

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA
INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE GRADO

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Alumno/Alumna: Jon González Mancisidor

Director/Directora: Margarita Herranz Soler

Curso: 2017/2018

Fecha: 15/06/2018

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

RESUMEN

Este informe consiste en la realización de un estudio detallado de la repotenciación de un parque eólico. En un primer lugar, se explica en un contexto general la situación de la energía eólica en el estado español y en particular la repotenciación. Centrándose en el caso concreto del parque escogido se presenta un análisis de la ubicación del parque eólico actual y de sus instalaciones. El parque cuenta con 49 aerogeneradores de 850 kW.

Es imprescindible realizar un análisis del recurso eólico del lugar para evaluar la conveniencia de repotenciar el parque. Este estudio se fundamenta en el uso de datos adquiridos a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y se registran valores de velocidad de viento apropiados. Los cálculos realizados estiman que en la actualidad el parque produce 158.875 MWh, suficiente para abastecer alrededor de 150.000 personas.

La intención del proyecto es aumentar dichos resultados y para ello se evaluara la opción de sustituir los aerogeneradores actuales por unos de mayor potencia. Para ello, se escoge entre una serie de modelos de los tres principales fabricantes. Tras un estudio exhaustivo de las características de cada uno ellos se concluye que los aerogeneradores G132/5000 son los más adecuados.

Como resultado de este trabajo se reseña que la reconstrucción del parque consistiría en 14 turbinas de este tipo, que se estima producirán una energía de 295.485 MWh. La repotenciación del parque conllevaría también la redistribución de las nuevas turbinas, la obra civil a realizar y la mejoras de ciertas infraestructuras.

Por último, un pilar fundamental en la presentación de cualquier proyecto es la evaluación de la viabilidad del mismo y se determinarán una serie de estudios económicos como ambientales. Según dichos estudios y los resultados obtenidos, la repotenciación del parque se puede calificar como viable en todos los ámbitos.

Palabras clave: repotenciación, parque eólico, recurso eólico, aerogenerador, viabilidad.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

ABSTRACT

This report aim is to assess the repowering of a wind farm. First of all, it is explained in a general context the current situation of wind energy in Spain and in particular the repowering process. Focusing on case involving this project, an analysis of the location and facilities of the current wind farm is presented. The farm has 49 wind turbines type G58/850.

It is essential to carry out an analysis of the wind resource of the area in order to evaluate the advisability of repowering the farm. Actually, the data acquired from the IDAE records that wind speed values are quite appropriate. Nowadays, the energy production of the park is around 158.875 MWh according to assumptions made before and can supply around 150.000 people.

The purpose is to increase these result. Therefore, it will be studied the option of choosing higher power wind turbines from three different manufacturers. After an exhaustive study of the principal characteristics of these turbines, it is concluded that G132/5000 wind turbines are the most suitable ones.

This work results assume that reconstruction of the park will be based on 14 turbines of that type. According to some estimation the park will provide an annual energy generation of 295.485 MWh. The repowering will also entail the redistribution of the new turbines as well as the civil works and the improvement of some road infrastructures.

Finally, an important part of any project is the assessment of the viability. On the one hand, promoters must ensure that they fulfill all legal guarantees. On the other hand, some economic and environmental studies will be determined. According to them and the results obtained, park's repowering can be possible.

Keywords: repowering, wind farm, wind resource, wind turbine, viability.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

LABURPENA

Informe honek haize-parke baten berrindartzearen ikerketa aurkezten du. Lehenik eta behin, Espainiar estatuko energia eolikoaren egoera azaltzen da eta bereziki berrindartzearena. Aukeratutako parkean arreta jarriz, bere kokapeneko eta instalazioen analisia azaltzen da. Parkeak 850 kW-ko 49 haize-sorgailu ditu.

Ezinbestekoa da parkea berrindartzearen ahaleran, leku horren baliabide eolikoaren analisi zehatza egitea. Ikerketa honek IDAE organizazioak aurkitutako datuetan oinarritzen da eta horren arabera, haize abiaduraren balio egokiak erregistratzen direla aipa daiteke. Gaur egun, parkearen ekoizpen energetikoa 158.875 MWh-koa da eta 150.000 pertsona hornitu dezake.

Proiektu honen asmoa aipatutako emaitzak handitzea da eta horretarako potentzia handiagoko haize -sorgailuak aztertuko dira, hiru fabrikatzaile desberdinen artean. Haien ezaugarrien ikerketa sakon baten ondoren, G132/5000 haize-sorgailuak hautatu egin dira, egokienak baitira.

Lan honen ondorioz, berreraikitzeak mota horretako 14 turbina izango dituela azaltzen da eta horrek 295.485MWh urteroko energia ekoiztuko luke. Horrez gain, parkearen berrindartzeak turbina berrien antolakuntza zehazteak dakar, baita lan zibila eta azpiegitura batzuen hobekuntza.

Azkenik, edozein proiekturen aurkezpeneko funtsezko oinarria beraren bideragarritasunaren ebaluazioa da. Batetik, sustatzaileek lege guztiak betezen dituztela bermatu behar dute. Bestalde, ingurumenari eta ekonomiari buruzko ikerketak aurkeztu beharko dira.

Ikasketa hoi arabera, parkearen berrindartzeak aurrera eraman daitekeela adierazten da.

Hitz gakoak: berrindartzea,parke eolicoa, baliabide eolikoak, haize-sorgailu, bideragarritasuna.

ÍNDICE DEL TRABAJO

CÁPITULO 1-INTRODUCCIÓN	10
1.1-Contexto.....	10
1.2-Objetivos y Alcance del Trabajo.....	11
1.3-Beneficios del Trabajo.....	12
CÁPITULO 2-ESTADO DEL ARTE: DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN ESPAÑA	14
2.1-Análisis situación actual	14
2.1.1-Potencia instalada.....	14
2.1.2-Generación energía eléctrica	17
2.2-Estudio de la repotenciación.....	19
CÁPITULO 3-ESTUDIO PARQUE EÓLICO ACTUAL.....	21
3.1-Localización en el mapa	21
3.2-Viales de acceso	21
3.3-Diseño del parque y cobertura eléctrica.....	22
3.4-Topografía	25
3.5-Impacto medioambiental.....	25
CÁPITULO 4- RECURSO EÓLICO Y SITUACIÓN DEL PARQUE ACTUAL.....	26
4.1-Fuente de datos (Atlas Eólico IDAE).....	26
4.2-Potencia Eólica	28
4.3-Distribución de Weibull.....	29
4.4-Rosa de los vientos.....	31
4.5-Cálculo de la generación eléctrica actual (G58/850)	32
4.5.1-Cálculo previo de la potencia eléctrica (Excell).....	33
4.5.1-Programa informático IDAE (Simulación)	35
4.6-Límite de Betz y Coeficiente de Potencia.....	36
4.7-Perfil de velocidades	37
4.8-Conclusiones	38
CÁPITULO 5-ELECCIÓN DE AEROGENERADORES PARA LA REPOTENCIACIÓN	39
5.1-Presentación de los fabricantes.....	39
5.2-Garantías de mantenimiento y fiabilidad del fabricante	40
5.3-Modelos preseleccionados	41

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

5.4-Análisis eólico de los modelos	42
5.5-Análisis económico.....	45
5.6-Calculo de la potencia eléctrica	45
5.7-Conclusiones	47
CÁPITULO 6-REPOTENCIACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DEL PARQUE	48
6.1-Calculo de la repotenciación y optimización de la nueva configuración	48
6.2-Valorización o reciclaje de los aerogeneradores sustituidos.....	50
6.3-Infraestructuras a renovar	51
6.3.1-Viales de acceso	51
6.3.2-Infraestructura eléctrica	53
6.4-Montaje.....	53
6.5-Conclusiones	54
CÁPITULO 7-VIABILIDAD DEL PROYECTO	55
7.1-Requerimientos legales.....	55
7.2-Analisis económico del proyecto	56
7.2.1-Costes de inversión	56
7.2.2-Costes de explotación	57
7.2.3-Ingresos.....	58
7.2.4-Plazo de amortización y beneficio	58
7.3-Impacto medioambiental.....	59
7.4-Conclusiones	60
CÁPITULO 8-CONCLUSIONES.....	61
CÁPITULO 9-PRESUPUESTO INICIAL	62
CÁPITULO 10-METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL TRABAJO:DIAGRAMA DE GANTT	64
CÁPITULO 11-BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	66
ANEXO I	67
ANEXO II	68

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Potencia Instalada en España (AEE).....	14
Figura 2:Potencia instalada en las diferentes Comunidades Autónomas (AEE/Datos referidos al 2016) ..	15
Figura 3:Mapa eólico de España (IDAE)	16
Figura 4:Mapa de los parques eólicos de Galicia(AEE).....	17
Figura 5:Demanda de energía en 2017(REE).....	17
Figura 6:Variación de la generación eólica anual(AEE/Datos hasta 2016)	18
Figura 7:Repotenciación del parque eólico de Malpica en Galicia (Diario Renovables)	20
Figura 8:Mapa de carreteras cercanas al parque (Google Maps)	22
Figura 9:Distribución actual de los aerogeneradores(Google Maps)	23
Figura 10:Visión aérea de la subestación eléctrica(Google Maps).....	24
Figura 11:Red de distribución de electricidad Salas Verín (REE).....	24
Figura 12:Mapa topográfico del parque (Google Maps).....	25
Figura 13:Valores estacionales de la velocidad a 80 m (IDAE)	27
Figura 14:Parametros de velocidades por dirección (IDAE).....	27
Figura 15:Distribución de Weibull de la dirección predominante (Excell)	30
Figura 16:Rosa vientos densidad de potencia (Excell)	31
Figura 17:Rosa vientos de frecuencias (Excell)	31
Figura 18:Rosa vientos potencia (Excell)	31
Figura 19:Rosa de los vientos (IDAE)	32
Figura 20:Generación Energía (IDAE)	35
Figura 21:Coeficiente de potencia (Apuntes Egela).....	37
Figura 22:Índice de rugosidad del terreno (Apuntes Egela)	37
Figura 23:Perfil de velocidades (Excell).....	38
Figura 24:Mayores fabricantes de energía eólica (Bloomberg)	40
Figura 25:Ubicación de talleres de mantenimiento (Google Maps)	41
Figura 26:Curvas de potencia (1era suposición).....	43
Figura 27:Curvas de potencia (2nda suposición)	44
Figura 28:Vision aérea de la disposición de los aerogeneradores (Google Maps)	48
Figura 29:Visión aérea del acceso al parque (Google Maps)	51
Figura 30:Transporte de las palas (Apuntes Egela).....	52
Figura 31:Curva crítica cercana al parque (Google Maps)	52
Figura 32:Representación gráfica del radio de curvatura necesario (Solid Edge)	53
Figura 33:Curva de potencia G58/850 (Windpower).....	67
Figura 34:Mapa topográfico Galicia (Wikipedia)	68
Figura 35:Elección punto IDAE (IDEA).....	68

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1:Potencia eólica disponible</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 2:Cálculo de la potencia eléctrica de un aerogenerador y del parque.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 3:Cálculo de la generación eléctrica del parque</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 4:Número de habitantes se abastece</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 5:Cálculo de Coeficiente de Potencia.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 7:Datos modelo V117/3300 (Windpower).....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6:Datos modelo G132/3300 (Windpower)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 8:Datos modelo G140/3000 (Windpower)</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 9:Datos modelo G132/5000 (Windpower)</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 10:Datos modelo V164/8000 (Windpower).....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 11:Datos modelo V164/8000 (Windpower).....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 12:Potencia eléctrica G132/5000</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 13:Potencia eléctrica V164/8000.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 14:Distancias entre aerogeneradores.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 15:Número de aerogeneradores y aumento potencia instalada</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 16:Cálculo de la energía generada tras la repotenciación</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 17:Número de personas se abastece tras la repotenciación</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 18:Costes de inversión</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 19:Costes de explotación</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 20:Ingresos anuales tras la repotenciación</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 21:Plazo de amortización</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 22:Beneficio económico de los promotores</i>	<i>59</i>

LISTA DE ACRÓNIMOS

- [1] **AEE:** Asociación Empresarial Eólica
- [2] **IDAE:** Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía
- [3] **EGA:** Asociación Eólica de Galicia
- [4] **REE:** Red Eléctrica Española

CÁPITULO 1-INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Final de Grado, "Repotenciación de un parque eólico", tal y como su propio nombre indica, se basa en la remodelación de un parque eólico, en concreto, el Parque de Serra de Larouco. La repotenciación de un parque tal y como se explica más adelante es una de las opciones ante la limitación de la vida útil de los aerogeneradores. Para ello, se estudia la posibilidad de sustituir los aerogeneradores actuales por unos más modernos y que presenten características mejoradas y más adecuadas al terreno.

Con este trabajo final de grado se persigue la adquisición de los conocimientos necesarios para el estudio del recurso eólico y la producción energética.

Proyectos de este tipo son un buen ejercicio académico que permiten al alumnado desarrollar conocimientos técnicos con la responsabilidad ética, social y medioambiental.

1.1-Contexto

El presente trabajo Final de Grado se engloba en un contexto de crecimiento de las energías renovables así como de la energía eólica.

Las energías renovables han sustituido parcialmente a los combustibles fósiles y a la energía nuclear durante los últimos años. Este impulso de las energías renovables se debe a que contribuyen a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, así como las emisiones de otros contaminantes locales y contribuyen a la creación de empleo y al desarrollo tecnológico.

Un pilar fundamental de este crecimiento se debe a su vez al auge de la energía eólica. Los aerogeneradores modernos generan anualmente una parte importante de la electricidad mundial. La energía eólica es una de las formas de energía más antiguas usadas por la humanidad y los actuales aerogeneradores tienen sus antecedentes en la utilización de los molinos de viento para moler cereales o bombear agua.

Sin embargo, la creación de los primeros aerogeneradores modernos no se produjo hasta finales del siglo XIX. El verdadero interés por las energías renovables despertó con el comienzo de la crisis del petróleo en los años 70 y particularmente con los movimientos contra la energía nuclear en los años 80. Además, los gobiernos internacionales promovieron la energía eólica en forma de programas de investigación y de subvenciones. De esta manera, se fabricaron modelos más eficientes y se redujeron los costes.

Actualmente, existen aerogeneradores de muy diversas potencias y distintos modelos. Algunos de ellos, de muy baja potencia, se disponen solamente para el autoabastecimiento de hogares

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

y en cambio, los más potentes del mercado alcanzan los 8 MW y se destinan principalmente a emplazamientos marinos (offshore). En los parques terrestres, como el que ocupa este documento, existirán aerogeneradores intermedios entre dichos intervalos.

La energía eólica suministra más del 3% del consumo mundial de electricidad. Las previsiones futuras indican que para 2020 se superará el 5% y a un plazo más largo, (2040), la Agencia Internacional de la Energía prevé que la energía del viento pueda cubrir el 9% de la demanda eléctrica mundial y más del 20% en Europa.

1.2-Objetivos y Alcance del Trabajo

El objetivo del presente Trabajo Final de Grado es la repotenciación de un parque eólico en los términos municipales de Baltar y Xinzo de Limia, provincia de Ourense. El parque actualmente consta de 49 aerogeneradores de 850kW de potencia nominal, con una potencia total instalada de 41,65 MW.

En primer lugar, se procederá al cálculo de la energía generada en la actualidad y para ello es importante llevar a cabo una caracterización del potencial eólico de la zona (velocidades medias, potencia eólica, distribuciones de Weibull, rosa de los vientos). Con la finalidad de remodelar el parque y obtener una mayor potencia y productividad se escogerá un aerogenerador óptimo para la repotenciación y se calculará la cantidad de nuevas turbinas que es posible ubicar en la zona. De esta manera, se estimará mediante el mapa eólico de IDAE la energía que tras la repotenciación se produciría en el parque.

También es objeto de este trabajo la realización de una evaluación ambiental del parque eólico diseñado, así como un estudio de viabilidad económica para estudiar la rentabilidad del proyecto. Ambos estudios determinarán la posibilidad de la ejecución del proyecto.

El alcance de éste Trabajo Final de Grado incluye los siguientes puntos:

- 1-Estudio parque eólico actual
- 2-Characterización del recurso eólico
- 3-Análisis de los diferentes modelos de aerogeneradores
- 4- Elección aerogeneradores y cálculo de la nueva generación
- 5-Viabilidad económica
- 6-Impacto medioambiental

1.3-Beneficios del Trabajo

El presente Trabajo Final de Grado presenta una serie de beneficios relacionados con la energía eólica en sí misma y más concretamente con el proyecto de repotenciación de un parque eólico.

En cuanto a la energía eólica, estos son los diversos beneficios que impulsan su instalación.

- **Fuente limpia:** Se trata de su principal ventaja cuando se la compara con otros tipos de energía. La energía eólica no produce ningún tipo de residuo, lo que significa que su uso no contribuye a la destrucción de los ecosistemas.
- **Energía autóctona:** Este hecho favorece la independencia energética, ya que, aunque hay países que cuentan con mayor índice de vientos, se puede encontrar en todo el mundo.
- **Es compatible con otras actividades** como la agricultura y la ganadería, lo que hace que no tenga un impacto negativo en la economía local al no requerir una especialización laboral de la zona.
- **Poco impacto en el suelo:** los parques eólicos tienen un impacto muy pequeño en el suelo y en su erosión. Esto se debe tanto a la ausencia de residuos contaminantes como al hecho de que ocupan poco espacio en comparación con otro tipo de instalaciones energéticas.

En cuanto a la repotenciación, la sustitución de ciertos aerogeneradores por otros más modernos, presenta una serie de ventajas que se ven reflejadas en el caso concreto de Serra de Larouco.

