

# ANÁLISIS DE UN SISTEMA HÍBRIDO SOLAR EÓLICO PARA SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

**Alfonso Bachiller Soler, Pedro J. Martínez Lacañina,  
Yolanda Pérez Moreno, Juan J. Cousinou Martínez, Lidia Hernández Molina**

Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Universidad de Sevilla  
Escuela Universitaria Politécnica  
Virgen de Africa,7  
41011 Sevilla  
[abslhm@us.es](mailto:abslhm@us.es), [pedroj@us.es](mailto:pedroj@us.es)

## Resumen

El panorama socioeconómico actual ha propiciado un gran auge en el uso de energías renovables. El importante crecimiento de estas energías, también se debe en gran medida a la preocupación social por los impactos medioambientales de las denominadas energías no renovables.

Hay casos en los que se tiene que acometer el suministro de energía eléctrica a instalaciones donde, o bien no existe una línea eléctrica cercana, o bien su implantación supone un coste elevado. Bajo estas circunstancias, es especialmente adecuado el uso de energías que puedan obtenerse directamente de la naturaleza y en el mismo lugar donde se van a consumir.

En este ámbito, a continuación se describe una instalación que usa la energía del viento y la energía del sol como fuentes primarias de producción de energía eléctrica.

## 1. Introducción

El panorama socio-económico y energético de los últimos años está propiciando un importante desarrollo de las energías renovables en España. Este importante crecimiento se debe, en gran medida, a la preocupación social y estatal por el impacto medioambiental originado por las energías no renovables y a las ayudas económicas gubernamentales (Plan de Fomento de las Energías Renovables).

Por otro lado, hay casos en los que se tiene que acometer el suministro de energía eléctrica a lugares donde, o bien no existe un punto de conexión cercano (línea eléctrica de baja o alta tensión), o bien su implantación supone un coste excesivamente elevado (distancia, impacto ambiental, etc.). Bajo estos supuestos, es necesario plantearse el uso

de energías de las denominadas renovables, que se puedan obtener en el mismo lugar donde se van a consumir.

En este artículo se describe una instalación que utiliza el viento y el sol, como fuentes primarias de producción de energía eléctrica. En concreto, dicha instalación es una granja avícola, clasificada como una actividad industrial de las denominadas *molestas* y que, en consecuencia, ha de estar ubicada en una zona alejada del casco urbano presentando los problemas de abastecimiento de energía eléctrica anteriormente comentados.

Es importante matizar que un sistema híbrido (solar-eólico) puede ser rentable frente a un sistema puramente fotovoltaico porque en un sistema híbrido no es necesario hacer el dimensionamiento de los paneles solares para las peores condiciones meteorológicas.

En términos generales España cuenta con unas condiciones muy favorables para la implantación de las tecnologías que utilizan energía solar y eólica. En el caso particular que se presenta en este artículo, la granja avícola se encuentra emplazada en el término municipal de Vejer de la Frontera (Cádiz), el cual cuenta con unos niveles medios de insolación muy elevados que posibilitan la implantación de paneles solares fotovoltaicos, así como períodos bastantes prolongados de viento con unas velocidades propicias para el uso de aerogeneradores.

## **2. Datos Previos**

El análisis que se plantea consiste en el abastecimiento de energía eléctrica usando conjuntamente las dos tecnologías anteriormente indicadas (paneles fotovoltaicos y aerogeneradores), asegurando el suministro necesario de forma casi ininterrumpida a lo largo de todo el año.

Como la radiación solar y la velocidad del viento no son magnitudes que permanezcan constantes, el uso de ambas tecnologías tiene la ventaja de complementarse a lo largo del año.

Adicionalmente se ha previsto un punto de conexión para un grupo electrógeno para asegurar el suministro de energía eléctrica ante las posibles desviaciones de las condiciones climáticas de diseño.

Cada uno de los elementos que constituyen la instalación de suministro eléctrico se han dimensionado teniendo en cuenta la curva anual de consumo de la granja avícola. Dicha curva se ha obtenido a partir de los consumos de los siguientes componentes:

- \* Climatización.
- \* Alimentación.
- \* Iluminación general y alumbrado de emergencia.
- \* Tomas de corriente (fuerza).
- \* Bombas de agua.

