



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:



## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero aprovechar estas líneas para agradecer a mi tutor, José Felipe, por su rápida aceptación e interés en ayudarme a realizar este trabajo, sus consejos y su continua comunicación conmigo en estos tiempos tan difíciles que nos están tocando vivir.

También quiero agradecer a mi familia, a mi novia y a mis amigos el apoyo constante que me transmiten y la fuerza que me han dado día a día durante este periodo en la universidad, así como los buenos momentos pasados. Dedicárselo a mis cuatro abuelos y en especial a mi yaya Reme y mi yayo Santi que no me han podido conocer como graduado en ingeniería.

## RESUMEN

El alcance de este Trabajo Final de Grado es el diseño de un parque eólico de 30 MW en el municipio de Tauste. Para ello, en primer lugar se contextualiza la situación actual y la evolución de la energía eólica. Mas tarde, se realiza la caracterización del recurso eólico de la zona escogida así como la selección del aerogenerador más competente entre los posibles modelos. Por último en el aspecto técnico relativo a la energía eólica se estudia como tienen que estar posicionados los aerogeneradores en el terreno.

Además el estudio del impacto ambiental es alcance de este trabajo. En este se estudian las consecuencias de la implantación del parque así como las posibles medidas preventivas. Finalmente, se analiza como de rentable es el proyecto con un estudio sobre la viabilidad económica de este.

**Palabras clave :** aerogenerador, parque eólico on-shore, energía eólica, impacto ambiental, viabilidad económica.

## RESUM

L'abast d'aquest Treball Final de Grau és el disseny d'un parc eòlic de 30 MW en el municipi de Tauste. Per a això, en primer lloc es contextualitza la situació actual i l'evolució de l'energia eòlica. Mes tard, es realitza la caracterització del recurs eòlic de la zona triada així com la selecció de l'aerogenerador més competent entre els possibles models. Finalment en l'aspecte tècnic relatiu a l'energia eòlica s'estudia com han d'estar posicionats els aerogeneradors en el terreny.

A més l'estudi de l'impacte ambiental és abast d'aquest treball. En aquest s'estudien les conseqüències de la implantació del parc així com les possibles mesures preventives. Finalment, s'analitza com de rendible és el projecte amb un estudi sobre la viabilitat econòmica d'aquest.

**Paraules clau** : aerogenerador, parc eòlic on-shore, energia eòlica, impacte ambiental, viabilitat econòmica.

## **ABSTRACT**

The scope of this Final Degree Project is the design of a 30 MW wind farm in the municipality of Tauste. To do so, it first contextualises the current situation and the evolution of wind energy. Later, the characterisation of the wind resource in the chosen area is carried out as well as the selection of the most competent aerogenerator among the possible models. Finally, in the technical aspect related to wind energy, the positioning of the aerogenerators in the field is studied.

The study of the environmental impact is also part of the scope of this work. In this study the consequences of the implementation of the park are studied as well as possible preventive measures. Finally, the project is analysed in terms of its profitability with a study of its economic viability

**Keywords:** wind turbine, on-shore wind farm, wind energy, environmental impact, economic viability.

# ÍNDICE

## Documentos contenidos en el trabajo

- Memoria
- Presupuestos

## ÍNDICE DE LA MEMORIA

|  |    |
|--|----|
| <b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....  | 11 |
| <b>1.1 OBJETO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO</b> .....                             | 11 |
| <b>1.2 ALCANCE DEL PROYECTO</b> .....  | 11 |
| <b>1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO</b> .....                                    | 12 |
| <b>CAPÍTULO 2. NORMATIVA</b> .....   | 13 |
| <b>2.1 LEGISLACIÓN EUROPEA</b> .....   | 13 |
| 2.1.1 Legislación europea relativa a la producción de energía .....            | 13 |
| 2.1.2 Legislación europea relativa a la conservación del medioambiente .....   | 13 |
| <b>2.2 LEGISLACIÓN ESTATAL</b> .....   | 14 |
| 2.2.1 Legislación estatal relativa a la producción de energía.....             | 14 |
| 2.2.2 Legislación estatal relativa a la conservación del medioambiente .....   | 15 |
| <b>2.3 LEGISLACIÓN AUTONÓMICA</b> .....  | 15 |
| 2.3.1 Legislación autonómica relativa a la producción de energía.....          | 15 |
| 2.3.2 Legislación autonómica relativa a la conservación del medioambiente..... | 16 |
| <b>2.4 NORMATIVA ESPECÍFICA AEROGENERADORES</b> .....                          | 16 |
| <b>CAPÍTULO 3. SITUACIÓN ACTUAL</b> .....                                      | 17 |
| <b>3.1 MARCO MUNDIAL</b> .....   | 17 |
| <b>3.2 MARCO EUROPEO</b> .....   | 19 |
| <b>3.3 MARCO NACIONAL</b> .....  | 21 |
| <b>3.4 MARCO AUTONÓMICO</b> .....  | 23 |
| <b>3.5 TECNOLOGÍA DE LOS AEROGENERADORES</b> .....                             | 25 |
| <b>CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO</b> .....                    | 27 |
| <b>4.1 SITUACIÓN DEL MUNICIPIO</b> .....                                       | 27 |
| <b>4.2 FIGURAS AMBIENTALES</b> .....   | 28 |
| <b>4.3 VALORACIÓN Y ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO</b> .....                    | 31 |
| 4.3.1 Velocidad media anual.....   | 31 |
| 4.3.2 Rugosidad superficial.....   | 32 |
| 4.3.3 Características del recurso eólico.....                                  | 34 |
| <b>4.4 DENSIDAD DE POTENCIA EÓLICA</b> .....                                   | 38 |
| 4.4.1 Definición densidad de potencia eólica .....                             | 38 |
| 4.4.2 Densidad del aire .....  | 39 |
| <b>4.5 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL</b> .....                                       | 40 |
| <b>4.6 PERFIL DE VELOCIDADES</b> .....   | 42 |

