

Reporte Técnico

Sombreamiento, suciedad y roturas en módulos PV: un ensayo preliminar

B. Amézquita, P. Ulloa, Á. Suttner, R. Bruno, I. Piccioli, A. Laguarda, R. Alonso-Suárez

Julio 2020

Índice

1. Introducción	1
2. Marco conceptual	2
2.1. Curva V-I de módulos PV	2
2.2. Fenómenos que afectan la generación	2
3. Metodología y descripción de los ensayos	3
3.1. Instrumentos de medida	3
3.2. Medidas de curvas V-I	3
3.2.1. Caracterización general y dependencia con la irradiancia.	3
3.2.2. Dependencia con la temperatura	4
3.2.3. Sombreado	4
3.2.4. Suciedad	4
4. Resultados obtenidos	4
4.1. Dependencia de la curva V-I con la irradiancia	4
4.2. Dependencia de la curva V-I con la temperatura	7
4.3. Efectos de sombreado	8
4.4. Efecto de la suciedad	10
5. Conclusiones	11
6. Anexo	12
6.1. Tablas de datos de caracterización de curvas V-I	12
6.2. Sombreados generados	13

1. Introducción

En este trabajo se caracterizan distintos módulos PV en exteriores bajo diferentes condiciones de irradiancia solar y temperatura. Se analiza el comportamiento ante la presencia de puntos calientes (“hot spots”) en paneles que presentan suciedades (“soiling”) y roturas, y también produciendo sombras sobre ellos. Se utilizó un equipo Solmetric PVA-1000S para relevar las curvas características de voltaje y corriente, y una cámara termográfica infrarroja para detectar puntos calientes. El trabajo se llevó adelante en el marco del curso “Taller de Energía Solar Fotovoltaica” del posgrado en Ingeniería de la Energía de la Facultad de Ingeniería, Udelar, a cargo de docentes del Laboratorio de Energía Solar (<http://les.edu.uy/>). Dado este marco, este trabajo debe ser entendido como un primer acercamiento local al tema, de características preliminares. Se destaca que no existen a la fecha en Uruguay líneas de investigación sistemáticas y dedicadas al entendimiento detallado de estos fenómenos que afectan la generación PV. En particular, el efecto de la suciedad tiene un componente local asociado al material particulado, polvo y suciedades que se

encuentran típicamente en la región. En este trabajo se presenta el resultado de algunos ensayos realizados sobre módulos PV disponibles localmente en plaza e incluye módulos PV utilizados en la planta PV de Asahi.

2. Marco conceptual

2.1. Curva V-I de módulos PV

El voltaje y la corriente producidos por un módulo PV están relacionados a través de una curva característica, denominada curva tensión-corriente (curva V-I), cuya forma es afectada por la irradiancia sobre la superficie del panel y la temperatura a la que operan las celdas del módulo. Es normal reportar esta curva para condiciones de test estándar (STC) de 1000 W/m^2 sobre el panel, 20°C de temperatura ambiente y masa de aire $AM = 1.5$. La variación de esta curva como función de la irradiancia y temperatura se muestra en la Figura 1. Dado un punto de operación del panel en cada curva (V_p, I_p), la potencia de salida se determina como el área debajo del rectángulo que definen, como $P = V_p \times I_p$.

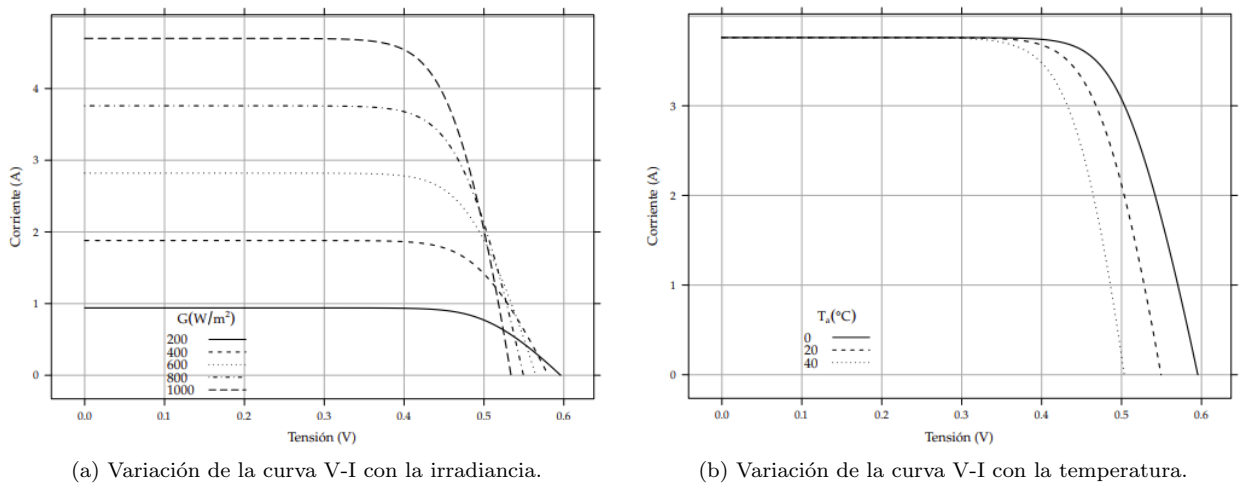


Figura 1: Curva tensión-corriente (V-I) característica de módulos PV y su variación con la irradiancia sobre el panel y la temperatura ambiente. Tomada de [1].

Los sistemas PV se utilizan normalmente con un controlador que en todo momento fija el punto de operación en el punto de máxima potencia (MPPT, Maximum Power Point Tracker). Considerando el punto de máxima potencia (V_{mp}, I_{mp}) se puede definir el *fill factor* según,

$$FF = \frac{V_{mp} I_{mp}}{V_{oc} I_{sc}}. \quad (1)$$

donde V_{oc} es el voltaje de circuito abierto e I_{sc} es la corriente de cortocircuito del módulo. De esta forma, esta cantidad es una medida de cuanto se acerca la curva a la forma rectangular máxima que podría tener (situación ideal). Para celdas de eficiencia intermedia, este parámetro se encuentra entre 0.70 y 0.85. La eficiencia del módulo se calcula como la potencia de salida sobre la potencia de entrada (P_{in}), como,

$$\eta = \frac{V_{mp} I_{mp}}{P_{in}} = \frac{V_{oc} I_{sc} FF}{P_{in}}, \quad (2)$$

siendo P_{in} la potencia correspondiente a la captación de irradiancia por el área total del módulo. La conversión de energía en celdas solares de tipo comercial ronda el 15-20% de eficiencia.

