

Análisis de Expansión de una Red de Distribución Suburbana del Suroeste de la Provincia de Santa Fe de Media Tensión

PROPUESTA DE LAS OBRAS NECESARIAS Y SU ORDEN DE PRIORIDAD DE INGRESO.

Resumen: *Un sistema de distribución de energía eléctrica, adquiere una importancia fundamental dentro del contexto de una red de potencia. Se estima que alrededor del 40% de las inversiones del sector eléctrico está orientado a los sistemas de distribución. Ante esta situación, la planificación de la expansión de las redes de distribución, resulta esencial para garantizar que el crecimiento futuro de la demanda pueda ser satisfecho. En este trabajo, se estudiaron obras de media tensión prioritarias para la promover el crecimiento de la demanda y mejorar la calidad del suministro de una red suburbana de 33 kV del sur de la provincia de Santa Fe. Se analizaron los factores involucrados en la proyección de obras de media tensión. Finalmente, para el conjunto de obras seleccionadas se propuso una metodología de priorización de ingreso, en función a un análisis comparativo de los indicadores de planificación propuestos y según un criterio de ponderación desarrollado.*

Palabras Claves: *Planificación, Capacidad Remanente, Calidad del Servicio, Electroducto, Costo Específico.*

Abstract: *A system of distribution of electricity, is a fundamental importance in the context of a power network. It is estimated that about 40% of investments in the electricity sector is oriented distribution systems. In this situation, planning the expansion of distribution networks is essential to ensure that future growth in demand can be satisfied. In this paper, priority medium voltage works to promote the growth of demand and improve the quality of supply of a suburban network of 33 kV the southern province of Santa Fe was studied. The factors involved in projecting MV works analyzed. Finally, for all the selected works prioritization methodology it was proposed income, according to a comparative analysis of the indicators proposed as weighting criteria developed.*

Keywords: *Planning, Remaining capacity, Quality of Service, Busway, Specific cost.*

Andrés Zóttico, Carlos Lucero, Leonel Avalos

Grupo de Investigación en Control y Seguridad Eléctrica (CySE)
Facultad Regional Santa Fe, UTN, Lavalse 610, Santa Fe, Argentina.
Mail: andres_pgz@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Un sistema de distribución de energía eléctrica, adquiere una importancia fundamental dentro del contexto de una red de potencia, tanto por la responsabilidad que se le atribuye sobre la calidad del servicio que brinda a los consumidores, como por el nivel de inversiones requerido para ello. Se estima que entre un 30% y un 40% de las inversiones del sector eléctrico está orientado a los sistemas de distribución (Orellana Flores, B.; 2010).

La evolución de un sistema de distribución comprende ciertas etapas de desarrollo que involucran la capacidad, la seguridad y la calidad/eficiencia del suministro que son motivo de preocupación en todo el desarrollo de un sistema y su enfoque cambia con el tiempo (Connor, T., et al; 2008). En las primeras etapas de crecimiento rápido de la carga, la prioridad es construir la infraestructura suficiente para incrementar la capacidad del sistema con el objetivo de satisfacer las demandas. En una segunda etapa, con una red eléctrica de base ya conformada y con el abastecimiento de las cargas, la seguridad de la oferta de energía eléctrica se convierte en un factor crítico. Una vez que el sistema se encuentra consolidado, la atención se centra en la optimización en términos de suministro de calidad y eficiencia (Burke, O., et al; 2005).

En este aspecto, la expansión de la red requiere de un análisis del balance entre capacidad, disponibilidad, calidad y costos con su nivel de impacto en el sistema (Audring, D.; 2009). Surge entonces la necesidad de planificación de los sistemas de distribución como estrategia esencial para asegurarse que el crecimiento futuro de la demanda de energía eléctrica pueda ser satisfecho agregando elementos y equipos técnicamente adecuados, económicamente razonables y en el momento oportuno (Hable, M.; 2009).

Los aspectos involucrados en la planificación incluyen la proyección de las demandas de los consu-

midores, la expansión de las subestaciones, la selección de la mejor ubicación y potencia de éstas y el diseño del trazado de los alimentadores de media y baja tensión.

