

Impacto de la Generación Distribuida en Líneas de Distribución de Energía Eléctrica: Desempeño de una Línea Área de 13.2kV entre las localidades de Alem – Cerro Azul, Misiones

Leandro Lerman ^{a, *}, Rubén Firka ^a, Manuel A. Mazzoletti ^a

^a Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

LIDEE, FI-UNaM, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina

leandrolerman@gmail.com, firka@fio.unam.edu.ar, mazzoletti@fio.unam.edu.ar

Resumen

En la actualidad, la proliferación de la Generación Distribuida (GD) como activos en los sistemas de abastecimiento de energía eléctrica convencionales es una temática de interés bajo el concepto de energía renovables que provienen de fuentes naturales. La instalación de nuevos aprovechamientos de energía provenientes de fuentes de energía renovables se ve respaldado por medio de diversas legislaciones e incentivos económicos que promueven los gobiernos nacionales e internacionales. La inserción de este tipo de generación no convencional en un sistema de distribución de energía eléctrica tradicional modifica el funcionamiento de la red modificando los parámetros de operación del sistema. Por lo tanto, en este trabajo se propone una metodología para determinar los efectos que produce la inclusión de una fuente de GD en una línea de distribución de energía eléctrica convencional instalada entre las localidades de Alem y Cerro Azul de la provincia de Misiones. Como objetivo principal de este estudio se pretende modelar el funcionamiento actual de la línea de distribución para, luego, determinar el desempeño del sistema para diferentes escenarios de operación una vez conectada la nueva fuente de la GD. Se presentan resultados de simulación mediante el uso del software *Cymdist 5.04* bajo diferentes estados estacionarios de funcionamiento y cambios de topologías de la red. Los resultados de simulación obtenidos y las propuestas de mejoras para la re-configuración de la red permiten mejorar la capacidad de carga de la línea y, además, corregir de manera aceptable el perfil de tensión sobre cargas ubicadas en zonas desfavorables.

Palabras Clave – ENERGÍA RENOVABLES, GENERACIÓN DISTRIBUIDA, LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA, CALIDAD DE SERVICIO TÉCNICO.

1. Introducción

En general, los Sistema de Distribución de Energía Eléctrica convencionales presentan un funcionamiento del tipo radial. En este tipo de configuración, el flujo de potencia es unidireccional desde la fuente hacia la carga y, en tales condiciones, los activos que conforman la red tales como los elementos de protección y maniobras funcionan bajo este régimen de operación. Con el incremento de la GD conectado a las redes de distribución convencionales, diversas consideraciones se deben tener en cuenta para analizar los efectos que provoca sobre los activos de la red, desde la magnitud de la potencia instalada, la ubicación del recurso, el tipo y la conexión del generador, entre otras. Además, la inclusión de una nueva fuente de energía en el sistema dificulta el control del flujo de potencia, modifica la regulación de tensión en el Punto de Acoplamiento Común, varia los parámetros característicos de la línea [1]. Por estas cuestiones, es evidente que la inclusión de la GD requiere de un estudio y análisis minucioso con el fin de determinar el impacto que tendrá sobre la red en el Punto de Acoplamiento Común de modo de mantener la confiabilidad del sistema. La conexión de una nueva fuente regula el nivel de la tensión en el punto de conexión, pero impacta de

*Autor en correspondencia.

manera negativa sobre las magnitudes de las corrientes nominales de servicios y, ante la presencia de una falla en la línea, las magnitudes de la corriente de falla. En consecuencia, la sensibilidad de los elementos de protección se reduce, lo cual implica que deban re-configurarse la topología de la red para responder a las variaciones de la demanda, los procedimientos de seguridad, de mantenimientos, entre otros [2]- [3].

En este trabajo se propone una metodología para determinar los efectos que produce la inclusión de una Central de Generación Térmica de 3.3 MW conectada al Sistema Argentino de Interconexión (SADI) a través de una línea de distribución de energía eléctrica convencional instalada entre las localidades de Alem y Cerro Azul de la provincia de Misiones. El sistema actual es modelado mediante el uso del software de Análisis de sistemas de distribución Cymdist 5.04 para establecer el funcionamiento actual de la línea de distribución en estudio. Se analiza el desempeño del sistema con y sin GD para diferentes escenarios de operación y cambios de topologías en la red de modo tal que el funcionamiento se ajuste a los criterios y especificaciones técnicas de la prestadora del servicio eléctrico.

