

Energía solar fotovoltaica con conexión a red en la zona central de Argentina

Diego M. Ferreyra, Marcelo L. Bertossi, Nicolás J. Rocchia y Gerardo D. Szwarz

Universidad Tecnológica Nacional, Fac. Regional San Francisco, dferreyra@sanfrancisco.utn.edu.ar

Resumen—En este trabajo, se presentan resultados sobre el funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica piloto conectada a red en la zona central de Argentina durante 2016. Se detalla el marco institucional, se enumeran los datos técnicos principales de la instalación, y se incluye información gráfica y numérica sobre la energía generada, la evolución horaria de la potencia y el tiempo diario de funcionamiento. También se destacan algunos aspectos operativos, de seguridad y relativos al impacto en la formación de recursos humanos y la divulgación regional de las energías alternativas. En la situación incipiente en el país en cuanto a legislación y normativas técnicas relativas a generación distribuida, la información aquí presentada se considera de suma utilidad como referencia operativa concreta.

Palabras clave—energías alternativas, energías renovables, energía solar fotovoltaica, generación distribuida

I. INTRODUCCIÓN

EN todos los órdenes, a nivel mundial, está instalada la preocupación por mitigar los efectos negativos asociados a la constante evolución tecnológica que caracteriza a nuestro tiempo. En lo que respecta al ámbito político internacional, una muestra concreta son las metas fijadas en la reciente Cumbre de la Tierra convocada por la ONU y llevada a cabo en 2016 en Marruecos¹. En este evento, que refrendó lo planteado en instancias homónimas precedentes, Argentina fue uno de los países que adhirió a los compromisos relacionados con la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero. Particularmente, uno de los puntos centrales de estos compromisos radica en el desarrollo de proyectos de generación renovable.

En ese sentido, en nuestro país, se viene estableciendo un amplio marco legal y normativo, del cual puede destacarse a los fines de este trabajo la reciente ley 27191 [1]. Con esta ley nacional, se establecieron metas a corto y mediano plazo para concretar la implementación de medios renovables de generación de energía eléctrica. En consonancia, numerosas provincias están implementando normativas legales y reglamentaciones técnicas para conectar a la red eléctrica tales medios de generación. La finalidad es fomentar que los usuarios de las redes de distribución incorporen sistemas de generación renovables en sus instalaciones. La tendencia es hacia el formato denominado generación distribuida, que puede resumirse diciendo que se trata de generar energía eléctrica en el punto más cercano a su lugar de consumo, con equipos de potencia unitaria relativamente pequeña en comparación con la red eléctrica.

En el caso de la Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), se anticipó la situación actual con su adhesión en 2013 al proyecto de

alcance nacional IRESUD². Este proyecto, gestionado por un consorcio público-privado creado *ad hoc*, direccionó el financiamiento proveniente del FONARSEC³ para impulsar instalaciones solares fotovoltaicas piloto en instituciones de todo el territorio nacional. La replicación de instalaciones de este tipo en todo el país persiguió como objetivo principal promover el uso de sistemas de generación de energía a partir de paneles solares fotovoltaicos conectados a la red eléctrica en áreas urbanas. Los sistemas así implementados con este proyecto se constituyeron como experiencias piloto, inyectando la energía eléctrica generada por los paneles solares a la red de distribución en algunos casos, o bien a la red eléctrica interna en algunos edificios institucionales.

En el caso de la Facultad, la instalación que se muestra en la Fig. 1 comenzó a funcionar en julio de 2015.



Fig. 1: La instalación solar fotovoltaica piloto de la Facultad.

En la Tabla I, se enumeran los valores nominales principales de diseño de esta instalación.

TABLA I
INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA DE LA FACULTAD.
VALORES NOMINALES PRINCIPALES.

Cantidad de paneles solares	12 (doce)
Marca y modelo de los paneles	Brandoni BRP6360064-235
Superficie cubierta por los paneles	Aprox. 20 m ²
Conexión entre los paneles	Serie
Marca y modelo del inversor	AEG PV 2800
Potencia nominal del inversor	2800 W
Tipo de conexión a la red	Monofásica
Generación anual prevista	4000 kW·h

² <http://www.iresud.com.ar/>

³ Fondo Argentino Sectorial, administrado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT), del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCyT) de Argentina

¹ 22.ª Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (Organización de las Naciones Unidas)

La implementación de esta instalación en este ámbito académico y de investigación favoreció el cumplimiento de otro importante objetivo: la divulgación al medio, una de cuyas muchas instancias se muestra en la Fig. 2.