En general, se trata de un problema bastante complejo debido, entre otras razones, a que existe una gran cantidad de variables y restricciones y por ello la mayoría de las compañías de distribución de energía identifican como aspectos principales a considerar en la planificación de una red a los siguientes (Ferguson, I. y Carter Brown, C.; 2003):

- Pronóstico del crecimiento de la demanda
- Estudios de confiabilidad
- Análisis de flujos de potencia en estado estacionario

En este trabajo, se estudiaron las obras de media tensión (MT) prioritarias para permitir el crecimiento de la demanda y mejorar la calidad de suministro de un corredor radial suburbano de 33 kV y 55 km de longitud, existente en el suroeste de la provincia de Santa Fe.

En el sistema eléctrico propuesto se analizaron los diversos aspectos involucrados en la proyección de nuevas obras de MT, entre ellas, el crecimiento tendencial de las demandas, posibles inclusiones de demandas extratendenciales, las condiciones de operación de la red frente a contingencias simples (energía no suministrada), la calidad de servicio (confiabilidad del suministro) y producto técnico (principalmente niveles de tensión), el costo de inversión de cada una de las obras que compiten y los estados de carga del equipamiento eléctrico de la red (transformadores de distribución, alimentadores y distribuidores), entre otros.

Finalmente, para un determinado conjunto de alternativas de nuevas obras se propuso una metodología de priorización de ingreso, en función a un análisis comparativo de los resultados presentados por cada uno de los indicadores de planificación analizados y según un criterio de ponderación desarrollado.

METODOLOGÍA

Determinación de los indicadores de planificación para expansión de redes de MT.

Como es de amplio conocimiento, todo estudio de planificación de la expansión de un sistema de distribución debe contemplar nuevas obras que permitan mejorar o solucionar al menos uno de los tres aspectos técnicos que hacen a la prestación del servicio. Ellos son los siguientes:

- Calidad del producto técnico: refiere principalmente a los niveles de tensión en la red
- Calidad del servicio técnico: refiere a la frecuencia y duración de las interrupciones del suministro
- Abastecimiento de la demanda: refiere a nuevas demandas tendenciales y extratendenciales a incorporar en el sistema que deben ser abastecidas sin producir condiciones de sobrecargas en electroductos y transformadores.

Luego, el impacto de la nueva obra en la red debe lograr, en lo posible, mejorar la performance de estos indicadores, con el objetivo primordial de incrementar el horizonte de crecimiento de la demanda del subsistema a tasas importantes, de modo que signifiquen mejoras de mediano a largo plazo para el subsistema y no un paliativo de socorro de corto plazo. Se adoptan tasas superiores al 15% como representativas de horizontes de crecimiento de mediano plazo para la red en estudio

De acuerdo al objetivo propuesto y con el propósito además de satisfacer los requerimientos técnicos del suministro eléctrico, para el análisis de nuevos proyectos eléctricos a incorporar en los planes de obras de la compañía distribuidora, se han definido los siguientes indicadores de planificación:

- Capacidad remanente del sistema.
- Costo específico de obra por potencia adicional

admitida en la red.

- Demanda no abastecida por contingencias simples.
- Nivel medio de carga de electroductos de media tensión (MT) con relación a su capacidad nominal (llamado comúnmente rate C).
- Nivel medio de tensión en barras de MT.

Los indicadores de planificación propuestos deben obtenerse para cada una de las alternativas de obras a incorporar en la red. Luego se efectúa un análisis comparativo de cada indicador, obteniendo de esta manera las ventajas relativas de cada obra respecto a las restantes y con ello el orden de prioridad de ingreso en la red de las mismas, en caso de tratarse de obras complementarias o bien el rechazo de alguna de estas obras bajo el supuesto de ser las mismas de tipo sustitutas.

Consideraciones generales adoptadas para las simulaciones.

