



## Estudio de los Niveles de Tensión en un Sistema de Distribución con Generación Distribuida Fotovoltaica de la Ciudad de Posadas

Yuchechen, Guillermo D.<sup>a\*</sup>; Seewald, Pablo A.<sup>a</sup>; Alles, Kevin C.<sup>a</sup>; Cabral, Roberto J.<sup>b</sup>;  
Toledo, Eduardo J.<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Estudiante de Ingeniería Electromecánica - Facultad de Ingeniería, UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> CEED, FI-UNaM, Juan Manuel de Rosas 325, Oberá, Misiones, Argentina.

e-mails: guillermoyuchechen@gmail.com, pabloseewald@gmail.com, kevinchristianalles@gmail.com,  
robert\_rjc@hotmail.com, eduardo.toledo86@gmail.com

---

### Resumen

En general los sistemas de distribución eléctrica están diseñados según una estructura jerárquica en la que la energía fluye desde los centros de generación hasta los consumidores finales. La integración de la generación distribuida a la red de distribución convencional tiene como consecuencia la aparición en escena de un flujo de potencia bidireccional y, en este sentido, es importante estudiar los impactos que este cambio produce, a efectos de verificar que la calidad del servicio eléctrico.

En este trabajo se estudia el impacto de la generación fotovoltaica distribuida sobre los niveles de tensión en una red de distribución de baja tensión sobre un sector de la red real del barrio Itaembé Guazú, ubicado en la ciudad de Posadas, provincia de Misiones. Para cuantificar los impactos se realizaron simulaciones de flujo de potencia con el software PSS/E teniendo en cuenta varios escenarios definidos por dos factores: por un lado, la variación de la potencia de generación fotovoltaica instalada y por el otro, la variación de la demanda simultánea de los usuarios.

Los resultados reflejaron un impacto positivo en los niveles de tensión que presenta la red de distribución con la incorporación de la generación distribuida fotovoltaica en la red de baja tensión con un potencial alivio de la capacidad de transmisión de red y disminución en las pérdidas. De esta manera, se espera aportar análisis y resultados que permitan ser bases para resolver los problemas derivados de la consecuente inserción de generación distribuida a la red misionera.

*Palabras Clave* – Calidad de Suministro Eléctrico, Flujo de Potencia, Generación Distribuida, Generación Fotovoltaica.

### 1. Introducción

La generación distribuida, también conocida como generación in-situ, consiste en la generación de energía eléctrica por medio de pequeñas fuentes instaladas en puntos cercanos al consumo y conectadas a la red de distribución eléctrica de baja tensión (BT). Como principales ventajas puede mencionarse lo siguiente: descentraliza la generación, alivio de la capacidad de transmisión y distribución, uso más eficiente de la energía, reduce emisiones contaminantes, mejora de la confiabilidad del suministro y la posibilidad de venta del excedente de energía [1], [2].

En la última década se observó una marcada tendencia en países desarrollados al estudio y la incorporación de generación distribuida domiciliaria (GDD) en el mismo punto de consumo o muy cercano a él [1]-[4].

En noviembre del 2017, se sancionó en Argentina la Ley N° 27.424 [5] que posibilita la GDD únicamente a partir de fuentes de energía renovable; y establece las bases legales reglamentarias para la inyección del excedente de la energía eléctrica a la red de distribución.

Desde la sanción de la Ley 27.424 varias provincias comenzaron a realizar pruebas de GDD, entre las que se destacan: Un barrio bioclimático de 33 viviendas en San Luis [6] ; las pruebas piloto de un barrio en la provincia de Corrientes [7] y los proyectos IRESUD [8] entre otros. Cabe destacar que la mayoría de los proyectos son destinados a energía renovable del tipo fotovoltaica (FV) debido a los avances tecnológicos y a la versatilidad que se tiene en su instalación en zonas urbanas.

En este sentido, Misiones cuenta con la Ley de Balance Neto [9], donde fija los derechos y obligaciones para Micro Generadores Residenciales, como así también las condiciones necesarias para la eventual inyección de energía residual generada en el domicilio a la red BT.

