

**PVSize – Herramienta Computacional  
para el Estudio de Sistemas Fotovoltaicos**Vera, Luis H.<sup>1</sup> - Krenzinger, Arno<sup>2</sup>*1. Departamento de Ing. Mecánica, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE)**Av. Las Heras n° 727, Resistência, Chaco, Argentina (3500)**Teléfono: 0054-3722-420076, Fax: 0054-3722-420076**E-mail: lh\_vera@yahoo.com.ar, web: http://ing.unne.edu.ar.**2. Laboratório de Energia Solar, Universidade Federal do Rio Grande do Sul**Sarmento Leite n° 425, Porto Alegre, 90050-170, (Rio Grande do Sul) Brasil,**Telefone: 0055-51-3316-6841, Fax: 0055-51-3316-6841**E-mail: arno@mecanica.ufrgs.br, web: http://solar.ufrgs.br.***Resumen**

En las últimas décadas, sistemas de generación de energía, que utilizan recursos renovables, han sido empleados como opción para, en parte, dar solución al problema de abastecimiento de energía eléctrica a las comunidades rurales aisladas y a las áreas remotas. Una opción es la generación de energía eléctrica por medio de módulos fotovoltaicos. Con el objetivo de un mayor entendimiento de estos sistemas, se plantea su estudio a través de la realización de programas que simulen probables situaciones en instalaciones fotovoltaicas.

En este trabajo se presenta un programa computacional capaz de simular sistemas fotovoltaicos autónomos, denominado *PVSize*, escrito en lenguaje de programación Visual Basic 5.0. *PVSize* es capaz de evaluar, para una cierta configuración, el número de baterías y módulos con su correspondiente riesgo de déficit de energía. El programa permite proyectar sistemas de abastecimiento de energía eléctrica para cargas en corriente continua y alterna, para atender elementos de consumo correspondientes a instalaciones eléctricas comunitarias (iluminación pública y de escuelas, bombeamiento de agua, centros de salud, irrigación, telecomunicaciones, etc.) y residenciales (iluminación, radio, televisión, etc.); convirtiéndose en una herramienta importante para proyectar, dimensionar y estudiar sistemas fotovoltaicos autónomos. Resultados obtenidos a través de la simulación de diferentes instalaciones fueron comparados con resultados alcanzados por otros programas, de amplio reconocimiento en el área, obteniéndose valores y comportamientos similares.

**Introducción**

Para evaluar en profundidad los sistemas fotovoltaicos (SF) y el efecto que cada uno de sus componentes pueda presentar hay dos caminos: montar una instalación típica para observaciones experimentales o realizar la simulación computacional del sistema. La simulación computacional juega un papel importante, aun efectuando un monitoreo experimental, ya que permite analizar los diferentes efectos observados y determinar las causas que los producen.

El desarrollo de programas para simulación de SF implica trabajar con modelos matemáticos que cumplan las premisas de poseer cierto índice de precisión y eficacia, permitir apreciar las posibles situaciones que surjan en los sistemas, organizar bancos de datos con elementos del sistema y valores climatológicos de distintos lugares, además de facilitar la comprensión de la instalación proyectada durante la utilización del programa.

En una simulación de SF por computador se usan modelos de flujo energético que muestran cómo los componentes del sistema interactúan entre sí, dando como resultados los puntos de operación en cada instante a través de balances de energía a lo largo del tiempo, estos valores temporales permiten conocer el desempeño del sistema. A través de la simulación numérica es posible estimar el desempeño del sistema bajo diversas condiciones de funcionamiento, haciendo variar parámetros que en tiempo real podrían corresponder a años.

El objetivo de la simulación es, conociendo el comportamiento del sistema, proyectar sistemas que se aproximen a la realidad, evitando sobredimensionar el sistema, a fin de evitar altos costos o, subdimensionarlo para evitar falta de energía o, colocar estas potenciales faltas dentro de límites estipulados.

Es así que el desarrollo de herramientas computacionales para estudiar el comportamiento de los SF se han vuelto de considerable interés, y conduce, en líneas generales al perfeccionamiento de software para simulación de dichos sistemas.

La naturaleza de los resultados obtenidos a partir de un programa de dimensionamiento de SF está limitada por la calidad de los modelos, por la confiabilidad de los resultados y por la disponibilidad de los datos de entrada necesarios. Estos factores fueron considerados a la hora de plantear este trabajo, junto con la intención de producir un software que resulte de fácil acceso a los usuarios no especializados. Teniendo en cuenta lo expuesto nació *PVSize*, software para simulación de SF autónomos escrito en lenguaje de programación Visual Basic 5.0.

