

SOFTWARE DE SIMULACIÓN PARA EL MODELADO DE ENERGÍA DE SISTEMAS AUTÓNOMOS MARINOS¹

Víctor Araña, Francisco Cabrera, Lourde Suárez, Gonzalo Gutiérrez, Carlos Travieso

{varana, fcabrera, lsuarez, ggutierrez, [ctravieso](mailto:ctravieso@cetic.eu)}@cetic.eu

Departamento de Señales y Comunicaciones

Centro Tecnológico para la Innovación en las Comunicaciones (CeTIC)

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Campus Universitario de Taira, Ed. de Telecomunicación. Pabellón B.

35017, Las Palmas de G.C.

Abstract- This paper describes an energy system simulator to evaluate capacity of buoy autonomous power system under different climatic conditions and power subsystems configurations of power subsystems. Generators, accumulators and charges are taken into account to evaluate the charge of battery or SOC (*State Of Charge*). This simulator tries to give us an idea of the energy balance and therefore, the circuit viability and battery availability. The use of a graphic user interface (GUI) and different wizards have simplified the user interaction. It has been simulated the performance of photovoltaic and wind energy systems defined through mathematical models of the system components. The simulator onion-like structure where the GUI surrounds the main simulator core and its algorithms, has created a good platform for circuit test. Additionally, this structure provides facilities to create, access and load data files to characterize climate scenarios, circuits and power consumption scenarios.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas autónomos de aplicación marina están siendo cada vez más usados debido al interés que suscita la posibilidad de trabajar in-situ sobre boyas ancladas o a deriva. Sin embargo, uno de los problemas principales que tiene este tipo de sistemas es la producción de energía para que el sistema funcione de forma continua. Además, el ambiente marino plantea una serie de problemas específicos a la hora de caracterizar y evaluar el comportamiento de los diferentes elementos que componen un sistema de alimentación autónomo. Por ello, resulta bastante útil la ayuda de un software de simulación que disponga de buenos modelos de los componentes [1] y que permita evaluar diferentes configuraciones frente a parámetros estructurales del flotador, distintos escenarios climáticos o posibles escenarios del consumo de energía.

Una de las peculiaridades de los sistemas de alimentación marinos que los hace distintos de los situados en tierra, es el continuo cambio de inclinación y rotación que sufren los paneles solares debido al oleaje y corrientes marinas. Puesto que el rendimiento del panel depende en gran medida de su orientación referida al sol, es necesario realizar una serie de

estimaciones en función de la posición de la boya y de los datos climáticos, que nos permita obtener la eficiencia o rendimiento asociado a los paneles solares.

MODELO DE ENERGÍA

Hay varias referencias que han modelado diferentes sistemas autónomos de energía [2,3]. Sin embargo, la mayor parte de ellos realiza dicho análisis elemento a elemento y no en su conjunto. En un sistema autónomo podemos encontrar generadores, principalmente paneles solares y aerogeneradores, acumuladores o baterías, uno o más reguladores y las cargas o dispositivos encargados de desempeñar la función específica para la que fue diseñada la boya.

La evaluación del estado de carga (SOC) de la batería puede ser un problema de una complejidad relevante dependiendo del tipo de batería y del uso que se haga de ella. En este artículo se ha usado el amperio-hora para poder calcular el SOC. Para obtener su valor en un momento dado, se considera una carga inicial SOC_{10} , el tiempo de la carga o de descarga y el valor de corriente instantánea. La ecuación (1) representa el cálculo de la carga de la batería ideal. El parámetro C_B representa la capacidad de la batería en amperios horas e I_B es la corriente de las baterías, siendo positiva si es entrante y negativa si es saliente. El SOC se debe entender como la relación entre la energía aceptada y la capacidad disponible de la batería. El SOC puede tomar valores entre 0 y 1. Cuando el SOC toma el valor uno, significa que la batería no puede aceptar más energía del sistema, ya que la energía almacenada llena toda la capacidad de la batería. Por el contrario, cuando el SOC es cero la batería no tiene ninguna energía, por lo que sólo puede aceptar energía del sistema.

