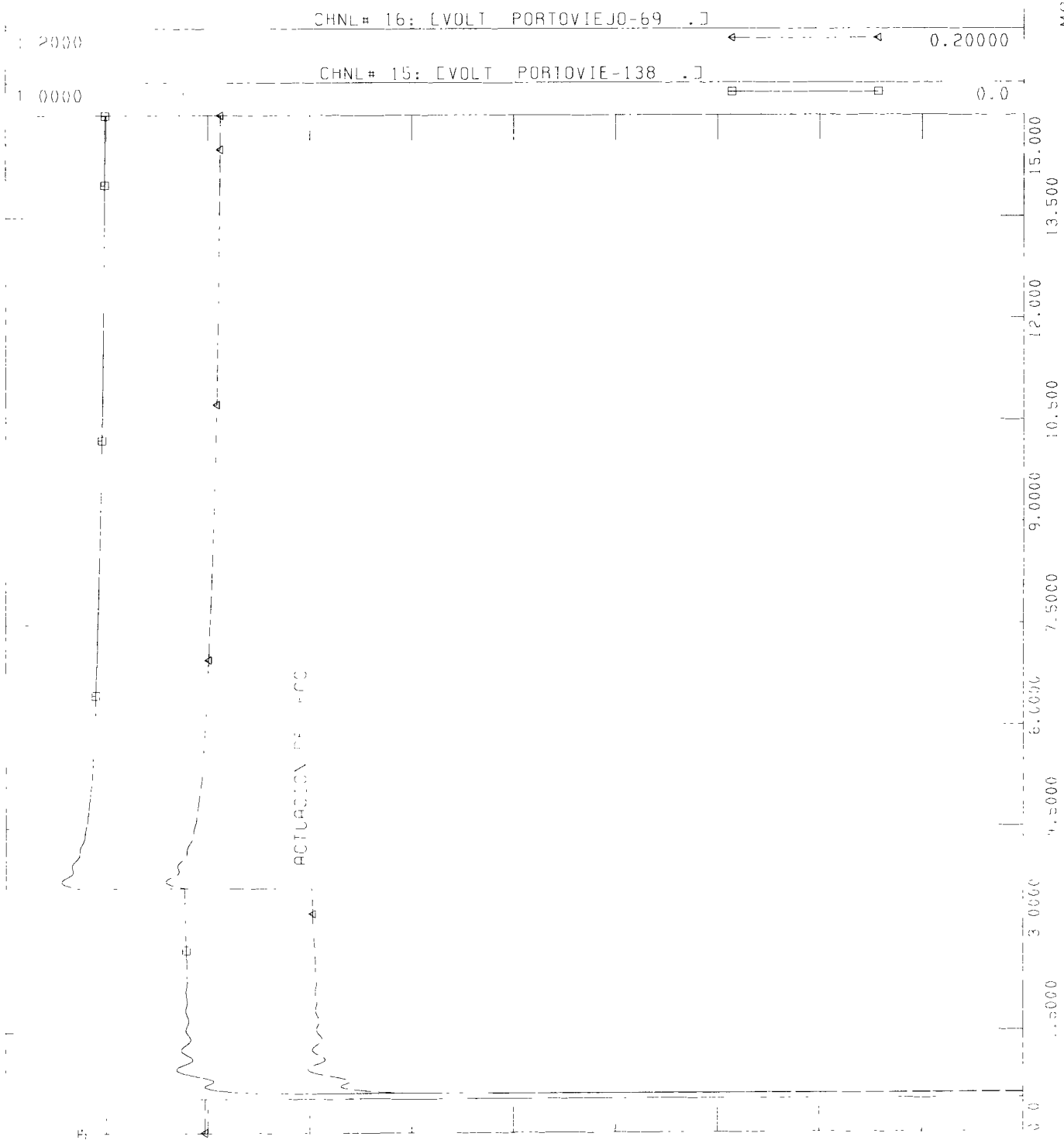
THU, APR 27 2000 10:07

VOLTAJES BARRA 69 KV PU.

ANEXO N.2



FLUJO DE POTENCIA DEL SNI - DEMANDA MAXIMA - 29/FEB/2000
 DIA MARTES REAL - PARA INC. L. PESANTEZ
 VOLTAJES DE BARRAS, PERDIDA DE UN CIRCUITO DAULE PERIPA
 PORTOVIEJO, ACTUACION DEL ESQUEMA DE ALIVIO DE CARGA
 FILE: C:\dinamica\alivio-por-volt\af-RELE-1.out



ANEXO N.3

MUN, APR 24 2000 13:51
 VOLTAJES EN BARRAS EN PU.