

INFLUENCIA DE LA LIMPIEZA EN LA GENERACIÓN DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

S. B. Jacob^{1,2}, C. N. de Souza³, G. J. Murcia^{1,2}, J. C. Branda^{1,2}, E. Garín¹, D. O. Carrica^{1,4} y S. S. Tedoldi⁵

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Mar del Plata
 LEyDE (Laboratorio de Ensayos y Desarrollos Energéticos), LIC (Laboratorio de Instrumentación y Control)
 Juan B. Justo 4302 CP 7600 Mar del Plata FAX 0223- 4 810046 Tel: 0223 4816600
 Email: sujacob@fi.mdp.edu.ar

Recibido: 15-8-16; Aceptado: 2-10-16.

RESUMEN.- Este trabajo presenta un estudio llevado a cabo en el Laboratorio de Ensayos y Desarrollos Energéticos (LEyDE) de la Universidad de Mar del Plata que, mediante la limpieza semanal de módulos fotovoltaicos, evalúa las pérdidas causadas por la acumulación de suciedad en la superficie de los paneles FV. Los resultados muestran que la pérdida de energía promedio diaria a lo largo de ocho meses de estudio causada por la suciedad depositada sobre la superficie de los módulos es de alrededor del 4%, registrándose picos del orden del 15%. Además se verificó la relación inversa existente entre las precipitaciones y las pérdidas de energía, observándose que para una inclinación de 30° con las precipitaciones típicas de Mar del Plata, es de importancia la evaluación de sistemas de limpieza para instalaciones de gran envergadura.

Palabras clave: pérdidas de energía, limpieza, módulos fotovoltaicos, energía solar fotovoltaica

INFLUENCE OF CLEANING IN THE GENERATION OF PHOTOVOLTAIC INSTALLATIONS

ABSTRACT.-This paper presents a study developed by Laboratorio de Ensayos y Desarrollos Energéticos (LEyDE) of the Universidad de Mar del Plata which, through the weekly cleaning of photovoltaic modules, evaluates losses caused by the accumulation of dirt on the surface of the PV panels. The results show that the average daily loss of energy through eight months of study caused by dirt deposited on the surface of the modules is around 4, with peaks of about 15 %. The inverse relationship between rainfall and energy losses was verified, besides, it was observed that for an inclination of 30° with the typical rainfall of Mar del Plata, importance is evaluating cleaning systems for large installations.

Keywords: energy losses, cleaning, photovoltaic modules, photovoltaic solar energy

1. INTRODUCCIÓN

La generación solar fotovoltaica, por su adaptabilidad y por la creciente competitividad de su costo de instalación, es una fuente renovable con amplia perspectiva de aplicación a la generación distribuida en redes de distribución de baja tensión residenciales, pudiéndose prever que alcancen un elevado nivel de penetración.

Sin embargo, en la República Argentina, menos del 1% de la generación bruta del mercado mayorista eléctrico corresponde a fuentes renovables tales como eólica y fotovoltaica, como se indica en la Figura 1 (CAMMESA, 2016).

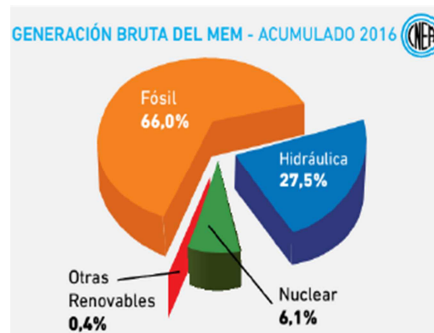


Fig. 1: Generación de energía eléctrica acumulada para el año 2016 en la Argentina.

Según la Comisión Nacional de Energía Atómica, la demanda de energía de los últimos 20 años ha sido siempre creciente. En los últimos diez años el valor de energía anual demandada por el Sistema Argentino de Interconexión (SADI) creció casi un 40%.

1.Docente UNMDP
 2.Investigador UNMDP
 3.Becario UNMDP
 4.Investigador CONICET

Al ser escasa la contribución de las energías renovables a la generación bruta nacional, resulta imprescindible incrementar el uso de los recursos renovables para afrontar una demanda creciente, y así incrementar las energías limpias, mejorando el rendimiento global de las redes de distribución energéticas de generación distribuida (Momoh, 2012; H. Socolovsky, 2013).

