



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



# Estudio de soluciones para la construcción de un parque eólico en el polígono 503 del término municipal de Almonacid del Marquesado (provincia de Cuenca). Desarrollo de solución mediante aerogeneradores de 4.200kW

**Memoria**

**Trabajo final de grado**

*Titulación:* Grado en Ingeniería de Obras Públicas

*Curso:* 2014/15

*Autor:* Paula Montero Marqués

Sandra Llopis Arias

Teresa Rodríguez Hernández

*Tutor:* Abel Solera Solera

*Valencia, junio de 2016*

## **RESUMEN**

El Trabajo Final de Grado consiste en la elaboración de un estudio de soluciones para la construcción de un parque eólico de 40 Ha en España solicitado por un promotor privado.

Se ha decido realizar el estudio en Castilla La Mancha, debido a las buenas condiciones de disponibilidad de recurso eólico que la caracterizan, concretamente en la provincia de Cuenca. Para la elección del emplazamiento se deben conocer datos de velocidad y dirección del viento y así evaluar el potencial eólico.

Estos datos se han obtenido del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), estudiando el recurso eólico mediante la elaboración de rosas de viento y la distribución de probabilidad de Weibull. Como resultado se ha decido ubicar el parque al oeste de La Cordillera en Almonacid del Marquesado.

Se van a realizar 3 alternativas en las que se estudia la instalación de aerogeneradores, fabricados por ENERCON, concretamente E-53, E-92, E-141 de distinta potencia que presentan un diseño correspondiente a la clase viento del emplazamiento.

De cada alternativa se ha realizado un diseño de la disposición del parque, en el que se estudia el trazado de las conexiones con sus zanjas, la ubicación de la subestación, se han tenido en cuenta aspectos como la obra civil y se ha realizado un estudio económico.

Por último, se ha valorado cada alternativa en función de la producción y el presupuesto llegando a la conclusión de que la alternativa más rentable es la correspondiente al aerogenerador E-141.

## **RESUM**

El Treball Final de Grau consisteix en l'elaboració d'un estudi de solucions per a la construcció d'un parc eòlic de 40 Ha a Espanya, sol·licitat per un promotor privat.

S'ha decidit realitzar l'estudi a Castella La Manxa, a causa de les bones condicions de disponibilitat de recurs eòlic que la caracteritzen, concretament a la província de Conca. Per a l'elecció de l'emplaçament s'han de conèixer dades de velocitat i direcció de vent, i així avaluar el potencial eòlic.

Estes dades s'han obtingut de l'Institut per la Diversificació i Estalvi de l'Energia (IDAE), estudiant el recurs eòlic per mitjà de l'elaboració de roses de vent i la distribució de probabilitat de Weibull. Com a resultat, s'ha decidit ubicar el parc a l'oest de La Cordillera a Almonacid del Marquesado.

Es van a realitzar 3 alternatives en què s'estudia la instal·lació d'aerogeneradors, fabricats per ENERCON, concretament E-53, E-92 i E-141, de distinta potència que presenten un disseny corresponent a la classe de vent de l'emplaçament.

De cada alternativa s'ha realitzat un disseny de la disposició del parc, en el que s'estudia el traçat de les connexions amb les seues rases i la ubicació de la subestació; un estudi econòmic i s'han tingut en compte aspectes de l'obra civil del mateix.

Finalment, s'ha valorat cada alternativa en funció de la producció i el pressupost, arribant a la conclusió que l'alternativa més rendible és la corresponent a l'aerogenerador E-141.

## **ABSTRACT**

The subject of this dissertation is a study of solutions to build a 40 hectare wind farm in Spain which is demanded by a private developer.

Castilla La Mancha has been chosen as the location for the study due to the good wind resources that characterize this region, specifically in Cuenca. To select the best place it is necessary to know speed data and wind direction, and then to evaluate the wind potential.

The data has been obtained from the Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Analazing wind resources through the elaboration of wind roses and the distribution of Weibull probability, it has been decided to place the park in the west of La Cordillera in Almonacid del Marquesado.

We will also study three alternative wind turbines, specifically the E-53, E-92, E-141 models, which are made by ENERCON. They have different potential and their pattern is suitable for the type of wind in the location.

Each alternative has a design of the distribution of the park, and a study of the connections and placement of the substation have been analysed. A feasibility study and some aspects of civil construction have also been considered.

To conclude, each alternative has been evaluated using production and budget criteria, and the most profitable alternative is E-141 wind turbine.

**PALABRAS CLAVE:**

Parque eólico, Potencial eólico, Aerogenerador, cimentación y media tensión.

**PARAULES CLAU:**

Parc eòlic, potencial eòlic, aerogenerador, fonamentació i mitja tensió.

**KEYWORDS:**

Wind farm, wind energy potential, Wind Turbine, foundation and medium voltage.

## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>10</b>
<b>1 OBJETIVO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA EÓLICA</b> .....	<b>11</b>
2.1 VENTAJAS .....	11
2.2 ENERGÍA EÓLICA EN ESPAÑA .....	12
2.3 PRECIO DE LA LUZ. ....	15
<b>3 SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO</b> .....	<b>16</b>
3.1 SITUACIÓN .....	16
3.2 RECURSO EÓLICO .....	17
3.2.1 <i>Obtención de datos</i> .....	17
3.2.2 <i>Rosas de vientos</i> .....	20
3.2.2.1 Frecuencia. ....	21
3.2.2.2 Velocidad .....	21
3.2.2.3 Potencia disponible. ....	22
3.2.3 <i>Curva de distribución de frecuencias de velocidades</i> .....	24
3.3 EMPLAZAMIENTO .....	25
3.3.1 <i>Obtención de datos</i> .....	25
<b>4 CLASIFICACIÓN DEL VIENTO</b> .....	<b>27</b>
<b>5 ELECCIÓN DEL TIPO DE MAQUINA</b> .....	<b>29</b>
5.1 DESCRIPCIÓN DEL AEROGENERADOR. ....	29
5.1.1 <i>Partes del aerogenerador</i> .....	31
5.1.1.1 Palas .....	31
5.1.1.2 Góndola .....	32
5.1.1.3 Torre .....	33
5.2 SISTEMA DE CONTROL DEL AEROGENERADOR .....	33
5.2.1 <i>Control de orientación de la góndola</i> .....	34
5.2.2 <i>Ajuste del ángulo de paso de las palas</i> .....	34
5.2.2.1 Principio de funcionamiento .....	34
5.2.2.2 Estructura .....	34
5.2.2.3 Ángulo de la pala .....	35
5.3 ARRANQUE DEL AEROGENERADOR .....	36
5.4 SISTEMA DE SEGURIDAD DEL AEROGENERADOR .....	36
5.4.1 <i>Dispositivos de seguridad</i> .....	36
5.4.1.1 Seta de parada de emergencia .....	36
5.4.1.2 Interruptor principal .....	37

5.4.2	<i>Sistema de sensores</i> .....	37
5.4.2.1	Sensores redundantes .....	37
5.4.2.2	Control de los sensores .....	37
5.4.2.3	Sistema de control de la velocidad .....	37
5.4.2.4	Monitorización de las vibraciones .....	38
5.4.2.5	Control del entrehierro .....	38
5.4.2.6	Monitorización de las oscilaciones .....	38
5.4.2.7	Control de la temperatura .....	38
5.5	PARADA SEGURA DEL AEROGENERADOR .....	39
5.6	SISTEMA DE CONTROL REMOTO .....	39
<b>6</b>	<b>PRODUCCIÓN DEL AEROGENERADOR</b> .....	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>DISEÑO DE LA DISPOSICIÓN EN PLANTA DEL PARQUE</b> .....	<b>41</b>
7.1	DISPOSICIÓN DE LOS AEROGENERADORES .....	41
7.2	CONFIGURACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO .....	42
7.2.1	<i>Sistema de gestión de red</i> .....	42
7.2.1.1	Generador en anillo y flujo de energía .....	43
7.2.1.2	Configuración FT .....	43
7.2.1.3	Control de potencia - frecuencia .....	44
7.2.2	<i>Centro de transformación</i> .....	44
7.2.3	<i>Subestación</i> .....	46
7.2.4	<i>TRAZADO DE LAS CONEXIONES</i> .....	46
<b>8</b>	<b>OBRAS SINGULARES</b> .....	<b>47</b>
8.1	CIMENTACIÓN .....	47
	• <b>Hundimiento</b> .....	48
	• <b>Deslizamiento</b> .....	48
	• <b>Vuelco</b> .....	48
8.2	INSTALACIÓN ELÉCTRICA .....	48
<b>9</b>	<b>MANTENIMIENTO DEL PARQUE</b> .....	<b>49</b>
9.1	PERIODICIDAD .....	49
9.2	MANTENIMIENTO VISUAL .....	49
9.3	MANTENIMIENTO DE ENGRASE .....	49
9.4	MANTENIMIENTO MECÁNICO .....	49
9.5	MANTENIMIENTO ELÉCTRICO .....	50
<b>10</b>	<b>ESTUDIO ECONÓMICO</b> .....	<b>50</b>
10.1	PRESUPUESTO DE LA OBRA .....	50
10.2	PREVISIÓN DE PRODUCCIÓN .....	51

10.3	RENTABILIDAD .....	52
<b>11</b>	<b>VALORACIÓN DEL RESULTADO .....</b>	<b>55</b>
<b>12</b>	<b>CONCLUSIÓN.....</b>	<b>55</b>
<b>13</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>56</b>

## **DOCUMENTOS ADICIONALES**

ANEXO 1

ANEXO 2

ANEXO 3



# MEMORIA CONJUNTA

*Autores:* Paula Montero Marqués

Sandra Llopis Arias

Teresa Rodríguez Hernández

## **INTRODUCCIÓN**

Todo ser vivo contribuye a la degradación del entorno, y la continua aparición de vida parece ser inevitable.

Esta afirmación se explica mediante la 2ª Ley de la Termodinámica, la cual enuncia que todo aquel sistema con diferencias de energía, tiende a desorganizarse con la consecuente pérdida de estructura, hasta homogeneizarse.

Los seres vivos crean y mantienen una estructura que con el paso del tiempo resulta más compleja. El proceso que los seres vivos siguen para generar y mantener estructura y desarrollarse a sí mismos es el siguiente: captan energía de alta calidad del entorno, la degradan y devuelven energía de menor calidad, de tal forma que dejan el entorno desorganizado. Es decir, los seres vivos contrarrestan los efectos de la 2ª Ley de la Termodinámica sobre sí mismos, pero a costa de desorganizar el entorno.

Con el paso del tiempo aumenta la eficiencia en la captación y utilización de la energía de tal forma que disminuye la degradación del entorno.

Un ejemplo de esta Ley es la generación de energía eléctrica. En un primer momento, se generaba únicamente a través de centrales nucleares. Estas centrales se alimentan de combustibles nucleares (mercurio, uranio, etc.) que son fisionados o fusionados para generar energía eléctrica. Sin embargo, este proceso conlleva la producción de residuos radiactivos peligrosos y difíciles de eliminar

Por otro lado, la investigación y el desarrollo tecnológico, está haciendo posible la generación de energía eléctrica a través de fuentes limpias y renovables como puede ser la energía solar, eólica, undimotriz, maremotriz, geotérmica, etc. De esta forma, aumenta la eficiencia en la captación de energía del entorno disminuyendo considerablemente su degradación.

## 1 OBJETIVO

En el presente trabajo, se realizará un estudio de soluciones para la construcción de un parque eólico de 40 Ha en España solicitado por un promotor privado.

En primer lugar, se elaborará una parte conjunta desde el apartado uno al cinco, realizada por Paula María Montero Marqués, Sandra Llopis Arias y Teresa Rodríguez Hernández. Esta parte constará de una breve introducción a la energía eólica, la elección del emplazamiento de manera justificada según las características del viento, así como la clasificación del viento para realizar la elección del aerogenerador acorde a ella.

A continuación, se realizará la parte individual que consta de tres alternativas con distintas potencias de aerogenerador, para las cuales se estudiarán las posibles distribuciones de máquinas en el parque, la obra civil, el coste aproximado del proyecto y su rentabilidad. Las alternativas son las siguientes:

- Alternativa 1: Aerogenerador E-53 con una potencia de 800KW desarrollado por Paula María Montero Marqués.
- Alternativa 2: Aerogenerador E-92 con una potencia de 2.350KW desarrollado por Sandra Llopis Arias.
- Alternativa 3: Aerogenerador E-141 con una potencia de 4.200KW desarrollado por Teresa Rodríguez Hernández.

Por último, se realizará la valoración conjunta del resultado para comparar las tres alternativas y saber cuál es la más rentable.

## 2 INTRODUCCIÓN A LA ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica es aquella que aprovecha la fuerza del viento para producir energía eléctrica. Generalmente se produce mediante la instalación de parques eólicos formados por torres tubulares, dotadas de unas aspas que giran impulsadas por el viento.

### 2.1 Ventajas

Cuando se habla de ventajas se refiere a las mejoras que supone la implantación de este tipo de energía frente a otras como puede ser la energía nuclear.

- Se trata de una fuente de energía verde ya que no producen emisiones a la atmósfera en el proceso de obtención de energía.
- Enorme potencial. Se puede obtener una gran cantidad de energía con la acción del viento. Además el viento sopla tanto de día como de noche.

- **Renovable.** El viento es un fenómeno natural que nunca se agota.
- **Eficientes en cuanto a superficie.** Las turbinas se sitúan a grandes distancias unas de otras, por lo que el espacio entre ellas puede destinarse a otros usos.
- **Rápido crecimiento.** En los últimos años se ha apostado por la energía eólica. Según la Asociación Empresarial Eólica (AEE) la energía eólica cubre alrededor de un 20% la demanda de energía eléctrica.
- **Una vez instaladas y puestas en funcionamiento,** las turbinas requieren un bajo mantenimiento, aunque este puede variar en función del tipo de turbina.
- **Crea riqueza y empleo.** Según la AEE, el sector eólico da empleo a más de 20.000 personas en España y aporta cada vez más al Producto Interior Bruto.