2. Metodología propuesta

Para asegurar un correcto funcionamiento del sistema de distribución en estudio, el método aplicado propone el modelado y la simulación de la línea de distribución, la verificación de los límites de carga y niveles de tensión sin disminuir la calidad del servicio. Los escenarios de estudios se realizaron teniendo en cuenta los criterios y las recomendaciones generales establecidos por la distribuidora con respecto a los valores nominales de tensión, los niveles máximos de cargabilidad de conductores, régimen de operación de equipamientos instalados, entre otros. De acuerdo con los criterios mencionados, a continuación, se describe de manera general los pasos aplicados:

- Modelar y determinar el estado actual de la línea de 13,2 kV mediante el módulo de “Flujo de Potencia” del software Cymdist 5.04. Este estudio está destinado a verificar el cumplimiento de las restricciones técnicas de operación de estado estacionario del sistema, cuando se incorporen las nuevas instalaciones bajo análisis. Se verifica la existencia de sobrecargas en equipamientos, y el cumplimiento del perfil de tensiones en los nodos. Se verifica el correcto funcionamiento del sistema para distintos escenarios dentro del horizonte de estudio bajo condiciones de operación normal y ante contingencias simple.
- Incluir la GD emplazada en la localidad de Cerro Azul, Misiones. La tecnología utilizada para la generación de energía eléctrica consiste en generar vapor de agua mediante combustión de una caldera de biomasa a partir de residuos forestales, el vapor será turbinado para accionar un generados eléctrico de 4000 KVA. En este estudio, el sistema generador/transformador de la Central de Generación Térmica se modela como una fuente de alimentación de potencia igual a 3,3 MW emplazada en el sitio donde será construida.
- Verificar los parámetros de Calidad del Servicio Técnico de la red con la GD. Se verifica la existencia de sobrecargas en equipamientos, y el cumplimiento del perfil de tensiones en los nodos.

- Analizar los efectos de la GD para diferentes escenarios y topologías de la red con el fin de determinar la mejor solución técnica. Para la reconfiguración se considera la transferencia de cargas, re-ubicación o instalación de reguladores de tensión, construcción de nuevos alimentadores y/o distribuidores para abastecer la creciente demanda de la región.

2.1. Descripción del sistema y parámetros de referencias

La línea de distribución opera en nivel de tensión 13,2 kV de aproximadamente 21 km de longitud. Esta línea se alimenta desde la Sub Estación Transformadora (SET) Alem perteneciente a la Cooperativa Eléctrica Limita de Alem (CELA) abasteciendo la localidad de Cerro Azul. Los tramos de líneas se conforman de conductores de diferentes secciones, 50 mm² y 70 mm². La característica de la postación en su mayoría es coplanar horizontal, excepto tramos en cabecera de línea desde la SET, donde se compone de una doble terna coplanar vertical. Además de transportar la energía que demanda la localidad de Cerro Azul, la línea también alimenta la localidad de Arroyo del Medio y diversas demandas de cargas del tipo rurales distribuidas a lo largo de su recorrido.

En la Fig. 1 se observa la traza de la línea área en estudio. En la figura se observa la localidad de Leandro N. Alem desde la cual se abastece la línea aérea. En cercanías de localidad de Cerro Azul se observa el emplazamiento denominado Matilde (círculo de color naranja), lugar donde se emplazará la futura GD.

