

[VOLVER AL ÍNDICE](#)

ANÁLISIS DE INSERCIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA DE BAJA ESCALA DE POTENCIA EN UNA RED URBANA DE MEDIA TENSIÓN EN EL MARCO DEL PROGRAMA PROSUMIDORES DE LA PROVINCIA DE SANTA FE

Ulises Manassero (ulisesmanassero@hotmail.com); Diego López (dclopez@frsf.utn.edu.ar); Juan Marcos Banegas (jmbanegas@frsf.utn.edu.ar); Mariano Nicolau (marianonicolau@outlook.com); Esteban Salvetti (esteban.salvetti@gmail.com)

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Santa Fe (UTN-FRSF) - Arg.
Universidad Nacional del Litoral; Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo (UNL-FADU) - Arg.

Palabras clave: Generación Fotovoltaica, Prosumidor, Red de distribución, Generación Distribuida

Las políticas energéticas mundiales, focalizadas en la eficiencia energética y la descarbonización de la matriz energética, posicionan a la generación fotovoltaica distribuida de baja potencia como una alternativa efectiva para el desplazamiento de la generación fósil convencional, sumado a los importantes ahorros en pérdidas de energía en las redes de alta y media tensión y a la participación del usuario final en su nuevo rol de "prosumidor". En este contexto, este trabajo analiza la integración de generación fotovoltaica de baja escala de potencia en una red de distribución de 13,2 kV, considerando los requerimientos y restricciones del programa Prosumidores impulsado por la provincia de Santa Fe, Argentina. Los resultados obtenidos de las simulaciones de flujos de potencia evidencian que los porcentajes admisibles de inserción de energía fotovoltaica de baja escala en prosumidores residenciales se encuentran en el rango del 47-83% respecto a la energía anual demandada por el sistema de distribución analizado.

1. INTRODUCCIÓN

La generación solar fotovoltaica (GFV) se apoya en una de las industrias más dinámicas dentro de las fuentes de energía renovable, con mejoras continuas en su tecnología, aumentos en la escala de fabricación y reducción constante de sus costos. Dentro de todas las tecnologías de generación, la fotovoltaica (FV) ha mostrado las tasas de crecimiento más elevadas en instalación y puesta en servicio en los últimos años. Entre 2000 y 2016, los desarrollos en energía solar fotovoltaica crecieron a una tasa promedio anual del 44% (IRENA, 2017). En 2016, las fuentes de GFV representaron cerca del 47% de la nueva generación renovable, siendo China el país que lidera la mayor parte de las nuevas

instalaciones. Al menos 17 países del mundo abastecen por lo menos el 2% de su demanda energética anual con GFV, destacándose Honduras (9,8%), Italia (7,3%), Grecia (7,2%) y Alemania (6,4%) (REN 21, 2017). Además, dentro de la generación renovable, la energía solar es la que genera mayor empleo a nivel mundial. Entre 2009 y 2016, los precios de los módulos han disminuido en un 80-85%. En sistemas FV grandes, los costos totales de instalación y el costo nivelado de la energía cayeron 65% y 67%, respectivamente. En el ámbito de los sistemas de baja potencia para aplicaciones residenciales se registran reducciones similares. Por ejemplo, en el período mencionado, los costos de la energía FV se redujeron en un 45% en ciudades de California y un 66% en ciudades alemanas (IRENA, 2016).

La mayoría de las nuevas incorporaciones FV de los últimos años son del tipo “on-grid”; y aunque en mayor proporción corresponden a sistemas centralizados, una parte importante corresponde a sistemas descentralizados de baja potencia. En Alemania, por ejemplo, el 80% de la potencia FV instalada se encuentra conectada a redes de distribución (Stetz, 2016).

En un esquema de integración masiva de GFV distribuida, y principalmente cuando ingresa de forma rápida, se hace necesario estudiar las restricciones en la capacidad de operación de la red, de modo de prever futuras ampliaciones y posibles márgenes en los límites operativos. Por ejemplo, fue un problema en China y otros países durante 2016 (REN 21, 2017), donde debió modificarse la infraestructura para acompañar a la nueva generación. Por otro lado, en redes de distribución donde la GFV es importante, surgen nuevas estrategias de operación y despacho de energía que pueden modificar de manera significativa los modos de operar el sistema (IRENA, 2017).

Argentina también registra un interés creciente por la GFV, pero su contexto legal y económico es diferente al de otros países, y por ello los avances son significativamente más lentos. En lo referido exclusivamente a generadores de baja potencia, actualmente el país cuenta con una ley nacional de generación distribuida (Ley 27.424) recientemente aprobada, donde se fijan lineamientos para que cualquier usuario de la red eléctrica pueda autogenerar energía mediante fuentes renovables y eventualmente inyectarla a la red. Aunque esta ley es nacional, no todas las provincias adhieren aún.

Santa Fe es una de las primeras provincias argentinas en fomentar la autoproducción FV, que comenzó a aplicar una regulación hace ya varios años, y dispone actualmente de lineamientos técnicos y comerciales impartidos por la empresa distribuidora (EPESF). Por otro lado, se espera que esta actividad se incentive aún más mediante el “Programa Prosumidores” (Prosumidores 2.0), el cual fija tarifas diferenciales e incentivos económicos a aquellos usuarios que autogeneren energía mediante generadores propios de origen renovable. Este programa está apoyado por un financiamiento de la instalación que permite reducir el período de repago de los generadores. Bajo este contexto provincial, se ha comenzado a estudiar el impacto de una potencial inserción masiva de GFV en la red de distribución, tanto desde el punto de vista económico (Sangoi E, et al 2017) como técnico (Sangoi E, et al 2016), considerando particularmente en este último caso los impactos sobre la red de distribución.

