

Informe Técnico de Avance

ESTADO DE LA RED SOLARIMÉTRICA DE LA PROVINCIA DE SANTA FE

Grupo de Energías No-Convencionales (GENOC)

Facultad de Ingeniería Química (UNL)

Instituto de Física del Litoral (CONICET-UNL)



Santa Fe, 20 de Octubre de 2015

INFORME TECNICO:

ESTADO DE AVANCE DE LA RED SOLARIMÉTRICA DE LA PROVINCIA DE SANTA FE

INTRODUCCIÓN

Las fuentes convencionales de energía, que aún hoy siguen abasteciendo la mayor parte del consumo energético mundial, son las principales causantes de los cambios climáticos debidos a la emisión de gases que provocan el efecto invernadero. Sin embargo, se está tomando conciencia de la necesidad de cambiar la matriz energética mundial, utilizando las energías renovables que hay disponibles para su aprovechamiento. Al mismo tiempo que en países como Alemania la energía fotovoltaica ya provee alrededor del 7 % del consumo de electricidad, en Argentina es prácticamente nulo el porcentaje de energías renovables usadas. Se puede mencionar en este sentido a la Provincia de Santa Fe como una de las pioneras en comenzar a fomentar el uso de la energía fotovoltaica en instituciones tales como escuelas rurales del norte de la Provincia.

En la actualidad, el Gobierno de la Provincia de Santa Fe tiene interés en sumar las energías renovables a la matriz energética provincial. En este sentido, la Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia, a través de la Subsecretaría de Energías Renovables (SSER), busca conocer con mayor precisión qué potencia de radiación solar llega a las distintas zonas del territorio santafesino. Con esos datos se pretende analizar si el recurso solar es aprovechable para generar electricidad, ya sea en forma directa por medio de paneles solares (energía fotovoltaica), o en forma indirecta a través de calentar algún fluido (energía solar térmica). Conocer esos datos posibilitará que cualquier empresa que quiera producir energía solar en Santa Fe sepa anticipadamente con qué recursos cuenta, ya que el tiempo de repago de la inversión dependerá de cuánta energía pueda producir.

El éxito de cualquier proyecto de aprovechamiento de la energía solar depende fuertemente de la disponibilidad de radiación solar en esa ubicación, haciendo que el conocimiento del recurso solar sea un dato crítico para la elección del emplazamiento y el planeamiento de la instalación. Con el fin de medir la radiación solar en su territorio, la Provincia de Santa Fe ha instalado una “Red Solarimétrica”.

Dicha red está emplazada en cinco ubicaciones o sitios de la provincia, específicamente en Estaciones Transformadoras (EETT) de la Empresa Provincial de la Energía (EPE), que a tales fines fueron seleccionadas para cubrir la medición en todo el territorio santafesino. Las localidades elegidas fueron las siguientes:

- 1) Tostado** (Departamento 9 de Julio);
- 2) Reconquista** (Departamento General Obligado);
- 3) Elisa** (Departamento Las Colonias);
- 4) Cañada Rosquín** (Departamento San Martín);
- 5) Firmat** (Departamento General López).-

De este modo se cubre una buena porción del territorio, lo que permite evaluar cuál es la densidad de potencia que llega a cada zona. Esta red proveerá a los diseñadores de sistemas de aprovechamiento de la energía solar, arquitectos, ingenieros, analistas de energías renovables y público interesado de amplia información sobre la radiación solar.

Para llevar a cabo las acciones de instalación, puesta en marcha, mantenimiento y operación de la Red Solarimétrica de la Provincia de Santa Fe, se procedió a la firma de un convenio con la Universidad Nacional del Litoral (UNL), a través de una unidad ejecutora formada por un grupo de profesionales pertenecientes a la Facultad de Ingeniería Química (FIQ, UNL) y al Instituto de Física del Litoral (IFIS-Litoral, UNL-CONICET), que conforman el grupo de Energías no Convencionales (GENOC).

RECEPCIÓN Y VERIFICACIÓN DEL EQUIPAMIENTO

Para instalar y poner en funcionamiento la “Red Solarimétrica de la Provincia de Santa Fe”, se realizaron las siguientes etapas:

- 1) **Adquisición del equipamiento:** mediante licitación pública Nº 08/14, la Secretaría de Estado de la Energía de la Provincia de Santa Fe, a través de la Subsecretaría de Energías Renovables, adquirió los equipos necesarios para ser utilizados en el Programa *“Red Solarimétrica de la Provincia de Santa Fe”*. El oferente que resultó ganador de la licitación fue la empresa TECMES INSTRUMENTOS ESPECIALES S.R.L.

2) **Recepción del equipamiento:** con fecha 28/11/2014 se produjo la recepción de los equipos adquiridos, según se detalla en la siguiente tabla.

Equipo	Unidad de medida	Cantidad
Datalogger marca TECMES, modelo TS2621	unidad	6
Módem GPRS marca TECMES AS3006	unidad	6
Fuente de Alimentación marca TECMES UC305	unidad	6
Panel solar marca SOLARTEC	unidad	5
Adaptador RS232 a USB	unidad	5
Sensor marca TECMES TS251-T, de medición de temperatura y humedad relativa con protección contra radiación solar	unidad	6
Sensor marca TECMES, TS231 y TS232 de medición de velocidad y dirección del viento	unidad	6
Gabinete de protección y equipamiento de montaje para todos los sensores	unidad	5
Software para datalogger, "Meteo Pro"	unidad	1
Piranómetro, marca KIPP & ZONEN modelo CMP6	unidad	6

Tabla 1: Descripción del equipamiento recibido.

Este equipamiento fue entregado al Grupo de Energías no Convencionales (GENOC, UNL) como responsable de la tenencia, guarda y conservación de los bienes. Cada estación de medición está conformada por un Piranómetro calibrado KIPP & ZONEN, modelo CMP6, que mide la Radiación Solar Global y es la parte más importante del equipo. Se cuenta además con sensores marca TECMES, TS231 y TS232, de medición de velocidad y dirección del viento; un sensor marca TECMES TS251-T, de medición de temperatura y humedad relativa con protección contra la radiación solar; un Datalogger marca TECMES, modelo TS2621 para almacenamiento de datos; un Panel solar marca SOLARTEC para alimentar el sistema; un tablero general de comando del sistema con Gabinete de protección; un Módem GPRS marca TECMES AS3006 con Adaptador RSR232 a USB y una antena de recepción y transmisión de datos (Figs. 1, 3 y 4)

3) **Verificación y control del equipamiento:** El GENOC procedió a realizar la verificación de todo el instrumental recibido, encontrando que los equipos son acordes a lo especificado en la licitación y que funcionan correctamente. En conjunto con personal técnico de la empresa TECMES S.R.L. que viajó a Santa Fe especialmente para ello, se procedió a armar un equipo completo en las instalaciones que posee el GENOC. De esta forma, se verificó que se cuenta con todas las piezas necesarias para el armado de las estaciones para medición de radiación solar en el plano horizontal, velocidad y dirección del viento, presión atmosférica, temperatura y humedad ambiente.