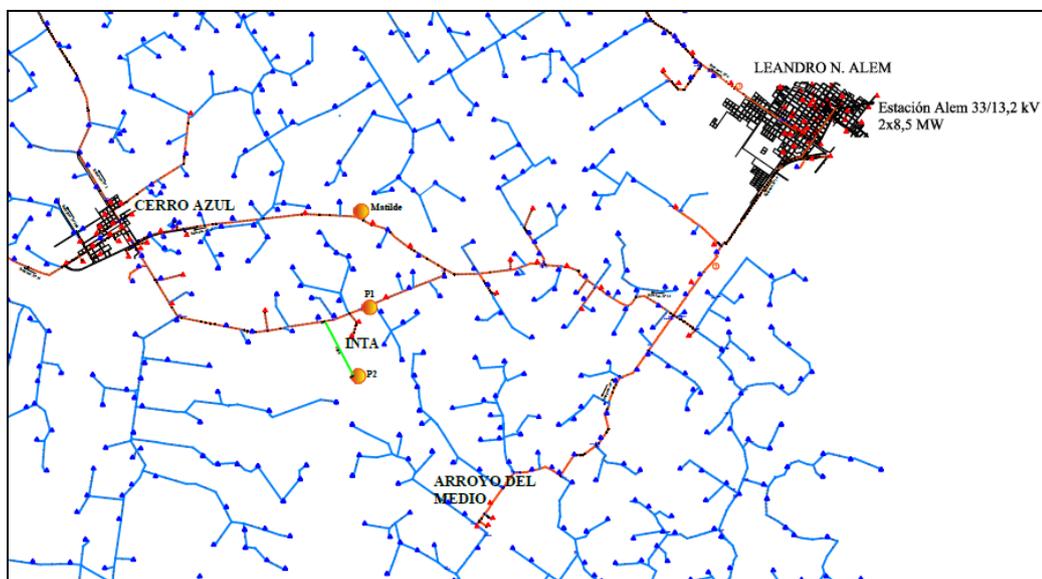


Fig. 1. Ubicación de la traza de la línea de distribución.

Para analizar si la incorporación de las nuevas plantas de generación provoca restricciones y/o limitaciones en los niveles de tensión y sorbe cargas de equipos, los siguientes límites admisibles se tuvieron en cuenta en común acuerdo con los criterios utilizados por la distribuidora:

- Tensión Mínima admisible: 0,93 p.u. (-7%).
- Tensión máxima admisible: 1,07 p.u. (+7%).
- Capacidad máxima de transporte: 100% de capacidad admisible del conductor.

Para el modelado del sistema actual se analizó y utilizó la información provista por parte de la Cooperativa Eléctrica Limitada Alem respecto a las características constructivas de la línea de 13,2 kV, demanda de consumo máxima registrada en el último año, condiciones de operación, elementos de maniobras y reguladores de tensión instalados. Con el fin de facilitar la visualización de los resultados obtenidos una codificación por códigos de colores se utilizará para representar el porcentaje de caída de tensión, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Caída de tensión porcentual

Mayor %	Menor %	Color
107	-	Red
105	107	Orange
103	105	Yellow
97	103	Green
95	97	Yellow
93	95	Orange
-	93	Red

En caso que algún tramo de línea supere los niveles máximos o mínimos admisibles se realizarán sugerencias de mejoras para evitar escenarios donde las caídas de tensión superen el 7%. Así también se establecen límites para la capacidad de transporte de carga de los conductores y equipamiento del sistema, la codificación de colores que representa el porcentaje de carga para cada tramo de red se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Código de colores utilizado

Mayor %	Menor %	Color
100	-	Red
90	100	Orange
80	90	Yellow
0	80	Green

En este caso, la distribuidora establece que la línea de distribución opera hasta su máximo de capacidad admitido. Superado estos límites preestablecidos, una serie de sugerencias y/o recomendaciones serán propuestas para evitar escenarios futuros de sobre cargas.

3. Análisis del Sistema de Distribución con GD

Para el estudio y análisis del estado de operación N (Normal) se adopta como escenario base la configuración de red modelada en el del software de simulación Cymdist 5.04 considerando los datos suministrados por la distribuidora (Ver el Apéndice A. Información suministrada para el modelado de la Línea Aérea) y debidamente verificados por el personal técnico idóneo.

Las distintas configuraciones consideradas en el análisis se definen como:

- Caracterización del estado actual del sistema.
- Propuestas de mejoras: Reconfiguración del sistema.
- Propuestas de modificaciones a futuro.
- Ingreso de la planta de la GD.

3.1. Caracterización del Estado actual del sistema

Los resultados obtenidos para el estado actual indican que existen tramos de líneas con niveles de cargas que superen el máximo admisible, como se remarca en la Tabla 3. Estos tramos presentan conductores de línea de 50 mm² de sección. También, es posible detectar niveles de tensión fuera del rango admisible en tramos de red aguas arriba de la denominada “Derivación Arroyo del medio” hasta el regulador de tensión instalado.