## **2.2 Energía eólica en España**

La energía eólica en España se implantó debido a las ventajas descritas anteriormente, además su uso eficiente contribuye al desarrollo sostenible.

España ha sido uno de los países pioneros y líderes en la generación de energía eólica. Treinta años después de que se instalara el primer aerogenerador, en el año 2013, se consiguió ser el primer país en el mundo que durante un año entero, la primera fuente de generación de energía fuese la eólica, con un 20,9% de la producción total.

Aunque la implantación de la eólica se ha ralentizado en los últimos años, llegando a ser nulo el aumento en el año 2015. España es el quinto país del mundo por potencia instalada por detrás de China, Estados Unidos, Alemania e India, y el segundo país Europeo después de Alemania.

A continuación se muestra un gráfico en el que se puede observar la evolución de la potencia eólica instalada (MW) a lo largo de los años en España.

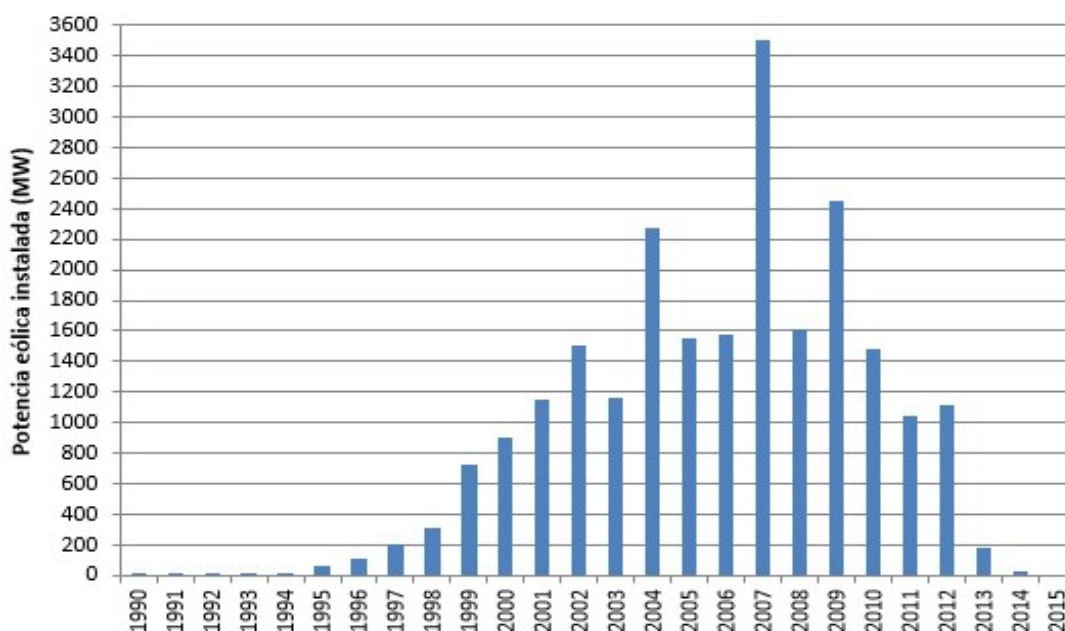


Figura 1: Evolución de la potencia eólica instalada desde 1990 hasta 2015. Fuente: AEE

El año con mayor potencia instalada corresponde al 2007, con aproximadamente 3.500 MW. Podemos observar que la potencia instalada va aumentando desde la década de 2000 lo que puede ser debido a la legislación que estimulaba fuertemente las investigaciones y las inversiones en este sector (Real Decreto 661/2007) mediante primas. Por otro lado, se produce una disminución desde el año 2007 a la actualidad que puede deberse a distintos motivos, entre ellos el cambio de la legislación y la crisis económica que sufre el país desde 2008.

Entre los factores que explican la evolución de la producción de la energía eólica, predominan:

- El régimen retributivo, que favorece la producción eléctrica generada en Régimen Especial (energía eléctrica procedente de instalaciones con potencia instalada no superior a 50 MW que utilizan fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración.)
- La disponibilidad y la gestión de la evacuación de la energía producida en los parques a la red.
- La situación geográfica y la disponibilidad del recurso eólico, junto al mayor conocimiento del mismo.
- Las mejoras tecnológicas de los aerogeneradores, que han dado lugar a un crecimiento de la potencia media instalada por aerogenerador y de la productividad de los mismos.
- El apoyo de las Comunidades Autónomas para la construcción de los emplazamientos eólicos

- El esfuerzo realizado por los inversores. A continuación se adjunta un gráfico en el que se muestra el reparto de la potencia instalada por los promotores a cierre de 2015.

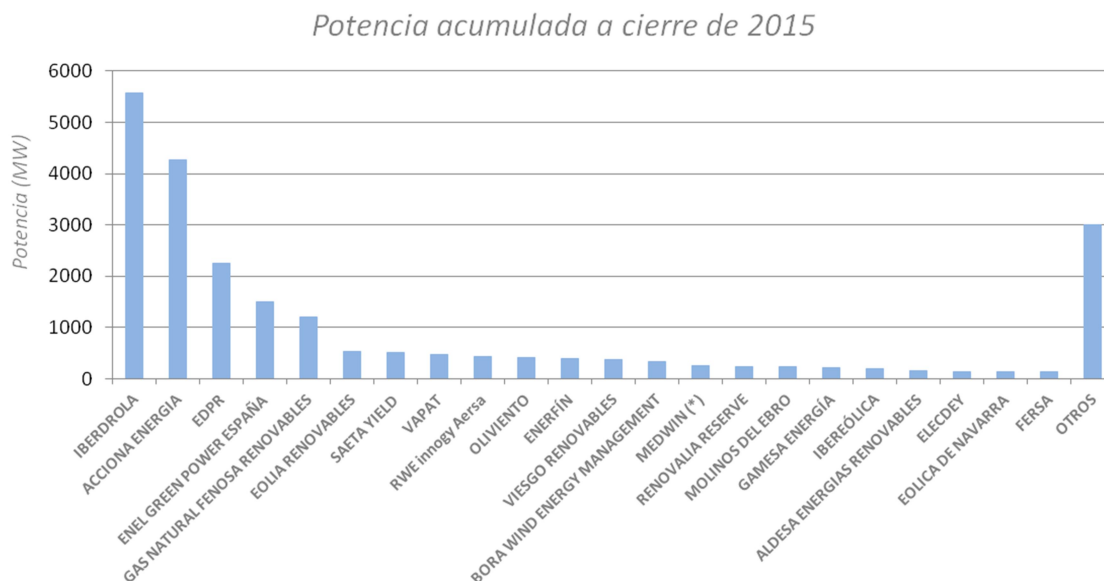


Figura 2: Potencia acumulada. Fuente: AEE

Por último, es importante destacar que, aunque en 2015 no aumentó la potencia instalada en España de energía eólica, ésta supuso una cobertura de la demanda eléctrica de un 19%, en tercer puesto por detrás del carbón y la nuclear, debido a las anómalas condiciones meteorológicas sucedidas sobre todo en la segunda mitad del año 2015, siendo el año más caluroso en España desde que se tienen medidas, según la Agencia Estatal de Meteorología(AEMET), como se muestra en el siguiente gráfico:

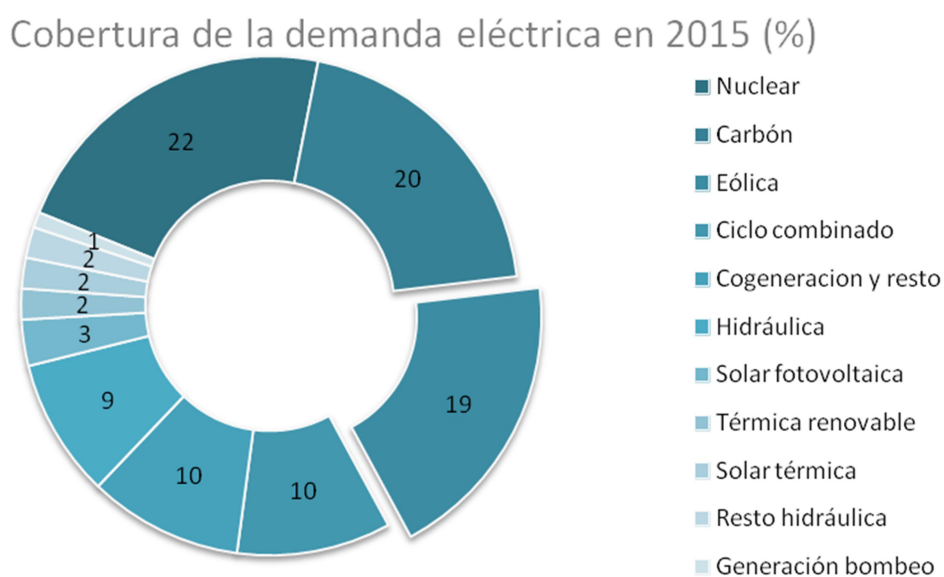


Figura 3: Cobertura de la demanda eléctrica en 2015. Fuente AEE.

## 2.3 Precio de la luz.

El coste final de la factura de la luz depende de tres componentes:

- Los costes regulados del sistema que son: el transporte, la distribución, el pago de la deuda y los intereses del déficit de tarifa.
- El coste de la generación eléctrica.
- Los impuestos: impuesto municipal, eléctrico e IVA.

Los productores de energía, ofertan la electricidad para satisfacer la demanda con un día de antelación en un mercado competitivo denominado Pool. Debido a que el coste del viento es cero, los productores de energía eólica pueden ofertar la electricidad a un precio más bajo. Esto causa que el precio del mercado eléctrico baje los días de más viento, desplazando a las tecnologías de combustibles más caros. A final de mes se hace una media con los precios de todos los días y se comprueba que cuanto mayor es la proporción de energía eólica consumida, menos pagan los españoles en el recibo de la luz.

La influencia de la eólica en los precios de la luz es más evidente en los meses de más viento, que coinciden con el invierno y el principio de la primavera. Es por esto por lo que en los meses de verano-otoño, el precio de la luz aumenta debido a que la frecuencia y velocidad del viento es menor.

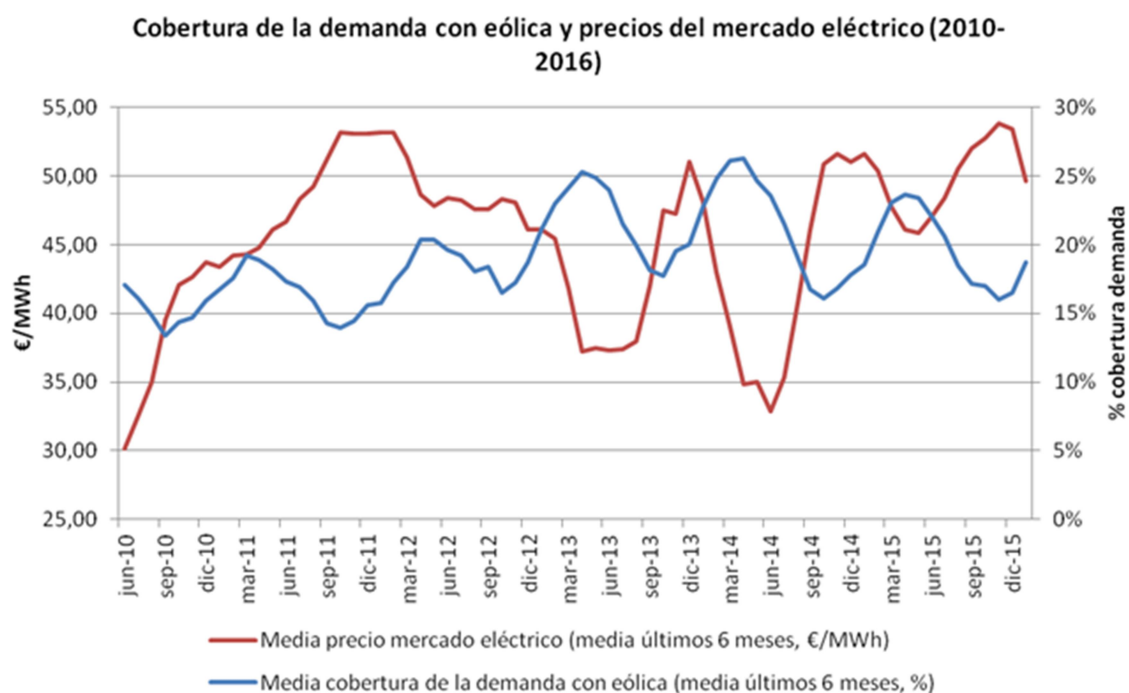


Figura 4: cobertura de la demanda con eólica y precios del mercado eléctrico. Fuente: REE, OMIE y AAE

### 3 SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

En este apartado se va a definir la situación del parque eólico analizando, mediante el estudio del recurso eólico, cuál será el emplazamiento óptimo para su construcción.

#### 3.1 Situación

Según la AEE, Castilla La Mancha es la segunda comunidad autónoma después de Castilla y León, que más energía eólica produce, con un total de 3.806,54 MW. Cuenta con 2.984 aerogeneradores repartidos por distintas localidades.

Los aspectos que influyen en la elección de Castilla La Mancha como emplazamiento para la instalación de parques eólicos, son los siguientes:

- Las buenas condiciones de disponibilidad del recurso eólico.
- El impulso especialmente dado por el Gobierno Autónomo.
- La propia legislación aplicable al marco normativo. El referente legal más inmediato en la regulación del aprovechamiento de la energía eólica con el fin de producir electricidad a través de la instalación de aerogeneradores, en la Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha, es el Real Decreto 20/2010, de 20 de abril, por el que se regula el aprovechamiento de la energía eólica en la Comunidad Autónoma de Castilla-La Mancha, el cual viene a sustituir al Decreto 58/1999, de 18 de mayo, primera norma autonómica específica reguladora del aprovechamiento eólica en nuestra región.
- Consolidación y garantía de la efectiva ejecución de los proyectos, mediante compromisos económicos y la interacción con los promotores.