Para el modelado y las condiciones de operación admisibles de la red radial de MT analizada se adoptaron los siguientes supuestos:

- Utilización para el modelado y las simulaciones de flujos de potencia estacionarios del Software PSS-E versión 33 Universitaria
- Adopción de los niveles de calidad del producto técnico exigidos en el Anexo 27 de Los Procedimientos de CAMMESA (CAMMESA; 2011): "Las condiciones límites de operación admisible para redes de distribución de 33 y 13,2 kV se encuentran comprendidas entre niveles de tensión de 0,90 y 1,10 pu".
- Se consideró un factor de potencia para las demandas actuales igual a 0,85 inductivo; excepto en el caso particular de las demandas industriales extratendenciales en cuyo caso se adoptó un factor de potencia igual a 0,90 inductivo.
- En todos los casos se considera que la tensión en barras de 33 [kV] de las Estaciones Transformadoras

(ET) de 132/33/13,2 kV se mantiene constante en un valor de 1,05 pu –controlada por los reguladores bajo carga de los transformadores de potencia-.

- Se adopta como límite de capacidad de transmisión de potencia de los electroductos de MT al límite térmico-mecánico impuesto por sus conductores.

- El límite admisible de condiciones normales de operación de transformadores de potencia (132/33/13,2 kV), de rebaje (33/13,2 kV), de distribución (13,2/0,4 kV) y de compensación de tensión corresponde a la capacidad nominal de la máquina, impuesta por el fabricante según su diseño.

- Todas las líneas de MT, por tratarse de líneas de longitud media, fueron modeladas como elementos pi.

A continuación se presentan los casos de estudio para una red radial de MT existente en el suroeste de la provincia de Santa Fe.

Red radial de 33 kV Firmat-Chañar Ladeado

En el suroeste de la Provincia de Santa Fe existe un corredor radial de distribución de 33 kV extenso que presenta inconvenientes para su operación frente a escenarios de máxima demanda. El mismo se

conforma de 55 km de línea de media tensión (LMT) de 33 kV con conductor de Aluminio-Acero de 50/8 mm² de sección. Este vincula desde la ET Firmat de 132/33/13,2 kV hasta la localidad de Chañar Ladeado –ver Figura 1-.

En escenarios de pico de demanda, el corredor alcanza demandas superiores a los 10 MVA, con el agravante de presentarse los mayores consumos en las localidades más alejadas (Chañar Ladeado y Berabevú) de la fuente de suministro –ET Firmat-. Esto trae aparejado condiciones límites de operación en lo que refiere a perfiles de tensión admisibles en barras de 33 kV y saturación del ramal de salida Firmat-Cañada del Ucle –la capacidad térmica de un conductor de 50/8 Al/Ac es de 10,8 MVA-. Por otra parte, en el ramal ya se han aplicado todas las estrategias para mejorar los perfiles de tensión, pues posee dos reguladores de tensión de 33 kV instalados en las localidades de Berabevú y Chañar Ladeado.

Para escenarios de máxima demanda se evidencian estado de carga de algunos ramales superiores al 90% y perfiles de tensión en ciertas barras por debajo de su nivel mínimo admisible –ver Figura 2-. Ambos RATs del corredor presentan agotado su margen de regulación de



Figura 1. Geográfico de la Red de Distribución de 33 kV del Corredor Firmat-Chañar Ladeado.