Actualmente, en el mercado se puede hallar gran variedad de programas de dimensionamiento y simulación en diferentes lenguajes de programación, precisión y metodologías de cálculo. (Knaupp, 2003)

## **Sistema Fotovoltaico**

Los sistemas fotovoltaicos normalmente están compuestos por tres partes básicas: el generador fotovoltaico, los elementos de acondicionamiento de potencia y protección, y las baterías que almacenan la electricidad generada.

El sistema de generación se compone de células fotovoltaicas responsables de la conversión de energía solar en energía eléctrica.

El subsistema de acondicionamiento de potencia está formado por el controlador de carga, inversor, convertidor y seguidor de punto de máxima potencia (MPPT), que son elementos que controlan la energía enviada al sistema de almacenamiento, constituido generalmente por baterías, y a los puntos de consumo.

### **Estructura de un sistema fotovoltaico autónomo**

Los elementos que conforman un sistema fotovoltaico, pueden ser divididos en varios bloques para su estudio individual. Cada bloque es representado a través de modelos matemáticos que simula el comportamiento del componente en cuestión. Estos elementos integrados y aplicando la metodología de cálculo apropiada permiten obtener un programa completo para dimensionar y simular SF.

La construcción del modelo consiste en desarrollar una ecuación matemática que contiene una serie de parámetros a determinar. Los valores de estos parámetros se establecen según el proceso que tienen lugar en cada componente del sistema.

Los componentes modelados para obtener el software son: módulo fotovoltaico, controlador de carga, batería, inversor, generador de datos horarios de radiación solar y temperatura ambiente, y una interfase amigable para definir los elementos de consumo con su perfil de carga correspondiente. Para cada componente se desarrolló una interfase intuitiva que permite acceder a una base de datos, y que puede ser ampliada en el caso de no encontrarse el modelo deseado.

*PVSize* es un programa gratuito factible de ser obtenido en la página web del Laboratorio de Energía Solar de la UFRGS ([www.solar.ufrgs.br](http://www.solar.ufrgs.br)). Detalles de los modelos matemáticos utilizados, metodología integradora y capacidad aplicativa del software se encuentran en Vera (2004).

### **Metodología de Simulación**

El método de simulación numérica utilizado se basa en la realización de balances energéticos horarios a lo largo de un año, efectuándose un seguimiento del comportamiento del sistema a fin de calcular, en función de la cantidad de módulos y de baterías, la probabilidad de que se produzca un déficit de energía (LLP, *Loss of Load Probability*). Esta probabilidad de pérdida de carga está definida (Ibrahim, 1995) como la relación entre las horas en las que ocurrieron estos déficits, durante el tiempo de funcionamiento de la instalación.

La base temporal escogida se basa en estudios de Notton et al., 1996, por lo que el método de simulación numérica utilizado adopta valores horarios de radiación solar y diferentes perfiles de consumo.

Los métodos de simulación numérica son precisos y ofrecen la posibilidad de mejorar el sistema incorporando modelos más completos para los diferentes componentes, con lo cual se podrán analizar aspectos adicionales al dimensionamiento, como por ejemplo la inclusión de nuevos elementos en el sistema; obtener información sobre el funcionamiento futuro de la instalación y estudio de la confiabilidad del sistema con la variación del dimensionamiento de la instalación en función de.

Generalmente las instalaciones fotovoltaicas autónomas pueden ser dimensionadas a través de métodos relativamente simples, denominados métodos simplificados o intuitivos (Egido y Lorenzo, 1992), que consisten en realizar un balance de energía con valores medios mensuales, durante el mes en el que ocurren las condiciones más desfavorables para la instalación. Se supone que si el sistema funciona en ese mes, funcionará también en los otros meses del año. Sin embargo, estos métodos simples tienen la desventaja de que no permiten conocer el grado de confiabilidad del dimensionamiento y no son capaces de suministrar información sobre el funcionamiento global de la instalación.

### **Proyectos de sistemas fotovoltaicos con el *PVSize***

Con el objeto de mostrar la utilidad práctica del programa se proporcionará un ejemplo. Se considerará un sistema localizado en una zona rural, el que ayudará a analizar el comportamiento de instalaciones típicas para SF y advertir la influencia de incluir un refrigerador en esta instalación, así como verificar el comportamiento del sistema para ciudades diferentes.

Las ciudades escogidas para proyectar el sistema fueron Porto Alegre y Fortaleza, ambas en Brasil. La elección se debe a las diferencias climatológicas que cada una presenta.