Para fomentar la investigación y el desarrollo local de las energías renovables, formar recursos humanos en el tema, encontrar una fuente de financiación a proyectos de energías renovables, y relevar el recurso eólico y solar para la toma de decisiones, entre otras, la Facultad de Ingeniería de la

Universidad Nacional de Mar del Plata (FI-UNMdP) decidió participar en el Proyecto IRESUD: “Interconexión de Sistemas Fotovoltaicos a la Red Eléctrica en Ambientes Urbanos”, que tiene entre sus objetivos desarrollar e impulsar el establecimiento de legislación y normativa que promueva en el país sistemas de generación distribuida conectada a la red. La FI-UNMdP participa del proyecto a través de un trabajo conjunto del LByDE (Laboratorio de Ensayos y Desarrollos Energéticos) y LIC (Laboratorio de Instrumentación y Control) de los Departamentos de Ingeniería Eléctrica y Electrónica respectivamente.

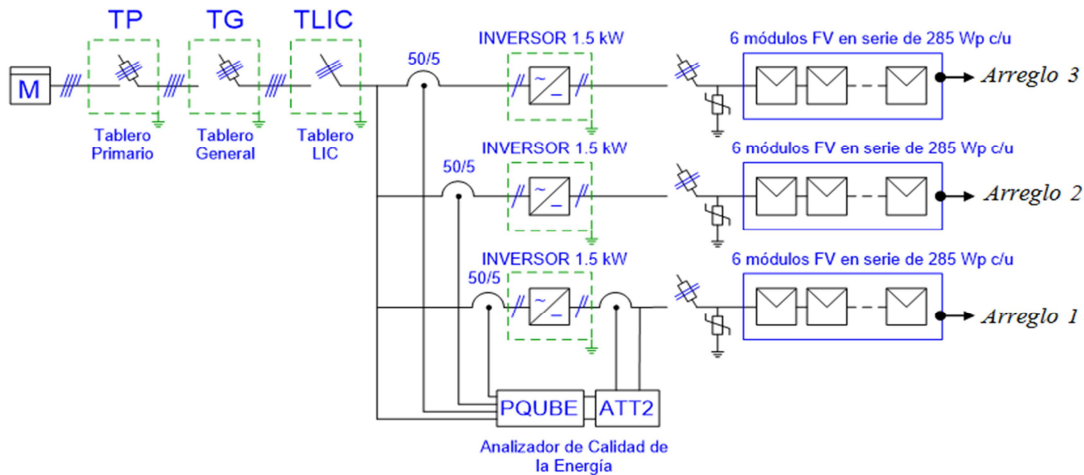


Fig. 2: Esquema unifilar de la instalación FV realizada en la FI-UNMdP.

El sistema fotovoltaico instalado en la terraza del edificio principal de la FI-UNMdP, es de 5,1 kWp, consta de 18 paneles solares poli-cristalinos de 285 Wp c/u, orientados al norte e inclinados 30°, formando tres arreglos de seis paneles conectados en serie. Cada arreglo inyecta la energía generada a la red de baja tensión de la Facultad mediante tres inversores monofásicos de 1,5 kW conectados a cada fase como se aprecia en la Figura 2 (Jacob, et al., 2015).

La acumulación de polvo en la superficie de un módulo fotovoltaico disminuye la radiación que llega a la celda solar y produce pérdidas en la potencia generada (Zorrilla-Casanova, et al., 2011). A su vez, la salida de un módulo FV es usualmente indicada por los fabricantes bajo condiciones de prueba estándar, en inglés, Standard Test Conditions (STC) las cuales corresponden a una temperatura de prueba de 25°C, irradiación solar de 1000 W/m², masa de aire AM 1,5 y velocidad de viento de 2 m/s. Sin embargo, estas condiciones son diferentes de las condiciones de emplazamiento y utilización. Para los paneles solares instalados en la FI-UNMdP, las características eléctricas pueden observarse en la Tabla 1.

Tabla 1: Características eléctricas de los paneles solares instalados.