Es por esto por lo que se quiere realizar el estudio en la Comunidad Autónoma de Castilla La Mancha, en particular en la provincia de Cuenca.



Figura 5: Mapa de las provincias de Castilla La Mancha



## 3.2 Recurso eólico

### 3.2.1 Obtención de datos

El viento es un recurso con gran variabilidad tanto temporal como espacial. Para conocer el viento de la zona es necesario tomar datos de su frecuencia, dirección y velocidad durante largos períodos de tiempo. Por otro lado, en el sector eólico, se deben conocer estas variables a una altura de, como mínimo, 50 m ya que a medida que disminuye la altura, aparece una fuerza de rozamiento que actúa disminuyendo su velocidad. Por lo general, para que las palas de un aerogenerador giren se necesitan vientos moderados por encima de los 4 m/s y por debajo de los 25m/s. No obstante, cada máquina está diseñada para una determinada velocidad de viento, a partir de la cual generalmente se conseguirá la máxima potencia.

Para el análisis del recurso eólico, España cuenta con un organismo adscrito al Ministerio de Industria, Energía y Turismo, denominado Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Éste instituto ha elaborado un Estudio del Recurso Eólico de España, y pone a disposición del ciudadano el Atlas Eólico del país, del cual se pueden obtener datos suficientemente fiables para evaluar el potencial eólico disponible en cualquier área del territorio nacional.

En esta aplicación encontramos, entre otras, una capa con resolución de 2.5 Km que toma, a una altura de 80m, medición de los siguientes datos:

- Frecuencia anual.
- Velocidad media.
- Potencia media
- Parámetros C y K de Weibull.

Los datos se han obtenido de un punto cuyas coordenadas UTM son X = 523446, Y = 4405764, situado sobre un montículo denominado La Cordillera, la cual separa los términos municipales de Almonacid del Marquesado y Villarejo de Fuentes. A continuación se representa dicha ubicación en el aplicativo del atlas eólico del IDAE y en el visor SigPac (Sistema de Información Geográfica de Parcelas Agrícolas).

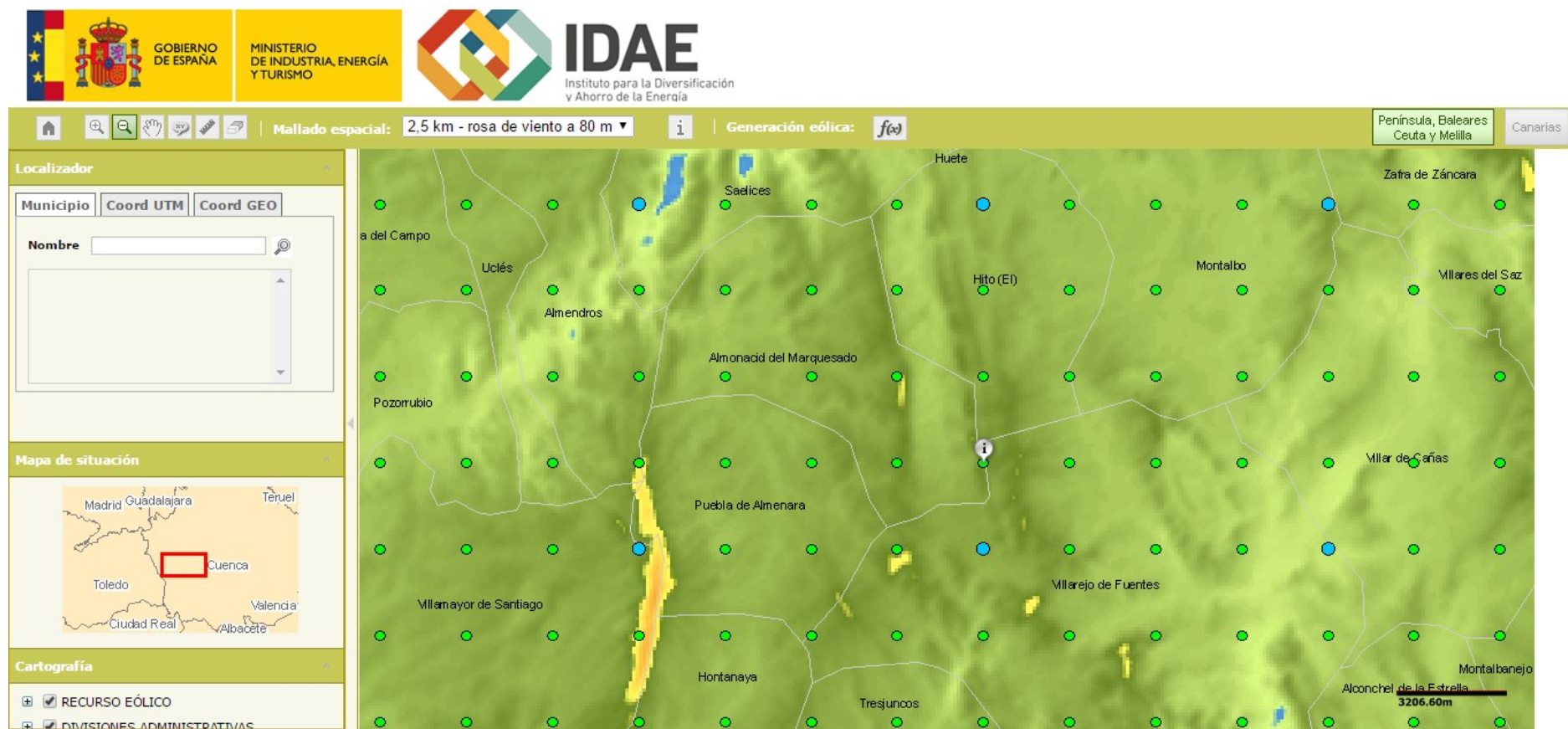


Figura 6: Imagen perteneciente a la aplicación del atlas eólico del IDAE. Recurso eólico

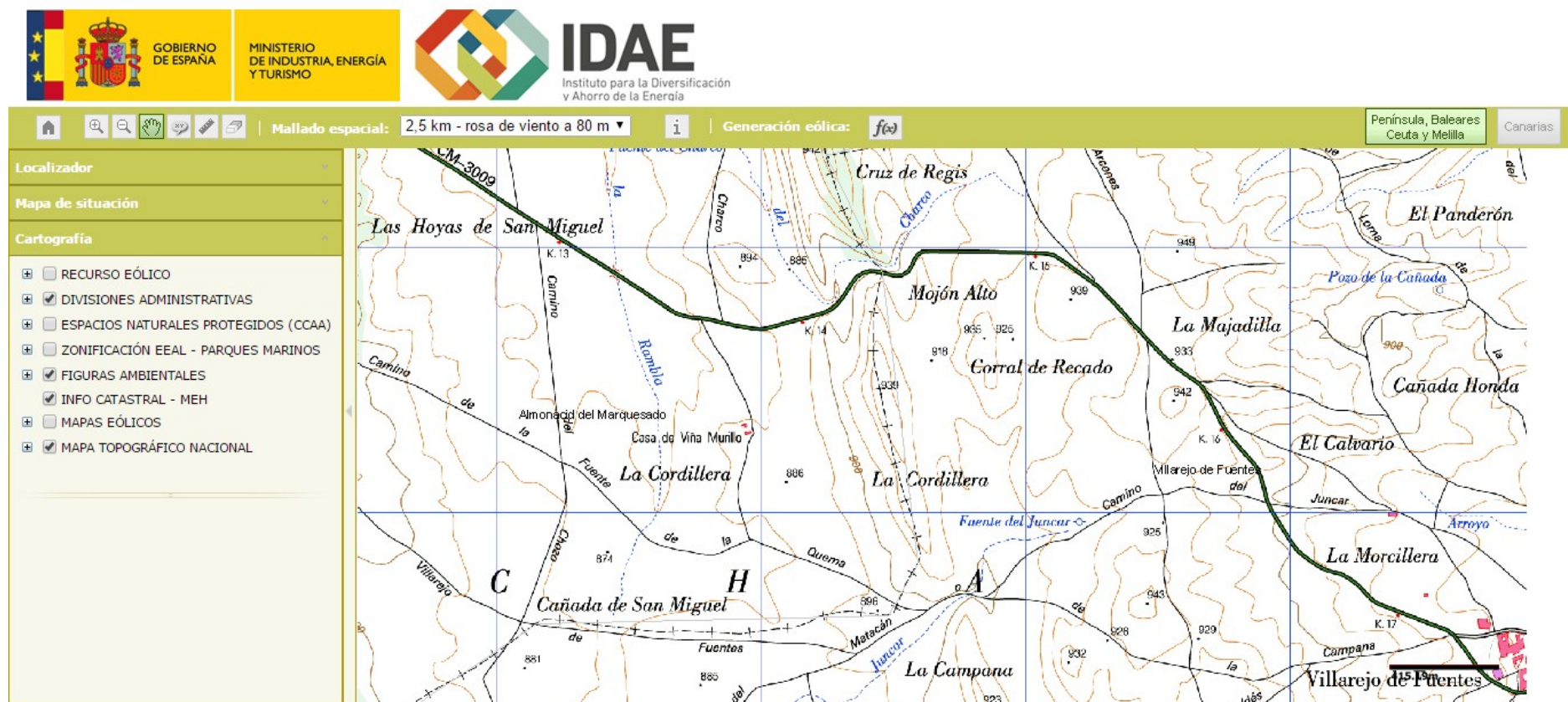


Figura 7: Imagen perteneciente a la aplicación del atlas eólico del IDAE. Mapa cartográfocp

Los datos obtenidos son los siguientes:

Dirección	Coordenadas UTM		523446,4405764		
	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Potencia (%)	Weibull C (m/s)	Weibull K
<b>N</b>	6,26	6,337	5,5	6,853	2,335
<b>NNE</b>	4,52	6,594	4,91	7,177	2,136
<b>NE</b>	3,33	5,79	2,52	6,303	2,071
<b>ENE</b>	2,56	5,294	1,48	5,781	2,094
<b>E</b>	4,86	6,261	5,09	6,923	1,985
<b>ESE</b>	14,18	7,63	22,54	8,509	2,525
<b>SE</b>	10,48	6,6	10,55	7,283	2,49
<b>SSE</b>	4,26	5,062	2,07	5,718	2,51
<b>S</b>	2,79	4,182	0,91	4,886	2,243
<b>SSW</b>	3,65	5,909	3,14	6,613	2,107
<b>SW</b>	5,83	6,694	7,37	7,572	2,158
<b>WSW</b>	6,25	5,847	5,56	6,831	2,266
<b>W</b>	8,55	6,494	9,88	7,48	2,297
<b>WNW</b>	8,55	6,104	8,36	7,099	2,327
<b>NW</b>	7,69	5,508	4,94	6,26	2,472
<b>NNW</b>	6,24	6,004	5,19	6,648	2,232

Tabla 1: Datos IDAE.

Debido a que los datos corresponde a una altura de 80m y que las velocidades están comprendidas dentro del rango mencionado anteriormente, podemos concluir en que es posible construir el parque eólico en esta zona.

### 3.2.2 Rosas de vientos

En este estudio se han realizado tres rosas de vientos gracias al registro de la velocidad, frecuencia y dirección del viento, que permite conocer las características del emplazamiento. Las dos primeras son una representación de los datos obtenidos del IDAE, mientras que para la tercera se han realizado los cálculos pertinentes.

Esta representación gráfica consiste en un diagrama polar dividido en dieciséis sectores, cada uno indicando una dirección del viento. Para cada uno de estos sectores se definen los valores de frecuencia, velocidad y potencia disponible. Esto nos permite determinar la dirección principal del viento, siendo un aspecto importante para una adecuada colocación y orientación de los aerogeneradores.

### 3.2.2.1 Frecuencia.

La rosa de viento de frecuencias representa el porcentaje en el que sopla el viento para cada una de las direcciones.

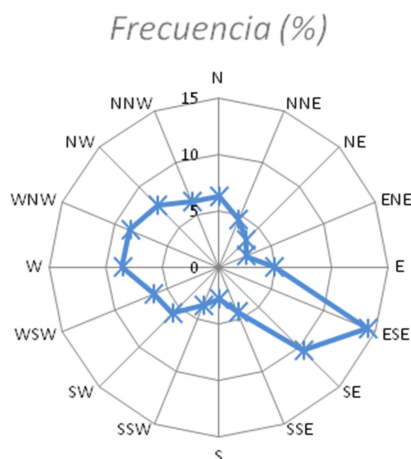


Figura 8: Rosa de vientos de frecuencias. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar la dirección principal del viento es el Este Sudeste ya que la mayor parte del tiempo (15%) el viento proviene de la dirección contraria.

### 3.2.2.2 Velocidad.

La rosa de vientos de velocidades representa las velocidades medias para cada dirección.

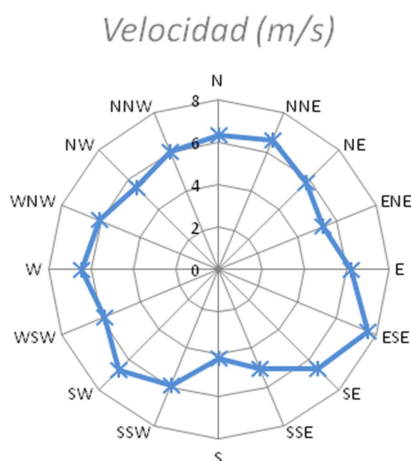


Figura 9: Rosa de vientos de velocidades. Fuente: Elaboración propia

En este gráfico se observa que en la dirección principal del viento (ESE), la velocidad media es de 7,63 m/s.

### 3.2.2.3 Potencia disponible.

Un aerogenerador obtiene su potencia de entrada convirtiendo la fuerza del viento en un par (fuerza de giro) actuando sobre las palas del rotor. La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, del área de barrido del rotor y de la velocidad del viento.