Este trabajo propone analizar la integración de GFV de baja potencia en una red de distribución primaria de 13,2 kV, considerando especialmente requerimientos y restricciones del Programa Prosumidores impulsado por la provincia de Santa Fe (Argentina).

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada para evaluar el impacto de la inserción masiva de GFV en una red típica de distribución consistió en modelar una red urbana de 13,2 kV estándar de la ciudad de Santa Fe con configuración de operación radial que consta de 4 distribuidores que abastecen un total de 31 subestaciones transformadoras (SETs). La demanda en los distribuidores se ajusta y reparte en las distintas SETs, para niveles de carga conocidos según la cantidad de usuarios y la energía anual demandada por cada SET. En cada nodo se aplicó un perfil de carga semanal típico correspondiente al distribuidor del cual se abastece y a la estación del año correspondiente a la simulación (Figuras 1 y 2), cuyas curvas fueron normalizadas y luego ajustadas por factores de escalado.

En las evaluaciones de inserción de GFV, para cada distribuidor se definieron escenarios extremos de pico y valle de demanda con el propósito de determinar el estado de carga de la red más desfavorable para la inserción de la generación renovable de baja escala de potencia.

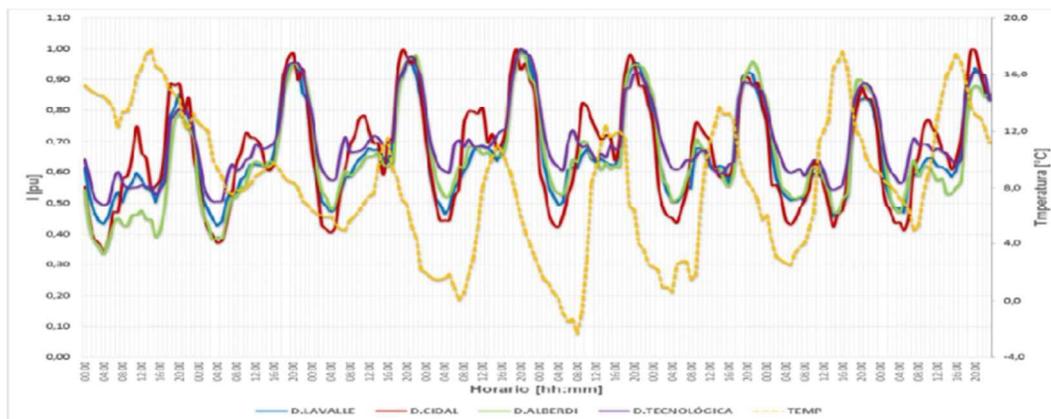


Figura 1: Perfiles de carga de distribuidores de 13,2 kV –Escenario Invierno

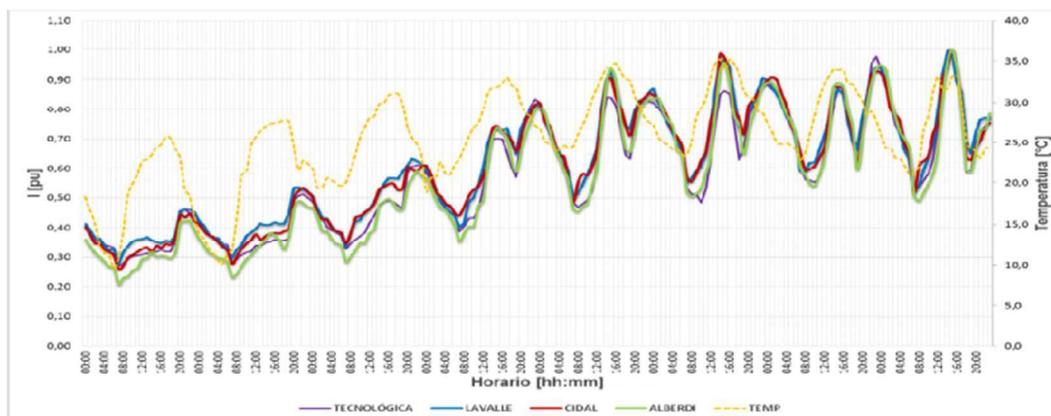


Figura 2: Perfiles de carga de Distribuidores de 13,2 kV –Escenario Verano

Para el análisis de la inserción de generación FV de baja potencia se supuso la conexión, en cada nodo de 13,2 kV, de un GFV equivalente a un conjunto de prosumidores residenciales vinculados a la SET en cuestión. Para ello, se adoptan los siguientes supuestos:

- Solo usuarios de tipo residencial existentes en la red estudiada instalan GFV.
- El módulo de potencia nominal del GFV por Prosumidor es de 1,8 kW.

El estudio se realizó mediante sucesivas simulaciones de flujos de carga efectuadas con el software NEPLAN. En cada simulación se incrementó progresivamente la potencia de la GFV por nodo en base a la ecuación (1) y considerando el nivel de inserción evaluado (porcentaje de usuarios residenciales que instalan GFV).

$$P_{gen} = \%_{UGen} \times \text{Cantidad de usuarios residenciales de la SET} \times P_{nom} \quad (1)$$

Donde:

- $\%_{UGen}$: Porcentaje de usuarios residenciales que instalan GFV
- P_{nom} : Módulo de Potencia unitario del sistema de GFV de cada Prosumidor (en este caso 1,8 kW).