$$SOC = SOC_{10} + \int_{t_0}^t \frac{I_B}{C_B} dt \quad (1)$$

¹ Este trabajo ha sido financiado por el proyecto Europeo FP7-SEC-01-218290

En ocasiones puede ser útil añadir un parámetro de rendimiento de carga que ponga de manifiesto el hecho de que a medida que la batería llega a su plenitud de carga admite cada vez menos corriente, sin embargo, para el objeto de este artículo será suficiente con el modelo simplificado anteriormente expuesto. A partir de la discretización de la ecuación 1 podemos obtener el valor del SOC en un instante dado según se indica en la ecuación 2.

$$SOC(t) = SOC(t - \Delta t) + \frac{I_B(t) \cdot \Delta t}{C_B} \quad (2)$$

La corriente de la batería es la aportación de cada uno de los elementos que componen el sistema de boya. Los generadores deben proporcionar la corriente que alimenta las cargas conectadas al sistema autónomo de energía y además, proporcionar la que permite la carga de la batería, siendo ésta última positiva. Si los generadores no puedan proporcionar energía suficiente para las cargas, la batería debe proporcionar la corriente restante, siendo en este caso negativa. Por tanto, el SOC de la batería puede expresarse según refleja la ecuación 3. En ella aparece la contribución de la energía solar (I_{GS}) con los M paneles solares [3]-[5], la energía eólica (I_{GW}) con los N aerogeneradores [7] y el consumo de las Q cargas del sistema (I_L).

$$SOC(t) = SOC(t - \Delta t) + \frac{\Delta t}{C_B} \left[\sum_{i=1}^M I_{GS_i}(t) + \sum_{j=1}^N I_{GW_j}(t) - \sum_{k=1}^Q I_{L_k}(t) \right] \quad (3)$$

ESTRUCTURA DEL SIMULADOR

Este simulador intenta darnos una idea del balance energético y por lo tanto, de la viabilidad de la configuración seleccionada bajo unas condiciones dadas. El uso de un interfaz gráfico (GUI) y diversos asistentes simplifican la interacción del usuario.

La estructura del simulador está realizada por capas tal y como se muestra en la figura 1. La interfaz de usuario (GUI) es la capa más externa y es la que rodea al núcleo del simulador "Command Line Simulator" donde sus algoritmos han creado una buena plataforma para poder probar cualquier tipo de sistema dando facilidades para poder crear, cargar o editar los ficheros correspondientes a escenarios climáticos, de circuito y de consumo de energía.

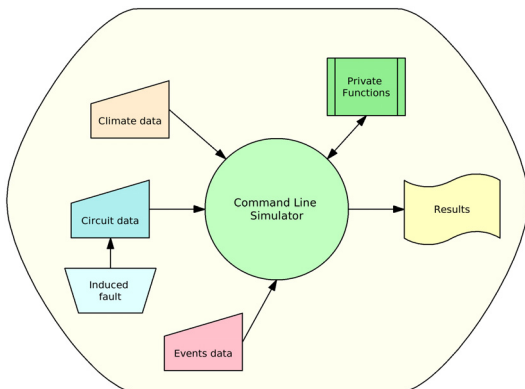


Fig. 1. Bloques Funcionales del Simulador

Las características principales de este simulador son [6]:

- La posibilidad para crear, cargar o editar los escenarios climáticos que afecta a un circuito definido, simulando consumos en eventos determinados.
- La capacidad de representar gráficamente cualquier parámetro contra el estado de la batería de la carga (SOC) a lo largo del plazo de la simulación.
- Un asistente para la introducción de datos con una estructura estandarizada del fichero de datos de XML siguiendo los estándares de los DOM de W3C.
- Un formato de archivo flexible y un diseño interno que dejarán a usuarios caracterizar nuevos elementos y escenarios definidos por el usuario.
- La posibilidad para inducir averías de los elementos para establecer elementos críticos dentro del sistema.
- La capacidad de cargar y guardar los resultados para una comparación visual posterior.

Este simulador se ha desarrollado sobre Matlab R2007b en la plataforma Linux con la distribución OpenSUSE 11.0, pero debe trabajar con diferencias gráficas de pequeña importancia en las plataformas Windows Vista/XP/ME/2000.

Núcleo del Simulador

El bloque principal. Este bloque se alimenta de diferentes ficheros con distintas funcionalidades: un escenario climático, un estructura circuital y eventos sobre diferentes consumos. Además es posible inducir fallos en el comportamiento de los elementos para probar la tolerancia a fallos del sistema. El diagrama de flujo que aparece en la figura 2 muestra los pasos más relevantes.

