

Cálculo y simulación de sistemas de energía fotovoltaica utilizando software PV* SOL®

Erick Blanco*

Resumen:

Este artículo incentiva la utilización y desarrollo de herramientas de software que complementen la formación académica en campos de la Ingeniería, que tienen gran aplicación en nuestro país. Para el caso particular de Ingeniería Eléctrica, el tema relacionado con las fuentes alternas de energía es de gran importancia, por lo que se deben hacer esfuerzos orientados a conocer y utilizar programas que ayuden a que los temas relacionados con este tipo de fuentes no queden sólo como cultura general, sino más bien, se puedan aplicar para la resolución de problemas propios de Ingeniería utilizando este tipo de software de cálculo y simulación.

1. Introducción

En la rama de las ingenierías, especialmente en el área eléctrica, un aspecto que no debe pasar desapercibido es el referente a la teoría sobre las distintas fuentes alternas de energía que actualmente se están desarrollando en el mundo, entre ellas, la energía fotovoltaica, la cual utiliza el sol como fuente natural de energía. Sin embargo, además de conocer dicha teoría, se debe buscar la actualización y aplicación del conocimiento, ya que los sistemas basados en estas tecnologías se hacen más eficientes en la actualidad. Es imprescindible, por lo tanto, la comprensión de dichos avances en este campo de la ciencia para aplicarlos a la hora de utilizar las herramientas de software que los complementan y que permiten realizar cálculos y simulaciones para estimar el comportamiento de los sistemas fotovoltaicos contando así, con un valioso apoyo en la realización de proyectos, además de tener un insumo para la actualización de los planes de estudio que incluyan estas nuevas tecnologías, logrando de esta manera, la vinculación entre teoría y práctica en la cual debe basarse toda formación en el área de las ingenierías.

2. Generación de electricidad utilizando células fotovoltaicas

Actualmente se realiza un esfuerzo mundial para buscar nuevas formas de satisfacer las necesidades del crecimiento de la demanda energética. Este esfuerzo que tiene sus orígenes principalmente en dos aspectos: el primero se refiere a los altos costos que involucra la generación de energía eléctrica con plantas que trabajan con combustibles tradicionales derivados del petróleo y el segundo aspecto

está relacionado con el hecho de la búsqueda de un desarrollo industrial y comercial sostenible, es decir, en armonía con el medio ambiente, aspecto que, anteriormente pasaba desapercibido y que en la actualidad es fundamental incluso para financiamientos de proyectos.

Según E. Alcor [1] lo que proporciona las bases para el desarrollo de la energía fotovoltaica, son las reacciones complejas que se dan en el sol, y que permiten una pérdida de masa, convirtiéndose en energía que se libera del sol al exterior y se le conoce como radiación solar. Se observa el espectro de dicha radiación, se aprecia que comprende tres tipos de luces: la ultravioleta, la visible y la invisible infrarroja, aunque la mayor parte de la emisión de energía se ubica dentro de la luz visible, teniendo una longitud de onda que se encuentra aproximadamente entre $0.4 \mu\text{m}$ y $0.73 \mu\text{m}$ representando el 47% de la radiación total. En términos energéticos, las radiaciones ultravioletas son mucho mejores que las radiaciones infrarrojas, pero las ultravioleta son muy escasas contribuyendo con alrededor del 7% de toda la radiación mientras que las infrarrojas poseen un 46% del total. La radiación solar fuera de la atmósfera terrestre es de 1353 W/m^2 , medida sobre una superficie perpendicular a la dirección de su propagación. A este valor se le conoce como constante solar; esta constante sobre la superficie terrestre y al nivel del mar es de 1000 W/m^2 siempre y cuando se trate de días bien despejados. La disminución de la constante solar en la superficie terrestre se debe principalmente al paso que la radiación hace a través de la atmósfera por lo que se encuentra con gases atmosféricos, vapor de agua y

* El autor es Ingeniero Electricista, Docente de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, de la Facultad de Ingeniería, Universidad Don Bosco.
erick.blanco@udb.edu.sv

polvo que se encargan de disminuirla. Como no siempre se mantienen condiciones similares con respecto a los días despejados, los países deben poseer un registro estadístico de la radiación solar para tener un promedio de dicho comportamiento. Típicamente para días claros los valores máximos de radiación se mantienen cercanos a los 500 W/m².