- Se obtiene **una mayor producción de energía** sobre la misma superficie de terreno en cada parque eólico. En el caso del Parque de Serra de Larouco, se pretende incrementar la producción de energía aunque no existirá ningún objetivo fijado desde un principio; ese aumento vendrá condicionado por las turbinas elegidas y la superficie disponible. Los resultados tras el proyecto reflejan que se producirían alrededor de 136.600 MWh más tras la repotenciación, una cifra realmente importante.
- La **eficiencia es más alta** por la naturaleza de las nuevas turbinas eólicas instaladas puesto que se tratará de aerogeneradores más modernos. De esta manera, los **costes** por producción de energía **se reducen**. En este caso, se escogerán para la repotenciación aerogeneradores de mucha mayor potencia de los que existen hoy en día. El cambio será de turbinas de 850 kW a 5 MW.
- El **impacto visual y acústico tiende a reducirse**. Por un lado, a pesar de aumentar la producción de energía se reduce el número de turbinas, de 49 a 14. Por otro lado, estos aerogeneradores de gran potencia generan un menor ruido puesto que giran a velocidades inferiores.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

- **Mejor aprovechamiento del recurso eólico.** En concreto, el parque de Serra de Larouco dispone de características de viento muy óptimas y es una de los motivos por el cual se presenta su repotenciación.
- La viabilidad del proyecto establece que a partir del quinto año se obtendrán una serie de **beneficios económicos** muy importantes. Sin embargo, hay que ser conscientes de que se requerirá también de un presupuesto inicial muy grande.

CÁPITULO 2-ESTADO DEL ARTE: DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN ESPAÑA

En esta sección se analizará la importancia de la energía eólica a lo largo de los últimos años y su situación actual. Además se evaluarán las diferentes posibilidades y previsiones con respecto a la repotenciación de los parques eólicos.

2.1-Analisis situación actual

La energía eólica es una fuente de energía renovable que ha experimentado una gran expansión. España es, dentro de la Unión Europea, una de las mayores potencias productoras de energía eólica. Sin duda, la orografía de la península con grandes cadenas montañosas posibilita la localización de puntos muy favorables para la instalación de parques eólicos con muy buenos rendimientos. Se evaluarán la potencia instalada y la generación de la energía respecto a otro tipo de recursos o fuentes.

2.1.1-Potencia instalada

España es una de las principales promotoras de la energía eólica a nivel internacional y es el quinto país en el mundo con mayor potencia establecida, únicamente por detrás de China, EEUU, Alemania e India. Sin embargo, se puede observar en la figura 1, que los últimos años han implicado cierto retroceso en la instalación de parques eólicos en el estado español mientras otras potencias europeas seguían incrementando su gestión de la energía eólica.

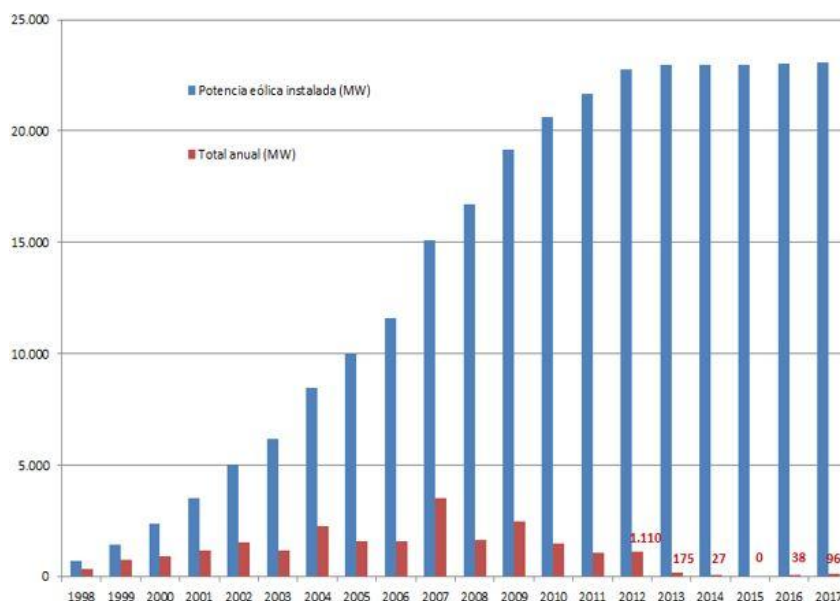


Figura 1:Potencia Instalada en España (AEE)

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

De acuerdo a los últimos datos del año 2017 proporcionados por la AEE (Asociación Empresarial Eólica) España cuenta actualmente con 23.000 MW de potencia eólica instalados. Además, se espera un crecimiento en los próximos años de este sector con vistas al cumplimiento de los objetivos energéticos de la Unión Europea para 2020 y por lo tanto, ahí toma especial interés la repotenciación de los parques eólicos.

A nivel regional se puede observar en la figura 2, la cantidad de potencia disponible en cada comunidad autónoma, constatando que la mayoría de parques se sitúan en Castilla La Mancha y Castilla León. Sin embargo zonas costeras tal como Galicia y Andalucía son también propicias para la energía eólica puesto que como se puede apreciar en el mapa eólico peninsular de la figura 3 las rachas de viento son bastante considerables.

COMUNIDAD AUTÓNOMA	Potencia instalada en 2016 (MW)	Acumulado a 31/12/2016 (MW)	% sobre total	Nº de parques
Castilla y León	31,50	5.593	24,19%	243
Castilla-La Mancha	0,00	3.807	16,56%	139
Andalucía	0,00	3.338	14,52%	153
Galicia	2,10	3.330	14,48%	161
Aragón	0,00	1.893	8,24%	87
Cataluña	0,00	1.269	5,52%	47
Comunidad Valenciana	0,00	1.189	5,17%	38
Navarra	0,00	1.004	4,37%	49
Asturias	0,00	518	2,26%	21
La Rioja	0,00	447	1,94%	14
Murcia	0,00	262	1,14%	14
Canarias	4,60	182	0,77%	57
País Vasco	0,00	153	0,67%	7
Cantabria	0,00	38	0,17%	4
Baleares	0,00	4	0,02%	46
TOTAL	38,20	23.026	100,00%	1.080

Figura 2: Potencia instalada en las diferentes Comunidades Autónomas (AEE/Datos referidos al 2016)

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO



Figura 3: Mapa eólico de España (IDAE)

Para Galicia en concreto, el fomento de las Energías Renovables, y en concreto de la energía eólica, ha supuesto la generación de empleo y una mayor cohesión social y económica; yendo siempre de la mano de generación eléctrica y capacidad Industrial.

En la actualidad, Galicia cuenta con una población del 5,82 % del total de España y posee el 14,48% del total de la potencia eólica instalada en España, cuenta con 161 parques representados en la figura 4 y un total de 3.330 MW en los datos recogidos hasta 2016. La mayoría de parques se encuentran en la provincia de Coruña aunque este documento trabaja en el estudio de un parque situado en Ourense. Esta última provincia consta de 18 parques que suman un total de 298 MW de potencia instalada.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

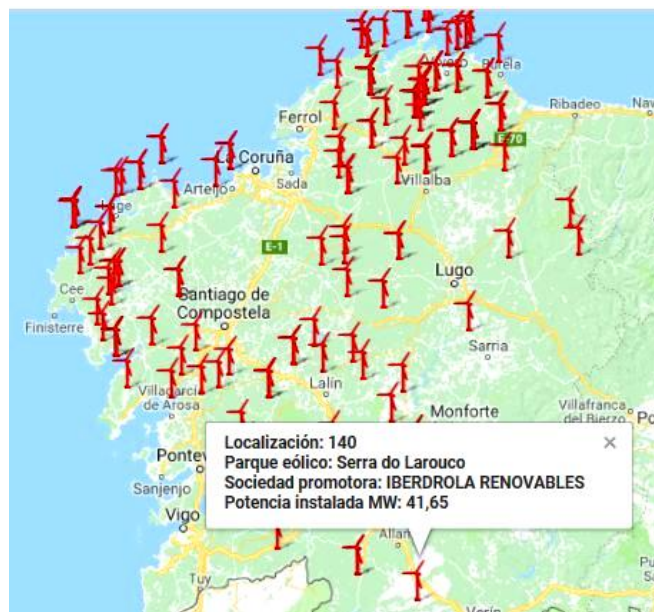


Figura 4: Mapa de los parques eólicos de Galicia (AEE)

2.1.2-Generación energía eléctrica

Los análisis más recientes en 2017 llevados a cabo por la REE (Red Eléctrica Española) afirman que la energía eólica es la segunda tecnología del sistema energético español, únicamente por detrás de la nuclear, lo que ha supuesto el 18,2% de la electricidad consumida a nivel nacional en el año 2017 de acuerdo con la figura 5. En el conjunto de las renovables, la energía eólica supuso el 47,3% de toda la producción seguida de la hidráulica con el 35,5% y la solar, con el 12,9%.

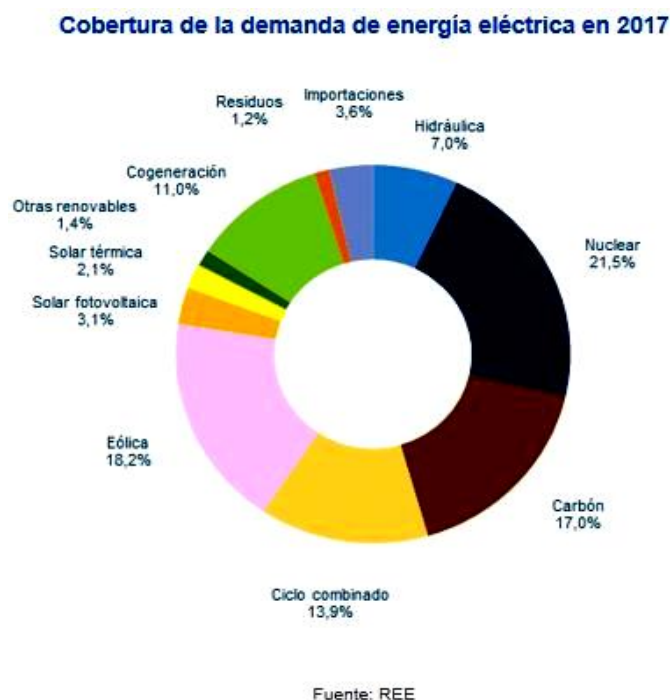


Figura 5: Demanda de energía en 2017 (REE)

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

De acuerdo a lo anteriormente expuesto es fácilmente constatable en la figura 6 que la producción de energía eólica ha sufrido cierta regresión en los últimos tiempos. Sin embargo, las últimas cifras correspondientes al año 2018 son bastante positivas. En los meses de enero y febrero de los aerogeneradores han sido el sistema que más electricidad han aportado al sistema eléctrico español. Concretamente, en el mes de enero el viento fue el responsable del 24,7% de la electricidad producida en España, mientras que en febrero el porcentaje se quedó en el 22,5%. En cualquier caso, la eólica estuvo por delante de la nuclear, su principal competidora, que aportó el 23,7% de la electricidad en enero y el 22% en febrero.

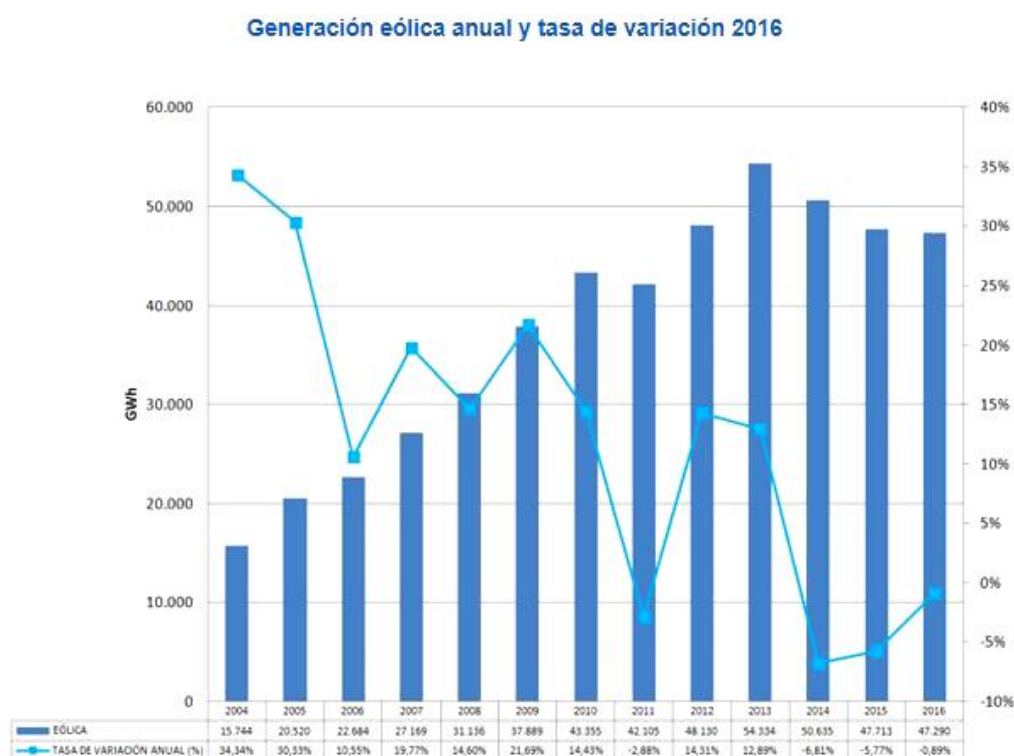


Figura 6: Variación de la generación eólica anual (AEE/Datos hasta 2016)

En el año 2017, Galicia generó 6.924 GWh, con 116 parques, representados en el mapa de la figura 4.

2.2-Estudio de la repotenciación

El 46 % de los 23.000 MW eólicos operativos en España superará los 15 años de vida en 2020. Considerando que los aerogeneradores están diseñados para una vida útil de 15-20 años, es indispensable pensar en ciertas soluciones para asegurar la continuidad de estas instalaciones.

Existen dos soluciones importantes: la primera de ellas es la repotenciación, que consiste en el desmantelamiento y sustitución de los aerogeneradores por otros de mayor eficiencia, y la segunda consiste en la extensión de la vida del aerogenerador, que supone la mejora y sustitución de componentes para alargar la operación de las máquinas.

En zonas donde la repotenciación sea una opción posible conlleva bastante ventajas. Actualmente, países como Alemania o Países Bajos son los principales promotores de este proceso. La repotenciación se basa en disminuir el número de aerogeneradores sustituyendo los antiguos generalmente por otros de mayor potencia instalada. Gracias a ello, el impacto visual se reduce al mismo tiempo que decrece también el impacto acústico. La eficiencia y la integración a la red eléctrica mejoran generalmente también por la naturaleza de las nuevas turbinas eólicas capacitadas para cumplir con los requisitos de conexión a red.

En España, según la AEE, la repotenciación no cuenta con un tratamiento específico, de manera que se están centrando en la repotenciación de parques antiguos que no tienen posibilidad de extensión de vida y en los cuales los aerogeneradores suelen estar ya amortizados, y se pueden incluso reutilizar como máquinas de segunda mano.

El principal problema es burocrático, ya que los trámites que las empresas tienen que seguir para una repotenciación son muchos más complejos que para la mejora de los componentes del aerogenerador, lo que ralentiza el proceso y resta posibilidades para impulsar este mercado. Algunos parques antiguos han sido declarados zona protegida después de su construcción, lo que dificulta aún más la autorización de permisos para las obras. Por último, el coste de dicho proceso es también un factor considerable.

A pesar de que España no cuente con una amplia trayectoria en cuanto a repotenciación de parques, se han impulsado varios proyectos. A fecha de 2010, el Ministerio de Industria preparó una bolsa de 2.000 MW para renovar instalaciones eólicas en el estado. Los parques de Galicia, concretamente, fueron indudablemente los más beneficiados. Este hecho se debe a que es una de las regiones pioneras en la explotación del viento y por lo tanto, una de las que tiene los aerogeneradores más antiguos.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

El Ejecutivo gallego argumentaba que hasta 40 parques de la comunidad, con 840 MW, podrían beneficiarse, aunque bien es cierto que la cifra finalmente no fue tan alta. Para poder llevar a cabo estos proyectos, la Junta de Galicia estableció un primer decreto como base para la repotenciación de parques eólicos: **DECRETO 138/2010**. Este decreto facilita la impulsión de proyectos de repotenciación de parques eólicos en la zona, agilizando los trámites y autorizaciones legales. Por lo tanto, se puede afirmar que los planes de repotenciación en Galicia son más rápidos que en el resto del estado.



Figura 7: Repotenciación del parque eólico de Malpica en Galicia (Diario Renovables)

Estas medidas, estaban destinadas principalmente a aquellos parques que estaban ya en funcionamiento antes del 31 de diciembre de 2001, es decir que tuvieran más de 10 años de edad en aquella época.

El parque Serra de Larouco, foco de estudio en este documento actualmente tiene 14 años de edad, por lo cual se considera factible comenzar a evaluar la viabilidad de la repotenciación del mismo tal y como se efectúa en este documento.

CÁPITULO 3-ESTUDIO PARQUE EÓLICO ACTUAL

En este apartado se analizarán las diferentes características del parque eólico elegido para su repotenciación, el parque de Serra do Larouco. La elección de este parque se debe a dos razones principales: La primera de ellas es la edad del mismo, 14 años de antigüedad, y la segunda razón es la disponibilidad de un gran recurso eólico y velocidades de viento adecuadas.

Para el análisis actual, es indispensable analizar la ubicación del parque teniendo en cuenta aspectos orográficos, el acceso a la zona y el impacto medioambiental generado. Además se procede a un examen detallado de los aerogeneradores instalados y los recursos eléctricos aprovechables por el parque.