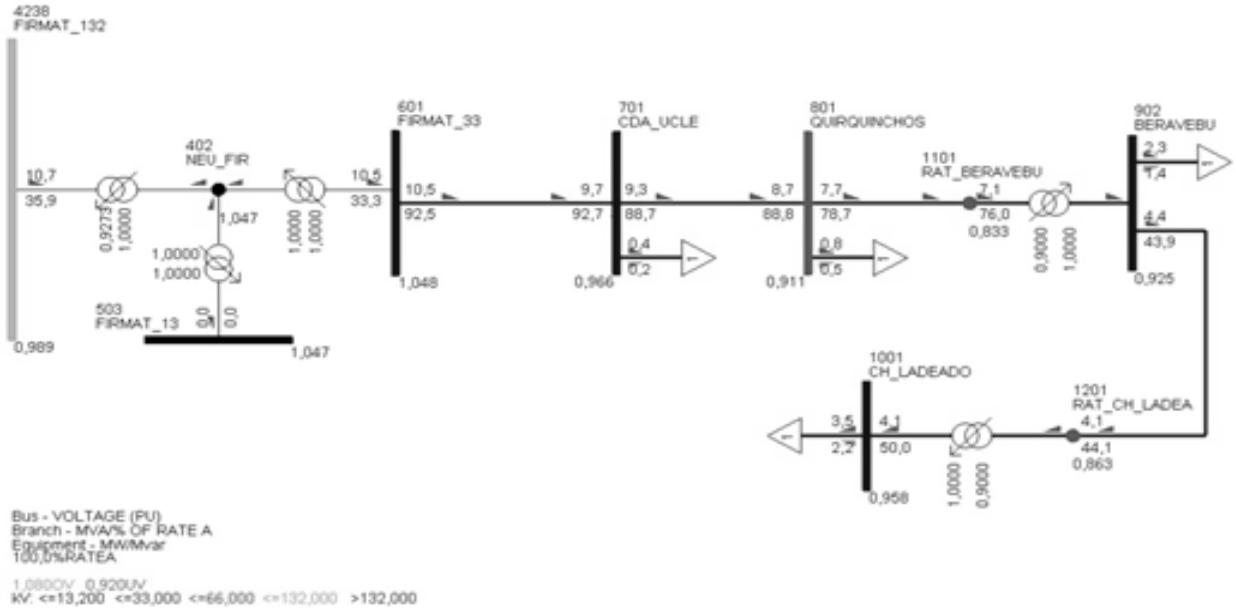


Figura 2. Corredor Firmat-Chañar Ladeado en condiciones actuales de operación para escenario de máxima demanda.

tensión. Frente a este panorama, el corredor presenta un horizonte de crecimiento escaso (inferior al 5%).

Las obras evaluadas para mejorar la calidad del producto técnico del corredor involucran nuevas líneas de 33 kV. Incluso se analizan posibles enlaces interprovinciales de MT con la provincia de Córdoba. De acuerdo a las grandes distancias del corredor y a los elevados niveles de demanda del subsistema, en todos los casos se adoptaron para las líneas aéreas un conductor de sección 95/15 de Aluminio/Acero, que constituye una de las mayores secciones normalizadas utilizadas por las compañías distribuidoras de energía para sus redes de MT.

En la tabla 1 se presentan las obras evaluadas en este trabajo para la red radial Firmat-Chañar Ladeado.

Obra	LMT 33 kV	Longitud [km]
1	Firmat – Cañada del Ucle	12,3
2	Firmat – Los Quirquinchos	21,0
3	Firmat – Berabevú	34,8
4	Firmat – Chañar Ladeado	54,6
5	Chañar Ladeado – Corral de Bustos	11,0
6	Berabevú – Corral de Bustos	31,0

Tabla 1. Obras propuestas para el corredor radial Firmat-Chañar Ladeado.

RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES CON SOFTWARE PSS-E

De acuerdo a los indicadores de planificación definidos, para cada alternativa de obra se llevaron a cabo simulaciones de flujo de carga en estado estacionario y análisis de curvas P-V. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada uno de los indicadores.

Nivel medio de tensión en barras de MT

A los fines de la evaluación de la calidad del producto técnico, solo se consideraron aquellos nodos del corredor donde se encuentra directamente vinculadas las demandas, pues los efectos de una deficiente calidad de tensión impactan directamente sobre las mismas.

Según los resultados presentados en la Tabla 2, debe descartarse la obra 6 debido a los perfiles de tensión inadmisibles que se presentan en la barra Berabevú, tal como se observa en la figura 3.

Por otra parte, las obras 2 y 3 se destacan como aquellas que logran los mejores perfiles de tensión en el corredor, con valores medios del orden de 1,03 a 1,04 pu.

Nivel medio de carga de electroductos de MT con relación a su rate C.

Barra	U [pu]						
	Caso						
	Base	1	2	3	4	5	6
Berav	0.93	0.97	1.01	1.05	1.06	1.05	0.82
Caña Ucle	0.97	1.05	1.04	1.04	1.02	1.01	1.04
Quir- quinc	0.91	0.95	1.03	1.03	1.00	0.99	1.03
Chañ Lad	0.96	1.02	1.05	1.05	0.95	0.96	0.84
U Min	0.91	0.95	1.01	1.03	0.95	0.96	0.82
U media	0.94	1.00	1.03	1.04	1.01	1.01	0.93

Tabla 2. Perfiles de tensiones en nodos del corredor radial.