Además de los aspectos relacionados con los fenómenos atmosféricos, se deben considerar también las características de desempeño de las células fotovoltaicas, incluyendo las pérdidas que afectan dicho desempeño. Una de las características más importantes es la que se refiere al rendimiento de la célula fotovoltaica, que según [1], se define como el cociente entre la potencia eléctrica máxima que puede suministrar una célula y la potencia luminosa que incide sobre su superficie. En condiciones ideales de laboratorio el rendimiento oscila entre 22% y 24%, aunque en la práctica el rendimiento es de alrededor del 15% o menos; este rendimiento es bajo debido principalmente a los factores que se muestran en la Tabla 1, los cuales se describen en [1].

Antes de mencionar los principales componentes de un sistema fotovoltaico es conveniente establecer las diferencias entre célula fotovoltaica, módulo y panel fotovoltaico.

Según se establece en [2], una célula fotovoltaica es cada una de las unidades físicamente iguales que hay en un módulo fotovoltaico capaces de generar una fuerza electromotriz al recibir una radiación luminosa. Por otra parte, un módulo fotovoltaico es un conjunto formado por un cierto número de células fotovoltaicas eléctricamente interconectadas, formando una estructura compacta, manejable y resistente, capaz de suministrar, al recibir radiación solar, una corriente eléctrica a un circuito externo. Mientras que, un panel fotovoltaico es un conjunto de módulos fotovoltaicos montados sobre una estructura común e interconectados eléctricamente en serie, paralelo o de forma mixta.

Tabla 1.
Factores que afectan el rendimiento de células fotovoltaicas.

Factor	Porcentaje de pérdida de energía incidente
Energía de los fotones incidentes	50
Pérdidas por recombinación	15
Pérdidas por reflexión	10
Pérdidas por los contactos eléctricos	8
Pérdidas por resistencia serie	3
Total de pérdidas	86

3. Principales componentes de los sistemas fotovoltaicos

El conocimiento de los componentes y términos utilizados en un sistema fotovoltaico es de suma importancia puesto que al utilizar el software se solicitan características que deben comprenderse ya que representan los parámetros técnicos de los dispositivos a utilizar en una instalación real. A continuación se describen los principales componentes y términos, explicándolos en el mismo orden en el que los solicita el software.

Un sistema conectado a la red significa que la instalación trabajará con energía fotovoltaica en combinación con la energía eléctrica que suministra la distribuidora requiriendo de un equipo inversor que efectúe el cambio de corriente directa a corriente alterna. Por otro lado un sistema autónomo es aquél en el cual no existe otra forma de suministro de energía más que la que se obtiene a partir del sistema fotovoltaico. En esta ocasión, se trabaja con un sistema autónomo.

Para el caso del sistema autónomo, la batería es uno de los principales componentes y las características que interesan son la capacidad expresada en amperios – hora (Ah) y la tensión a la cual trabaja. La capacidad se refiere a los amperios que puede brindar durante un número determinado de horas.

Otro de los componentes fundamentales en este tipo de sistemas es el módulo fotovoltaico, cuyas principales características son la potencia, la tensión de punto de potencia máxima (PPM) y la tensión máxima del sistema.

4. Generalidades del software de simulación

El software con el que se realiza el cálculo y simulación en este artículo se llama PV*SOL® V2.6 y se obtiene de forma gratuita [3], eso sí, con limitaciones propias de este tipo de software de demostración. PV*SOL® V2.6 como cualquier software que trabaja con Windows®, posee los menús característicos de los programas que se ejecutan bajo este sistema operativo pero además cuenta con menús propios para el manejo de aspectos técnicos que son los que se resaltan en este artículo.

Entre las principales características que posee este simulador, se puede distinguir la que brinda el comportamiento del sistema fotovoltaico considerando aspectos técnicos, económicos y ambientales. Sin embargo, en esta oportunidad interesa sólo lo referente a los aspectos técnicos, entre los cuales se puede mencionar lo concerniente a las cargas que alimentará el sistema, el dimensionamiento de la batería y del módulo fotovoltaico, así como también, las especificaciones de cómo implementar la instalación del sistema fotovoltaico.