A su vez, estos consumos son los resultantes de las necesidades energéticas (descanso, alimentación y de ventilación) de las aves, las cuales son variables durante el periodo de crecimiento de las mismas. Es decir, el crecimiento de las aves es el que fija las necesidades de climatización así como el número de horas funcionamiento de los motores de los comederos y bebederos. Además se ha tenido en cuenta un factor global de rendimiento del 60 % en concepto de pérdidas Joule en la instalación, autodescarga de la batería, rendimiento del inversor y de la batería. En la figura 1 se muestra la curva de demanda de energía eléctrica de la granja avícola en el periodo de un año.

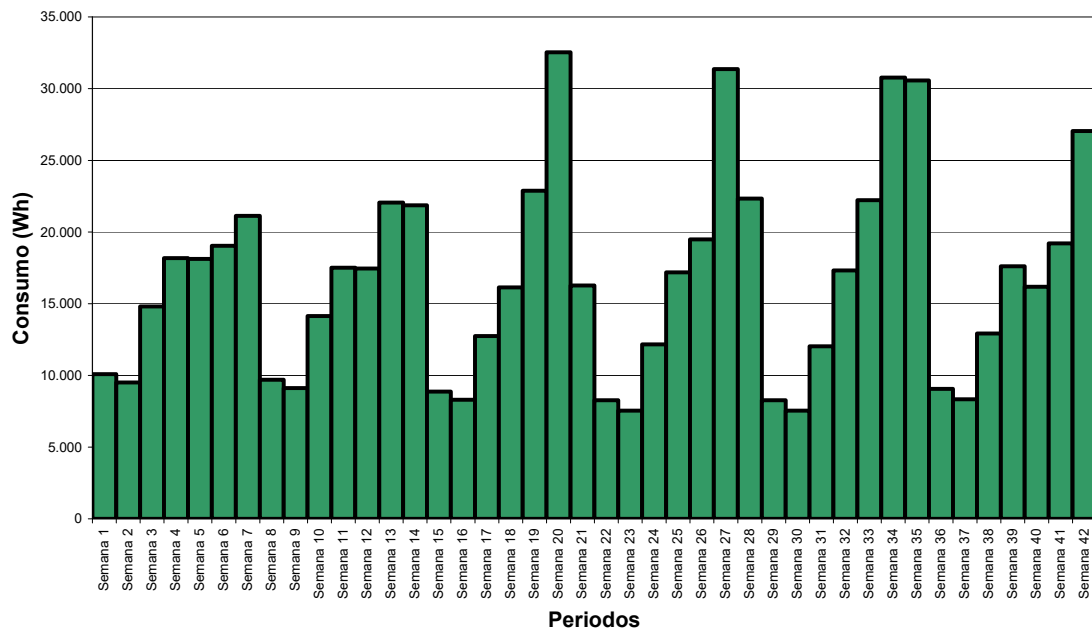


Figura 1. – Evolución anual de la demanda de energía eléctrica

Según se observa en la figura 1, solo se han considerado 42 semanas del año, que son aquellas en las que se produce engorde de la aves. Es usual que entre camada y camada exista un lapso de tiempo de dos semanas dedicadas a la limpieza de la nave. Además, la curva de demanda presenta unos máximos debidos a la edad avanzada del ave y por tanto al aumento de las necesidades energéticas.

### 3. Descripción de la instalación

El número de **aerogeneradores** y de **paneles solares** se han calculado teniendo en cuenta no sólo los datos meteorológicos del lugar sino también la curva de demanda energética a lo largo del año. Ambos factores presentan fluctuaciones importantes y en consecuencia ha sido necesario adaptarlos correctamente para obtener el mayor rendimiento posible de la instalación.

En la figura 2 aparece representado el esquema básico de la instalación, donde se pueden identificar cada uno de los equipos más importantes que intervienen en la conversión de energía.