|  |    |
|--|----|
| <b>CAPÍTULO 5. ELECCIÓN DEL AEROGENERADOR</b> .....            | 43 |
| <b>5.1 CLASE DE AEROGENERADOR</b> .....                        | 43 |
| <b>5.2 ELECCIÓN DEL MODELO</b> .....                           | 44 |
| <b>5.3 CÁLCULO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA</b> .....               | 47 |
| <b>CAPÍTULO 6. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO</b> .....              | 49 |
| <b>6.1 EFECTOS QUE MODIFICAN EL VIENTO</b> .....               | 49 |
| 6.1.1 Efecto parque.....                                       | 49 |
| 6.1.2 Efecto colina.....                                       | 50 |
| <b>6.2 DISPOSICIÓN DE LOS AEROGENERADORES</b> .....            | 51 |
| <b>6.3 CÁLCULO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR EL PARQUE</b> ..... | 53 |
| <b>CAPÍTULO 7. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL</b> .....          | 54 |
| <b>7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....                      | 54 |
| <b>7.2 INVENTARIO AMBIENTAL</b> .....                          | 54 |
| 7.2.1 Climatología .....                                       | 54 |
| 7.2.2 Sismología .....   | 55 |
| 7.2.3 Composición del suelo y relieve.....                     | 56 |
| 7.2.4 Usos de los suelos .....                                 | 57 |
| 7.2.5 Fauna.....   | 57 |
| 7.2.6 Flora .....  | 58 |
| 7.2.7 Espacios naturales .....                                 | 58 |
| 7.2.8 Hidrología.....  | 58 |
| 7.2.9 Socioeconomía.....                                       | 59 |
| <b>7.3 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS</b> .....                    | 59 |
| <b>7.4 FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS</b> .....                | 60 |
| <b>7.5 EVALUACIÓN DE IMPACTOS. MATRIZ DE LEOPOLD</b> .....     | 61 |
| <b>7.6 MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS</b> .....             | 65 |
| 7.6.1 Ruidos y vibraciones .....                               | 65 |
| 7.6.2 Calidad de aire .....                                    | 66 |
| 7.6.3 Suelo y erosión.....                                     | 66 |
| 7.6.4 Impacto visual.....                                      | 66 |
| 7.6.5 Flora .....  | 66 |
| 7.6.6 Fauna.....   | 66 |
| <b>CAPÍTULO 8. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA</b> .....       | 67 |
| <b>8.1 COSTES INICIALES</b> .....                              | 67 |
| <b>8.2 COSTES DE EXPLOTACIÓN</b> .....                         | 67 |
| <b>8.3 INGRESOS</b> .....                                      | 68 |
| <b>8.4 ANÁLISIS DE EMISIONES</b> .....                         | 68 |
| <b>8.5 ANÁLISIS FINANCIERO</b> .....                           | 68 |
| <b>8.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD</b> .....                      | 70 |
| <b>CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES</b> .....                          | 71 |
| <b>CAPÍTULO 10. REFERENCIAS</b> .....                          | 72 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Distribución de la potencia mundial instalada por países.....                      | 16 |
| Figura 2. Potencia eólica anual en GW instalada cada año a nivel mundial.....                | 17 |
| Figura 3. Potencia eólica total en GW instalada a nivel mundial.....                         | 17 |
| Figura 4. Distribución de la potencia eólica instalada por países europeos en 2019.....      | 18 |
| Figura 5. Potencia eólica anual en GW instalada cada año a nivel europeo.....                | 19 |
| Figura 6. Potencia eólica total en GW instalada a nivel europeo.....                         | 19 |
| Figura 7. Potencia eólica total en MW instalada a nivel nacional.....                        | 20 |
| Figura 8. Distribución actual de la potencia eólica instalada en España por comunidades..... | 20 |
| Figura 9. Desglose de las tecnologías por potencia instalada en la comunidad de Aragón.....  | 22 |
| Figura 10. Ubicación de los diferentes parques eólicos en la comunidad de Aragón.....        | 23 |
| Figura 11. Aerogenerador Vestas V136 en el parque eólico: A Pastoriza (Lugo).....            | 24 |
| Figura 12. Principales partes de un aerogenerador.....                                       | 24 |
| Figura 13. Evolución de la potencia y el tamaño de los aerogeneradores.....                  | 25 |
| Figura 14. Mapa de la provincia de Zaragoza.....   | 26 |
| Figura 15. Ubicación de la comarca de Cinco Villas y municipios que la componen.....         | 27 |
| Figura 16. Localización ZEPAs en el municipio de Tauste.....                                 | 28 |
| Figura 17. Localización LICs en el municipio de Tauste.....                                  | 29 |
| Figura 18. Mapa velocidad media anual a 100m (m/s) en el municipio de Tauste.....            | 30 |
| Figura 19. Mapa tipos de suelos en el municipio de Tauste.....                               | 31 |
| Figura 20. Rosa de los vientos – Frecuencia (%).....   | 33 |
| Figura 21. Rosa de los vientos – Velocidad del viento (%).....                               | 33 |
| Figura 22. Rosa de los vientos – Potencia del viento (%).....                                | 34 |
| Figura 23. Distribución densidad de potencia del viento (W/m <sup>2</sup> ).....             | 34 |
| Figura 24. Distribución velocidad media del viento (m/s).....                                | 35 |
| Figura 25. Variación mensual de la velocidad del viento.....                                 | 35 |
| Figura 26. Variación por horas de la velocidad del viento.....                               | 36 |
| Figura 27. Distribución de Weibull por sectores.....   | 39 |
| Figura 28. Distribución de Weibull a 100m.....   | 40 |
| Figura 29. Perfil de velocidades.....  | 41 |
| Figura 30. Partes del modelo G80/2000 de Gamesa.....   | 45 |
| Figura 31. Curva de potencia Gamesa G80/2000.....  | 46 |
| Figura 32. Distribución en planta del parque.....  | 49 |
| Figura 33. Mapa líneas de nivel (m) en el municipio de Tauste.....                           | 50 |
| Figura 34. Ubicación del parque eólico.....  | 50 |
| Figura 35. Ubicación de los aerogeneradores en el parque eólico.....                         | 51 |
| Figura 36. Climograma de Tauste.....   | 54 |
| Figura 37. Mapa de sismicidad.....   | 54 |
| Figura 38. Mapa geológico de Tauste.....   | 55 |
| Figura 39. Gráfico de flujo de carga acumulado.....  | 68 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Distribución de la potencia eólica por comunidades autónomas.....              | 21 |
| Tabla 2. Figuras de protección ambiental presentes en Tauste.....                       | 29 |
| Tabla 3. Tipos de terreno según su rugosidad.....                                       | 32 |
| Tabla 4. Clases de aerogeneradores.....   | 42 |
| Tabla 5. Aerogeneradores preseleccionados.....  | 43 |
| Tabla 6. Características del modelo V100-2.0 MW de Vestas.....                          | 43 |
| Tabla 7. Características del modelo GW 100/2500 de Goldwind.....                        | 43 |
| Tabla 8. Características del modelo SG 2.1 de Siemens-Gamesa.....                       | 44 |
| Tabla 9. Características del modelo G80/2000 de Gamesa.....                             | 44 |
| Tabla 10. Características del modelo E-70 E4 2.000 de Enercon.....                      | 44 |
| Tabla 11. Curva de potencia Gamesa G80/2000.....  | 45 |
| Tabla 12. Energía estimada (kWh) por sectores por aerogenerador.....                    | 47 |
| Tabla 13. Energía estimada (kWh) total por aerogenerador.....                           | 47 |
| Tabla 14. Coordenadas de los 15 aerogeneradores del parque.....                         | 51 |
| Tabla 15. Cálculo de los valores relevantes en la producción energética del parque..... | 52 |
| Tabla 16. Matriz de Leopold para la fase de construcción.....                           | 61 |
| Tabla 17. Matriz de Leopold para la fase de explotación.....                            | 62 |
| Tabla 18. Matriz de Leopold para la fase de desmantelamiento.....                       | 63 |
| Tabla 19. Costes iniciales del proyecto.....  | 66 |
| Tabla 20. Vida útil según el tipo de instalación.....                                   | 68 |
| Tabla 21. Valores del VAN y el TIR del proyecto.....                                    | 69 |
| Tabla 22. Análisis de sensibilidad sobre el TIR.....                                    | 69 |

## **Documento nº 1**

### **MEMORIA**

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### **1.1 OBJETO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO**

La finalidad del presente Trabajo Final de Grado es el diseño de un parque eólico en el término municipal de Tauste, provincia de Zaragoza. El parque eólico tendrá una potencia total instalada de 30 MW mediante la utilización de 15 aerogeneradores de 2MW de potencia nominal.

A continuación, es necesario enumerar una serie de objetivos específicos que se han de ir cumpliendo en el desarrollo del proyecto para poder lograr el objetivo general antes descrito:

- Caracterizar el potencial eólico de la zona (velocidades medias, distribución de Weibull, rugosidades, densidades de potencia, rosa de vientos...) mediante el estudio estadístico de los datos recogidos y gracias a las herramientas y datos que proporciona el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) y la aplicación Global Wind Atlas.
- Elección de los aerogeneradores a disponer en el parque eólico, entre los diferentes modelos proporcionados por los fabricantes y sus curvas de potencia, a consecuencia de las condiciones eólicas de la zona estudiada y seleccionando el más adecuado en base a la producción energética.
- Diseño del parque eólico para la obtención de la máxima energía, para ello se analizan las características de los aerogeneradores seleccionados y las ubicaciones de estos dentro del parque, así como la orientación de los mismos dependiendo de las particularidades del recurso eólico de la zona para un correcto aprovechamiento este.
- Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental del proyecto, con el fin de evaluar las repercusiones y efectos que conllevaría la instalación del parque eólico diseñado, considerando las especies protegidas presentes en la zona, y aplicando medidas preventivas y correctoras. Además, se realiza el Estudio de la viabilidad económica del parque eólico con el objetivo de estudiar su rentabilidad. Ambos estudios definirán la posibilidad de la ejecución del proyecto.

### **1.2 ALCANCE DEL PROYECTO**

El alcance de este proyecto es el diseño de un parque eólico. En primer lugar, se caracteriza el recurso eólico de la zona escogida. Una vez analizado el recurso, se comparan los diferentes tipos de aerogeneradores disponibles en el mercado para escoger el más óptimo según las condiciones de la zona. A continuación, conociendo todo lo anterior se disponen los aerogeneradores y se orientan en busca de maximizar la producción energética para el recurso dado.

Así mismo, tanto un estudio del impacto ambiental como un estudio de viabilidad económica también son alcance de este trabajo con el objetivo de analizar las repercusiones que supondría la instalación del parque y definir la rentabilidad del proyecto respectivamente.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

El presente Trabajo Final de Grado se enmarca en el estudio de proyectos establecidos dentro del ámbito fijado en el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020 [1] desarrollado por el IDEA en noviembre de 2011. Los objetivos fundamentales que se instauraron en este plan son conseguir una cuota mínima del 20% de energía procedentes de fuentes renovables en el consumo de energía de la Unión Europea y una cuota mínima del 10% de energía procedente de fuentes renovables para el consumo de energía en el sector del transporte en cada Estado miembro para el año 2020. Además, este proyecto se incluye también en el contexto del Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático [2] desarrollado por la comisión europea, por el cual se establece el objetivo de una mejora del 20% en la eficiencia energética y una reducción del 20% en las emisiones de gases de efecto invernadero. Este marco es el que propicia y justifica la realización de proyectos de generación eléctrica sostenible.

Así mismo, el presente Trabajo también tiene en cuenta las directrices impuestas por el Plan Energético Aragón 2013-2020 [3] desarrollado por el departamento de Economía, Planificación y Empleo del gobierno de Aragón que tiene como objetivo la planificación en materia de energías renovables, de ahorro y uso eficiente de la energía y de las infraestructuras energéticas. Este plan se vertebra en cinco estrategias: promoción de las energías renovables, generación de energía eléctrica, ahorro y eficiencia energética, desarrollo de infraestructuras e investigación, desarrollo e innovación.

Con este Trabajo Final de Grado se persigue la adquisición de los conocimientos necesarios para el estudio del recurso eólico y la producción de energía. Así mismo, el Trabajo sigue las directrices para cumplir con los pertinentes Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS) relativos al proyecto y a la forma de generar energía limpia. Este proyecto contribuye al cumplimiento de las metas del objetivo de garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas, ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios energéticos modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo. Además, se exponen nociones para la caracterización del impacto de los proyectos sobre el medio ambiente.

