

TOLEDO-PV, medidas del IES, medidas del CIEMAT y el “cascabel del gato”

E. Lorenzo

Instituto de Energía Solar
Universidad Politécnica de Madrid

Introducción

Un número anterior de ERA SOLAR incluyó un artículo que describe la experiencia de explotación de la Central fotovoltaica Toledo-PV¹, desde su inauguración, hace ocho años. Quiero, ante todo, felicitar sinceramente a sus autores por la iniciativa de publicar las cifras de producción real de esta planta que, por su relevancia, constituye una referencia importantísima en el caminar de esta tecnología.

La Central de Toledo incrementa así su utilidad, contribuyendo a mejorar el saber hacer del sector en general. Además, rinde con ello el tributo esperable de un proyecto que, en su día, recibió una cantidad significativa de dinero público. Después de este artículo, Toledo-PV es mejor, y más de todos. Ojalá que otros proyectos fotovoltaicos sigan este laudable ejemplo.

En lo que a mí concierne, se da la circunstancia de pertenecer al grupo de los que tuvieron el privilegio de participar en la realización de la Central. Hoy no es raro hablar de megavatios fotovoltaicos; pero lo era y mucho en el año 1993, cuando nos pusimos a la tarea. Toledo-PV representó para aquel grupo de privilegiados la oportunidad de hacer “algo grande”. La vida de los mortales suele ser parca en oportunidades así, por lo que los proyectos como éste no sólo se incorporan al *currículum vitae* profesional, sino que también entran a formar parte del *currículum vitae* de la emoción. Sentir que Toledo-PV es útil es motivo de alborozo para quien, como es mi caso, lo lleva un poco en el corazón. Permítanme los autores del artículo que, a las anteriores felicitaciones profesionales, añada también la expresión de mi sincero agradecimiento.

El artículo presenta con suma claridad los detalles constructivos de la Central, y las cifras absolutas de irradiación incidente y de producción de electricidad. La tabla 1 recoge los valores correspondientes al período 1997-2001, durante el que la disponibilidad ha sido muy elevada. Estos valores están extractados de la tabla 1 del artículo de referencia, y corresponden a años de elevada disponibilidad. La tercera fila presenta los datos de producción real, y la cuarta, el resultado de corregirlos para no considerar las pérdidas que se han producido por causas ajenas a la Central como, por ejemplo, la caída de la Red. Cabalmente, los datos de esta última fila pueden ser considerados como una referencia del potencial real de este tipo de plantas, en lo cual coincido plenamente con sus autores.

Año	1997	1998	1999	2000	2001
Irradiancia (kWh/m ²)	1844	1959	1969	2012	1965
Producción real (MWh)	1097	1193,6	1263,1	1268,8	1186,3
Producción AC (MWh)	1226,0	1305,8	1328,5	1304,8	1238,7

Tabla 1. Datos históricos de explotación de la Central Toledo-PV.

¹ F. J. Alonso Martínez, A. Matas Martínez, J. Alpuente Sánchez. “CENTRAL TOLEDO-PV: La capacidad real de producción de una instalación fotovoltaica de gran escala conectada a Red”. ERA SOLAR, 113 (2003).

A partir de esta excelente referencia empírica, los autores buscan deducir el valor del “Tiempo característico” de la Central, entendido como la relación entre la energía anual que genera y su potencia característica. En otras palabras, los famosos “kilovatios hora por kilovatio pico”, universalmente utilizados para establecer el mérito productivo de cualquier generador eléctrico que vierte su producción a la Red. Para ello, utilizan diversos valores para la potencia característica: los que dice el fabricante de los módulos; los que dice el IES, que se encargó de las medidas contempladas en el control de aceptación inicial; y los que dice el CIEMAT, que ha efectuado diversas medidas a lo largo de estos años de operación. Naturalmente, las diferencias entre estos valores de la potencia de referencia se traducen en diferencias entre los valores del factor de mérito buscado. La tabla 2 recoge los correspondientes al año 2000, que fue el de mayor productividad de la Central. Los autores del artículo presentan únicamente los que se obtienen de considerar la producción real de la planta (columna 3 de la tabla 2). Por mi cuenta, he añadido los que resultan de considerar la producción corregida, excluyendo las pérdidas debidas a causas ajenas a la Central (columna 4 de la tabla 2). Me ha parecido que esta forma se ajusta mejor al objetivo último de estimar el potencial energético de este tipo de sistemas.