La introducción de la GDD en el país, implica un desafío para el sector eléctrico debido a que es necesario un cambio de paradigma del sistema tradicional (Generación Centralizada - Transporte - Distribución). Esto acarrea nuevos problemas que la futura generación de ingenieros debe resolver como ser: la necesidad de nuevas estrategias de operación y control en la red y en las instalaciones domiciliarias; nuevas estrategias para la seguridad del personal de empresa prestataria del servicio eléctrico y; calidad de la energía inyectada como excedente entre otros. [1]-[4],[11].

A la actualidad, existen varios estudios de los efectos que causa la GDD FV en la red de distribución [2],[12],[13] en donde se plantean varias estrategias de control de la red y posibles soluciones a problemas puntuales relacionados.

En [11] y [14] se analiza el comportamiento del sistema de distribución de BT con distintos niveles de penetración de GDD FV mediante un análisis de flujo de potencia simulados teniendo en cuenta distintos escenarios.

En este trabajo se presenta un estudio de caso, en donde se determina el impacto de la generación fotovoltaica distribuida sobre los niveles de tensión de la red de distribución del barrio Itaembé Guazú de la ciudad de Posadas. Para cuantificar los impactos se realizaron simulaciones de flujo de potencia teniendo en cuenta varios escenarios definidos por dos factores: por un lado, la variación de la potencia de generación instalada y por el otro, la variación de la demanda simultánea de los usuarios.

De esta manera, se trata de contribuir con el estudio de la Generación Distribuida en la provincia de Misiones, con el objetivo de aportar análisis que permitan resolver los problemas derivados al implementarse la ley en Argentina y la consecuente inserción de generación distribuida a la red.

## **2. Metodología Propuesta**

La variación en los niveles de tensión es uno de los parámetros de calidad para el suministro de energía eléctrica. La tensión observada por cada usuario de BT es el resultado de la caída de tensión que se tiene en cada nivel de distribución. Cuando el sistema es pasivo y radial, los escenarios determinantes son dos:

1. La máxima tensión vista por el usuario más cercano al centro de transformación (CT), próximo a la estación transformadora (ET) en horarios de valle; y
2. La mínima tensión vista por el usuario más alejado al CT y más lejano de la ET, en horarios de pico.

Cuando se incorpora GDD los niveles de tensión pueden invertirse y en lugar de tener niveles de sub tensión se pueden llegar a observar niveles de sobre tensión.

En [14] se presenta un estudio de caso, en donde con la inserción de la generación FV se produce un incremento en los niveles de tensión a medida que se aumenta la potencia de generación instalada.

Según las regulaciones nacionales, las variaciones de tensión admisibles son de 8% y 5% para líneas de distribución aéreas y para líneas subterráneas respectivamente [10].

Para este trabajo se utilizó cómo objeto de estudio la red de BT de un sector del barrio Itaembé Guazú de la ciudad de Posadas, el cual hasta el momento se encuentra en construcción. El barrio se encuentra sectorizado según los tipos de viviendas. El sector elegido para realizar las simulaciones corresponde al sector PROCREAR y cuenta con 700 viviendas.

Primeramente, se armó un modelo de la red a estudiar teniendo cuenta característica constructivas de la misma. La red modelada se simuló en el software “Power System Simulation for Engineering” (PSS/E). Posteriormente, se grafica los niveles de tensión obtenidos de la simulación y se sacan conclusiones. Para la simulación se plantearon escenarios definidos por las combinaciones posibles de dos factores:

1. La variación de la potencia de generación instalada o nivel de penetración, el cual se ve reflejado en los kilo-Watt-pico (kWp) del generador instalado, y
2. La variación de la demanda simultánea de los usuarios. Este factor se denomina “Factor de Simultaneidad de los Usuarios del Mismo Tipo” (FST) y expresa la relación entre el número de usuarios conectados simultáneamente a la red sobre el número total de usuarios conectados.

En la Tabla 1 se muestran los escenarios planteados para el modelado de la red del barrio. En cada escenario varía el nivel de penetración de GDD y el factor de simultaneidad total (FST) en valores típicos.

