

Evaluación de la aplicabilidad del año de referencia UNE-EN ISO 15927 a instalaciones fotovoltaicas

J.L. Torres¹, M. de Blas¹, A. Gorostiaga¹ e I. García¹

¹ Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural. Edificio Los Olivos. Universidad Pública de Navarra. 31006 Pamplona.
Email: jlte@unavarra.es

Resumen

El desarrollo y expansión de las tecnologías de aprovechamiento de la energía solar hace necesario disponer de datos meteorológicos representativos de un determinado lugar que permitan predecir el comportamiento energético de estos sistemas a largo plazo. Existen numerosos procedimientos para la composición de Años Meteorológicos Típicos (TMYs). No obstante, el único método normalizado para la construcción de años de referencia es el descrito en la norma UNE-EN ISO 15927-4. Este método está orientado a la construcción de años sintéticos para la estimación de cargas térmicas en la edificación. En este trabajo se evalúa la aplicabilidad del método UNE-EN ISO a instalaciones fotovoltaicas, comprobándose la bondad de los años de referencia obtenidos en la estimación de la energía eléctrica anual producida por un sistema fotovoltaico.

Palabras clave: Fotovoltaica, Año Meteorológico Típico, ISO-15927.

Applicability evaluation of reference year UNE-EN ISO 15927 to photovoltaic systems

Abstract

Development and expansion of solar energy utilization technologies will require representative meteorological data of a specific location to predict the energy performance of these systems in the long term. There are a number of procedures for creating Typical Meteorological Years (TMYs). However, the only standard method for generating reference years is described in UNE-EN ISO 15927-4. This method is focused on the generation of synthetic years for the estimation of thermal loads in buildings. In this paper, the applicability of using this method to estimate the electrical energy produced by a photovoltaic system has been evaluated. The goodness of using the reference years obtained by UNE-EN ISO method in the estimation of annual electricity production of a photovoltaic system has been proved.

Keywords: Photovoltaic, Typical Meteorological Year, ISO-15927

Introducción

El desarrollo y expansión de las tecnologías de aprovechamiento de la energía solar, tanto activo como pasivo, hace necesario disponer de datos meteorológicos representativos de un determinado lugar que permitan predecir el comportamiento energético de estos sistemas a largo plazo. En este sentido, el Año Meteorológico Típico (TMY) proporciona una serie anual de datos considerados representativos del emplazamiento en el que se desea instalar el sistema de aprovechamiento. La ventaja esencial del uso de estos TMYs es que pueden ser generados mediante un tratamiento estadístico, relativamente sencillo, de una serie histórica de datos disponible.

En la bibliografía existen numerosos procedimientos para la construcción de TMYs que consideran diferentes parámetros meteorológicos a los que asignan distinto peso según su objetivo. Metodologías como las propuestas por Klein et al. (1977), Schweitzer (1978), Hall et al. (1978), Andersen et al. (1977), Lund and Eidorff (1980), Pissimanis et al. (1988) o Festa and Ratto (1993), entre otros,

plantean la composición del TMY mediante la unión de doce meses reales, considerados típicos, seleccionados a partir de la serie histórica de observaciones del emplazamiento.

No obstante, el único método normalizado existente para la construcción de años de referencia es el descrito en la norma UNE-EN ISO 15927-4 (AENOR, 2011). Este método está orientado a la construcción de años sintéticos para la estimación de cargas térmicas en la edificación, en concreto, a la predicción del comportamiento a largo plazo de sistemas solares de agua caliente (SHWS).

En este trabajo se evalúa la adecuación de los años de referencia obtenidos mediante el método UNE-EN ISO a la estimación de la energía eléctrica producida por un sistema fotovoltaico.

Con este fin, se han comparado las producciones de energía eléctrica anuales, mensuales y diarias obtenidas mediante el año de referencia UNE-EN ISO con las obtenidas con el Año Meteorológico para Sistemas Solares (WYSS) propuesto por Gazela and Mathioulakis (2001). Este último emplea únicamente la ganancia solar mensual como parámetro de selección de los meses del año típico.

Datos Meteorológicos

Para la generación del TMY mediante los dos métodos citados en la introducción se ha empleado una serie, de 11 años (1998-2009), de datos meteorológicos horarios procedentes de la estación agroclimática automatizada de Aldeanueva de Ebro. Se trata de una estación meteorológica del Gobierno de La Rioja, gestionada por el Servicio de Información Agroclimática (SIAR) y con acceso público a sus datos.