Decidor	Potencia de referencia kW	Tiempo característico, en kWh/kW según producción	
		real	corregida
Nominal de cartel	1000	1269	1329
Nominal de catálogo	980,4	1294	1356
Fabricante	967,6	1311	1374
Control calidad IES	949,8	1336	1399
Referencia CIEMAT	942,8	1346	1410
Estimación CIEMAT	900	1410	1477
Potencia en operación	871	1457	1526

Tabla 2. Tiempo característico de la Central de Toledo en el año 2000, según diversas fuentes para la potencia de referencia.

Por último, los autores del artículo comparan este conjunto de valores con algunas estimaciones generales publicadas por ASIF² (1400 kWh/kW), por Greenpeace³ (1500 kWh/kW) y por mi mismo⁴ (1200 kWh/kW), y deducen que las primeras son las más ajustadas a la realidad, las segundas, ligeramente optimistas y las mías, claramente pesimistas.

Hay tres razones que motivan el que yo me empeñe en contestar aquí a los autores. Por orden de importancia, la primera es contribuir al debate, y en esto coincido con ellos, que terminan su artículo con una frase que merece la pena repetir: *“Esperamos que este artículo sirva al debate sobre la energía producible por este tipo de instalaciones, a la difusión de estas tecnologías y, sobre todo, a evitar dudas a quienes se encuentren en el filo de acometer un proyecto de esta naturaleza.”*

La segunda razón, y en esto ya no coincido con los autores, es por intentar deshacer la confusión que se deriva de utilizar diversos valores de referencia para la potencia característica de la Central. En definitiva, la única potencia que interesa *“a quienes se encuentren en el filo de acometer un proyecto de esta naturaleza”*, es la que figurará en la

² ASIF. “Energía Solar Fotovoltaica en la Comunidad de Madrid” (2001).

³ Greenpeace, *Guía Solar*.

⁴ E. Lorenzo, *El mito del 1.300 y el cascabel del gato*, ERA SOLAR, 107 (2002).

factura que tendrán que pagar si finalmente deciden embarcarse en el proyecto. Es decir, la denominada “nominal de catálogo” en la tabla 2. Para este valor de referencia, el tiempo característico real de la Central fue de 1294 kWh/kW, y en el mejor de los casos esperable esta cifra es de 1356 kWh/kW.

La tercera razón, y en esto tampoco coincido con los autores, es defender la bondad de mis estimaciones, que no han sido interpretadas correctamente por ellos. A mi entender, tales estimaciones salen francamente reforzadas del contraste con los datos operativos de la Central de Toledo. Lo que realmente presenté en mi artículo fue un procedimiento de cálculo. El valor de 1200 kWh/kW corresponde al ejemplo concreto de considerar un año típico con una irradiación incidente de 1906 kWh/m² y una potencia suministrada inferior en un 5 % a la nominal de catálogo. En el caso concreto de la Central de Toledo en el año 2000, la irradiación fue de 2012 kWh/m² (tabla 1) y la potencia suministrada, según el control de calidad del IES, un 3 % inferior a la nominal del catálogo (tabla 2). Con estos valores, el procedimiento propuesto por mí conduce a la cifra de 1293 kWh/kW, que coincide con el valor medido en la Central (1294 kWh/kW, según la tabla 2) que no se aleja más de un 5 % del esperado para el mejor de los casos.