La energía obtenida a partir del viento es energía cinética, causada por la masa de aire en movimiento. Se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$E_c = \frac{1}{2} \times mv^2$$

Donde m es la masa de aire y v es la velocidad del viento.

La masa se puede expresar en función del volumen y la densidad del aire, como se muestra a continuación:

$$m = \rho \times v$$

Suponiendo que el volumen barrido es cilíndrico, la fórmula correspondiente será:

$$V = A \times L$$

Donde A es la superficie barrida y L la longitud del cilindro que se puede expresar en función de la velocidad del aire (v) y el tiempo que tarda la corriente de este en atravesar el volumen cilíndrico (t):

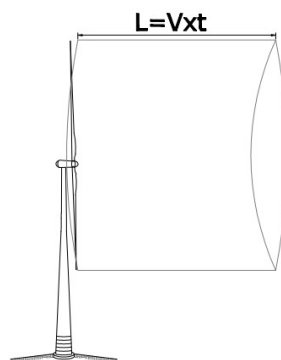


Figura 10: Representación superficie barrida y volumen cilíndrico.

Sustituyendo todo lo anteriormente mencionado en la fórmula de la Energía cinética, se obtiene:

$$E_c = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 t$$

Por último, dividiendo por el tiempo obtenemos la fórmula de la potencia disponible en el viento que atraviesa el volumen cilíndrico:

$$P = \frac{1}{2} \times A \times \rho \times v^3$$

De esta forma se puede calcular la potencia disponible del viento para cada dirección.

La densidad del aire depende de las condiciones climatológicas, Sin embargo se puede obtener a partir de la ecuación de los gases perfectos:

$$\rho = \frac{P}{RT}$$

Sabiendo que:

P = Presión = 1,013 x 10<sup>5</sup> Nw/m<sup>2</sup>

R = Constante universal de los gases ideales = 287 Nm/°Kkg

T = Temperatura absoluta = 286,15 °K

La temperatura absoluta, es la temperatura media anual de Cuenca obtenida a partir de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET)

Se sustituye en la ecuación los datos anteriores y se obtiene que la densidad del aire es de 1,23 Kg/m<sup>3</sup>.

Una vez obtenido este valor sustituimos en la fórmula de la potencia disponible, con la velocidad correspondiente a cada dirección.

La rosa de vientos de potencia se realiza con la potencia disponible calculada en el apartado anterior. Se utilizan valores de densidad de potencia W/m<sup>2</sup>, ya que se pretende cuantificar el recurso eólico en el emplazamiento.

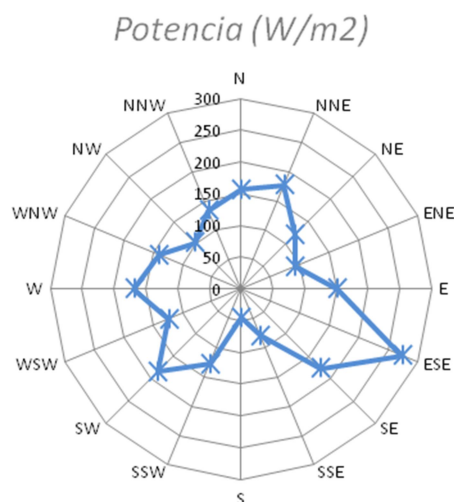


Figura 11: Rosa de vientos de Potencias. Fuente: Elaboración propia

La potencia disponible máxima se da en la dirección principal del viento con un valor de  $274\text{W/m}^2$ , ya que depende de la velocidad y la máxima se da en esa dirección como se ha mencionado anteriormente.

### 3.2.3 Curva de distribución de frecuencias de velocidades

La curva de distribución de frecuencias de velocidades representa el valor de la velocidad independientemente de su orientación. Aporta valores de velocidad del viento que se emplearan para obtener la potencia producida por los aerogeneradores

Debido a la variabilidad temporal del viento, es necesario describirlo de forma estadística para representar su comportamiento. Para ello, se debe establecer un modelo de frecuencias de velocidades del viento que venga descrito por una función matemática continua en vez de por una tabla de valores discretos.

Hay varias funciones que se pueden utilizar para describir la frecuencia de la distribución de velocidades del viento. Las más utilizadas son las funciones de Weibull y Rayleigh. En este caso se ha utilizado la distribución Weibull ya que se tienen los datos necesarios (constantes C y K) proporcionados por el IDAE. Esta función de distribución es una curva matemática que presenta una forma similar a la curva de distribución de velocidades y se puede emplear con un error mínimo. Se expresa de la siguiente manera:

$$f(v) = \frac{K}{C} \times \left(\frac{v}{C}\right)^{K-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{C}\right)^K\right]$$

Donde C es el factor de escala con dimensiones de velocidad (m/s), K es el factor de forma adimensional y v es la velocidad en m/s cogiendo valores de 0 hasta 25 ya que como se ha mencionado, generalmente esta es la velocidad máxima a la que pueden funcionar los aerogeneradores.



A continuación se representa la distribución de Weibull obtenida. En ella se muestra que la velocidad con mayor frecuencia (13.2%), independientemente de la dirección, es entre 5 – 6 m/s.

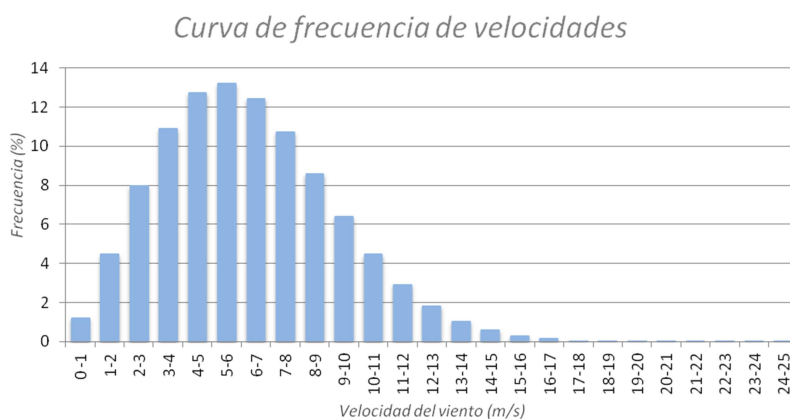


Figura 12: Curva de frecuencia de velocidades. Fuente: Elaboración propia.

### 3.3 Emplazamiento

Una vez analizado el recurso eólico se llega a la conclusión de que el emplazamiento óptimo para la construcción del parque eólico sea al oeste de la cordillera, correspondiente al término municipal de Almonacid del Marquesado, ya que si se colocara al Este, la propia cordillera podría producir sombras que afectarían al rendimiento de los aerogeneradores.

#### 3.3.1 Obtención de datos.

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente dispone de una base de datos gráfica de todas las parcelas de cultivo digitalizadas. Estas pueden ser visualizadas a través de la aplicación SigPac que además, proporciona información como el número de parcela, polígono al que pertenecen y superficie.

El parque estará situado en el Polígono 503. A continuación se adjunta una tabla con la información de las parcelas afectadas pertenecientes al polígono y su representación en el mapa.

Las dimensiones del área a ocupar se corresponden con una longitud en dirección N-S de 757m y en dirección W-E de 528,4m

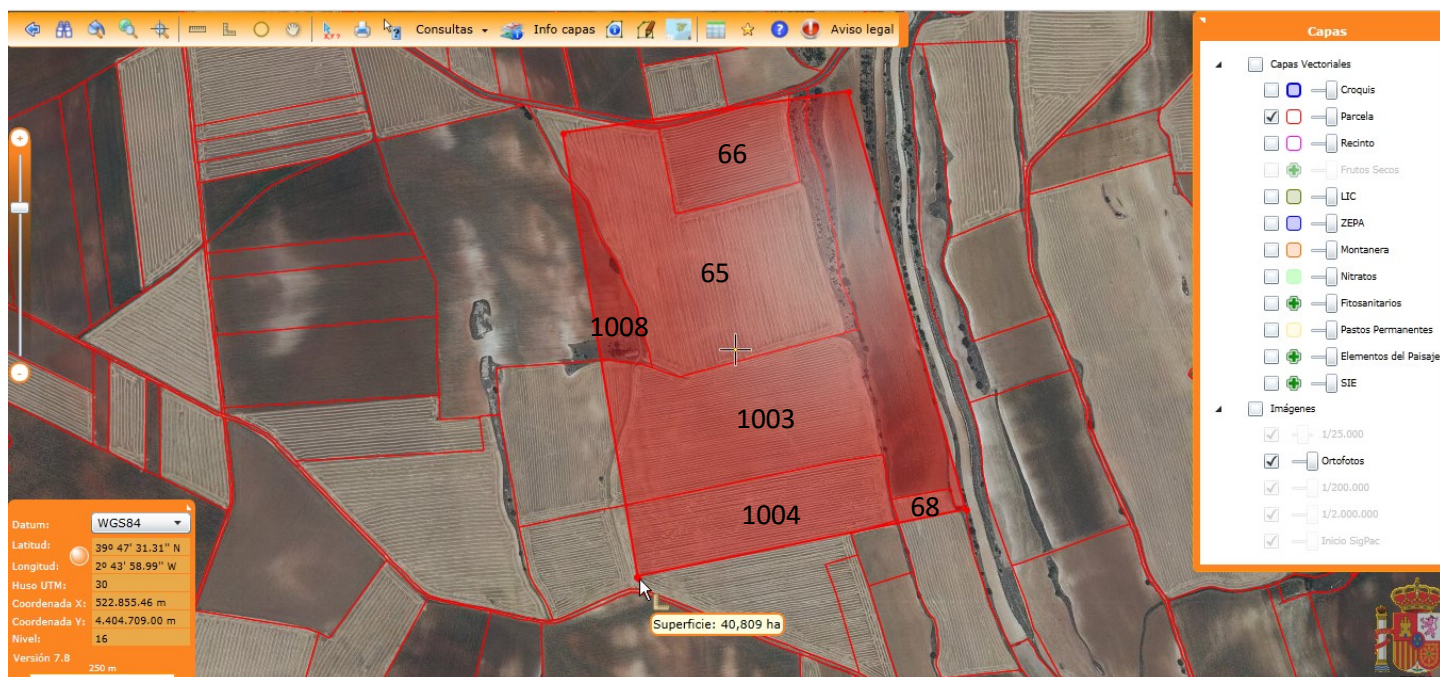


Figura 13: Representación de parcelas afectadas en el visor SigPac y su número correspondiente.

Polígono 503		
Nº Parcela	Área <sub>total</sub> (Ha)	Área <sub>ocupada</sub> (Ha)
66	3,35	3,35
65	13,6	13
68	1,8	0,4
1003	29	17,52
1004	12,81	4,82
1008	14,42	1,72
<b>Sup. Total</b>		<b>40,81 Ha</b>

Tabla 2: Datos de la superficie afectada.

## 4 CLASIFICACIÓN DEL VIENTO

Para la elección de los aerogeneradores, estos deben estar diseñados para una clase de viento, establecidas en la IEC-61400-1 y que se define en función de la velocidad media anual del viento en el emplazamiento, como se muestra en la siguiente tabla.

	<b>Clase I</b>	<b>Clase II</b>	<b>Clase III</b>	<b>Clase IV</b>	<b>Clase S</b>
<b>Velocidad anual promedio (m/s)</b>	10	8.5	7.5	6	Valores según diseñador

Tabla 3: Clasificación del viento. IEC 61400-1.

La velocidad anual promedio del emplazamiento es de 6.02 m/s, por lo que según los datos mostrados en la tabla podría contemplarse tanto los aerogeneradores diseñados para clase III como para Clase IV, sin embargo, cuanto mayor es el número de clase menores son los requerimientos técnicos, por lo que para quedarnos del lado de la seguridad elegimos los aerogeneradores pertenecientes a las Clase III.

# MEMORIA INDIVIDUAL

*Autor:* Teresa Rodríguez Hernández

## 5 ELECCIÓN DEL TIPO DE MAQUINA

En la elección del tipo de máquina se ha tenido en cuenta, lo que hemos querido realizar en este documento. Se trata de sacar el mayor rendimiento al terreno estudiando 3 alternativas distintas, por lo que se presenta 3 tipos de máquinas donde la diferencia de potencia entre ellas fuese notable.

Según las condiciones geográficas, la velocidad del viento y las distintas potencias a elegir, las máquinas elegidas han sido E-53, E-92 y E-141. En este documento en concreto se describe el E-141.



Imagen 1. E-141. ENERCON

### 5.1 DESCRIPCIÓN DEL AEROGENERADOR.

El aerogenerador ENERCON E-141 es un aerogenerador de accionamiento directo con rotor de tres palas, un sistema activo de control de ángulo de paso. Funciona a velocidad variable con una potencia nominal de 4.200 kW. Tiene un diámetro de rotor de 141 m y se presenta en alturas de buje de 129 m hasta 159 m. La altura elegida para este estudio ha sido la mínima, 129m.

El aerogenerador es de tipo eje horizontal, con el eje de giro paralelo a la dirección del viento. En función de la disposición del rotor frente al viento, el aerogenerador está dispuesto a barlovento, esto quiere decir que:

- El rotor se dispone enfrenteado al viento y antes de la torre que lo sustenta.
- El viento incide con toda su energía sobre las palas del rotor sin salvar ningún obstáculo previo.
- Para orientar la máquina frente al viento, es necesario un sistema activo basado en un motorreductor.

Según la descripción técnica de los aerogeneradores ENERCON, estos se caracterizan, entre otras, por las siguientes prestaciones:

- Sin multiplicadora

El sistema de accionamiento del E-141 está compuesto por pocos componentes rotatorios.

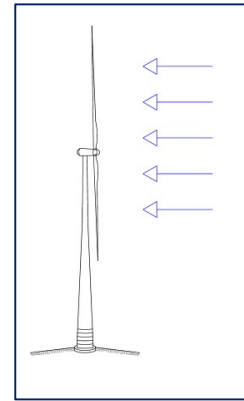


FIGURA 15. Aerogenerador a barlovento. Fuente: Elaboración propia

El buje y el rotor del generador en anillo se acoplan directamente y sin necesidad de mecanismos accesorios a modo de unidad compacta. De este modo, se reducen las cargas mecánicas y aumenta la vida útil.