3.1-Localización en el mapa

Las instalaciones del parque eólico Serra do Larouco se sitúan en el sur de Galicia, más concretamente en la provincia de Ourense. Limita por el sur con Portugal y por el este con la provincia de Zamora.

El parque pertenece a los municipios de Baltar y Xinzo de Limia. La superficie de ambos pueblos es de 226,7 km² y su población, de acuerdo a los datos del INE a 1 de enero de 2017, es de 11.000 habitantes, es decir, la densidad de población es de 48,52 hab/km².

3.2-Viales de acceso

Los viales de acceso son aquellas carreteras y caminos que permiten transportar el material necesario hasta el parque en cuestión. Se distinguen dos vías principales:

- Viales de acceso generales: carreteras de red exceptuando las autovías y autopistas.
- Viales interiores: accesos específicos que se construyen entre los aerogeneradores a partir de las indicaciones de los fabricantes del aerogenerador.

La principal vía de comunicación con el parque es la carretera nacional A-52 (en rojo y amarillo en la figura 8 que une las ciudades de Ourense y Verín. Además existen diversas carreteras secundarias comarcales (en blanco) que llegan hasta el parque eólico en cuestión.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO



Figura 8: Mapa de carreteras cercanas al parque (Google Maps)

El centro de reparación y mantenimiento más cercano por parte de Gamesa se encuentra en La Coruña, a 2 horas de las instalaciones, mientras que existe otro centro perteneciente a la empresa GR Renewable Industries en Carballino, una localidad de Ourense situada a 1 hora aproximadamente.

Posteriormente en el epígrafe 6.2 se procederá a un estudio más avanzado de los viales para evaluar si es necesaria cualquier remodelación ante la repotenciación del parque.

3.3-Diseño del parque y cobertura eléctrica

La instalación se inauguró en 2004 gracias a una inversión de 30 millones de euros por parte de la empresa Iberdrola. El parque consta de 49 turbinas eólicas de tipo Gamesa G58/850 (Las características principales de este tipo de turbina están en el ANEXO I) y la potencia instalada total alcanza los 41,65 MW.

Según estudios realizados, los aerogeneradores deben ubicarse a una distancia adecuada entre ellos para evitar interferencias aerodinámicas y, con ellas, sus dos consecuencias más graves: el aumento de las turbulencias y la pérdida de potencia. La separación óptima se sitúa entre 7 y 10 veces el diámetro del rotor en la dirección del viento, y entre 3 y 5 veces en la dirección perpendicular al viento.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO



Figura 9: Distribución actual de los aerogeneradores (Google Maps)

La figura 9 se obtiene también a través de la plataforma Google Maps. Se aprecia que los aerogeneradores están todos alineados en la misma dirección, hacia el noroeste por lo que a priori se puede deducir que esta será la dirección principal por la cual sopla el viento. Sin embargo, las hélices se mueven para intentar aprovechar el viento desde todas las direcciones.

La escala de la figura 8 indica que cada 3 cm representan 200 metros reales.

$$E = \frac{0,03}{200} = 1,5 \times 10^{-4} \quad (1)$$

La separación medida entre las hélices es prácticamente constante e igual a 2cm. Haciendo el cálculo inverso obtenemos que la distancia en la dirección perpendicular al viento es aproximadamente 133 metros.

$$\text{Separación} = \frac{0,02}{1,5 \times 10^{-4}} = 133,33m \quad (2)$$

El diámetro del rotor de los aerogeneradores GS58/80 es de 58 metros, por lo tanto un valor de separación adecuado entre los aerogeneradores de acuerdo a lo anteriormente expuesto debería estar en un intervalo entre 174-290 metros.

Es cierto que el parque no cumple con este requisito y este podría ser uno de los motivos para llevar a cabo la repotenciación. Sin embargo, en este caso es difícil hallar con exactitud las pérdidas por estela que se generarían.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

En cuanto a la cobertura eléctrica, se construyó una subestación eléctrica transformadora cercana al parque, tal como se puede observar en la figura 10, a la que se dirigirá toda la electricidad generada en los aerogeneradores. Una subestación eléctrica es una instalación destinada a establecer los niveles de tensión adecuados para la transmisión y distribución de la energía eléctrica y a la necesidad de almacenamiento de dicha energía, para verterla al consumo justo cuando sea demandada.

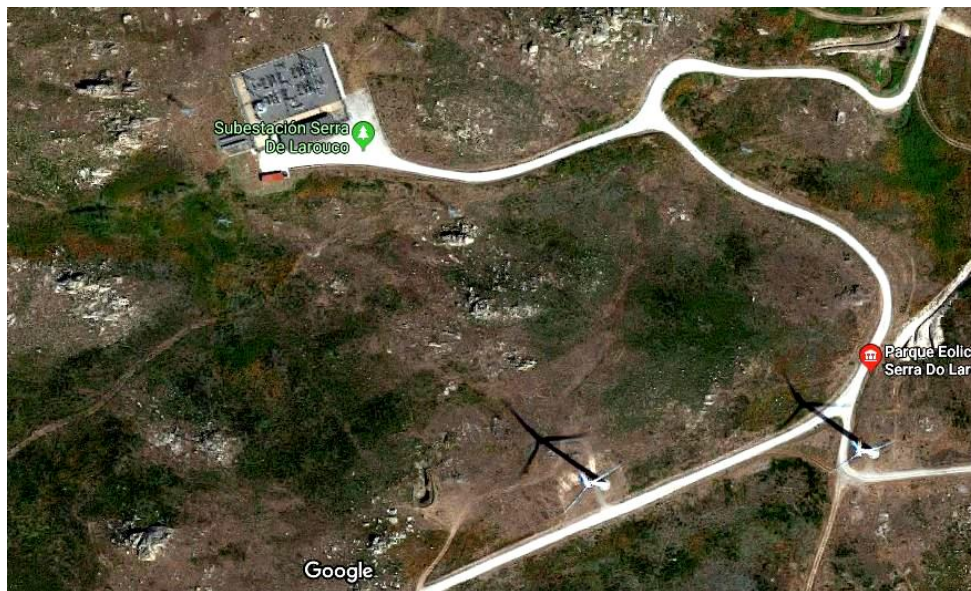


Figura 10: Visión aérea de la subestación eléctrica (Google Maps)

En este caso tal como se puede apreciar en el Anexo I (Datos de G58/850) la tensión de salida de los aerogeneradores es de 690V. La subestación eléctrica se encargará de elevar este nivel de tensión hasta los 220 kV a los que se transporta a lo largo de la línea de red eléctrica de alta tensión de Salas-Verin II como se puede apreciar en la figura 11. Posteriormente, los centros de transformación reducen los niveles de tensión hasta valores comerciales (baja tensión), aptos para el consumo doméstico e industrial, típicamente 400V. El círculo verde representa aproximadamente la zona donde está el parque, es decir, se puede afirmar que cuenta con unas instalaciones óptimas para la distribución de la energía generada.



Figura 11: Red de distribución de electricidad Salas Verin (REE)

3.4-Topografía

Ourense es una zona montañosa, tal como se puede apreciar en la figura 34 correspondiente al Anexo II donde la altitud del territorio varía entre los 600 y los 1200 metros. En dicha figura se ha encuadrado de rojo la zona orientativa en la cual se sitúa el parque eólico, considerando una altitud aproximada de 800-1100 metros.

Más concretamente en la figura 12, se puede apreciar el mapa de alturas del parque como de sus zonas colindantes. Se observa precisamente que la altitud se encuentra entre los 800 metros (líneas verdes) y los 1200 metros (líneas azules). Este hecho puede dificultar el transporte del material hasta la zona deseada.

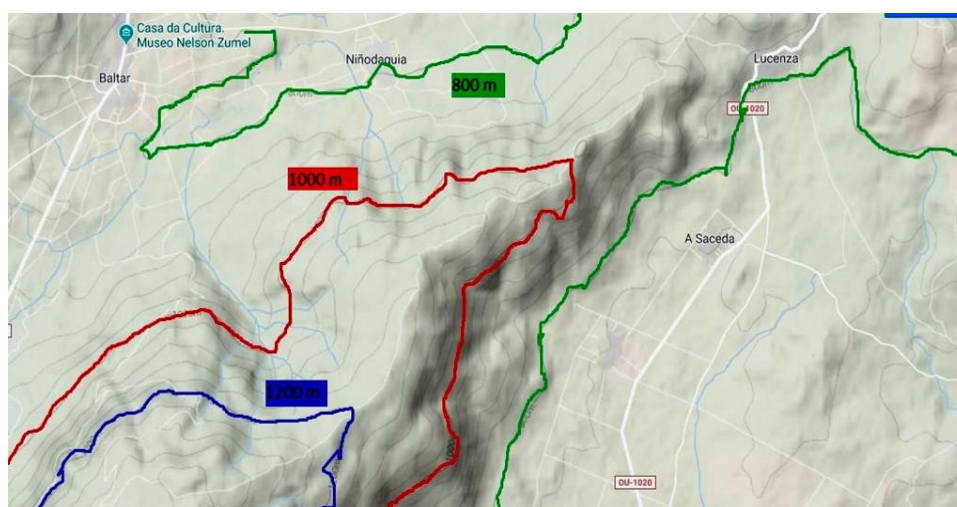


Figura 12: Mapa topográfico del parque (Google Maps)

3.5-Impacto medioambiental

La sierra de Larouco junto a la que se encuentra el parque es el hábitat de muchas especies de fauna y flora propia del lugar. Bajo la protección dada por la vegetación típica de los cursos de agua, residen mamíferos como el lobo, el zorro, el corzo y el jabalí, así como reptiles como el lagarto verdinegro, y el sapo partero.

Dada la gran importancia de la diversidad y de la fragilidad de los ecosistemas fue creado el biotopo CORINE que comprende la Sierra de Larouco y Alto Cávado, confiriendo un estatuto de protección especial a las especies que habitan este lugar.

Sin embargo, no existen indicaciones de que el parque afecte en gran medida al ecosistema de dicha sierra.

CÁPITULO 4- RECURSO EÓLICO Y SITUACIÓN DEL PARQUE ACTUAL

Uno de los principales motivos para considerar la repotenciación del parque es conocer el recurso eólico disponible es decir, si las velocidades de viento son suficientes para poder justificar el proyecto. Para este estudio se debe contar con una serie de datos, a partir de los cuales se realizará un análisis del lugar basado en distintos criterios: potencia eólica, distribución de Weibull, rosa de los vientos...

Por último, se calculará la generación eléctrica del parque en la actualidad y el coeficiente de potencia de las turbinas.

4.1-Fuente de datos (Atlas Eólico IDAE)

La fuente principal para obtener los datos requeridos en cuanto a la caracterización del recurso eólico es la fundación Instituto de la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE).

Una idea orientativa de las rachas de viento se puede obtener a partir del mapa eólico facilitado en el Anexo II (PDF). En ella, se distinguen las velocidades medias del viento en la comunidad gallega a 80 metros por encima de la superficie. A partir de tal gráfico se deduce que la velocidad media anual del viento en la provincia de Ourense es aproximadamente de 6 m/s. Sin embargo, en la zona más cercana al parque eólico de Serra de Larouco se observa que las velocidades pueden ser superiores-

Un estudio más exhaustivo del potencial eólico disponible se ha llevado a cabo con la utilización del Atlas Eólico de España elaborado también por IDAE. Dicho mapa fue creado para satisfacer la necesidad de la evaluación del potencial eólico disponible en el estado español. Para su realización se recurrió a un modelo de simulación meteorológica y de búsqueda del recurso eólico a largo plazo, utilizándose posteriormente datos reales de torres meteorológicas para la validación de los resultados obtenidos.

La localización del parque se realiza intuitivamente a partir de la búsqueda del municipio de Baltar puesto que no se dispone de las coordenadas para la localización exacta del parque. Ante esta premisa, existe cierta dificultad a la hora de obtener los datos puesto que varían mucho en zonas muy próximas dependiendo de la altura y la disposición de las estaciones meteorológicas.

El punto escogido entre aquellos cercanos al parque se indica en la figura 35 del Anexo II y se presupone bastante representativo respecto a las características eólicas del parque por su ubicación, si se compara con los mapas recogidos anteriormente.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

La información extraída del Atlas eólico para dicho nodo se recoge en estos 3 puntos:

1-Velocidades medias del viento por estación a 80m

Información				
Valores estacionales a 80m.				
Coordenadas UTM(m): 113141, 4653068				
	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Velocidad (m/s)	7.92	7.16	8.38	9.07
Weibull C (m/s)	8.89	7.63	9.59	10.27
Weibull K	2.096	2.471	2.257	2.172

Figura 13:Valores estacionales de la velocidad a 80 m (IDAE)

Los valores de las velocidades correspondientes a este nodo difieren de aquellos puntos cercanos puesto que son claramente superiores. En efecto, se entiende que a la hora de la construcción del parque se realizarían los estudios adecuados para ubicarlo en la zona con las mejores características eólicas posibles.

2-Parámetros de Weibull y velocidades medias anuales por dirección a 80m

Información					
Distribución por direcciones a 80m.					
Coordenadas UTM(m): 113442,4653268					
Dirección	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Potencia (%)	Weibull C (m/s)	Weibull K
N	7.71	8.132	6.36	8.977	2.288
NNE	2.27	5.404	0.68	6.063	1.916
NE	1.24	3.795	0.14	4.394	2.009
ENE	1.25	3.861	0.15	4.451	1.862
E	2.12	5.413	0.93	6.403	1.635
ESE	7.22	7.356	5.53	8.421	2.01
SE	14.59	7.798	9.96	8.732	2.68
SSE	10.64	7.831	7.83	8.883	2.56
S	3.84	8.44	4.63	9.609	1.901
SSW	3.57	9.474	6.14	10.778	1.885
SW	4.03	9.533	6.18	10.892	2.175
WSW	6.1	10.075	10.96	11.486	2.182
W	6.24	9.499	9.2	10.854	2.252
WNW	6.95	9.591	10	10.892	2.35
NW	9.76	8.849	9.44	9.807	2.67
NNW	12.47	8.757	11.86	9.968	3.057

Representación gráfica

Figura 14:Parametros de velocidades por dirección (IDAE)

En la figura 14 se recogen distintos parámetros hallados en dicho nodo. Se observan las diferentes frecuencias para cada dirección del viento, sus velocidades medias y el porcentaje de potencia que suponen.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Todos los datos se recogen para valores a 80 metros por encima de la superficie y se estima que son perfectamente útiles para los cálculos posteriores realizados respecto a él aerogenerador actual (G58/850) puesto que éste tiene una torre de 74 metros y la variación de las velocidades no es apreciable.

Fundamentalmente el viento sopla con mayor frecuencia desde el sureste (SSE), 14,59% y desde el noroeste (NNW), 12,47%. Es importante recalcar que estas frecuencias se obtienen teniendo en cuenta un periodo de tiempo anual ininterrumpido en el cual se contabilizan también las velocidades en aquellos momentos donde no sople el viento.

El mayor porcentaje de potencia eólica proviene de esta última dirección, NNW (11,86%) por lo que se cataloga como dirección predominante. Estos valores se verán mejor representados en la sección 4.4.

Además, la figura 13 también aporta los valores C y K característicos de la distribución de Weibull cuya función se explicará en el apartado 4.3.

La velocidad media anual obtenida a partir de estos datos es de 8,33 m/s. Se utilizará este valor para los sucesivos cálculos.

3-Generación eléctrica de un aerogenerador en dicho emplazamiento

Esta herramienta correspondiente al Atlas eólico de IDAE permite estimar la producción energética que proporcionaría un aerogenerador que se instale en un determinado punto del territorio nacional, expresada en términos de energía (MWh/año) bruta y neta. Para efectuar este cálculo se debe especificar los parámetros de la curva de potencia para cada velocidad (m/s), según especificaciones del fabricante para un aerogenerador en concreto.

El cálculo de generación eléctrica para el parque actual y aerogeneradores tipo G58/850 se expondrá en la sección 4.5.

4.2-Potencia Eólica

En un aerogenerador se aprovecha la energía cinética del aire y por lo tanto, la potencia eólica [W] se obtiene a través de la siguiente fórmula.

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (3)$$

Tal como se puede apreciar en la fórmula la potencia eólica disponible depende tanto de la densidad del aire como del área de barrido del rotor del aerogenerador.

Es importante también el término de densidad de potencia definido como se define como la potencia por unidad de área [W/m²]

La potencia eólica media se obtiene a través de valores medios de la velocidad.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

La densidad del aire varía con la temperatura y la altura:

$$\rho = 1,225 \left(\frac{288}{t+273} \right) e^{\left(\frac{-h}{8485} \right)} \quad (4)$$

Se calculará utilizando una altura de 1000 metros y una temperatura de 10°C.

Tabla 1:Potencia eólica disponible

Densidad ρ (kg/m ³)	1,108
Área barrido (m ²)	2643
Velocidad media (m/s)	8,33
Potencia media (KW)	846

En la tabla 1 se calcula la potencia eólica que recibe dicho aerogenerador utilizando valores medios de los parámetros.

4.3-Distribución de Weibull

La Distribución de Weibull es una función de distribución utilizada para describir las probabilidades de las velocidades del viento durante un período de tiempo prolongado.

El aspecto más interesante de esta función es que permite indicar la probabilidad de que exista una cierta velocidad así como la probabilidad de que dicha velocidad no sea superada durante un periodo de tiempo.