Los perfiles horarios y las cargas de la instalación fueron tomadas de instalaciones rurales típicas. (Tolmasquim J., 2004, CRESESB, 2003). Estas cargas corresponden a lámparas, televisor, radio, antena parabólica y grabador. El cálculo de la cantidad estimativa de energía a consumir por los sistemas fotovoltaicos se facilita en aquellas aplicaciones en las que se conocen las características de las cargas y el tiempo de funcionamiento. En otras

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE**  
**Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2004**

aplicaciones, como la electrificación de casas, escuelas o puestos de salud en ambientes rurales, la tarea no resulta tan fácil, ya que intervienen varios factores que afectan al consumo final de electricidad: tamaño y composición de las familias (edades, hábitos, etc), costumbres de los usuarios, capacidad para administrar la energía disponible, etc. En *PVSize*, el consumo es considerado una variable conocida, que será suministrada por el usuario.

La cantidad de variaciones que se pueden lograr en relación a los componentes, tensión, orientación de los módulos, longitud de los cables, caída de tensión en los cables, ubicación del sistema, etc., es muy amplia; aquí se pretende presentar apenas una de estas variaciones

Ejemplo: se pretende electrificar una casa situada en la zona rural del municipio de Porto Alegre (30° latitud sur), residencia de una familia de cuatro personas. Las cargas utilizadas se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Artefactos de consumo considerados en la instalación fotovoltaica para una vivienda rural.

Cargas	Potencia (W)	cantidad	Horas de uso	Consumo diario
Lámparas compactas	9	2	9	161
Lámparas fluorescentes	14	1	2	28
Radio	5	1	5	25
Televisión	40	1	3	120
Carga constante	-	-	-	50
Total diario (Wh/día)				384
Refrigerador	-	-	-	776
Total diario (Wh/día)				1160

Se seleccionaron dos lámparas compactas de 9W, una lámpara fluorescente, un televisor, una carga correspondiente a una radio que consume 5W y una heladera con consumo constante a lo largo del día.

Se define el perfil de consumo para cada aparato, que en este caso, corresponde a dos horas de lámparas encendidas, entre las 11hs y las 13 hs, y dos horas entre 20 hs y 22 hs; valores para una de las lámparas, mientras que la otra lo estará durante tres horas, entre 19 hs y 22 hs, en invierno. La lámpara fluorescente permanecerá encendida entre las 20 hs y 22 hs durante todo el año. Para la radio, el consumo será de 5 horas, entre 6 hs y 8 hs, 18 hs y 21 hs durante el año; y en el caso del televisor, el consumo se estima desde las 12 hs a las 13 hs; y desde las 18 hs a las 21hs. La máxima caída de tensión admitida es de 3% desde las baterías hasta la carga más lejana. Luego se selecciona el tipo de cable, en este caso de cobre; el tipo de instalación (electroducto en pared) y la longitud.

Después de definido el consumo de la instalación, se generan (mediante software) los datos de radiación y temperatura del lugar elegido, para una inclinación de los módulos de 45°, desvío azimutal 0° y albedo = 0.2.

Seguidamente se seleccionan los componentes constituyentes del sistema; para esta instalación se escogieron módulos con una potencia de 50 Wp, 12 volts de tensión nominal y 36 células, un regulador de 20 A de corriente máxima, una batería de 100 Ah de capacidad y 12 volts de tensión nominal.

Antes de simular el sistema diseñado, se realizan una serie de pruebas para instalaciones con consumo menor que 100 Wh/día, obteniéndose valores de LLP = 0 para un módulo y una batería. Estos resultados llevaron a simular instalaciones mayores para que los resultados presentasen diferencias entre si. Para el sistema descrito en este ejemplo, los resultados se muestran en la Tabla 2. Analizándola se puede observar el aumento de consumo provocado por la introducción de un refrigerador en la instalación, pasando de un consumo medio diario de 384 Wh/día a 1160 Wh/día, por lo que corresponderá, para mantener el valor de LLP, triplicar la cantidad de módulos y tener una capacidad de almacenamiento 5 veces mayor (en el caso de este sistema específico).

Analizado los valores de LLP obtenidos para los diferentes casos simulados, se puede afirmar que este sistema es más sensible a la influencia de la variación en la cantidad de módulos que de baterías. Cabe agregar también que no siempre se puede obtener el mismo valor de LLP, ya que las combinaciones de módulos y baterías (manteniendo los valores de potencia y capacidad) no permiten que esto ocurra.

Tabla 1. Tabla con los resultados obtenidos de la simulación de una habitación rural en Porto Alegre.

Sistema	Ciudad	Refrigerador	Tipo de consumo	Nº de Baterías	Nº de Módulos	Horas de falla	Días de falla	LLP
Sistema 1	Porto Alegre	No	CC 12 V	2	3	0	0	0%
		No	CC 12 V	2	2	1387	154	15,8%
		No	CC 12 V	1	3	94	12	1,07%
Sistema 2	Porto Alegre	Si	CC 12 V	10	8	39	6	0,45%
		Si	CC 12 V	10	7	335	40	3,82%
		Si	CC 12 V	8	8	77	11	0,88%

Los valores de la sección de los cables, su longitud, el calibre de fusible recomendado y corriente que transportan son calculados por el programa, y se presentan en forma de tabla.