Fig. 2: Una instancia de divulgación desde la Facultad al medio regional.

El diseño y la implementación de esta instalación, con su operación y mantenimiento más el registro de datos operativos, han involucrado en la casa de estudios a docentes, estudiantes y graduados, incluso para la producción de artículos y presentaciones [2]-[4].

Los paneles, orientados con apenas 10° de diferencia en azimut con respecto al Norte, están montados sobre la estructura que se muestra en la Fig. 3, cuyo ángulo de inclinación se estableció con el fin de optimizar el valor de energía generada anualmente [5].



Fig. 3: Vista de la estructura portante de los paneles.

El presente trabajo se basa en registros tomados del funcionamiento de esta instalación piloto. Los resultados que se presentan pretenden proporcionar una contribución concreta a los desarrollos normativos que aún se encuentran en proceso en diversas jurisdicciones de Argentina. Esto resulta de especial y urgente interés dados los plazos de la mencionada ley 27191: esta plantea a los usuarios de cierta envergadura (de demandas mayores a 300 kW) objetivos concretos para fines de 2017 en cuanto a su implementación de fuentes renovables de generación de energía eléctrica.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La corriente continua, obtenida de los paneles según la irradiación solar sobre ellos, se canaliza a la red por un inversor electrónico, cuyos datos nominales se dan en la Tabla 1. Este sirve de interfaz, estableciendo una tensión de referencia de continua y sintetizando una tensión de alterna equiparable a la de red. Funciona como fuente de corriente por modulación de ancho de pulso; incluye un sensor de presencia de red, filtros de compatibilidad electromagnética y medios para la medición de parámetros de continua y de alterna. En la Fig. 4, se muestra un esquema en bloques de la instalación completa, donde las flechas indican el sentido de circulación de energía hacia el cableado de la Facultad.

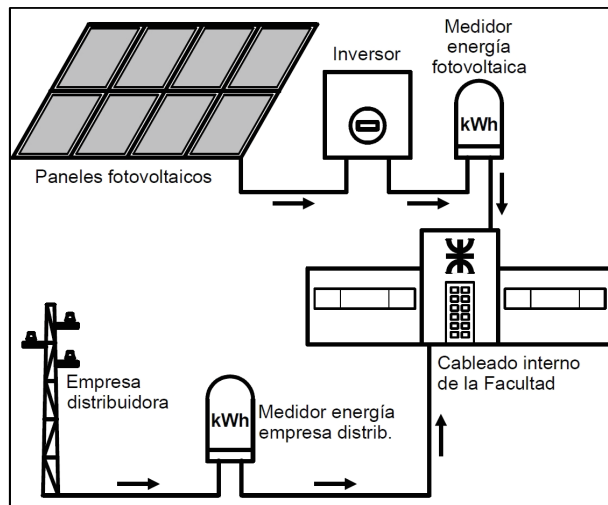


Fig. 4: Esquema en bloques de la instalación completa.

La información numérica de este trabajo surge del procesamiento de datos registrados internamente por este inversor. Los valores se registran como en un contador de energía comercial, con una clase de medición equiparable, salvo que con un período de integración de 3 minutos.

A los fines de acotar el presente trabajo, se consideraron solo los registros correspondientes al año calendario 2016.

III. RESULTADOS

En la Fig. 5, se grafican los valores de energía generada mensualmente por la instalación e inyectada a la red.

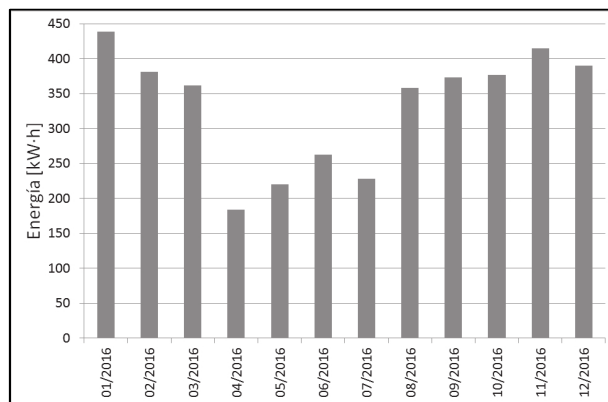


Fig. 5: Energía generada mensualmente durante 2016.