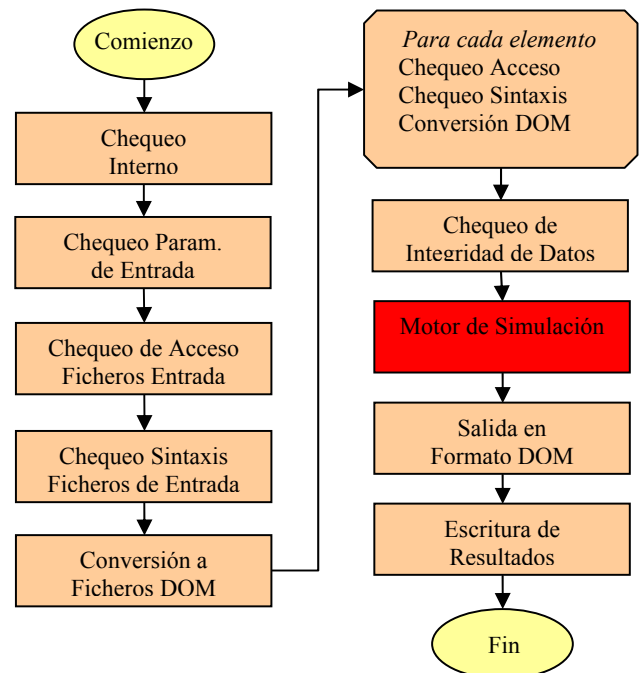


Fig. 2. Diagrama de Flujo del Simulador

Bloque Datos Climáticos

El bloque de datos climáticos proporciona datos referentes a la temperatura, presión, oleaje, velocidad de viento, radiación solar, etc., necesarios para introducirlos en los modelos del simulador. Estos datos pueden ser introducidos en intervalos de minutos.

Bloque Datos del Circuito

El bloque de datos del circuito define el circuito que se quiere simular. Estos archivos contienen la descripción técnica de cada uno de los elementos. Además, tiene la posibilidad para inducir fallos en cada uno de ellos. La estructura de estos archivos tiene una estructura en formato XML. Principalmente, consta de tres tipos de ficheros tales como baterías, generadores y cargas. A modo de ejemplo, se muestra en la figura 3, una descripción de una batería con este tipo de formato.

```
<element>
  <name>fullriver </name>
  <type>battery</type>
  <description>fullriver12v 200AH</description>
<model>
  <constant name='Cb' value='200' unit='W'
description='Battery power capacity' />
  <constant name='SOC0' value='0' unit='% '
description='Initial state of charge' />
</model>
```

Fig. 3. Estructura del Fichero

Bloque de Eventos

El bloque de eventos define un grupo de acontecimientos que se pueden generar para un determinado escenario de consumos de energía en un periodo de tiempo. Este período de tiempo debe coincidir con el bloque de tiempo que se introdujo en el bloque de datos climáticos anterior. Si no coincidiera, se procedería a realizar una interpolación de dichos datos.

Bloque de Funciones Privadas

El bloque de funciones privadas son funciones que residen en directorios con el nombre especial "private". El nombre de estas funciones radican en la visibilidad ya que sólo son accesibles desde las funciones y los scripts M-file.

RESULTADOS

En este artículo se presenta las simulaciones realizadas sobre un escenario en el que se han usado datos del clima por un período de tres días en intervalos de sesenta minutos. Los datos usados para esta simulación se corresponden con datos provenientes del puerto de Arinaga en la isla de Gran Canaria (Figura 4).



Fig. 4. Puerto de Arinaga, Gran Canaria

El sistema simulado, tal y como se muestra en la figura 5, consta de dos paneles solares, un generador de viento, dos baterías y una carga. Cada uno de los elementos es cargado y clasificado en base a sus características técnicas.

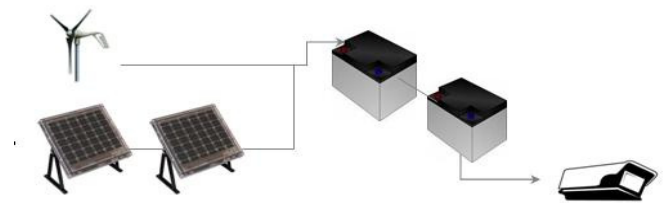


Fig. 5. Ejemplo de Escenario

El visualizador del simulador AESS es un GUI que permite representar gráficamente algunos parámetros de dicha simulación. La figura 6 muestra los parámetros más significativos para la generación de energía como son la velocidad del viento para el comportamiento del aerogenerador y de la radiación solar para los paneles. En el eje izquierdo de ordenadas la velocidad del viento en intervalos de 0.5 m/s para el periodo de tres días.

