

## ÍNDICE

<b>1. Objeto del proyecto.....</b>	<b>2</b>
1.1. Localización.....	2
<b>2. Alcance.....</b>	<b>2</b>
<b>3. Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>4. Normas y referencias.....</b>	<b>3</b>
4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas.....	3
4.2. Bibliografía.....	5
4.3. Programas informáticos utilizados.....	5
<b>5. Requisitos de diseño.....</b>	<b>5</b>
5.1. Previsión de carga.....	5
<b>6. Condiciones ambientales.....</b>	<b>5</b>
6.1. Datos climatológicos eólicos.....	5
6.2. Datos climatológicos solares.....	7
<b>7. Análisis de soluciones.....</b>	<b>7</b>
<b>8. Descripción de la instalación.....</b>	<b>8</b>
8.1. Sistema eólico.....	9
8.1.1. Ubicación.....	9
8.1.2. Aerogenerador, soporte y regulador.....	9
8.2. Sistema fotovoltaico.....	10
8.2.1. Panel fotovoltaico.....	10
8.2.2. Posición y distribución de paneles.....	11
8.2.3. Regulador fotovoltaico.....	11
8.3. Sistema de acumulación eléctrica.....	11
8.3.1. Batería.....	11
8.4. Inversor.....	12
8.5. Sistema de transporte de energía eléctrica.....	12
8.6. Aparata de protección y maniobra eléctrica.....	13
8.7. Sistema de puesta a tierra.....	13

## 1. Objeto del proyecto

El motivo para la realización de este proyecto es la superación del Proyecto Final de carrera.

El proyecto consiste en el adecuado diseño de un sistema autónomo para el suministro eléctrico de una vivienda aislada, sin conexión a la red nacional. Se deben incorporar al diseño las nuevas tecnologías y las energías renovables. Para ello la energía eléctrica será producida con paneles fotovoltaicos y un aerogenerador, siendo almacenada en baterías.

### 1.1. Localización

El conjunto de instalaciones de este proyecto será ubicado junto a vivienda aislada perteneciente al municipio de Los Barrios, Cádiz (coordenadas geográficas 36.4915, -5.5079).



Ilustración 1- Localización

## 2. Alcance

El proyecto debe incluir el diseño de toda instalación generadora de electricidad hasta el punto de acometida de la vivienda.

Debe haber planificación de consumo de energía teniendo en cuenta el uso.

Debe incluir todos los elementos estructurales para el aerogenerador y los paneles fotovoltaicos.

El proyecto hace uso de pequeño edificio ya construido en el terreno de la vivienda como localización para parte de la instalación.

El suministro eléctrico de la vivienda será únicamente el generado por el sistema eólico-fotovoltaico, sin conexión a la Red Eléctrica de España.

## 3. Antecedentes

Observando la evolución del sector energético hacia un desarrollo de sostenibilidad y unas redes de producción y distribución descentralizadas, distribuidas para evitar pérdidas, la pequeña generación, sobretodo, de energía renovable, se presenta como una opción aconsejable.

Contando con el apoyo de las leyes españolas como el Real Decreto 1699/2011, que regula la conexión a red de instalaciones de producción eléctrica de pequeña potencia; y el Real Decreto 24/2013, que regula la producción eléctrica y autoconsumo.

## 4. Normas y referencias

El proyecto se ha realizado bajo el cumplimiento de la vigente legislación y normativa a día de 14 de noviembre de 2014.

### 4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

Disposiciones legales contempladas:

- Real Decreto 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, que regula la producción eléctrica y autoconsumo.
- Real Decreto 1699/2011, que regula la conexión a red de instalaciones de producción eléctrica de pequeña potencia.

- Real Decreto 1614/2010, de 7 de diciembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica a partir de tecnologías solar termoeléctrica y eólica.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.
- Real Decreto 614/2001, de 8 de junio, sobre disposiciones mínimas para la protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Condiciones impuestas por los Organismos Públicos afectados.
- Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Ordenanzas municipales.

#### Normativas:

- UNE 157001, del 2002, Criterios Generales para la elaboración de Proyectos.
- UNE EN 61215:1997 “Módulos fotovoltaicos (FV) de silicio cristalino para aplicación terrestre. Calificación del diseño y aprobación tipo”.
- REBT-2002: Reglamento electrotécnico de baja tensión e Instrucciones técnicas complementarias.
- NTE-IEP. Norma tecnológica de 24-03-1973, para Instalaciones Eléctricas de Puesta a Tierra.
- UNE 20-460-94 Parte 5-523: Intensidades admisibles en los cables y conductores aislados.
- EN-IEC 60 947-2:1996(UNE - NP): Aparata de baja tensión. Interruptores automáticos.
- EN 60 898 (UNE - NP): Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y análogas para la protección contra sobre intensidades.
- UNE 100-020-89 “Salas de Máquina. Condiciones de ventilación”.
- Código Técnico de la Edificación (CTE). DB-SE-C cimientos.