**Tabla 1. Escenarios planteados para el modelado.**

<b>Escenarios</b>	<b>kWp</b>	<b>FST</b>
<b>1</b>	0	0,30
<b>2</b>	0	0,45
<b>3</b>	0	0,60
<b>4</b>	1	0,30
<b>5</b>	1	0,45
<b>6</b>	1	0,60
<b>7</b>	2	0,30
<b>8</b>	2	0,45
<b>9</b>	2	0,60
<b>10</b>	3	0,30
<b>11</b>	3	0,45
<b>12</b>	3	0,60

### 2.1. Modelado de la Red de Estudio

La empresa responsable del suministro de energía en el barrio estudiado es la distribuidora Electricidad de Misiones Sociedad Anónima (EMSA). La red de distribución es operada en los niveles de tensión 380/220V y se vincula al resto de los sistemas mediante sub estaciones MT/BT 13,2/0,4 kV. En la Fig. 1 se observa el diagrama unifilar de la red bajo estudio. La información necesaria para la parametrización y modelado de las líneas de distribución, así como los transformadores y la demanda prevista del barrio fue obtenida, analizada y calculada a partir de un relevamiento del grupo

de investigación, trabajando en conjunto con EMSA y el Centro de Estudios de Energía para el Desarrollo (CEED) de la Facultad de Ingeniería de Oberá.

El modelo cuenta con 18 Nodos, 700 usuarios del tipo generador-consumidor y 369 solo consumidores. El total de viviendas del modelo está distribuido en 8 transformadores de 13,2/0,4kV de 500kVA. La generación de energía eléctrica de un usuario generador-consumidor es del tipo fotovoltaica conformada por paneles solares y un inversor sin control de tensión. Tanto la potencia de generación instalada como el consumo eléctrico, varía en cada escenario de la Tabla 1. Para el modelado se calculó un consumo equivalente y una generación equivalente vista desde el nodo de cada transformador como se ilustra en la Fig. 1, luego todos los transformadores se conectaron a un generador equivalente del Sistema Argentino de Interconexión (SADI).