## **CAPÍTULO 2. NORMATIVA**

### **2.1 LEGISLACIÓN EUROPEA**

El ámbito de la Unión Europea (UE) queda regulado por las Directivas que son unas disposiciones normativas de Derechos comunitarios que vinculan a los Estados de la Unión o, en su caso, al Estado destinatario en la consecución de resultados u objetivos concretos en un plazo determinado, dejando, sin embargo, libertad a las autoridades internas competentes para la elección de la forma y los medios adecuados a tal fin.

#### **2.1.1 Legislación europea relativa a la producción de energía**

- Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables por la que se modifican y se derogan las Directivas 2009/28/CE, Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. Esta Directiva tiene como objetivo mantener el liderazgo mundial de la Unión Europea en materia de energías renovables y contribuir al cumplimiento de los compromisos de la Unión Europea de reducción de emisiones en el marco del Acuerdo de París. Además, se establecen nuevos objetivos para el año 2030 como que el 32% del consumo final de energía sea procedente de fuentes renovables. En el sector del transporte, cada Estado miembro fijará una obligación a los proveedores de combustibles para asegurar que la cuota de energías renovables en el consumo final de energía sea como mínimo del 14% en 2030. En la Directiva se enumeran asimismo una serie de mecanismos que los Estados miembros pueden aplicar para alcanzar sus respectivos objetivos.

#### **2.1.2 Legislación europea relativa a la conservación del medioambiente**

- Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.
- 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.
- 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 (UE) 2019/904 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019 relativa a la reducción del impacto de determinados productos de plástico en el medio ambiente.
- Comunicación de la Comisión — Directrices sobre ayudas estatales en materia de protección del medio ambiente y energía 2014-2020.

## **2.2 LEGISLACIÓN ESTATAL**

### **2.2.1 Legislación estatal relativa a la producción de energía**

- Real Decreto 1955/2000 de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.
- 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. Este Real Decreto deroga el Real Decreto 1565/2010 y el Real Decreto 1614/2010.
- Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Real Decreto 650/2017, de 16 de junio, por el que se establece un cupo de 3.000 MW de potencia instalada, de nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables en el sistema eléctrico peninsular, al que se podrá otorgar el régimen retributivo específico.
- Real Decreto 359/2017, de 31 de marzo, por el que se establece una convocatoria para el otorgamiento del régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables en el sistema eléctrico peninsular.
- Orden ETU/315/2017, de 6 de abril, por la que se regula el procedimiento de asignación del régimen retributivo específico en la convocatoria para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, convocada al amparo del Real Decreto 359/2017, de 31 de marzo, y se aprueban sus parámetros retributivos.
- Real Decreto 947/2015, de 16 de octubre, por el que se establece una convocatoria para el otorgamiento del régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de biomasa en el sistema eléctrico peninsular y para instalaciones de tecnología eólica.
- Orden IET/1045/2014, de 16 de junio, por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible, que en su artículo 78 establece los mismos objetivos de la Directiva 2009/28/CE como los objetivos nacionales mínimos de energías renovables en 2020, también establece que el Gobierno deberá aprobar planes de energías renovables que posibiliten el cumplimiento de los objetivos fijados y que permitan la posibilidad efectiva de desarrollo de las energías renovables en todas las Comunidades Autónomas.

## **2.2.2 Legislación estatal relativa a la conservación del medioambiente**

- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, que tiene como objetivo y finalidad principal someter a una adecuada evaluación ambiental todo plan, programa o proyecto que pueda tener efectos significativos sobre el medio ambiente, antes de su adopción, aprobación o autorización. Esta Ley presenta como principal novedad la de unificar en un único texto legal el régimen jurídico de la evaluación ambiental de planes y programas, que, hasta ahora, se encontraba regulada en la Ley 9/2006, de 28 de abril, sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente, así como de proyectos, que se regulaba en el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero.
- Ley 20/2009, de 4 de diciembre, de prevención y control ambiental de las actividades. La presente ley tiene por objeto establecer el sistema de intervención administrativa de las actividades con incidencia ambiental, en el que se toman en consideración las afecciones sobre el medio ambiente y las personas. Este sistema de intervención administrativa integra la evaluación de impacto ambiental de las actividades.
- 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.
- Real Decreto Legislativo 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana derogando la Ley 8/2007, de 28 de mayo, relativa al suelo.
- 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 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establece medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

## **2.3 LEGISLACIÓN AUTONÓMICA**

### **2.3.1 Legislación autonómica relativa a la producción de energía.**

- Decreto-Ley 2/2016, de 30 de agosto, de medidas urgentes para la ejecución de las sentencias dictadas en relación con los concursos convocados en el marco del Decreto 124/2010, de 22 de junio, y el impulso de la producción de energía eléctrica a partir de la energía eólica en Aragón.

- Orden EIE/1972/2017, de 15 de noviembre, por la que se da publicidad a la resolución conjunta de la Dirección General de Energía y Minas y de la Dirección del Instituto Aragonés de Gestión Ambiental, por la que se aprueba Circular para la coordinación e impulso de los procedimientos de autorización administrativa previa y de construcción de instalaciones de producción de energía a partir de la energía eólica en Aragón.
- Resolución de 3 de julio de 2018, del Director General de Energía y Minas, sobre delegación de la competencia de resolución de autorización administrativa previa y de construcción de las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de la energía eólica en los directores/as de los Servicios Provinciales de Economía, Industria y Empleo.
- Decreto 124/2010, por el que se regulan los procedimientos de priorización y autorización de instalaciones de producción de electricidad a partir de la energía eólica en la Comunidad Autónoma de Aragón

### **2.3.2 Legislación autonómica relativa a la conservación del medioambiente.**

- Ley 11/2014, de 4 de diciembre, de Prevención y Protección Ambiental de Aragón. La presente ley tiene por objeto establecer el régimen jurídico de intervención administrativa ambiental aplicable a los planes, programas, proyectos, instalaciones y actividades que se pretendan desarrollar en el ámbito territorial de Aragón.

## **2.4 NORMATIVA ESPECÍFICA AEROGENERADORES**

- Norma IEC 61400-1, de sistemas de generación de energía eólica. Requisitos de diseño. Normativa internacional cuyo objetivo es estandarizar los cálculos y parámetros referidos a aerogeneradores y energía eólica. Publicada y desarrollada por la Comisión Electrotécnica Internacional.

## CAPÍTULO 3. SITUACIÓN ACTUAL

Este capítulo trata de explicar la situación actual de la energía eólica y su evolución a lo largo de estos años. Para ello, se analiza el panorama a nivel mundial, europeo y nacional donde se verá como cada país ha ido desarrollando esta tecnología para producir energía. Después, se estudia en profundidad la situación actual para la Comunidad Autónoma de Aragón donde se pretende realizar el diseño del parque eólico. Por último, en este capítulo se hace un análisis de la actual situación en la tecnología de los aerogeneradores, así como sus novedades y evolución reciente.

### 3.1 MARCO MUNDIAL

A finales del año 2019 se calcula que hay una potencia eólica instalada total de 651 GW alrededor del mundo. Los países con una mayor potencia instalada actualmente según GWEC [4] son China con 229 GW, EE. UU. con 105 GW, Alemania con 54 GW e India con 37,5 GW.

En figura 1 se muestra en porcentaje la cantidad de potencia instalada en los países más importantes en este ámbito tanto en tipo de instalaciones onshore como offshore.

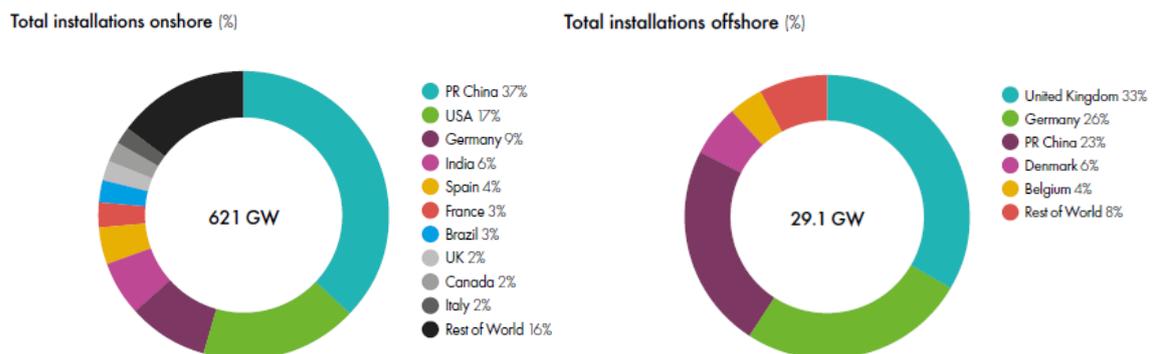


Figura 1. Distribución de la potencia mundial instalada por países. Fuente: GWEC [4]

Por otro lado, los números de 2019 son los segundos mejores en cuanto a potencia eólica instalada en un año con 60,4 GW, solo por detrás de 2015 donde se instalaron 63,8GW. Este dato demuestra que a nivel mundial se está haciendo una apuesta continua por las energías renovables. Pese a estos datos el director general de GWEC [4], Ben Backwell advierte: *“a pesar de todo, todavía no estamos donde deberíamos, habida cuenta de la necesaria transición energética que debemos afrontar y de los objetivos climáticos que el mundo se ha planteado. Si queremos tener alguna posibilidad de alcanzar los objetivos establecidos en el Acuerdo de París y de mantenernos en la senda del +1,5°C [que la temperatura media global no suba más de 1,5°C, umbral a partir del cual la ciencia alerta de consecuencias climáticas imprevisibles], deberíamos instalar al menos 100 gigavatios de potencia eólica anualmente a lo largo de esta década y 200, anualmente, durante la década de los 30 y más adelante”*.