Las inversiones en servicios y mantenimientos disminuyen (por ejemplo, hay un menor desgaste de piezas y, al no existir multiplicadora, no se requiere cambio de aceite) y se reducen los gastos de explotación.

Al prescindir de multiplicadora y de otras piezas rotatorias a grandes velocidades, las pérdidas de energía entre el rotor y el generador se reducen considerablemente, además de las emisiones de ruido.

- Ajuste activo del ángulo de paso de la pala

Las tres palas del rotor están equipadas con una unidad de control del ángulo de paso de la pala (pitch). Cada unidad de pitch está compuesta de un motor eléctrico, un sistema de control y un suministro de energía de emergencia adecuado a dicha unidad.

Las unidades de control del ángulo de paso limitan la velocidad del rotor y la energía que se toma del viento. Este sistema permite ajustar con precisión la potencia máxima del E-141 a la potencia nominal correspondiente en un breve margen de tiempo. Al ajustar las palas del rotor a la posición de bandera, el rotor se detiene, pero sin que el tren motriz se sobrecargue por la aplicación de un freno mecánico.

- Conexión indirecta a la red

La energía producida por el generador se vierte a la red de distribución o de transporte a través del sistema de alimentación de red.

El sistema de alimentación de red está compuesto por rectificador, circuito intermedio de corriente continua y sistema de inversores modular. De esta forma garantizamos el máximo rendimiento energético con una alta compatibilidad de red. Esto provoca que las características eléctricas del generador síncrono en anillo no limiten el comportamiento del aerogenerador, ya

sea en una red de distribución o de transporte. La velocidad de giro, excitación, tensión de salida y frecuencia de salida del generador en anillo pueden cambiar según la velocidad de viento. De este modo, la energía obtenida del viento puede aprovecharse de manera óptima incluso en el rango de carga parcial.

### 5.1.1 Partes del aerogenerador

Los elementos principales de un aerogenerador de gran potencia, tripala de eje horizontal orientado a barlovento, son:

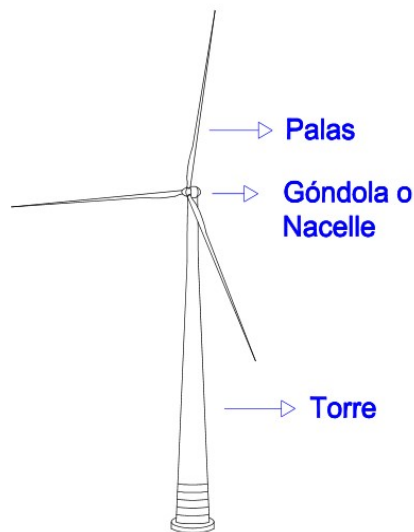


Figura 16. Partes aerogenerador. Fuente: Elaboración propia

#### 5.1.1.1 Palas

Las palas, fabricadas en fibra de vidrio reforzada (GRP; fibra + resina epoxi), determinan en gran medida el rendimiento del aerogenerador así como la emisión de ruidos. La pala del rotor interior es un componente GRP sólido.

La forma y el perfil de las palas del E-141 se han desarrollado de acuerdo con los siguientes criterios:

- Coeficiente de potencia elevado
- Larga vida útil
- Reducida emisión de ruidos
- Cargas mecánicas bajas
- Uso eficiente del material

Como característica especial, hay que destacar que el perfil de las palas se une con la góndola. De este modo, se evitan las pérdidas de flujo de aire que se dan en las palas convencionales. En

combinación con la geometría aerodinámica de la góndola, se obtiene un aprovechamiento del viento claramente optimizado.



FIGURA 17. Pala del aerogenerador.

### 5.1.1.2 Góndola

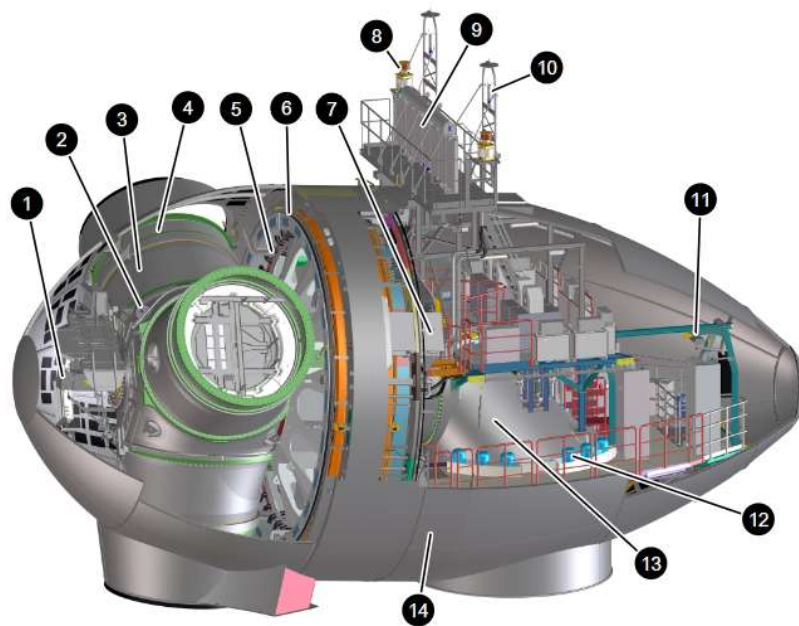


Imagen 2. Partes de la góndola. Fuente: ENERCON

1: Colector

2: Buje

3: Adaptador del buje

4: Adaptador de la pala

5: Rotor del generador

8: Luces de balizamiento (opcional)

9: Sistema de refrigeración de estator  
del generador

10: Anemómetro con pararrayos

11: Manivela

12: Sistema de orientación



6: Estator del generador

13: Transportador principal

7: Soporte del estator

14: Carcasa de la góndola

El buje gira sobre el pasador de eje fijo en 2 direcciones. Además de otros componentes, el rotor de las palas y el del generador están conectados al buje.

El estator del generador es conducido por 6 foques. El anillo deslizante se encuentra en la punta del eje. La energía se transmite de la estación eléctrica a las piezas giratorias de la góndola por medio de los contactos deslizantes.

El soporte del estator se conecta por un pasador a la portadora principal.

Junto con el sistema de conexión principal, el transportador principal es el elemento central para el soporte de la carga de la estructura de la góndola. Todos los componentes del rotor y el generador están unidos a él, directa o indirectamente. El sistema de conexión principal, hace girar la cabeza de la torre por medio del sistema de orientación. Toda la góndola puede girar por el sistema de orientación, de modo que el motor siempre se alinea de forma óptima con el viento.

La carcasa de góndola está hecha de aluminio. Se compone de varias secciones que se conectan al estator del generador, la estructura (de la maquinaria) y el buje (en el área del rotor) a través de perfiles extruidos.

### **5.1.1.3 Torre**

La torre del aerogenerador E -141 EP4 es una torre híbrida montado a partir de dovelas prefabricadas de hormigón y una sección de acero. La parte delgada superior de la torre es de acero, proporcionando más espacio en el interior de la torre además de ser económicamente más barato.

La torre está recubierta y pintada de materiales resistentes a las condiciones climáticas, para su mayor duración. Esto significa que después del montaje no requiere mantenimiento en este sentido, excepto que durante el montaje o transporte haya habido daños.

## **5.2 SISTEMA DE CONTROL DEL AEROGENERADOR**

El sistema de control del E-141 se basa en un sistema de microprocesador que utiliza sensores para comprobar el estado de los componentes del aerogenerador, como son la dirección y la velocidad de viento para, a continuación, adaptar el modo de funcionamiento según corresponda.

El estado actual del aerogenerador y los eventuales fallos aparecen en la pantalla del armario de control de la base de la torre.

### **5.2.1 Control de orientación de la góndola**

En el extremo superior de la torre se encuentra el rodamiento del sistema de control de orientación, que posee una corona dentada en su parte exterior. El rodamiento de orientación permite el giro y la orientación de la góndola.

Si la diferencia de valores entre la dirección del viento y la del eje del rotor es mayor que la del valor máximo admisible predeterminado, se conectan los motores de orientación que orientan la góndola en la dirección del viento. El sistema de control de los motores de orientación garantiza que funcionen y frenen sin sacudidas.

El sistema de control del aerogenerador monitoriza el proceso de orientación de la góndola. Si detecta irregularidades, el control de orientación se desactiva y el aerogenerador se para.

### **5.2.2 Ajuste del ángulo de paso de las palas**

#### **5.2.2.1 Principio de funcionamiento**

El sistema de ajuste del ángulo de paso de las palas modifica el ángulo de ataque con el que el aire sopla sobre el perfil de la pala. Con el ángulo de la pala se modifica la sustentación o empuje de la misma y, con ello, la fuerza con que la pala gira el rotor.

En funcionamiento normal (automático), el ángulo de la pala se encuentra ajustado de tal modo que, por una parte, la energía obtenida del viento se aprovecha de manera óptima, y por otra parte, no se genera ninguna sobrecarga sobre el aerogenerador. Además, este sistema de ajuste permite la frenada aerodinámica del rotor.

Cuando el aerogenerador alcanza su potencia nominal y la velocidad de viento sigue aumentando, el sistema de ajuste gira las palas para colocarlas fuera de la influencia directa del viento, de modo que la velocidad del rotor y la potencia obtenida del viento y transformada por el generador no hagan subir los valores nominales.

#### **5.2.2.2 Estructura**

Cada pala se encuentra equipada con una unidad de ajuste del ángulo de la pala (pitch). Dicha unidad de ajuste se compone de una caja de control de las palas, una caja de relés, un motor de pitch y una unidad de condensadores. Las cajas de control y de relés controlan el motor de pitch. La caja de condensadores almacena la energía necesaria para realizar un ajuste de emergencia del

ángulo de la pala; durante el funcionamiento del aerogenerador se mantiene cargada y dicha carga es comprobada continuamente.

### 5.2.2.3 Ángulo de la pala

El diseño de las palas del E-141 se ha adaptado especialmente al sistema de control del ángulo de paso y velocidad variable.

Las tres palas del rotor se ajustan mediante unidades de control del ángulo de paso independientes, controlados por microprocesadores. Cada ajuste del ángulo de paso se comprueba continuamente mediante la medición de este ángulo y las tres palas del rotor se sincronizan entre sí. Esto significa que el ángulo de paso se puede ajustar en el acto con toda precisión en función de las condiciones del viento predominante.

Las posiciones de la pala (ángulo de la pala) especiales en el E-141 son:

A: 1° Posición normal en modo de funcionamiento a carga parcial: aprovechamiento máximo de viento.

B: 60° Funcionamiento en vacío (a causa de la falta de viento suficiente, el aerogenerador no genera potencia alguna): según la velocidad de viento, el rotor gira a velocidad baja o se queda parado, si hay una falta de viento completa.

C: 92° Posición de bandera (el rotor se ha detenido de manera manual o automática): incluso con viento, las palas no generan empuje; el rotor permanece quieto o se mueve ligeramente.

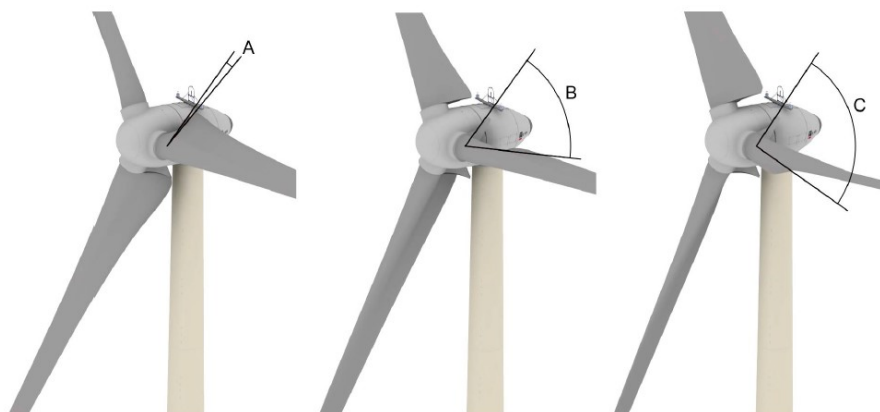


Figura 18. Ajustes de ángulos de pala especiales

### **5.3 ARRANQUE DEL AEROGENERADOR**

La preparación del arranque del aerogenerador empieza con una fase de medición de viento y orientación que dura 150 segundos. Seguidamente el aerogenerador pasa a funcionar en vacío durante 60 segundos.

El proceso de puesta en marcha comienza cuando la velocidad del viento aumenta, si esto no ocurre el aerogenerador seguirá funcionando en vacío por falta de viento.

En el momento del arranque el aerogenerador no produce energía, por lo que consume energía eléctrica de la red hasta el momento en el que el generador alcanza una velocidad de giro suficiente.

### **5.4 SISTEMA DE SEGURIDAD DEL AEROGENERADOR**

El E-141 dispone de una gran cantidad de instalaciones de seguridad que sirven para mantener el aerogenerador funcionando continuamente en condiciones seguras. A los componentes que garantizan una continuidad segura del aerogenerador, se une además un complejo sistema de sensores. Este sistema recoge continuamente todos los estados de funcionamiento relevantes para el aerogenerador y facilita la información correspondiente a través del sistema de control remoto ENERCON SCADA.

Si los parámetros de funcionamiento importantes para la seguridad se encuentran fuera de un rango admisible, el aerogenerador reducirá la potencia o se detendrá.

#### **5.4.1 Dispositivos de seguridad**

##### **5.4.1.1 Seta de parada de emergencia**

En el aerogenerador, las setas de parada de emergencia se encuentran en el armario de control de la base de la torre y en el armario de control de la góndola. El freno del rotor se conecta al accionar una seta de parada de emergencia. Las palas realizan un ajuste de emergencia de su ángulo de posición.