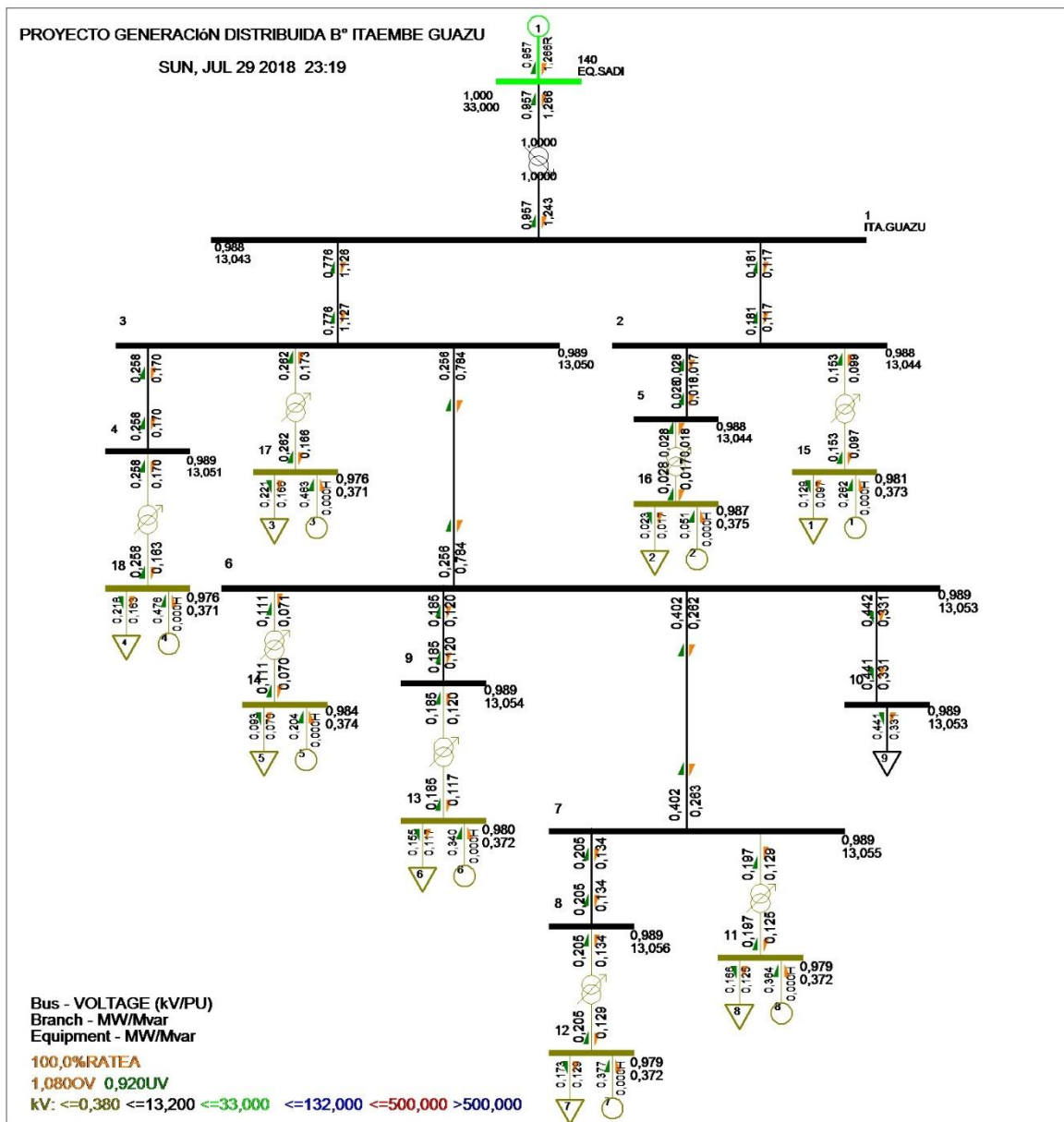


Fig. 1. Modelo unifilar de la red de estudio.

### 3. Resultados de la Simulación

#### 3.1. Efectos sobre el nivel de tensión en los nodos ante cambio de Demanda.

En la Fig. 2 se observa los niveles de tensión en p.u. de los nodos para los escenarios 1, 2 y 3, que representan la situación donde la red de distribución se mantiene pasiva, es decir, sin la inserción de la generación distribuida. La única variación entre los escenarios presentados es el valor del FST. Como es de esperarse, disminuyen los niveles tensión al incrementarse la demanda.

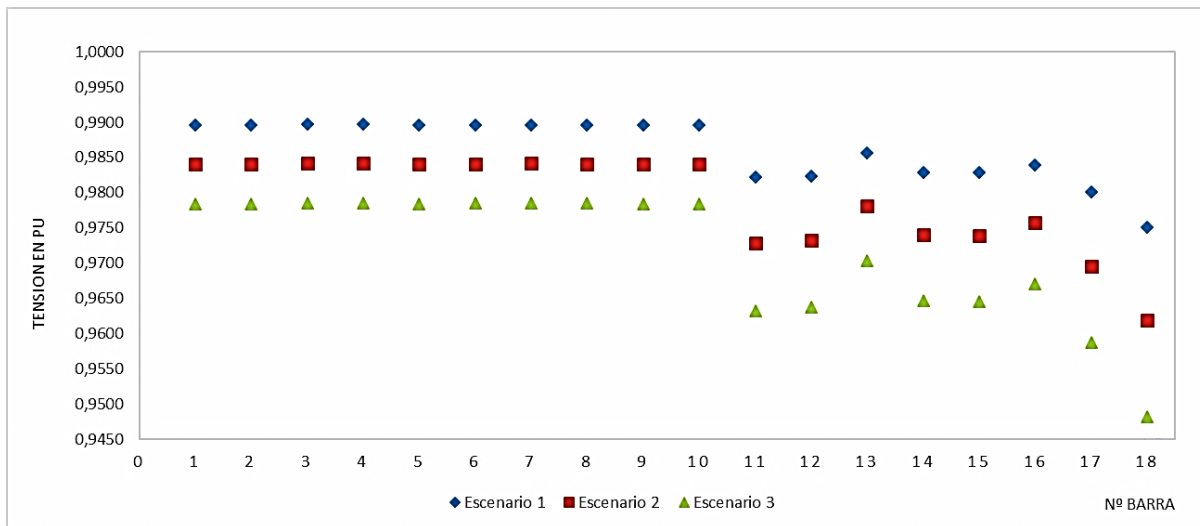


Fig. 2. Niveles de tensión de la red considerando escenarios sin generación.