Tabla 3. Estado actual de la línea aérea

Tramo N°	Delta V (%)	Carga %
Centro L.N. Alem	1,20 (-)	105
Cambio de sección	4,00 (-)	84
Derivación Arroyo del medio	6,20 (-)	105
Derivación INTA	12,60 (-)	100
Ruta Alem-Cerro Azul	15,60 (-)	80
Regulador Tensión N°1	4,150 (-)	94
Regulador Tensión N°2	7,150 (-)	93
Entrada Cerro Azul	0,00 (-)	47

En la Fig. 2 se presenta el sistema Los resultados obtenidos para el estado actual indican que existen tramos de líneas con niveles de cargas que superen el máximo admisible, como se remarca en la Tabla 3. Estos tramos presentan conductores de línea de 50 mm² de sección. También, es posible detectar niveles de tensión fuera del rango admisible en tramos de red aguas arriba de la denominada “Derivación Arroyo del medio” hasta el regulador de tensión instalado.



Fig. 2. Condición de funcionamiento actual. Perfiles de tensión.

3.2. Propuestas de mejoras: Reconfiguración del sistema

En general, los problemas de caídas de tensión en líneas de este tipo son bien conocidos. Por tal motivo, la prestadora del servicio eléctrico cuenta con proyectos de mejoras en su planificación de expansión a corto plazo para subsanar los problemas detectados en la Sección 3.1. En este trabajo se sugieren una serie de obras y maniobras de red con el fin de reconfiguración del sistema actual brindando alternativas de planificación y soluciones definitivas de la siguiente manera:

- Construcción de un nuevo distribuidor para la transferencia de carga permanente. Reconfiguración del sistema para abastecer parte de la demanda de la localidad de Alem y la localidad de Almafuerte.
- Instalación de un nuevo regulador de tensión trifásico de mayor capacidad de carga (200 A). El nuevo regulador reemplazará el actual regulador en operación.
- Reubicación del actual regulador de tensión sobre el final de la línea. Esta reconfiguración permite mejorar el perfil de tensión sobre cargas de la ciudad de Cerro Azul, Misiones.

Una vez reconfigurado el sistema, los resultados se muestran en la Tabla 4. Se observa que los niveles de tensión y cargas se encuentran dentro de los rangos de operación admisibles.

Tabla 4. Propuesta de reconfiguración del sistema

Tramo N°	Delta V (%)	Carga %
Centro L.N. Alem	1,20 (-)	105
Cambio de sección	4,00 (-)	84
Derivación Arroyo del medio	6,20 (-)	105
Derivación INTA	12,60 (-)	100
Ruta Alem-Cerro Azul	15,60 (-)	80
Regulador Tensión N°1	4,150 (-)	94
Regulador Tensión N°2	7,150 (-)	93
Entrada Cerro Azul	0,00 (-)	47

En la Fig. 2 se presenta el sistema. Los resultados obtenidos para el estado actual indican que existen tramos de líneas con niveles de cargas que superen el máximo admisible, como se remarca en la Tabla 3. Estos tramos presentan conductores de línea de 50 mm² de sección. También, es posible detectar niveles de tensión fuera del rango admisible en tramos de red aguas arriba de la denominada “Derivación Arroyo del medio” hasta el regulador de tensión instalado.