Características Eléctricas	STC
Potencia Máxima (P _{máx})	285Wp
Tensión a P _{máx} . (V _{mp})	35,1V
Corriente a P _{máx} . (I _{mp})	8,12A
Tensión a circuito abierto (V _{oc})	44,1V
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	8,51A
Eficiencia del módulo (η _m)	14,7%

Con el incremento del uso de sistemas FV, es vital estudiar los parámetros meteorológicos que afectan el rendimiento de los mismos, como la humedad, la temperatura y la velocidad del viento, junto con las condiciones ambientales propias del lugar como son las partículas en suspensión que se depositan sobre las superficies (Kazem et al., 2013). Este trabajo estudia cómo afecta el polvo a la producción de energía eléctrica, mediante la comparación de la producción de energía de módulos FV en un período de ocho meses: unos con el polvo acumulado y otros limpiados semanalmente de forma manual y con agua. A su vez, se analiza cómo las precipitaciones contribuyen con el proceso de limpieza.

2. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

El propósito de este trabajo es evaluar las pérdidas de producción de energía de módulos fotovoltaicos conectados a la red de baja tensión de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Mar del Plata, mediante el análisis de la influencia de la limpieza de los paneles FV. Para el mismo se procedió a la limpieza de seis de sus módulos conectados en serie inyectando mediante un inversor a una de las fases (Arreglo 3, como se puede observar en la Figura 3).

Los paneles solares instalados en terrazas son tanto susceptibles a la acumulación de polvo como heces de aves. Esto se puede observar en las fotografías de los módulos de la FI-UNMdP de las Figuras 4, 5 y 6. El proceso de limpieza se realizó semanalmente durante los meses de mayo a diciembre del año 2015. El mismo se realizó de forma manual, primero con un paño de algodón y agua de red, luego se procedió a utilizar un escurridor para vidrios (como se ve en la Figura 7) y finalmente se realizó el secado final de los módulos con otro paño de algodón seco.

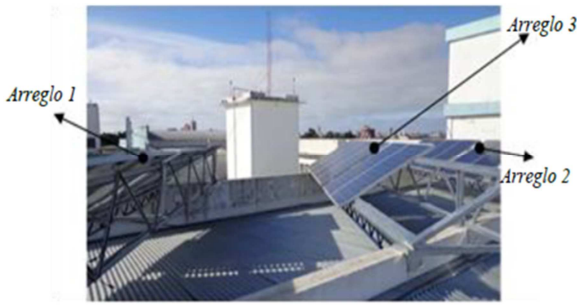


Fig. 3: Instalación FV y nomenclatura de los arreglos.



Fig. 4: Ejemplo de suciedad en un panel solar (deposiciones de aves y polvo acumulado) (A).

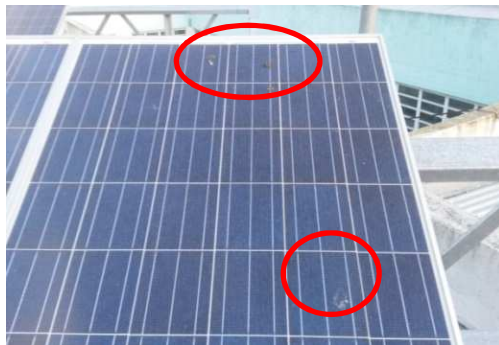


Fig. 5: Ejemplo de suciedad en un panel solar (desechos de aves y polvo acumulado) (B).



Fig. 6: Panel parcialmente limpio.

Los parámetros eléctricos se monitorean mediante un analizador de calidad de energía marca PQube, que adquiere todas las magnitudes a la entrada del inversor de un arreglo (lado DC) y a la salida de los tres inversores (lado AC), como se detalló en la publicación “Interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos de Mar del Plata - Primera etapa” presentada en ASADES 2014 (Figura 2). De los parámetros eléctricos medidos se utilizó para este trabajo la potencia promedio por

fase cada 5 minutos, con la que se pudo calcular la energía por mes inyectada en cada línea, y por lo tanto para cada arreglo de paneles solares.



