



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

Estabilidad de tensión en Redes de Distribución Radial – Un caso de estudio.

‡Ing. Ricardo Alonso, ‡ Ing. Vidal Fretes, ‡ Ing. Guillermo Alonso

‡Administración Nacional de Electricidad - ANDE, e-mail: ing.ricardo.alonso@gmail.com

Paraguay

RESUMEN

La estabilidad de tensión es una cuestión que viene siendo abordado desde hace décadas, principalmente en redes de transmisión. En redes de distribución el enfoque de este análisis debe ser encarado considerando algunas variaciones en el modelo tradicional, principalmente debido a los consabidos problemas de desequilibrio y de la relación R/X que mal condiciona la matriz Jacobiana. La extensión de los alimentadores es un asunto dentro de las peculiaridades de nuestro sistema, el caso de estudio en particular se refiere a un alimentador de distribución (23kV) de aproximadamente 120km en la troncal. Durante el verano del 2016-2017 fueron observados fenómenos que típicamente son síntomas de inestabilidad, por ejemplo: periodos de baja tensión sostenida, aumento de la potencia aparente, operación de equipos de protección e incapacidad de los reguladores de tensión de mantener niveles adecuados de tensión. Estos fenómenos se manifestaban generalmente próximos a la demanda pico del sistema.

El análisis de estabilidad de tensión puede ser evaluado en régimen permanente por medio de los perfiles de tensión en barras críticas en función a condiciones de carga. Estas son las llamadas curvas PV, que proveen considerable visión sobre el comportamiento del sistema.

Generalmente los procedimientos basados en Newton - Raphson son llevados a cabo para construir estas curvas PV incrementando lentamente la demanda hasta llevar al sistema a la bifurcación del tipo silla-nodo (por ejemplo) que corresponde al punto de demanda máximo. En ese punto la matriz Jacobiana tiende a una singularidad. Como se ha mencionado, hay razones que llevan a buscar otra estrategia para evaluar el punto de silla-nodo. A continuación será presentada una metodología para resolver estas peculiaridades.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

PALABRAS CLAVES

Redes de distribución radial, estabilidad de tensión, curva silla-nodo.

1. Introducción:

La estabilidad de tensión ha sido un problema crítico para los sistemas de potencia debido al continuo incremento en la demanda, condiciones socioeconómicas/ambientales que restringen el montaje de nuevas instalaciones y la aparición de fuentes no convencionales. También modificaciones en la configuración de los circuitos pueden llevar al colapso inesperado de tensión. En nuestro país, la necesidad de llevar el servicio de provisión de energía eléctrica obliga a tomar las acciones más inmediatas y al menor costo, muchas veces estas acciones son tomadas mientras se busca la opción técnica y económicamente más viable, así como también la captación de fuentes de financiamiento para lograrlo. Estas medidas llevan a la operación crítica de los circuitos, este trabajo de cuyos antecedentes similares o previos no tenemos conocimiento, muestra como un fenómeno inesperado puede ocasionar serios inconvenientes en todos los aspectos del negocio empresarial.

La estrategia de análisis empleado en este trabajo consiste en la utilización de herramientas conocidas en el ámbito de la Trasmisión (como el método de la continuación) y adaptar el concepto a las peculiaridades de las redes de distribución (desequilibrio de las demandas de fases, la no trasposición y la relación R/X.)

Este estudio fue realizado utilizando el método de la barradura directa inversa como herramienta para el Flujo de Potencia, aplicando el concepto del Método de Continuación para trazar la curva PV.

2. Fenómeno Observado.

El presente análisis surge como una “curiosidad” ante los problemas que serán citados a continuación: En los meses de febrero y marzo en los horarios comprendidos entre las 13:00 a 16:00 hs y las 20:00 y 24:00 hs se registraron problemas de baja tensión y disparo de protecciones del alimentador analizado (en la figura 1 se puede notar una oscilación en la demanda con duraciones

RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

entre 10 a 60 segundos coincidente con el punto de mayor demanda del circuito), en fechas 08 y 09 de marzo se registraron más de 50 fluctuaciones de tensión. Estos problemas se acentúan con la tensión degradada en la fuente (con valores de 22,3kV en horarios de punta.)

