



*Impacto de una instalación solar fotovoltaica piloto
con conexión a red en el interior de Argentina*

Diego M. Ferreyra, A. Carina Sarmiento, Nicolás J. Rocchia, Gerardo D. Szwarc

UTN Facultad Regional San Francisco, Avenida de la Universidad 501, X2400GLI, San Francisco (provincia de Córdoba), Argentina, Tel: +54-3564-435402/3, gisener@sanfrancisco.utn.edu.ar)

Resumen – En este trabajo, se describen detalles sobre la implementación de una instalación solar fotovoltaica piloto con conexión a red en un ámbito universitario, y se muestran los principales resultados obtenidos en casi dos años de funcionamiento. Se presentan resultados numéricos y conclusiones sobre la magnitud de la energía generada y su evolución mensual, así como sobre la variación durante el día de la potencia generada e inyectada a la red. Se destacan asimismo cuestiones relativas a la modalidad de conexión, protección y medición de la instalación. En el aspecto educativo y de divulgación, se describen detalles sobre las diferentes actividades implementadas, con impacto en la comunidad académica y el medio en general. Finalmente, se enumeran los aportes relacionados con esta instalación piloto realizados en el ámbito de las políticas públicas y la redacción de normativas regionales. Se valora la experiencia como ampliamente favorable, sobre todo por proporcionar una referencia de validación regional sobre numerosos aspectos de la generación distribuida con energía renovable.

Palabras claves - energías alternativas; energías renovables; energía solar fotovoltaica; generación distribuida; redes inteligentes

Abstract – In this work, details are given regarding the implementation of a pilot grid-connected solar photovoltaic installation in a university environment, and the main results are shown after almost two years in operation. Numeric results and conclusions are given on the amount of energy generated and its monthly evolution, as well as the daily variation of the power injected to the grid. Features regarding connection, protection and measurement aspects are also highlighted. On the educational and outreach sides, details are given regarding the different activities deployed, with an impact both on the academic community and the surrounding community. Finally, in relation to this pilot installation, contributions made in the field of public policies and the writing of regional regulations are listed. The experience is deemed as highly favorable, especially given its reference as a regional validation source for several aspects regarding distributed generation with renewable energy.

Keywords - alternative energy; distributed generation; photovoltaic solar energy; renewable energy; smart grids

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, las energías renovables están en el foco de la atención como medio para lograr que los sistemas energéticos dependan cada vez menos del carbón y del petróleo. En el ámbito específico de los sistemas eléctricos, los medios renovables de generación están en creciente expansión. El desarrollo de la competitividad y la capacidad de integración de dichos medios de generación a los sistemas eléctricos resulta de particular interés (IEA, 2016).

Para la expansión de los medios renovables de generación distribuida de energía eléctrica, existen objetivos concretos fijados a nivel mundial, consensuados en diversos encuentros internacionales, como se refleja por ejemplo en (UNFCCC, 2015). En el caso particular de Argentina, estos compromisos se han traducido en políticas concretas y leyes específicas, entre ellas, la reciente ley nro. 27191 (PEN, 2015). Estas acciones políticas y de legislación apuntan en primera instancia a metas por alcanzar en fechas inmediatas, comenzando desde el 31 de diciembre de 2017.

En algunas jurisdicciones y provincias, se tomó una iniciativa temprana en la instauración de leyes y reglamentaciones propias destinadas a sistematizar la conexión a red de fuentes renovables de generación de energía eléctrica, como por ejemplo (EPESF, 2013; EPRE, 2015). En el caso específico de la provincia de Córdoba, ya se ha elevado a la Legislación un anteproyecto de ley provincial a tal fin y se está preparando un borrador para su reglamentación (CAPEC, 2017).

Estos emprendimientos normativos apuntan prioritariamente a la interconexión con la red eléctrica de medios renovables de generación de energía cuyos valores de potencia unitaria sean pequeños en relación

con el tamaño de la red eléctrica. Este formato de trabajo, que se denomina de generación distribuida, permite que usuarios industriales pequeños, comerciales o residenciales se conviertan en “prosumidores”, una figura que implica que el consumidor se convierta también en generador y proporcione al menos una parte de la energía que consume.