La Fig. 3 corresponde a la condición donde se presenta un alto nivel de penetración de GDD y se varia el factor FST entre los escenarios. Comparando las Fig. 2 y Fig. 3, se observa que el nivel de tensión en los nodos del modelo es muy sensible al cambio en el consumo de energía y en menor medida al cambio en la potencia de generación instalada, mostrando similares niveles de tensión en cada nodo para ambas gráficas.

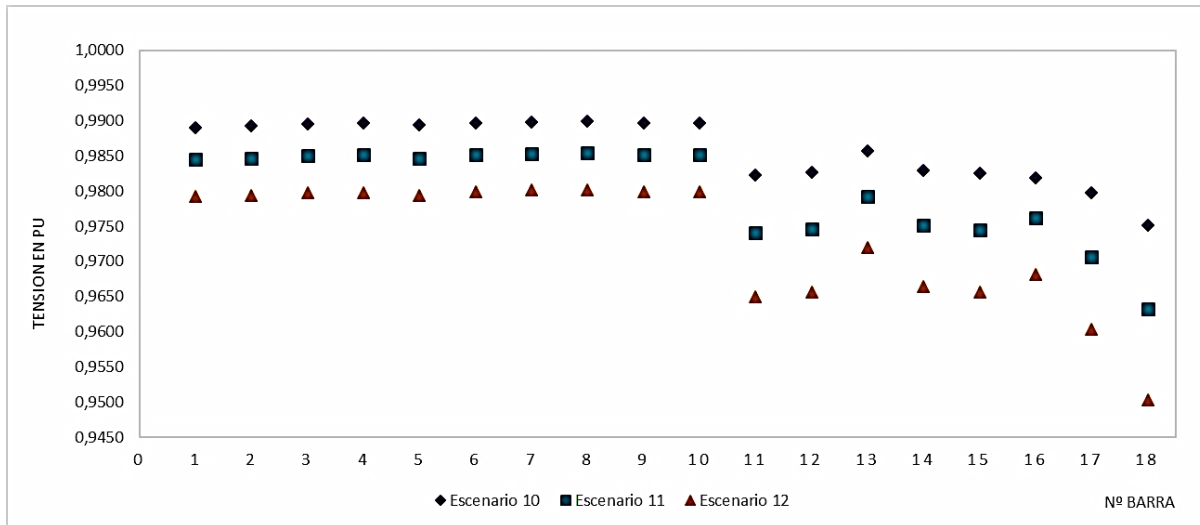
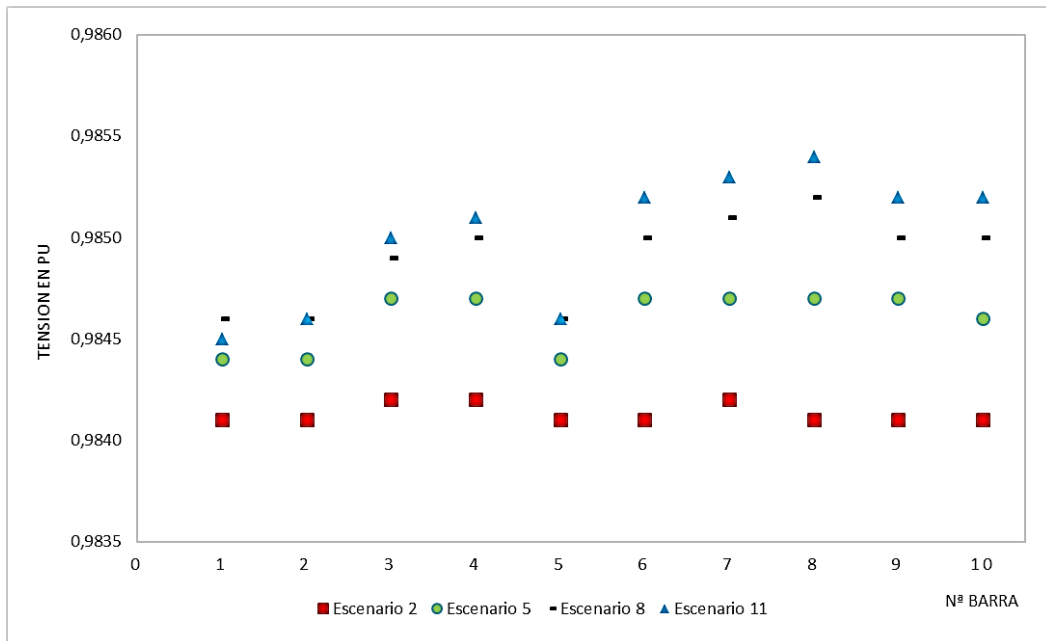