Se sigue suministrando energía a los siguientes elementos:

- Al freno del rotor
- Al sistema de luces de navegación
- Al sistema de iluminación
- A las tomas de corriente

#### **5.4.1.2 Interruptor principal**

Los interruptores principales se encuentran instalados en el armario de control y en el armario de control de la góndola. Cuando se activan, dejan sin tensión a casi todo el aerogenerador.

Se sigue suministrando energía a los siguientes elementos:

- El sistema de luces de navegación
- El elevador
- Las tomas de corriente
- El sistema de iluminación
- La zona de media tensión

#### **5.4.2 Sistema de sensores**

Una gran cantidad de sensores recoge de manera continua el estado actual del aerogenerador y los parámetros relevantes de su entorno (velocidad del rotor, temperatura, velocidad de viento, cargas de las palas, etc.). El sistema de control del aerogenerador evalúa las señales y monitoriza siempre el aerogenerador, de modo que la energía eólica disponible en el momento pueda aprovecharse de manera óptima, y que con ello, quede asegurada la fiabilidad del funcionamiento del mismo.

##### **5.4.2.1 Sensores redundantes**

Para realizar una comprobación del funcionamiento normal mediante la comparación de los valores registrados, se han montado más sensores de los necesarios para algunos estados de funcionamiento (para la medición de la temperatura en el generador).

##### **5.4.2.2 Control de los sensores**

La funcionalidad de todos los sensores se controla regularmente mediante el mismo sistema de control del aerogenerador, mientras este se encuentra en funcionamiento o, en el caso de que este no sea posible, en el transcurso del mantenimiento del mismo.

##### **5.4.2.3 Sistema de control de la velocidad**

El sistema de control regula la velocidad del rotor mediante el ajuste del ángulo de la pala de tal manera que la velocidad no exceda significativamente los valores nominales incluso con viento muy fuerte.

Cuando se supera en más de un 15% la velocidad nominal, el sistema de control del aerogenerador detiene el rotor. Después de tres minutos, el aerogenerador intenta volver a ponerse en funcionamiento de manera automática. Si este fallo se produce más de cinco veces en

un periodo de 24 horas, el sistema de control interpreta la presencia de un fallo y ya no realizará ningún otro intento de arranque.

#### **5.4.2.4 Monitorización de las vibraciones**

El sensor de vibraciones detecta vibraciones y oscilaciones extremadamente fuertes como las que podrían darse a causa de un fallo en el rectificador. Se encuentra montado en la parte inferior del soporte principal del aerogenerador y se compone de microinterruptores distribuidos a lo largo de la circunferencia del monitor del rotor. Si cualquiera de los interruptores se activa debido a que ha caído por debajo de la distancia mínima, el convertidor de energía se detiene y se reinicia automáticamente después de un breve retraso. Si a las 24 horas se repite el fallo, entonces el convertidor de energía se queda detenido hasta que se elimine la causa.

#### **5.4.2.5 Control del entrehierro**

El espacio del entrehierro que queda entre el rotor y el estator del generador es monitorizado mediante microinterruptores que se encuentran distribuidos por el perímetro del rotor. Si alguno de los interruptores se dispara porque no se ha alcanzado la distancia mínima, el aerogenerador se detendrá y poco después volverá a arrancar. Si dicho fallo vuelve a ocurrir en un plazo de 24 horas, el aerogenerador permanece parado hasta que la causa sea eliminada.

#### **5.4.2.6 Monitorización de las oscilaciones**

El sistema de control de oscilaciones detecta las oscilaciones y desviaciones excesivas que se producen en lo alto de la torre del aerogenerador.

Los sensores de aceleración detectan las aceleraciones de la góndola en dirección al eje del buje (oscilación longitudinal) y en sentido transversal al mismo (oscilación transversal).

#### **5.4.2.7 Control de la temperatura**

Los componentes de los aerogeneradores se enfrían mediante un sistema de refrigeración por aire. Además, los sensores de temperatura miden continuamente la temperatura de los componentes del aerogenerador que deben estar protegidos frente a las altas temperaturas.

Con temperaturas demasiado altas, la potencia del aerogenerador se reduce y, si es necesario, este se para. El aerogenerador se enfría y vuelve a funcionar automáticamente tan pronto como los valores registrados se encuentran por debajo de una temperatura límite predeterminada.

A bajas temperaturas, algunos grupos de componentes, como el suministro de alimentación de emergencia de las unidades de ajuste de las palas y el generador, se calientan con el fin de que estén preparados para funcionar.

## 5.5 PARADA SEGURA DEL AEROGENERADOR

- *Parada del aerogenerador mediante el sistema de ajuste del ángulo de la pala (pitch):* Cuando se da un fallo no relevante para la seguridad, el sistema de control del aerogenerador saca las palas fuera de la influencia directa del viento, con lo que estas ya no generan ninguna sustentación y el aerogenerador se detiene de forma segura.
- *Frenada de emergencia:* Se activa cuando se pulsa la seta de parada de emergencia o cuando el rotor están en funcionamiento se activa el bloqueo.

## 5.6 SISTEMA DE CONTROL REMOTO

De manera estándar, todos los aerogeneradores se encuentran conectados con la sucursal de servicio de su región a través del sistema ENERCON SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Esta puede, en cualquier momento, solicitar los datos de funcionamiento de cada aerogenerador y, si fuese necesario, reaccionar de inmediato frente a incidencias y fallos.

Del mismo modo, todos los mensajes de estado se transmiten a través del sistema de la región y quedan almacenados permanentemente. Solo así nos aseguramos de que todas las incidencias provenientes del funcionamiento práctico a largo plazo se puedan integrar en el posterior desarrollo de los aerogeneradores.

La conexión de los aerogeneradores tiene lugar mediante un ordenador personal especialmente preparado para ello (servidor ENERCON SCADA del parque), el cual se suele instalar en uno de los aerogeneradores del parque o en la subestación.

## 6 PRODUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

La producción de energía de un aerogenerador se calcula aplicando la curva de potencia de la máquina elegida a la curva de distribución de velocidades de viento.

Los datos que se han obtenido para desarrollar el estudio son los siguientes:

INTERVALOS (viento m/s)	POTENCIA
0 -1	0,0
1-2	22,0

2-3	104,0
3-4	260,0
4-5	523,0
5-6	920,0
6-7	1471,0
7-8	2151,0
8-9	2867,0
9-10	3481,0
10-11	3903,0
11-12	4119,0
12-13	4196,0
13-14	4200,0
14-15	4200,0
15-16	4200,0
16-17	4200,0
17-18	4200,0
18-19	4200,0
19-20	4200,0
20-21	4200,0
21-22	4200,0
22-23	4200,0
23-24	4200,0
24-25	4200,0

Tabla 4. Intervalos de velocidad del viento. Fuente: catálogo Enercon

En la siguiente gráfica se puede observar la frecuencia (%) y la potencia(Kw) del aerogenerador elegido, respecto a la distribución Weibull de velocidad del viento. Como se ha comentado anteriormente los datos de frecuencia han sido obtenidos del IDAE y la potencia del aerogenerador del catálogo de Enercon.

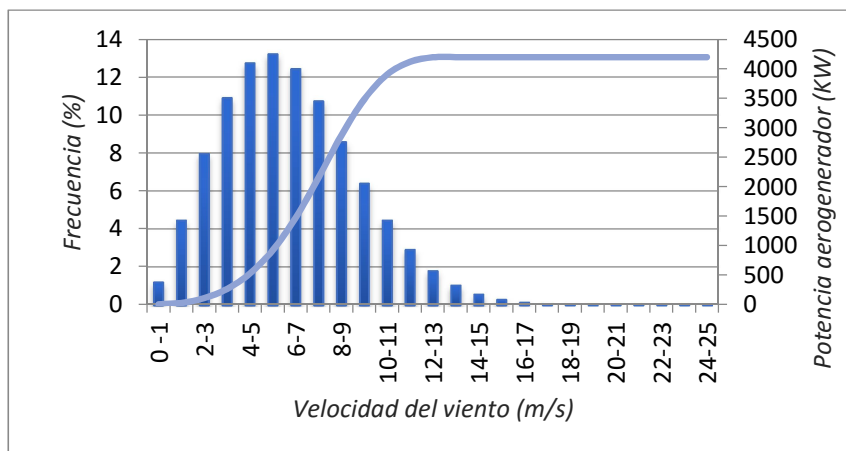


Figura 19. Distribución de velocidades, frecuencia y potencia. Fuente: Elaboración propia



La velocidad a la que se alcanza la potencia nominal del aerogenerador es de 12-13 m/s, es decir, a partir de esta velocidad, la potencia producida por el aerogenerador se mantiene constante a 4.200KW.

La producción de potencia se ha calculado para un periodo de un año, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Producción anual (MW)	Producción anual máxima (MW)	Factor de potencia (%)	Horas equivalentes
13753,7	36792,0	37,4	3274,7

Tabla 5. Producción aerogenerador E-141. Fuente: elaboración propia

Para que la producción sea rentable, se aconseja que el factor de potencia sea mayor a 20 %, por lo que un resultado de 37,4% es muy bueno.

## 7 DISEÑO DE LA DISPOSICIÓN EN PLANTA DEL PARQUE

### 7.1 DISPOSICIÓN DE LOS AEROGENERADORES

Para la distribución de los aerogeneradores, (de potencia 4.200KW y diámetro de rotor de 141 m), se ha tenido en cuenta las distancias recomendadas de separación entre aerogeneradores dentro de una misma alineación de 2,5 veces el diámetro del rotor y para la separación entre alineaciones de 7,5 veces el diámetro del rotor. Estas distancias son las recomendadas por el IDAE.

Los cálculos realizados quedan resumidos en la siguiente tabla:

Distancia entre aerogeneradores			
2,5x Diámetro	Nº de espacios	nº máquinas	
352,5	2,14751773	2	3
Dirección Línea principal viento			
7,5xDiámetro	Nº de espacios	líneas	
1057,5	0,49967053	0	1

Tabla 6. Nº Aerogeneradores. Fuente: elaboración propia

Como resultado se obtiene que se instalarán tres aerogeneradores, distribuidos en una alineación perpendicular a la componente con más energía del viento que indica la rosa de vientos, con una separación de 352.5 metros entre los bujes de ellos.

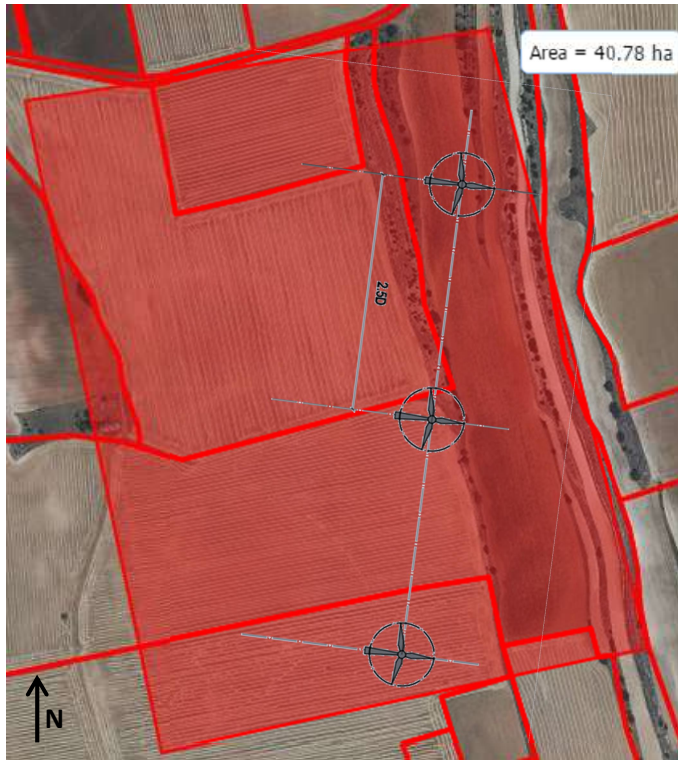


Figura 20. Disposición en planta de los aerogeneradores

## 7.2 CONFIGURACIÓN DE SISTEMA ELÉCTRICO

### 7.2.1 Sistema de gestión de red

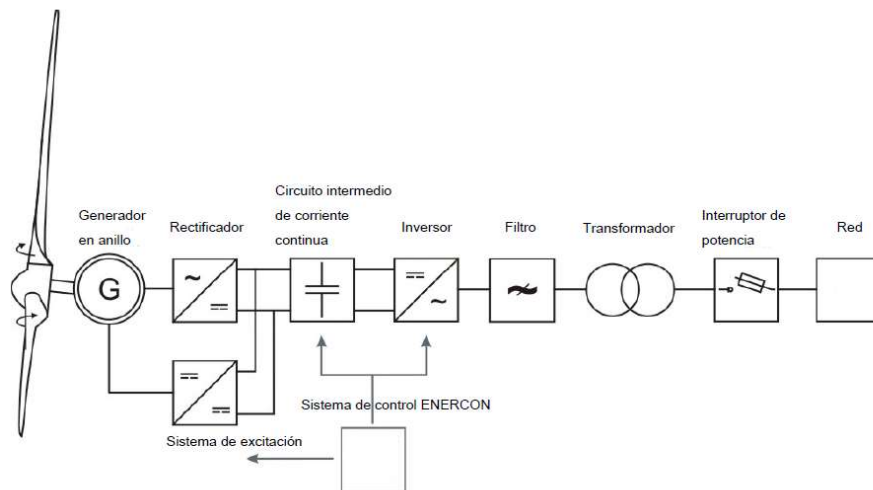


FIGURA 21. Gestión de red

### **7.2.1.1 Generador en anillo y flujo de energía**

El E -141 EP4 está equipado con un generador síncrono de excitación independiente asimétrica (generador anular) multipolar. El convertidor de energía eólica funciona a velocidades variables con el fin de explotar plenamente el potencial de la energía eólica en todas las velocidades del viento. El campo magnético generado por la corriente de excitación en el rotor del generador induce una corriente alterna (CA) con diferente voltaje, la frecuencia y la amplitud en el estator del generador.