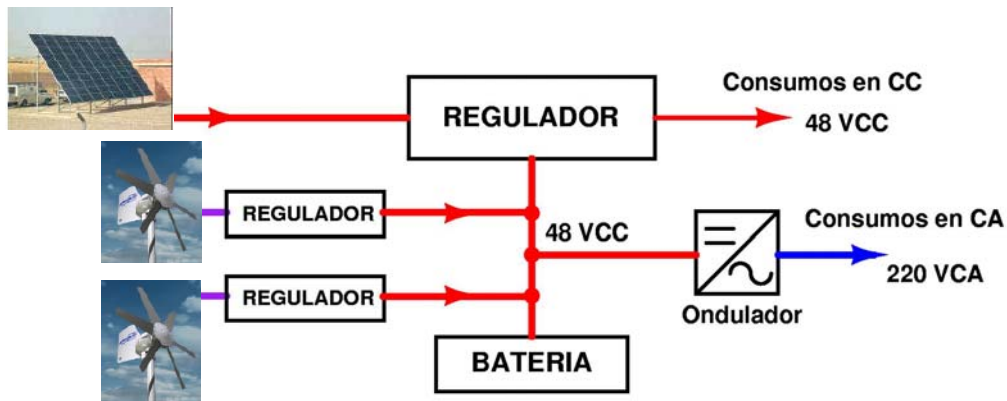


Figura 2. –Esquema básico de la instalación híbrida Solar-Eólica

Si las condiciones de viento y/o de irradiación solar son las adecuadas, los aerogeneradores y/o los paneles fotovoltaicos generarán energía eléctrica que se empleará en satisfacer la demanda eléctrica. Si existe sobrante de producción eléctrica, este será absorbido por la **batería**, a menos que ésta se encuentre plenamente cargada, en cuyo caso se impedirá el paso de corriente mediante los **reguladores de carga**, los cuales además tienen las siguientes funciones:

- Evitar sobrecargas a la batería, que puedan producir daños irreversibles al sistema.
- Impedir la descarga de la batería a través de los paneles y los aerogeneradores en los periodos de escasa radiación solar y viento.
- Asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.

Así pues, un buen sistema de regulación no sólo permite aprovechar al máximo la energía suministrada por las placas fotovoltaicas y los aerogeneradores, sino que también es esencial para garantizar una buena protección y utilización de las baterías.

Parte de la demanda de energía eléctrica se realiza en corriente continua (bombas de agua) mientras el resto se realiza en corriente alterna. En consecuencia, es necesario instalar un **inversor** que convierta la corriente continua de 48 V en corriente alterna de 220 V. Esto permite usar aparatos eléctricos diseñados para trabajar con este tipo de corriente.

En los periodos donde las condiciones climáticas sean desfavorables desde el punto de vista de irradiación solar y viento, la energía eléctrica es extraída de la batería, disminuyendo esta su nivel de carga. El tipo de batería mas adecuado para este tipo de aplicaciones es el de ciclo profundo ya que puede entregar, lenta pero constantemente, su energía en forma continuada durante varios años sin problemas. Puede soportar un promedio de 2000 ciclos, donde cada ciclo es una carga y descarga al 80% de su capacidad.

La capacidad de la batería se ha dimensionado para una autonomía máxima de la instalación de 3 días, considerando la situación más desfavorable, es decir el día en donde se produzca la máxima demanda. Cumpliendo en consecuencia los requisitos exigidos por el organismo competente para poder obtener la correspondiente subvención.

El número de elementos y equipos, así como sus características más relevantes, que conforman la instalación son los siguientes:

- a) 36 paneles fotovoltaicos de una potencia máxima de 110 W/ud a una tensión de 17,4 V. Conectados en nueve grupos en paralelo de 4 paneles en serie cada uno de ellos para obtener los 48 VCC nominales.
- b) 2 aerogeneradores con generador trifásico de imanes permanentes de 1 kW/ud de potencia nominal para una velocidad del viento de  $11 \text{ ms}^{-1}$ . Llevan incorporado su propio regulador, que además de convertir la corriente alterna trifásica en corriente continua, cumplen las funciones propias de un regulador de carga.
- c) 1 batería de plomo ácido estacionaria de 3320 Ah de capacidad nominal, formada por 24 elementos de 2 V cada uno de ellos.

