



**ESCUELA UNIVERSITARIA DE  
INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL  
DE ZARAGOZA**



# **PROYECTO FINAL DE CARRERA**

## **TITULO DEL PROYECTO**

**ESTUDIO DE LAS ALTERNATIVAS PARA EL  
ABASTECIMIENTO DE UN SISTEMA DE RIEGO  
CON ENERGIAS RENOVABLES EN ALCORISA**

**ALUMNO: MARTA CALVO LÓPEZ**

**ESPECIALIDAD: MECÁNICA**

**DIRECTOR: AMAYA MARTÍNEZ GARCÍA**

**CONVOCATORIA: JUNIO 2010**

**INDICE:**

	Pág.
<b>1. MEMORIA DESCRIPTIVA .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 OBJETO DEL PROYECTO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2 ESTRUCTURA DEL CONTENIDO .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 EMPLAZAMIENTO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. PLANTEAMIENTOS GENERALES .....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 RECURSOS .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1 RECURSO SOLAR .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.1 Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.2 La Constante Solar .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.3 Componentes de la Radiación Solar .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1.1.4 Tratamiento de Datos Meteorológicos .....</b>	<b>7</b>
<b>2.1.1.4.1 Estaciones Meteorológicas .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1.1.4.2 Atlas Solares, Tablas y Bases de Datos ...</b>	<b>8</b>
<b>2.1.1.4.3 Modelos Matemáticos .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1.1.5 Radiación Solar para Cielo Claro .....</b>	<b>13</b>
<b>2.1.1.5.1 Irradiancia Directa sobre Cualquier</b>	
<b>Superficie .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1.5.1 Irradiancia Directa sobre Superficie</b>	
<b>Horizontal.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1.6 Radiación Solar para Cielo Cubierto.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1.6.1 Radiación Solar Directa Media Mensual.</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1.6.2 Radiación Solar Media Horaria.....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1.6.3 Radiación Global Horaria Media</b>	
<b>Mensual para Superficie Horizontal .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.1.6.4 Radiación Difusa Horaria Media</b>	
<b>Mensual para Superficie Horizontal ....</b>	<b>18</b>

2.1.1.6.5	<b>Radiación Directa Horaria Media Mensual para Superficie Horizontal .....</b>	<b>19</b>
2.1.1.6.6	<b>Radiación Horaria Media Mensual sobre Superficie Inclinada .....</b>	<b>19</b>
2.1.1.7	<b>Obtención Datos Meteorológicos en Alcorisa ..</b>	<b>21</b>
2.1.1.7.1	<b>Datos Medios Diarios Mensuales .....</b>	<b>21</b>
2.1.1.7.2	<b>Datos Horarios Medios Mensuales .....</b>	<b>27</b>
2.1.1.7.3	<b>Temperaturas Horarias .....</b>	<b>40</b>
2.1.1.7.4	<b>Conclusiones .....</b>	<b>41</b>
2.1.2	<b>RECURSO EÓLICO .....</b>	<b>42</b>
2.1.2.1	<b>Introducción .....</b>	<b>42</b>
2.1.2.2	<b>Tipos de Vientos .....</b>	<b>42</b>
2.1.2.3	<b>Medida del Viento .....</b>	<b>43</b>
2.1.2.4	<b>Potencia del Viento .....</b>	<b>43</b>
2.1.2.5	<b>Tratamiento de Datos Eólicos .....</b>	<b>47</b>
2.1.2.5.1	<b>Atlas Eólicos .....</b>	<b>47</b>
2.1.2.5.2	<b>Estaciones Meteorológicas .....</b>	<b>49</b>
2.1.2.6	<b>Obtención de Datos Eólicos en Alcorisa .....</b>	<b>50</b>
2.2	<b>DEMANDA .....</b>	<b>60</b>
2.2.1	<b>RIEGO EN OLIVOS .....</b>	<b>60</b>
2.2.1.1	<b>Factores de Riego .....</b>	<b>61</b>
2.2.1.2	<b>Programación de los Riegos .....</b>	<b>62</b>
2.2.1.2.1	<b>Riego por Goteo .....</b>	<b>63</b>
2.2.1.2.2	<b>Riego de Baja Frecuencia .....</b>	<b>63</b>
3.	<b>ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA .....</b>	<b>65</b>
3.1	<b>SISTEMA DE BOMBEO SOLAR DIRECTO EN CC. ....</b>	<b>65</b>
3.1.1	<b>INSTALACIÓN DE BOMBEO .....</b>	<b>65</b>
3.1.2	<b>CIRCUITO DE CONTROL .....</b>	<b>66</b>

<b>3.2 SISTEMA DE BOMBEO SOLAR DIRECTO CON SMP .....</b>	<b>68</b>
<b>3.2.1 INSTALACIÓN DE BOMBEO .....</b>	<b>68</b>
<b>3.2.2 EL INVERSOR .....</b>	<b>68</b>
<b>3.2.3 SISTEMA DE CONTROL .....</b>	<b>69</b>
<b>3.3 SISTEMA DE BOMBEO SOLAR CON ACUMULADOR .....</b>	<b>70</b>
<b>3.3.1 INSTALACIÓN DE BOMBEO .....</b>	<b>70</b>
<b>3.3.2 LA BATERIA .....</b>	<b>70</b>
<b>3.4 SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO .....</b>	<b>71</b>
<b>3.4.1 INSTALACIÓN DE BOMBEO.....</b>	<b>71</b>
<b>3.4.1.1 Aerogenerador con Transmisión Rotativa .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4.1.2 Aerogenerador de Transmisión Neumática .....</b>	<b>72</b>
<b>3.4.1.3 Aerogenerador Accionando un Generador</b>	
<b>Eléctrico .....</b>	<b>73</b>
<b>3.4.2 EL AEROGENERADOR .....</b>	<b>73</b>
<b>3.5 SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO-FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>74</b>
<b>3.5.1 INSTALACIÓN DE BOMBEO .....</b>	<b>74</b>
<b>4. HOJA DE CÁLCULO .....</b>	<b>76</b>
<b>5. INSTALACIÓN FINAL .....</b>	<b>79</b>
<b>5.1 ENERGÍA GENERADORA .....</b>	<b>80</b>
<b>5.2 TIPO DE CORRIENTE .....</b>	<b>81</b>
<b>5.3 SISTEMA DE ACUMULACIÓN .....</b>	<b>81</b>
<b>5.4 BOMBA HIDRÁULICA .....</b>	<b>81</b>
<b>5.5 RESULTADOS .....</b>	<b>82</b>
<b>6. FECHA Y FIRMA.....</b>	<b>86</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>87</b>

<b>8. ANEXOS.....</b>	<b>88</b>
<b>8.1 EL EFECTO FOTOVOLTAICO .....</b>	<b>88</b>
<b>8.1.1 INTRODUCCION .....</b>	<b>88</b>
<b>8.1.2 APLICACIONES DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA ..</b>	<b>89</b>
<b>8.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA             FOTOVOLTAICA .....</b>	<b>91</b>
<b>8.1.4 TIPOS DE PANELES EN FUNCIÓN DE LOS             MATERIALES .....</b>	<b>92</b>
<b>8.1.5 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR .....</b>	<b>94</b>
<b>8.1.6 ASOCIACIÓN DE CELULAS .....</b>	<b>95</b>
<b>8.2 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN SOLAR FV .....</b>	<b>97</b>
<b>8.2.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>97</b>
<b>8.2.2 EL MODULO .....</b>	<b>99</b>
<b>8.2.3 EL ACUMULADOR .....</b>	<b>105</b>
<b>8.2.4 EL REGULADOR .....</b>	<b>113</b>
<b>8.2.5 ACONDICIONAMIENTO DE POTENCIA .....</b>	<b>117</b>
<b>8.2.5.1 El convertidor .....</b>	<b>117</b>
<b>8.2.5.2 El inversor .....</b>	<b>118</b>

<b>8.3 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN EÓLICO .....</b>	<b>121</b>
<b>8.3.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>121</b>
<b>8.3.2 FUNCIONAMIENTO .....</b>	<b>122</b>
<b>8.3.3 CONTROL DE POTENCIA .....</b>	<b>124</b>
<b>8.3.4 TIPOS DE AEROGENERADORES .....</b>	<b>127</b>
<b>8.3.5 CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS AISLADOS .....</b>	<b>130</b>
8.3.5.1 Características .....	131
8.3.5.2 Parámetros característicos .....	137
<b>8.4 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN DE BOMBEO .....</b>	<b>139</b>
<b>8.4.1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>139</b>
<b>8.4.2 BOMBAS .....</b>	<b>140</b>
<b>8.4.3 MOTOR .....</b>	<b>144</b>
<b>8.5 RESULTADOS .....</b>	<b>148</b>
<b>8.6 CATÁLOGOS .....</b>	<b>192</b>

## **1. MEMORIA DESCRIPTIVA**

### **1.1 OBJETO DEL PROYECTO**

El proyecto tiene como objeto principal el estudio de las alternativas para un sistema de bombeo de agua con el empleo de energía fotovoltaica, eólica o una combinación de las dos.

La instalación aportará el riego una vez al mes durante la temporada de abril a octubre a un huerto de olivos en la población de Alcorisa en la provincia de Teruel. Por tanto se ha realizado un estudio del recurso solar y eólico en la zona.

Tras comparar las posibilidades, se decide un sistema final cuyo resultado se evalúa mediante la creación de una hoja de cálculo que considera los datos de radiación, junto con las características técnicas del módulo solar y de la bomba hidráulica para obtener el volumen de agua bombeado a un depósito elevado durante las horas de insolación en un día.

### **1.2 ESTRUCTURA DEL CONTENIDO**

Para llevar a cabo el estudio de las alternativas del sistema de bombeo es necesario analizar el recurso del que se dispone en el emplazamiento del proyecto. Por tanto se comenzará con el estudio del recurso solar y eólico en Alcorisa o en el lugar más cercano del que se disponga según la base de datos.

Posteriormente se considera la demanda de agua de los cultivos de olivos en el territorio y el efecto que el riego tiene sobre éstos.

A continuación se presentan las alternativas del sistema de bombeo alimentadas con las fuentes de energías renovables más adecuadas para la zona. Se comparan sistemas de bombeo fotovoltaico, eólico y una combinación de ambos. También las posibles configuraciones del sistema: corriente continua o corriente alterna, con sistema de acumulación y sistema directo, etc.

Para calcular los resultados teóricos del sistema elegido se ha elaborado una hoja de cálculo que cuenta con las entradas de los datos de radiación media horaria, las características técnicas del módulo solar y por último las características de la bomba hidráulica y los datos de salida son el volumen de agua bombeado al depósito en un mes y los días que tarda en realizar la operación. De esta manera se comparan diferentes opciones para el mismo sistema y se puede examina el coste y fiabilidad de las mismas.

Para concluir se describirá el sistema de bombeo final y los componentes elegidos. Se justifica la conclusión con los resultados obtenidos con la hoja de cálculo y con el menor coste final de una instalación que cumpla con el abastecimiento de la demanda dentro del tiempo requerido.

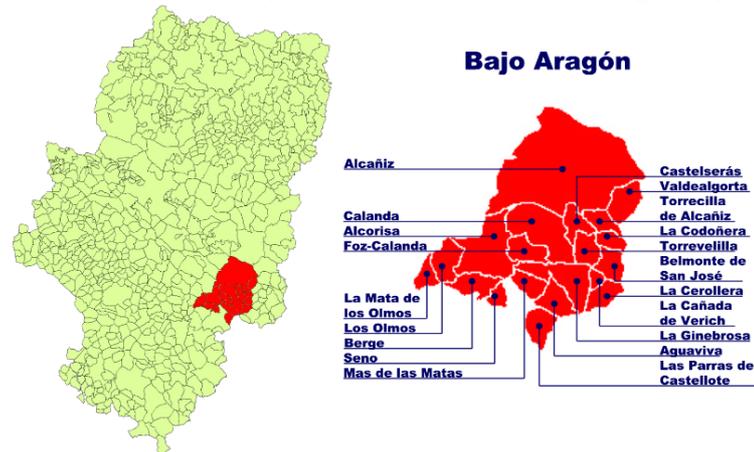
En los anexos se encuentra la información teórica de energía fotovoltaica y eólica, así como los componentes que forman estas instalaciones y las de bombeo solar.

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

También se cuenta con presupuestos privados y con los catálogos de la instalación final en el Anexo 8.6.

### 1.3 EMPLAZAMIENTO

El proyecto tiene lugar en huerto de olivos en Alcorisa, en la comarca del Bajo Aragón en la provincia de Teruel, tal y como se muestra en la imagen bajo estas líneas:



Mapa 1. 3.1: Comarca del Bajo Aragón. Fuente: [www.bajoaragon.com](http://www.bajoaragon.com).

Ante la necesidad de implantar un sistema de bombeo de agua para riego en un lugar alejado de la población y de la instalación eléctrica se pensó en emplear energías renovables como sistema generador de la electricidad necesaria. Por tanto el estudio se centra en una instalación fotovoltaica aislada y minieólica. Además de los obvios beneficios que tiene el empleo de energías renovables, se requiere de una alta inversión inicial, pero económicamente más rentable a corto y medio plazo que una instalación de diesel. Otra ventaja es que la energía del Sol, no se agota.

## 2. PLANTEAMIENTOS GENERALES

### 2.1 RECURSOS

Como se ha expuesto, se comienza con el estudio del recurso solar y consecutivamente con el recurso eólico en la zona de Teruel. Para ello, se introduce a los dos tipos de energía describiendo los componentes del recurso y a las fuentes de información de las que se dispone para el tratamiento de los datos meteorológicos. A continuación se analizan los resultados obtenidos con estas fuentes y se concluye con la elección de los datos más fiables y exactos, ya que no se dispone de información de Alcorisa en todas las fuentes.

## 2.1.1 RECURSO SOLAR

### 2.1.1.1 Introducción

Par entender la radiación, se deben introducir algunos términos que emplearemos para cuantificar la energía y la potencia de los rayos provenientes del Sol:

- Irradiancia Solar (I): es la energía incidente por unidad de tiempo (potencia) sobre la unidad de superficie. Las unidades empleadas son  $W/m^2$ .
- Irradiación o radiación Solar (H): al integrar la irradiancia durante un cierto período de tiempo, se obtiene la energía incidente sobre la unidad de superficie. Las unidades utilizadas son los  $J/m^2$  o Wh.

### 2.1.1.2. La constante Solar

La constante Solar es la irradiancia, (para todas las longitudes de onda), proveniente del Sol que incide sobre la unidad de superficie expuesta perpendicularmente a los rayos Solares fuera de la atmósfera de la Tierra. Esta magnitud varía ligeramente a lo largo del año.

Se han realizado diversas mediciones de esta constante por medio de aproximaciones que la estiman entre  $1338$  y  $1368 W/m^2$ . Uno de los valores más utilizado y fijado como estándar durante mucho tiempo, fue el obtenido por la NASA (NASA design standard), que lo fija en:

$$I_0\text{-NASA} = 1353 W/m^2 \quad (\text{Ecuación 2.1.1})$$

Mediciones posteriores han fijado como valor más correcto el del World Radiation Center (WRC):

$$I_0 = 1367 W/m^2 \quad (\text{Ecuación 2.1.2})$$

### 2.1.1.3. Componentes de la radiación Solar

La radiación Solar que llega a la superficie terrestre está formada por la radiación directa ( $H_D$ ), la difusa ( $H_d$ ) y la reflejada ( $H_r$ ), cuyo conjunto forma la radiación global ( $H_G$ ).

La **radiación directa** proviene directamente del Sol sin haber sufrido modificación alguna, esta radiación se puede concentrar al presentar una única dirección de incidencia.

La **radiación difusa** es la que llega a la superficie después de haber sufrido diferentes cambios de dirección, motivados por las reflexiones y refracciones que se

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

producen al atravesar la capa atmosférica, esta radiación procede de la bóveda celeste. A diferencia de la radiación directa la difusa no presenta una dirección principal de incidencia, y por lo tanto no se podrá concentrar.

La **radiación reflejada**, tampoco presenta dirección principal de incidencia. Ésta proviene de la reflexión producida por el suelo o por otros elementos que rodean a la superficie. El coeficiente de reflexividad se llama albedo ( $a$ ), y puede tomar valores entre 0.05 a 0.9 dependiendo del tipo de superficie reflectante.

La siguiente imagen muestra el esquema de la distribución de la radiación solar recibida en el planeta. En la siguiente imagen se observan las pérdidas de energía solar en la atmósfera por reflexión y absorción. Una gran parte de la energía se pierde, reflejada y absorbida por la atmósfera.

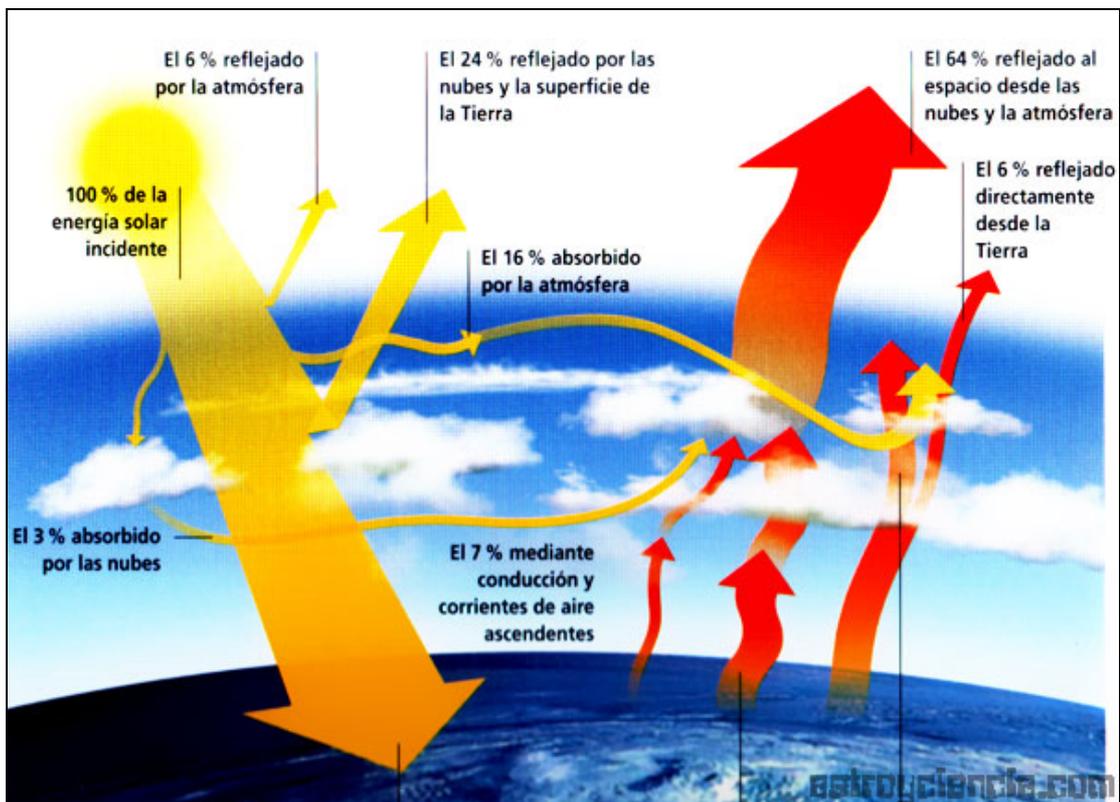


Imagen 2.1.1: Esquema de radiación solar recibida en el planeta.

Fuente: [www.astrociencia.com](http://www.astrociencia.com)

En este proyecto, ya que no se considera la energía solar térmica con colectores de concentración, que emplean la radiación directa del Sol, nos interesa estudiar la radiación global. En la energía solar fotovoltaica se aprovecha toda la radiación, difusa y directa, que llega a la superficie terrestre.

#### 2.1.1.4 Tratamiento de datos meteorológicos

Para realizar un estudio de radiación se pueden obtener datos meteorológicos desde distintas fuentes:

- Estaciones meteorológicas.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

- Atlas solares, Tablas y bases de datos.
- Modelos matemáticos.

### 2.1.1.4.1 Estaciones meteorológicas.

Una estación Meteorológica Automática es básicamente un computador dedicado que posee canales de entrada y puertos de salida, cuyo único fin es procesar la información colectada y entregar un producto final en forma de número, gráfico o archivo computacional totalmente procesable.



**Imagen 2.1.2: Estación meteorológica automática.**

**Fuente: Raúl Burgos.**

Antes de medir con equipos meteorológicos automáticos se usaban instrumentos convencionales de lectura directa o con registro en papel, pero la complejidad y delicadeza en su uso finalmente hacen dudar su efectividad respecto a la tecnología que tenemos a mano.

En una estación se mide *temperatura*, *humedad* y *presión atmosférica* y si lleva incorporado un anemómetro la visualización de la velocidad y dirección del viento.

El rango de parámetros que puede medir la estación, queda reflejado en la tabla siguiente, facilitada por [www.qsl.net](http://www.qsl.net):

Temperatura	-18°C a +50°C.
Humedad	10%RH a 99%RH
Presión	800hPa a 1055hPa
Velocidad del viento	0 a 180 km/h
Dirección del viento	0° a 359°

### 2.1.1.4.2 Atlas solares, Tablas y Bases de datos

- **Atlas solares**

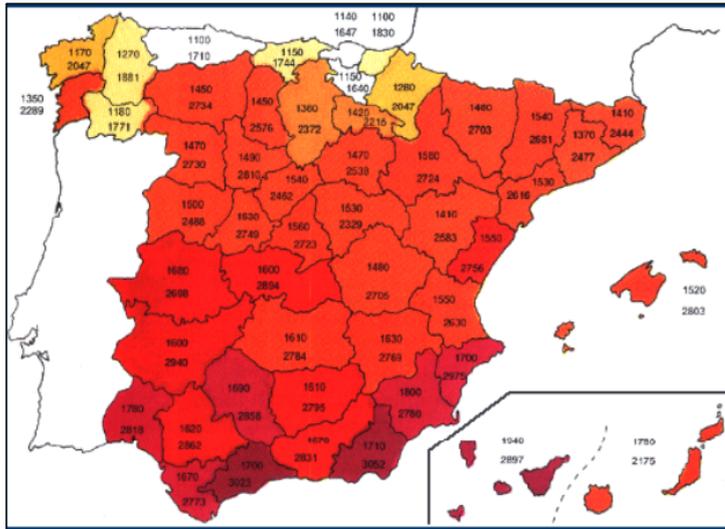
Es un conjunto de mapas donde se representa la distribución espacial del potencial energético solar, en estos mapas se establece el valor promedio diario de radiación solar global, brillo y radiación ultravioleta solar que incide sobre una superficie plana por metro cuadrado. De cada una de estas variables se muestran los valores promedio en el

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

tiempo mediante 13 mapas, uno para cada mes del año y un mapa promedio anual. El Atlas es un documento de referencia que contribuye al conocimiento de la disponibilidad de sus recursos renovables y facilita la identificación de regiones estratégicas donde es más adecuada la utilización de la energía solar para la solución de necesidades energéticas de la población.

En cuanto a la realización de atlas de irradiación solar, en la práctica totalidad de ellos, se han empleado datos obtenidos de estaciones de medición en superficie, y que en los últimos años se han complementado con resultados obtenidos a partir de

imágenes de satélites.



**Imagen 2.1.3: Mapa de radiación sola en KWh/m<sup>2</sup> y año.**

**Fuente: CIRCE.**

En la tercera edición del "Atlas de Radiación Solar Europeo", principalmente estaban limitados al procesamiento de datos de las estaciones de medición en superficie existentes, donde básicamente se utilizaban datos de irradiación e insolación y la ecuación de Angstrom-Prescott (Angstrom, 1924) para determinar la irradiación en las estaciones carentes de información.

A nivel Español la única referencia formal es el "Atlas de Radiación Solar de España" (Font, 1984) realizado por el Instituto Nacional de Meteorología de España y que hasta la fecha no ha sido actualizado. Este trabajo presenta mapas de isolíneas de valores medios, anuales y mensuales, de la irradiación solar global y de duración de la insolación directa (horas de sol). No se consideran los datos de insolación para deducir los de irradiación global, como propone Angstrom-Prescott (Angstrom, 1924), dada la complejidad climática de la Península Ibérica. Los datos considerados corresponden al periodo 1955-1980.

Para la confección de estos mapas es mediante la interpolación-extrapolación de series temporales de medidas de irradiación solar en superficie, realizadas mediante piranómetros en puntos geográficos específicos.

Con posterioridad se ha venido desarrollando metodologías para utilizar los datos obtenidos mediante satélites en la determinación de la irradiación solar en superficie.

### ➤ Tablas

Muestra los valores medios mensuales sobre superficie horizontal de los emplazamientos. Existe un factor de corrección de la radiación horizontal para

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

diferentes inclinaciones de la superficie, únicamente se multiplicará el valor de radiación por dicho factor. Con este modelo, no existe la posibilidad de calcular la radiación con una orientación que no sea sur.

El IDEA facilita las tablas de radiación para España, dividiendo el territorio en cinco zonas climáticas en función de su radiación:

Zona climática	MJ/m <sup>2</sup>	KWh/m <sup>2</sup>
I	< 13,7	<3,8
II	13,7-15,1	3,8- 4,2
III	15,1- 16,6	4,2- 4,6
IV	16,6- 18	4,6- 5
V	>18	>5

**Tabla 2.1.1: Zonas climáticas del territorio de España. Fuente: IDEA.**

La tabla que se muestra a continuación es la tabla 2 del documento de Tablas para el dimensionamiento de instalaciones solares del IDAE:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
SEGOVIA	5.7	8.8	13.4	18.4	20.4	22.6	25.7	24.9	18.8	11.4	6.8	5.1	15.
SEVILLA	7.3	10.9	14.4	19.2	22.4	24.3	24.9	23	17.9	12.3	8.8	6.9	16
SORIA	5.9	8.7	12.8	17.1	19.7	21.8	24.1	22.3	17.5	11.1	7.6	5.6	14.5
TARRAG	7.3	10.7	14.9	17.6	20.2	22.5	23.8	20.5	16.4	12.3	8.8	6.3	15.1
TERUEL	6.1	8.8	12.9	16.7	18.4	20.6	21.8	20.7	16.9	11	7.1	5.3	13.9
TOLEDO	6.2	9.5	14	19.3	21	24.4	27.2	24.5	18.1	11.9	7.6	5.6	15.8
VALENCIA	7.6	10.6	14.9	18.1	20.6	22.8	23.8	20.7	16.7	12	8.7	6.6	15.3

**Tabla 2.1.2: Energía en megajulios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes en MJ / m<sup>2</sup> día. Fuente: IDAE.**

Como se puede observar, Teruel pertenece a la zona climática III, ya que recibe 13,9 MJ/m<sup>2</sup> día de media anual.

#### ➤ Bases de datos de radiación:

##### ▪ PVGIS:

Sistemas Fotovoltaicos de Información Geográfica (PVGIS) proporciona un inventario basado en mapas de recursos de energía solar y la evaluación de la generación de electricidad a partir de sistemas fotovoltaicos en Europa, África y Asia Occidental-Sur.

Esta aplicación ofrece medias mensuales y anuales de la irradiación global en superficies horizontales e inclinadas, así como otros datos relacionados con la PV-climáticas. Para una ubicación elegida, estos parámetros se muestran en una ventana separada con una tabla y gráficos. También se proporciona una estimación del déficit de la irradiación horizontal anual debido sombras en el terreno.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Para seleccionar un módulo con inclinación y orientación el usuario puede obtener un perfil diario de cielo despejado y de cielo real para irradiancias en un determinado mes. La variación diaria se calcula con una calculadora independiente, que se ejecuta en un servidor. La calculadora tiene en cuenta también el sombreado por las características del terreno local.

La base de datos de radiación solar ha sido desarrollada utilizando las herramientas integradas en el SIG de GRASS, este es un Sistema de Información Geográfica (SIG) libre, utilizado para la gestión y análisis de datos geoespaciales, procesamiento de imágenes, gráficos y mapas de producción, modelos espaciales y su visualización.

La base de datos se calculó en tres etapas:

- Un cálculo de la irradiación global sobre superficie horizontal de cielo despejado.
- Cálculo e interpolación espacial de los índices de cielo claro y el cómputo de los mapas de irradiación global sobre una superficie horizontal.
- Obtención de radiación difusa y del índice de las componentes del rayo para cielo claro así como el cómputo de los mapas de irradiación global sobre una superficie inclinada.

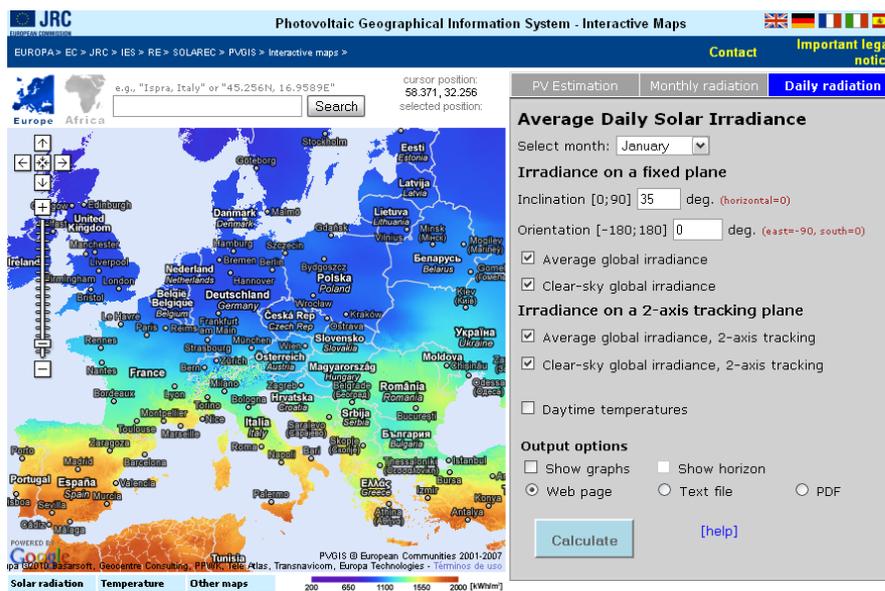


Imagen 2.1.4: Base de datos PVGIS. Fuente: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

- NASA:
  - Ofrece mapas de radiación de cualquier posición.
  - Indica valores de temperatura, radiación mensual media, horizontal, a cualquier inclinación, distribución diaria, relación entre radiación directa y global, otros parámetros de interés...

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

ATMOSPHERIC SCIENCE DATA CENTER

NASA Surface meteorology and Solar Energy: Daily Averaged Data

Enter BOTH latitude and longitude either in decimal degrees or degrees and minutes separated by a space.

Example: Latitude 33 5 Longitude -80.75 OR Latitude 33 30 Longitude -80 45

Latitude?  South: -90 to 0 North: 0 to 90  
Longitude?  West: -180 to 0 East: 0 to 180

Elevation at site in meters above sea level (optional)?

Start Date: Jan 1 2005 SEE AVAILABLE DATES  
End Date: Dec 31 2006 BESIDE EACH PARAMETER

Download multiple parameters in column formatted text file:

- Insolation on Horizontal Surface (Jul 1983-Jun 2006)
- Insolation Clearness Index (Jul 1983-Jun 2006)
- Clear Sky Insolation (Jul 1983-Jun 2006)
- Clear Sky Diffuse (Jul 1983-Jun 2006)
- Clear Sky Direct Normal (Jul 1983-Jun 2006)
- Clear Sky Insolation Clearness Index (Jul 1983-Jun 2006)
- Downward Longwave Radiative Flux (Jul 1983-Jun 2006)
- Top-of-atmosphere Insolation (Jul 1983-Jun 2006)
- Surface Air Pressure (Jan 1983-Dec 2007)
- Earth Skin Temperature (Jan 1983-Dec 2007)

Submit Reset This form is "Reset" if the input is out of range.

Imagen2.1.5: Base de datos NASA. Fuente: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

### ■ METEONORM:

- Ofrece la posibilidad de consultar valores on-line.
- La versión completa es un software.
- Calcula valores medios diarios de temperatura, radiación sobre cualquier plano.
- El report de resultados es compatible con los programas de simulación del mercado.

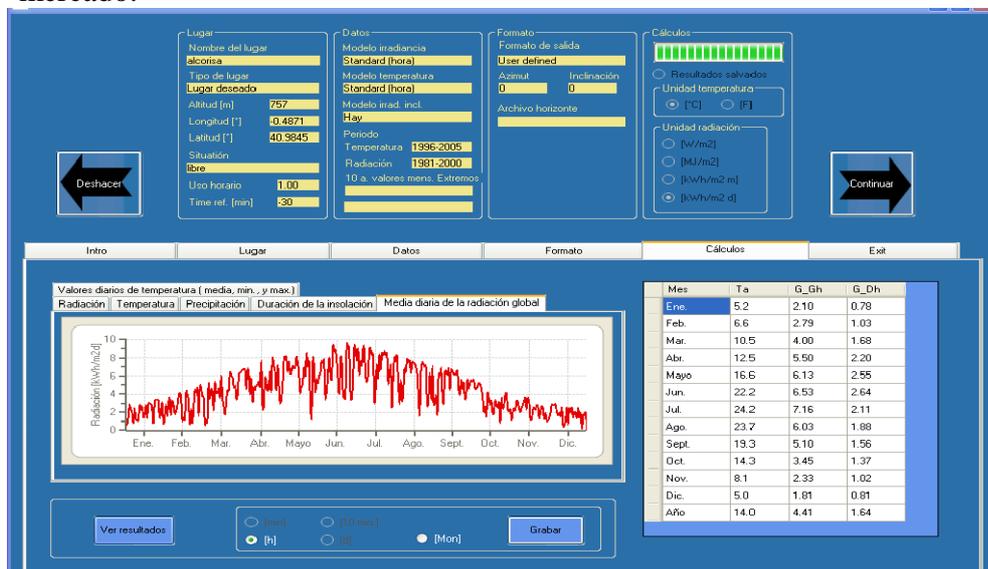


Imagen 2.1.6: Base de datos Meteonorm. Fuente: <http://www.meteonorm.com>

### 2.1.1.4.3 Modelos matemáticos.

Con los modelos matemáticos se puede calcular la irradiancia que se recibe en la superficie terrestre en cualquier situación, con mayor o menor complejidad. De esta manera se puede hacer una clasificación según el estado del cielo, despejado o cubierto y según la inclinación de la superficie, horizontal o con una inclinación cualquiera.

### 2.1.1.5 Radiación solar para cielo claro

La radiación máxima que alcanza la superficie de la Tierra se obtiene para condiciones de día claro (sin nubes), salvo algún caso excepcional.

Para cielo claro existen diferentes modelos teóricos tanto de radiación directa como difusa que las determinan con bastante aproximación.

La irradiancia directa normal (IDN) para cielo claro es la que se recibe sobre una superficie perpendicular a la dirección de la irradiancia directa. Existen diferentes factores que modifican el valor de la irradiancia directa que alcanza a la superficie, estos son los que aparecen en los siguientes subapartados.

- Atenuación al atravesar la atmósfera

La irradiancia que proviene del Sol hasta que alcanza la superficie terrestre es difundida, difractada, absorbida y refractada por gases a temperaturas y densidades diferentes. Llegando al suelo una irradiancia menor a la extraterrestre ( $I_0$ ), salvo en algún caso muy excepcional de condiciones del cielo.

- Corrección por la altitud sobre el nivel del mar

La altura sobre el nivel del mar en un lugar particular reduce el espesor de la capa atmosférica que tiene que atravesar la irradiancia Solar. Por lo que a mayor altura existirá menor espesor.

Para contemplar este efecto de variación de la capa atravesada con la altura, se utiliza un factor, con el cual se corrige la irradiancia Solar en función de la altura del lugar. Cuando se dispone sólo de datos a nivel del mar (ó hasta +300 m) de la irradiancia incidente, se puede extrapolar ésta a un lugar con mayor altura mediante este factor.

- Turbidez atmosférica.

Un factor añadido que puede modificar la irradiancia incidente en la superficie de la Tierra es la turbidez ( $a$   $\tau$ ), este parámetro es una indicación de lo sucia que está la atmósfera (presencia de aerosoles).

La turbidez normalmente se encuentra entre 0.12 a 0.4, en verano es mayor que en invierno, y también es sustancialmente mayor en las ciudades que en los pueblos.

Para obtener en cielos sucios la irradiancia directa incidente en dirección normal (IDN), se multiplica la de cielo claro por el factor que se expone a continuación, en esta ecuación la turbidez hay que obtenerla de los datos de alguna estación meteorológica (la mayor parte de las veces este dato se desconocerá).

$$f_{\tau a} = \exp(-\tau_a \times m) \quad (\text{Ecuación 2.1.3})$$

### 2.1.1.5.1 Irradiancia directa sobre cualquier superficie para cielo claro

La irradiancia directa (ID) para cielo claro que alcanza cualquier superficie se determina a partir de la irradiancia directa normal (IDN) y del ángulo de incidencia ( $i$ ) con el que la irradiancia directa alcanza la superficie. En la siguiente Imagen se muestran los ángulos que definen la geometría para el cálculo de éste.

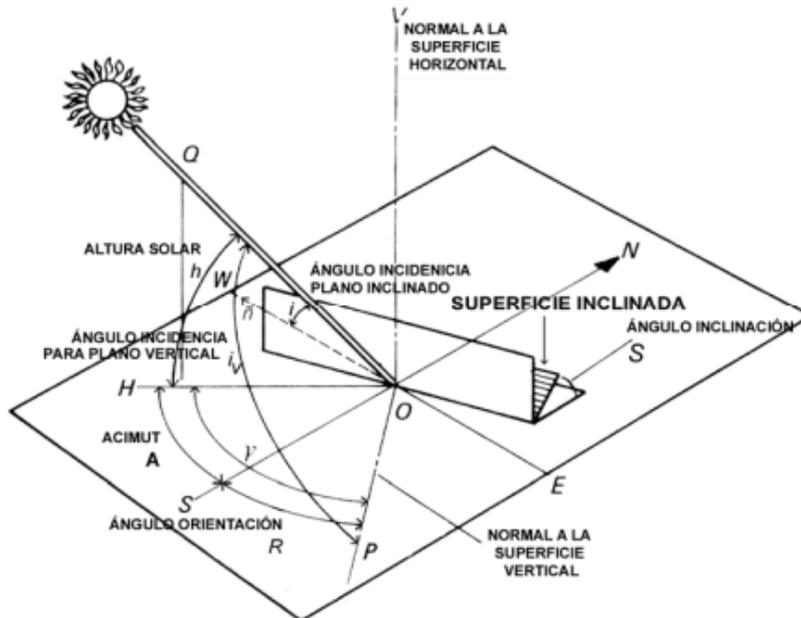


Imagen 2.1.7: Ángulos que definen la orientación e inclinación de una superficie.  
Fuente: T.M. Markus- E.N. Morris.

### 2.1.1.5.2 Irradiancia directa sobre superficie horizontal para cielo claro

Para el caso particular de superficie horizontal el ángulo de inclinación ( $s$ ) es nulo, relacionándose la inclinación directamente con la altura solar ( $h$ ):

$$\cos(i) = \sin(h) \quad (\text{Ecuación 2.1.4})$$

La irradiancia directa sobre superficie horizontal es:

$$I_{DH} = I_{DN} \times \sin(h) \quad (\text{Ecuación 2.1.5})$$

### 2.1.1.6 Radiación solar para cielo cubierto

La mayoría de los días del año en el cielo aparecen nubes tanto de diferentes formas como tamaños. Para estos días no se puede obtener la radiación solar a partir de las ecuaciones utilizadas para cielo claro, ya que existirán diferentes atenuaciones de la irradiancia directa en función del tipo de nubes que no son corregidas por los modelos de cielo claro, también hay que tener en cuenta que la irradiancia difusa tampoco es diferente a la de modelo de cielo claro.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

En este caso, emplearemos el modelo de cielo cubierto para calcular la radiación horaria a partir de los datos de radiación media mensual facilitados por distintas bases de datos, ya que es el modelo que más se ajusta a la realidad.

La radiación para cielo claro se basa en modelos matemáticos en los cuales existen diferentes relaciones físicas entre los parámetros, por lo tanto para una localización geográfica se podrían estimar los datos de radiación para cielo claro.

Para cielo cubierto no existen modelos teóricos apropiados. En este caso se debe construir el modelo a partir de mediciones meteorológicas.

En los institutos meteorológicos españoles habitualmente se ha medido la radiación media global mensual sobre superficie horizontal o el factor de insolación, (se definirá más adelante).

En la actualidad con las mejoras de equipamiento se está registrando datos horarios en los principales centros meteorológicos. A partir de estos valores medidos, existen modelos que determinan la radiación solar sobre cualquier superficie, así como la composición (fracción directa/difusa).

### - Factor de insolación

Se define como duración de la insolación (SS) al número de horas a lo largo de un mes en el cual se tiene una radiación directa por encima de un umbral. Se mide con un heliógrafo siendo el umbral habitual de 210 W/m<sup>2</sup>.

Para definir el factor de insolación hay que determinar la duración máxima de insolación (SS<sub>0</sub>), que corresponde con el periodo correspondiente entre la puesta y la salida del sol, ésta se determina con la siguiente expresión (R. Bernard – G. Menguy – M.Schwartz):

$$ss_0 = 12.0 + \theta \times \sin\left(\frac{360 \times d}{365}\right)$$

$$SS_0 = \sum_{n^{\circ} \text{ días mes}} ss_0 \cong n \times ss_{0\_d15}$$

(Ecuación 2.1.6)

- $\theta$ : coeficiente función de la latitud, ver tabla 1.6
- d: número de días transcurrido desde el 21 de marzo.
- n: número de días del mes evaluado.
- SS<sub>0\_d15</sub>: duración de la insolación evaluada para el día 15 del mes analizado.

L (°)	55	52	50	48	46	44	42	40
$\theta$	5.1	4.5	4.1	3.8	3.6	3.3	3.1	2.8

**Tabla 2.1.3: Coeficiente  $\theta$  en función de la altitud. Fuente: CIRCE.**

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Para determinar la radiación solar media mensual sobre horizontal hay que definir inicialmente el factor de insolación ( $\sigma$ ), que es el cociente entre la duración efectiva de insolación y la duración máxima para un mes determinado:

$$\sigma = \frac{SS}{SSo} \quad (\text{Ecuación 2.1.7})$$

#### 2.1.1.6.1 Radiación solar diaria media mensual

A partir del factor de insolación se puede estimar con los modelos adecuados la radiación media diaria mensual global, difusa o directa sobre una superficie.

Este valor medio diario es con el que normalmente se trabaja en aplicaciones relacionadas con la captación solar (placas de ACS, etc).

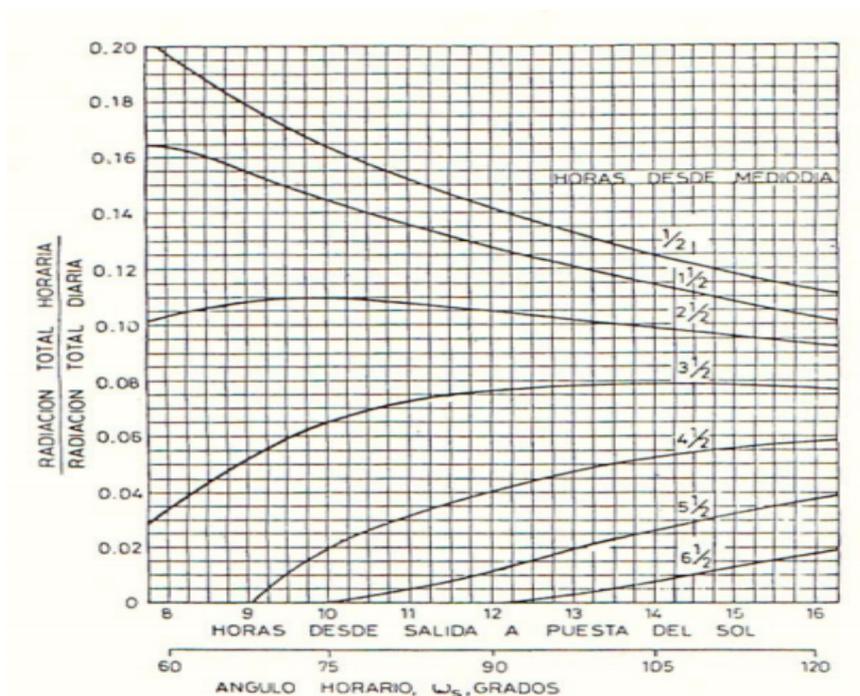
#### 2.1.1.6.2 Radiación solar media horaria

En algunas aplicaciones es necesario determinar la radiación horaria (directa, difusa o global) que incide sobre una superficie. Ésta se puede obtener aplicando ecuaciones matemáticas.

Para obtener la radiación difusa y la global horaria sobre una superficie horizontal se debe partir de los datos de radiación difusa y global diaria.

#### 2.1.1.6.3 Radiación global horaria media mensual para superficie horizontal

Para determinar la radiación global horaria media mensual para superficie horizontal (HGHH) se puede utilizar la Figura 1.43, partiendo del ángulo horario de salida de sol ( $\omega_s$ ) o, de la duración del día y el valor de la radiación global media mensual diaria (HGH).



Gráfica

2.1.1: Determinación del valor medio mensual horario de la radiación global sobre horizontal.

Fuente: A. Mitjá- E. Batalla.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

La curva de la gráfica anterior, deducida por Liu y Jordan ha sido posteriormente expresada analíticamente por Collares – Pereira y Rabl, a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{H_{GHh}}{H_{GH}} = \frac{\pi}{24} \times (a + b \times \cos w) \times \frac{\cos w - \cos ws}{\sin ws - \frac{2 \times \pi \times ws \times \cos ws}{360}}$$

(Ecuación 2.1.8)

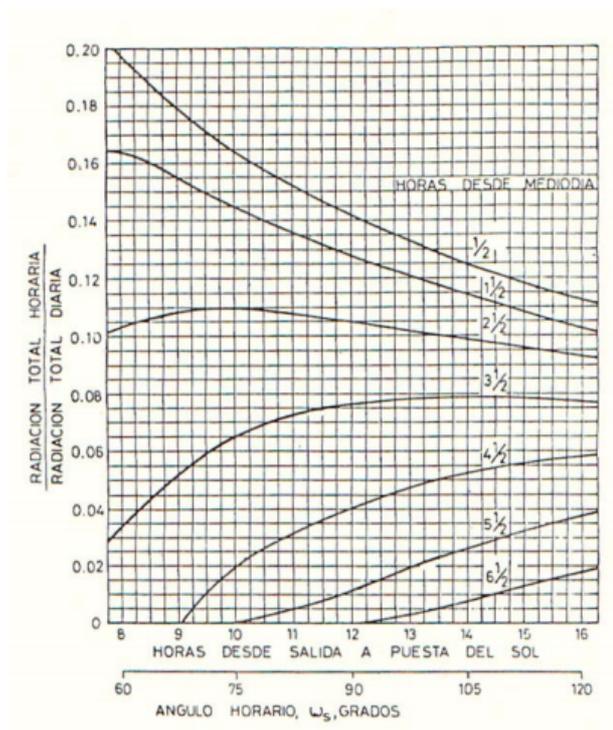
- $H_{GHh}$ : Radiación global horaria para cielo cubierto sobre superficie horizontal
- $H_{GH}$ : Radiación global para cielo cubierto sobre superficie horizontal.
- $ws$ : ángulo horario (°) estimado para la hora de salida del sol.
- $w$ : ángulo horario (°) estimado para la hora en cuestión, viene referido al punto medio de la hora considerada.
- $a, b$ : coeficientes obtenidos mediante las expresiones:

$$a = 0.409 + 0.5016 \times \sin(ws - 60)$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \times \sin(ws - 60) \quad \text{(Ecuación 2.1.9)}$$

### 2.1.1.6.4 Radiación difusa horaria media mensual para superficie horizontal

El valor medio mensual horario de radiación difusa sobre superficie horizontal ( $H_dHh$ ) se puede calcular gráficamente a partir de la siguiente gráfica, partiendo del ángulo horario de salida del sol ( $ws$ ) o, la duración del día y el valor de la radiación difusa media mensual diaria ( $H_dH$ ).



**Gráfica 2.1.2: Determinación del valor medio mensual horario de la radiación difusa sobre horizontal. Fuente: A. Mitjá- E. Batalla**

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

La curva de la gráfica 2.1.2, ha sido posteriormente expresada analíticamente a través de la siguiente ecuación:

$$\frac{H_{dHh}}{H_{dH}} = \frac{\pi}{24} \times \frac{\cos w - \cos ws}{\sin ws - \frac{2 \times \pi \times ws \times \cos ws}{360}}$$

(Ecuación 2.1.10)

- HdHh: Radiación difusa horaria para cielo cubierto sobre superficie horizontal
- HGH: Radiación difusa para cielo cubierto sobre superficie horizontal.

### 2.1.1.6.5 Radiación directa horaria media mensual para superficie horizontal

El valor medio mensual horario de radiación directa sobre superficie horizontal (HDHh) viene determinado por la diferencia entre la radiación global horaria (HGHh) y la difusa (HdHh).

### 2.1.1.6.6 Radiación horaria media mensual sobre una superficie inclinada

Una vez conocidos los valores de radiación global, difusa y directa sobre una superficie horizontal, se podrá determinar el valor de la radiación global horaria sobre superficie inclinada.

La radiación global se obtiene de la composición de la radiación directa, difusa y reflejada. La expresión utilizada para determinar la radiación global horaria sobre una superficie inclinada es la siguiente:

$$H_{Gh} = (H_{GHh} - H_{dHh}) \times R_B + \frac{1 + \cos(s)}{2} \times H_{dHh} + a \times \frac{1 - \cos(s)}{2} \times H_{GHh}$$

(Ecuación 2.1.11)

- HGH: Radiación global horaria para cielo cubierto sobre superficie inclinada.
- a: coeficiente reflexividad del suelo (albedo).
- s: ángulo de inclinación de la superficie colectora respecto a la horizontal.
- RB: Factor de conversión de la radiación horaria directa sobre superficie horizontal a inclinada.
- $\gamma$  : orientación de la superficie colectora.

$$R_B = \frac{\cos(i)}{\sin(h)}$$

(Ecuación 2.1.12)

$$\cos(i) = \sin(h) \times \cos(s) + \cos(h) \times \cos(\gamma) \times \sin(s)$$

Para poder emplear los

modelos matemáticos el Grupo de Energía y Edificación (GEE) de la Universidad de Zaragoza, ha desarrollado una hoja de cálculo basada en las ecuaciones matemáticas expuestas anteriormente. En las siguientes imágenes se muestran las dos partes de dicha hoja de cálculo.

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

En la imagen 2.1.8 se calcula la radiación global horaria a lo largo del un día concreto del mes y la gráfica respectiva. Las entradas son el lugar o la latitud, orientación e inclinación de la superficie, el día del año, el mes y la radiación global media de dicho mes basada en las tablas del IDAE:

A) Radiación Global horaria lo lago del día "dn":																			
<b>Introducir datos de la superficie irradiada:</b>																			
Albedo	ALBEDO (0,1=mar; 0,2=terreno normal; 0,4=pradera; 0,9=nieve)																		
Orientación de la superficie	ORIENTACIÓN (Sur= 0° Oeste= 90° Este= 90° Norte=180°)																		
Inclinación de la superficie	INCLINACIÓN (Horizontal= 0° Vertical= 90° )																		
Nº día del año "dn"=	91			DÍA   DEL MES				dn				DÍA   DEL MES				dn			
Mes correspondiente al día 91	Abril																		
Radiación Global en Abril (kWh/m2 día)	5,50																		
	Enero			1				Julio				182							
	Febrero			32				Agosto				213							
	Marzo			60				Septiembre				244							
	Abril			91				Octubre				274							
	Mayo			121				Noviembre				305							
	Junio			152				Diciembre				335							
<b>HORA SOLAR:</b>	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	12	13	14	15	16	17	18	20	21			
Radiación Global horaria (kWh/m2)	0,00	0,00	0,09	0,25	0,41	0,56	0,68	0,74	0,74	0,68	0,56	0,41	0,25	0,09	0,00	0,00			
Radiación Directa horaria (kWh/m2)	0,00	0,00	0,06	0,16	0,28	0,40	0,49	0,54	0,54	0,49	0,40	0,28	0,16	0,06	0,00	0,00			
Radiación Difusa horaria (kWh/m2)	0,00	0,00	0,04	0,08	0,13	0,16	0,19	0,20	0,20	0,19	0,16	0,13	0,08	0,04	0,00	0,00			
Radiación G media diaria (kWh/m2)																			
<b>TOTAL para el día "dn"</b>																			
Radiación Global (kWh/m2)	5,46																		

Imagen 2.1.8: Cálculo de la Radiación Global Horaria basada en Modelos Matemáticos. Fuente: GEE.

B) Radiación Global media mensual (para el día 15 de cada mes)													
Albedo	ALBEDO (0,1=mar; 0,2=terreno normal; 0,4=pradera; 0,9=nieve)												
Orientación de la superficie	ORIENTACIÓN (Sur= 0° Oeste= 90° Este= 90° Norte=180°)												
Inclinación de la superficie	INCLINACIÓN (Horizontal= 0° Vertical= 90° )												
Nº día del año "dn"=	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
	15	46	74	105	135	166	196	227	258	288	319	349	
<b>MES:</b>	Ener	Febrer	Marz	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agost	Septiemb	Octub	Noviem	Diciembr	
Radiación G media mensual (kWh/m <sup>2</sup> )	1,94	2,72	3,76	5,09	6,27	6,69	6,62	5,48	4,51	3,28	2,17	1,80	
Radiación G media anual (kWh/m <sup>2</sup> )	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	4,19	
<b>TOTAL al año</b>													
Radiación Global (kWh/m2)	50,33												

Imagen 2.1.9: Cálculo de la Radiación Global Horaria basada en Modelos Matemáticos. Fuente: GEE.