Se verificó también que funciona correctamente el datalogger para acumulación de los datos, el sistema de comunicaciones celulares GPRS para envío de los datos, y el software para procesamiento primario de los datos. Finalmente, se comprobó que el sistema de alimentación y respaldo de los equipos, formado por un panel fotovoltaico y una batería de tipo solar libre de mantenimiento, es adecuado para asegurar el funcionamiento autónomo del equipamiento.-



Figura 1: Recepción de los equipos

INSTALACIÓN DE LA RED SOLARIMÉTRICA

Para instalar y poner en funcionamiento la “Red Solarimétrica de la Provincia de Santa Fe”, se realizaron las siguientes etapas:

4)Adquisición de equipamiento específico: el GENOC adquirió una computadora personal de tipo servidor, con doble disco duro y resguardo automático de los datos, para centralizar la información recibida de todos los sensores que conformarán la Red Solarimétrica. Este servidor fue instalado en el Centro de Cómputos del CCT-Conicet Santa Fe. Se adquirieron también herramientas, elementos de protección personal y elementos de medición, para realizar la instalación de las estaciones meteorológicas.

5)Instalación de la primera estación: por la cercanía con la ciudad de Santa Fe, se decidió realizar la primera instalación en la Estación Transformadora (ET) de la EPE ubicada en la localidad de Elisa (Departamento Las Colonias). El día 22 de Diciembre de 2014, personal del GENOC se trasladó a Elisa para realizar la instalación de la primera estación meteorológica de la Red.

Luego de analizar el predio de la Estación Transformadora, se decidió ubicar la estación en el sitio indicado en la Figura 2.

Esta ubicación cumple con las características adecuadas en cuanto a recepción de radiación solar durante todo el día, y calidad de señal de la red celular aceptable como para la transmisión de los datos por medio de la red GPRS



Figura 2: Emplazamiento de la Estación Meteorológica dentro de la ET Elisa de la EPE.

Elegido el lugar, se procedió a fijar adecuadamente el mástil central de la estación meteorológica, y luego a instalar los siguientes sensores y equipos. En primer lugar, a una altura de 2,50 m sobre el nivel del suelo, el panel fotovoltaico de alimentación, el cual quedó orientado en dirección Norte y con una inclinación de 42 ° respecto de la horizontal. Posteriormente, la antena de transmisión de datos, orientada de modo de tener una buena señal. Luego, a una altura de 2 m respecto del suelo y fijados a una cruceta orientada en dirección Este-Oeste, el anemómetro y la veleta para medir velocidad y dirección del viento. Más abajo, a una altura de 1,50 m y fijados a una cruceta orientada en dirección Norte-Sur, el piranómetro (orientado hacia el Norte) para medición de la radiación solar y el termómetro/higrómetro para medir temperatura y humedad relativa ambiente. Finalmente, la caja conteniendo el datalogger, el módem, la batería y el barómetro.



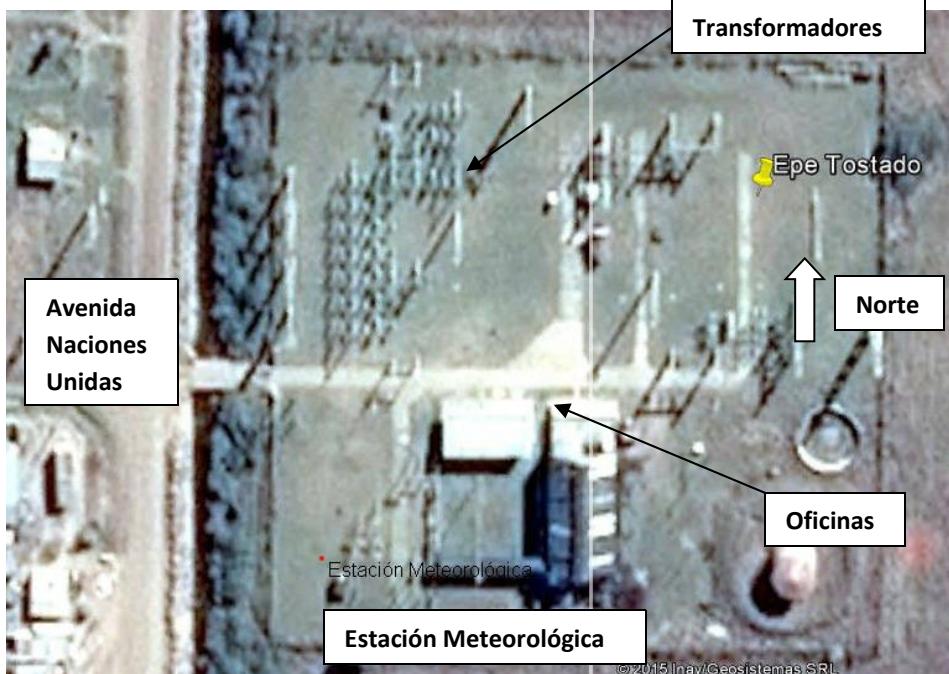
Figura 3: Estación de medición completa ya instalada.

Se realizaron las conexiones correspondientes, y se verificó la correcta medición, almacenamiento y transmisión de los datos. Todo el equipamiento se instaló cumpliendo las especificaciones de los mismos y aplicando las reglas del buen arte en dichas tareas. Se realizó la puesta a tierra de toda la instalación mediante una jaula de cobre y un cable de dimensiones adecuadas. Se tuvo especial cuidado en la correcta fijación de todos los elementos.



Figura 4: Detalle de los instrumentos instalados.

6) **Instalación de las restantes estaciones:** durante el mes de Enero de 2015 se instalaron las estaciones meteorológicas de Tostado (Departamento 9 de Julio), Reconquista (Departamento General Obligado), Cañada Rosquín (Departamento San Martín) y Firmat (Departamento General López). El procedimiento de instalación fue el mismo que se describió en el punto 5) para la estación de Elisa. La posición de cada estación dentro de los correspondientes predios de las Estaciones Transformadoras se pueden apreciar en las



Figuras 5 a 8.

Figura 5: Emplazamiento de la Estación Meteorológica dentro de la ET de la EPE de Tostado.

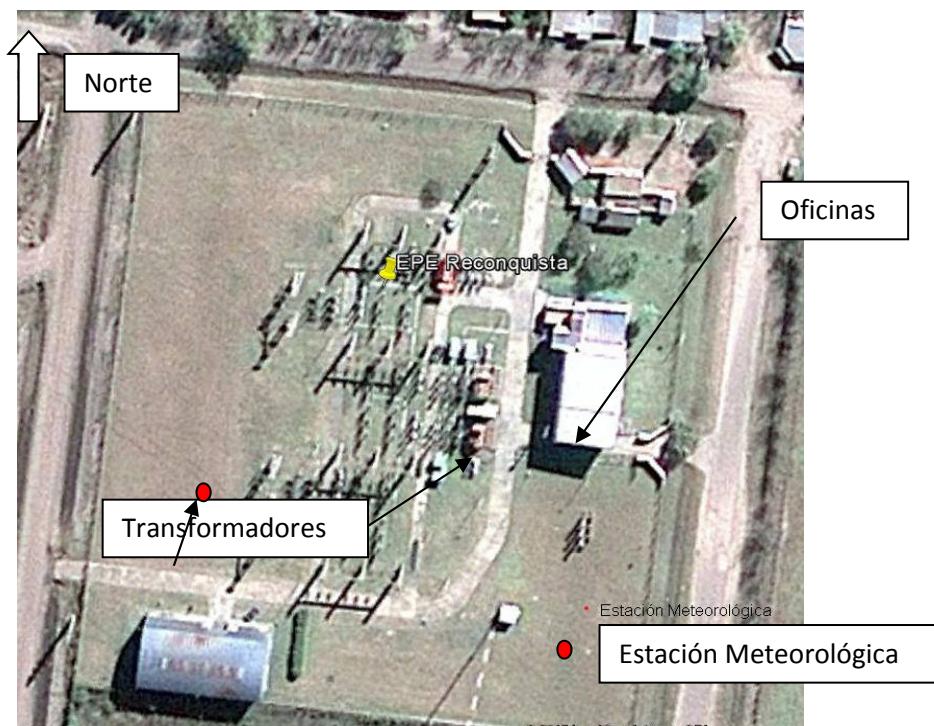


Figura 6: Emplazamiento de la Estación Meteorológica dentro de la ET de Reconquista.