5. Uso del software de aplicación

Se crea un nuevo proyecto, especificando inicialmente si se trata de un sistema conectado a la red o un sistema autónomo, en este caso asumiremos que se trata de una casa de campo y que por ende es autónomo; luego, se dimensiona el sistema completando la información solicitada en la ventana del software que se muestra en Figura 1.

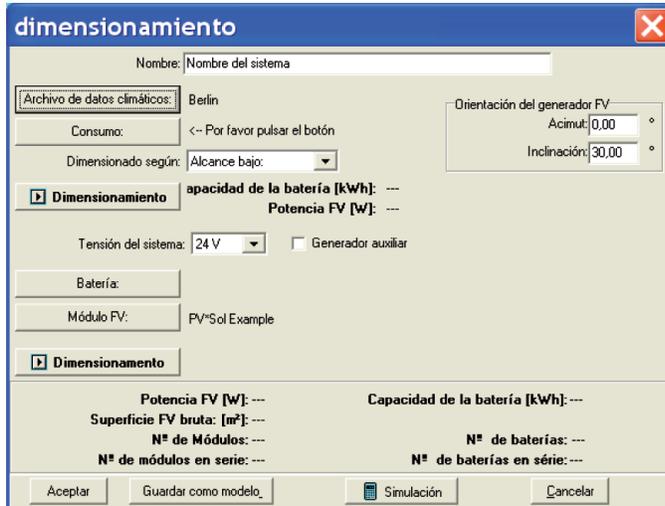


Figura 1. Ventana para dimensionar el sistema

Como se puede apreciar, se solicitan los datos generales del sistema que sirven como base para realizar la simulación. Por tratarse de una versión de demostración, el archivo para datos climáticos que se utilizó fue el de la ciudad de Berlín, por ser una de las ciudades a las cuales se tiene acceso en esta versión. Después de tener los datos climáticos, se debe establecer el consumo de las cargas que conforman la instalación; para ingresar dichas cargas, se pulsa el botón Consumo, que permite editar la base de datos que ya posee el programa para adecuarlo a las condiciones propias de funcionamiento de nuestro sistema. Cabe recalcar, que para este tipo de instalaciones deben ser electrodomésticos de baja potencia para que no demanden tanta energía de la instalación solar. El consumo se establece introduciendo un nuevo electrodoméstico y cargándolo de la base de datos que posee el programa, esto se hace como se muestra en la Figura 2, en la que se muestra que se han agregado tres tipos de carga muy utilizadas en este tipo de casas de campo.

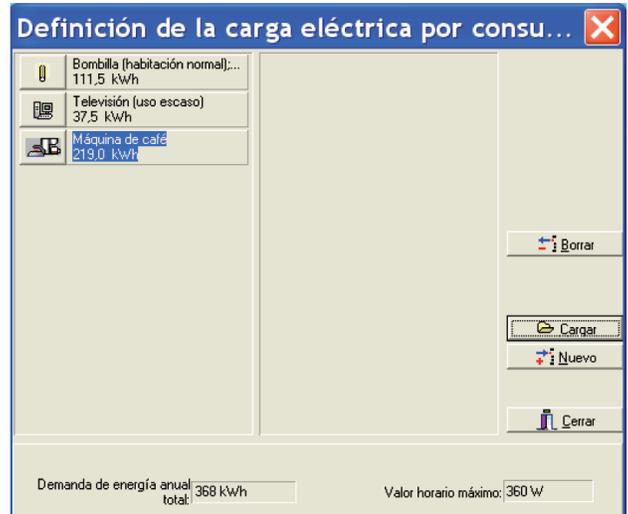


Figura 2. Ventana para ingreso de cargas.