En la imagen 2.1.9 se calcula la radiación global media mensual y media anual representadas en gráficas como la mostrada en la imagen, a partir de los mismos datos de entrada que en la de la imagen 2.1.8.

### 2.1.1.7 Obtención de datos meteorológicos en Alcorisa.

Antes de mostrar los datos obtenidos de las distintas fuentes, es necesario situar a Alcorisa en un marco climático dentro de la Península Ibérica. Debido a su localización cercana al mar Mediterráneo y al Sistema Ibérico, sufre un clima de inviernos fríos y veranos suaves, con gran amplitud térmica, llegando en invierno a los  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , por tanto pertenece al clima mediterráneo continental. Las precipitaciones son entre 300 y 650 mm/año, con borrascas atlánticas con mínimos en verano. Varía por el relieve, latitud y cercanía al mar.

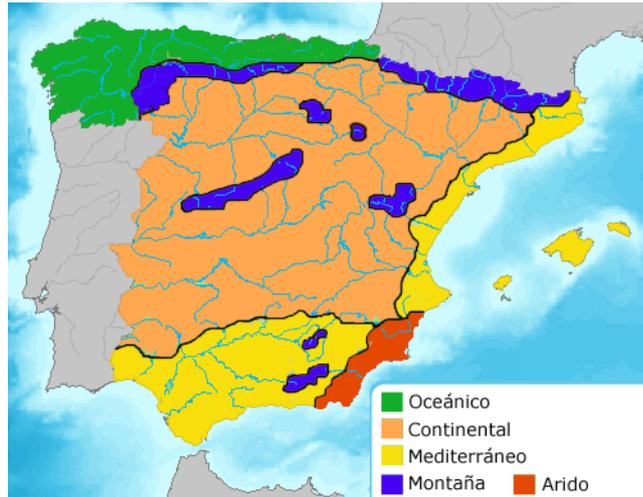


Imagen 2.1.10: Mapa climático de España. Fuente: Wikipedia.

Para obtener los valores de radiación se han consultado distintas fuentes de información de las descritas anteriormente. Se pueden obtener datos medios diarios mensuales y datos horarios mensuales, pero no todas las fuentes generan ambos resultados. A continuación se procede al estudio de cada una de ellas según los datos que pueden calcular:

#### 2.1.1.7.1 Datos medios diarios mensuales

➤ Tablas del IDAE:

Se ha obtenido la radiación en megajulios que incide sobre un metro cuadrado de superficie horizontal en un día medio de cada mes en MJ / m<sup>2</sup> día y el dato medio anual en Teruel, ya que no se dispone del dato de Alcorisa.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
TERUEL	6.1	8.8	12.9	16.7	18.4	20.6	21.8	20.7	16.9	11	7.1	5.3	13.9

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

### ➤ PVGIS:

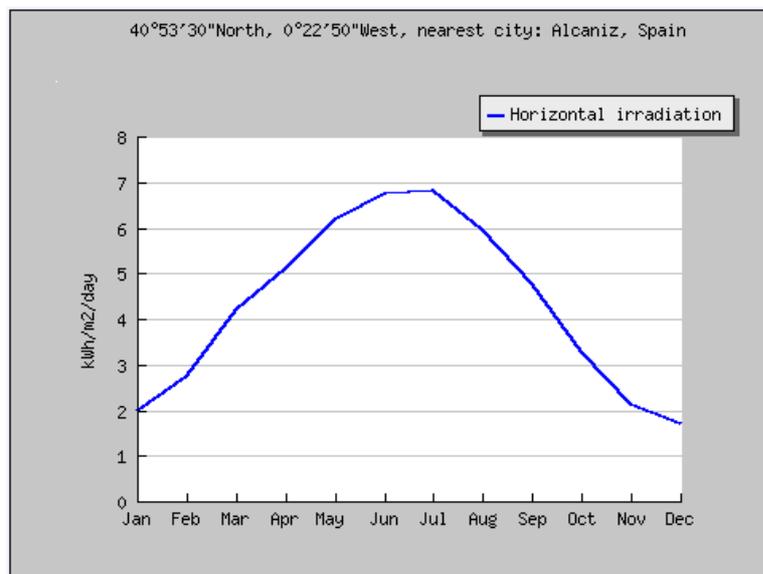
Month	$H_h$	$I_{opt}$	$T_D$
Jan	1990	62	7.0
Feb	2730	55	8.5
Mar	4210	43	12.0
Apr	5110	27	13.8
May	6180	13	17.8
Jun	6750	7	22.6
Jul	6800	11	24.8
Aug	5930	22	24.7
Sep	4770	38	21.0
Oct	3280	51	17.1
Nov	2130	60	10.7
Dec	1710	64	7.0
<b>Year</b>	<b>4310</b>	<b>35</b>	<b>15.6</b>

Esta base de datos nos da la posibilidad de estimar a largo plazo las medias de cada mes en Alcañiz, pueblo cercano a Alcorisa, en la primera columna de la siguiente tabla se calcula la radiación media mensual y la media anual, en la última casilla, en Wh/m<sup>2</sup>.

En las otras dos columnas se ha calculado la inclinación óptima, en grados, de los módulos solares en función de la latitud y de la altura solar para cada uno de los meses; en la tercera columna se obtiene la temperatura media a lo largo del día, en grados centígrados, de cada mes.

**Tabla 2.1.4: Radiación media mensual (Wh/m<sup>2</sup>), Inclinación óptima y Temperatura media mensual en Alcañiz.**  
Fuente: PVGIS.

En el siguiente gráfico, facilitado por la base de datos, también se puede ver de manera más representativa cómo varía la radiación horizontal, en KWh que incide en un metro cuadrado y día.



**Gráfica 2.1.3: Radiación incidente sobre la horizontal en Alcañiz.** Fuente: PVGIS.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

➤ N.A.S.A.

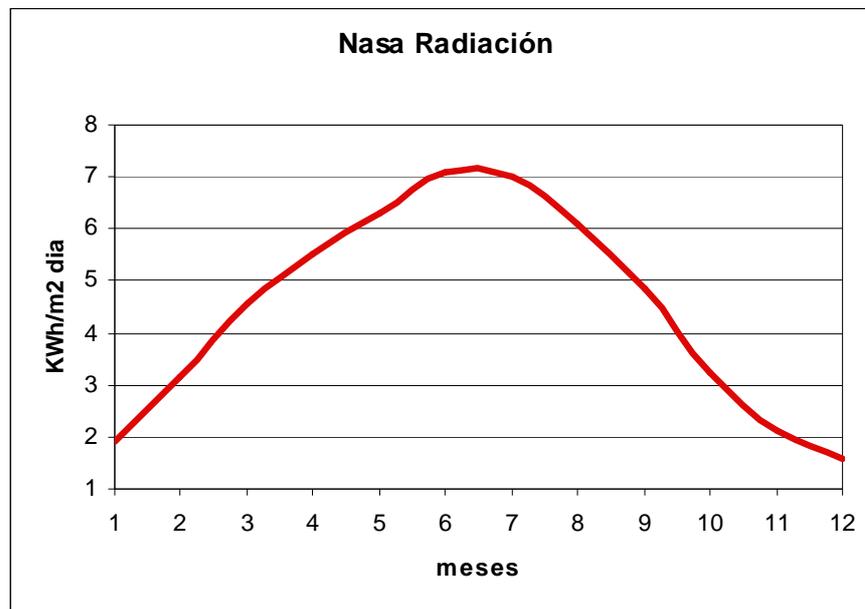
Estos valores se calculan según la latitud y longitud del emplazamiento, pero no son valores puntuales, si no medias regionales.

Irradiancia global en  $\text{KWh/m}^2$  y día medios para cada mes y la media anual, así como la temperatura del aire máxima media de cada mes y la media anual.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.	Año
<b>Radiación</b>	1,93	3,17	4,55	5,51	6,31	7,1	7,01	6,09	4,86	3,22	2,11	1,59	4,45
<b>Max. T<sup>a</sup> del aire</b>	9,23	11,24	15,06	17,36	22,07	26,58	29,22	28,51	24,44	19,53	13,29	10,06	18,88

**Tabla 2.1.5: Irradiancia media global incidente en la superficie horizontal en  $\text{KWh/m}^2$  día.**  
Fuente: NASA.

La fluctuación de los valores respecto de los meses del año, se muestra gráficamente en la siguiente figura:



**Gráfica 2.1.4: Radiación global media mensual en Alcorisa. Fuente: NASA.**

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

### ➤ METEONORM

Este software muestra los resultados en la siguiente tabla:

METEONORM Version 6.1.0.10

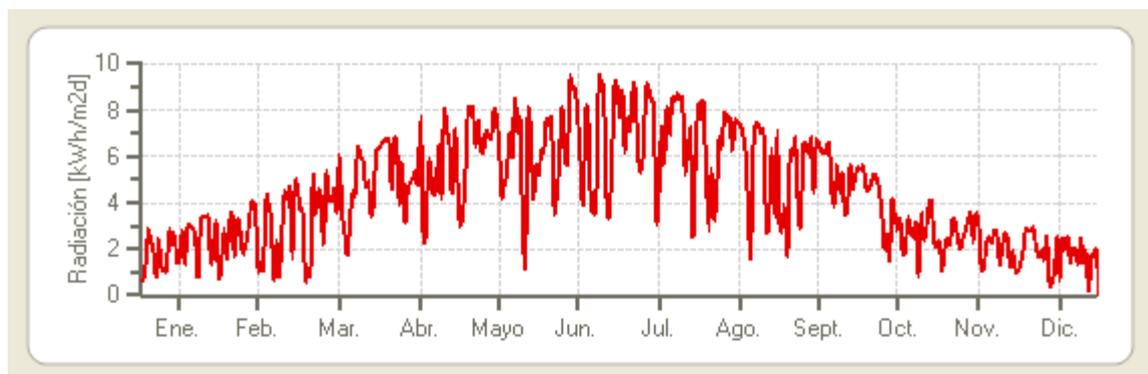
Nombre del lugar = alcorisa  
 Latitud [°] = 40.985, Longitud [°] = -0.487, Altitud [m] = 757, Zona climática = IV, 1  
 Modelo irradiancia = Standard (hora); Modelo temperatura = Standard (hora)  
 Modelo irrad. incl = Hay  
 Temperatura: Período nuevo = 1996-2005  
 Radiación: Período nuevo = 1981-2000  
 Gh: Use of precalculated radiation map based on satellite and ground information due to low density of network.  
 3 estaciones más proxima: Ta: TERUEL (89 km), Zaragoza Airp. (88 km), SORIA (186 km)

Mes	H Gh [kWh/m2]	H Dh [kWh/m2]	H Bn [kWh/m2]	Ta [C]
Ene.	65	24	108	5.2
Feb.	78	29	114	6.6
Mar.	124	52	133	10.5
Abr.	165	66	163	12.5
Mayo	190	79	173	16.6
Jun.	196	79	174	22.2
Jul.	222	65	236	24.2
Ago.	187	58	197	23.7
Sept.	153	47	189	19.3
Oct.	107	42	128	14.3
Nov.	70	31	101	8.1
Dic.	56	25	90	5.0
Año	1610	598	1808	14.0

Leyenda:  
 H Gh: Irrradiación global horizontal  
 H Dh: Irrradiación difusa horizontal  
 H Bn: Irrradiación de la radiación directa normal  
 Ta: Temperatura del aire

**Tabla 2.1.6: Resultado estudio de radiación con Meteonorm. Fuente: Meteonorm 6.1.**

Los resultados numéricos de radiación global que se toman a lo largo del día, de cada mes para un año completo, se muestran en el siguiente gráfico:

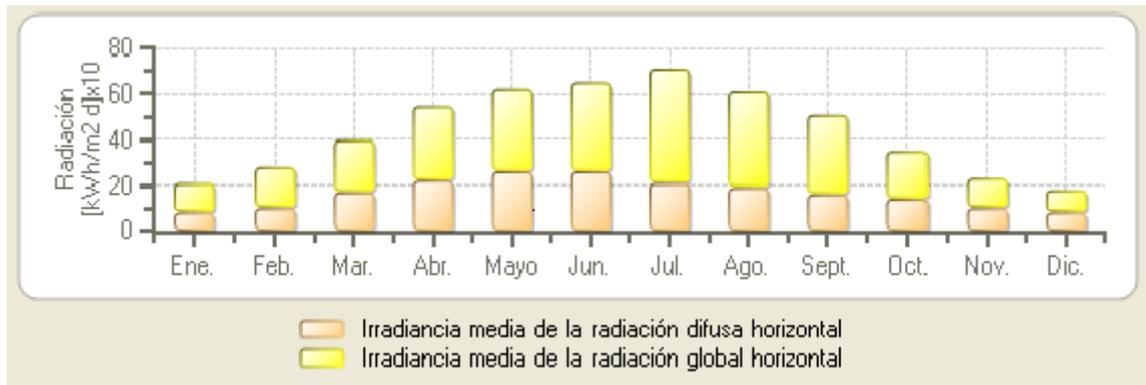


**Gráfica 2.1.5: Radiación global media diaria en kWh/m<sup>2</sup> y día. Fuente: Meteonorm.**

Como se puede observar, existen oscilaciones muy abundantes para los valores mínimos de la gráfica, estos son debidos que los datos se han tomado en las primeras y últimas horas de sol de cada día.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

El software también calcula el porcentaje de radiación directa y difusa que incide sobre la superficie horizontal, tal y como se muestra en el siguiente gráfico:

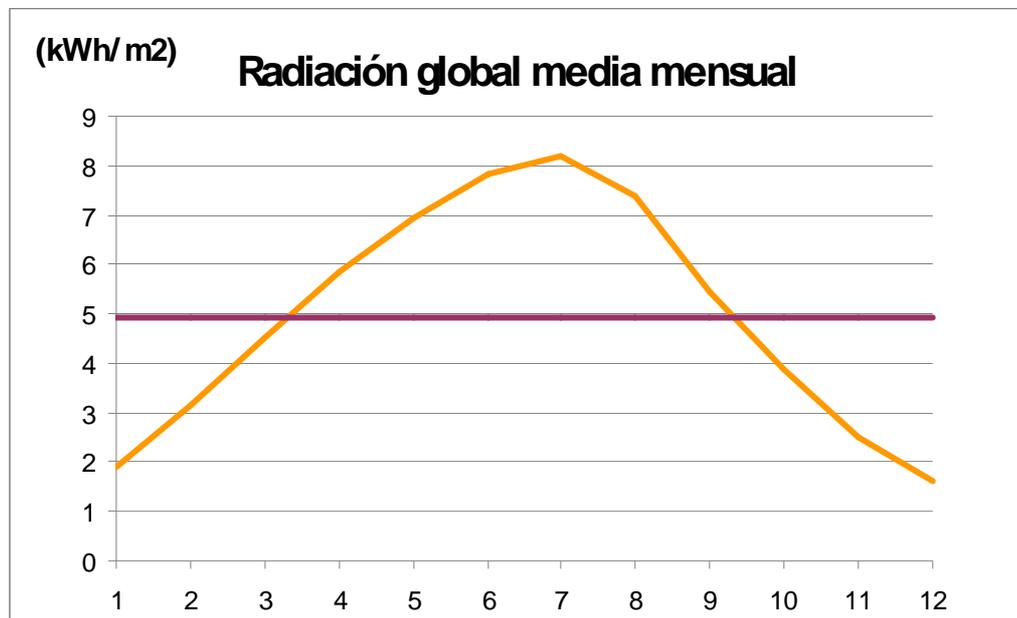


**Gráfica 2.1.6: Radiación media directa y difusa sobre la horizontal. Fuente: Meteonorm**

### ➤ Modelos Matemáticos

Esta hoja Excel extrae los valores medios mensuales para el día 15 de cada mes y los valores de radiación media horaria considerando el día 1 de cada mes a partir de los valores de la base de datos del IDAE:

En la siguiente gráfica están representados los valores de radiación medios mensuales y el valor medio anual.



**Gráfica 2.1.7: Radiación global media mensual y media anual. Fuente: Modelos Matemáticos.**

A partir de los resultados obtenidos, comparamos los valores resultantes de las bases de datos y del modelo matemático, transformando dichos valores a las mismas unidades. Se han calculado las medias mensuales (en la parte inferior) y su media anual que usaremos de referencia y las medias anuales de cada base de datos, se han representando los resultados gráficamente, se obtienen las siguientes curvas de radiación media mensual para un año:

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

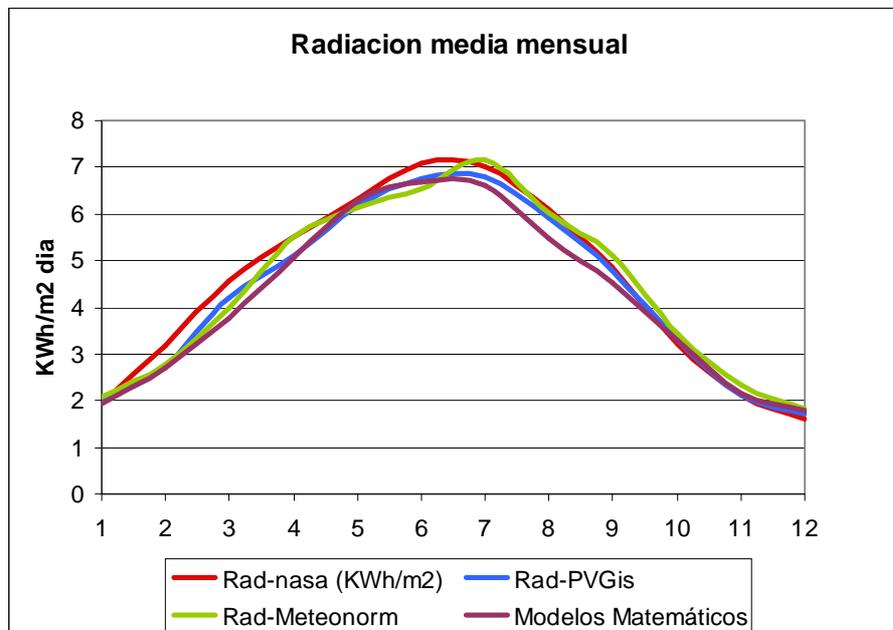
(KWh/m <sup>2</sup> )	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	M. Anual
<b>NASA</b>	1,93	3,17	4,55	5,51	6,31	7,1	7,01	6,09	4,86	3,22	2,11	1,59	4,45
<b>PVGis</b>	1,99	2,73	4,21	5,11	6,18	6,75	6,8	5,93	4,77	3,28	2,13	1,71	4,30
<b>Meteonorm</b>	2,1	2,79	4	5,5	6,13	6,53	7,16	6,03	5,1	3,45	2,33	1,81	4,41
<b>Mod. Mat.</b>	1,94	2,72	3,76	5,09	6,27	6,69	6,62	5,48	4,51	3,28	2,17	1,80	4,19
<b>Medias Mensuales</b>	1,99	2,85	4,13	5,30	6,22	6,77	6,90	5,88	4,81	3,31	2,19	1,73	4,34

**Tabla 2.1.7: Resultados de Irradiancia media mensual. Valores medios anuales y medios mensuales de cada fuente.**

Analizando los resultados de las medias anuales de cada base de datos se observa que la media obtenida con el modelo matemático es la que más se desvía (4,19 KWh/m<sup>2</sup>) frente a la media anual de referencia (4,34 KWh/ m<sup>2</sup>), por el contrario la media anual más próxima es la calculada con PVGIS.

Por otro lado observamos ciertos valores extremos en varios meses pertenecientes a diferentes bases de datos:

- NASA: febrero → 3,17 KWh/m<sup>2</sup>
- NASA: abril → 5,51 KWh/m<sup>2</sup>
- Modelo Matemático: agosto → 5,48 KWh/m<sup>2</sup>
- Meteonorm: noviembre → 2,33 KWh/m<sup>2</sup>



**Gráfica 2.1.8: Comparativa de Radiación media mensual.**

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Podemos afirmar que los valores generados por PVGIS son los más cercanos a las medias mensuales empleadas como referencia en la mayoría de los meses, mientras que las demás fuentes, han calculado valores extremos en algún mes. De la misma manera el valor más próximo a la media anual de las medias mensuales ( $4,34 \text{ KWh/ m}^2$ ) es el generado por PVGIS ( $4,30 \text{ KWh/ m}^2$ ).

Por tanto se puede afirmar que PVGIS es la base de datos más fiable frente a las demás fuentes utilizadas.

#### **2.1.1.7.2 Datos horarios medios mensuales**

Se toman los datos horarios de radiación incidente cada 15 minutos, de esta manera, se calcula la potencia de la bomba y el caudal de agua capaz de mover en cada instante del día.

Al igual que en el caso anterior, a continuación se muestran los resultados obtenidos por la base de datos PVGIS y los calculados por los modelos matemáticos.

##### ➤ PVGIS

También da la posibilidad de calcular los datos horarios y las horas de insolación de cada día a lo largo del mes, como se puede ver en la siguiente tabla, se muestra el valor de irradiancia cada 15 min., de esta manera se puede ver cómo aumentan las horas de sol con forme nos acercamos al mes de junio y viceversa.

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcañiz

	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
4:52			46				
5:07		48	73	57			
5:22		77	104	86			
5:37		109	137	119	58		
5:52	70	143	172	155	89		
6:07	102	179	208	192	124	36	
6:22	136	215	244	230	160	70	
6:37	171	251	281	269	198	104	
6:52	206	287	317	307	237	139	41
7:07	241	322	353	345	275	176	56
7:22	275	356	388	383	313	214	107
7:37	308	389	422	419	351	252	139
7:52	340	420	455	454	387	289	171
8:07	370	450	486	488	423	325	203
8:22	399	478	516	521	456	360	234
8:37	426	505	544	551	488	393	264
8:52	452	530	570	580	518	424	293
9:07	475	553	594	606	546	454	320
9:22	497	574	617	631	572	481	345
9:37	516	593	637	654	596	507	368
9:52	534	610	656	674	617	529	389
10:07	550	625	672	692	637	550	408
10:22	563	638	686	708	654	568	425
10:37	575	650	699	722	668	583	439
10:52	585	659	709	733	680	596	451
11:07	592	667	717	742	690	607	461
11:22	598	672	723	749	697	615	468
11:37	602	676	727	754	702	620	473
11:52	604	678	729	756	704	622	475
12:07	604	678	729	756	704	622	475
12:22	602	676	727	754	702	620	473
12:37	598	672	723	749	697	615	468
12:52	592	667	717	742	690	607	461
13:07	585	659	709	733	680	596	451
13:22	575	650	699	722	668	583	439
13:37	563	638	686	708	654	568	425
13:52	550	625	672	692	637	550	408
14:07	534	610	656	674	617	529	389
14:22	516	593	637	654	596	507	368
14:37	497	574	617	631	572	481	345
14:52	475	553	594	606	546	454	320
15:07	452	530	570	580	518	424	293
15:22	426	505	544	551	488	393	264
15:37	399	478	516	521	456	360	234
15:52	370	450	486	488	423	325	203
16:07	340	420	455	454	387	289	171
16:22	308	389	422	419	351	252	139
16:37	275	356	388	383	313	214	107
16:52	241	322	353	345	275	176	77
17:07	206	287	317	307	237	139	49
17:22	171	251	281	269	198	104	24
17:37	136	215	244	230	160	70	
17:52	102	179	208	192	124	36	
18:07	70	143	172	155	89	17	
18:22	38	109	137	119	49		
18:37		64	104	86	29		
18:52		44	60	48			
19:07		23	42	30			
19:22			23				

Tabla 2.1.8: Irradiancia global horaria, en  $W/m^2$ , según la hora solar local en Alcañiz.  
Fuente: PVGIS.

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

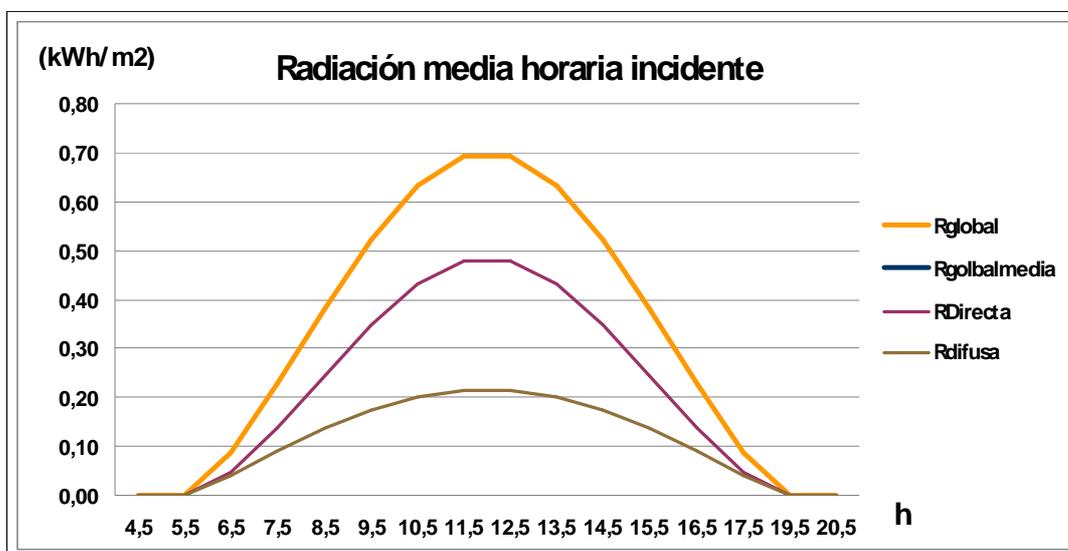
➤ Modelos Matemáticos

A partir de la hoja de cálculo mostrada en la imagen 2.1.8 y 2.1.9 desarrollada por el GEE de la Universidad de Zaragoza basada en modelos matemáticos, se calculan los valores de radiación horaria para el día medio de cada mes. Los resultados se muestran en las gráficas mostradas a continuación:

**Abril**

**TOTAL para el día medio**

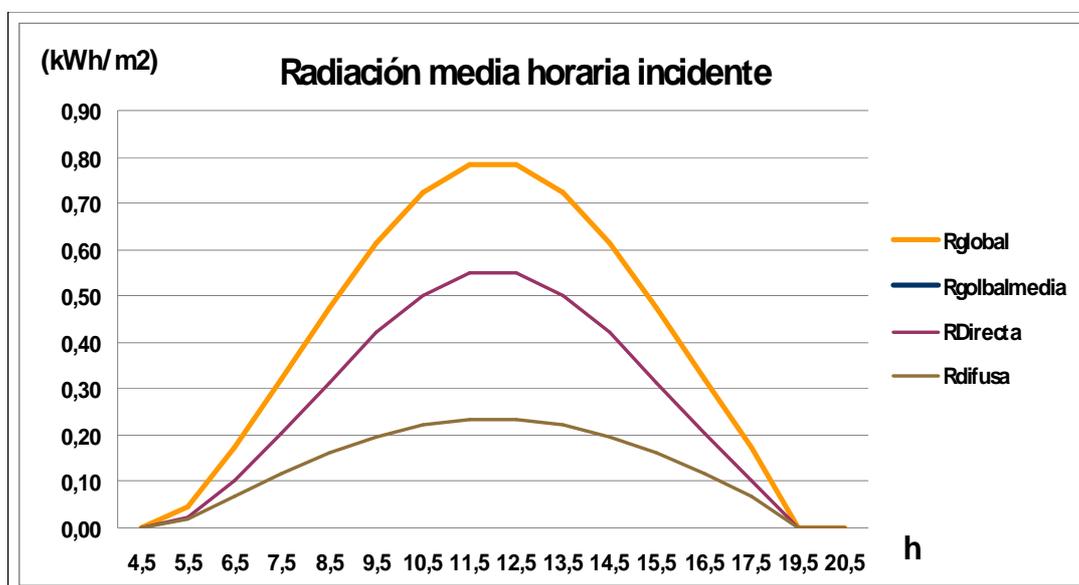
<b>Radiación Global (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>5,09</b>
---	-------------



**Mayo**

**TOTAL para el día medio**

<b>Radiación Global (kWh/m<sup>2</sup>)</b>	<b>6,26</b>
---	-------------

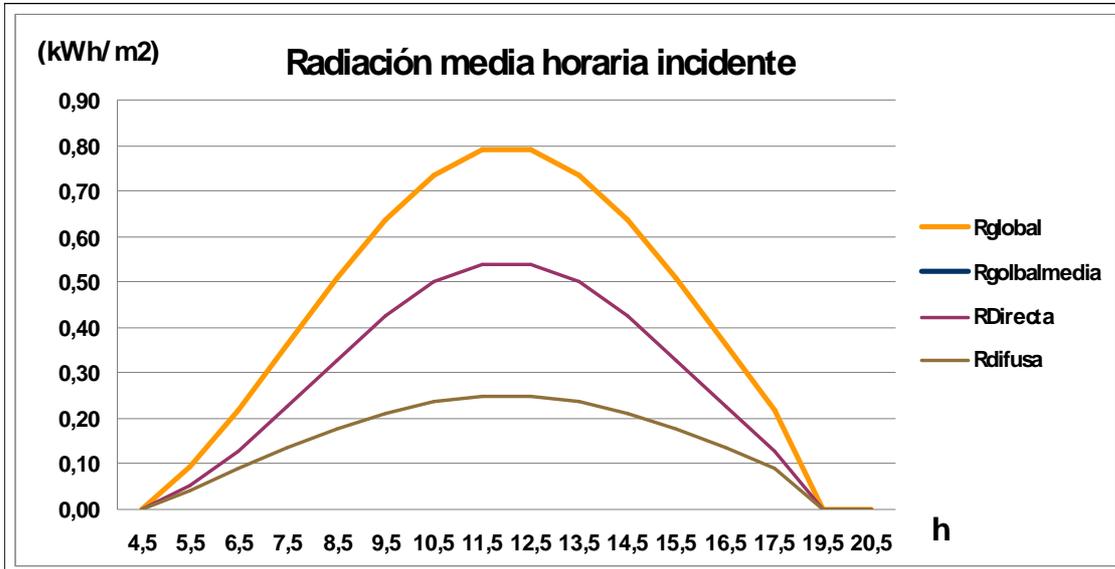


Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

**Junio**

**TOTAL para el día medio**

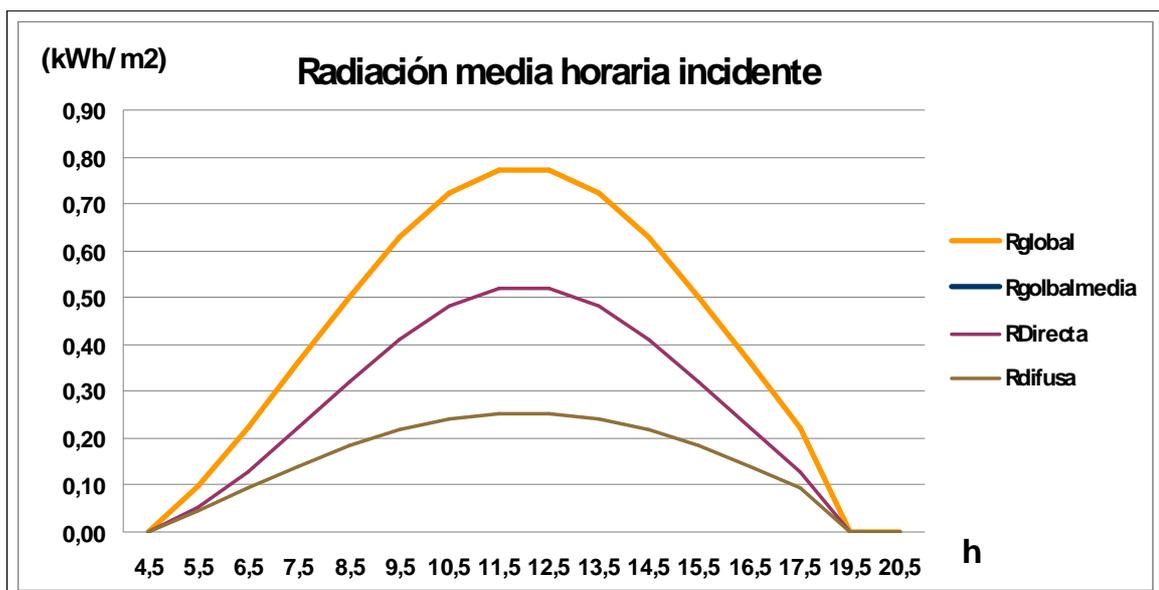
Radiación Global (kWh/m <sup>2</sup> )	6,69
--	------



**Julio**

**TOTAL para el día medio**

Radiación Global (kWh/m <sup>2</sup> )	6,62
--	------

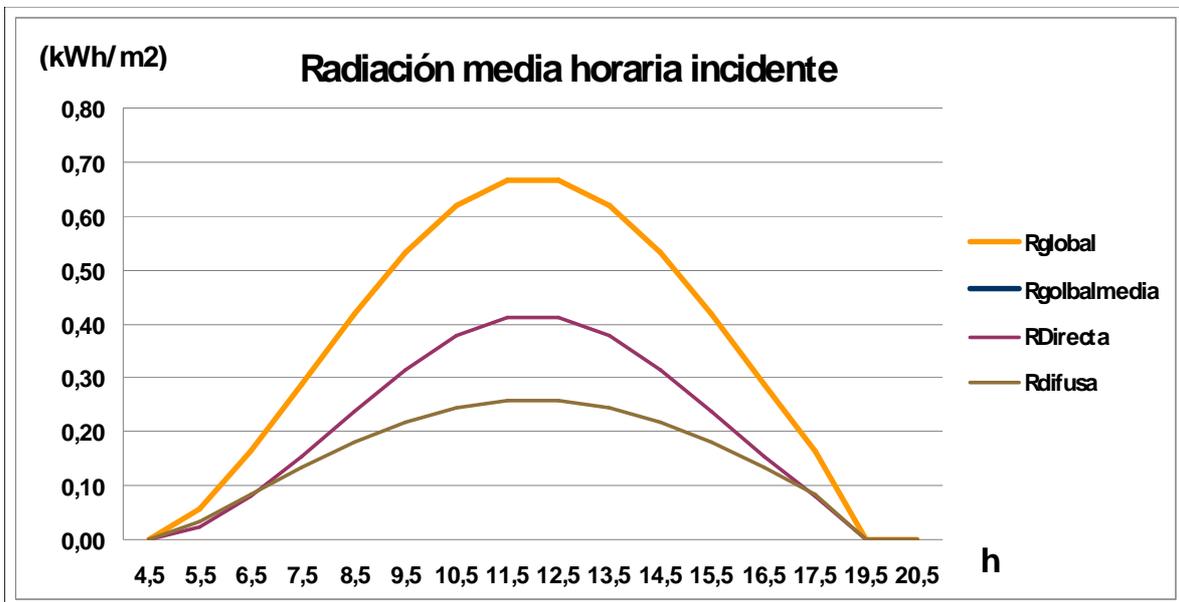


Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Agosto

**TOTAL para el día medio**

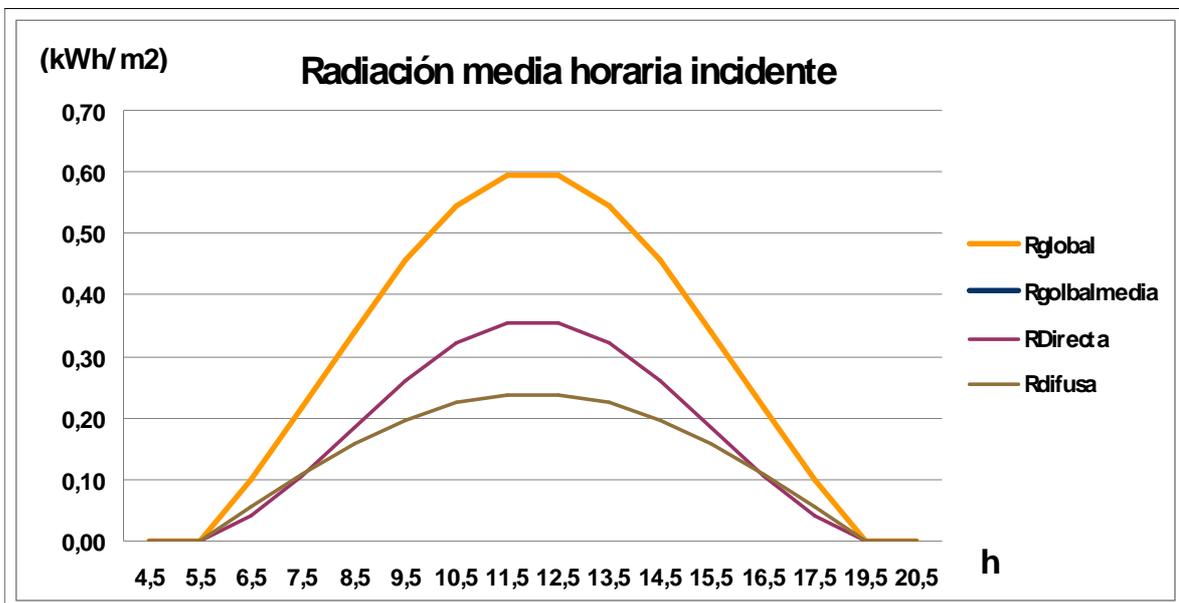
Radiación Global (kWh/m <sup>2</sup> )	5,50
--	------



Septiembre

**TOTAL para el día medio**

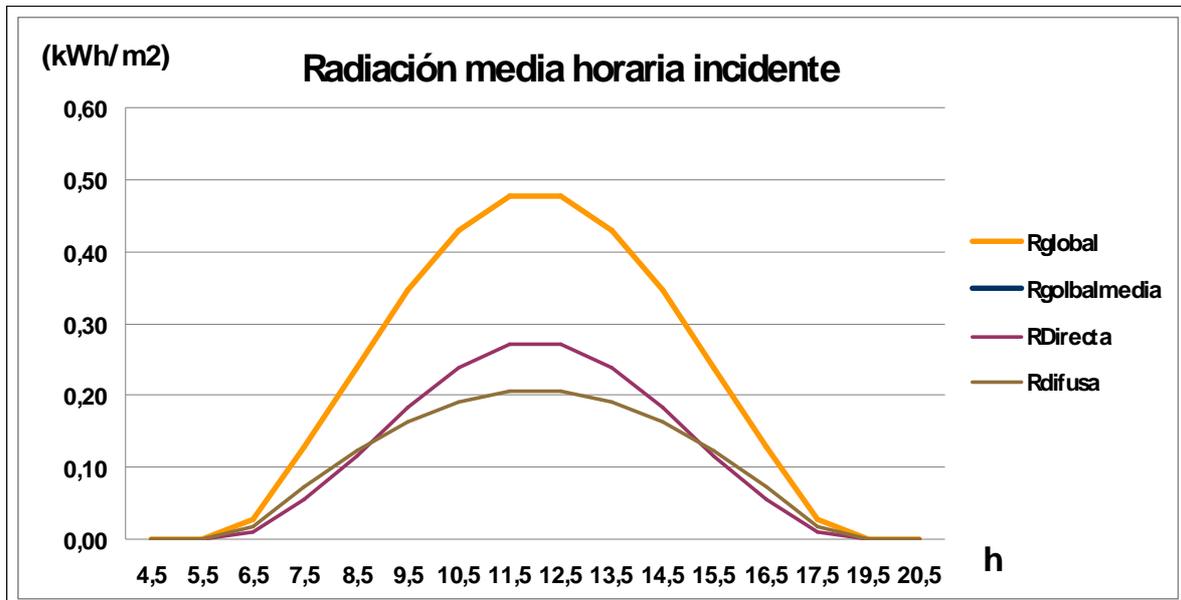
Radiación Global (kWh/m <sup>2</sup> )	4,50
--	------



Octubre

**TOTAL para el día medio**Radiación Global (kWh/m<sup>2</sup>)

3,30



## ➤ NASA y Modelos Matemáticos

Esta hoja de cálculo basada en modelos matemáticos nos permite evaluar la radiación horaria a partir de los valores de radiación media mensual aportados por las bases de datos anteriores.

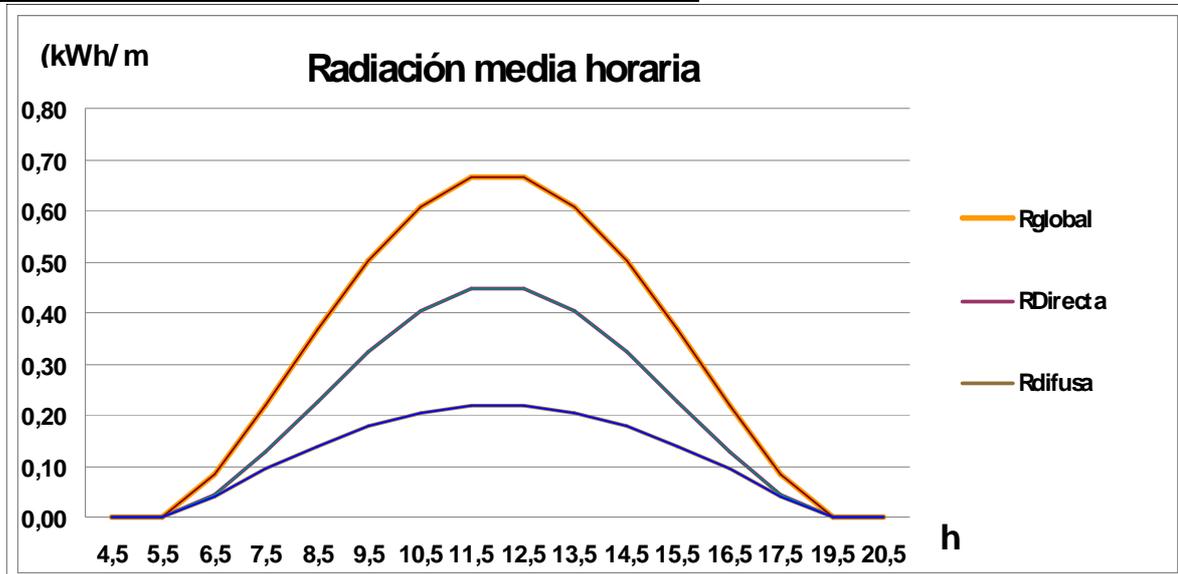
A continuación se muestran dichos resultados para los diferentes meses:

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

**Abril:**

**TOTAL para el día medio**

Radiación Global (kWh/m <sup>2</sup> )	4,90
--	------

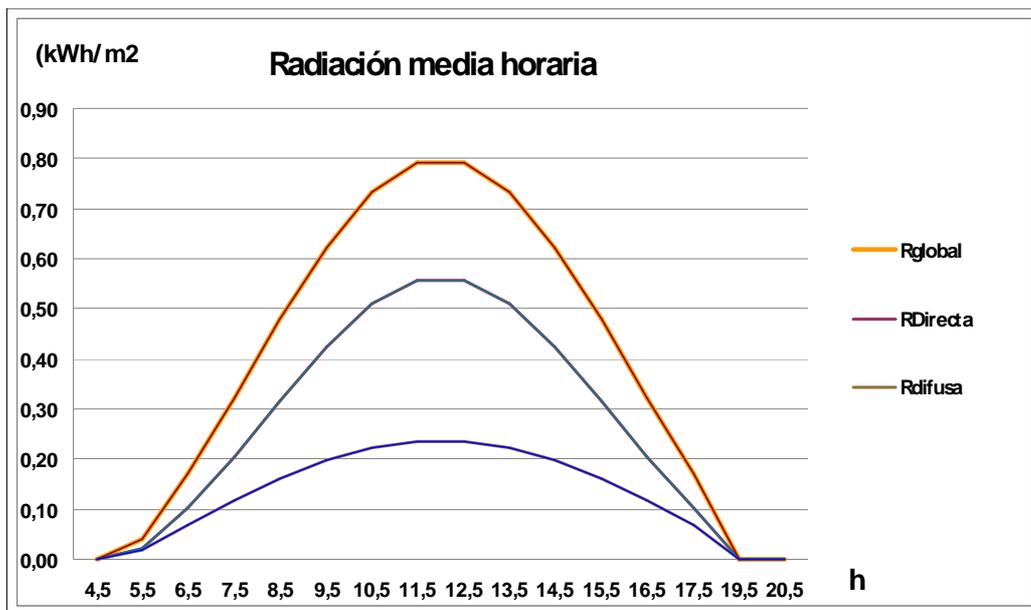


Gráfica 2.1.9: Radiación horaria global, directa y difusa para el mes de abril.  
Fuente: Hoja de cálculo.

**Mayo:**

**TOTAL para el día medio**

Radiación Global (kWh/m <sup>2</sup> )	6,31
--	------



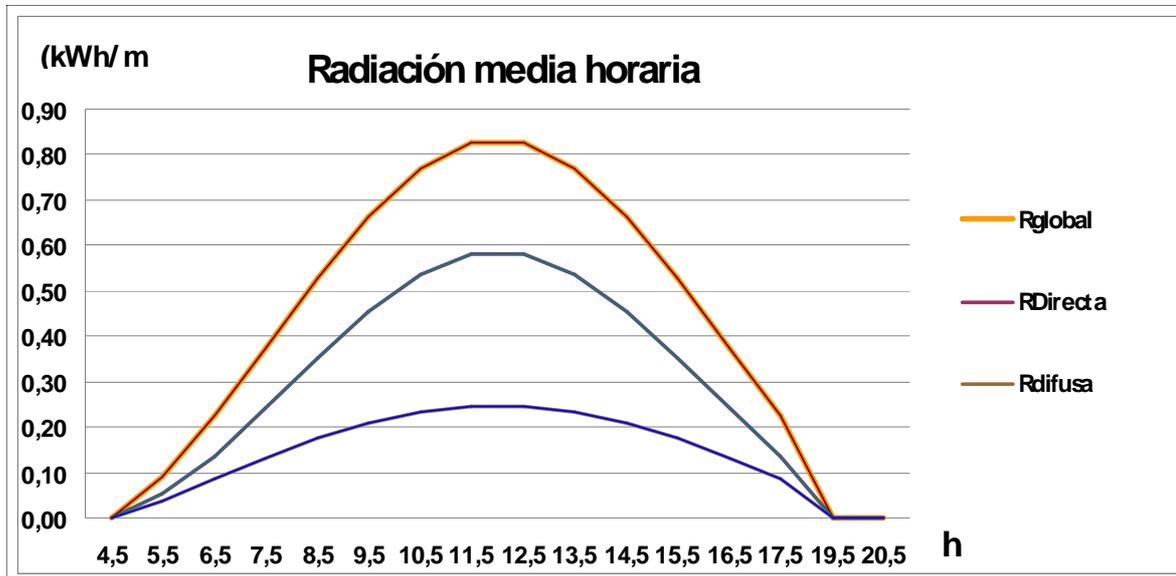
Gráfica 2.1.10: Radiación horaria global, directa y difusa para el mes de mayo.  
Fuente: Hoja de cálculo.

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

**Junio:**

**TOTAL para el día medio**

Radiación Global (kWh/m <sup>2</sup> )	6,94
--	------



Gráfica 2.1.11: Radiación horaria global, directa y difusa para el mes de junio.

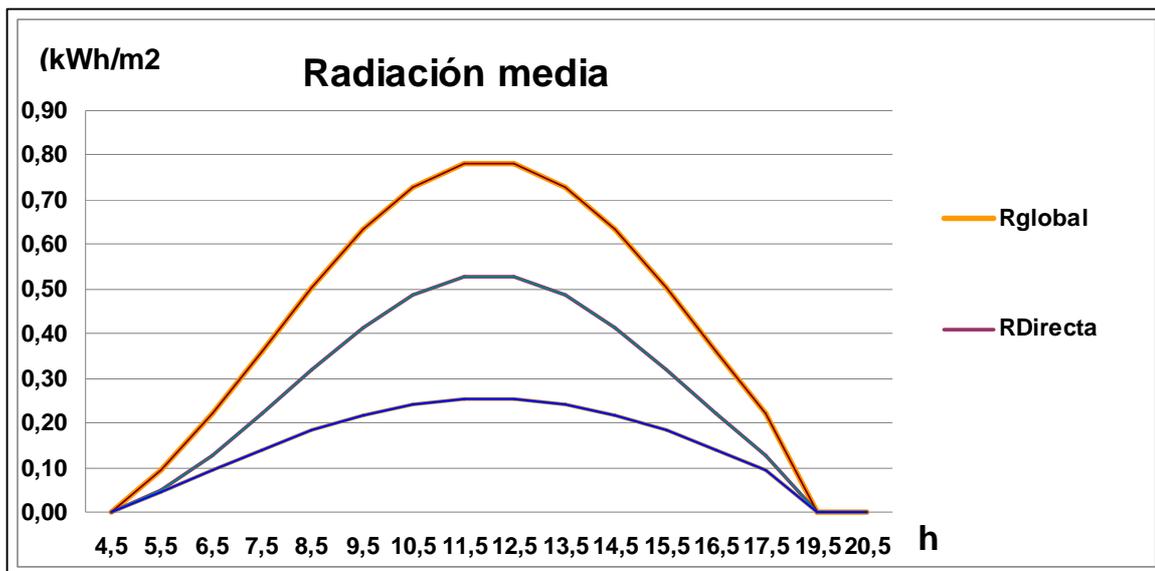
Fuente: Hoja de cálculo.

**Julio:**

**TOTAL para el día medio**

Radiación Global (kWh/m <sup>2</sup> )	6,64
--	------

Gráfica 2.1.12: Radiación horaria global, directa y difusa para el mes de julio.

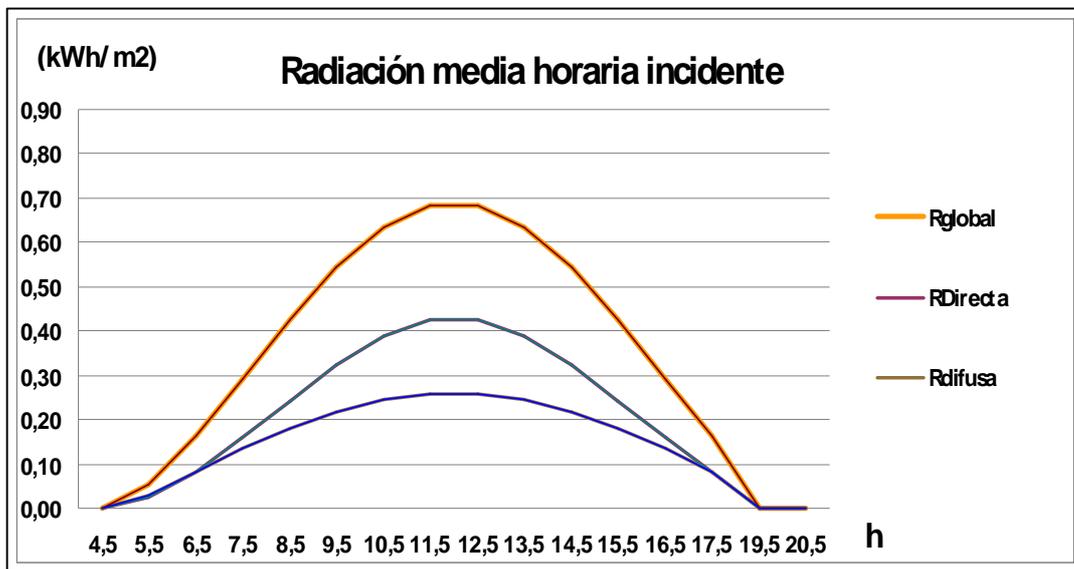


Fuente: Hoja de cálculo.

**Agosto:**

**TOTAL para el día medio**

Radiación Global (kWh/m <sup>2</sup> )	5,59
--	------



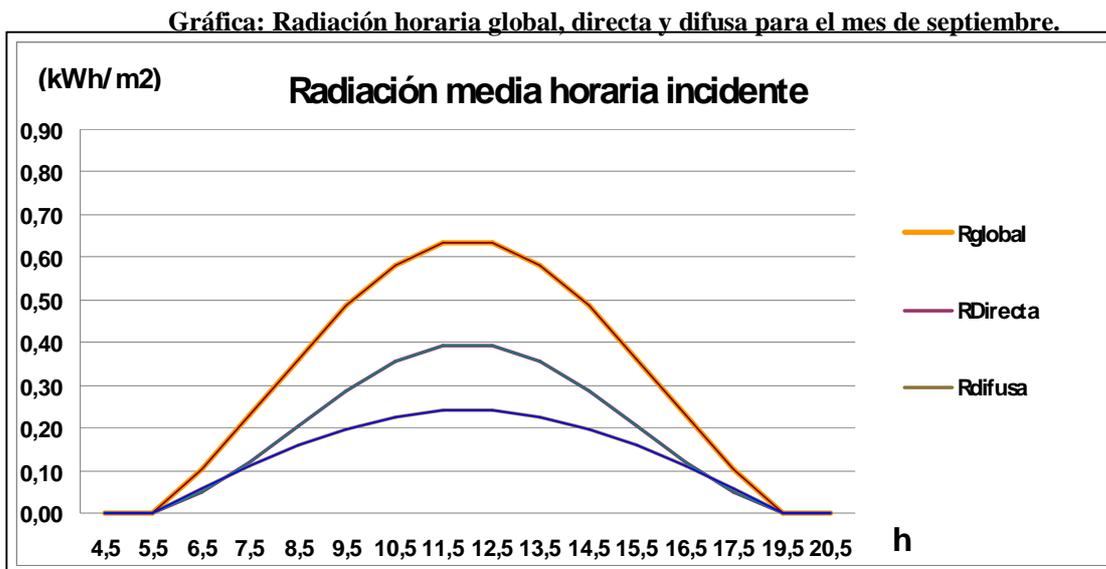
Gráfica: Radiación horaria global, directa y difusa para el mes de agosto.

Fuente: Hoja de cálculo.

Septiembre:

**TOTAL para el día medio**

Radiación Global (kWh/m <sup>2</sup> )	4,79
--	------



Gráfica: Radiación horaria global, directa y difusa para el mes de septiembre.

Fuente: Hoja de cálculo.