Figura 7: Emplazamiento de la Estación Meteorológica dentro de la ET de Firmat.



Figura 8: Emplazamiento de la Estación Meteorológica dentro de la ET de Cañada Rosquín.

OPERACIÓN DE LA RED SOLARIMÉTRICA

El equipamiento, que trabaja en forma autónoma, acumula los diferentes datos y luego los transmite a un centro de procesamiento ubicado en la ciudad de Santa Fe. Los datos se toman cada tres minutos, y se transmiten una vez por hora. Se cuenta con un sistema de comunicación basado en telefonía celular GPRS que envía la información, además de un panel solar que alimenta la batería del equipo. Los datos son recibidos en una computadora central de donde se capturan para su procesamiento. La Figura 9 muestra el software de interfase a través del cual se accede al control de funcionamiento a distancia.



Figura 9: Pantalla de control del estado de las estaciones de medición.

Diariamente el GENOC controla a distancia, por medio de la red celular GPRS, el funcionamiento del sistema. También se realizan visitas de mantenimiento preventivo a cada estación, para mantener el buen estado de los sensores solarimétricos, demás equipos y paneles fotovoltaicos de alimentación de los sistemas. Durante las visitas e inspecciones se resuelven las falencias y fallas que pudieran surgir y que no hayan sido detectadas a distancia. También se concurre a la instalación donde se detecte que una falla impide la recolección de información.

ANALISIS DE LOS DATOS

Se elaboran mensualmente Informes Técnicos con información de cada Estación, donde se muestran gráficos de la evolución diaria de: Radiación, Temperatura, Intensidad y Dirección del

viento, Presión Atmosférica y Humedad Ambiente. En las Figuras 10 a 14 se presentan ejemplos de las distintas variables medidas durante el mes de Junio en las cinco estaciones.

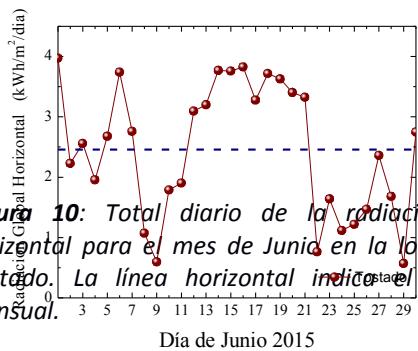


Figura 10: Total diario de la radiación global horizontal para el mes de Junio en la localidad de Tostado. La línea horizontal indica el promedio mensual.

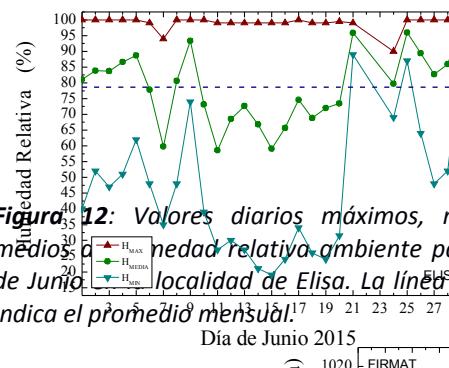
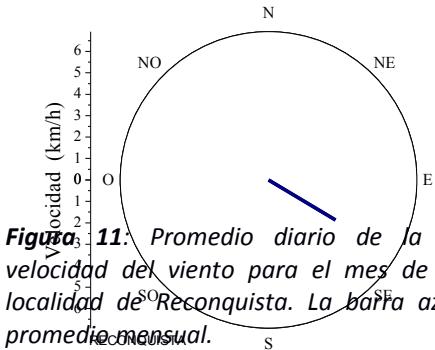


Figura 12: Valores diarios máximos, mínimos y medios de humedad relativa (%) para el mes de Junio en la localidad de Elisa. La línea horizontal indica el promedio mensual.

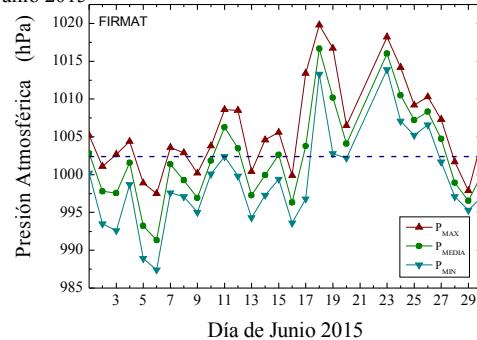
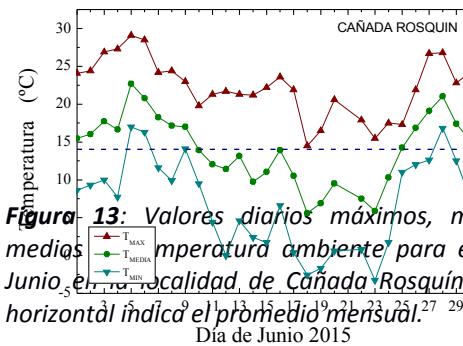


Figura 14: Valores diarios máximos, mínimos y medios de presión atmosférica para el mes de Junio en la localidad de Firmat. La línea horizontal indica el promedio mensual.

A continuación se presentan los gráficos con los promedios mensuales de las mencionadas variables, en los meses de 2015 registrados hasta el momento. Las Estaciones de Reconquista y Tostado comenzaron a registrar correctamente los datos en febrero y marzo, respectivamente.

Radiación Global en el plano horizontal

Se presenta una comparación entre lo medido por la Red Solarimétrica y los valores reportados por la NASA (Agencia Espacial Norteamericana). Los valores medidos por la Red Solarimétrica corresponden al presente año 2015, mientras que los valores de la NASA, obtenidos por mediciones satelitales y no por equipamiento instalado en el lugar de interés, corresponden a un promedio sobre 22 años (Jul. 1983 – Jun. 2005). Esto puede ocasionar discrepancias debido a variaciones climáticas de este año en particular.

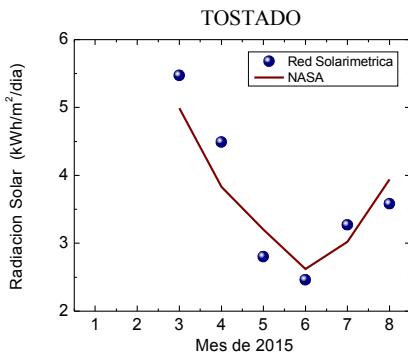


Figura 15: Promedio mensual de la radiación global horizontal diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Tostado.