En previsión de esta coyuntura actual, la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN-FRSFco) adhirió en 2013 al proyecto IRESUD (Durán *et ál.*, 2014). Este proyecto, gestionado por un consorcio asociativo público-privado, tiene por objetivo propiciar la implementación de instalaciones solares fotovoltaicas piloto en todo el territorio nacional. En ese marco, la UTN-FRSFco inauguró una instalación piloto de este tipo a mediados de 2015 (Energía Estratégica, 2015; La Voz de San Justo, 2015). En la Fig. 1, se muestra una vista de los doce paneles solares fotovoltaicos instalados.



Fig. 1. Vista de los paneles solares fotovoltaicos instalados en la UTN-FRSFco

La energía eléctrica de corriente continua generada por los paneles ingresa a un inversor electrónico. Este equipo ajusta la tensión de continua a un nivel estabilizado y, a partir de ella, sintetiza una tensión de alterna equiparable a la de red en nivel y frecuencia, con una operación en modalidad de fuente de corriente.

En la Fig. 2, se muestra el tablero de operación y control donde se incluye el inversor, junto con borneras para medición y medios de comando y protección.



Fig. 2. Vista del tablero de operación y control donde se incluye el inversor electrónico

En la Tabla 1, se enumeran los valores nominales de esta instalación, los cuales permitieron predimensionar desde un inicio sus resultados y su impacto.

Tabla 1. Valores nominales de la instalación solar piloto

Cantidad de paneles	12 (doce)
Marca de los paneles	Brandoni
Modelo de los paneles	BRP6360064-235 (potencia pico: 235 W)
Conexión entre paneles	Serie
Superficie cubierta aprox.	20 m ²
Marca del inversor	AEG
Modelo del inversor	PV 2800 (potencia pico: 2800 W)
Conexión a la red	Monofásica

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados obtenidos luego de casi dos años de operación de esta instalación piloto.

DESARROLLO

Los datos numéricos para la elaboración del presente trabajo se obtuvieron por medio de un *software* propietario del fabricante del inversor (AEG, 2009; AEG 2012). Este equipo permite obtener registros con un período de integración de 3 minutos sobre numerosas variables, de las cuales se enfoca la atención especialmente en la potencia de corriente alterna y en el registro acumulado de energía generada.

Si bien no se hizo una contrastación formal del inversor como equipo de medición, los registros se cotejaron exitosamente con un contador de energía comercial homologado (clase 1 en energía activa) con funcionalidad de telemedición (DISCAR, 2015; DISCAR, 2017). Este contador de energía dedicado está conectado de manera permanente sobre los mismos bornes que el inversor.

Los resultados relativos a la energía generada e inyectada a la red se cotejaron con las previsiones realizadas en la etapa de proyecto (Rocchia *et ál.*, 2016), basadas en datos regionales (Righini y Grossi Gallegos, 2011; Grossi Gallegos y Righini, 2012).

Desde la inauguración de la instalación, se generaron numerosas instancias de divulgación al medio, a fin de dar a conocer las generalidades de esta tecnología y los detalles particulares de la experiencia de la UTN-FRSFco. En estos espacios, se llegó a un público muy variado, desde estudiantes de nivel primario, secundario y universitario, hasta empresarios y profesionales con interés explícito en la implementación de estas tecnologías. Como ejemplo, en la Fig. 3, se muestra una de las visitas recibidas de estudiantes universitarios.



Fig. 3. Visita de estudiantes universitarios a la instalación piloto

Entre los miembros del GISEner (Grupo de Investigación Sobre Energía), grupo de I+D de la UTN-FRSFco, a cargo de la instalación, se mantuvo un registro para reflejar las preguntas e inquietudes más frecuentes entre los destinatarios de cada instancia de divulgación, lo cual permite presentar resultados específicos al respecto en la sección siguiente.

Adicionalmente, se realizaron otras actividades de publicación, divulgación y difusión de actividades relacionadas con la operación de la instalación. Como ejemplo, en la Fig. 4, se muestra la participación en un congreso sobre la comunicación de la ciencia (Ferreira *et al.*, 2015).