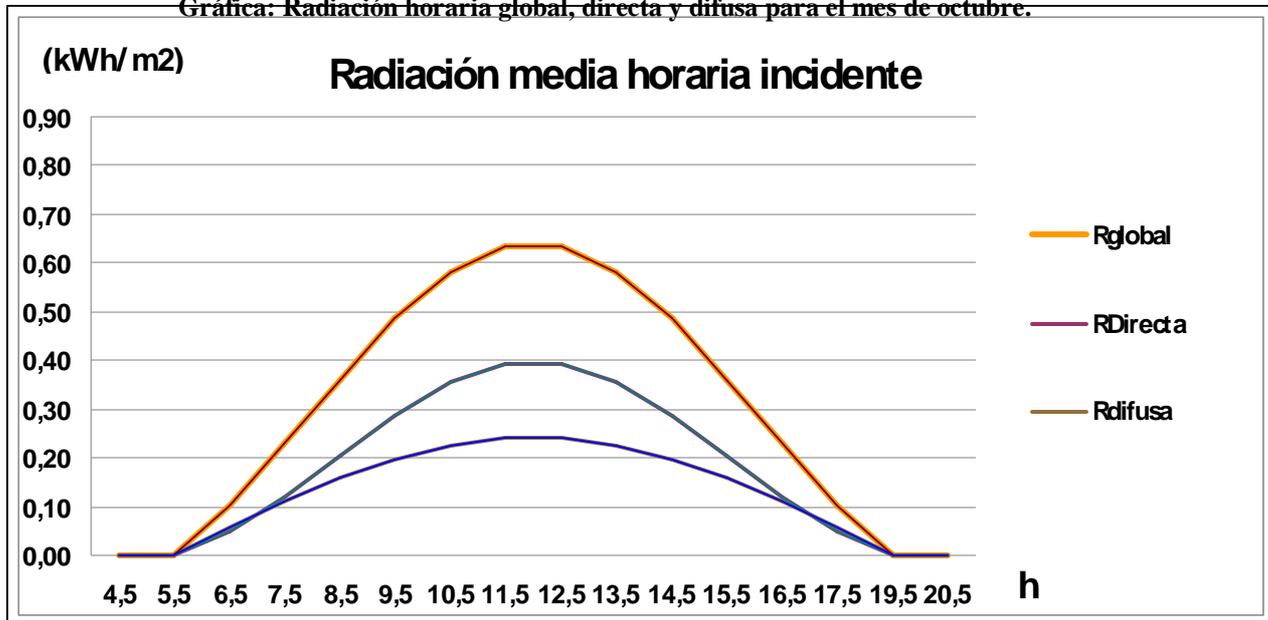
Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Octubre:

**TOTAL para el día medio**

Radiación Global ( kWh/m <sup>2</sup> )	4,79
---	------

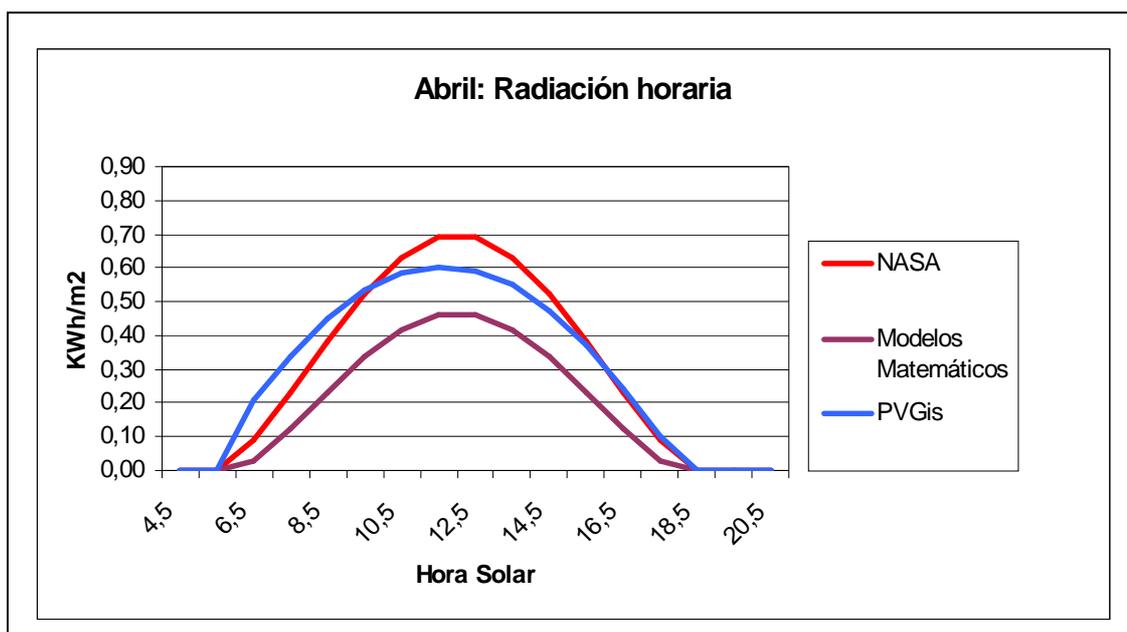
Gráfica: Radiación horaria global, directa y difusa para el mes de octubre.



Fuente: Hoja de cálculo.

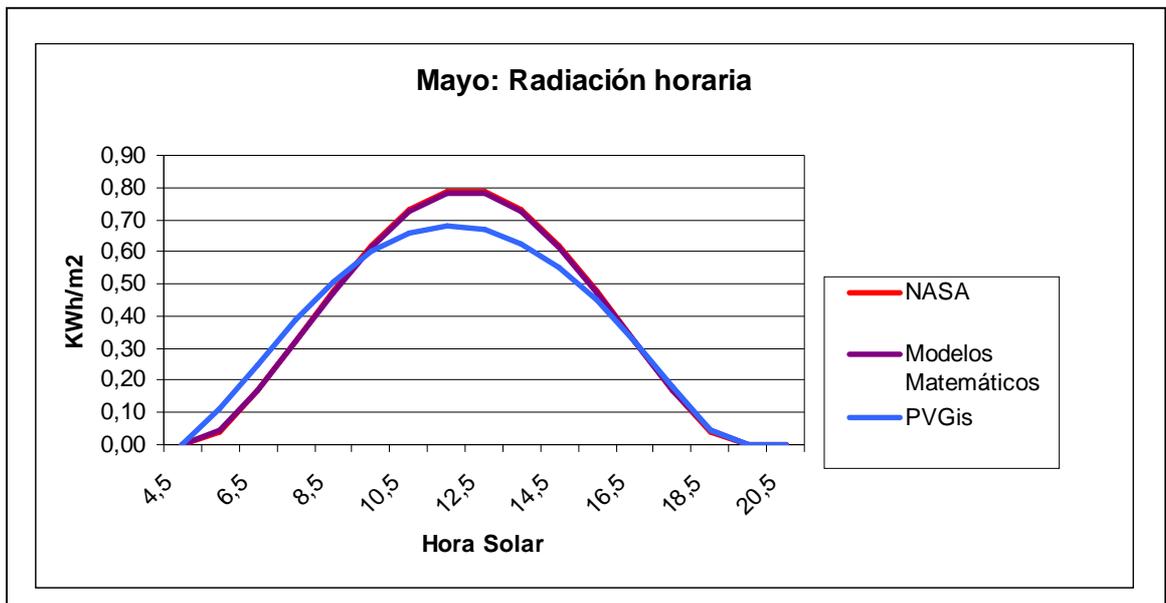
Una vez obtenidos estos resultados se realiza la comparativa entre ellos representando dichos resultados de radiación horaria para cada mes en una gráfica como las siguientes:

**Abril**

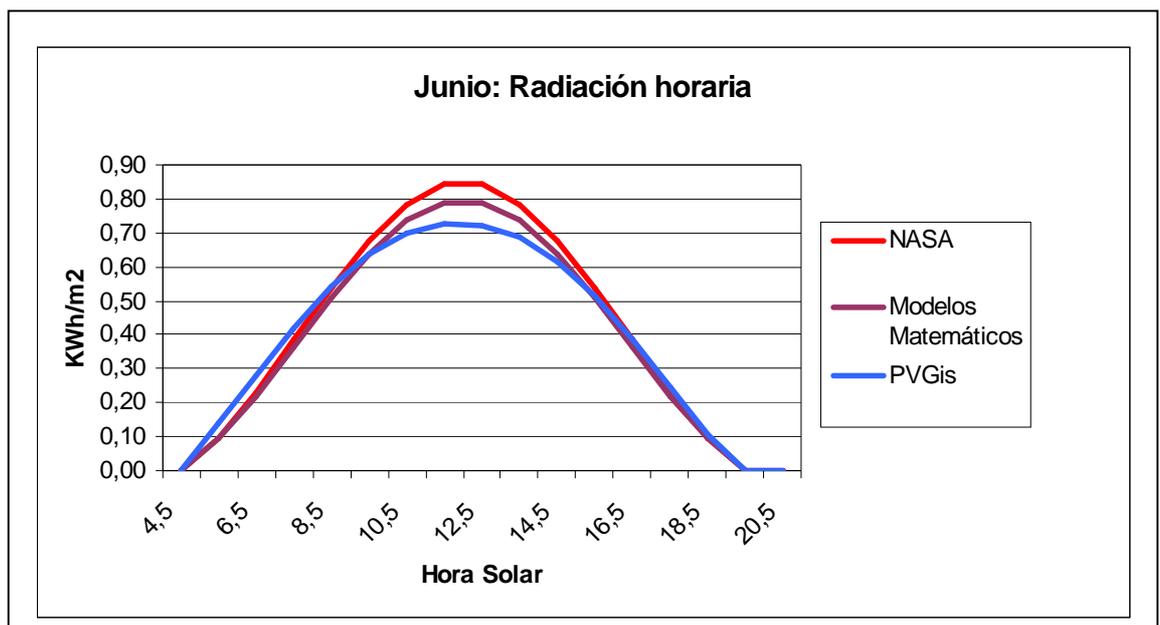


**Mayo**

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

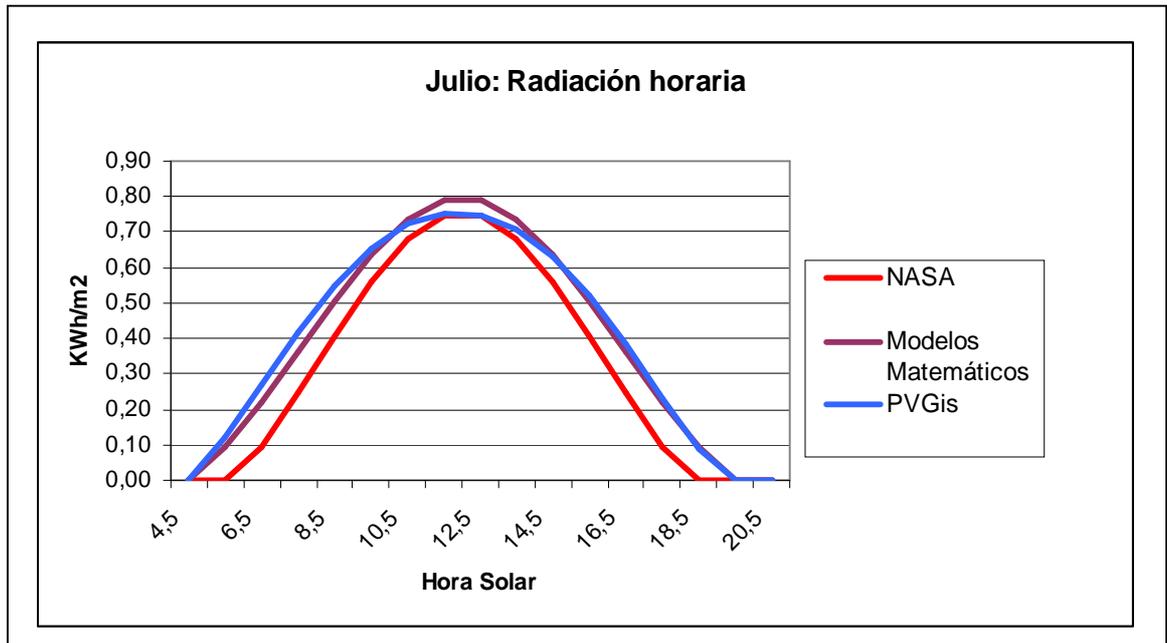


**Junio**

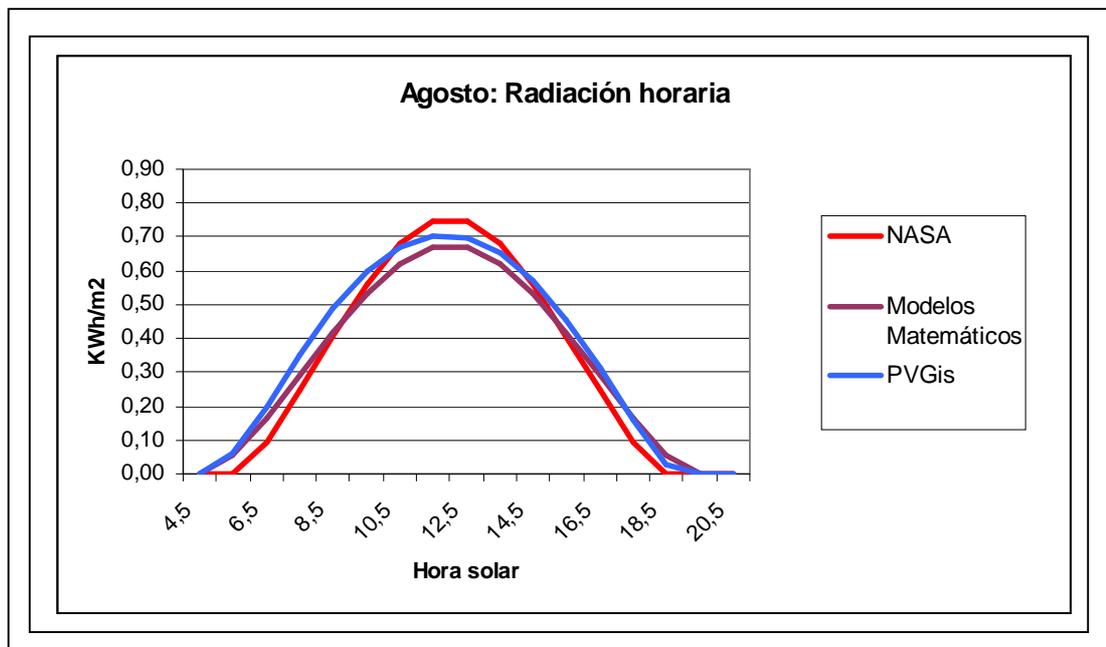


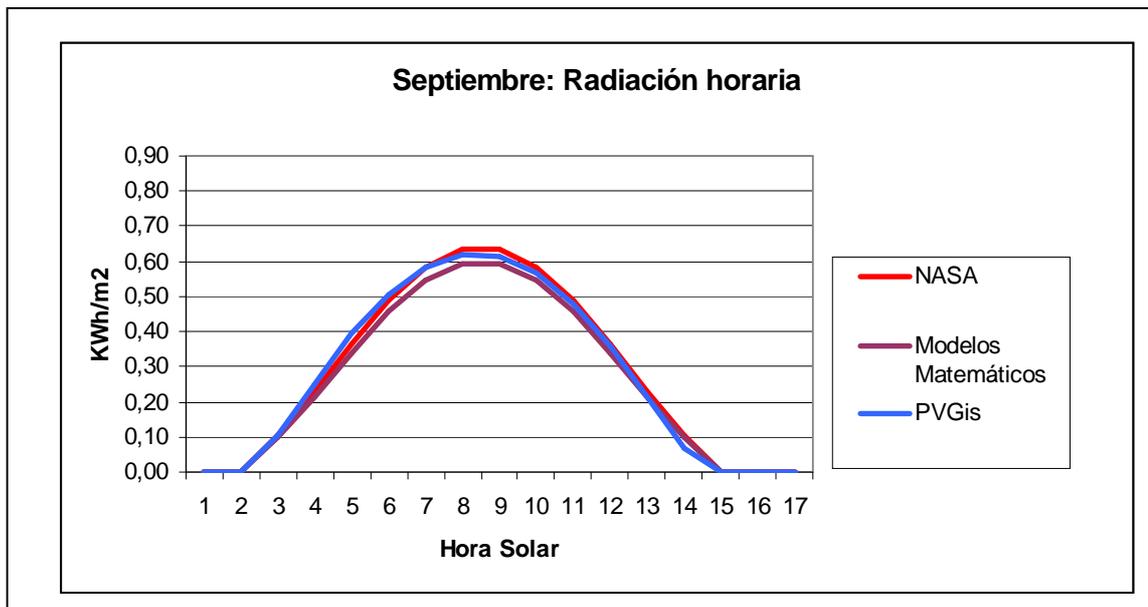
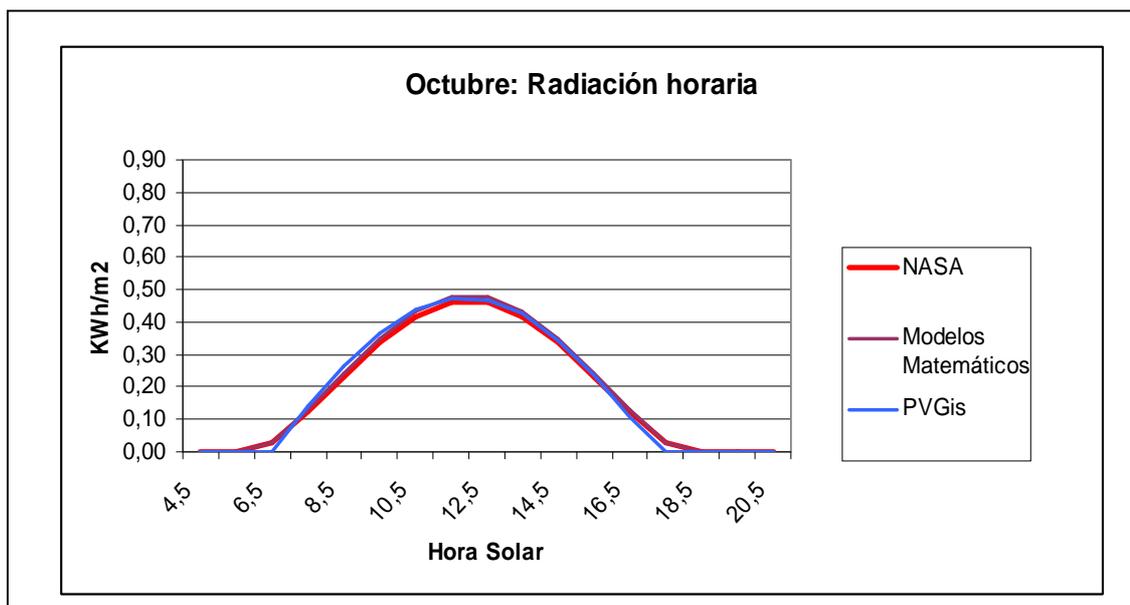
Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

**Julio**



**Agosto**



**Septiembre****Octubre**

Una vez realizada la comparación de los resultados obtenidos con tres fuentes diferentes se observa que no hay grandes variaciones, las mayores son en el mes de abril. Debido a que los demás meses el resultado es muy similar, esta desviación puede ser debida a algún error en la toma de datos.

Se observa otra desviación en el mes de mayo, obteniendo unos resultados similares empleando las fuentes de la NASA y los Modelo Matemático, tales son 0,79 KWh/m<sup>2</sup> y un resultado de 0,67 KWh/m<sup>2</sup> empleando la base de datos PVGIS.

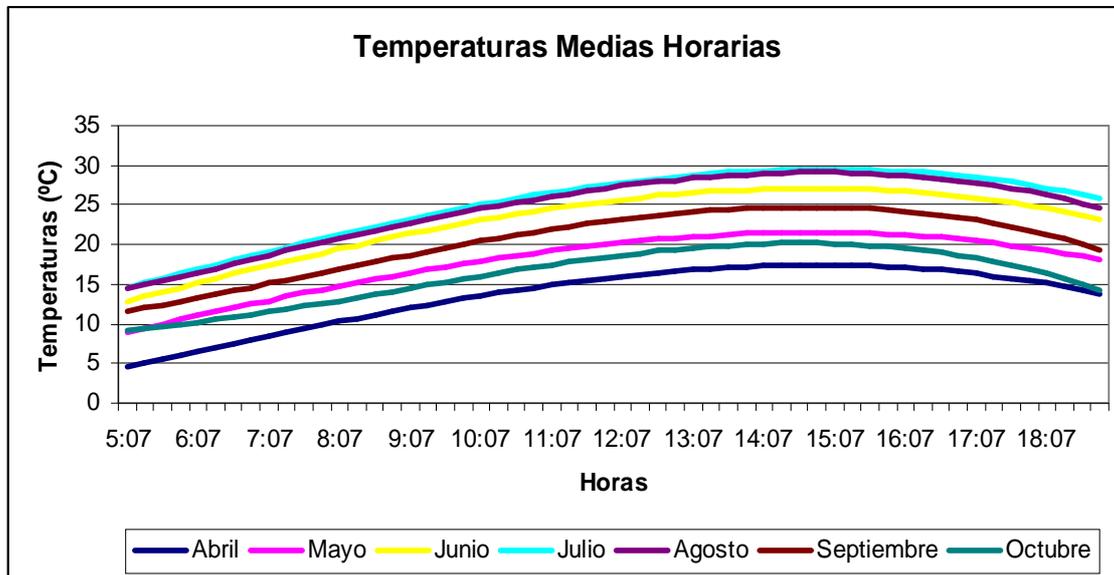
## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

### 2.1.1.7.3 Temperaturas Horarias en Alcorisa

PVGis ha desarrollado una base de datos y una metodología para el cálculo de la temperatura ambiente durante el día, todos los días a cualquier hora y en cualquier lugar sobre el continente europeo. La metodología utilizada emplea una cuadrícula con resolución espacial de 1x1 km fue desarrollada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) mediante interpolación espacial de un promedio mensual-7 valores diarios de temperatura - mínimo / máximo y 5 mediciones en el intervalo de tres horas 6:00-18:00 GMT. Un polinomio de ajuste de los datos interpolados se ha utilizado para estimar las temperaturas entre los tiempos de medición durante el día (desde el amanecer hasta la puesta del sol). El método ESRA doble coseno se aplicó para el cálculo de perfiles de temperatura diaria completa.

Con los datos de entrada un tanto escasos de caracteres disponibles (un poco más de 800 estaciones meteorológicas), se obtuvo un error de validación cruzada RMS de 1,0 a 1,2 °C, mientras que el error de interpolación es significativamente más baja, de 0,5 a 0,7 °C. El ajuste polinómico del perfil de temperatura diurno aumentó el error de interpolación global, sólo un poco. Los coeficientes de ajuste de la curva, hacen que sea posible calcular una serie de conjuntos de datos derivados de la base de datos SIG primaria, tales como la temperatura media del día, temperatura máxima del día y la hora en que se produjo en la región. Todos los datos corresponden a las medias mensuales del período 1995-2003.

Los resultados obtenidos para cada mes son los siguientes:



Gráfica 2.1.15: Temperaturas medias horarias mensuales. Fuente: PVGIS.

Como se observa los meses con menores temperaturas son, en primer lugar abril y en segundo lugar octubre, con una temperatura mínima de 5 °C a las 5 horas. Mientras que los meses con mayores temperaturas son julio y agosto como cabe esperar, con una temperatura máxima de 30 °C entre las 14:30 y las 15 horas.

#### **2.1.1.7.4 Conclusiones**

Se resuelve en emplear la base de datos de PVGIS, puesto que es la que ha aportado los datos más regulares y por lo tanto más fiables, con menores desviaciones. Siempre son más exacto datos medios horarios que datos medios mensuales, pues permiten conocer las variaciones a lo largo de las horas de un día, mientras que con los datos medios mensuales se descartan las alteraciones horarias, perdiendo información.

Por tanto estos resultados de radiación y temperatura serán los utilizados en la hoja de cálculo que se ha creado para calcular el volumen de agua bombeado al depósito a lo largo de cada día y finalmente en cada mes. De la misma manera, serán utilizados los datos de temperatura media horaria mensual facilitados por la misma base de datos de PVGIS.

## 2.1.2 RECURSO EÓLICO

### 2.1.2.1 Introducción

La energía eólica es una forma indirecta de energía solar, puesto que son las diferencias de temperatura y de presión inducidas en la atmósfera por la absorción de la radiación solar las que ponen en movimiento los vientos.

Se calcula que un 2 % de la energía solar recibida por la Tierra se convierte en energías cinéticas de los vientos. La cantidad de energía correspondiente es enorme: unos 30 millones de TWh por año, unas 500 veces el consumo mundial de energía eléctrica en 1975. Incluso teniendo en cuenta que sólo el 10 % de esta energía se encuentra disponible cerca del suelo, el potencial sigue siendo considerable; así, es difícil concebir en la actualidad la explotación de una parte notable de este potencial. Por tanto, sería necesario cubrir las tierras emergidas y las superficies marinas con enormes motores eólicos, siendo ésta la forma típica de aprovechar esta energía, a través de aerogeneradores o turbinas de viento. El funcionamiento de estos motores eólicos consta básicamente por un sistema de un rotor que gira a medida que pasa viento por este.

En estas condiciones, es más razonable estimar que por mucho tiempo las aplicaciones de la energía eólica se limitaran a utilidades locales, en regiones aisladas (a un nivel de potencia de algunos Kw a algunas decenas de Kw) o bien a un papel de fuente complementaria en la alimentación de las redes eléctricas (con niveles de potencia de hasta algunos MW).

Las zonas más favorables para la implantación de grandes motores eólicos son las regiones costeras y las grandes estepas, donde vientos constantes soplan regularmente: es necesaria una velocidad media del viento superior a 30 km/h (fuerza 5 en la escala de Beaufort).

### 2.1.2.2 Tipos de vientos

Los vientos los podemos clasificar según su escala en:

- **Vientos Globales:** (Escala terráquea) son los vientos producidos por el efecto combinado del desigual calentamiento de la tierra de las fuerzas centrífugas y de Coriolis producidas por la rotación de la tierra.
- **Vientos Geostroficó:** Este viento resulta fundamentalmente entre la fuerza de Coriolis, la fuerza de presión y el rozamiento con el suelo.
- **Vientos Locales:** El desigual calentamiento de la tierra y el mar, que absorben o emite distinta energía por radiación, dan lugar a las brisas marinas. Por otra parte la orografía del terreno puede dar lugar a efectos aceleradores.

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

#### 2.1.2.3 Medida del viento

El instrumento más antiguo para conocer la dirección de los vientos es la veleta que, con la ayuda de la rosa de los vientos, define la procedencia de los vientos, es decir, la dirección desde donde soplan.

La velocidad y dirección de los vientos se mide con el anemómetro, que suele registrar dicha dirección y velocidad a lo largo del tiempo. La intensidad del viento se ordena según su velocidad utilizando la escala de Beaufort. Esta escala se divide en varios tramos según sus efectos y/o daños causados, desde el aire en calma hasta los huracanes de categoría 5 y los tornados.

En relación a la dirección del viento, ésta es el punto cardinal desde el que se origina éste y se mide con la veleta. Por ejemplo, el viento del norte viene, obviamente, desde el norte y se dirige hacia el sur. En los aeropuertos se usan las mangas de viento para indicar la dirección del viento y estimar la velocidad a partir del ángulo que forma la manga con el suelo. Las veletas tienen indicadas en la parte inferior las direcciones de los vientos con los puntos cardinales y los puntos intermedios, conformando así lo que se conoce como rosa de los vientos, que se emplean con una brújula en los mecanismos de navegación de las embarcaciones desde hace muchos siglos.



**Imagen 2.1.11: Anemómetro.**

**Fuente: [www.smg.gov](http://www.smg.gov).**

La velocidad del viento se mide con anemómetros, de forma directa mediante unas palas rotativas o indirectamente mediante diferencias de presión o de velocidad de transmisión de ultrasonidos. Otro tipo de anemómetro es el tubo pitot que determina la velocidad de viento a partir de la diferencia de presión de un tubo sometido a presión dinámica y otro a la presión atmosférica.

#### 2.1.2.4 Potencia del viento

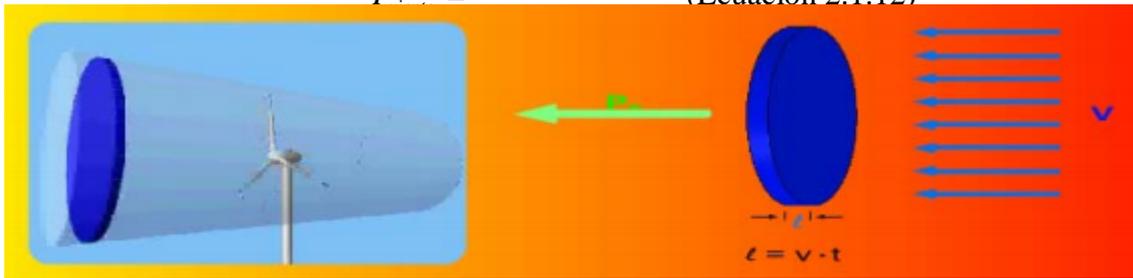
Es la potencia que posee el viento, de la cual el aerogenerador absorberá una parte. A continuación se detalla cuánta energía es capaz de extraer del viento un aerogenerador y los parámetros de los que depende, éstos son principalmente tres factores:

- Área por donde pasa el viento (rotor)
- Densidad del aire
- Velocidad del viento

Se partirá de la idea que esa potencia es la energía cinética contenida en un cilindro de superficie “A” y longitud “L” con velocidad lineal “V” que impacta sobre las palas del aerogenerador por unidad de tiempo “t”, tal y como se indica en la siguiente expresión:

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

$$P = \frac{E_{\text{cinética}}}{t} \quad (\text{Ecuación 2.1.12})$$



**Imagen 2.1.12: Potencia del viento. Fuente: [www.windpower.com](http://www.windpower.com)**

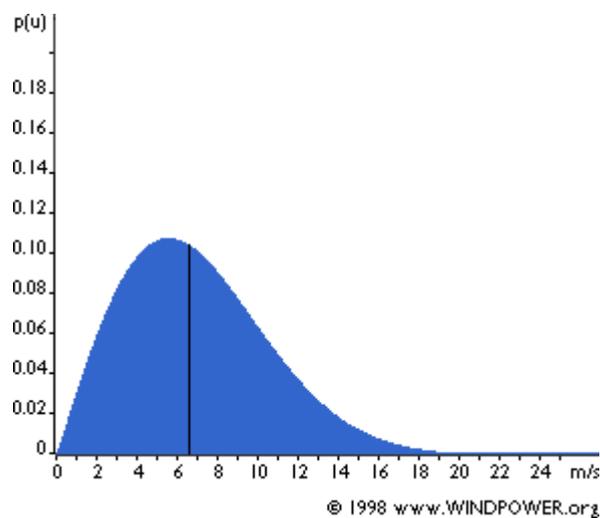
La masa de la rodaja viene definida en la siguiente expresión:

$$M = \bar{\rho} \cdot vol = \rho \cdot \pi R^2 \cdot l = \rho \cdot \pi R^2 \cdot vt \quad (\text{Ecuación 2.1.13})$$

La energía cinética contenida en la rodaja tiene el valor:

$$E_c = \frac{1}{2} M \cdot v^2 = \frac{1}{2} \rho \cdot \pi \cdot R^2 \cdot v^3 \cdot t \quad (\text{Ecuación 2.1.14})$$

Sin embargo, antes de definir la potencia del viento, es necesario describir algunas consideraciones previas, puesto que el viento no siempre se mantiene constante en dirección y valor de magnitud, es más bien una variable aleatoria, algunos modelos han determinado que el viento es una variable aleatoria con distribución weibull como la que muestra la siguiente figura:



**Gráfico 2.1.16: Distribución Weibull. Fuente: [www.windpower.org](http://www.windpower.org)**

Dado que la energía del viento depende su velocidad, se calcula la potencia promedio que es aprovechada por el rotor debemos usar la llamada ley de Betz que es demostrada de la siguiente manera:

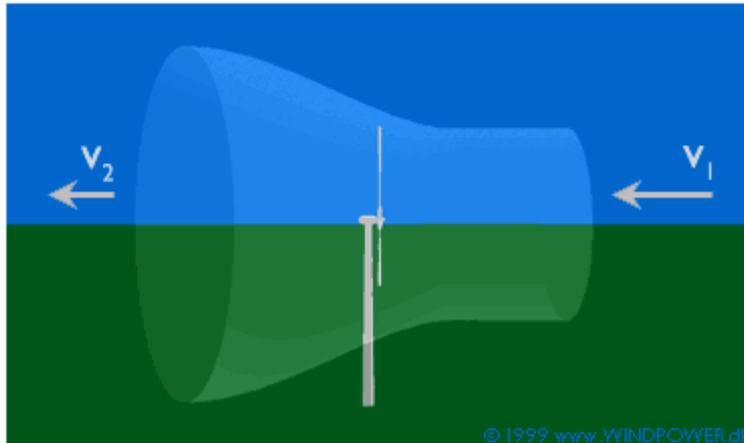


Imagen 2.1.13: Tubo de corriente de un aerogenerador. Fuente: [www.windpower.org](http://www.windpower.org).

Supongamos que la velocidad a la que entra el viento al tubo de corriente es de valor  $v_1$  y a la velocidad que sale es de  $v_2$ , podemos suponer que la velocidad a la que el viento entra al aerogenerador es de  $\frac{v_1 + v_2}{2}$ .

El flujo másico que entra al rotor entonces tiene valor de:

$$M = \rho \cdot A \left( \frac{v_1 + v_2}{2} \right) \quad (\text{Ecuación 2.1.15})$$

Dado que en tubo de corriente se debe conservar la potencia, la potencia que entra a velocidad  $v_1$  tiene que ser igual a la suma de la potencia que sale a velocidad  $v_2$  y la que se va por el rotor.

Entonces la potencia que se va por el rotor es:

$$P_{rotor} = \frac{1}{2} M (v_2^2 - v_1^2) \quad (\text{Ecuación 2.1.16})$$

Y reemplazando la masa nos queda:

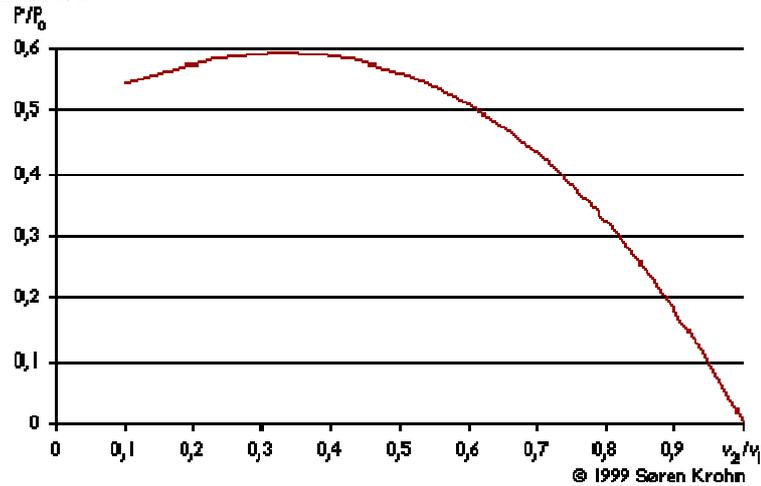
$$P = \frac{\rho}{4} \cdot A \cdot (v_1 + v_2) \cdot (v_2^2 - v_1^2) \quad (\text{Ecuación 2.1.17})$$

La potencia que lleva el viento antes de llegar al rotor viene dado por:

$$P_0 = \left( \frac{\rho}{2} \right) v_1^3 \cdot A \quad (\text{Ecuación 2.1.18})$$

Ahora si la comparamos con la potencia que lleva el viento nos da la siguiente grafica:

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa



Gráfica 2.1.17: Potencia extraíble del viento. Fuente: Soren Krohn

Cuyo máximo viene dado por 0.59 aproximadamente, es decir la máxima potencia que se puede extraer del viento es de **0.59 veces esta potencia**. Como se puede observar en la gráfica, a medida que la relación  $v_2/v_1$  aumenta, disminuye la potencia que se puede extraer. Por tanto interesa que la velocidad de salida  $v_2$  sea lo menor posible y  $v_1$  lo mayor posible.

### ➤ Comparación entre las potencias

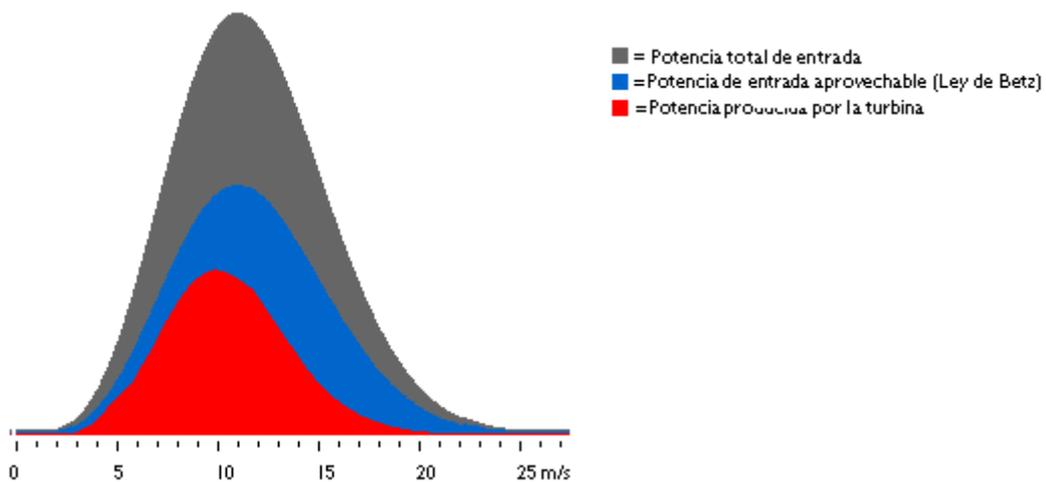


Gráfico 2.1.18: Relación entre potencias del viento, la extraída por el rotor y la transformada en electricidad. Fuente: windpower.

El gráfico muestra las potencias del viento, la extraída por el rotor y la potencia transformada a electricidad.

La extraída por el rotor está limitada por la ley de Betz y la transformada a electricidad está limitada por la eficiencia del generador.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Como la potencia entregada dada por el generador eólico depende de la velocidad del viento la eficiencia va a depender también de la velocidad del viento registrándose eficiencias máximas del orden de 44%.

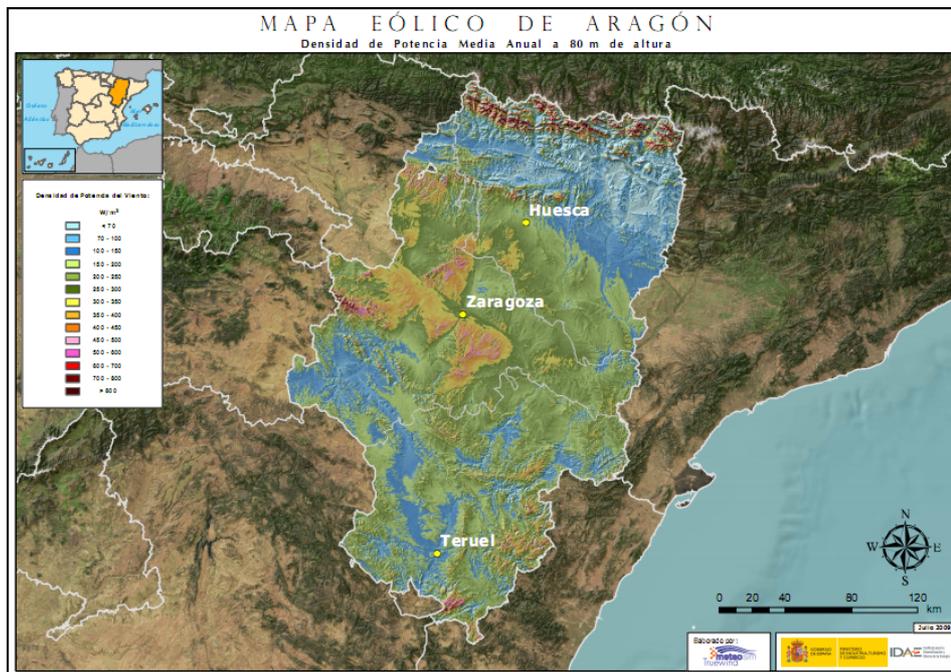
Hay que tener claro que para la lograr una eficiencia alta como la que sale aquí son necesarios muchos gastos que aumentarían el costo de producir un Kw más, por lo tanto máxima eficiencia no implica menor costo de generación.

### 2.1.2.5 Tratamiento de datos eólicos

Para la obtención de datos eólicos se han empleado dos fuentes de información diferentes, Atlas eólicos y Estaciones meteorológicas:

#### 2.1.2.5.1 Atlas eólicos

El Atlas eólico del IDAE se ha elaborado ante la necesidad de elaborar un Estudio del Recurso Eólico de España con la fiabilidad suficiente para permitir la evaluación del potencial eólico disponible, incluyendo la explotación de sus resultados mediante un Sistema de Información Geográfica de consulta pública, cuyo ámbito de aplicación sea todo el territorio nacional, incluyendo las aguas interiores y una banda litoral marina adicional de 24 millas náuticas. La utilización de criterios uniformes facilita la comparación entre los resultados obtenidos en distintas zonas del país.



**Imagen 2.1.14: Mapa Eólico de Densidad de Potencia Media Anual a 80m de altura en Aragón. Fuente: IDAE.**

Para realizar el Atlas Eólico de España se ha recurrido a un modelo de simulación meteorológica y de prospección del recurso eólico a largo plazo, estudiando su interacción con la caracterización topográfica de España, sin llevar a cabo una campaña de mediciones específica. En cambio, sí se han utilizado datos reales del recurso para la validación de los resultados de la herramienta de simulación adoptada.

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Los métodos convencionales para estudiar el potencial eólico en grandes extensiones requieren una larga y costosa campaña de medidas, la cual depende de la instalación de un gran número de torres meteorológicas perteneciente a una red homogénea de prospección. Asimismo, los modelos convencionales de flujos de viento son poco precisos ante regímenes de viento variables y territorios de orografía compleja.

Las modernas técnicas de modelización mesoescalares y microescalares ofrecen una solución muy efectiva a estos problemas: combinan eficazmente la utilización de un sofisticado modelo de simulación atmosférica, capaz de reproducir los patrones de viento a gran escala, con un modelo de viento microescalar que responda a las características del terreno y a la topografía. De esta manera, se pueden llevar a cabo estudios del potencial eólico en regiones extensas con un nivel de aproximación aceptable. Además, hay que destacar que no son necesarias mediciones reales del recurso eólico in situ para conseguir resultados razonables, si bien los datos de torres meteorológicas son imprescindibles para confirmar el potencial eólico previsto en un emplazamiento concreto. En definitiva, la modelización atmosférica mesoescalar y microescalar reduce notablemente el coste y el tiempo necesarios para identificar y evaluar zonas potencialmente prometedoras para la implantación de proyectos eólicos.

#### ➤ Metodología utilizada

Descripción de la metodología utilizada para la realización de los mapas eólicos.

#### 1. Modelos

En el corazón del sistema MesoMap está el MASS (Mesoscale Atmospheric Simulation System), un modelo numérico de predicción del estado de la atmósfera que ha sido desarrollado en los últimos 20 años por Meso Inc. (socio de Meteosim Truewind) como herramienta de investigación, así como plataforma de generación de productos meteorológicos comerciales. El MASS simula los fenómenos físicos fundamentales que gobiernan la atmósfera, incluyendo la conservación de la masa, la cantidad de movimiento y la energía (los principios básicos de la dinámica y termodinámica clásicas).

#### 2. Bases de datos

El modelo MASS se alimenta de diferentes tipos de bases de datos globales, geofísicas y meteorológicas. Las principales fuentes de datos:

- Bases de datos de reanálisis
- Bases de datos de radiosondeo y estaciones de superficie
- Bases de datos geofísicas

#### 3. Sistemas de cálculo y de almacenamiento de datos

El sistema MesoMap requiere una gran potencia de cálculo y de almacenamiento para poder generar los mapas de recurso eólico con una resolución espacial elevada y en un tiempo razonable. Para alcanzar este objetivo se han utilizado 56 procesadores y más de 3 Terabytes de datos.

Como cada día simulado por un procesador es completamente independiente del

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

resto de días, el proyecto se puede realizar en paralelo en este sistema 56 veces más deprisa que utilizando un solo procesador. Dicho de otro modo, un proyecto típico de MesoMap que tardaría más de dos años en completarse con un solo procesador, puede ser completado en dos semanas.

#### 4. Proceso de generación de los mapas de potencial eólico

El sistema MesoMap genera los mapas de potencial eólico en tres pasos. En primer lugar, el MASS simula las condiciones atmosféricas representativas de un periodo de 15 años. Cada simulación genera las características del viento y otras variables meteorológicas (como pueden ser la temperatura, la presión, la humedad, la energía cinética turbulenta o el flujo de calor) en tres dimensiones en el dominio de integración, y la información se guarda en salidas horarias. Una vez realizadas las simulaciones, los resultados se compilan en archivos resumen, que constituyen la entrada al modelo WindMap en la segunda etapa de elaboración de los mapas. La etapa final es la transformación de estos resultados numéricos en mapas, lo que se hace con la ayuda de las herramientas que proporcionan los Sistemas de Información Geográfica.

Los dos productos principales de todo este proceso son:

1. Mapas de la velocidad media del viento y de la densidad de potencia eólica a distintas alturas sobre el nivel del suelo (30, 60, 80 y 100 m).
2. Archivos de datos que contienen los parámetros de las distribuciones de frecuencias de velocidad y dirección del viento.

Los mapas y los datos de velocidades se comparan con los procedentes de observaciones realizadas en torres meteorológicas sobre la superficie terrestre o sobre el mar y, en caso de observarse discrepancias significativas, se realizan ajustes a posteriori.

#### **2.1.2.5.2 Estaciones meteorológicas**

Explicadas anteriormente en apartado de radiación 2.1.1.4.1, las estaciones meteorológicas poseen aparatos de medida para la temperatura, humedad y presión atmosférica y si lleva incorporado un anemómetro como el de la imagen 2.1.11 la visualización de la velocidad y dirección del viento, ésta sería la estación meteorológica que interesa para nuestro estudio.

En el siguiente mapa se encuentran situados las cincuenta estaciones meteorológicas situadas por la geografía española:

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

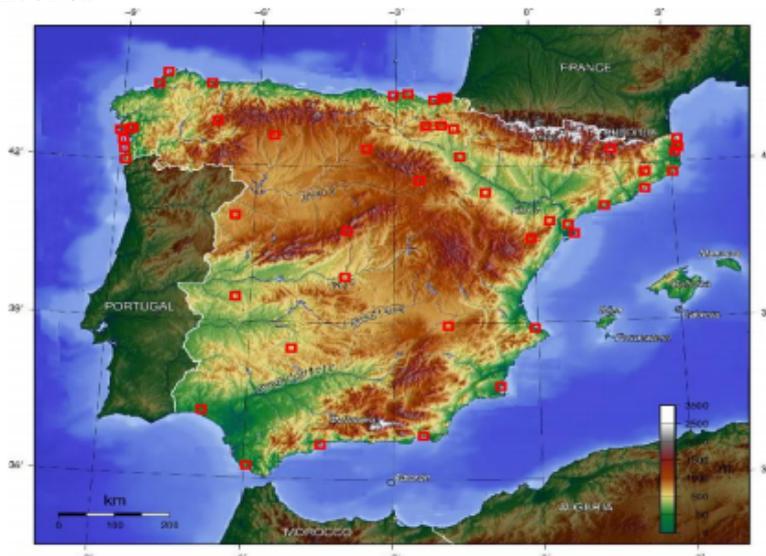


Imagen 2.1.15: Mapa de la localización de las 50 estaciones meteorológicas en España. Fuente: SKIRON.

2.1.2.6 Obtención de datos eólicos en Alcorisa.

Antes de describir los datos obtenidos de ambas fuentes, situamos en un contexto global la situación de la Península Ibérica, se muestra en el mapa bajo estas líneas la velocidad en la escala de colores adjuntada en el lateral y la dirección del viento representada por las flechas del mapa.

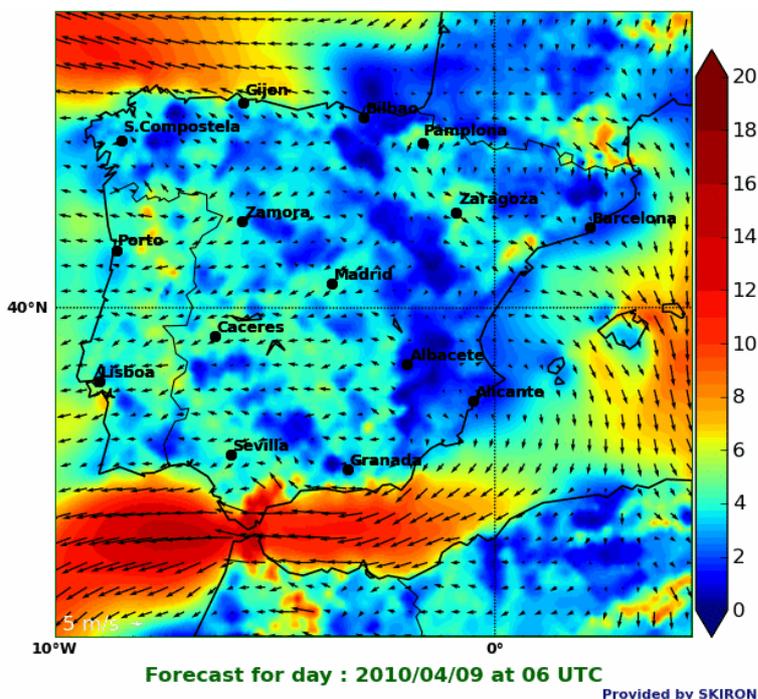


Imagen 2.1.16: Mapa representativo de la velocidad (m/s) y dirección del viento para el día indicado. Fuente: CENER.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

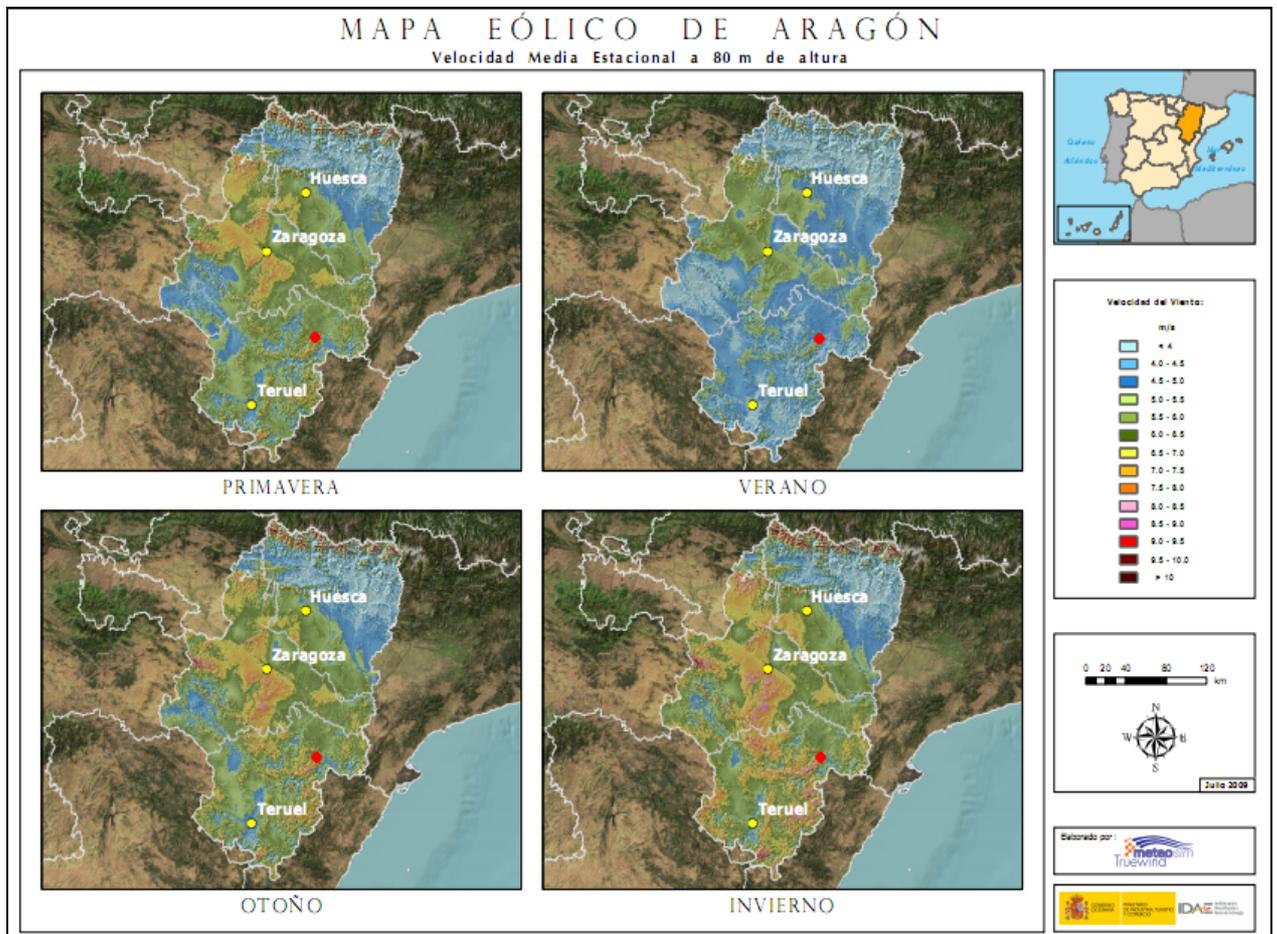
Se observa en la imagen el aumento de la velocidad del viento a lo largo de la depresión del Ebro, disminuyendo en los alrededores. También se contempla que la velocidad del viento aumenta sobre la superficie marítima, alcanzando valores aproximadamente de 15 m/s en el Estrecho de Gibraltar.