#### 4.2. Bibliografía

- Pliego de Condiciones Técnicas para Instalaciones aisladas de Red. Departamento Energía solar IDEA, 2002.
- Generación Aislada sistema auxiliares y aislados, Victron Energy.
- Generación Sistemas Aislados, Bornay.
- *Tecnología Solar*, J.L. Rodríguez Amenedo, J.C. Burgos Díaz, S. Arnalte Gómez. Editorial Rueda S.L., 2003.
- *Sistemas Eólicos de producción de energía eléctrica*, Miguel Villarubia López. Primera edición, 2012.
- *Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión*, Narciso Moreno Alfonso, Ramón Cano González. Editorial Thomson, 2001.
- CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas) [www.ciemat.es](http://www.ciemat.es)
- CENER (Centro Nacional de Energías Renovables) [www.cener.es](http://www.cener.es)
- CENSOLAR (Centro de Estudios de Energía Solar) [www.censolar.es](http://www.censolar.es)

#### 4.3. Programas informáticos utilizados

- Software libre online:  
<http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php>  
[http://www.motiva.fi/myllarin\\_tuulivoima/windpower%20web/es/tour/wres/shelter/index.htm](http://www.motiva.fi/myllarin_tuulivoima/windpower%20web/es/tour/wres/shelter/index.htm)  
<http://re.jr.c.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>
- Programas:  
PVSyst 6.3.0  
Microsoft Office 2010  
Autocad 2013

### 5. Requisitos de diseño

El proyecto se diseñará con el fin de abastecer la demanda generada por una vivienda de uso diario, mediante la producción de energía eléctrica de procedencia renovable, con un dimensionamiento que pueda garantizar el suministro sin necesidad de que haya conexión a la red.

### 5.1. Previsión de carga

La previsión de carga se realizará dividiendo el consumo anual en 2 épocas, según el clima predominante: verano (junio, julio y agosto) y resto del año. Se considera que la cocina y el agua caliente funcionan con gas butano, y que en invierno la calefacción se consigue mediante chimenea natural.

Los datos y resultados obtenidos se encuentran en el apartado “1. Consumo eléctrico” de la Memoria de Cálculo.

## 6. Condiciones ambientales

Las condiciones climatológicas de la zona geográfica en cuestión son determinantes, a la hora de evaluar la energía que se puede obtener, en este caso, del viento y de la radiación solar, por medio del sistema eólico y fotovoltaico.

### 6.1. Datos climatológicos eólicos

La información del recurso eólico disponible se obtiene de las bases de datos de CENER (Centro Nacional de Energías Renovables) junto con CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), y Agencia Andaluza de la Energía.

Los datos, cálculos y resultados, se encuentran en el apartado “2. Sistema eólico” de la Memoria de Cálculo.

Los valores de velocidades con los que se han trabajado corresponden a valores medios anuales, por simplificación del cálculo. Un cálculo más exacto se podría realizar haciendo un estudio mensual, lo que conllevaría un trabajo mayor. En este caso se considera suficiente la aceptación anual, debido a que la generación eólica desempeña una función de apoyo al sistema de producción fotovoltaico, y a que las fluctuaciones ( $\pm 2$  m/s) de las velocidades mensuales respecto de las anuales, en esta situación geográfica suponen, representan variaciones mínimas en cuanto a la energía eólica producida final.

## 6.2. Datos climatológicos solares

Los datos de radiación y temperatura utilizados en el proyecto han sido consultados en las bases de datos de IDEA, CENSOLAR e Instituto Andaluz de la Energía.

En este caso se ha trabajado con valores mensuales para afinar más el cálculo.

Los datos, cálculos y resultados, se encuentran en el apartado “3. Sistema fotovoltaico” de la Memoria de Cálculo.

## 7. Análisis de las soluciones

El suministro eléctrico de esta vivienda se ha pensado partiendo de la condición de ser una instalación aislada, ya que dadas las características de la región en la que se ubica la vivienda objeto del proyecto y la distancia a la red general de distribución, así como la no existencia por parte de la Compañía Eléctrica de planes de variación o trazado de nuevas líneas en un futuro cercano, para satisfacer las necesidades de suministro eléctrico no se contará con la cobertura del servicio por parte de la red.