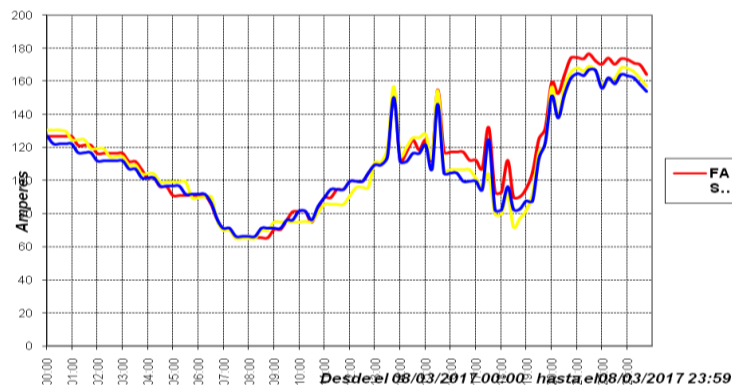


Figura 1 Registro de Corriente del Alimentador 23kV Fecha 08/03/17

Es importante señalar que las fases presentan desequilibrio debido, entre otras cuestiones, a la asimetría en la disposición de los conductores y la falta de trasposición, así como a la presencia de circuitos y cargas monofásicas.

3. Motivación.

Luego de descartar averías mediante exhaustiva inspección de los elementos de la red con las tecnologías disponibles (inspección termografía, prueba de tensión de elementos de red, etc.), y luego de descartar estas como causales de los inconvenientes, surgió la motivación de buscar otras posibles causas de los problemas que se presentaron.

Los síntomas evidenciados según el apartado anterior llevan a suponer la presencia de problemas de inestabilidad de tensión (Benavides, et al).

A partir de este supuesto se construye una metodología para la determinación del flujo de potencia por el método de la Barredura/Inversa incrementando la potencia de los nodos en pasos conforme el concepto utilizado en el Método de la Continuación.

Con los resultados de este análisis se construye un ranking de las barras críticas. Por simplicidad se equivalentan cargas (Figura 4: en este caso una sola carga y nodo para los centros poblacionales).

RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

Es de suponer que las barras (nodos) más críticos serán aquellos donde existe concentración de carga, al tratarse de un sistema radial.

4. Metodología utilizada

Como ya se ha mencionado el método de la barredura directa/inversa es el utilizado para determinar Flujo de Potencia y mediante esto: la curva PV. La demanda es incrementada en pasos suficientemente pequeños hasta alcanzar la inestabilidad. Los reguladores de tensión (RT) son colocados en modo automático. El setup de los mismos está definido para mantener la tensión en el orden del 0.9 a 1.1 p.u. Se obvia la actuación de relés de protección ubicados en el circuito.

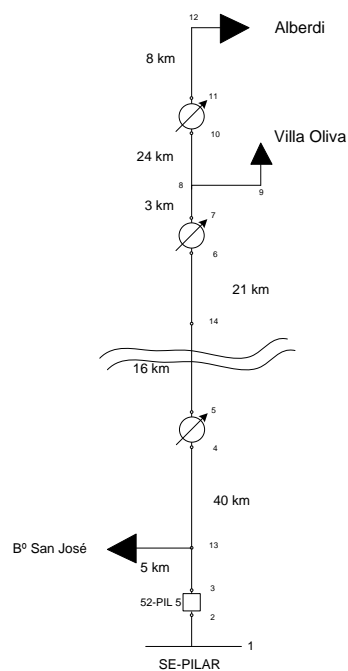


Figura 2 Diagrama unifilar del Alimentador 23kV

Con esta herramienta, se determinan varias condiciones de operación, con lo que se pretende inferir que el límite de carga corresponde aproximadamente a la demanda a la cual se presentan los fenómenos mencionados.

RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

5. Simulaciones: a continuación se presentan algunas simulaciones realizadas mediante la metodología propuesta con el fin de determinar las condiciones límites de carga del alimentador.

a. Sin reguladores de tensión:

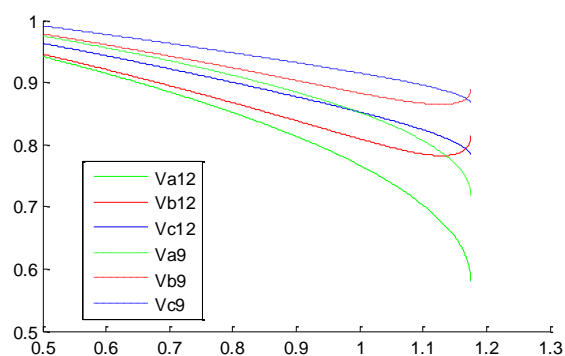


Figura 3 Tensiones en la barra 9 y 12 (sin actuación de reguladores de tensión)

Esta simulación muestra el comportamiento de la tensión en la barra 12 y 9 (barras PQ), para factores de carga del orden del 15% sobre la carga inicial se llega al punto de colapso. Tampoco hay inyección de reactivos en ninguna barra. Se puede observar que la barra crítica corresponde a la barra 12.

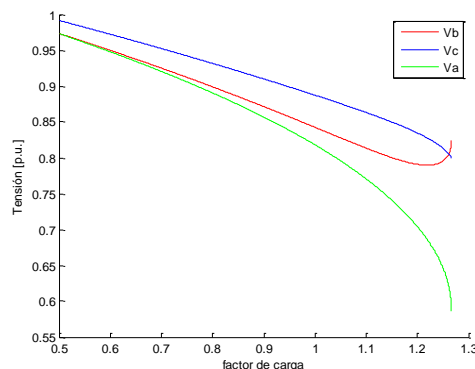


Figura 4 Tensiones en la barra 12 (sin actuación de reguladores de tensión)

Esta simulación incluye la inyección de 600kVAr en la barra 11. Se puede ver un ligero incremento del punto del margen de carga. Sin embargo las tensiones son críticas muy por debajo de los niveles mínimos permitidos.

RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

- b. **Con reguladores de tensión:** en este caso el punto de colapso se ubica en 50% de la carga inicial. Una inyección adicional de 600kVAr en la barra 11 consigue llevar ese punto de colapso a cerca de 60% de la carga inicial. Las tensiones se mantienen dentro de valores aceptables.

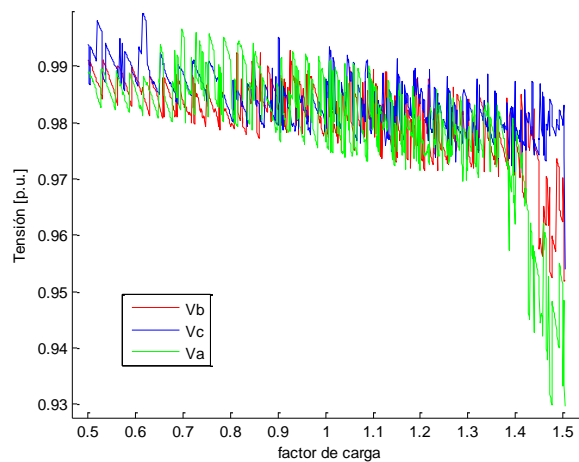


Figura 5 Tensiones en la barra 12 (con la actuación de reguladores de tensión)

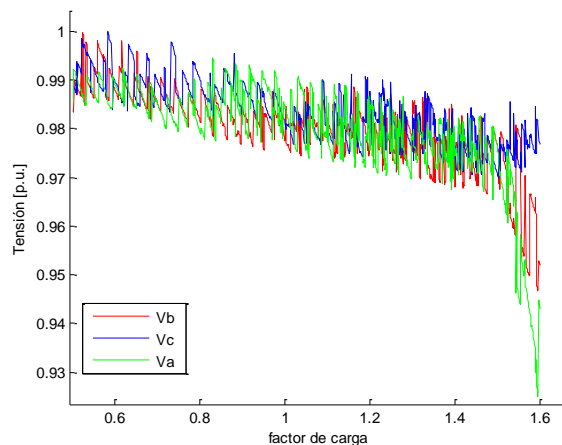


Figura 6 Tensiones en la barra 12 (con la actuación de reguladores de tensión e inyección de 600kVAr en la barra 11)