Para la región analizada, los cálculos de los perfiles de generación de potencia anual de los sistemas fotovoltaicos se realizaron en base a los registros históricos de irradiancia solar global y temperatura ambiente existentes en la base de datos internacional Soda-Pro (SODA-PRO). A partir de esta información, se calcularon además las siguientes variables de

la GFV: i) la producción anual de energía, ii) el factor de carga (relación entre la energía generada y la teórica factible de generar según la potencia nominal del GFV), iii) las horas anuales de generación, y iv) el factor de disponibilidad (horas efectivas de operación del GFV con respecto al período de estudio). Luego, se conformaron los perfiles de GFV semanales tanto para verano como para invierno (Figura 3 y 4), que posteriormente fueron incorporados en los modelos de GFV equivalentes de cada SET.

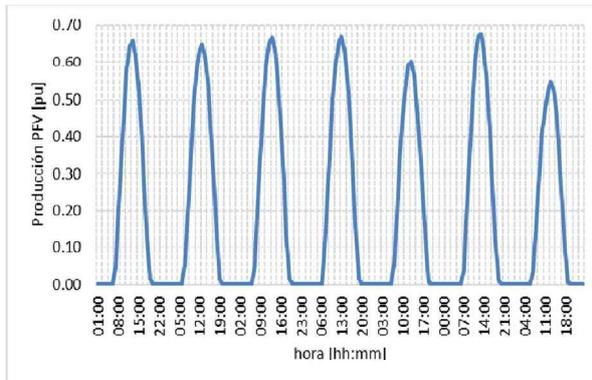


Figura 3: Perfil de GFV semanal de verano

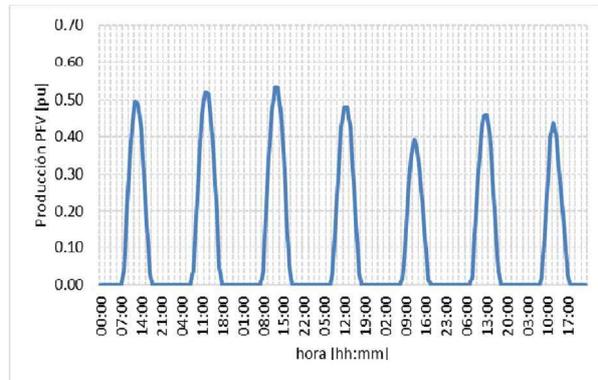


Figura 4: Perfil de GFV semanal de invierno

2.1. Hipótesis adoptadas en el estudio

En el modelado, simulaciones y condiciones de contorno del estudio, se adoptaron las siguientes hipótesis:

- Los niveles de calidad del producto técnico están basados en las reglamentaciones que rigen en Argentina (CAMMESA, 2017).
- Los límites de capacidad de transmisión de potencia de las líneas aéreas de 13,2 kV están basados en los límites de carácter térmico-mecánico impuestos por sus conductores.
- La configuración de la red distribución de 13,2 kV estudiada es aquella utilizada con mayor frecuencia cuando la red opera en condiciones normales.
- Factor de potencia de las demandas igual a 0,90 inductivo.
- GFV residencial con inyección de energía a la red a factor de potencia unitario (EPESF, 2013).
- El módulo de potencia de GFV por cada usuario residencial se determina según requerimientos del programa Prosumidores 2.0 (Subsecretaría de Energías Renovables, 2018).
- Los escenarios de demanda pico se obtienen a partir del percentil 95 de las potencias máximas diarias del último año móvil de cada distribuidor.
- Los escenarios de demanda valle se obtienen a partir del percentil 50 de las potencias medias diarias del último año móvil de cada distribuidor.

2.2. Descripción de la Red de distribución modelada

Los estudios de inserción de GFV se realizaron sobre una red de distribución estándar de tipo urbana residencial de la ciudad de Santa Fe. La red de estudio se compone por cuatro distribuidores de 13,2 kV cuyas características técnicas se presentan en la Tabla 1.

Este conjunto de distribuidores se vincula a un Centro de Distribución (CD) en 13,2 kV (CD GÜEMES), el que a su vez es abastecido desde dos alimentadores subterráneos (400 Al-XLPE) de 2,6 km de longitud, provenientes de la Estación Transformadora (ET) 132/33/13,2 kV (ET CALCHINES). En la Figura 5 se puede observar la traza de los distribuidores y la ubicación de las SETs abastecidas.

Tabla 1: Características de los distribuidores

Distribuidor	TECNOLÓGICA	LAVALLE	CIDAL	ALBERDI
Numero de SETs 13,2/0,4 kV	9	9	8	5
Longitud troncal [km]	2,59	3,03	1,88	2,04
Tipo de Conductor	70 Al y 95/15 Al/Ac	70 Al, 95/15 Al/Ac y 35 Cu	70 Al y 120 Cu/Api	70 Al
Potencia pico [MVA]	4,22	2,89	3,71	1,88
Potencia de valle [MVA]	1,95	1,36	1,55	0,79
Número de usuarios residenciales	1.565	1.927	1.449	1.218
Energía media anual consumida [MWh]	11.442	9.825	5.979	5.765



Figura 5. Imagen Satelital de la zona de estudio con las trazas de los distribuidores

2.3. Modelado de la Red de distribución

Para realizar el modelado de la red de distribución de 13,2 kV se utilizó el software NEPLAN, versión 5.3.51. La Figura 6 muestra el modelo final implementado de la red. A partir del modelo base se realizaron sucesivas simulaciones de flujos de carga semanales. Los diferentes casos de estudio contemplaron análisis de la red para una semana típica de verano y otra de invierno.