2.2. Fenómenos que afectan la generación

Existen diversos aspectos que afectan la salida de generación y la eficiencia de un módulo PV. En este trabajo se estudian en forma preliminar los siguientes fenómenos:

- **Sombreado o shading:** El efecto de una sombra parcial sobre un panel depende de la zona sombreada y el conexionado en serie y paralelo de las celdas que componen el módulo. En general, resulta en un cambio de comportamiento de la curva característica V-I, así como en una disminución en la eficiencia y el fill factor. Debido a que los módulos suelen conectarse en “strings” en serie, un sólo panel sombreado puede producir una caída apreciable en la potencia generada por un sistema fotovoltaico. El sombreado genera además puntos calientes, lo que aumenta la temperatura del panel y por tanto disminuye su eficiencia.
- **Suciedad o soiling:** La presencia de suciedad (por ejemplo, acumulación de polvo) puede pensarse como un pequeño sombreado parcial de una zona del panel. Las pérdidas por suciedad dependen del tipo de partícula que la constituya, y por tanto depende de factores locales, como el terreno donde está ubicada la planta y sus alrededores. Este efecto se puede mitigar a través de la frecuencia de limpieza de los paneles, y usualmente las pérdidas asociadas se estima en un 1-3% para sitios sin alta presencia de aerosoles a nivel de suelo (por ejemplo, sitios desérticos). Las características de la suciedad típica (polvos típicos) en la región y su efecto sobre la generación PV aún no ha sido objeto de estudio local.
- **Puntos calientes o hot spots:** Son zonas concretas del panel que presentan muy alta resistencia, por lo cual su temperatura aumenta, pudiendo alcanzar hasta los 200°C. Suelen producirse por defectos en el panel causados por golpes o defectos internos del panel, así como por el efecto de sombreado. En caso de golpes o defectos internos, el daño suele ser irreparable y se reemplazan los paneles afectados. Su detección se realiza por medio de cámaras termográficas.

3. Metodología y descripción de los ensayos

En este reporte se realizan una serie de caracterizaciones de curvas V-I en diversas condiciones (irradiancia, temperatura, defectos de paneles, suciedad y sombreado) en 5 paneles distintos. Las caracterizaciones se hicieron al exterior en el predio del Laboratorio de Energía Solar en Salto (Lat: -31.27°, Lon: -57.88°) durante dos días, en condiciones variadas de nubosidad; las primeras mediciones se hicieron bajo cielo cubierto mientras que el segundo día se logró medir bajo condiciones de cielo claro, alcanzando valores de irradiancia sobre el plano del panel mayores a $G_i = 1000 \text{ W/m}^2$.

3.1. Instrumentos de medida

El principal instrumento de medición utilizado es el kit analizador Solmetric PVA-1000S portátil (ver Figura 2), que realiza un barrido de corrientes y mide voltaje simultáneamente, generando así las curvas V-I y calculando los parámetros mencionados en la sección anterior. Este instrumento cuenta además con un sensor de irradiancia de forma de medir simultáneamente irradiancia global en el plano del panel. El Solmetric envía de forma inalámbrica los datos a una PC y se guardan en archivos Excel para su posterior análisis. Además es capaz de comparar los desempeños registrados en la medida con los informados por los fabricantes, previo ingreso de los datos en el software que viene incorporado. Para medir temperatura de paneles se utilizó una termocupla y un multímetro. Para medir irradiancia con un instrumento de mayor precisión que el que trae el equipo Solmetric, se empleó además un radiómetro fotovoltaico Licor 200. Se utilizó una cámara termográfica IR Flir E8 para determinar los puntos calientes.

3.2. Medidas de curvas V-I

A continuación se detallan los estudios realizados sobre los paneles.

3.2.1. Caracterización general y dependencia con la irradiancia.

Se caracterizaron cuatro modelos de paneles solares: Kyocera KD140SX-UFBS, Ecosolar SA100-72P, Panasonic VBHN215AJ51 sano y otro del mismo tipo pero con defectos producidos por el impacto de un proyectil. Los paneles Panasonic 215 son los utilizados en la planta PV de Asahi y fueron provistos para este estudio por la empresa eléctrica estatal (UTE). En la Figura 3 se presentan fotos de estos paneles. Los ensayos se realizaron para diferentes condiciones de irradiancia, desde cielo cubierto ($G_i \approx 350 \text{ W/m}^2$) a cielo despejado ($G_i \approx 1100 \text{ W/m}^2$)



Figura 2: Equipo Solmetric PVA-1000S.

3.2.2. Dependencia con la temperatura

Se analizó la dependencia de los parámetros relevantes con la temperatura para un módulo Solartec KS12T, previamente guardado en un freezer para disminuir su temperatura significativamente por debajo de los 20°C (condiciones STC) y de la temperatura ambiente, como se ve en la Figura (4). Se midieron las curvas características en función de la temperatura creciente del panel y se generaron gráficas de V_{oc} , I_{sc} , FF y eficiencia en función de la temperatura.

3.2.3. Sombreado

Se analizó el funcionamiento del módulo Panasonic 215 sin defectos al sombrear diferentes sectores del mismo. Se determinó el desempeño del panel y se relevaron las curvas características en cada caso. Además, se tomaron fotos termográficas para observar los puntos calientes producidos por la ocurrencia de sombras. Los tipos de sombreado realizados fueron los que se listan a continuación y se ilustran en el Apendice 6.2:

- **Sombreado A:** Sombra en diagonal afectando tres o cuatro celdas, con una irradiancia $G_i = 871 \text{ W/m}^2$.
- **Sombreado B:** Varilla colocada verticalmente, generando sombra en diagonal. Irradiancia $G_i = 887 \text{ W/m}^2$.
- **Sombreado C:** Celda completa sombreada en la mitad del panel, con irradiancia $G_i = 925 \text{ W/m}^2$.
- **Sombreado D:** Fila horizontal inferior completamente sombreada, con irradiancia $G_i = 952 \text{ W/m}^2$.

