

Artículo Original

Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro de energía a plantas desaladoras

Deivis Ávila-Prats, Ramón Alesanco-García, Juan Veliz-Alonso

Recibido el 10 de noviembre de 2011; aceptado el 23 de diciembre de 2011

Resumen

En el siguiente trabajo se modelan los sistemas híbridos con base en las energías renovables, que garanticen las necesidades energéticas en plantas desaladoras de ósmosis inversa, con una capacidad de hasta 50 m³ de producción diaria, a fin de obtener la combinación óptima. Para el procesamiento de los datos se hará uso del software especializado HOMER. Se tomarán como elementos de partida: la demanda eléctrica de una planta desaladora tipo, las especificaciones técnicas de los equipos propuestos, así como los potenciales de radiación solar y las velocidades de viento de la región analizada (Islas Canarias).

Las conclusiones muestran que el sistema híbrido óptimo, desde el punto de vista técnico-económico para el suministro de energía a desaladoras de ósmosis inversa con capacidad de producción de 50 m³/día, será un sistema eólico- diesel, compuesto por: dos aerogeneradores, un banco de baterías y un generador diesel. Se demuestra que la velocidad del viento es la variable termodinámica determinante para la configuración de los sistemas híbridos estudiados, considerando los potenciales energéticos naturales existentes en la región estudiada.

Palabras claves: desalinización, ósmosis inversa, HOMER, Islas Canarias, sistemas híbridos, energías renovables.

Hybrid systems with base in the renewable energy for the energy supply to desalination plants

Abstract

In the following work the hybrid systems with base in the renewable energy are modeled, to compare many different design options based on their technical and economic merits. The energy necessities will be guaranteed in reverse osmosis desalination plants, with a capacity of up to 50 m³ of daily production. The data processing was analyzed using the computer model, HOMER. The departure elements were: the electric demand of the desalination plant, the technical specifications of the equipments, as well as the potentials of solar radiation and the speeds of wind of the analyzed region (Canary Island).

The conclusions show that the best hybrid system, from the technician-economic point of view for the energy supply to a reverse osmosis desalination plants with 50 m³/día of capacity, will be an (eolic-diesel) system, composed by: two wind generators, a batteries bank and a diesel generator. It is demonstrated that the wind speed is the determinant thermodynamic variable for the configuration of the analyzed hybrid systems, considering the existent natural energy potentials in the studied region.

Key words:

desalination, reverse osmosis, HOMER, Canary Islands, hybrid systems, renewable energy.

Introducción

En las últimas décadas el número zonas geográficas que han experimentado escasez de agua se ha incrementado, muchas de ellas teniendo que afrontar el problema tomando como alternativa fuentes “no convencionales” de abasto. La desalación de agua de mar ha demostrado ser una tecnología fiable y económicamente sostenible para la obtención de agua potable a partir de la segunda mitad del siglo XX [1], siendo la única alternativa posible para el desarrollo de algunas regiones del mundo.

En España la desalación de aguas es una técnica consolidada, ya que desde la primera planta desaladora por destilación (*MSF*) instalada en 1964 en Lanzarote hasta hoy día, existen más de 700 plantas que utilizan tanto la tecnología de la destilación como la de membranas, para agua de mar como salobre, con una capacidad instalada superior a los 800 000 m³/día [2].

Canarias ha sido pionera en el uso de las distintas tecnologías empleadas para la desalación de aguas, siendo un punto de referencia importante por su experiencia y conocimientos para otras comunidades del territorio español. Dentro de las tecnologías, la de mayor capacidad instalada es la de membranas de ósmosis inversa (*RO*), la cuál en las últimas décadas ha sufrido un vertiginoso aumento consiguiendo objetivos importantes que afectan al usuario; como es la reducción de costes del metro cúbico del agua desalada y la calidad de suministro.

Según el Centro Canario del Agua (FCCA) se necesitan anualmente alrededor de 490 hm³ de agua [3] para cubrir todas las necesidades hidráulicas existentes en el archipiélago Canario. Mediante la desalación se producen unos 214,6 hm³ de esta agua, lo que representa el 44 % del consumo del total requerida en las Islas. En la actualidad existen unas 328 plantas desaladoras diseminadas por todas las Islas, un 82 % se alimenta de agua de mar y en un 89 % el principio de funcionamiento es la ósmosis inversa [4,5].