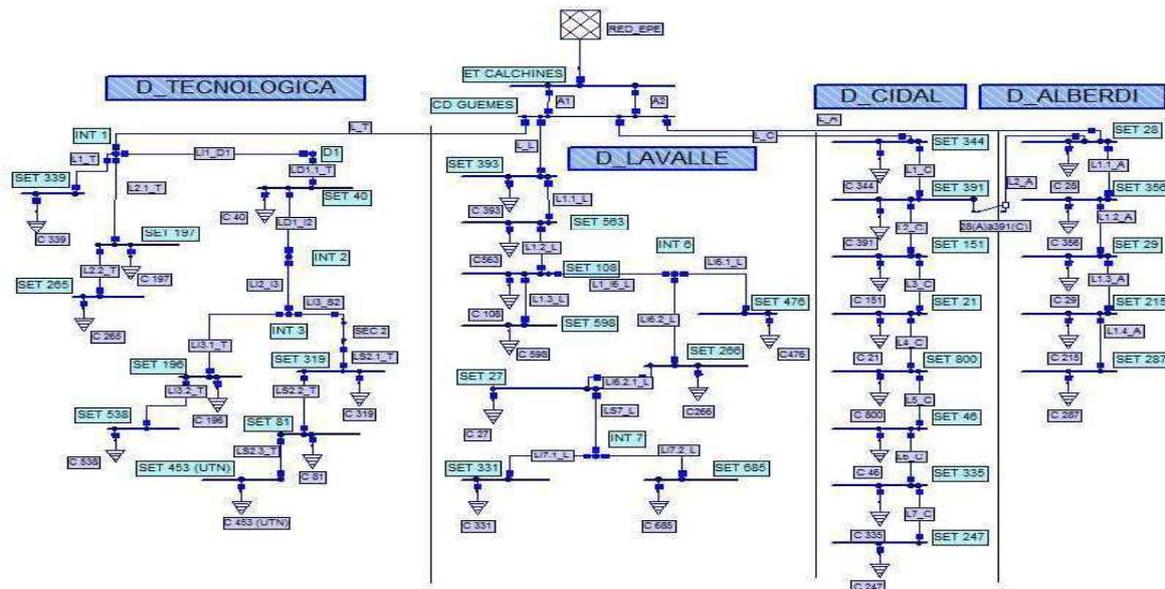


Figura 6. Modelado de la Red de distribución

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las simulaciones de flujos de carga semanales (verano e invierno para escenarios de pico y valle de demanda), se obtuvieron las potencias máximas globales de GFV admitidas en la red de estudio. Luego, con el propósito de analizar su participación relativa en el sistema, se definieron diferentes factores de inserción. Cabe destacar que para ambos escenarios de demanda, las restricciones de potencia FV se debieron a las sobretensiones en los nodos de demanda más alejados del CD Güemes.

3.1. Nivel de inserción de GFV

3.1.1. Nivel de inserción en términos de cantidad de Prosumidores

A partir de la ecuación 2 se obtiene el nivel de inserción de GFV de acuerdo a la cantidad de Prosumidores Residenciales admitidos con relación al total de usuarios residenciales existentes en la red de estudio.

$$\%I_{RES} = \frac{n^{\circ} \text{ de usuarios GFV distribuidor}}{n^{\circ} \text{ de usuarios residenciales por distribuidor}} \times 100 \quad (2)$$

Considerando módulos de 1,8 kW de GFV por cada prosumidor, para condiciones de pico de demanda de los distribuidores, se obtuvo un $\%I_{RES}$ de 150% en el escenario de verano y de 180% en invierno. Con mayores restricciones, frente a escenarios de valle de demanda, los $\%I_{RES}$ se reducen a 127% y 152% para escenarios de verano e invierno respectivamente.

Estos niveles de $\%I_{RES}$ demuestran que la red está en condiciones de permitir una conversión completa del total de usuarios residenciales consumidores a prosumidores, e inclusive podrían añadirse un 27% más de prosumidores según el caso más restrictivo, correspondiente al escenario valle de verano, o bien permitir que los prosumidores residenciales existentes instalen módulos de potencia superiores a 1,8 kW.

Debido a la clara diferencia existente entre los niveles de inserción admitidos en el escenario de invierno con respecto al de verano, se procede a mostrar análisis, conclusiones y resultados de este último exclusivamente, ya que arroja los valores más conservadores.

3.1.2. Inserción de GFV prosumidores residenciales en términos de aporte de energía

En términos energéticos, la participación de la GFV en la red se define a partir de la relación entre la energía anual aportada por la generación renovable y la energía total consumida por el sistema. El porcentaje de inserción de la GFV, en términos energéticos (%I_E), se obtiene a partir de la ecuación (3).

$$\%I_p = \frac{P_{fv-asa}}{P_{Max}} \times 100 \tag{3}$$

- P_{fv-asa} : Energía anual fotovoltaica generada en el distribuidor y/o sistema
- P_{Max} : Energía anual consumida en el distribuidor y/o sistema

En la Figura 7 y en la Figura 8 se presentan los %I_E por distribuidor en función de la tensión en el nodo más comprometido de la red para escenarios de pico y valle de verano. El distribuidor LAVALLE se destaca por su mayor sensibilidad en la variación de tensión en sus nodos ante el incremento de potencia inyectada por la GFV, siendo el primero en manifestar niveles de tensión en alguno de sus nodos por encima de los valores admisibles (condiciones de sobretensión en la SET 331 que abastece este distribuidor).