Hay una clara distinción entre las partes este y oeste de la península, siendo en esta última ligeramente mayor la velocidad del viento, éste viene en dirección este, mientras que en la parte más occidental proviene del norte.

A continuación se procede al estudio de los datos obtenidos mediante las bases de datos:

### ➤ Atlas Eólico.

En la base de datos del IDAE se han obtenido los diferentes mapas de la velocidad media en Aragón en las diferentes estaciones del año, en el punto rojo ésta emplazado Alcorisa, como se puede observar en los siguientes mapas:



**Imagen 2.1.17: Mapas estacionales de la Velocidad Media de Aragón. Fuente: IDAE**

Se puede comprobar la variación de la velocidad del viento a lo largo de las estaciones, así en primavera, en Alcorisa, el viento tiene una velocidad de aproximadamente entre 5 y 7 m/s. En la depresión del Ebro, las velocidades alcanzan los 8,5 m/s en algunas zonas.

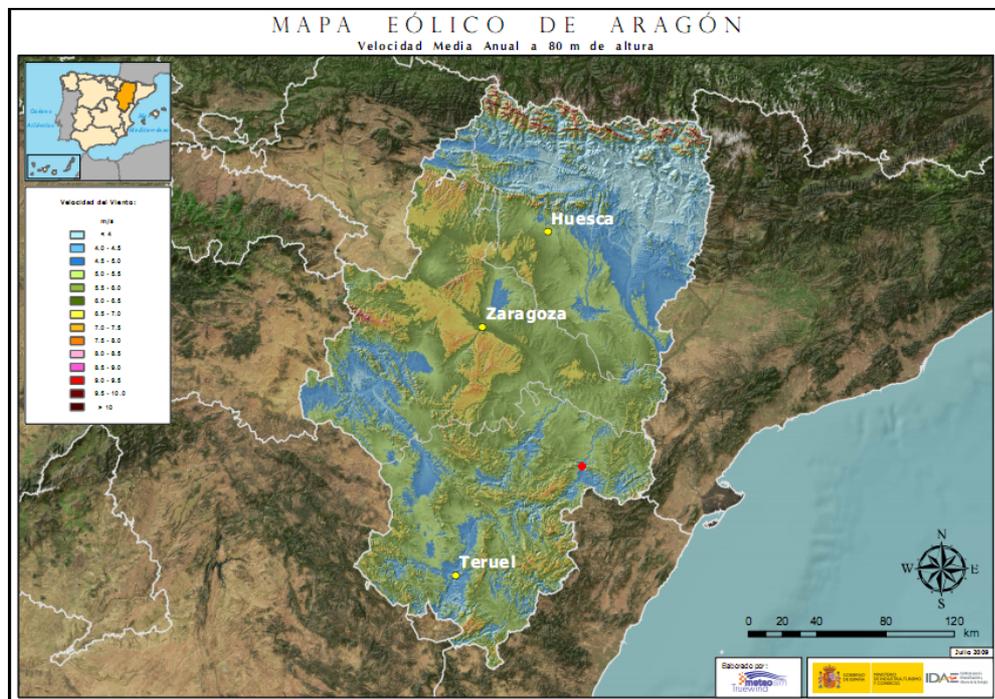
## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Mientras que se reduce la velocidad del viento en verano, en el que prácticamente en su totalidad, el territorio posee la tonalidad azulada perteneciente a velocidades en torno a 4,5 m/s, siendo también la situación de Alcorisa. Únicamente en la depresión del Ebro, existen tonalidades marrones, se aumenta hasta los 6,5 m/s.

Por último, en otoño y en invierno la situación es más parecida, encontrándose las menores velocidades en el Pirineo y Pre-Pirineo y en ciertos puntos del Sistema Ibérico. Sin embargo, en Alcorisa se detectan valores en torno a los 9 m/s.

En nuestro caso, el estudio interesa llevarlo a cabo mayoritariamente en verano, siendo ésta la situación más desfavorable para la instalación de un aerogenerador.

A continuación se muestra la velocidad del viento media anual y la densidad de potencia media anual en Aragón, en el mapa se sitúa Alcorisa en el punto rojo:

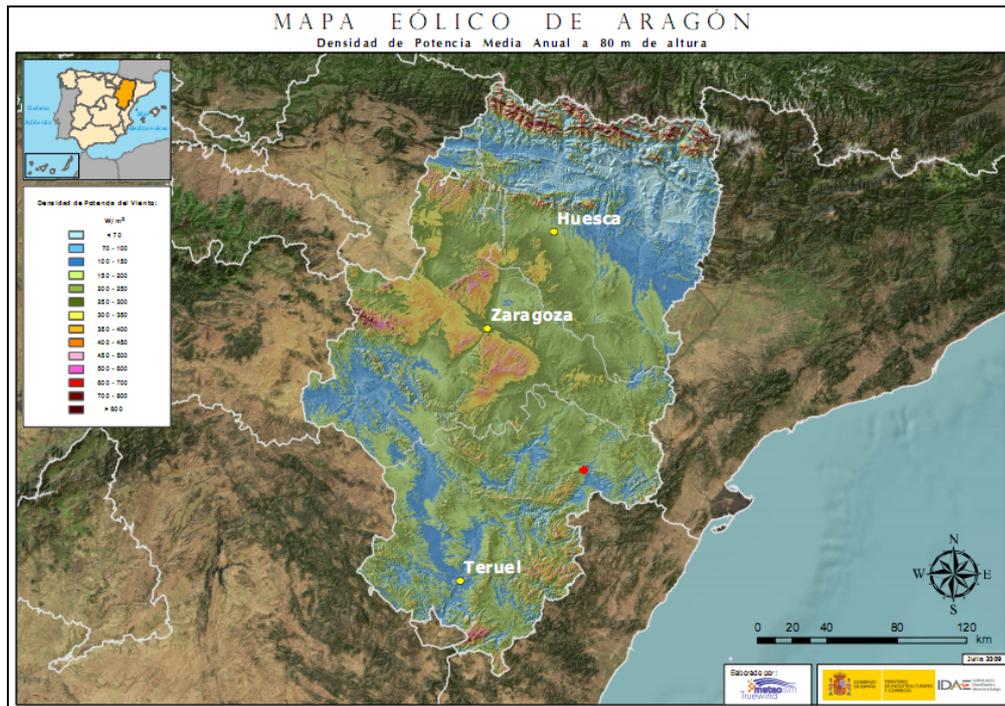


**Imagen 2.1.18: Mapa Eólico de Aragón. Velocidad Media Anual a 80 m de altura.**  
Fuente: IDAE.

En el mapa se observa que la situación es muy similar a la encontrada en primavera, con unas velocidades medias del viento en torno a los 6 m/s. Encontrando valores en torno a los 8, incluso 9 m/s en las zonas cercanas al río Ebro.

También se ha obtenido el mapa de densidad de potencia del viento:

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa



**Imagen 2.1.19: Mapa Eólico de Aragón. Densidad de Potencia Media Anual a 80 m de altura.**  
Fuente: IDAE.

Los valores del mapa oscilan entre menos de 70 y más de 800 W/m<sup>2</sup>, es decir, entre azul claro y el negro respectivamente.

La situación de Alcorisa corresponde a valores entre 150 y 200 W/m<sup>2</sup>. El mapa recoge valores de hasta 600 W/m<sup>2</sup>., de la misma manera que en el mapa de la velocidad del viento, estos valores corresponde al entorno del río Ebro y al sur de la provincia de Teruel.

### ➤ Estaciones Meteorológicas

De la base de datos CENER se han obtenido los valores para Alcorisa (punto señalado por una bandera) de Rosa de Velocidad y de Rosa de Frecuencia, que se mostrarán sobre la rosa de vientos y el Histograma, que se mostrará en un gráfico de barras los valores de frecuencia de viento en porcentaje, tal y como se puede observar a continuación:

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

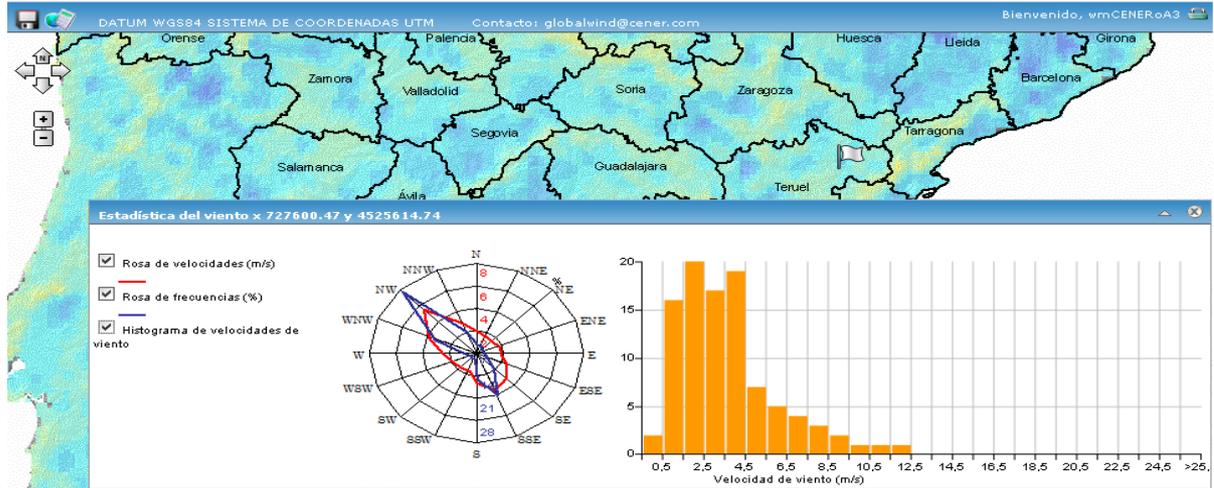
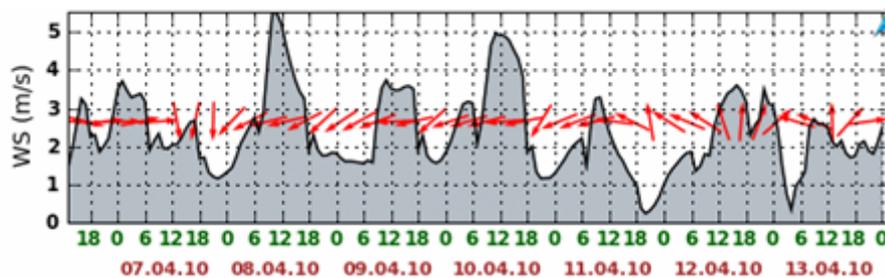


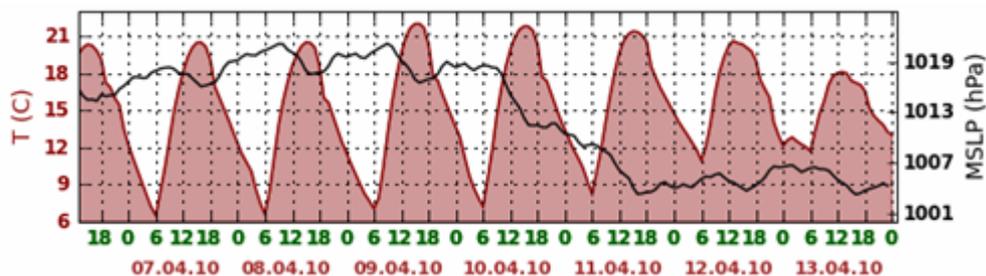
Imagen 2.1.20: Estadística del viento en Alcorisa. Fuente: CENER.

En la rosa de los vientos se representan los valores de velocidades entre 0 y 8 m/s, que toma el viento en la rodaja, en función de su orientación geográfica, así como los porcentajes de frecuencia del mismo, entre 0 y 28 %. En la gráfica se observan los valores de frecuencia de viento en porcentaje frente a la velocidad del viento en m/s, sólo existen valores hasta los 12,5 m/s, ya que no se han registrado velocidades mayores. Se percibe que las mayores frecuencias se encuentran entre los 0,5 y 4,5 m/s.

Esta base de datos nos ofrece la posibilidad de obtener las siguientes gráficas:



Gráfica 2.1.19: Velocidad y dirección del viento a 10 m de altura en Teruel. Fuente: CENER.



Gráfica 2.1.20: Temperatura del aire a 2 m de altura y presión MSL. Fuente: CENER.

En la gráfica 2.1.19 se puede ver las variaciones horarias de la velocidad y dirección del viento durante los días representados de Abril del 2010. Se analiza que las mayores velocidades corresponden a las 12 horas, mientras que los menores picos son a las 12 horas de la noche.

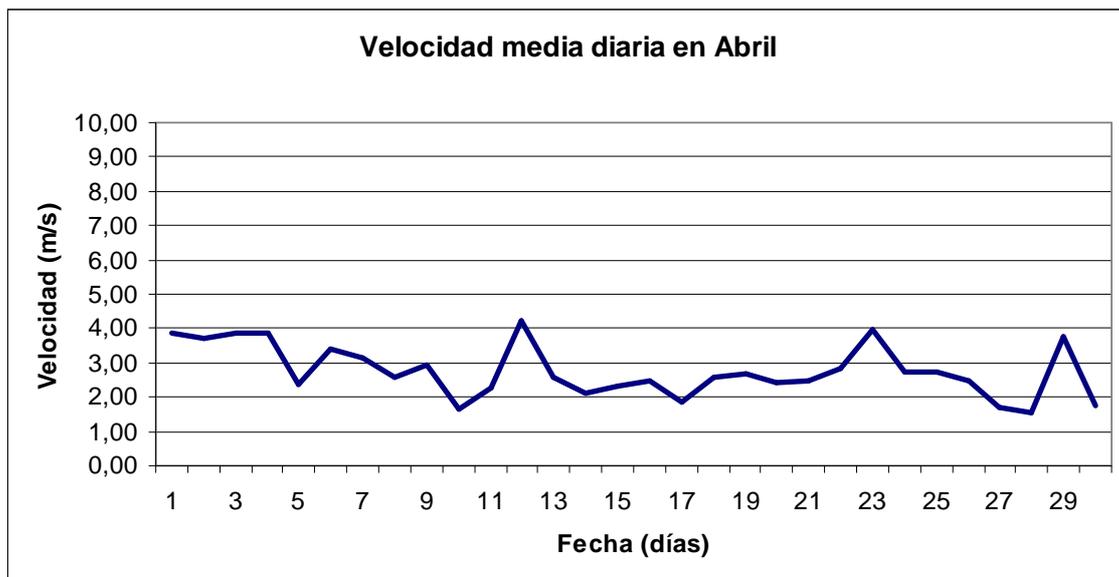
## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Mientras que en la gráfica 2.1.20 están enfrentadas la temperatura, en °C, y la presión sobre el nivel del mar, en hPa, a lo largo de las horas de los días señalados. Se observa que las mayores temperaturas se corresponden a las horas del medio día y las menores a la hora de las 6 de la mañana.

De la misma manera se destaca que las presiones son mayores los primeros días y disminuyen manteniéndose constantes los tres últimos días.

Otra opción de dicha base de datos es proporcionar una tabla con todos los datos de velocidad horaria mensual, para el mejor manejo de la tabla, se han representado las medias diarias calculadas de los datos horarios, ya que son datos más precisos que disponer de las medias diarias directamente. Gracias a la elaboración de estas tablas se puede estudiar el recurso eólico con mayor precisión, en las siguientes gráficas se muestran dichos valores para cada mes de riego para la situación geográfica de Alcorisa:

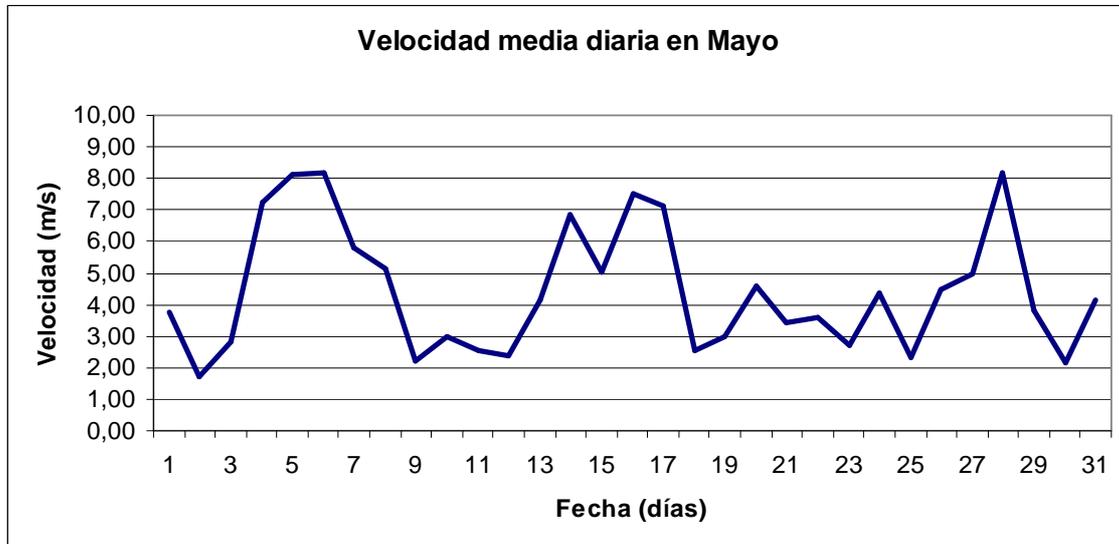
### Abril:



Gráfica 2.1.21: Velocidades del viento medias diarias para abril en Alcorisa. Fuente: CENER.

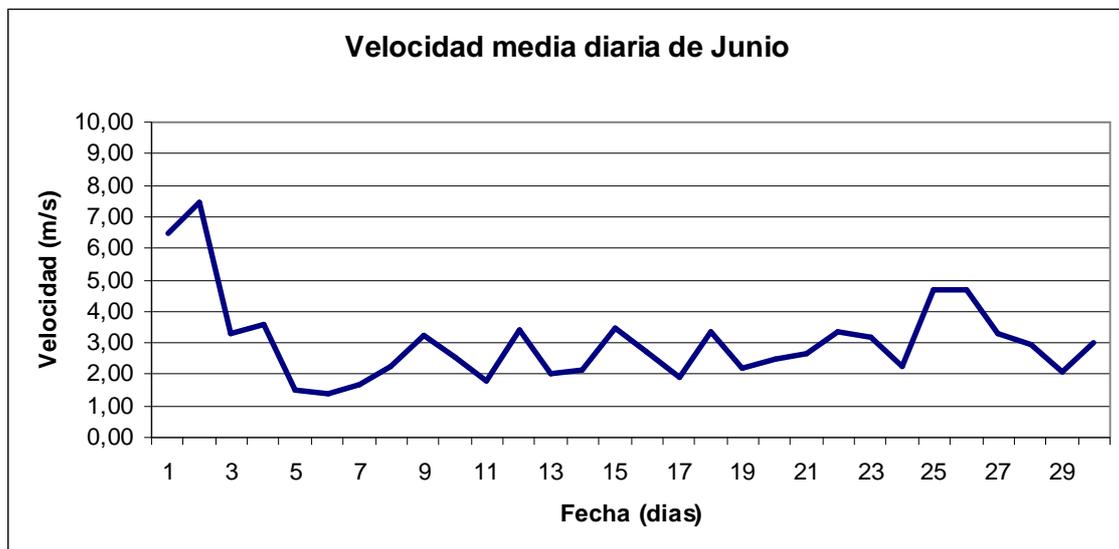
Se observa en la gráfica que los mayores valores alcanzan los 4 m/s, mientras que los mínimos representan una velocidad del viento de 1,5 m/s.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

**Mayo:**

Gráfica 2.1.22: Velocidades del viento medias diarias en mayo en Alcorisa. Fuente: CENER.

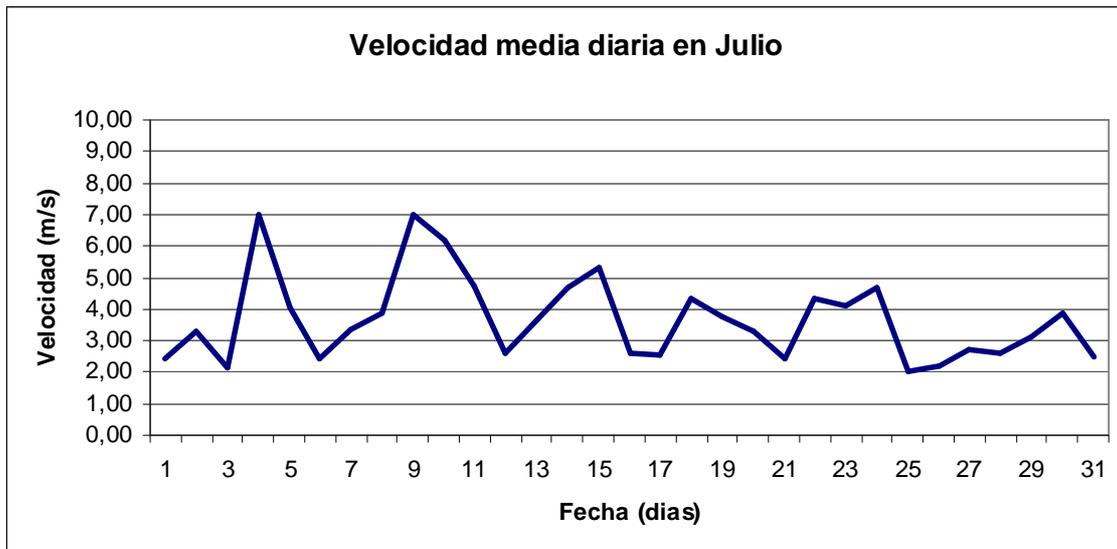
En cambio, en la gráfica anterior se pueden diferenciar que los mayores valores de velocidad del viento se aproximan a los 8 m/s, mientras que hacia los días 2, 11, 25 y 30 de mayo se observan picos mínimos de 2 m/s.

**Junio:**

Gráfica 2.1.23: Velocidades del viento medias diarias en junio en Alcorisa. Fuente: CENER.

En este mes, la velocidad se mantiene muy regular entre 2 y 5 m/s, excepto en los primeros días del mes que alcanza casi los 8 m/s el segundo día.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

**Julio:**

Gráfica 2.1.24: Velocidades del viento medias diarias en julio en Alcorisa. Fuente: CENER.

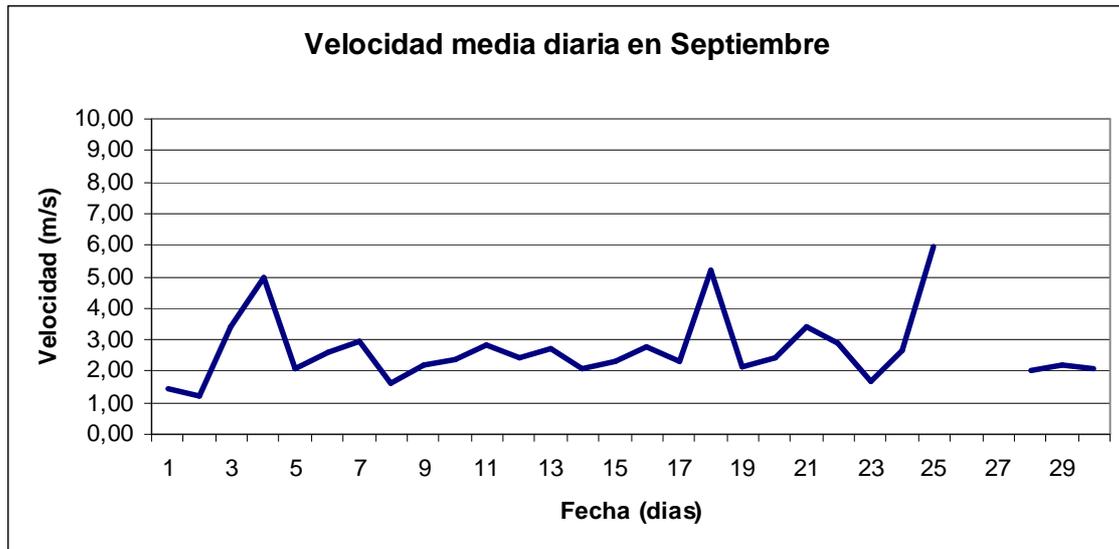
Este es un mes más irregular, puesto que se registran picos de hasta 7 m/s el día 4 y 8 de julio, oscilando el resto del mes desde los 2 hasta los 5 m/s con picos irregulares.

**Agosto:**

Gráfica 2.1.25: Velocidades del viento medias diarias en agosto en Alcorisa. Fuente: CENER.

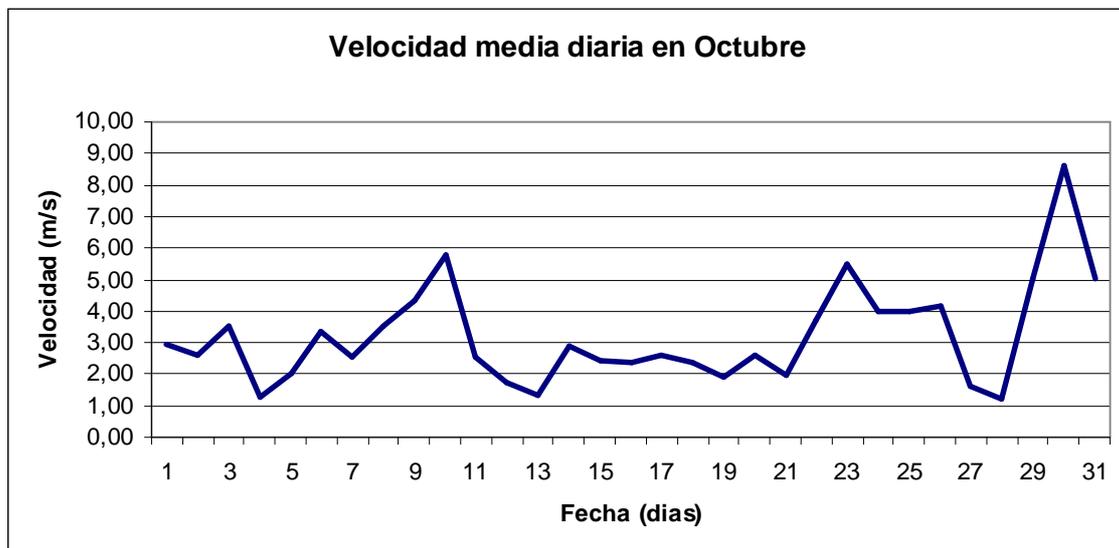
Al igual que el mes anterior, los datos muestran un reparto muy irregular, con un pico de velocidad el día 21 de agosto de 8,8 m/s, siendo el máximo registrado a lo largo de todos los meses sometidos a estudio. El mínimo dato es de aproximadamente 2 m/s en varios momentos durante este mes tal y como se observa en la gráfica 2.1.25.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

**Septiembre:**

Gráfica 2.1.26: Velocidades del viento medias diarias en agosto en Alcorisa. Fuente: CENER.

En el mes de septiembre la velocidad del viento se mantiene muy constante a lo largo del mes, entre los 2 y 3 m/s, a excepción de los días 4 y 18 en los que se registran valores de 5 m/s con un pico máximo el día 26 de 6 m/s. La base de datos no cuenta con los valores del 26 y 27 de septiembre, por eso no están representados en la gráfica.

**Octubre:**

Gráfica 2.1.27: Velocidades del viento medias diarias en agosto en Alcorisa. Fuente: CENER.

Los valores registrados en octubre muestran una gráfica muy irregular con altibajos. El máximo valor es de 8,6 m/s y corresponde al día 30 de octubre, mientras que el mínimo se repite los días 4, 13 y 28 de octubre con valores de 1,2 y 1,3 m/s.

## MEMORIA

---

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Tras estos resultados obtenidos de las dos fuentes, tanto los Atlas Eólicos como las Estaciones Meteorológicas, se decide emplear los datos provenientes de las estaciones meteorológicas, puesto que son datos medios diarios obtenidos a partir de los datos horarios. Es decir, son datos mucho más exactos en cuanto a emplazamiento geográfico y temporal, pues se dispone de un dato por cada hora del día, lo que permite saber la potencia que es capaz de extraer un aerogenerador del viento a lo largo del día.

## 2.2. DEMANDA

Una vez estudiado el recurso solar y eólico en el emplazamiento solicitado para la instalación, se ha de estudiar la demanda de agua requerida por el huerto de olivos. Se dimensiona la instalación final en función de este parámetro, puesto que la potencia transmitida por el sistema generador de energía, deberá ser la suficiente para poder bombear el agua demandada durante el período entre un riego y el siguiente.

A continuación se describen brevemente los parámetros que determinan la necesidad de agua en los olivos y la influencia que la implantación de este sistema tiene en este cultivo tradicionalmente de secano.

### 2.2.1 RIEGO EN OLIVOS

El olivar se ha cultivado tradicionalmente en condiciones de secano. Es un cultivo bien adaptado a los secanos mediterráneos, con producciones aceptables y capaz de sobrevivir a periodos de intensa sequía.

Sin embargo, desde hace tiempo se ha comprobado experimentalmente que la práctica del riego aumenta considerablemente el rendimiento del olivar, incluso cuando las aportaciones de agua son muy reducidas.

En los últimos años han coincidido una serie de circunstancias entre las que destacan el aumento del precio del aceite, la intensa sequía sufrida en las zonas productoras y la difusión de las técnicas de riego localizado, que han despertado un enorme interés por la puesta en riego del olivar en España.



**Imagen 2.2.1: El olivo. Fuente: Portal de medio ambiente.**

El olivo como toda vegetación terrestre tiene el problema de adquirir a través de las estomas el máximo de CO<sub>2</sub> necesario para la fotosíntesis, a la vez que limita al máximo

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

la pérdida de vapor de agua, es decir mantener un balance entre fotosíntesis y transpiración. Al igual que otras especies que han evolucionado en clima mediterráneo, como la encina, mantiene un delicado balance.

Diversos estudios han demostrado que el olivo tiene una apertura estomática mayor en las primeras horas del día, reduciendo dicha apertura en las horas centrales del día. Este comportamiento tiene un gran valor adaptativo en condiciones limitantes de agua, puesto que en la mañana el déficit de presión de agua (DPV) de agua es mínimo, llegando a un máximo al mediodía solar. Por tanto puesto que la transpiración es directamente proporcional al DPV, en la mañana, la mayor apertura estomática permite la entrada de CO<sub>2</sub> a un coste transpirativo menor que al mediodía. Este patrón de apertura estomática permite al olivo maximizar la fotosíntesis por unidad de agua consumida (máxima eficiencia en transpiración). La naturaleza perenne del olivo hace que su productividad sin limitación hídrica supere a la de la mayoría de los cultivos herbáceos que pueden competir con él en climas similares.

Podría decirse que el olivo posee mecanismos de regulación estomática que le permiten evitar la deshidratación, por lo que el estado hídrico del árbol debe ser favorable incluso en situaciones de limitación. Estudios de medida del potencial hídrico (PH) indican que árboles sin limitación hídrica tiene un PH de -1,5 MPa al mediodía en verano, mientras que el olivo alcanzó valores de -8MPa bajo condiciones de sequía extrema, demuestra la gran capacidad que tiene para disminuir su PH por debajo de valores que causarían la deshidratación y muerte de la casi totalidad de las plantas cultivadas.

A pesar de esta resistencia a la sequía, la productividad del olivo, como la de todas las plantas, responde negativamente a la sequía.

### 2.2.1.1 FACTORES DEL RIEGO

Existen diversos factores que intervienen en el cálculo de la necesidad de agua, relacionados por las siguientes expresiones matemáticas:

$$ET_c = ET_o * K_c * K_r \quad (\text{Ecuación 2.2.1})$$

- $ET_c$  = evotranspiración máxima del cultivo
- $ET_o$  = evotranspiración de referencia (pradera de gramíneas sin limitaciones de agua)
- $K_c$  = coeficiente de cultivo determinado experimentalmente. Expresa la relación entre la evotranspiración de un cultivo que cubre completamente el suelo y la  $ET_o$ .
- $K_r$  = coeficiente que representa el efecto del estado de desarrollo del cultivo en la  $ET_c$ . Con valores entre 0 y 1 para olivares jóvenes o maduros respectivamente.

$$ET_o = 0,0023 * R_a * (T_m + 17,3) * (T_{\max} - T_{\min})^{1/2} \quad (\text{Ecuación 2.2.2})$$

- $R_a$  = Radiación terrestre expresada en mm/día.
- $T_{\max}, T_{\min}, T_m$  = Temperaturas medias (°C) de las máximas, las mínimas y las medias durante el periodo considerado.

Cuando el olivar es puesto en riego, su volumen de copa aumenta, y con él, el  $K_r$ , no estabilizándose hasta varios años después, lo que debe ser tenido en cuenta a la hora de diseñar el sistema de riego.

Se le considera al suelo como un depósito de agua con un nivel superior denominado capacidad del campo (CC) y otro inferior, llamado nivel de agotamiento permisible (NAP), cuya diferencia determina el agua disponible para el cultivo.

Con el método descrito puede aproximarse la  $ET_c$  de un olivar en las distintas zonas productoras, que corresponde a la cantidad estacional de agua que debe ser satisfecha mediante lluvia y/o riego para que la producción no se vea reducida por el déficit hídrico. Dada la variabilidad de condiciones climáticas y de cultivo entre las distintas zonas productoras, la  $ET_c$  debe calcularse para cada caso particular.

### 2.2.1.2 PROGRAMACIÓN DE LOS RIEGOS

El objetivo del riego consiste en evitar que el contenido de agua del suelo alcance un nivel umbral por debajo del cual el cultivo sufre déficit hídrico y la producción se reduce. Las técnicas de programación de riegos permiten calcular cuándo regar y qué dosis aplicar para alcanzar este objetivo.

Uno de los métodos más extendidos para la programación del riego es el del balance de agua, que consiste en calcular las variaciones en el contenido de agua del suelo como la diferencia entre las entradas y las salidas de agua del sistema o parcela (AS). Para programación de riegos es más conveniente expresar el contenido de agua del suelo en términos de déficit o cantidad de agua que le falta al suelo para estar lleno (DAS). La ecuación del balance se puede escribir como:

$$\boxed{DAS_t = DAS_{t-1} - RN - PE + ET_c} \quad (\text{Ecuación 2.2.3})$$

- DAS = Déficit de agua en el suelo (mm) al inicio (t-1) y final (t) del periodo de tiempo considerado, que puede oscilar entre 1 día y un mes.
- RN = Cantidades de riego neto.
- PE = Precipitación efectiva.

En el cálculo del DAS ha de considerarse que siempre sea inferior a un valor umbral, denominado déficit permisible (DASP), para que la producción no se vea afectada. El DASP dependerá de las características del suelo y profundidad del suelo explorada por las raíces del árbol.

Una vez establecida la metodología para estimar los componentes de la ecuación anterior podemos utilizarlos para evaluar el déficit de agua en el suelo en cada momento

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

de la estación, sin más que establecer un nivel de DAS de partida. Para ello hay dos opciones. Riego por goteo o riego de baja frecuencia.

### 2.2.1.2.1 Riego por goteo

El riego por goteo tiene una alta eficiencia potencial en cultivos anuales y un coste similar al de otros sistemas. Dada su elevada frecuencia de riegos (normalmente diario),



suele ignorarse el papel del suelo como almacén de agua, en este caso el contenido de agua en el suelo no varía con el tiempo y la expresión anterior se transforma en:

$$RN = ET_c - PE \quad (\text{Ecuación 2.2.4})$$

A partir de esta expresión se pueden calcular las necesidades de riego diarios para los distintos periodos del año a partir de datos climáticos medios (calendarios fijos de riego) o de estimaciones actualizadas de  $ET_c$  y de  $PE$  (calendarios de riego a tiempo real). Se regará en los meses que el balance sea negativo.

**Imagen: Riego por goteo en olivar.**

**Fuente: INTA.**

### 2.2.1.2.2 Riego de baja frecuencia.

En el caso de riegos de baja frecuencia (aspersión y superficie) el criterio será aplicar un riego cuando se alcance el DASP con una dosis neta suficiente para elevar el contenido de agua del suelo hasta el nivel superior de capacidad del campo (CC). Con esta estrategia se minimiza la frecuencia de riegos y, por tanto, el coste asociado al riego. En todo caso, la dosis de riego estará acorde con las características del sistema de



riego. El cálculo del calendario de riegos se haría con la ecuación 2.2.5:

Días para el siguiente riego:

$$\frac{ET_c (mm/dia)}{DASP(mm)} = n^\circ \text{ dias}$$

(Ecuación 2.2.5)

**Imagen: Riego por aspersión. Fuente: INTA.**

Aplicando esta metodología es posible programar los riegos (números y dosis) con sistemas de baja frecuencia para cada caso particular.

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Este calendario está sometido a una elevada variabilidad interanual y debería ser adaptado a las condiciones reales de precipitación de cada año particular. Esta es la razón de que en este proyecto solamente se demanda agua en los meses de abril a octubre.

En este caso, es un huerto familiar de pequeñas dimensiones, el dueño ya tiene implantado un sistema de riego antiguo, bombeando el agua con generador diesel, por tanto ya sabe el volumen de agua necesario, este es **345 m<sup>3</sup> de agua** que distribuye una vez al mes por los olivos. También dispone de un depósito elevado, lo suficientemente grande para acumular ese volumen, muy cercano al pozo donde se encuentra el agua a bombear, la altura total entre la profundidad del pozo y el depósito es de 10 metros.

### **3. ALTERNATIVAS PARA EL SISTEMAS DE BOMBEO DE AGUA**

En este apartado se exponen las alternativas del sistema de bombeo consideradas para el estudio. Se explican los componentes y el funcionamiento de la instalación y especialmente las particularidades propias del elemento característico de cada una de ellas.

En concreto se van a estudiar las posibles configuraciones que dan los recursos meteorológicos estudiados, por tanto se analizan alternativas fotovoltaicas y eólicas, únicamente en el caso en que ninguna de las estas opciones abastezca la demanda, se decidirá por una instalación combinada, aunque si que se va a considerar como alternativa, por tanto las diversas opciones del sistema que se van a estudiar son:

- Bombeo solar directo de corriente continua
- Bombeo solar directo con seguimiento del punto de máxima potencia (SMP)
- Bombeo solar con acumulador
- Bombeo eólico
- Bombeo combinado solar - eólico

#### **3.1 SISTEMA DE BOMBEO SOLAR DIRECTO DE CC**

Una de las posibles alternativas a tener en cuenta en el diseño de la instalación, es la conexión directa del generador fotovoltaico y el motor de corriente continua para instalaciones que no precisan potencias superiores a 200W. La ventaja de esta instalación es que la corriente creada por el generador fotovoltaico es corriente continua, por lo tanto no se necesita de un inversor que transforme cc en ca, ya que éste elemento, a parte de encarecer el precio de la instalación, requiere de mayor mantenimiento.

El efecto global obtenido mediante este modo de funcionamiento es directo: a mayor energía de entrada de panel, mayor energía suministrada al motor y, por tanto, mayor caudal de agua, para una altura determinada.

Se le pueden instalar equipos eléctricos con un circuito de control, que regulen la intensidad y la tensión de salidas suministradas al motor, para que éste trabaje en un rango adecuado.

##### **3.1.1 Instalación de Bombeo**

Toda instalación de bombeo de agua requiere de un elemento capaz de suministrar la energía necesaria al agua para producir su impulsión. Este elemento es la bomba.

Como se ha visto anteriormente, para pequeñas cantidades y para pequeñas profundidades las bombas más utilizadas en sistemas de bombeo fotovoltaico son las bombas centrífugas sumergibles.

Las principales características de este tipo de bombas son las siguientes:

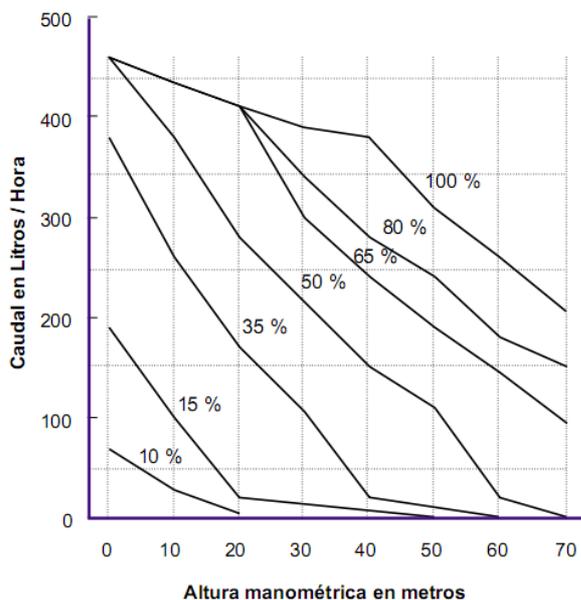
- Permiten realizar la impulsión prácticamente desde el inicio del giro del eje de la bomba.
- Su rendimiento se mantiene en un rango de velocidades muy amplio.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

- El ajuste de sus componentes constructivos provoca desgaste lo que hace necesario realizar un mantenimiento.

Para realizar el accionamiento del eje de la bomba se emplea un motor eléctrico de corriente continua. Las bombas sumergibles llevan en un mismo bloque el impulsor hidráulico y el motor, de este modo, la propia agua del pozo sirve como elemento refrigerante de la bomba.

El siguiente gráfico permite obtener el caudal capaz de mover la bomba, en



función de la radiación solar incidente en el generador fotovoltaico y de la altura manométrica de la instalación.

Como se puede observar, existe un aumento directo del caudal con respecto al tanto por ciento de la radiación solar aprovechada. De la misma manera, para un mismo caudal de bombeo, la bomba es capaz de mover el agua más altura al aumentar la radiación solar.

**Gráfico 3.1.1: Relación caudal-presión-radiación solar. Fuente: ATERSA.**

A medida que varíe la velocidad del eje de la bomba, variará el caudal obtenido. Para modificar esta velocidad en el motor de corriente continua, se realiza una regulación de su potencia de funcionamiento, lo cual se consigue trabajando con valores de tensión e intensidad variables. El motor requiere precisamente de tensiones de alimentación bajas e intensidades elevadas para trabajar con pequeñas potencias y viceversa para el caso de potencias crecientes. Para las aplicaciones de bombeo directo se emplean generalmente motores de 12 o 24 Vcc .

Los motores eléctricos de corriente continua precisan de mantenimiento, ya que cada cierto tiempo es necesario revisar el estado de las escobillas y el colector para limpiar las delgas de impurezas o, depende del caso, para sustituir el motor. Este dato es importante a la hora de mantener el correcto funcionamiento de la instalación.

### 3.1.2 Circuito de Control

El circuito de control trabaja de modo similar a un convertidor DC/DC. A partir de una tensión de entrada de corriente continua, mediante una modulación de tipo PWM, se consigue una tensión de salida de corriente continua adecuada para el motor de la bomba.

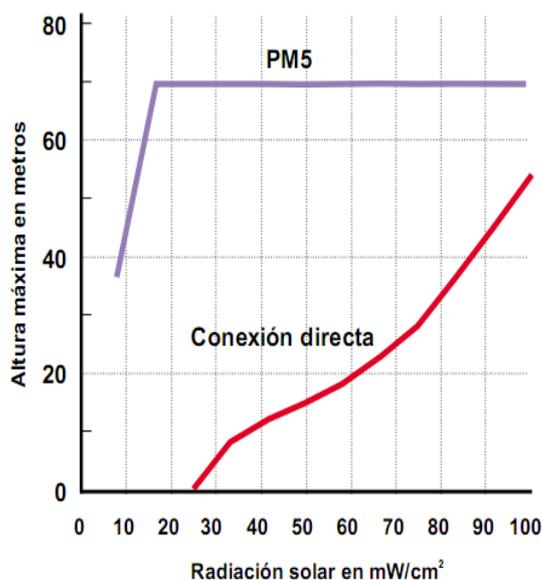
## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

El control ajusta la potencia de salida hacia el motor de la bomba, elevando o reduciendo la tensión según la potencia de panel aumente o disminuya respectivamente.

Otra importante ventaja de trabajar con un circuito de control, es que la potencia que se transmite al motor es en valores de tensión alta e intensidad muy baja, necesitando menos radiación para que éste arranque, aunque sea a bajas velocidades, pero aprovechando las primeras horas del día para bombear agua, lo que aumenta su eficiencia.

El circuito de control consta de terminales de entrada para sondas de nivel o conductores. Es necesario que se controle el nivel de agua mínimo del pozo, para que se apague el motor de la bomba impidiendo que trabaje en seco o que aspire más sustancias que agua. Controlando el nivel máximo y mínimo del depósito de llenado, se evitará que rebose agua, las sondas de nivel detectarán cuándo el depósito está vacío y activarán el eje del motor para que comience a bombear agua, y se situará el otro sensor en el nivel máximo del pozo, con cierto margen, para que una vez alcanzado este nivel,

el contacto de la sonda se cierre o en caso de ser dos conductores, ambos estén sumergidos en el agua, en este estado se produce el paro del motor.



**Gráfico 3.1.2: Radiación mínima de arranque. Fuente: ATERSA.**

En el siguiente gráfico se puede obtener la diferencia entre la radiación mínima de arranque que es necesario alcanzar en un generador fotovoltaico que dispone de un circuito de control tipo PM5 de ATERSA comparado con la conexión directa del panel al motor sin el PM5. Se considera que la potencia de panel instalada es similar a la potencia de la bomba.

### **3.2 SISTEMA DE BOMBEO SOLAR DIRECTO CON SMP**

El equipo electrónico de bombeo directo de agua mediante energía solar SMP (seguimiento del punto de máxima potencia), hace posible el acoplamiento directo de un generador fotovoltaico con motores trifásicos para aplicaciones de bombeos de agua.

El SMP actúa como variador de frecuencia, es decir, como inversor, transformando la corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos, en corriente alterna y suministrándola al motor de la bomba. Este circuito permite actuar sobre un variador de velocidad trifásico para modificar el punto de trabajo de la bomba en función de la energía disponible.

Mediante el algoritmo de seguimiento del SMP, se consigue que, en todo momento, el sistema trabaje en su punto óptimo de funcionamiento, regulando la potencia absorbida por la bomba acorde a la radiación solar incidente y consecuentemente a la energía disponible.

#### **3.2.1 Instalación de Bombeo**

Como en todas las instalaciones de bombeo, se necesita de un elemento capaz de suministrar la energía necesaria al agua para producir su impulsión. Este elemento es la bomba hidráulica.

Para realizar el accionamiento de la bomba se emplea de modo habitual un motor eléctrico trifásico de corriente alterna. Las bombas sumergibles llevan en un mismo bloque el impulsor hidráulico y el motor, de este modo la propia agua del pozo sirve como elemento refrigerante de la bomba, al igual que sucedía en el sistema anterior.

En este caso, el empleo de un motor trifásico permite la variación de la velocidad de giro del motor, y permite regular la potencia absorbida por la bomba. Para conseguir una velocidad de motor variable es necesario trabajar con valores de tensión, intensidad y frecuencia eléctrica variables.

Para las aplicaciones de bombeo directo se emplean generalmente motores trifásicos de 220V que permiten trabajar con series de menor número de paneles.

#### **3.2.2 Inversor**

El generador fotovoltaico proporciona corriente continua a tensión constante y una intensidad proporcional a la radiación solar.

Los valores de tensión e intensidad proporcionados por el generador fotovoltaico no son adecuados para hacer funcionar directamente un motor de corriente alterna trifásica, por esta razón, existe la necesidad de instalar un inversor.

El inversor permite realizar una regulación de la tensión y frecuencia de salida, con lo que se consigue modificar la velocidad de giro del motor trifásico conectado y consecuentemente del rodete de la bomba.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Puesto que los motores en los sistemas de bombeo directo son trifásicos a 220V, el inversor debe seleccionarse también para la misma salida trifásica. El equipo SMP lleva instalado un variador de frecuencia adecuado a la potencia del modelo de SMP escogido.

El variador limita la potencia que el sistema es capaz de solicitar a los paneles fotovoltaicos y, por tanto, la potencia que puede transferir hacia el motor de la bomba.

Por tanto, para el caso de emplear paneles solares, disponer de una potencia de paneles superior a la que puede solicitar el variador, significa que, prácticamente con los primeros rayos de sol del amanecer, el sistema es capaz de hacer funcionar la bomba al 100% de su capacidad. Si se dispone de energía sobrante en el campo fotovoltaico, los paneles se autorregulan aumentando su tensión de trabajo y reduciendo la intensidad para ajustar la potencia de salida a la máxima solicitada.

El variador de frecuencia requiere de una curva tensión-frecuencia de las siguientes características:

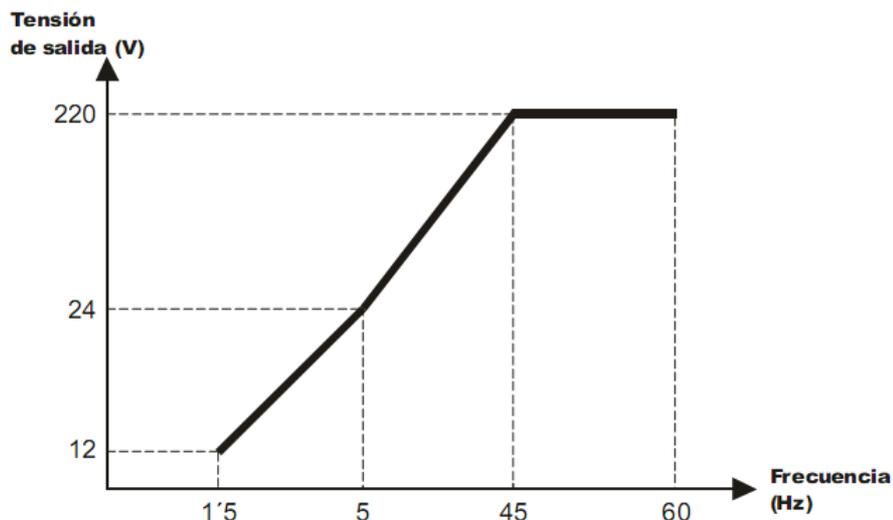


Gráfico 3.2.1: Curva Tensión-Frecuencia del inversor.  
Fuente: ATERSA.

### 3.2.3 Tarjeta de Control

Para que la instalación de bombeo aproveche toda la energía que pueden suministrar los paneles, el equipo de SMP se implementa con un circuito electrónico SMD (Sistema de montaje superficial con microcomponentes electrónicos) que dispone de un potente microprocesador encargado de ejecutar un algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia del panel fotovoltaico y de ajustar la velocidad de la bomba conforme a dicha potencia máxima que generan los paneles.

### **3.3 SISTEMA DE BOMBEO SOLAR CON ACUMULADOR**

En la mayoría de instalaciones fotovoltaicas autónomas, la batería o acumulador es el elemento esencial, haciendo posible el suministro eléctrico continuado, a pesar que la generación eléctrica sea a intervalos. Sin embargo, en las instalaciones de bombeo fotovoltaico, es un elemento auxiliar, ya que en este caso, es mejor acumular el agua en un depósito elevado y disponer de ella cuando se necesite, que acumular la electricidad, especialmente cuando la finalidad no requiere de un suministro continuo y asegurado.

En este sistema, debemos de asegurarnos una gestión más exacta de la energía necesaria y después se dispondrá de más módulos fotovoltaicos y de un grupo auxiliar para cargar las baterías.

Las baterías hacen que la instalación aumente considerablemente su coste, así como añade complejidad y reduce la fiabilidad de la misma, ya que requieren de mayor mantenimiento y control, en la actualidad es frecuente de la baterías utilizadas para aplicaciones fotovoltaicas se fabriquen con envase transparente para poder realizar un control visual de su estado de conservación y del nivel electrolito.

#### **3.3.1 Instalación de Bombeo**

Al igual que en los sistemas anteriores, este sistema necesitará de una bomba hidráulica que produzca la energía necesaria para producir su impulsión, se trata del clásico bombeo, tanto en CC como en CA, que permite el funcionamiento constante del sistema sin necesidad de depender de las horas de insolación.

No toda la energía que entra en la batería la podemos retirar después, ya que una parte se pierde. También habrá que tener en cuenta que una batería cargada se va vaciando poco a poco, debido a la resistencia interna del mismo aparato, aunque no se utilice. En este caso, a la hora de calcular el rendimiento global de la instalación, habrá que contar también con el de la batería.

La instalación de una batería de acumuladores introduce algunas características que obligan a instalar nuevos elementos de regulación y protección para el buen funcionamiento del mismo. Siempre irá acompañada de un regulador

#### **3.3.2 Batería**

Para las aplicaciones solares, tenemos que exigir a los acumuladores o baterías una serie de condiciones básicas que también se explican en el Anexo de “Componentes de la Instalación Solar Fotovoltaica”, en el apartado 8.2.3.

:

- Aceptar todas las corrientes de carga del panel fotovoltaico.
- Mantenimiento mínimo imprescindible.
- Fácil transporte e instalación.
- Baja autodescarga.
- Rendimiento elevado.
- Larga vida.

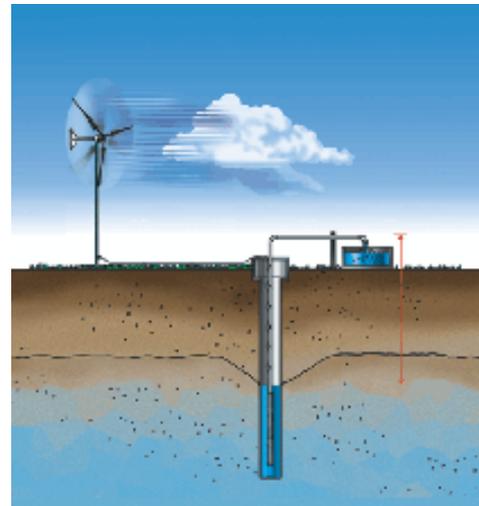
### 3.4 SISTEMA DE BOMBEO EÓLICO

La dificultad de acceso a la red convencional de energía eléctrica, o su lejanía, muy patente en zonas de cultivo, hace que la energía eólica sea una alternativa clara para el bombeo de agua para riego. Se evita así la necesidad de acarrear con combustibles como el diesel hasta el emplazamiento del cultivo.

