

Influencia del espectro solar en la corriente de cortocircuito de módulos fotovoltaicos.

Moreno-Sáez R., Piliouguine M., Sidrach-de-Cardona M.

Dpto. de Física Aplicada II. Universidad de Málaga. ETS Ingeniería Informática
Campus Teatinos, Málaga, Málaga 29071, Andalucía, España, tlf. +34952132772.
rmorenosaez@ctima.uma.es

RESUMEN

La corriente generada por un módulo fotovoltaico está directamente relacionada con la irradiancia de la luz solar. La manera en que las distintas tecnologías son capaces de captar esta irradiancia no es la misma, depende de la respuesta espectral del módulo. El grupo de Sistemas Fotovoltaicos de la Universidad de Málaga ha medido durante un año módulos fotovoltaicos de diferentes tecnologías con objeto de estudiar el efecto que tiene el espectro de la radiación incidente en la corriente de cortocircuito. Los resultados obtenidos muestran que este efecto es muy pequeño, si bien es distinto para cada una de las tecnologías estudiadas. Se puede apreciar que la variación del espectro de la radiación incidente introduce una influencia estacional en el resultado de la medida.

PALABRAS CLAVE: Desajuste Espectral, Corriente de Cortocircuito, Corrección.

ABSTRACT

Current generated by a photovoltaic module is directly related with the sunlight irradiance. But the way in which different technologies are able to get this irradiance is not similar, depends on the spectral response of the module. The group of Photovoltaic Systems of the University of Málaga has measured, for one year, photovoltaics modules of different technologies to study the effect of the incident irradiance spectrum in the incident short circuit current. Results obtained show that this effect is quite small, though is different in every technology used. As can be noticed, changes of the incident irradiance spectrum brings in a seasonal influence on the measurements values.

KEYWORDS: Spectral Mismatch, Short-circuit Current, Correction.

INTRODUCCIÓN

La representación típica que se utiliza para caracterizar un módulo fotovoltaico es la curva corriente-tensión que viene facilitada por el fabricante en sus especificaciones técnicas y está referida a las condiciones estándares de medida. Pero cuando el módulo está trabajando en condiciones reales existen una serie de factores que provocan que esta curva se modifique respecto a sus valores nominales. Éstos son principalmente la irradiancia, la temperatura y la distribución espectral de la radiación. Cuando se miden módulos fotovoltaicos es necesario extrapolar la curva a condiciones estándar de forma que se tenga una referencia única para la comparación de las características eléctricas de los mismos.

Una forma de extrapolar la curva I-V a las condiciones deseadas es utilizar las expresiones propuestas por la norma IEC-60891 (1987) que describe el proceso para corregir por irradiancia y temperatura la curva característica I-V de un dispositivo FV. Pero esta norma no tiene en cuenta el mencionado efecto del contenido espectral de la luz ni tampoco la respuesta espectral de la célula, que dependerá de la tecnología, lo que provoca un desacople espectral entre la irradiancia medida y la irradiancia absorbida por el dispositivo FV. Este efecto hace que puedan aparecer discrepancias en las características eléctricas de los módulos dependiendo del lugar de la medida y la época del año.

Fabero y Chenlo (1991) determinaron la influencia de la evolución espectral en la corriente de cortocircuito de dispositivos de silicio. En este estudio hacen uso de un parámetro de corrección espectral que habrá de tenerse en cuenta a la hora de corregir a condiciones estándar la corriente de cortocircuito medida.

El efecto del espectro no es el mismo para todos los tipos de módulos, depende de la tecnología de sus células, como concluyen estudios realizados para determinar cómo afecta el espectro a tecnologías de silicio amorfo (Merten, 1998) o capa delgada (Rüther, 1996).

El objetivo de este trabajo es cuantificar la influencia del espectro solar en la corriente de cortocircuito de módulos fotovoltaicos con distintas tecnologías de célula en condiciones de sol real. Con este propósito se han instalado tres módulos de diferentes tecnologías. Las corrientes de cortocircuito obtenidas se han trasladado a condiciones estándar de operación según la norma IEC-60891, corrigiendo por radiación y temperatura. Posteriormente, se ha incluido en la corrección un factor de desajuste espectral -M- que viene definido por la norma IEC-60904/7 (1995). Finalmente se compararán ambas corrientes corregidas para ver el efecto que causa introducir el desajuste espectral en la corrección.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Para realizar la corrección a condiciones estándar se hace necesario disponer de los parámetros eléctricos generados por el módulo juntamente con las condiciones ambientales en que éstos se han producido.