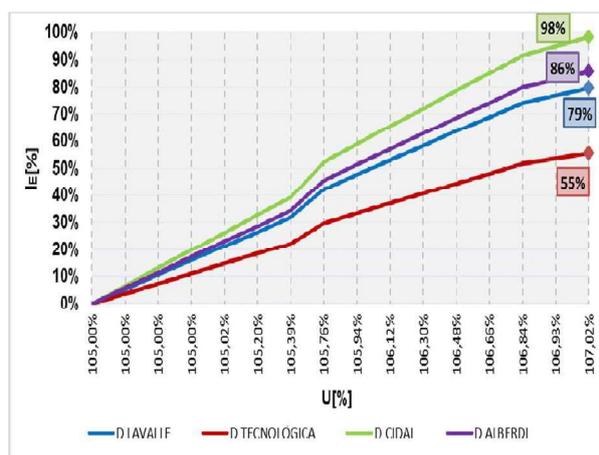


Figura 7: Sensibilidad de Inserción de GFV en términos energéticos en función al voltaje máximo registrado en nodos de cada distribuidor. Escenario pico de verano

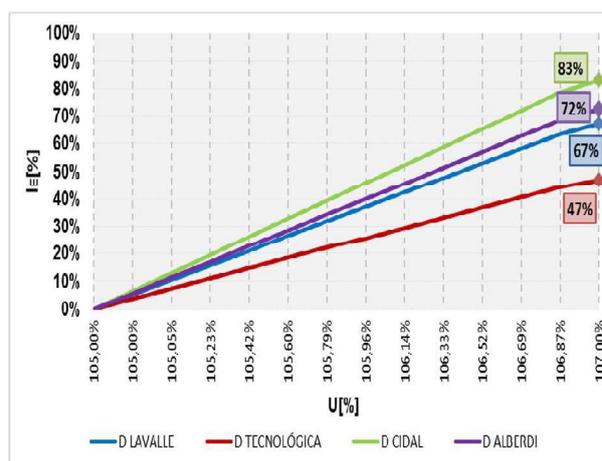


Figura 8. Sensibilidad de inserción de GFV en términos energéticos en función al voltaje máximo registrado en nodos de cada distribuidor. Escenario valle de verano.

Ante la restricción impuesta por las condiciones de sobretensión en un nodo del distribuidor LAVALLE, quedan establecidos los %I_E de GFV en cada distribuidor. En este aspecto, el distribuidor CIDAL tiene el mayor %I_E, seguido por los distribuidores ALBERDI, LAVALLE y, finalmente, el distribuidor TECNOLÓGICA. La diferencia en los niveles de %I_E de GFV admitidos por cada distribuidor tiene como principal fundamento la potencia de cortocircuito de los nodos, con lo cual niveles bajos implican una red de elevada impedancia y más sensible a las variaciones de tensión. Dado que en la red analizada todos los distribuidores están constituidos por conductores similares, las diferencias entre sus impedancias quedan establecidas por las longitudes de desarrollo del troncal y de las derivaciones, siendo los nodos más alejados del CD Güemes aquellos que presentan una mayor sensibilidad a las variaciones de tensión. Según este argumento, en la Figura 7 se observa que el distribuidor que mayor %I_E admite es el más corto (distribuidor CIDAL), y lo sigue en longitud y %I_E el distribuidor ALBERDI. Con respecto a los distribuidores TECNOLÓGICA y LAVALLE, la impedancia no constituye el parámetro de mayor peso en el %I_E obtenido, donde pueden influir otras variables como la energía demandada o el porcentaje de participación de usuarios residenciales en el distribuidor.

A partir del análisis de los perfiles de carga semanales simulados, las Figuras 9 y 10 muestran la variación de tensión en los nodos de los distribuidores. Se observa el impacto de la GFV en la evolución de los perfiles de tensión de los nodos extremos de carga, pues de la comparación de los casos extremos de Base (sin GFV) y con máxima inserción de GFV (127%), estos nodos presentan incrementos del orden al 3%, alcanzando el límite máximo admisible de 107%. Por otra parte, se comprueba también que para la máxima inserción admitida de GFV, los distribuidores aún presentan un margen de carga disponible del 30% en el tramo más solicitado (ver Figuras 11 y 12), alcanzando un incremento del orden del 50% en su estado de carga, con respecto a su nivel Base (sin GFV).

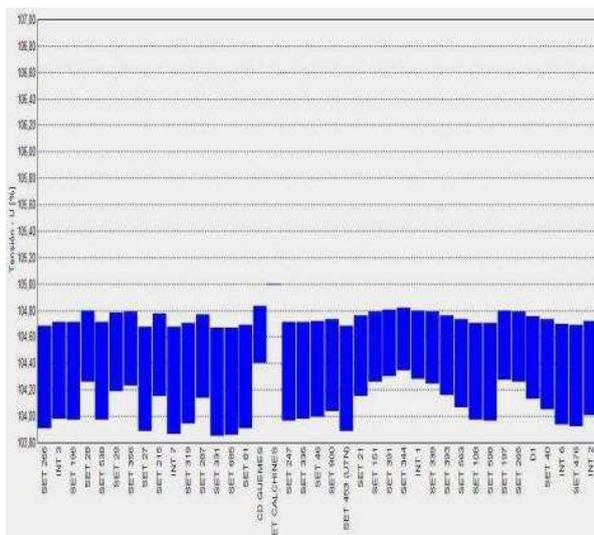


Figura 9: Variación de tensión en nodos de la red para perfil semanal de valle en escenario Base (sin GFV)