3.2.4. Suciedad

Se caracterizó el panel Panasonic 250 luego de esparcir tierra sobre el mismo, dejando una capa apreciable de suciedad como puede verse en la Figura 5; previamente se hizo una caracterización del panel en condiciones muy similares de irradiancia pero sin suciedad para poder comparar el desempeño.

4. Resultados obtenidos

4.1. Dependencia de la curva V-I con la irradiancia

Las curvas V-I para los cuatro paneles en las distintas condiciones de irradiancia se muestran en la Figura 6.

Para los módulos que no están dañados se obtiene las curvas V-I esperadas. Es interesante observar el comportamiento de la curva V-I del modulo dañado (Figura 6-d) en relación al mismo módulo pero en perfectas condiciones (Figura 6-c). Las curvas V-I inician (i.e. para voltaje menor a 10V) en valores similares para similares niveles de irradiancia (ver por ejemplo las curvas a $\approx 700 \text{ W/m}^2$), pero luego se observan disminuciones en la curva V-I que tienen un comportamiento partido a tramos según sea el valor de voltaje.



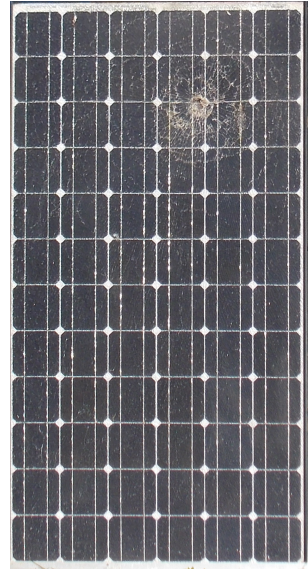
(a) Panel Kyocera 140.



(b) Panel Ecosolar 100.



(c) Panel Panasonic 215.



(d) Panel Panasonic 215 roto.

Figura 3: Paneles utilizados para el estudio de curvas V-I.

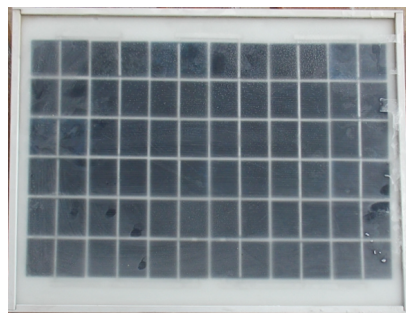


Figura 4: Panel Solartec a baja temperatura, pronto para ser caracterizado.

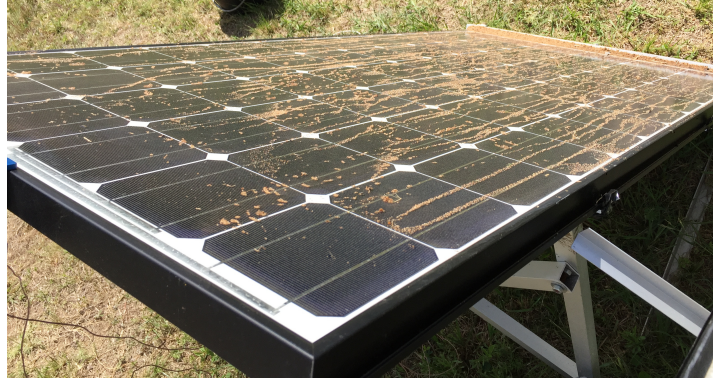


Figura 5: Módulo Panasonic 215 con suciedad inducida.

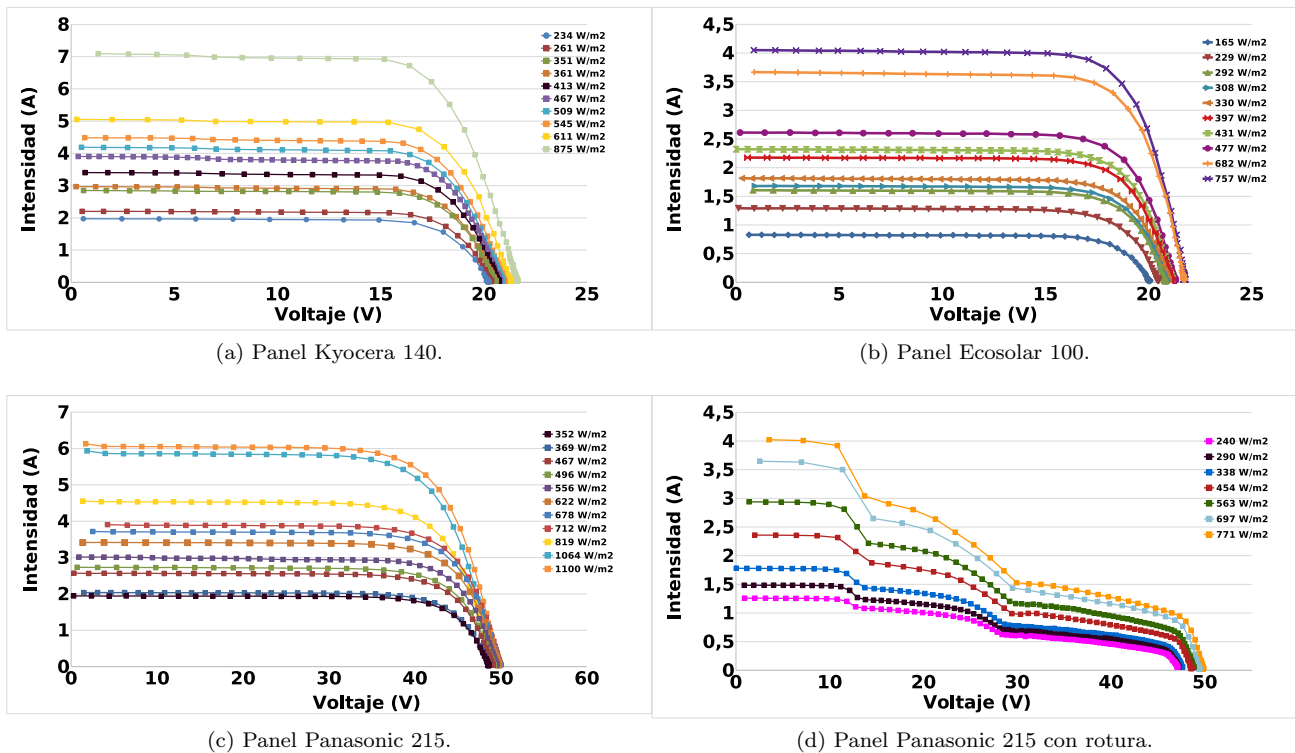


Figura 6: Curvas V-I para los distintos paneles caracterizados, bajo diversas condiciones de irradiancia.

