

# Optimización de sistemas híbridos fotovoltaico-eólico-baterías para abastecer poblados en África

M. Arribas Torcal<sup>1</sup>, R. Dufo-López<sup>1</sup>, J.L. Bernal-Agustín<sup>1</sup>, J. Antonio Domínguez Navarro and J. Mur Amada\*

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Eléctrica Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza  
Calle María de Luna, 3. 50018 Zaragoza (Spain)

\* Centro Universitario de la Defensa. Academia General Militar. Ctra. de Huesca s/n. 50.090 Zaragoza.

tfno:+34 876555124, fax:+34 976 762226, e-mail: [mikeator@gmail.com](mailto:mikeator@gmail.com), [rdufo@unizar.es](mailto:rdufo@unizar.es), [jlbernal@unizar.es](mailto:jlbernal@unizar.es), [jadona@unizar.es](mailto:jadona@unizar.es), [joaquin.mur@unizar.es](mailto:joaquin.mur@unizar.es)

**Resumen.** Existen numerosas zonas a nivel mundial donde la disponibilidad de energía eléctrica todavía resulta dificultosa, principalmente países en vías de desarrollo y fundamentalmente en África. El bajo nivel de electrificación se suele deber a una ubicación en zonas poco accesibles o bien a una falta de infraestructura local.

En torno al 20% de la población mundial no dispone de acceso a la electricidad. Para solventar este problema, se plantea la implantación de sistemas híbridos aislados de generación de energía eléctrica. Esta solución consiste en pequeños sistemas que combinan distintas tecnologías como la eólica y fotovoltaica, además de incorporar un subsistema de acumulación de energía (baterías).

En este trabajo se optimizan estos sistemas con el objeto de encontrar las mejores soluciones de sistemas eólico-fotovoltaico-baterías al menor coste posible cumpliendo unas exigencias mínimas de calidad de suministro.

## Palabras Clave

Fotovoltaica, Eólica, sistemas aislados, sistemas híbridos, optimización, simulación.

## 1. Introducción

El acceso a energía eléctrica con la suficiente fiabilidad y a un coste razonable es necesario para el progreso de la sociedad. La disponibilidad de electricidad permite reducir la pobreza y asegurar una calidad de vida adecuada, mediante el aumento de la productividad y competitividad de la región.

Sin embargo, existen numerosas zonas a nivel mundial donde la disponibilidad de energía eléctrica todavía resulta dificultosa, principalmente países en vías de desarrollo y fundamentalmente en África. El bajo nivel de electrificación se suele deber a una ubicación en zonas poco accesibles o bien a una falta de infraestructura local.

Según las estimaciones de la Agencia Internacional de la Energía, en el año 2010, en torno al 20% de la población mundial permanecía sin acceso a la electricidad en sus viviendas, donde la mayor parte residía en zonas rurales

remotas. Para solventar este problema, se plantea la implantación de sistemas híbridos aislados de generación de energía eléctrica. Esta solución consiste en pequeños sistemas generadores, ubicados en los propios puntos de consumo, que combinan distintas tecnologías para la producción de energía (eólica, fotovoltaica, hidroeléctrica, etc.), además de incorporar un subsistema de acumulación de energía (baterías).

En este trabajo se optimizan estos sistemas (Fig. 1) con el objeto de encontrar una combinación óptima eólico-fotovoltaica-baterías al menor coste posible cumpliendo unas exigencias mínimas de calidad de suministro.

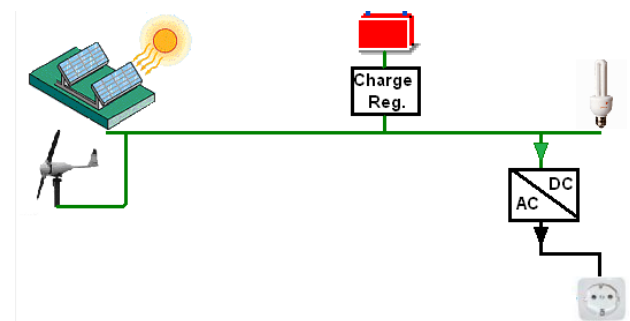


Fig. 1. Esquema del sistema híbrido

## 2. Objetivos

Los objetivos que se plantearon con el trabajo presentado en este artículo fueron los siguientes:

- Obtención de datos de demanda de energía horaria típica en viviendas y poblados de las localizaciones consideradas.
- Recopilación de costes y características de los dispositivos que componen el sistema híbrido (paneles fotovoltaicos, aerogeneradores, baterías, reguladores de carga e inversores).
- Recopilación de datos de irradiación solar y velocidad de viento de las localizaciones consideradas

- El objetivo fundamental es el estudio de optimización de sistemas híbridos de generación de energía mediante fuentes renovables, para la electrificación de poblados aislados de distintas zonas de África

### 3. Consumo de energía eléctrica en las distintas comunidades estudiadas

Se ha realizado el estudio bibliográfico de la demanda de distintas poblaciones aisladas en África.