En la realización de este estudio se han utilizado varios módulos (a-Si, m-Si, CdTe) que se encuentran en la misma estructura, con la misma inclinación y azimut (lat. 36°7' N, long. 4°5' W), altura sobre el nivel del mar de 50 m, de forma que reciben radiación solar en las mismas condiciones. Paralelamente se cuenta con los datos suministrados por una estación meteorológica que incluye la medida de la irradiancia en el plano de los módulos mediante piranómetro, un espectroradiómetro, además de detectores de temperatura resistivos PT-100 acoplados a los módulos para la medida de su temperatura. Todos los parámetros necesarios para caracterizar el módulo se han registrado mediante un sistema experimental de monitorización -medidor IV- desarrollado por Piliouguine (2011) capaz de medir los

parámetros I_{SC} , V_{OC} , T_{CEL} , G y curvas IV con hasta 100 puntos, además de las variables meteorológicas. Medidor IV registra datos continuamente cada cinco minutos durante todo el día, para cada una de las tecnologías utilizadas. Para minimizar efectos indeseados producidos por la acumulación de polvo en las superficies de los módulos y otros aparatos, se han limpiado periódicamente con agua.

Los espectros se han medido con un espectroradiómetro EKO MS-710 que tiene un método de detección basado en la tecnología de Si lo que le permite medir en el rango espectral de 350-1050 nm. Siguiendo las directrices de la norma IEC-60904/7, se ha montado la entrada del EKO en la misma estructura en la que se colocarán los dispositivos de medida, de manera coplanar, no superando una diferencia de inclinación de 2°. Los espectros se han medido a lo largo del día a razón de un espectro cada minuto.

Se han utilizado solamente los datos registrados en días claros. De estos días se han seleccionado los que se registran alrededor del mediodía solar, de manera que se minimice el efecto del ángulo de incidencia de los rayos solares en las medidas y asegurando que la irradiancia incidente es superior al umbral marcado por la norma IEC-60904/1, 800 W/m².

Para cuantificar el efecto del espectro de radiación incidente en el módulo se ha calculado el factor de desacople espectral -M- de acuerdo a la norma IEC-60904/7, que para el caso de medidas de irradiancia realizadas con piranómetro, se calcula según la expresión:

$$M = \frac{\int E_{ref}(\lambda) \cdot d\lambda \cdot \int E_{meas}(\lambda) \cdot S_{meas}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int E_{meas}(\lambda) \cdot d\lambda \cdot \int E_{ref}(\lambda) \cdot S_{meas}(\lambda) \cdot d\lambda} \quad (1)$$

donde:

E_{ref} es la irradiancia espectral de referencia por unidad de longitud de onda, definida por el espectro estándar AM1.5.

E_{meas} es la irradiancia espectral por longitud de onda medida

S_{meas} es la respuesta espectral del dispositivo fotovoltaico

Las integrales de la ec. 1 se calculan tomando como límites los rangos de longitudes de onda de la respuesta espectral de cada una de las tecnologías de módulos. En algún caso el rango espectral ha sido menor debido a la sensibilidad del espectroradiómetro.

Las longitudes de onda inicial y final que se han utilizado para cada tecnología de módulo se presentan en la tabla 1:

Tabla 1. Rango espectral de los módulos.