A partir de análisis de estas curvas se obtuvo la dependencia de los parámetros V_{oc} , I_{sc} , FF y η como función de la irradiancia, para los 4 módulos analizados. Estos resultados se muestran en la Figura 7. Se observa la dependencia lineal de I_{sc} con la irradiancia así como poca variación de V_{oc} , como es de esperar. La eficiencia también aumenta en forma lineal con la irradiancia, mientras que el fill factor disminuye levemente. Es importante observar la diferencia entre el desempeño del panel dañado en comparación con el sano: la eficiencia y fill factor del panel dañado es bastante menor, pero ambos paneles muestran curvas similares para I_{sc} y V_{oc} . El Cuadro 1 presenta a modo de ejemplo un comparativo de eficiencias y Fill Factor para los cuatro paneles, considerando valores de irradiancia similares.

La Figura 8 muestra el panel roto y las correspondientes tomas infrarrojas para visualizar el hot spot producido en la región del impacto.

	Irradiancia (W/m^2)	Fill Factor	Eficiencia
Kyocera 140W	467,6	0,75	7,3 %
Ecosolar 100W	476,8	0,77	7,0 %
Panasonic 215W sin defectos	466,9	0,76	9,7 %
Panasonic 215W con defectos	453,8	0,33	3,8 %

Cuadro 1: Tabla comparativa de eficiencias y Fill Factor

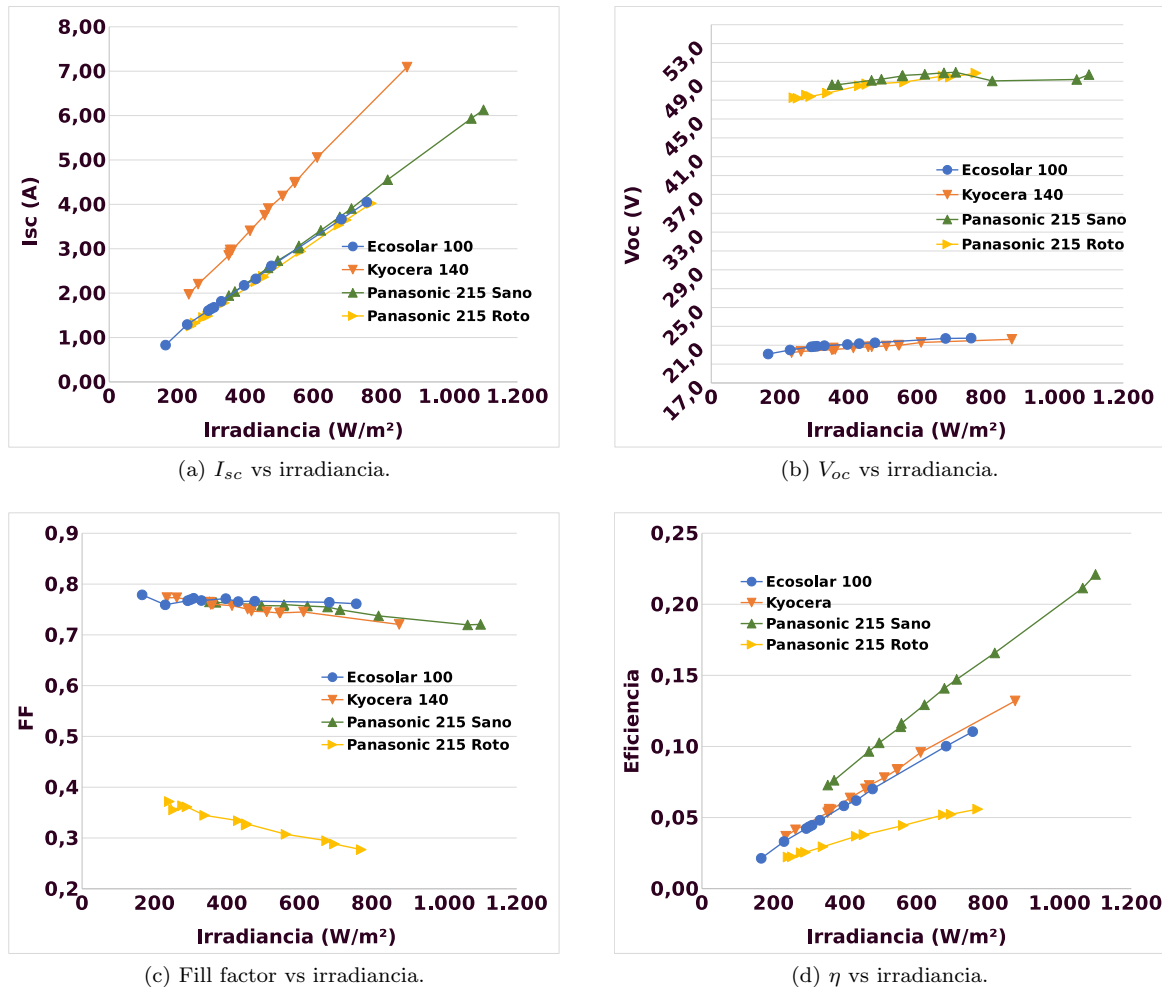
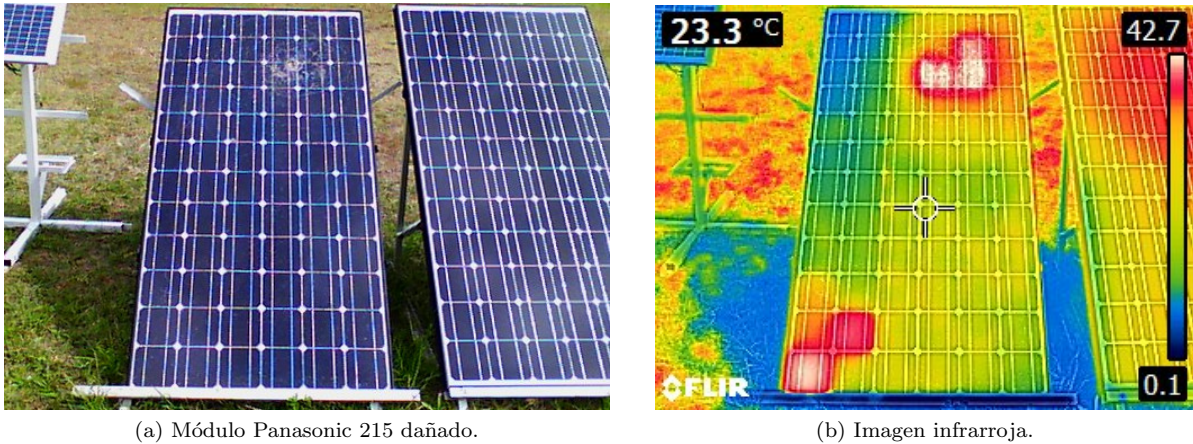