Justo antes de que el software dimensione la capacidad de la batería y la potencia del módulo fotovoltaico, se deben establecer las condiciones ambientales sobre las cuales se estima funcionará el sistema. Es aquí donde poseen gran importancia los datos estadísticos que se tienen en cada país. Para el caso de nuestro país la información sobre la radiación promedio anual dependiendo de la zona del país se presenta en [4], datos que sirven de base para escoger las zonas en las que se pueden implementar proyectos de este tipo ya que se cuenta con las características de los días ya sea a partir de los meses del año o con base a la capacidad de captación de la radiación solar dependiendo si son días despejados o nublados. Relacionado con este aspecto, también se deben ingresar parámetros de acimut e inclinación que tendrá el generador fotovoltaico, ya que al variar estos dos parámetros, la captación de la radiación solar cambia y puede ayudar a que el sistema sea más eficiente. El acimut o azimut de acuerdo a [2], se refiere al ángulo que forma la línea Sur – Norte y la proyección del rayo solar en el plano horizontal. Teniendo claro estos términos e ingresando los datos solicitados por el programa hasta este momento, el software comienza a hacer su trabajo, dimensionando primero la capacidad de la batería y luego la potencia del módulo fotovoltaico.

Después de haber hecho este primer dimensionamiento, se solicita el tipo de batería que se colocará en el sistema, para lo cual, el software posee una base de datos de algunas baterías comerciales como se muestra en la Figura 3 y permite escoger una de ellas con sólo hacer clic en el botón Batería. Se escoge una que trabaje con 24V, esta tensión se escoge deliberadamente por ser la que por defecto muestra el software para el sistema, aunque se puede modificar de acuerdo a la tensión con la que se trabajará en el sistema final.

Cargar archivo

Fabricante: Ver solo arch. de creación propia

Fabricante	Tipo	Capacidad [Ah]	Tensión [V]
Bärenbatterie	Akku 12/240S	180.0	12.0
Deta	12 V Solar 77	72.0	12.0
Deta	12 V Solar 70	65.0	12.0
Deta	12 V Solar 105	95.0	12.0
Deta	12 V Solar 85	80.0	12.0
Deta	12 V Solar 140	125.0	12.0
Deta	12 V Solar 115	105.0	12.0
Deta	12 V Solar 250	230.0	12.0
Deta	12 V Solar 190	180.0	12.0
Sonnenschein	A512/200 A	200.0	12.0
Sonnenschein	A512/25 G5	25.0	12.0
Sonnenschein	A512/140 A	140.0	12.0
Sonnenschein	A512/16 G5	16.0	12.0
Sonnenschein	A512/30 G6	30.0	12.0
Sonnenschein	A512/40 A	40.0	12.0

Aceptar Cancelar

Figura 3. Base de datos de baterías comerciales.

Se escoge la batería Deta® 12 V Solar 250 con capacidad de 250 Ah, aunque se debe observar que la tensión a la cual trabaja es de 12V y el sistema se ha establecido a 24V. En este caso, lo que hace el software es colocar dos baterías de este tipo en serie para trabajar con los 24V estableciendo así, congruencia entre los niveles de tensión. Si el software detecta una incompatibilidad entre la tensión del sistema y la batería, despliega una advertencia de que se están asignando distintos valores de tensión y no permite que se efectúe la simulación. Después de seleccionar la batería, se debe escoger el módulo fotovoltaico comercial a partir de una base de datos que el software tiene destinado para este fin. Sin embargo, la versión de demostración sólo permite escoger el denominado PV*SOL por lo que se trabajará con dicho módulo como se muestra en la Figura 4, para realizar los cálculos y simulación del proyecto.

Cargar archivo

Fabricante: Ver solo arch. de creación propia

Fabricante	Tipo	Potencia [W]	Tensión en MPP [V]	Tensión máx del sistema [V]
pro solar Solarstrom GmbH	pro Casa 160	160.0	22.8	600.0
PSFU GmbH	P 150	150.0	34.2	0.0
PSFU GmbH	P 160	160.0	36.0	0.0
PSFU GmbH	P 80	80.0	18.0	0.0
PSFU GmbH	Example	36.0	18.0	750.0
PVT Austria Photovoltaik Technik GmbH	PVT-210AE-B	210.0	45.2	750.0
PVT Austria Photovoltaik Technik GmbH	PVT-155AE-A	155.0	33.4	750.0
PVT Austria Photovoltaik Technik GmbH	PVT-155AP-A	155.0	33.4	750.0

Aceptar Cancelar Botón selección Importar datos Exportar datos

Figura 4. Base de datos de módulos fotovoltaicos.