Hay destacar que la potencia anual instalada cada año ha tenido siempre una tendencia ascendente, es decir, cada año se suele instalar mayor cantidad de potencia que el anterior, excepto en los últimos años donde cómo podemos apreciar en la figura 2 la instalación de potencia anual se ha mantenido constante.

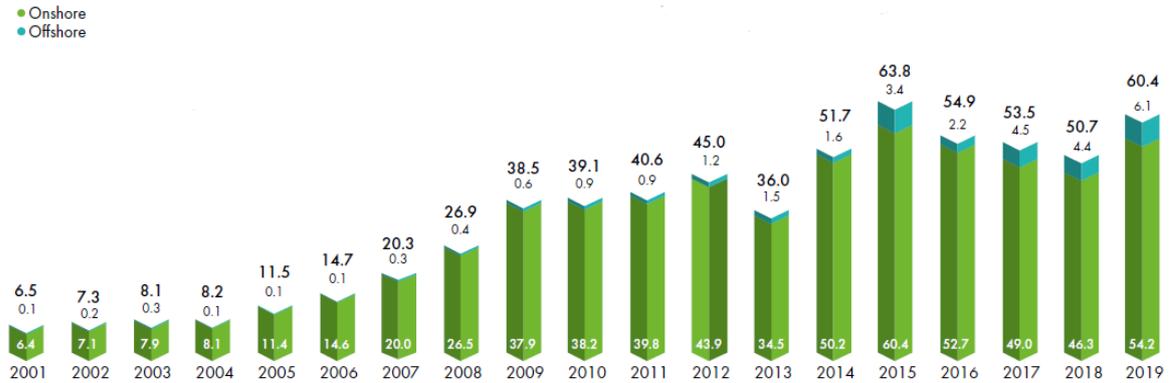


Figura 2. Potencia eólica anual en GW instalada cada año a nivel mundial. Fuente: GWEC [4].

También se debe tener en cuenta que la evolución a nivel mundial no tiene que recaer sobre ciertas naciones. Es importante el papel de aquellas regiones que están llamadas a desempeñar un rol creciente necesario en los próximos años como pueden ser el sureste asiático, Latinoamérica y África. Según GWEC [4], por fin estas regiones emergentes han registrado crecimientos moderados con los cuales han sumado alrededor de 4,5GW en los últimos años.

Para finalizar el marco mundial y recogiendo todo lo expuesto anteriormente se presenta la siguiente gráfica (Figura 3) donde se muestra la evolución total de potencia eólica existente en cada año de este siglo. En ella se destaca también el porcentaje creciente que representa la tecnología offshore a nivel mundial, cada año más significativo en relación con la total.

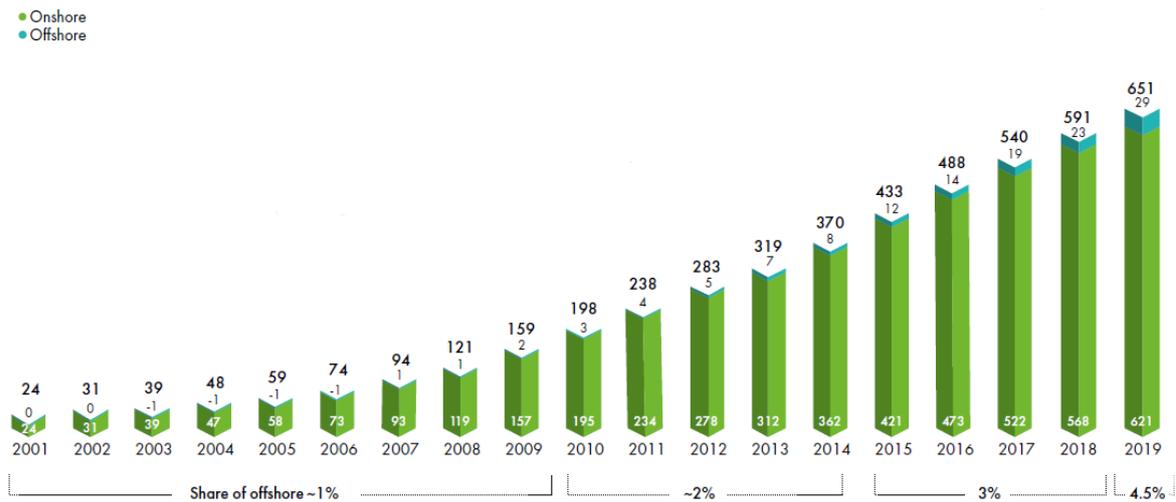
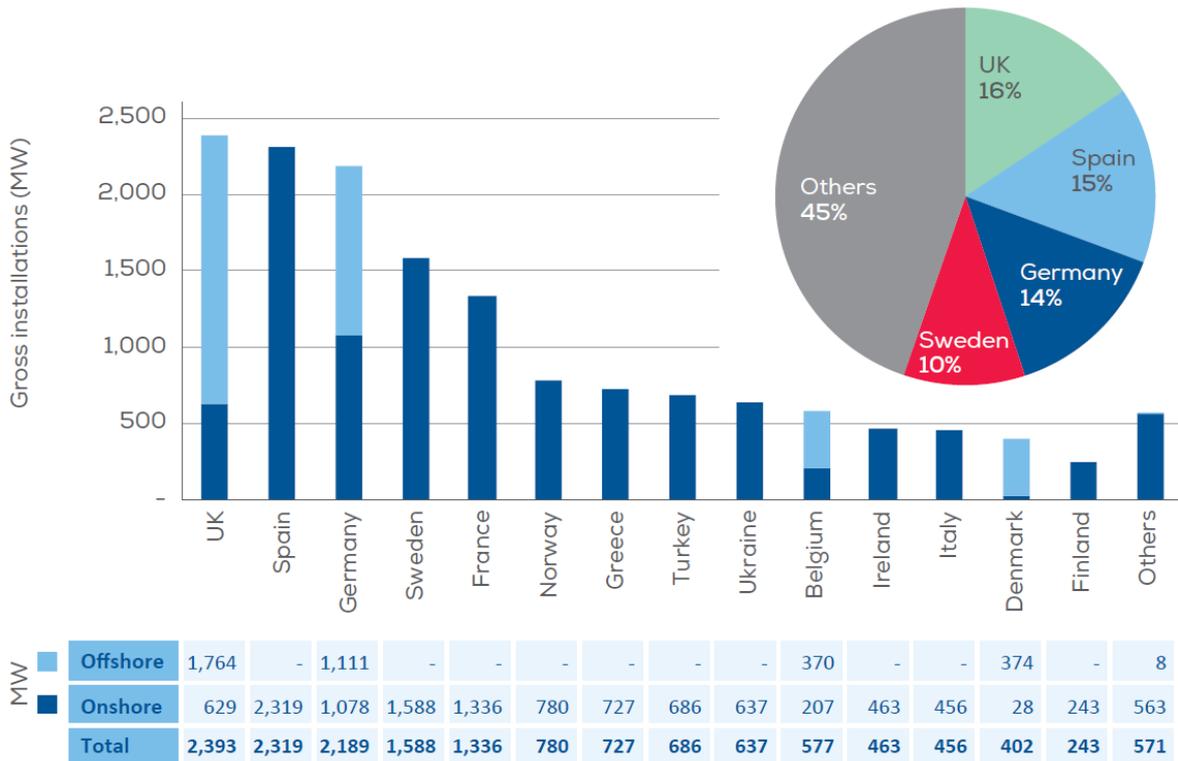


Figura 3. Potencia eólica total en GW instalada a nivel mundial. Fuente: GWEC [4].

### 3.2 MARCO EUROPEO

En 2019 se instalaron en Europa 15,4 GW nuevos de potencia eólica (13,2 GW en la Unión Europea). Según los últimos informes de WindEurope [5] esta instalación representa un incremento del 27% respecto a 2018 pero es un 10% menor de la instalación que tuvo lugar en 2017.

El desglose de la nueva potencia instalada en Europa se muestra en la figura 4. En la figura aparece la cantidad de potencia por país para la tecnología onshore y para la tecnología offshore. También se muestra un gráfico representativo de los países que mayor instalación eólica han realizado en 2019.



**Figura 4. Distribución de la potencia eólica instalada por países europeos en 2019.**  
**Fuente: WindEurope [5].**

Hay que destacar que el 55% del total de nueva potencia eólica instalada recae solamente sobre 4 países: Reino Unido, España, Alemania y Suecia. Además, el 24% de la nueva potencia eólica instalada fue con la tecnología offshore.