- c. **Con reguladores de tensión y con tensión degrada (0.97 p.u.) en la cabecera del alimentador:** esta situación fue observada en los meses de mayor demanda del

RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

sistema. Se puede observar que en estas condiciones es imposible mantener las tensiones con valores admisibles y el punto de colapso se presenta en torno al 45% sobre la potencia inicial. **Este caso correspondería a lo observado en oportunidad de los eventos señalados.**

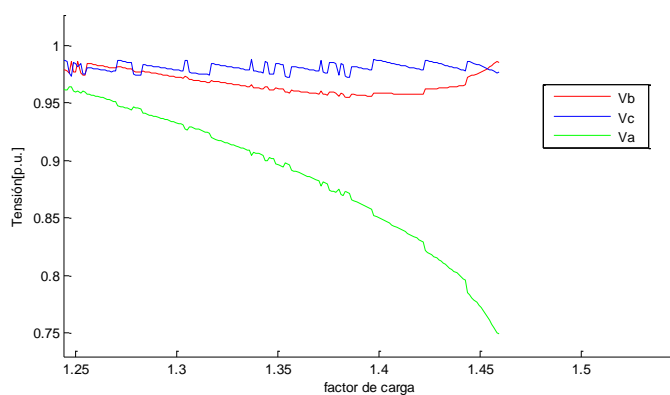


Figura 7 Tensiones en la barra 12 con tensión degradada (0.97 p.u.)

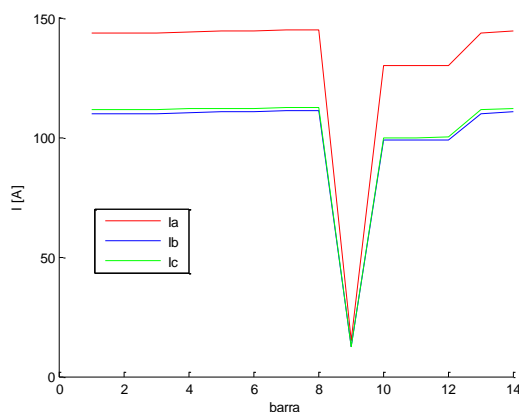


Figura 8 Corrientes en barras del alimentador PIL-05 con tensión degradada.

- d. **Con trasposición de fases:** se puede observar que la acción de trasponer fases mejora sustancialmente el margen de carga tal como se puede observar en las figuras siguientes.

RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

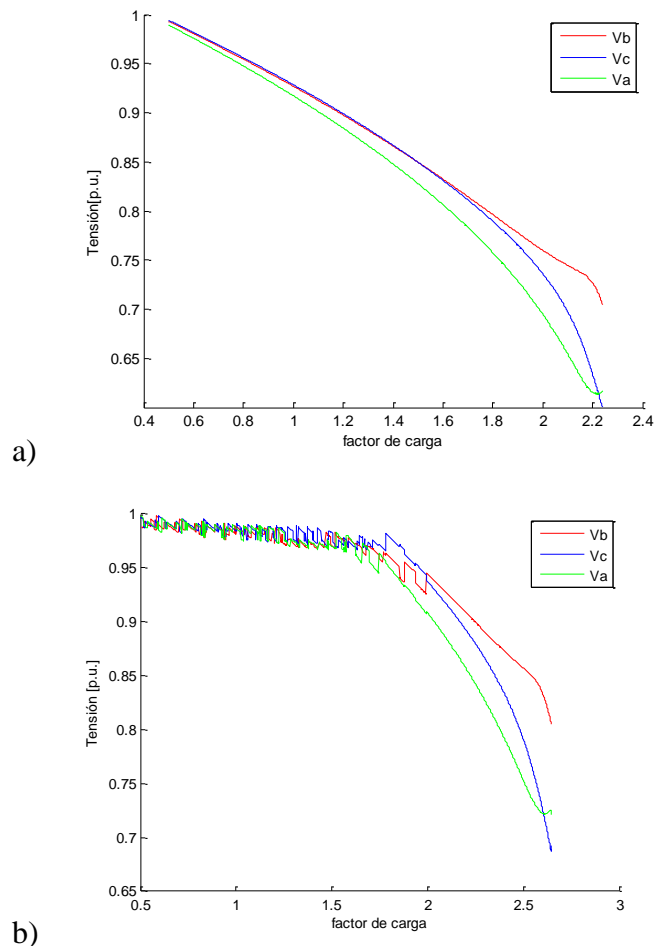


Figura 9 a) Tensiones en la barra 12 luego de la transposición sin acción de reguladores de tensión.