Desde el punto de vista astronómico, fraccionar estos registros en meses podría verse como arbitrario, pero es de interés práctico en cuanto a la energía generada, a fin de cotejarla con los registros comerciales de consumo.

La energía generada en el año fue de 3989,5 kW·h, lo que se condice muy bien con la generación anual prevista según la Tabla I. Por otro lado, en la Fig. 6, se muestra la evolución de la cantidad de horas diarias de funcionamiento de la instalación para todos los días del año analizado.

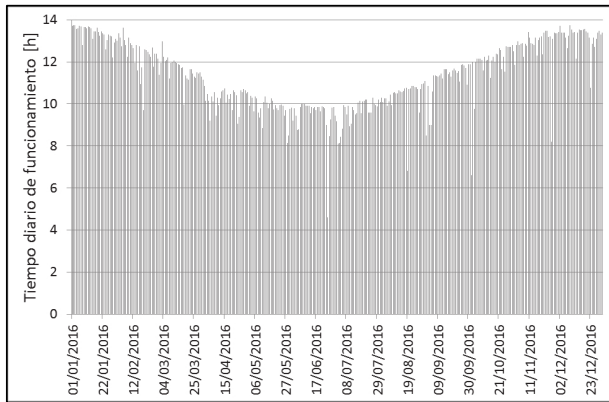


Fig. 6: Tiempo diario de funcionamiento de la instalación para todos los días del año considerado.

El tiempo diario promedio de funcionamiento resultó de unas 11 h 20 min considerando los 366 días del año en cuestión. Este valor y la evolución que se ve en la Fig. 6 se condicen con las previsiones hechas con algoritmos de posición solar conocidos y con los registros de irradiación correspondientes a la zona de implementación [5]-[7]. Se notan algunos días con reducciones notorias en la cantidad de horas, que en general corresponden a pruebas o tareas de mantenimiento realizadas sobre la instalación eléctrica asociada. También, aunque en menor medida, obedecen a algunos días con condiciones meteorológicas particulares.

Si bien la cantidad de horas diarias de funcionamiento de la instalación se mantiene dentro de un rango previsible, la cantidad de energía generada diariamente no sigue un patrón tan regular. Como ejemplo, en la Fig. 7, se grafica la energía generada para los 10 primeros días del año.

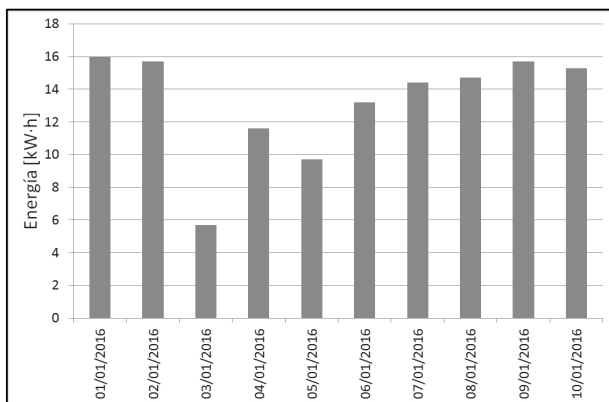


Fig. 7: Energía diaria generada en los primeros 10 días de 2016.

Como segundo ejemplo, en la Fig. 8, se grafica la energía generada para los 10 primeros días de agosto del año.

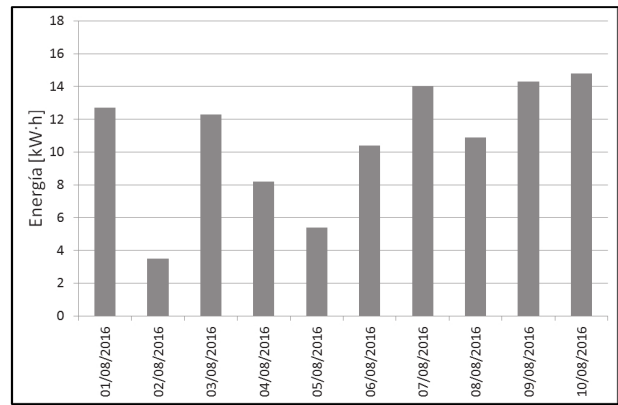


Fig. 8: Energía diaria generada en los primeros 10 días de agosto de 2016.