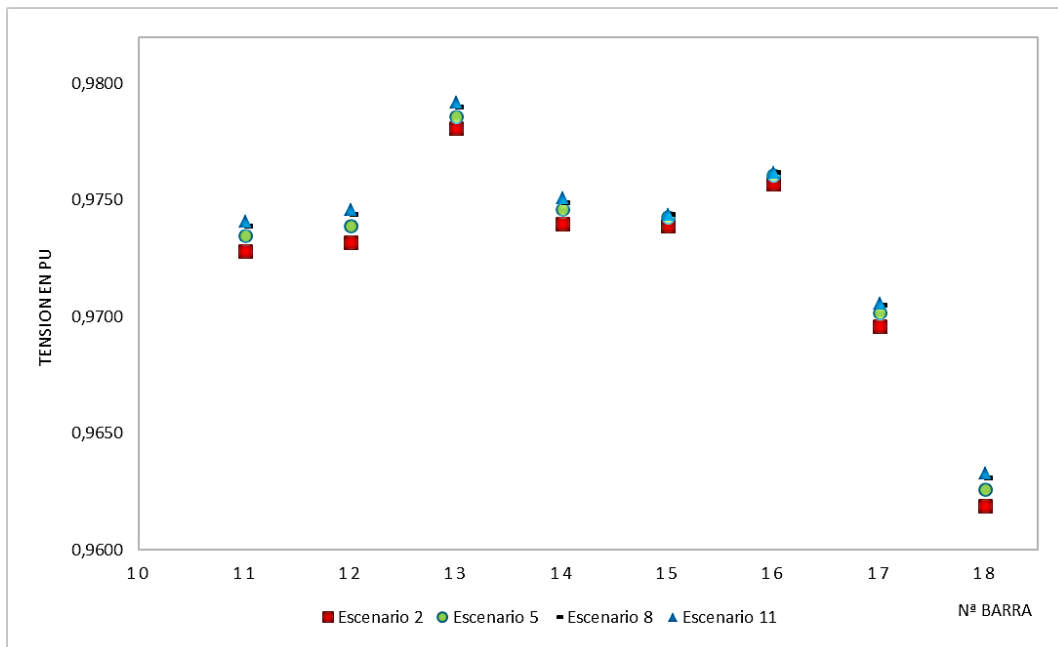
Fig. 3. Niveles de tensión de la red considerando escenarios con generación.

### 3.2. Efectos sobre el nivel de tensión en los nodos ante cambio de la Potencia de Generación.

Por otra parte, la Fig. 4 y Fig. 5 muestran el comportamiento de los niveles de tensión en p.u. de los nodos de 0,4kV y 13,2 kV respectivamente, para diferentes niveles de penetración de GDD y un mismo nivel de consumo. Se observa una mejora en el nivel de tensión de toda la red al aumentar el nivel de penetración de la GDD. Cabe destacar que en ningún caso con inserción de GDD las variaciones de tensión superan  $\pm 5\%$  establecidos por la normativa vigente.