Por otro lado, si para analizar la representatividad del ejemplo por mí propuesto, atendiéramos no al valor de un año particular sino al promedio de varios años, como parece estadísticamente más adecuado, resulta que los promedios de la irradiación y del tiempo característico de la Central entre los años 1997 y 2001 son, respectivamente, 1949,8 kWh/m² y 1280,8 kWh/kW. Los considerados en el ejemplo de mi artículo son 1906 kWh/m² y 1226 kWh/kW. Las diferencias son de un 2,2 % y de un 4,3 %, respectivamente. En honor a la verdad, creo que esta vez no se ha manifestado la conocida Ley de Murphy. Más bien, la casualidad ha jugado a mi favor para producir un resultado empírico que tanto coincide con el ejemplo propuesto por mí. Feynman dijo “*La gente no se da cuenta de lo difícil que es una alta precisión. Para sólo un uno o dos por ciento de precisión se necesitan diez mil ensayos...*”.⁵ Y creo que esta cita del genial físico es oportuna para juzgar hasta que punto la coincidencia de mi ejemplo con la realidad de la Central de Toledo es mucha. Desde luego, y aunque mantenga su validez, no reclamo tanta bondad general para el procedimiento que he propuesto.

Medidas del IES y medidas del CIEMAT

En el apartado que denominan “Potencia pico”, los autores describen las diferentes medidas realizadas en la Central, con el objetivo de estimar su potencia en condiciones estándares, y dicen: “*..Como se puede observar, el IES y el CIEMAT obtienen valores diferentes*”. Y apuntan cinco razones como explicación: la medida en puntos distintos, la medida en días diferentes, la utilización de métodos de extrapolación diferentes, la distinta instrumentación y la influencia de la suciedad.

Esta interpretación es, a mi entender, incorrecta. De hecho, en el IES siempre tomamos una serie de precauciones para que nuestras medidas se ajusten a las del CIEMAT, al que consideramos como referencia excelente de calibración. Para ello, nuestro procedimiento de medida⁶ se basa en comparar el generador en estudio con un módulo de la misma tecnología y que previamente enviamos al CIEMAT para su calibración. No es aquí oportuno avanzar

⁵ R. P. Feynman. “*Qué significa todo esto*”, cap 3: *Esta era acientífica*. Ed. Crítica, Barcelona (1998).

⁶ E. Caamaño, E. Lorenzo, R. Zilles. “*Quality Control of Wide Collections of PV Modules: Lessons Learned from the IES experience*”. Progress in Photovoltaics, 7, 137-149 (1999).

mucho más en esta discusión. Me limitaré a señalar que, en buena medida, esta precaución compensa esas razones apuntadas por los autores, con la excepción de la influencia de la suciedad, que consideraré más adelante. De hecho, que las medidas del IES y del CIEMAT coinciden se observa con claridad en los valores de referencia que ambos institutos dan para la potencia adquirida en Toledo-PV: 949,8 kW según el IES y 942,8 según el CIEMAT (tabla 2 del artículo de referencia), es decir, una diferencia de sólo un 0,6 %, que está bastante por debajo de la precisión pretendida para estas medidas. Importa recordar que esta potencia adquirida es la suma de las potencias de los módulos fotovoltaicos que componen los generadores, y que este valor tenía mucha importancia en el caso de esta Central, porque fue sobre el que se estableció la correspondiente facturación.

Las diferencias que señalan los autores se refieren a la estimación de la potencia del generador en su conjunto, esto es, después de instalar y conexionar los módulos fotovoltaicos que lo constituyen: 882,3 kW según el IES y 820,9 kW según el CIEMAT (tabla 3 del artículo de referencia). En mi opinión, aquí es donde se manifiesta la diferente consideración del tema de la suciedad. El IES midió uno de los generadores antes y después de limpiarlo⁷, y extrapoló el resultado al resto de los generadores de la Central. El CIEMAT, según creo, se limitó a medir los generadores en el estado en el que se encontraban.