El estator del generador consiste en 2 secciones separadas del estator. Los devanados del estator en cada sección forman cuatro sistemas trifásicos de corriente alterna que son independientes entre sí. Estos 8 sistemas de corriente alterna, son cada uno independientemente rectificadas en la góndola y se reducen a 4 sistemas de tensión continua mediante la fusión de la conexión en las salidas de rectificador.

Los sistemas de tensión de corriente continua (CC) están conectados a las 4 barras de distribución de CC en el módulo E a través de los cables de la torre. Después de haber sido convertida en corriente trifásica, cuya tensión, frecuencia y posición de fase se ajustan a la red, las salidas de los armarios de potencia se combinan 2 sistemas de barras 2 para CA y luego se ajustan al nivel de tensión de utilidad de la rejilla de la empresa por un transformador de media tensión cada uno. En consecuencia, el generador anular no está conectado directamente a la red eléctrica que recibe de la compañía de servicios públicos; en cambio, éste se encuentra totalmente desacoplado de la red por el sistema de alimentación de red de ENERCON.

### **7.2.1.2 Configuración FT**

El E-141 se encuentra equipado de serie con la tecnología FACTS, la cual cumple con los más altos requisitos de los códigos específicos de red. Esta tecnología permite superar fallos de red (subtensión, sobretensión, interrupciones, etc.) con una duración de hasta 5 segundos (FT = FACTS + FRT-Fault Ride Through) y mantener el aerogenerador conectado a la misma durante dicho periodo de tiempo.

Si la tensión medida en el punto de referencia supera un valor límite determinado, el aerogenerador cambia de modo de funcionamiento normal a un modo especial de funcionamiento en caso de fallo.

Una vez se ha eliminado el fallo, el aerogenerador vuelve al funcionamiento normal y alimenta en la red la potencia disponible. Si los valores de la tensión no vuelven a encontrarse dentro del

rango de funcionamiento admisible para el funcionamiento normal en un periodo de tiempo determinado (5 segundos como máximo), el aerogenerador se desconectará de la red.

Durante la superación de un fallo de red, existen varios modos de fallo con diferentes estrategias para generar una corriente reactiva adicional durante dicho fallo de red. Las estrategias de control incluyen, a su vez, diferentes posibilidades de ajuste para los tipos de fallo.

La elección de una estrategia de control adecuada se basa en las condiciones específicas del proyecto y de la conexión a red, las cuales deberán ser confirmadas por el operador de red responsable de ello.

### **7.2.1.3 Control de potencia - frecuencia**

En el caso de que la frecuencia aumente puntualmente debido a un fallo de red, los aerogeneradores pueden reducir dinámicamente su producción de potencia con el fin de contribuir a la recuperación del equilibrio entre la red generadora y la de transmisión.

La potencia activa generada por los aerogeneradores puede limitarse estando estos en funcionamiento normal. En el caso de que la frecuencia disminuya, la potencia reservada servirá para estabilizar la frecuencia. Este sistema de regulación se adapta a las diferentes necesidades.

### **7.2.2 Centro de transformación.**

El centro de transformación (CT) se encuentra ubicado en el interior del aerogenerador junto con las celdas de media tensión, en la parte inferior de la torre. Cada aerogenerador cuenta con su propio CT.

Los aerogeneradores producen energía a baja tensión, por lo que se hace necesaria la instalación de un centro de transformación cuyo objetivo es pasar la tensión de BT a MT.

La energía que llega al transformador es corriente alterna trifásica con una potencia constante de 690 V y, una vez en éste se eleva a MT, 20.000V evitando la construcción de una caseta exterior.

Los elementos principales son los siguientes:

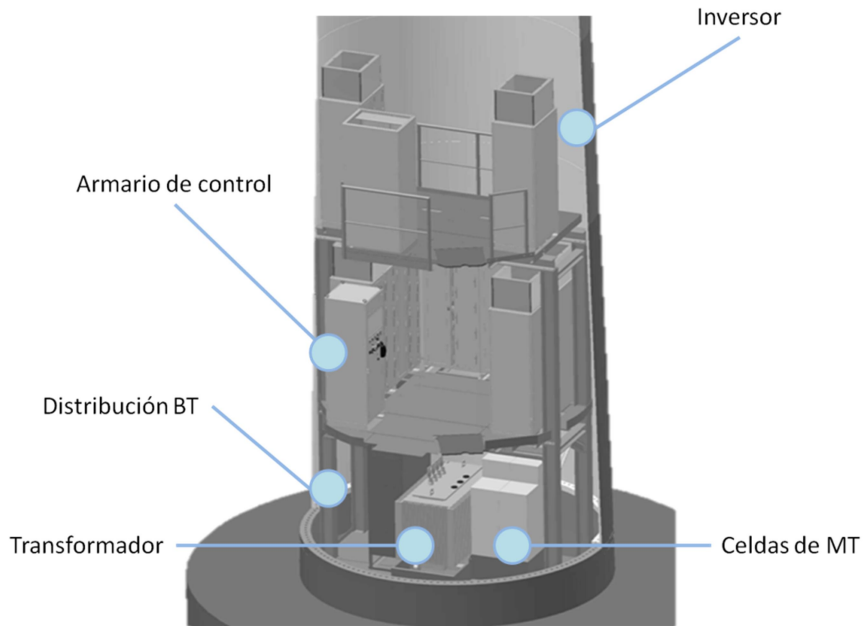


Figura 22: Centro de transformación ENERCON E-141

- Inversor

Su objetivo principal es transformar la corriente continua a corriente alterna.

- Cuadro de distribución BT

Es el punto de conexión entre el armario de control y el transformador de potencia.

- Celdas de MT

Están constituidas por un equipo compacto de celdas, en las que se encuentran los elementos de corte y maniobra, con aislamiento Hexafluoruro de azufre (SF6), un compuesto con una elevada constante dieléctrica. Este tipo de aislamiento proporciona un nivel de seguridad en operaciones del sistema.

- Armario de control

Del mismo modo que en la góndola, es el armario donde se encuentran todos los dispositivos de seguridad tales como la seta de parada de emergencia o el interruptor.

- Transformador

Es el corazón del centro de transformación del aerogenerador, en él se produce la elevación de la tensión a 20.000V.

- Cableado

Se colocan cables de BT que conectan el armario de control con el cuadro de distribución y cables de MT entre el transformador y las celdas de media tensión.

- Los **cables de media tensión** son parte del cableado interno del parque eólico, pasan a través de los tubos de la cimentación hasta alcanzar la **celda de media tensión**.

### 7.2.3 Subestación

La subestación del parque debe contar con una potencia de 12.600 Kw, ya que es la potencia instalada en el parque.

La línea de media tensión de 20 kV transporta la energía generada de cada aerogenerador hasta la subestación del parque. El transformador del parque eólico, instalado en la subestación, eleva la tensión para transportar la energía hasta el punto de conexión a la red.

Respecto al emplazamiento, se ha decidido situarla lo más alejada posible de los aerogeneradores, x lo que se ha diseñado a una distancia de 420 m en línea recta del aerogenerador más cercano.

### 7.2.4 TRAZADO DE LAS CONEXIONES

Los aerogeneradores que forman el parque eólico están conectados en media tensión (20KV), así se disminuyen las pérdidas hasta llegar a la subestación eléctrica, en la que eleva la tensión para la conexión a la red.

Para el trazado de las conexiones se ha tenido las distancias entre aerogeneradores, así como también la distancia de ellos a la subestación.

Una vez realizado el trazado de las conexiones, se debe dimensionar la sección de los cables de las líneas de MT, en función de los requerimientos de la compañía a la que pertenece la red a la que se conectaría el parque. En este caso la compañía es IBERDROLA, por lo que se ha aplicado la normativa MT2.31.01.

La línea del transformador a la subestación consta de un tendido de haz de cable (12/20 kV tipo HEPRZ1) 240mm<sup>2</sup> Al, entubados con una sección de 240mm<sup>2</sup>. El cálculo de la sección se encuentra en el anexo cálculos.

Según el diseño realizado es necesario:

- 3 canalizaciones para 2 tubos de 160mm  $\emptyset$ , con una longitud de 100m cada una.
- Una canalización para 2 tubos de 160mm  $\emptyset$ , con una longitud de 352,50m.
- Una canalización para 4 tubos de 160mm  $\emptyset$ , con una longitud de 352,50m.
- Una canalización para 6 tubos de 160mm  $\emptyset$ , con una longitud de 320m.

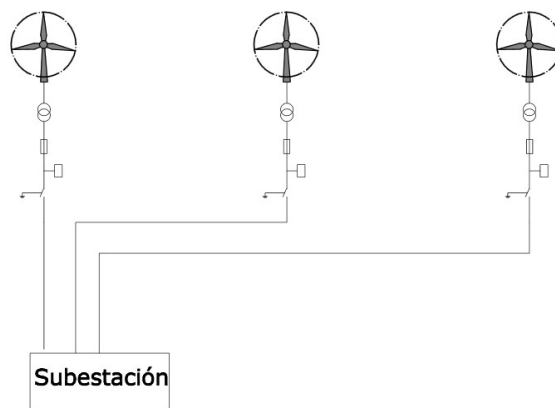


FIGURA 23. Conexiones

## 8 OBRAS SINGULARES

### 8.1 CIMENTACIÓN

En el Mapa Geológico se representa la naturaleza de los materiales (rocas y sedimentos) que aparecen en la superficie terrestre, su distribución espacial y las relaciones geométricas entre las diferentes unidades cartográficas. Según el Mapa Geológico Nacional (MAGNA) nos encontramos con un afloramiento alternando arcillas y calizas. Depende de dónde situemos la línea de aerogeneradores podemos tener una clase de terreno u otra.

En el resultado de los cálculos se observará que en el caso de las arcillas, el coeficiente de seguridad frente a hundimiento no cumple, por lo que el terreno no soportará la carga. En este caso se debería realizar una cimentación mediante pilotes.

Los cimientos de la torre garantizan la estabilidad de la turbina eólica, la sujeción de la góndola y los álabes del motor. Los cimientos también absorber los empujes causados por la variación y potencia del viento.

La cimentación de los aerogeneradores ha sido facilitada por la empresa enercon. La cimentación que han proporcionado es una cimentación tipo para un aerogenerador E-141, con una altura de buje de 129,05 metros. Se trata de una zapata de hormigón C30/37 con armado de acero B500 B, circular con un diámetro de base de 26.30m y una altura de 3,85 m.

No es objeto de este proyecto haber realizado un estudio geotécnico del terreno de la zona elegida, aunque cabe decir, que para llevar a cabo el proyecto habría que realizarlo. Por lo que

para realizar las comprobaciones algunos de los parámetros son supuestos. Estos parámetros están especificados en el anexo Cálculos de cimentación.

Las comprobaciones principales según la Guía de cimentaciones en obras de carretera, son las siguientes:

- **Hundimiento**

El modo de fallo denominado «hundimiento» se produce cuando la capacidad de soporte del terreno es inferior a la carga que transmite la cimentación al terreno. En tales circunstancias, tanto el elemento de cimentación (zapata) como el terreno situado inmediatamente debajo experimentan movimientos inadmisibles que arruinan la construcción que estaban soportando. Este modo de fallo puede idealizarse mediante superficies de rotura que parten del plano de apoyo, profundizan en el terreno y se incurvan hasta volver a emerger a cierta distancia de la cimentación.

- **Deslizamiento**

Este mecanismo o modo de fallo ocurre cuando las tensiones de corte en el plano de contacto terreno-zapata (o en general, terreno-base del elemento de cimentación) igualan o superan la resistencia al corte de dicho contacto. Se produce entonces un desplazamiento inadmisibles de la cimentación respecto al terreno de apoyo.

- **Vuelco**

Las cimentaciones superficiales sometidas a cargas excéntricas respecto al centro de gravedad de su área de apoyo pueden alcanzar un estado límite último cuando el punto de paso de la resultante de las acciones se aproxima al borde de la cimentación. Este modo de fallo consiste en el giro excesivo del elemento de la cimentación y, por ende, de la estructura a la que sustenta.

Las comprobaciones se encuentran realizadas en el anexo Cálculos.

## **8.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA**

La conducción de las líneas es enterada. Para ello se diseñan unas zanjas según las recomendaciones de Iberdrola.

Según el diseño realizado es necesario:

- 3 zanjas de 0.35x0.80 con 2 tubos de 160mm  $\emptyset$ , con una longitud de 100m cada una.
- Una zanja de 0.35x0.80 para 2 tubos de 160mm  $\emptyset$ , con una longitud de 352,50m.
- Una zanja de 0.35x0.90 para 4 tubos de 160mm  $\emptyset$ , con una longitud de 352,50m.



- Una zanja de 0.50x0.90 para 6 tubos de 160mm Ø, con una longitud de 320m.

Se adjunta detalle de las zanjas en el anexo planos.

## **9 MANTENIMIENTO DEL PARQUE**

Para asegurar el funcionamiento continuo seguro y óptimo del aerogenerador, este debe pasar una serie de mantenimientos en plazos determinados.

### **9.1 Periodicidad**

Anualmente se llevan a cabo un mantenimiento mecánico, un mantenimiento visual, un mantenimiento de engrase y un mantenimiento eléctrico. Dichos mantenimientos se reparten durante el año de manera que el aerogenerador es controlado una vez cada trimestre.

El primer mantenimiento debe realizarse una vez alcanzadas 300 horas de funcionamiento después de la puesta en marcha.

### **9.2 Mantenimiento visual**

Durante el mantenimiento visual, el aerogenerador se inspecciona en busca de daños (por ejemplo, cables o palas dañados) y se presta mucha atención a ruidos extraños o inusuales (como los ruidos del rodamiento).

### **9.3 Mantenimiento de engrase**

Adicionalmente al mantenimiento visual, durante el mantenimiento de engrase se rellenan o reemplazan los depósitos de los componentes de engrase y se lubrican las juntas.