Figura 7: Dependencia de los parámetros relevantes con la irradiancia.

4.2. Dependencia de la curva V-I con la temperatura

En este análisis se consideró el módulo Solartec KS12T. Se obtuvieron curvas características en función de la temperatura creciente del panel y se generaron las gráficas de V_{oc} , I_{sc} , FF y eficiencia en función de la temperatura, las cuales se muestran en la Figura 9. Se puede observar que I_{sc} no se ve afectado significativamente por la variación de temperatura, mientras que V_{oc} disminuye de forma aproximadamente lineal. Tanto la eficiencia como el fill factor muestran una leve disminución con la temperatura, como era de esperar, pero se trata de una variación pequeña que presentó bastante dispersión en la prueba.

En la Figura 10 se muestra un detalle del ajuste lineal de V_{oc} y V_{mp} en función de la temperatura, y en el Cuadro 2 se detallan los coeficientes térmicos de los distintos parámetros relevantes. Esto es, la pendiente de variación por cada grado de variación de temperatura.



(a) Módulo Panasonic 215 dañado.

(b) Imagen infrarroja.

Figura 8: Imágenes normal e infrarroja del panel Panasonic 250 dañado, donde se aprecia el golpe en su esquina superior derecha y el punto caliente que se produce en consecuencia.

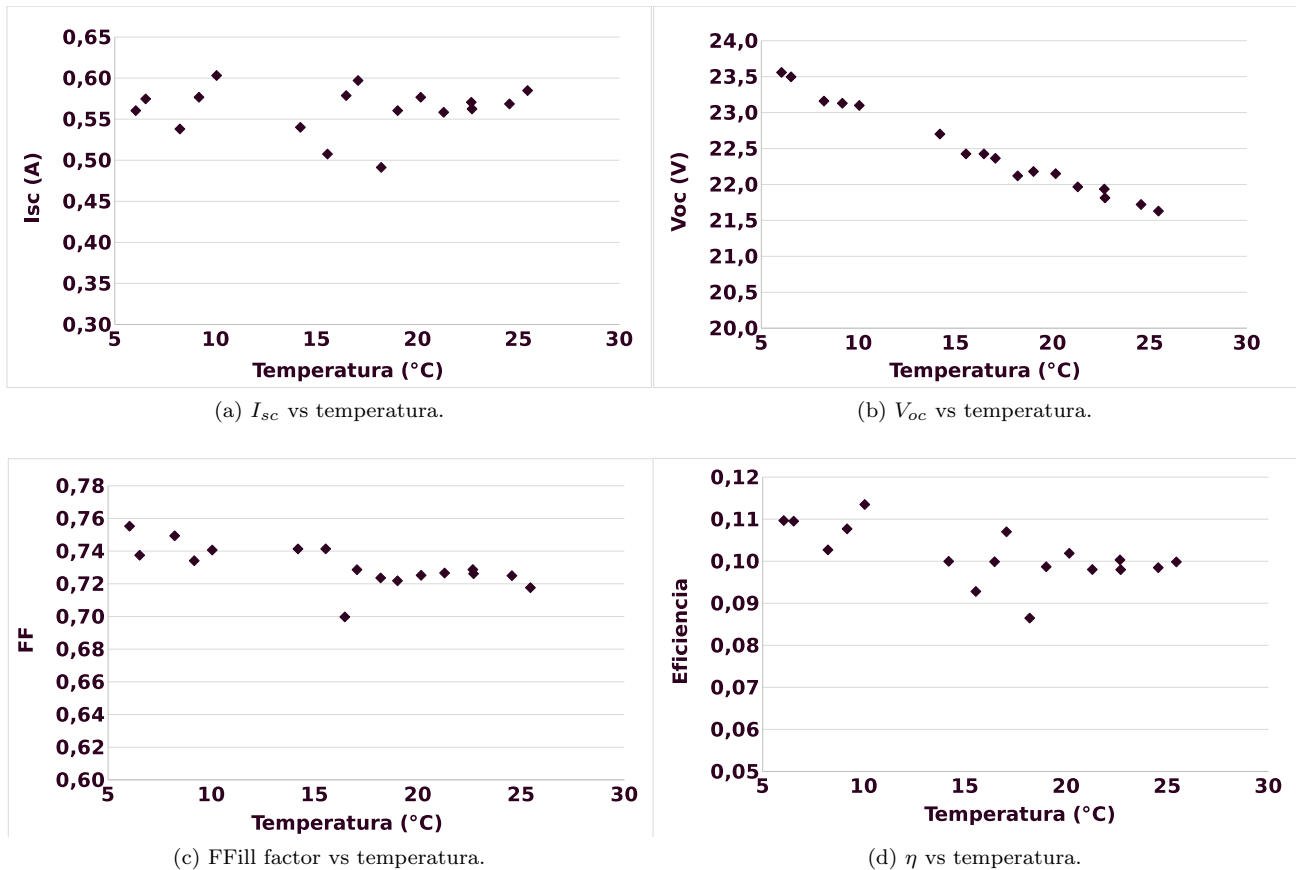


Figura 9: Dependencia de los parámetros relevantes con la temperatura.