En consecuencia, la diferencia entre los valores citados se debe no tanto a los diferentes procedimientos de medida como a la diferente pregunta a la que las medidas de ambos pretendían responder. El IES buscaba conocer la potencia CEM del generador limpio, mientras que el CIEMAT buscaba conocer la potencia CEM del generador tal y como estaba. Y este argumento sirve también para explicar las diferencias entre las distintas medidas que el CIEMAT ha ido haciendo a lo largo de los años (tabla 4 del artículo de referencia).

Esto de las diferentes preguntas entre los dos institutos no debe extrañar a nadie, porque resulta que ninguna de ellas fue objeto de precisiones contractuales entre el consorcio de empresas que construyó la Central y los institutos que midieron. Este consorcio compró directamente módulos fotovoltaicos y asumió la responsabilidad de conexasarlos para formar los generadores. Por tanto, la responsabilidad de los fabricantes de los módulos terminó justamente con el suministro de éstos y, lógicamente, fue en este punto donde se realizó el control de calidad del IES. Como quiera que la aceptación o rechazo de los módulos suministrados dependía de los resultados de esas medidas (para ser aceptados, la potencia medida en el control de calidad no debía ser inferior al 5 % de la anunciada por el fabricante), el contrato incluía todo un conjunto de precisiones destinadas a establecer sin incertidumbre tanto la forma de realizar las medidas como la forma de interpretarlas. La diferencia entre las medidas del IES y el anuncio de los fabricantes fue de sólo un 2 %, lo que, se me antoja, habla por sí solo de la utilidad de este tipo de controles.

La potencia característica de los generadores completos, por el contrario, nunca figuró en los términos del contrato de suministro con los fabricantes de los módulos. Por eso, nadie se molestó de establecer a priori ni la forma de realizar las correspondientes medidas ni la forma de interpretarlas. En su lugar, estas cuestiones fueron consideradas por el consorcio como materia de investigación, y dejadas al arbitrio de los que midieron. Que estos se plantearan preguntas diferentes no es más que el reflejo de la diferente curiosidad de cada cual. Por otro lado, esta libertad de interpretación deja abierta las puertas a diferentes consideraciones sobre las pérdidas en cables, etc. Los autores hacen una en particular, denominada “estimación

⁷ A modo de curiosidad, hay que decir que el agua para lavar los módulos tuvimos que llevarla desde Madrid, porque la que está disponible en la Central tiene un contenido en cal muy elevado y deja manchas blancas al secarse.

CIEMAT” en la tabla 2, y dan la cifra de 900 kW. Esta estimación es, en mi opinión, muy sensata, pero también creo conveniente notar que se pueden imaginar otras alternativas tan plausibles como ésta.

En definitiva, la presunción de los autores de que las medidas del IES y del CIEMAT conducen a diferentes resultados es, a mi entender, equivocada. Y me siento obligado a insistir en ello, porque creo que alimenta la confusión en torno a un tema sobre el que hay una sensibilidad particular en el sector fotovoltaico en general. Y esta confusión no radica en los procedimientos de medida, que hoy están bien establecidos y al alcance de cualquiera decidido a empeñarse en la tarea. La confusión radica en el planteamiento de las preguntas (esto suele ser así en la vida en general) y en la interpretación posterior de las medidas. Ni han faltado ni faltarán quienes insistan en el mensaje contrario, es decir, en que la determinación de la potencia CEM de los generadores es un asunto complicado e incierto, y que más vale no “meneallo”. Aquí viene a cuento lo de que “a río revuelto, ganancia de pescadores”. Y me apresuro a clarificar que esto no se puede aplicar a los autores del artículo, ya que no están en el brete de tomar partido entre compradores y vendedores de módulos fotovoltaicos.