Fig. 4. Participación en un congreso sobre comunicación de la ciencia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente sección, se subdividen los resultados en cuatro aspectos, algunos de carácter más bien técnico o numérico, otros relativos al factor humano que surge en las transferencias al medio, y otros relativos a la inserción institucional de la UTN-FRSFco en ámbitos regionales en función de los resultados obtenidos.

1. Aspectos operativos

De los registros operativos de la instalación, se obtuvieron resultados numéricos concretos acorde a lo previsto en la etapa de diseño (Rocchia *et al.*, 2016). En la Fig. 5, se muestran registros de generación desde el inicio del funcionamiento en agosto de 2015 hasta junio de 2017.

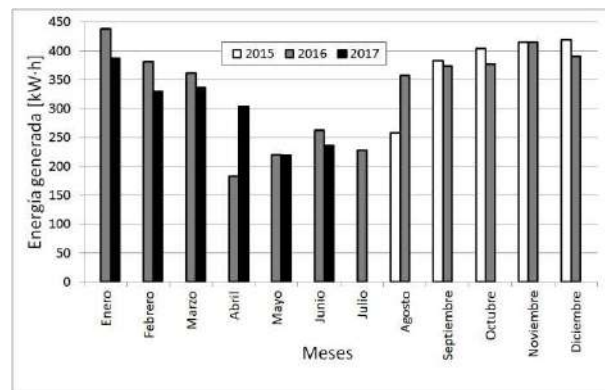


Fig. 5. Energía mensual generada desde agosto de 2015 hasta junio de 2017

Con respecto a los valores que aquí se presentan, caben algunas observaciones:

- Agosto de 2015 fue el primer mes de operación, con lo que el funcionamiento de la instalación se vio interrumpida por diversas pruebas y ajustes adicionales. Por ello, no conviene considerar la generación de ese mes en comparación con la del mismo mes de otros años.
- Abril de 2016 resultó ser en particular un mes comprometido desde el punto de vista climático, lo que repercutió sobre la generación, como se ve a simple vista.

- Más allá de estas observaciones, se vislumbra una evolución cuasisinusoidal de la generación a lo largo del año, según la evolución estacional esperable y prevista (Reda and Andreas, 2004).
- La división en meses de la energía generada resulta ser siempre una discretización algo arbitraria, ya que la variación climática estacional tiene una evolución mucho más continua. Sin embargo, este criterio permite comparar de manera sencilla estos resultados con los valores de las facturas de energía.

Por otro lado, en la Fig. 6, se grafica la generación anual por año móvil en función del mes de cierre. Es decir, para cada mes, se contabiliza la generación de 12 meses consecutivos hasta el mes de cierre inclusive.

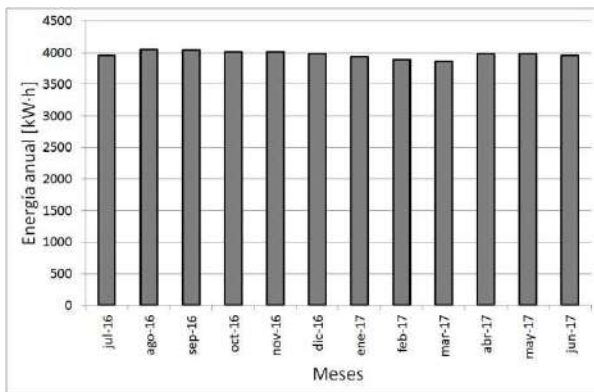


Fig. 6. Evolución de la energía anual contabilizada por año móvil

La energía generada contabilizada por año móvil muestra una estabilidad notable, con un promedio de unos 3974 kW·h, un mínimo de unos 3862 kW·h, y un máximo de unos 4054 kW·h. Cabe acotar que, en la etapa de proyecto, se había previsto un valor objetivo de 4000 kW·h.

Finalmente, en la Fig. 7, se muestra la evolución de la potencia de generación en un día soleado (8/09/2016) en comparación con la de un día seminublado (5/09/2016).