Fig. 7: Proceso de limpieza

Contando con la energía mensual del arreglo bajo limpieza semanal (Arreglo 3) y la energía mensual de los dos arreglos restantes, se puede analizar el efecto de la limpieza mediante las pérdidas de energía. Para contrastar dicha producción energética, se seleccionó el Arreglo 2 que cuenta con las mismas condiciones de sombreado que el Arreglo 3.

La eficacia de limpieza fue cuantificada como la pérdida de energía relativa que es calculada como:

$$\Delta E [\%] = 100 (E_{CL} - E_{SL}) / E_{CL} \quad (1)$$

Donde E_{CL} es la energía mensual producida por el arreglo con limpieza (Arreglo 3) y E_{SL} es la energía mensual producida por el arreglo sin limpieza (Arreglo 2), ambas en [kWh/mes].

A su vez, con los datos meteorológicos del año 2015 provistos por el Centro de Información Meteorológico del Servicio Meteorológico Nacional, fue posible contrastar las pérdidas de energía con las precipitaciones diarias, medidas en milímetros, de forma gráfica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De la comparación de energía mensual de los arreglos con y sin tratamiento de limpieza se logró observar que la producción de los paneles limpios es mayor a la de los que acumularon suciedad y polvo. A continuación, en la Figura 8 se puede observar que esta superioridad se mantiene en todos los meses de estudio.

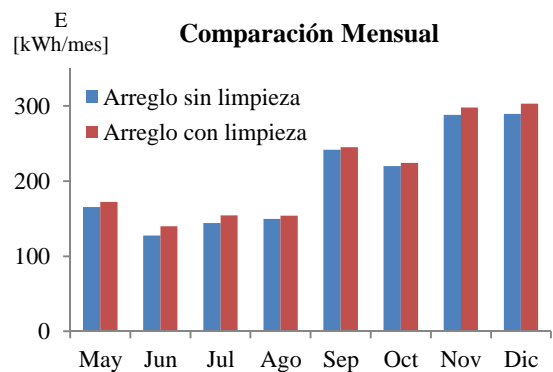


Fig. 8: Comparación mensual de la energía producida por los arreglos con y sin limpieza en [kWh/mes]

La eficacia de limpieza, o pérdida de energía por mes, fue calculada según (1) y se presenta en la Tabla 2. También se observan en dicha tabla las pérdidas de energía diaria máxima.

Como se puede observar las pérdidas de energía varían mes a mes, sin embargo se deduce que, en promedio,

la limpieza de los paneles mejora la producción de energía en un 4,16%.

También se puede observar en ella, que se registró una diferencia de energía producida diaria máxima que ronda el 15% en el mes de julio, muy por encima del 4% promedio.

Tabla 2: Comparación mensual de la energía producida por los arreglos con y sin limpieza, promedio y máximos mensuales.

AÑO 2015	E_{SL} [kWh/mes]	E_{CL} [kWh/mes]	ΔE medio [%]	Máx ΔE [%]
Mayo	165,27	172,28	4,07	9,30
Junio	127,68	139,98	8,79	11,60
Julio	144,23	154,37	6,57	15,09
Agosto	149,79	153,83	2,63	5,60
Septiembre	241,77	245,40	1,48	3,52
Octubre	219,88	224,27	1,96	3,11
Noviembre	288,24	297,91	3,25	4,76
Diciembre	289,59	303,24	4,50	6,38
Promedio mensual de ΔE [%]			4,16	

Para analizar el efecto de las precipitaciones en el proceso de limpieza, en la Figura 9 se presenta un gráfico que superpone la pérdida de energía porcentual diaria calculada desde el día 01/05/2015 hasta el día 31/12/2015 y las precipitaciones diarias en [mm/día].

En ella se puede observar que con posterioridad a un evento de alta precipitación (50 mm) las pérdidas de energía llegan a un mínimo en el arreglo sin limpieza, y son máximas en períodos de baja precipitación.

En la Figura 10, se muestra la evolución de las pérdidas de energía diaria para el mes de diciembre de 2015 junto con las precipitaciones en dicho mes. Al tratarse de un mes con escaso nivel de precipitaciones, se observa que la tendencia de los valores de pérdida de energía porcentual es superior a la media del período de medición.