En el diseño de una instalación eólica es necesario considerar tres factores:

- El emplazamiento
- El tamaño de la máquina
- Los costes

El emplazamiento elegido para instalar la máquina eólica ha de cumplir dos condiciones indispensables: el viento ha de soplar con regularidad y su velocidad ha de tener un elevado valor medio. Se hace necesario, por tanto, disponer de una información meteorológica detallada sobre la estructura y distribución de los vientos. Las mediciones estadísticas deben realizarse durante un período mínimo de tres años, para poder obtener unos valores fiables. Si las condiciones anteriores son positivas, puede ser conveniente una instalación eólica aislada, también llamada minieólica.



**Imagen 3.4.1: Instalación de bombeo eólico.**  
**Fuente: Grundfos.**

El bombeo eólico se puede llevar a cabo mediante dos técnicas:

- **Bombeo directo:** La energía del viento captada por el aerogenerador se transmite directamente al eje de una bomba sumergida. El agua extraída se puede almacenar en un depósito.
- **Bombeo con baterías:** La energía eléctrica obtenida del viento a través de un aerogenerador es aplicada a las baterías para extraer el agua en el momento que se necesite.

#### 3.4.1 Instalación de Bombeo

Unos miniaerogeneradores producen energía eléctrica a una tensión de 12 o 24 voltios en corriente continua. Esta electricidad es consumida por una bomba, también en corriente continua, que bombea el agua desde el fondo del pozo a un depósito con una cierta altura. Allí se almacena el agua para su posterior distribución.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Existen diferentes formas de transmisión de energía a la bomba hidráulica, a continuación se muestran algunas configuraciones:

### 3.4.1.1 Aerogenerador con transmisión rotativa

El rotor transmite su energía por medios mecánicos su movimiento de rotación a una bomba rotativa, por ejemplo a una bomba centrífuga o a una bomba de tornillo. Ambos casos son utilizados para volúmenes grandes y para desniveles pequeños.

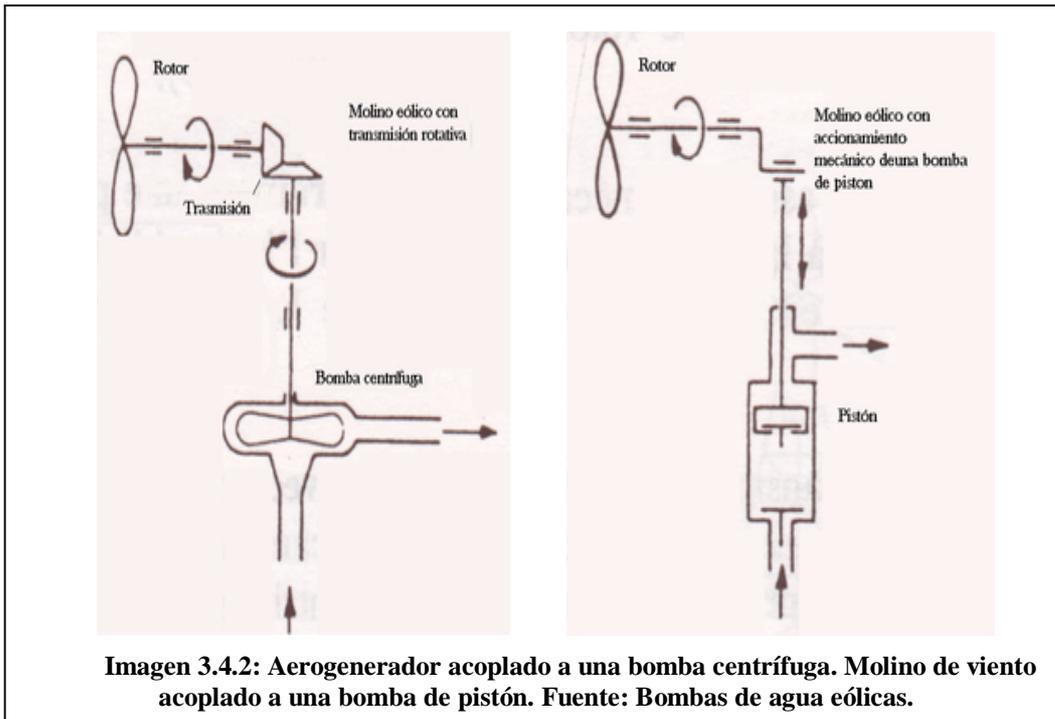


Imagen 3.4.2: Aerogenerador acoplado a una bomba centrífuga. Molino de viento acoplado a una bomba de pistón. Fuente: Bombas de agua eólicas.

### 3.4.1.2 Aerogenerador con transmisión neumática

El molino de viento acciona un compresor de aire. El bombeo de agua se realiza por medio de un elevador de aire comprimido. Este tipo de aerogenerador le permite estar instalado a una cierta distancia del pozo. Otra ventaja de este tipo de bomba es que no tiene ninguna pieza en movimiento dentro del pozo.

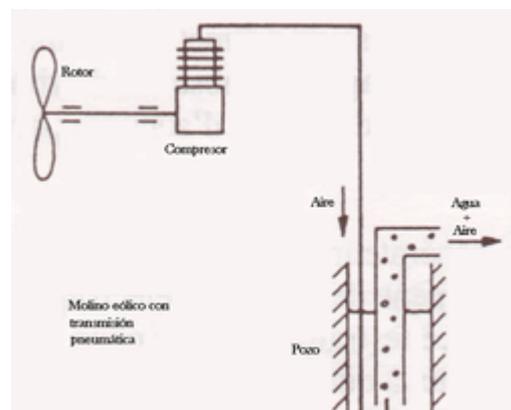
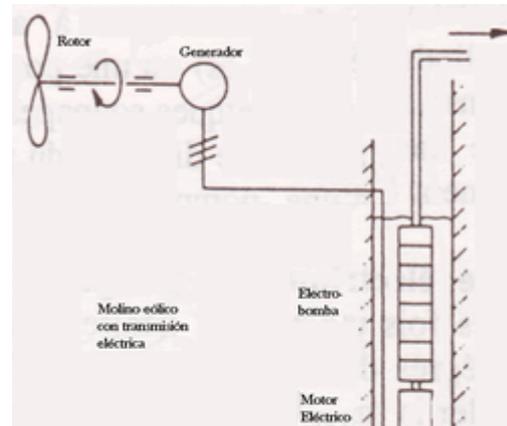


Imagen 3.4.3: Molino de viento acoplado a un dispositivo de bombeo por inyección de aire. Fuente: Bombas de agua eólicas.

### 3.4.1.3 Aerogenerador accionando un generador eléctrico

Los generadores eólicos de electricidad son utilizados algunas veces para accionar electrobombas hidráulicas, sin necesidad de estar conectadas a la red. En caso de que la conexión a la red exista, solo deberá ser usada en ausencia de viento suficiente. Este tipo de transmisión también da libertad para colocar el molino de viento en la mejor posición, independientemente del lugar donde se encuentra el pozo.



**Imagen 3.4.4: Aerogenerador accionando una electrobomba. Fuente: Bombas de agua eólicas.**

Si se observan las opciones anteriores se afirma que las dos últimas opciones deben ir acopladas a otro elemento eléctrico, como un compresor en el caso de transmisión neumática y a un generador de la electrobomba, por tanto en instalaciones pequeñas con bajas cargas dinámicas como en este proyecto, interesan instalaciones más sencillas que no requieran demasiado mantenimiento.

Mientras que el primer sistema es más sencillo y específico para casos con pequeñas cargas dinámicas. Además, los sistemas de transmisión mecánica son más robustos y fiables.

### 3.4.2 El aerogenerador

La mayoría de los micro-generadores empleados en instalaciones aisladas son de eje horizontal con rotor a barlovento respecto a la torre (el viento encuentra primero las palas y luego el soporte) y conicidad nula (el plano de rotación de las palas forma una línea paralela ideal con la horizontal).

Existen diferentes configuraciones de turbinas eólicas: monopala, bipala, tripala, multipala, como se explica en el anexo de Energía Eólica. El aumento del número de palas disminuye la velocidad de rotación, aumenta el rendimiento y encarece el precio de estas turbinas. Excluyendo la monopala y la multipala que tienen aplicaciones especiales, el mercado se ha concentrado en la bipala y en la tripala, orientándose sobre todo hacia esta última configuración, ya que está caracterizada por un motor más uniforme (y, por lo tanto, de mayor duración), la energía producida es ligeramente superior, en general con un rendimiento mayor y además, son visualmente menos agresivos.

Por estos motivos expuestos anteriormente, en una instalación de bombeo eólico para un proyecto de estas características, se escoge el sistema de aerogenerador tripala con transmisión rotativa, debido a su sencillez, fiabilidad y menor coste.

### 3.5 SISTEMA DE BOMBEO COMBINADO SOLAR -EÓLICO

Los sistemas híbridos nacen de la unión de dos o más sistemas de generación, existen varias combinaciones posibles dependiendo de la fuente de generación eléctrica, uno convencional y uno que utilice fuentes renovables, para garantizar una base de continuidad del servicio eléctrico o bien ambos sistemas de generación con energías renovables.

En nuestro caso de estudio se emplean dos fuentes de energía renovables con gran fiabilidad como son la energía fotovoltaica y la eólica, en muchas ocasiones, en aquellos emplazamientos en los que existe un cierto recurso eólico, la combinación de la energía eólica con la fotovoltaica es la opción más idónea dependiendo de la demanda. Se consigue una gran autonomía y una mayor duración de las baterías, en caso de estar incorporadas en el sistema.

El esquema típico es similar al de una instalación eólica o solar aislada en la que en vez de un solo generador, el molino o el módulo fotovoltaico, aparecen dos actuando en paralelo, el aerogenerador y el campo fotovoltaico.

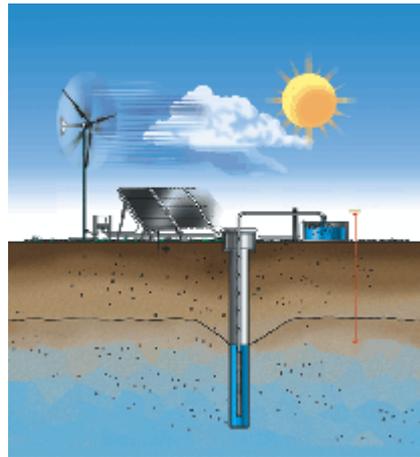
También puede añadirse en caso de necesidad un tercero como un grupo electrógeno, pero esta decisión depende del consumo para el que esté diseñado, en nuestro caso no sería necesario, puesto que no se requiere de un abastecimiento ininterrumpido.

Se puede utilizar esta instalación híbrida para conseguir electricidad bajo cualquier condición meteorológica, bien con un día soleado sin viento, con un día muy nublado con cierto viento o con condiciones meteorológicas intermedias. En el caso del sistema híbrido, la bomba sólo funcionará en horas de sol o viento, así que la presión de distribución la dará la altura del depósito.

#### 3.5.1 Instalación de bombeo

El funcionamiento de una instalación con varias fuentes de energía es igual que el de una sola fuente generadora. Tal y como se ha explicado anteriormente, la condición para que la bomba esté en funcionamiento ya no será únicamente mientras exista sol o viento, si no que podrá disponer de dos fuentes de energía alternativamente. De esta manera se puede trabajar por el día con energía fotovoltaica y por la noche con energía eólica, incluso sin la necesidad de un sistema de acumulación, contando con un depósito elevado. Mientras que si se dispone de acumulador, se puede conseguir un abastecimiento continuo de una manera más fiable.

En estas instalaciones se hace necesaria la existencia de un controlador que regule el sistema. A modo de ejemplo en Grundfos ofrecen un controlador que se utiliza con sistemas accionados por turbina eólica, así como por combinación de energía solar y eólica. Es el controlador IO 102 es una caja de frenado on/off (arranque/parada) para



**Imagen 3.5.1: Sistema de bombeo combinando energía fotovoltaica y eólica. Fuente: Grundfos.**

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

conectar y desconectar la tensión de alimentación del sistema, permite reducir la velocidad de la turbina eólica o pararla. El IO 102 rectifica el voltaje de la turbina eólica. Además, habilita la combinación de energía eólica con la del panel solar. En este caso, también funciona como una caja de conexión de todos los cables necesarios.

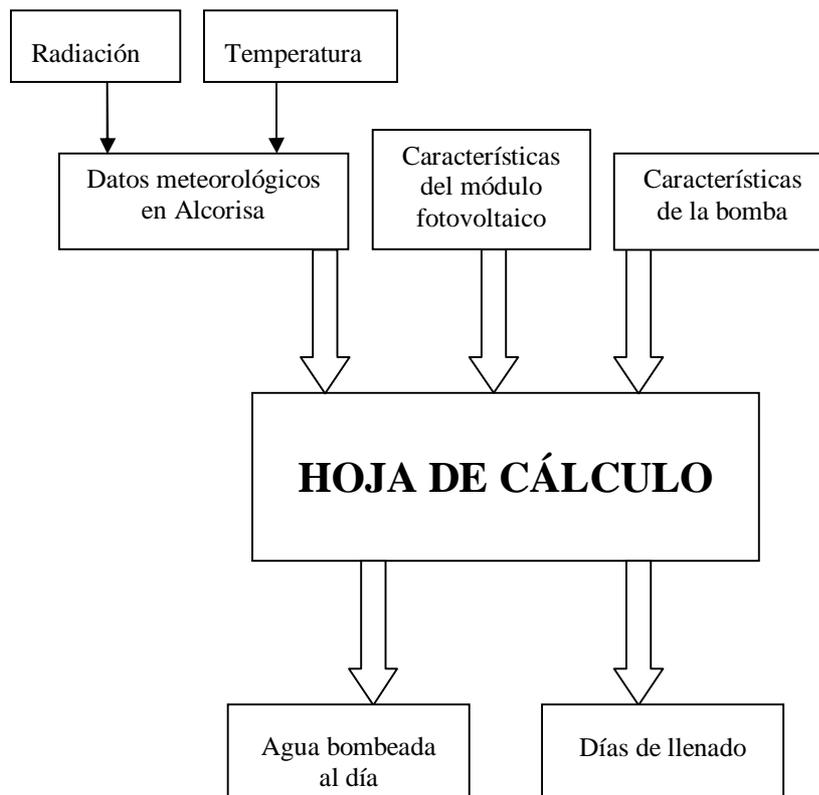
En los casos con un consumo mayor, puede ser económicamente rentable mantener un sistema híbrido, ya que se adapta al perfil climatológico de cualquier lugar, donde otros sistemas de bombeo tienen dificultades. El análisis de las variables meteorológicas del lugar en cuestión, como las horas de sol y la velocidad del viento, permite calcular la energía natural disponible durante una temporada normal. Esto significa que sólo la fuente de energía más adecuada accionará el sistema.

#### 4. HOJA DE CÁLCULO PARA BOMBEO DE AGUA

Esta hoja de cálculo se ha elaborado durante el presente proyecto para obtener el volumen de agua bombeado al día y los días que tarda en llenarse el depósito. Este cálculo se realiza en tres pasos:

- 1) Introducir los datos meteorológicos del emplazamiento.
- 2) Introducir las características técnicas del panel solar.
- 3) Introducir las características técnicas de la bomba hidráulica.

En el siguiente diagrama de flujo se describe el proceso de cálculo:



**Imagen 4.1: Diagrama de flujo de la hoja de cálculo desarrollada en el proyecto.**

A continuación se describen los pasos a seguir en el proceso de cálculo más detalladamente:

##### 1) Introducción de los datos meteorológicos del emplazamiento.

Se introducen los datos meteorológicos de radiación y temperatura media horaria mensual extraídos de la base de datos elegida tras el estudio del recurso solar. El volumen de agua bombeado depende directamente de la radiación solar incidente y de la temperatura en cada momento del día. Únicamente se realiza el cálculo en los meses de abril a octubre ya que solo se riega el campo de olivos en los meses de verano, debido al calor y a la falta de lluvias.

**2) Introducción de las características técnicas del panel solar.**

Son necesarios los siguientes datos:

- Potencia (W)
- $I_{sc}$
- $V_{oc}$
- $I_{mmp}$
- $V_{mmp}$
- TONC
- Coef V(T) %

Una vez introducidos los datos técnicos del módulo, se calcula el factor de forma con los cuatro valores de tensión e intensidad.

A continuación se deben calcular la tensión de circuito abierto y la intensidad de cortocircuito corregida para cada momento del día. Estas dos variables se ven influenciadas por las condiciones ambientales de temperatura y radiación respectivamente (explicado en el Anexo 8.2 “Componentes de una Instalación fotovoltaica”, en el Apartado 8.2.2.1 “Parámetros Eléctricos”).

➤ Se calcula el valor de la tensión de circuito abierto corregida:

- Se obtiene la temperatura de la célula, se halla con la temperatura nominal de la célula (TONC = 45°C) en condiciones reales ( $T^{a}real$ ).

- TONC se mide bajo la temperatura ambiente de 20 °C, por tanto es necesario considerar la temperatura facilitada por la base de datos para cada momento del día, es decir, la temperatura de la célula será igual a la diferencia entre TONC y ( $20^{\circ}C - T^{a}real$ ).

- La tensión de circuito abierto del módulo solar se mide en condiciones CEM ( $T^a$  de célula = 25°C), por tanto la diferencia entre la temperatura de célula calculada anteriormente y la temperatura de célula considerada a condiciones CEM, multiplicada por el porcentaje del coeficiente de tensión del módulo y su correspondiente tensión de circuito abierto, dará como resultado una tensión, que sumada nuevamente a la tensión de circuito abierto, se obtiene la tensión de circuito abierto corregida en función de la temperatura en cada momento del día. La fórmula matemática es la siguiente:

$$V_{OC\text{ corregida}} = \left( T_{CELULA}^a \times \frac{Coef. V(T)}{100} \times V_{OC} \right) + V_{OC} \quad (\text{Ecuación 4.1})$$

➤ Se calcula la intensidad de cortocircuito corregida

- Esta característica del módulo solar se mide también en condiciones CEM. La intensidad corregida instantánea se calcula con el producto de la intensidad de cortocircuito característica del panel y la radiación incidente de la siguiente manera:

$$I_{SC\text{ corregida}} = \left( Rad(W / m^2) \times \frac{I_{SC}}{1000} \right) \quad (\text{Ecuación 4.2})$$

- Una vez obtenidos los valores anteriores obtendremos la potencia instantánea suministrada por los paneles fotovoltaicos a la motobomba desde la salida hasta la puesta de sol. El producto del factor de forma, el valor de intensidad de cortocircuito y la tensión de circuito abierto corregidas, será la potencia instantánea buscada, tal y como se indica en la siguiente ecuación:

$$P_{ins} \text{ tan tan } ea = [(I_{sc} \times V_{oc}) \text{ corregida}] \times FF \quad (\text{Ecuación 4.4})$$

Por tanto, el producto de la potencia calculada anteriormente y el número de paneles fotovoltaicos corresponde a la potencia instantánea total suministrada por los paneles al motor de la bomba. El número de módulos, es el valor que se incrementa hasta que cumpla las condiciones de abastecimiento una vez se han introducido todos los datos de entrada.

### 3) Introducir las características técnicas de la bomba hidráulica.

En último lugar, se recurre a la gráfica y la ecuación característica de la bomba mostrada en la hoja de cálculo (Anexo 8.5 “Resultados”).

Se introduce esta ecuación en la columna del caudal ( $m^3/h$ ) y se impone la condición de arranque de la bomba: que la potencia instantánea total suministrada por los paneles debe ser igual o superior a la potencia mínima necesaria para el arranque del motor de la bomba, ésta accionará el rodete y comenzará a extraer agua del pozo.

Para introducir la ecuación característica de la bomba debe ser una ecuación de segundo grado con el caudal en función de la variable potencia:

$$Q = Q(P) \quad (\text{Ecuación 4.5})$$

Si no, se deben transformar las tablas o gráficas dadas por el fabricante para poder obtenerla de esta manera (como ocurre en el modelos Bomba SHURflo 9300. Se muestran las transformaciones necesarias en el Anexo 8.5 “Resultados” en el modelo KYOCERA 65W).

Hasta ahora el resultado se obtiene como los  $m^3/h$  bombeados en cada instante, pero se quiere calcular los  $m^3$  bombeados cada 15 minutos, ya que este es el periodo del que se tienen los datos de radiación y así se puede tener datos más exactos. Se resuelve como se indica a continuación:

$$Q(m^3/15 \text{ min}) = \frac{Q(m^3/h)}{4} \quad (\text{Ecuación 4.6})$$

De esta manera se puede calcular el volumen de agua bombeado cada 15 minutos y por tanto el acumulado en el depósito en cada periodo de tiempo y a lo largo de todo el día. Sabiendo esto, se sabe las horas de llenado necesarias y por tanto del número de días que han de transcurrir para llenar el depósito con la demanda de agua necesaria.

## 5. INSTALACIÓN FINAL

Para la elección del sistema final se tiene en cuenta dos factores:

- Fiabilidad
- Economía

Ante las diferentes alternativas descritas anteriormente se ha decidido por una instalación solar de corriente continua sin sistema acumulador. A tomar esta decisión se ha llegado tras el detallado análisis de los recursos climáticos de la zona y escogiendo una instalación que cumpla con la demanda de agua de la forma más económica. Se puede concluir que una instalación solar es la más apropiada en Alcorisa.

Como se ha mencionado con anterioridad, Alcorisa es zona climática III, puesto que se dispone de una radiación media anual en la población cercana de Alcañiz de  $4310 \text{ Wh/m}^2$ , y una temperatura media anual de  $13,6 \text{ }^\circ\text{C}$ , como indican las tablas del IDAE. Estas condiciones son las idóneas para una instalación solar fotovoltaica, puesto que, como se expone en el Anexo de “Componentes de la Instalación Solar Fotovoltaica”, las características técnicas de un panel solar dependen de estos factores, es decir, tiene mayor rendimiento a mayor irradiancia y menores temperaturas.

. Como ya se dispone de un tanque elevado como acumulador para la posterior distribución del agua, sistema final se muestra en la imagen 5.1:

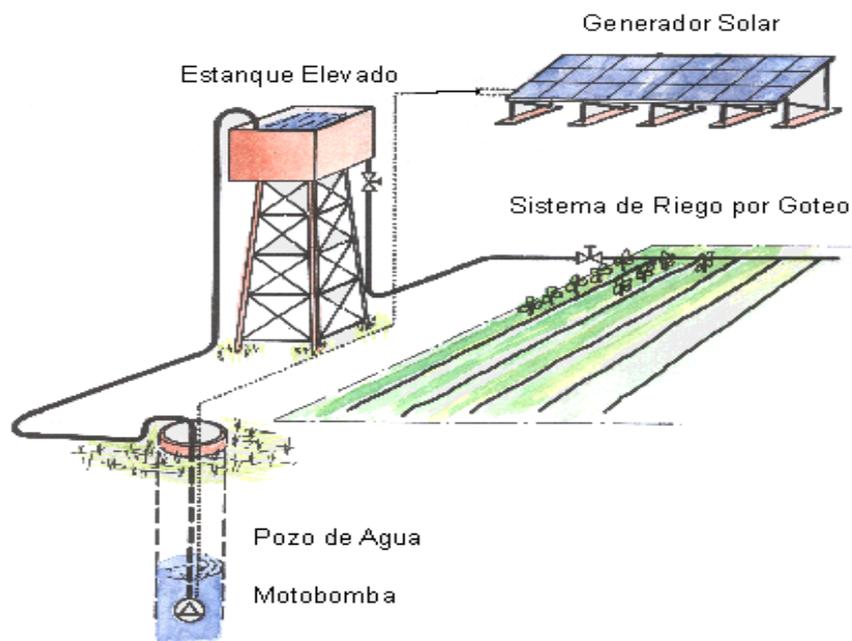


Imagen 5.1: Instalación de bombeo solar con tanque elevado. Fuente: [www.sitiosolar.com](http://www.sitiosolar.com).

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A continuación se exponen los motivos que han llevado a elegir esta instalación. Estos se pueden clasificar en varias etapas:

- Energía generadora
- Tipo de corriente
- Sistema de acumulación
- Bomba Hidráulica
- Resultados

Posteriormente se analizan los resultados obtenidos de la hoja de cálculo para las distintas combinaciones de módulos solares y bombas hidráulicas y se propone un sistema final con los componentes que lo forman y un presupuesto.

### **ENERGÍA GENERADORA**

Las posibilidades que se valoran son la energía solar fotovoltaica, la eólica y la combinación de ambas en un sistema eólico- fotovoltaico, se comienza con los motivos que eliminan a la energía eólica como energía generadora de esta instalación y posteriormente la generación con dos fuentes de energía

#### ➤ Energía eólica.

Se descarta una instalación de bombeo eólico. El recurso solar ofrece más posibilidades de éxito en menos tiempo y con mayor fiabilidad. Se puede decir que las condiciones del recurso eólico no son las más favorables, puesto que se necesita de un recurso constante y regular, con valores mínimos para el correcto funcionamiento del aerogenerador. Sobre esto se puede decir, como se expone en el análisis del recurso eólico en el Apartado 2.1.2, que no se dispone de una velocidad del viento regular y se alcanzan valores mínimos entre 1 y 3 m/s en repetidas ocasiones. Valores a los que un aerogenerador no comienza a girar.

Se ha llevado a cabo un breve análisis del coste de una instalación eólica con la plantilla creada por el GEE que se puede encontrar en el Anexo 8.5 “Resultados”, donde se ha obtenido un coste de 5300 € para un aerogenerador de 200 W como el del catálogo (véase Anexo 8.6).

#### ➤ Energía eólico- fotovoltaica

Además, con los componentes del sistema fotovoltaico se consiguen abastecer la demanda de agua, tal y como se computa en la hoja de cálculo, es económicamente más rentable que una instalación eólica y requiere de una inversión inicial menor, por tanto se amortiza en menor tiempo.

Por otro lado, se decide no contar un sistema híbrido ya que se eleva el coste de manera innecesaria, puesto que un sistema con una sola fuente generadora de electricidad cubre la demanda necesaria. Esta demanda no incluye un abastecimiento continuo, como se ha calculado únicamente con módulos fotovoltaicos, se cubre dicha demanda, se considera descartar la opción de un sistema eólico- fotovoltaico debido al encarecimiento del coste y a que no se necesita asegurar el aporte de energía de continuo.

### **TIPO DE CORRIENTE**

En cuanto al tipo de corriente, se ha decidido contar con una instalación en corriente continua, así se elimina la necesidad de un inversor, ya que encarece el precio y la eficiencia del sistema. Por tanto la eficiencia del sistema la impone el inversor.

El inversor requiere de mayores medidas de seguridad y mantenimiento. Por tanto lo ideal es que todos los elementos de la instalación trabajen en corriente continua, lo que no es problema ya que existen una amplia gama de bombas y motobombas que trabajan de esta manera.

### **SISTEMA DE ACUMULACIÓN**

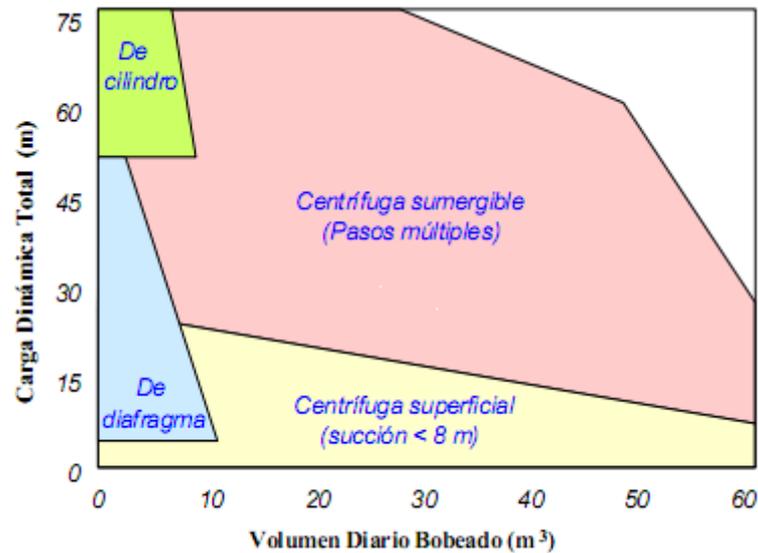
Considerando ya una instalación solar fotovoltaica, no es necesaria la implantación de baterías, puesto que con bombear el agua durante las horas de sol, se abastece la demanda antes de cumplir el tiempo impuesto hasta el siguiente riego.

Además, como ya se cuenta con un depósito elevado capaz de acumular el volumen de agua demandado. Se decide bombear el agua hasta ese depósito día a día durante las horas de sol, para su posterior distribución. Consiguiendo disminuir gastos al no contar con baterías. Este elemento es el más sensible en instalaciones fotovoltaicas, ya que requieren de un mantenimiento más regular y tiene la vida útil más corta de toda la instalación. Por tanto al cabo de unos años sería necesario cambiar las baterías, añadiendo este coste a los costes por mantenimiento. Esta decisión consigue una instalación más robusta, menos sensible y con menos necesidad de mantenimiento.

### **BOMBA HIDRÁULICA**

Para la elección de la bomba hidráulica se ha seguido las indicaciones del siguiente gráfico:

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa



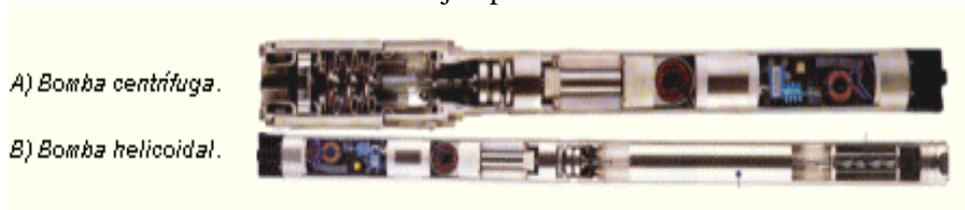
**Gráfica 5.1: Rango de actuación de bombas según la carga dinámica total y el volumen de agua requerido. Fuente: Cedecap.**

Se decide emplear una bomba sumergible volumétrica de cilindro o de desplazamiento positivo o también llamada de rotor helicoidal son adecuadas para cargas desde 50 a 120 m y flujos de 8 a 42 litros por minuto, lo que depende de la bomba. Las bombas usan el mismo ensamble de motor-variador. El motor actualizado emplea un estator segmentado que incrementa la eficiencia y el par en comparación con los motores normales (aproximadamente 10 % mejor que los motores estándar).

Tienen potencia de admisión máxima de 900 W y una velocidad de operación de 500 a 3 000 rpm, en dependencia de la potencia de admisión y de la carga. El ensamble motor-bomba utiliza un sistema de rodamientos de carbón y cerámica que aseguran una máxima confiabilidad.

Mientras que las bombas centrífugas, este tipo está recomendado para cantidades moderadas de agua y cargas dinámica total entre 20 y 35 metros, este dato es mucho mayor al necesario en la instalación. También sería factible elegir la centrífuga superficial, pero viene limitada por la capacidad de succión en 8 metros, medida inferior a la necesaria en este proyecto, por tanto se descartan estos tipos de bomba.

A continuación se muestran dos ejemplos de bombas solares:



**Imagen 5.2: Bombas solares para pozos. Fuente: www.cubasolar.com**

Se concluye con la elección de una bomba volumétrica de rotor helicoidal sumergible, éstas son las más comunes en sistemas de bombeo fotovoltaico y las más eficientes, como se describe en el Anexo 8.4 “Componentes de la Instalación de

## MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Bombeo”. Aunque requieren el reemplazo regular de sellos del pistón y tienen la desventaja de no tolerar arenas o sedimentos. En este tipo de bombas es necesario el empleo de un controlador con diodos de control del llenado/ vaciado del depósito para evitar que trabajen en seco, parando el funcionamiento de la bomba una vez que el depósito este lleno, en muchos casos, las empresas ofrecen controladores específicos para cada modelo de bomba e instalación.

### RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos en la hoja de cálculo en una tabla, con los datos de volumen bombeado en un mes y días que tarda en llenarse el depósito con dicho volumen, para luego comparar el coste de las distintas instalaciones:

Nº	Pot.	Marca		Abril		Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre		Octubre	
		Módulo	Bomba	Días	m3	Días	m3	Días	m3	Días	m3	Días	m3	Días	m3	Días	m3
8	65	KYOCERA	Shurflo	30	350,8	25	438,8	29	353,33	24,5	365,4	27	406,73	25	387,9	25	378
4	135	KYOCERA	Shurflo	24	440,6	20	548,2	29	361,6	29	373,7	21	508,1	26	397,3	28	387,7
3	185	MITSUBISHI	SQF 2,5-2	20	516,4	18	617,7	17	629,3	17	651,8	19	576,9	22	468,3	22	484,1
4	115	BP SOLAR	SQF 2,5-2	22	474,1	28	390,9	25	425,8	25	435,2	30	358,8	25	423,8	27	409,2
2	205	EVERGREEN	SQF 2,5-2	19	558,1	30	365,4	15	684	16	695,2	18	615,6	21	506,1	28	387,4
5	80	KIT GRUNDFOS		23	453,1	26	420,6	19	561,4	19	575,4	28	391,1	26	408,4	29	371,4

**Tabla 5.1: Tabla de resultados de la hoja de cálculo.**

El método que se ha llevado a cabo en este caso, ha sido el de ajustar el número de módulos necesarios en cada mes hasta que se cumplan dos condiciones:

- el volumen de agua bombeado debe superar la demanda de 345 m<sup>3</sup>/mes
- en un plazo de tiempo inferior al siguiente riego( de 30 días)

El número de módulos que se encuentra en la tabla es el que cumple las condiciones en el peor mes, que es octubre. Sin embargo, el resultado de los demás meses, no se refleja con este número de módulos porque se ha querido mostrar los resultados obtenidos con el mínimo número de módulos posibles que cumplan las condiciones. Estos datos se pueden observar más detalladamente en Anexo 8.5 “Resultados”. La idea es poder modificar el número de módulos en cada mes y observar los resultados obtenidos.

Se deduce en los resultados que todos los sistemas cumplen la demanda en un plazo de tiempo correcto para todos los meses. Los módulos considerados se han elegido siguiendo dos criterios:

- Disponer de todas las características técnicas y el coste unitario
- Escoger ejemplos variados y representativos en cuanto a marcas y potencias

Observando los resultados con estos módulos se puede precisar que, en los sistemas con mayores potencias, que son el de EVERGREEN de 205 W y el panel policristalino MITSUBISHI de 185 W, están sobredimensionados. Se alcanza el volumen indicado en un corto espacio de tiempo y eso, sin contar con el número de módulos necesarios para el mes más desfavorable. Únicamente en este último mes se ajusta al calendario de riegos. Por tanto para la elección de un sistema final, se evitará

## MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

escoger éstos dos modelos. Por el contrario, el sistema de KYOCERA de 65W supera las condiciones y es el que más se ajusta al calendario y a la demanda.

Especialmente se ha querido comparar distintos modelos de bombas y módulos frente al un kit de bombeo, en este caso se ha elegido el kit de Grundfos, ya que ofrecen kits eólicos, fotovoltaicos e híbridos. Se analiza el comportamiento de una bomba y unos módulos de la misma marca, fabricados expresamente para el uso conjunto de los mismos, pero pese a su buen rendimiento, resulta de un elevado coste frente a los otros modelos, como se observa en la Tabla 5.2, lo que lleva al descarte de esta combinación.

Estos cálculos se han realizado con dos tipos de bombas diferentes, éstas son la bomba de Grundfos SQF 2,5-2 y la de la marca SHURflo 9300, ambas, como se ha expresado anteriormente, de tipo volumétricas de rotor helicoidal y de características similares como se puede ver en el Anexo 8.6 “Catálogos”, por tanto la elección entre los dos modelos, se basa en motivos económicos.

Por otro lado al considerar las bombas que se iban a someter al estudio, se han encontrado dificultades para obtener las curvas características de la forma  $Q= Q(H)$ , indicada en la Ecuación 4.5, éste ha sido un factor importante a la hora de seleccionar los modelos de las bombas. En el caso de la bomba SHURflo, se han podido transformar para adecuar las características disponibles a nuestras necesidades.

Por otro lado, en la siguiente tabla se compara el coste únicamente de los módulos y de las bombas empleado:

Nº Módulos	Potencia	Marca	Precio Und. (€)	Precio Total (€)
8	65	KYOCERA	368	2944
		Shurflo 9300	794	794
			<b>Total=</b>	<b>3738 €</b>
4	135	KYOCERA	417	1668
		Shurflo 9300	794	794
			<b>Total=</b>	<b>2462 €</b>
3	185	MITSUBISHI	440,17	1320,51
		SQF 2,5-2	1683	1683
			<b>Total=</b>	<b>3003,51 €</b>
4	115	BP SOLAR	593	2372
		SQF 2,5-2	1683	1683
			<b>Total=</b>	<b>4055 €</b>
2	205	EVERGREENSOLAR	572	1144
		SQF 2,5-2	1683	1683
			<b>Total=</b>	<b>2827 €</b>
5	80	GF 80	694	3470
		SQF 2,5-2	1683	1683
			<b>Total=</b>	<b>5153 €</b>

**Tabla 5.2: Costes de los módulos y las bombas estudiadas.**

En los resultados obtenidos destaca por su bajo coste el sistema que cuenta con el módulo solar marca KYOCERA de 135 W y la bomba hidráulica de SHURflo 9300, este coste alcanza los 2.462 €. Esta composición ofrece buenos resultados en la tabla,

## MEMORIA

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

valores ajustado a los exigidos y en plazos idóneos. De hecho, el dato del volumen de agua bombeado es de los que más se ajustan a la demanda de 345 m<sup>3</sup>, y el calendario es ajustado en todos los meses, sin ser demasiado apretado, ya que los días que tarda la bomba, está en torno a los 25 días, siempre contando con que en los meses centrales de mayo a agosto los valores de la tabla, no son fruto de la totalidad de los módulos con los que habría que contar. Pero se ha decidido mostrar así los valores para ver los resultados de todos los meses con el número de módulos más ajustado.

Siendo la bomba elegida la SHURflo 9300, se valoran los controladores que ofrece esta marca y que se pueden ver en el catálogo. Se elige LCB-G75, que dispone de toma de boya de nivel de estanque y sondas para nivel de pozo. Incorpora también un botón ON/OFF para la marcha/paro de la bomba para evitar el trabajo en seco. Además funciona de convertidor DC/DC (más información el Anexo “Componentes de la Instalación solar Fotovoltaica”, en el Apartado 8.2.5 “Acondicionamiento de potencia”).

Se concluye que en caso que de se llevara a cabo dicha instalación, se propone un sistema de bombeo solar fotovoltaico con dichos componentes. A estos elementos hay que añadir el coste del controlador con sonda de nivel para el depósito, la estructura para los módulos fotovoltaicos y el cableado.

En las líneas contiguas se especifica el coste aproximado de la instalación final propuesta:

Cantidad	Descripción	Precio Unidad	Importe
4	Módulo Fotovoltaico Monocristalino KYOCERA 135 W/ 24 V	417	1668
1	Bomba SHURflo 9300 12-24 V	794	794
1	Controlador SHURflo LCB-G75	350	350
1	Estructura con inclinación ( 15-30-45°) aluminio	165,79	165,79
1	Cableado series y pequeño material	125	125
<b>Total:</b>			<b>3102,79 €</b>

**6. FECHA Y FIRMA**

En Zaragoza, a 13 de Mayo de 2010.

Marta Calvo López

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Bayod Rújula, A. A.(2009). Sistemas Fotovoltaicos. *Prensas Universitarias de Zaragoza*.
- Orgaz, F. y Fereres, F.; El Cultivo del Olivo; Riego. Andalucía.
- Bombas de agua eólicas.
- De Juana. J. M<sup>a</sup>.; Energías Renovables para el Desarrollo. Cooperación Internacional. ITES-Paraninfo.
- EVE: Ente Vasco de la Energía
- Páginas web:
  - IDAE
  - ATERSA
  - Grundfos
  - Windpower
  - Renovables-energía
  - Ecovive
  - CENER
  - Celdasolar
  - Sitiosolar

## 8. ANEXOS

### 8.1 EL EFECTO FOTOVOLTAICO

#### 8.1.1 INTRODUCCIÓN

El efecto fotovoltaico (FV) es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. La luz solar está compuesta por fotones, o partículas energéticas. Estos fotones son de diferentes energías, correspondientes a las diferentes longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones inciden sobre una célula FV, pueden ser reflejados o absorbidos, o pueden pasar a su través. Únicamente los fotones absorbidos generan electricidad. Cuando un fotón es absorbido, la energía del fotón se transfiere a un electrón de un átomo de la célula. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de escapar de su posición normal asociada con un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

Las partes más importantes de la célula solar son las capas de semiconductores, ya que es donde se crea la corriente de electrones. Estos semiconductores son especialmente tratados para formar dos capas diferentemente dopadas (tipo p y tipo n) para formar un campo eléctrico, positivo en una parte y negativo en la otra. Cuando la luz solar incide en la célula se liberan electrones que pueden ser atrapados por el campo eléctrico, formando una corriente eléctrica. Es por ello que estas células se fabrican a partir de este tipo de materiales, es decir, materiales que actúan como aislantes a bajas temperaturas y como conductores cuando se aumenta la energía.

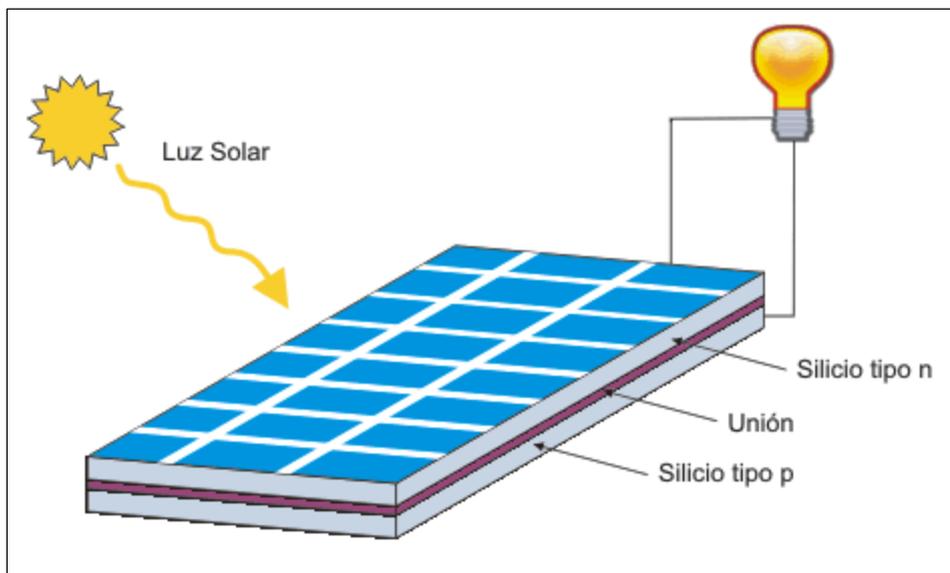


Imagen 8.1.1: Placa fotovoltaica. Fuente: Celdasolar.

### **8.1.2 APLICACIONES DE ENERGIA FOTOVOLTAICA**

#### **➤ Edificación**

Durante gran parte de los años ochenta y de principios de los años noventa el mayor mercado para los paneles solares estaba en las fuentes de alimentación para áreas remotas y algunos productos de consumo (relojes, juguetes y calculadoras). Sin embargo a mediados de los años noventa fue lanzado un importante esfuerzo para desarrollar paneles solares integrados en la construcción de edificios para ser conectados a la red. El tejado fotovoltaico actualmente está liderando el desarrollo del mercado en Japón, Europa y los EE.UU.

#### **➤ Sistemas de Iluminación**

A menudo se requiere iluminación en lugares remotos donde el costo de emplear energía de la red es demasiado alto. Tales aplicaciones incluyen la iluminación de seguridad, ayudas a la navegación (ej. boyas y faros), señales iluminadas en los caminos, señales en cruces ferroviarios y la iluminación de aldeas. Las células solares pueden satisfacer tales usos, aunque siempre se requerirá de una batería de almacenaje.

Estos sistemas generalmente consisten de un panel fotovoltaico más una batería de almacenaje, un acondicionador de energía y una lámpara fluorescente de C.C. de baja tensión y alta eficiencia. Estos sistemas son muy populares en áreas remotas, especialmente en países en vías de desarrollo y es uno de los usos principales de células solares.

#### **➤ Cercas Eléctricas**

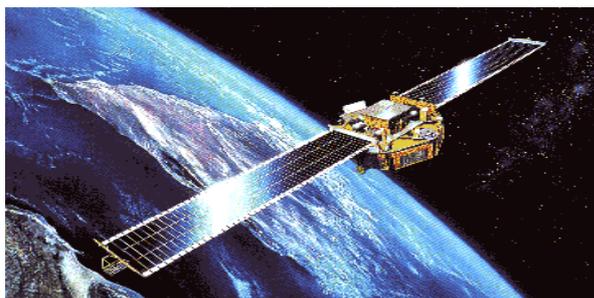
Las cercas eléctricas se utilizan extensamente en agricultura para evitar que el ganado o los depredadores entren o deje un campo cerrado. Estas cercas tienen generalmente uno o dos alambres "vivos" que se mantienen con cerca de 500 voltios de Corriente Continua. Éstos dan una dolorosa descarga, pero inofensiva a cualquier animal que los toque. Esta descarga generalmente es suficiente para evitar que el ganado derribe los cercos. Estas cercas también se utilizan en recintos de la fauna y áreas protegidas. Requieren de un alto voltaje pero muy poca corriente y a menudo están situadas en áreas alejadas donde el costo de energía eléctrica es alto. Estas necesidades se pueden resolver mediante un sistema fotovoltaico compuesto de células solares, un acondicionador de energía y una batería.

#### **➤ Telecomunicaciones y sistemas de monitoreo remotos**

Las buenas comunicaciones son esenciales para mejorar la calidad de vida en áreas alejadas. Sin embargo el costo de energía eléctrica de hacer funcionar estos sistemas y el alto costo de mantenimiento de los sistemas convencionales han limitado su uso. Los

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

sistemas fotovoltaicos han proporcionado una solución rentable a este problema con el desarrollo de estaciones repetidoras de telecomunicaciones en área remotas. Estas estaciones típicamente consisten de un receptor, un transmisor y un sistema basado en una fuente de alimentación fotovoltaica. Existen miles de estos sistemas instalados alrededor del mundo y tienen una excelente reputación por su confiabilidad y costos relativamente bajos de operación y mantenimiento.



**Imagen 8.1.2: Satélite con placas solares.**  
Fuente: [www. iecologia.com](http://www.iecologia.com)

Principios similares se aplican a radios y televisiones accionadas por energía solar, los teléfonos de emergencia y los sistemas de monitoreo. Los sistemas de monitoreo remotos se pueden utilizar para recolectar datos del tiempo u otra información sobre el medio ambiente y transmitirla automáticamente vía radio a una central.

➤ **Bombas de agua accionadas por energía solar**

Existen más de 10.000 bombas de agua accionadas por energía solar en el mundo. Son utilizadas extensamente en granjas para proveer el agua al ganado. En países en vías de desarrollo se las utiliza extensivamente para bombear agua de pozos y de ríos a las aldeas para consumo doméstico y la irrigación de cultivos. Un típico sistema de bombeo accionado por energía fotovoltaica consiste en un conjunto de paneles fotovoltaicos que accionan un motor eléctrico, el que impulsa la bomba. El agua se bombea de la tierra o afluente a un tanque de almacenaje que proporciona una alimentación por gravedad. No es necesario un almacenaje de energía en estos sistemas.

Los sistemas de bombeo accionados por energía solar se encuentran disponibles en proveedores de equipo agrícola y son una alternativa rentable a los molinos de viento agrícolas para el abastecimiento de agua en áreas alejadas.

➤ **Electrificación Rural**

Las baterías de almacenaje se utilizan en áreas aisladas para proporcionar corriente eléctrica de la baja tensión para iluminación y comunicaciones así como también para vehículos. Un sistema fotovoltaico de carga de baterías consiste en generalmente un pequeño conjunto de paneles solares más un regulador de carga. Estos sistemas se utilizan extensamente en proyectos rurales de electrificación en países en vías de desarrollo.

➤ **Sistemas De Tratamiento De aguas**

En áreas alejadas la energía eléctrica se utiliza a menudo para desinfectar o purificar agua para consumo humano. Las celdas fotovoltaicas se utilizan para alimentar una luz fuerte ultravioleta utilizada para matar bacterias en agua. Esto se puede combinar con un sistema de bombeo agua accionado con energía solar.

La desalinización del agua salobre se puede alcanzar mediante sistemas fotovoltaicos de ósmosis inversa.

➤ **Otros usos de celdas solares**

Se puede utilizar celdas fotovoltaicas en una gran variedad de aplicaciones incluyendo:

- Productos de consumo tales como relojes, juguetes y calculadoras
- Sistemas de energía de emergencia
- Refrigeradores para almacenaje de vacunas y sangre en áreas remotas
- Sistemas de la aireación para estanques
- Fuentes de alimentación para satélites y los vehículos espaciales
- Fuentes de alimentación portátiles para camping y pescar

### **8.1.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA**

#### **8.1.3.1 Ventajas**

➤ **Medio ambientales**

- No contamina: No produce emisiones de CO<sub>2</sub> ni de otros gases contaminantes a la atmósfera.
- No consume combustibles.
- No genera residuos
- No produce ruidos
- Es inagotable

➤ **Socio-económicas**

- Su instalación es simple
- Requiere poco mantenimiento
- Tienen una vida larga (los paneles solares duran aproximadamente 30 años)
- Resiste condiciones climáticas extremas: granizo, viento, temperatura, humedad.
- No existe una dependencia de los países productores de combustibles.
- Instalación en zonas rurales → desarrollo tecnologías propias.
- Se utiliza en lugar de bajo consumo y en casas ubicadas en parajes rurales donde no llega la red eléctrica general
- Venta de excedentes de electricidad a una compañía eléctrica.

---

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

- Tolera aumentar la potencia mediante la incorporación de nuevos módulos fotovoltaicos.

### 8.1.3.2 Inconvenientes

- Su elevado coste.
- La época de mayor demanda coincide con la época de menor recurso.

## 8.1.4 TIPOS DE PANELES EN FUNCIÓN DE LOS MATERIALES

Existen diferentes tipos de paneles solares en función de los materiales semiconductores y los métodos de fabricación que se empleen. Los tipos de paneles solares que se pueden encontrar en el mercado son:

### ➤ Silicio Puro monocristalino

Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%.



**Imagen 8.1.3: Módulo solar monocristalino.**  
Fuente: directindustry.

### ➤ Silicio puro policristalino

Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 12%) siendo su precio también más bajo.



**Imagen 8.1.4: Módulo solar policristalino.**  
Fuente: directindustry.

Por las características físicas del silicio cristalizado, los paneles fabricados siguiendo esta tecnología presentan un grosor considerable. Mediante el empleo

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

del silicio con otra estructura o de otros materiales semiconductores es posible conseguir paneles más finos y versátiles que permiten incluso en algún caso su adaptación a superficies irregulares. Son los denominados paneles de lámina delgada.

Así pues, los tipos de paneles de lámina delgada son:

➤ **Silicio amorfo.**

(TFS) Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 6%.



**Imagen 8.1.5: Panel de silicio amorfo.**  
Fuente: directindustry.

➤ **Teluro de cadmio**

Rendimiento en laboratorio 16% y en módulos comerciales 8%.

➤ **Arseniuro de Galio**

Uno de los materiales más eficientes. Presenta unos rendimientos en laboratorio del 25.7% siendo los comerciales del 20%

➤ **Diseleniuro de cobre en indio**

Con rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en módulos comerciales del 9%.

➤ **Tándem**

Existen también los llamados paneles **Tándem** que combinan dos tipos de materiales semiconductores distintos. Debido a que cada tipo de material aprovecha sólo una parte del espectro electromagnético de la radiación solar, mediante la combinación de dos o tres tipos de materiales es posible aprovechar una mayor parte del mismo. Con

este tipo de paneles se ha llegado a lograr rendimientos del 35%. Teóricamente con uniones de 3 materiales podría llegarse hasta rendimientos del 50%

### **8.1.5 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR**

En los sistemas solares fotovoltaicos existe la posibilidad de emplear elementos seguidores del movimiento del Sol que favorezcan y aumenten la captación de la radiación solar.

Existen tres tipos de soporte para los colectores solares:

#### **➤ Colocación sobre soporte estático**

Soporte sencillo sin movimiento. Dependiendo de la latitud de la instalación y de la aplicación que se quiera dar se dotan a los paneles de la inclinación más adecuada para captar la mayor radiación solar posible. Es el sistema más habitual que se encuentra en las instalaciones

#### **➤ Sistemas de seguimiento solar de 1 eje**

Estos soportes realizan un cierto seguimiento solar. La rotación del soporte se hace por medio de un solo eje, ya sea horizontal, vertical u oblicuo. Este tipo de seguimiento es el más sencillo y el más económico resultando sin embargo incompleto ya que sólo podrá seguir o la inclinación o el azimut del Sol, pero no ambas a la vez.

#### **➤ Sistemas de seguimiento solar de dos ejes**

Con este sistema ya es posible realizar un seguimiento total del sol en altitud y en azimut y siempre se conseguirá que la radiación solar incida perpendicularmente obteniéndose la mayor captación posible. Existen tres sistemas básicos de regulación del seguimiento del sol por dos ejes:

#### **➤ Sistemas mecánicos**

El seguimiento se realiza por medio de un motor y de un sistema de engranajes. Dado que la inclinación del Sol varía a lo largo del año es necesario realizar ajustes periódicos, para adaptar el movimiento del soporte.

- Mediante dispositivos de ajuste automático

El ajuste se realiza por medio de sensores que detectan cuando la radiación no incide perpendicular al panel corrigiéndose la posición por medio de motores.