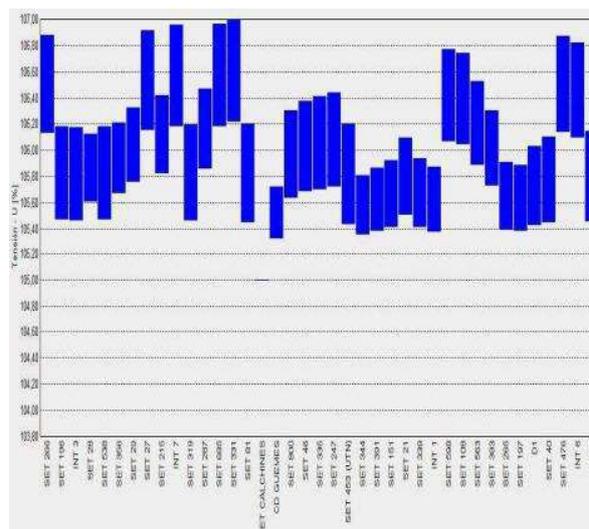


Figura 10. Variación de tensión en nodos de la Red para perfil de carga semanal de valle en escenario de máxima inserción de GFV (127%)

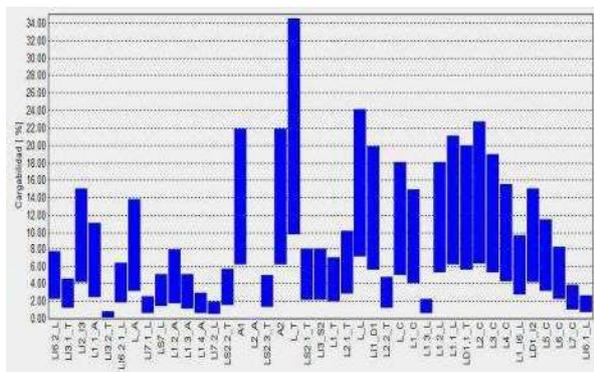


Figura 11: Variación del nivel de carga en tramos de los distribuidores de la red para perfil de carga semanal de valle de verano en escenario Base.

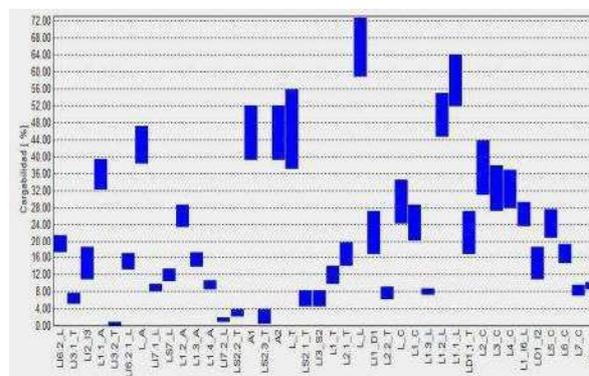


Figura 12. Variación del nivel de carga en tramos de los distribuidores de la red para perfil de carga semanal de valle de verano en escenario de máxima inserción (127%).

3.1.3. Inserción de GFV prosumidores residenciales en términos de potencia instalada

La participación de la GFV en la red en términos de potencia se define a partir de la relación entre la potencia instalada de GFV y la potencia máxima consumida por el sistema. El porcentaje de inserción de GFV en términos de potencia ($\%I_p$) se obtiene a partir de la ecuación 4.

$$\%I_P = \frac{P_{FV-inst}}{P_{Max}} \times 100 \quad (4)$$

- $P_{FV-inst}$: Potencia fotovoltaica instalada en el distribuidor
- P_{Max} : Potencia máxima operada por el distribuidor

En la Figura 13 se resumen los $\%I_P$ y $\%I_E$ admitidos por cada distribuidor. Se destaca que, en términos de $\%I_E$, la GFV de prosumidores residenciales puede abastecer entre un 47% y un 83% de la energía demanda por un distribuidor. Por otra parte, la potencia total de GFV factible técnicamente de instalar en los distribuidores analizados se encuentra en el rango de 85% a 152% de la potencia máxima operada en los distribuidores.

A nivel global, es posible abastecer con GFV el 64% de la energía consumida anualmente en toda la red bajo estudio. Puesto en términos de potencia significaría instalar una potencia de GFV del 111% de la potencia máxima operada en toda la red.