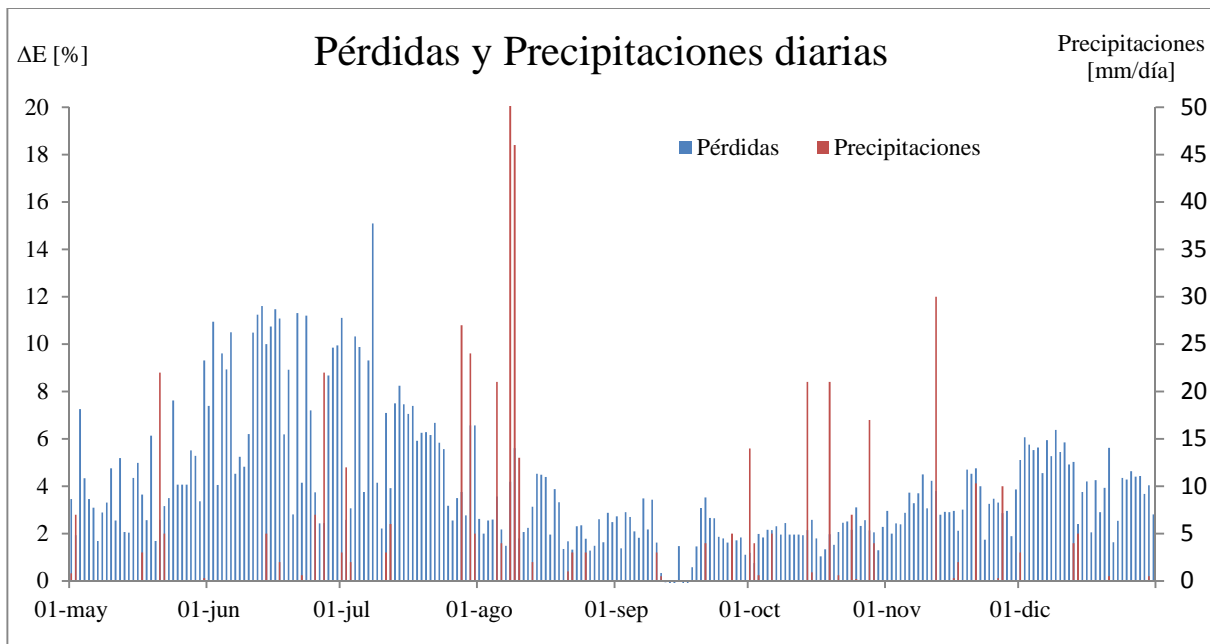


Fig.9: Comparación diaria de las pérdidas porcentuales de energía y las precipitaciones en [mm/día] en los ocho meses de estudio del año 2015.

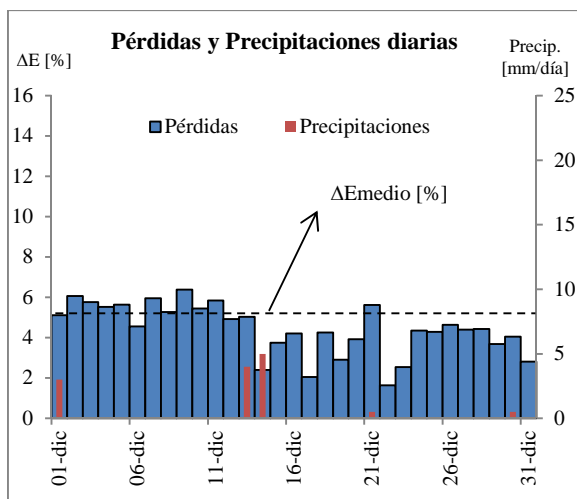


Fig.10: Comparación diaria de las pérdidas porcentuales de energía y las precipitaciones en [mm/día] en Diciembre de 2015.

Como contrapartida, en la Figura 11 se muestra la misma evolución pero para el mes de octubre. Al ser un mes con abundantes precipitaciones, la tendencia en este caso es contraria al mes de diciembre, es decir, los valores de pérdida de energía porcentual son inferiores a la media del período de medición.