- Dispositivos sin motor

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

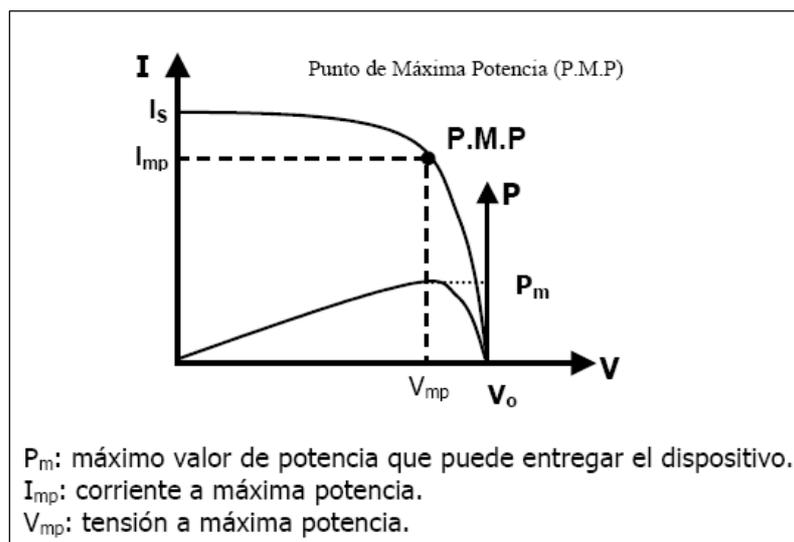
Sistemas que mediante la dilatación de determinados gases, su evaporación y el juego de equilibrios logran un seguimiento del Sol.

Se estima que con estos sistemas se puede lograr un aumento de entre el 30% y el 40% de la energía captada. Se hace necesario evaluar el costo del sistema de seguimiento y la ganancia derivada del aumento de la energía para determinar su rentabilidad.

### 8.1.6 ASOCIACIÓN DE CÉLULAS EN SERIE Y PARALELO

La tensión proporcionada por una sola célula no tiene utilidad ya que alcanza valores del orden de 0,6 V a circuito abierto en células de silicio, cuando la mayoría de los circuitos en corriente continua funcionan con tensiones como mínimo de 5 V. Es necesario, por tanto conectar un número determinado de células para conseguir tensiones de utilidad. Los paneles fotovoltaicos más habituales están constituidos por un número de células conectadas entre serie que varían entre 30 y 36.

Además los paneles tendrán que conectarse, en serie o en paralelo, para que sean capaces de proporcionar la tensión e intensidad nominales de la instalación, constituyendo el generador fotovoltaico propiamente dicho. En la figura se representa la curva característica de una célula.



**Gráfica 8.1.1: Curva característica del Punto de Máxima Potencia.**  
Fuente: EVE.

Un panel fotovoltaico se caracteriza por su potencia pico, que es la potencia que suministraría en el punto de máxima potencia ( $P_m$ ) y en condiciones estándar, es decir bajo una irradiancia de  $1 \text{ KW/m}^2$ , una temperatura de célula de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  y un espectro 1,5 AM. Debido a la dispersión de los parámetros característicos de las células, la potencia máxima de la asociación no es igual a la suma de las potencias máximas de las distintas células y en este sentido se puede hablar de un rendimiento de la asociación.

#### **8.1.6.1 Asociación en serie**

Si debido a defectos de fabricación o por la formación de sombras, la intensidad de cortocircuito de una célula se ve reducida, la intensidad que recorre la asociación serie puede quedar por encima y la célula quedaría trabajando con tensión negativa, disipando potencia como si de un receptor se tratara. Para evitarlo se pueden instalar diodos (by-pass o de paso) que cortocircuiten la célula anulándola en estas circunstancias.

La curva característica global de una asociación en serie quedaría definida por una tensión que resultaría de la suma de la tensión de cada célula.

#### **8.1.6.2 Asociación en paralelo**

Dentro de un panel se pueden conectar en paralelo varios grupos de células conectadas a su vez en serie, aunque lo más frecuente es que la conexión en paralelo se haga entre paneles.

Si la tensión de trabajo para un grupo de células conectadas en serie o para un panel supera su tensión de circuito abierto la intensidad se invierte y funcionaría, igualmente, como receptor. Para impedirlo se suele disponer de un diodo de bloqueo.

En este caso las distintas agrupaciones no podrán funcionar en su punto de máxima potencia y la máxima potencia de la asociación resulta inferior a la suma de las potencias máximas.

Debido a la dispersión en los valores de parámetros característicos de las células, tanto en serie como en paralelo, la potencia máxima de la asociación suele ser algo menor que la suma de potencias máximas de las células individuales, al igual que pasa con el rendimiento máximo.

## **8.2 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA**

### **8.2.1 INTRODUCCIÓN**

Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica son variadas, pudiendo separarse en dos grandes grupos:

- Instalaciones conectadas a red.
- Instalaciones aisladas de la red (sistemas autónomos).

Los sistemas fotovoltaicos conectados a la línea eléctrica, han sido objeto de un interés creciente durante los últimos años en todos los países industrializados. Actualmente solo un porcentaje muy pequeño de la electricidad se utiliza en instalaciones aisladas de las redes eléctricas.

Un sistema fotovoltaico de conexión a red es un tipo de instalación en la que interviene tres elementos: los módulos fotovoltaicos, el inversor y la línea eléctrica. En este tipo de sistemas, la energía generada por los módulos fotovoltaicos pasa directamente a un inversor DC/AC que convierte la tensión continua en alterna, inyectando la energía producida en la red eléctrica. Son instalaciones eléctricas de baja tensión.

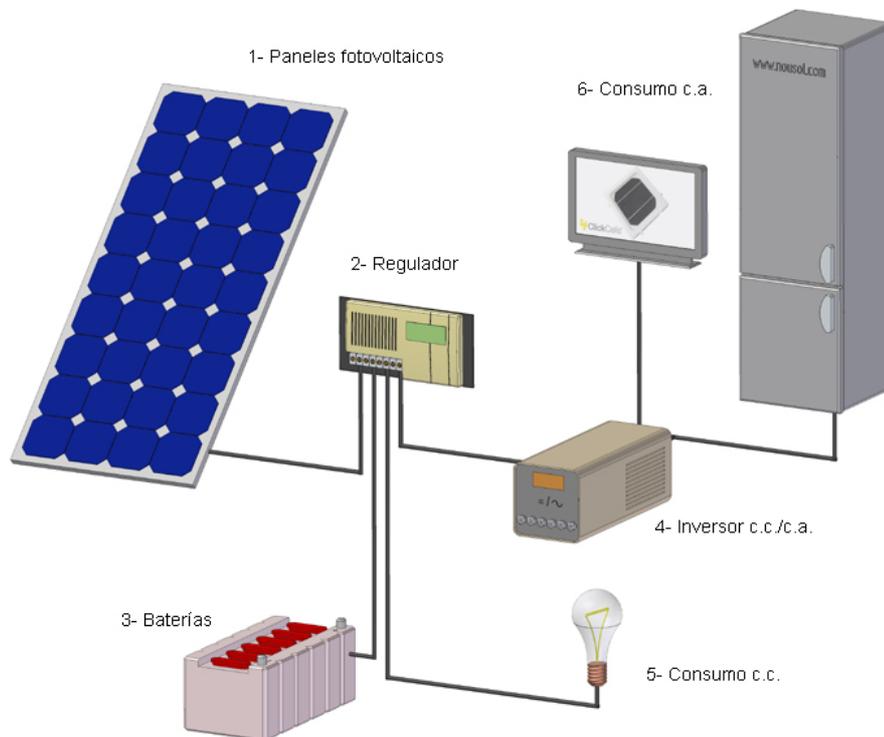
Mientras que los sistemas fotovoltaicos autónomos son aquellos que tratan de cubrir una determinada necesidad energética a partir de la energía solar por medio de la conversión fotovoltaica, sin estar conectado a la red eléctrica.

Las principales aplicaciones de la energía fotovoltaica en sistemas autónomos son:

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

- Electrificación de viviendas y edificios.
- Alumbrado autónomo.
- Aplicaciones agropecuarias.
- Bombeo y tratamiento de agua.
- Señalización y comunicaciones.
- Otras aplicaciones específicas.

La complejidad del sistema y de los distintos subsistemas que lo componen, es muy dependiente de la aplicación y acondicionamiento concretos de cada instalación y del uso que se le vaya a dar.



En la siguiente figura se muestran los distintos subsistemas que pueden formar parte de una instalación fotovoltaica autónoma, los cuales son:

- El módulo.
- El acumulador o batería
- El regulador
- El inversor

**Imagen 8.2.1: Instalación fotovoltaica autónoma.**  
**Fuente: [www.nousol.com](http://www.nousol.com)**

## 8.2.2 EL MÓDULO

Es necesario poder definir varias características del panel solar para poder comparar y determinar calidades, eficacia y estabilidad eléctrica.

Además de información general del producto, el tipo de célula, las características físicas del panel (ancho, largo, espesor y el peso), el tipo de caja de conexión, esquema o descripción con las distancias de los agujeros de fijación del marco, aparece lo que se denomina la curva I-V (curva intensidad-voltaje) del módulo solar.

La curva característica I-V de un módulo fotovoltaico informa sobre los distintos valores de tensión e intensidad que puede proporcionar ese módulo. Se obtiene en condiciones de medida de uso universal, conectando el panel a una resistencia cuyo valor va variando de cero a infinito mientras se miden los distintos valores que resultan de intensidad y tensión. Las condiciones estándar para medir las respuestas de los paneles fotovoltaicos son:

- Condiciones CEM (condiciones estándar de medición).
  - Irradiancia: 1000 W/m<sup>2</sup>
  - Distribución espectral (Masa de Aire): AM 1,5
  - Temperatura de célula: 25 °C.

Aquí se miden la potencia máxima (P<sub>max</sub>) que puede suministrar el panel, la intensidad de cortocircuito (I<sub>sc</sub>) y la tensión de circuito abierto (V<sub>oc</sub>).

- Condiciones Tonc (temperatura de operación nominal de la célula).
  - Irradiación: 800 W/m<sup>2</sup>
  - Velocidad del viento: 1 m/s

---

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

- Distribución espectral: AM 1,5
- Temperatura ambiente de 20 °C.

El valor  $T_{onc}$  del mercado actual se encuentra entre 40 °C y 46 °C.

### 8.2.2.1 Parámetros Eléctricos

Los parámetros que se reflejan en una curva I-V son:

- Intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ )
- Intensidad en el momento de máxima potencia ( $I_{max}$ )
- Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ )
- Tensión en el momento de máxima potencia ( $V_{max}$ )
- Potencia pico o potencia máxima

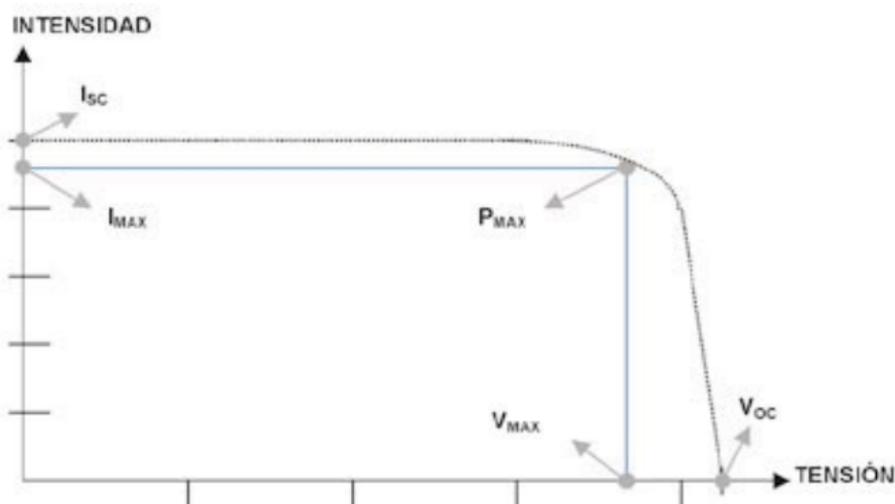


Gráfico 8.2.1: Curva característica I-V de un panel fotovoltaico. Fuente: EVE

➤ **Intensidad de cortocircuito ( $I_{sc}$ ):**

La intensidad de cortocircuito se mide en amperios. Es la intensidad máxima que se puede obtener del panel solar, en las condiciones CEM, provocando un cortocircuito. Al no haber resistencia al paso de la corriente el voltaje es cero.

➤ **Tensión de circuito abierto ( $V_{oc}$ ):**

La tensión de circuito abierto se mide en voltios. Es el voltaje máximo que se puede obtener del panel solar, en las condiciones CEM, en circuito abierto. Al no haber conexión entre los bornes del panel, la intensidad es nula.

➤ **Potencia pico o potencia máxima (Pmax):**

La potencia que es capaz de suministrar un panel se da siempre en vatios pico (Wp). El panel fotovoltaico funciona a potencia máxima cuando proporciona una corriente y una tensión tal que su producto es máximo ( $I_{max} * V_{max} = P_{max}$ ). A ese punto de coordenadas ( $I_{max}$ ,  $V_{max}$ ) se le denomina punto de máxima potencia.

Normalmente un panel no trabaja a potencia máxima debido a varios condicionantes, entre otros a que la resistencia exterior está dada por las condiciones particulares del circuito al que esté conectada (la instalación).

Como se ha dicho, los experimentos en laboratorio y los ensayos de módulos solares fotovoltaicos suelen hacerse en condiciones de un sol pico de intensidad (1000 W/m<sup>2</sup>). Así, la Pmax de un panel siempre se supone referida a una intensidad de un sol pico.

También es posible encontrar dentro de las especificaciones del fabricante la potencia mínima Pmin garantizada contra la degradabilidad de las constantes eléctricas.

➤ **Intensidad y voltaje en el punto de máxima potencia (PMP):**

Las mediciones Isc y Voc son casos extremos que se realizan sin conectar ninguna carga al panel solar. En la vida real del módulo, lo normal es que esté conectado a una carga (un consumo, una batería, ...) y que fluya una corriente eléctrica al circuito exterior del módulo, circuito que es real y tiene una determinada resistencia al paso de la corriente.

Entonces, el trabajo del panel viene dado por la intensidad (I) y la tensión (V) que determine la resistencia del circuito y siempre serán valores más pequeños que Isc y Voc. A la intensidad y al voltaje que correspondan a la potencia máxima que es capaz de generar el panel se les denomina (aunque no sea correcto) intensidad máxima ( $I_{max}$ ) y voltaje máximo ( $V_{max}$ ).

Es preciso detenerse un poco en esta denominación que puede resultar engañosa. En la curva I-V de la página anterior, se observa que Voc es mayor que Vmax, y que Isc es mayor que Imax. El nombre de intensidad máxima y de voltaje máximo se les da por corresponder al punto de máxima potencia.

También es necesario reflexionar sobre el hecho de que el panel solar tiene que cargar un sistema de acumulación de 12 V (caso típico), y para hacerlo el panel siempre tendrá que tener una tensión superior a 12 V, aún en condiciones de baja, pero aprovechable radiación solar.

El Punto de Máxima Potencia del panel fotovoltaico cambia con la Temperatura del panel y la Radiación solar incidente, por tanto, es importante realizar el seguimiento de este punto para conseguir el mayor rendimiento del sistema fotovoltaico, que no se obtendría con un punto fijo de funcionamiento.

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

La gráfica que se muestra a continuación representa la curva típica I-V de un módulo fotovoltaico en función de la radiación y a una temperatura constante. Además, se representa con una línea de trazo discontinuo, la variación del punto de máxima potencia con la radiación.

El algoritmo de control del SMP se encarga de que el punto de trabajo de los módulos fotovoltaicos sea, en cada instante, el correspondiente al de máxima potencia.

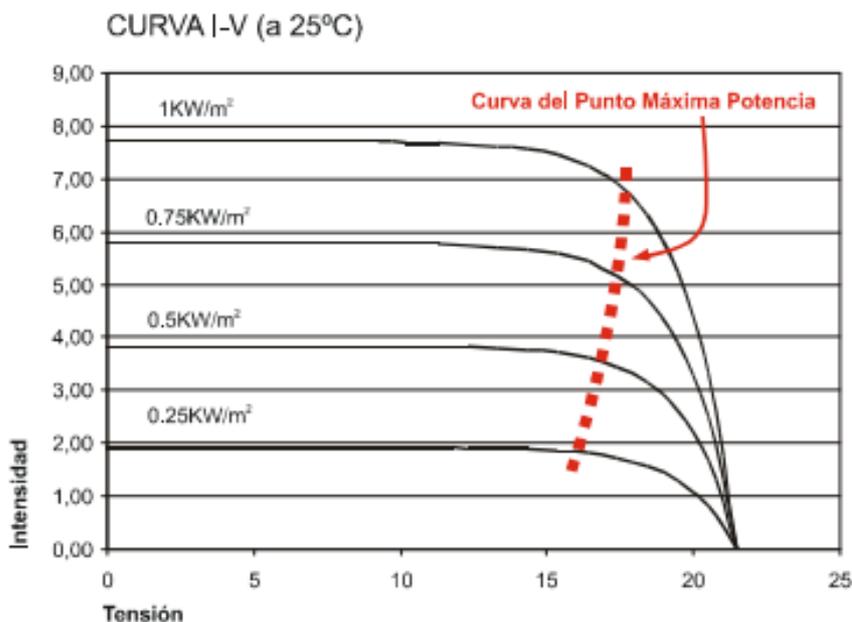
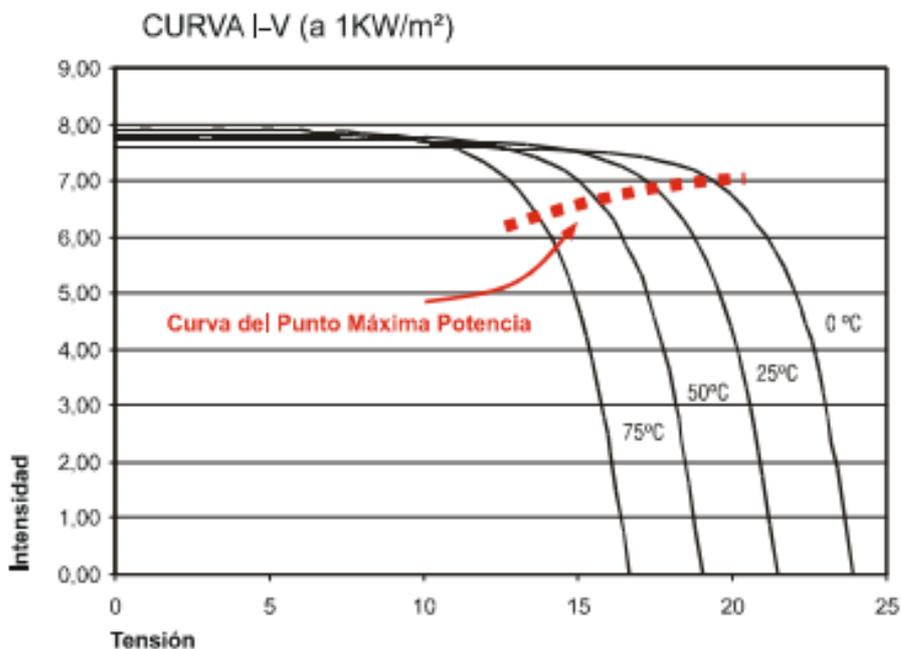


Gráfico 8.2.2: Curva V-I a Temperatura constante de 25 °C.  
Fuente: ATERSA.

En la siguiente gráfica, se muestra la variación de la curva I-V en función de la temperatura para una radiación de 1 KW/m² e de igual manera se representa con una línea de trazo discontinuo, la variación del punto de máxima potencia con la radiación.



**Gráfico 8.2.3: Curva V-I con Irradiancia constante de 1KW/m<sup>2</sup>.****Fuente: ATERSA.**

Este seguimiento del punto de máxima potencia que el SMP ajusta la tensión del panel fotovoltaico de modo que el punto de trabajo en la curva I-V coincida siempre con el de máxima potencia posible. Además, con esta potencia, el SMP se encarga de ajustar la velocidad de la bomba para obtener, en cada instante, el máximo caudal posible.

**➤ Factor de forma (FF):**

Es un concepto técnico, poco conocido y muy válido. FF siempre será un valor más pequeño que 1 y el módulo fotovoltaico será tanto mejor cuanto más se aproxime a 1 su factor de forma. Entre 0,65 y 0,84 se encuentran muchos modelos de paneles. Las células de silicio monocristalino suelen tener mejor valor.

$$FF = \frac{P_{\max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (\text{Ecuación 8.2.1})$$

**8.2.2.2 Parámetros Térmicos****➤ Influencia de la temperatura**

Al colocar el panel al sol se produce electricidad, pero también se provoca el calentamiento de las células. La temperatura de trabajo de las células puede ser de 20° a 25 °C superior a la temperatura ambiente.

Al igual que ocurre en muchos dispositivos eléctricos y/o electrónicos, el exceso de temperatura resta eficacia. Esa pérdida de eficacia se puede cifrar en un 0,5% menos de potencia por cada grado de temperatura por encima de 25 °C.

**➤ El punto caliente**

Si dentro del módulo una célula se encuentra sombreada y las otras no, o tiene un defecto de fabricación, se ve obligada a comportarse como una carga. En vez de producir energía, la consume, y comienza a disipar la energía generada por las demás. La célula sombreada eleva su temperatura. Y este problema puede llegar a dañar de forma irreversible el encapsulante.

Para resolver este inconveniente, se colocan diodos de protección dentro de la caja de conexiones del módulo. Estos diodos van conectados en paralelo con grupos de células asociadas en serie. Si el módulo trabaja correctamente no influyen en el

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

funcionamiento, pero cuando algunas células se polarizan inversamente, el diodo proporciona un camino de paso a la corriente y limita la potencia a disipar por célula. También existen algunas ocasiones en las que requiere la presencia de diodos de bloqueo, conectados en serie con cada elemento de las asociaciones en paralelo. Este diodo de bloqueo es frecuente en generadores de gran tamaño.

Además, para evitar las descompensaciones que se producen dentro del módulo, si unas células trabajan más que otras, se procede a una meticulosa selección. Elegidas dentro de un rango muy estrecho en cuanto a parámetros eléctricos, son agrupadas para formar un módulo o panel. Debido a los controles a los que se someten a las células antes de ensamblarlas dentro de un módulo y a los módulos posteriormente, un error de fábrica debido a descompensaciones internas es difícil que ocurra.

El problema de punto caliente puede deberse a que el montaje de módulos solares se haya realizado en los meses del verano, sin tener en cuenta las posibles sombras arrojadas sobre las células por cualquier obstáculo en otras épocas del año, o también que el módulo tenga una zona mucho más sucia que otra y que por ello algunas células reciban mucho menos radiación que otras. Ambos casos habrán de ser tenidos en cuenta para poder evitar dicho problema.

#### **8.2.2.3 Asociación de Módulos**

La conexión eléctrica entre paneles o módulos solares puede ser de tres clases:

- Conexión en serie. Aumenta la tensión.
- Conexión en paralelo. Aumenta la intensidad.
- Combinando las dos primeras hasta lograr la intensidad y tensión necesaria.

Al conectar dos paneles iguales en paralelo, la tensión que se obtiene es igual que la de un solo módulo, sin embargo, la intensidad es el doble. Si por el contrario la conexión es en serie, la intensidad que se obtiene es la misma que la un solo módulo, pero la tensión es el doble.

Con bastante frecuencia se realizan conexiones tanto en serie como en paralelo para conseguir los valores idóneos para cada aplicación.

Las instalaciones fotovoltaicas deben atenerse a lo dispuesto en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT).

### 8.2.3 EL ACUMULADOR

El subsistema de almacenamiento es necesario para almacenar la energía suministrada por los paneles fotovoltaicos cuando sea necesario y consumirla en los momentos en los que no existe suficiente producción energética por parte del sistema de captación, ya que la radiación solar no está disponible continuamente (ciclos día-noche, variaciones estacionales, variaciones meteorológicas).



**Imagen 8.2.2: Baterías fotovoltaicas.**  
Fuente: ATERSA.

Se necesita de algún dispositivo que acumule energía cuando la generada es mayor ue la consumida, y que devuelva esa energía cuando la demanda supere a la producción.

El elemento que se encarga de esto es el acumulador. En los sistemas fotovoltaicos se utilizan acumuladores electroquímicos: baterías recargables.

---

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Además de cubrir esta necesidad, la batería puede cumplir otras dos importantes misiones:

- Suministrar potencia y energía en los periodos de tiempo en los que la demanda es superior a la que el campo de los paneles puede generar en ese instante (por ejemplo en el arranque de un motor).
- Mantener el nivel de tensión estable: La tensión de salida del panel varía en función de la intensidad radiante, lo cual puede no ser adecuado para el funcionamiento de los aparatos. El acumulador proporciona una tensión estable y constante independiente de las condiciones de incidencia luminosa.

Una batería está constituida por uno o varios elementos electroquímicos que tiene la propiedad de convertir energía química en eléctrica.

Si las reacciones que se producen son irreversibles, la batería puede usarse solo una vez y recibe el nombre de primaria o pila.

Si las reacciones químicas son reversibles y se puede recargar el elemento convirtiendo la energía eléctrica en química, la batería es denominada secundaria. Las baterías secundarias no pueden suministrar directamente energía eléctrica y es necesario someterlas a un proceso de carga. Pertenecen a este grupo todas las baterías recargables, conocidas también como acumuladores.

### 8.2.3.1 Clasificación de baterías

A pesar de estar construidas de diferente forma y de tener un comportamiento diferente, desde el punto de vista químico están basadas en los mismos principios y componentes básicos.

#### ▪ En función de su uso:

- **Baterías estacionarios:** suelen estar en posición fija y están destinados para producir una corriente permanente o esporádica baja y nunca para grandes corrientes en breves periodos de tiempo. Son las más utilizadas en instalaciones fotovoltaicas.
- **Baterías de arranque:** su misión es proporcionar gran intensidad en pocos segundos. Tiene una construcción especial por el hecho de tener que entregar esas grandes corrientes. Las placas de los electrodos son más gruesas que las de las baterías de las estacionarias. También tiene una menor duración. Son las baterías de automóvil.
- **Baterías de tracción:** su misión es proporcionar corrientes moderadamente altas durante varias horas. Se emplean en pequeños vehículos eléctricos de transporte de equipaje de los aeropuertos.

▪ **En función de sus características y elementos constructivos:**

- **De electrolito ácido:** Dominan en el mercado las de plomo. Así de denominan plomo-ácido. Destacan las de placas tubulares. Este tipo de acumuladores son muy adecuados para las condiciones de trabajo de las instalaciones fotovoltaicas.
- **De electrolito alcalino:** Destacan las de níquel-cadmio y las de níquel-hierro.

En los sistemas fotovoltaicos las baterías más utilizadas son las de plomo-ácido (Pb-ácido) y las de níquel-cadmio (Ni-Cd). La aplicación más generalizada en la actualidad es la primera, debido al precio, varias veces menor. Por otra parte, las baterías de níquel-cadmio son más fiables y resistentes, además no precisan de regulador, siendo posible que permanezcan durante largos periodos en un bajo estado de carga, suministrando un calor de tensión bastante estable y necesitando menos mantenimiento.

La batería diseñada para el almacenamiento de la energía solar fotovoltaica debe tener un buen comportamiento frente a los ciclos de carga y descarga y una larga duración. Otras características necesarias son un mínimo mantenimiento, buena aceptación de la corriente, mínima autodescarga y alta fiabilidad.

### 8.2.3.1.1 Batería de plomo-ácido

Una batería está formada por la asociación en serie de varios elementos, llamados vasos o celdas. En una batería de plomo-ácido cada uno de esos vasos consta de un electrodo de plomo (cátodo, electrodo negativo) y otro electrodo de plomo (ánodo, electrodo positivo), inmersos en una disolución electrolítica o electrolito (ácido sulfúrico diluido en agua destilada).

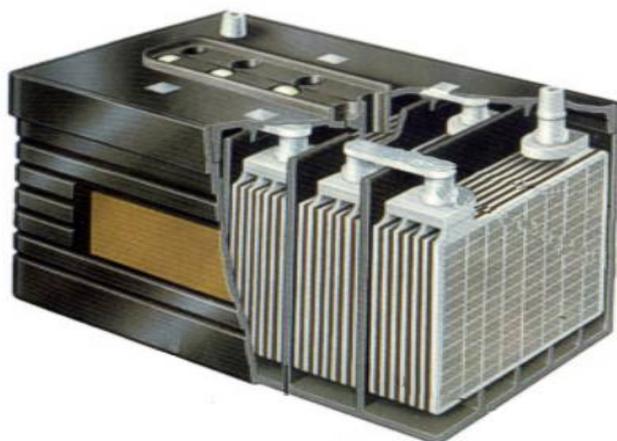


Imagen 8.2.3: Batería Pb-ácido. Fuente: Baterías Automotrices.

---

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Los procesos de carga y descarga están basados en ciertas reacciones electroquímicas, en el proceso de descarga, el producto de la reacción es sulfato de plomo.

Aunque esta batería tiene excelentes prestaciones para la función para la que ha sido diseñada, no carece de inconvenientes:

- Corrosión debida al ácido sulfúrico.
- Autodescarga apreciable.
- Funcionan mal a bajas temperaturas.
- Su capacidad depende mucho del régimen de descarga.

Para mejorar sus características se han desarrollado diversos sistemas como los acumuladores de plomo-antimonio (Pb-Sn) y los acumuladores plomo-calcio (Pb-Ca).

➤ Plomo-antimonio:

Los electrodos de la batería se construyen con una aleación de plomo y antimonio, este último necesario para dar la adecuada consistencia al material y garantizar la adherencia a la matriz de acero en que se deposita. Ahora bien, este antimonio es también responsable de las pérdidas de agua, la corrosión de los terminales y pérdidas de capacidad de almacenamiento. Admite descargas moderadamente altas, aunque el número de ciclos de carga y descarga y, por tanto la vida útil, será mayor cuanto menor sea la profundidad de descarga a la que se vea regularmente sometida.

Las baterías estacionarias de Pb-Sb suelen suministrarse en celdas o elementos de un par de voltios de tensión. Uniendo en serie 6 ó 12 de estos elementos, mediante atornillado, se consiguen baterías de 12 ó 24 V.

➤ Plomo-calcio:

Semejantes a las anteriores, pero sustituyendo el antimonio por calcio. Esta aleación plomo-calcio permite la fabricación de baterías de plomo herméticas y sin mantenimiento. Presenta además la ventaja de tener una baja autodescarga, aunque al ser de ciclo superficial no admite gran número de ciclos por debajo del 15% de la capacidad y en ningún caso aguanta profundidades de descarga superiores al 40%.

Se venden en estructuras compactas tipo “monoblocs” y su reducido tamaño permite un transporte cómodo, lo que, unido a su precio relativamente moderado, hace que sea bastante utilizada en pequeñas instalaciones.

### 8.2.3.1.2 Batería solar de gel (VRLA)

La batería solar de gel, es una batería de Pb-ácido, donde el electrolito no es líquido, sino gelatinoso. Su costo es alrededor de tres veces mayor que el de la versión con electrolito líquido,



Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

pero tiene características técnicas que las hacen muy útiles en aplicaciones especializadas.

La abreviatura VRLA corresponde con las siglas inglesas de “Pb-ácido regulada por válvulas”. Esta batería no requiere de ventilación al exterior durante el proceso de carga, la caja exterior es hermética, evita el derrame del electrolito, lo que la hace más manipulable y muy útil en aplicaciones marinas. La válvula constituye en dispositivo de seguridad en caso de cortocircuito o sobrecarga.

El tipo de electrolito usado en esta batería permite su uso a bajas temperaturas con mayor eficiencia que las de electrolito líquido.

**Imagen 8.2.4: Batería de gel VRLA. Fuente: [www.solostocks.com](http://www.solostocks.com)**

La autodescarga semanal es de 1,1 %, a 25 °C y aumenta hasta un 3 % cuando la temperatura se eleva a 40 °C. Pueden obtener versiones de 6 y 12 V, con capacidades entre 6 y 180 Ah (20horas).

Como no requiere de mantenimiento, se les suele destinar en instalaciones donde la supervisión es infrecuente, como en sistemas fotovoltaicos de iluminación de carteles de propaganda en carreteras, repetidores de comunicación o en sistemas fotovoltaicos portátiles.

### 8.2.3.1.3 Batería níquel-cadmio (Ni-Cd)

En este caso los elementos están constituidos por placas positivas (ánodos) de hidróxido de níquel, unas placas negativas (cátodos) de cadmio y en electrolito de hidróxido de potasio que no reacciona con las placas.



**Imagen 8.2.5: Batería Ni-Cd. Fuente: Duratrax Piranha.**

Este tipo de acumulador no ha sustituido a las baterías de tipo Pb-ácido debido a su alto costo inicial (6 a 8 veces el de una batería equivalente Pb-ácido), sin embargo, el costo operacional, a largo plazo, es mucho menor, debido a su larga vida útil y bajo mantenimiento.

Existen dos métodos de fabricación de este tipo de baterías, el recomendado para aplicaciones solares es el llamado “bolsillos en la placa”, que usa placas de acero inoxidable. En términos genéricos una batería Ni-Cd que usa este método de fabricación tolera más exigencias que su equivalente de Pb-ácido.

Sus características más importantes son:

- Soporta sin daño cargas y descargas fuertes.
- Soporta mayor profundidad de descarga (casi del 100 %).

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

- Mayor eficiencia con baja temperatura ambiente.
- Soportan alta combinación de temperatura y humedad ambiente.
- No hay problemas de sulfatación de las placas ni congelación.
- Autodescarga elevada que disminuye con el tiempo
- Larga vida útil.

#### 8.2.3.2 Parámetros Característicos

##### ➤ Capacidad nominal, $C_B$ .

Es la cantidad de electricidad que puede obtenerse mediante la descarga total de una batería inicialmente cargada al máximo. La capacidad de un acumulador se mide en Amperios-hora (Ah) para un determinado tiempo de descarga.

El régimen de descarga es el número de horas que la batería puede dar una cierta corriente hasta que se descarga completamente.

En la práctica, la capacidad de una batería varía según el régimen de descarga: aumenta a medida que la descarga es más lenta, y disminuye cuando esta es más rápida. Por esta razón, el valor de  $C$  debe venir referenciado con el tiempo, como se muestra en la imagen 2 adjunta. Para acumuladores fotovoltaicos es usual referirse a tiempos de descarga de 100 horas.

La capacidad real también

depende de la temperatura: un ligero incremento de la temperatura aumenta la actividad de los procesos químicos y, por tanto, la capacidad de la batería y viceversa.

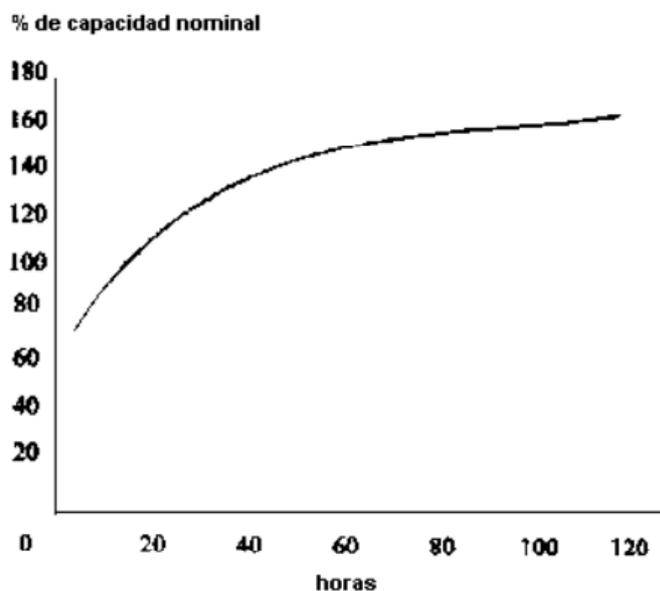


Gráfico 8.2.4: Variación de la capacidad según régimen de descarga. Fuente: CIRCE.

➤ **Tensión.**

En los acumuladores también puede definirse la tensión de circuito abierto y la tensión de carga. La tensión nominal suele ser de 2, 6, 12 ó 24 V, aunque varíe durante los distintos procesos de operación.

La tensión de carga es la necesaria para vencer la resistencia que opone el acumulador a ser cargado.

En una instalación fotovoltaica, la tensión viene determinada por la batería, de esta manera, será la curva V-I del panel el que determine la corriente. Siempre es necesaria una tensión algo superior a la de la batería para que ésta sea cargada, por eso el módulo deberá de poder proporcionarla.

➤ **Autodescarga.**

Pérdida de carga de la batería cuando esta permanece en circuito abierto. Depende del tipo de batería y muy directamente de la temperatura, aumentando con esta. Se expresa habitualmente como porcentaje de la capacidad nominal, medida durante un mes, y a una temperatura de 20 °C.

La autodescarga hay que considerarla como un consumo adicional, que demanda un cierto porcentaje de energía almacenada. Su valor es aproximadamente de 0.5 a 1 % diario en baterías de Pb-ácido.

➤ **Profundidad de descarga, PD.**

Valor, en tanto por ciento, de la energía que se ha extraído de un acumulador plenamente cargado en una descarga.

A partir de la profundidad de descarga podemos encontrarnos con descargas superficiales (de menos del 20 %) o profundas (hasta el 80 %).

La profundidad de descarga máxima (PD<sub>max</sub>) es el valor en tanto por ciento de energía que se puede extraer sin dañar la batería.

La capacidad útil de la batería (Ah) es:

$$C_{\text{útil}} = C_B * PD_{\text{máx}} \quad (\text{Ecuación 8.2.2})$$

➤ **Rendimiento.**

Es la relación entre la energía suministrada durante la carga y la que se necesita para cargar plenamente la batería. Las pérdidas en la batería se deben sobretodo a una producción de energía calorífica en los procesos químicos que tienen lugar durante la carga y descarga.

➤ **Vida útil.**

En las baterías no se mide en años, si no por la cantidad de ciclos de carga-descarga que es capaz de realizar. A mayor número de ciclos que se le someta, su vida útil se acortará.

## 8.2.4 EL REGULADOR

Es el dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobredescargas.

Durante la noche la tensión de salida de los paneles fotovoltaicos es nula. Al amanecer, atardecer o en días nublados, el nivel de insolación es bajo y los paneles quizá no puedan cargar las baterías. Si la demanda de consumo eléctrico de la instalación provoca un estado de carga en la batería demasiado bajo, de mantenerse esta situación durante tiempo prolongado, resulta perjudicial para la misma. En este caso, el regulador cumple la misión de evitar la descarga de la batería.



Cuando la insolación aumenta, la tensión de los paneles supera a la del banco de baterías y el proceso de carga se reanuda. Como la tensión que puede proporcionar el panel es mayor que la tensión que presenta la batería a plena carga, si no se controla el proceso de carga, continuaría produciéndose éste y puede dar lugar a una sobrecarga de la batería. Si no se evita se produce gasificación y calentamiento, dando lugar a una disminución de la vida útil. Para evitar esta sobrecarga se utiliza el regulador.

**Imagen 8.2.6: Reguladores de carga ATERSA.**  
**Fuente: ATERSA.**

### 8.2.4.1 Parámetros Característicos

El regulador funciona generalmente por control de la tensión de los terminales de la batería, relacionado con el estado de carga. También existen otras estrategias de regulación atendiendo a otros parámetros como el estado de carga del acumulado, en cualquier caso el regulador debe ser configurado específicamente en función del tipo de batería, aplicación y condiciones climáticas.

Sus principales características son:

➤ **Tensión nominal.**

Igual a la del sistema, usualmente 12, 24 ó 48 V.

➤ **Intensidad máxima.**

Debe ser al menos un 25 % mayor a la máxima corriente del generador fotovoltaico, puesto que en ocasiones la irradiancia puede llegar a superar los  $1250\text{W/m}^2$ .

➤ **Tensiones de regulación.**

Los niveles de tensión a los que el regulador realiza el control o los cortes son la tensión de regulación. Algunos reguladores incorporan cuatro valores de tensión de regulación:

- Tensión de corte por sobrecarga,  $V_{sc}$ .  
Máxima tensión que el regulador permite que alcance la batería, cuando alcanza  $V_{sc}$ , se desconecta el generador o comienza a limitar la cantidad de corriente que se suministra a la batería.
- Tensión de rearme de carga,  $V_{rc}$ .  
Tensión a la cual se vuelve a conectar (histéresis) el generador para cargar de nuevo la batería.
- Tensión de corte por sobrecarga,  $V_{sd}$ .  
Valor mínimo de tensión al que la batería está conectada al consumo. El funcionamiento es el mismo que con la tensión de corte por sobrecarga.
- Tensión de rearme de descarga,  $V_{rd}$ .  
Al igual que en la tensión de rearme de carga, se realiza un ciclo de histéresis, hasta que no se baja del valor, en este caso  $V_{sd}$ , no se desconecta el consumo de la batería, y hasta que no se supera el valor  $V_{rd}$ , no se vuelve a conectar.

Las tensiones de regulación para baterías plomo-ácido recomendados son:

- $V_{sc} = 2,45 \text{ V/elemento}$ , a  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ . Se debe corregir en  $-5 \text{ mV/}^\circ\text{C}$ .
- $V_{rc} = 2,2 \text{ V/elemento}$ .
- $V_{sd} = [1,9 \text{ y } 1,95] \text{ V/elemento}$ .
- $V_{rd} = 2,1 \text{ V/elemento}$ .

➤ **Funciones de control.**

Algunos reguladores pueden incluir también las siguientes funciones:

- Compensación de la temperatura.
- Ajuste del procedimiento de carga según tipo de batería.
- Protección contra polaridad inversa.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

- Protección contra cortocircuito.
- Protección frente a sobretensiones debidas a descargas atmosféricas (rayos).
- Indicador de carga, tensión e intensidad en cada momento.
- Regulación automática del gaseo. Cada 15 días las baterías se cargan durante unas 3 horas con una tensión por encima de la tensión de gaseo, así se evita la estratificación indeseada del electrolito.
- Instrumentación de medidores: voltímetros, contadores, alarmas, etc.
- Seguimiento del punto de máxima potencia (SPM).

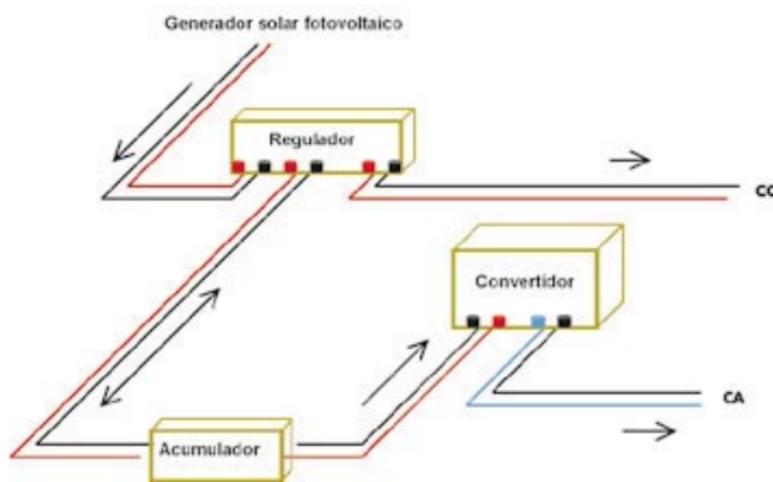


Imagen 8.2.7: Esquema del flujo de energía en una instalación fotovoltaica.  
Fuente: EVE.

### 8.2.4.2 Tipos de reguladores

#### ➤ Reguladores serie.

Son de utilización generalizada, la mayoría de los sistemas fotovoltaicos autónomos incorporan un regulador del tipo serie.

Estos reguladores se caracterizan por un elemento interruptor que se conecta en serie entre el módulo fotovoltaico y la batería, y otro entre la batería y el consumo.

Hoy en día los reguladores son muy sofisticados, con elementos semiconductores de conmutación rápida como MOSFETs, que ofrecen una mejor carga de la batería mediante la liberación de la corriente procedente de los paneles en rápidos pulsos de longitud variable (técnica denominada modulación de anchura de pulsos, PWM, Pulse Width Modulation) o incluso, se utilizan algoritmos especiales que adaptan los intervalos de los pulsos al estado de carga de la batería (SOC, State Of Charge).

Cuando la tensión de la batería indica que va a pasar a sobrecarga (tensión de corte por alta), se desconecta la batería del generador. Cuando la tensión de la batería indica

---

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

que va a pasar a sobredescarga (tensión de corte por baja), se desconecta la batería del consumo.

➤ **Reguladores en paralelo.**

Este tipo de regulador, el elemento conmutador es conectado en paralelo al módulo. Al detectar que la tensión en la batería supera el valor correspondiente a plena carga (batería completamente cargada), el módulo es cortocircuitado por el interruptor y así no puede fluir corriente a la batería.

En esta configuración, es obligatoria la integración de un diodo de bloqueo para evitar el cortocircuito de la batería.

Al igual que en los reguladores en serie, la mayoría de los dispositivos de maniobra modernos también trabajan con regulación PWM y supervisión de estado de carga, SOC, de la batería. Con estos dispositivos se consiguen eficiencias más altas en la carga de la batería que los reguladores serie. Como desventaja, los MOSFETs de los reguladores en paralelo requieren grandes disipadores de calor con el propósito de superar las elevadas corrientes del generador fotovoltaico de forma segura. Para trabajar con reguladores en paralelo se necesitan módulos estándar de cierta calidad contrastada.

➤ **Regulador/ seguidor del punto de máxima potencia.**

El elemento central de un regulador PPT es un convertidor DC-DC que transforma la tensión de salida del módulo a la tensión requerida para cargar las baterías.

El procedimiento normal de funcionamiento de este equipo es convertir mediante un inversor la corriente continua de entrada en corriente alterna, se eleva o reduce con un transformador, y posteriormente se vuelve a convertir en corriente continua, pero ya al voltaje requerido.

Hay dos tipos de convertidores de continua a continua. Los convertidores de nominados step-up converters o también boost converter, elevan la tensión de entrada a un nivel de salida mayor y los convertidores step-down converters o Buck converters realizan la acción opuesta y empujan la tensión hacia un nivel inferior.

En aplicaciones de fotovoltaica conectada a red, los convertidores Buck son los más empleados debido a que tienen tensiones de salida muy elevadas.

La función más importante de este regulador es encontrar el punto de máxima potencia del campo solar. Para este propósito, la unidad DC-DC debe estar equipada con un algoritmo capaz de medir la curva V-I del módulo e identificar la tensión del punto de máxima potencia. La forma de lograrlo depende de los fabricantes de seguidores. En la mayoría de los casos. Los dispositivos trabajan con un seguimiento electrónico continuo del punto de máxima potencia que es interrumpido de tiempo cada

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

cierto tiempo por un barrido de tensión a lo largo de toda la curva V-I buscando asegurar que el mecanismo está siguiendo el MPP real u no una máxima potencia local.

Las especificaciones mínimas a acompañar a un convertidor DC-DC son:

- Tensión nominal, V.
- Corriente máxima, A.
  
- Fabricante y número de serie.
- Polaridad de terminales y conexiones.

El incremento de energía generada puede llegar al 15 % para sistemas con baterías, el sistemas directamente acoplados el incremento puede ser mayor.

Se suelen utilizar con reguladores de carga, con consumos directamente conectados al generador, con bombas de continua, con inversores de frecuencia variable para bombeo o con inversores de sistemas en conexión a red. Algunos reguladores e inversores lo llevan incorporado.

## 8.2.5 ACONDICIONAMIENTO DE POTENCIA

Los convertidores son elementos capaces de alterar la tensión y las características de la corriente eléctrica que reciben, transformándola de manera que resulte más apta para los usos específicos a que vaya destinada en cada caso.

Los dispositivos que reciben la corriente continua, pero a un voltaje diferente, reciben el nombre la denominación de convertidores continua/continua y los que transforman la corriente continua en corriente alterna se denominan inversor o convertidor continua/ alterna.

### 8.2.5.1 EL CONVERTIDOR

En este caso se le denomina convertidor, aunque también se le conoce como ondulator, y posiblemente el término más difundido es el de inversor DC/DC. Se trata de un dispositivo, cuya finalidad es la de adaptar las propiedades de la corriente eléctrica generada o acumulada a las de la corriente eléctrica requerida total o parcialmente por los consumos.



A partir de una tensión de entrada de corriente continua, mediante una modulación de tipo PWM (*Pulse-Width Modulation*, explicada anteriormente), se consigue una tensión de salida de corriente continua adecuada, en este caso para el motor de la bomba de corriente continua.

**Imagen 8.2.8: Convertidor CC/CC. Fuente: PREMIUM.**

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

El convertidor ajusta el punto de funcionamiento del panel de modo que se mantenga en una tensión constante, se consigue trabajar con un rendimiento global elevado de la instalación.

Otra importante ventaja de trabajar con un convertidor, es que la potencia que se transmite al motor es en valores de tensión alta e intensidad muy baja, necesitando menos radiación para que éste arranque, aunque sea a bajas velocidades, pero aprovechando las primeras horas del día para bombear agua, lo que aumenta su eficiencia.

### 8.2.5.1.1 Tipo de convertidores

- Reductor o Buck: a la salida la tensión es menor que a la entrada
- Elevador o Boost: permite tener a la salida una tensión mayor que a la entrada.
- Reductor- Elevador o Cúk: proporciona una inversión en la tensión de salida sin necesidad de transformador.

### 8.2.5.2 EL INVERSOR

El generador fotovoltaico proporciona corriente continua a tensión constante y una intensidad proporcional a la radiación solar.

Estos valores de tensión e

intensidad generados no son adecuados para hacer funcionar directamente un motor de corriente alterna trifásica, por esta razón, existe la necesidad de instalar el variador de frecuencia o inversor, que convierte la potencia eléctrica de corriente continua recibida del generador fotovoltaico a potencia de corriente alterna modificando la velocidad de giro del motor trifásico conectado.

En aplicaciones fotovoltaicas autónomas el objetivo es crear una tensión alterna a partir de la fuente de tensión continua disponible (baterías o sistemas de generación fotovoltaica), en pequeñas instalaciones, lo ideal sería que todas las cargas funcionasen en corriente continua, pero cuando el usuario desea utilizar los aparatos de corriente alterna resulta necesario el inversor. Mientras que en instalaciones conectadas a red, la tensión de la red es alterna y



**Imagen 8.2.9: Inversor CC/CA.  
Fuente: RENSA.**

---

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

la forma de la energía final tiene que ser, por tanto, alterna siendo obligado el uso de inversores.

Existen en el mercado inversores monofásicos y trifásicos. La frecuencia de la tensión de salida es de 50 Hz en Europa.

#### 8.2.5.2.1 Parámetros Característicos

Los inversores deberán estar etiquetados con, al menos la siguiente información:

➤ **Potencia nominal, VA.**

Es el valor máximo y el nominal de la potencia alterna de salida que puede ser suministrada por el inversor.

➤ **Tensión nominal de entrada, V.**

Es el rango de los valores de la tensión continua de entrada aceptables para la operación nominal del inversor.

➤ **Tensión (VRMS) y frecuencia (Hz) nominales de salida.**

Otras características importantes son:

➤ **Estabilidad de la tensión.**

La tensión de salida debe ser lo más estable posible. Los de control PWM senoidal suelen tener variaciones de la tensión de salida del orden del 5 %, mientras que los de onda cuadrada del 10 %.

➤ **Eficiencia.**

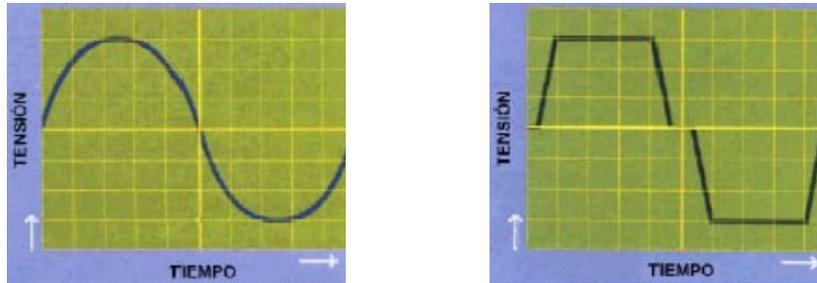
Es la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada al inversor. Depende de la potencia y de la temperatura de operación, así como de la tensión de continua. Debe ser lo más elevada posible, para todo el rango de potencias de salida.

Los de control PWM senoidal suelen tener un rendimiento del 90 % o mayor para el 70 % de la potencia nominal de salida. Para potencias bajas el rendimiento cae.

➤ **Baja distorsión armónica.**

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

La distorsión armónica da idea de lo que se asemeja una onda a la forma senoidal.



**Gráfica 8.2.5: Forma de la onda. Senoidal y Trapezoidal.**

Fuente: CIRCE.

➤ **Capacidad para resistir potencia punta.**

En situaciones como los arranques de motores, la potencia instantánea puede ser varias la nominal, el inversor debe de poder aguantar estos picos

➤ **Elevado rango de temperaturas y humedad.**

La temperatura suele estar entre -5 y 40 °C y entre el 0 y 85 % de humedad relativa.

➤ **Seguridad.**

Deben de llevar protección contra:

- cortocircuitos
- sobrecargas
- inversor de polaridad
- tensiones de entrada fuera del margen de operación
- desconexión del acumulador

### 8.2.5.2.2 Tipos de inversores

Los inversores utilizan interruptores semiconductores estáticos. En general puede distinguirse entre inversores guiados por red y autoconmutados, estos últimos son los más utilizados en aplicaciones fotovoltaicas.

Se detallan los tipos de inversores autoconmutados, ya que los guiados por red son como su nombre indica, para instalaciones conectadas a la red.

➤ **Inversor autoconmutado.**

Puede ser a su vez de dos tipos:

- Fuente de tensión

La entrada se conecta a una fuente de tensión continua, pudiendo obtener a la salida una forma de onda de tensión de amplitud y frecuencia variables.