En este momento el software posee todos los datos necesarios para dimensionar el sistema total con sólo pulsar el botón destinado para este propósito. Al hacer esto, el programa despliega la información del sistema como se muestra en la parte inferior de la Figura 5.

dimensionamiento

Nombre: Casa de campo Erick

Archivo de datos climáticos: Berlin

Consumo: Demanda anual total: 368,0 kWh

Dimensionado según: Agosto

Orientación del generador FV: Acimut: 0,00° Inclinación: 30,00°

Dimensionamiento capacidad de la batería [kWh]: 3.4 Potencia FV [W]: 207

Tensión del sistema: 12V Generador auxiliar

Batería: Deta 12 V Solar 250

Módulo FV: PV*Sol Example

Dimensionamiento

Potencia FV [W]: 216 Capacidad de la batería [kWh]: 5,5

Superficie FV bruta: [m²]: 2,54

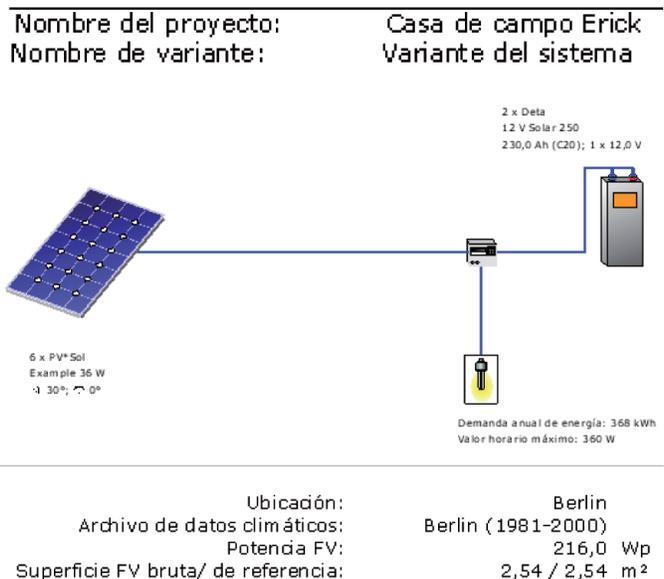
Nº de Módulos: 6 Nº de baterías: 2

Nº de módulos en serie: 1 Nº de baterías en serie: 1

Aceptar Guardar como modelo Simulación Cancelar

Figura 5. Ventana indicando cálculos finales.

Teniendo todos los parámetros, sólo falta realizar la simulación, la cual se hace simplemente con hacer clic en el botón Simulación. El software toma pocos segundos en realizar la simulación y permite visualizar un esquema final del sistema que resulta a partir de los datos que se han ingresado. En dicho esquema se establecen las generalidades del proyecto, así como también, los datos técnicos del funcionamiento del sistema estableciendo si el sistema es capaz de manejar las cargas que como usuario hemos colocado. Para este caso particular, el módulo fotovoltaico posee una potencia máxima Wp de 216W cubriendo solo 125.5 kWh de los 368 kWh totales como se muestra en Figura 6.



Irradiación al generador FV:	2.913,6 kWh
Energía producida por el generador FV:	181,09 kWh
Demanda de consumo:	368,00 kWh
Consumo cubierto por energía solar:	125,50 kWh
Consumo no cubierto :	242,5 kWh

Figura 6. Información técnica del proyecto

Como se puede apreciar, al introducir valores sin considerar criterios técnicos y perfiles de carga más cercanos al comportamiento real, este sistema no satisface las necesidades especificadas por el usuario. En este sentido es importante analizar el porqué no se logra cubrir toda la carga con el sistema fotovoltaico, para lo cual, se necesita profundizar en el consumo asignado a cada una de las tres cargas que conforman el consumo total de la instalación.