La desalación de agua requiere un constante suministro energético, lo cual constituye un serio problema para estas tecnologías, dadas las tendencias actuales al aumento del coste de las energías y la contaminación que provoca la quema de combustibles fósiles para la obtención de las mismas. Hasta el presente solo alrededor de un 1% de las plantas de desalinización existentes se abastecen con energías renovables, dados sus elevados costos [6], pero se considera que en el futuro jugarán un papel importante como fuente de suministro energético para la obtención de agua potable, principalmente en emplazamientos costeros (agua de mar), o de interior (aguas salobres), donde existan potenciales energéticos naturales (viento y sol) suficientes para suplir las necesidades de las plantas desaladoras.

El siguiente trabajo se plantea como objetivo: proponer sistema híbridos óptimos con base en las energías renovables (fotovoltaica-eólica), que garanticen las necesidades energéticas de plantas desaladoras de agua de mar con el principio de ósmosis inversa (*RO*), para una producción diaria de hasta 50 m³ de agua potable. El análisis será realizado en función de la demanda energética requerida por la planta desalinizadora y de los potenciales energéticos naturales existentes en la región estudiada: Islas Canarias.

Materiales y Métodos

En la actualidad existen diversas instituciones y organismos oficiales a nivel mundial que han desarrollado o desarrollan investigaciones y proyectos destinados a mejorar y hacer más competitivos los sistemas de desalación de agua que funcionen en base a energías renovables, ejemplo de esto son los proyectos:

ADU-RES, financiado por la Unión Europea, desarrollado del 2004 al 2006. Su objetivo fue desarrollar sistemas autónomos de desalinización basados en las energías renovables para cubrir necesidades de agua en las regiones rurales áridas del Mediterráneo [7].

ADIRA, financiado por la Unión Europea (EU), cuyo objetivo se baso en el desarrollo del sector del agua en el Medio Oriente y Norte de África, desarrollado del 2003 al 2008 [6].

ProDes, continuidad del proyecto ADU-RES, en el mismo se vinculan 14 organizaciones europeas para apoyar el desarrollo del mercado de desalación con energía renovable al sur de Europa [7, 8]. El proyecto comenzó en Octubre del 2008 y inicialmente se desarrollaría por dos años.

Las instalaciones más utilizadas para la desalación con energía renovable son los sistemas autónomos para satisfacer pequeñas demandas hídras, hasta 50 (m³/día) [1, 9]. Estas unidades pueden llegar a abastecer alrededor de 333 habitantes, tomando un consumo promedio por persona igual a 150 (litros/día). La tecnología empleada en estas plantas es bastante fiable, siendo solo necesario un mantenimiento muy básico. El principio de funcionamiento más utilizado es la ósmosis inversa (*RO*) abastecidas con energía solar o eólica, las cuales se consideran hasta el momento las fuentes renovables más efectivas desde el punto de vista técnico-económico para el abasto de energía a plantas desaladoras [10].

1.1 Tecnologías de desalación.

La desalación o desalinización se define como el proceso de eliminar las sales disueltas en las aguas salinas o salobres, con el objetivo de potabilizarlas para el consumo humano, uso industrial o agrícola [7].

Atendiendo al criterio de separación utilizado, las tecnologías de desalación pueden clasificarse en: térmicas o de membrana. La tecnología de membrana (electrodialisis (ED), ósmosis inversa (RO) puede considerarse relativamente joven comparada con las térmicas (destilación multi-efecto (MED), destilación multi-etapas (MSF), compresión de vapor (VC), pero ha proliferado rápidamente debido a su relativo “bajo consumo energético”. Los procesos con MSF, consumen alrededor de 17–18 kWh_{equiv}/m³, los procesos MED entre 5,7–6,5 kWh_{equiv}/m³ contra los 3,5–5,0 kWh_{elec}/m³ que consume la ósmosis inversa. La ED es muy eficiente cuando se trata de agua salobre (1500-2000 ppm), dado que solo consume alrededor de 1,0 kWh_{elec}/m³ de agua producida. Para salinidades mayores la energía requerida se incrementa con una relación de 1,0 kWh/m³ por cada 1000 ppm de incremento. [1, 6, 11].