Las variables meteorológicas consideradas en este trabajo son: las medias de la temperatura del aire y la velocidad del viento medidas a una altura de 2 m sobre el suelo, la humedad relativa del aire y la radiación global sobre el plano horizontal.

Estos datos meteorológicos han sido sometidos a un control de calidad para depurar fundamentalmente los valores extremos y se han localizado observaciones repetidas y datos faltantes. Mientras que el año 2000 ha sido eliminado por completo dada la gran cantidad de datos faltantes que presenta, los huecos aislados del resto de años se han rellenado mediante una interpolación lineal.

Metodología

Como se ha explicado en la introducción, el objetivo de este trabajo es evaluar la aplicabilidad del año de referencia obtenido mediante el método normalizado UNE-EN ISO 15927 a la estimación de la energía eléctrica producida por una instalación fotovoltaica. Para evaluar la bondad de los valores de producción obtenidos, se han comparado con los alcanzados tras la simulación del Año Meteorológico para Sistemas Solares (WYSS), propuesto por Gazela and Mathioulakis (2001), que usa la ganancia solar mensual como único parámetro de selección de los meses típicos que compondrán el TMY.

Se ha elegido el WYSS como año de referencia con el que comparar el método UNE-EN ISO ya que, al tratarse de un método orientado a la producción, minimiza el error en la estimación de la energía generada (Gazela and Mathioulakis, 2001) debido a que basa la selección de los meses que componen el TMY únicamente en la producción eléctrica mensual y no en parámetros meteorológicos. Asimismo se trata de un método de fácil aplicación.

Método UNE-EN ISO 15927 (AENOR, 2011)

Pese a que el método permite el empleo de otros parámetros para desarrollar años de referencia en aplicaciones especiales, recomienda el uso de los siguientes:

- Temperatura del aire.
- Irradiación solar global sobre una superficie horizontal

- Humedad relativa
- Velocidad del viento a una altura de 10 m sobre el nivel del suelo.

Los tres primeros son considerados como principales, mientras que el cuarto tiene carácter secundario.

El procedimiento está diseñado para construir un año típico, compuesto de 8760 valores horarios, en el que el valor medio de las variables individuales, su función de distribución y las correlaciones entre las diferentes variables, dentro de cada mes, son las más cercanas posibles al correspondiente mes del conjunto de datos a largo plazo.

En el método se recoge la posibilidad de utilizar otras combinaciones de parámetros primarios y secundarios para desarrollar años de referencia con propósitos especiales.

Aunque el método propone la inclusión de un ajuste suavizado entre las ocho horas finales de un mes y las ocho horas iniciales del siguiente, este aspecto no ha sido tenido en consideración en este trabajo por tratarse de horas en que la radiación solar es nula o muy pequeña.

Método WYSS (Gazela and Mathioulakis, 2001)

En el procedimiento original, el único parámetro que se emplea en la selección de los distintos meses que componen el TMY es la ganancia solar mensual. En este trabajo, dicha ganancia solar ha sido sustituida por la producción eléctrica, para adaptarlo a un sistema fotovoltaico. Además, para calcular la producción eléctrica se ha recurrido a un programa de simulación que se aplica a cada uno de los 11 años de la serie histórica de datos. Una vez obtenidas las producciones mensuales, se seleccionan como típicos, dentro de los meses del mismo nombre, aquéllos cuya producción presenta la menor distancia al cuadrado a la producción media histórica de dicho mes.

Por las mismas razones que en el procedimiento UNE-EN ISO, no se ha aplicado ningún proceso de suavizado entre los valores de las variables correspondientes a las horas finales de un mes e iniciales del siguiente.

Características de las instalaciones fotovoltaicas simuladas

La comparación de los dos procedimientos de TMY se ha llevado para dos instalaciones fotovoltaicas diferentes de 5.48 kWp (ver Tabla 1). La primera, denominada Sistema 1, tiene sus módulos fotovoltaicos en una posición fija, mientras que, en la segunda, Sistema 2, los módulos están situados sobre un seguidor solar a dos ejes.