Aunque estas muestras se acotan solo a 10 días, son bastante representativas de su época en el año. Puede observarse que, para el período estival representado en la Fig. 7, no solo el nivel promedio de generación es relativamente más elevado, sino que la dispersión de valores se mantiene bastante acotada. En contraposición, en el período invernal representado en la Fig. 8, la energía diaria generada promedio es menor, y además se constata una mayor amplitud de variaciones entre un día y otro.

En la Fig. 9, se muestra la evolución horaria de la potencia eléctrica inyectada a la red durante un día despejado, mientras que en la Fig. 10 se muestra la misma información para un día seminublado.

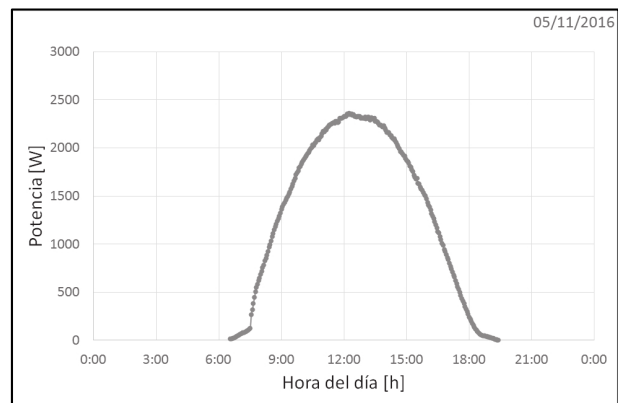


Fig. 9. Evolución horaria de la potencia inyectada a la red durante un día despejado.

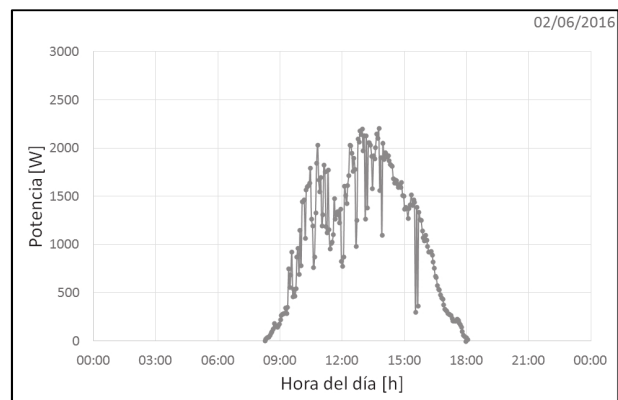


Fig.10: Evolución horaria de la potencia inyectada a la red durante un día seminublado.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Estos registros ratifican la importante influencia que el estado del clima tiene sobre la evolución de la potencia inyectada a la red en la generación solar fotovoltaica.

En la Fig. 11, se muestra la evolución de la potencia eléctrica inyectada a la red en un día donde se produjo un corte de energía vespertino en la red eléctrica.

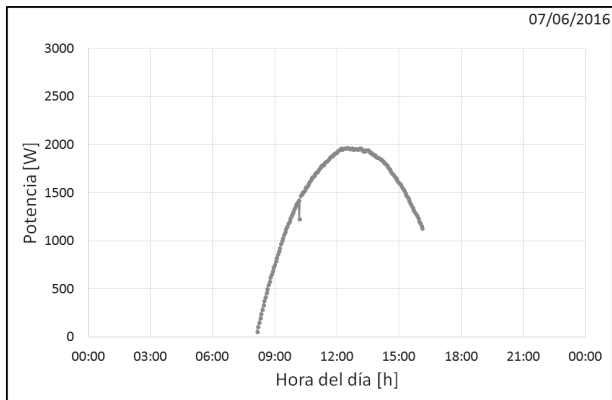


Fig. 11: Evolución horaria de la potencia inyectada a la red durante un día con corte de energía.

La interrupción que se observa en la generación ante un corte de energía es consistente con el hecho de que el inversor electrónico cumpla con la normativa requerida: ante una apertura en la red de distribución, el equipo fotovoltaico debe dejar de energizar la red en un tiempo breve estipulado (funcionamiento antiisla) [8].

En la Fig. 12, se superponen todos los registros de los mismos horarios para los 366 días del año considerado.