4.3. Efectos de sombreado

En la Figura 11b se muestra a modo de ejemplo el efecto del Sombreado B sobre la ocurrencia de puntos calientes en el panel Panasonic 250 sano. El sombreado de diferentes zonas del panel resulta en diferentes comportamientos de su curva V-I. En la Figura 12 se muestran las curvas V-I para los 4 sombreados descritos en la Subsección 3.2.3.

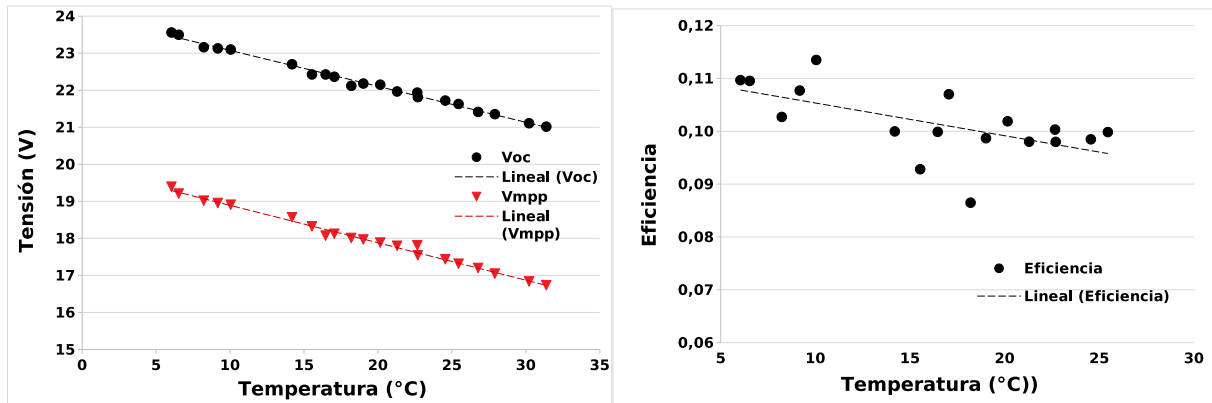
(a) Linealización de V_{oc} y V_{mp} vs temperatura.(b) Linealización de η vs temperatura.

Figura 10: Linealización del voltaje de corte y la eficiencia en función de la temperatura.

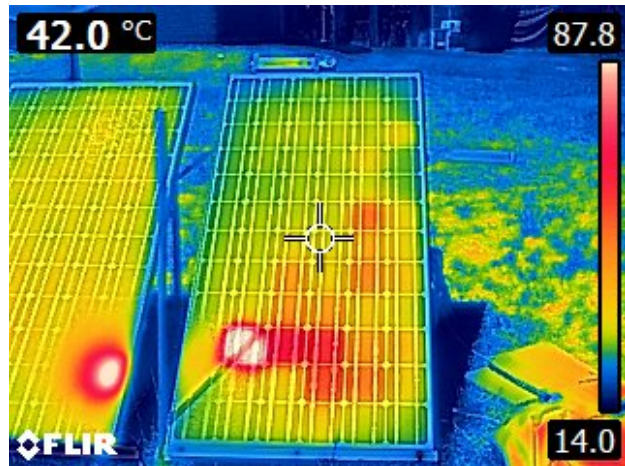
Coeficientes	SOLARTEC KS12T	
	Resultado Obtenido	Resultado en %
Térmico Voc	-2.0805 mV/°C	-0.097%/°C
Térmico Isc	+0.0007 mA/°C	9×10^{-5} %/°C
Térmico Pmpp	-6.756 mW/°C	-0.056%/°C
Térmico Eficiencia	-0.84×10^{-6} 1/°C	-0.0006%/°C

Cuadro 2: Coeficientes térmicos de los parámetros relevantes.

Se observa que en el caso del sombreado de una fila completa (Sombreado D) la curva V-I se ve críticamente afectada, dejando la generación del panel en un valor extremadamente bajo.



(a) Sombra en una esquina del panel Panasonic 250.



(b) Respectiva foto termográfica infrarroja mostrando los hot spots en la zona sombreada.

Figura 11: Sombreado de paneles.

En el Cuadro 3 se muestra el punto de máxima potencia, los cuatro parámetros relevantes y la irradiancia al momento de realizarse la caracterización. La Figura 12 y el Cuadro 3 incluyen también las curvas V-I y parámetros en las mismas condiciones de irradiancia pero sin sombreado.

De los gráficos y el cuadro se observa que (para este panel) el sombreado de una fila completa (sombreado D) resulta en niveles de generación muy pequeños. Para los restantes sombreados la generación disminuye, pero