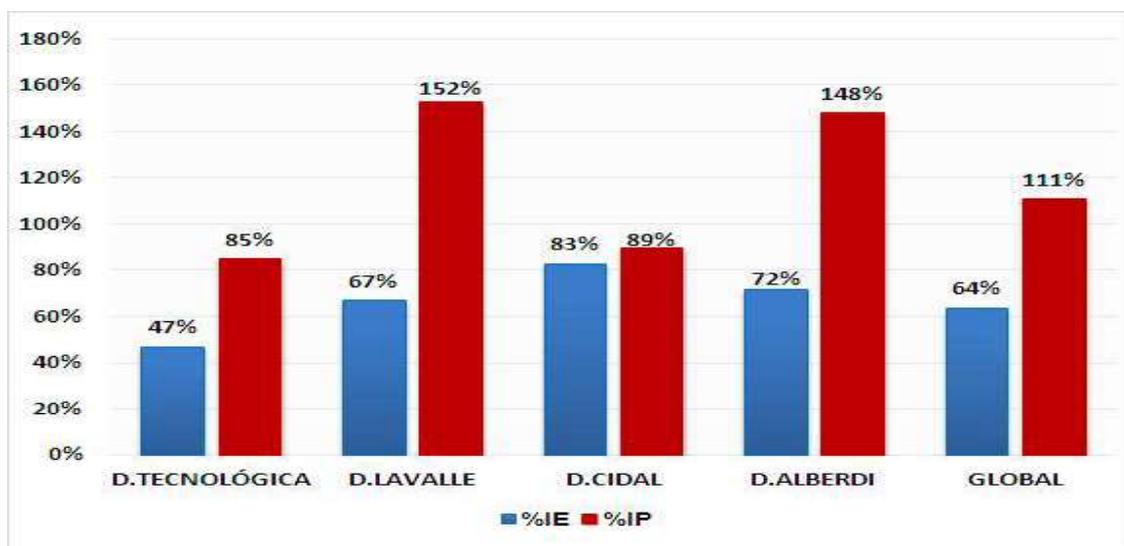


Figura 13. Porcentajes de Inserción de GFV en términos de potencia y energía

3.2. Perfiles de tensión en el desarrollo del distribuidor en función a la inyección de potencia de la GFV

En esta sección se analiza la sensibilidad de los perfiles de tensión observados a lo largo del distribuidor en relación a la inyección de potencia por GFV. Los resultados de las simulaciones de flujos de carga expuestos anteriormente demuestran que la potencia de inserción de GFV máxima admitida en la red de estudio, presenta como restricción las sobretensiones registradas en los nodos más alejados de la fuente que abastece al sistema (CD GÜEMES). En este sentido, en la Figura 14 se muestra la variación de tensión en los nodos (SETs) del distribuidor LAVALLE con respecto a su distancia al CD GÜEMES ante la inserción de GFV. Debe observarse que la SET 331, alcanza el valor máximo permitido de tensión, siendo efectivamente el punto más alejado del distribuidor, y por ende el más sensible a las variaciones de tensión impuestas por el aporte de potencia de la GFV.

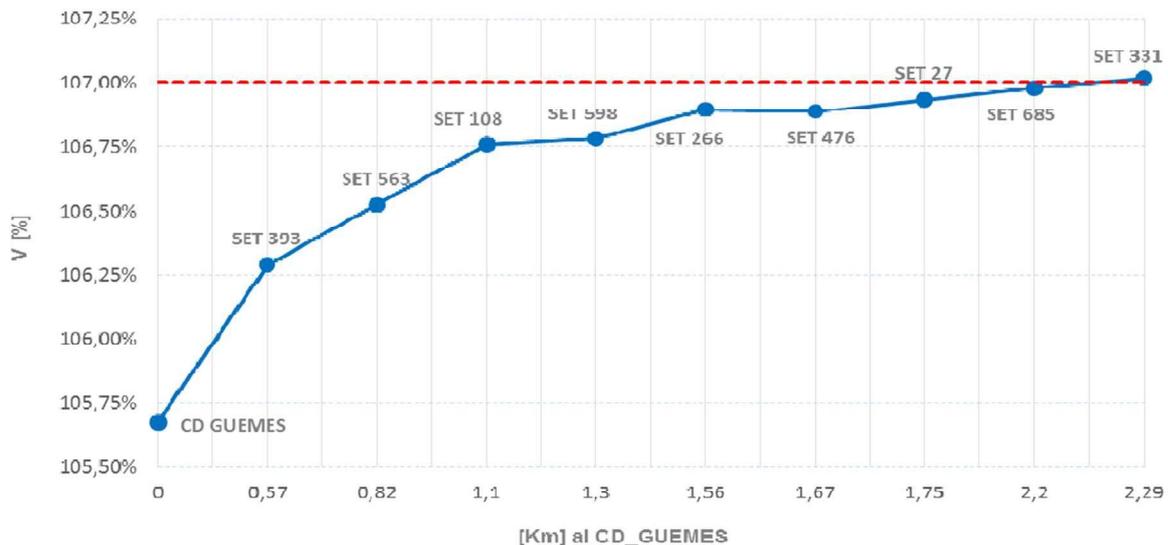


Figura 14. Perfiles de tensión en nodos del distribuidor LAVALLE en función a su distancia al CD Güemes

3.3. Potencia nominal de los GFV para lograr conversión completa de usuarios residenciales a Prosumidores

Al establecerse un módulo de GFV de $P_{NOM} = 1,8 \text{ kW}$, los niveles de $\%I_{RES}$ obtenidos se encuentran por encima del 100% de los usuarios. Luego, a los fines de alcanzar una conversión total de los usuarios residenciales existentes en la red a prosumidores, se debe considerar un $\%I_{RES} = 100\%$. En términos de la Ecuación (1), el módulo de potencia máxima de GFV por prosumidor (sin que se infrinjan los requisitos técnicos de suministro de energía) debe ser de 2,3 kW.

3.4. Verificación de los niveles de inserción obtenidos de GFV con el programa Prosumidores 2.0

En el programa impulsado por el gobierno de Santa Fe "Prosumidores 2" (Subsecretaría de Energías Renovables, 2018) se establecen dos condiciones básicas concernientes a un rango de P_{NOM} del sistema de generación que se puede instalar y al porcentaje de energía que se puede generar con respecto a la consumida anualmente por el usuario Prosumidor. De acuerdo a los resultados obtenidos de inserción de GFV, se verifican dichas condiciones.

- Verificación de P_{NOM} : $1,5\text{kW} \leq P_{NOM} \leq 5 \text{ kW}$

Se observa que para el 100% de inserción de GFV, la instalación de módulos de 2,3 kW de P_{NOM} cumple con los requisitos de rango de potencia nominal admitido por el Programa para usuarios residenciales.