El comportamiento a lo largo de un año del estado de carga de las baterías, variando la cantidad de módulos y baterías, se presenta en la figura 1.

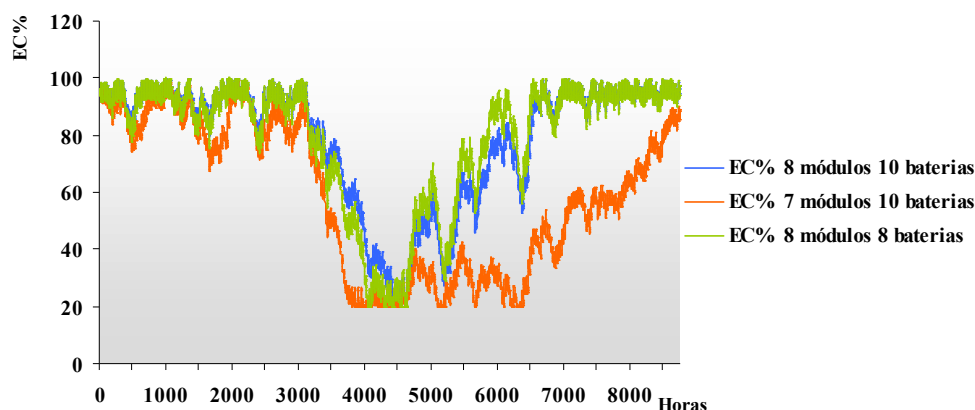


Figura.1. Comportamiento anual del estado de carga de las baterías para diferentes cantidades de módulos y baterías simulados para una vivienda rural en Porto Alegre.

Para instalaciones de similares características, localizadas en Fortaleza (inclinación 10°) los resultados obtenidos con iguales configuraciones muestran fallas en el sistema, obviándose las simulaciones donde no se verifican fallas. En la tabla 3 se presentan los valores que representan dichas fallas.

Tabla 3. Tabla con los resultados obtenidos de la simulación para una vivienda rural en Fortaleza.

Sistema	Ciudad	Refrigerador	Tipo de consumo	Nº de Baterías	Nº de Módulos	Horas de falla	Días de falla	LLP
Sistema 1	Fortaleza	No	CC 12 V	2	1	493	68	5,6%
Sistema 2	Fortaleza	Si	CC 12 V	3	7	43	8	0,5%

Para verificar el comportamiento del programa en su conjunto, se optó por simular diferentes situaciones en varios lugares en Brasil, y comparar los valores obtenidos con los resultados alcanzados por otros programas, desarrollados por entidades con renombre en el área (PVSYSY - [www.pvsyst.com](http://www.pvsyst.com), y Homer - <http://analysis.nrel.gov/homer>).

## Conclusiones

*PVSize* es un software realizado en el Laboratório de Energia Solar da UFRGS, de fácil utilización que auxilia tanto en el dimensionamiento como en la simulación de SF autónomos. Permite seleccionar los diferentes elementos que componen la instalación, o modificar parámetros de los mismos, además de proveer resultados anuales que pueden ser asignados a través de una interfaz gráfica con múltiples herramientas de visualización, o archivados para luego trabajar con estos datos. El programa íntegro se construyó en base a modelos matemáticos conocidos y evaluados.

Los resultados simulados se aproximaron en gran medida a los resultados encontrados por otros programas, demostrando la eficacia de los modelos empleados y la utilidad integradora de la herramienta computacional para la simulación de SF.

En el futuro *PVSize* incrementará una serie de módulos que permitirán nuevos tipos de análisis.

## Referencias

- CRESESB- CEPEL, 2003. "Eletrificação Rural Descentralizada". Rio de Janeiro, Brasil.
- Egido M. y Lorenzo E., (1992), "The Sizing of Stand Alone PV-Systems: a Review and a Proposed New Method". *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Nº 26, pp 51-69.
- Ibrahim O. E. (1995), Sizing Stand-Alone Photovoltaic Systems for Various Locations in Sudan. *Applied Energy*, 52, 133-140.
- Narvarte, L. y Lorenzo, E., (1996), "On de Sizing of Solar Home Systems", EUROSUN'96, Freiburg, Germany.
- Notton G. Muselli, M. Poggi P. e Louche, A. (1996). Autonomous photovoltaic systems: Influences of some parameters on the sizing: Simulation timestep, input and output power profile". *Renewable Energy*, Vol 7, nº 4, 353-369.
- Tolmasquim M et ali., 2004. "Alternativas Energéticas Sustentáveis no Brasil", Relume Dumará, Rio de Janeiro, Brasil.
- Vera, L.H. (2004). "Programa para Dimensionamento e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.