Tanto el control de calidad de los suministros de módulos como la determinación de la potencia CEM de cualquier generador fotovoltaico, se pueden hacer sin incertidumbre, sin más condición que la de considerarlo adecuadamente en el contrato de suministro entre comprador y vendedor. Ello supone fijar los detalles tanto del procedimiento de medida como de la corrección posterior. Es más, creo que es una práctica que debe ser fomentada en beneficio de la credibilidad general del sector, y expreso aquí mi deseo de que el CIEMAT se sume a este debate, en aras de una mayor clarificación.

“El cascabel del gato”

Citaré otra vez a Feynman: *“Siempre es bueno poner a una conferencia un título que nadie se lo pueda creer”*. A esta argucia recurrí yo cuando, al artículo titulado “La energía que producen los sistemas fotovoltaicos conectados a la Red”, añadí la coletilla de “El mito del 1300 y el cascabel del gato”. Y tengo que decir que la argucia tuvo mucho éxito, porque nunca antes un artículo mío había logrado tanto eco. La mayoría del centenar largo que he escrito no despertaron mayores comentarios, mientras que de éste más de uno me ha dicho cosas como *“...interesante tu artículo del cascabel del gato...”*.

Sin embargo, no puedo atribuirme más mérito que el del atrevimiento que conlleva cualquier intento de provocación. Seguí a otros en la argucia de emplear un título raro, y copié éste del refranero. La frase “¿quién le pone el cascabel al gato?” es tan popular, que hasta figura como ejemplo en el diccionario. Yo no hice más que aplicarla al caso concreto del mercado fotovoltaico actual en España, donde la diferencia entre la energía que anuncia el vendedor y la que después observa el comprador es, con demasiada frecuencia, manifiesta. Esa diferencia responde a errores conocidos y que se dejan medrar conscientemente, justificándolos como necesidades de la competencia, y constituye una práctica que debería provocar vergüenza en un sector que, como el fotovoltaico español, presume de mucha profesionalidad.

Que los “kilovatios pico” de referencia para un comprador de sistemas fotovoltaicos son estrictamente los que figuran en la factura que tiene que pagar, y no otros cualesquiera que se puedan estimar según va pasando el tiempo, me parece demasiado obvio para tener que insistir más en ello. Si los autores del artículo sobre la Central de Toledo no lo han entendido así debe ser sólo por mi torpeza de expresión en el artículo del cascabel del gato.

En Toledo-PV se dan todas las circunstancias para que la producción sea máxima: inclinación y orientación óptimas, ausencia de sombras, elevada tensión de trabajo (que conlleva altas eficiencias de inversor), vigilancia permanente, mantenimiento efectivo, control de calidad en la compra de equipos, etc. Y aun así Toledo-PV no pasa de 1.300 kWh/kW que, por otro lado —y esto también hay que decirlo— es de las cifras más altas de Europa. Sin embargo, este cúmulo de circunstancias favorables no concurren en la mayoría de los sistemas fotovoltaicos integrados en viviendas. Lamentablemente, en España se publican poquísimos datos de producción fotovoltaica, y en el consiguiente vacío lo único que puede crecer es la polémica *per se*. Mientras tanto, las noticias que llegan a mi despacho indican que la producción de muchos de esos sistemas ubicados en viviendas no llega a los 1.000 kWh/kW, y está bastante por debajo de lo anunciado

Ruego a los lectores que crean en mi buena fe, al decir que a mi no me gusta la polémica *per se*. Toledo-PV funciona muy bien, y todos los involucrados tienen razones para felicitarse por ello. Sin embargo, la interpretación de su producción que hacen los autores del artículo es equivocada. Y el problema es que, aunque esté lejos de la voluntad de sus autores, ese equívoco puede ser utilizado —de hecho, ya ha ocurrido— para alimentar una situación que, a la postre, terminan por pagar los sufridos compradores de a pie. Por eso, la publicación de los datos de explotación de la Central de Toledo ha sido para mí motivo de alegría; pero también ha acrecentado mi convicción de que es necesario insistir en ponerle el cascabel al gato.