**Fig. 4 - Niveles de tensión en nodos de 13,2kV variando el nivel de penetración.**



**Fig. 5 - Niveles de tensión en nodos de 0,4kV variando el nivel de penetración.**

### 3.3. Efectos sobre la Potencia Activa y Reactiva

En la Fig. 6 se observa el flujo de potencia en el equivalente del SADI para cada uno de los escenarios planteados, donde una potencia positiva indica que el SADI entrega energía al modelo y una potencia negativa que el SADI absorbe energía.

En los escenarios planteados 7, 10 y 11 el modelo se autoabastece de potencia activa por medio de la GDD. Se esperaría que para estos escenarios se produzca un alivio de la capacidad de transmisión de red y disminución en las pérdidas.

Sin embargo, en todos los escenarios el abastecimiento de la potencia reactiva se logra desde la red. Según se describió en la *Sección 2.1* para el modelado del usuario generador-consumidor se usó un inversor sin control de tensión, este es el motivo por el cual el modelo no aporta potencia reactiva a la red, lo cual en un mayor grado de penetración podría acarrear problemas de tensión en los nodos, reflejando la importancia del control de tensión en el punto de generación. Por este motivo, la potencia reactiva en escenarios de igual FST es la misma.

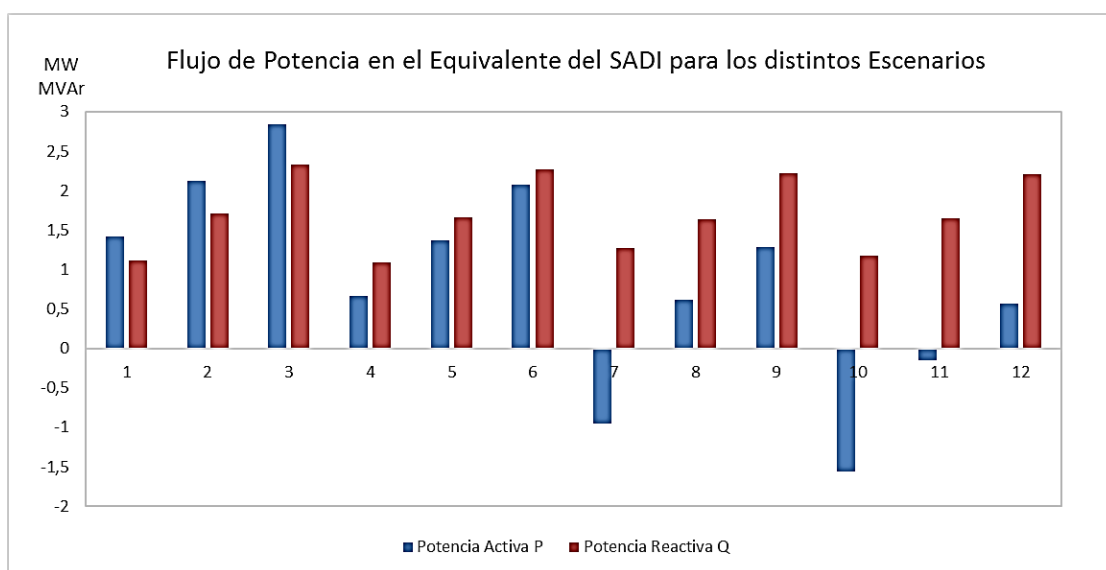


Fig. 6. Variación de potencia activa y potencia reactiva con distintos niveles de penetración de GDD.

## 4. Conclusiones

Conforme a lo analizado, se concluye que fue posible realizar un estudio del impacto de la generación distribuida domiciliar fotovoltaica (ó GDD FV) en la red de distribución de un sector del barrio Itaembé Guazú a través de simulaciones de flujo de potencia teniendo en cuenta distintos escenarios.