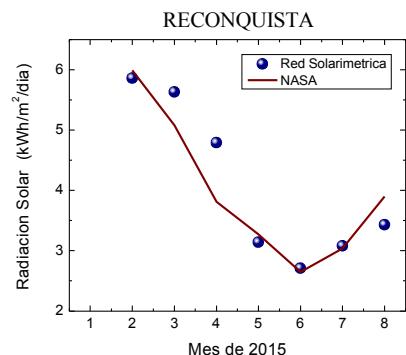


Figura 16: Promedio mensual de la radiación global horizontal diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Reconquista.

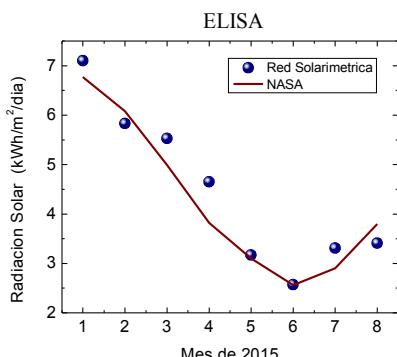


Figura 17: Promedio mensual de la radiación global horizontal diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Elisa.

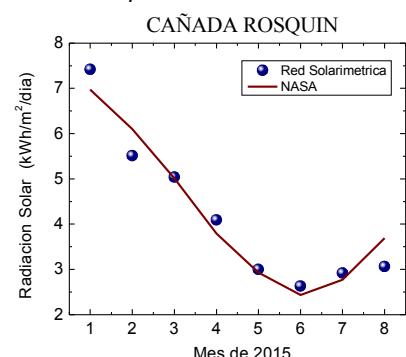


Figura 18: Promedio mensual de la radiación global horizontal diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Cañada Rosquín.

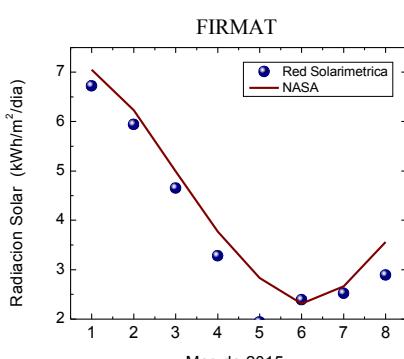


Figura 19: Promedio mensual de la radiación global horizontal diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Firmat.

Como se puede apreciar en las Figuras 15-19, tanto los datos medidos por la Red Solarimétrica como los reportados por la NASA presentan la tendencia esperada, con un máximo de insolación para el mes de Enero y un mínimo para el mes de Junio. La diferencia entre ambas series de datos se encuentra dentro de lo razonable, y puede deberse a la diferencia en el período de recolección de datos, como se mencionó más arriba.

Temperatura ambiente

En las Figuras 20-24 se presenta el promedio mensual de la temperatura ambiente medida en las cinco estaciones de la Red. El comportamiento es el esperado, observándose un máximo de temperatura para el mes de Enero y un mínimo para el mes de Julio.

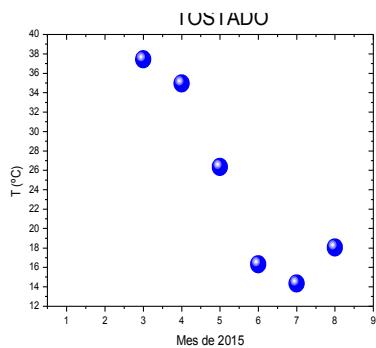


Figura 20: Promedio mensual de la temperatura ambiente diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Tostado.

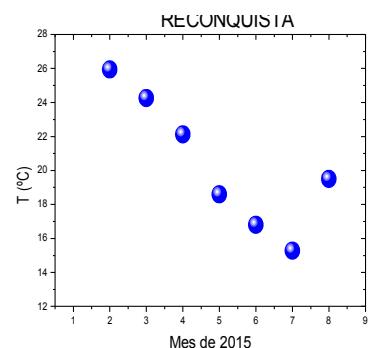


Figura 21: Promedio mensual de la temperatura ambiente diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Reconquista.

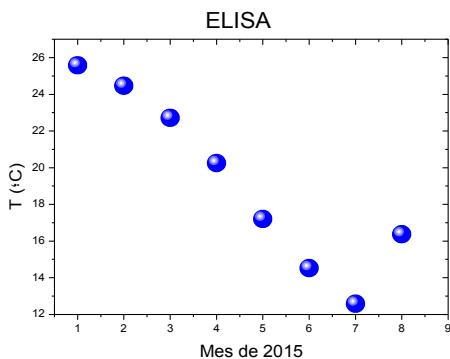


Figura 22: Promedio mensual de la temperatura ambiente diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Elisa.

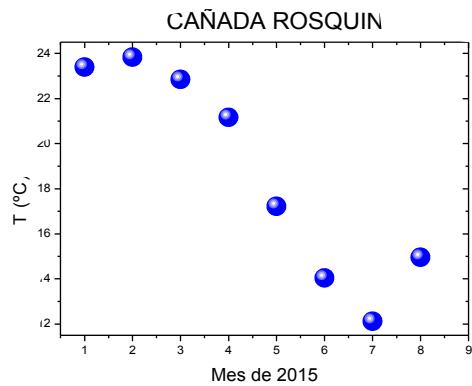


Figura 23: Promedio mensual de la temperatura ambiente diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Cañada Rosquín.

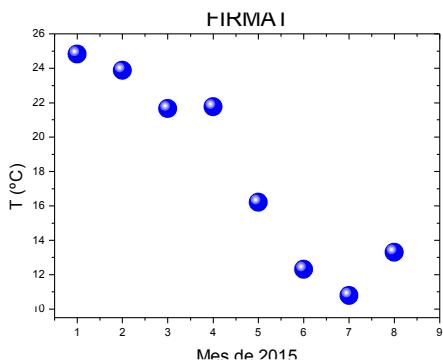


Figura 24: Promedio mensual de la temperatura ambiente diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Firmat.

Dirección y velocidad del viento

En las Figuras 25-29 se presenta el promedio mensual de la dirección y velocidad del viento medida en las cinco estaciones de la Red. En todos los casos los vientos predominantes son del sector Sureste, con velocidades que no superan los 6 km/h. En el caso de Tostado las velocidades son un poco menores, de no más de 4 km/h, y la dirección predominante es Este-Sureste.

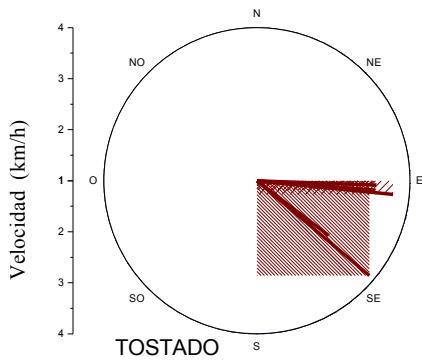


Figura 25: Promedio mensual de la dirección y la velocidad del viento diarios en lo que va del año 2015 en la localidad de Tostado

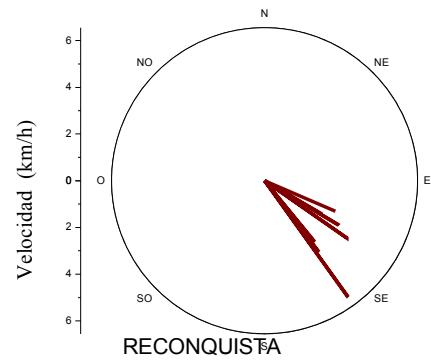


Figura 26: Promedio mensual de la dirección y la velocidad del viento diarios en lo que va del año 2015 en la localidad de Reconquista