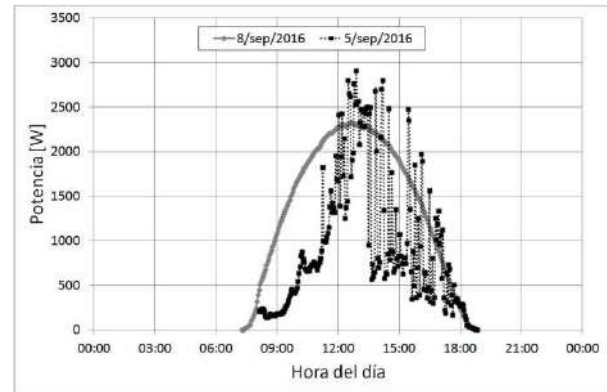


Fig. 7. Potencia generada durante un día soleado (8/09/16) y durante un día seminublado (5/09/16)

Queda clara la evolución gradual de la potencia en el día soleado mientras que, en el seminublado, la potencia tuvo variaciones de gran amplitud en periodos de tiempo breves, aun por encima de los niveles medios esperables en función de la hora del día.

Más allá de plantear esta calificación cualitativa (día soleado/seminublado), podría intentarse una clasificación climática de cada día en función de registros pluviométricos, de heliofanía, y en particular de irradiación solar total. Sin embargo, la predictibilidad climática es un área compleja y aún en evolución (Pelland *et al.*, 2013). Eso, sumado al interés específico en el comportamiento eléctrico del sistema, hizo que se propusiera una calificación de cada día exclusivamente en función del ajuste de su curva horaria de potencia a una función cuadrática (Szwarc, 2016). En particular, para los días tomados de muestra, la curva de potencia en función del tiempo para el día soleado (8/09/2016) tiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0,9895$ con respecto a una función cuadrática mientras que, para el día seminublado (5/09/2016), se obtiene $R^2 = 0,5227$. En cierto modo, un mejor ajuste a una función cuadrática determina así un día más soleado o, de manera más amplia, un día cuya potencia de generación presenta una variación más estable.

2. Aspectos de conexión, protección y medición

Desde las etapas más tempranas del diseño hasta el análisis retrospectivo de los resultados operativos, se produjeron intercambios con actores académicos y empresariales con intereses directos en la temática de la energía solar fotovoltaica. En función de este intenso trabajo en red, surgieron una serie de consideraciones de importancia:

- La interconexión de una instalación de este tipo con la red eléctrica implica una consideración de seguridad importante: ante un corte de energía del lado de la red, el inversor debe interrumpir dicha interconexión entre la instalación y la red (IRAM, 2016). Con el funcionamiento de esta instalación piloto, se corroboró en numerosas oportunidades el correcto funcionamiento de esta funcionalidad para el inversor instalado, más allá de que ya estaba asegurada por ensayos de IRESUD. En la Fig. 8, se ilustra un ejemplo donde se muestra la evolución de la potencia de generación en un día con un corte de energía de unos 45 minutos para tareas de mantenimiento.

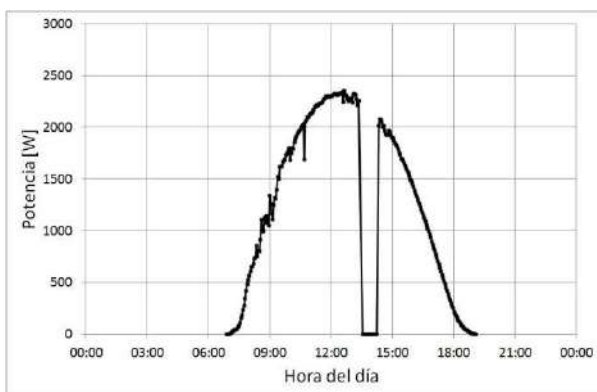


Fig. 8. Potencia generada durante un día con un corte de energía para mantenimiento

- En una instalación para generación distribuida como la que aquí se analiza, el paradigma para la coordinación de medios de protección eléctrica puede

resultar inverso al tradicional, si se lo piensa desde el punto de vista de los instaladores. Es decir, en una instalación eléctrica típica para consumo de energía, la protección termomagnética está aguas arriba de la protección diferencial (AEA, 2006). En este caso de generación distribuida, la protección termomagnética sigue quedando del lado de la red hacia donde se inyecta la energía, mientras que la protección diferencial queda del lado del generador distribuido (AEA, 2016). En la Fig. 9, se muestra esta diferencia de disposición.