Usualmente, aunque este no es el único caso, este tipo de demandas suele solucionarse con sistema mixto de generación renovable y convencional, variando entre un aerogenerador o un grupo de placas fotovoltaicas, junto con un generador diésel. En este proyecto se opta por una instalación híbrida eólica y fotovoltaica, ya que el desarrollo tecnológico hace que sea una solución viable, y además, y sobretodo, por petición particular del cliente.

La fiabilidad de esta instalación recae en la compensación mutua, entre el sistema eólico y fotovoltaico, de las cadencias que presentan cada uno. Debidas dichas cadencias, en gran parte, a las variaciones atmosféricas producidas en las diferentes épocas del año. En verano, corresponde a la época en que menores velocidades de viento medio hay, y sin embargo se complementa con el mayor aporte de energía fotovoltaica. E inversamente, en los meses de menor aporte de energía solar.

La forma de repartir la producción de energía por parte de los sistemas para satisfacer la demanda es la siguiente. Una vez hecha la previsión de carga, y calculada la energía producida por el aerogenerador escogido, dichas energías se restan siendo la restante la necesaria a



producir por el sistema fotovoltaico. Este método se ha elegido por las circunstancias climatológicas de la zona, que aportan más recurso fotovoltaico que eólico, y por la flexibilidad que aporta el sistema fotovoltaico mediante el mayor o menor número de paneles para ajustar la producción.

## **8. Descripción de la instalación**

La instalación está constituida por un aerogenerador de baja potencia en paralelo con un conjunto de paneles fotovoltaicos, encargados ambos de generar la energía necesaria para el suministro de carga demandado por la vivienda. También consta la instalación de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica, mediante baterías, el cual se cargará con la energía generada sobrante, en determinados momentos, y se encargará de suplir el déficit de energía en los momentos en los que la generada sea inferior a la demandada. La instalación la completa 3 elementos electrónicos: el regulador eólico, el regulador fotovoltaico y el inversor.

El regulador eólico tiene como funcionamiento en primer lugar transformar la energía del aerogenerador generada en alterna, en corriente continua apta para la carga de su banco de baterías. En segundo lugar, el regulador controlará el estado de la batería evitando sobrecargas de la misma y controlando el funcionamiento del aerogenerador.

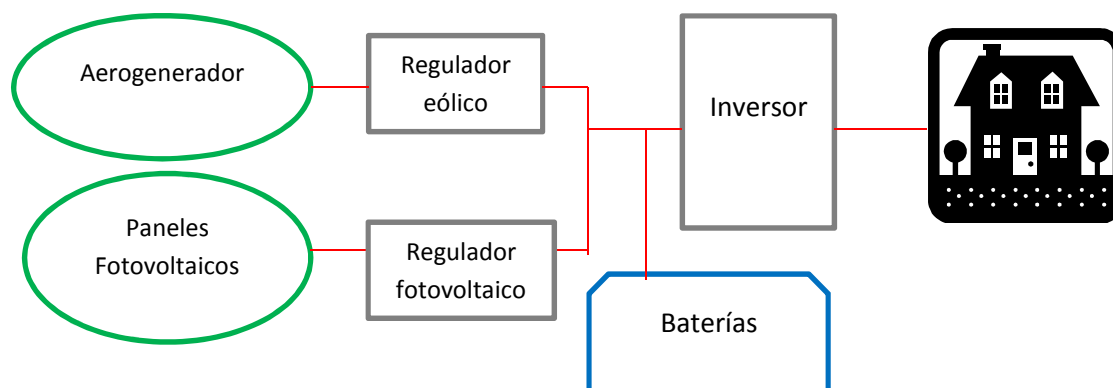
El regulador fotovoltaico no realiza ningún trabajo de conversión, controla el funcionamiento de los paneles y la correcta carga de las baterías.

El inversor es el encargado de convertir la corriente continua que le llega de los generadores y las baterías, a corriente alterna monofásica de 230V y 50Hz con la que se abastece la demanda de la vivienda.

Los reguladores, el inversor y el conjunto de baterías se instalarán en el interior del pequeño edificio, de manera que queden protegidos de la intemperie y se facilite el acceso a los elementos de control.

A continuación, se representa un esquema resumen de la instalación, que en los siguientes apartados de este punto se describirán con más detalle.





## 8.1. Sistema eólico

El sistema eólico consta de un aerogenerador, de su torre soporte con la debida cimentación y de un regulador de carga. Para determinar la energía que puede producirse de origen eólica, en primer lugar se ha hecho un estudio del recurso eólico existente en esa zona geográfica, para posteriormente evaluar el aprovechamiento que el aerogenerador elegido puede hacer.