La ósmosis inversa es la tecnología de membrana más difundida a nivel mundial, representando el 42 % todos los procesos de desalación instalados hasta el momento y 88 % de los sistemas de membrana existentes [6].

1.2 Sistemas híbridos de generación de energía.

Cuando dos o más sistemas de generación de energía se combinan en una sola instalación para la generación de energía eléctrica, surge lo que se denomina un sistema híbrido. Estos sistemas están compuestos generalmente por fuentes energéticas renovables y de ser necesario se complementan con grupos electrógenos, dejándolos en la mayoría de los casos solo para funciones de emergencia [12].

En la actualidad más del 62 % de las desaladoras que se abastecen con energía renovable son de ósmosis inversa [6], sistema que requiere de un suministro constante de energía para evitar la degradación de sus membranas. Los sistemas híbridos con base en las energías renovables pudiesen ser la clave para el éxito de este tipo de plantas.

1.3 Software HOMER.

La utilización de programas informáticos especializados para la modelación de sistemas energéticos, proporciona una gran ventaja en cuanto al factor tiempo se refiere. Para la modelización de sistemas híbridos de generación de energía eléctrica para el abastecimiento de plantas desaladoras en las Islas Canarias, se ha seleccionado el software especializado HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*). Este es uno de los modelos de optimización para sistemas híbridos eléctricos con base en energías renovables desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL). HOMER es una útil herramienta capaz de modelar y comparar un sinnúmero de opciones de diseño de sistemas energéticos renovables, basándose en sus cualidades técnico – económicas. En él se pueden evaluar el impacto de cambios en las variables de entrada y proporcionar resultados en forma de tablas y gráficos.

Este software basa su algoritmo de trabajo en tres tareas principales: la simulación, la optimización y un análisis de sensibilidad. El proceso de simulación determina como una configuración particular del sistema, una combinación de diferentes componentes de tamaños específicos y una estrategia operacional que define cómo esos componentes trabajan juntos, se comportaría en una escena dada en un periodo de tiempo. La simulación sirve para dos propósitos. Primero, determina si el sistema es factible. Segundo, estimar los costes a lo largo del ciclo de vida del sistema, realizando la suma algebraica del valor actualizado de todos los cobros y pagos que se han realizados o se van a realizar en el futuro. El procedimiento económico utilizado se conoce como Valor Actual Neto (VAN).

En el proceso de optimización, HOMER simula todas las posibles configuraciones del sistema en busca de la que mejor satisface las necesidades técnicas al menor costo económico posible. El objetivo del proceso de optimización es determinar el valor óptimo de cada variable de decisión que interesa al modelador del sistema.

El análisis de sensibilidad ayuda a evaluar los efectos de inestabilidad o cambios en variables sobre las cuales no se tiene ningún control, tales como: la velocidad del viento o el precio futuro del combustible [13].

1.3.1 Variables de entrada.

Para la modelación de un sistema híbrido con el software HOMER, es necesario realizar la entrada de una serie de variables, las que dependerán del sistema que se desee modelar en sí mismo.

En la figura 1 aparece el diagrama de la propuesta inicial de equipos para la modelación del sistema híbrido, entre los que se encuentran: aerogeneradores, sistemas fotovoltaicos, convertidores, generadores y un banco de baterías. La simulación y optimización se realizará considerando que los sistemas híbridos serán capaces de suplir las necesidades energéticas de diferentes plantas desaladora de ósmosis inversa, asumiendo un consumo energético de $5,0 \text{ kWh}_{\text{elec}} / \text{m}^3$ de agua producida. Es difícil predecir con exactitud el consumo de energía eléctrica real que tendrá una planta desaladora por cada m^3 de agua que produzca, por lo que tomando en consideración que a menores capacidades de producción, los consumos energéticos serán mayores, se toma para la simulación el mayor de los consumos por m^3 de agua que se ofrece en la bibliografía especializada [1, 9].