- Fuente de corriente

Se obtiene a la salida una forma de onda de corriente, de amplitud variable y frecuencia determinada.

En realidad un mismo inversor puede funcionar de un modo u otro, sin más que variar la política de control de los interruptores estáticos.

Operando en la modalidad de fuente de tensión, se utiliza como referencia la tensión que se desea a la salida y el esquema de control permite obtener la forma de onda correspondiente a esa referencia.

### **8.3 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN EÓLICA**

#### **8.3.1 INTRODUCCIÓN**

La energía eólica es una forma indirecta de energía solar, ya que son las diferencias de temperaturas y de presiones en la atmósfera, provocadas por la absorción de la radiación solar, las que ponen al viento en movimiento. La forma típica de aprovechar esta energía es a través de la utilización de aerogeneradores o turbinas de viento. El antecedente directo de los actuales aerogeneradores son los viejos molinos de viento, que incluso hoy en día se siguen utilizando para extraer agua o moler grano.

Los aerogeneradores pueden trabajar solos o en parques eólicos, sobre tierra formando las granjas eólicas, sobre la costa del mar o incluso pueden ser instalados sobre las aguas a cierta distancia de la costa en lo que se llama granja eólica marina.

Para obtener electricidad, el movimiento de las aspas o paletas acciona un generador eléctrico (un alternador o una dinamo) que convierte la energía mecánica de la rotación en energía eléctrica. El eje giratorio está unido a distintos tipos de maquinaria, por ejemplo maquinaria para moler grano, bombear agua o producir electricidad. La electricidad puede almacenarse en baterías o ser vertida directamente a la red. El funcionamiento es bastante simple, y lo que se va complejizando es la construcción de aerogeneradores que sean cada vez más eficientes.

Si bien la energía eólica está avanzando a pasos agigantados en España, el potencial que podría obtenerse de la energía minieólica no se ha desarrollado lo suficiente aún en nuestro país.



**Imagen 8.3.1: Energía minieólica. Fuente: Fuentes de generación alternativas.**

España posee una buena industria emergente y recursos eólicos muy razonables. El sector de la energía eólica se torna cada vez más competitivo y, por ello, la eólica está teniendo éxito con su tecnología de muy buena potencia. Sin embargo, el objetivo de esta energía parece apuntar a la producción de la energía eléctrica y de su distribución a las poblaciones más alejadas.

España, de momento, está generando unos 7 MW y, por ello, se ha solicitado al gobierno la posibilidad de impulsar un mayor desarrollo en el Plan de Energías Renovables 2011-2020 ya que, afortunadamente, nuestro país dispone de tecnología propia.

La dimensión en los sistemas aislados depende de la energía que se demande en la aplicación específica, así como el lugar de instalación, que viene dado por el propio consumidor y las posibles localizaciones suelen estar muy limitadas, por lo que el potencial eólico será el que exista en la zona.

### **8.3.2 FUNCIONAMIENTO DE UN AEROGENERADOR**

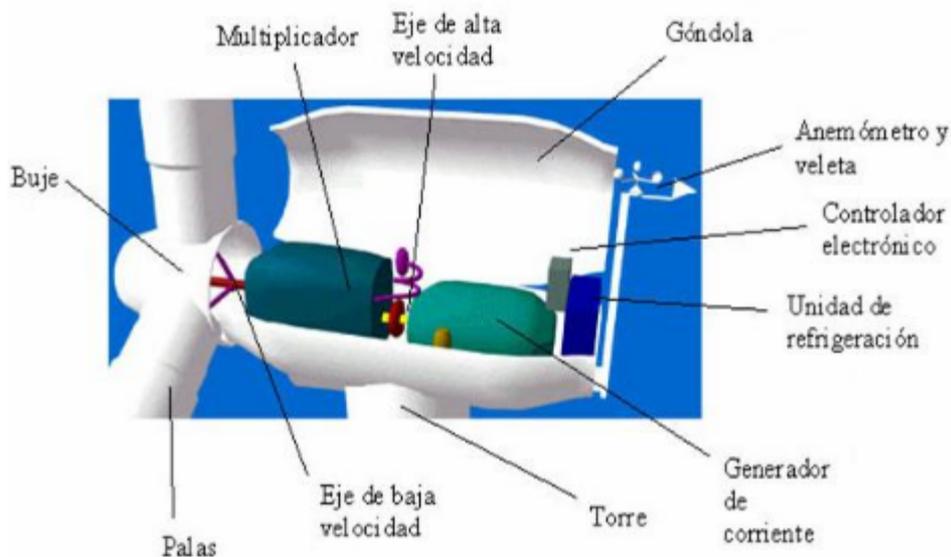
El funcionamiento de un aerogenerador es muy sencillo. El viento mueve las palas del aerogenerador y a través de un sistema mecánico de engranajes que hacen girar el rotor. La energía mecánica rotacional del rotor es transformada en energía eléctrica por el generador.

Las partes principales de un aerogenerador tal y como se muestran en la siguiente figura son:

- La góndola- carcasa que protege las partes fundamentales del aerogenerador
- Las palas del rotor que transmiten la potencia del viento hacía el buje.
- El buje que es la parte que une las palas del rotor con el eje de baja velocidad.
- Eje de baja velocidad que conecta el buje del rotor al multiplicador. Su velocidad de giro es muy lenta.

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

- El multiplicador, permite que el eje de alta velocidad gire mucho más rápido que el eje de baja velocidad.
- Eje de alta velocidad, gira a gran velocidad y permite el funcionamiento del generador eléctrico.
- El generador eléctrico que es una de las partes mas importantes de un aerogenerador. Transforma la energía mecánica en energía eléctrica
- El controlador electrónico, es un ordenador que monitoriza las condiciones del viento y controla el mecanismo de orientación.
- La unidad de refrigeración, mecanismo que sirve para enfriar el generador eléctrico.
- La torre que es la parte del aerogenerador que soporta la góndola y el rotor.
- El mecanismo de orientación, está activado por el controlador electrónico, la orientación del aerogenerador cambia según las condiciones del viento.



**Imagen 8.3.2: Componentes de un aerogenerador. Fuente: windpower.**

Los **componentes de un aerogenerador** son:

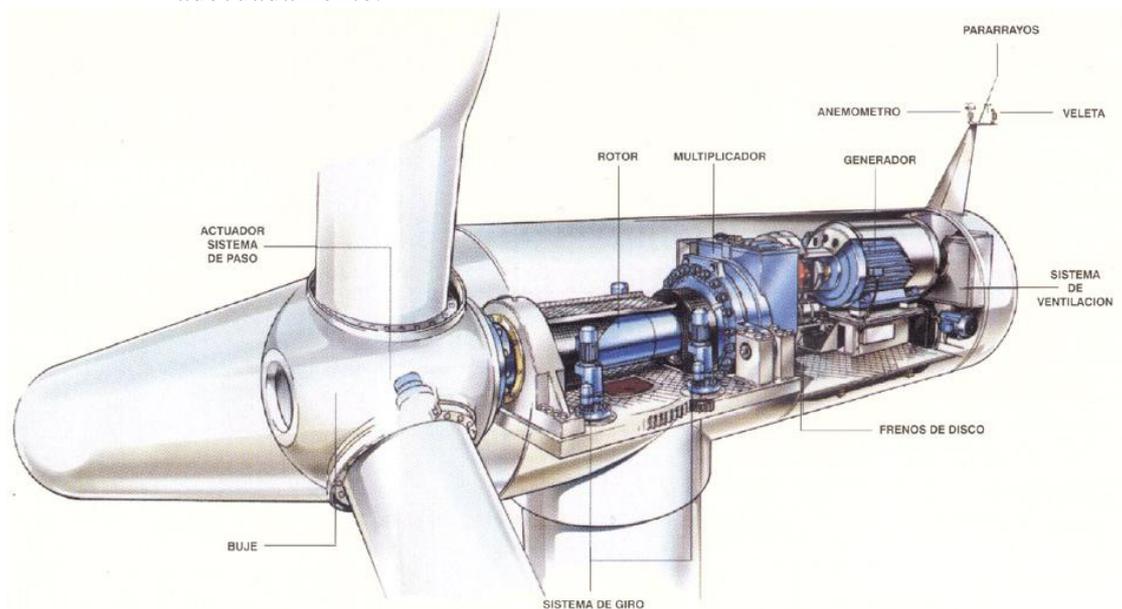
- **Torre.** Soporta la góndola que es donde se encuentran la mayoría de componentes principales del aerogenerador. La torre permite que las palas estén a la altura mas apropiada para obtener el máximo rendimiento posible.
- **Las palas del rotor.** Componente del aerogenerador que transmite la energía cinética del viento al buje. En su mayoría los aerogeneradores tienen tres palas.
- **Buje del rotor.** Une las palas al eje del aerogenerador.

### Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

- **Eje de baja velocidad.** En los grandes aerogeneradores el rotor gira muy lento entre 20 y 50 rpm.
- **Caja de engranajes o multiplicador.** Componente del aerogenerador que transforma la baja velocidad del eje en alta velocidad de rotación.
- **Generador.** Uno de los componentes principales. Gracias a la alta velocidad de rotación del eje se genera la electricidad.

Además de estos componentes básicos se requieren otros componentes englobados dentro del sistema de control, para el funcionamiento eficiente y correcto del aerogenerador en base a la calidad de servicio de la energía eléctrica. Algunos de los componentes que controlan el correcto funcionamiento del aerogenerador son:

- **Controlador electrónico:** que permite el control de la correcta orientación de las palas del rotor, también en caso de cualquier contingencia como sobrecalentamiento del aerogenerador lo para.
- **Unidad de refrigeración:** Encargada de mantener al generador a una temperatura prudente.
- **Anemómetro y la Veleta:** Cuya función están dedicadas a calcular la velocidad del viento y la dirección de este respectivamente. Están conectadas al controlador electrónico quien procesa estas señales adecuadamente.



**Imagen8.3.3: Partes del aerogenerador. Fuente: Renovables-energía.**

### 8.3.3 CONTROL DE POTENCIA EN LOS AEROGENERADORES

Los aerogeneradores están diseñados para producir energía eléctrica de la forma más barata posible. Así pues, están generalmente diseñados para rendir al máximo a velocidades alrededor de 15 m/s. Es mejor no diseñar aerogeneradores que maximicen su rendimiento a vientos más fuertes, ya que los vientos tan fuertes no son comunes.

En el caso de vientos más fuertes es necesario gastar parte del exceso de la energía del viento para evitar daños en el aerogenerador.

En consecuencia, todos los aerogeneradores están diseñados con algún tipo de control de potencia. Hay dos formas de hacerlo con seguridad en los modernos aerogeneradores.

### **8.3.3.1 Aerogeneradores de regulación por cambio del ángulo de paso ("pitch controlled")**

En un aerogenerador de regulación por cambio del ángulo de paso, el controlador electrónico de la turbina comprueba varias veces por segundo la potencia generada. Cuando ésta alcanza un valor demasiado alto, el controlador envía una orden al mecanismo de cambio del ángulo de paso, que inmediatamente hace girar las palas del rotor ligeramente fuera del viento. Y a la inversa, las palas son vueltas hacia el viento cuando éste disminuye de nuevo.

Así pues, las palas del rotor deben ser capaces de girar alrededor de su eje longitudinal (variar el ángulo de paso). El mecanismo de cambio del ángulo de paso suele funcionar de forma hidráulica.

El diseño de aerogeneradores controlados por cambio del ángulo de paso requiere una ingeniería muy desarrollada, para asegurar que las palas giren exactamente el ángulo deseado. En este tipo de aerogeneradores, el ordenador generalmente girará las palas unos pocos grados cada vez que el viento cambie, para mantener un ángulo óptimo que proporcione el máximo rendimiento a todas las velocidades de viento.

### **8.3.3.2 Aerogeneradores de regulación por pérdida aerodinámica ("stall controlled")**

Los aerogeneradores de regulación (pasiva) por pérdida aerodinámica tienen las palas del rotor unidas al buje en un ángulo fijo.

Sin embargo, el perfil de la pala ha sido aerodinámicamente diseñado para asegurar que, en el momento en que la velocidad del viento sea demasiado alta, se creará turbulencia en la parte de la pala que no da al viento, tal y como se muestra en la siguiente figura. Esta pérdida de sustentación evita que la fuerza ascensional de la pala actúe sobre el rotor.



Conforme aumenta la velocidad real del viento en la zona, el ángulo de ataque de la pala del rotor también aumentará, hasta llegar al punto de empezar a perder sustentación.

**Imagen 8.3.4: Turbulencia en aerogeneradores de regulación por pérdida aerodinámica.****Fuente: Windpower.**

Si mira con atención la pala del rotor de un aerogenerador regulado por pérdida aerodinámica observará que la pala está ligeramente torsionada a lo largo de su eje longitudinal. Esto es así en parte para asegurar que la pala pierde la sustentación de forma gradual, en lugar de hacerlo bruscamente, cuando la velocidad del viento alcanza su valor crítico.

La principal ventaja de la regulación por pérdida aerodinámica es que se evitan las partes móviles del rotor y un complejo sistema de control. Por otro lado, la regulación por pérdida aerodinámica representa un problema de diseño aerodinámico muy complejo, y comporta retos en el diseño de la dinámica estructural de toda la turbina, para evitar las vibraciones provocadas por la pérdida de sustentación. Alrededor de las dos terceras partes de los aerogeneradores que actualmente se están instalando en todo el mundo son máquinas de regulación por pérdida aerodinámica.

### 8.3.3.3 Aerogeneradores de regulación activa por pérdida aerodinámica

Un número creciente de grandes aerogeneradores (a partir de 1 MW) están siendo desarrollados con un mecanismo de regulación activa por pérdida aerodinámica.

Técnicamente, las máquinas de regulación activa por pérdida aerodinámica se parecen a las de regulación por cambio del ángulo de paso, en el sentido de que ambos tienen palas que pueden girar. Para tener un momento de torsión (fuerza de giro) razonablemente alto a bajas velocidades del viento, este tipo de máquinas serán normalmente programadas para girar sus palas como las de regulación por cambio del ángulo de paso a bajas velocidades del viento (a menudo sólo utilizan unos pocos pasos fijos, dependiendo de la velocidad del viento).

Sin embargo, cuando la máquina alcanza su potencia nominal, observará que este tipo de máquinas presentan una gran diferencia respecto a las máquinas reguladas por cambio del ángulo de paso: si el generador va a sobrecargarse, la máquina girará las palas en la dirección contraria a la que lo haría una máquina de regulación por cambio del ángulo de paso. En otras palabras, aumentará el ángulo de paso de las palas para llevarlas hasta una posición de mayor pérdida de sustentación, y poder así consumir el exceso de energía del viento.

Una de las ventajas de la regulación activa por pérdida aerodinámica es que la producción de potencia puede ser controlada de forma más exacta que con la regulación pasiva, con el fin de evitar que al principio de una ráfaga de viento la potencia nominal sea sobrepasada. Otra de las ventajas es que la máquina puede funcionar casi exactamente a la potencia nominal a todas las velocidades de viento. Un aerogenerador normal de regulación pasiva por pérdida aerodinámica tendrá generalmente una caída en la producción de potencia eléctrica a altas velocidades de viento, dado que las palas alcanzan una mayor pérdida de sustentación.

El mecanismo de cambio del ángulo de paso suele operarse mediante sistemas hidráulicos o motores eléctricos paso a paso. La elección de la regulación por cambio de paso es sobretodo una cuestión económica, de considerar si vale o no la pena pagar por

---

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

la mayor complejidad de la máquina que supone el añadir el mecanismo de cambio de paso de la pala.

#### **8.3.3.4 Otros métodos de control de potencia**

Algunos aerogeneradores modernos usan alerones (flaps) para controlar la potencia del rotor, al igual que los aviones usan aletas para modificar la geometría de las alas y obtener así una sustentación adicional en el momento del despegue.

Otra posibilidad teórica es que el rotor oscile lateralmente fuera del viento (alrededor de un eje vertical) para disminuir la potencia. En la práctica, esta técnica de regulación por desalineación del rotor sólo se usa en aerogeneradores muy pequeños (de menos de 1 kW), pues somete al rotor a fuerzas que varían cíclicamente y que a la larga pueden dañar toda la estructura.

### **8.3.4 TIPOS DE AEROGENERADORES**

Los aerogeneradores se pueden clasificar atendiendo a diferentes características, como la posición del eje, la orientación respecto del viento, por el número de palas, etc. A continuación se detalla dicha clasificación:

#### **8.3.4.1 Por la posición del eje**

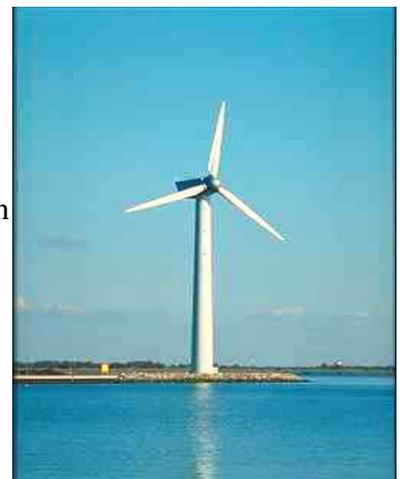
Existen dos tipos de aerogeneradores según la disposición de su eje de rotación. Los aerogeneradores de eje horizontal y los de eje vertical.

##### **➤ Aerogenerador de eje horizontal**

La principal característica de un aerogenerador de eje horizontal es que el eje de rotación se encuentra paralelo al suelo.

Los aerogeneradores horizontales tienen su eje de rotación principal en la parte superior de una torre y necesitan un mecanismo de orientación para hacer frente a los cambios bruscos en la dirección del viento.

En la actualidad la mayor parte de aerogeneradores comerciales son de eje horizontal debido al mayor rendimiento que producen con respecto a los aerogeneradores de eje vertical.



## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Por motivos de eficiencia y mayor rendimiento el tipo de aerogenerador más habitual en la actualidad es el aerogenerador de eje horizontal.

### ➤ Aerogenerador de eje vertical

**Imagen 8.3.5: Aerogenerador de eje horizontal.**  
**Fuente: Thales.**

La principal característica de un aerogenerador de eje vertical es que su eje de rotación está en posición perpendicular con respecto al suelo. Son aerogeneradores de fácil instalación que no necesitan de una gran torre para funcionar.

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección del viento. No es necesario que dispongan de ningún mecanismo de orientación ante cambios de la dirección del viento. Otra ventaja es que puede situar el generador, el multiplicador, etc., en el suelo. Son ideales en zonas de viento débil. La máxima desventaja del aerogenerador de eje vertical es su bajo rendimiento, debido a la resistencia que las palas ofrecen al viento y que las velocidades del viento cerca del nivel del suelo son muy bajas, por lo que a pesar de que puede ahorrarse la torre, sus velocidades de viento serán muy bajas en la parte más inferior de su rotor. Además, la máquina no es de arranque automático y puede necesitar cables tensores que la sujeten.



**Imagen 8.3.6: Aerogenerador Darrieus de eje vertical.**  
**Fuente: Renovables-energía.**

Los aerogeneradores verticales más habituales son el aerogenerador Darrieus y el aerogenerador Savonius de los cuales ya hemos hablado en otras entradas.

### 8.3.4.2 Por la orientación respecto al viento

➤ **Abarlovento o a proa:** Su principal característica es la de situar el rotor de cara al viento, evitando de esta manera que el cuerpo de la torre se interponga entre el propio rotor y la dirección del viento, a este efecto se le llama abrigo.

El principal inconveniente de los diseños corriente arriba es que el rotor necesita ser bastante inflexible, y estar situado a una cierta distancia de la torre. Además una máquina corriente arriba necesita un mecanismo de orientación para mantener el rotor de cara al viento.

### ➤ A sotavento o a popa

Este tipo de orientación se da en los aerogeneradores de eje vertical. Su principal ventaja es que no necesita mecanismo de orientación de la góndola, si el rotor y la góndola tienen un diseño apropiado hace que la góndola siga al viento pasivamente.

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

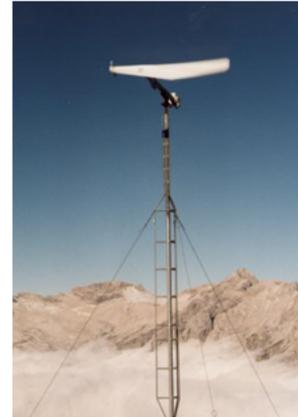
El inconveniente principal es la fluctuación de la potencia eólica, debida al paso del rotor a través del abrigo de la torre. Esto puede crear más cargas de fatiga en la turbina que con un diseño corriente arriba, presentan una escasa eficacia.

### 8.3.4.3 Por el número de palas

#### ➤ Una pala

Al tener sólo una pala estos aerogeneradores precisan un contrapeso en el otro extremo para equilibrar. La velocidad de giro es muy elevada. Su principal ventaja es la reducción de costes. Sin embargo, los aerogeneradores monopala no están muy extendidos comercialmente, pues un gran inconveniente es que introducen en el eje unos esfuerzos muy variables, lo que acorta la vida de la instalación, además de los problemas de ruido y de intrusión visual.

Una aplicación de este tipo de máquinas puede verse en la foto situada al lado.



**Imagen 8.3.7:**  
**Aerogenerador**  
**monopala. Fuente:**  
**windpower.**

#### ➤ Dos palas



**Imagen 8.3.8:**  
**Aerogenerador bipala.**  
**Fuente: Windpower.**

Los diseños bipala de aerogeneradores tienen la ventaja de ahorrar el coste de una pala y, por supuesto, su peso. Sin embargo, suelen tener dificultades para penetrar en el mercado, en parte porque necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida. Esto supone una desventaja tanto en lo que respecta al ruido como al aspecto visual.

Una aplicación de este diseño se presenta en la figura.

➤ **Tres palas**

La mayoría de los aerogeneradores modernos tienen este diseño, con el rotor mantenido en la posición corriente arriba, usando motores eléctricos en sus mecanismos de orientación. Este diseño tiende a imponerse como estándar al resto de los conceptos evaluados. La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño.

➤ **Multipalas**

Con un número superior de palas o multipalas. Se trata del llamado modelo americano, debido a que una de sus primeras aplicaciones fue la extracción de agua en pozos de las grandes llanuras de aquel continente.



**Imagen 8.3.9: Aerogenerador multipala. Fuente: windpower.**

### 8.3.5 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS AISLADOS

A partir del nivel de energía requerida junto con el análisis del potencial eólico en la zona de instalación se determinará la potencia del sistema. Al ser energías renovables de naturaleza aleatoria, darán lugar a intermitencia en la potencia generada, cuestión que en sistemas conectados a red no supone un gran problema, pero en sistemas aislados, en los cuales hay que garantizar el abastecimiento de energía al consumo en todo momento, lo que obliga a tener sistemas de control o de almacenamiento de energía.

Podemos clasificar los distintos tipos de sistemas aislados con energía eólica según la potencia de diseño. Esta potencia guardará relación con la aplicación y por tanto, con el nivel de consumo energético.

➤ **Micropotencia**

En este grupo se incluyen los sistemas de muy bajo consumo, con aerogeneradores de hasta 1 KW. Las aplicaciones típicas son iluminación, señalización terrestre y marina, repetidores, pequeñas viviendas aisladas, refugios, refrigeración, etc. Se suelen instalar en combinación con otras fuentes renovables, normalmente energía solar fotovoltaica. Utilizan baterías electroquímicas como sistema de almacenamiento.

➤ **Baja potencia**

Sistemas de potencia entre 1KW y 100KW. En este grupo se incluyen los sistemas para aplicaciones de mayor consumo como electrificación rural, pequeñas granjas o fábricas, telecomunicaciones, etc. Se suelen instalar en combinación con otras tecnologías para aumentar su fiabilidad como sistemas híbridos eólico-fotovoltaico, eólico-fotovoltaico-diésel o eólico-fotovoltaico-hidráulico. Como sistema de almacenamiento se dispone de baterías y también de aire comprimido, volantes de inercia o almacenamiento hidráulico.

#### ➤ **Media potencia**

Sistemas con potencia nominal de entre 100 y 500 KW. Normalmente aplicaciones híbridas eólico-diésel para suministro de energía a pequeños pueblos remotos, islas o en aplicaciones autónomas con capacidad de regulación de la carga como son bombeo de agua, petróleo o desalación de agua de mar, entre otras.

#### ➤ **Gran potencia**

Sistemas de entre 500 KW y varios MW. Estos sistemas suelen ser eólico-diésel o eólico-gas de gran potencia para suministro de energía en islas. Los aerogeneradores utilizados son los mismos que en grandes conexiones a red, con la peculiaridad de que en estos sistemas el grado de penetración de energía eólica en el sistema está controlado para evitar problemas de estabilidad en la red.

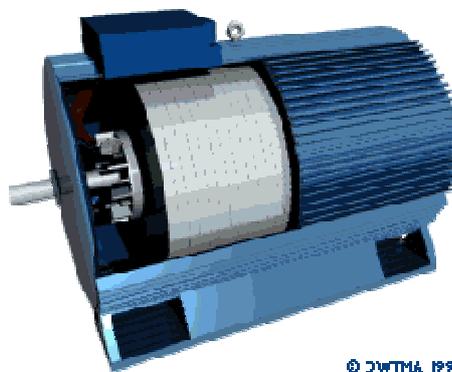


Imagen 8.3.10: Instalaciones eólicas aisladas. Fuente: [www.ecovive.com](http://www.ecovive.com).

### 8.3.5.1 Características Técnicas

#### 8.3.5.1.1 Generador

El aerogenerador convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Los aerogeneradores son algo inusuales, si se les compara con los



---

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

otros equipos generadores que suelen encontrarse conectados a la red eléctrica. Una de las razones es que el generador debe trabajar con una fuente de potencia (el rotor de la turbina eólica) que suministra una potencia mecánica muy variable (momento torsor).

En grandes aerogeneradores (alrededor de 100-150 kW) el voltaje (tensión) generado por la turbina suele ser de 690 V de corriente alterna trifásica (AC). Posteriormente, la corriente es enviada a través de un transformador anexo a la turbina (o dentro de la torre), para aumentar su voltaje entre 10.000 y 30.000 V, dependiendo del estándar de la red eléctrica local.

Los grandes fabricantes proporcionan modelos de aerogeneradores tanto de 50 Hz (para las redes eléctricas de la mayor parte del mundo) y de 60 Hz (para la red eléctrica de América).

**Imagen 8.3.11: Generador de turbina eólica.**  
**Fuente: windpower.**

La mayoría de los diseños de pequeña potencia usan conexión directa entre el rotor del aerogenerador y el generador eléctrico, sin existencia de caja multiplicadora. En los aerogeneradores de micro y baja potencia (<12 KW), el tipo de aerogenerador utilizado en casi la totalidad de los diseños es un alternador de imanes permanentes (PMG) de 4, 6, 8 o 10 polos. Aunque empieza a haber más con generador de inducción, que explicaremos más adelante, debido a que los imanes permanentes tienden a desmagnetizarse al trabajar en los potentes campos magnéticos en el interior de un generador. Asimismo existen algunos diseños con generadores de reluctancia variable (AOC).

➤ Sistema de refrigeración

Los generadores necesitan refrigeración durante su funcionamiento. En la mayoría de turbinas la refrigeración se lleva a cabo mediante encapsulamiento del generador en un conducto, utilizando un gran ventilador para la refrigeración por aire, aunque algunos fabricantes usan generadores refrigerados por agua. Los generadores refrigerados por agua pueden ser construidos de forma más compacta, lo que también les proporciona algunas ventajas en cuanto a rendimiento eléctrico se refiere, aunque precisan de un radiador en la góndola para eliminar el calor del sistema de refrigeración por líquido.

➤ Arranque y parada del generador

Si conecta (o desconecta) un gran generador de turbina eólica a la red simplemente accionando un interruptor corriente, muy probablemente dañará el generador, el multiplicador y la corriente de red del vecindario.

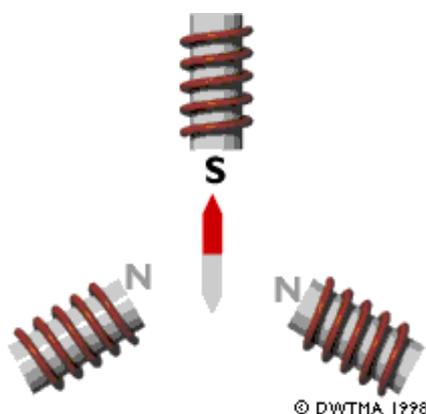
➤ Opciones de diseño en generadores y conexión a red

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Las turbinas eléctricas pueden ser diseñadas tanto con generadores síncronos como asíncronos, y con varias formas de conexión directa o conexión indirecta a red del generador. La conexión directa a red significa que el generador está conectado directamente a la red de corriente alterna (generalmente trifásica). La conexión indirecta a red significa que la corriente que viene de la turbina pasa a través de una serie de dispositivos eléctricos que ajustan la corriente para igualarla a la de la red. En generadores asíncronos esto ocurre de forma automática.

### ➤ Generador síncrono

#### - Principios de un generador trifásico (o motor):



**Imagen 8.3.12: Imanes de un generador síncrono.**  
Fuente: windpower.

Todos los generadores trifásicos utilizan un campo magnético giratorio. En el dibujo de la izquierda hemos instalado tres electroimanes alrededor de un círculo. Cada uno de los tres imanes está conectado a su propia fase en la red eléctrica trifásica. Como puede ver, cada electroimán produce alternativamente un polo norte y un polo sur hacia el centro. Las letras están en negro cuando el magnetismo es fuerte, y en gris claro cuando es débil.

La fluctuación en el magnetismo corresponde exactamente a la fluctuación en la tensión de cada fase. Cuando una de las fases alcanza su máximo, la corriente en las otras dos está circulando en sentido opuesto y a la mitad de tensión. Dado que la

duración de la corriente en cada imán es un tercio de la de un ciclo aislado, el campo magnético dará una vuelta completa por ciclo.

#### - Turbinas eólicas con generador síncrono

Las turbinas eólicas que utilizan generadores síncronos suelen usar imanes en el rotor alimentados por corriente continua de la red eléctrica. Dado que la red suministra corriente alterna, hay que convertir la corriente alterna en corriente continua antes de enviarla a las bobinas arrolladas a los electroimanes del rotor.

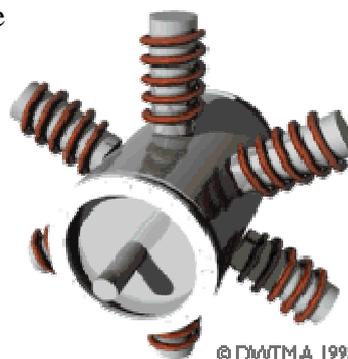
Los electroimanes del rotor están conectados a la corriente mediante escobillas y anillos rozantes en el árbol (eje) del generador.

### ➤ Generador asíncrono

#### - Principios de un generador asíncrono o de inducción

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

La mayoría de turbinas eólicas del mundo utilizan un generador asíncrono trifásico (de jaula bobinada), también llamado generador de inducción, para generar corriente alterna. Fuera de la industria eólica y de las pequeñas unidades hidroeléctricas, este tipo de generadores no está muy extendido; aunque de todas formas, el mundo tiene una gran experiencia en tratar con ellos: lo curioso de este tipo de generador es que fue inicialmente diseñado como motor eléctrico. De hecho, una tercera parte del consumo mundial de electricidad es utilizado para hacer funcionar motores de inducción que muevan maquinaria en fábricas, bombas, ventiladores, compresores, elevadores, y otras aplicaciones donde se convertir necesita energía eléctrica en energía mecánica.



**Imagen 8.3.13: Principio básico de un generador asíncrono. Fuente: windpower.**

Otra de las razones para la elección de este tipo de generador es que es muy fiable, y comparativamente no suele resultar caro. Este generador también tiene propiedades mecánicas que lo hace especialmente útil en turbinas eólicas (el deslizamiento del generador, y una cierta capacidad de sobrecarga).



**Imagen 8.3.14: Rotor de jaula de ardilla o bobinado. Fuente: windpower.**

### - El rotor de jaula

Un componente clave del generador asíncrono es el rotor de jaula. (Solía llamarse rotor de jaula de ardilla, pero después resultó ser políticamente incorrecto ejercitar a sus roedores domésticos en una rueda de andar, y ahora sólo disponemos de este nombre menos encantador). Este es el rotor que hace que el generador asíncrono sea diferente del generador síncrono. El rotor consta de un cierto número de barras de cobre o de aluminio, conectadas eléctricamente por anillos de aluminio finales.

En el dibujo del principio de la página puede verse el rotor provisto de un núcleo de "hierro", utilizando un apilamiento de finas láminas de acero aisladas, con agujeros para las barras conductoras de aluminio. El rotor se sitúa en el centro del estator, que en este caso se trata de nuevo de un estator tetrapolar, conectado directamente a las tres fases de la red eléctrica.

### - Deslizamiento del generador

La velocidad de un generador asíncrono variará con la fuerza de giro (momento, o par torsor) que se le aplique. En la práctica, la diferencia entre la velocidad de rotación a potencia máxima y en vacío es muy pequeña, alrededor de un 1 por ciento. Esta diferencia en porcentaje de la velocidad síncrona es el llamado deslizamiento del generador.

Así pues, un generador tetrapolar girará en vacío a 1500 r.p.m. si se conecta a una red con una corriente de 50 Hz. Si el generador está funcionando a la máxima potencia, girará a 1515 r.p.m. El hecho de que el generador aumente o disminuya ligeramente su velocidad si el par torsor varía es una propiedad mecánica muy útil. Esto significa que habrá menor rotura y desgaste en la caja multiplicadora (menor par torsor máximo).

Esta es una de las razones más importantes para la utilización de generadores asíncronos, en lugar de generadores síncronos, en aerogeneradores directamente conectados a la red eléctrica.

#### **8.3.5.1.2 Sistema de frenado**

Es necesario tener un sistema de frenado capaz de reducir la velocidad del rotor o detenerla, tal y como se expresa en la norma UNE-EN 61400-2 acerca de la protección de los aerogeneradores, incluyendo la velocidad máxima del viento y el resto de las condiciones en las que se puede ejecutar el procedimiento.

En los aerogeneradores que solo llevan un sistema de frenado, la solución mayoritaria se basa en uso de cortocircuito del generador eléctrico, que depende fundamentalmente de la solución utilizada para el primer sistema de frenado.

#### **8.3.5.1.3 Sistema de orientación**

El sistema de orientación es por veleta de cola, salvo en algún modelo a sotavento. El timón veleta de orientación utilizado es indistintamente recto o elevado.

Existe una gran variedad de soluciones utilizadas para regular la potencia y la velocidad de giro en los pequeños aerogeneradores. Entre ellas se incluyen cambio de paso eléctrico y de paso mecánico, desorientación y cabeceo. Los sistemas más comúnmente utilizados son por cabeceo del aerogenerador debido al empuje y por cambio de paso centrífugo y eléctrico. El punto clave en los pequeños aerogeneradores es determinar si, mediante sistemas pasivos, es posible conseguir una regulación adecuada o si hay que acudir a soluciones con mecanismos activos de paso variable similares a los empleados en los aerogeneradores de mayor tamaño.

#### **8.3.5.1.4 Torre soporte**

Atendiendo al tipo de torre encontramos una amplia dispersión, ya que se usan torres atirantadas o autoportantes, tubulares y de celosía. Es práctica habitual que el fabricante ofrezca diferentes tipos de torres, de acuerdo con las características del emplazamiento. Lo mismo ocurre con la altura de la torre. Así, encontramos casos en los que un mismo modelo se ofrece con torres de 6, 8, 12, 18, 30 y 40 metros

- Optimización de aerogeneradores

---

 Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

 - Optimización y economía

El molino de viento para bombear agua de la fotografía bajo estas líneas tiene un aspecto muy diferente al de los grandes aerogeneradores modernos. Sin embargo, están diseñados de forma bastante inteligente para el fin al que están destinados: el rotor muy sólido y con muchas palas significa que girará incluso a velocidades de viento muy bajas, por lo que bombeará una cantidad de agua razonable a lo largo de todo el año.



**Imagen 8.3.15: Instalación eólica aislada de bombeo de agua.**

**Fuente: windpower.**

Claramente, serán muy ineficientes a altas velocidades del viento, y tendrán que pararse y orientarse fuera del viento para evitar daños en la turbina, debido a la solidez del rotor. Aunque eso realmente no importa: no queremos vaciar los pozos e inundar los tanques de agua durante un vendaval.

El diseño de un aerogenerador no está sólo determinado por la tecnología, sino por una combinación de tecnología y economía: los fabricantes de aerogeneradores quieren optimizar sus máquinas para producir la electricidad al menor coste posible por kilovatio-hora (kWh) de energía.

Aunque los fabricantes no se preocupan demasiado de si están utilizando los recursos eólicos de forma eficiente: a fin de cuentas el combustible es gratis. No es necesariamente una buena idea maximizar la producción anual de energía, si esto implica que se tiene que construir un aerogenerador muy caro. En los próximos puntos veremos algunas de las decisiones que los fabricantes deben tomar:

 - Relativo al generador y al tamaño del rotor

Un generador pequeño (es decir, un generador con una baja potencia de salida nominal en kW) requiere menos fuerza para hacerlo girar que uno grande. Si se acopla un gran rotor a un generador pequeño, se estará produciendo electricidad durante una gran cantidad de horas al año, pero sólo se capturará una pequeña parte del contenido energético del viento a altas velocidades de viento.

Por otro lado, un generador grande será muy eficiente a altas velocidades de viento, pero incapaz de girar a bajas velocidades.

Así pues, los fabricantes mirarán la distribución de velocidades de viento y el contenido energético del viento a diferentes velocidades para determinar cuál será la combinación ideal de tamaño de rotor y de tamaño de generador en los diferentes emplazamientos de aerogeneradores.

Adaptar una turbina con dos (o más) generadores puede ser ventajoso en algunas ocasiones, aunque si vale o no la pena depende realmente del precio de la electricidad.

 - Alturas de la torre

En general las torres más altas aumentan la producción de energía de un aerogenerador. Una vez más, discernir si vale o no la pena el coste adicional que supone una torre más alta depende tanto de la clase de rugosidad como del coste de la electricidad.

### 8.3.5.2 Parámetros característicos

#### 8.3.5.2.1 Potencia nominal

La potencia nominal del aerogenerador, de acuerdo con los datos de catálogo suministrado por los fabricantes, depende del diámetro de la aeroturbina. Especialmente en la parte alta del rango aparece una alta dispersión en los valores nominales. Así, para aerogeneradores de 5m de diámetro se encuentran en el mercado máquinas entre 1500 W y 5000 W, lo que representa una enorme dispersión. Las razones se basan en las diferentes velocidades nominales del viento elegidas por los fabricantes en el mercado, que ofrecen productos no optimizados (pequeñas turbinas con grandes aerogeneradores o viceversa).

En la siguiente tabla se muestran dos ejemplos en los que se analizan los parámetros técnicos de dos modelos diferentes de aerogeneradores del mismo fabricante:

AEROGENERADOR SORNAY DE 1500 o 3000 W				
Potencia	Voltaje	Diámetro	Velocidad de arranque	Velocidad potencia nominal
1500 W	24 V	2,86 m	3,5 m/s	12 m/s
3000 W	24 V	4 m	3,5 m/s	12,5 m/s

**Tabla 8.3.1: Parámetros característicos de dos modelos de aerogeneradores.**  
Fuente: SORNAY.

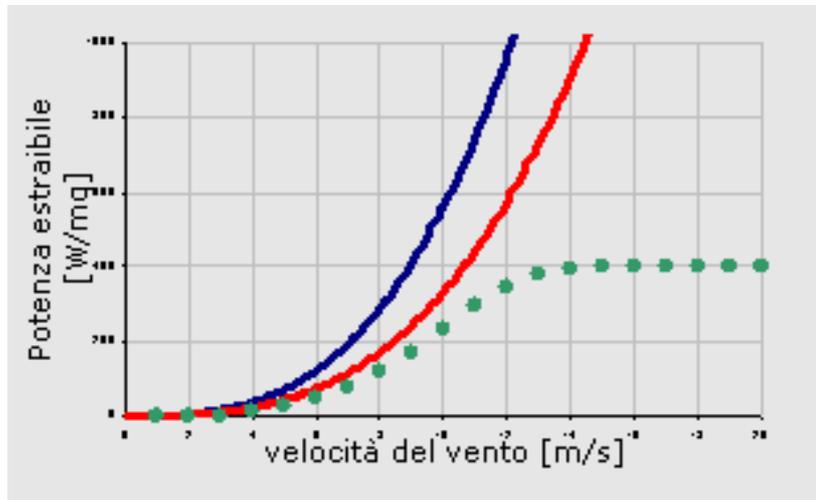
Si se analizan las velocidades nominales elegidas por los fabricantes con arreglo a la potencia nominal, se detecta que para potencias nominales menores hay una tendencia a elegir velocidades nominales más bajas. La explicación deriva de que, en las aplicaciones para sistemas aislados, las velocidades por lo general son más bajas que en los parques eólicos. Por ello los pequeños aerogeneradores se diseñan para vientos más bajos que los aerogeneradores que se emplearán para los parques eólicos.

Existe una zona, comprendida entre los 3 m y los 10 m de diámetro (correspondiente a los aerogeneradores entre 1,5 KW y 15 KW), donde en el mercado existe un conjunto de aerogeneradores con clara inmadurez tecnológica. Es consecuencia del pequeño y poco definido mercado existente para este sector de potencia.

En el siguiente gráfico se muestran algunas funciones de la potencia por unidad de área cubierta por el rotor: en azul la máxima inalcanzable, en rojo la máxima teóricamente predecible, y la línea punteada representa un ejemplo real obtenido

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

simulando un sistema de regulación de la potencia muy frecuente en los aerogeneradores (de tipo de paso).



Gráfica 8.3.1: Potencia extraíble por metro cuadrado de área cubierta por el rotor. Fuente: cecu.

## **8.4 COMPONENTES DE LA INSTALACIÓN DE BOMBEO**

### **8.4.1 INTRODUCCIÓN**

El bombeo de agua es una aplicación bastante extendida de la energía fotovoltaica. Actualmente hay miles de sistemas de bombeo con energía fotovoltaica en operación en granjas ganaderas y agrícolas alrededor del mundo. Son sistemas fiables, requieren de poco mantenimiento y no usan combustible. Son económicamente competitivos para el productor rural pudiendo satisfacer un amplio rango de necesidades. Además son modulares, con lo cual pueden optimizarse para las características específicas de cada proyecto.

Como inconveniente cabe citar su alto costo inicial en comparación con sistemas de bombeo a base de motores de combustión. Sin embargo, tienen bajo costo de operación y mantenimiento y una larga vida útil. Debe considerarse cuidadosamente la opción solar antes de tomar una decisión.

Los sistemas fotovoltaicos son competitivos, con respecto a los sistemas convencionales, cuando:

- Se requieren cantidades pequeñas de energía
- En lugares remotos o de difícil acceso
- Se prefiere alta fiabilidad y bajo mantenimiento
- Se dispone de recurso solar suficiente
- Se prefiere bajo impacto ambiental

Un sistema solar de bombeo es similar al los sistemas convencionales excepto por la fuente de potencia. Su operación es muy sencilla. Los principales componentes que lo constituyen son:

- Generador de potencia (instalación solar y/o eólica)
- Motor
- Bomba
- Depósito de almacenamiento

Las necesidades de agua requieren del uso de un tanque de almacenamiento, ya que esto es mucho más económico que almacenar energía en baterías. Después de algunos años de uso, las baterías, tal y como se ha explicado anteriormente, necesitan reemplazarse, mientras que la vida útil de un depósito bien construido es de varias décadas.

Se pueden emplear motores de corriente alterna o de corriente continua, y las bombas pueden ser centrífugas (superficiales o sumergibles) o volumétricas (de desplazamiento positivo).

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Las bombas estarán protegidas frente a una posible falta de agua, ya sea mediante un sistema de detección de la velocidad de giro de la bomba, un detector de nivel u otro dispositivo dedicado a tal función. El motor por lo general va acoplado a la bomba.

Las pérdidas por fricción en las tuberías y en otros accesorios del sistema hidráulico serán inferiores al 10 % de la energía hidráulica útil proporcionada por la motobomba.

El tipo de sistema a emplear en cada caso está fuertemente condicionado por las características de la fuente de agua a la que está destinado, pozos artesanales, sondeos, etc. Debe asegurarse la compatibilidad entre la bomba y el pozo. En particular, el caudal de bombeo no excederá el caudal máximo extraíble del pozo cuando el generador fotovoltaico trabaja en condiciones STC. Es responsabilidad del instalador solicitar al propietario del pozo un estudio de caracterización del mismo.

### 8.4.2 BOMBAS

Existen tres criterios de clasificación para las bombas de extracción, un modelo en particular quedará definido por la combinación de estos tres criterios:

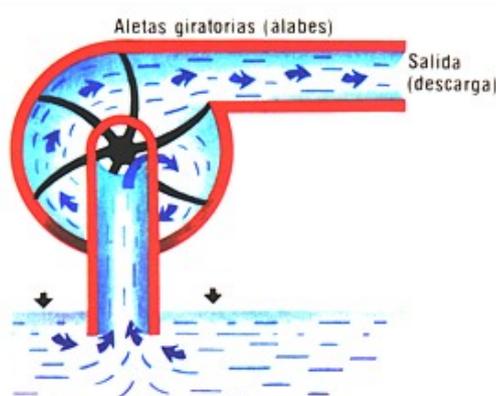
- Función de cómo el agua es movida entre los dos niveles.
  - Bombas centrífugas.
  - Bombas volumétricas.
- Ubicación de la bomba respecto a la fuente de agua.
  - Bombas de superficie.
  - Bombas sumergibles.
- Función del tipo de motor eléctrico requerido.
  - Bombas de corriente continua.
  - Bombas de corriente alterna.

En aplicaciones de baja potencia ( $\leq 200\text{Wp}$ ) se utilizan gran diversidad de bombas, mientras que para aplicaciones de mayor potencia, se utiliza la bomba centrífuga multietapa.

#### 8.4.2.1 Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas, como se observa en la imagen, tienen un impulsor que, por medio de la fuerza centrífuga de su alta velocidad, arrastra agua por su eje y la expulsa radialmente. Estas bombas pueden ser sumergibles o de superficie y son

capaces de bombear agua a 60 metros o más, dependiendo del número y tipo de impulsores. Están optimizadas para un rango estrecho de cargas dinámicas totales y la salida de agua se incrementa con su velocidad rotacional.



**Imagen 8.4.1: Bomba centrífuga.**  
Fuente: [www.sapiens.itgo.com](http://www.sapiens.itgo.com)

#### 8.4.2.1.1 Bombas centrífugas superficiales

Se recomiendan para aplicaciones que requieran grandes volúmenes de agua (20.000 a 40.000 litros por día) a baja carga dinámica total, de 1 a 10 metros.

Se caracterizan por:

- Fácil acceso para reparaciones y mantenimiento
- Están limitadas en términos de capacidad de succión, 7 metros máximo.
- Bajo coste.
- Larga durabilidad
- Toleran cierta cantidad de arena y otros sedimentos.

#### 8.4.2.1.2 Bombas centrífugas sumergibles

Son las más comunes en sistemas de bombeo fotovoltaico. Hay una gran variedad de modelos. Algunas tienen el motor acoplado directamente a los impulsos y se sumergen completamente. Otras tienen el motor en la superficie mientras los impulsores se encuentran completamente sumergidos.

También se les conoce como bombas de paso múltiple debido a que tiene varios impulsores.

Se recomiendan para bombear cantidades moderadas de agua (5.000 a 20.000 litros por día) a carga dinámica total media de 20 a 35 metros.



**Imagen 8.4.2: Bomba centrífuga sumergible.** Fuente: Grundfos.

Se caracterizan por:

- Seguras y fiables.
- Larga durabilidad (más de 10 años en servicio continuo).
- Pueden sufrir sobrecalentamiento al operar en seco.
- Mayor coste inicial.
- Selladas con aceite lubricante incluido para evitar la contaminación del agua.

#### **8.4.2.2 Bombas volumétricas**

También llamadas de desplazamiento positivo o de rotor helicoidal, son adecuadas para el bombeo de bajas cantidades de agua, entre 1.000 y 5.000 litros por día y/o donde la profundidad es grande.

Algunas de estas bombas usan un cilindro y un pistón para mover el agua, otras utilizan diafragmas. Cada ciclo mueve una pequeña cantidad de líquido hacia arriba, el caudal es proporcional al volumen de agua, lo cual se traduce en un funcionamiento eficiente en un amplio intervalo de cargas dinámicas.

Se caracterizan por:

- Alta eficiencia, especialmente con altas cargas dinámicas.
- Baja resistencia a la inclusión de arena.
- Existen modelos sumergibles y no sumergibles.

##### **8.4.2.2.1 Bombas volumétricas de cilindro.**

Las bombas de cilindro o de desplazamiento positivo, que se muestran en la Imagen 8.4.3, han sido muy empleadas en aplicaciones de bombeo mecánico activadas por el viento, tracción animal o humana. Su principio consiste en que cada vez que el pistón baja, el agua del pozo entra a su cavidad y, cuando este sube, empuja el agua a la superficie.

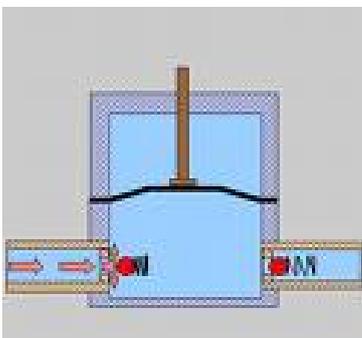
La energía eléctrica requerida para hacerla funcionar se aplica solo durante una parte del ciclo de bombeo. Las bombas de esta categoría deben estar siempre conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia otorgada por los paneles fotovoltaicos.



Imagen 8.4.3: Bomba Volumétrica de cilindro sumergible.  
Fuente: [www.solar.nmsu.edu](http://www.solar.nmsu.edu).

### 8.4.2.3 Bombas de diafragma.

Estas bombas desplazan el agua por medio de diafragmas de un material flexible y resistente, en la figura adjunta, se puede observar el esquema de funcionamiento de una bomba de diafragma. Comúnmente los diafragmas se fabrican de caucho reforzado con materiales sintéticos.



Se caracterizan por:

- Bajo coste, hay que considerar el reemplazo del diafragma cada 2 o 3 años.
- Diafragma resistente dependiendo de la calidad del agua.

Imagen 8.4.43: Diafragma de bomba volumétrica.

Fuente: [www.bombasy accesorios.com](http://www.bombasy accesorios.com)

---

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

Muchas de estas bombas llevan incorporado el motor de corriente continua con escobillas, que también deben cambiarse periódicamente. Los juegos de reemplazo incluyen los diafragmas, escobillas, empaques y sellos. La vida útil de este tipo de bombas es, aproximadamente, de 5 años de uso.

### 8.4.3 MOTOR

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores.

Los motores de corriente alterna y los motores de corriente continua se basan en el mismo principio de funcionamiento, el cuál establece que si un conductor por el que circula una corriente eléctrica se encuentra dentro de la acción de un campo magnético, éste tiende a desplazarse perpendicularmente a las líneas de acción del campo magnético.

El conductor tiende a funcionar como un electroimán debido a la corriente eléctrica que circula por el mismo adquiriendo de esta manera propiedades magnéticas, que provocan, debido a la interacción con los polos ubicados en el estator, el movimiento circular que se observa en el rotor del motor.

Partiendo del hecho de que cuando pasa corriente por un conductor produce un campo magnético, además si lo ponemos dentro de la acción de un campo magnético potente, el producto de la interacción de ambos campos magnéticos hace que el conductor tienda a desplazarse produciendo así la energía mecánica. Dicha energía es comunicada al exterior mediante un dispositivo llamado flecha.

A continuación se observan distintos modelos de bombas sumergibles que llevan el motor incorporado, esto ocurre en la mayoría de las instalaciones de bombeo fotovoltaico.



**Imagen 8.4.4: Motobombas sumergibles.**  
**Fuente: ALBAGSU.**

### 8.4.3.1 Corriente Alterna

Los motores de corriente alterna son más adecuados para cargas grandes en el rango de diez o más caballos de fuerza. Estos son más baratos que los motores de corriente continua, pero requieren de un inversor continua/alterna, que se agrega a los gastos iniciales y gastos potenciales de mantenimiento.

Los sistemas de corriente alterna son ligeramente menos eficientes que los sistemas de continua debido a las pérdidas de conversión. Los motores de alterna pueden funcionar por muchos años con menos mantenimiento que los motores de corriente continua.

Los sistemas de alterna están constituidos por un generador fotovoltaico que actúa sobre una motobomba sumergida AC, a través de un inversor de frecuencia variable o variador de velocidad. Al variar la irradiancia sobre el generador varía la frecuencia y la tensión a su salida y, con ello, la velocidad de giro del motor y el caudal bombeado.

#### 8.4.3.1.1 Principio de funcionamiento.

El motor eléctrico por excelencia en corriente alterna es el motor de inducción o motor asíncrono trifásico, como se muestra en la figura, es el más utilizado para el accionamiento de máquinas en la industria debido a su sencillez de mantenimiento, facilidad de instalación, bajo coste y robustez.

El más utilizado es el motor trifásico asíncrono, estos pueden ser de rotor en cortocircuito o de rotor bobinado.



#### 8.4.3.1.2 Partes fundamentales

El **estator**, parte fija de la máquina donde van alojados las bobinas inductoras, las tapas laterales o también llamadas escudos que llevan dos cojinetes que permite el giro del rotor.

El **rotor en cortocircuito**, parte móvil de la máquina, bobinado con unas barras de cobre o aluminio, introducidas en las ranuras y que van soldadas a dos anillos, del mismo material, llamados anillos de cortocircuito. Este conjunto se denomina jaula de ardilla por su parecido a una jaula de ardilla. Existen motores con rotor de doble jaula de ardilla.