En los últimos años en Europa la instalación de nueva potencia eólica se ha mantenido constante durante los años oscilando siempre entre 10 GW y 16,5 GW. Por lo que siguiendo con la tónica a nivel mundial se está haciendo una apuesta por la instalación de tecnologías para el aprovechamiento de energías renovables. Esto es importante ya que en 2019 en Europa el 15% de la demanda de electricidad está cubierta por la energía eólica siendo aún más significativo en países como Dinamarca (48%), Irlanda (33%), Portugal (27%) y Alemania (26%) como así afirma la asociación de la industria eólica europea (WindEurope [5]).

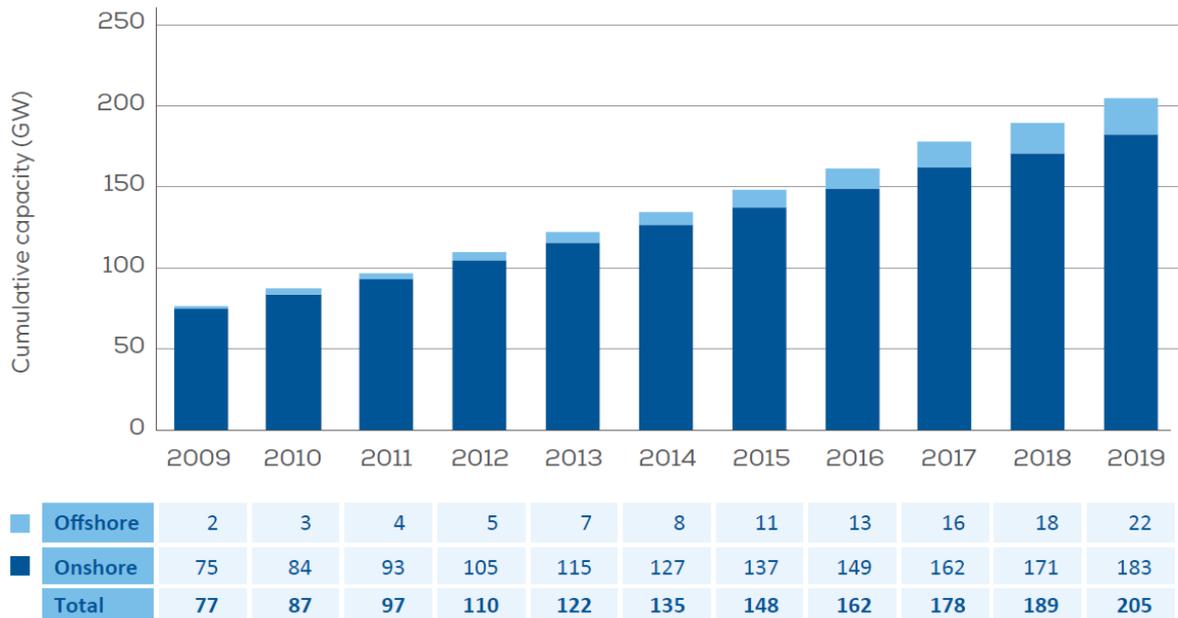
En la figura 5 se recoge la información a nivel europeo desde el año 2009 hasta el año 2019 de nuevas instalaciones de potencia eólica.



**Figura 5. Potencia eólica anual en GW instalada cada año a nivel europeo.**

**Fuente: WindEurope[5].**

Actualmente, en Europa hay instalada una potencia eólica total de 205 GW. El 89% de esta potencia es con tecnología onshore mientras que el 11% es con tecnología offshore. Alemania es el país con mayor capacidad instalada en Europa, seguida por España, Reino Unido, Francia e Italia. En la siguiente grafica se presenta la evolución de potencia eólica total en Europa desde el año 2009 hasta el año 2019. Cabe resaltar como el porcentaje de la tecnología offshore cada vez es más representativa a nivel porcentual respecto a la total.



**Figura 6. Potencia eólica total en GW instalada a nivel europeo. Fuente: WindEurope [5].**

### 3.3 MARCO NACIONAL

La energía eólica ha sido la segunda fuente de generación eléctrica peninsular en España en 2019, esto es el 20.8% de la energía total consumida. Con los datos recogidos por GWEC [4] en España actualmente hay una potencia eólica instalada acumulada de 25,7 GW, esto significa que España es el quinto país del mundo en potencia eólica instalada solo por detrás de China, Estados Unidos, Alemania e India. Existen 1.203 parques eólicos instalados a lo largo del territorio español en un total de 807 municipios.

En la figura 7 se muestra la evolución de potencia eólica total instalada en España a lo largo de los años, se puede observar el crecimiento que experimentó antes de la crisis económica y de la disminución que se produjo por la disminución de subvenciones durante la misma para la energía eólica y un repunte en 2019.

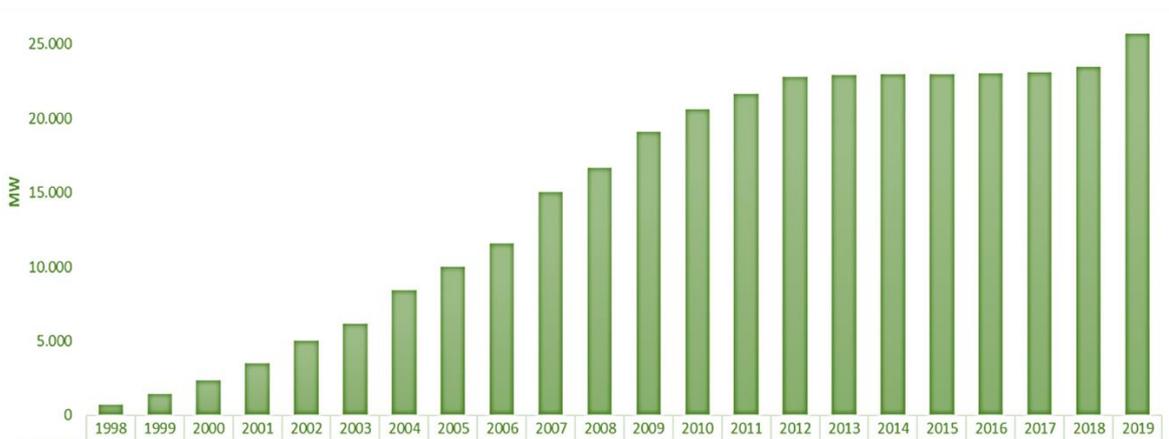


Figura 7. Potencia eólica total en MW instalada a nivel nacional. Fuente: AEE [6].

Profundizando a nivel de comunidades autónomas la figura 8 muestra como está distribuida la potencia por el territorio español. Es lógico pensar que estos datos dependen tanto de la cantidad de superficie de la comunidad como de la calidad del recurso eólico.

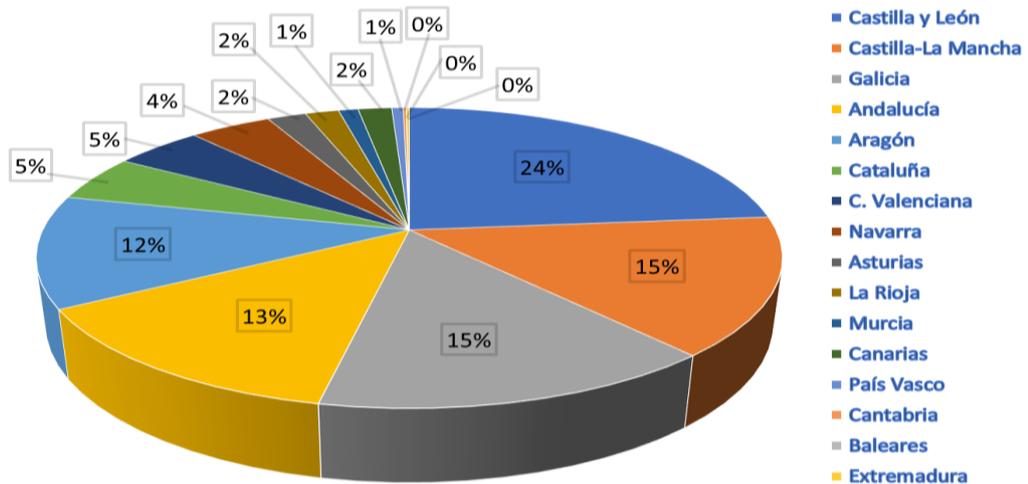


Figura 8. Distribución actual de la potencia eólica instalada en España por comunidades.