La distribución de velocidades en la dirección predominante del viento (NNW) se han calculado a partir de los valores de la figura 14 y se utiliza la siguiente fórmula para calcular la probabilidad correspondiente a cada velocidad:

$$p(v) = \frac{k}{c} \times \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad (5)$$

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

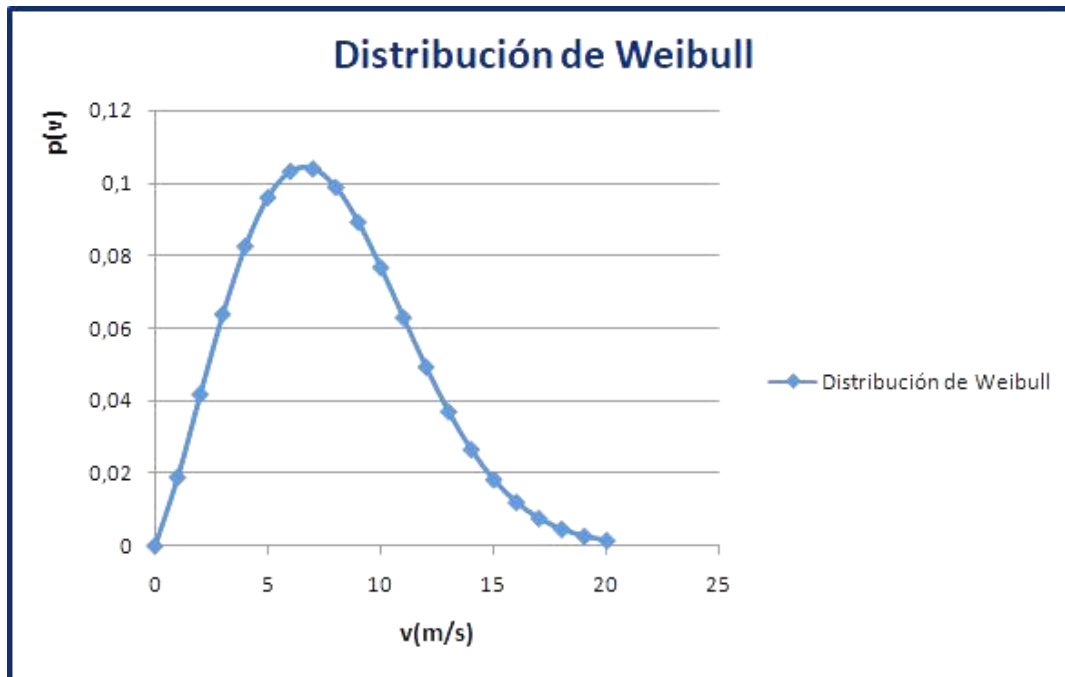


Figura 15: Distribución de Weibull de la dirección predominante (Excell)

En el gráfico de la figura 15 se puede apreciar que el viento con mayor probabilidad incidirá con una velocidad de 7 m/s.

La mayoría de los aerogeneradores empiezan a funcionar cuando el viento alcanza una velocidad de 3 a 4 metros por segundo, llegan a la máxima producción de electricidad con un viento de unos 13 a 14 metros por segundo y se desconectan para prevenir daños cuando hay tormentas con vientos que soplan a velocidades medias superiores a 25 metros por segundo durante un intervalo temporal de 10 minutos.

De este modo, un dato importante a tener en cuenta es la probabilidad de que el aerogenerador este en funcionamiento y se calcula de la siguiente manera:

$$F(v > 4) = 1 - [1 - e(-4/c)^k] = 0,83 \quad (6)$$

Es destacable también que una gran parte del tiempo la velocidad se encuentra en un rango entre los 5 y 9 m/s, valores apropiados para la generación de energía eléctrica. Este cálculo se realiza a partir de las siguientes formulas.

$$F(5 < v < 9) = [1 - e(-9/c)^k] - [1 - e(-5/c)^k] = 0,4 \quad (7)$$

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

De acuerdo a este resultado el 40% del tiempo la velocidad del viento se encontrará en esta franja. Es imprescindible que el viento sople con una intensidad parecida gran parte del tiempo para obtener un rendimiento óptimo. Por lo tanto, se puede afirmar que se cuenta con un recurso eólico aceptable para la repotenciación del parque a fin de un mejor aprovechamiento del mismo.

Por último, es muy improbable que el viento tenga velocidades superiores a 25m/s.

4.4-Rosa de los vientos

La rosa de los vientos es una representación gráfica de la distribución de velocidades del viento y de la frecuencia de variación de las direcciones del viento. Es utilizada para obtener información sobre la dirección hacia la que orientar el aerogenerador.

A través del programa Excell, se han realizado varios modelos de rosas que contienen la frecuencia con la que el viento proviene de cierta dirección, la densidad de potencia asociada a dicha dirección y la propia potencia característica. Se puede observar que esta última es la convolución de las dos anteriores.

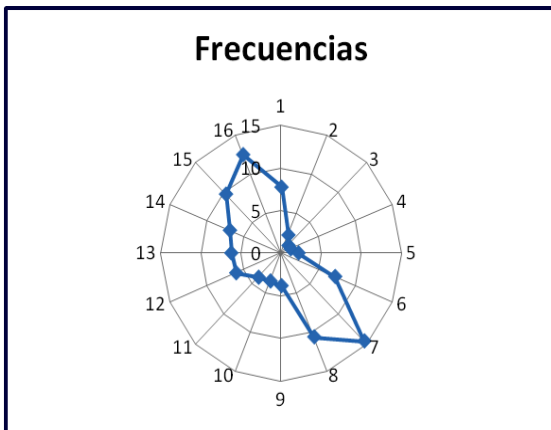


Figura 17: Rosa vientos de frecuencias (Excell)

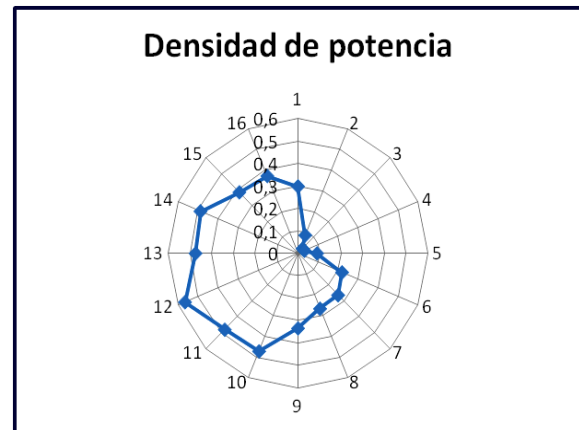


Figura 16: Rosa vientos densidad de potencia (Excell)

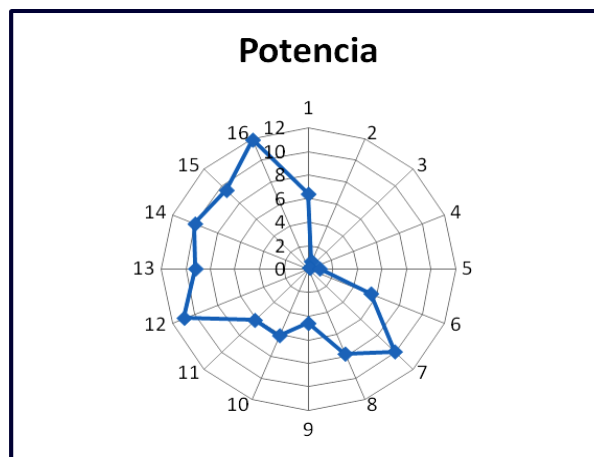


Figura 18: Rosa vientos potencia (Excell)

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Estas gráficas de las figuras 16, 17 y 18 se han realizado a través de los datos de la figura 14.

Para validar estos resultados se ha hecho uso de la función del Atlas Eólico de IDAE, el cual aporta directamente la rosa de los vientos del punto donde se sitúa el parque.

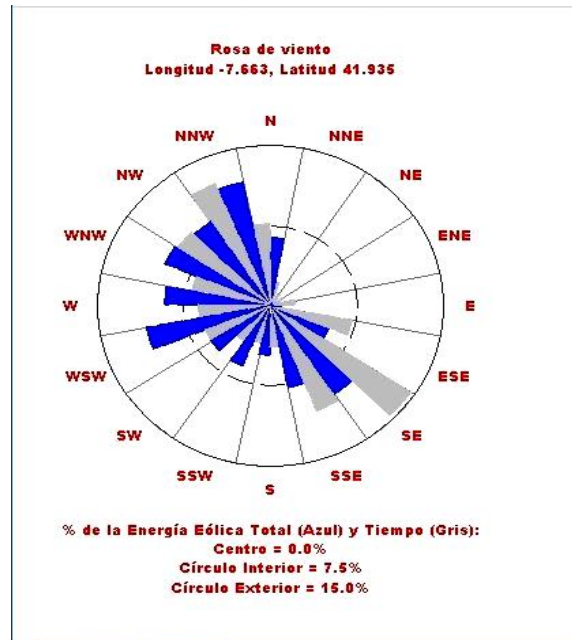


Figura 19:Rosa de los vientos (IDAE)

Las cuñas grises representan la frecuencia con la que el viento proviene de dicha dirección.

Las cuñas azules representan la potencia eólica por parte de cada sector.

Se observa que los resultados son prácticamente iguales y gracias a estas representaciones se puede apreciar visiblemente que la dirección del viento que más potencia aporta es el noroeste y por lo tanto las hélices deberían orientarse en dicha dirección.

4.5-Calculo de la generación eléctrica actual (G58/850)

En este proceso se describirán dos opciones alternativas para obtener la generación eléctrica que actualmente produce el parque:

La primera de ella es realizar el cálculo a través del programa Excell. Para ello, previamente se obtendrá la potencia eléctrica del aerogenerador G58/850 a partir de los datos del apartado 2 de la sección 4.1.

Otra posibilidad es realizar una simulación a través del programa informático disponible en el mapa iterativo de IDAE tal y como se relata en el apartado 3 de la sección 4.1.

De esta forma, se realizará una comparación entre los valores alcanzados a través de los cálculos vía Excell y aquellos que aporta el programa informático de IDAE

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

4.5.1-Cálculo previo de la potencia eléctrica (Excell)

Mediante el uso de Excell se calculará la potencia eléctrica del aerogenerador G58/850. A partir de ahí se obtendrá la generación eléctrica. Para ello se utilizarán los valores de la figura 14.

La frecuencia con la que el viento proviene de cada dirección con una cierta velocidad media multiplicada por la potencia asociada a dicha velocidad, de acuerdo con la curva de potencia del aerogenerador (figura 33 en el Anexo I), aporta la potencia proveniente de cada dirección.

La potencia total será la suma de todas ellas.

Se debe tener en cuenta que a pesar de que el aerogenerador se oriente en cierta dirección se moverá y rotará con la intención de aprovechar la potencia eólica proveniente de cada dirección.

$$P(\text{dir.}) = \text{Frec}(\text{dir.}) \times P(v \text{ media dir.}) \quad (8)$$

Tabla 2: Cálculo de la potencia eléctrica de un aerogenerador y del parque

Dirección	Potencia por cada dirección (KW)
N	29,30
NNE	2,38
NE	0,35
ENE	0,36
E	2,23
ESE	20,22
SE	51,07
SSE	38,30
S	16,90
SSW	21,60
SW	24,78
WSW	42,09
W	38,06
WNW	43,09
NW	46,85
NNW	57,36
Potencia total (kW)	434,96
Potencia parque (kW)	21.311,82

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

El valor de potencia total y potencia parque son los valores promedio de un aerogenerador y del conjunto de ellos a lo largo de un año respectivamente.

La energía generada se calcula multiplicando dicha potencia por las horas existentes en un año, es decir, 8760 horas.

$$\text{Potencia bruta} = \text{Potencia} \times 8760h \quad (9)$$

$$\text{Potencia bruta parque} = \text{Potencia bruta} \times 49 \quad (10)$$

$$\text{Potencia neta} = \text{Potencia bruta} \times 0,85 \quad (11)$$

Tabla 3: Cálculo de la generación eléctrica del parque

Potencia G58/850 (kW)	Potencia bruta G58/850 (MWh)	P. bruta parque (MWh)	P. neta parque (MWh)
435	3810	186.692	158.688

De acuerdo a la configuración del IDAE tal y como se observará a continuación en la figura 20 las pérdidas en un aerogenerador se sitúan en torno al 15%, es decir, únicamente se puede utilizar un 85% de la producción bruta. Estas pérdidas de producción son debidas a indisponibilidades técnicas de parque y red, pérdidas eléctricas, efecto estela, etc

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

4.5.1-Programa informático IDAE (Simulación)

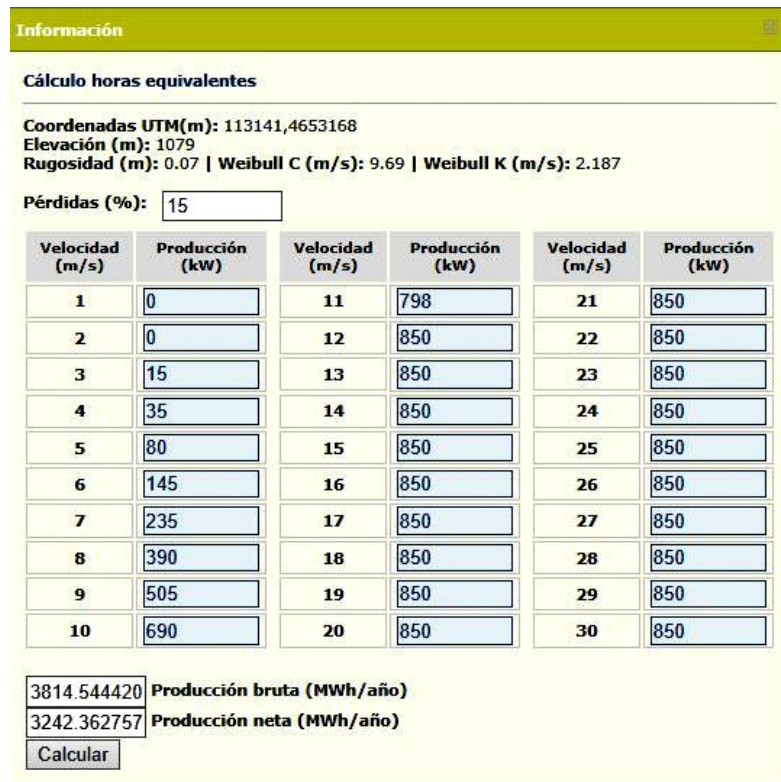


Figura 20: Generación Energía (IDAE)

En esta figura 20 se calcula la generación eléctrica correspondiente a un aerogenerador tipo G58/850 situado en el emplazamiento del parque eólico.

Con el fin de obtener la energía anual, a cada velocidad se le asocia un correspondiente valor de potencia definido en la curva de potencia del propio generador (figura 33 Anexo I).

La producción bruta de un aerogenerador de acuerdo a esta simulación, es de 3814 MWh y la producción neta de energía dicho aerogenerador anualmente es de 3242 MWh, teniendo en cuenta las pérdidas mencionadas anteriormente.

El valor de la producción bruta es muy similar al obtenido anteriormente en la Tabla 3. Por lo tanto, se puede indicar que los resultados pueden asemejarse bastante a la realidad.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

A partir de los datos obtenidos se realizará una estimación del número de personas que abastece actualmente el parque. Se parte de la suposición de que cada persona consume 1050 KWh de electricidad anualmente tal y como se menciona en la página web comparatarifasenergia.es.

En la Tabla se aprecia que según los cálculos el parque abastece alrededor de 150.000 personas.

$$N^{\circ} \text{ de habitantes} = P. \text{ neta parque} / E. \text{ consumida} \quad (12)$$

Tabla 4: Número de habitantes se abastece

Potencia neta (MWh)	Potencia neta del parque(MWh)	Energía consumida (MWh)	N°de habitantes
3242	158.876	1,05	151.310

4.6-Limite de Betz y Coeficiente de Potencia

La potencia eólica disponible es la máxima potencia que podríamos extraer al viento si pudiésemos convertir toda su energía cinética en energía útil. La potencia eólica extraída del viento por el rotor de la máquina se conoce como Potencia Eólica Aprovechada (Pa).

El rendimiento de conversión se describe por un Coeficiente de Potencia (Cp) o Limite de Betz definido como la relación entre la potencia aprovechada y la disponible ($Cp=Pa/Pd$).

De acuerdo a la teoría de Betz, una turbina eólica puede convertir en energía mecánica como máximo un 59,26 % de la energía cinética del viento que incide sobre ella ($Cp=59,26$). Esta teoría es una simplificación ya que no tiene presente algunos aspectos existentes en la práctica como la resistencia aerodinámica de las palas, la pérdida de energía por turbulencia de la estela, la compresibilidad del aire y la propia interferencia entre las palas.

$$P = Cp \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (13)$$

El cálculo del coeficiente de potencia se realiza a través de la potencia bruta obtenida en la sección 4.5.

Tabla 5: Cálculo de Coeficiente de Potencia

Potencia G58/850 (kW)	Potencia eólica (kW)	Cp
434,94	846,37	0,51

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

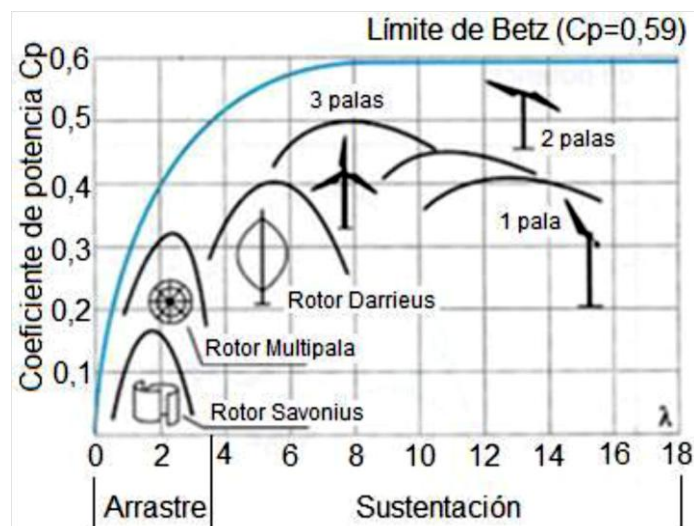


Figura 21: Coeficiente de potencia (Apuntes Egela)

En esta figura 21 se observa que el coeficiente de potencia de los aerogeneradores de 3 palas se sitúa en torno a un valor de 0,5. Por lo tanto, el cálculo realizado se asemeja a la realidad.