Se determinó que el nivel de tensión en un nodo del barrio modelado es más sensible al cambio de la demanda que al cambio en la penetración por GDD FV. Los resultados reflejaron la mejora en los niveles de tensión que presenta la red de distribución en BT con la incorporación de la GDD FV con un potencial alivio de la capacidad de transmisión de red y disminución en las pérdidas. Se debe tener en cuenta que los resultados son de un barrio pequeño y en construcción, por ende, la red se encuentra sobredimensionada para la demanda actual.

Cómo continuidad del trabajo se pretende ampliar el modelo de simulación de la red hasta la estación transformadora San Isidro y analizar los efectos de colocar inversores con control de tensión

en el punto de generación, donde se espera que sea más notoria la mejora en los niveles de tensión nodales y alivio de la red por flujo de potencia reactiva.

De esta manera, se espera aportar análisis y resultados que permitan ser bases para resolver los problemas derivados de la consecuente inserción de generación distribuida a la red misionera.

## 5. Referencias

- [1] M. Alejandra M. Escobar, “Diseño de sistema de generación fotovoltaica para viviendas conectadas a la red de distribución, en el contexto de la ley N° 20.571” Universidad de Chile, 2016.
- [2] F. G. Castro Elgueta, “Impacto de la generación distribuida en la estabilidad de sistemas de potencia” Universidad de Chile, 2013.
- [3] V.M. Doña, T.J. Strada, A. Hoesé, “Proyecto Solar San Juan” Gobierno de la Provincia de San Juan – Argentina, 2009.
- [4] GRISALES L. F. et al. “Ubicación y dimensionamiento de generación distribuida: una revisión” en Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 2017, vol. 27, no. 2, pp. 157-176. DOI: <http://dx.doi.org/10.18359/rcin.2344>.
- [5] INFOLEG - Regimen de fomento a la generacion distribuida de energia renovable integrada a la red electrica pub – [En línea] ultimo acceso julio 2018 - disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=305179.pdf>
- [6] Energía Estratégica. [En línea]. Disponible en: [www.energiaestrategica.com/san-luis-desarrollara-pruebas-generacion-renovable-distribuida-33-hogares](http://www.energiaestrategica.com/san-luis-desarrollara-pruebas-generacion-renovable-distribuida-33-hogares). Ultimo Acceso en: junio de 2018. Ultimo acceso julio 2018.
- [7] RUMBO ENERGETICO. [En línea]. Disponible en: <http://rumboenergetico.com/corrientes-hace-su-prueba-piloto-de-generacion-distribuida/>. Ultimo Acceso en: junio de 2018.
- [8] IRESUD - [En línea]. Disponible en: <https://iresud.com.ar/>. Ultimo Acceso en: junio de 2018.
- [9] Ley de Balance neto Misiones – [En línea] ultimo acceso julio 2018 Disponible en: [http://www.diputadosmisiones.gov.ar/web\\_camara/archivos/proyectos/P45220.pdf](http://www.diputadosmisiones.gov.ar/web_camara/archivos/proyectos/P45220.pdf)
- [10] Resolución ENRE 0556/2001. [En línea] ultimo acceso julio 2018 - Disponible en: [http://www.enre.gov.ar/web/bibliotd.nsf/\(\\$IDWeb\)/468725BF29AFB34D03258003004DD517](http://www.enre.gov.ar/web/bibliotd.nsf/($IDWeb)/468725BF29AFB34D03258003004DD517)
- [11] Vinson, A. Jurado, P. Vigli, “Estudio de un sistema de distribución con alta penetración de generación de energía solar”, CIDEL AEA. pp. 34-40, 2014.
- [12] F. Longatt, A. Hernández, F. Guillen “Impacto del modo de integración de la generación distribuida en la regulación de voltaje y perdidas de potencia de la red de distribución” II Congreso Venezolano de Redes y Energía Eléctrica. Junio de 2009.
- [13] F. Longatt, A. Hernández, F. Guillen “Impacto de la generación distribuida en las perdidas y la regulación de un sistema de distribución” JIFI - Encuentro Académico Industrial - 2006.
- [14] F. A. Morán, M. L. Facchini, V. M. Doña, “Impacto de la generación fotovoltaica distribuida en los niveles de tensión. Aplicación a un caso real” vol. 14, pp. 1–8, ASADES 2010.