Para realizar las simulaciones se ha empleado el programa PV*Sol que proporciona, para cada año, los 8760 valores horarios de producción eléctrica, a partir de los otros tantos de temperatura, radiación, humedad relativa y velocidad del viento.

Tabla 1. Características técnicas de los sistemas fotovoltaicos

| | Sistema 1 | Sistema 2 |
|--------------------------------|-----------|-----------------------|
| Potencia FV instalada [kWp] | | 5.48 |
| Tipo de célula | | Si Policristalino |
| Potencia de módulo [Wp] | | 110 (109.6 calculada) |
| Nº total de módulos | | 50 |
| Nº de módulos en serie | | 5 |
| Nº de módulos en paralelo | | 10 |
| Sistema de seguimiento del sol | No | Sí (2 ejes) |
| Azimut del captador | 0° (S) | Variable |
| Inclinación del captador | 33° | Variable |

Obtención de las producciones eléctricas de cada uno de los años meteorológicos típicos obtenidos.

Una vez determinados los meses que constituyen los tres TMYs, se construye cada uno de ellos, obteniendo una secuencia 8760 datos horarios de cada una de las cuatro variables meteorológicas consideradas. Utilizando de nuevo el programa PV*Sol se simulan las producciones eléctricas horarias, de cada uno de los dos sistemas fotovoltaicos contemplados, para cada uno de los tres TMYs.

Resultados y Discusión

En primer lugar, con el fin de componer el WYSS, se ha simulado cada uno de los 11 años de la serie histórica con cada uno de los dos sistemas establecidos. El tratamiento posterior de los resultados, según el procedimiento descrito permite obtener el WYSS considerando el Sistema 1 (WYSS1) y el Sistema 2 (WYSS2). A la hora de generar el año de referencia mediante el método UNE-EN ISO se han empleado las variables meteorológicas ya reseñadas.

La Tabla 2 recoge los meses típicos obtenidos mediante la aplicación de los dos procedimientos descritos. Entre los tres años meteorológicos típicos obtenidos, solo hay una coincidencia, los tres señalan al mes de mayo de 2006 como el típico. En cambio, la coincidencia es mucho mayor (8 de los 12 meses) entre el WYSS1 y el WYSS2, pero hay que recordar que los dos resultan de la aplicación de un mismo procedimiento a dos sistemas fotovoltaicos distintos.

Tabla 2. Meses típicos seleccionados según el método aplicado.

| Meses | ISO 15927 | WYSS1 | WYSS2 |
|------------|-----------|-------|-------|
| Enero | 2004 | 2009 | 2003 |
| Febrero | 2009 | 2007 | 2007 |
| Marzo | 2006 | 2006 | 2006 |
| Abril | 1999 | 2003 | 2003 |
| Mayo | 2004 | 2003 | 2005 |
| Junio | 2006 | 2002 | 2008 |
| Julio | 2004 | 2006 | 1998 |
| Agosto | 2001 | 2007 | 2007 |
| Septiembre | 2009 | 2002 | 2002 |
| Octubre | 2002 | 2004 | 2004 |
| Noviembre | 1998 | 2008 | 2008 |
| Diciembre | 2008 | 2009 | 2009 |

En la Figura 3a se presentan los valores de producción eléctrica mensual obtenidos tras la simulación de cada TMY para el caso del Sistema 1. Asimismo se han representado los valores mensuales medios de producción eléctrica de la serie histórica. Se puede apreciar cómo las producciones mensuales obtenidas mediante los años WYSS1 y WYSS2 prácticamente coinciden con la curva promedio mientras que las producciones alcanzadas con el año de referencia UNE-EN ISO se desvían sensiblemente de esta última, especialmente en los meses de febrero, septiembre y diciembre.

En la Figura 3b se muestran los resultados de producción mensuales obtenidos para el Sistema 2. La diferencia más significativa que se aprecia respecto a la Figura 3a es el aumento de producción debida a la mayor captación de radiación solar proporcionada por el sistema de seguimiento. Como en el caso anterior, los WYSS1 y WYSS2 se ajustan con bastante fidelidad a la producción promedio mensual mientras que las producciones obtenidas a partir del año UNE-EN ISO se alejan de la curva promedio siguiendo el mismo patrón que en el Sistema 1. Sin embargo en este caso se puede observar una ligera diferencia (mes de julio) entre estos dos, de tal manera que el WYSS2 se comporta mejor que el WYSS1. Esto parece razonable teniendo en cuenta que el año WYSS2 ha sido obtenido a partir de una instalación con seguimiento solar a dos ejes.