	$\lambda_{INICIAL}$ [nm]	λ_{FINAL} [nm]
CdTe	350	875
a-Si	400	900
m-Si	350	1050

La corrección de los valores experimentales registrados de la corriente de cortocircuito a condiciones estándar de cada módulo se realiza de acuerdo con las expresiones dadas por la norma IEC-60891:

$$I_{sc-STC} = I_{SC} \cdot \left(\frac{G_{STC}}{G} \right) + \alpha \cdot (T_{STC} - T) \quad (2)$$

Si ahora incluimos en la corrección el factor de desajuste espectral, tal y como proponen autores como Fabero o Poissant (2003), la expresión utilizada será la siguiente:

$$I_{sc-M}^M = \left[I_{sc} \cdot \left(\frac{G_{STC}}{G} \right) + \alpha \cdot (T_{STC} - T) \right] \cdot \frac{1}{M} \quad (3)$$

En la tabla II se presentan los valores utilizados para cada módulo así como la intensidad de cortocircuito facilitada por el fabricante.

Tabla 2. Módulos y especificaciones de corriente.

Tecnología	Marca	Modelo	α [%/°K], coef. temp. Isc	Isc [A]
CdTe	First Solar	1090	0'04	1.19
a-Si	Kaneka	GEA 60x5	0'07	1.19
m-Si	Isofotón	I-94	0'04	6.54

RESULTADOS OBTENIDOS

El cálculo de M para los días claros durante un año, ha dado resultados con la misma tendencia en todas las tecnologías. A modo ilustrativo se muestran los resultados obtenidos para el módulo de CdTe, donde se presentan todos los datos medidos.

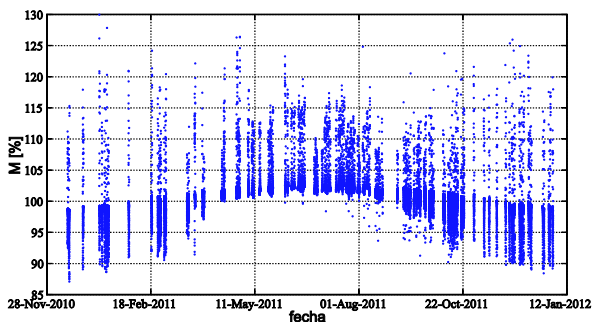


Fig 1. Desajuste espectral en Málaga, CdTe

En esta figura se aprecia que el módulo está teniendo un desacople espectral en los meses de invierno y verano. En verano M es mayor de 1.0 y menor que 1.0 en invierno, llegando a variaciones máximas del 3%, mientras en primavera y otoño el desajuste es muy pequeño o nulo, lo que significa que en esta época del año el rayo solar está recorriendo una distancia equivalente a la del espectro AM 1.5. También es de notar un desajuste a lo largo del día, debido a que el espectro varía en función de la composición de la atmósfera y en función de la hora, como pone de manifiesto Zamini (2009). Esto sucede con los otros módulos estudiados. La variabilidad del factor M a lo largo de cada día está fuertemente influenciado por el ángulo de incidencia de los rayos solares.

En las fig. 2 se muestra la corrección de las corrientes que han quedado tras seleccionar los datos de acuerdo al criterio descrito anteriormente. En las figs. 3 y 4 se ven las corrientes corregidas sin incluir el efecto del espectro e incluyéndolo, para todas las tecnologías.