- Verificación del Factor Prosumidores (f_{PRO}): $f_{PRO} \leq 80\%$ De acuerdo a la ecuación 5, puede calcularse el f_{PRO} .

$$f_{pro} = \frac{E_{a-fv-gen}}{E_{a-com-res}} \times 100 \quad (5)$$

- $E_{a-fv-gen}$: Energía anual fotovoltaica generada en el distribuidor.
- $E_{a-com-res}$: Energía anual consumida por usuarios residenciales del distribuidor.

Los valores calculados del f_{PRO} presentados en la Tabla 2 permiten inferir que solo el distribuidor TECNOLÓGICA verifica el límite máximo del 80%. Por lo tanto, se proponen ajustes en los módulos de P_{NOM} de GFV admitidos en cada distribuidor a los fines de cumplir

con la verificación del f_{PRO} y a su vez permitir que el total de los usuarios residenciales puedan instalar GFV (ver Tabla 3).

Tabla 2: Factor PROSUMIDORES – 100% de inserción residencial – $P_{NOM}=2,3$ kW

Distribuidor	TECNOLÓGICA	LAVALLE	CIDAL	ALBERDI
f_{PRO}	59%	93%	116%	84%

Tabla 3: Factor PROSUMIDORES ajustada – 100% de inserción residencial

Distribuidor	TECNOLÓGICA	LAVALLE	CIDAL	ALBERDI
$f_{PRO-ADJUST}$	59%	77%	76%	79%
$P_{NOM-ADJUST}$ kW	2,3	1,9	1,5	2,0

De esta manera, es posible definir el módulo de P_{NOM} de la GFV óptima desde dos puntos de vista. Desde la perspectiva del Programa Prosumidores, las P_{NOM} óptimas serían las que se observan para cada distribuidor en la Tabla III, ya que verifican con la reglamentación vigente del programa y cumplen también con las condiciones de calidad del producto técnico estipuladas por el código de red argentino. Por otra parte, desde la perspectiva del aprovechamiento de la red, la P_{NOM} óptima es 2,3 kW, ya que permite una inserción del total de los usuarios residenciales, obteniendo la máxima potencia de GFV instalada que admite la red, cumpliendo con las condiciones técnicas de suministro de energía establecidas por el código de red argentino.

4. CONCLUSIONES

La red de distribución analizada admite elevados niveles de inserción de GFV, con aportes de energía renovable por distribuidor en el rango del 47% al 83% de la energía anual demanda por un distribuidor.

Respecto a los módulos de GFV por prosumidor, su P_{NOM} , según el distribuidor, admiten módulos de 1,5 kW a 2,3 kW a los fines de lograr una inserción del 100% de los usuarios residenciales de la red y cumpliendo con las condiciones de operación establecidas por el código de red y con la reglamentación vigente del Programa Prosumidores de la provincia de Santa Fe.

En términos generales, puede afirmarse que la energía fotovoltaica a baja escala inyectada en las redes de distribución por parte de los prosumidores residenciales representa un importante alivio de carga para la red, principalmente en escenarios de verano, debido a las elevadas demandas durante las horas diurnas de mayor temperatura (12-16 hs), que se traducen en picos de carga del sistema.

La potencia máxima de inserción de la GFV queda condicionada por sobretensiones ocasionadas en las barras de la red, las cuales podrían evitarse con nuevas modalidades de operación con soporte de baterías de almacenamiento y/o equipos inversores que admitan un rango de regulación de reactivo del GFV, a los fines de incrementar el aporte de energía fotovoltaica al consumo de demanda de la red y bajo la premisa de no superar la relación máxima admitida entre energía generada y consumida por el usuario, impuesta por el programa prosumidores.

5. BIBLIOGRAFÍA

- International Renewable Energy Agency (IRENA). IRENA Cost and Competitiveness Indicators: Rooftop solar PV. IRENA, Abu Dhabi, ISBN 978-92-9260-037-2, 1 pp. 2017

- *Renewable Energy Policy Network 21 (REN 21). Renewables 2017: Global Status. REN 21. 63-65 pp. 2017.*
- *Stetz Th. Integration of PV plants in distribution grids. OTTI PV Monitoring Workshop, Munich, Germany; 2011.*
- *International Renewable Energy Agency (IRENA). Letting in the light: How solar photovoltaics will revolutionise the electricity system. ISBN 978-92-95111-96-7. 2016.*
- *Ley nacional 27424. Régimen de fomento a la generación distribuida de energía renovable integrada a la red eléctrica pública. InfoLeg, Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de la República Argentina. 2018.*
- *Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe (EPESF). "Resolución N° 442/13 de la Empresa Provincial de la Energía. Procedimiento para el tratamiento de solicitudes de generación en isla o en paralelo con la red de la EPESF", Argentina, 2013.*
- *Subsecretaría de Energías Renovables, Secretaría de Estado de la Energía. "Prosumidores 2.0 – Tarifa promocional para la inyección de generación renovable distribuida en baja tensión", Santa Fe, Argentina, 2018.*
- *Sangoi E., Samper M., Vega J.R. Grid Parity Analysis for Low Power Photovoltaic Systems in Santa Fe (Argentina). 2017*
- *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America). ISBN: 978-1-5386-3312-0/17. 20 al 22 de Septiembre de 2017. Quito, Ecuador. 2017.*
- *Sangoi E., Manassero U., Vega J. R. Impactos sobre la red de distribución generados por la generación distribuida fotovoltaica a baja escala. III Congreso de las Américas de Distribución Eléctrica. Córdoba, Argentina. 2016.*
- *SODA-PRO, Solar Radiation Data. Disponible en <www.soda-pro.com>.*
- *CAMMESA, "Anexo 27: Reglamentación aplicable a la prestación adicional de la función técnica de transporte de energía eléctrica firme en el MEM", 1-12 pp. 2012.*