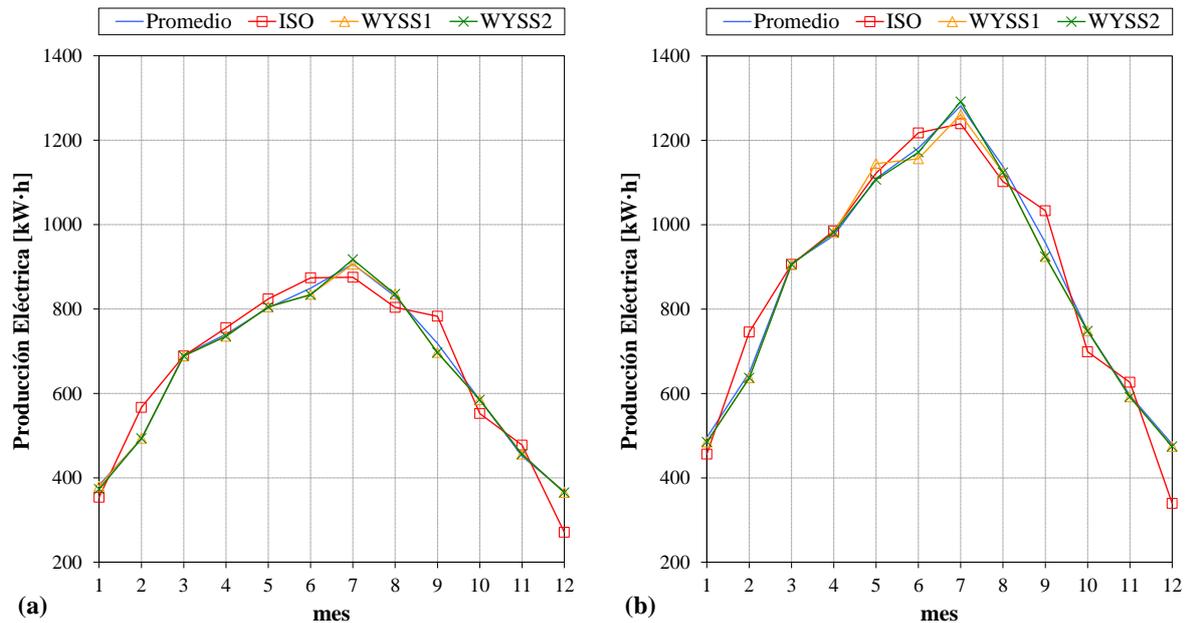


Figura 3. Producción eléctrica mensual según el TMY empleado en la simulación para el Sistema 1 (a) y producción eléctrica mensual según el TMY empleado en la simulación para el Sistema 2 (b).

Los resultados de producción eléctrica anual, mensual y diaria obtenidos se han comparado con las simulaciones llevadas a cabo con cada uno de los 11 años de la serie de observaciones mediante seis indicadores estadísticos:

- El indicador F_1 es la raíz cuadrática media de la diferencia de las producciones anuales y cuantifica la desviación entre cada uno de los 11 años y el TMY.
- Los indicadores F_2 y F_5 son el error estándar de las estimaciones de producción mensual y diaria respectivamente.
- El indicador F_3 es la prueba chi cuadrado de las producciones mensuales. Este parámetro tiene especial interés ya que la desviación estándar de las medias de las producciones eléctricas mensuales a largo plazo del mes m actúa como factor de ponderación.
- Los indicadores F_4 y F_6 son la raíz cuadrática media de la producción media mensual y diaria, respectivamente, de los 11 años menos las producciones mensuales y diarias de los TMYs.

Los resultados obtenidos tras el cálculo de los seis indicadores estadísticos para los Sistemas 1 y 2 se presentan en las Tablas 3 y 4, respectivamente.