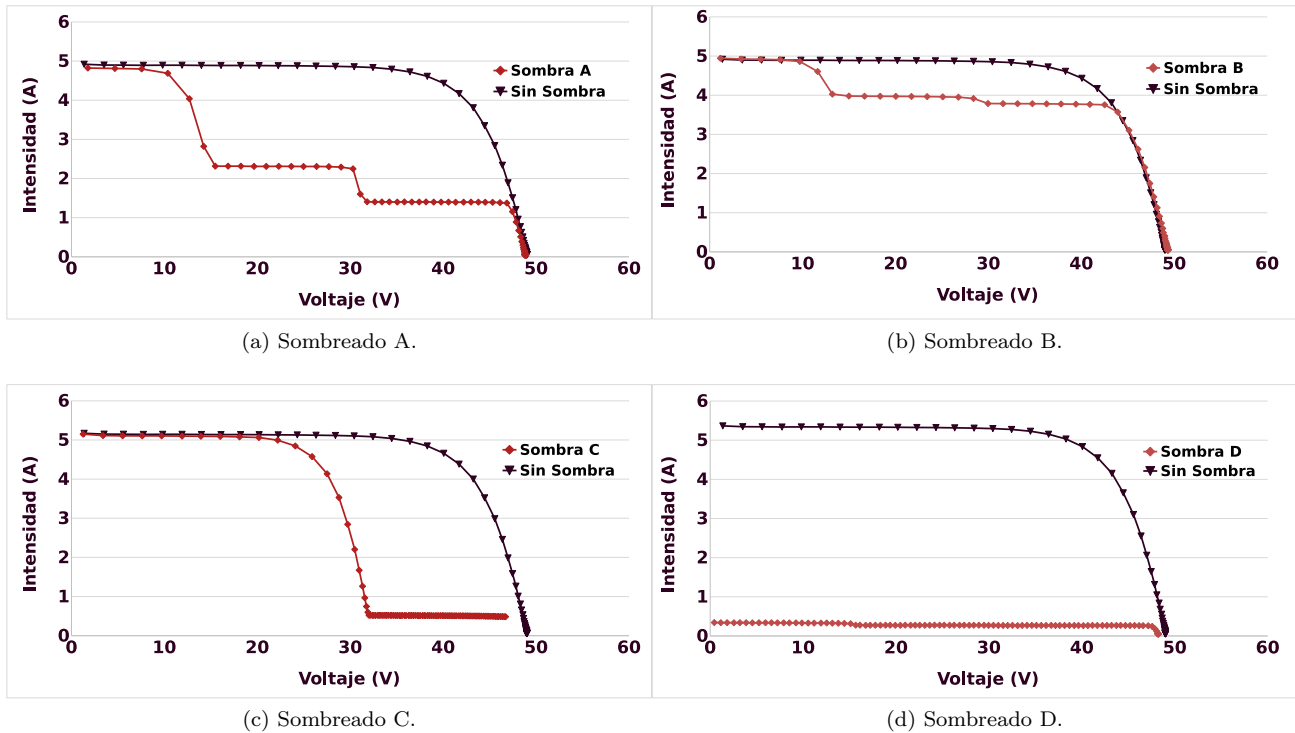


Figura 12: Curvas características para paneles con distinto tipo de sombreado.

	G_i (W/m^2)	P_{\max} (W)	V_{mp} (V)	I_{mp} (A)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	FF	η
Sin sombra	818,5	164,7	39,6	4,2	49,0	4,6	0,7	16,6 %
Sombra A	871,1	69,1	32,5	2,1	48,9	4,8	0,3	7,0 %
Sombra B	887,5	159,9	42,9	3,7	49,3	4,9	0,7	16,1 %
Sombra C	925,0	118,6	25,5	4,6	48,8	5,1	0,5	11,9 %
Sombra D	952,6	12,2	46,0	0,3	48,3	0,3	0,7	1,2 %

Cuadro 3: Valores para cuatro tipos de sombreado diferentes bajo condiciones de irradiancia similares.

no en forma total y en distintas medidas dependiendo del sombreado. El sombreado A es el segundo que más compromete la generación. El sombreado tipo B (que se muestra en la Figura 11) es el que menos compromete la generación del panel.

4.4. Efecto de la suciedad

Para analizar el efecto de la suciedad (soiling) se procedió a ensuciar en su totalidad el módulo Panasonic 250 sano, de forma tal de generar una fina pero apreciable capa de polvo sobre el mismo (ver Figura 5). Previamente se realizó una caracterización del panel limpio en condiciones de irradiancia $G_i = 1064 \text{ W}/\text{m}^2$ e, inmediatamente después y en idénticas condiciones (cielo totalmente claro), se caracterizó el panel sucio. Las curvas V-I obtenidas se muestran en la Figura 13. En este caso el efecto de suciedad no cambia en forma muy importante la curva V-I, produciéndose una pequeña disminución en el valor de I_{sc} y no en el valor V_{oc} . Por consiguiente, esto disminuye la eficiencia del panel y el FF. Debe notarse que este análisis presenta los resultados sólo para una cobertura de suciedad generada en forma sintética. Esta suciedad no tiene por qué ser representativa o típica de las suciedades que se observan en la realidad, para lo cual se requerirían un muestreos/relevamientos de casos reales a nivel de planta.

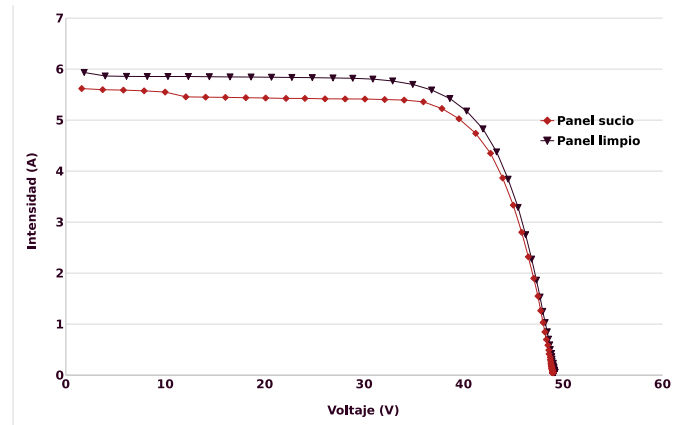


Figura 13: Curva V-I correspondiente al módulo Panasonic 215 con suciedad inducida y limpio.

5. Conclusiones

Este reporte presenta resultados de un ensayo preliminar sobre distintos paneles solares PV. Se analizó sobre algunos casos el efecto de la suciedad, sombreado y rotura de paneles. Se destacan las siguientes observaciones:

- Se relevó la curva V-I de distintos paneles disponibles en plaza y de un panel dañado. Se determinaron la variación de diferentes parámetros de interés con la irradiancia, cuantificando el efecto del panel dañado.
- Los relevamientos de curva V-I para diferentes temperaturas de panel arrojaron resultados esperables, disminuyendo la eficiencia del módulo fotovoltaico a medida que aumenta la temperatura.
- En el caso del sombreado de una fila de celdas, se comprobó que la corriente generada por el panel se reducía prácticamente a cero, lo cual es razonable considerando el conexionado en serie de las celdas. Sin embargo, resulta interesante destacarlo ya que el área sombreada era menor al 20% del área total del panel. Para otros tipos de sombreados la reducción de generación y eficiencia no es tan crítica como en este caso.
- El ensayo de rendimiento bajo condiciones de suciedad mostraron que si bien el panel disminuye su eficiencia al tener polvo, dicha reducción resulta no muy elevada ($\lesssim 5\%$).