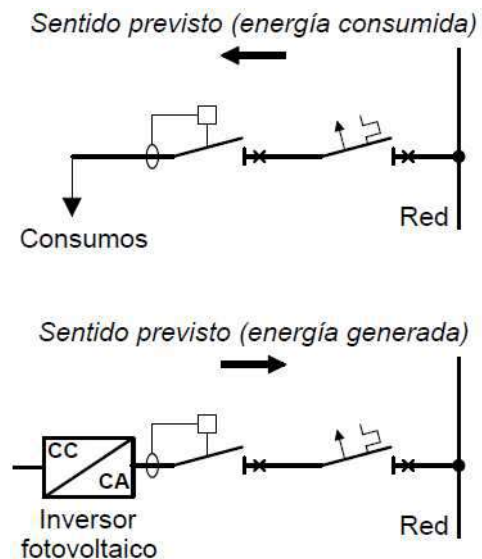


Fig. 9. Disposición de las protecciones eléctricas

Cabe resaltar un hecho importante: la protección diferencial ya está contemplada en el inversor, dada su homologación normativa. Sin embargo, en el marco actual de transición, es habitual que las empresas distribuidoras de energía requieran esta redundancia en las conexiones a su red, por ejemplo (EPESF, 2013; EPRE, 2015). Esto es sobre todo debido a la virtual indefinición actual en cuanto a la homologación a nivel nacional de los inversores, más allá de su origen.

- De manera similar al punto anterior, la señalización necesaria de los bornes de los contadores de energía suele resultar inverso al caso habitual. Esto es, al usar

un contador de energía comercial, se suele contar con indicaciones como la que se muestra en la Fig. 10.a, cuando la disposición real para el conteo de energía generada en este caso es la de la Fig. 10.b

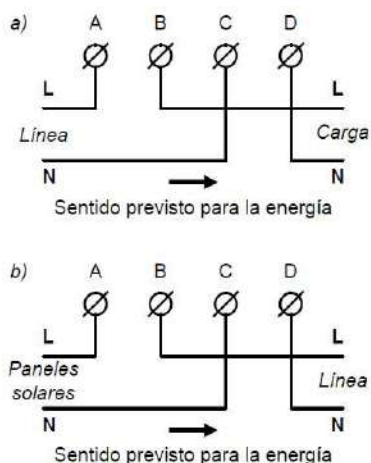


Fig. 10. Indicación de bornes en un contador de energía: a) comercial habitual; b) en esta aplicación

3. Aspectos de divulgación

En la Fig. 11, se muestra un ejemplo de las diversas instancias de divulgación abierta al medio donde se compartieron los resultados de funcionamiento de esta instalación piloto.



Fig. 11. Instancia de divulgación de resultados abierta al medio

En cada una de las diversas instancias de este tipo, se descubrieron ciertos patrones en la percepción de diferentes miembros de la sociedad en lo que respecta a estas tecnologías alternativas de generación distribuida. Se pudieron identificar tres grandes puntos en común:

- Entre los potenciales usuarios regionales de estas tecnologías, existe cierto grado de conciencia intuitiva sobre el potencial de aprovechamiento del recurso solar. Sin embargo, se pueden percibir expectativas algo desmesuradas sobre la capacidad de generación de este tipo de instalaciones.
- Muchos potenciales usuarios regionales de estas tecnologías esperan de ellas la oportunidad de independizarse por completo de sus respectivas empresas de distribución eléctrica. Esto se contradice con el espíritu mismo de la generación distribuida, que implica interconexión permanente con la red de distribución, incluso con protecciones antiisla en las configuraciones más habituales.
- Los potenciales usuarios regionales de estas tecnologías muestran una natural preocupación en cuanto al tiempo de amortización de la inversión monetaria que les requeriría la implementación de una instalación de este tipo. Sin embargo, no están lo suficientemente claros aún a nivel regional el esquema tarifario ni la modalidad de medición y de incentivos que se aplicarían para una masificación de estas implementaciones.