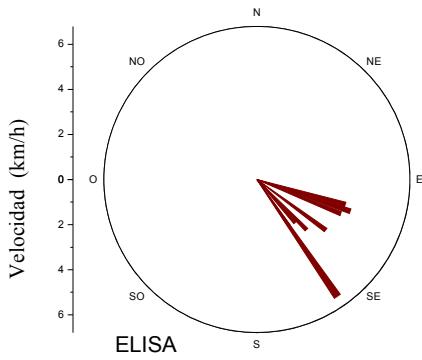


Figura 27: Promedio mensual de la dirección y la velocidad del viento diarios en lo que va del año 2015 en la localidad de Elisa

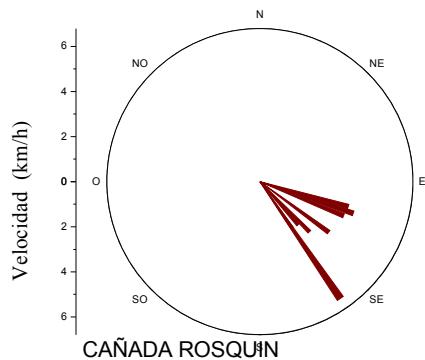


Figura 28: Promedio mensual de la dirección y la velocidad del viento diarios en lo que va del año 2015 en la localidad de Cañada Rosquin

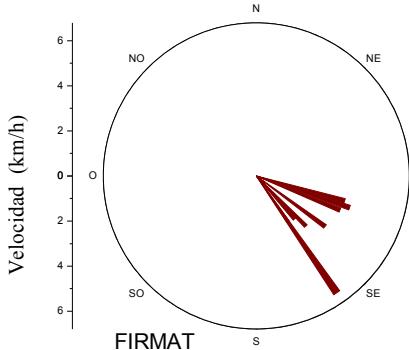


Figura 29: Promedio mensual de la dirección y la velocidad del viento diarios en lo que va del año 2015 en la localidad de Firmat

Presión atmosférica

Las Figuras 30-34 muestran el promedio mensual de la presión atmosférica medida en las cinco estaciones de la Red. En relación inversa con la temperatura, las mayores presiones se dan para los meses de Junio-Julio, y las menores para Enero-Febrero.

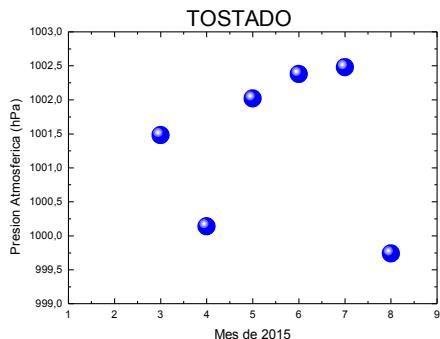


Figura 30: Promedio mensual de la Presión Atmosférica diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Tostado.

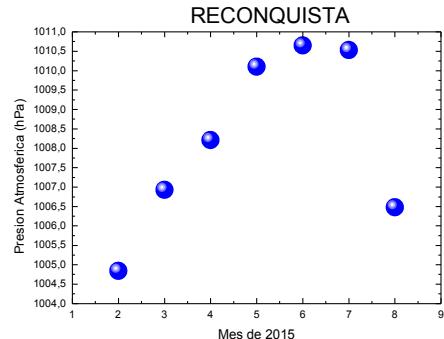


Figura 31: Promedio mensual de la Presión Atmosférica diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Reconquista.

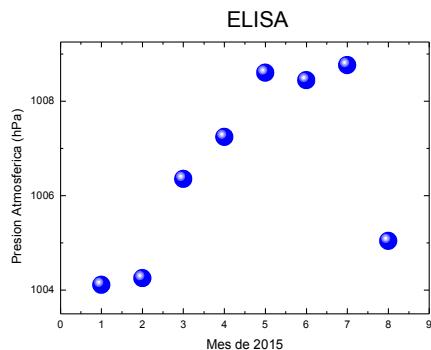


Figura 32: Promedio mensual de la Presión Atmosférica diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Elisa.

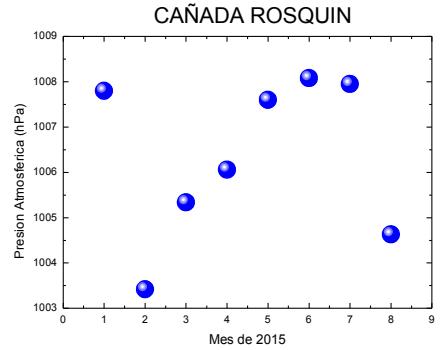


Figura 33: Promedio mensual de la Presión Atmosférica diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Cañada Rosquín.

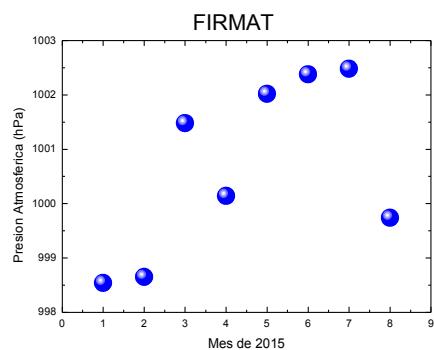


Figura 34: Promedio mensual de la Presión Atmosférica diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Firmat.

Humedad ambiente

La humedad relativa ambiente, presentada en las Figuras 35-39, tiene un comportamiento dispar a lo largo del año. En la mayoría de los casos el valor promedio se ubica cerca del 80%, excepto en Tostado donde está más cerca del 75%.

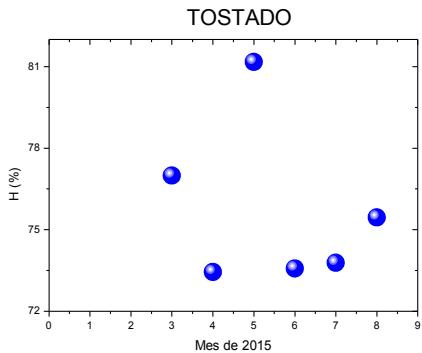


Figura 35: Promedio mensual de la Humedad Ambiente diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Tostado.

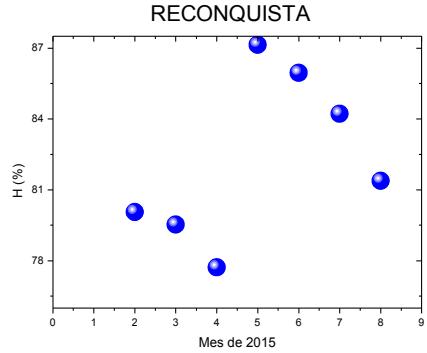


Figura 36: Promedio mensual de la Humedad Ambiente diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Reconquista.

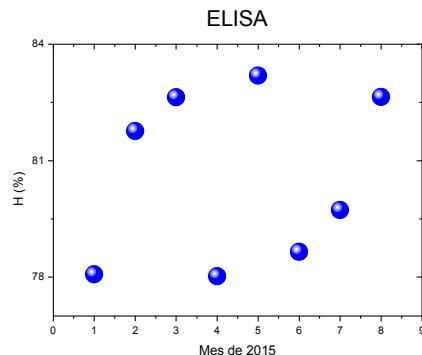


Figura 37: Promedio mensual de la Humedad Ambiente diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Elisa.