### 8.1.1. Ubicación

La ubicación del aerogenerador se determina por medio del estudio de la velocidad y frecuencia de dirección del viento, así como del efecto que pudieran ocasionar los posibles obstáculos. Este estudio se encuentra detallado en el apartado “2.1. Ubicación del aerogenerador” de la Memoria de Cálculo.

Finalmente, el aerogenerador está situado 25 metros al Este del pequeño edificio externo a la vivienda, a 20 metros de altura, con orientación Este, como queda representado en el Plano 2. El regulador se instalará en el interior del pequeño edificio.

### 8.1.2. Aerogenerador, soporte y regulador

El aerogenerador seleccionado es el BORNAY 6000, algunos de sus datos técnicos aparecen en la siguiente tabla (*Tabla 1*) la descripción completa, junto con la del regulador, se encuentra en el Anexo 1.

La torre soporte es de celosía de 20 metros de altura, los detalles se encuentran en el apartado “2.5. Torre y cimentación del aerogenerador” de la Memoria de Cálculo.

<b>Nº de hélices</b>	3
<b>Diámetro</b>	4 m
<b>Alternador</b>	Trifásico de imanes permanentes
<b>Potencia nominal</b>	6000 W
<b>Voltaje</b>	48, 120 V
<b>Velocidad viento arranque</b>	3.5 m/s
<b>Velocidad viento potencia nominal</b>	12 m/s

Tabla 1- Aerogenerador

El regulador utilizado será el proporcionado por el mismo fabricante del aerogenerador, Bornay, específico para el aerogenerador seleccionado. Toda la información referida a este elemento se encuentra en el Anexo 1.

## 8.2. Sistema fotovoltaico

Este sistema consta de un conjunto de paneles fotovoltaicos con su correspondiente estructura, una caja de conexiones y un regulador fotovoltaico.

Para el diseño de este sistema se procedido de manera similar que en el sistema eólico, evaluando en primer lugar la energía solar disponible. Este análisis aparece detallado en el apartado “3.1. Energía solar fotovoltaica disponible” de la Memoria de Cálculo. En segundo lugar, teniendo en cuenta las características del panel seleccionado, se determina el número y la distribución de los paneles.

### 8.2.1. Panel fotovoltaico

El panel fotovoltaico seleccionado es el panel monocristalino BlueSolar SPM300-24 de Victron Energy. Algunos de sus datos técnicos aparecen en la siguiente tabla (Tabla 2), la descripción completa se encuentra en el Anexo 2.

<b>Potencia pico (Wp)</b>	300
<b>Tensión nominal (V)</b>	24
<b>Tensión a la <math>P_{m\acute{a}x}</math> (V)</b>	36
<b>Corriente a la <math>P_{m\acute{a}x}</math> (A)</b>	8.06
<b>Corriente de cortocircuito (A)</b>	8.56
<b>Tensión en circuito abierto (V)</b>	45.5

Tabla 2- Panel fotovoltaico

La estructura soporte de los paneles es proporcionada específicamente por el fabricante.

### **8.2.2. Posición y distribución de paneles**

La ubicación de los paneles se realiza sobre el terreno de la vivienda ya que la superficie disponible en el tejado de ésta no es adecuada. La localización de los paneles es de 11 metros al sur del pequeño edificio externo a la vivienda. El generador fotovoltaico lo constituirán un total de 10 paneles que se instalarán con una orientación Sur y una inclinación de 30°. La conexión eléctrica entre ellos será de 2 paneles en serie y 5 en paralelo. Todos los detalles se reflejan en el apartado “3.3.2. Configuración de paneles fotovoltaicos” de la Memoria de Cálculo.

Estarán distribuidos en 2 líneas separadas entre sí 0.753 metros, de 4 y 6 paneles horizontal y verticalmente respectivamente. Toda la información relativa a este diseño queda recogida en el apartado “3.3.3. Distribución de paneles fotovoltaicos” de la Memoria de Cálculo, y en el Plano 3.

### **8.2.3. Regulador fotovoltaico**

El regulador fotovoltaico elegido es el Power Tarom 4055 de Steca, todos los detalles están en el Anexo 3.

## **8.3. Sistema de acumulación eléctrica**

El conjunto de baterías que constituyen el sistema se encontrarán en el suelo del pequeño edificio externo a la vivienda, sobre una bancada de hormigón, como se establece en el Plano 4. Este sistema de acumulación proveerá a la instalación de entre 3 y 4 días de autonomía.