b) Tensiones en la barra 12 luego de la transposición con acción de reguladores de tensión.

6. Conclusiones.

En primer término los resultados de la metodología empleada para determinar el punto de colapso coinciden con lo observado en el comportamiento del alimentador durante los periodos de carga pesada, lo que a priori evidencia que los problemas manifestados corresponden a inestabilidad de tensión. Se puede observar que en el punto de colapso las corrientes se aproximan a la corriente de Pick up de los reconectores que se encuentran en el circuito. Esta situación ya fue prevista, dado que se han registrado operaciones en los equipos durante la presencia de este fenómeno.



RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

Como es de esperar los reguladores de tensión y la inyección de reactivo en la proximidad de las barras críticas mejoran el margen de carga. Trasposición de fases puede mejorar el margen de carga, dado que una de las fases se aproxima más rápidamente al punto de colapso que las demás fases. Esto es debido al desequilibrio propio de las redes de distribución radial.

Medidas Paliativas:

Monitoreo de demanda del alimentador y tensión en los reguladores: conocido el valor de la demanda y condiciones de tensión en la fuente y en los reguladores de tensión ubicados en el alimentador es posible anticipar el momento en que ocurrirán los inconvenientes y así evitar la inestabilidad y sus efectos. Entre las medidas a tomar podríamos citar: alivio de carga, inyección de reactivos por medio de bancos de capacitores fijos, etc.

Estudio de ubicación de RT próximos a la fuente y Banco de Capacitores próximos al centro de mayor demanda: medidas con el objeto de elevar la tensión de salida del alimentador de modo a paliar el inconveniente de la operación con tensión degradada y mejorar la cargabilidad del circuito respectivamente.

Restricción operativa sobre alimentador 23kV: como medida inmediata, se restringe la transferencia de cargas sobre el alimentador, ya que esta condición reduce el margen de carga disponible antes del colapso.

Trasposición de fases: no es usual realizar trasposición de fases en líneas de distribución, no obstante dada las características de este circuito, se ha recomendado realizar dicha acción. Con esto se pretende equilibrar las fases y mejorar la disponibilidad del circuito.

7. Bibliografía.

- Abdel-Akher, M. (2012). Voltage stability analysis of unbalanced distribution systems using backward/forward sweep load-flow analysis method with secant predictor. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 309-317.
- Abdel-Akher, M., Nor, K. M., & Rashid, A. H. (2005). Improved three-phase power-flow methods using sequence components. *IEEE Transactions on Power Systems*, 1389-1397.
- Alonso, R. F., Oliveira, D., & Zambroni, A. C. (2015). Artificial Immune Systems Optimization Approach for Multiobjective Distribution System Reconfiguration. *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 30.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

XIII SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ
06 y 07 de Setiembre de 2018

RESUMEN CONTRIBUCION TECNICA

Barboza, O. (2017). *Tesis: Curva QV e Vetor Tangente na Análise da Estabilidade de Longo-Termo como Ferramentas de Planejamento*. Itajuba - MG: UNIFEI.

Benavides, J.J., & Maya P. D.F (2008). *Tesis: Analisis del método de continuación para el estudio de estabilidad de tensión*. Pereira Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.

Toshiba, A. d. (2015). *Manual Toshiba - Control para regulador de tensión*.

Zambroni, A. C. (1998). Tangent vector applied to voltage collapse and loss sensitivity studies. *Electric Power Systems Research*, 65-70.

Zambroni, A. C., Leite, A., & Stacchini, J. (2000). On-line voltage stability monitoring. *IEEE Transactions on Power Systems*, 1300-1305.