Se eligieron comunidades aisladas de Malawi, Tanzania, Ruanda, Kenia y Senegal, por disponer de datos fiables de demanda eléctrica.

El consumo eléctrico por persona y día está entre 300 y 800 Wh. Estos valores se corresponden con unos Índices de Desarrollo Humano (IDH) del orden de 0,5 a 0,6 [1].

En la Tabla 1 se muestran los países de las localizaciones estudiadas con las referencias bibliográficas de las que se ha obtenido los datos.

Localización	Consumo (Wh/pers·día)	Referencias
Malawi	778,4	[2]
Tanzania	536,3	[3]
Ruanda	386,9	[4]
Kenia	496	[5]
Senegal	318	[6]

Tabla 1. Consumo en los distintos casos

Con el objeto de uniformizar los estudios y poder comparar entre las distintas localizaciones, se ha considerado para las distintas localizaciones un mismo poblado de 150 habitantes.

### 4. Optimización de los distintos sistemas

El software utilizado para la optimización de estos sistemas es iHOGA [7].

Se ha realizado la optimización del sistema híbrido fotovoltaico-eólico-baterías que suministra energía para un poblado de 150 habitantes en las distintas localizaciones de África consideradas. Se ha exigido para cada caso 4 días de autonomía.

Para todas las localizaciones estudiadas, el sistema óptimo se compone únicamente de paneles fotovoltaicos y baterías (no incluye aerogeneradores). Esto se debe al elevado coste relativo de la producción de energía eléctrica mediante pequeños aerogeneradores frente a la producción fotovoltaica en estas localizaciones en las que la irradiación es alta pero el viento es bajo.

Los resultados económicos de coste total de inversión y del coste actual neto (VAN) son fuertemente dependientes del nivel de demanda de energía de cada caso, como puede observarse en las siguientes figuras.

En la Figura 2 se representan los costes totales del sistema a lo largo de su vida útil (VAN) y costes iniciales, frente a la demanda de energía. Se puede observar cierta variabilidad en los resultados, a pesar de la visible tendencia creciente de los costes respecto al incremento del consumo de energía, como era de esperar.

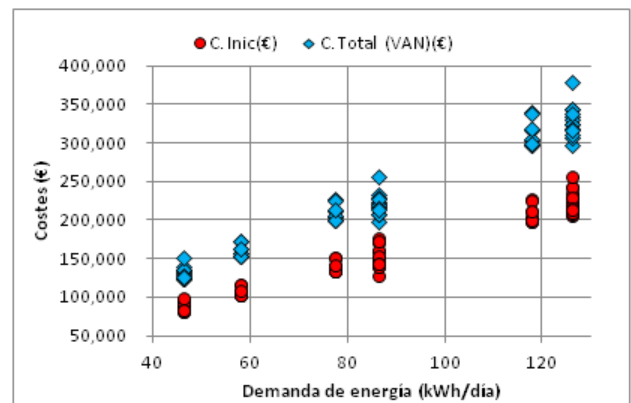


Fig. 2. Coste total (VAN) y coste de instalación para cada uno de los sistemas óptimos encontrados en cada caso

Por el contrario, los costes actualizados de la energía no presentan tendencia alguna, puesto que se mantienen constantes en torno a los 0,3€/kWh para todos los casos (Fig. 3). Sí que existe una ligera variación asociada a las características propias de cada emplazamiento estudiada.

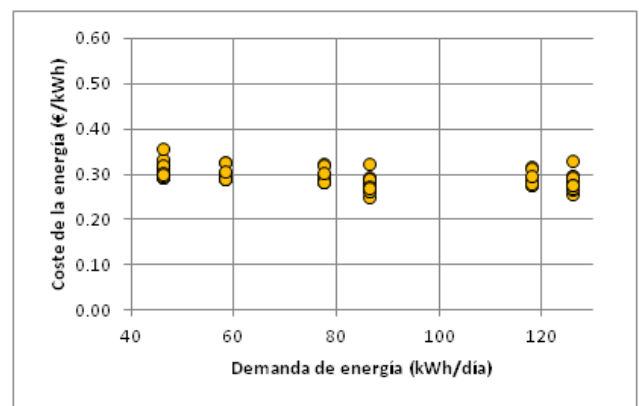


Fig. 3: Coste actualizado de la energía para cada uno de los sistemas óptimos encontrados en cada caso

En las figuras 4 y 5 se muestra, para cada caso estudiado, los valores de la potencia fotovoltaica y de la capacidad de las baterías del sistema óptimo.