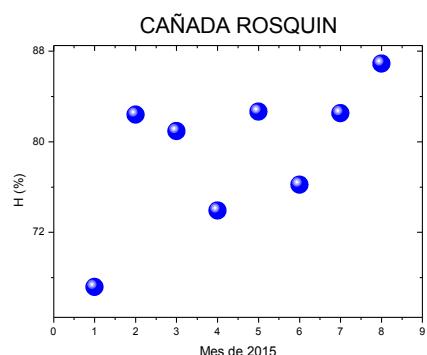


Figura 38: Promedio mensual de la Humedad Ambiente diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Cañada Rosquín

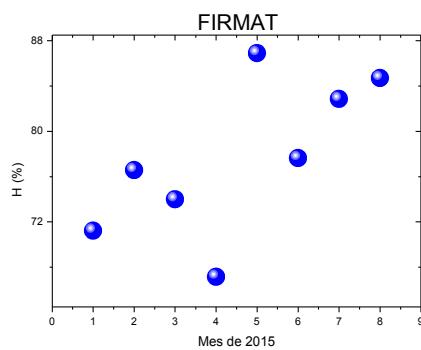


Figura 39: Promedio mensual de la Humedad Ambiente diaria en lo que va del año 2015 en la localidad de Firmat.

MAPAS DE INSOLACION DE LA PROVINCIA DE SANTA FE

A partir de los datos de radiación solar en el plano horizontal, tanto medidos mediante la Red Solarimétrica como provistos por la NASA, se elaboraron los siguientes mapas del recurso solar. Se utilizaron también datos reportados por la NASA porque la diferencia con lo registrado hasta el momento en la Red Solarimétrica está dentro de lo razonable; además los datos de la Red todavía no completan un año de registros y los de la NASA están dados con intervalos de 1 grado de latitud y longitud, lo que permite dibujar una grilla más fina. Se presentan tres situaciones, correspondientes a los meses de Enero (mes de mayor insolación), Junio (mes de menor insolación) y promedio anual.

Insolacion media Enero (kWh/m²/dia)

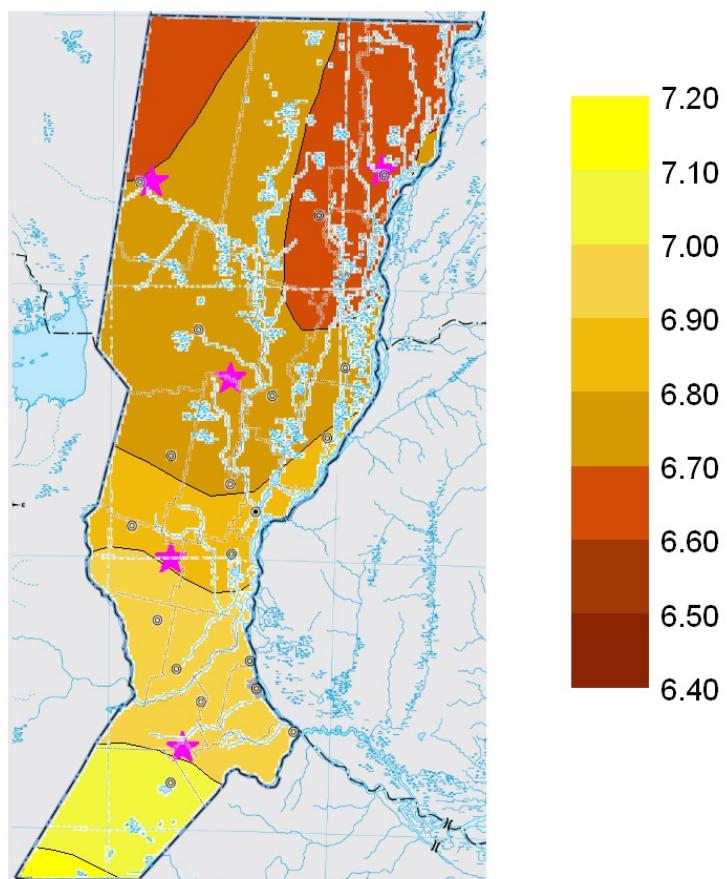


Figura 40: Insolación media diaria, medida en kWh/m²/dia, para el mes de Junio.

En la Figura 40 se observa la insolación media para el mes de Enero. Se puede apreciar que, para la localidad de Reconquista, la insolación media del mes de Enero se encuentra entre 6,60 y 6.70 kWh/m²/dia; para Tostado y Elisa está entre 6,70 y 6.80 kWh/m²/dia; para Cañada Rosquín está entre 6,80 y 6.90 kWh/m²/dia; mientras que para Firmat está entre 6,90 y 7,00 kWh/m²/dia. En el extremo sur-oeste de la provincia se observa un máximo de entre 7,10 y 7,20 kWh/m²/dia.

Insolacion media Junio (kWh/m²/dia)

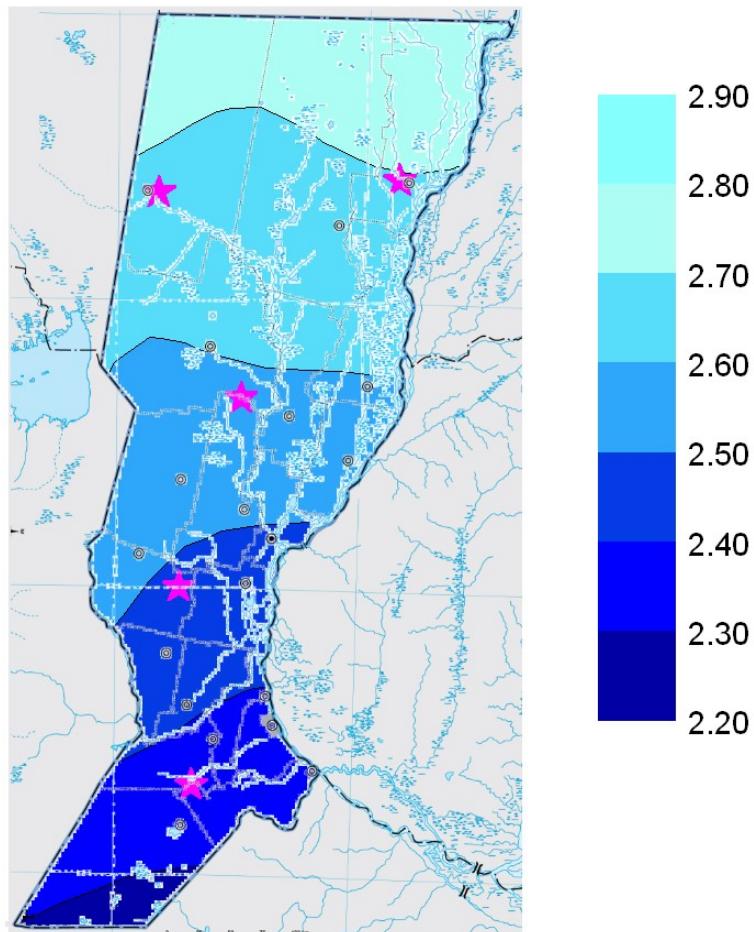


Figura 41: Insolación media diaria, medida en kWh/m²/dia, para el mes de Junio.