4. Aportes para el desarrollo de normativa regional

Diversos aspectos de la experiencia obtenida con esta instalación piloto se pusieron a disposición del Gobierno de la Provincia de Córdoba. Tales aportes se realizaron específicamente en diversas comisiones del denominado Consejo Asesor de Políticas Energéticas (CAPEC).

Este cuerpo asesor fue convocado en 2014 por la Dirección General de Energías Renovables y Comunicación, dependiente de la Secretaría de Desarrollo Energético de la provincia. Tales reparticiones se encuadran a su vez dentro del Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos de Córdoba. Dadas las funciones y la estructura funcional

del CAPEC, están representadas las visiones de cámaras empresariales, asociaciones de cooperativas, universidades, y otros ámbitos con intereses específicos en la temática.

Los aportes realizados desde la UTN-FRSFco constituyeron un apoyo referencial para la redacción de un anteproyecto de ley elevado a la Legislatura provincial, a fin de ordenar legalmente la generación distribuida con energías renovables. Actualmente, está en proceso de elaboración un borrador de reglamentación para dicha ley, en previsión de su pronta aprobación. En la Fig. 12, se muestra la participación en una de las reuniones del CAPEC.



Fig. 12. Participación en las reuniones del Consejo Asesor de Políticas Energéticas de Córdoba

CONCLUSIONES

Los resultados presentados en la sección anterior permiten enumerar una serie de afirmaciones sobre cada aspecto:

- Los registros de energía generada se condicen con los valores previstos en la etapa de diseño, lo que valida no solo el procedimiento de estimación inicial, sino también los datos regionales de referencia de irradiación solar.
- Para todos los días de funcionamiento, se registró la evolución de la potencia generada en función de la hora del día. Dicha evolución se dio siempre de la manera ya prevista en las referencias consideradas en la estimación inicial,

incluyendo la incidencia de las variaciones climáticas.

- Desde el punto de vista de los técnicos instaladores y las empresas relacionadas, existen paradigmas técnicos que deben trabajarse con atención en cuanto a la conexión, protección y medición en instalaciones de este tipo.
- Los potenciales usuarios regionales tienen un cúmulo de información preliminar incorporada sobre la generación distribuida con energías renovables, pero aún se requiere bastante trabajo de divulgación a fin de acompañar la expansión regional de estas tecnologías.

En términos generales, se considera esta experiencia como ampliamente favorable, no solo porque permite validar parámetros regionales relativos a la energía solar fotovoltaica, sino también porque está contribuyendo a la difusión y divulgación regional de la generación distribuida con energías renovables.

AGRADECIMIENTOS

Al Rectorado de la UTN, por financiar esta investigación. A la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UTN San Francisco. A los funcionarios a cargo del proyecto IRESUD.

REFERENCIAS

Asociación Electrotécnica Argentina (AEA), “Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles. Sistemas de suministro de energía mediante paneles solares fotovoltaicos”, AEA 90364-7-712, (2016)

Asociación Electrotécnica Argentina (AEA), “Reglamentación para la Ejecución de Instalaciones Eléctricas en Inmuebles.

Viviendas, Oficinas y Locales (Unitarios)", AEA 90364-7-771, (2006)

AEG Power Solutions GmbH, "Protect PV 2000 & 2800 On-Grid Solar Inverter. Operating Instructions", Warstein-Belecke (Germany), (2012)

AEG Power Solutions GmbH, "Protect PV MONITOR Version 2.1.0.3 Help", Warstein-Belecke (Germany), (2009)

Consejo Asesor de Políticas Energéticas de Córdoba (CAPEC), Comisión Generación Distribuida (GD), "Acta nro. 1/17", Ministerio de Agua, Ambiente y Servicios Públicos (MAAySP), Gobierno de la Provincia de Córdoba, Córdoba (Argentina), (2017)

DISCAR SA, "Certificaciones DISCAR", Córdoba (Argentina), (2017). http://www.discar.com/?page_id=64

DISCAR SA, "DIMET. Guía rápida de instalación V5.0", Córdoba (Argentina), (2015)