1.3.2. Sistemas fotovoltaicos.

Para la modelación de los sistemas fotovoltaicos se introducen unos costes por Watts instalado igual a siete dólares y unos valores de potencia entre 0 y 320 kW, lo cual permitirá que el software seleccione la potencia óptima a instalar en cada caso. Los datos de radiación solar se obtienen del sitio Web: NASA *Surface Meteorology and Solar Energy* [15], para una localización en las Islas Canarias de latitud norte igual a $27^\circ 93'$ y una longitud oeste de $15^\circ 38'$ Oeste. El promedio de radiación anual obtenido es de $4,96 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. La radiación solar en el archipiélago a lo largo de todo el año es bastante similar para cualquier punto del mismo, pudiéndose considerar esta variable constante para toda la región.

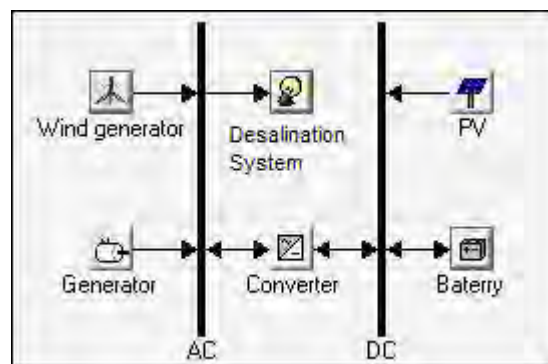


Figura 1. Diagrama de equipos a considerar para el abasto de energía a una desamadora. Fuente: [14]

1.3.3. Sistema eólico

La Tabla 1 muestra las características de los aerogeneradores propuestos para el estudio, siendo sus potencias nominales 2,5 kW y 30 kW. Estos equipos fueron seleccionados dado su disponibilidad en el mercado y sus posibilidades de abastecer las distintas demandas eléctricas de las plantas desaladoras. Las curvas de potencias de las turbinas son parte de la base de datos del software HOMER y se encuentran graficadas en las figuras 2 y 3. Los datos de velocidades de viento fueron obtenidos de la estación meteorológica 600300 de las Palmas de Gran Canaria, localizada en la latitud $27^\circ 93'$ Norte y una longitud $15^\circ 38'$ Oeste [16]. Las velocidades del viento son tratadas por el software HOMER con la función probabilística de *Weibull*, siendo la recomendada por la literatura especializada [17, 18]. La velocidad media de viento en todo el periodo analizado (últimos cinco años) fue de 7,23 m/s.

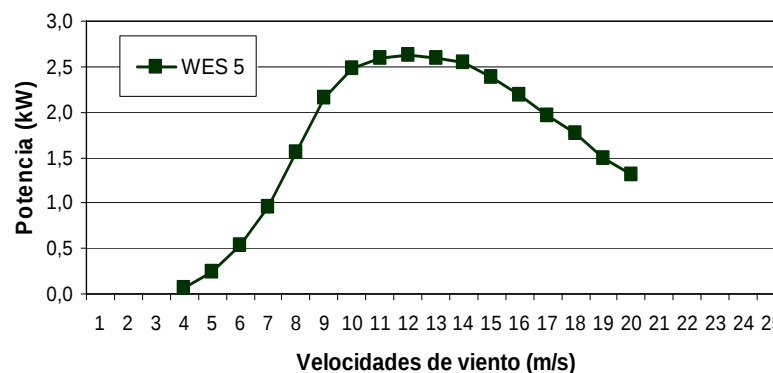


Figura 2. Curvas de potencia del aerogenerador de 2,5 kW (WES 5). Fuente: [19]