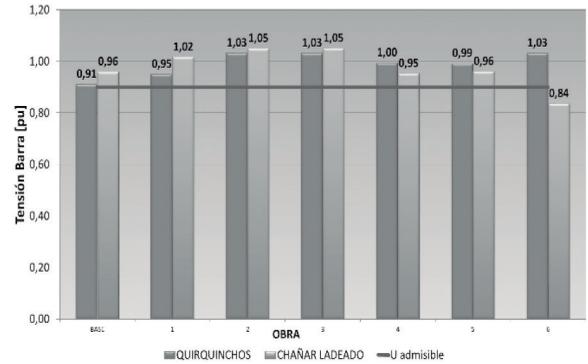


Figura 3. Nivel de tensión en las barras más comprometidas del corredor radial.

Las simulaciones de los flujos de carga en estado estacionario para las diferentes obras

analizadas arrojan entre sus resultados, los estados de carga de los electroductos que conforman la red radial analizada. Los valores obtenidos y presentados en la tabla 3 dejan entrever que los mayores alivios de carga para los electroductos del corredor se presentan con las obras 3 (nueva LMT de 33 kV Firmat- Berabevú) y 4 (nueva LMT de 33 kV Firmat- Chañar Ladeado). Para tales casos, los electroductos presentan un nivel de carga medio del orden del 25 al 30%.

Capacidad remanente del sistema

A partir de la elaboración de curvas P-V, fue determinada la capacidad remanente y el horizonte de crecimiento de la red radial para cada una de las alternativas de obra. En la figura 4 se muestra la curva P-V para la obra 3 (LMT de 33 kV Firmat-Berabevú), donde queda indicada una potencia de 6,9 MVA, que representa la capacidad remanente de la red dada por tensión mínima admisible en la barra de 33 kV de Chañar Ladeado.

De acuerdo a los resultados del análisis de curvas P-V efectuados para cada una de las alternativas, en la figura 5, se presenta un gráfico comparativo con la capacidad remanente y el horizonte de crecimiento de

cada obra, donde se destacan como mejores alternativas las obras 2, 3 y 5.

LMT	% Rate [%]						
	Caso						
	Base	1	2	3	4	5	6
FIR-UCL	92,4	3,6	12,3	12,3	37,9	38,9	12,3
UCL-QUI	88,5	83,9	8,8	8,8	34,2	35,2	8,8
QUI-BBU	78,5	74,3	70,7	F/S	25,1	26,1	F/S
BBU-LAD	43,8	41,3	39,1	37,8	F/S	F/S	50,3
IVE-CBU	20,7	20,7	20,7	20,7	20,7	39,5	59,2
FIR-UCL_2	NC	53,3	NC	NC	NC	NC	NC
FIR-QUI	NC	NC	44,4	NC	NC	NC	NC
FIR-BBU	NC	NC	NC	42,8	NC	NC	NC
FIR-LAD	NC	NC	NC	NC	24,7	NC	NC
CBU-LAD	NC	NC	NC	NC	NC	25,0	NC
CBU-BBU	NC	NC	NC	NC	NC	NC	50,9
PROM	64,8	46,2	32,7	24,5	29,5	34,9	32,6

Tabla 3. Estado de carga de líneas de 33 y 13,2 kV del corredor radial.

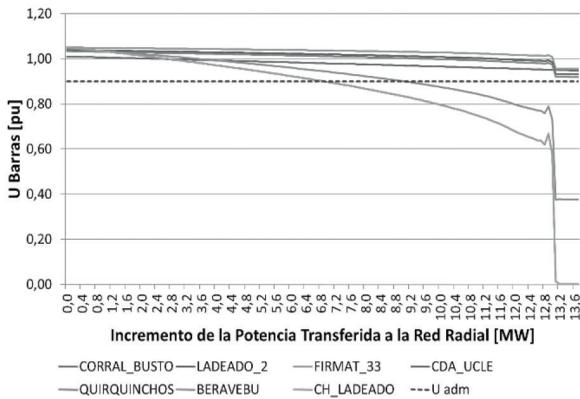


Figura 4. Curva P-V de obra 3.

Costo específico de obra por potencia adicional admitida en la red.