4.7-Perfil de velocidades

La velocidad varía con la altura debido a la influencia de la rugosidad del terreno. Dicha variación se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$V_2 = V_1 \left(\frac{z_1}{z_2} \right)^{n} \quad (14)$$

V_2 =velocidad del viento en z_2

V_1 =velocidad del viento en z_1

n es un coeficiente que depende de las rugosidades de acuerdo a la figura 21.

Tipo de terreno	n
Liso (mar, arena, nieve)	0.10 – 0.13
Poco rugoso (hierba corta, cereales, regiones rurales)	0.13 – 0.20
Rugoso (bosques barrios)	0.20 – 0.27
Muy rugoso (ciudades, altos edificios)	0.27 – 0.40

Figura 22: Índice de rugosidad del terreno (Apuntes Egela)

El parque se sitúa en una zona rural y por lo tanto se ha tomado un valor de $n=0,2$ para realizar los cálculos. La rugosidad, sin embargo, es un parámetro bastante complejo y que requiere de un estudio más profundo y de programas informáticos y de cálculo más complejos de los que se ha utilizado para este proyecto. La figura 20 refleja que el índice de rugosidad es de 0,07,

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

un valor que sorprende ciertamente puesto que corresponde a paisajes lisos cercanos al mar y el parque de Serra de Larouco se sitúa en el interior.

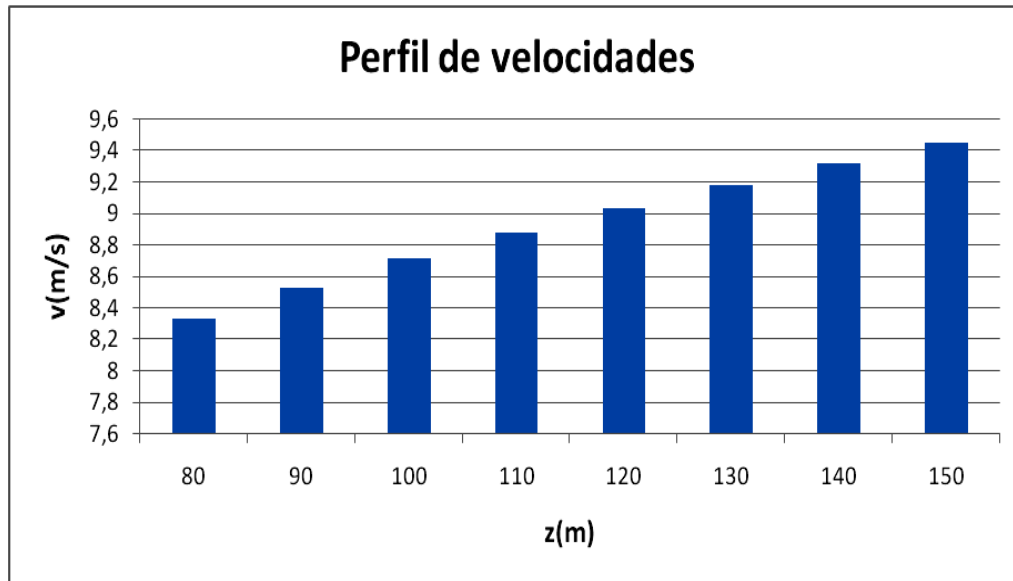


Figura 23: Perfil de velocidades (Excelll)

Esta gráfica de la figura 23 será de gran utilidad en la repotenciación del parque puesto que al sustituir los aerogeneradores actuales por unos de mayor potencia se presupone que tendrán una mayor altura de torre.

Es un elemento a tener en cuenta en la elección del aerogenerador, debido a que en el cálculo estimado de la energía producida por el aerogenerador la potencia eólica se calcula con la velocidad al cubo. Lo que implica grandes variaciones de potencia con pequeños cambios en la velocidad. Sin embargo, se observa también que cuanto más aumenta la altura de la torre menor es la variación de la velocidad.

4.8-Conclusiones

De la caracterización del recurso eólico se puede concluir que:

- La **dirección predominante** del viento es el **noroeste** y los aerogeneradores deben orientarse en ese sentido.
- El **40%** de la velocidad incidente está entre los **5-9 m/s**, un valor bastante considerable.
- La energía neta generada por el parque es de **158.875 MWh**, suponiendo un 15% de pérdidas, y se puede abastecer en tono a **150.000 personas**.
- El **coeficiente de potencia** de los aerogeneradores G58/850 es de en torno a **0,51**.

CÁPITULO 5-ELECCIÓN DE AEROGENERADORES PARA LA REPOTENCIACIÓN

En esta sección se evalúan turbinas eólicas de tres fabricantes con mayor peso en el panorama mundial con la intención de escoger el modelo más apropiado para la repotenciación del parque eólico. Los fabricantes de dichos aerogeneradores son los siguientes:

- Siemens Gamesa (España/Alemania)
- Vestas (Dinamarca)
- Goldwind (China)

5.1-Presentación de los fabricantes

- Siemens Gamesa es un proveedor líder de soluciones de energía eólica, con clientes en todo el mundo. Se trata de una compañía que ha instalado tecnologías en más de 90 países con una capacidad total de más de 84 GW y con un equipo profesional de 25.000 empleados. El nombre se debe a la fusión entre las empresas española Gamesa y la alemana Siemens. De acuerdo a los últimos datos recopilados en el ranking del informe de Bloomberg de la figura 24, esta unión de 2016 ha facilitado que en la actualidad se establezca como el principal constructor de aerogeneradores en todo el mundo, si en este registro se incluyen las turbinas offshore.
- Vestas es una empresa danesa reconocida por ser la única de energía global con dedicación exclusiva a la energía eólica. Además, cuenta con el mayor centro de investigación y desarrollo de la energía eólica del mundo. En la actualidad, trabaja con más de 51.000 aerogeneradores, alrededor de 60 GW instalados en todo el mundo, proporciona energía eólica en 73 países y da empleo a aproximadamente 17.000 personas. En los últimos años se había constituido como la compañía número uno en producción de turbinas, hasta la reciente fusión de las empresas mencionadas anteriormente. Aún así, en el año 2017 siguió manteniéndose como el principal promotor de aerogeneradores terrestres con 7,7 GW, lo cual equivale a una participación en el mercado global del 16%.

Ambos proyectos son mundialmente conocidos por su patente en fabricación de aspas, no se puede olvidar que las palas del aerogenerador son el dispositivo que convierte la fuerza del viento en el par necesario para generar potencia útil.

- La empresa china Goldwind se sitúa como la tercera potencia en cuanto a la fabricación de aerogeneradores. Este crecimiento se debe al auge de la producción eólica en el imperio asiático. La mayoría de los parques que controlan están en China

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

aunque también tienen varios centros en EEUU, Australia y Latinoamérica. Su principal factor competitivo es el bajo coste de la mano de obra y los componentes, lo cual permite la producción de las turbinas a un menor precio y su posterior comercialización.

Top Wind Manufacturers of 2017

Siemens grabs top spot from Vestas with offshore additions

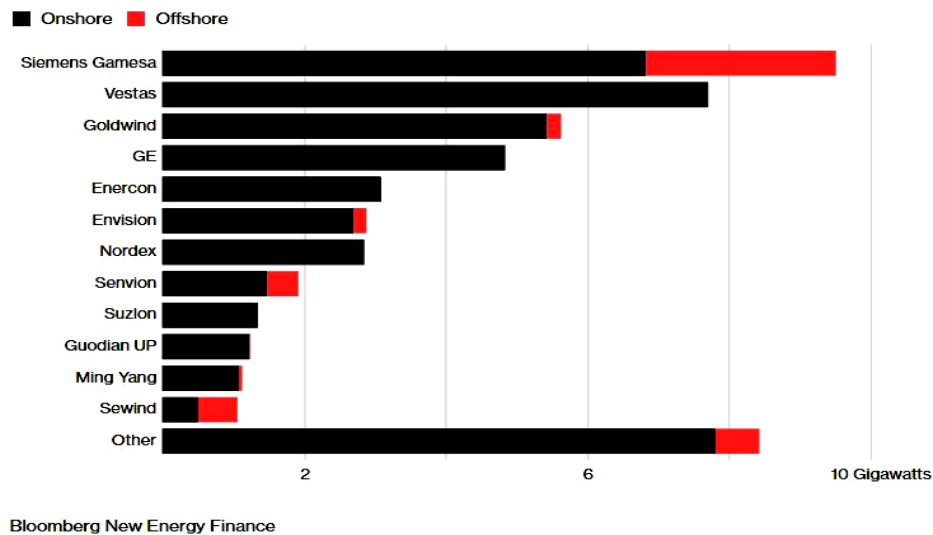


Figura 24: Mayores fabricantes de energía eólica (Bloomberg)

5.2-Garantías de mantenimiento y fiabilidad del fabricante

El mantenimiento de los aerogeneradores y la garantía de reparación ante cualquier avería es un aspecto fundamental a la hora de la elección.

El método más eficaz consiste en el mantenimiento preventivo, es una metodología sobradamente conocida e implantada en todo el espectro industrial, que mediante la medida, análisis y control de niveles de vibración y otros parámetros, permite:

- Reducir drásticamente los costes de mantenimiento.
- Reducir el número de averías imprevistas.
- Aumentar la disponibilidad de los equipos.

La correcta aplicación de esta metodología del mantenimiento preventivo a los aerogeneradores está permitiendo garantizar una explotación óptima de los parques eólicos y una reducción de los costes de los mismos.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

De acuerdo a lo anteriormente expuesto Gamesa presenta varios aspectos favorables en relación a los servicios de operación y mantenimiento. En primer lugar, la seguridad de que se trata de un fabricante español y por otro lado, la confianza generada al conocer el buen funcionamiento del parque durante los años en activo. Gamesa cuenta con bastantes centros de reparación y fabricación a lo largo del estado. El más cercano al parque Serra de Larouco se encuentra en la provincia de A Coruña (cuadro rojo de la figura 25) aproximadamente a 2 horas en coche.

Por otro lado, Vestas a pesar de ser una empresa danesa intenta siempre llevar a cabo la producción lo más cerca posible del mercado y de la instalación del parque eólico. En España cuenta con una serie de centros, el principal se encuentra en Madrid pero existe uno en León (cuadro azul de la figura 25) que podría ser útil para el abastecimiento del Parque De Serra de Larouco y aseguraría cierta estabilidad al proyecto. Con un cuadrado verde se marca la localización del parque en concreto.

Por último, el fabricante Goldwind no dispone de ningún servicio de atención en España por lo que ello dificultaría la adjudicación de este proyecto a una empresa con sede en China. Ciertamente los productores chinos no tienen gran arraigo en el estado español y se desconoce la forma en la que se llevaría a cabo el mantenimiento del parque.

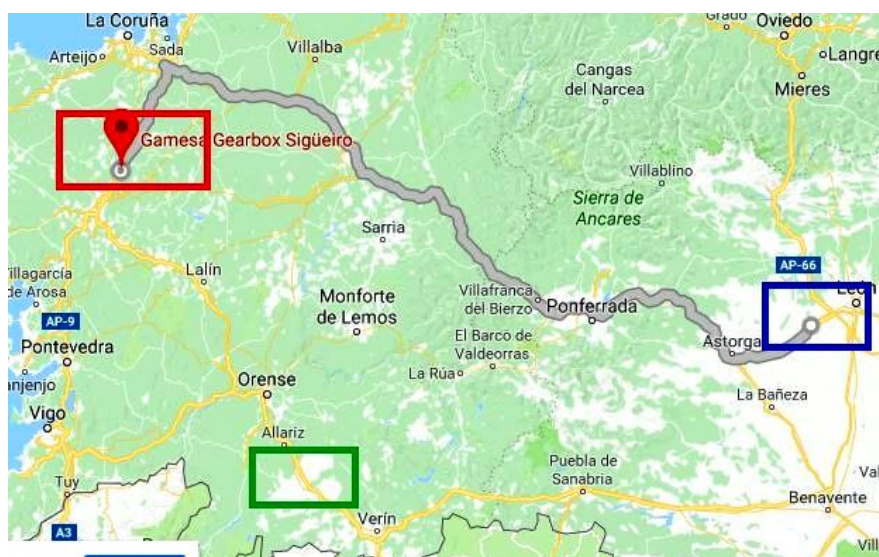


Figura 25: Ubicación de talleres de mantenimiento (Google Maps)

5.3-Modelos preseleccionados

Todos aquellos modelos que se tratarán en este informe son muy similares y presentan una serie de características comunes. Son aerogeneradores de eje horizontal, tripala, orientados a barlovento y con sistemas de paso y velocidad variable.

- **Eje horizontal:** El eje de rotación del equipo es paralelo al suelo y predomina la fuerza lateral. En general, tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

que los aerogeneradores de eje vertical, por lo que necesitan caja de engranajes con menor relación de multiplicación de giro.

- Torre modular.

-**Rotor tripala:** Tienen mayor par de arranque y son más estables en la rotación para su orientación que un rotor bipala. Estos rotores permiten una distribución de masa más adecuada, lo que hace que la rotación sea más suave. Las palas están fabricadas a base de fibra de vidrio laminadas y reforzadas con resina epoxy o poliéster, lo que otorga a las palas ligereza, manteniendo la rigidez y la resistencia.

- **Barlovento:** Las palas se ubican enfrentadas al viento y antes de la torre que sustenta el aerogenerador. El objetivo es reducir las cargas cíclicas sobre las aspas que aparecen si se situara a sotavento, pues al pasar una pala por detrás de la estela de la torre, la velocidad incidente está muy alterada.

-**Tecnología de paso y velocidad variable:** La tecnología de paso variable permite adaptar el ángulo de las palas a la velocidad del viento para así maximizar la energía obtenida y minimizar las cargas sobre la máquina. Sin embargo, también conlleva un mayor coste económico.

- Generadores asíncronos doblemente alimentados:

El estudio de los diferentes modelos posibles para la repotenciación del parque se basa en dos pilares importantes. En primer lugar, el análisis eólico de los distintos aerogeneradores y en segundo lugar una estimación del montante económico que conlleva la implantación de estos nuevos aerogeneradores.

5.4-Análisis eólico de los modelos

En este desarrollo se evaluarán las curvas de potencia de las turbinas. Para ello se realizarán dos suposiciones: en la primera de ellas los aerogeneradores escogidos tienen una potencia eólica similar para cada fabricante y en la segunda en cambio las máximas potencias posibles para cada uno de ellos

Se tendrá en cuenta tal y como se constata en la sección 4.3 la relevancia de que la velocidad del viento aprovechable gran parte del tiempo se encuentra en el intervalo entre los 5 y 9 m/s a 80 metros de altura. Se estima que dichos datos variarán en torno a 1m/s al utilizar aerogeneradores con torres de mayor altura, es decir, el informe no varía excesivamente.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Primera suposición: Aerogeneradores de potencias cercanas a 3000 KW para cada fabricante.

Los modelos y características más importantes de los tres promotores son las siguientes:

Tabla 7: Datos modelo G132/3300 (Windpower)

Modelo	G132/3300
Fabricante	Gamesa
Potencia (KW)	3300
Diámetro (m)	132
Área de barrido (m ²)	13685
Torre(m)	110

Tabla 6: Datos modelo V117/3300 (Windpower)

Modelo	V117/3300
Fabricante	Vestas
Potencia (KW)	3300
Diámetro (m)	117
Área de barrido (m ²)	10752
Torre(m)	120

Tabla 8: Datos modelo G140/3000 (Windpower)

Modelo	GW140/3000
Fabricante	Goldwind
Potencia (KW)	3000
Diámetro (m)	140
Área de barrido (m ²)	15394
Torre(m)	110

En el gráfico de la figura 26 se representan las curvas de potencia para los distintos aerogeneradores. En este caso no se ha podido encontrar ningún tipo de estadística acerca de la curva de potencia de las turbinas correspondientes a GW 140/3000 Goldwind.

Se puede observar que el modelo G132 es más apropiado para velocidades que alcanzan hasta los 10 m/s, es decir para velocidades bajas e intermedias. El modelo V117 por el contrario tiene una menor eficiencia para velocidades bajas pero mantiene su potencia constante al llegar a velocidades altas. Este hecho se debe a que puede que este prototipo se utilice con mayor asiduidad en emplazamientos offshore donde las velocidades del viento son elevadas.