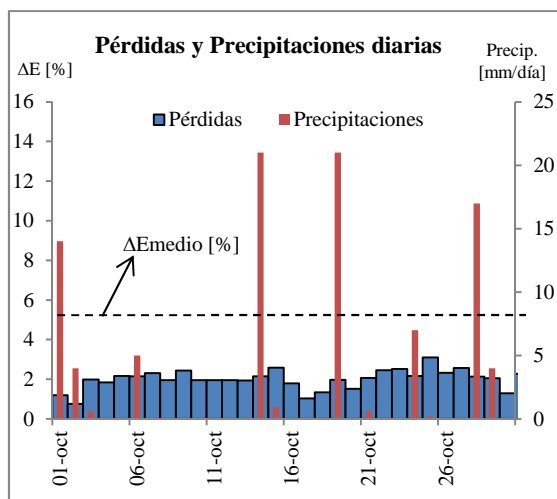


Fig.11: Comparación diaria de las pérdidas porcentuales de energía y las precipitaciones en [mm/día] en Octubre de 2015

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha determinado la influencia de la limpieza en módulos de una instalación fotovoltaica en la ciudad de Mar del Plata, Buenos Aires durante ocho meses del año 2015. El promedio mensual, arroja que los paneles que son limpiados producen un 4,16% más que aquellos que no cuentan con un proceso de limpieza. Sin embargo se ha registrado que esta diferencia de energía se puede incrementar hasta alcanzar valores del 15%.

Los datos recabados parecen mostrar una relación inversa entre las precipitaciones y las pérdidas de energía, notándose que en meses de mayores precipitaciones dichas pérdidas en general se sitúan por debajo del promedio mensual y a la inversa en meses de menores precipitaciones. No obstante, se ha detectado que las heces de aves para una inclinación de 30° no son barridas por las lluvias de baja intensidad, lo que podría justificar desviación en la tendencia comentada.

En las instalaciones FV que se encuentran en zonas con escasas precipitaciones y/o en ambientes urbanos con presencia de aves, sobre todo palomas, se debería prestar especial atención en estas pérdidas energéticas que reducen el rendimiento del sistema.

Este estudio podría demostrar la importancia de implementar un plan de limpieza en las instalaciones fotovoltaicas de ciudades con regímenes de lluvia bajo y de considerable potencia instalada.

Un estudio de mayor profundidad sobre la deposición de las excretas de aves en la superficie de los paneles FV, podría determinar si tales deposiciones producen solo una disminución de la transparencia de la película de policarbonato que recubre los FV, o si también éstas contribuyen al efecto shading de los mismos profundizando la baja de rendimiento.

REFERENCIAS

- CAMMESA. "Informe mensual - Principales variables del mes, marzo 2016". 2016. <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx>. (15 de mayo de 2016).
- Jacob S. B., Murcia G. J., Branda J. C., Garín E., Echeverría N., Tedoldi S. S., y de Souza C. N. (2015). Análisis de desempeño de una planta fotovoltaica conectada a la red de baja tensión en Mar del Plata. ASADES.
- Jacob S. B., Murcia G. J., Branda J. C., Garín E., Echeverría N., Tedoldi S. S., y de Souza C. N. (2015). Montaje y producción energética de una instalación fotovoltaica conectada a la red de baja tensión en la ciudad de Mar del Plata. CLAGTEE.
- Kazem H.A, Khatib T., Sopian K., Buttinger F., Elmenreich W. y Albusaidi A. S. (2013) Effect of Dust Deposition on the Performance of Multi-Crystalline Photovoltaic Modules Based on Experimental Measurements. *International Journal of Renewable Energy Research*.
- Momoh, J. (2012). *Smart Grid: Fundamentals of design and analysis*. Wiley-IEEE Press.
- Socolovsky, E. W. (2013). Estado de avance del proyecto de Interconexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica en ambientes urbanos. En XXXVI Reunión de ASADES, pp. 04.45 - 04.51.
- Zorrilla-Casanova J., Piliouguine M., Carretero J., Bernaola P., Carpena P., Mora-López L. y Sidrach-de-Cardona M. (2011). Analysis of dust losses in photovoltaic modules. *World Renewable Energy Congress 2011 - Sweden*.