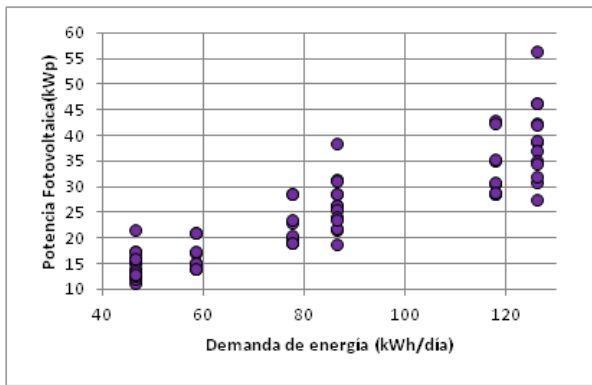


Fig. 4: Potencia fotovoltaica (kWp) de los sistemas óptimos

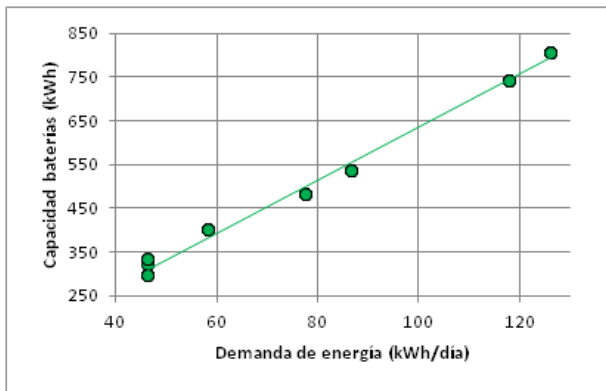


Fig. 5: Capacidad de las baterías de los sistemas óptimos

## 5. Conclusiones

Como conclusión fundamental del trabajo, se destaca que se han estudiado más de 20 poblaciones aisladas de 150 habitantes en distintas localizaciones de África, con distintos consumos, y en todas ellas el sistema óptimo híbrido no dispone de aerogeneradores, es únicamente fotovoltaico-baterías. Esto se debe a la gran irradiación de la zona y al elevado precio relativo de los aerogeneradores.

## Agradecimientos

Este trabajo se desarrolló gracias al Programa de Ayudas a la Investigación para equipos de investigación de la Cátedra de Cooperación al Desarrollo de la Universidad de Zaragoza en su convocatoria de 2011.

El trabajo mostrado en este artículo también se basa en desarrollos de simulaciones y modelos obtenidos mediante el proyecto “Integración de energías renovables en el sector vitivinícola de Aragón”, convocatoria 2011 de Proyectos de Investigación en Medioambiente DGA-La Caixa.

## Referencias

- [1] J.C. Rojas Zerpa “Planificación del suministro eléctrico en áreas rurales de los países en vías de desarrollo: un marco de referencia para la toma de decisiones”, Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza, 2012.
- [2] PACEAA, Centre UR, Développement) IIE (2009) Poverty alleviation through cleaner energy from agro-industries in Africa. Rural Electrification Plan. Lujeri Tea Estate, Malawi.
- [3] PACEAA URC, IED (Innovation Energie Développement). Poverty alleviation through cleaner energy from agro-industries in Africa. Rural Electrification Plan. Suma SHP, Tanzania.
- [4] PACEAA URC, IED (Innovation Energie Développement). Poverty alleviation through cleaner energy from agro-industries in Africa. Rural Electrification Plan. Giciye SHP, Rwanda.
- [5] PACEAA URC, IED (Innovation Energie Développement). Poverty alleviation through cleaner energy from agro-industries in Africa. Rural Electrification Plan. Kipchoria, Nandi Hills, Kenya.
- [6] IEE Microgrids. Promotion of Microgrids and Renewable Energy sources for electrification in developing countries. 2007.
- [7] Software iHOGA. Rodolfo Dufo-López, 2012: [www.unizar.es/rdufo](http://www.unizar.es/rdufo)