En la Figura 41 se observa la situación para el mes de Junio, que es el de menor insolación. En el extremo norte de la Provincia se observa un máximo de entre 2,70 y 2,80 kWh/m²/dia; en las localidades de Tostado y Reconquista la insolación media del mes de Junio se encuentra entre 2,60 y 2,70 kWh/m²/dia; en la zona de Elisa está entre 2,50 y 2,60 kWh/m²/dia; a la altura de Cañada Rosquín está entre 2,40 y 2,50 kWh/m²/dia; mientras que para Firmat está entre 2,30 y 2,40 kWh/m²/dia. En el extremo sur de la provincia se observa un mínimo de entre 2,20 y 2,30 kWh/m²/dia.

Insolacion media anual (kWh/m²/dia)

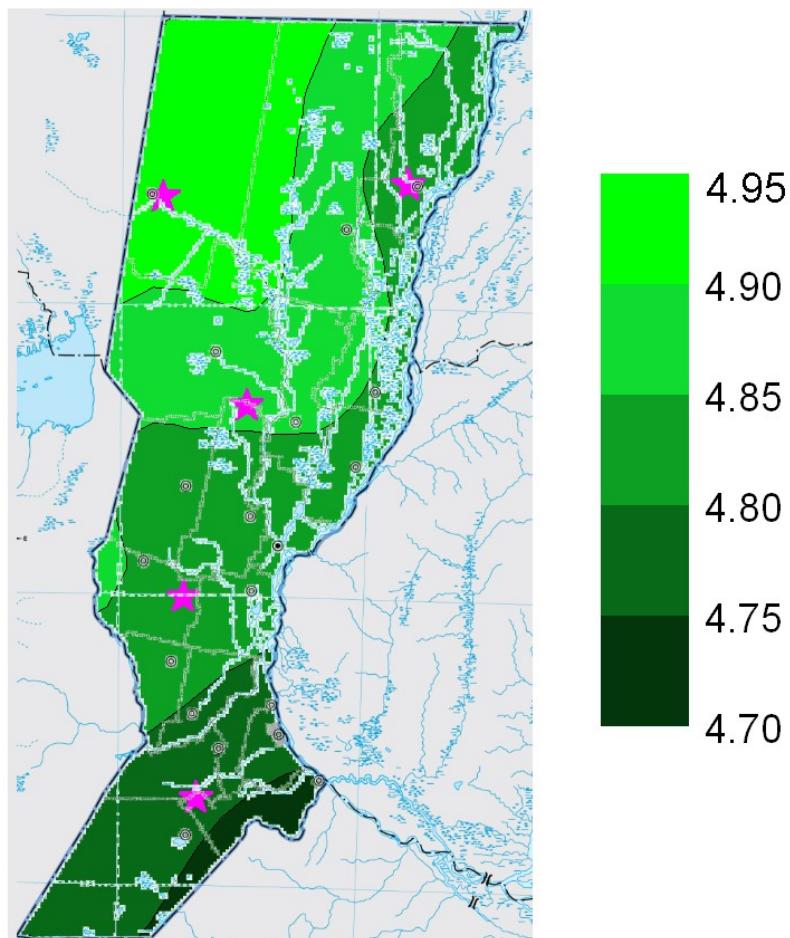


Figura 42: Promedio anual de la insolación media diaria, medida en kWh/m²/día.

Finalmente, en la Figura 42 se observa el mapa de la insolación media anual en la Provincia, que es el dato necesario para calcular la energía que puede aportar una central fotovoltaica. Aquí se observa una variación diagonal de la insolación, con un máximo en la zona Noroeste y un mínimo en la zona Sureste. De todas formas, la variación entre los extremos se da entre 4,70 y 5,00 kWh/m²/día, lo cual representa una diferencia del 6 % aproximadamente.

CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA POR UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA EN LAS DISTINTAS ZONAS DE LA PROVINCIA

A partir de los datos presentados anteriormente, brindamos un “cálculo aproximado” de la energía que generaría una central fotovoltaica de 5 MW instalada en cada una de las cinco localidades donde se encuentran las Estaciones de Medición de la Red Solarimétrica, basando los cálculos en el recurso solar medido en la localidad y en las condiciones ambientales. El cálculo es aproximado debido a que contamos con pocos meses de evaluación, y las normas aconsejan que es necesario poseer datos relevados durante un período no inferior a tres años.

Para este informe proponemos que las centrales fotovoltaicas sean de iguales características entre sí y estén conectadas a la red de media tensión. La elección de 5 MW de potencia se debe a que en la Provincia existe un proyecto de instalar plantas fotovoltaicas de estas características.

La energía generada por una central fotovoltaica viene dada por:

$$E_{AC} = H_a(\alpha, \beta) \times P_{GFV} \times PR \quad , \quad (Ec. 1)$$

donde

$H_a(\alpha, \beta)$ es la irradiancia que recibe el plano del panel (función de la inclinación) a lo largo del día,

P_{GFV} es la potencia pico instalada del generador fotovoltaico, el valor por el cual se licita y paga,

PR es un factor de eficiencia que incluye valores fijos y variables.

La siguiente tabla resume los valores de radiación global en el plano horizontal.

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Promedio parcial	Promedio Anual
Tostado	Medida			5,47	4,49	2,8	2,46	3,27	3,58	3,68	
	NASA			4,99	3,83	3,2	2,62	3,02	3,94	3,6	4,89
Reconquista	Medida		5,86	5,63	4,79	3,14	2,71	3,08	3,43	4,09	
	NASA		5,99	5,08	3,81	3,27	2,65	3,04	3,9	3,96	4,85
Elisa	Medida	7,1	5,83	5,53	4,65	3,17	2,57	3,31	3,41	4,45	
	NASA	6,77	6,08	4,99	3,82	3,1	2,56	2,9	3,8	4,25	4,83
Cañada Rosquín	Medida	7,42	5,51	5,04	4,09	3	2,63	2,92	3,06	4,21	
	NASA	6,97	6,1	5,01	3,79	2,93	2,43	2,77	3,69	4,21	4,79
Firmat	Medida	6,72	5,94	4,65	3,28	1,94	2,39	2,52	2,89	3,85	
	NASA	7,05	6,23	4,99	3,77	2,83	2,31	2,66	3,56	4,18	4,75

Tabla 2: Radiación medida en las distintas localidades de la Red Solarimétrica, y comparación con valores obtenidos por la NASA. Los valores están dados en HSP (hora solar pico).

Hay que destacar que los valores de la radiación volcados en la tabla están referidos a la radiación en el plano horizontal, mientras que en la Ec. 1 se necesita la radiación en el plano del panel. En consecuencia, para utilizarlos debemos corregirlos mediante un factor de corrección K, el cual dependerá de la latitud del emplazamiento y del ángulo de inclinación de los paneles.

El factor de eficiencia PR, contiene valores fijos en el tiempo que están relacionados con el buen arte de instalación y la calidad de los equipamientos intermedios, y por otro lado tiene componentes que dependerán del emplazamiento, fundamentalmente de la temperatura del lugar. La Fig. 43 muestra un esquema de las distintas fuentes de pérdida de energía, entre las que se incluyen las pérdidas por temperatura, pérdidas DC, pérdidas en el inversor y pérdidas AC.