### **9.4 Mantenimiento mecánico**

Adicionalmente al mantenimiento de engrase, en el mantenimiento mecánico se revisan y comprueban los siguientes puntos:

- Uniones atornilladas (en especial las de las palas) y cordones de soldadura
- Pares de apriete (mantenimiento 300 horas)
- Motores de orientación y de pitch
- Escaleras de seguridad
- Sistema de refrigeración de la torre
- Piezas portantes
- Freno del rotor
- Palas (inspección visual realizada desde la cubierta superior de la góndola)

## **9.5 Mantenimiento eléctrico**

Dentro del mantenimiento eléctrico se vigilan y comprueban entre otros:

- Sensores, detectores, dispositivos de medición, teclas, interruptores y fusibles
- Desconexión por sombras y optimización del ruido (según equipamiento)
- Interruptor de sobrevelocidad y ajuste de emergencia de las palas
- Transmisión (según equipamiento)
- Exactitud de los ángulos de orientación y de la pala
- Proceso de arranque y estado del software
- Circuitos de liberación y seguridad
- Cables y conexiones
- Protección contra rayos y puesta a tierra

## **10 ESTUDIO ECONÓMICO**

El estudio económico consta de 3 partes, presupuesto de la obra, previsión de producción y rentabilidad. En anexo 3 de este documento se describen tanto las unidades de obra del PEM los impuestos y gastos.

### **10.1 PRESUPUESTO DE LA OBRA**

Los costes de inversión del parque se han dividido en 3 apartados:

**OBRA CIVIL:** Formado por el presupuesto de ejecución material (PEM).

**GASTOS DE RECUPERACIÓN:** son gastos para recuperar el terreno afectado.

**GASTOS DE GESTIÓN DE ESTABLECIMIENTO:** engloba aquellos gastos de gestión para llevar a cabo el proyecto, además de gastos relativos al coste de PEM y de recuperación.

UD.	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTE UNITARIO (€)	IMPORTE (€)
-----	-------------	----------	--------------------	-------------

**Presupuesto de Ejecución Material (PEM)**

<b>OBRA CIVIL</b>				
MW	Instalación completa del aerogenerador	12,60	1.000.000,00	12.600.000
m2	Despeje y desbroce del terreno	300.000,00	0,23	69.000
m3	Excavación todo tipo de terrenos	11.432,00	4,91	56.131,12
m3	Relleno con material excavación	322,17	1,20	386,60
m3	Relleno arena	173,00	2,30	397,90
m3	Viales interiores	65.300,00	1,20	78.360,00
nº aero	Señalización	3	1.100,00	3.300,00
m	Tendido de haz de cable hasta 240mm² Al	2.317,50	7,70	17.844,75
m	Cable 12/20 kV tipo HEPRZ1 240 mm² Al	2.317,50	6,10	14.136,75
MW	subestación	12,60	120.000,00	1.512.000,00
			<b>OBRA CIVIL</b>	<b>14.351.557,12</b>

<b>GASTOS DE RECUPERACIÓN</b>				
nº parque	Seguridad y Salud	1	8.000,00	8.000,00
Ha	Aporte de tierra vegetal	30,00	3.600,00	108.000,00
Ha	Hidrosiembra	30,00	810,00	24.300,00
			<b>G. RECUPERACION</b>	<b>140.300,00</b>

<b>PEM</b>	<b>14.491.857,12</b>
------------	----------------------

<b>GASTOS DE GESTIÓN DE ESTABLECIMIENTO</b>				
%PEM	Impuestos sobre construcciones, instalaciones y obras	4%		579.674,28
%PEM	Tasa licencia de obras	6%		869.511,43
%PEM	Cuota de ocupación del suelo	2%		289.837,14
Ud.	Estudio geotécnico	1	2.000,00	2.000,00
Ud.	Estudio de Impacto Ambiental	1	2.300,00	2.300,00
			<b>G. GESTIÓN</b>	<b>1.743.322,85</b>

%PEM	BENEFICIO INDUSTRIAL	6%		869.511,43
%PEM	GASTOS GENERALES OBRA	5%		724.592,86

<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>17.829.284,26</b>
------------------------	----------------------

## 10.2 PREVISIÓN DE PRODUCCIÓN

La producción del parque eólico se ha estudiado para un periodo de 25 años, ya que, es la vida útil que tiene los aerogeneradores E-141.

La producción esperada anual es de 13.753,7 MW/h por aerogenerador, por lo que la producción del parque es de **41.261,1 MW/ h**.

Aplicamos un coeficiente de pérdidas del 20%, en el que incluimos parada por falta de viento, parada por fallo del sistema, incertidumbre de la producción, transformación y transporte, ajuste de la curva de potencia y revisión del aerogenerador.

Con todo esto la producción esperada del parque es de **33.008,88 MW/h año**.

### **10.3 RENTABILIDAD**

El parque empieza a generar beneficio en el momento de su puesta en marcha, esto está previsto para el 2017. En el primer año al beneficio hay que añadirle **63.384€** de retribución a la inversión.

Según la Orden IET/2212/2015, el coste del MWh producido a partir del 2017, se puede estimar en 52€.

Los gastos son estimados en un 6% del beneficio de la producción, mientras que para los impuestos se ha contado con el importe que se paga por MWh producido y el 7% del IVPP.

A la hora de calcular la viabilidad, se ha usado el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno). Ambos conceptos se basan en lo mismo, y es en la estimación de los flujos de caja que tenga la empresa (simplificando, ingresos menos gastos netos).

Si analizamos los datos obtenidos de la tabla 8, observamos que el VAN es positivo, con un TIR de un 7%, esto quiere decir que, la mínima rentabilidad que hay que exigir al parque es del 7%.

Estudio de soluciones para la construcción de un parque eólico

Año	Inversión	Producción MW/h año	Precio €/ KWh	Ingresos	Gastos (6%)	Beneficio antes de impuestos	Impuestos	FLUJO DE CAJA	FNC actualizado (VAN)
2016	17.829.284,26								-17.829.284,26
2017		33.008,88	52,00	2.515.100,16	102.987,71	2.364.194,15	192.561,45	2.171.632,70	2.088.108,36
2018		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	1.365.400,60
2019		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	1.312.885,19
2020		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	1.262.389,61
2021		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	1.213.836,16
2022		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	1.167.150,16
2023		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	1.122.259,77
2024		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	1.079.095,93
2025		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	1.037.592,24
2026		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	997.684,85
2027		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	959.312,35
2028		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	922.415,72
2029		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	886.938,20
2030		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	852.825,19
2031		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	820.024,22
2032		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	788.484,83
2033		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	758.158,49
2034		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	728.998,54
2035		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	700.960,14
2036		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	674.000,13
2037		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	648.077,05
2038		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	623.151,01
2039		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	599.183,66
2040		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	576.138,14

2041		33.008,88	52,00	1.716.461,76	102.987,71	1.613.474,05	136.656,76	1.476.817,29	553.978,98
								<b>TOTAL VAN</b>	<b>5.986.147,97</b>
								<b>TIR</b>	<b>7%</b>

Tabla 7. Rentabilidad. Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, según el análisis de rentabilidad que se ha realizado, teniendo en cuenta tanto los ingresos como los gastos asociados al funcionamiento del mismo, está previsto recuperar la inversión en un plazo de 12 años desde el inicio de su actividad.

## 11 VALORACIÓN DEL RESULTADO

La valoración del resultado se ha elaborado de manera conjunta, puesto que, se ha realizado una comparación de las 3 alternativas de aerogeneradores, para así elegir la más rentable.

	Producción MWh	Coste del proyecto (€)	€/MWh	Amortización	TIR	VAN
E-53	22049,24	14810920,35	55,98	15	5%	>0
E-92	34507,84	23124491,94	55,84	15	5%	>0
E-141	33008,88	17752901,55	44,82	12	7%	>0

Tabla 8: Resumen estudio de producción y económico de las alternativas

En primer lugar, la adopción de cualquiera de las tres alternativas resultaría rentable ya que su VAN es positivo.

Para la elección de la alternativa nos hemos guiado por el precio de MWh, obtenido de la relación entre el coste del proyecto y la producción neta anual, por el período de amortización y la rentabilidad (TIR).

De la observación de los resultados se escoge la instalación de los aerogeneradores del E-141, ya que el precio por MWh es 10€ inferior a las otras dos alternativas, además el período de amortización es 3 años inferior obteniendo una rentabilidad mayor (7%).

## 12 CONCLUSIÓN

En este documento se ha llevado a cabo un análisis del recurso eólico, las características y parámetros que lo definen para seleccionar el emplazamiento adecuado para la ubicación del parque eólico y estudiar en mayor detalle el recurso eólico de la zona. De acuerdo a este recurso, el aerogenerador elegido ha sido el E-141, del que se ha estudiado su producción y rentabilidad.

Posteriormente al estudio se llega a la conclusión de que las energías renovables son una gran inversión, además de ser energías limpias, es decir, que no causan residuos y por lo tanto, no dañan el medio ambiente.

En la comparación de los resultados obtenidos de rentabilidad con los estudios de las otras dos alternativas se puede decir, que si hubiese que llevar a cabo el proyecto de construcción se

elaborará con el aerogenerador E-141, dado que es el del aerogenerador que más beneficio se puede obtener, según el precio acorde al mercado.

### 13 BIBLIOGRAFIA

- A, Canterbury, E., Duraiappah, A. K., Naeem, S., Agardy, T., Ash, N. J., MEA. (2013). No Title No Title. *Ecosystems and Human Well-being: A Framework for Assessment*, 12(16), 81-87. <http://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Álvarez, C. (2006). Manual de Energías Renovables - Energía Eólica. *Idae*, 1-180.
- Bayón Gómez, R., Cebadera Miranda, L., & Del Castillo Gómez, R. (s. f.). Diseño de un parque eólico de 6 MW, 71.
- Curve, P., & Mw, E. E.-(2011). Power Curve ENERCON E-92 2.3 MW, 92.
- Density, A.(2016). Power Curve E-141 EP4 4200 kW OM0s, 3-4.
- Directive, G. E.(2009). Technical Description, 1-8.
- Electrotecnia, A. (2011). Tema 6. Instalaciones de distribución 1, 1-25.
- Enercon, A. (s. f.). Descripción técnica.
- España. (2014). Boletín Oficial del Estado (BOE), 39355-39357.
- Government of Spain. (2012). Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética. *Boletín Oficial de Estado*, 312, 88081-88096. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hacienda, M. De. (2015). Lrhl 2/2004, 1-101.
- I, W. Z. G. K., Richtlinie, G. K. I. I. D.-, Oktober, F., I, W. Z. G. K., Ii, G. K., & En, D. I. N. (2012). Fundamentdatenblatt Foundation Data Sheet Flachgründung mit Auftrieb Flat Foundation with Buoyancy, 2-7.
- Ingeniería, I. D. E. E. E. (2007). Septiembre de 2007, 1-43.
- Lareo, A. P., & Filgueiras, C. S. A. A. (2013). Grado en Ingeniería Eléctrica.
- Ministerio de Educación, C. y D. (2015). Boletín oficial del estado. *Resolución del 24 de Julio de 2015, de la Secretaría de Estado de Educación, Formación Profesional y Universidades, por la que se convocan ayudas para alumnado con necesidad específica de apoyo educativo, para el curso académico 2015-2016.*, (183), 60502-60511.



- Ministerio de Industria Turismo y Comercio. (2011). Real Decreto 1544/2011, de 31 de octubre, por el que se establecen los peajes de acceso a las redes de transporte y distribución que deben satisfacer los productores de energía eléctrica. *Boletín Oficial de Estado*, 276, 118002-118009.
- Molinero Benítez, A. (2009). Proyecto de un parque eólico, 296.
- Mw, S. (2014). Gama de aerogeneradores.
- Ve, I. C.(s. f.). Technical specifications, 2-3.
- Componentes del precio del recibo de la luz - mifakturadeluz.com. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2016, a partir de <http://mifakturadeluz.com/componentes-del-precio-del-recibo-de-la-luz/>
- Energía eólica: ventajas e inconvenientes. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2016, a partir de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/eolica/energia-eolica-ventajas-inconvenientes/>
- MT\_2.31.01\_6\_jul09.pdf.(s. f.).
- Residuos nucleares. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2016, a partir de [http://energia-nuclear.net/residuos\\_nucleares.html](http://energia-nuclear.net/residuos_nucleares.html)
- Energía eólica - Fuente de energía renovable. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2016, a partir de <http://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-eolica/#>
- D0432206-1.(2007), 432206.
- Weights of Transport and Assembly Units. (s. f.), 490927.
- EL RÉGIMEN DE APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA EÓLICA EN CASTILLA-LA MANCHA. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2016, a partir de [http://huespedes.cica.es/gimadus/21/02\\_el\\_regimen\\_de\\_aprovechamiento.html](http://huespedes.cica.es/gimadus/21/02_el_regimen_de_aprovechamiento.html)
- Mapas de la red | Red Eléctrica de España. (s. f.). Recuperado 1 de junio de 2016, a partir de <http://www.ree.es/es/actividades/gestor-de-la-red-y-transportista/mapas-de-la-red>
- Endesa distribución - endesadistribucion.es. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2016, a partir de <http://www.endesadistribucion.es/es/Paginas/Home.html>
- Las ventajas | Asociación Empresarial Eólica. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2016, a partir de <http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/las-ventajas/>
- Energías renovables, una apuesta decidida de Castilla-La Mancha - Noticias de Entrevistas y Reportajes - La Cerca. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2016, a partir de [http://www.lacerca.com/noticias/reportajes/energias\\_renovables\\_castilla\\_la-23295-1.html](http://www.lacerca.com/noticias/reportajes/energias_renovables_castilla_la-23295-1.html)

La eólica y el precio de la luz | Asociación Empresarial Eólica. (s. f.). Recuperado 31 de mayo de 2016, a partir de <http://www.aeeolica.org/es/sobre-la-eolica/la-eolica-y-el-precio-de-la-luz/>

Maquinaria hidráulica Tipos de turbinas. (s. f.).