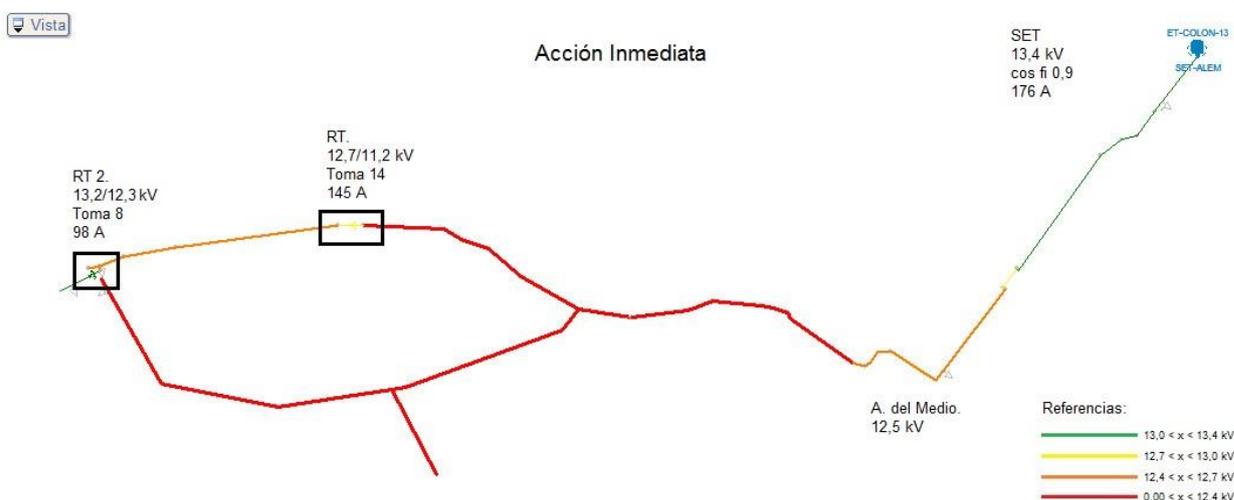


Fig. 3. Sistema reconfigurado. Perfiles de tensión.

3.3. Propuestas de mejoras a futuro

En general, los problemas de caídas de tensión en líneas de este tipo son bien conocidos. Por tal motivo, la prestadora del servicio eléctrico cuenta con proyectos de mejoras en su planificación de expansión a corto plazo para subsanar los problemas detectados en la Sección 3.1. En este trabajo se sugieren una serie de obras y maniobras de red con el fin de reconfiguración del sistema actual brindando alternativas de planificación y soluciones definitivas de la siguiente manera:

4. Conclusiones

La sección de conclusiones es extremadamente necesaria ya que las mismas permiten revisar las contribuciones más importantes del trabajo. Es importante agregar que el resumen no debe ser replicado en las conclusiones. Las conclusiones deben describir con precisión la importancia del trabajo propuesto, las contribuciones y los resultados obtenidos. En esta sección los autores pueden sugerir algunas aplicaciones o trabajos futuros relacionados con su propuesta.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo gracias al apoyo de la Agencia Nacional de Investigaciones y el...Este proyecto fue financiado por la ANPCyT. Los autores agradecen a Samuel Jackson por la colaboración prestada en la preparación de este artículo.

Apéndice A. Información suministrada para el modelado de la Línea Aérea

A continuación, en las siguientes Tablas bbb se presenta la información suministrada por la CELA para el ajuste del modelo del sistema.

Tramo n°	Descripción
1	Salida de SET Alem. Doble terna.
2	Simple terna. Cambio de sección
3	Simple terna. Derivación (Arroyo del Medio)
4	Simple terna. Derivación (INTA)
5	Simple terna. Cambio de sección. Hasta Regulador
6	Simple terna. Hasta Cerro Azul.

Tabla n° 1. Tramos de la línea de distribución

Tramo n°	Sección (mm ²)	Longitud (km)	Longitud Total (km)
1	50	1,10	1,10
2	70	3,41	4,51
3	50	2,01	6,52
4	50	6,31	12,83
5	70	3,97	16,8
6	70	4,34	21,14

Tabla n° 2. Longitud de tramo.

Tramo n°	Resistencia (ohm/km)	Inductancia (ohm/km)	Corriente (A)	Cos fi
1	0,719	0,42	192	0,9
2	0,532	0,35	159	
3	0,719	0,35	159	
4	0,719	0,35	150	
5	0,532	0,35	145	
6	0,532	0,35	136	

Tabla n° 3. Característica de tramo.

Carga n°	Potencia asignada (%)
1	16,9
2	5,50
3	0,40
4	10,2
5	35,0

Tabla n° 4. Demandas de potencia.

Referencias

- [1] M. Al-Muhaini y G. Heydt, "Evaluating future power distribution system reliability including distributed generation", *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 28, no. 4, pp. 2264-2272, Oct 2013.
- [2] H. Shuang y G. Qinxiang, "Review of impact of distributed generation on distribution system", in *Advanced Power System Automation and Protection (APAP), 2011 International Conference*, vol. 1, Oct 2011, pp. 219-222.
- [3] J. C. Gómez, J. Vaschetti, C. Coyos, y C. Ibarlucea, "Generación distribuida: impacto en la calidad de potencia y en las protecciones," in 2012 *IEEE, Biennial Congress of Argentina (ARGENCON)*, Junio 2012.
- [4] Cotty, P.J., *Agriculture, Aflatoxins and Aspergillus in The genus Aspergillus*, K. A. Powll, Editor. Plenum Press, New York. p 1–27.1994.
- [5] *IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*, IEEE Std. 519-1992, 1993.