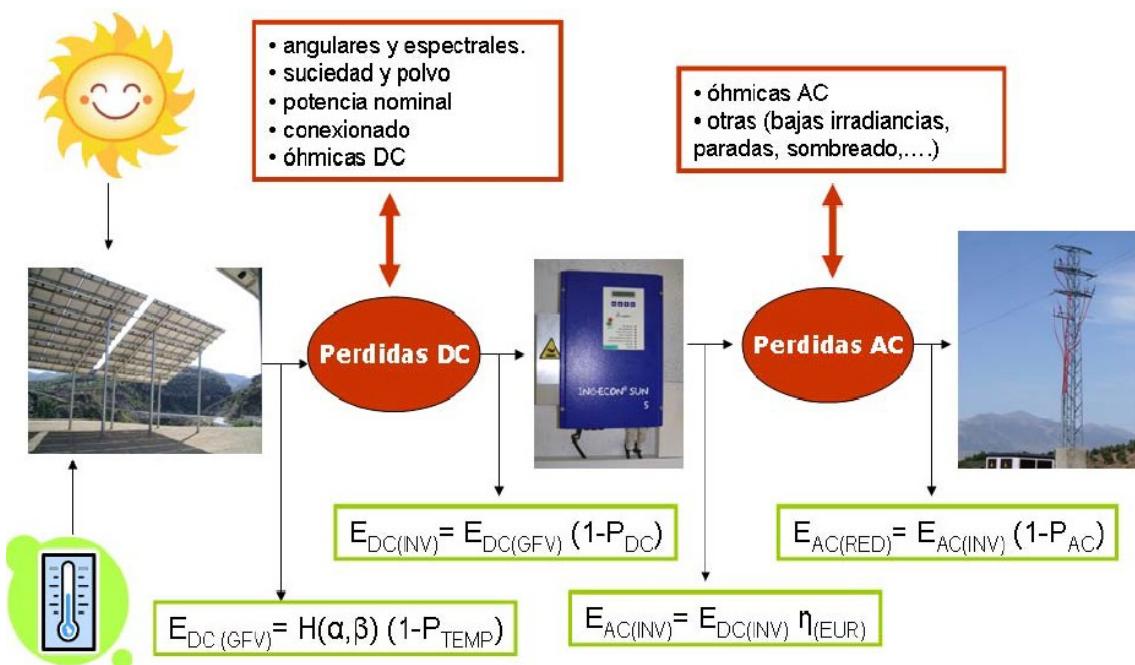


Fig. 43: Esquema del cálculo de la Energía Generada

Para nuestro trabajo proponemos que dentro del valor de PR los valores fijos no superen el 20%, y que las pérdidas variables en función de la temperatura de la celda no sean superiores a una pérdida de potencia de 0,43% por cada grado de temperatura por encima de los 25 °C. Este último valor es típico para los paneles fotovoltaicos de tecnología basada en silicio multicristalino. En consecuencia, para este informe proponemos un valor de PR que vendrá dado por

$$PR = 0,8 \times [1 - 0,0043 \times (T - 25)],$$

donde T es la temperatura, en grados centígrados, que alcanza la superficie del panel.

Finalmente, considerando la corrección en el plano de la radiación y el PR en función de la temperatura del panel, la Ec. 1 queda:

$$E_{AC} = H_{HSP} \times K \times P_{GFV} \times 0,8 \times [1 - 0,0043 \times (T - 25)] \quad . \quad (\text{Ec. 2})$$

En la Tabla3, se muestran los valores de la radiación obtenida en el plano horizontal, los factores de corrección para cada latitud e inclinación de panel, y la temperatura de celda de los paneles que es función de la temperatura ambiente, la radiación y el viento.

	HSP (hs)	Inclinación óptima	K	T (°C)	Horas en el año
Tostado	4,89	25°	1,092	53,5	1784
Reconquista	4,85	25°	1,092	51,8	1770
Elisa	4,83	25°	1,108	46,3	1762
Cañada Rosquín	4,79	30°	1,117	44,8	1748
Firmat	4,75	30°	1,119	43,9	1733

Tabla 3: Valores considerados en el cálculo de la energía generada

Por último, aplicando estos valores en la Ec. 2, y considerando un valor de P_{GFV} de 5 MW pico, obtenemos los valores de la energía estimada en las cinco localidades.

	Tostado	Reconquista	Elisa	Cañada Rosquín	Firmat
Energía Generada (MWh/año)	6850	6850	7100	7150	7150

Tabla 4: Estimación de la energía anual generada por una central fotovoltaica de 5 MWp.

CONCLUSIONES

Se ha dado el primer paso para la construcción de una Red Solarimétrica de la Provincia de Santa Fe, con el complemento de los datos climáticos de las distintas Regiones. Hasta el momento los equipos están brindando la información esperada, con pocas dificultades de funcionamiento y algunos ajustes necesarios. En el futuro, es de esperar que esta red pueda formar parte de una más amplia, que abarque todo el territorio Provincial y se integre a la red Nacional.

Los resultados muestran un buen nivel de radiación en toda la Provincia, con valores similares a los informados por la NASA. El promedio anual de radiación medido para las cinco localidades presenta una variación menor al 3 %, entre 4,89 kWh/m²/día para Tostado y 4,75 kWh/m²/día para Firmat. Estos valores pueden compararse con la insolación medida para otros países en los cuales la energía fotovoltaica se encuentra más desarrollada. Para Alemania, por ejemplo, los valores de radiación están entre 2,7 y 3,3 kWh/m²/día. Aún con este recurso solar relativamente bajo, en Alemania alrededor del 6,9 % del consumo total de electricidad proviene de la energía fotovoltaica. En España, por su parte, los valores de radiación solar están entre 3,3 y 5,3 kWh/m²/día, con gran parte del territorio exhibiendo valores similares a los de la Provincia de Santa Fe. Alrededor del 3 % de la electricidad total consumida en España proviene de la energía solar fotovoltaica, valor que aproximadamente se duplica en el pico de consumo del mediodía. Hoy en día, en la mayoría de los países europeos la energía fotovoltaica compite directamente en costos con otras plantas de generación de energía en el horario pico de consumo del mediodía.

Volviendo a nuestra Provincia, el promedio anual de radiación solar es relativamente uniforme en todo el territorio, como se aprecia en la Fig. 42. Esto hace que, debido a las pérdidas de eficiencia por temperatura que suelen presentar los paneles solares convencionales de silicio multicristalino, las variaciones en la temperatura ambiente compensan a los cambios en intensidad de radiación solar. En consecuencia, en el resultado final de energía total generada por año, todas las plantas generarían cantidades similares de energía dentro del error de la medición, del orden de 7000 MWh/año. Según estadísticas de la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe, con esta cantidad de energía se podrían abastecer unos 4500 hogares que posean un consumo típico para nuestra Provincia. Más aún, para generar 7000 MWh de energía una planta generadora convencional de ciclo combinado emite a la atmósfera unas 3150 Toneladas de CO₂, mientras que una planta de carbón emite unas 7000 Toneladas de CO₂. Por lo tanto, resulta claro el ahorro energético y ambiental que podría lograrse adoptando la generación de energía eléctrica a través de centrales fotovoltaicas.

Dado que las normas internacionales aconsejan que, para lograr una medición precisa de la radiación solar, es necesario relevar datos durante un período no inferior a tres años, a medida que se recolecten más datos se podrán tener conclusiones más precisas con respecto a la calidad del Recurso Solar en el territorio provincial y el aprovechamiento factible.

Dr. Javier A. Schmidt
Grupo de Energías No Convencionales
FIQ – IFIS-Litoral, UNL – CONICET