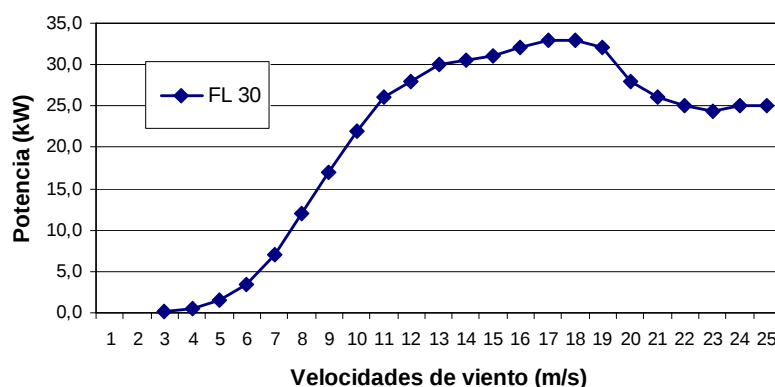


Figura 3. Curva de potencia del aerogenerador de 30 kW (FL 30). Fuente: [20]

Tabla 1. Características comerciales de los aerogeneradores. Fuente: [19, 20]

Specifications	WES 5	FL 30
Nominal Power (kW)	2,5	30
Hub height (m)	12,25	18
Rotor Diameter (m)	5	13
Cut - in wind speed (m/s)	3	3
Cut - out wind speed (m/s)	20	25

La situación anemológica de la zona estudiada está marcada por numerosos factores entre los que se destacan: la orografía, la cercanía al mar, el efecto del relieve en ciertos lugares y la influencia de los vientos alisios. Dado este análisis se puede afirmar que la velocidades de viento en las Islas Canarias son muy variables, factor a tener en cuenta para cualquier estudio posterior.

1.3.4. Baterías

La función prioritaria de las baterías en un sistema híbrido, es la de acumular la energía producida por los sistemas renovables para ser utilizada durante periodos de déficit. El software HOMER presenta en su base de datos varios modelos de baterías. Para la modelación de los sistemas híbridos se seleccionó la batería de 6,0 V con una capacidad nominal de 360 Ah, ampliamente difundidas en el mercado para acumulación de energía proveniente de sistemas renovables. HOMER representará las baterías como un sistema de “dos almacenes”. Un almacén proporcionará la capacidad inmediatamente disponible, mientras el segundo sólo se descarga a una proporción limitada [21].

1.3.5. Convertidor

El convertidor es utilizado para transformar la corriente continua en alterna en un proceso denominado inversión y a su vez la corriente alterna en continua en un proceso llamado rectificación [13]. Se asumirá como rendimiento en los procesos de inversión y rectificación el 90% y 85% respectivamente, tomándose para el modelo valores entre 0 y 30 kW de capacidad para el convertidor.

1.3.6 Generador eléctrico

Un generador eléctrico no es más que un sistema termodinámico el cual transforma la energía química de un combustible en energía eléctrica. HOMER proporciona una serie de generadores con distintos principios de funcionamiento, de los cuales se selecciona el generador diesel de combustión interna. Para la modelación del sistema híbrido se tomará la opción “load following”, en la cual el generador solo producirá la energía necesaria para abastecer el déficit del sistema y no recargará las baterías [13] (las baterías son recargadas con el exceso de energía producida por los sistemas renovables a ciertas horas del día).

Resultados y discusión

Una vez configurados los datos de entrada del sistema, HOMER procede a simular y optimizar todas las combinaciones posibles, comparando los sistemas desde el punto de vista técnico-económico y desechando aquellos que no se adecuan a la carga, haciendo una entrega de los resultados obtenidos.

2.1 Sistema híbrido óptimo para el abasto de energía de una desaladora de 50 m³/día de capacidad.

La figura 4 muestra los resultados optimizados de las posibles variantes propuestas por el software HOMER para el abasto de energía de una desaladora con una capacidad de producción de agua de 50 m³/día y un consumo eléctrico igual a 250 kWh/día (se asume un gasto de 5,0 kWh_{elec}/m³ de agua producida).

Se obtiene que el sistema híbrido óptimo desde el punto de vista técnico-económico para estas condiciones sería el compuesto por: dos aerogeneradores, uno de 30 kW (FL30) y otro de 2,5 kW (WES5) de potencia nominal, un banco de 160 baterías (L16P), un convertidor (Conv.) de 15 kW y un generador (GEN) de 20 kW, el cual trabajaría alrededor de 592 horas al año y tendría un gasto de 2271 litros de combustible. El costo de la energía útil producida por el sistema (COE) sería de 0,378 \$/ kW. Para el cálculo se asume un precio del combustible igual a 0,8 \$/L.