Tabla 3. Valores de los indicadores calculados para el Sistema 1 (instalación fija).

| | ISO 15927 | WYSS1 | Desviación (%) |
|-------|-----------|--------|----------------|
| F_1 | 334.16 | 335.91 | -0.52 |
| F_2 | 72.46 | 58.35 | 24.18 |
| F_3 | 7.04 | 0.35 | 1911.43 |
| F_4 | 45.16 | 8.06 | 460.30 |
| F_5 | 58.45 | 58.51 | -0,10 |
| F_6 | 76.58 | 28.56 | 168.14 |

Tanto en el caso del Sistema 1 como en el del Sistema 2, se puede apreciar cómo los años determinados mediante el método UNE-EN ISO se ajustan mejor a la predicción de la producción eléctrica anual de que los WYSS ya que el parámetro F_1 presenta un valor inferior. También se

aprecia, en los dos casos, un valor inferior de error estándar en la predicción de la producción diaria (F_5) para el caso del año UNE-EN ISO.

Tabla 4. Valores de los indicadores calculados para el Sistema 2 (seguimiento solar a dos ejes).

| | ISO 15927 | WYSS1 | Desviación1 (%) | WYSS2 | Desviación2 (%) |
|-------|-----------|--------|-----------------|--------|-----------------|
| F_1 | 458.69 | 464.45 | -1.24 | 462.93 | -0.92 |
| F_2 | 102.78 | 86.25 | 19.17 | 85.09 | 20.79 |
| F_3 | 6.17 | 0.69 | 794.20 | 0.32 | 1828.13 |
| F_4 | 60.79 | 18.24 | 233.28 | 12.57 | 383.61 |
| F_5 | 67.71 | 67.78 | -0.10 | 67.78 | -0.10 |
| F_6 | 82.29 | 52.83 | 55.76 | 49.91 | 64.88 |

Conclusiones

Si se observan los meses típicos que componen cada uno de los tres TMYs (Tabla 2) se puede apreciar que existen pocas coincidencias y, sin embargo, los tres años típicos presentan buenas, aunque diferentes, aptitudes a la hora de estimar la energía eléctrica producida por el sistema fotovoltaico.

Observando las Figuras 3 y 4 y a la vista de los análisis realizados, se puede confirmar cómo, para la ubicación en la que se ha realizado este trabajo, los años obtenidos mediante el método WYSS minimizan el error a la hora de estimar la energía eléctrica producida diariamente y mensualmente. Por el contrario, los años obtenidos mediante el método UNE-EN ISO, presentan un menor error a la hora de estimar la producción anual de energía eléctrica.

Pese a que el método UNE-EN ISO15927 está orientado a la construcción de años sintéticos para la evaluación de cargas térmicas, ha quedado demostrada su aplicabilidad a sistemas fotovoltaicos cuando se desea estimar la energía eléctrica total anual generada por estos.

Referencias

- AENOR (2011). UNE-EN ISO 15927-4: Comportamiento higrotérmico de edificios : cálculo y presentación de datos climáticos. Parte 4, Datos horarios para la evaluación de la energía anual utilizada en calefacción y refrigeración (ISO 15927-4:2005), AENOR.
- Andersen, B., Eidorff, S., Lund, H., Pedersen, E., Rosenorn, S., and Valbjorn, O. (1977). Meteorological data for design of building and installation: a reference year, (extract), 2nd/Ed. Thermal Insulation Laboratory, Denmark.
- Festa, R., and Ratto, C. F. (1993). Proposal of a numerical procedure to select Reference Years. *Solar Energy* **50**, 9-17.
- Gazela, M., and Mathioulakis, E. (2001). A new method for typical weather data selection to evaluate long-term performance of solar energy systems. *Solar Energy* **70**, 339-348.
- Hall, I. J., Prairie, R. R., Anderson, H. E., and Boes, E. C. (1978). Generation of Typical Meteorological Years for 26 SOL-MET stations, Sandia Laboratories Report SAND 78-1601, Albuquerque, NM.
- Klein, S. A., Beckman, W. A., and Duffie, J. A. (1977). A design procedure for solar air heating systems. *Solar Energy* **19**, 509-512.
- Lund, H., and Eidorff, S. (1980). Selection methods for production of Test Reference Years. *App. by R. Dogniaux. Final report (short version). Report EUR 7306*, 1.
- Pissimanis, D., Karras, G., Notaridou, V., and Gavra, K. (1988). The generation of a “typical meteorological year” for the city of Athens. *Solar Energy* **40**, 405-411.
- Schweitzer, S. (1978). A possible “average” weather year on Israel's coastal plain for solar system simulations. *Solar Energy* **21**, 511-515.