Para cada alternativa de obra fueron determinados sus costos, asumiendo que además del nuevo electroducto de 33 kV, en el “nodo fuente” debe construirse también un nuevo campo de salida de 33 kV, según la

obra, en la Estación de Rebaje (ER) Corral de Bustos 33/13,2 kV o en la Estación Transformadora (ET) Firmat de 132/33/13,2 kV.

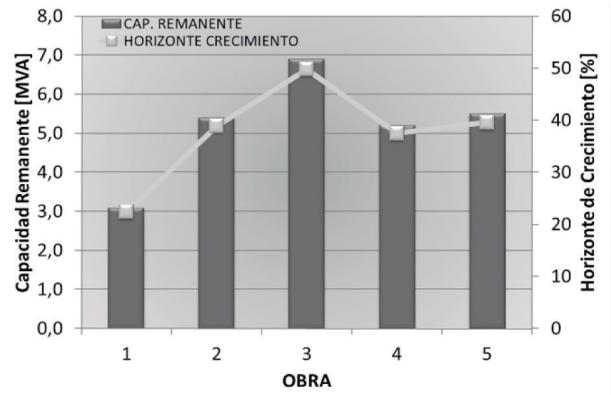


Figura 5. Capacidad remanente y horizontes de crecimiento del corredor radial para las obras propuestas.

En la tabla 5 se muestran los componentes eléctricos generales requeridos por cada obra y el costo específico por potencia adicional admitida en la red, según la capacidad remanente.

Obra	Especificaciones	Costo Específico [Millones US\$/MVA]
1	12,3 km de LMT 95/15 Al/Ac 33 kV	0,22
	1 Campo Salida 33 kV en ET	
2	21 km de LMT 95/15 Al/Ac 33 kV	0,21
	1 Campo Salida 33 kV en ET	
3	35 km de LMT 95/15 Al/Ac 33 kV	0,26
	1 Campo Salida 33 kV en ET	
4	55 km de LMT 95/15 Al/Ac 33 kV	0,54
	1 Campo Salida 33 kV en ET	
5	11 km de LMT 95/15 Al/Ac 33 kV	0,11
	1 Campo Salida 33 kV en ET	

Tabla 5. Costo específico de las obras de MT analizadas.

CONCLUSIONES

En este trabajo se han estudiado los inconvenientes habituales que presentan los sistemas de distribución de MT suburbanos y rurales, debido a que sus grandes extensiones revelan elevadas impedancias que reducen las potencias de cortocircuito, desmejoran los perfiles de tensión y ocasionan déficits de reactivo. Las mejoras de estas redes requieren de una o varias obras de MT para alcanzar condiciones satis-

factorias de operación, tales que admitan el crecimiento de la demanda de mediano y largo plazo para favorecer y promover el desarrollo en la región.

Los indicadores de planificación propuestos en este trabajo para redes de distribución radiales constituyen una herramienta útil para comparar el desempeño relativo de diferentes alternativas de obras que compiten para ingresar en el sistema, evaluar su impacto en la red y finalmente decidir cuál es la más conveniente para su ejecución temprana.

REFERENCIAS

Audring, D.; Hable, M.; Lerch, E. y Schilling, K. (2009). *Greenfield Planning of Modern Metropolises*. IEEE Power Tech Conference, Paper 090310.

Hable, M. (2009). *Distribution Network Planning for High Load Density Areas*. CIRED, pp. 8-11.

Burke, O.; Hunt, S. y Phang, W. (2005). *A planning approach for urban distribution networks in Bahrain*. *ESB International, Stephen Court, 18-21 St Stephen's Green, Dublin 2, Ireland, 1-6.

CAMMESA. (2011). *Anexo 27: Reglamentación aplicable a la prestación adicional de la función técnica de transporte de energía eléctrica firme en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM)*. 1-12.

Connor, T.; Ettinger, A. y Boese, C. (2008). *Planning Approach for Evolution of Grown Medium Voltage Distribution Networks*. CIGRE, S5-04 CP1348.

Ferguson, I. y Carter Brown, C. (2003). *Development of network planning standards for use by Eskom Distribution*. 17th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), 1-5.

Orellana Flores, B. (2010). *Calidad de suministro en la planificación de redes de distribución*. Tesis (Ph. D. Ingeniero Civil Electricista), Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, TupperBeauchef 850, Santiago, Chile.