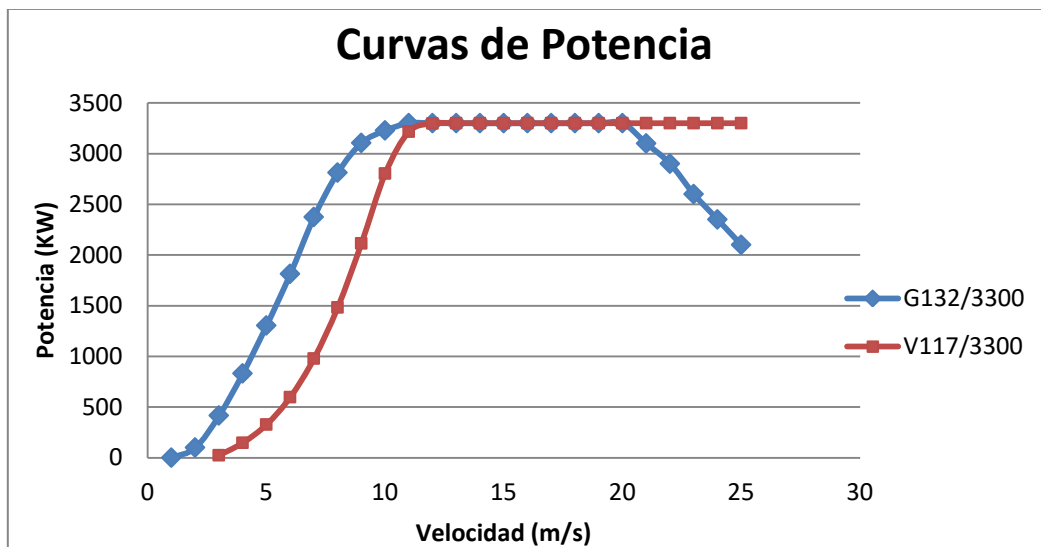


Figura 26: Curvas de potencia (1era suposición)

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Segunda suposición: Aerogeneradores de la máxima potencia admisible para cada fabricante

Los modelos y sus características en este caso son las siguientes:

Tabla 9: Datos modelo G132/5000 (Windpower)

Modelo	G132/5000
Fabricante	Gamesa
Potencia (KW)	5000
Diámetro (m)	132
Área de barrido (m ²)	13685
Torre(m)	118

Tabla 10: Datos modelo V164/8000 (Windpower)

Modelo	V164/8000
Fabricante	Vestas
Potencia (KW)	8000
Diámetro (m)	164
Área de barrido (m ²)	21125
Torre(m)	140

Tabla 11: Datos modelo V164/8000 (Windpower)

Modelo	GW121/2500
Fabricante	Goldwind
Potencia (KW)	2500
Diámetro (m)	121
Área de barrido (m ²)	11499
Torre(m)	105

En la figura 27 al igual que en la anterior se analizan las curvas de potencia de las correspondientes turbinas.

La curva referente a Gamesa (G132) y Vestas (V164) presentan la misma curva exponencial que los anteriores modelos. La principal diferencia reside en que al contar el aerogenerador V164 con una mayor potencia instalada se obtendrán mayores potencias eléctricas generadas incluso en el intervalo de velocidades inferiores a 10 m/s.

En cuanto al aerogenerador Goldwind se escoge aquel con una potencia de 2500 KW puesto que es aquel de mayor potencia con el cual se cuenta con la curva de potencia.

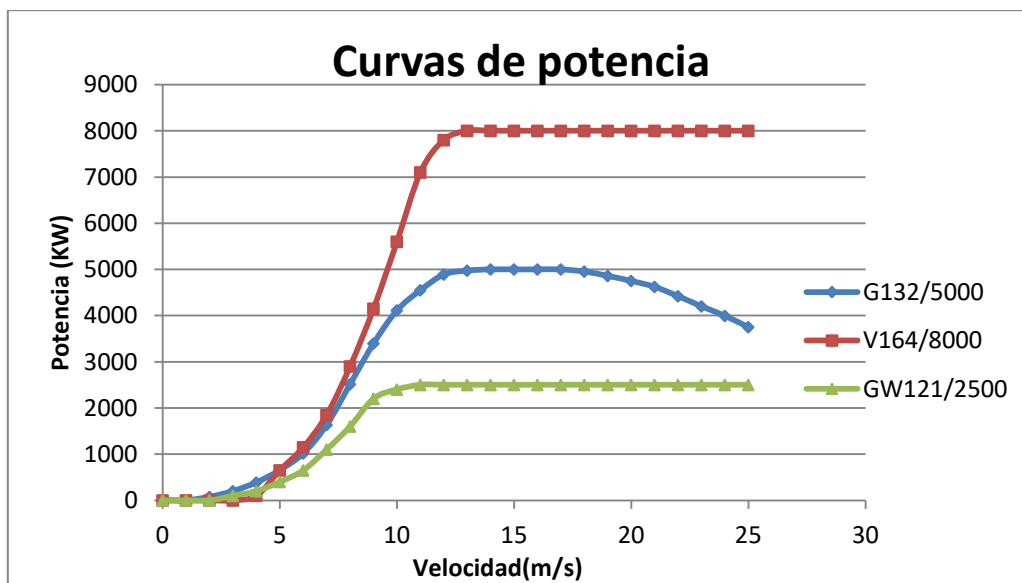


Figura 27: Curvas de potencia (2nda suposición)

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Considerando ambas graficas, las curvas y las correspondientes potencias se puede indicar que aquellos modelos con mayor capacidad y más apropiados para la repotenciación desde una perspectiva eólica son el G132/5000 y el V164/8000.

5.5-Análisis económico

En este apartado simplemente se expone un informe aproximado del valor económico que suponen los distintos aerogeneradores. No se tendrán en consideración los gastos que conllevan la obra civil, derrumbamiento y reconstrucción del propio parque puesto que ello requerirá un análisis más profundo una vez escogido el aerogenerador.

De acuerdo a diversa fuentes un aerogenerador de 1MW ronda un coste de alrededor de un millón de euros. A partir de este criterio se evaluará el coste del parque para los aerogeneradores tipo Vestas o Gamesa.

El fabricante chino Goldwind se caracteriza por un bajo precio de los aerogeneradores, lo cual ha permitido que se convierta en un duro competidor respecto a otras compañías en principio más potentes. Sin embargo, no se ha podido encontrar ninguna fuente que indique una estimación del ahorro económico que esto supondría.

Por lo tanto, definitivamente, se desestima el planteamiento de configurar el parque con modelos chinos ante la falta de información y la escasa confianza que genera para acometer un proyecto de gran inversión.

5.6-Calculo de la potencia eléctrica

En esta sección se estudia la potencia eléctrica generada por parte de los aerogeneradores de Gamesa y Vestas por separado.

La principal diferencia a tener en cuenta es la variación de las velocidades al aumentar la altura de la torre puesto que la densidad se considerará constante.

A partir de los datos IDAE se requiere el mismo procedimiento que en la sección 4.5. En las Tablas 12 y 13 se calcula el valor asociado a la potencia eléctrica generada por una de las turbinas de cada tipo.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Tabla 12:Potencia eléctrica G132/5000

Modelo G132/5000		
Dirección	Velocidad a 118m (m/s)	Potencia por cada dirección
N	8,79	239,01
NNE	5,84	20,43
NE	4,10	4,96
ENE	4,17	5,00
E	5,85	19,08
ESE	7,95	180,50
SE	8,43	423,11
SSE	8,46	313,88
S	9,12	130,56
SSW	10,24	146,37
SW	10,30	171,28
WSW	10,89	268,40
W	10,27	258,96
WNW	10,37	291,90
NW	9,56	361,12
NNW	9,46	448,92
Potencia total (KW)		2.834,56

Tabla 13:Potencia eléctrica V164/8000

Modelo V164/8000		
Dirección	Velocidad a 140m (m/s)	Potencia por cada dirección (kW)
N	9,10	323,82
NNE	6,04	24,97
NE	4,24	0,62
ENE	4,32	0,9375
E	6,05	23,32
ESE	8,23	216,6
SE	8,72	539,83
SSE	8,76	393,68
S	9,44	180,48
SSW	10,60	221,34
SW	10,66	249,86
WSW	11,27	439,2
W	10,62	386,88
WNW	10,73	434,375
NW	9,90	517,28
NNW	9,79	648,44
Potencia total (KW)		3.953,1925

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Los aerogeneradores Vestas cuentan obviamente con una mayor potencia eléctrica. Sin embargo, no parece muy adecuado instalar aerogeneradores de 8 MW en este parque. Estos aerogeneradores son más propicios para emplazamientos offshore (marinos) donde la velocidad del viento es superior.

Se debe tener en cuenta también que los modelos de Gamesa en este caso al ser aerogeneradores de menor potencia permiten una mayor flexibilidad manteniendo una productividad bastante eficiente. Por lo tanto, se utilizará una cantidad aún por conocer de aerogeneradores G132/5000.

La mayoría de los parques en el territorio español se encuentran en manos de Gamesa y se espera que esta decisión aporte cierta mayor seguridad al proyecto y así, aumentar la confianza de los inversores.

5.7-Conclusiones

De la elección de los aerogeneradores se puede concluir que:

- Las turbinas más adecuadas para la repotenciación del parque son modelos **G132/5000**.
- Es necesario optimizar la **cantidad de turbinas** para conseguir el mejor aprovechamiento eléctrico y se realizará en el capítulo siguiente.
- La potencia eléctrica de los aerogeneradores **G132/5000** es de **2.834 kW**, bastante superior a un modelo G58/850.
- La repotenciación supondrá una mejora en la producción eléctrica pero cabe estudiar la viabilidad del proyecto en términos económicos y urbanísticos.

CÁPITULO 6-REPOTENCIACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DEL PARQUE

La repotenciación de un parque eólico se basa en elegir la cantidad y disposición los nuevos aerogeneradores con el fin de obtener una explotación eficiente del terreno.

La reconstrucción del mismo se basa en desmontar los actuales generadores, llevarlos a un centro donde puedan ser reciclados y transportar el material necesario para el montaje de los nuevos aerogeneradores. Es importante contar con viales de accesos adecuados y seguros para la conducción de los componentes.

6.1-Calculo de la repotenciación y optimización de la nueva configuración

El parque actualmente está compuesto de 49 aerogeneradores G58/850. La repotenciación mediante la instalación de aerogeneradores tipo G132/5000 conllevará un aumento de potencia instalada.

El valor de dicha potencia está condicionado por el número de aerogeneradores que es posible incluir en el área disponible para la construcción del parque.

El programa Google Maps permite observar que la disposición de los aerogeneradores en la actualidad es prácticamente una recta de forma que se orientan hacia el noreste(recta roja).



Figura 28: Vision aérea de la disposición de los aerogeneradores (Google Maps)

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

El cálculo de la longitud actual del parque se realiza de la siguiente manera:

La escala de la figura es de 2,8 cm por 2 km reales, es decir:

$$E(m/m) = \frac{(2,8 \cdot 10^8 - 3)}{2000} = 0,0000014 \quad (15)$$

En el mismo mapa se aprecia que el segmento rojo donde se ubica el parque mide aproximadamente 8 cm y a través la siguiente fórmula se obtiene la longitud real del parque:

$$\text{Longitud real parque} = (8 \cdot 10^8 - 3) \times 0,0000014 = 5714,286 \text{ metros} \quad (16)$$

La nueva configuración se realizará con la misma disposición lineal pero variará la distancia entre los aerogeneradores. De acuerdo a lo mencionado en la sección 3.3 se calcularán las separaciones mínimas y máximas entre turbinas.

Tabla 14: Distancias entre aerogeneradores

Direcciones	Relaciones	Dist. Mínimas (m)	Dist. Máximas(m)	Valor medio
Perpendicular viento	3-5Diámetro	396	660	528
Paralela al viento	7-10Diámetro	924	1320	No se especifica

Las distancias en las direcciones perpendiculares al viento son importantes para la reconstrucción del parque eólico de Serra de Larouco. Sin embargo, aquellas paralelas al viento no tienen una gran influencia puesto que no existen grandes intervalos en la disposición de los aerogeneradores.

La primera opción consistiría en utilizar un valor medio, 528 metros, de separación entre ellas con la intención de evitar grandes pérdidas por estela. El número de máquinas a instalar sería de 11 aerogeneradores y la potencia instalada aumentaría en un 34% de acuerdo a la Tabla 14.

La reducción de dicha separación sin llegar al límite mínimo, un valor orientativo de 420 metros, permitiría aumentar la construcción de aerogeneradores hasta 14 y un incremento de de la potencia instalada del 70%.

La repotenciación debe exigir un aumento de la potencia considerable que justifique la inversión económica que se realizará en el proyecto. Por lo tanto, se considera que la segunda opción es más adecuada en este caso.

Tabla 15: Número de aerogeneradores y aumento potencia instalada

Separación (m)	Nº de aerogeneradores	Potencia instalada (MW)	Aumento potencia %
528	11	55	34 %
420	14	70	70 %

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Se supone que el parque contará por lo tanto con 14 aerogeneradores. En la Tabla 16 se recogen los valores de la potencia eléctrica del parque, así como la energía bruta y la energía neta del propio parque que se producirían.

Tabla 16: Cálculo de la energía generada tras la repotenciación

P. eléctrica G132/5000 (Kw)	Nº de aerogeneradores	P. eléctrica parque (MW)	P. bruta parque (MWh)	P. neta parque (MWh)
2834	14	39	347.629	295.485

Se aprecia que la potencia neta del parque aumentaría considerablemente tras la repotenciación en comparación con los valores obtenidos en la sección 4.5, concretamente en 136.609 MWh. Este aumento de energía provocaría que se pudiese abastecer de energía a casi el doble de gente que hoy en día, es decir alrededor de 280.000 personas.

Tabla 17: Número de personas se abastece tras la repotenciación

P. neta parque (MWh)	Nº personas
295.485	281.415

6.2-Valorización o reciclaje de los aerogeneradores sustituidos

La repotenciación de un parque eólico abre un nuevo mercado dentro del sector. Las máquinas usadas pueden ser vendidas como aerogeneradores de segunda mano para obtener cierto beneficio económico. Sin embargo, el mercado es bastante reducido y ciertamente no se espera gran demanda acerca de aerogeneradores utilizados durante un periodo de 15 años.

Otra opción es el reciclado de los aerogeneradores desmantelados, ya sea en su totalidad o simplemente alguna de las partes, y la posterior venta de las mismas. Ciertos elementos como las palas de las turbinas son residuos difíciles de reciclar.

La principal productora de energías renovables del mundo, Energías De Portugal Renovables (EDPR) ha llegado a un acuerdo de colaboración con la empresa Thermal Recycling of Composites (TRC) para que se encargue del reciclaje de las palas. La sede de esta empresa en España se encuentra en Barcelona, por lo que el reciclaje implicaría el transporte de las palas desde Galicia hasta Cataluña, un trayecto de aproximadamente 12 horas.

De esta manera, las resinas de las palas se transforman en combustibles líquidos y gases combustibles y se pueden obtener fibras de vidrio o de carbono, que pueden reutilizarse para confeccionar sillas u otro tipo de mobiliario.

6.3-Infraestructuras a renovar

La repotenciación plantea un nuevo escenario en el que se debe estudiar si es preciso remodelar parte de la infraestructura como los viales de acceso o las instalaciones eléctricas.

6.3.1-Viales de acceso

Los viales de acceso generales y los viales interiores, mencionados ya en la sección 3.2, deben tener en cuenta las necesidades de los transportes especiales que son los encargados de realizar el acopio de los elementos del aerogenerador.

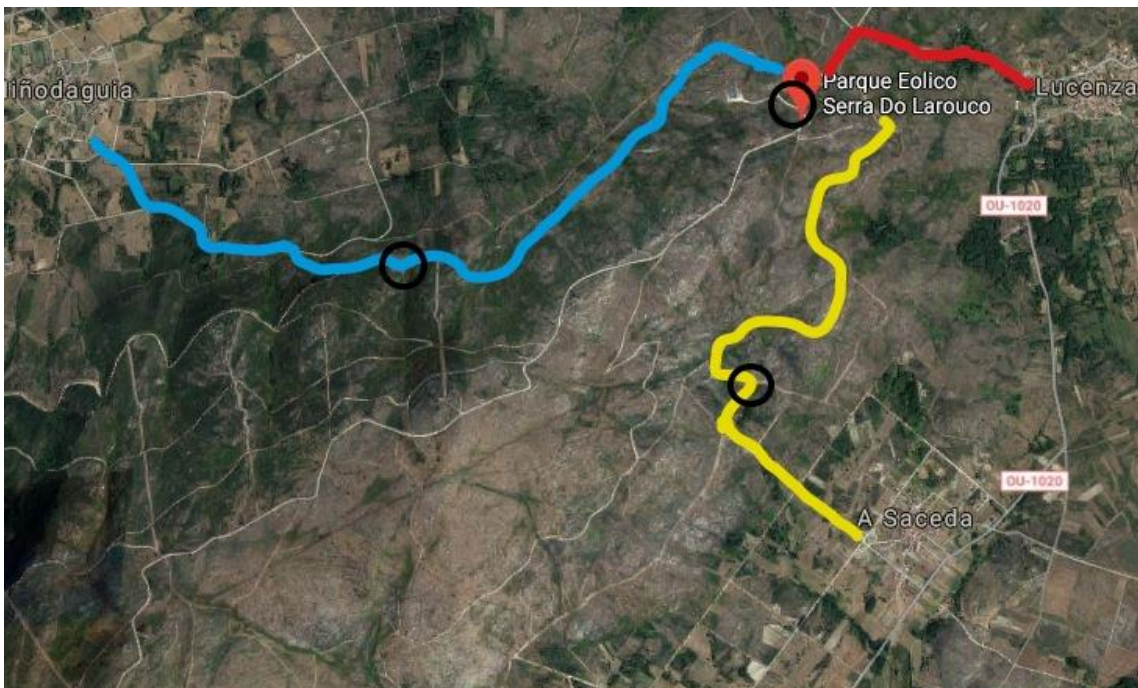


Figura 29:Visión aérea del acceso al parque (Google Maps)

El acceso al parque se realizará desde los municipios de Niñodaguía , Lucenza y Saceda según los caminos descritos en la figura 29.

Las necesidades de transporte y montaje dependerán de las características de los elementos del aerogenerador G132/5000. La torre de 120 metros de altura se podría descomponer en calderería de 6 tramos de 20 metros cada uno, en cambio las palas miden 66 metros pero no se pueden descomponer.

Los viales generales deben tener al menos una anchura de 5 metros para permitir el paso de los camiones. En este caso, se cumple con esta especificación prácticamente para la totalidad del camino aunque podría ancharse el camino en algunas zonas específicas hasta los 7-8 metros.