La figura anterior resulta del análisis de los datos de la siguiente tabla extraída de la Asociación Empresarial Eólica (AEE [6]). La tabla recoge información sobre la potencia instalada en cada comunidad autónoma en el año 2019 así como el total de potencia eólica a finales de año.

| COMUNIDAD AUTÓNOMA | Nueva potencia en 2019 (MW) | Potencia a 31/12/2018 (MW) | Potencia a 31/12/2019 (MW) |
|--------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Castilla y León    | 461                         | 5.595                      | 6.056                      |
| Castilla-La Mancha |                             | 3.817                      | 3.817                      |
| Galicia            | 416                         | 3.422                      | 3.814                      |
| Andalucía          | 124                         | 3.331                      | 3.455                      |
| Aragón             | 1.102                       | 2.002                      | 3.104                      |
| Cataluña           |                             | 1.271                      | 1.271                      |
| C. Valenciana      |                             | 1.189                      | 1.189                      |
| Navarra            | 85                          | 1.004                      | 1.089                      |
| Asturias           |                             | 518                        | 518                        |
| La Rioja           |                             | 447                        | 447                        |
| Murcia             |                             | 262                        | 262                        |
| Canarias           | 16                          | 431                        | 447                        |
| País Vasco         |                             | 153                        | 153                        |
| Cantabria          |                             | 38                         | 38                         |
| Baleares           |                             | 4                          | 4                          |
| Extremadura        | 39                          | 0                          | 39                         |
| <b>TOTAL</b>       | <b>2.243</b>                | <b>23.484</b>              | <b>25.704</b>              |

**Tabla 1. Distribución de la potencia eólica por comunidades autónomas. Fuente: AEE [6].**

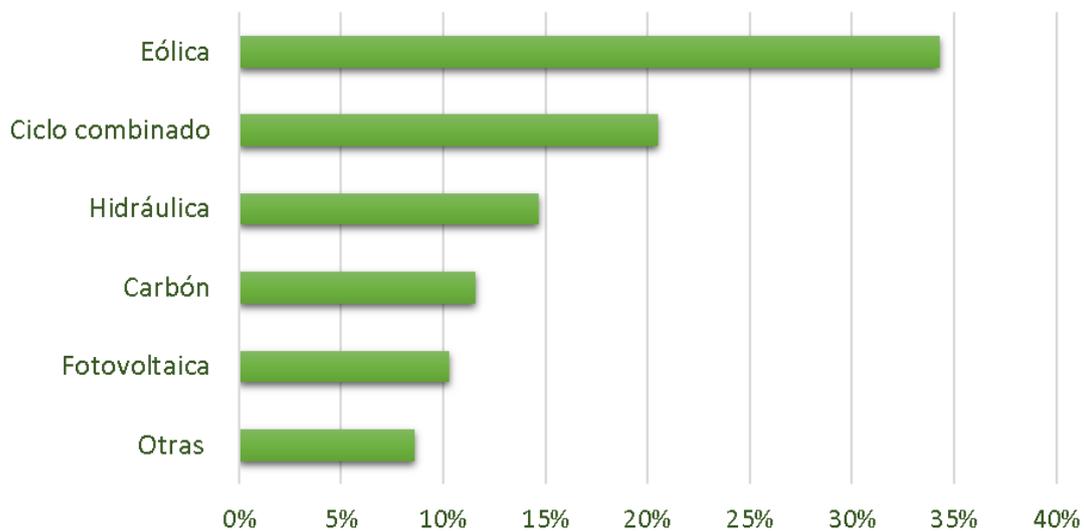
Por último, la Asociación Empresarial Eólica (AEE [6]) expresa en su resumen del año que “El sector eólico español cierra el año 2019 con excelentes cifras de potencia instalada, así como de altos niveles de generación eólica”. La instalación de nuevos parques eólicos en España ha alcanzado en 2019 la cifra de 2.243 MW rompiendo la barrera de potencia total instalada de 25.000 MW.

### 3.4 MARCO AUTONÓMICO

Aragón es, como hemos visto en la Tabla 1, la quinta comunidad autónoma con mayor potencia eólica instalada con 3.104 MW que supone entorno al 12% de la potencia eólica total española. La superficie total de la comunidad es de 47.720,25 km<sup>2</sup> que lo coloca en el cuarto puesto de comunidades autónomas más extensas.

En 2018, los datos oficiales de Red Eléctrica de España no dejan lugar a la duda del peso de las tecnologías limpias ya que la energía eólica se convirtió en la primera fuente de generación eléctrica en Aragón sumando el 29% de la generación total, desbancando a las centrales de carbón y cogeneración. Actualmente, con los proyectos que están en desarrollo y la calidad del recurso eólico en esta comunidad se calcula que la potencia eólica instalada va a continuar creciendo a gran ritmo.

En total, entre todas las tecnologías de generación, la potencia instalada en Aragón alcanza los 9050 MW que supone un 8% del total nacional. Desglosado por las diferentes tecnologías presentes queda de la siguiente forma:



**Figura 9. Desglose de las tecnologías por potencia instalada en la comunidad de Aragón.**

Estos datos resumen la fuerte apuesta que Aragón está haciendo por las energías renovables donde en 2019 supusieron entre todas un 54,7% de la electricidad total producida. Aragón ha aumentado su potencia renovable en un 24,4% respecto a 2018. Especial mención hay que dedicar a la fotovoltaica, que se ha multiplicado por 5,5 respecto a 2018 y ha alcanzado los 934 MW, un aumento del 452,9%. Por su parte, la eólica ha crecido en un 55% hasta alcanzar los 3.104 MW.

Por último, para conocer la distribución de los diferentes parques eólicos a lo largo del territorio aragonés se presenta la figura 10 en la que podemos observar los parques eólicos en funcionamiento, los proyectos eólicos pendientes de admisión a trámite, los proyectos eólicos admitidos a trámite y los proyectos eólicos con autorización previa y de construcción.



**Figura 10. Ubicación de los diferentes parques eólicos en la comunidad de Aragón.**  
Fuente: Infraestructura de Datos Espaciales de Aragón (IDEA [7]).

Se puede apreciar como la gran mayoría de parques están ubicados cerca del Valle del Ebro esto es por el enorme potencial eólico que posee. Muy pocas zonas en España le superan.

Hay que destacar de esta zona características importantes a la hora del aprovechamiento energético. La primera de ellas es la velocidad del viento con la que se cuenta ya que viene dando una velocidad media anual a 100m. de altura de buje de 6,5 m/s a 8,50 m/s. Después, la direccionalidad del viento ya que el Valle del Ebro sirve como embudo y establece un patrón en la direccionalidad del viento. Por último, la continuidad del viento ya que Zaragoza es la capital más ventosa de España. Los zaragozanos lo padecen más de 200 días al año y por ello no es casualidad la ubicación de los parques eólicos de esta forma. Así mismo, también contribuye la orografía aragonesa ya que esta región se encuentra en un gran valle rodeado por los Pirineos al norte y el sistema Ibérico al sur. Todo esto se estudiará con más detalle en el *Capítulo 4. Caracterización del viento*.

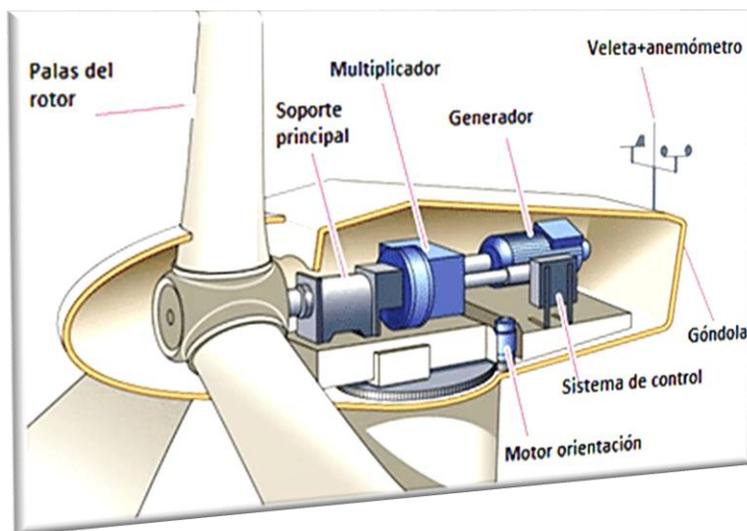
### 3.5 TECNOLOGÍA DE LOS AEROGENERADORES

A continuación se va a presentar la tecnología existente para transformar la energía presente en el viento a energía eléctrica, a través de los denominados aerogeneradores. Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. Las palas de un aerogenerador giran entre 12 y 21 revoluciones por minuto, según su tecnología, a una velocidad constante o bien a velocidad variable, donde la velocidad del rotor varía en función de la velocidad del viento para alcanzar una mayor eficiencia. Hoy en día son aparatos de alta tecnología. La mayoría de las turbinas genera electricidad desde que el viento logra una velocidad de entre 3 y 4 metros por segundo, genera una potencia máxima entre 12 y 18 metros por segundo, según la tecnología, y se desconecta con vientos superiores a 22 metros por segundo para prevenir posibles daños en el dispositivo. La figura 11 muestra un tipo de aerogenerador de la marca Vestas instalado en un parque de Galicia.



Figura 11. Aerogenerador Vestas V136 en el parque eólico: A Pastoriza (Lugo).

El funcionamiento del aerogenerador es simple: el viento pasa sobre las aspas del aerogenerador y provoca una fuerza giratoria. Las palas hacen rodar un eje que hay dentro de la góndola, que entra a la multiplicadora. La multiplicadora es la responsable de incrementar la velocidad de rotación del eje proveniente del rotor e impulsar el generador que utiliza campos magnéticos para convertir la energía rotacional en energía eléctrica. Esta energía eléctrica baja por la torre y es enviada a la subestación transformadora. Tanto los aerogeneradores terrestres como los marinos tienen en la parte superior de la góndola dos instrumentos que miden la velocidad y la dirección del viento.



Cuando el viento cambia de dirección, los motores giran la góndola y las palas se mueven con ella para ponerse de cara al viento. Las aspas también se inclinan o se ponen en ángulo para asegurar que se extrae la cantidad óptima de energía a partir del viento.