Estos resultados deben ser vistos como un caso de estudio sobre estos fenómenos, en tanto se analizaron algunas situaciones puntuales y sintéticas del espectro posible, que no necesariamente son representativas de las sombras, roturas y/o suciedades típicas que ocurren en la operación de plantas PV en Uruguay. Por tanto, el análisis aporta un conjunto de primeros resultados locales en esta dirección. El estudio sistemático del efecto de estos fenómenos sobre la generación PV a nivel local está aún pendiente en el país.

Referencias

- [1] O. Perpiñam Lamiguero. Energía Solar Fotovoltaica. Versión 1.5, Marzo de 2013.

6. Anexo

6.1. Tablas de datos de caracterización de curvas V-I

ECOSOLAR 100											
Irradiancia (W/m^2)	165,7	229,5	291,6	299,4	307,9	329,5	396,6	431,1	476,8	682,6	757,0
P_{max} (W)	12,95	20,11	25,67	26,43	27,09	29,20	35,37	37,63	42,57	60,85	67,07
V_{mp} (V)	16,72	16,91	17,22	17,21	17,33	17,33	17,44	17,44	17,53	17,75	17,68
I_{mp} (A)	0,77	1,19	1,49	1,54	1,56	1,68	2,03	2,16	2,43	3,43	3,79
V_{oc} (V)	20,07	20,50	20,83	20,86	20,89	20,96	21,08	21,17	21,26	21,72	21,75
I_{sc} (A)	0,83	1,29	1,61	1,65	1,68	1,82	2,18	2,32	2,61	3,67	4,05
Fill Factor	0,78	0,76	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76
Eficiencia	2,13 %	3,31 %	4,23 %	4,35 %	4,46 %	4,81 %	5,82 %	6,20 %	7,01 %	10,02 %	11,04 %
Ln (Radiación)	5,11	5,44	5,68	5,70	5,73	5,80	5,98	6,07	6,17	6,53	6,53

KYOCERA 140														
Irradiancia (W/m^2)	234	261	351	355	355	361	414	457	468	510	545	547	611	875
P_{max} (W)	30,84	34,63	44,70	45,68	46,78	46,40	53,40	58,73	60,73	65,34	70,05	70,19	80,17	110,51
V_{mp} (V)	16,38	16,70	16,66	16,69	16,73	16,63	16,70	16,65	16,73	16,67	16,65	16,64	16,65	16,71
I_{mp} (A)	1,88	2,07	2,68	2,74	2,80	2,79	3,20	3,53	3,63	3,92	4,21	4,22	4,82	6,61
V_{oc} (V)	20,22	20,34	20,53	20,56	20,71	20,56	20,71	20,83	20,83	20,93	21,02	20,99	21,29	21,63
I_{sc} (A)	1,97	2,20	2,85	2,91	2,97	2,97	3,40	3,76	3,90	4,19	4,49	4,50	5,05	7,09
Fill Factor	0,77	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75	0,75	0,75	0,74	0,74	0,75	0,72
Eficiencia	3,68 %	4,14 %	5,34 %	5,46 %	5,59 %	5,54 %	6,38 %	7,02 %	7,26 %	7,81 %	8,37 %	8,39 %	9,58 %	13,20 %
Ln (Radiación)	5,46	5,57	5,86	5,87	5,87	5,89	6,03	6,12	6,15	6,23	6,30	6,30	6,42	6,77

PANASONIC 215 SANO													
Irradiancia (W/m^2)	352	369	467	496	556	558	622	678	712	819	1064	1100	
P_{max} (W)	72,39	75,71	95,90	101,92	113,13	115,51	128,52	140,01	146,25	164,73	210,08	219,59	
V_{mp} (V)	40,25	40,16	40,47	40,43	40,76	40,88	40,73	40,79	40,77	39,59	39,17	39,64	
I_{mp} (A)	1,80	1,89	2,37	2,52	2,78	2,83	3,15	3,43	3,59	4,16	5,36	5,54	
V_{oc} (V)	48,64	48,64	49,10	49,22	49,56	49,62	49,74	49,90	49,96	49,04	49,19	49,71	
I_{sc} (A)	1,95	2,04	2,57	2,73	3,02	3,06	3,41	3,72	3,91	4,56	5,93	6,13	
Fill Factor	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75	0,75	0,74	0,72	0,72	
Eficiencia	7,29 %	7,62 %	9,65 %	10,26 %	11,39 %	11,62 %	12,93 %	14,09 %	14,72 %	16,58 %	21,14 %	22,10 %	
Ln (Radiación)	5,86	5,91	6,15	6,21	6,32	6,32	6,43	6,52	6,57	6,71	6,97	7,00	

PANASONIC 215 Dañado													
Irradiancia (W/m^2)	241	253	277	290	339	431	453	454	563	675	697	771	
P_{max} (W)	22,11	22,26	25,08	25,40	29,30	36,61	37,75	37,64	44,18	51,61	51,98	55,57	
V_{mp} (V)	24,21	24,62	24,16	24,12	24,01	23,72	23,50	23,56	23,25	23,08	22,90	23,39	
I_{mp} (A)	0,91	0,90	1,04	1,05	1,22	1,54	1,61	1,60	1,90	2,24	2,27	2,38	
V_{oc} (V)	47,26	47,20	47,54	47,38	47,75	48,52	48,73	48,67	48,92	49,56	49,44	49,86	
I_{sc} (A)	1,26	1,33	1,45	1,48	1,78	2,26	2,38	2,36	2,94	3,53	3,65	4,02	
Fill Factor	0,37	0,36	0,36	0,36	0,34	0,33	0,33	0,33	0,31	0,29	0,29	0,28	
Eficiencia	2,22 %	2,24 %	2,52 %	2,56 %	2,95 %	3,68 %	3,80 %	3,79 %	4,45 %	5,19 %	5,23 %	5,59 %	
Ln (Radiación)	5,48	5,53	5,63	5,67	5,82	6,07	6,12	6,12	6,33	6,51	6,55	6,65	

6.2. Sombreados generados



(a) Sombreado A.



(b) Sombreado B.



(c) Sombreado C.



(d) Sombreado D.

Figura 14: Sombreados generados en forma artificial.