Energía Estratégica, "Inauguran instalación piloto de energía solar en la UTN de San Francisco", Rosario (Argentina), 10 de agosto de 2015. <http://www.energiaestrategica.com/inauguran-instalacion-piloto-de-energia-solar-en-la-utn-de-san-francisco/>

D. Ferreyra, W. Tonini, H. Asís y D. Vignolo, "Diseño e instalación de una estructura portante para paneles solares fotovoltaicos con fines didácticos", V Congreso Internacional de Comunicación Pública de la Ciencia y la Tecnología COPUCI 2015, Paraná, Argentina, (2015)

Resolución EPESF nro. 442/2013, "Procedimiento para el tratamiento de solicitudes de generación en isla o en paralelo con la red de la EPESF" y anexos, Empresa Provincial de Energía de Santa Fe, Santa Fe (Argentina), (2013)

Resolución EPRE nro. 019/2015. "Reglamento de las condiciones técnicas de operación, mantenimiento, medición y facturación para el vuelco de excedentes de energía a la red eléctrica de distribución" y anexos, Ente Provincial Regulador Eléctrico, Mendoza (Argentina), (2015)

H. Grossi Gallegos y R. Righini, "Ángulo Óptimo para planos colectores de Energía Solar integrados a Edificios", Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, vol. 16, 04.01-07, (2012)

International Energy Agency (IEA), "World Energy Outlook 2016. Part B: Special Focus on Renewable Energy", (2016). <https://www.iea.org/media/publications/weo/WEO2016SpecialFocusonRenewableEnergy.pdf>

Norma IRAM-210013:2016. Energía solar. Módulos fotovoltaicos. Parte 21: Inversores para la conexión a la red de distribución. Requisitos generales. (2016)

J. C. Durán, H. P. Socolovsky, D. Raggio, E. M. Godfrin, J. Jakimczyk, M. G. Martínez Bogado, F. J. Diaz, N. E. Castro, G. Pedro, O. Sepúlveda, C. Argañaraz, E. Benítez, A. Roldán, R. Righini, "Proyecto IRESUD: interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos. Estado de avance a julio de 2014 y primeras mediciones en sistemas piloto", Acta de la XXXVII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 2, 04.127-04.137, ISBN 978-987-29873-0-5, (2014)

La Voz de San Justo, "La UTN San Francisco ya genera energía solar", San Francisco (Argentina), edición del 11 de agosto de 2015

S. Pelland, J. Remund, J. Kleissl, T. Oozeki, K. De Brabandere, "Photovoltaic

and Solar Forecasting: State of the Art” (Report IEA PVPS T14-01:2013), International Energy Agency (IEA), ISBN 978-3-906042-13-8, (2013)

Ley nro. 27191: modificaciones a la Ley 26190, “Régimen de Fomento Nacional para el uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica”, Poder Ejecutivo Nacional (PEN), Argentina, (2015)

R. Righini y H. Grossi Gallegos, “Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinado un ángulo óptimo en la República Argentina”, Actas del 4.º Congreso Nacional–Tercero Iberoamericano sobre Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía, HYFUSEN 2011, Mar del Plata (Argentina), 6 al 9 de junio de 2011, 1-6, (2011)

I. Reda and A. Andreas, “Solar position algorithm for solar radiation applications”, Solar energy, vol. 76, no. 5, 577-589, (2004)

N. Rocchia, G. Szwarc, H. Asís, D. Ferreyra y A. C. Sarmiento, “Estimación de la energía solar fotovoltaica generada en un período de tiempo”, Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, (2016). http://www.edutecne.utn.edu.ar/tutoriales/mat_hcad_energia_solar.pdf

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), “Background paper on distributed renewable energy generation and integration”. Technology Executive Committee (TEC), (2015). http://unfccc.int/ttclear/misc_/StaticFiles/gnw_oerk_static/TEC_TD5/a4fd877135344ead9b22c4ff5e2d0184/1df38b6a7c2847deb251bdd3b0f75669.pdf

G. Szwarc, N. Rocchia, D. Ferreyra y A. C. Sarmiento, “Caracterización de parámetros de funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica en función del tiempo”, en 7ª Jornadas de Ciencia y

Tecnología CyTAL 2016: Libro de Actas, pp. 157-162, 2016.