Iniciemos con la iluminación. Las características de esta bombilla se obtienen haciendo clic en el ícono de esta carga que se mostró en la Figura 2, al realizar esto, se despliegan las condiciones como se muestran en Figura 7, en la cual, se presenta el uso que se le da a la bombilla. Datos técnicos que interesan son la potencia de 60W, además se aprecia que para los días lunes se enciende de 8 a 11 a.m. durante los doce meses del año, por lo que la demanda de electricidad para estas condiciones se detallan en la Figura 8.

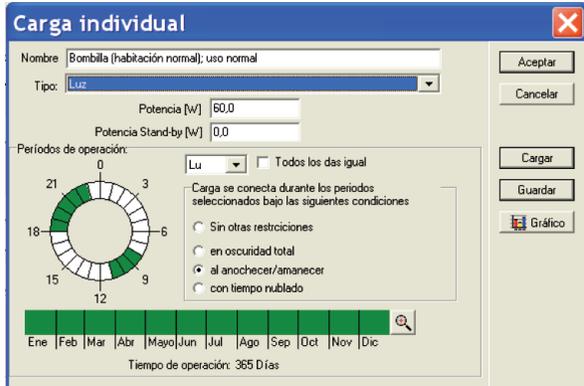


Figura 7. Condiciones de uso para bombilla.



Figura 8. Demanda de electricidad de bombilla.

En el caso de la carga relacionada con el entretenimiento, el televisor, las condiciones de uso se muestran en la Figura 9.

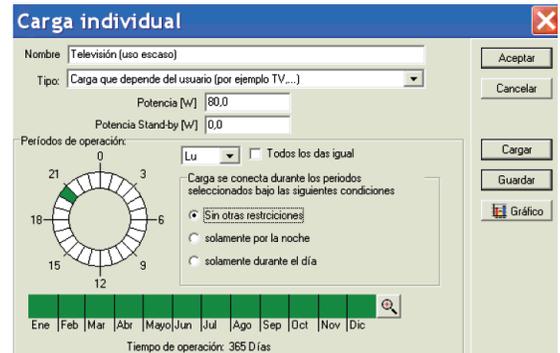


Figura 9. Condiciones de uso para televisión.

Los datos de interés se relacionan siempre con la potencia de 80W, y sólo se utiliza una hora los días lunes, durante todo el año, y al igual que la bombilla posee un gráfico que muestra su comportamiento en la Figura 10.



Figura 10. Demanda de electricidad de televisión.

Es importante mencionar que en el software se puede especificar el consumo de las cargas para cada día de la semana por separado o asignar el mismo uso para los siete días

Para la máquina de café las características se muestran en la Figura 11 y en la Figura 12.

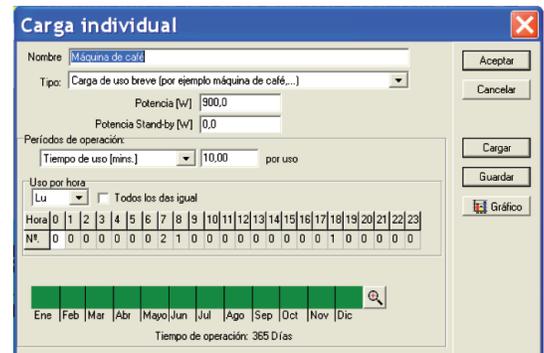


Figura 11. Condiciones de uso para máquina de café.

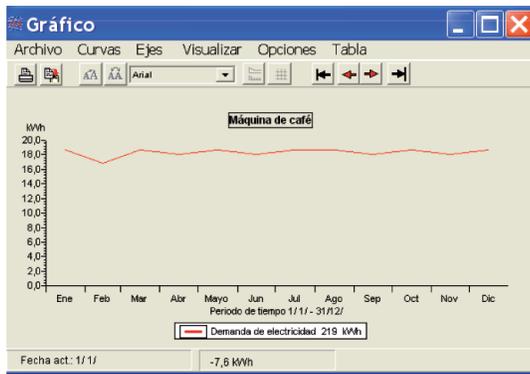


Figura 12. Demanda de electricidad de máquina de café.

Con base a estas condiciones y demandas que se establecieron deliberadamente, se procede ahora a demostrar como se pueden modificar los datos para realizar una simulación más cercana a la realidad, considerando criterios que en la mayoría de los casos son una combinación del sentido común y el conocimiento técnico. A continuación se muestran las medidas a tomar para acercar los datos de la simulación a condiciones reales.