Figura 12. Principales partes de un aerogenerador. Fuente: ResearchGate.

Por otra parte, hay que destacar la enorme evolución que han sufrido los aerogeneradores. Hace no tanto tiempo cuando se instalaban nuevos parques eólicos se hacía con aerogeneradores de potencia nominal del orden de kW, aspecto que ha sido desarrollado de manera increíble en los últimos años. Fabricantes como Vestas y Siemens Gamesa han sacado al mercado aerogeneradores onshore que llegan a potencias nominales de 5,8 MW. Por otro lado, la tecnología offshore da un paso más llegando a fabricarse aerogeneradores del orden de 7 o 8 MW de potencia nominal. Además, aparte de la potencia nominal, el tamaño de los aerogeneradores también ha ido creciendo acorde al desarrollo de la tecnología y cada vez se fabrican aerogeneradores más altos y con una mayor envergadura. Por último, es importante la implantación de tecnología de control cada vez más sofisticadas donde se puede controlar aspectos como la orientación, las palas el seguimiento del punto de máxima potencia, etc.... Estos datos muestran la continua evolución en la tecnología de los aerogeneradores y como se puede aprovechar el recurso eólico de manera más eficiente.

En la figura 13 se muestra lo explicado anteriormente en relación con el continuo crecimiento de potencia nominal y de tamaño que están experimentando los aerogeneradores.

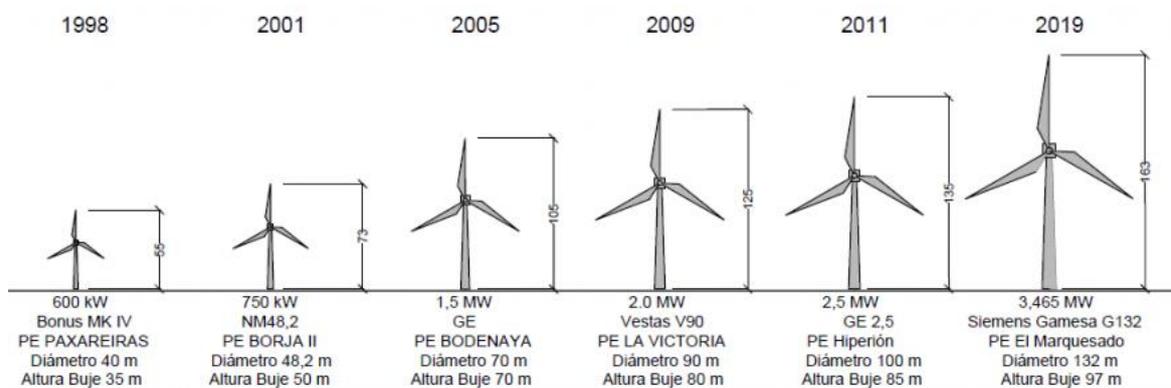


Figura 13. Evolución de la potencia y el tamaño de los aerogeneradores. Fuente: Viesgo [6].

Finalmente, se puede identificar las distintas alternativas para la mejora de los aerogeneradores en el futuro cercano. La alta competitividad actual en el negocio eólico ha espolado a la industria en su deseo de obtener soluciones cada vez mejores. Los fabricantes de aerogeneradores se han embarcado en una serie de actividades orientadas a disminuir el coste de la energía. Se puede intentar adivinar las estrategias que se van a seguir:

- Búsqueda de una mayor eficiencia aerodinámica.
- Búsqueda de una mayor calidad y eficiencia electrónica.
- Mejoras en el sistema de control del aerogenerador.
- Desarrollo de nuevos materiales para reducir costes.
- Mejoras en los procesos de fabricación.

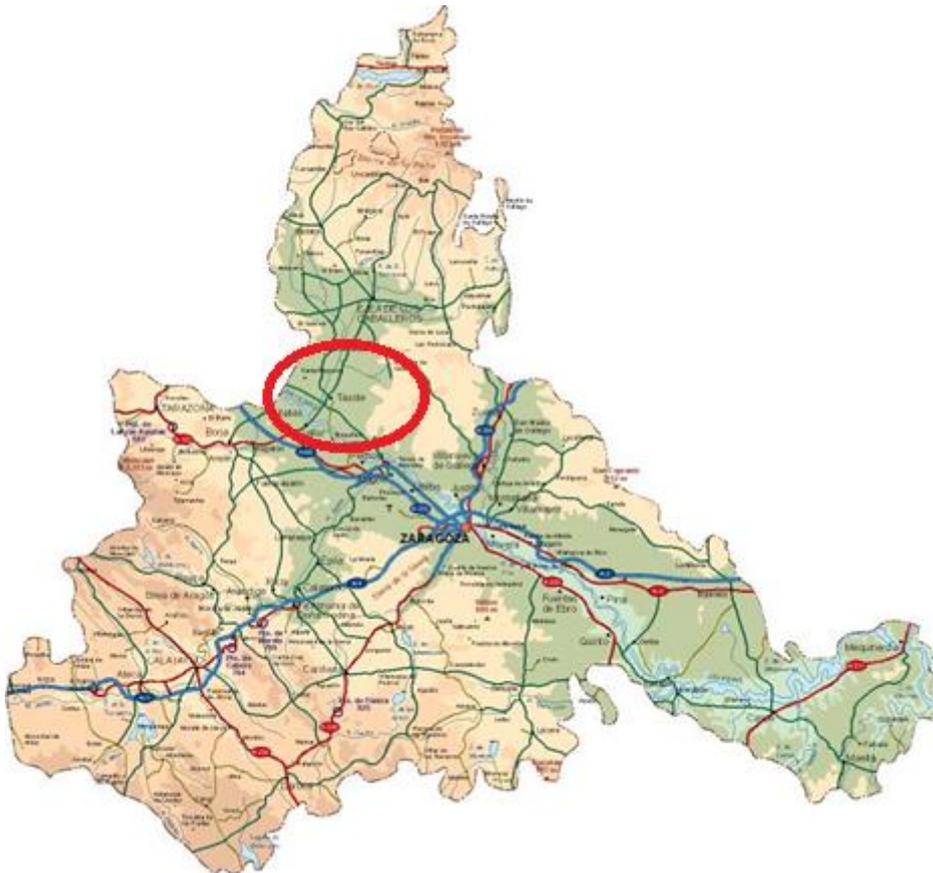
## CAPÍTULO 4. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO

A continuación, se va a caracterizar el recurso eólico disponible en la zona estudiada. Se comenzará analizando la situación del municipio y las figuras ambientales presentes en este. Mas tarde se estudiarán los factores relevantes en relación con la calidad y cantidad del viento en la zona. Estos factores serán analizados mediante la valoración del potencial eólico, la densidad de potencia, la distribución de Weibull y el perfil de velocidades.

### **4.1 SITUACIÓN DEL MUNICIPIO**

Tauste es un municipio aragonés situado al noroeste de la provincia de Zaragoza, ubicado en la comarca de Cinco Villas. Tauste está situado a una altitud de 485 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una extensión total de 405,23 km<sup>2</sup> y una población de 6912 habitantes (INE, 2019).

En la figura 14 podemos observar los diferentes municipios, carreteras y accidentes geográficos presentes en la provincia de Zaragoza, así como la ubicación exacta de Tauste. La provincia de Zaragoza con una superficie de 17 274 km<sup>2</sup> es la cuarta provincia más grande de España (después de las provincias de Badajoz, Cáceres y Ciudad Real ). Ubicada en la comunidad autónoma de Aragón, limita al norte con Navarra y Huesca, al este con Lérida y Tarragona, al sur con Teruel, al suroeste con Guadalajara y al oeste con Soria y La Rioja, siendo junto a Burgos la provincia española que limita con más provincias (8).



**Figura 14. Mapa de la provincia de Zaragoza. Fuente: Ayuntamiento de Tauste [8].**

Por otra parte, si se centra la ubicación de la comarca respecto a la comunidad autónoma se observa como Cinco Villas queda situada en la zona noroeste de la comunidad de Aragón. La capital de esta comarca es Ejea de los Caballeros que delimita con Tauste por el sur. Cinco Villas limita al oeste con Navarra, el este con la Hoya de Huesca, al sur con la Ribera Alta del Ebro, la Comarca Central y con el Campo de Borja, y al norte con la Jacetania. En la figura 15 se puede observar la localización tanto de la comarca como del municipio quedando de esta manera bien delimitada la situación del municipio.