Sensitivity Results

Optimization Results

Sensitivity variables

desalination (kWh/d)

250

Wind Speed (m/s)

7.23

Double click on a system below for simulation results.

Categorized

Overall

	PV (kW)	WES5	FL30	GEN (kW)	L16P	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	GEN (hrs)
		1	1	20	160	15	\$ 223,000	17,216	\$ 443,075	0.378	0.97	2,271	592
	5	2	1	10	200	15	\$ 278,000	13,096	\$ 445,411	0.380	0.99	868	315
			2		300	20	\$ 375,000	16,521	\$ 586,189	0.501	1.00		
	10	5	1		320	15	\$ 387,000	15,861	\$ 589,761	0.504	1.00		
			2	20			\$ 264,000	48,543	\$ 884,544	0.755	0.91	12,422	3,632
	3		2	20		5	\$ 290,000	48,427	\$ 909,064	0.776	0.92	12,177	3,582
	50			20	300	15	\$ 484,000	42,449	\$ 1,026,643	0.877	0.80	8,897	2,214
				20			\$ 14,000	107,371	\$ 1,386,556	1.184	0.00	36,921	8,760
				20	8	5	\$ 21,800	107,892	\$ 1,401,020	1.196	0.00	36,918	8,759
	3			20		5	\$ 40,000	106,991	\$ 1,407,703	1.202	0.06	35,785	8,760

Figura 4. Optimización obtenida en HOMER para un consumo eléctrico de 250 kWh/ día (Fuente: [14])

El elevado precio del kilowatt eléctrico obtenido, solo será factible financiarlo en caso de que la planta de tratamiento de agua estuviese lo suficientemente alejada de la red de distribución eléctrica, siendo más económico financiar este sistema de abastecimiento con base en las renovables que realizar una acometida eléctrica.

2.2. Sistemas híbridos óptimos para desaladoras de diferentes capacidades de producción

Existen variables que pueden influir de forma decisiva a la hora de seleccionar un sistema híbrido para una región determinada. Estas variables pueden tener una naturaleza económica o energética. La figura 5 muestra los resultados optimizados de las distintas variantes propuestas por el software HOMER en función de dos de estas variables, la demanda energética y las velocidades medias de viento. La carga eléctrica horaria para esta modelación varía entre 10 kWh/día para una producción de agua de 2,0 m³/día hasta 250 kWh/día para una producción de 50 m³/día. Las velocidades medias de viento evaluadas se encuentran entre 3,0 y 8,0 m/s.

La relación existente entre los kWh/día consumidos y los metros cúbicos de agua potable producida por las distintas plantas desaladoras se plantea de forma simplificada con la expresión $f(x)=5x$, la cual se grafica en la figura 6.

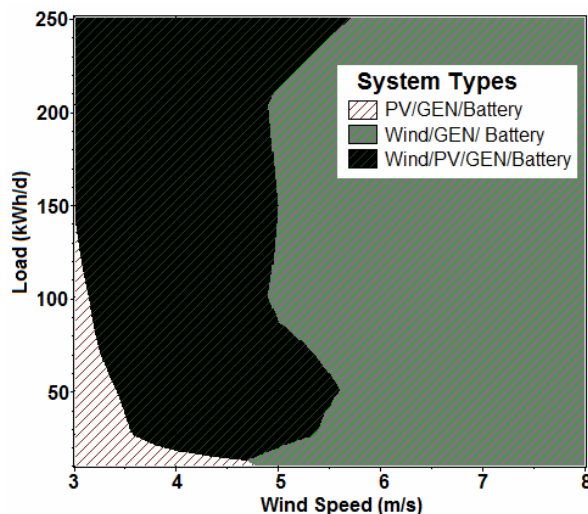


Figura 5. Sistemas híbridos optimizados por HOMER, en fusión de la carga eléctrica y las velocidades medias de viento. Fuente: [13]