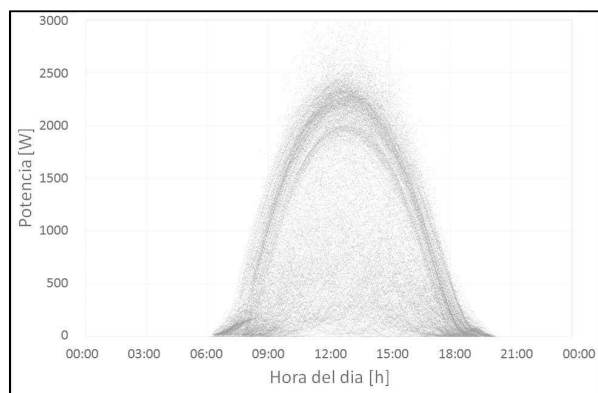


Fig. 12: Superposición de todos los valores de potencia inyectada a la red para todos los días del año en función del horario.

La información así presentada permite identificar dos curvas difusas que quedan evidenciadas por una mayor densidad de puntos. Se puede entrever que la superior, de valores más elevados, corresponde al período estival y la inferior, de valores más reducidos, corresponde al invernal. Los puntos que caen por debajo de la curva inferior corresponden a días nublados y los puntos que están por encima de la superior corresponden a situaciones de excepcional radiación, incluso ocasionalmente en días nublados, durante breves períodos de tiempo.

Durante el año considerado, el comportamiento de la instalación cumplió razonablemente lo previsto en su diseño preliminar. La generación total de energía en el año estuvo dentro del objetivo previsto. Los registros obtenidos se ajustaron a los patrones de variación horaria, diaria y mensual esperables según antecedentes de la bibliografía.

El inversor electrónico para la conexión a red cumplió con la desconexión por seguridad esperable por su cumplimiento con la normativa aplicable.

El desarrollo del proyecto permitió impulsar una formación específica de recursos humanos preexistentes en la Facultad. También, impulsó instancias de transferencia al medio que potencian el desembarco de estas tecnologías, aún algo incipientes en la zona central de Argentina.

El estudio numérico presentado en este trabajo se está ampliando en numerosos aspectos: ajuste estadístico de los patrones de variación; contrastación de la información del inversor con los parámetros especificados por el fabricante; complementación con medios de telesupervisión; implementación de medios complementarios para la medición de la radiación solar; entre otros.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar los siguientes agradecimientos: a la UTN, por el financiamiento de este trabajo por medio del PID ENUTNSF0003648 homologado por Rectorado; a todas las áreas de la Facultad Regional San Francisco de la UTN por facilitar los medios para la concreción de este proyecto, especialmente la Secretaría de Ciencia y Tecnología; y a los funcionarios a cargo del convenio asociativo público-privado IRESUD, que impulsaron la implementación de este proyecto en esta y muchas otras instituciones del país.

REFERENCIAS

- [1] Ley Argentina número 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". Disponible: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/250000-254999/253626/norma.htm>.
- [2] N. Rocchia, G. Szwarz, H. Asís, D. Ferreyra y A. Sarmiento (Abril de 2016). Estimación de la energía solar fotovoltaica generada en un período de tiempo. UTN Facultad Regional San Francisco, San Francisco, Argentina). Disponible: http://www.edutecne.utn.edu.ar/tutoriales/mathcad_energia_solar.pdf.
- [3] D. Ferreyra, W. Tonini, H. Asís y D. Vignolo, "Diseño e instalación de una estructura portante para paneles solares fotovoltaicos con fines didácticos", presentado en el V Congreso Internacional de Comunicación Pública de la Ciencia y la Tecnología COPUCI 2015, Paraná, Argentina, 2015.
- [4] G. Szwarz, N. Rocchia, D. Ferreyra y A. 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.
- [5] H. Grossi Gallegos y R. Righini, "Ángulo Óptimo para planos colectores de Energía Solar integrados a Edificios", en *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 16, pp. 04.01-07, 2012.
- [6] I. Reda y A. Andreas, "Solar position algorithm for solar radiation applications", en *Solar energy*, vol. 76, no. 5, pp. 577-589, 2004.
- [7] R. Righini y H. Grossi Gallegos, "Mapa de energía solar colectada anualmente por un plano inclinado un ángulo óptimo en la República Argentina", en *Actas del Cuarto Congreso Nacional-Tercero Iberoamericano sobre Hidrógeno y Fuentes Sustentables de Energía-HYFUSEN 2011*, pp. 11-161, 2011.
- [8] IRAM-210013-21. Energía solar. Módulos fotovoltaicos. Parte 21: Inversores para la conexión a la red de distribución. Requisitos generales. Dic. 2016.