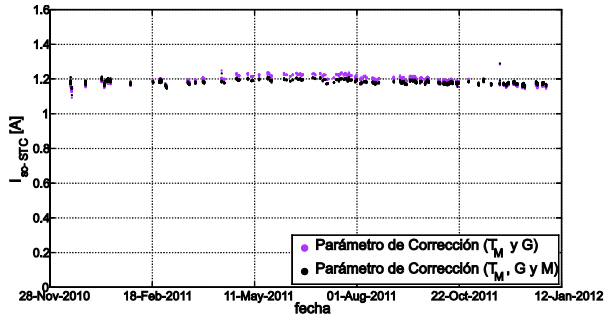


Fig 2. I_{sc} corregidas a STC con y sin parámetro M, CdTe

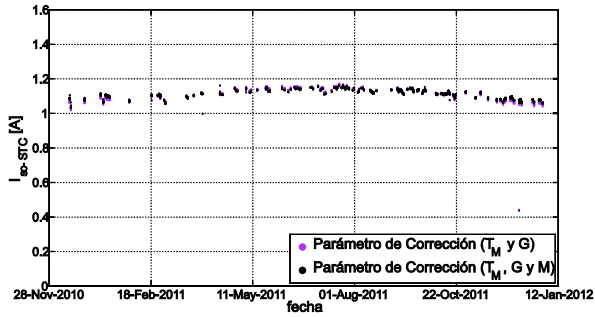


Fig 3. I_{sc} corregidas a STC con y sin parámetro M, a-Si

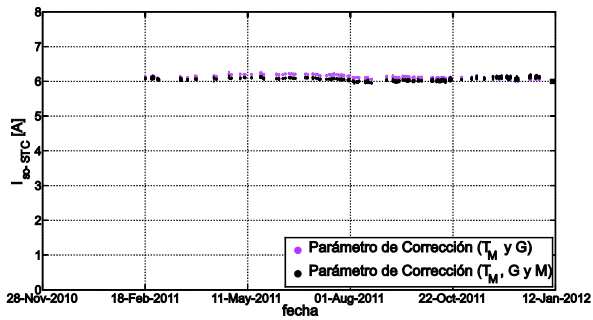


Fig 4. I_{sc} corregidas a STC con y sin parámetro M, m-Si

Analizando estas gráficas se observa un efecto estacional en la corrección de las I_{sc} cuando el factor M no se incluye. Cuando sí se incluye la corriente corregida da valores más constantes a lo largo del año.

Ocurre que en un mismo día debiera de verse un valor similar de las I_{sc} corregidas, pero no es así, situándose en un rango que, en función de la estación se hace mayor o más pequeño. Esto puede deberse a que los módulos están sobre una estructura fija y el ángulo inclinación solar varía más del 5% que dicta la norma. La imposibilidad de medir la temperatura de la

célula y tener que trabajar con la temperatura del módulo también explica que corregir las corrientes por temperatura no proporcionen el mismo resultado en todo momento.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha evaluado la influencia que tiene en la determinación de la corriente de cortocircuito de los módulos en condiciones estándar incluir el factor de acoplo espectral. Los resultados obtenidos muestran que en los módulos de las tecnologías estudiadas, esta influencia es muy pequeña, si bien, al incluir el factor de desajuste espectral en la corriente de cortocircuito corregida se obtienen valores más constantes a lo largo del año de este parámetro.

La diferencia de temperatura de los módulos en los meses de verano respecto a su temperatura en condiciones estándar hace que para estos meses, la corriente de cortocircuito tenga un valor algo superior a la determinada en los demás días del año. Se puede concluir que en las condiciones meteorológicas de Málaga, los meses de verano son los peores meses para caracterizar módulos en condiciones de Sol real.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado con cargo al proyecto P07-RNM-02504 de la Consejería de Economía Ciencia e Innovación de la Junta de Andalucía.

REFERENCIAS

- IEC 60891:1987, Edition 2.0 2009-12. Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics.
- IEC 60904-7:1995, Edition 3.0 2008-11. Computation of the spectral mismatch correction for measurements of photovoltaic devices.
- Fabero F. and Chenlo F. (1991) *Variance* in the solar spectrum with the position of the receiver surface during the day for PV applications, *Proceedings of the 22nd IEEE Photovoltaic Specialist Conference*, pp 812-817. New York.
- Merten J. and Andreu J. (1998) Clear separation of seasonal effects on the performance of amorphous silicon solar modules by outdoor I/V measurements. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 52, pp 11–25.
- Rüther R. and Livingstone J.(1996) Seasonal variations in amorphous silicon solar module outputs and thin film characteristics. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 36, pp 29-43.
- Piliouguine M., Carretero J.E., Mora L. and Sidrach de Cardona M. (2011) Experimental System for Current-Voltage Curve Measurement of Photovoltaic Modules under Outdoor Conditions. *Progress in Photovoltaic*. pp. 1-12.
- Zamini S., Rennhofer M., Berger K., Krametz T. and Leidl R. (2009) Characterization and comparison of PV-modules regarding indoor and outdoor concepts. *24th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, 21-25 September, Hamburg, Germany. pp 3535-3539.
- Poissant Y., Couture L., Dignard-Bailey L., Thevenard D., Cusack P. and Oberholzer H. (2003) Simple test methods for evaluating the energy ratings of pv modules under various environmental conditions. *In proceedings of ISES*.