En los viales interiores estas dimensiones varían dependiendo si el montaje mecánico se realiza con o sin desmontaje de la grúa. Si se realiza este desmontaje el ancho puede ser de 5-6 metros mientras que si no se desmonta puede alcanzar una anchura de 8-10 metros para que la grúa de cadenas pueda circular entre los aerogeneradores.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

En la figura 29 se marcan aquellas curvas más críticas para el paso de los componentes, especialmente de las palas. Para ello, se estudiará más detalladamente una de ellas, la más cercana al parque.

Los componentes más críticos a la hora de pasar por dichas curvas son las palas.

La figura 30 permite apreciar el transporte de una pala por una curva de ese tipo. En este caso se trata de un aerogenerador Gamesa 128/5000.



Figura 30: Transporte de las palas (Apuntes Egela)

La figura 31 presenta la imagen aérea de uno de los tramos de carretera más complicados situados justo en la entrada al parque, es decir de las vías de acceso interiores. Estos caminos facilitan la llegada a la zona ante la necesidad de cualquier tarea de mantenimiento o incluso para llevar a cabo cualquier mejora o cambio en la instalación.



Figura 31: Curva crítica cercana al parque (Google Maps)

Teniendo en cuenta que la escala de la imagen aérea de Google Maps es de $E=0,0015$ se puede estimar que el ancho de la carretera en la zona recta es de 5 metros, mientras que en la curva el ancho es de 10 metros y el radio mínimo de la curva de 25-30 metros.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

El cálculo del radio de curvatura necesario para el caso de una pala de 66 metros se realiza a través del teorema de Pitágoras. Considerando que la longitud de la pala es la hipotenusa y el radio de curvatura sumado al ancho de la carretera es el cateto. Un esquema representativo de dicha curva se ha realizado a través del programa Solid Edge.

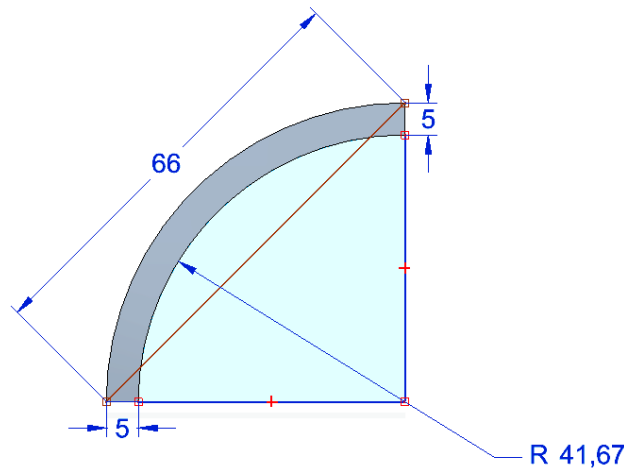


Figura 32: Representación gráfica del radio de curvatura necesario (Solid Edge)

Estos cálculos se basan en una serie de estimaciones ante la falta de acceso a programas que garanticen una mayor exactitud.

Según estos cálculos el radio de curvatura de las curvas más críticos debiera aumentar en 15 metros aproximadamente para garantizar la conducción de las palas.

6.3.2-Infraestructura eléctrica

Las instalaciones eléctricas deben ser suficientes para poder soportar la electricidad generada por los nuevos aerogeneradores. El aspecto positivo es que estas nuevas turbinas tendrían una tensión de salida 690 V, al igual que las actuales, y por lo tanto no sería necesario ninguna remodelación en la subestación eléctrica transformadora. Por lo tanto, no se requerirían en principio grandes cambios en este ámbito.

6.4-Montaje

El proceso de montaje se debe realizar por parte del fabricante, Gamesa en este caso.

Previamente al transporte y montaje de las turbinas, el fabricante realiza unas tareas de adecuación del terreno. Estos trabajos consisten en la construcción de una plataforma de montaje o zapata, la cual requiere una compactación adecuada para soportar grandes pesos. La construcción de las cimentaciones es la fase más crítica de la cadena de montaje y precisa de una serie de estudios geológicos del terreno. En este caso estos informes deben existir de antemano al contar con un parque eólico existente en ese terreno.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Las medidas de la zapata están normalizadas de acuerdo al tamaño del aerogenerador y deben tener una pendiente mínima para favorecer el drenaje del agua y no permitir la formación de charcos perjudiciales para la estructura.

Una vez desarrollado este trabajo se procederá con el montaje de los aerogeneradores, condicionado por el peso de la nacelle, 80 toneladas aproximadamente, y la altura de la torre.

El procedimiento es el siguiente:

1-Montaje de la torre

Los tramos de torre se colocan uno encima de otro mediante grúas de celosía. Éstas pueden ser de oruga o de gatos hidráulicos. En la repotenciación del parque de Serra de Serra de Larouco se utilizarán las grúas de gato puesto que tienen 5 metros de ancho y son aptas para trabajar en caminos estrechos. Las de oruga, en cambio, trabajan con anchos entre 8,5 y 10 metros y son adecuadas para cambiar de posición fácilmente.

2. Montaje del generador

Una vez montada la torre se procede a la instalación de la nacelle la cual se acopla al último tramo de la torre. Al mismo tiempo se procede a la conexión eléctrica de todos los componentes.

3. Montaje del rotor

El montaje se suele realizar en tierra, acoplando las tres palas al buje, o bien pala a pala. Una vez que la nacelle está instalada, se suben el buje y el cono y después se elevan las palas, horizontalmente, una a una.

6.5-Conclusiones

De la reconstrucción del parque se puede concluir que:

- El parque contaría con **14** aerogeneradores G132/5000 y una separación entre ellos de **420 metros**.
- La **energía neta** generada en el parque sería de **295.485 MWh** y se podría abastecer en torno a **280.000 personas**.
- Se **reciclarían** la mayoría de los componentes de los aerogeneradores a sustituir.
- Es necesario realizar obras para variar el **radio de curvatura** de ciertas curvas para permitir el transporte de las **palas**.

CÁPITULO 7-VIABILIDAD DEL PROYECTO

Cualquier proyecto de ciertas magnitudes requiere de una serie de estudios que indiquen la posibilidad real de llevarlo a cabo. De esta manera, se aumenta la probabilidad de éxito al descubrir los distintos factores que, desde el principio, podría afectar al proyecto y perjudicar a sus resultados.

Se tratarán diversos aspectos relacionados con la viabilidad del proyecto, los permisos legales, el aspecto económico y el impacto medioambiental.

7.1-Requerimientos legales

Galicia es uno de las comunidades autónomas del estado en la que la repotenciación de los parques eólicos tiene un mayor peso. La Xunta de Galicia publicó el **DECRETO 138/2010**, por el cual se establece el procedimiento y las condiciones técnico-administrativas para la obtención de las autorizaciones de proyectos de repotenciación de parques eólicos existentes en la Comunidad Autónoma de Galicia.

Es decir, los plazos burocráticos de tramitación debieran ser bastante ágiles y cortos en esta comunidad. No se prevé ningún problema respecto a los permisos siempre que se garantice el cumplimiento de la normativa vigente. Las autorizaciones correspondientes a la industria ya existen y a nivel medioambiental se cuenta con una evaluación de impacto medioambiental previa.

Cabe destacar que la forma con que se procederá al desmonte de un parque eólico se tiene que especificar en el proyecto presentado por parte de Gamesa. Las cláusulas que regulan el desguace exigen, generalmente, que se retiren todos los elementos visibles del parque eólico. Esto afecta a los aerogeneradores pero el resto del servicio también se tiene que eliminar.

La propuesta como ya se ha mencionado en la sección 6.2 anteriormente es el reciclaje de aquellos componentes y materiales (acero, fibra de vidrio) que componen los aerogeneradores.

7.2-Análisis económico del proyecto

Cualquier proyecto medioambiental o tecnológico ha de considerar siempre la rentabilidad económica de la inversión. La repotenciación se fundamenta en una mejora de las instalaciones y un aumento de la eficiencia de producción energética. Sin embargo, es necesario valorar la viabilidad económica y técnica del proyecto, es decir, los recursos económico con los que se cuenta y su utilización óptima.

La evaluación consiste en el análisis de los costes tanto por la inversión inicial como por el mantenimiento anual, los ingresos y el cálculo de la amortización.

7.2.1-Costes de inversión

Estos costes representan un montante económico muy alto y por lo tanto deben estar debidamente justificados con un proyecto viable.

Ante la falta de experiencia en casos de repotenciación de parque eólicos en el estado español, los costos se asemejan a aquellos debidos a la construcción de un nuevo parque eólico. Existen distintos tipos de costes relacionados con la inversión.

-Costos de estudios de viabilidad: Incluyen el estudio del recurso eólico, análisis del emplazamiento, diseño inicial, estudio de impacto ambiental, estudio de rentabilidad y gestión de proyecto, entre otros gastos iniciales.

Estos aspectos se recogen en su conjunto en este informe con el matiz de que un caso real implicaría el uso de herramientas más complejas y exactas. Se obtendrían resultados más precisos, lo cual requiere una mayor inversión económica.

-Costos de equipamiento (aerogenerador): Incluyen la fabricación de las turbinas y el transporte de las mismas hasta el parque en cuestión.

-Costos de obra civil: Incluyen el transporte interno de la turbina y la torre dentro del parque, así como aquellos gastos correspondientes a la edificación de las turbinas.

-Costos de conexión a la red: Incluyen el cableado, las subestaciones y las líneas eléctricas necesarias.

-Otros costos de inversión: Por ejemplo, costos financieros durante la construcción, permisos legales y de uso del terreno, licencias, consultas, seguros y los sistemas de monitoreo.

Los porcentajes de tipo de coste respecto del total se han mantenido prácticamente similares también a los de un nuevo parque aunque existen ciertas variaciones para el caso en concreto. El valor de dichos porcentajes se obtiene a partir de un informe de la Asociación Eólica de Galicia.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

En la Tabla 17 se obtiene el gasto total y el correspondiente a cada coste. Existen dos puntos importantes:

Los aerogeneradores suponen una gran parte del gasto inicial en este caso puesto que se instalará una potencia de 70 MW. En cambio, en cuanto a la infraestructura eléctrica, se ha destinado menos dinero que en otros proyectos puesto que ya se cuenta con una subestación eléctrica adecuada.

Tabla 18: Costes de inversión

Inversión	Porcentajes	Costes parque
Equipamiento	75%	70.000.000 €
Obra Civil	12%	11.200.000 €
Viabilidad	2%	1.866.666 €
Infraestructura eléctrica	6%	5.600.000 €
Otros costes	5%	4.666.666 €
	Total	93.333.333€
	€/MW	1.333.333 €

7.2.2-Costes de explotación

Se trata de aquellos gastos anuales debidos tanto al mantenimiento de las instalaciones como a aquellos relacionados con los aspectos legales:

- Costes de operación y mantenimiento

La O&M del parque eólico tiene una influencia decisiva en la rentabilidad del proyecto ya que afecta doblemente en la cuenta de resultados: por un lado, afecta a los costes de explotación y por otro lado afecta a los ingresos del parque puesto que influye sobre la disponibilidad de los aerogeneradores.

Datos de la misma asociación eólica(EGA) indican que los costes anuales relativos a la gestión y mantenimiento del parque se estiman en torno a unos 17.500€ por MW. En este informe se empleara dicho valor como constante a lo largo del tiempo a pesar de que los costes de mantenimiento aumentan con la antigüedad de las maquinas.

-Costes debidos a tasas

En este contexto se encuadran aquellos gastos correspondientes al alquiler del terreno o los impuestos debidos a la explotación del terreno. Dentro de estos impuestos se incluyen el Impuesto de Actividades Económicas (IAE) y el Impuesto sobre Bienes Inmuebles.(IBI)

Existen **otros gastos** que incluyen el seguimiento medioambiental que se realiza en los parques, así como el coste de las auditorias obligatorias o voluntarias que puedan realizarse.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Tabla 19: Costes de explotación

	Coste €/MW
Alquiler de terrenos	2.250 €
Gestión y mantenimiento	17.500 €
Seguros e impuestos	3.860 €
Otros gastos	360 €
Total €/MW	23.970 €
Total parque	1.677.900 €

7.2.3- Ingresos

Los ingresos anuales se registrarían en relación a la energía producida y al precio de venta de dicha energía. Ese precio varía según las subastas pero en este informe se utilizara un valor constante de 73,22€/MWh.

Tabla 20: Ingresos anuales tras la repotenciación

Energía neta (MWh)	Precio (€/MWh)	Ingresos
295.485	73,22	21.635.437 €

7.2.4- Plazo de amortización y beneficio

El plazo de amortización de una inversión es un concepto formalmente poco económico. Indica el tiempo en el cual un proyecto o inversión deja de costar dinero para aportar cierto beneficio.

En las Tabla 20 se obtiene el tiempo que se tarda en amortizar la inversión realizada.

Con la intención de facilitar los cálculos se ha estimado que la inversión inicial se realiza en un solo pago en vez de realizarlo a plazos tal y como se presupone en proyectos de grandes dimensiones.

$$\text{Plazo amortización} = \frac{\text{Gastos inversión}}{(\text{Ingresos} - \text{Gastos explotación})} \quad (17)$$

Tabla 21: Plazo de amortización

Gastos de inversión	Gastos de explotación	Ingresos	Plazo de amortización
93.333.333 €	1.677.900 €	21.635.437€	4,68

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Se observa que a partir de 4 años y tantos meses el proyecto comenzará a aportar un beneficio a los promotores tal y como se muestra en la siguiente Tabla 21

Tabla 22: Beneficio económico de los promotores

Año	Beneficio
1	-73.375.796 €
2	-53.418.258 €
3	-33.460.721 €
4	-13.503.184 €
5	6.454.353 €
6	26.411.890 €
7	46.369.427 €
8	66.326.965 €
9	86.284.502 €
10	106.242.039 €

Económicamente el proyecto se puede considerar rentable a pesar de que la inversión inicial es de gran cuantía. Es probable que se hayan de pedir préstamos por parte de los fabricantes para afrontar tales cantidades de dinero.

7.3- Impacto medioambiental

La repotenciación de un parque eólico generalmente no implica grandes riesgos medioambientales. En la mayoría de los casos, existen de antemano estudios de viabilidad ambiental que permiten la construcción de un parque en dicha área. Aquellos impactos asociados son:

Impacto en el ecosistema

El aumento de la altura de la torre así como de las palas de las nuevas máquinas tipo G132/5000 puede suponer un mayor impacto sobre el vuelo de las aves o murciélagos. Galicia es una zona de paso para muchas aves migratorias y esto podría conllevar un problema. Sin embargo, no se cuenta con los métodos para poder calibrar dicho impacto.

Impacto visual

La repotenciación de un parque eólico supone una drástica reducción del número de aerogeneradores, y por lo tanto de la infraestructura asociada (cableado, viales, drenajes, etc.). Esto conlleva que en principio la nueva superficie de ocupación del terreno sea inferior a la inicial y disminuya el impacto visual.

Impacto acústico

El ruido generado por un aerogenerador depende de la intensidad del viento y la distancia al aerogenerador principalmente.

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

Los ruidos producidos por un aerogenerador únicamente tiene cierta influencia a distancias inferiores a 300 metros . En el mapa de la figura 28 se observa que las áreas residenciales de los municipios cercanos se encuentran a distancias bastante más grandes. No supone ningún problema instalarse en esas zonas.

Además, los modelos G132/5000 tienen mayores potencias y giran a una velocidad de rotación inferior a los anteriores, e decir son aerogeneradores más silenciosos.

Por lo tanto, es difícil evaluar con los datos disponibles el impacto ambiental pero en principio no se aprecia ningún tipo de riesgo.

7.4-Conclusiones

Del análisis realizado y con los datos disponibles se indica que:

- La repotenciación del parque eólico es **viable** desde el punto vista de los tres ámbitos.
- Los **permisos y autorizaciones legales** para poder llevar a cabo el proyecto no deberían suponer en principio ningún problema.
- La **inversión inicial** es muy importante de entorno a **93 millones** de euros.
- Las previsiones indican que dicha cantidad se recuperaría en **5 años** y a partir de ahí, se obtendrían beneficios importantes que aumentarían anualmente.
- El **impacto ambiental** sobre el terreno no difiere del actual en gran medida y no debe suponer ningún impedimento a la tramitación del proyecto.

CÁPITULO 8-CONCLUSIONES

A partir de los cálculos mostrados en el trabajo, se concluye que la repotenciación del parque eólico de Serra de Larouco consistiría en la ubicación de 14 aerogeneradores del tipo G132/5000. Estas turbinas tendrían la misma disposición lineal, orientada hacia el noroeste, que las actuales pero una separación mayor, de 420 metros.

La elección de este tipo de aerogeneradores se debe en gran medida por la fiabilidad del fabricante, Gamesa. A su vez, son máquinas que permiten obtener una gran eficiencia energética. La producción energética crecería de 158.875 a 295.485 MWh, lo cual implicaría también el aumento del abastecimiento de la población, de 150.000 a 280.000 habitantes, una cifra bastante considerable.

La reconstrucción del parque supondría una gran inversión económica, estimada en torno a 93 millones de euros. Gran parte de este dinero se destinaría a la compra de los nuevos aerogeneradores pero parte de ello también se debe dedicar a la obra civil y la mejora de infraestructuras.

En el caso del parque de Serra de Larouco para el transporte de las nuevas palas sería preciso realizar una obra para incrementar el radio de curvatura de ciertas curvas. Por otro lado, la idea del proyecto es reciclar gran parte de los componentes de los aerogeneradores actuales.

A pesar de esta gran inversión inicial, de acuerdo a las estimaciones de costes e ingresos el proyecto tendría un plazo de amortización de menos de 5 años. A partir de dicho punto, Gamesa obtendría grandes beneficios. Por lo tanto, económicamente se trata de una iniciativa con gran rentabilidad.