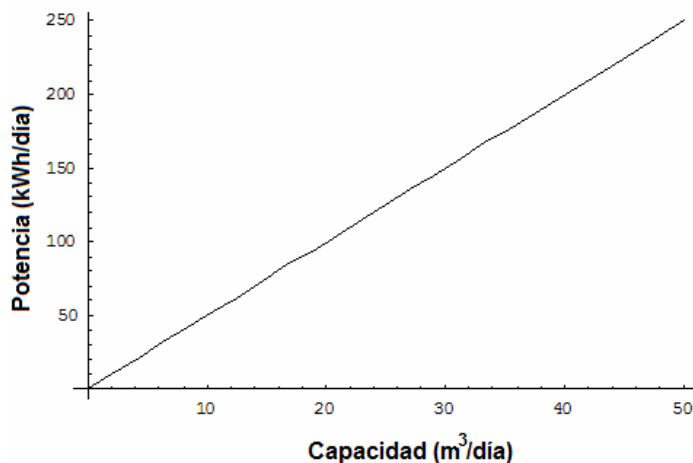


Figura 6. Consumo energético de las desaladoras en función de su capacidad de producción

Los sistemas híbridos propuestos por HOMER para las diferentes variantes de carga eléctrica y velocidades de viento analizadas suman tres en total. Los sistemas formados por: aerogeneradores, generador diesel y baterías (color gris), serían los óptimos para velocidades de vientos elevadas, mayores de 5,7 m/s, aunque en algunos casos puede utilizarse para velocidades cercanas a 5,0 m/s en dependencia de la carga. El color blanco indicaría los sistemas formados por: paneles fotovoltaicos, generador diesel y baterías, siendo los propuestos para cargas eléctricas pequeñas y bajas velocidades de viento. Por último un sistema híbrido formado por: aerogeneradores, paneles fotovoltaicos, generador diesel y baterías, representado por el color negro sería la propuesta para todos los sistemas con cargas eléctricas mayores de 140 kWh/día y velocidades medias de viento menores de 4,9 m/s.

Conclusiones

Tomando en consideración los aspectos analizados sobre los sistemas híbridos para el abastecimiento de energía de plantas desaladoras en las Islas Canarias se llega a las siguientes conclusiones.

1. El sistema híbrido óptimo, desde el punto de vista técnico-económico para el abasto de energía a una desaladoras con capacidad de 50 m³/día y un consumo eléctrico igual a 250 kWh/día, bajo las condiciones de radiación y velocidades de viento analizadas en las Islas Canarias, será un sistema (Eólico- Diesel) compuesto por: dos aerogeneradores, uno de 30 kW y otro de 2,5 kW, un banco de 160 baterías, un generador diesel de 20 kW y un convertidor de 15 kW.
2. Los sistemas híbridos formados por aerogeneradores, generador diesel y baterías, son los óptimos para el abasto de energía de plantas desaladoras cuando las velocidades de vientos son mayores de 5,7 m/s, independientemente de su consumo energético.
3. En plantas de ósmosis inversa de baja producción, en zonas de bajas velocidades de viento, el mejor sistema renovable de abasto de energía será el formado por: paneles fotovoltaicos, generador diesel y baterías.
4. El sistema híbrido con una mayor capacidad de respuesta a las demandas energéticas de las plantas desaladoras sería el formado por: aerogeneradores, paneles fotovoltaicos, generador diesel y baterías, recomendado para cargas eléctricas mayores de 140 kWh/día y velocidades medias de viento menores de 4,9 m/s.

Referencias

1. CIPOLLINA, A.; *et al.* *Seawater Desalination, Green Energy and Technolog.* Berlin: Springer-Verlag, 2009. 303 p. ISBN: 978-3-642-01150-4
2. JAIME, J. "Impacto ambiental en la desalación de aguas". En: *VII Congreso Nacional de Medio Ambiente*. Madrid, España, 2004.
3. HERNÁNDEZ, M. *Datos estadísticos sobre el agua en Canarias*. 2002 [Citado el: 10 de julio de 2010]. Disponible en: <http://www.fcca.es/d11.php>
4. Gobierno de Canarias. *El Agua en Canarias*. 2006 [Citado el: 10 de septiembre de 2010]. Disponible en <http://www.gobiernodecanarias.org/citv/dga/aguacanarias.html>
5. FCCA. *Desalination in the Canary Islands, general overview*. 2006 [Citado el: 12 de septiembre de 2010]. Disponible en: http://www.fcca.es/apartado-documentos/Desalination_in_the_Canary_Islands.pdf
6. ADIRA. *ADIRA handbook, a guide to autonomous system concepts*. 2008. p. 14-20. ISBN: 978-975-561-311-6.
7. ADU-RES. *The ADU-RES Project*. 2004. [Citado el: 16 de septiembre de 2010]. Disponible en: http://www.adu-res.org/pdf/ADU_RES_509093_D1_3_EN.pdf
8. PRODES. *Project Overview*. 2008 [Citado el: 20 de septiembre de 2010]. Disponible en: <http://www.prodes-project.org>
9. BELESSIOTIS V. y DELYANNIS, E. "Water shortage and renewable energy (RE) desalination – possible technological application". *Desalination*. 2001, vol. 139, p. 133-138.
10. VOIVONTAS, D.; YANNOPOULOS, K.; RADOS, K.; *et al.* "Market potential of renewable energy powered desalination systems in Greece". *Desalination*. 1999, vol.121, p.159-172.
11. ANDRIANNE, J. y ALARDIN, F. "Thermal and membrane processes economics: Optimized selection for seawater desalination". *Desalination*. 2002. vol. 153, p. 305-311.
12. Mera J. *Sistemas Híbridos*. 2007 [Citado el: 12 septiembre de 2010]. Disponible en: <http://bieec.epn.edu.ec:8180/dspace/bitstream/123456789/851/8/T10115CAP4.pdf>
13. LAMBET, T.; GILMAN, P. y LILIENTHAL P. *Micropower Modeling System*. 2006 [Citado el: 1 julio de 2010]. Disponible en: <http://www.pspb.org/e21/media/HOMERModelingInformation.pdf>
14. NREL. *Software HOMER*. 2010 [Citado el: 1 julio de 2010]. Disponible en: <https://www.iea.org/stats/surveys/mps.pdf>
15. NASA. *Surface Meteorology and Solar Energy*. 2010 [Citado el: 27 julio de 2010]. Disponible en: <http://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?+s01#s01>

16. METEORED. *Clima en Las Palmas de Gran Canaria*. 2000 [Citado el: 27 julio de 2010].
Disponible en: <http://clima.meteored.com/clima-en-las-palmas-de-gran-canaria-600300.html>
17. BURTON, T.; et al. *Wind Energy Handbook*. England: John Wiley and Sons Ltd., 2001. 617 p.
ISBN 0-471-48997-2
18. UCAR, A. Y BALO, F. "Evaluation of wind energy potential and electricity generation at six locations in Turkey". *Applied Energy*. 2008. vol. 86, p. 64- 72.
19. WIND ENERGY SOLUTIONS. *WES5 Tulipo*. 2010. [Citado el: 3 de septiembre de 2010].
Disponible en: http://cellenergyinternational.co.uk/pdf/WES5_Tulipo_brochure_ds1.pdf
20. FUHRLANDER GROUP. *FL 30, the small turbine with the highest reliability*. 2010. [Citado el: 3 de septiembre de 2010]. Disponible en: http://www.fuhrlaender.de/produkte/downloads/fl30_de_neu.pdf
21. GIVLER, T. y LILIENTHA, L P. *Using HOMER® Software, NREL's. Micropower Optimization Model, to explore the Role of Gen-sets in Small Solar Power Systems*. 2006. [Citado el: 18 julio de 2010]. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy05osti/36774.pdf>

Deivis Avila-Prats^I, Ramón Alesanco-García^I, Juan Veliz-Alonso^{II}.

I. Universidad de La Laguna, Dpto. de Ingeniería Marítima.

Avda. Francisco La Roche, s/n. 38001- S/C Tenerife, España.

Teléfono, Fax: (34) 922 31 98 31.

Email: deivisavila@yahoo.es , ralesan@ull.es

II. Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", Autopista a Varadero, Km. 3. CP: 44740, Matanzas, Cuba

Teléfono: (45) 261013. Email: juan.veliz@umcc.cu