Todos los detalles y los cálculos referentes están en el apartado “4. Sistema de acumulación eléctrica” de la Memoria de Cálculo.

### **8.3.1. Batería**

La batería elegida es BAT412201100 de Victron Energy, todas sus características aparecen detalladas en el Anexo 4, las más importantes en la *Tabla 3*:

<b>Capacidad <math>C_{20}</math> (Ah)</b>	220
<b>Tensión nominal <math>V_{NBat}</math> (V)</b>	12

Tabla 3- Batería

Siendo en total un conjunto de 4 baterías conectadas en serie.

#### 8.4. Inversor

El inversor es el encargado de convertir la corriente continua a alterna monofásica de 230V y 50 Hz para el suministro de la vivienda.

El aparato seleccionado es el Inversor Phoenix 48/5000 de Victron Energy. Las características están en el Anexo 5, algunas de ellas aparecen en la *Tabla 4*.

<b>Tensión continua (V)</b>	48
<b>Tensión alterna (V)</b>	230
<b>Potencia (W)</b>	4500
<b>Rendimiento %</b>	95

Tabla 4- Inversor

#### 8.5. Sistema de transporte de energía eléctrica

El transporte de energía eléctrica de este proyecto se divide en tramos como muestra la *Tabla 5*:

<b>Tramo 1</b>	Aerogenerador – Regulador eólico
<b>Tramo 2</b>	Regulador eólico – Baterías
<b>Tramo 3</b>	Paneles – Caja conexiones
<b>Tramo 4</b>	Caja conexiones – Regulador fotovoltaico
<b>Tramo 5</b>	Regulador fotovoltaico – Baterías
<b>Tramo 6</b>	Baterías – Inversor
<b>Tramo 7</b>	Inversor – Caja general de protección

Tabla 5- Tramos conductores

En la siguiente tabla (*Tabla 6*), se muestra un resumen de los cables seleccionados.

<b>Tramo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Longitud</b>	<b>Sección</b>
1	RV-K 0,6/1 KV	47 m	120 mm <sup>2</sup>
2	RV-K 0,6/1 KV	2 m	50 mm <sup>2</sup>
3	RV-K 0,6/1 KV	10 m	10 mm <sup>2</sup>
4	RV-K 0,6/1 KV	12 m	50 mm <sup>2</sup>
5	RV-K 0,6/1 KV	2 m	50 mm <sup>2</sup>
6	RV-K 0,6/1 KV	2 m	10 mm <sup>2</sup>
7	RV-K 0,6/1 KV	6 m	10 mm <sup>2</sup>

Tabla 6- Conductores

Los cálculos detallados y toda la información relativa al transporte aparecen en el apartado “7. Sistema de Transporte de energía” de la Memoria de Cálculo.

### **8.6. Aparataje de protección y maniobra**

Conforme el REBT y el PCT de IDAE, deben existir protecciones en la instalación frente a cortocircuitos, sobrecargas y sobretensiones. En este caso las protecciones contra sobrecargas y sobretensiones están incluidas en los reguladores respectivos de cada generador y en el inversor, por lo que no sería necesario incluirlas de manera externa. El inversor también incluye protección frente a cortocircuito a la salida, la protección frente a cortocircuito a la entrada del inversor, se incorpora externamente. Por tanto, se instalarán protecciones contra cortocircuito entre los generadores y sus reguladores, y a la entrada del inversor, esta protección será un fusible.

También se incorporan una serie de fusibles entre los paneles y la caja de conexiones, con el fin de que en el caso de un incidente en un panel en concreto se pueda detectar y aislar del resto.

Por otro lado, y con vistas a maniobras, se contempla instalar un interruptor seccionador a la salida de cada generador, pero por la facilidad de la desconexión física de los cables en los reguladores se ha rehusado.

### **8.7. Sistema de puesta a tierra**

Conforme al PCT de IDAE para instalaciones eléctricas aisladas sólo las instalaciones con tensiones nominales superiores a 48V requieren de puesta a tierra. En este caso la instalación es de 48V, por lo que únicamente hay que realizar la puesta a tierra a la torre y estructura soportes del aerogenerador y los paneles respectivamente. Debido a las distancias entre ambos conjuntos de elementos, se instalarán 2 puestas a tierra independientes, pero idénticas. Los detalles de esta instalación se encuentran en el apartado “9. Puesta a tierra” de la Memoria de Cálculo.

El conjunto de baterías también sería susceptible de requerir puesta a tierra de protección para personas, pero debido al nivel de aislamiento de dichos elementos no se realiza.