- d) 1 regulador de carga de 48 V de tensión de trabajo, con una intensidad máxima en la línea de carga y en la de consumo de 75 A respectivamente.
- e) 1 inversor de onda senoidal pura de 4,2 kVA. El rango de tensión de entrada es 40÷64 VCC, siendo 220 VCA y 50 Hz la tensión y frecuencia nominal de salida.

En la figura 3 se puede observar la energía máxima que son capaces de suministrar los paneles fotovoltaicos y los aerogeneradores a lo largo del año.

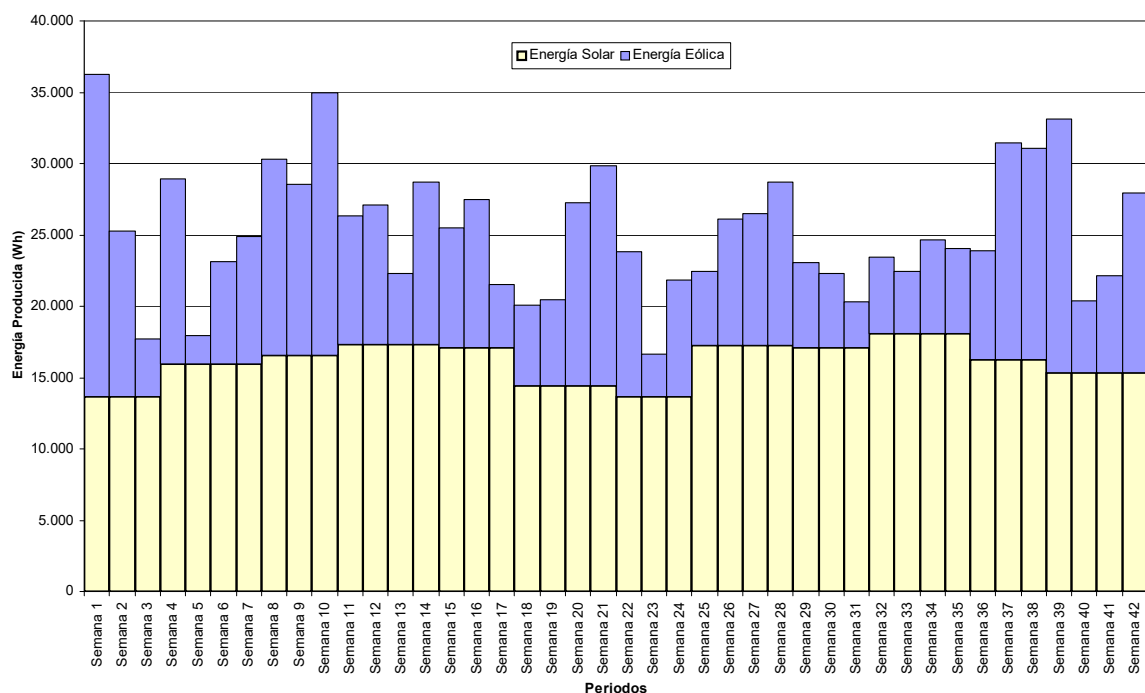


Figura 3. –Evolución anual de la Producción de energía eléctrica

En la figura 4 se compara la energía máxima que se puede obtener de los paneles y de los aerogeneradores frente a la demanda de energía eléctrica. Como se aprecia hay semanas donde la demanda no es satisfecha y por tanto habrá que considerar la energía que proporciona la batería. Como la batería ha sido diseñada para una autonomía de 3 días en las condiciones más desfavorables, implica que con la batería va a ser posible suplir el déficit de energía que se produce en determinadas semanas.