Los estudios ambientales generales aplicados al proyecto permiten avanzar que no se prevé ningún riesgo medioambiental diferente al de la actualidad e incluso se afirma que dichos riesgos se verían reducidos en ciertos puntos.

Teniendo en cuentas los aspectos mencionados y que el proyecto se basa en diversas estimaciones, se considera factible la de la repotenciación del parque eólico de Serra de Larouco.

CÁPITULO 9-PRESUPUESTO INICIAL

1. Aerogeneradores
2. Obra Civil
3. Infraestructura eléctrica
4. Ingeniería

NÚMERO	CANTIDAD	CONCEPTO	IMPORTE
1	14	AEROGENERADORES Se trata de aerogeneradores G132/5000 de altura de torre 120 metros y tensión de salida 690 V	70.000.000 €
2	1	OBRA CIVIL Incluye la cimentación correspondiente a cada aerogenerador, así como otro tipo de obras necesarias en los viales de acceso: aumento del radio de curvatura de las carreteras.	11.200.000 €
3	1	INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA Se trata de disponer de las celdas de distribución adecuadas para la repotenciación. No se necesita de una nueva subestación transformadora.	5.600.000 €

REPOTENCIACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO

4	1	INGENIERÍA Se incluyen por un lado, los estudios de viabilidad y por otro lado, los permisos legales, consultas, licencias del terreno...	6.533.332 €
			TOTAL=93.333.333 €

CÁPITULO 10-METODOLOGÍA

SEGUIDA EN EL TRABAJO:DIAGRAMA

DE GANTT

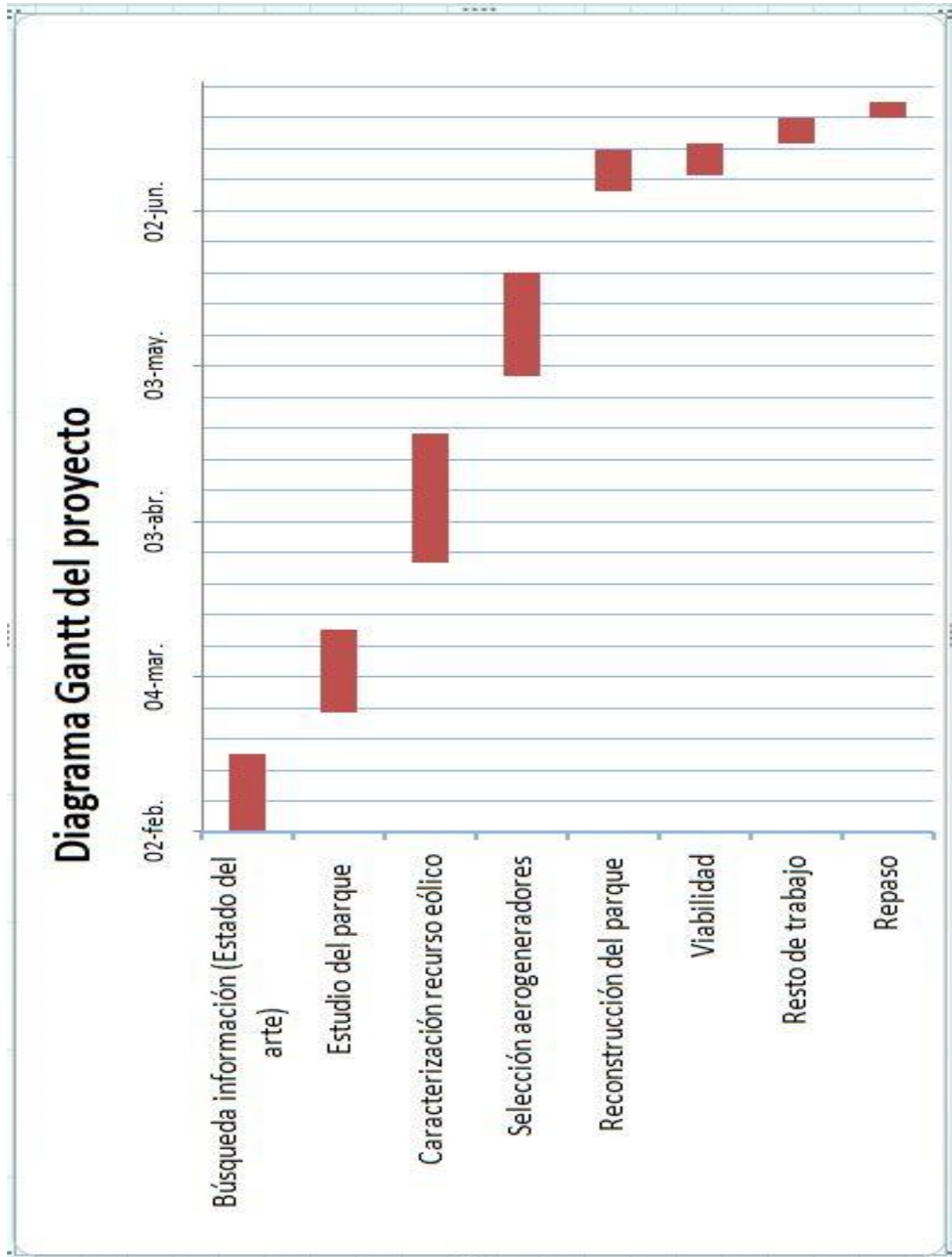
El presente Trabajo Final de Grado se ha desarrollado de acuerdo a un índice elaborado previamente en el cual se especificaban las actividades a realizar en el trabajo. A partir de dicho índice se elaboró un diagrama asignando a cada tarea un tiempo estimado.

Este diagrama no es una norma de obligado cumplimiento sino que permite al autor tener una idea orientativa de los plazos a seguir y ordenar su trabajo conforme a ello. Se han realizado ciertas modificaciones a lo largo del proyecto. En este proyecto, la memoria se ha redactado al mismo tiempo que se buscaba la información y se realizaban los cálculos.

El desarrollo del trabajo se divide prácticamente al igual que los capítulos del mismo:

1. **Búsqueda información general (Estado del arte):** Esta es la primera actividad de la que se precisó en un principio para poder completar el estado del arte referido a la energía eólica y a la repotenciación de la misma.
2. **Selección parque y estudio:** El segundo paso consiste en seleccionar un parque del territorio nacional. Para ello, se priorizaron dos aspectos: la localización del parque y que los aerogeneradores tuvieran cierta edad para considerar su repotenciación. A partir de ello, se procedió al estudio del parque (Capítulo 3).
3. **Caracterización recurso eólico de la zona:** Esta etapa se establece utilizando como fuente el IDAE y permite reflejar las características eólicas del lugar.
4. **Selección nuevos aerogeneradores:** Se busca información a cerca de distintos fabricantes y aerogeneradores en la página Windpower. Con ellos, se realizan una serie de estimaciones y cálculos y se procede a escoger uno de ellos.
5. **Reconstrucción del parque:** Se trata de hallar la disposición del nuevo parque y la obra civil que se debe realizar.
6. **Estudio viabilidad:** Se obtienen datos a cerca del montante económico que supone la repotenciación, así como de los permisos que se necesitan y el impacto medioambiental asociado.
7. **Resto del trabajo:** Esta última etapa se refiere a la redacción de la introducción así como la tabla de presupuestos o la metodología del trabajo
8. **Repaso:**

El Trabajo Final de grado se inició el 2 de febrero y finalizó el 23 de junio.



CÁPITULO 11-BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

Es la lista de la bibliografía de donde se ha obtenido la información y las referencias de las imágenes, ordenadas alfabéticamente.

- Acciona www.acciona.com
- Ammonit www.ammonit.com
- Asociación Empresarial Eólica (AEE): www.aeeolica.org
- Asociación Eólica Galicia (EGA) www.ega-asociacioneolicagalicia.es
- Blog Emberiza Medioambiente www.emberizamedioambiente.es
- Comparatarifasenergía.es www.comparatarifasenergia.es
- Diarios Renovables www.diariorenovables.com
- Eoliccat eoliccat.net
- Google Maps www.google.es/maps
- El Periódico de la Energía elperiodicodelaenergia.com
- Instituto Nacional de IDAE www.atlaseolico.idae.es/meteosim
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). www.ine.es
- Red Eléctrica de España (REE) www.ree.es
- Revista Eólica y del Vehículo Eléctrico (EVE) www.evwind.com
- Siemens Gamesa www.siemensgamesa.com
- Vestas www.vestas.com
- Windpower www.thewindpower.net

ANEXO I

DATOS TURBINAS G58/850

- Fabricante : Gamesa (España)
- Turbina eólica : G58/850
- Potencia : 850 kW
- Diámetro : 58 m
- Área de barrido : 2 643 m²
- Densidad de potencia : 3.11 m²/kW
- Número de palas : 3
- Puesta en servicio : 2001
- Tensión de salida : 690 V

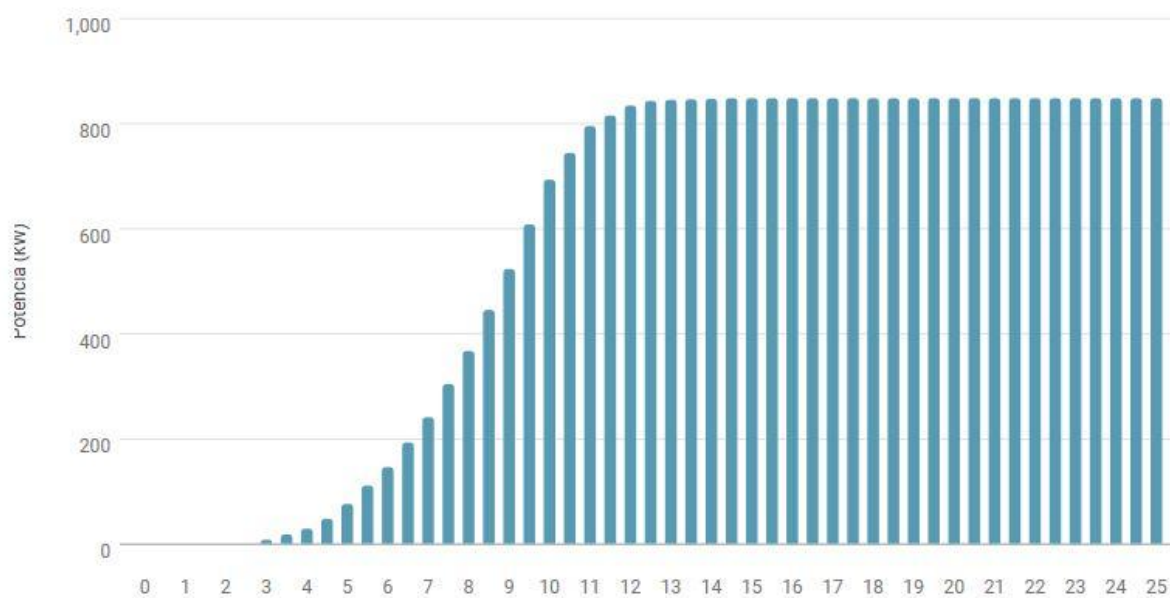


Figura 33: Curva de potencia G58/850 (Windpower)

ANEXO II

- Mapa topográfico Galicia

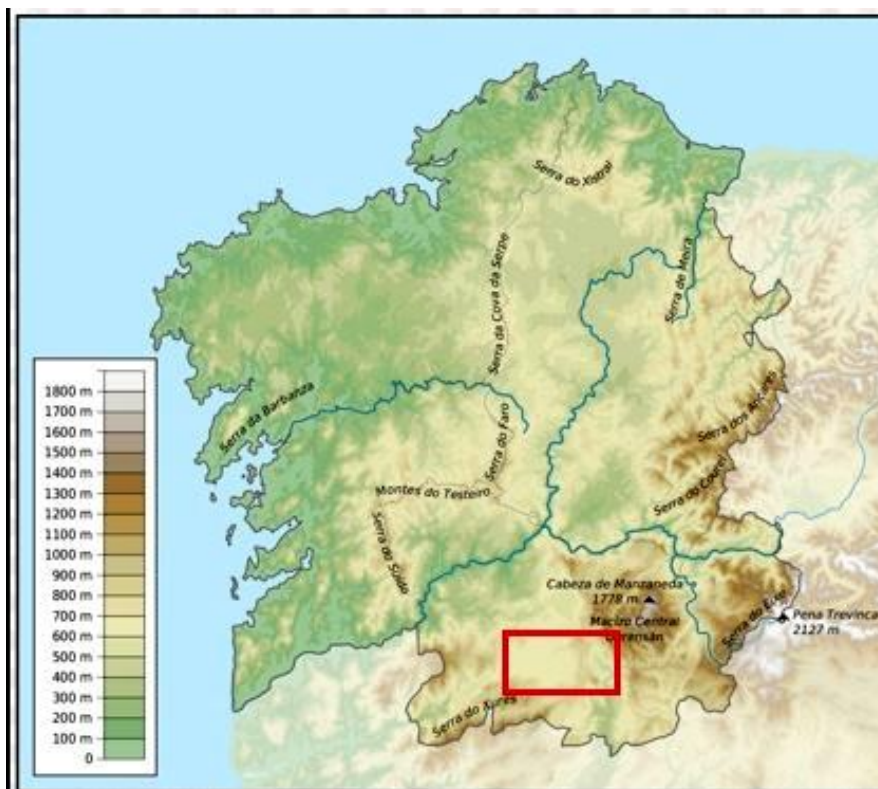


Figura 34: Mapa topográfico Galicia (Wikipedia)

- Elección punto IDAE



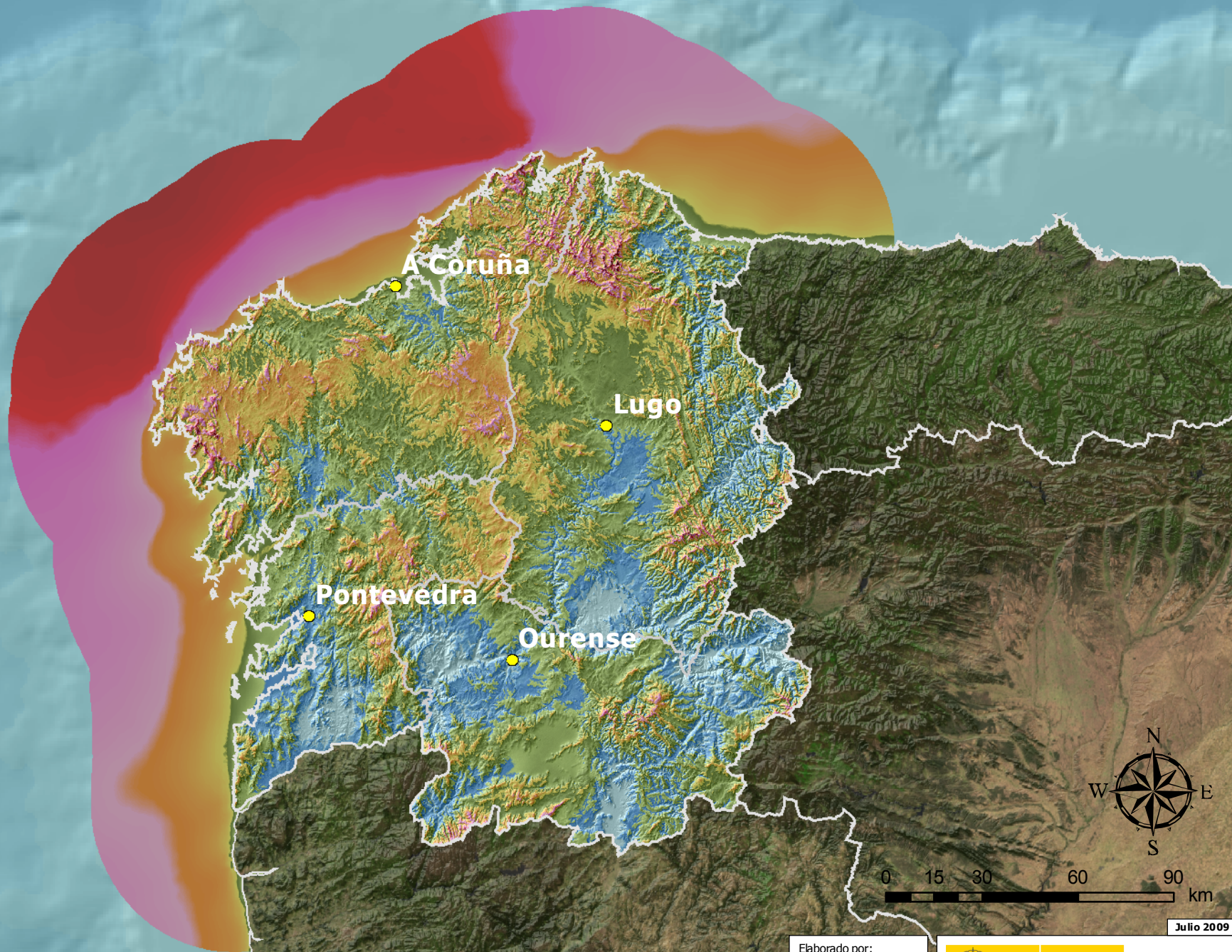
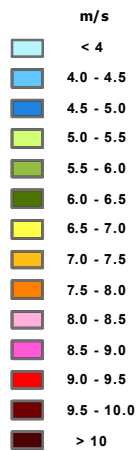
Figura 35: Elección punto IDAE (IDEA)

MAPA EÓLICO DE GALICIA

Velocidad Media Anual a 80 m de altura



Velocidad del Viento:



Julio 2009

Elaborado por:

Truewind

GOBIERNO DE ESPAÑA
 MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO
 IDA Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía