



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE UN PARQUE EÓLICO DE 30 MW EN VILASANTAR, LA CORUÑA

AUTOR: RICARDO PLÁ AYORA

TUTOR: JOSE FELIPE VILLANUEVA LÓPEZ

Curso Académico: 2017-18

AGRADECIMIENTOS

Quiero aprovechar esta ocasión para agradecer en primer lugar a mi tutor, Jose Felipe, quien gracias su paciencia y consejos ha hecho posible que este trabajo saliese adelante.

Así mismo, me gustaría agradecer también a mi familia y amigos, tanto dentro como fuera de la universidad, por el apoyo recibido durante estos cuatro años de grado y los buenos momentos vividos.

RESUMEN

El alcance de este Trabajo Final de Grado es el diseño de un parque eólico. Para ello, en primer lugar, se realiza un estudio del potencial eólico en la zona elegida. A continuación, se comparan distintos aerogeneradores disponibles en el mercado con el fin de determinar el más adecuado. Finalmente, se barajan diferentes alternativas en cuanto a disposición de los aerogeneradores en la zona y se elige aquella que resulte más conveniente desde el punto de vista de la producción energética.

Así mismo, también es alcance de este trabajo el estudio del impacto ambiental, analizando las repercusiones que conllevaría la instalación del parque eólico en el entorno de la zona y un estudio de viabilidad económica con el fin de determinar la rentabilidad del proyecto.

Palabras clave: parque eólico on-shore, aerogeneradores, impacto ambiental, viabilidad económica.

RESUM

L'abast d'aquest Treball Final de Grau és el disseny d'un parc eòlic. Per a això, en primer lloc, es realitza un estudi del potencial eòlic a la zona escollida. A continuació, es comparen distints aerogeneradors disponibles en el mercat a fi de determinar el més adequat. Finalment, es consideren diferents alternatives en quant a la disposició dels aerogeneradors en la zona i es tria aquella que resulte més convenient des del punt de vista de la producció energètica.

Així mateix, també és abast d'aquest treball l'estudi de l'impacte ambiental, analitzant les repercussions que comportaria la instal·lació del parc eòlic en l'entorn de la zona i un estudi de viabilitat econòmica a fi de determinar la rendibilitat del projecte.

Paraules clau: parc eòlic on-shore, aerogeneradors, impacte ambiental, viabilitat econòmica.

ABSTRACT

The scope of this Final Degree Project is the design of a wind farm. In order to do so, firstly a study of the wind power potential on the chosen area is done. Then, different wind turbines are compared in order to determine which one is the most suitable. Finally, different alternatives regarding the disposition of the wind turbines are considered, and the most suitable one from the point of view of the energetic production is chosen.

Furthermore, it is also scope of this project the research on the environmental impact, analyzing the repercussions that the installation of the wind farm would have over the area environment and an economic viability study in order to determine the project's profitability.

Keywords: on-shore wind farm, wind turbines, environmental impact, economic viability.

ÍNDICE

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

- Documento nº1: MEMORIA
- Documento nº2: PRESUPUESTO
- Documento nº3: PLANOS

ÍNDICE DE LA MEMORIA

Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1. Objeto del Proyecto.....	1
1.2. Alcance del Trabajo Final de Grado.....	1
1.3. Justificación	2
Capítulo 2. Normativa.....	3
2.1. Legislación Europea.....	3
2.1.1. Legislación Europea relativa a la producción de Energía Eléctrica	3
2.1.2. Legislación Europea relativa a la conservación del Medioambiente	3
2.2. Legislación Estatal	3
2.2.1. Legislación Estatal relativa a la producción de Energía Eléctrica.....	3
2.2.2. Legislación Estatal relativa a la conservación del Medioambiente.....	4
2.3. Legislación Autonómica.....	5
2.3.1. Legislación Autonómica relativa a la producción de Energía Eléctrica	5
2.3.2. Legislación Autonómica relativa a la conservación del Medioambiente.....	5
Capítulo 3. Panorama Actual.....	7
Capítulo 4. Caracterización del Recurso Eólico.....	15
4.1. Situación del Municipio	15
4.2. Figuras Ambientales	16
4.3. Evaluación del Potencial Eólico	17
4.3.1. Velocidad Media Anual	17

4.3.2. Rugosidad Superficial	18
4.4. Áreas de Estudio	19
4.5. Rosa de Vientos	21
4.5.1 Zona I	21
4.5.2. Zona II	23
4.6. Distribución de Weibull	24
4.7. Perfil de Velocidades	26
Capítulo 5. Elección de un Aerogenerador.....	29
5.1. Clases de Aerogeneradores.....	29
5.2. Elección del Modelo	30
Capítulo 6. Diseño del Parque Eólico.....	37
6.1. Efectos Modificadores del Viento	37
6.1.1. Efecto Parque	37
6.1.2. Efecto Colina	38
6.2. Alternativas de Diseño	38
6.2.1. Alternativa A.....	39
6.2.2. Alternativa B.....	41
6.2.3. Alternativa C.....	44
6.3. Comparación de Alternativas	47
Capítulo 7. Estudio de Impacto Ambiental.....	49
7.1. Descripción del Proyecto.....	49
7.2. Inventario Ambiental.....	49
7.2.1. Clima.....	49
7.2.2. Sismología	50
7.2.3. Composición del Suelo y Relieve.....	51
7.2.4. Usos del Suelo	51
7.2.5. Hidrología	51
7.2.6. Patrimonio Histórico-Artístico.....	51
7.2.7. Espacios Naturales	51
7.2.8. Socioeconomía	51
7.2.9. Fauna.....	51

7.2.10. Flora.....	56
7.3. Identificación de Impactos	56
7.4. Factores Ambientales Afectados.....	57
7.5. Evaluación de Mmpactos. Matriz de Leopold	59
7.6. Medidas Preventivas y Correctoras.....	65
7.6.1. Ruido	65
7.6.2. Contaminación del Aire	65
7.6.3. Erosión del Terreno	65
7.6.4. Impacto Visual.....	66
7.6.5. Fauna.....	66
7.6.6. Flora.....	66
Capítulo 8. Estudio de Viabilidad Económica.....	67
8.1. Costes Iniciales	67
8.2. Costes de Explotación.....	67
8.3. Ingresos	68
8.4. Flujos de Cajas	68
Capítulo 9. Conclusiones.....	73
Capítulo 10. Referencias.....	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución nueva potencia eólica instalada año a año en España.	7
Figura 2. Distribución potencia eólica instalada en España por comunidades autónomas en 2016.	8
Figura 3. Parques eólicos en Galicia. Fuente: AEE.	9
Figura 4. Fabricantes de aerogeneradores presentes en Galicia.	12
Figura 5. Área de Investigación de Reserva del Monte da Corda. Fuente: IDAE.	13
Figura 6. Mapa término municipal Vilasantar. Fuente: IDAE.	15
Figura 7. Figuras ambientales presentes en el entorno del municipio de Vilasantar. Fuente: IDAE. ...	17
Figura 8. Mapa velocidad media anual a 80m (m/s) en el municipio de Vilasantar. Fuente: IDAE.	18
Figura 9. Mapa rugosidad superficial (m) en el municipio de Vilasantar. Fuente: IDAE.	19
Figura 10. Clasificación del terreno en el municipio de Vilasantar según el PXOM. Fuente: SIOTUGA.20	
Figura 11. Mapa zonas elegidas.	20
Figura 12. Estaciones meteorológicas presentes en las zonas de estudio.	21
Figura 13. Rosa de vientos Zona I (estaciones meteorológicas 1,2,3). Frecuencia (%).	22
Figura 14. Rosa de vientos Zona I (estaciones meteorológicas 1,2,3). Velocidad media anual (m/s). .	22
Figura 15. Rosa de vientos Zona I (estaciones meteorológicas 1,2,3). Potencia extraíble (%).	23
Figura 16. Rosa de vientos Zona II (estaciones meteorológicas 4 y 5). Frecuencia (%).	23
Figura 17. Rosa de vientos Zona II (estaciones meteorológicas 4 y 5). Velocidad media anual (m/s)..	24
Figura 18. Rosa de vientos Zona II (estaciones meteorológicas 4 y 5). Potencia extraíble (%).	24
Figura 19. Distribución de Weibull a 80 m.	25
Figura 20. Perfil de velocidades Zona I.	26
Figura 21. Perfil de velocidades Zona II.	27
Figura 22. Curva de potencia G80-2.0 MW.	32
Figura 23. Curva de potencia G87-2.0 MW.	32
Figura 24. Curva de potencia G87-2.0 MW.	33
Figura 25. Mapa líneas de nivel (m) en el municipio de Vilasantar. Fuente: IDAE.	38
Figura 26. Distribución aerogeneradores alternativa A.	39
Figura 27. Distribución aerogeneradores alternativa B.	42
Figura 28. Distribución aerogeneradores alternativa C.	45
Figura 29. Climograma de Vilasantar. Fuente: Climate-Data.org.	50
Figura 30. Mapa de sismicidad. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).	50

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. Características parques eólicos en la provincia de La Coruña. Fuente: AEE.....	9
TABLA 2. Clases de aerogeneradores. Fuente: Norma IEC 61400-1.	29
TABLA 3. Modelos candidatos aerogeneradores Clase I.....	30
TABLA 4. Especificaciones técnicas aerogenerador G80-2.0 MW.....	30
TABLA 5. Especificaciones técnicas aerogenerador G87-2.0 MW.....	31
TABLA 6. Especificaciones técnicas aerogenerador G90-2.0 MW.....	31
TABLA 7. Energía producida en la Zona I.....	34
TABLA 8. Energía producida en la Zona II.....	35
TABLA 9. Coordenadas UTM, energía producida, horas equivalentes y factor de carga de cada aerogenerador de la alternativa A.	40
TABLA 10. Resumen alternativa A.	41
TABLA 11. Coordenadas UTM, energía producida, horas equivalentes y factor de carga de cada aerogenerador de la alternativa B.	43
TABLA 12. Resumen alternativa B.	44
TABLA 13. Coordenadas UTM, energía producida, horas equivalentes y factor de carga de cada aerogenerador de la alternativa C.	46
TABLA 14. Resumen alternativa C.	47
TABLA 15. Comparación alternativas.	47
TABLA 16. Códigos asignados a cada atributo. Fuente: Evaluación de Impacto Ambiental (2013).....	60
TABLA 17. Calificación final de impactos. Fuente: Evaluación de Impacto Ambiental (2013).....	61
TABLA 18. Colores asociados a cada calificación.....	61
TABLA 19. Matriz de Leopold fase de construcción.....	62
TABLA 20. Matriz de Leopold fase de explotación.....	63
TABLA 21. Matriz de Leopold fase de desmantelamiento.	64
TABLA 22. Costes iniciales.	67
Tabla 23. Análisis de riesgo sobre la TIR.....	69
TABLA 24. Vida útil según tipo de instalación. Fuente: Real Decreto 413/2014.	70
TABLA 25. Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda: 4 %.	71
TABLA 26. Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda: 5 %.	71
TABLA 27. Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda: 6 %.	71

Documento nº1: **MEMORIA**

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETO DEL PROYECTO

El objetivo del presente Trabajo Final de Grado es el diseño de un parque eólico de 30 MW de potencia instalada en el término municipal de Vilasantar, provincia de La Coruña. Para ello, se utilizarán 15 aerogeneradores de 2 MW de potencia nominal.

Para la consecución de los objetivos generales planteados previamente será necesario cumplir los objetivos específicos que se enumeran seguidamente.

- Caracterización del potencial eólico de la zona de estudio (velocidades medias, rugosidades, densidades de potencia, distribución de Weibull, rosas de vientos...) haciendo uso de las herramientas y bases de datos proporcionadas por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Elección de los aerogeneradores, realizando un estudio entre los diferentes modelos proporcionados por los fabricantes, seleccionando el más adecuado teniendo en cuenta la estimación de energía producida en la zona elegida.
- Diseño del parque eólico en base a las características de los aerogeneradores elegidos, de manera que se maximice la energía producida por el mismo y teniendo en cuenta las figuras ambientales presentes en el territorio y la disposición y orientación idóneas de cada aerogenerador para un correcto aprovechamiento del recurso eólico.
- Realización de un Estudio de Impacto Ambiental del parque eólico, teniendo en cuenta las especies protegidas presentes en el entorno y evaluando las repercusiones e impactos que conllevaría dicha instalación.
- Estudio de la viabilidad económica del proyecto con el fin de determinar su rentabilidad.

1.2. ALCANCE DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

El alcance de este Trabajo Final de Grado es el diseño de un parque eólico. Para ello, en primer lugar, se realiza un estudio del potencial eólico en la zona elegida. A continuación, se comparan distintos aerogeneradores disponibles en el mercado con el fin de determinar el más adecuado. Finalmente, se barajan diferentes alternativas en cuanto a disposición de los aerogeneradores en la zona y se elige aquella que resulte más conveniente desde el punto de vista de la producción energética.

Así mismo, también es alcance de este trabajo el estudio del impacto ambiental, analizando las repercusiones que conllevaría la instalación del parque eólico en el entorno de la zona y un estudio de viabilidad económica con el fin de determinar la rentabilidad del proyecto.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente Trabajo Final de Grado se enmarca en los estudios establecidos dentro del Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020. Dicho plan incluye los objetivos acordes con la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, que establece como objetivos la consecución de una cuota mínima del 20% de producción de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final y una cuota mínima del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía en el sector del transporte para el año 2020.

Así mismo, este proyecto se incluye también en el contexto del Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático, el cual establece unos objetivos dentro de la Unión Europea de un 20% de mejora de la eficiencia energética y una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del 20% para el año 2020.

Además de los planes mencionados previamente, el presente Trabajo tiene en cuenta también las directrices impuestas por el Plan Sectorial Eólico de Galicia, el cual regula los parques eólicos presentes en territorio gallego.

CAPÍTULO 2. NORMATIVA

2.1. LEGISLACIÓN EUROPEA

El ámbito de la Unión Europea (UE) queda regulado por las Directivas, instrumentos jurídicos utilizados por las instituciones europeas para aplicar las políticas de la UE. Las Directivas establecen una obligación de resultado a los países miembros, pero dejan libertad en cuanto a la manera de conseguir dicha situación final.

2.1.1. Legislación europea relativa a la producción de energía eléctrica

- DIRECTIVA 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. Establece la obligación para cada Estado miembro de la elaboración de un Plan de Acción Nacional de Energías Renovables (PANER) para el periodo 2011-2020, con la finalidad de alcanzar el cumplimiento de los objetivos vinculantes de la propia Directiva.

2.1.2. Legislación europea relativa a la conservación del medioambiente

- DIRECTIVA 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Establece un listado de especies animales y vegetales de interés comunitario que requieren una protección estricta.
- DIRECTIVA 2014/52/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

2.2. LEGISLACIÓN ESTATAL

2.2.1. Legislación estatal relativa a la producción de energía eléctrica

- Real decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el cual, en su artículo 30, se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- Real Decreto 661/2007, el cual regula la Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, que integró el Régimen Especial.
- Real Decreto 1565/2010, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la producción de energía eléctrica en régimen especial.

- Real Decreto 1614/2010, por el que se regulan determinados aspectos de la producción de energía eléctrica a partir de tecnologías solar termoeléctrica y eólica.
- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. En el Título II se redactan los derechos y obligaciones de dichas instalaciones de producción de energía eléctrica, mientras que en el Título IV se explican y especifican los parámetros del régimen retributivo específico.
- Ley 8/2009, de 22 de diciembre, por la que se regula el aprovechamiento eólico en Galicia mediante la elaboración del Plan sectorial eólico de Galicia. En el artículo 9 se establece que los ingresos derivados del canon, deducidos los costes de gestión, se destinarán a la conservación, reposición y restauración del medio ambiente, así como a actuaciones de compensación y reequilibrio ambiental y territorial de las que serán principales beneficiarios los municipios afectados por la implantación de parques eólicos. En el artículo 23 se establece la creación del Fondo de Compensación Ambiental, el cual será el organismo encargado de gestionar los ingresos generados por el canon.
- Ley 2/2011, de Economía Sostenible, la cual en su artículo 78 fija los mismos objetivos de la Directiva 2009/28/CE como los objetivos nacionales mínimos de energías renovables en 2020, estableciendo además que el Gobierno aprobará planes de energías renovables que hagan posible el cumplimiento de los objetivos fijados y que permitan la posibilidad efectiva de desarrollo de las energías renovables en todas las Comunidades Autónomas.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.

2.2.2. Legislación estatal relativa a la conservación del medioambiente

- Real Decreto 1131/1988, de 30 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental.
- Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestre.
- Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto Legislativo 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente. Establece la necesidad de llevar a cabo una Evaluación Ambiental Estratégica, entendida como un instrumento de prevención que permita la integración de los aspectos ambientales en la toma de decisiones de los planes y programas públicos.
- Ley 8/2007, de 28 de mayo, relativa al suelo.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

- Ley 6/2010, de 24 de marzo, de modificación del texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero.
- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. En ella se unifican en una sola norma dos disposiciones: la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente y el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

2.3. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA

2.3.1. Legislación autonómica relativa a la producción de energía eléctrica

- Decreto 205/95, mediante el cual se regularon las autorizaciones de los proyectos de aprovechamiento eólico en suelo gallego.
- Decreto 80/2000, de 23 de marzo, por el que se desarrollan las previsiones de la Ley 10/1995 sobre Planes y Proyectos Sectoriales de Incidencia Supramunicipal.
- Decreto 302/2001, de 25 de octubre, por el que se regula el aprovechamiento de la energía eólica en la Comunidad Autónoma de Galicia.
- Ley 3/1999, de 11 de marzo, de creación del Instituto Energético de Galicia.
- Ley 36/2003, de 11 de enero, de medidas de reforma económica. Incluye la modificación de la Ley 43/1995, referida al impuesto de Sociedades en el ámbito del fomento de las energías renovables.

2.3.2. Legislación autonómica relativa a la conservación del medioambiente

- Ley 1/1995, de 2 de enero, de protección ambiental de Galicia, la cual establece que para la instalación de infraestructuras energéticas será necesario contar con la declaración de impacto ambiental correspondiente.
- Ley 9/2002, que en su artículo 42 trata la ordenación urbanística y protección del medio rural de Galicia.
- Ley 9/2013 de 19 de diciembre, del emprendimiento y de la competitividad económica de Galicia. Esta ley supone la derogación del Decreto 442/1990 de 13 de septiembre de evaluación del impacto ambiental para Galicia y del Decreto 133/2008 de 12 de junio por el que se regula la evaluación de incidencia ambiental.

CAPÍTULO 3. PANORAMA ACTUAL

Actualmente, España se encuentra en la quinta posición del ranking mundial de potencia eólica instalada por países, contando con un total de 23121 MW instalados a 31 de diciembre de 2017, siendo sólo superada por China, Estados Unidos, Alemania e India. Este hecho demuestra la importancia que hoy en día tiene la energía eólica en España, mediante la cual, según datos proporcionados por la Asociación Empresarial Eólica (AEE), en el año 2017 se produjo una generación bruta de electricidad de 47886 GWh. Esta cantidad representa una cobertura del 18,4% de la demanda eléctrica de todo el país, situando la energía eólica como la segunda tecnología dentro del sistema eléctrico español, superada únicamente por los combustibles fósiles.

No obstante, a pesar de su importancia, la potencia eléctrica instalada en territorio español en los cinco últimos años ha sido apenas de 335 MW. Este dato contrasta con el gran desarrollo que experimentó este sector durante el período comprendido entre los años 2000 y 2012, como indica la Figura 1, y es debido principalmente a la Reforma Energética (RDL 9/2013), mediante la cual se dejaron de lado las subvenciones para este sector y como consecuencia, se produjo la pérdida de interés por parte de los promotores.

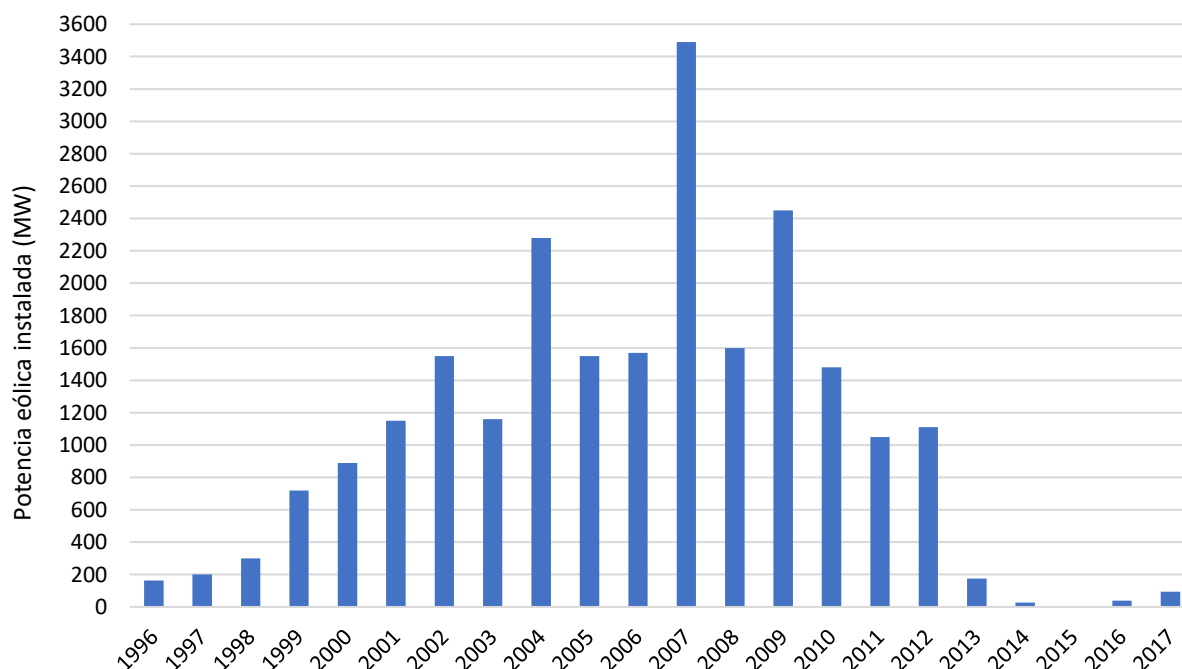


Figura 1. Evolución nueva potencia eólica instalada año a año en España.

Si se realiza un análisis de la distribución por comunidades autónomas de potencia eólica instalada, se puede observar que Galicia se sitúa la cuarta en cabeza, con 3330 MW instalados, como se aprecia en la Figura 2. Dicha potencia representa un 14,48% del total instalado en España, y se distribuye entre un total de 161 parques eólicos. Cabe mencionar que, si se estudia la relación entre MW instalados y superficie ocupada por comunidad autónoma, Galicia se sitúa como la primera comunidad a nivel estatal en potencia instalada por km², con 3330 MW distribuidos en 29575 km².

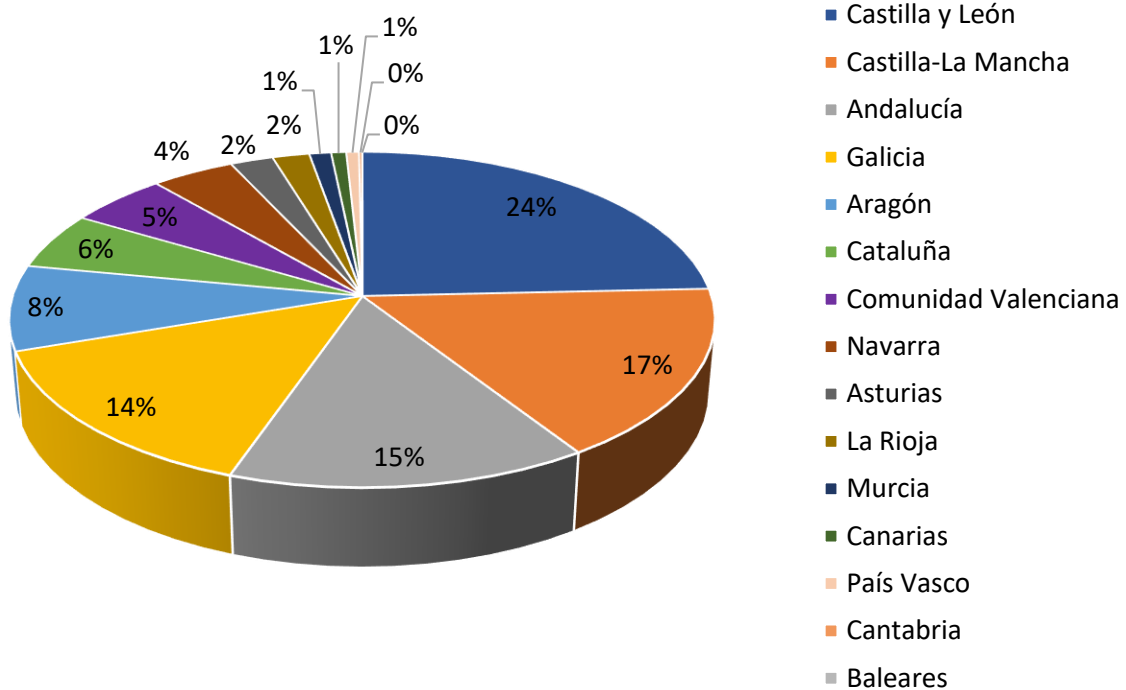


Figura 2. Distribución potencia eólica instalada en España por comunidades autónomas en 2016.

A continuación, en la Figura 3 se puede ver cómo se encuentran distribuidos los parques eólicos que actualmente están en funcionamiento a lo largo del territorio gallego. Esta distribución no es homogénea, siendo La Coruña y Lugo las provincias que presentan una mayor cantidad de parques eólicos. Posteriormente, en la TABLA 1 se detallan las características de las instalaciones presentes en la provincia de La Coruña.

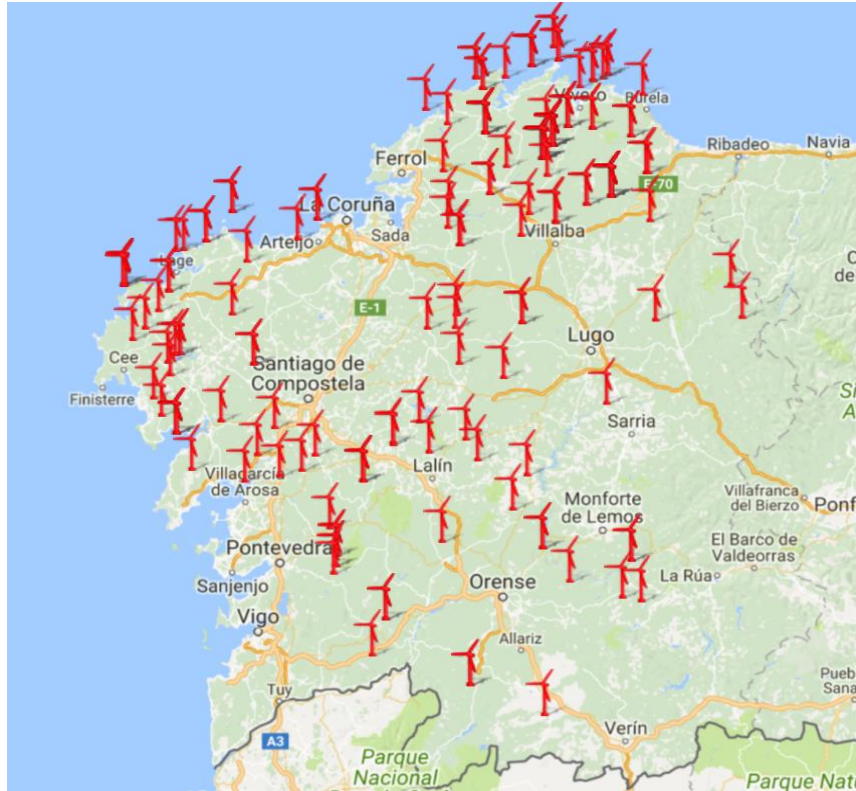


Figura 3. Parques eólicos en Galicia. Fuente: AEE.

TABLA 1. Características parques eólicos en la provincia de La Coruña. Fuente: AEE.

Parque eólico	Sociedad promotora	Término municipal	Potencia instalada MW	Nº de aerogeneradores	Potencia unitaria KW	Fabricante	Modelo
Arteixo	FOMENTO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	Arteixo	2	1	2000	Alstom- Ecotècnia	ECO80
Polígono Sabón (Inditex)	INDITEX	Arteixo	0,85	1	850	GAMESA	G-58
Caxado	ACCIONA ENERGÍA	As Pontes	24,42	37	660	MADE	AE 46
Pena da Loba	ACCIONA ENERGÍA	As Pontes y Mañón	24,42	37	660	MADE	AE 46
Coto Teixido	ENEL GREEN POWER ESPAÑA	As Pontes, Mañón y Ortigueira	23,1	35	660	MADE	AE 46
As Somozas II	ENERG.AMBIENT . DE SOMOZAS	As Somozas	1,67	1	1670	Alstom- Ecotècnia	ECO74
Monte das Augas	Parque Eólico Monte das Augas	As Somozas	3	1	3000	VESTAS	V90
Requeixo	SOMERSA	As Somozas	10,5	7	1670	Alstom- Ecotècnia	ECO74
Somozas	Energías Ambientales Somozas, S.A.	As Somozas	48	80	600	Alstom- Ecotècnia	ECO44
Coto de Codesas	GAS NATURAL FENOSA RENOVABLES	Boimorto, Melida,	17	20	850	VESTAS	V52
Silvarredon	GAS NATURAL FENOSA RENOVABLES	Cabana de Bergantiño	16,9	13	1300	SIEMENS	IZAR 55/1300

Diseño y análisis de alternativas de un parque eólico de 30 MW en Vilasantar, La Coruña

Parque eólico	Sociedad promotora	Término municipal	Potencia instalada MW	Nº de aerogeneradores	Potencia unitaria KW	Fabricante	Modelo
Cabo Vilano II A.I.E.	GAS NATURAL FENOSA RENOVABLES	Camariñas	3,6	20	150	MADE	AE 23
Do Vilán	ENEL GREEN POWER ESPAÑA	Camariñas	16,9	13	1300	SIEMENS	IZAR 55/1300
Viravento	ENEL GREEN POWER ESPAÑA	Camariñas	1,2	1	1200	SIEMENS	Izar Bonus 1,3
Pena Forcada	E.E. DEL NOROESTE SISTEMAS ENERG. FORGOSELO	Camariñas y Laxe Capelo y San Sadurniño	33,8	26	1300	SIEMENS	IZAR 55/1300
Forgoselo	P. EÓLICO A CAPELADA A.I.E.	Cariño, Cedeira y Ortigueira	24,42	37	660	GAMESA	G-47
A Capelada I	P. EÓLICO A CAPELADA A.I.E.	Cariño, Cedeira y Ortigueira	16,5	50	330	MADE	AE 30
A Capelada II	P. EÓLICO A CAPELADA A.I.E.	Cariño, Cedeira y Ortigueira	14,85	45	330	MADE	AE 32
Adraño (Paxareiras IIB)	ACCIONA ENERGÍA	Carnota y Mazaricos	21,6	36	600	SIEMENS	IZAR BONUS MK-IV
Os Corvos	P.E. OS CORVOS	Cedeira y Ortigueira	10,2	17	600	VESTAS	NTK 600/43
Coucepenido	P.E. COUCEPENIDO ENERGÍAS ESPECIALES DE ALTO ULLA, S.A.	Cedeira y Ortigueira	22,8	38	600	VESTAS	NTK 600/43
Castelo	ACCIONA ENERGÍA	Coristanco y Tordoia	16,5	25	660	GAMESA	G-47
Currás	DESARROLLOS EÓLICOS DUMBRÍA, S.A.U.	Curras y Mazaricos	7,8	6	1300	SIEMENS	IZAR 55/1300
Valsagueiro	ACCIONA ENERGÍA	Dumbría	32,5	25	1300	SIEMENS	IZAR 55/1300
Ameixenda - Filgueira	DESARROLLOS EÓLICOS DUMBRÍA, S.A.U.	Dumbría y Cee	34,8	58	600	SIEMENS	IZAR BONUS MK-IV
Ponte Rebordelo	ENGASA	Dumbría y Vimianzo	40,3	31	1300	SIEMENS	IZAR 55/1300
Peña Galluda	IBERDROLA RENOVABLES	Laracha Lousame, Rois, Dodro y Rianxo	0,66	1	660	MADE	AE 46
Monte Treito	P. EÓLICO DE MALPICA, S.A.	Malpica de Bergantiños	30,39	21 y 19	850 y 660	GAMESA	G-58 / G-47
Malpica	P. EÓLICO DE MALPICA, S.A.	Malpica de Bergantiños	15,075	65 y 2	225	Alstom- Ecotècnia	ECO28 y ECO48
Malpica Ampliación	P. EÓLICO DE MALPICA, S.A.	Malpica de Bergantiños	1,5	2	750	Alstom- Ecotècnia	ECO48
Faladoira I	ENEL GREEN POWER ESPAÑA	Mañón y Ortigueira	24,42	37	660	MADE	AE 46
Coriscada	SISTEMAS ENERG. MAÑÓN-ORTIGUEIRA	Mañón y Ortigueira	24	40	600	GAMESA	G-42
Serra da Panda	SISTEMAS ENERGÉTICOS SERRA DA PANDA	Mañón y Ortigueira	18,48	28	660	GAMESA	G-47
Outes	Energías Ambientales de Outes, S.A.	Mazaricos	33,6	21	1670	Alstom- Ecotècnia	ECO74
Paxareira I	EURUS	Mazaricos y Muros	20,4	34	600	SIEMENS	IZAR BONUS MK-IV
Virxe do Monte	ACCIONA ENERGÍA	Mazaricos, Muros y Carnota	19,2	32	600	SIEMENS	IZAR BONUS MK-IV

Diseño y análisis de alternativas de un parque eólico de 30 MW en Vilasantar, La Coruña

Parque eólico	Sociedad promotora	Término municipal	Potencia instalada MW	Nº de aerogeneradores	Potencia unitaria KW	Fabricante	Modelo
Careón	E.E. DE CAREÓN	Melide y Toques	18	30	600	VESTAS	NM 44
Touriñán (Serra do Moncoso)	Serra do Moncoso	Monfero, Irixoa y Aranga	24,65	29	850	GAMESA	G-52
Pedregal Tremuzo I	SIST. ENERG. MOUROS-OUTES	Muros	30,6	16	850	GAMESA	G-52
Pedregal Tremuzo II	SIST. ENERG. MOUROS-OUTES	Muros	14	16	850	GAMESA	G-52
Paxareiras II AI (Paxareiras-Montevós)	EURUS	Muros y Carnota	19,2	32	600	SIEMENS	IZAR BONUS MK-IV
A Ruña	ACCIONA ENERGÍA	Muros y Mazaricos	24,6	41	600	SIEMENS	IZAR BONUS MK-IV
Corzán	ENERGÍAS ESPECIALES DEL NOROESTE	Negreira	36	40	900	VESTAS	Multipower 52
Corzán Ampliación	ENERGÍAS ESPECIALES DEL NOROESTE	Negreira	7,2	8	900	VESTAS	Multipower 52
Monte rande	Promotora Eólica de Galicia, S.L.	Ortigueira	9,35	11	850	GAMESA	G-52
Padrón	FERSA (Fomento de Energías Renovables)	Padrón	1,7	2	850	GAMESA	G-52
Parque Eólico Pobra do Caramiñal	Proyectos y Desarrollos Renovables, S.A.	Pobra do Caramiñal	3	1	3000	ENERCON	E-82
Corme	DESARROLLOS EÓLICOS CORME, S.A.	Ponteceso	18,3	61	300	DESA	A300
Monte da Barda	CANEPA GREEN ENERGY	Ponteceso	3	2	1670	Alstom- Ecotècnia	ECO74
Graiade	Eólica de Graiade	Porto do Son	19,5	10 y 1	1800 y 1500	VESTAS	V80 y V90
Parque Eólico Porto do Son	Hidroeléctrica del Freixas, S.L.	Porto do Son	3	1	3000	ENERCON	E-82
Barbanza I	P.E. BARBANZA, S.A.	Porto do Son y Pobra do Caramiñal	19,8	60	330	MADE	AE 30
Barbanza II	P.E. BARBANZA, S.A.	Porto do Son y Pobra do Caramiñal	9,24	26	330	MADE	AE-32
Fontesilva	EÓLICA FONTESILVA, S.L.U.	Santa Comba y Coristanco	21,6	12	1800	VESTAS	V90
Coto de Codesas II	GAS NATURAL FENOSA RENOVABLES	Sobrado y Boimorto	21,25	25	850	VESTAS	V52
Novo	Energías Ambientales de Novo S.A.	Valdoviño y Narón	18,75	25	750	Alstom- Ecotècnia	ECO48
Monte Redondo	Energías Ambientales Vimianzo, S.A.	Vimianzo	49,5	66	750	Alstom- Ecotècnia	ECO47
O Barrigoso	CANEPA GREEN ENERGY	Vimianzo	3	2	1670	Alstom- Ecotècnia	ECO74
Zas	DESARROLLOS EÓLICOS DE GALICIA, S.A.	Zas y Santa Comba	24	80	300	DESA	A300
PES Cerceda	FERGO GALICIA VENTO, S.L.	Cerceda	2,55	2	1670	Alstom- Ecotècnia	E-74
Cabo Vilano	GAS NATURAL S.L.U.	Camariñas	6	2	3000	VESTAS	V90

Como se puede observar en la TABLA 1, la distribución de potencia eólica instalada entre promotores no es homogénea. Acciona Energía se posiciona como la empresa líder indiscutible del mercado, con un total de 902,58 MW instalados distribuidos en 38 parques diferentes, cantidad que representa una cuota del 27% de la energía eólica instalada en todo el territorio gallego. En segunda posición, cabe destacar los 372,12 MW instalados por Iberdrola Renovables en 13 parques, representando un 11% del total. El porcentaje restante se encuentra distribuido entre 38 promotores diferentes, los cuales en ningún caso llegan a conseguir una cuota de mercado destacable, estando compuestos 12 de los 62 parques presentes en la provincia de La Coruña por 1 ó 2 aerogeneradores. Este hecho demuestra la gran atomización presente en el sector eólico, en el cual tienen cabida gran cantidad de promotores con pequeñas potencias instaladas.

En cuanto a fabricantes de aerogeneradores, como se puede apreciar en la Figura 4, GAMESA es la empresa con más aerogeneradores presentes en Galicia, contando con más de 1000 MW de potencia eólica instalados. Merecen también mención especial VESTAS y SIEMENS, con más de 600 MW instalados y Alstom-Ecotécnica, con más de 400 MW.

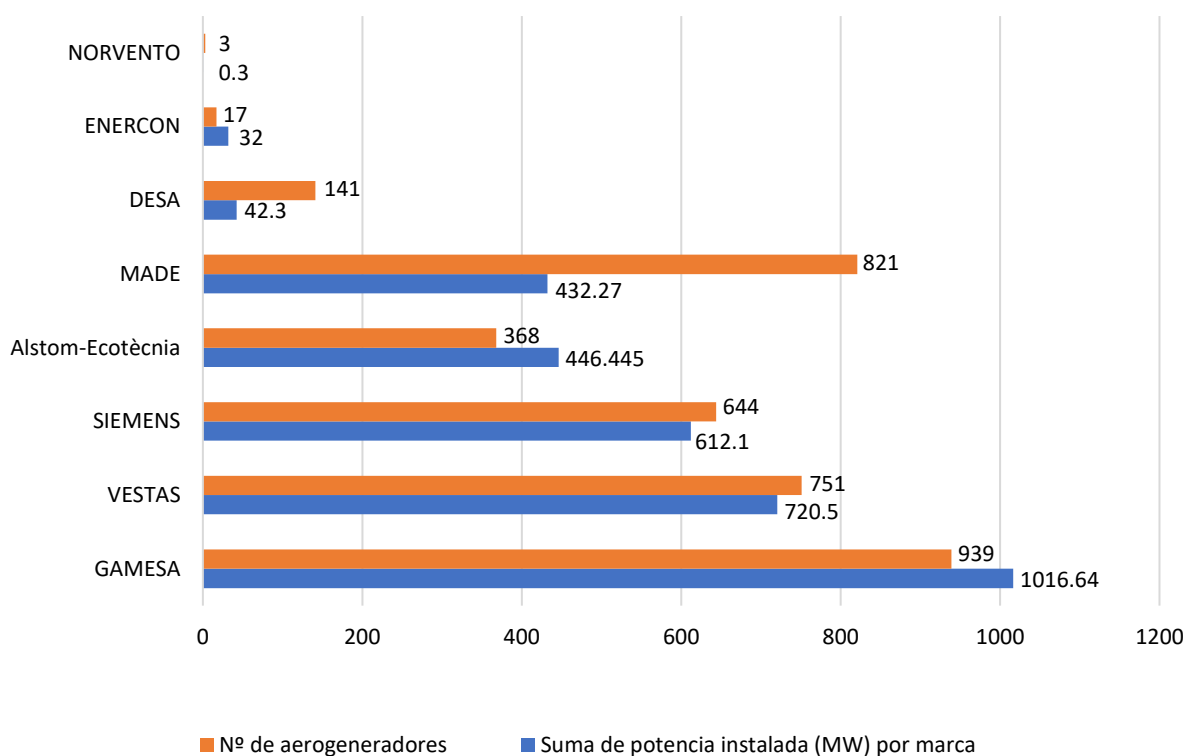


Figura 4. Fabricantes de aerogeneradores presentes en Galicia.

Por lo que respecta a la tecnología utilizada en los parques, esta es muy variada, existiendo aerogeneradores con una potencia unitaria que va desde los 100 KW a los 3000 KW.

Si se estudia el contexto legal en el que se encuentra la energía eólica en territorio gallego, la Xunta de Galicia elaboró en 1995 el decreto 205/95, mediante el cual se regularon las autorizaciones de los proyectos de aprovechamiento eólico en suelo gallego. Este decreto fue el precursor de lo que más tarde llegaría a denominarse Plan Sectorial Eólico de Galicia (PSEGA), junto con sus correspondientes modificaciones con el paso del tiempo. El objetivo fundamental de dicho plan es el de regular la implantación de parques eólicos, estableciendo las zonas idóneas para su instalación, teniendo en cuenta de esta manera la compatibilidad con la ordenación del territorio y la conservación de los recursos naturales. Así, se determinan unas Áreas de Investigación por parte de la Administración, las cuales resultan idóneas a causa de su gran potencial eólico y rentabilidad. Existen también las llamadas Áreas de Investigación en Reserva, las cuales se incluyen también en el PSEGA, pero no ha quedado demostrada su viabilidad económica o de emplazamiento, por lo que en estas zonas es necesario realizar un estudio en dichos aspectos.

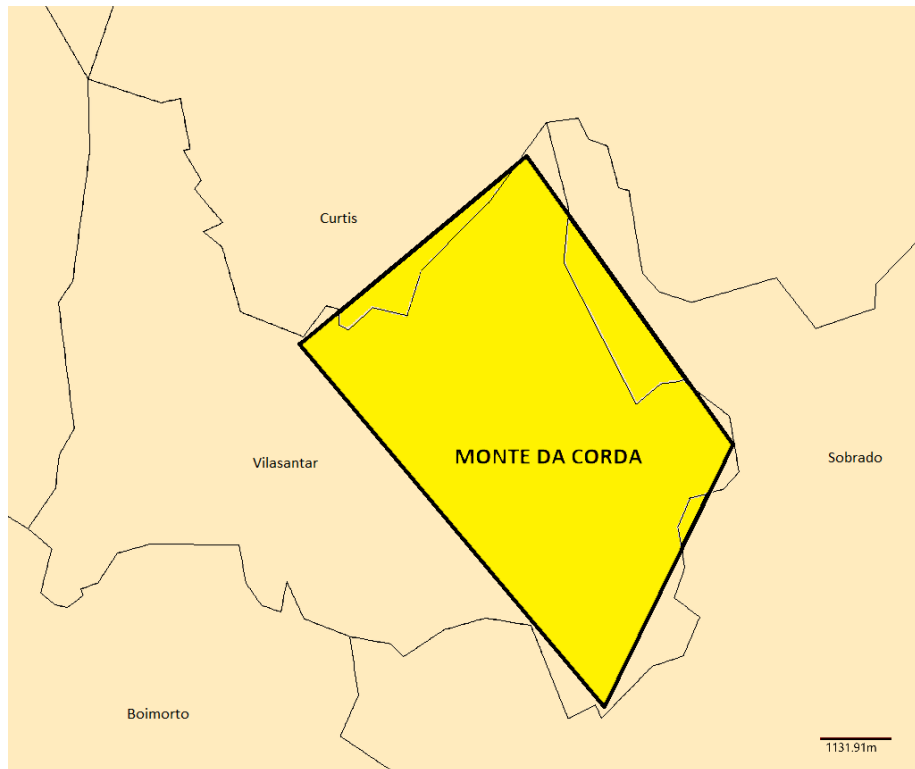


Figura 5. Área de Investigación de Reserva del Monte da Corda. Fuente: IDAE.

La zona escogida para la realización de este proyecto se encuentra dentro de las Áreas de Investigación en Reserva. Se trata del Monte da Corda, situado geográficamente en la provincia de La Coruña. Con una extensión total de 2875 hectáreas, afecta a los municipios de Curtis, Sobrado y Vilasantar. Será en este último municipio en el cual se centrará este Trabajo, debido a que, como se puede observar en la Figura 5, es el que ocupa casi la totalidad de la zona. Dicha área no se encuentra actualmente bajo investigación por parte de ninguna entidad promotora. Así mismo, el Monte da Corda supera la

exigencia que el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020 establece para que exista un recurso eólico aprovechable en una zona, presentando una velocidad eólica media anual superior a los 6 m/s a la altura de 80 m sobre el nivel del mar.

Por lo que respecta a las ventajas que ha recibido Galicia gracias a la instalación de parques eólicos, cabe destacar la generación de puestos de trabajo en la construcción, mantenimiento y explotación de los aerogeneradores. Además, hay que tener en cuenta que estas grandes inversiones se realizan normalmente en áreas rurales de montaña, las cuales suelen estar económicamente deprimidas o donde la tasa de desempleo es más elevada que en las urbes, por lo que la instalación de parques eólicos en estas zonas representa una gran oportunidad. Así mismo, los municipios afectados por la implantación de dichas instalaciones serán beneficiarios de los ingresos derivados del canon eólico a través del Fondo de Compensación Ambiental. Estos ingresos servirán para llevar a cabo la conservación, reposición y restauración del medio ambiente. La cuota tributaria fue establecida en la Ley 8/2009, y viene determinada por la aplicación de los siguientes tipos de gravamen anuales:

- En parques eólicos que dispongan de entre 1 y 3 aerogeneradores: 0 euros por cada unidad de aerogenerador.
- En parques eólicos que dispongan de entre 4 y 7 aerogeneradores: 2.300 euros por cada unidad de aerogenerador.
- En parques eólicos que dispongan de entre 8 y 15 aerogeneradores: 4.100 euros por cada unidad de aerogenerador.

En parques eólicos que dispongan de más de 15 aerogeneradores: 5.900 euros por unidad de aerogenerador.

CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO

EÓLICO

4.1. SITUACIÓN DEL MUNICIPIO

Vilasantar es un municipio situado al sudeste de la provincia de La Coruña, ubicado en la comarca de Betanzos. Situado a una altitud de 485 metros, cuenta con una extensión total de 59,22 km² y una población de 1241 habitantes (INE).

Dicho municipio está compuesto por las siguientes siete parroquias (marcadas con un triángulo morado en la Figura 6): Armental, Barbeito, Mezonzo, Présaras, San Vicente de Curtis, Vilariño y Vilasantar. Estas parroquias se encuentran divididas a su vez en varias aldeas.

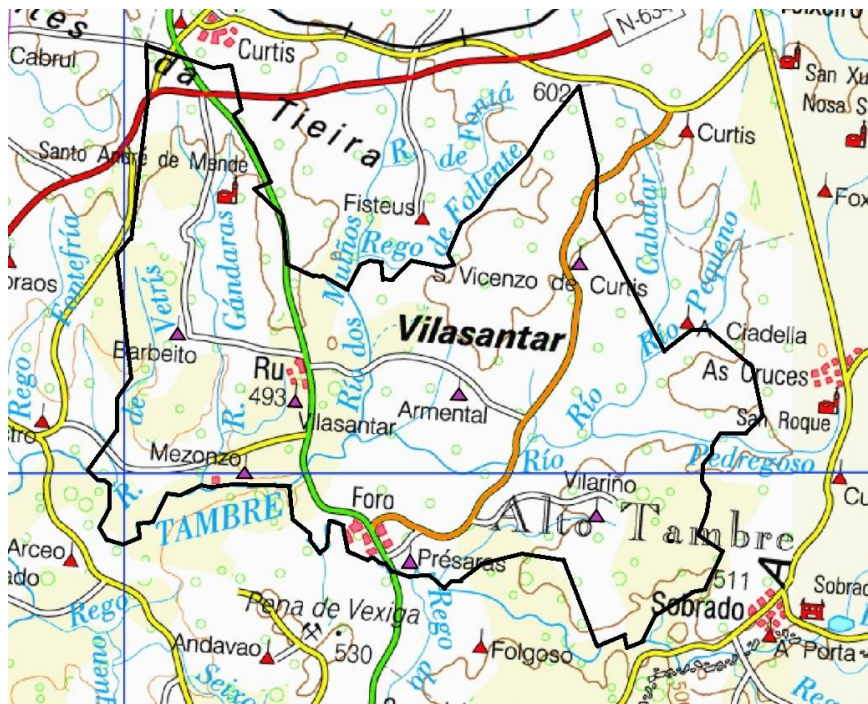


Figura 6. Mapa término municipal Vilasantar. Fuente: IDAE.

La principal vía de comunicación del municipio es la carretera nacional N-634 (en rojo en la Figura 5), contando también con dos carreteras secundarias, la AC-840 (en verde en la Figura 5) y la DP-3205 (en naranja en la Figura 6), que unen Vilasantar con las poblaciones vecinas de Boimorto, Curtis y Sobrado.

Así mismo, cabe destacar la gran influencia hidrológica de la localidad, contando con diversos ríos que atraviesan su territorio.

Para el estudio del recurso eólico en dicho municipio se hará uso del Atlas Eólico, herramienta proporcionada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Dicho atlas es de acceso público a través de la página web del IDAE, funcionando como una base de datos en la que se recoge información sobre todas aquellas características necesarias a la hora de evaluar el recurso eólico en cualquier lugar del estado: velocidades medias anuales, rosas de vientos, rugosidad del terreno, divisiones administrativas, espacios protegidos... De esta manera, se evita la necesidad desplazarse al municipio en cuestión para realizar mediciones, facilitando así en gran medida el trabajo.

4.2. FIGURAS AMBIENTALES

A la hora de realizar el diseño de un parque eólico, se han de tener en cuenta las limitaciones existentes en el territorio en cuanto a figuras ambientales se refiere. Estas figuras están presentes en zonas ambientalmente sensibles y su objetivo es proteger y conservar dichas áreas. Las figuras ambientales existentes son la Red Natura 2000, las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad en España (IBAS), los Parques Nacionales y las Reservas de la Biosfera. A continuación, se hará una breve explicación de cada una de ellas.

La Red Natura 2000 es una red de áreas de conservación de la biodiversidad, presente a lo largo de toda la Unión Europea. Está compuesta por Lugares de Interés Comunitario (LIC) y por Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), las cuales se designan en la DIRECTIVA 2009/147/CE relativa a la conservación de las aves silvestres.

Las Áreas Importantes para la Conservación de las Aves y la Biodiversidad en España (IBAS), son aquellos lugares en los que se encuentra presente un gran porcentaje de la población de especies protegidas por el organismo BirdLife.

Los Parques Nacionales son una red de áreas protegidas en las cuales se encuentra una selección de las mejores muestras del Patrimonio Natural Español.

Las Reservas de Biosfera son ecosistemas terrestres que han sido reconocidos internacionalmente por el Programa MAB de la UNESCO.

En la figura 6 se muestran las figuras ambientales presentes en el entorno del término municipal de Vilasantar (IDAE). En rojo aparecen las zonas LIC, y en morado, las Reservas de la Biosfera. Como se puede apreciar en dicha figura 7, por lo que respecta a Vilasantar, y concretamente en la zona del Monte da Corda, no existe figura ambiental alguna, de manera que no hay ninguna restricción en cuanto a este aspecto se refiere. Sin embargo, sí que habrá que tener en cuenta otros aspectos legales como por ejemplo la distancia mínima a suelo de núcleo rural, urbano o urbanizable sectorializado de 500 metros estipulada en el Plan Sectorial Eólico de Galicia.

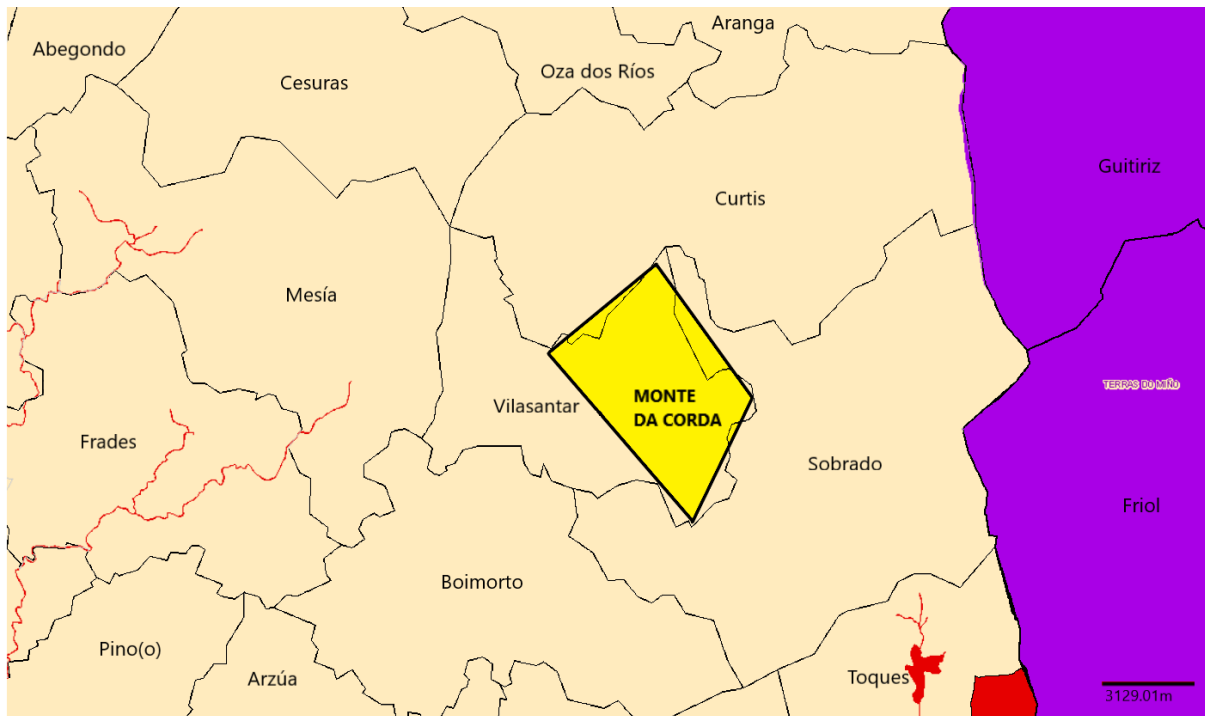


Figura 7. Figuras ambientales presentes en el entorno del municipio de Vilasantar. Fuente: IDAE.

4.3. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO

Una vez se ha comprobado que el Monte da Corda no entra en conflicto con ninguna figura ambiental, el siguiente paso consiste en la evaluación del potencial eólico para averiguar cuál es la ubicación idónea del parque eólico en dicha área. El potencial eólico está relacionado con la rugosidad del terreno y las velocidades medias del viento en la zona, datos que se obtendrán haciendo uso del Atlas Eólico del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

4.3.1. Velocidad media anual

En la Figura 8 se ha representado la velocidad media anual del viento a una altura de 80 metros, tarea para la cual se registraron medidas cada 100 m, formando un mallado (IDAE). Como se puede observar, en todo el término municipal de Vilasantar la velocidad media es superior a 6 m/s, cumpliendo de esta manera con la exigencia del Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020, el cual establece que para que exista un recurso eólico aprovechable en una zona, debe haber al menos una velocidad media anual de 6 m/s a una altura de 80 m sobre el nivel del mar.

Concretamente, en el territorio que pertenece al Monte da Corda las velocidades se sitúan por encima de 6,5 m/s, llegando en la zona norte y en el extremo sur a los 9 m/s. Es en estas últimas áreas donde será más idónea la implantación del parque eólico, ya que la energía producida por un aerogenerador es directamente proporcional al cubo de la velocidad del viento.

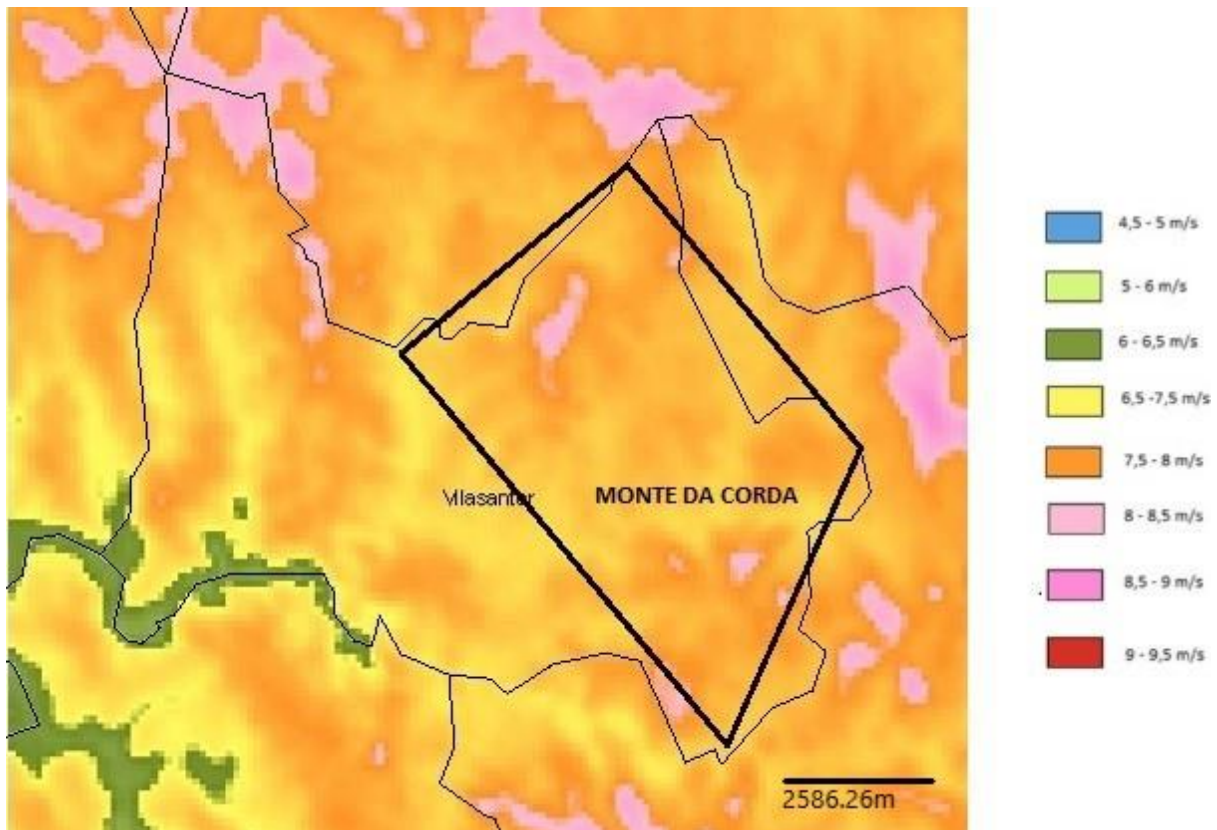


Figura 8. Mapa velocidad media anual a 80m (m/s) en el municipio de Vilasantar. Fuente: IDAE.

4.3.2. Rugosidad superficial

La rugosidad del terreno es otro factor muy importante a la hora de determinar el emplazamiento idóneo de un parque eólico debido a que influye en el perfil de velocidades del viento. Cuanto mayor sea la rugosidad superficial, mayor será la deceleración del viento, y como consecuencia, peor será el perfil de velocidad del viento y menos energía se podrá obtener con los aerogeneradores. Es por esta razón por la cual es conveniente elegir una ubicación con la menor rugosidad posible.

Por lo que respecta a Vilasantar, como se observa en la Figura 9, las rugosidades están dentro del rango comprendido entre 0,03 y 0,35 m. Si se analiza el territorio del Monte da Corda, las rugosidades están también dentro de este mismo rango, siendo el extremo norte la ubicación que presenta un menor valor.

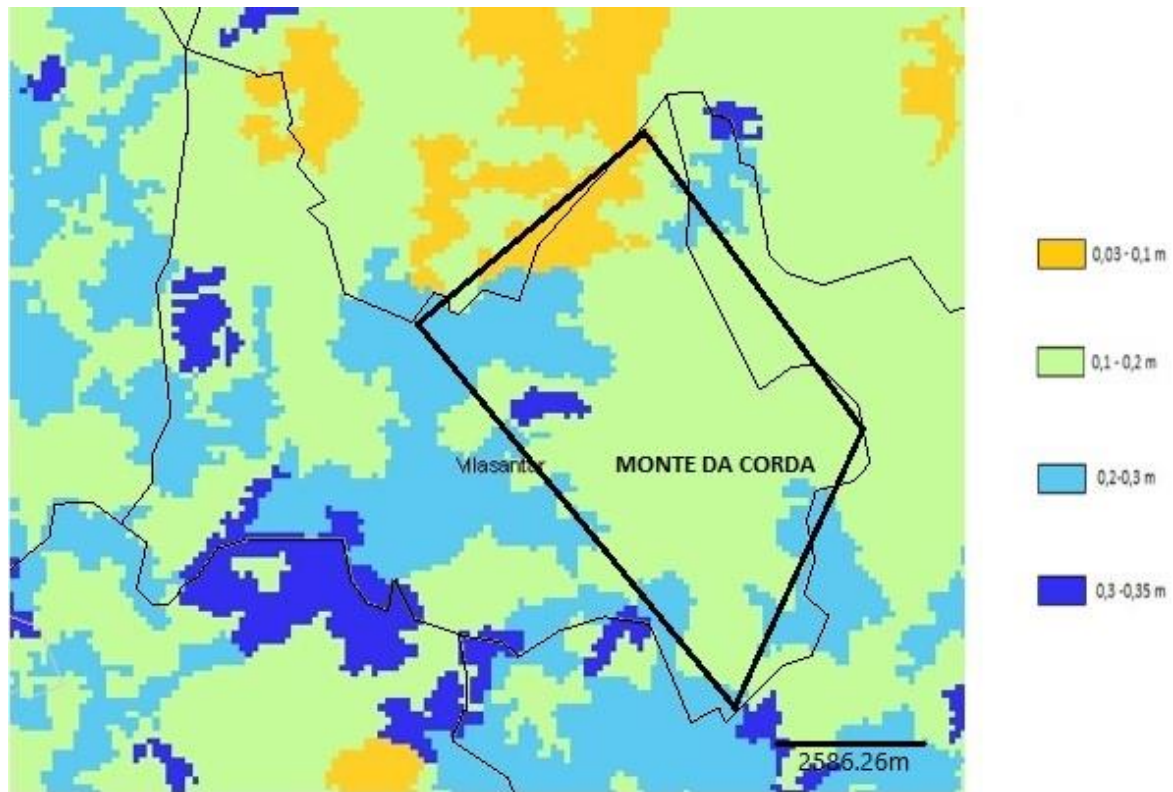


Figura 9. Mapa rugosidad superficial (m) en el municipio de Vilasantar. Fuente: IDAE.

4.4. ÁREAS DE ESTUDIO

En base a los datos obtenidos en el apartado 4.3, se ha procedido a la elección de dos áreas susceptibles de albergar el parque eólico, con la intención de determinar el emplazamiento óptimo. Se han seleccionado aquellas zonas con mayor velocidad media anual del viento y menor rugosidad superficial, a fin de mayorar la producción energética. Así mismo, se ha tenido en cuenta también la restricción impuesta por el Plan Sectorial Eólico de Galicia (PSEGA), el cual estipula que la distancia a las delimitaciones de suelo de núcleo rural, urbano o urbanizable sectorializado debe ser como mínimo de 500 m.

Para saber cómo se encuentra clasificado el terreno del municipio de Vilasantar, se ha hecho uso del Sistema de Información de Ordenación del Territorio y Urbanismo de Galicia (SIOTUGA), herramienta proporcionada por la Xunta que detalla la clasificación que se hizo en el Plan Xeral de Ordenación Municipal (PXOM), conforme a lo establecido en la Ley 9/2002, de ordenación urbanística y protección del medio rural de Galicia. En la Figura 10 se han representado dicha clasificación, delimitando el área que concierne al Área de Investigación de Reserva del Monte da Corda.

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente mencionado, en la Figura 11 se han delimitado las áreas elegidas; ubicándose la Zona I en el noroeste del Monte da Corda y la Zona II en el sudeste.

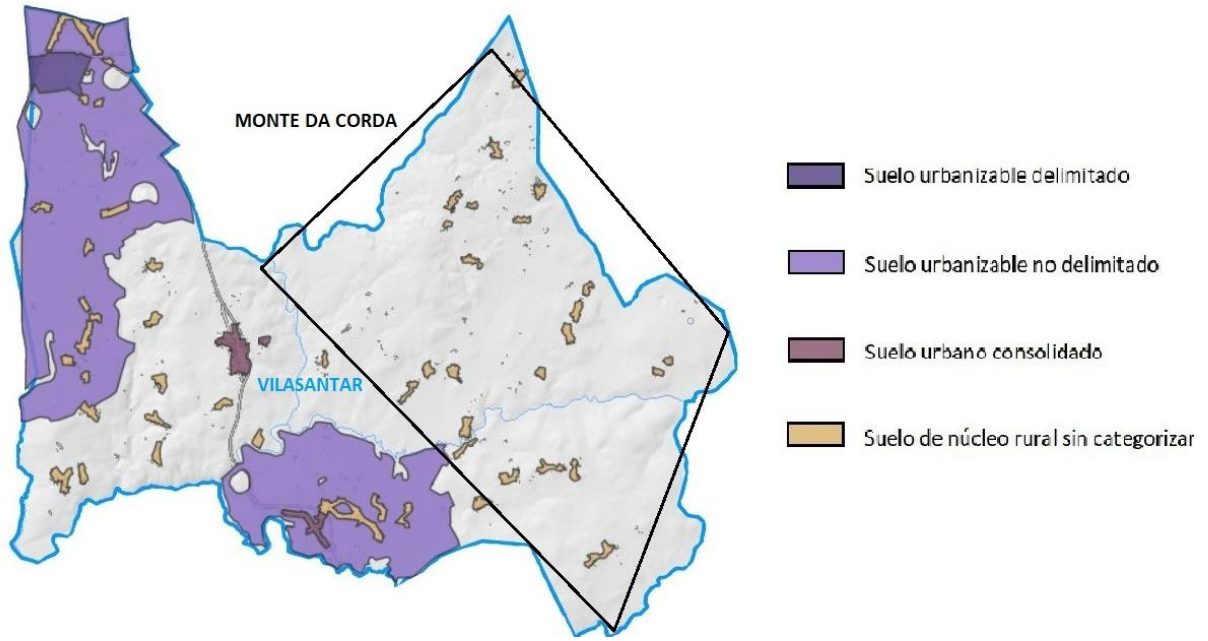


Figura 10. Clasificación del terreno en el municipio de Vilasantar según el PXOM. Fuente: SIOTUGA.

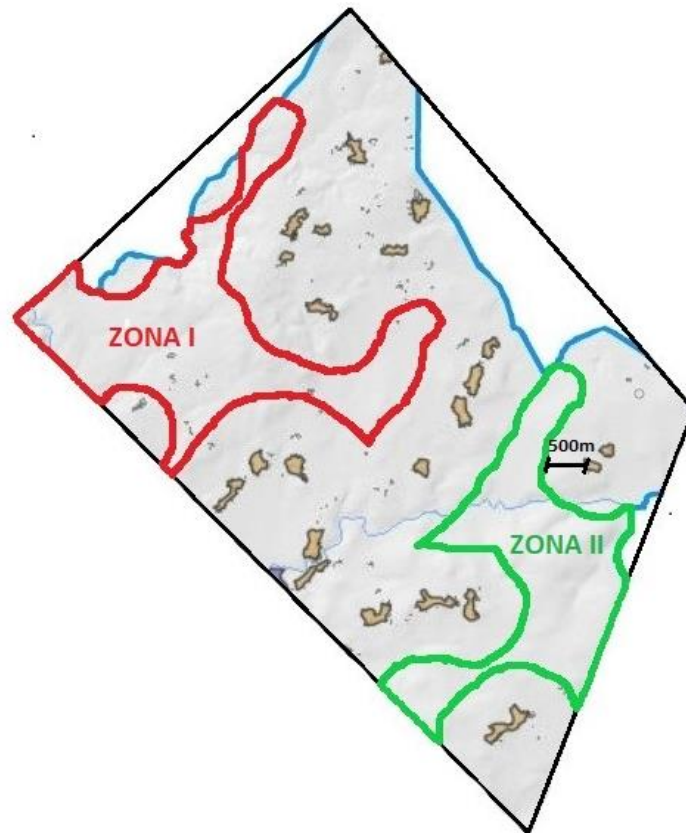


Figura 11. Mapa zonas elegidas.

4.5. ROSA DE VIENTOS

Para continuar con la caracterización del recurso eólico es necesario conocer para cada zona de estudio las direcciones en las que el viento sopla con mayor intensidad y frecuencia, a fin de orientar los aerogeneradores idóneamente. Esta información se recoge en las rosas de vientos, las cuales han sido obtenidas gracias a los datos registrados por las estaciones meteorológicas del IDAE situadas a lo largo del territorio. Dichas estaciones se encuentran separadas formando una cuadrícula de 2,5 km de lado, y se representan mediante puntos verdes y azules en el mapa. La diferencia entre estos dos colores radica en que los puntos azules proveen información más tratada y elaborada que los verdes, como gráficos, por ejemplo.

Para caracterizar mejor las áreas de estudio, se ha procedido a enumerar las estaciones meteorológicas presentes en cada zona, como se puede apreciar en la Figura 12. En la Zona I están presentes las estaciones número 1, 2 y 3; mientras que en la Zona II están la 4 y la 5.

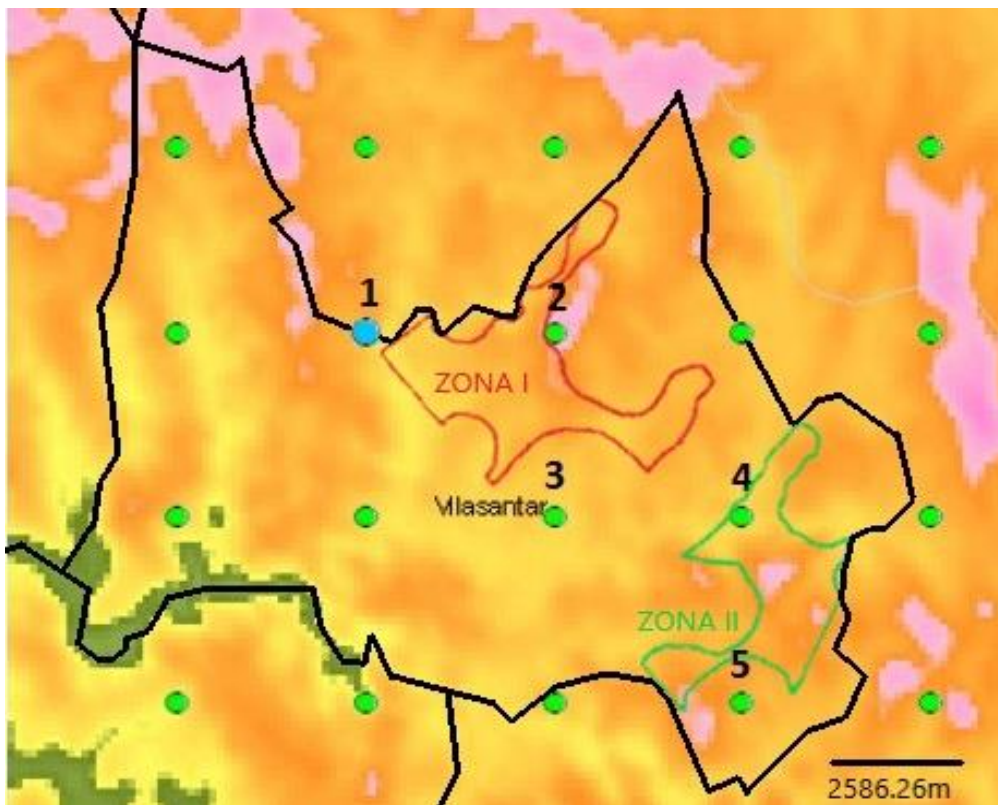


Figura 12. Estaciones meteorológicas presentes en las zonas de estudio.

4.5.1 Zona I

Por lo que respecta a la Zona I, como se puede apreciar en la Figura 13, las direcciones predominantes del viento son la sudoeste (SW) y la sudsudoeste (SSW), con un porcentaje en torno al 24% del tiempo soplando entre ambas direcciones.

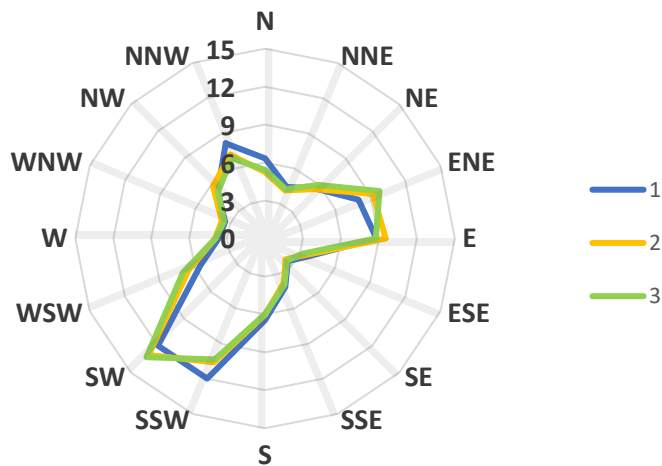


Figura 13. Rosa de vientos Zona I (estaciones meteorológicas 1,2,3). Frecuencia (%).

En cuanto a la velocidad media anual, como se observa en la Figura 14, el viento sopla con más intensidad por el este (E) y por el sudsudoeste (SSW), presentando en ambas direcciones valores muy similares, cercanos a 10 m/s.

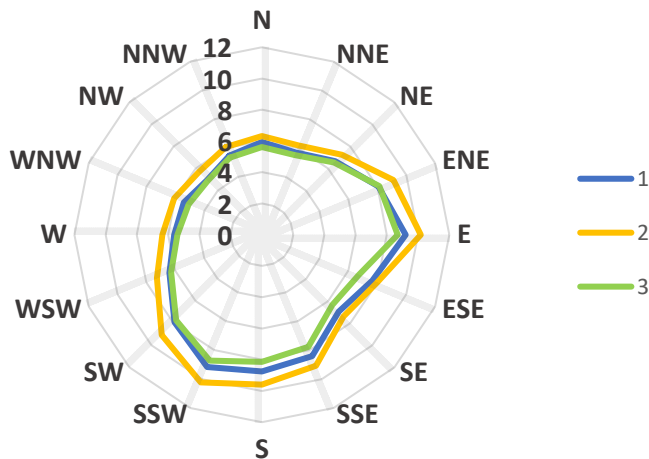


Figura 14. Rosa de vientos Zona I (estaciones meteorológicas 1,2,3). Velocidad media anual (m/s).

Si se analiza la Figura 15, la dirección sudsudoeste (SSW) destaca notablemente por encima del resto en cuanto a potencia extraíble se refiere. De esta manera, se aprecia que, aunque el viento sopla más tiempo por el sudoeste (SW), como la potencia extraíble es proporcional a la velocidad media al cubo, se obtiene como dirección con mayor recurso eólico el sudsudoeste (SSW). Así, con el objetivo de maximizar la producción de energía eólica, será necesario orientar los aerogeneradores perpendicularmente a dicha dirección.

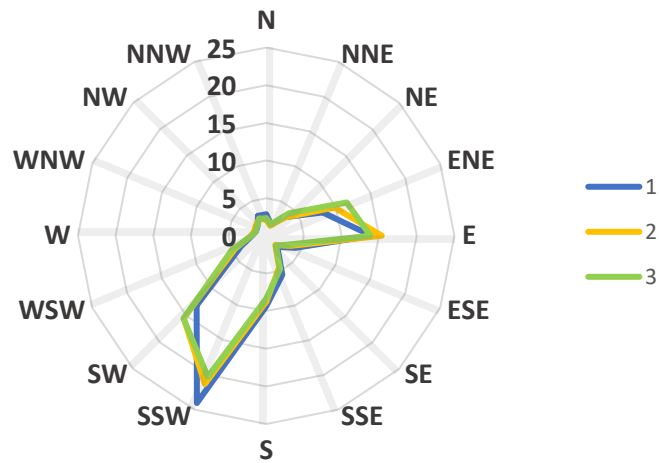


Figura 15. Rosa de vientos Zona I (estaciones meteorológicas 1,2,3). Potencia extraíble (%).

4.5.2. Zona II

Si se analiza la Zona II, la situación es similar a la de la Zona I. Como se puede apreciar en la Figura 16, la dirección predominante del viento es el sudeste (SW).

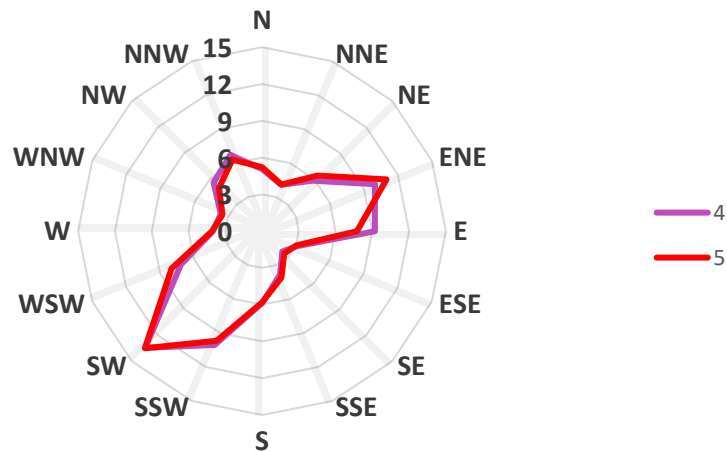


Figura 16. Rosa de vientos Zona II (estaciones meteorológicas 4 y 5). Frecuencia (%).

Por lo que respecta a las velocidades medias, las direcciones con mayor intensidad son el sudsudoeste (SSW) y el este (E), con valores en torno a 9 m/s, como se observa en la Figura 17.

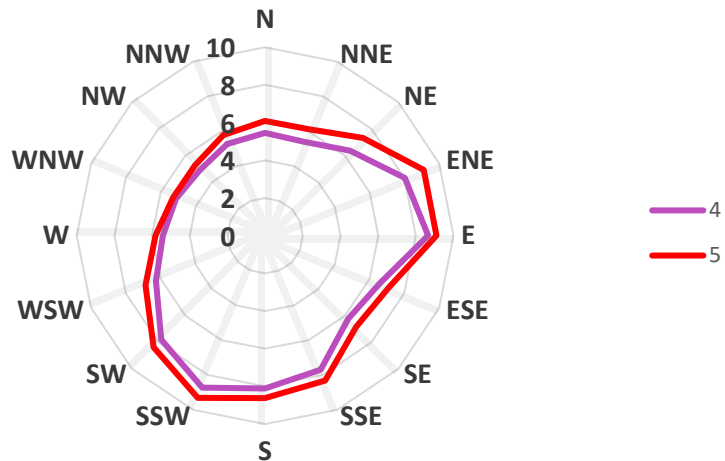


Figura 17. Rosa de vientos Zona II (estaciones meteorológicas 4 y 5). Velocidad media anual (m/s).

En cuanto a la máxima potencia extraíble, de la Figura 18 se extrae que esta se sitúa en la dirección sudsudoeste (SSW), por lo que los aerogeneradores deberán estar situados en perpendicular a esta dirección. De esta manera, acaba de quedar demostrado que, independientemente de la zona que resulte elegida, en ambos casos se deberán disponer los aerogeneradores en perpendicular al sudsudoeste (SSW).

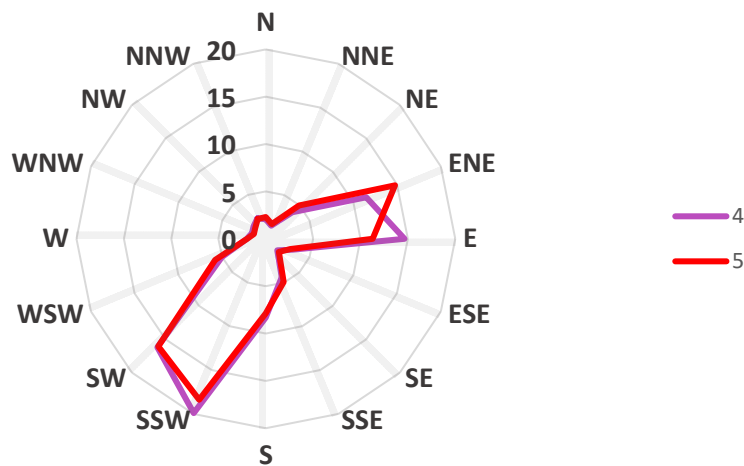


Figura 18. Rosa de vientos Zona II (estaciones meteorológicas 4 y 5). Potencia extraíble (%).

4.6. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

La velocidad a la que sopla el viento en un lugar no siempre es la misma, razón por la cual se deberá analizar todo el rango de posibles velocidades para lograr un buen conocimiento del recurso eólico. La frecuencia con la que el viento sopla a cada velocidad sigue una distribución de Weibull, quedando

determinada dicha función por dos parámetros: el factor de escala C y el factor de forma K. A continuación, se detalla la fórmula de la distribución de Weibull.

$$F(V) = p(v \leq V) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right) \quad (1)$$

Y la función de densidad:

$$d_p(V) = \frac{dF(V)}{dV} = \frac{K}{C} \left(\frac{V}{C}\right)^{K-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{C}\right)^K\right] \quad (2)$$

El factor de escala (C) se expresa en m/s y está relacionado directamente con la velocidad media. El factor de forma (K) es adimensional, e interviene en la simetría de la función, obteniendo distribuciones simétricas cuando su valor es cercano al 1, y distribuciones muy asimétricas cuando presenta valores altos en torno a 2 o 3. Ambos parámetros varían con la altura, y son proporcionados por el IDAE para una altura de 80 m.

Seguidamente, en la Figura 19 se ha representado la distribución de Weibull para cada una de las dos zonas de estudio, haciendo uso de los valores proporcionados por el Atlas Eólico del IDAE.

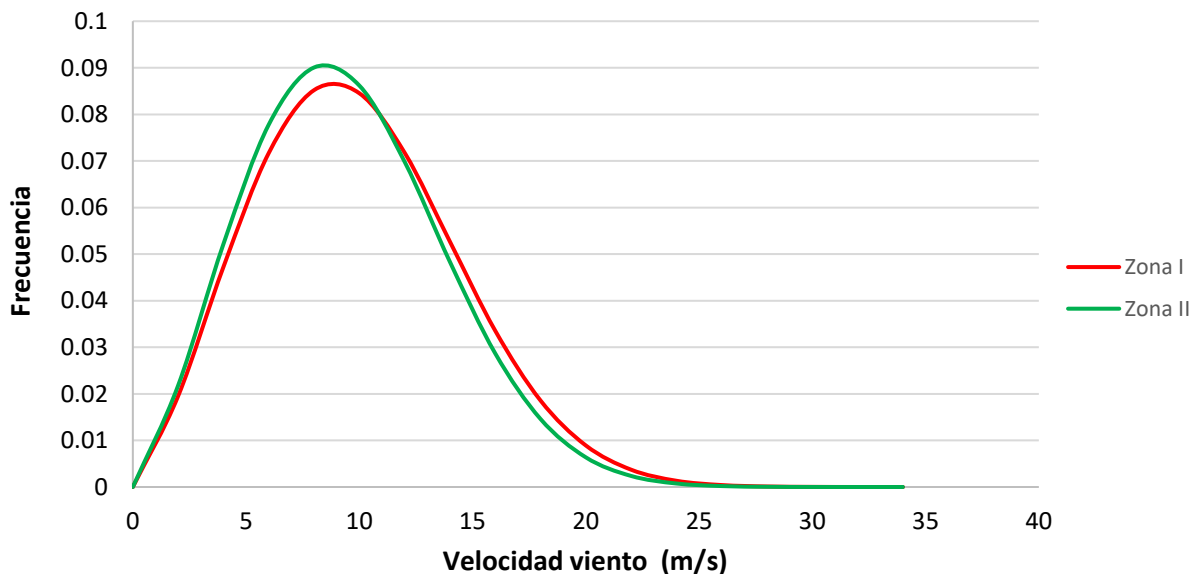


Figura 19. Distribución de Weibull a 80 m.

4.7. PERFIL DE VELOCIDADES

En el diseño de un parque eólico conviene tener en cuenta la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo. A causa de la fricción entre el aire y el terreno, el viento se ve ralentizado en las proximidades del suelo, generando un perfil de velocidades en función de la altura, conocido como capa límite. Los factores que influyen en dicha variación de velocidad son la rugosidad del terreno y la presencia de obstáculos (edificios, árboles...), alcanzándose velocidades mayores a menores alturas cuando el terreno está despejado (llanuras). Por el contrario, a mayor cantidad de obstáculos, el viento necesitará una altitud más elevada para alcanzar la velocidad máxima. La capa límite viene determinada por las siguientes ecuaciones.

$$V_2 = V_1 \left(\frac{Z_2}{Z_1} \right)^n \quad (3)$$

$$n = 0,096 \log Z_0 + 0,016 (\log Z_0)^2 + 0,24 \quad (4)$$

Siendo V_1 la velocidad media del viento a una altura Z_1 conocida, V_2 la velocidad media a una determinada altura Z_2 y el exponente n un parámetro dependiente de la rugosidad del terreno Z_0 .

En la Figura 20 se muestra el perfil de velocidades según altura resultante en la Zona I. Para su elaboración se han utilizado las expresiones matemáticas anteriores, tomando como rugosidad media del terreno (Z_0) un valor de 0,2 m y una velocidad media (V_1) de 9,3786 m/s a una altura (Z_1) de 80 m, que es la de las torres anemométricas del IDAE.

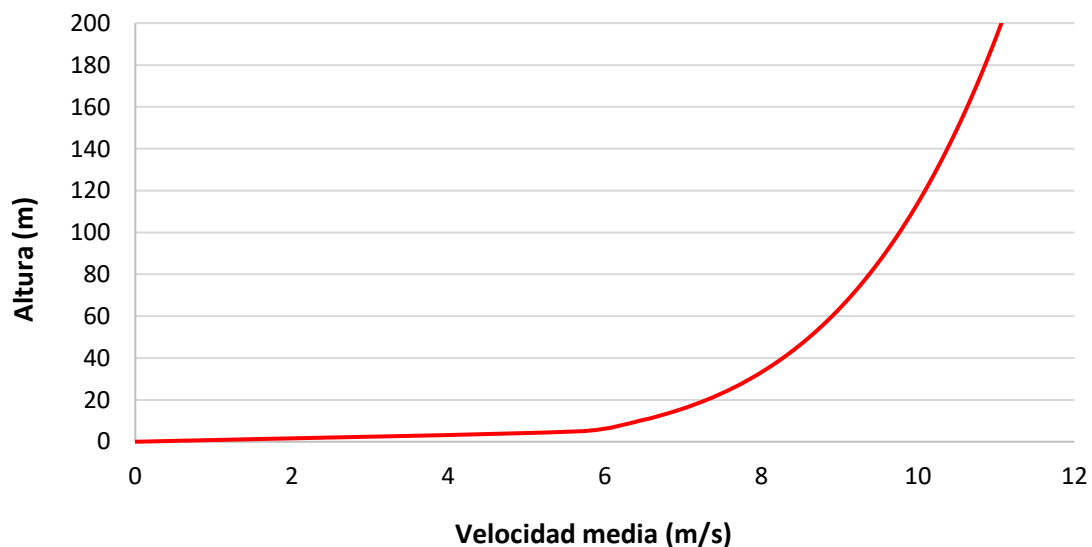


Figura 20. Perfil de velocidades Zona I.

En la Figura 21 se detalla el perfil de velocidades según altura de la Zona II. En este caso se ha tomado como rugosidad media del terreno (Z_0) un valor de 0,1 m y una velocidad media (V_1) de 9,029 m/s a una altura (Z_1) de 80 m.

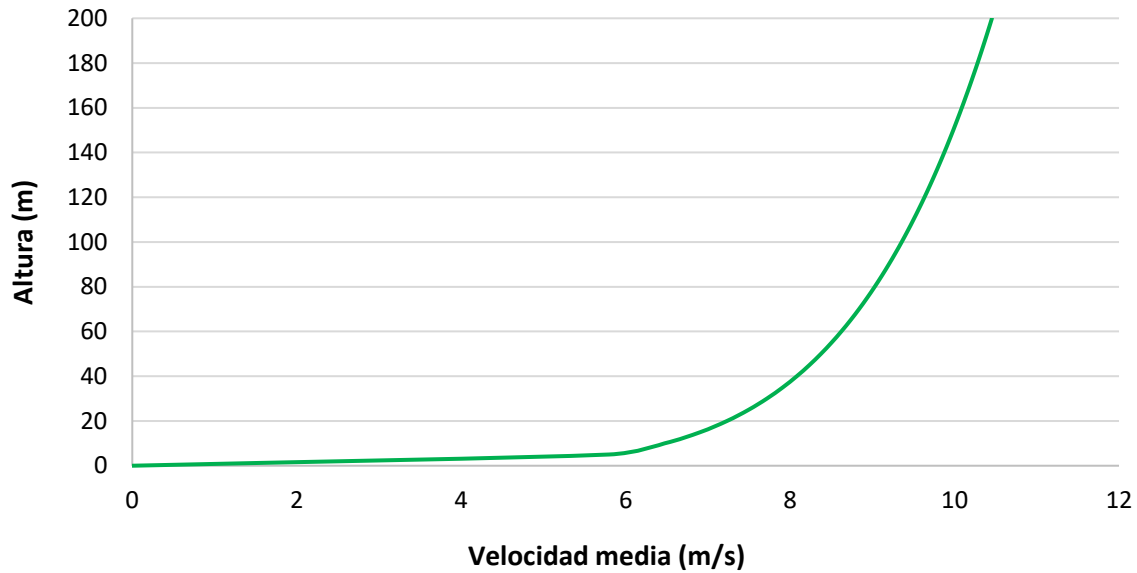


Figura 21. Perfil de velocidades Zona II.

Debido a que la altura del buje del aerogenerador suele diferir de la de las torres anemométricas, encargadas de tomar los distintos valores de las velocidades del viento, el estudio de las capas límite resulta muy interesante a la hora del diseño de un parque eólico. De esta manera, se procede a estudiar el rango de velocidades comprendido entre 80 y 100 m, valores típicos de alturas de los bujes de un aerogenerador. En la Zona I, se obtienen velocidades medias entre 9,4 y 9,7 m/s; mientras que en la Zona II, se observa una ligera disminución, con valores comprendidos entre 9 y 9,4 m/s.

CAPÍTULO 5. ELECCIÓN DE UN AEROGENERADOR

En este capítulo se especifica el proceso a seguir para la elección del tipo de aerogenerador más adecuado a las características de cada emplazamiento, cumpliendo con los criterios de seguridad establecidos y maximizando la potencia producida.

5.1. CLASES DE AEROGENERADORES

La Norma IEC 61400-1 clasifica los aerogeneradores en tres clases diferentes, acordes a unos niveles de robustez mínimos exigidos según la velocidad del viento en cada zona. Cada clase soporta con seguridad hasta una determinada velocidad de referencia, debiendo estar ésta por debajo del límite indicado en la TABLA 2. Dicha velocidad de referencia se calcula a partir de la velocidad media anual del viento en la zona, haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$V_{ref} = \frac{V_{media\ anual}}{0.2} \quad (5)$$

TABLA 2. Clases de aerogeneradores. Fuente: Norma IEC 61400-1.

Clase de aerogenerador	I	II	III	S
V_{ref} (m/s)	50	42,5	37,5	Valores especificados por el diseñador
A I_{ref} (-)	0,16			
B I_{ref} (-)	0,14			
C I_{ref} (-)	0,12			

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente mencionado, en la Zona I se obtienen velocidades de referencia de 47 y 48,5 m/s para alturas de 80 y 100 m, respectivamente. En cuanto a la Zona II, se obtienen valores de 45 y 47 m/s para alturas de 80 y 100 m, respectivamente. Así, se observa que ambas áreas cuentan con valores de velocidades de referencia superiores a los 42,5 m/s soportados por la Clase II e inferiores a los 50 m/s soportados por la Clase I, de manera que en ambas zonas se hará uso de aerogeneradores de Clase I.

5.2. ELECCIÓN DEL MODELO

Como se ha visto en el apartado anterior, los aerogeneradores de ambas zonas serán de Clase I (Norma IEC 61400-1). A continuación, en la TABLA 3, se ha realizado un listado de algunos de los modelos de aerogeneradores presentes en el mercado pertenecientes a dicha clase, y en las TABLAS 4, 5 y 6, se han detallado las características de los modelos elegidos. Como fabricante, se ha elegido la marca española Gamesa, líder en el sector dentro de la región y con diversos modelos de Clase I. Al ser una marca española, existirá una mayor disponibilidad a la hora de conseguir los aerogeneradores y, además, se contribuirá al desarrollo económico de los núcleos urbanos en los cuales se fabrican dichos aerogeneradores. El modelo seleccionado ha sido el tripala de eje horizontal de 2 MW de potencia nominal, debido a que es el más extendido hoy en día y el que mejores rendimientos presenta para los rangos de velocidades con los que se trabajará.

TABLA 3. Modelos candidatos aerogeneradores Clase I.

Modelo	Altura (m)	Marca
G80-2.0 MW	78	Gamesa
	100	Gamesa
G87-2.0 MW	78	Gamesa
	90	Gamesa
G90-2.0 MW	78	Gamesa
	90	Gamesa

TABLA 4. Especificaciones técnicas aerogenerador G80-2.0 MW.

ROTOR	Diámetro (m)	80	
	Área de barrido (m ²)	5027	
	Velocidad de giro (rpm)	9-19	
PALAS	Longitud (m)	39	
TORRE	Altura (m)	78	100

TABLA 5. Especificaciones técnicas aerogenerador G87-2.0 MW.

ROTOR	Diámetro (m)	87	
	Área de barrido (m ²)	5945	
	Velocidad de giro (rpm)	9-19	
PALAS	Longitud (m)	42,5	
TORRE	Altura (m)	78	90

TABLA 6. Especificaciones técnicas aerogenerador G90-2.0 MW.

ROTOR	Diámetro (m)	90	
	Área de barrido (m ²)	6362	
	Velocidad de giro (rpm)	9-19	
PALAS	Longitud (m)	44	
TORRE	Altura (m)	78	90

Para la elección del modelo más adecuado se procederá a calcular la cantidad de energía que produciría cada uno de los modelos en las zonas de estudio. Para ello, es necesario saber cuánta potencia es capaz de extraer el aerogenerador para cada rango de velocidades del viento a la altura del buje. Dicha información viene proporcionada por el fabricante en las denominadas curvas de potencia. A continuación, en las Figuras 22, 23 y 24 están detalladas las curvas de potencia pertenecientes a los modelos de estudio. Como se puede apreciar, la velocidad de arranque es similar en los tres aerogeneradores, siendo el G90-2.0 MW el que comenzaría antes a producir energía, a velocidades de 2,5 m/s; y el G80-2.0 MW el que más tardaría, contando con una velocidad de arranque de 3,5 m/s. Por lo que respecta a la velocidad de parada, esta se sitúa en 25 m/s para todos los modelos.

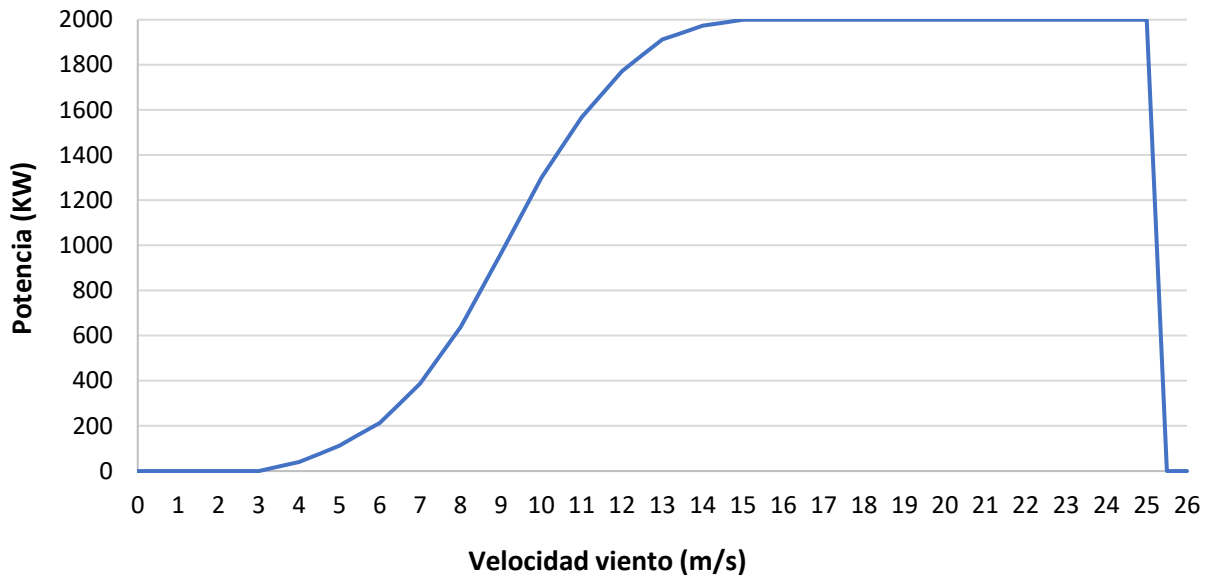


Figura 22. Curva de potencia G80-2.0 MW.

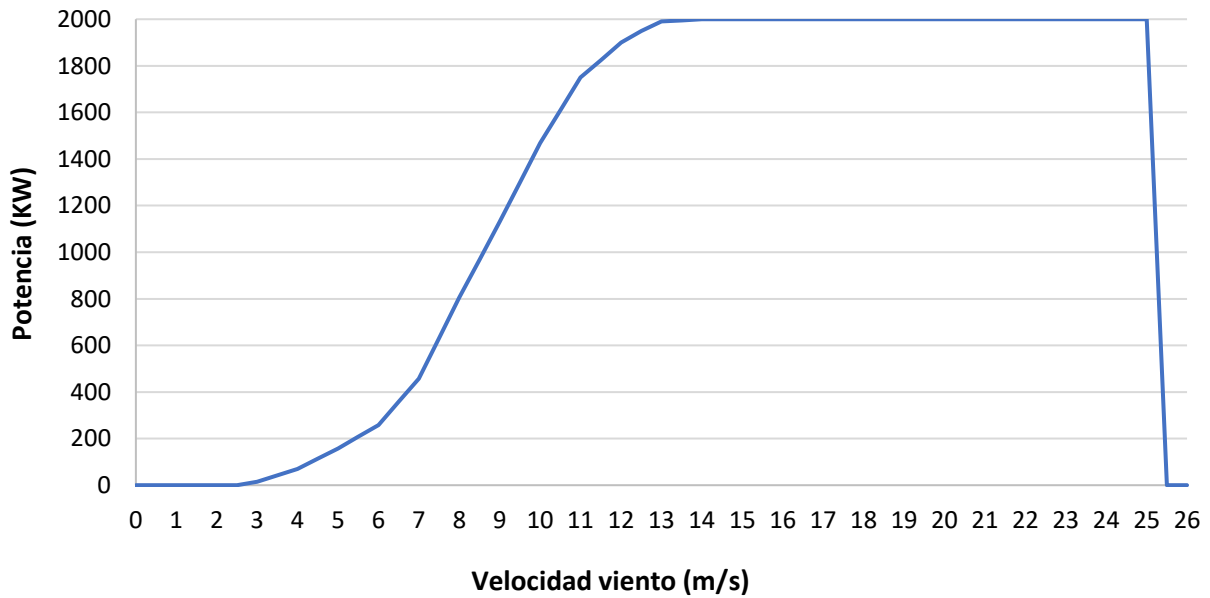


Figura 23. Curva de potencia G87-2.0 MW.

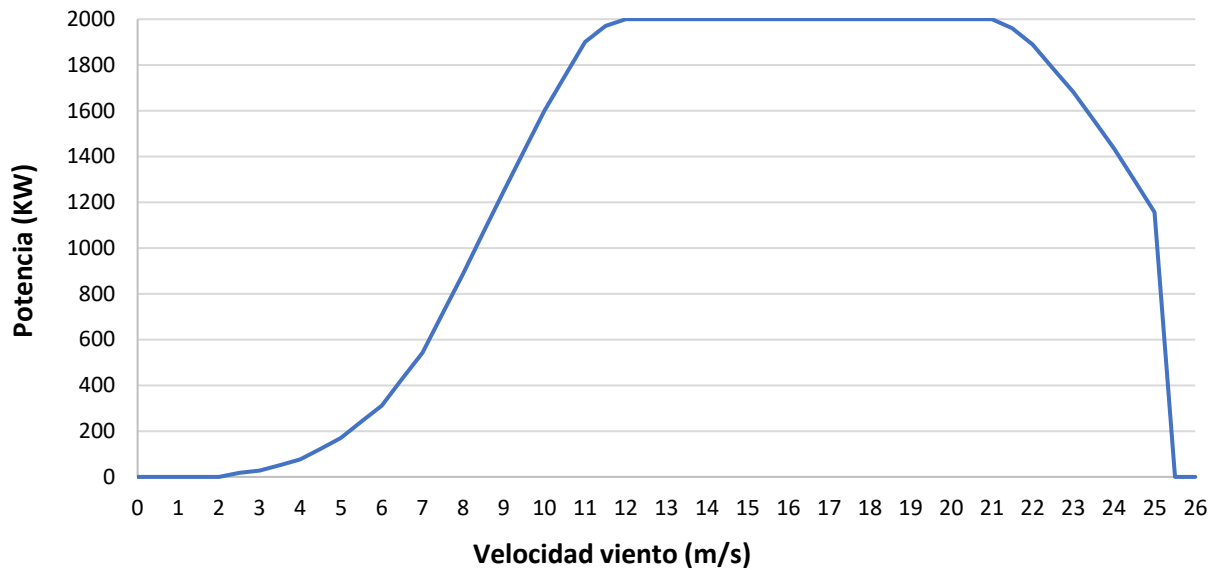


Figura 24. Curva de potencia G87-2.0 MW.

Una vez se conoce cuál es la potencia que se podría extraer para cada velocidad del viento, el siguiente paso consiste en estimar los kW producidos por cada aerogenerador. Para ello, se procederá a realizar el sumatorio de los productos de la Distribución de Weibull y la curva de potencia para cada velocidad del viento, como muestra la siguiente fórmula:

$$P(v) = \sum_{V_{arranque}}^{V_{parada}} \text{Frecuencia} * \text{Potencia extraíble} \quad (6)$$

Los kW producidos se multiplicarán por las 8760 horas presentes en un año (ecuación 7), obteniéndose de esta manera la cantidad de energía (kWh) producida anualmente por cada modelo.

$$EEP = n^{\circ} \text{ horas} * P(v) \quad (7)$$

A continuación, se calculan las horas equivalentes haciendo uso de la fórmula 8. Dicho parámetro indica el número de horas que un aerogenerador tardaría en producir la energía estimada en un año (EEP) según (6), si estuviese trabajando a su potencia nominal durante todo el tiempo.

$$H_{eq} = \frac{EEP(kWh)}{P_n(kW)} \quad (8)$$

Para saber si la instalación de un aerogenerador es viable o no, se procede a obtener el factor de carga mediante la ecuación 9. Dicho factor, es un parámetro adimensional que expresa la relación existente entre la energía generada por un aerogenerador en un año y la que se hubiera producido si durante ese mismo período de tiempo hubiese estado funcionando a su potencia nominal. De esta manera, cuanto más elevado sea el factor de carga, mejor rendimiento presentará el aerogenerador.

$$F_c = \frac{H_{eq}}{8760} \quad (9)$$

Seguidamente, en las TABLAS 7 y 8 se han calculado los parámetros detallados previamente para las zonas I y II, respectivamente.

TABLA 7. Energía producida en la Zona I.

ZONA I				
AEROGENERADOR	ALTURA TORRE (m)	EEP (kWh/año)	H _{eq} (h)	F _c
G80-2.0 MW	78	9.554.200	4777	0,55
	100	10.032.598	5016	0,57
G87-2.0 MW	78	10.308.179	5154	0,59
	90	10.552.206	5276	0,60
G90-2.0 MW	78	10.814.200	5407	0,62
	90	11.043.732	5522	0,63

TABLA 8. Energía producida en la Zona II.

ZONA II				
AEROGENERADOR	ALTURA TORRE (m)	EEP (kWh/año)	H _{eq} (h)	F _c
G80-2.0 MW	78	8.993.335	4497	0,51
	100	9.434.599	4717	0,54
G87-2.0 MW	78	9.765.960	4883	0,56
	90	9.991.949	4996	0,57
G90-2.0 MW	78	10.296.479	5148	0,59
	90	10.512.935	5256	0,60

Cabe mencionar que los cálculos realizados previamente son tan solo una mera aproximación, y que la potencia neta diferirá de la bruta a causa de las pérdidas producidas por el efecto parque y otros factores.

De las TABLAS 7 y 8 se concluye que el modelo que resultará más rentable es el G90-2.0 MW; concretamente el de 90 m de altura de torre, ya que dicho aerogenerador es el que más energía producirá con respecto a los otros candidatos. En cuanto al emplazamiento, se observa que la Zona I es aquella en la que se obtendrán un mayor número de kWh; razón por la cual el parque eólico se ubicará en dicha área. Así mismo, merece mención especial el elevado factor de carga que presenta la configuración seleccionada, señal de una buena rentabilidad de la instalación.

CAPÍTULO 6. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO

En este apartado se procederá a analizar las posibles distribuciones de los aerogeneradores dentro de la Zona I. Para ello, se barajarán tres posibles alternativas, considerando la energía generada por cada aerogenerador y eligiendo finalmente aquella configuración que resulte más productiva en su conjunto. Así mismo, se evaluarán las posibles pérdidas y las distancias mínimas necesarias para evitar el efecto parque.

Cabe recordar del apartado anterior que el modelo elegido es el G90-2.0 MW de 90 m de altura de torre, ya que es el que mejor comportamiento presenta ante las características de las áreas de estudio. Por lo que respecta al emplazamiento, ya se tuvo en cuenta previamente las figuras ambientales presentes y la distancia mínima exigida a suelos de núcleo rural, urbano o urbanizable sectorializado (apartados 4.2 y 4.4, respectivamente); razón por la cual no existirá restricción alguna en dichos aspectos.

6.1. EFECTOS MODIFICADORES DEL VIENTO

6.1.1. Efecto parque

Cuando el viento atraviesa un aerogenerador, se produce energía. Por el principio de conservación de la energía, el contenido energético del viento se verá variado, siendo menor a la salida de la turbina que a la entrada. De esta manera, tras el aerogenerador aparecerá una estela; es decir, una cola de viento turbulenta y ralentizada. Dicha situación es conocida con el nombre de efecto parque, y conviene evitarla ya que, por una parte, al disminuir la velocidad de viento, también lo hará la energía generada por el resto de los aerogeneradores (se recuerda que la energía producida depende de la velocidad del viento al cubo). Por otra parte, el aumento del nivel de turbulencia producirá un incremento de cargas dinámicas sobre los aerogeneradores, acortando su vida útil.

Con el fin de evitar el indeseado efecto parque, se realizará una distribución de los aerogeneradores respetando unas distancias mínimas recomendadas, a partir de las cuales, las perturbaciones producidas en el viento serán mínimas:

- En la dirección de mayor potencia extraíble del viento, los aerogeneradores deberán separarse del orden de 5 a 9 diámetros de rotor. Particularizando para el modelo G90-2.0 MW, de 90 m de diámetro, esto equivale a una distancia entre 450 y 810 m.
- En la dirección perpendicular a aquella de mayor potencia extraíble, los aerogeneradores se separarán de 3 a 5 diámetros de rotor, cantidad que equivale a una distancia de entre 270 y 450 m para el modelo seleccionado.

6.1.2. Efecto colina

Usualmente, los parques eólicos son instalados en lo alto de las colinas. Estos lugares provocan un efecto acelerador, generando un consecuente aumento de la velocidad del viento con respecto a las zonas adyacentes. Dicho fenómeno es conocido con el nombre de efecto colina, y resulta beneficioso siempre y cuando la colina no sea demasiado escarpada, caso en el que se produciría un desfavorable aumento de las turbulencias.

La Zona I, como se puede apreciar en la Figura 25, está situada mayoritariamente a una altura entre 375 y 500 m, observándose una leve elevación del terreno en la parte derecha, llegando hasta alturas comprendidas entre los 500 y 650 m. En dicha zona se podría producir el efecto colina, pero sin llegar a alcanzar niveles perjudiciales, dado que la colina no es escarpada.

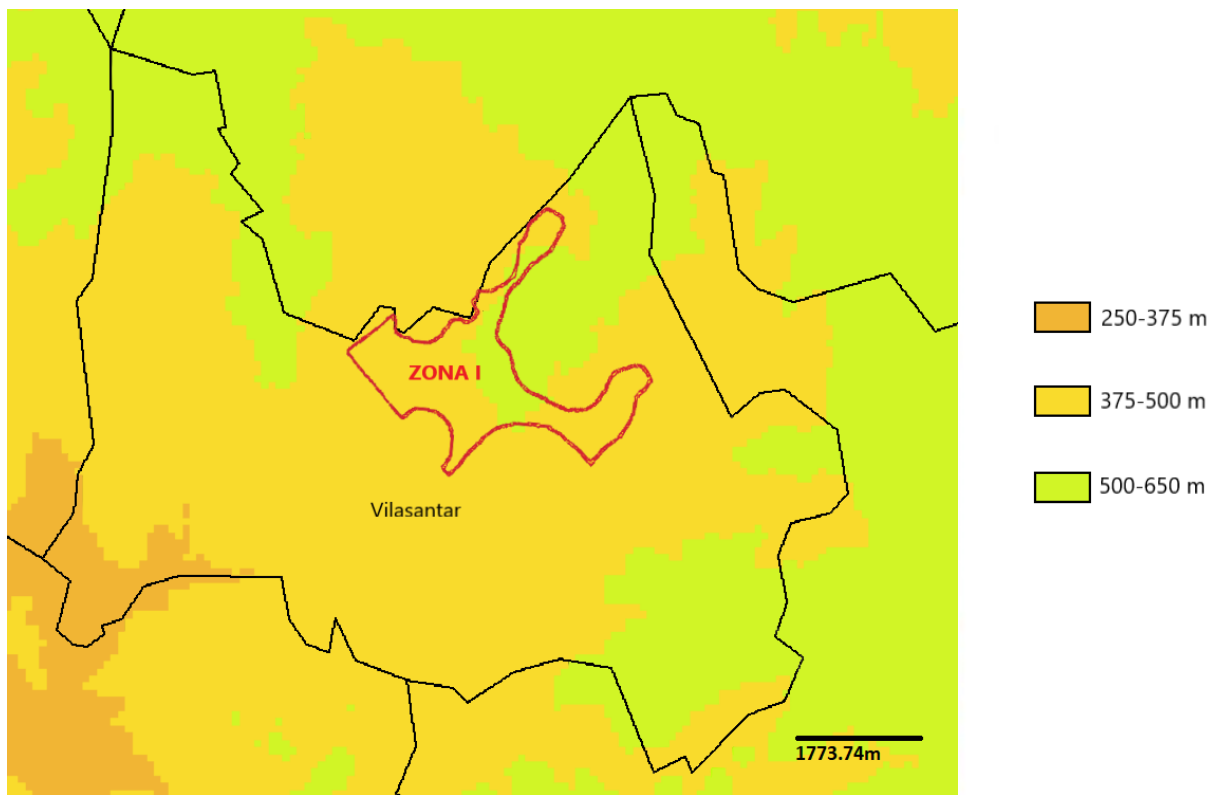


Figura 25. Mapa líneas de nivel (m) en el municipio de Vilasantar. Fuente: IDAE.

6.2. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

A continuación, se detallarán tres posibles alternativas en cuanto al diseño del parque eólico respecta. Todas las alternativas están diseñadas con 15 aerogeneradores G90-2.0 MW de 90 m de altura de torre, obteniendo una potencia total de 30 MW. En la medida de lo posible, los aerogeneradores se ubicarán perpendicularmente y enfrentados a la dirección del viento de mayor potencia extraíble.

6.2.1. Alternativa A

Los aerogeneradores de esta alternativa se han situado a una distancia de 650 m en la dirección del viento de mayor potencia extraíble y a 400 m en la perpendicular a esta, como se puede observar en la Figura 26.

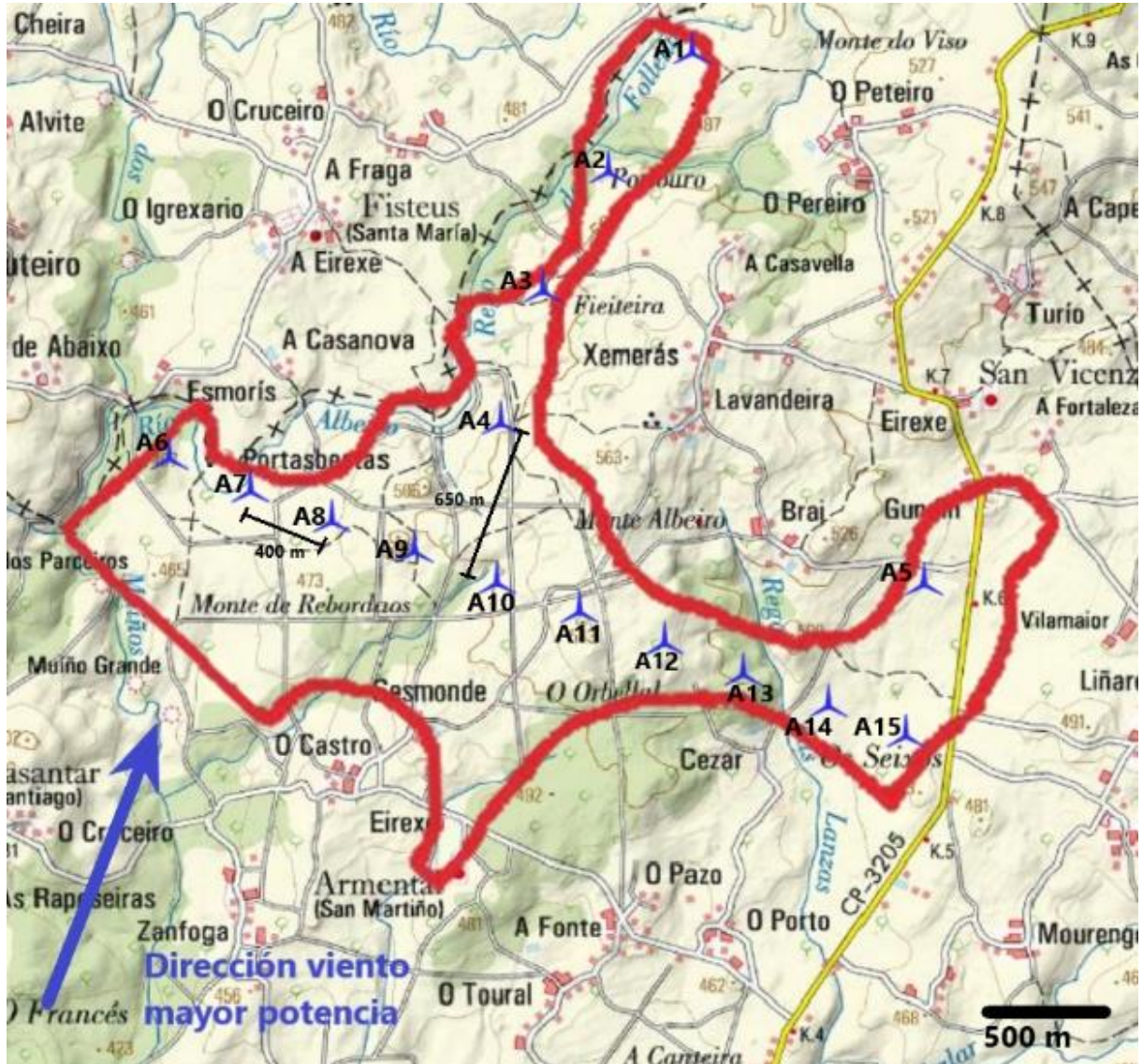


Figura 26. Distribución aerogeneradores alternativa A.

A continuación, en la TABLA 9 se muestran las coordenadas UTM de cada aerogenerador, así como la energía producida, las horas equivalentes y el factor de carga de cada uno de ellos. Para estos cálculos se han utilizado los datos proporcionados por el IDAE para una altura de 90 m.

TABLA 9. Coordenadas UTM, energía producida, horas equivalentes y factor de carga de cada aerogenerador de la alternativa A.

Aerogenerador	Coordenadas UTM (m)		kWh/año producidos	Horas equivalentes	Factor de carga
	X	Y			
A1	574731,747	4772626,058	7.493.375	3747	0,43
A2	574329,636	4772095,442	8.036.583	4018	0,46
A3	574077,022	4771553,922	7.514.127	3757	0,43
A4	573849,217	4771040,448	7.535.109	3768	0,43
A5	575647,872	4770386,760	7.617.061	3809	0,43
A6	572441,692	4770857,882	7.247.959	3624	0,41
A7	572813,345	4770731,336	7.314.531	3657	0,42
A8	573185,038	4770610,031	7.520.710	3760	0,43
A9	573535,512	4770502,400	7.564.682	3782	0,43
A10	573872,380	4770366,763	7.701.523	3851	0,44
A11	574244,409	4770210,755	7.829.143	3915	0,45
A12	574616,001	4770096,411	8230544.67	4115	0,47
A13	574966,989	4769953,984	7.639.156	3820	0,44
A14	575331,836	4769818,725	7.194.560	3597	0,41
A15	575654,309	4769724,887	7.575.185	3788	0,43

Seguidamente, en la TABLA 10 aparecen las características del parque eólico en conjunto, teniendo en cuenta los porcentajes asociados a las diferentes pérdidas existentes.

TABLA 10. Resumen alternativa A.

Potencia unitaria (MW)	2
Nº de aerogeneradores	15
Potencia parque (MW)	30
Energía bruta producida anualmente (kWh/año)	114.014.255
Pérdidas efecto parque = 5% Energía bruta (kWh/año)	5.700.713
Pérdidas por disponibilidad (mantenimiento) = 15% Energía bruta (kWh/año)	17.102.138
Pérdidas eléctricas = 1% Energía bruta (kWh/año)	1.140.143
Pérdidas varias = 5% Energía bruta (kWh/año)	5.700.713
Energía neta producida anualmente (kWh/año)	84.370.549
Horas equivalentes	3800
Factor de carga	0,43

6.2.2. Alternativa B

Los aerogeneradores de esta alternativa se han situado a una distancia de 500 m en la dirección del viento de mayor potencia extraíble y a 400 m en la perpendicular a esta, como se puede observar en la Figura 27.

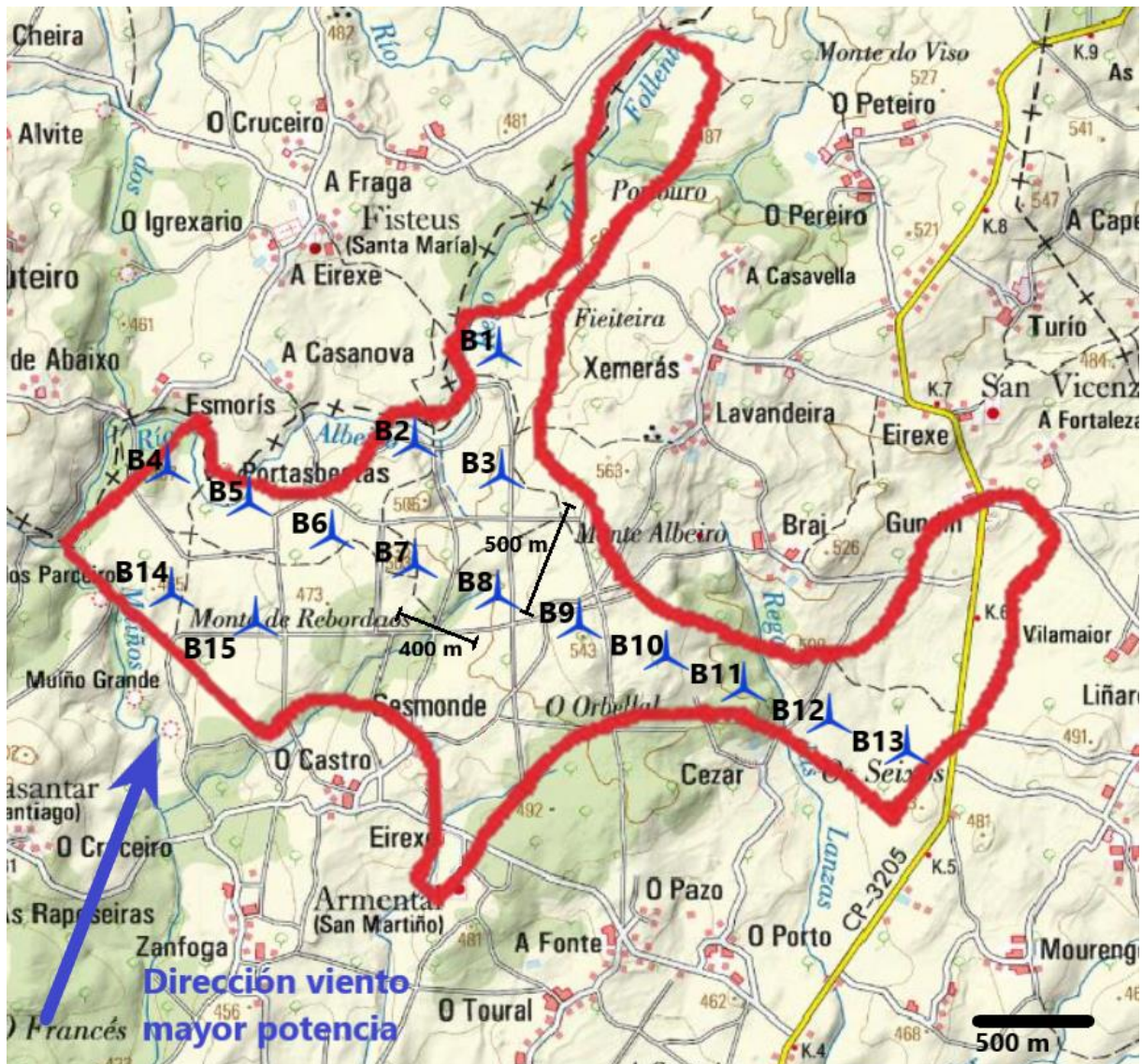


Figura 27. Distribución aerogeneradores alternativa B.

A continuación, en la TABLA 11 se muestran las coordenadas UTM de cada aerogenerador, así como la energía producida, las horas equivalentes y el factor de carga de cada uno de ellos. Para estos cálculos se han utilizado los datos proporcionados por el IDAE para una altura de 90 m.

TABLA 11. Coordenadas UTM, energía producida, horas equivalentes y factor de carga de cada aerogenerador de la alternativa B.

Aerogenerador	Coordenadas UTM (m)		kWh/año producidos	Horas equivalentes	Factor de carga
	X	Y			
B1	573918,141	4771388,380	7.230.428	3615	0,41
B2	573547,009	4771008,419	7.887.651	3944	0,45
B3	573888,876	4770865,951	7.868.322	3934	0,45
B4	572441,692	4770857,882	7.247.959	3624	0,41
B5	572813,345	4770731,336	7.314.531	3657	0,42
B6	573185,038	4770610,031	7.520.710	3760	0,43
B7	573535,512	4770502,400	7.564.682	3782	0,43
B8	573872,380	4770366,763	7.701.523	3851	0,44
B9	574244,409	4770210,755	7.829.143	3915	0,45
B10	574616,001	4770096,411	8230544.67	4115	0,47
B11	574966,989	4769953,984	7.639.156	3820	0,44
B12	575331,836	4769818,725	7.194.560	3597	0,41
B13	575654,309	4769724,887	7.575.185	3788	0,43
B14	572475,839	4770363,457	6.771.515	3386	0,39
B15	572861,689	4770221,293	7.050.345	3525	0,40

Seguidamente, en la TABLA 12 aparecen las características del parque eólico en conjunto, teniendo en cuenta los porcentajes asociados a las diferentes pérdidas existentes.

TABLA 12. Resumen alternativa B.

Potencia unitaria (MW)	2
Nº de aerogeneradores	15
Potencia parque (MW)	30
Energía bruta producida anualmente (kWh/año)	112.626.258
Pérdidas efecto parque = 5% Energía bruta (kWh/año)	5.631.313
Pérdidas por disponibilidad (mantenimiento) = 15% Energía bruta (kWh/año)	16.893.939
Pérdidas eléctricas = 1% Energía bruta (kWh/año)	1.126.263
Pérdidas varias = 5% Energía bruta (kWh/año)	5.631.313
Energía neta producida anualmente (kWh/año)	83.343.431
Horas equivalentes	3754
Factor de carga	0,43

6.2.3. Alternativa C

Los aerogeneradores de esta alternativa se han situado a una distancia de 400 m en la dirección del viento de mayor potencia extraíble y en la perpendicular a esta, como se observa en la Figura 28.

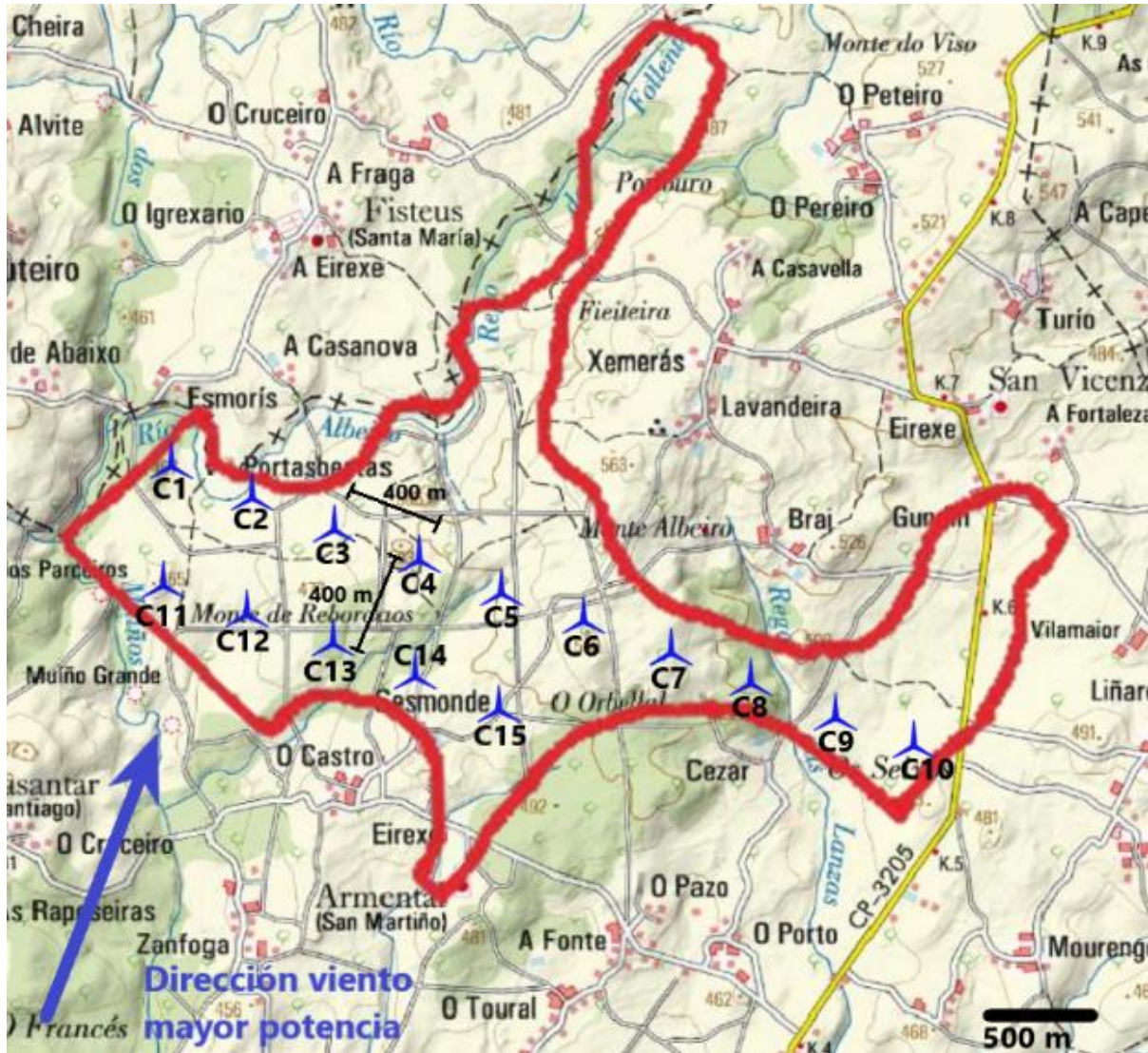


Figura 28. Distribución aerogeneradores alternativa C.

A continuación, en la TABLA 13 se muestran las coordenadas UTM de cada aerogenerador, así como la energía producida, las horas equivalentes y el factor de carga de cada uno de ellos. Para estos cálculos se han utilizado los datos proporcionados por el IDAE para una altura de 90 m.

TABLA 13. Coordenadas UTM, energía producida, horas equivalentes y factor de carga de cada aerogenerador de la alternativa C.

Aerogenerador	Coordenadas UTM (m)		kWh/año producidos	Horas equivalentes	Factor de carga
	X	Y			
C1	572441,692	4770857,882	7.247.959	3624	0,41
C2	572813,345	4770731,336	7.314.531	3657	0,42
C3	573185,038	4770610,031	7.520.710	3760	0,43
C4	573535,512	4770502,400	7.564.682	3782	0,43
C5	573872,380	4770366,763	7.701.523	3851	0,44
C6	574244,409	4770210,755	7.829.143	3915	0,45
C7	574616,001	4770096,411	8230544.67	4115	0,47
C8	574966,989	4769953,984	7.639.156	3820	0,44
C9	575331,836	4769818,725	7.194.560	3597	0,41
C10	575654,309	4769724,887	7.575.185	3788	0,43
C11	572454,772	4770377,116	6.603.552	3301	0,38
C12	572819,320	4770262,712	7.065.260	3532	0,40
C13	573198,257	4770113,496	7.102.961	3551	0,41
C14	573530,409	4769978,346	7.642.900	3821	0,44
C15	573888,306	4769842,936	7.420.530	3710	0,42

Seguidamente, en la TABLA 14 aparecen las características del parque eólico en conjunto, teniendo en cuenta los porcentajes asociados a las diferentes pérdidas existentes.

TABLA 14. Resumen alternativa C.

Potencia unitaria (MW)	2
Nº de aerogeneradores	15
Potencia parque (MW)	30
Energía bruta producida anualmente (kWh/año)	111.653.201
Pérdidas efecto parque = 5% Energía bruta (kWh/año)	5.582.660
Pérdidas por disponibilidad (mantenimiento) = 15% Energía bruta (kWh/año)	16.747.980
Pérdidas eléctricas = 1% Energía bruta (kWh/año)	1.116.532
Pérdidas varias = 5% Energía bruta (kWh/año)	5.582.660
Energía neta producida anualmente (kWh/año)	82.623.369
Horas equivalentes	3722
Factor de carga	0,42

6.3. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

A continuación, se hace una comparativa de las tres alternativas de diseño del parque eólico con el fin de determinar cuál resulta más rentable. Como se muestra en la TABLA 15, todas ellas presentan unos elevados valores de factores de carga y horas equivalentes, indicativo de una buena rentabilidad del parque eólico. Sin embargo, si se estudia la energía neta producida, se observa que la alternativa A es la más productiva de las 3, llegando a producir un millón de kWh al año más que la segunda configuración más rentable (alternativa B). De esta manera, la configuración elegida para la distribución de los aerogeneradores dentro del parque eólico es la alternativa A.

TABLA 15. Comparación alternativas.

Alternativa	Energía neta producida (kWh/año)	Horas equivalentes	Factor de carga
A	84.370.549	3800	0,43
B	83.343.431	3754	0,43
C	82.623.369	3722	0,42

CAPÍTULO 7. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

En este apartado se procede a realizar un estudio de impacto ambiental con el fin de determinar las distintas repercusiones que conllevará la implantación del parque eólico en el emplazamiento escogido y sus alrededores. Para ello, se comenzará con una descripción del proyecto que se llevará a cabo. A continuación, se realizará un inventario ambiental y se tendrán en cuenta los impactos generados en cada una de las diferentes fases del proyecto (construcción, funcionamiento y desmantelamiento), así como el diferente grado en que estos repercuten y posibles medidas correctoras.

7.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El presente proyecto tiene como objetivo la construcción de un parque eólico de 30 MW de potencia instalada en el Área de Investigación de Reserva del Monte da Corda, término municipal de Vilasantar (La Coruña). Para ello, se hará uso de 15 aerogeneradores modelo G90-2.0 MW de 90 m de altura de torre, fabricados por Gamesa. La producción estimada de la instalación es de 84.370.549 kWh/año.

7.2. INVENTARIO AMBIENTAL

Acorde con lo dispuesto en el en el Plan Sectorial Eólico de Galicia (PSEGA), se realiza un inventario ambiental en el que se detallarán las características de la zona bajo estudio, así como un listado de las especies de fauna y flora que habitan el lugar.

7.2.1. Clima

El clima predominante de esta región es templado, concretamente, oceánico mediterráneo (Csb, según la clasificación climática Köppen-Geiger).

Como se puede observar en la Figura 29, la temperatura media anual es de 12.4 °C, llegando a alcanzarse picos de 20 y 7 °C en las temporadas cálidas y frías, respectivamente. La baja amplitud térmica de la zona (de unos 10 °C) pone de manifiesto el efecto regulador provocado por el mar.

En cuanto a las precipitaciones, se aprecia una secuencia característica del territorio gallego, existiendo tres estaciones húmedas (primavera, otoño e invierno) en las cuales se concentran la mayor parte de precipitaciones, y una seca (verano), en la que se observa una clara disminución de las lluvias. Las precipitaciones anuales están en torno a 1267 mm, destacando diciembre como mes más lluvioso y julio como el más seco.

Si bien es cierto que el clima no se verá afectado por la implantación del parque eólico, dicho factor es importante y conviene tenerlo en cuenta en la realización del proyecto.

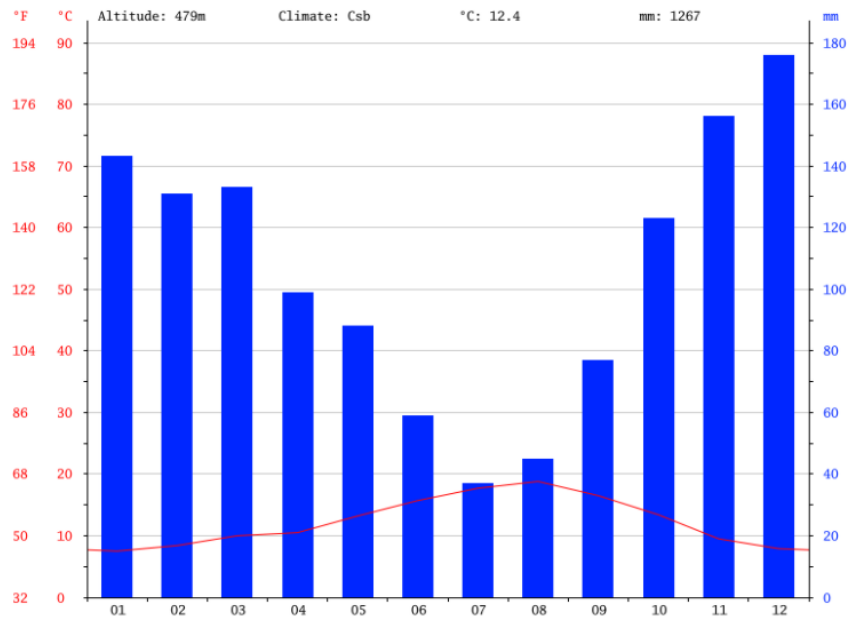


Figura 29. Climograma de Vilasantar. Fuente: Climate-Data.org

7.2.2. Sismología

Como se puede apreciar en la Figura 30, la provincia de La Coruña está caracterizada por tener un bajo grado de sismicidad. En dicha zona no se han registrado seísmos importantes, siendo estos siempre inferiores a magnitud 5.

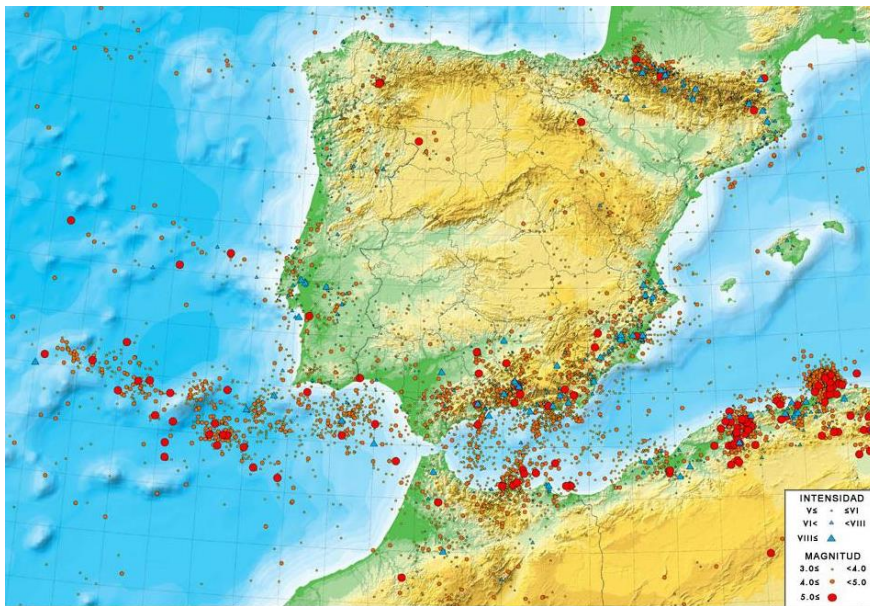


Figura 30. Mapa de sismicidad. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN).

7.2.3. Composición del suelo y relieve

La zona escogida se encuentra situada en territorio donde predomina el suelo de tipo umbrisol. Dicho suelo es de color oscuro y rico en materia orgánica, típico de climas húmedos donde no existe deficiencia hídrica alguna. Los umbrisoles se desarrollan en zonas donde predominan las rocas silíceas, caso del término municipal de Vilasantar.

Por lo que respecta a la orografía del área escogida, como se vio en el apartado 6.1.2, esta no es escarpada, situándose a cotas de nivel entre 450 y 600 m.

7.2.4. Usos del suelo

La zona escogida se caracteriza por estar ocupada principalmente por tierras de cultivo y agrupaciones boscosas de especies caducifolias. Así mismo, destacan también las zonas de matorrales y agrupaciones eucaliptos y coníferas.

7.2.5. Hidrología

Si bien es cierto que el término municipal de Vilasantar se encuentra atravesado por varios ríos y sus correspondientes afluentes, la distribución de aerogeneradores seleccionada respeta el cauce de todos ellos, no interfiriendo con el curso natural de los ríos en ningún caso. Cabe mencionar también que las cuencas de los ríos están situadas a alturas más bajas que los lugares donde se colocarán los aerogeneradores, por lo que el impacto producido sobre ellas será prácticamente inexistente.

7.2.6. Patrimonio Histórico-Artístico

Por lo que respecta al patrimonio histórico-artístico de la zona, no existe ningún elemento protegido de interés en la zona de estudio.

7.2.7. Espacios naturales

Como se comentó previamente en el apartado 4.2, la zona elegida no se encuentra afectada por ninguna figura ambiental, por lo que no existirá restricción alguna en este sentido.

7.2.8. Socioeconomía

Según datos proporcionados por el INE, Vilasantar cuenta con 1241 habitantes, de los cuales 650 son hombres y 591 mujeres. La población está envejecida, situándose la media de edad en torno a los 58 años.

La economía de la localidad está constituida en gran medida por el sector servicios, siendo destacable también el papel jugado por la agricultura y la industria. Por lo que respecta a la tasa de paro, esta se sitúa por debajo del 8 %.

7.2.9. Fauna

A continuación, se muestra un listado de las especies presentes en la zona de estudio. Se han marcado aquellas especies vulnerables y de interés especial, acordes a lo establecido en el Catálogo Gallego de Especies Amenazadas. La especies vulnerables son aquellas que, sin estar en peligro de extinción, se enfrentan a un riesgo de desaparición a medio plazo. Por otra parte, las especies de interés especial

son las que, aun no estando amenazadas, presentan un valor particular ya sea por su interés científico, ecológico, cultural o por su singularidad.

Anfibios:

- Rana común (*Rana perezi*)
- **Rana patilarga (*Rana ibérica*): Especie vulnerable**
- **Ranita de San Antonio (*Hyla arborea*): Especie de interés especial**
- **Salamandra rabilarga (*Chioglossa lusitánica*): Especie vulnerable**
- **Sapo partero común (*Alytes obstetricans*): Especie de interés especial**
- **Tritón ibérico (*Lissotriton boscai*): Especie de interés especial**
- **Tritón jaspeado (*Triturus marmoratus*): Especie de interés especial**
- **Tritón palmeado (*Lissotriton helveticus*): Especie de interés especial**

Reptiles:

- **Culebra de collar (*Natrix natrix*): Especie vulnerable**
- **Eslizón tridátilo ibérico (*Chalcides striatus*): Especie de interés especial**
- Lagartija gallega (*Podarcis bocagei*)
- **Lagartija serrana (*Iberolacerta monticola*): Especie vulnerable**
- Lagarto verdinegro (*Lacerta schreiberi*)

Invertebrados:

- *Dupophilus brevis* (*Dupophilus brevis*)
- *Elmis maugetii* (*Elmis maugetii maugetii*)
- *Elmis rioloides* (*Elmis rioloides*)
- *Haliphus guttatus* (*Haliphus guttatus*)
- *Haliphus lineatocollis* (*Haliphus lineatocollis*)
- *Hydraena brachymera* (*Hydraena brachymera*)
- *Hydraena ibérica* (*Hydraena ibérica*)
- *Hydroporus nigrita* (*Hydroporus nigrita*)
- *Limnius volckmari* (*Limnius volckmari*)
- *Nebrioporus carinatus* (*Nebrioporus carinatus*)
- *Oulimnius bertrandi* (*Oulimnius bertrandi*)

Mamíferos:

- Ardilla común (*Sciurus vulgaris*)
- Armiño (*Mustela erminea*)
- Comadreja común (*Mustela nivalis*)
- Conejo común (*Oryctolagus cuniculus*)
- Corzo (*Capreolus capreolus*)
- Desmán de los Pirineos (*Galemys pyrenaicus*)
- Erizo común (*Erinaceus europaeus*)
- Gineta (*Genetta genetta*)
- Jabalí (*Sus scrofa*)
- Liebre ibérica (*Lepus granatensis*)
- Lirón careto (*Eliomys quercinus*)
- Lobo (*Canis lupus*)
- Musaraña de campo (*Crocidura suaveolens*)
- Musaraña enana (*Sorex minutus*)
- Musgano de Cabrera (*Neomys anomalus*)
- **Nutria europea (*Lutra lutra*): Especie de interés especial**
- Rata común (*Rattus norvegicus*)
- Rata de agua (*Arvicola sapidus*)
- Rata negra (*Rattus rattus*)
- Ratón casero (*Mus musculus*)
- Ratón de campo (*Apodemus sylvaticus*)
- Tejón común (*Meles meles*)
- Topillo agreste (*Microtus agrestis*)
- Topo ibérico (*Talpa occidentalis*)
- Zorro (*Vulpes vulpes*)

Aves:

- **Acentor común (*Prunella modularis*): Especie de interés especial**
- Agateador común (*Certhia brachydactyla*)

- **Aguilucho cenizo (*Circus pygargus*): Especie vulnerable**
- **Alcotán europeo (*Falco subbuteo*): Especie de interés especial**
- Alondra común (*Alauda arvensis*)
- Ánade real (azulón) (*Anas platyrhynchos*)
- Arrendajo (*Garrulus glandarius*)
- **Avión común (*Delichon urbicum*): Especie de interés especial**
- **Avión roquero (*Ptyonoprogne rupestris*): Especie de interés especial**
- **Azor común (*Accipiter gentilis*): Especie de interés especial**
- Bisbita arbóreo (*Anthus trivialis*)
- **Buitrón (*Cisticola juncidis*): Especie de interés especial**
- Busardo ratonero (*Buteo buteo*)
- **Camachuelo común (*Pyrrhula pyrrhula*): Especie de interés especial**
- Cárabo común (*Strix aluco*)
- **Carbonero común (*Parus major*): Especie de interés especial**
- Carbonero garrapinos (*Parus ater*)
- **Cernícalo vulgar (*Falco tinnunculus*): Especie de interés especial**
- **Chochín (*Troglodytes troglodytes*): Especie de interés especial**
- Chotacabras gris (*Caprimulgus europaeus*)
- Codorniz común (*Coturnix coturnix*)
- **Colirrojo tizón (*Phoenicurus ochruros*): Especie de interés especial**
- Corneja negra (*Corvus corone*)
- Cuco común (*Cuculus canorus*)
- **Curruca cabecinegra (*Sylvia melanocephala*) Especie de interés especial**
- **Curruca capirotada (*Sylvia atricapilla*): Especie de interés especial**
- **Curruca rabilarga (*Sylvia undata*): Especie de interés especial**
- **Curruca zarcera (*Sylvia communis*): Especie de interés especial**
- **Escribano montesino (*Emberiza cia*): Especie de interés especial**
- **Escribano soteño (*Emberiza cirilus*): Especie de interés especial**
- Estornino negro (*Sturnus unicolor*)
- **Gavilán común (*Accipiter nisus*): Especie de interés especial**

- **Golondrina común (*Hirundo rustica*):** Especie de interés especial
- Gorrión común (*Passer domesticus*)
- Gorrión molinero (*Passer montanus*)
- **Herrerillo común (*Parus caeruleus*):** Especie de interés especial
- Jilguero (*Carduelis carduelis*)
- **Lavandera blanca (*Motacilla alba*):** Especie de interés especial
- **Lavandera cascadeña (*Motacilla cinerea*):** Especie de interés especial
- **Lechuza común (*Tyto alba*):** Especie de interés especial
- **Martín pescador común (*Alcedo atthis*):** Especie vulnerable
- **Mirlo acuático (*Cinclus cinclus*):** Especie de interés especial
- Mirlo común (*Turdus merula*)
- **Mito (*Aegithalos caudatus*):** Especie de interés especial
- **Mochuelo común (*Athene noctua*):** Especie de interés especial
- **Mosquitero ibérico (*Phylloscopus ibericus*):** Especie de interés especial
- **Oropéndola europea (*Oriolus oriolus*):** Especie de interés especial
- Paloma doméstica (*Columba livia*)
- Paloma torcaz (*Columba palumbus*)
- Pardillo común (*Carduelis cannabina*)
- Perdiz roja (*Alectoris rufa*)
- **Petirrojo europeo (*Erithacus rubecula*):** Especie de interés especial
- **Pico picapinos (*Dendrocopos major*):** Especie de interés especial
- **Pinzón vulgar (*Fringilla coelebs*):** Especie de interés especial
- **Pito real (*Picus viridis*):** Especie de interés especial
- **Reyezuelo listado (*Regulus ignicapilla*):** Especie de interés especial
- **Tarabilla común (*Saxicola torquatus*):** Especie de interés especial
- Tórtola europea (*Streptopelia turtur*)
- Urraca (*Pica pica*)
- **Vencejo común (*Apus apus*):** Especie de interés especial
- Verdecillo (*Serinus serinus*)
- Verderón europeo (*Carduelis chloris*)

- **Zampullín común (*Tachybaptus ruficollis*): Especie de interés especial**
- **Zarcero común (*Hippolais polyglotta*): Especie de interés especial**
- Zorzal charlo (*Turdus viscivorus*)
- Zorzal común (*Turdus philomelos*)

7.2.10. Flora

A continuación, se muestra un listado de las especies florales presentes en la zona de estudio. Dicha zona está constituida principalmente por matorrales y zonas de cultivo, aunque también existen congregaciones de diferentes especies de árboles.

- Bermejo (*Erica Cinerea*)
- Brezo (*Calluna vulgaris*)
- Eucalipto (*Eucalyptus*)
- Lino (*Linum usitatissimum*)
- Manzanilla (*Chamomilla recutita*)
- Ortiga (*Urtica dioica*)
- Pino insigne (*Pinus radiata*)
- Pino negral (*Pinus pinaster*)
- Roble albar (*Quercus petraea*)
- Roble común (*Quercus robur*)
- Roble negro (*Quercus pyrenaica*)

7.3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

Seguidamente, se procede a identificar las acciones asociadas a la realización del proyecto que son susceptibles de producir impactos en el medio. Cada una de ellas tendrá su origen en alguna de las tres fases que abarca la vida del proyecto.

Fase de construcción:

- Creación de accesos viales.
- Desbroce y tala de vegetación.
- Movimientos de tierras y emisión de polvo.
- Cimentaciones.
- Transporte de los aerogeneradores y uso de maquinaria pesada.
- Montaje de los aerogeneradores.
- Acondicionamiento de líneas de transporte eléctrico.

Fase de explotación:

- Funcionamiento del parque eólico.
- Presencia de los aerogeneradores.
- Transporte asociado a labores de mantenimiento.

Fase de desmantelamiento:

- Desarme del parque eólico.
- Movimientos de tierras y emisión de polvo.
- Transporte del material obsoleto y uso de maquinaria pesada.
- Reacondicionamiento de la zona y reforestación.

7.4. FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS

A continuación, se muestran los factores ambientales que resultarán afectados como consecuencia de las actividades enumeradas en el apartado anterior. Los factores ambientales se clasifican según su naturaleza, obteniendo las siguientes categorías: medio inerte, medio biótico, medio perceptual y medio socioeconómico (Gómez Orea, 2013).

MEDIO INERTE:

- **Aire:**
 - **Calidad.** Si bien es cierto que los aerogeneradores por sí mismos no producen emisión contaminante alguna, durante las fases de construcción y desmantelamiento se producirán emisiones de CO₂ asociadas al funcionamiento de máquinas y vehículos. Las labores de mantenimiento del parque eólico requerirán así mismo el uso de vehículos para acercarse al lugar.
 - **Confort sonoro.** Durante el funcionamiento de los aerogeneradores se producirá un aumento del nivel de ruido de la zona, causado principalmente por el movimiento de rotación de las palas. A esto hay que sumarle el ruido derivado de los medios de transporte y las máquinas utilizadas en las fases de construcción y desmantelamiento. Dichas actividades causarán efectos negativos en la fauna de la zona, asustando o desorientando a las aves y animales, llegando a provocar cambios en sus rutas y hábitats.
- **Agua:**
 - **Calidad.** La calidad de las posibles aguas subterráneas existentes en la zona se vería deteriorada en el caso de que durante la fase de construcción fuesen alcanzadas por los materiales utilizados en la cimentación.
- **Tierra y suelo:**
 - **Calidad.** En el caso de que por accidente se produjese algún vertido de naturaleza química, como por ejemplo gasolina de máquinas o vehículos, la calidad del suelo se vería seriamente dañada.

- **Erosión.** Durante las fases de construcción y desmantelamiento se producirán importantes excavaciones y movimientos de tierras que provocarán cambios en el relieve del terreno y propiciarán su erosión. Así mismo, el rodaje de los vehículos y la maquinaria pesada utilizada contribuirán a dicho fenómeno.

MEDIO BIÓTICO:

- **Vegetación:**
 - **Formaciones vegetales.** En la fase de construcción se producirá la tala y el desbroce de formaciones vegetales para despejar las zonas pertenecientes a las vías de acceso y los aerogeneradores.
 - **Especies vulnerables o de interés comunitario.** Durante la tala y desbroce se podría producir la pérdida de ejemplares de especies catalogadas como vulnerables o de interés.
- **Fauna:**
 - **Hábitats.** La pérdida de las formaciones vegetales conllevará la pérdida del refugio y la morada de gran cantidad de mamíferos y aves. Así mismo, el aumento del nivel de ruido de la zona asustará y desorientará a las aves y animales del entorno, provocando una migración hacia otras zonas.
 - **Especies vulnerables o de interés comunitario.** Las especies protegidas de la zona podrán sufrir estrés a causa del aumento del nivel del ruido y de los cambios llevados a cabo en su hábitat. Por lo que respecta a la aves, gran cantidad de ellas morirán a causa del choque con las palas, provocando así una posible pérdida de especies vulnerables o de interés.

MEDIO PERCEPTUAL:

- **Calidad paisajística.** La calidad del paisaje se verá deteriorada debido a la presencia de los aerogeneradores ya que estos elementos de gran tamaño no encajan de manera natural con el entorno.

MEDIO SOCIOECONÓMICO:

- **Empleo.** La implantación de un parque eólico es una actividad de gran calibre que requiere de la contratación de gran número de trabajadores. De esta manera, durante los meses que duren las fases de construcción y desmantelamiento se crearán numerosos puestos de trabajo. Así mismo, a lo largo de toda la fase de funcionamiento se necesitarán empleados que realicen las labores de mantenimiento y vigilancia del parque.
- **Economía.** Acorde a lo estipulado en la Ley 8/2009, los municipios gallegos afectados por la implantación de un parque eólico serán beneficiarios de los ingresos derivados de un canon eólico cobrado anualmente a la empresa promotora. Para el tamaño del parque eólico del presente proyecto se establece una cuota tributaria de 4.100 euros por cada unidad de

aerogenerador, suma que asciende a un total de 61.500 euros. De esta manera, la economía de Vilasantar se verá beneficiada en gran medida por la instauración del parque eólico.

7.5. EVALUACIÓN DE IMPACTOS. MATRIZ DE LEOPOLD

Para cuantificar los impactos generados por el proyecto, se construirá una matriz relacional de tipo causa-efecto denominada matriz de Leopold. Esta matriz consta de un cuadro de doble entrada en cuyas columnas se sitúan las acciones productoras de impactos y en las filas superiores, los factores ambientales susceptibles de ser afectados. En la intersección entre filas y columnas se colocará el índice de incidencia estandarizado, valor asociado a la intensidad del impacto generado por una actividad concreta sobre un factor ambiental determinado. Dicho índice de incidencia estandarizado tiene un valor entre 0 y 1, y para su obtención se seguirá el método propuesto por Domingo Gómez Orea en su libro *Evaluación de Impacto Ambiental*, (2013).

Cada impacto se evalúa atendiendo a los atributos que este presenta. Así mismo, a dichos atributos les corresponderá un determinado valor según su carácter, como se puede apreciar en la TABLA 16. A continuación se hace una breve explicación de cada uno de ellos.

- Signo: refleja si el efecto por el impacto generado es beneficioso o perjudicial.
- Inmediatez: si es directo, el efecto tendrá repercusión inmediata; mientras que, si es indirecto, será derivado.
- Acumulación: si es simple, presentará un único componente ambiental sin efectos secundarios. Por el contrario, si es acumulativo, el efecto verá incrementada su gravedad conforme lo haga la duración de la actividad generadora.
- Sinergia: se refiere al fenómeno ocurrido cuando la coexistencia de varios efectos simples tiene un impacto mayor que el de la suma que tendrían todos ellos por separado.
- Momento: si el efecto se produce a corto plazo, sus consecuencias serán visibles en menos de un año. En el caso de impactos a medio plazo, el efecto se pondrá de manifiesto antes de cinco años, y en efectos a largo plazo, en un período mayor a cinco años.
- Persistencia: se refiere a si el efecto es temporal o permanente.
- Reversibilidad: los procesos reversibles podrán ser asimilados por los procesos naturales, mientras que los irreversibles, no.
- Recuperabilidad: si el impacto producido puede eliminarse de forma natural o mediante la intervención del hombre, será recuperable. En caso contrario, será irrecuperable.
- Continuidad: detalla si el efecto producido es continuo o intermitente en el tiempo.
- Periodicidad: refleja si el efecto se produce de forma cíclica o si es de aparición irregular.

Una vez se ha puntuado cada atributo, se procede a sumar el valor de todos para obtener así el índice de incidencia del impacto.

$$I = \sum \text{Atributos} \quad (10)$$

TABLA 16. Códigos asignados a cada atributo. Fuente: Evaluación de Impacto Ambiental (2013).

ATRIBUTO	CARÁCTER DEL ATRIBUTO	CÓDIGO VALOR
Signo del efecto	Benéfico	+
	Perjudicial	-
	Indeterminado	x
Inmediatez	Directo	3
	Indirecto	1
Acumulación	Simple	1
	Acumulativo	3
Sinergia	Leve	1
	Media	2
	Fuerte	3
Momento	A corto plazo	3
	A medio plazo	2
	A largo plazo	1
Persistencia	Temporal	1
	Permanente	3
Reversibilidad	A corto plazo	1
	A medio plazo	2
	A largo plazo o irreversible	3
Recuperabilidad	Fácil	1
	Media	2
	Difícil	3
Continuidad	Continuo	3
	Discontinuo	1
Periodicidad	Periódico	3
	Irregular	1

Una vez obtenido el índice de incidencia el siguiente paso consistirá en estandarizarlo para introducir dicho factor en la matriz de Leopold. Para ello se hará uso de la siguiente fórmula, obteniendo así un valor comprendido entre 0 y 1.

$$I_{estandarizada} = \frac{I - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (11)$$

Donde I_{min} es el valor obtenido utilizando el menor valor asociado a cada atributo e I_{max} el mayor. De esta manera, $I_{min} = 9$ e $I_{max} = 27$.

Según el valor calculado de $I_{estandarizada}$ a cada impacto le corresponderá una calificación, como se puede apreciar en la TABLA 17.

TABLA 17. Calificación final de impactos. Fuente: Evaluación de Impacto Ambiental (2013).

CALIFICACIÓN FINAL DEL IMPACTO			
COMPATIBLE $0 < I < 0,15$	MODERADO $0,16 < I < 0,36$	SEVERO $0,37 < I < 0,65$	CRÍTICO $0,66 < I < 1$
Impacto de poca entidad, recuperándose el medio por sí mismo sin medidas correctoras e inmediatamente tras el cese de la acción.	La recuperación, sin medidas correctoras intensivas lleva cierto tiempo.	La recuperación exige un tiempo dilatado, incluso con la adopción de medidas correctoras.	Se produce una pérdida permanente de las condiciones ambientales sin posible recuperación, incluso con la adopción de prácticas o medidas correctoras.

A continuación, se muestra la matriz de Leopold resultante para cada una de las tres fases del proyecto. En ellas, cada celda se ha coloreado acorde a la calificación obtenida. En la TABLA 18 se puede ver cuáles han sido los colores asignados a cada calificación.

TABLA 18. Colores asociados a cada calificación.

Calificación	Color
Sin interacción	
Compatible	
Moderado	
Severo	
Crítico	
Efecto beneficioso	
Sumatorio	

TABLA 19. Matriz de Leopold fase de construcción.

				ACTIVIDADES FASE DE CONSTRUCCIÓN							Σ
				Creación de accesos viales	Desbroce y tala de vegetación	Movimientos de tierras y emisión de polvo	Cimentaciones	Transporte de los aerogeneradores y uso de maquinaria pesada	Montaje de los aerogeneradores	Acondicionamiento de líneas de transporte eléctrico.	
FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS	MEDIO INERTE	Aire	Calidad	-0,33	-0,11	-0,39	-0,33	-0,39	-0,33	-0,33	-2,22
			Confort sonoro	-0,39	-0,33	-0,11	-0,33	-0,44	-0,44	-0,33	-2,39
		Agua	Calidad	-0,17		-0,11	-0,11				-0,39
		Tierra y suelo	Calidad	-0,22	-0,22	-0,39	-0,56			-0,39	-1,78
			Erosión	-0,39	-0,33	-0,50		-0,22		-0,56	-2,00
	MEDIO BIÓTICO	Vegetación	Formaciones vegetales	-0,33	-0,44	-0,28				-0,28	-1,33
			Especies protegidas	-0,39	-0,50	-0,28				-0,33	-1,50
		Fauna	Hábitats	-0,33	-0,33	-0,17	-0,17	-0,17		-0,28	-1,45
			Especies protegidas	-0,50	-0,50	-0,17	-0,17	-0,17		-0,33	-1,84
	MEDIO PERCEPTUAL		Calidad paisajística	-0,44	-0,39	-0,39	-0,56	-0,33	-0,33	-0,56	-3,00
MEDIO SOCIECONÓMICO		Empleo	0,44	0,44	0,22	0,33	0,44	0,44	0,33	2,67	
		Economía	0,39	0,39	0,28	0,28	0,39	0,39	0,28	2,39	
		Σ	-2,67	-2,33	-2,28	-1,61	-0,89	-0,28	-2,78		

TABLA 20. Matriz de Leopold fase de explotación.

				ACTIVIDADES FASE DE EXPLOTACIÓN			Σ	
				Funcionamiento del parque eólico	Presencia de los aerogeneradores	Transporte asociado a labores de mantenimiento		
FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS	MEDIO INERTE	Aire	Calidad			-0,39	-0,39	
			Confort sonoro	-0,56	-0,33	-0,44	-1,33	
		Agua	Calidad					
		Tierra y suelo	Calidad		-0,28		-0,28	
			Erosión			-0,22	-0,22	
	MEDIO BIÓTICO	Vegetación	Formaciones vegetales					
			Especies protegidas					
		Fauna	Hábitats	-0,44	-0,44	-0,17	-1,06	
			Especies protegidas	-0,61	-0,61	-0,17	-1,39	
	MEDIO PERCEPTUAL	Calidad paisajística	-0,50	-0,56	-0,33	-1,39		
	MEDIO SOCIECONÓMICO	Empleo			0,44	0,44		
		Economía			0,39	0,39		
	Σ				-2,11	-2,22	-0,89	

TABLA 21. Matriz de Leopold fase de desmantelamiento.

				ACTIVIDADES FASE DE DESMANTELAMIENTO				Σ	
				Desarme del parque eólico	Movimientos de tierras y emisión de polvo	Transporte del material obsoleto y uso de maquinaria pesada	Reacondicionamiento de la zona y reforestación		
FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS	MEDIO INERTE	Aire	Calidad	-0,33	-0,39	-0,39		-1,11	
			Confort sonoro	-0,44	-0,11	-0,44		-0,99	
		Tierra y suelo	Agua	Calidad		-0,11			-0,11
			Calidad		-0,39			-0,39	
				Erosión		-0,5	-0,22		-0,72
	MEDIO BIÓTICO	Vegetación	Formaciones vegetales		-0,28		0,44	0,16	
			Especies protegidas		-0,28		0,50	0,22	
		Fauna	Hábitats	-0,17	-0,17	-0,17	0,44	-0,07	
			Especies protegidas	-0,17	-0,17	-0,17	0,50	-0,01	
	MEDIO PERCEPTUAL		Calidad paisajística	-0,33	-0,39	-0,33		-1,05	
	MEDIO SOCIECONÓMICO		Empleo	0,44	0,22	0,44		1,1	
			Economía	0,39	0,28	0,39		1,06	
			Σ	-0,61	-2,29	-0,89	1,89		

Como se puede apreciar en las TABLAS 19,20 y 21, se ha añadido una fila y una columna extras, en las cuales se han calculado los respectivos sumatorios de cada una de ellas, con el fin de facilitar la detección de las actividades causantes de un mayor impacto y los factores ambientales más afectados. Así mismo, cabe mencionar que no se ha tenido en cuenta la distinta duración de cada fase del proyecto, por lo que no se han ponderado los diferentes factores en base a ello, realizando tan sólo una mera aproximación.

De las matrices de Leopold se puede extraer como conclusión que la fase más perjudicial de todo el proyecto es la de construcción, en la que destacan como acciones más perjudiciales la creación de accesos viales y el acondicionamiento de las líneas de transporte eléctrico. Los factores ambientales que más afectados resultarán son la calidad paisajística, el confort sonoro y la erosión del terreno. Destaca así mismo el impacto generado en la fase de explotación por el funcionamiento y la presencia de los aerogeneradores sobre la calidad del paisaje y la fauna, concretamente en las aves. Además, cabe destacar los efectos beneficiosos producidos por las actividades llevadas a cabo sobre la economía y el empleo del municipio.

La mayor parte de los impactos generados se encuentran clasificados como moderados y críticos, no existiendo en ningún caso impactos severos, por lo que el proyecto resultaría medioambientalmente viable. A continuación, en el siguiente apartado se proponen una serie de medidas preventivas y correctoras con el fin de disminuir los impactos provocados en el medio a causa de la implantación del parque eólico.

7.6. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS

7.6.1. Ruido

El ruido es inevitable en cualquiera de las tres fases del proyecto, sin embargo, es posible reducir los decibelios emitidos en las fase de construcción y desmantelamiento utilizando modelos máquinas que generen los menores ruidos del mercado.

Por lo que respecta a la fase de explotación, los transportes asociados a las labores de mantenimiento se harán mediante vehículos eléctricos, cuyos motores emiten muchos menos decibelios en comparación con los de combustión. Así mismo, el ruido generado por la rotación de las palas durante el funcionamiento se verá disminuido gracias a que el modelo de aerogeneradores escogido incorpora un sistema de reducción de ruidos.

7.6.2. Contaminación del aire

Por lo que respecta a la contaminación del aire, una buena manera de reducir las emisiones de CO₂ es utilizando vehículos eléctricos para acceder al parque eólico a la hora de realizar labores de mantenimiento.

7.6.3. Erosión del terreno

El terreno sufrirá erosión en los trabajos asociados al acondicionamiento de las cimentaciones, las vías de acceso y el tendido eléctrico, en los cuales se producirán grandes movimientos de tierras. Se evitará

en la medida de lo posible realizar movimientos de tierras agresivos y se limitará la velocidad de los vehículos. Una vez hayan finalizado todos los trabajos se procederá a restaurar el terreno.

7.6.4. Impacto visual

El impacto visual y paisajístico es inevitable en un parque eólico, sin embargo, se podría reducir pintando los aerogeneradores de tonos acordes con el entorno, consiguiendo así su mimetización.

7.6.5. Fauna

Las aves son los animales que peores consecuencias experimentarán debido a la implantación del parque eólico. Cada año mueren gran cantidad de aves al golpearse con las palas en movimiento de los aerogeneradores. Con el fin de evitar dicho fenómeno, se dotará a los aerogeneradores de un dispositivo desarrollado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) capaz de detectar si hay aves encaminándose hacia los aerogeneradores y detener así sus palas.