Se debe utilizar una bombilla eficiente con una potencia de 11W y utilizarla sólo desde las 7 a las 10 p.m. Esto se logra marcando sólo tres horas en el gráfico circular que representa las 24 horas del día, y por tratarse de una casa de campo, lo más seguro es que se utilice sólo en época vacacional por lo que al hacer clic sobre cada uno de los meses, se puede establecer que sólo se utilizará en Abril, Agosto y Diciembre. Es más, se permite establecer que días de dichos meses se utilizará la bombilla con sólo oprimir el icono de la lupa que aparece a la derecha de los meses. Al efectuar dichos cambios las condiciones reales de uso de la bombilla se muestran en la Figura 13 y la demanda de electricidad para estas condiciones se muestra en la Figura 14. En la misma figura se aprecia que el perfil de carga aplica por igual a todos los días de la semana.

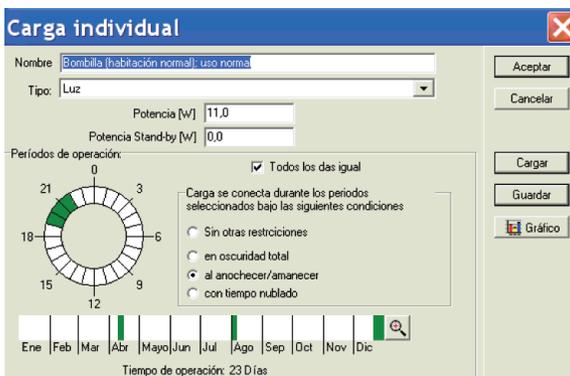


Figura 13. Uso real para bombilla.

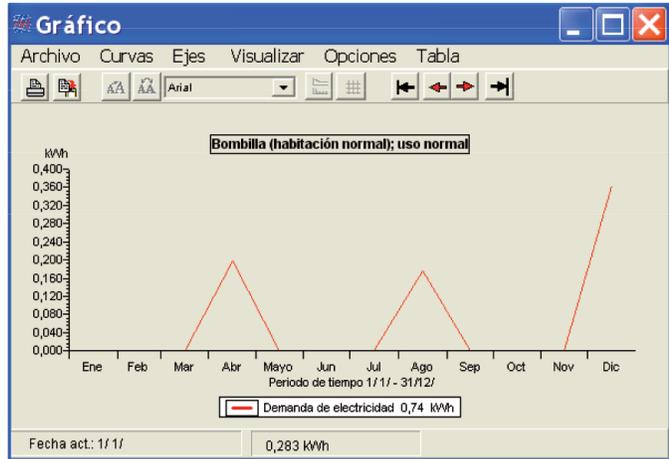


Figura 14. Demanda real de electricidad de bombilla.

Para el caso de la televisión, se hacen cambios similares a los de la bombilla, es decir disminuir la potencia de 80 W a 15 W y utilizarla sólo de 8 a 9 p.m.

También para el caso de la máquina de café se disminuye la potencia de 900W a 100W y el uso será de 5 minutos al día y funcionará durante los mismos días establecidos para las dos cargas anteriores.

Al realizar estos cambios se ejecutan una vez más los procedimientos de dimensionamiento, como se muestra en Figura 15, finalizando con la simulación que proporciona los resultados presentados en la Figura 16.

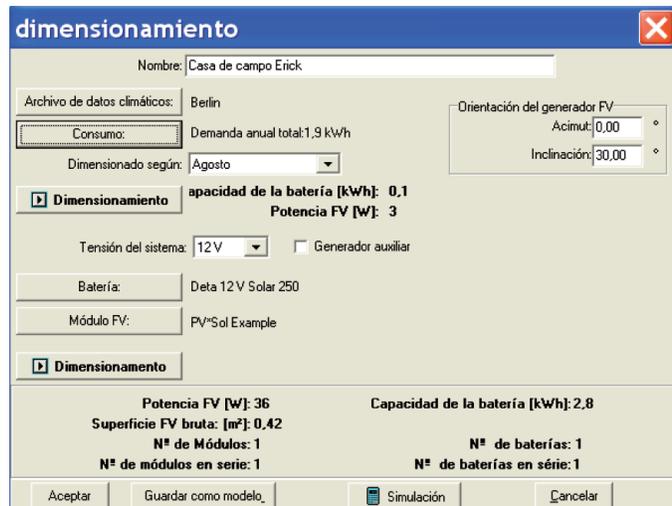


Figura 15. Ventana indicando cálculos reales finales.

Nombre del proyecto:
Nombre de variante:

Casa de campo Erick
Variante del sistema

en el que la participación activa de profesionales que laboran en nuestra Universidad es imprescindible.

Referencias

[1] E. Alcor, *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Sevilla: PROGNSA, 2002.

[2] ASIF, *Sistemas de energía fotovoltaica. Manual del instalador*. Sevilla: PROGNSA, 2002.

[3] _ “News,” *Renewable energy world*, vol. 9, pp. 13-31, May-June. 2006.

[4] Sistema Nacional de Estudios Territoriales. SNET. [www.snet.gob.sv.](http://atlas.snet.gob.sv/), 2006 03 02. Radiación solar media anual. Disponible en: <http://atlas.snet.gob.sv/snet/?q=node/113>

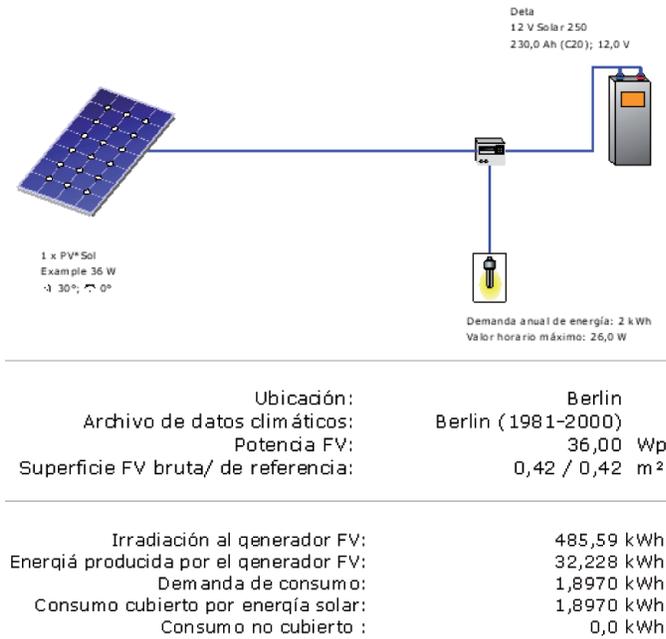


Figura 16. Información técnica del proyecto real.

Como se puede apreciar con sólo tomar medidas pertinentes, el sistema fotovoltaico es capaz de cubrir la totalidad del consumo que requieren las cargas ya que no existe consumo no cubierto.

6. Conclusión

El conocimiento de las tecnologías para generar energía de manera limpia es de gran importancia en áreas de Ingeniería, pero muchas veces dicho conocimiento queda en vagas investigaciones que no terminan por demostrar una aplicación práctica de los mismos. por ello, es necesario incluir en los planes de estudio, el uso y desarrollo de simuladores tanto en la parte de hardware como en la de software que permitan estimar el comportamiento de estos sistemas si es que se aspira a la actualización del conocimiento. Sin embargo, debemos ser realistas y saber que la implementación física de sistemas fotovoltaicos a gran escala, demanda una inversión inicial elevada que es recuperable a mediano o largo plazo, aspectos económicos que en nuestro país son muy difíciles de solventar. por ello, para no pasar por desapercibidos los avances en dichas tecnologías, lo que como ingenieros podemos hacer, es no sólo limitarnos a usar software, sino más bien, desarrollar programas de simulación, ya que como se observa en este artículo, el software de simulación trabaja con datos proporcionados por el usuario y bases de datos propias del programa, información que se puede obtener fácilmente. Sólo queda, entonces, trabajar con programas que se adapten a las condiciones propias de uso en nuestra región, claro está, aún cuando esto involucre un esfuerzo interdisciplinario