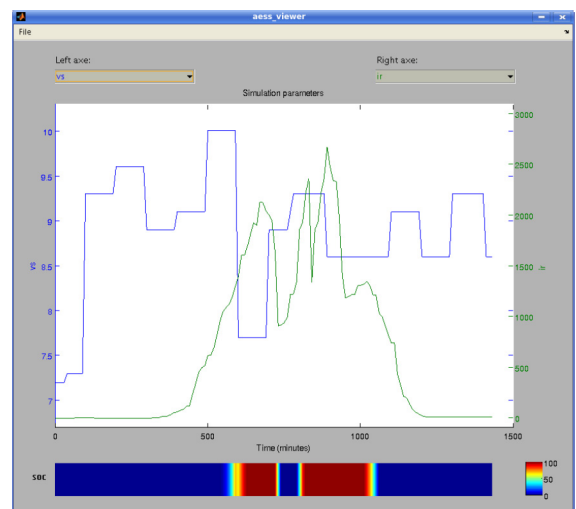


Fig. 6. Resultados AESS

En el eje derecho de ordenadas se representa la radiación solar. Esta gráfica muestra la evolución en función de la hora del día en la que se observa cuatro estados. La zona azul indica que el valor del SOC de las baterías está entre el 0-30% de carga, en azul celeste indica que el estado de carga se encuentra entre el 30-50%, en zona amarilla está entre el 50-90% y en zona roja está al 90-100 %.

CONCLUSIONES

Se ha presentado en este artículo un nuevo software para el análisis de un sistema de energía autónomo marino. Se le ha dotado de la posibilidad de incluir datos para distintos escenarios climáticos y escenarios de consumo. El software facilita la evaluación de un sistema autónomo para distintas combinaciones de baterías, paneles solares, aerogeneradores, reguladores y cargas. Los resultados del SOC son expresados mediante una pantalla gráfica en la que se combinan los elementos del sistema y los escenarios anteriormente definidos. Para facilitar la toma de decisiones, la interfaz de usuario puede representar los resultados de diferentes simulaciones, lo que permite comparar la robustez de una configuración frente a diferentes escenarios climáticos y de consumo, así como seleccionar la mejor configuración para un escenario climático y de consumo dado.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está financiado por el Proyecto Europeo “*Autonomous Maritime Surveillance System*” con código FP7-SEC-01-218290 Los autores también quieren agradecer al *AMASS Consortium* por la colaboración prestada.

REFERENCIAS

1. Strachan, N.P.W.; Jovicic, D.: Dynamic Modelling, Simulation and Analysis of an Offshore Variable-Speed Directly-Driven Permanent-Magnet Wind Energy Conversion and Storage System (WECCS). In OCEANS 2007 – Europe, 1 - 6, June 2007
2. E.Koutroulis and K.Kalaitzakis.: Novel battery charging regulation system for photovoltaic applications. In IEE Proc.-Electr.Power Appl, Vol.151, No. 2, March 2004.
3. Markvart, T., Castañer L.: Practical Handbook of Photovoltaics Fundamentals and Applications, Ed. Elsevier, 2003.
4. Hansen, A.D., Sorensen, P., Hansen L.H., Binder H.: Models for a Stand-Alone PV System, Rio-R-1219 (EN)/SEC-R-12, 2000.
5. Castañer, L.: Photovoltaic Engineering in Solar Electricity. Edited by Markvart T., John Wiley, Chichester, 74 – 114, 1994.
6. Doumbia, M.L.; Agbossou, K.; Granger, E.: Simulink Modelling and Simulation of a Hydrogen Based Photovoltaic/Wind Energy System. In EUROCON, 2007. The International Conference on "Computer as a Tool". 2067 – 2072, Sept. 2007.
7. Quaschnig V., Hanitsch R., Zehner M., Becker G.: PV simulation and calculation in the internet- the ILSE toolbook. In 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2497 – 2500, Glasgow, May 2000.