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

El eje del motor es el que desarrolla la potencia útil del motor, observamos la caja de bornes donde se efectúan las conexiones a la red y las aletas que lleva es para refrigerar la máquina mediante las aspas que llevan casi todos estos motores en la parte del escudo contrario al eje, es decir, cuando funciona el motor al mismo tiempo un ventilador proporciona aire que pasa a través de las aletas de refrigeración evacuando el calor que produce la máquina.

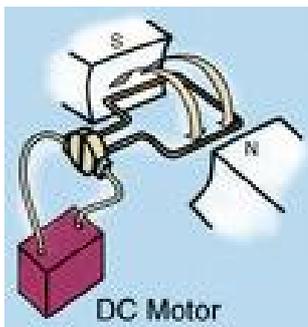
### 8.4.3.2 Corriente Continua

Los sistemas de continua, son en general, de pequeño tamaño y están constituidos por un generador fotovoltaico que ataca directamente a un motor DC acoplado a una bomba de superficie. Al variar la irradiancia incidente sobre el generador, varía la tensión del punto de trabajo que resulta del cruce de las características del generador y de la motobomba y, con ello, varía la velocidad de giro del motor y el caudal de agua que proporciona la bomba.

En algunos casos, dependiendo de las características de las bombas, estos sistemas incorporan un convertidor dc/dc (caso de bombas de desplazamiento positivo, no siendo necesario para las bombas centrífugas).

Los motores eléctricos de corriente continua precisan de mantenimiento, ya que cada cierto tiempo es necesario revisar el estado de las escobillas y el colector para limpiar las delgas de impurezas o, depende del caso, para sustituir el motor.

#### 8.4.3.2.1 Principio de funcionamiento.



Cuando se aplica una tensión continua a las escobillas representadas en el dibujo, circulará una intensidad por la espira y, por estar ubicada dentro de un campo magnético y de acuerdo con la Ley de Lenz, parecerá en cada lado de la espira una fuerza electromagnética  $F$  que al campo magnético existente, girando.

**Imagen 8.4.6: Motor en cc. Escobillas y espira.**  
Fuente: [www.electricidad-viatger.com](http://www.electricidad-viatger.com)

#### 8.4.3.2.2 Partes fundamentales

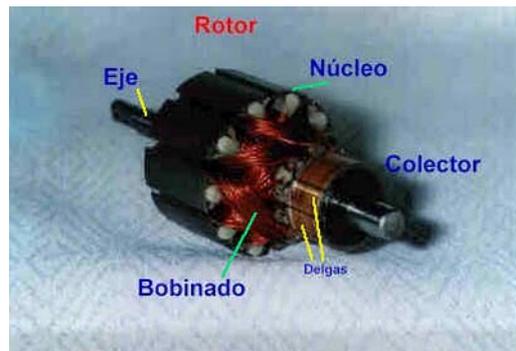
Las partes de un motor de cc se pueden dividir en dos grupos:

##### ➤ La parte mecánica

Compuesta por la carcasa, las tapas laterales también llamados escudos, las fijaciones de la máquina y el inducido que es la parte móvil de la máquina que gira apoyada sobre rodamientos (o cojinetes) solidarios a las tapas laterales antes mencionadas.

➤ **La parte electromagnética**

Formada principalmente por un circuito magnético que consta de un empilado de chapas magnéticas formando las masas polares del inductor, dos circuitos eléctricos formados por dos devanados diferentes; el devanado inductor que va alojado alrededor de las masas polares, el otro circuito es el devanado inducido que va alojado en las ranuras en la parte que gira (llamada rotor), que se observa en la siguiente imagen, que pueden estar formados por hilos o pletinas dependiendo de la potencia del motor,.



**Imagen 8.4.7: Partes de un rotor de motor de cc. Fuente: [www.electricidad-viatger.com](http://www.electricidad-viatger.com)**

# MEMORIA

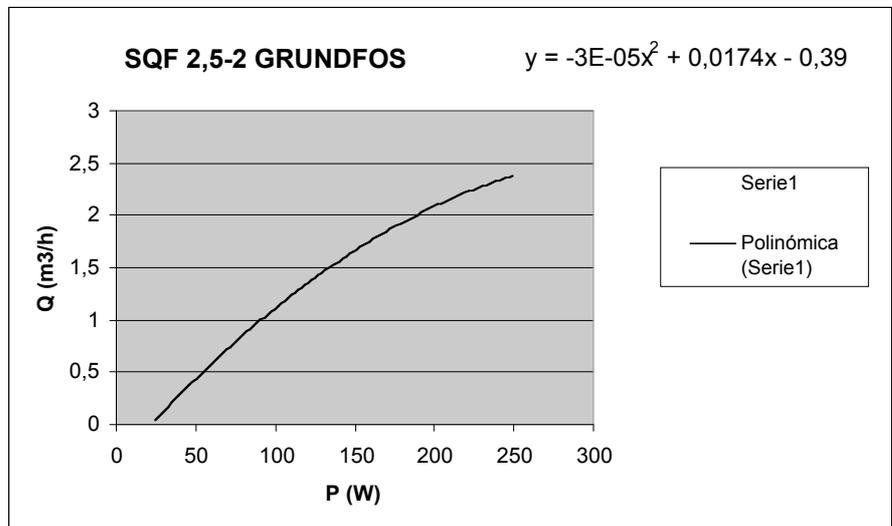
## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

### 8.5 RESULTADOS

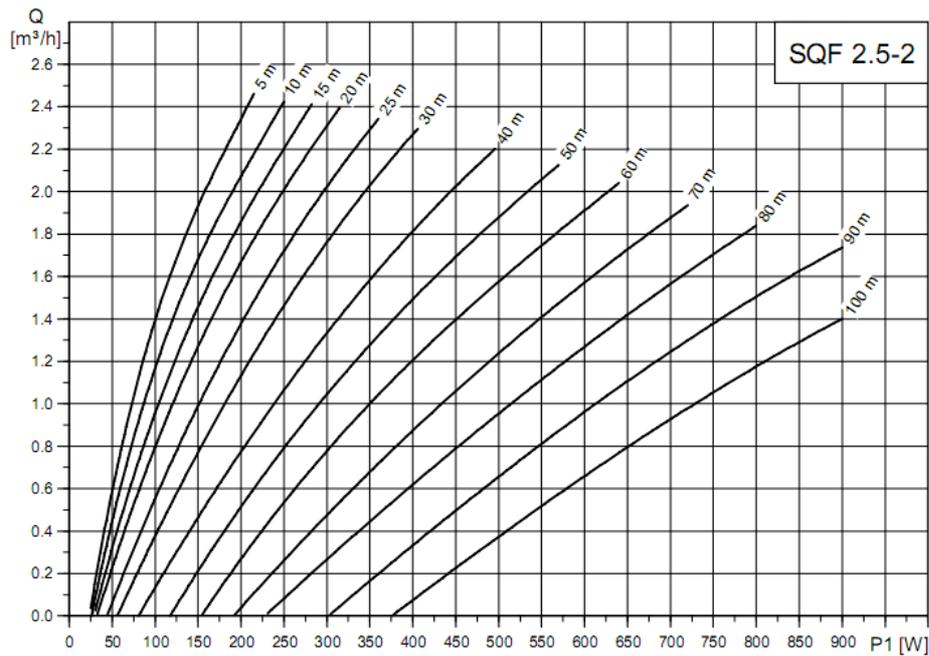
Datos Bomba	
P (W)	Q (m3/h)
25	0
50	0,4
75	0,8
100	1,2
125	1,4
150	1,5
175	1,9
200	2,1
225	2,2
250	2,4

### KIT GRUNDFOS

**MODULO: GF 80W**  
**BOMBA: SQF 2,5-2**



### SQF 2,5-2







MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Potencia	80		Número de módulos	2		Demanda de agua (m3)	345			
2	Isc	2,6									
3	Voc	41,5		Volumen del depósito (m3)	350		Días de llenado	24,77343843			
4	Imppp	2,4									
5	Vmppp	33,3		Capacidad de bombeo (m3/día)	18,56252242		DEMANDA CUBIERTA:	OK			
6	FF	0,740668582					A TIEMPO:	OK			
7	TOHC	47,5		Tiempo de llenado (horas)	452,524706						
8	Coef V(T) %	-0,378									
9				acumulado/mes	575,438195						
10											
11											
12											
13	Hora	Teruel (Julio PVGIS)		Isc (corregida)	20-T°	T° célula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Pot. Inst. TOTAL (W)	m3/h	Cada 15 min
14	0:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
31	4:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
32	4:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
33	4:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	57	14,5	5,5	42	38,83321	4,26	8,525414851	0,86075	0,21518845	0
35	5:22	86	15,1	4,9	42,6	38,739088	6,42	12,83173015	0,94689	0,236721546	0
36	5:37	119	15,7	4,3	43,2	38,644966	8,86	17,71239404	1,03297	0,25824338	0
37	5:52	155	16,3	3,7	43,8	38,550844	11,51	23,01457519	1,11463	0,278707722	0
38	6:07	192	16,8	3,2	44,3	38,472409	14,23	28,45037427	1,19424	0,29855932	0
39	6:22	230	17,4	2,6	44,9	38,376287	17,00	33,99779857	1,27179	0,317947171	0
40	6:37	269	18	2	45,5	38,284165	19,83	39,66512557	1,34288	0,335719382	0
41	6:52	307	18,5	1,5	46	38,20573	22,59	45,17563355	1,41045	0,352613425	0
42	7:07	345	19,1	0,9	46,6	38,111608	25,32	50,64233737	1,47435	0,36886862	0
43	7:22	383	19,6	0,4	47,1	38,033173	28,05	56,10463057	1,53826	0,38462387	0
44	7:37	419	20,2	-0,2	47,7	37,939051	30,61	61,22627819	1,60217	0,40000000	0
45	7:52	454	20,7	-0,7	48,2	37,860616	33,10	66,2034928	1,66612	0,41538462	0
46	8:07	488	21,2	-1,2	48,7	37,782181	35,51	71,01403999	1,73007	0,43076924	0



## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	80		Número de módulos	4		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	2,6								
3	Voc	41,5		Volumen del depósito (m3)	350		Días de llenado	25		
4	Imppp	2,4								
5	Vmpppp	33,3		Capacidad de bombeo (m3/día)	13,616642					
6	FF	0,74088582					DEMANDA CUBIERTA:	OK		
7	TOHC	47,5	0	Tiempo de llenado (horas)	616,89216		A TIEMPO:	OK		
8	Coef V(T) %	-0,378		acumulado mes	408,49927					
9										
10										
11										
12										
13	Hora	Temperatura (SEPTIEMBRE PVGIS)		20-T°	T° célula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3/h	m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
33	4:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	0	11,6	8,4	39,1	39,288133	0,00	0	0	0
35	5:22	0	12	8	39,5	39,225385	0,00	0	0	0
36	5:37	0	12,4	7,6	39,9	39,162637	0,00	0	0	0
37	5:52	0	12,8	7,2	40,3	39,099889	0,00	0	0	0
38	6:07	36	13,3	6,7	40,8	39,021454	2,71	10,82114754	0	0
39	6:22	70	13,7	6,3	41,2	38,958706	5,25	21,00728529	0	0
40	6:37	104	14,2	5,8	41,7	38,880271	7,79	31,14798755	0	0
41	6:52	139	14,6	5,4	42,1	38,817523	10,39	41,56329686	0,281376136	0,070344034
42	7:07	176	15,1	4,9	42,6	38,739088	13,13	52,5205699	0,441105608	0,110276402
43	7:22	214	15,5	4,5	43	38,67634	15,94	63,75680018	0,597420436	0,149355109
44	7:37	252	16	4	43,5	38,597905	18,73	74,92584396	0,745293222	0,186323306
45	7:52	289	16,4	3,6	43,9	38,535157	21,45	85,7871708	0,881913612	0,220478403
46	8:07	325	16,9	3,1	44,4	38,458722	24,07	96,27709853	1,007143123	0,251785781
47	8:22	360	17,4	2,6	44,9	38,378287	26,61	106,4278912	1,122038426	0,280509606
48	8:37	393	17,8	2,2	45,3	38,315539	29,00	115,9938222	1,224655503	0,306163876



**MÓDULO: BP SOLAR 115W**  
**BOMBA: SQF 2,5-2**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Potencia	115	Polisilicio	Numero de modulos	3		Demanda de agua (m3)	345			
2	Isc	7,5									
3	Voc	21,8		Volumen del depósito (m3)	350		Dias de llenado	22			
4	Imp	6,7		Capacidad de bombeo (m3/dia)	15,80641353		DEMANDA CUBIERTA: OK				
5	Vmpp	17,1					A TIEMPO: OK				
6	FF	0,70073394									
7	TOHC	47	Tª op.Nom. de la célula	Tiempo de llenado (horas)	531,4298519						
8	Coef V(T) %	-0,5		acumulado/mes	474,192						
9											
10											
11											
12											
13	Hora	Teruel (ABRIL PVGIS)		Isc (correctida)	20-Tª	Tª célula	Voc (correctida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3 h	Cada 15 min m3 bombeados
14	0:07	0	Tª	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
19	1:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
20	1:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
21	1:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
22	2:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
23	2:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
24	2:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
25	2:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
26											
27	5:52	70	6,1	0,525	13,9	33,1	20,9171	7,70	23,08528215	0	0
28	6:07	102	6,6	0,765	13,4	33,6	20,8626	11,18	33,55090794	0,160015895	0,040003974
29	6:22	136	7	1,02	13	34	20,819	14,88	44,6410548	0,32696964	0,08174241
30	6:37	171	7,5	1,2825	12,5	34,5	20,7645	18,66	55,98262553	0,490076053	0,122519013
31	6:52	206	8	1,545	12	35	20,71	22,42	67,264047	0,644660857	0,161165214
32	7:07	241	8,5	1,8075	11,5	35,5	20,6555	26,16	78,48531923	0,790846194	0,197711549
33	7:22	275	8,9	2,0625	11,1	35,9	20,6119	29,79	89,36889638	0,925414808	0,231353702
34	7:37	308	9,4	2,31	10,6	36,4	20,5574	33,28	99,82650724	1,0480441	0,262011025
35	7:52	340	9,8	2,55	10,2	36,8	20,5138	36,66	109,9665774	1,160639002	0,290159751
36	8:07	370	10,3	2,775	9,7	37,3	20,4593	39,78	119,351579	1,259373492	0,314843373
37	8:22	399	10,7	2,9925	9,3	37,7	20,4157	42,81	128,4318816	1,349672293	0,337468073
38	8:37	426	11,2	3,195	8,8	38,2	20,3612	45,59	136,7567096	1,428494819	0,357123705
39	8:52	452	11,6	3,39	8,4	38,6	20,3176	48,26	144,7926494	1,50044476	0,37511119
40	9:07	475	12	3,5625	8	39	20,274	50,61	151,8338925	1,560303802	0,390075951
41	9:22	497	12,4	3,7275	7,6	39,4	20,2304	52,84	158,5245514	1,614426192	0,403606548
42	9:37	516	12,8	3,87	7,2	39,8	20,1868	54,74	164,2301374	1,65845825	0,414614562

MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	115								
2	Isc	7,5								
3	Voc	21,8								
4	Imp	6,7								
5	Vmpp	17,1								
6	FF	0,70073394								
7	TOHC	47								
8	Coef V(T) %	-0,5								
9										
10										
11										
12										
13										
14	Hora									
15	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
19	1:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
20	1:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
21	1:37	48	0,36	11	36	20,601	5,20	10,3937904	0	0
22	1:52	77	0,5775	10,5	36,5	20,5465	8,31	16,62926265	0	0
23	2:07	109	0,8175	10	37	20,492	11,74	23,4776844	0	0
24	2:22	143	1,0725	9,5	37,5	20,4375	15,36	30,71908125	0,116202155	0,029050539
25	2:37	179	1,3425	9	38	20,383	19,18	38,3500161	0,233168568	0,058232142
26	2:52	215	1,6125	8,5	38,5	20,3285	22,97	45,93970575	0,346037163	0,086509296
27	3:07	251	1,8825	8	39	20,274	26,74	53,4881502	0,454864347	0,113716087
28	3:22	287	2,1525	7,5	39,5	20,2195	30,50	60,99534945	0,559706101	0,139926525
29	3:37	322	2,415	7,1	39,9	20,1759	34,14	68,28624054	0,658290266	0,164572566
30	3:52	356	2,67	6,6	40,4	20,1214	37,65	75,29265432	0,750022671	0,187505668
31	4:07	389	2,9175	6,1	40,9	20,0669	41,02	82,04919093	0,83569363	0,208923458
32	4:22	420	3,15	5,7	41,3	20,0233	44,20	88,3953378	0,913666805	0,228416701
33	4:37	450	3,375	5,2	41,8	19,9688	47,23	94,451508	0,985823618	0,246455905
34	4:52	478	3,585	4,8	42,2	19,9252	50,05	100,1094329	1,051247176	0,262811794
35	5:07	505	3,7875	4,4	42,6	19,8816	52,77	105,5327184	1,112154661	0,278038665
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										



Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	115			Número de módulos	1		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	7,5									
3	Voc	21,8			Volumen del depósito (m3)	350		Días de llenado	25		
4	Imppp	6,7						DEMANDA CUBIERTA:	OK		
5	Vmpppp	17,1			Capacidad de bombeo (m3/día)	14,03975796		A TIEMPO:	OK		
6	FF	0,700733945				598,3009125					
7	TOHC	47			Tiempo de llenado (horas)						
8	Coef V(T) %	-0,5									
9					acumulado/mes	435,2324988					
10											
11											
12											
13	Hora	Teruel (Julio PVGIS)		Isc (corrregida)	20-T°	T° celula	Voc (corrregida)	Potencia instantanea (W)	Pot. Inst. TOTAL (W)	m3/h	m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	57	14,5	0,4275	5,5	41,5	20,0015	5,99	5,991724575	0	0
35	5:22	86	15,1	0,645	4,9	42,1	19,9361	9,01	9,01058679	0	0
36	5:37	119	15,7	0,8925	4,3	42,7	19,8707	12,43	12,42723605	0	0
37	5:52	155	16,3	1,1625	3,7	43,3	19,8053	16,13	16,13346098	0	0
38	6:07	192	16,8	1,44	3,2	43,8	19,7508	19,93	19,92968064	0	0
39	6:22	230	17,4	1,725	2,6	44,4	19,6854	23,80	23,7950433	0	0
40	6:37	269	18	2,0175	2	45	19,62	27,74	27,737397	0,84955	0,212387453
41	6:52	307	18,5	2,3025	1,5	45,5	19,5655	31,57	31,56775853	0,90938	0,227345824
42	7:07	345	19,1	2,5875	0,9	46,1	19,5001	35,36	35,366568843	0,9677	0,241925497
43	7:22	383	19,6	2,8725	0,4	46,6	19,4456	39,14	39,14123652	1,0251	0,256274106
44	7:37	419	20,2	3,1425	-0,2	47,2	19,3802	42,68	42,67629387	1,07793	0,269482383
45	7:52	454	20,7	3,405	-0,7	47,7	19,3257	46,11	46,11110247	1,12855	0,282136542
46	8:07	488	21,2	3,66	-1,2	48,2	19,2712	49,42	49,42458144	1,1767	0,29417601
47	8:22	521	21,7	3,9075	-1,7	48,7	19,2167	52,62	52,61759006	1,2249	0,305621936
48	8:37	551	22,2	4,1325	-2,2	49,2	19,1622	55,49	55,48957353	1,26315	0,315786449
49	8:52	580	22,7	4,35	-2,7	49,7	19,1077	58,24	58,2439509	1,30167	0,325418503







**MODULO: MITSUBISHI 185W  
BOMBA: SQF 2,5-2**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	185			2		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	8,13								
3	Voc	30,6			350		Dias de llenado	20		
4	Impp	7,58								
5	Vmpp	24,4			17,21586185		DEMANDA CUBIERTA: OK A TIEMPO: OK			
6	FF	0,74344194								
7	TOHC	47,5			487,922131					
8	Coef V(T) %	-0,3								
9					516,476					
10										
11										
12										
13										
14	Hora	Teruel (ABRIL PVGIS)	Isc (corregida)	20-T°	T° célula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3/h	Cada 15 min m3 bombeados
15	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
19	1:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
20	1:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
21	1:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
22	1:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
23	2:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
24	2:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
25	2:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
26	2:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
27	3:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
28	3:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
29	3:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
30	3:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
31	4:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
32	4:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
33	4:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	4:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
35	5:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
36	5:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
37	5:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
38	5:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
39	6:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
40	6:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
41	6:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
42	6:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
43	7:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
44	7:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
45	7:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
46	7:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
47	8:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
48	8:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
49	8:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
50	8:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
51	9:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
52	9:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
53	9:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
54	9:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
55	10:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
56	10:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
57	10:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	4,6	0	15,4	32,1	29,94822	12,61	25,22523338	0,029629699	0,007457422
35	5:22	5,1	0	14,9	32,6	29,90232	18,35	36,700175934	0,208175934	0,052043984
36	5:37	5,6	0	14,4	33,1	29,85642	24,44	48,8731961	0,368735933	0,097183983
37	5:52	7,0	6,1	13,9	33,6	29,81052	30,68	61,35597648	0,564657315	0,141164329
38	6:07	102	6,6	13,4	34,1	29,76462	36,90	73,79991694	0,730725723	0,182681431
39	6:22	136	7	13	34,5	29,7279	43,10	86,20501749	0,887028153	0,221757038
40	6:37	171	7,5	12,5	35	29,682	49,12	98,24465288	1,029896606	0,257474151
41	6:52	206	8	12	35,5	29,6361	54,93	109,8631156	1,159521086	0,289860272
42	7:07	241	8,5	11,5	36	29,5902	60,56	121,1265444	1,27745268	0,31936317
43	7:22	275	8,9	11,1	36,4	29,5548	66,80	131,606884	1,380367631	0,345091908
44	7:37	308	9,4	10,6	36,9	29,50758	70,87	141,7470648	1,473632016	0,368408004
45	7:52	340	9,8	10,2	37,3	29,47086	75,55	151,1026028	1,554225392	0,388556348
46	8:07	370	10,3	9,7	37,8	29,42496	80,06	160,1241915	1,626968231	0,406742058
47	8:22	399	10,7	9,3	38,2	29,38824	84,03	168,0612566	1,6869283	0,421732075
48	8:37	426	11,2	8,8	38,7	29,34234	87,81	175,6245377	1,740547609	0,435136902
49	8:52	452	11,6	8,4	39,1	29,30562	91,05	182,1095097	1,783789263	0,445947316
50	9:07	475	12	8	39,5	29,2689	94,11	188,2251325	1,822256281	0,455564073
51	9:22	497	12,4	7,6	39,9	29,23218	96,84	193,6817344	1,854683751	0,463670938
52	9:37	516	12,8	7,2	40,3	29,19546	99,00	198,0097592	1,879133668	0,469783467
53	9:52	534	13,2	6,8	40,7	29,15874	101,02	202,0367905	1,900884769	0,475221192
54	10:07	550	13,5	6,5	41	29,1312				
55	10:22	563	13,9	6,1	41,4	29,09448				
56	10:37	575	14,2	5,8	41,7	29,06694				

## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Potencia	185		Número de módulos	2		Demanda de agua (m3)	345			
2	Isc	8,13									
3	Voc	30,6		Volumen del depósito (m3)	350		Días de llenado	18			
4	Impp	7,58					DEMANDA CUBIERTA:	OK			
5	Vmpppp	24,4		Capacidad de bombeo (m3/día)	19,92810733		A TIEMPO:	OK			
6	FF	0,74344194									
7	TONIC	47,5		Tiempo de llenado (horas)	421,5151926						
8	Coef V(T) %	-0,3									
9				acumulado/mes	617,7713273						
10											
11											
12											
13	Hora	Teruel (Mayo PVGIS)	T°	Isc (correctida)	20-T°	T° célula	Voc (correctida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3/h	m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0
33	4:52	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0	0	0
34	5:07	48	9	0,39024	11	36,5	29,5443	8,57	17,14283098	0	0
35	5:22	77	9,5	0,62601	10,5	37	29,4984	13,73	27,45723411	0,065138882	0,016284721
36	5:37	109	10	0,88617	10	37,5	29,4525	19,40	38,8075534	0,240070643	0,060017661
37	5:52	143	10,5	1,16259	9,5	38	29,4066	25,42	50,83331739	0,416978938	0,104244734
38	6:07	179	11	1,45527	9	38,5	29,3607	31,77	63,53119695	0,594356437	0,148589109
39	6:22	215	11,5	1,74795	8,5	39	29,3148	38,09	76,19912688	0,761547316	0,190388829
40	6:37	251	12	2,04063	8	39,5	29,2689	44,40	88,80710718	0,918642596	0,229660649
41	6:52	287	12,5	2,33331	7,5	40	29,223	50,69	101,3851378	1,065733013	0,266433253
42	7:07	322	12,9	2,61786	7,1	40,4	29,18628	56,80	113,6062481	1,199557329	0,299889332
43	7:22	356	13,4	2,89428	6,6	40,9	29,14038	62,70	125,4044102	1,320248755	0,330062189
44	7:37	389	13,9	3,16257	6,1	41,4	29,09448	68,41	136,8131373	1,429013553	0,357253398
45	7:52	420	14,3	3,4146	5,7	41,8	29,05776	73,76	147,5295521	1,524065144	0,381016286
46	8:07	450	14,8	3,6585	5,2	42,3	29,01186	78,91	157,8176921	1,608835124	0,402208781
47	8:22	478	15,2	3,88614	4,8	42,7	28,97514	83,71	167,4252827	1,68226316	0,42056579
48	8:37	505	15,6	4,10565	4,4	43,1	28,93842	88,33	176,6581975	1,747609074	0,436902268
49	8:52	530	16	4,3089	4	43,5	28,9017	92,58	185,1683938	1,80331003	0,450827508



## Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	185		Número de módulos	1		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	8,13								
3	Voc	30,6		Volumen del depósito (m3)	350		Días de llenado	17		
4	Inppp	7,58								
5	Vmppp	24,4		Capacidad de bombeo (m3/día)	21,02643341		DEMANDA CUBIERTA:	OK		
6	FF	0,743441944					A TIEMPO:	OK		
7	TONIC	47,5		Tiempo de llenado (horas)	399,4971394					
8	Coef V(T) %	-0,3								
9				acumulado/mes	651,8194358					
10										
11										
12										
13	Hora	Teruel (Julio PVGIS)	Isc (corregida)	20-T°	T° célula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Pot. Inst. TOTAL (W)	m3/h	m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
33	4:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	57	0,46341	5,5	42	29,0394	10,00	10,00460854	0	0
35	5:22	86	0,69918	4,9	42,6	28,98432	15,07	15,06604196	0	0
36	5:37	119	0,96747	4,3	43,2	28,92924	20,81	20,80758088	0	0
37	5:52	155	1,26015	3,7	43,8	28,87416	27,05	27,05070962	0,83873	0,20968253
38	6:07	192	1,56096	3,2	44,3	28,82826	33,45	33,45470961	0,93854	0,234633855
39	6:22	230	1,8699	2,6	44,9	28,77318	40,00	39,999398409	1,03799	0,25949769
40	6:37	269	2,18697	2	45,5	28,7181	46,69	46,692333459	1,13704	0,28426035
41	6:52	307	2,49591	1,5	46	28,6722	53,20	53,20310737	1,23082	0,307704237
42	7:07	345	2,80485	0,9	46,6	28,61712	59,67	59,67365309	1,32149	0,330373304
43	7:22	383	3,11379	0,4	47,1	28,57122	66,14	66,14014836	1,4096	0,352400751
44	7:37	419	3,40647	-0,2	47,7	28,51614	72,22	72,21748613	1,49012	0,372530825
45	7:52	454	3,69102	-0,7	48,2	28,47024	78,12	78,12402072	1,56626	0,391564271
46	8:07	488	3,96744	-1,2	48,7	28,42434	83,84	83,839333345	1,63793	0,409483347
47	8:22	521	4,23573	-1,7	49,2	28,37844	89,36	89,36425658	1,70536	0,426339738
48	8:37	551	4,47963	-2,2	49,7	28,33254	94,36	94,35712693	1,76472	0,441179001
49	8:52	580	4,7154	-2,7	50,2	28,28664	99,16	99,16236847	1,82043	0,455107534













MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	205		Número de módulos	1		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	11,93								
3	Voc	22,7		Volumen del depósito (m3)	350		Días de llenado	16		
4	Impp	11,27								
5	Vmpp	18,2		Capacidad de bombeo (m3.día)	22,4261426		DEMANDA CUBIERTA:	OK		
6	FF	0,757406457					A TIEMPO:	OK		
7	TONC	45,4		Tiempo de llenado (horas)	374,5628551					
8	Coef V(T) %	-0,31								
9				acumulado/mes	695,2104205					
10										
11										
12										
13	Hora	Teruel (Julio PVGIS)		Isc (corregida)	Tª	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Pot. Inst. TOTAL (W)	m3/h	Cada 15 min m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
31	4:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
32	4:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
33	4:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	57	14,5	5,5	39,9	21,651487	11,15	11,15146771	0	0
35	5:22	86	15,1	4,9	40,5	21,609265	16,79	16,79221142	0	0
36	5:37	119	15,7	4,3	41,1	21,567043	23,19	23,19033447	0	0
37	5:52	155	16,3	3,7	41,7	21,524821	30,15	30,14676347	0,88729	0,221822216
38	6:07	192	16,8	3,2	42,2	21,489636	37,28	37,28204573	0,99701	0,249252267
39	6:22	230	17,4	2,6	42,8	21,447414	44,57	44,57303618	1,10597	0,276492041
40	6:37	269	18	2	43,4	21,405192	52,03	52,02844601	1,21409	0,303521546
41	6:52	307	18,5	1,5	43,9	21,370007	59,28	59,28058582	1,31606	0,329014139
42	7:07	345	19,1	0,9	44,5	21,327785	66,49	66,48862625	1,41425	0,353563288
43	7:22	383	19,6	0,4	45	21,2926	73,69	73,68802496	1,50927	0,377318471
44	7:37	419	20,2	-0,2	45,6	21,250378	80,45	80,45446096	1,59572	0,398930003
45	7:52	454	20,7	-0,7	46,1	21,215193	87,03	87,03066194	1,6771	0,419275859
46	8:07	488	21,2	-1,2	46,6	21,180008	93,39	93,39322848	1,75337	0,43834333
47	8:22	521	21,7	-1,7	47,1	21,144823	99,54	99,54311437	1,82479	0,45619631





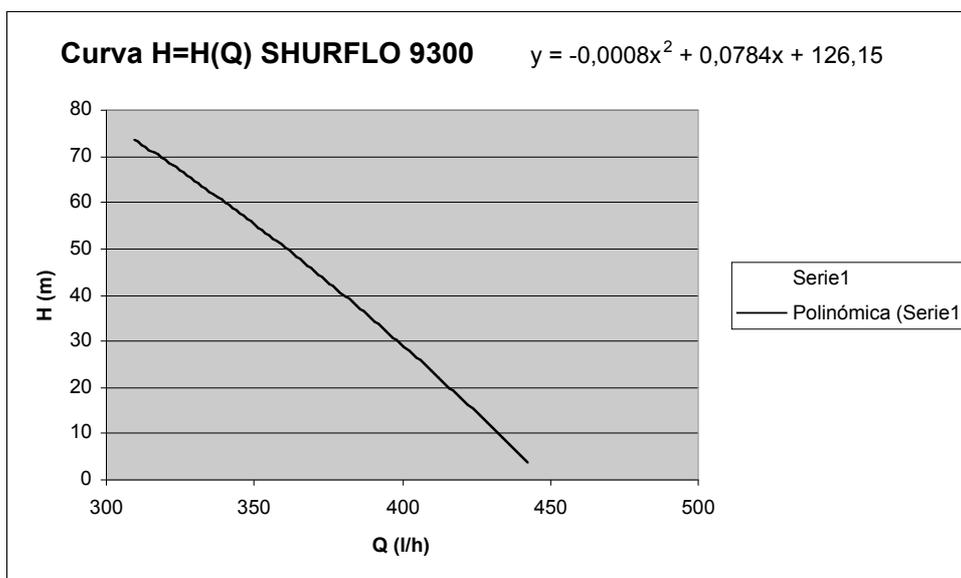
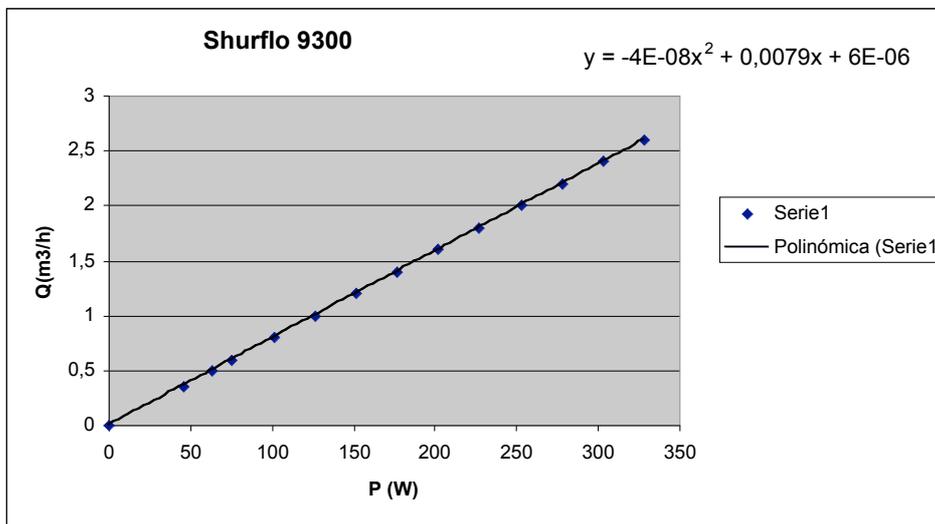


Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

**MODULO: KYOCERA 65W**  
**BOMBA: SHURFLO 9300**

Shurflo 9300	
Q	P
0	0
0,36	45,42412332
0,5	63,0945
0,6	75,7180512
0,8	100,9697664
1	126,2276
1,2	151,4915136
1,4	176,7614688
1,6	202,0374272
1,8	227,3193504
2	252,6072
2,2	277,9009376
2,4	303,2005248
2,6	328,5059232

Datos Bomba	
H (m)	Q (l/h)
6,1	443
12,2	432
18,3	413
24,4	401
30,6	390
36,6	382
42,7	375
48,8	371
54,9	362
61	345
70,1	310



MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	65		Número de módulos	5			Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	3,99									
3	Voc	21,7		Volumen del depósito (m3)	350			Días de llenado	30		
4	Imppp	3,75									
5	Vmpppp	17,4		Capacidad de bombeo (m3/día)	11 69241257			DEMANDA CUBIERTA:	OK		
6	FF	0,75361214						A TIEMPO:	OK		
7	TOHC	47		Tiempo de llenado (horas)	718,4146085						
8	Coef V(T) %	-0,324		acumulado/mes	350,772						
9											
10											
11											
12											
13	Hora		Teruel (ABRIL PVGIS)	Isc (corregid	20-T <sup>3</sup>	T <sup>3</sup> célula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3/h	Cada 15 min m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
19	1:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
20	1:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
21	1:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
22	2:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
23	2:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
24	2:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
25	2:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
26	3:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
27	3:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
28	3:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
29	3:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
30	4:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
31	4:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
32	4:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
33	4:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	0	4,6	0	15,4	31,6	21,24	0,00	0	0	0
35	5:22	0	5,1	0	14,9	32,1	21,20	0,00	0	0	0
36	5:37	0	5,6	0	14,4	32,6	21,17	0,00	0	0	0
37	5:52	70	6,1	0,28	13,9	33,1	21,13	4,45	22,24	0,00	0
38	6:07	102	6,6	0,41	13,4	33,6	21,10	6,47	32,35	0,00	0
39	6:22	136	7	0,54	13	34	21,07	8,62	43,08	0,00	0
40	6:37	171	7,5	0,68	12,5	34,5	21,03	10,81	54,07	0,00	0
41	6:52	206	8	0,82	12	35	21,00	13,01	65,03	0,51	0,13
42	7:07	241	8,5	0,96	11,5	35,5	20,96	15,19	75,95	0,60	0,15
43	7:22	275	8,9	1,10	11,1	35,9	20,93	17,31	86,55	0,68	0,17

MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	Potencia	65		Número de módulos	5		Demanda de agua (m3)	345			
2	Isc	3,99									
3	Voc	21,7		Volumen del depósito (m3)	350		Días de llenado	25			
4	Imp	3,75									
5	Vmpp	17,4		Capacidad de bombeo (m3/día)	14,145792965		DEMANDA CUBIERTA:	OK			
6	FF	0,75361214					A TIEMPO:	OK			
7	TOHC	47		Tiempo de llenado (horas)	593,3070872						
8	Coef V(T) %	-0,324									
9				acumulado/mes	438,8956191						
10											
11											
12											
13	Teruel (Mayo PVGIS)										
	Hora	W/m2	T°	Isc (corregida)	20-T°	T° célula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3/h	Cada 15 min m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
19	1:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
20	1:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
21	1:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
22	2:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
23	2:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
24	2:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
25	2:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
26	3:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
27	3:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
28	3:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
29	3:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
30	4:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
31	4:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
32	4:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
33	4:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	48	9	0,19152	11	36	20,926612	3,02	15,1018776	0	0
35	5:22	77	9,5	0,30723	10,5	36,5	20,891458	4,84	24,18523223	0	0



MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	65		Número de módulos	4		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	3,99								
3	Voc	21,7		Volumen del depósito (m3)	350		Días de llenado	30		
4	Impp	3,75					DEMANDA CUBIERTA:	OK		
5	Vmpp	17,4		Capacidad de bombeo (m3/día)	11,78821571		A TIEMPO:	OK		
6	FF	0,753612141								
7	TOHC	47		Tiempo de llenado (horas)	712,576034					
8	Coef V(T) %	-0,324								
9				acumulado/mes	365,4346871					
10										
11										
12										
13	Hora	Teruel (Julio PVGIS)	Isc (corregida)	20-Tº	Tº celula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Pot. Inst. TOTAL (W)	m3/h	m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
19	1:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
20	1:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
21	1:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
22	2:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
23	2:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
24	2:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
25	2:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
26	3:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
27	3:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
28	3:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
29	3:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
30	4:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
31	4:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
32	4:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
33	4:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	57	0,22743	5,5	41,5	20,539918	3,52	14,08167558	0	0





MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	65		Numero de modulos	8		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	3,99								
3	Voc	21,7		Volumen del depósito (m3)	350		Dias de llenado	29		
4	Inpp	3,75								
5	Vrpp	17,4		Capacidad de bombeo (m3/dia)	12,19396		DEMAIDA CUBIERTA:	OK		
6	FF	0,75361214					A TIEMPO:	OK		
7	TOHC	47		Tiempo de llenado (horas)	688,8657					
8	Coef V(T) %	-0,324								
9				acumulado/mes	378,0127					
10										
11										
12										
Ternel (OCTUBRE PVGIS)										
13	Hora	W/m2	T°	Isc (corregida)	20-T°	T° célula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3/h
14	0:07	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0
32	4:37	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0
33	4:52	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0
34	5:07	0	9,2	0	10,8	36,2	20,9125504	0,00	0	0
35	5:22	0	9,4	0	10,6	36,4	20,8984888	0,00	0	0
36	5:37	0	9,6	0	10,4	36,6	20,884272	0,00	0	0
37	5:52	0	9,9	0	10,1	36,9	20,8633348	0,00	0	0
38	6:07	0	10,2	0	9,8	37,2	20,8422424	0,00	0	0
39	6:22	0	10,5	0	9,5	37,5	20,82115	0,00	0	0
40	6:37	0	10,8	0	9,2	37,8	20,8000576	0,00	0	0
41	6:52	41	11,1	0,16359	8,9	38,1	20,7789652	2,56	20,49361351	0
42	7:07	56	11,5	0,22344	8,5	38,5	20,750842	3,49	27,95339232	0
43	7:22	107	11,8	0,42683	8,2	38,8	20,7297496	6,67	53,35665595	0
44	7:37	139	12,2	0,55461	7,8	39,2	20,7016264	8,65	68,21975154	0,54665
45	7:52	171	12,6	0,68229	7,4	39,6	20,6735032	10,63	85,03955035	0,671529
46	8:07	203	12,9	0,80997	7,1	39,9	20,6524108	12,61	100,8503854	0,796317
47	8:22	234	13,3	0,93366	6,7	40,3	20,6242876	14,51	116,0828793	0,916601
48	8:37	264	13,7	1,05336	6,3	40,7	20,5961644	16,35	130,7979827	1,032626
49	8:52	293	14,1	1,16907	5,9	41,1	20,5680412	18,12	144,9677249	1,14441

**MODULO: KYOCERA 135W**  
**BOMBA: SHURFLO 9300**

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	135			3		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	8,37								
3	Voc	22,1			350		Dias de llenado	24		
4	Impp	7,63								
5	Vmpp	17,7					DEMANDA CUBIERTA: OK			
6	FF	0,73009617					A TIEMPO: OK			
7	TOHC	47,9			571,9204316					
8	Coef V(T) %	-0,35								
9					440,621					
10										
11										
12										
13										
14	Hora	Teruel (ABRIL PVGIS)	pc (corregid	20-T°	T° celula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3/h	Cada 15 min m3 bombeados
15	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
19	1:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
20	1:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
21	1:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
22	1:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
23	2:07	5,1	0	14,9	33	21,4812	0,00	0	0	0
24	2:22	0	0	14,4	33,5	21,442525	0,00	0	0	0
25	2:37	5,8	0	13,9	34	21,40385	9,16	27,46734764	0	0
26	2:52	7,0	0,5859	13,4	34,5	21,365175	13,32	39,9515296	0	0
27	3:07	10,2	0,85374	13	34,9	21,334235	17,73	53,191565	0	0
28	3:22	13,6	1,13632	12,5	35,4	21,29556	22,25	66,75932867	0	0
29	3:37	17,1	1,43127	12	35,9	21,256885	26,76	80,27746109	0,633940154	0,158485041
30	3:52	20,6	1,72422	11,5	36,4	21,21821	31,25	93,74596227	0,74024757	0,185061892
31	4:07	24,1	2,01717	11,1	36,8	21,18727	35,61	106,8155498	0,843392461	0,210848115
32	4:22	27,5	2,30175	10,6	37,3	21,148595	39,81	119,4150383	0,942814405	0,235703601
33	4:37	30,8	2,57796	10,2	37,7	21,117655	43,88	131,6289427	1,0391816	0,2597954
34	4:52	34,0	2,8458	9,7	38,2	21,07898	47,66	142,9809246	1,128737563	0,282184391
35	5:07	37,0	3,0969	9,3	38,6	21,04804	51,32	153,9612192	1,215351469	0,303837867
36	5:22	39,9	3,33963	8,8	39,1	21,008365	54,69	164,077606	1,295142229	0,323785557
37	5:37	42,6	3,56562	8,4	39,5	20,978425	57,95	173,8353513	1,372096526	0,343024132
38	5:52	45,2	3,78324	8	39,9	20,947485	60,80	182,4115287	1,439726118	0,35993153
39	6:07	47,5	3,97575	7,6	40,3	20,916545	63,53	190,5781573	1,504120641	0,37603016
40	6:22	49,7	4,15989	7,2	40,7	20,885605	65,86	197,5711588	1,55925678	0,389814195
41	6:37	51,6	4,31892	6,8	41,1	20,854665	68,05	204,1602836	1,611204984	0,402801246
42	6:52	53,4	4,46958	6,5	41,4	20,83146	70,01	210,0434698	1,657584681	0,41439617
43	7:07	55,0	4,6035	6,1	41,8	20,80052	71,56	214,688792	1,694203806	0,423550951
44	7:22	56,3	4,71231	5,8	42,1	20,777315	73,01	219,0201409	1,728346321	0,43208658
45	7:37	57,5	4,81275							

MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	135		Numero de modulos	3		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	8,37								
3	Voc	22,1		Volumen del depósito (m3)	350		Dias de llenado	20		
4	Impp	7,63								
5	Vmpp	17,7		Capacidad de bombeo (m3/dia)	17,68431084		DEMANDA CUBIERTA:	OK		
6	FF	0,73009617					A TIEMPO:	OK		
7	TOHC	47,9		Tiempo de llenado (horas)	474,9973054					
8	Coef V(T) %	-0,35								
9				acumulado/mes	548,2136362					
10										
11										
12										
13	Hora			20-T°	T° celula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3/h	Cada 15 min m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
19	1:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	48	0,40176	11	36,9	21,179535	6,21	18,63736212	0	0
35	5:22	77	0,64449	10,5	37,4	21,14086	9,95	29,8428407	0	0
36	5:37	109	0,91233	10	37,9	21,102185	14,06	42,1677728	0	0
37	5:52	143	1,19691	9,5	38,4	21,06351	18,41	55,21963937	0	0
38	6:07	179	1,48823	9	38,9	21,024635	23,00	68,99417287	0,544869558	0,136217389
39	6:22	215	1,79955	8,5	39,4	20,98616	27,57	82,71765709	0,653201803	0,163300451
40	6:37	251	2,10087	8	39,9	20,947485	32,13	96,39009203	0,761116085	0,190279021
41	6:52	287	2,40219	7,5	40,4	20,90881	36,67	110,0114777	0,868812573	0,217153143
42	7:07	322	2,69514	7,1	40,8	20,87787	41,08	123,2448686	0,97303289	0,243258222
43	7:22	356	2,97972	6,6	41,3	20,839195	45,34	136,0059916	1,07371264	0,26842816
44	7:37	389	3,25593	6,1	41,8	20,80052	49,45	148,3373714	1,170991075	0,292747769
45	7:52	420	3,5154	5,7	42,2	20,76958	53,31	159,9203715	1,262353954	0,315588489
46	8:07	450	3,7665	5,2	42,7	20,730905	57,01	171,0241972	1,349927187	0,337481797
47	8:22	478	4,00086	4,8	43,1	20,699965	60,46	181,3945745	1,431706979	0,357926745
48	8:37	505	4,22685	4,4	43,5	20,669025	63,78	191,3542683	1,510240062	0,377560015

MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	135			Numero de modulos	2		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	8,37									
3	Voc	22,1			Volumen del depósito (m3)	350		Dias de llenado	29		
4	Inpp	7,63						DEMANDA CUBIERTA:	OK		
5	Vmpp	17,7			Capacidad de bombeo (m3/día)	12,0553		A TIEMPO:	OK		
6	FF	0,73009617									
7	TOHC	47,9			Tiempo de llenado (horas)	696,7879478					
8	Coef V(T) %	-0,35									
9					acumulado mes	361,6595275					
10											
11											
12											
13	Hora	Teruel (Junio PVGIS)	Isc (corregida)	20-T°	T° celula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3h	Cada 15 min	m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
19	1:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
20	1:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
21	1:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
22	2:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0	0
35	5:22	104	13,4	0,87048	6,6	41,3	20,839195	13,24	26,48803881	0	0
36	5:37	137	14	1,14669	6	41,9	20,792785	17,41	34,81518894	0	0
37	5:52	172	14,6	1,43864	5,4	42,5	20,746375	21,81	43,81201943	0	0
38	6:07	208	15,1	1,74096	4,9	43	20,7077	26,32	52,64179939	0	0
39	6:22	244	15,7	2,04228	4,3	43,6	20,66129	30,81	61,61447979	0	0
40	6:37	281	16,3	2,35197	3,7	44,2	20,61488	35,40	70,79827191	0	0
41	6:52	317	16,8	2,65329	3,2	44,7	20,576205	39,86	79,71867407	0,559111852	0,139777963
42	7:07	353	17,4	2,95461	2,6	45,3	20,529795	44,29	88,57167227	0,629529322	0,157382331
43	7:22	388	17,9	3,24756	2,1	45,8	20,48112	48,59	97,17016687	0,699408413	0,174852103
44	7:37	422	18,4	3,53214	1,6	46,3	20,452445	52,74	105,4856081	0,767272637	0,191818159
45	7:52	455	18,9	3,80835	1,1	46,8	20,41377	56,76	113,5194139	0,832897215	0,208224304
46	8:07	486	19,5	4,06782	0,5	47,4	20,36736	60,49	120,9780376	0,896293904	0,224073476

MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	135		Numero de modulos	2		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	8,37								
3	Voc	22,1		Volumen del depósito (m3)	350		Dias de llenado	29		
4	Inpp	7,63								
5	Vmpp	17,7		Capacidad de bombeo (m3/día)	12,05748168		DEMAJDA CUBIERTA:	OK		
6	FF	0,730096174			686,6628872		A TIEMPO:	OK		
7	TOHC	47,9		Tiempo de llenado (horas)						
8	Coef V(T) %	-0,35								
9				acumulado/imes	373,7819321					
10										
11										
12										
13	Hora	Teruel (Julio PVGIS)	Isc (corregida)	20-Tª	Tª celula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Pot. Inst. TOTAL (W)	m3/h	m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
33	4:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	57	0,47709	5,5	42,4	20,75411	7,23	14,45820893	0	0
35	5:22	86	0,71982	4,9	43	20,7077	10,88	21,76535936	0	0
36	5:37	119	0,99603	4,3	43,6	20,66129	15,02	30,04968482	0	0
37	5:52	155	1,29735	3,7	44,2	20,61488	19,53	39,05242757	0	0
38	6:07	192	1,60704	3,2	44,7	20,576205	24,14	48,28386568	0	0
39	6:22	230	1,9251	2,6	45,3	20,529795	28,85	57,70958817	0	0
40	6:37	269	2,25153	2	45,9	20,483385	33,67	67,34254641	0,53183	0,132957679
41	6:52	307	2,56959	1,5	46,4	20,44471	38,36	76,71050758	0,60578	0,151445907
42	7:07	345	2,88765	0,9	47	20,3983	43,00	86,00993037	0,67919	0,169797135
43	7:22	383	3,20571	0,4	47,5	20,359625	47,65	95,30245205	0,75253	0,188133017
44	7:37	419	3,50703	-0,2	48,1	20,313215	52,01	104,0227221	0,82135	0,205338169
45	7:52	454	3,79998	-0,7	48,6	20,27454	56,25	112,497375	0,88823	0,222057259
46	8:07	488	4,08456	-1,2	49,1	20,235865	60,35	120,6916214	0,95289	0,238221788
47	8:22	521	4,36077	-1,7	49,6	20,19719	64,30	128,6068795	1,01534	0,25363469
48	8:37	551	4,61187	-2,2	50,1	20,158615	67,88	135,7518202	1,07171	0,267927059



Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Potencia	135		Numero de modulos	3		Demanda de agua (m3)	345		
2	Isc	8,37								
3	Voc	22,1		Volumen del depósito (m3)	350		Dias de llenado	26		
4	Impp	7,63								
5	Vmpp	17,7		Capacidad de bombeo (m3/día)	13,245184					
6	FF	0,73009617					DEMANDA CUBIERTA:	OK		
7	TONIC	47,9	sal de la célula(Tª media d equilibrio)	Tiempo de llenado (horas)	634,19279		A TIEMPO:	OK		
8	Coef V(T) %	-0,35								
9				acumulado/mes	397,35551					
10										
11										
12										
13	Hora	Teruel (SEPTIEMBRE PVGIS)	Isc (corregida)	20-Tª	Tª célula	Voc (corregida)	Potencia instantanea (W)	Potencia instantanea TOTAL (W)	m3/h	m3 bombeados
14	0:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
15	0:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
16	0:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
17	0:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
18	1:07	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
19	1:22	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
20	1:37	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
21	1:52	0	0	0	0	0	0,00	0	0	0
34	5:07	11,6	0	8,4	39,5	20,978425	0,00	0	0	0
35	5:22	12	0	8	39,9	20,947485	0,00	0	0	0
36	5:37	12,4	0	7,6	40,3	20,916545	0,00	0	0	0
37	5:52	12,8	0	7,2	40,7	20,885605	0,00	0	0	0
38	6:07	13,3	0,30132	6,7	41,2	20,84693	4,59	13,7585097	0	0
39	6:22	13,7	0,5859	6,3	41,6	20,81599	8,90	26,71295275	0	0
40	6:37	14,2	0,87048	5,8	42,1	20,777315	13,20	39,61407767	0	0
41	6:52	14,6	1,16343	5,4	42,5	20,746375	17,62	52,86689565	0	0
42	7:07	15,1	1,47312	4,9	43	20,7077	22,27	66,81459154	0,527662706	0,131915676
43	7:22	15,5	1,79118	4,5	43,4	20,67676	27,04	81,1908542	0,640583563	0,160145891
44	7:37	16	2,10924	4	43,9	20,638085	31,78	95,34473652	0,752865794	0,188216448
45	7:52	16,4	2,41893	3,6	44,3	20,607145	36,39	109,1798404	0,86204993	0,215512482
46	8:07	16,9	2,72025	3,1	44,8	20,56947	40,85	122,5498666	0,967547629	0,241888907



MEMORIA

Estudio de las Alternativas para el Abastecimiento de un Sistema de Riego con Energías Renovables en Alcorisa

**PLANTILLA: INSTALACIONES EÓLICAS AISLADAS**

<b>Dimensionamiento Instalación Eólica Aislada</b>				
<b>Dispositivos Consumo CC</b>				
Bomba Hidráulica	1	900	10	9000
				0
				0
				0
				0
				0
				0
<b>TOTAL CC</b>		<b>900</b>		<b>9000</b>
<b>Dispositivos Consumo CA</b>				
	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0
<b>TOTAL CA</b>		<b>0</b>		<b>0</b>
<b>Consumo Total Energía</b>				
			9000	Wh/día
	20%		450	Wh/día
			9450	Wh/día
<b>Cálculo Aerogenerador</b>				
	5	h/día		
	3,3	m/s		
	200,0	W		550
	24	V		2200
<b>Cálculo Baterías</b>				
	24	V		
	5	días		
	70	%		
	10	%		600
	0,0	Ah		1900
<b>Cálculo Inversor</b>				
	24	V		
	220	V		750-800
	0	W		1200
<b>Estimación Costes</b>				
	5300	€		
	881.846	ptas		