Otra medida para la conservación de las aves es estudiar las rutas y épocas migratorias de las especies presentes en la zona para que en el caso de que los aerogeneradores se interpongan en su camino, poder detener las palas.

7.6.6. Flora

Una vez se haya desmantelado por completo el parque eólico se procederá a reforestar la zona afectada con las especies propias de la zona.

CAPÍTULO 8. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

En este capítulo se llevará a cabo un estudio de viabilidad económica con el fin de determinar si es rentable la implantación del parque eólico. Para ello, primero se realizará un presupuesto aproximado del proyecto, haciendo uso de la información proporcionada por el PER 2011-2020. Posteriormente, se utilizará el programa informático RETScreen para simular hipótesis con diferentes tasas de inflación y financiación, y obtener los resultados en base a ellas. Así mismo, para realizar todos estos cálculos se tendrá en cuenta lo establecido en el Real Decreto 413/2014, en cuyo Título IV se explican y especifican los parámetros del régimen retributivo específico de instalaciones que produzcan energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables.

8.1. COSTES INICIALES

A continuación, en la TABLA 22, se puede apreciar el desglose de cada una de las partes que componen el proyecto inicialmente. Cabe mencionar que dichos datos son tan sólo una aproximación, habiéndose realizado en base a los porcentajes propuestos en el PER 2011-2020. Al final del proyecto se encontrará el documento presupuesto, en el cual se incluye una descripción más detallada.

TABLA 22. Costes iniciales.

Aerogeneradores (75%)	30.000.000 €
Obra civil e ingeniería (8%)	3.200.000 €
Instalación eléctrica (5%)	2.000.000 €
Subestación y conexión eléctrica (10%)	4.000.000 €
Promoción (2%)	800.000 €
TOTAL	40.000.000 €

8.2. COSTES DE EXPLOTACIÓN

Los costes de explotación derivan del mantenimiento de los aerogeneradores, englobando gastos asociados a salarios de trabajadores, transportes y componentes de repuesto. Para su cálculo se hará uso de la estimación proporcionada por el PER 2011-2020, documento en el cual se establece un coste anual aproximado de 45.000 €/MW. Dado que el presente proyecto tiene una potencia instalada de

30 MW, dichos costes ascenderán a 1.350.000 €. Cabe mencionar que en este valor no se han considerado tributos especiales de índole local o autonómica; razón por la cual a dicha cantidad habrá que sumarle el coste derivado del canon eólico, establecido en la Ley 8/2009. En ese documento, se decreta que los parques eólicos que dispongan de entre 8 y 15 aerogeneradores deberán abonar anualmente 4.100 euros por cada unidad de aerogenerador. Debido a que el presente proyecto hace uso de 15 aerogeneradores, el canon eólico será de 61.500 €.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado previamente, se obtienen unos costes de explotación aproximados de 1.411.500 € al año.

8.3. INGRESOS

Los ingresos derivados de la energía producida por los aerogeneradores se obtendrán en base a la tarifa de explotación. Para el cálculo de dicha tarifa se hará uso de la siguiente fórmula:

$$\text{Tarifa de exportación} = \frac{\text{Retribución Específica} + \text{Ingresos Producción Anual}}{\text{Energía producida anualmente}} \quad (12)$$

Dónde:

$$\text{Retribución Específica} = R_{inv} * \text{Potencia Instalada} + R_o * \text{Producción Anual} \quad (13)$$

$$\text{Ingresos Producción Anual} = \text{Producción Anual} * \text{Precio de Mercado} \quad (14)$$

El valor de la retribución a la inversión (R_{inv}) y la retribución a la operación (R_o) vendrá proporcionado por el Real Decreto 413/2014, en el cual, para este tipo de instalación, clasificada como IT-00665, se establecen unos valores de $R_{inv} = 101.240 \text{ €/MW}$ y $R_o = 0 \text{ €/MW}$. La potencia instalada del parque es de 30 MW, y la producción anual, como se vio previamente en el apartado 6, de 84.370,549 MWh. Con todo esto, y un precio estimado de mercado de 41,54 €/MWh según lo establecido en la Orden ETU/555/2017, de 15 de junio, por la que se establecen los parámetros retributivos de este tipo de instalaciones, se obtiene una tarifa de exportación de 77,53 €/MWh.

8.4. FLUJOS DE CAJAS

A continuación, se analizarán los flujos de cajas resultantes bajo diferentes hipótesis; es decir, cómo variarán las salidas y entradas netas de dinero del proyecto según los posibles escenarios. Así mismo, se calculará el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) del proyecto en base a los flujos de caja de cada situación, parámetros muy utilizados en los estudios de viabilidad económica.

Por un lado, el VAN refleja los ingresos (actualizados a la fecha de inicio del proyecto) que generará el parque eólico, una vez descontada la inversión inicial. De esta manera, un VAN superior a cero implicará que el proyecto es rentable.

Por otro lado, la TIR es el tipo de interés con el cual se obtiene un VAN nulo. Una TIR elevada será indicativo de una buena rentabilidad del proyecto, suponiendo un retorno de la inversión equiparable a unos tipos de interés más elevados que los que se pueden encontrar en el mercado financiero.

A continuación, se ha efectuado un análisis de riesgos sobre la TIR, en el cual se compara de qué manera afectaría a dicho parámetro una hipotética variación de los costes iniciales y de la tarifa de exportación de la electricidad. Para la realización del análisis se ha impuesto un rango de sensibilidad del 10 %, en intervalos del 5 %; y por lo que respecta a la TIR, se ha establecido un umbral del 5 %, ya que es a partir de este valor cuando un proyecto comienza a ser interesante desde el punto de vista económico. De esta manera, en la TABLA 27 se observa que en todas las hipótesis consideradas la TIR es positiva, por lo que se recuperará en la totalidad de los casos el dinero invertido, pero solo resultará interesante invertir cuando la TIR sea superior al 5 % (casillas no coloreadas de rojo). Como se puede deducir, cuanto menores sean los costes iniciales y mayor sea la tarifa de exportación, mayor rentabilidad tendrá la instalación.

Tabla 23. Análisis de riesgo sobre la TIR.

Tarifa de exportación de electricidad		Costes iniciales (€)				
		36.000.000	38.000.000	40.000.000	42.000.000	44.000.000
€/MWh		(-10%)	(-5%)	(0 %)	(+5 %)	(+10 %)
69,78	(-10 %)	7,0 %	6,1 %	5,2 %	4,3 %	3,5 %
73,65	(-5 %)	8,3 %	7,3 %	6,4 %	5,5 %	4,7 %
77,53	(0 %)	9,5 %	8,5 %	7,6 %	6,7 %	5,8 %
81,41	(+5 %)	10,7 %	9,7 %	8,7 %	7,8 %	6,9 %
85,28	(+10 %)	11,8 %	10,8 %	9,8 %	8,8 %	8,0 %

Otro parámetro necesario para realizar el estudio de viabilidad económico es la vida útil del proyecto. Dicha información viene detallada en el Real Decreto 413/2014, documento en el cual se clasifican los parques eólicos terrestres dentro de la categoría b.2.1. Como se puede apreciar en la TABLA 24, a dicha clasificación le corresponde una vida útil de 20 años.

TABLA 24. Vida útil según tipo de instalación. Fuente: Real Decreto 413/2014.

Categoría	Grupo	Subgrupo	Vida útil regulatoria (años)
a)	a.1	a.1.1, a.1.2 y 1.3	25
	a.2		25
b)	b.1	b.1.1	30
		b.1.2	25
	b.2	b.2.1	20
	b.3		20
	b.4, b.5, b.6, b.7 y b.8		25
c)	c.1, c.2 y c.3		25

El siguiente paso consistirá en hacer uso del programa informático RETScreen, software que calculará automáticamente el VAN y la TIR del proyecto en base a los costes iniciales, costes de explotación, ingresos y vida útil. Para ello, habrá que introducir en el programa los parámetros que definirán el escenario financiero en el que se llevará a cabo el proyecto: tasa inflación, interés y duración del préstamo, tasa de descuento y relación de deuda.

Tomando como valores iniciales una tasa de inflación del 1,1 %, una tasa de interés del préstamo del 5 % y una relación de la deuda del 70 %, se obtendrá un VAN de 20.783.321 € y una TIR del 7,6 %. Seguidamente, en las TABLAS 25, 26 y 27, se irá modificando la tasa de inflación y la relación de deuda así como la tasa de interés, con el fin de estudiar varios posibles escenarios e identificar cuál de ellos es el más indicado desde el punto de vista económico. Para la obtención de los resultados se ha establecido una tasa de descuento del 10 % y una duración de la deuda de 20 años. Por lo que respecta a la tasa de inflación, esta se ha ido variando entre el 1,1 % y el 2 %; intervalo en el cual se sitúan las predicciones hechas por el Banco de España (BDE) para las tasas de inflación de los próximos años. En cuanto a la tasa de interés de la deuda, se han hecho los cálculos para un 4, 5 y 6 % debido a que la tasa de interés para proyectos millonarios suele girar en torno a dichos valores.

En las TABLAS 25, 26 y 27 se han reflejado los resultados del estudio de viabilidad, coloreando en verde la situación más favorable para cada tasa de interés, y en rojo, la más desfavorable. Todas los casos consideradas sitúan sus valores dentro del rango de 17.143.640 € a 26.853.815 € para el caso del VAN y de 3,2 % a 9,0 % para el caso de la TIR. Como conclusión, se obtiene que el proyecto resulta viable bajo cualquiera de las hipótesis consideradas debido a que en todas ellas la TIR se encuentra en valores positivos, pero que solamente será interesante invertir en los casos que la TIR sea superior al 5 %. Obviamente, cuanto mayor sea la tasa de interés de la deuda, el crédito obtenido tendrá peores condiciones, por lo que la rentabilidad disminuirá. Así mismo, este hecho ocurrirá también cuando mayor sea el porcentaje de dinero que haya que pedir al banco y cuando la tasa de inflación aumente.

TABLA 25. Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda: 4 %.

		RELACIÓN DE DEUDA (%)				
		60	70	80	90	100
TASA DE INFLACIÓN (%)	1,1	VAN: 20.876.902 € TIR: 9,0 %	VAN: 22.371.130 € TIR: 8,1 %	VAN: 23.865.358 € TIR: 7,2 %	VAN: 25.359.587 € TIR: 6,4 %	VAN: 26.853.815 € TIR: 5,4 %
	1,3	VAN: 20.672.632 € TIR: 8,9 %	VAN: 22.166.860 € TIR: 8,0 %	VAN: 23.661.089 € TIR: 7,2 %	VAN: 25.155.317 € TIR: 6,3 %	VAN: 26.649.545 € TIR: 5,4 %
	1,6	VAN: 20.358.110 € TIR: 8,8 %	VAN: 21.852.339 € TIR: 7,9 %	VAN: 23.346.567 € TIR: 7,0 %	VAN: 24.840.795 € TIR: 6,1 %	VAN: 26.335.024 € TIR: 5,2 %
	2	VAN: 19.923.041 € TIR: 8,6 %	VAN: 21.417.269 € TIR: 7,7 %	VAN: 22.911.497 € TIR: 6,9 %	VAN: 24.405.726 € TIR: 6,0 %	VAN: 25.899.954 € TIR: 5,0 %

TABLA 26. Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda: 5 %.

		RELACIÓN DE DEUDA (%)				
		60	70	80	90	100
TASA DE INFLACIÓN (%)	1,1	VAN: 19.515.923 € TIR: 8,5 %	VAN: 20.783.321 € TIR: 7,6 %	VAN: 22.050.720 € TIR: 6,6 %	VAN: 23.318.118 € TIR: 5,6 %	VAN: 24.585.517 € TIR: 4,6 %
	1,3	VAN: 19.311.653 € TIR: 8,4 %	VAN: 20.579.051 € TIR: 7,5 %	VAN: 21.846.450 € TIR: 6,5 %	VAN: 23.113.848 € TIR: 5,5 %	VAN: 24.381.247 € TIR: 4,5 %
	1,6	VAN: 18.997.131 € TIR: 8,3 %	VAN: 20.264.530 € TIR: 7,4 %	VAN: 21.531.928 € TIR: 6,4 %	VAN: 22.799.327 € TIR: 5,4 %	VAN: 24.066.725 € TIR: 4,4 %
	2	VAN: 18.562.062 € TIR: 8,1 %	VAN: 19.829.460 € TIR: 7,2 %	VAN: 21.096.859 € TIR: 6,2 %	VAN: 22.364.257 € TIR: 5,2 %	VAN: 23.631.656 € TIR: 4,1 %

TABLA 27. Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda: 6 %.

		RELACIÓN DE DEUDA (%)				
		60	70	80	90	100
TASA DE INFLACIÓN (%)	1,1	VAN: 18.097.501 € TIR: 8,0 %	VAN: 19.128.496 € TIR: 7,0 %	VAN: 20.159.491 € TIR: 5,9 %	VAN: 21.190.486 € TIR: 4,8 %	VAN: 22.221.481 € TIR: 3,7 %
	1,3	VAN: 17.893.231 € TIR: 7,9 %	VAN: 18.924.226 € TIR: 6,9 %	VAN: 19.955.221 € TIR: 5,8 %	VAN: 20.986.216 € TIR: 4,7 %	VAN: 22.017.211 € TIR: 3,6 %
	1,6	VAN: 17.578.710 € TIR: 7,8 %	VAN: 18.609.704 € TIR: 6,8 %	VAN: 19.640.699 € TIR: 5,7 %	VAN: 20.671.694 € TIR: 4,6 %	VAN: 21.702.689 € TIR: 3,4 %
	2	VAN: 17.143.640 € TIR: 7,7 %	VAN: 18.174.635 € TIR: 6,6 %	VAN: 19.205.630 € TIR: 5,5 %	VAN: 20.236.625 € TIR: 4,4 %	VAN: 21.267.620 € TIR: 3,2 %

Para finalizar este apartado, cabe mencionar que el programa RETScreen también es capaz de proveer información sobre la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero que provocará la implantación del parque eólico. La energía generada por este proyecto ha contribuido a una reducción de 17.085 toneladas de CO₂ netas al año.

CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES

El estudio eólico realizado inicialmente en el Área de Investigación en Reserva del Monte da Corda (término municipal de Vilasantar) ha dado como resultado dos zonas candidatas a la instalación del parque eólico. Una vez comprobado que dichas zonas no entran en conflicto con ninguna figura ambiental, se ha estudiado las características del recurso eólico de dichas áreas, llegando a la conclusión de que en ambos casos los aerogeneradores se deben colocar perpendicularmente a la dirección sudsudoeste (SSW) para extraer la mayor potencia posible.

Seguidamente, se han comparado diferentes modelos de aerogeneradores con el fin de determinar cuál es el modelo que más energía produce en base a las características de las zonas, resultando finalmente elegido el modelo G90-2.0 MW del fabricante Gamesa, de 2 MW de potencia nominal y 90 m de altura de torre. Posteriormente, se ha comparado cuál sería la energía producida por este modelo de aerogenerador en ambas zonas, eligiendo finalmente la Zona I. Así mismo, en dicha zona se han realizado varias configuraciones en cuanto a la disposición de los aerogeneradores respecta, eligiendo finalmente la más productiva de todas ellas, con una producción estimada de 84.370,549 MWh y un factor de carga de 0,43. Dichos valores son muy elevados, reflejando el alto rendimiento del parque eólico.

El estudio de impacto ambiental realizado ha arrojado como resultado que el proyecto tendrá una repercusión moderada en el entorno, por lo que será medioambientalmente viable. Con el fin de minimizar el impacto generado, se han propuesto varias medidas correctoras y preventivas como por ejemplo el uso de dispositivos que evitarán el choque de las aves contra los aerogeneradores y la reforestación del medio una vez que se haya desmantelado por completo el parque eólico.

Por lo que respecta a la viabilidad económica del parque eólico, ésta ha quedado demostrada ya que en todos los escenarios posibles considerados se han obtenido Tasas Internas de Rentabilidad (TIR) y Valores Actuales Netos positivos. En el caso más favorable se obtendrá un VAN de 20.876.902 € y una TIR del 9,0 %.

CAPÍTULO 10. REFERENCIAS

- AEE. Asociación Empresarial Eólica. <http://www.aeeolica.org> (consultada en mayo de 2018).
- BDE. Banco de España. <http://www.bde.es> (consultada el 5 de junio de 2018).
- Catálogo de Plataformas GAMESA (2017).
- Concello de Vilasantar. <http://www.vilasantar.gal> (consultada en mayo de 2018).
- Conesa Fernández-Vítora, Vicente. 2009. *Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Sitio web de la Danish Wind Industry Association. <http://www.windpower.org> (consultada en mayo de 2018).
- Gómez Orea, Domingo y Gómez Villarino, M^a Teresa. 2013. *Evaluación de Impacto Ambiental*. Madrid: Mundi-Prensa.
- IDEA. Atlas Eólico del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. <http://www.atlaseolico.idae.es> (consultada en mayo de 2018).
- IGN. Instituto Geográfico Nacional. <http://www.ign.es> (consultada en mayo de 2018).
- INE. Instituto Nacional de Estadística. <http://www.ine.es> (consultada en mayo y junio de 2018).
- INEGA. Instituto Enerxético de Galicia. <http://www.inega.gal> (consultada en mayo de 2018).
- MAPAMA. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.mapama.gob.es> (consultada en mayo de 2018).
- PER 2011-2020. Plan de Energías Renovables 2011-2020. 2011. Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- PSEGA. Plan Sectorial Eólico de Galicia. 2009. Galicia: Instituto Enerxético de Galicia (INEGA).
- SIOTUGA. Sistema de Información de Ordenación do Territorio e Urbanismo de Galicia. <http://www.planamientourbanistico.xunta.gal> (consultada en mayo de 2018).
- Sitio web de los Parques Nacionales y Parques Naturales de España. <http://www.naturaspain.com> (consultada el 1 de junio de 2018).
- Sitio web del Sistema Español de Información sobre el Agua. <http://www.hispagua.cedex.es> (consultada en mayo de 2018).
- Sitio web del Visualizador de Mapas de Galicia. <http://www.mapas.xunta.gal> (consultada en mayo de 2018).

Documento nº2: **PRESUPUESTO**

CAPÍTULO 1. AEROGENERADORES

Código	Medición	Ud.	Descripción	P.Unitario	P.Total
C1.1	15	Ud.	Aerogenerador marca Gamesa de 2.0 MW de potencia nominal modelo G90-2.0 MW. Diámetro de rotor 90 m y altura de torre 90 m.	2.000.000,00 €	30.000.000,00 €
					30.000.000,00 €

TOTAL CAPÍTULO 1. AEROGENERADORES

30.000.000,00 €

CAPÍTULO 2. OBRA CIVIL E INGENIERÍA

TOTAL CAPÍTULO 2. OBRA CIVIL E INGENIERÍA

3.200.000,00 €

CAPÍTULO 3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

TOTAL CAPÍTULO 3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

2.000.000,00 €

CAPÍTULO 4. SUBESTACIÓN Y CONEXIÓN ELÉCTRICA

TOTAL CAPÍTULO 4. SUBESTACIÓN Y CONEXIÓN ELÉCTRICA

4.000.000,00 €

CAPÍTULO 5. PROMOCIÓN

TOTAL CAPÍTULO 5. PROMOCIÓN

800.000,00 €

RESUMEN PRESUPUESTO

TOTAL CAPÍTULO 1. AEROGENERADORES

30.000.000,00 €

TOTAL CAPÍTULO 2. OBRA CIVIL E INGENIERÍA

3.200.000,00 €

TOTAL CAPÍTULO 3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

2.000.000,00 €

TOTAL CAPÍTULO 4. SUBESTACIÓN Y CONEXIÓN ELÉCTRICA

4.000.000,00 €

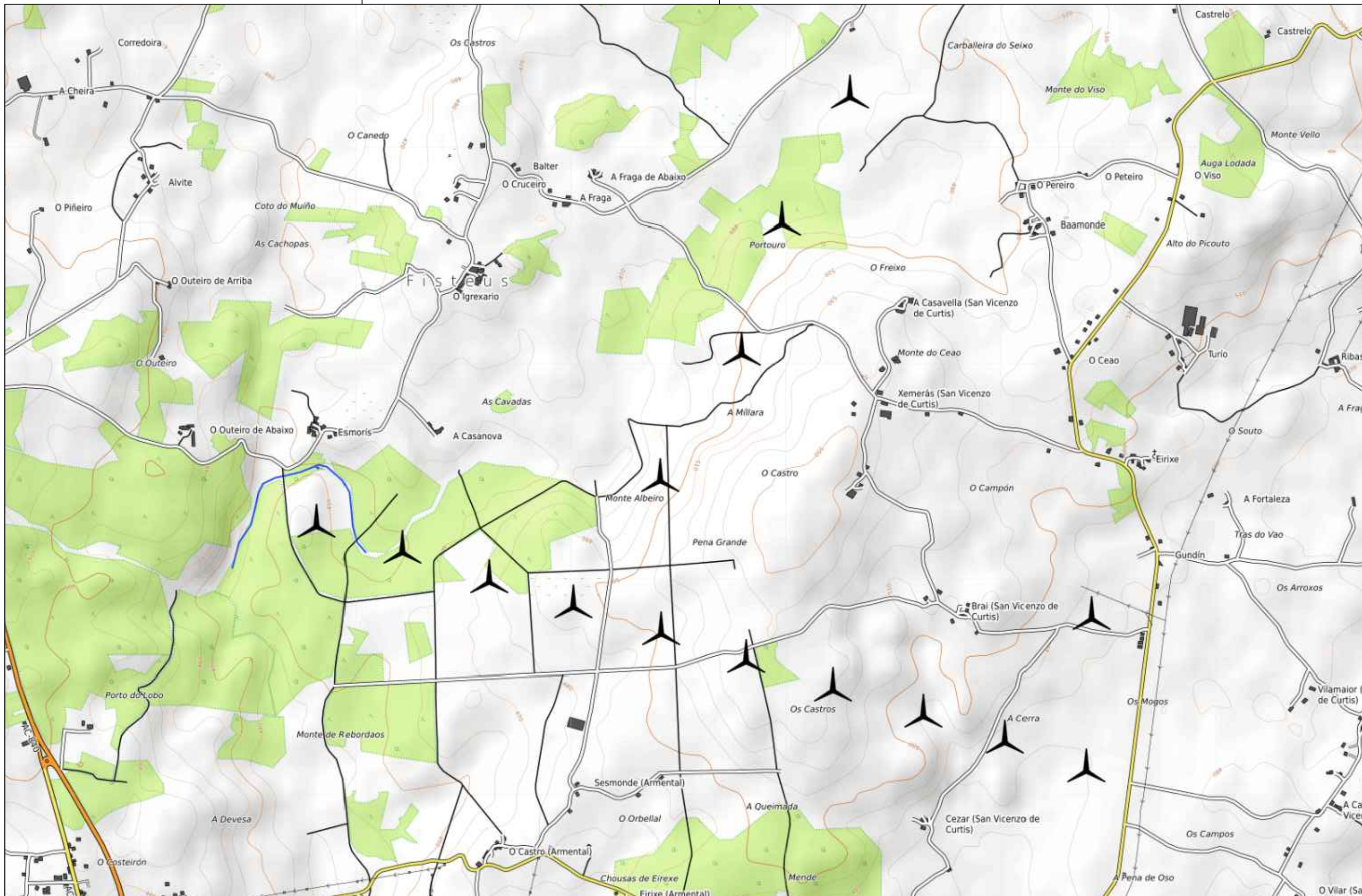
TOTAL CAPÍTULO 5. PROMOCIÓN

800.000,00 €


TOTAL PRESUPUESTO

40.000.000,00


Documento nº3: **PLANOS**



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERIA EN TECNOLOGIAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto: **DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE UN PARQUE EÓLICO DE 30 MW EN VILASANTAR, LA CORUÑA**

Plano: **Distribución aerogeneradores**

Autor: **Ricardo Plá Ayora**

Fecha: **Junio 2018**

Escala: **0 100 200 300 400 m**

Nº Plano: **1**