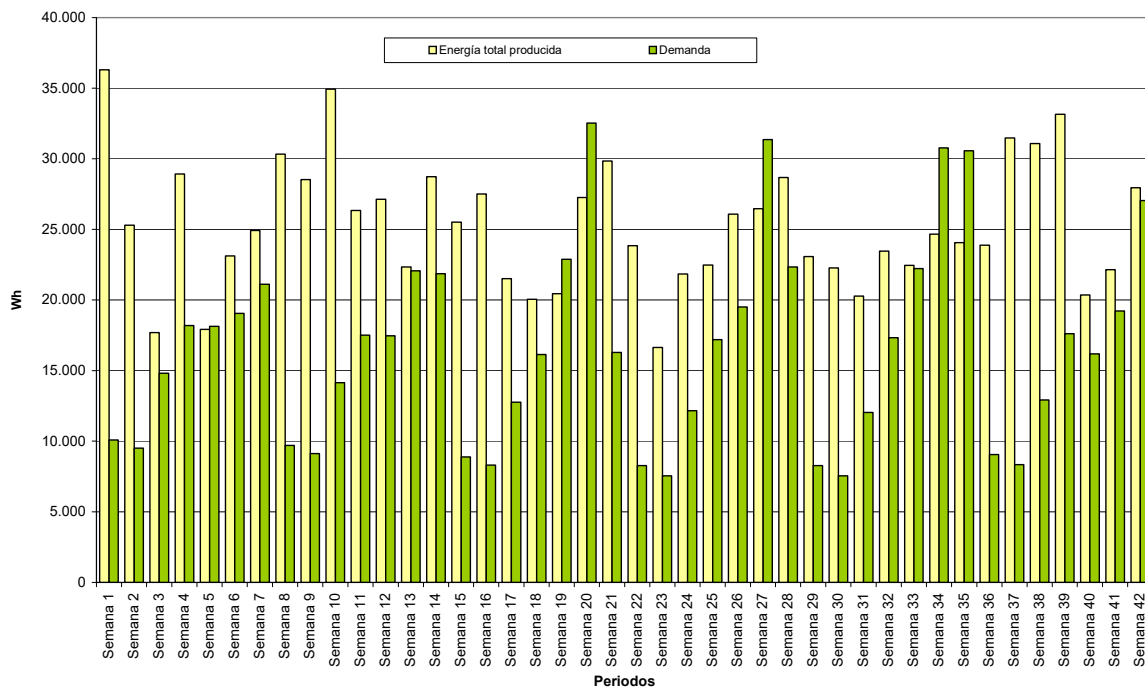


Figura 4. – Evolución anual de la Demanda y de la Producción de energía eléctrica

#### 4. Principio de funcionamiento

Una vez descritos los equipos que forman parte de la instalación, es especialmente interesante analizar su funcionamiento atendiendo al régimen en el que se encuentre batería, que es en definitiva la que impone la tensión en el sistema de corriente continua.

##### 4.1. Funcionamiento en carga

Si la batería no se encuentra totalmente cargada, la tensión en el sistema de continua será el impuesto por los reguladores para cargar la batería. En este régimen, la energía producida por los paneles y/o aerogeneradores se utiliza en satisfacer no solo la demanda de las cargas sino en cargar la batería. Finalizada la carga de la batería, la tensión en el sistema de corriente continua corresponde a la de flotación.



## 4.2. Funcionamiento en flotación

Bajo unas determinadas condiciones de insolación y velocidad de viento y suponiendo que la batería se encuentre en flotación, en todo instante se debe verificar que la energía que suministran paneles y aerogeneradores iguale a la energía que consume la carga más la que consume la propia batería. A partir de esta situación se pueden producir dos circunstancias que se analizan a continuación:

- a) Que aumente la demanda de energía por parte de la carga, en cuyo caso la batería comienza a suministrar energía a la carga, ayudando a los paneles y a los aerogeneradores. La tensión del sistema de corriente continua comenzaría a disminuir como consecuencia de la descarga de la batería.
- b) Que disminuya la demanda de energía por parte de la carga, en cuyo caso existirá un excedente de energía producida por los paneles y aerogeneradores. Esto motiva un incremento de tensión de forma que los reguladores provocan la desconexión del sistema de los paneles y de los aerogeneradores. En esta situación, la batería suministra toda la energía que demanda la carga.

## 4.3. Funcionamiento en descarga

Si las condiciones de insolación y de viento son insuficientes para que los paneles y aerogeneradores produzcan energía eléctrica, entonces la energía que necesita el sistema se obtiene de la batería.

Si la batería alcanzase un alto nivel de descarga y permaneciese en ese estado demasiado tiempo, se produciría el fenómeno de la *sulfatación*, de forma que el sulfato de plomo producido comenzaría un proceso de cristalización irreversible, bloqueando la reacción de carga. Esto haría que la batería se comportase como si hubiera perdido parte

de su capacidad. En este caso, el ondulator y el regulador de carga de los paneles son los encargados de desconectar a la batería del sistema antes de que se produzca el fenómeno descrito. En esta circunstancia límite, la granja se quedaría sin suministro eléctrico, salvo que se conecte un grupo electrógeno en el “punto de conexión” previsto para tal fin.

## **5. Análisis de la rentabilidad de la instalación**

Para que un proyecto empresarial sea viable es imprescindible que las inversiones sean seleccionadas adecuadamente. Hay tres razones fundamentales por las que el futuro propietario de una instalación como la descrita, se decida a acometer la instalación:

- a) Uso de energías renovables y no contaminantes.
- b) Lograr una autosuficiencia respecto a los suministros de energía tradicionales.
- c) Obtener un beneficio económico.

Salvo excepciones, la tercera razón es la que prima a la hora de tomar la decisión. Por tanto, es necesario evaluar la inversión que se produce con la instalación descrita usando la energía del sol y del viento frente a la necesaria si se lleva a cabo con un suministro de energía eléctrica convencional. Como la instalación es de nueva construcción habrá que considerar la inversión diferencial.

En este caso concreto, para acometer un suministro de energía eléctrica convencional es necesario recurrir a la construcción de una línea de alta tensión de unos 4 km aproximadamente con un coste estimado de 39.000 euros. El coste anual de la factura eléctrica sería de 2.045 euros, el cual representa a su vez el ahorro que se produciría anualmente si el propietario se decidiera por la instalación híbrida.

El coste total de la instalación solar eólica con todos y cada uno de los equipos descritos en el artículo asciende a unos 69.000 euros, de los cuales son subvencionados un 40 %,

de forma que el desembolso necesario es de 41.400 euros. Por tanto, la inversión diferencial es de 2.400 euros. El coste del mantenimiento anual se ha estimado en un 2% del total de la instalación solar eólica, es decir 1.380 euros.

Para poder evaluar correctamente y comparar las cantidades que intervienen en el estudio de rentabilidad de una instalación es preciso tener en cuenta que estas tendrán distinto valor en función del momento en el que se generan.

Considerando una tasa de inflación del 2 % y un tipo de interés financiero del 4 %, el **plazo de retorno** de la inversión sería de 5 años aproximadamente.

Otro parámetro importante en la selección de inversiones es la **tasa interna de rentabilidad** (TIR), que no es más que el tipo de interés que tendría que existir para que la inversión realizada, una vez llegado al final de su vida útil, hubiera producido el mismo beneficio que una capitalización con dicho tipo de interés. Estimando una vida útil de la instalación de 20 años, el TIR resultaría del 24 %.

Estos resultados muestran que la instalación híbrida solar eólica propuesta en este artículo puede ser atractiva para su aplicación en la nueva granja avícola, ya que, por un lado a partir del quinto año ya quedaría amortizada, y por otro lado al final de su vida útil estimada su rentabilidad es muy superior a lo que se puede obtener hoy en día en el mercado financiero.

## **6. Agradecimientos**

Hemos de expresar nuestro agradecimiento a la empresa dedicada a la energía solar fotovoltaica “Atersa” por su amable colaboración en la aportación de datos técnicos de los equipos que han intervenido en el estudio descrito.

## 7. Referencias

- [1] *Energías renovables*. Mario Ortega Rodríguez. Ed. Paraninfo.
- [2] *Instalaciones de energía solar*. Censolar. Progensa.
- [3] *Energía solar fotovoltaica aplicada al alumbrado*. Carlos Sierra Garriga. Montajes e instalaciones, 1996
- [4] *Energía fotovoltaica: Toledo PV*. Energía, 1996.