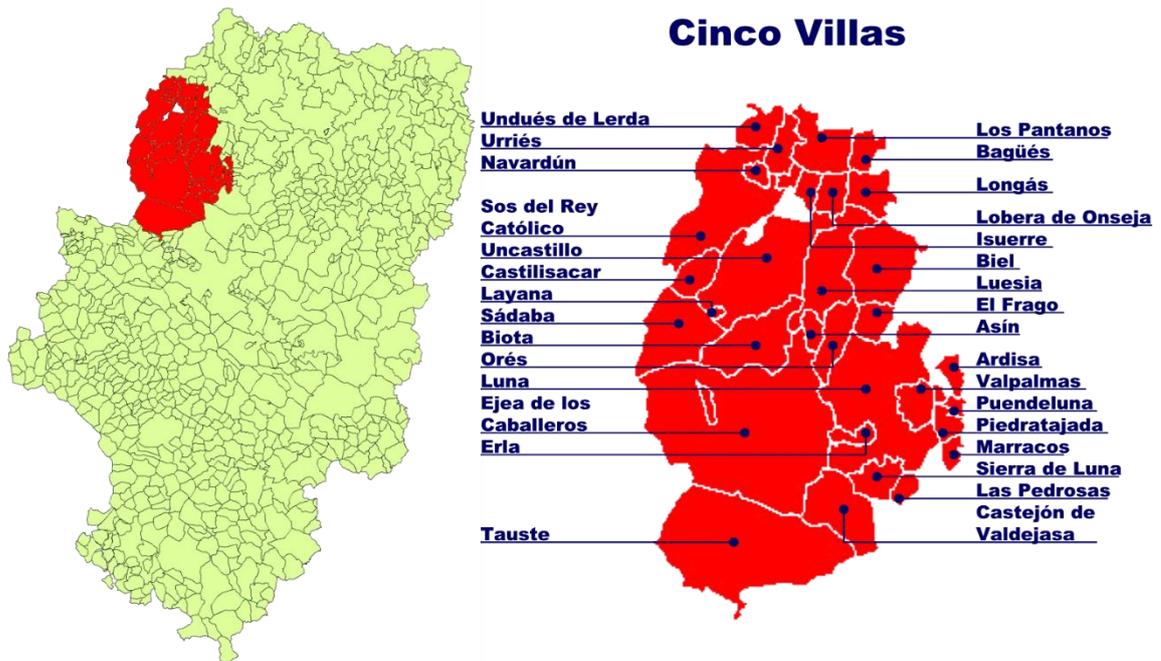


Figura 15. Ubicación de la comarca de Cinco Villas y municipios que la componen.  
Fuente: Comarca de las Cinco Villas [8].

## 4.2 FIGURAS AMBIENTALES

Cuando se realiza el diseño de un parque eólico, hay que tener en cuenta las limitaciones que están presentes en el territorio en cuanto a figuras ambientales se refiere. Las figuras ambientales suelen estar presentes en las diferentes zonas que son ambientalmente sensibles y su misión es proteger y conservar estas áreas.

Principalmente las figuras presentes en el territorio de Tauste son la ZEPA (Zonas de Especial Protección para las Aves) y la LIC (Lugares de Importancia Comunitaria) ambos conforman la Red Natura 2000 [9] que es el conjunto de espacios naturales protegidos de la Unión Europea donde se eligen aquellos enclaves geográficos donde se localizan los hábitats, especies de aves y de fauna y flora silvestre de interés en cada país comunitario, garantizando así la permanencia de la biodiversidad en Europa.

La Red Natura 2000, que es una de las principales herramientas de la UE para la aplicación de una política común en materia medioambiental, se sustenta en dos directivas: Conservación de las Aves Silvestres y Conservación de los Hábitats Naturales, la Fauna y Flora Silvestres.

En Aragón hay 48 áreas ZEPA [10], con 8.701 kilómetros cuadrados. En ellas aún vuelan el quebrantahuesos, el águila azor-perdicera, la avutarda o el cernícalo primilla. Y, hay también otras 156 áreas declaradas LIC (Lugares de Importancia Comunitaria), con turberas, estepas, hayedos, bosques de pino negro, roquedos de alta montaña, humedales, y pastizales bien conservados, hasta un total de 10.473 kilómetros cuadrados, en parte coincidentes con la superficie de las ZEPA.

A continuación, se muestran dos figuras que sitúan en el territorio las diferentes figuras ambientales presentes.



**Figura 16. Localización ZEPAs en el municipio de Tauste. Fuente: Gobierno de Aragón [11].**

En la figura 16 se observa la presencia de la Loma la Negra – Bardenas (ZEPA MEDITERRANEA, código ES0000292) que tiene un total de 6.424,8 hectáreas y la presencia de Montes de Zuera, Castejón de Valdejasa y El Castellar (ZEPA MEDITERRANEA, código ES0000293) que tiene un total de 25.542,1 hectáreas.



Figura 17. Localización LICs en el municipio de Tauste. Fuente: Gobierno de Aragón [11].

En la figura 17 se observa la presencia de la Loma la Negra (LIC MEDITERRANEA, código ES2430079) que tiene un total de 6.927,4 hectáreas, la presencia de El Castellar (LIC MEDITERRANEA, código ES2430080) que tiene un total de 12.957,7 hectáreas y la presencia de Sotos y mejanas del Ebro (LIC MEDITERRANEA, código ES2430081) que tiene un total de 1.853,8 hectáreas.

Por último, a modo de resumen, se adjunta la tabla 2 con relación a las figuras de protección ambiental presentes en el territorio de Tauste. Hay que destacar que no se hace en este apartado un análisis profundo de la flora y la fauna presente en las denominaciones mencionadas ya que se hará más adelante en el apartado de Impacto Ambiental.

| Tipo / Subtipo Figura  | N.º | Total hectáreas |
|------------------------|-----|-----------------|
| ZEPA-ZEPA MEDITERRANEA | 2   | 31.966,881      |
| LIC-LIC MEDITERRANEA   | 3   | 21.738,829      |

Tabla 2. Figuras de protección ambiental presentes en Tauste. Fuente: Gobierno de Aragón [11].

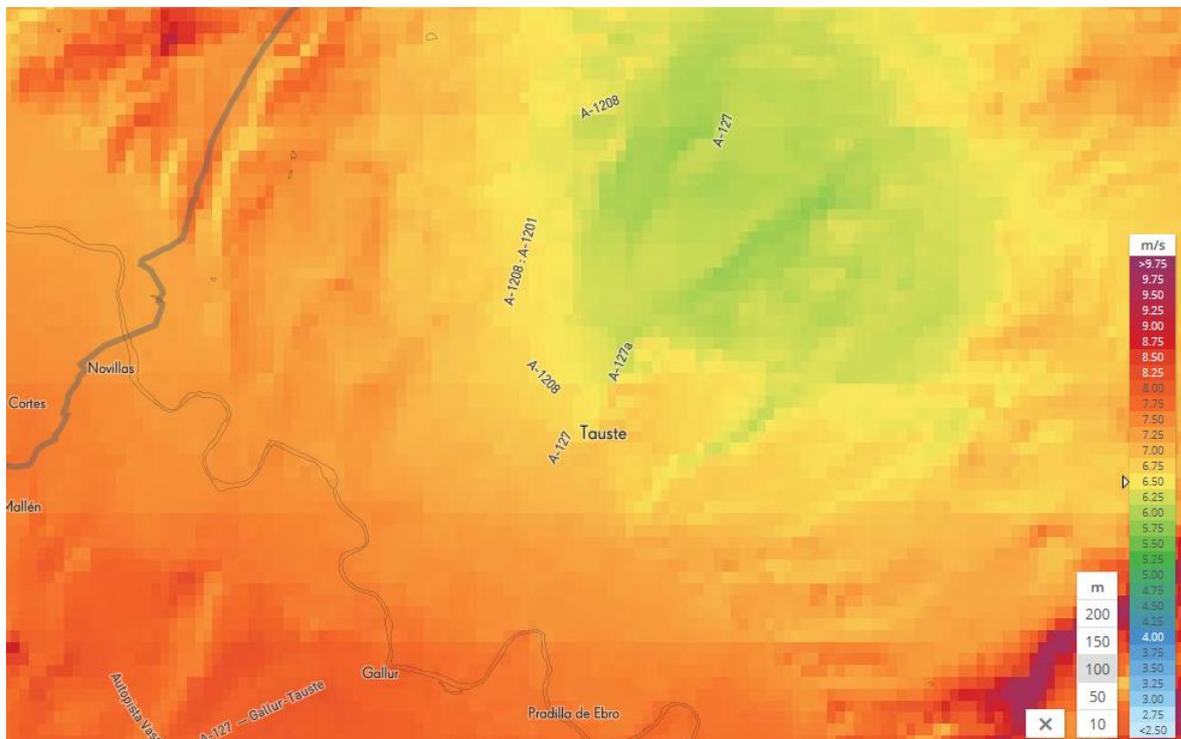
### 4.3 VALORACIÓN Y ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO

Ahora que se conoce que en el territorio de Tauste no existe conflicto con ninguna figura ambiental, se debe evaluar el recurso eólico presente en la zona. Para ello, el potencial eólico está directamente relacionado con la velocidad media del viento a lo largo del año en el territorio escogido y con la rugosidad propia de la zona. Estos datos los obtendremos gracias a la aplicación de Global Wind Atlas [12]. Dicho atlas fue creado para satisfacer la necesidad de evaluación del potencial eólico disponible. Para su realización se recurrió a un modelo de simulación meteorológica y de búsqueda del recurso eólico a largo plazo, utilizándose posteriormente datos reales de torres meteorológicas para la validación de los resultados obtenidos.

#### 4.3.1 Velocidad media anual.

En la siguiente figura se ha representado la velocidad media anual del viento en el territorio de Tauste a una altura de 100 metros. Como se puede apreciar la velocidad media a esta altura es superior a 6 metros por segundo en toda la zona por lo que cumple los requisitos que se exigen en el PER 2011-2020 [1] que establece que para que una zona sea eólicamente aprovechable la velocidad media anual ha de ser de al menos 6 metros por segundo.

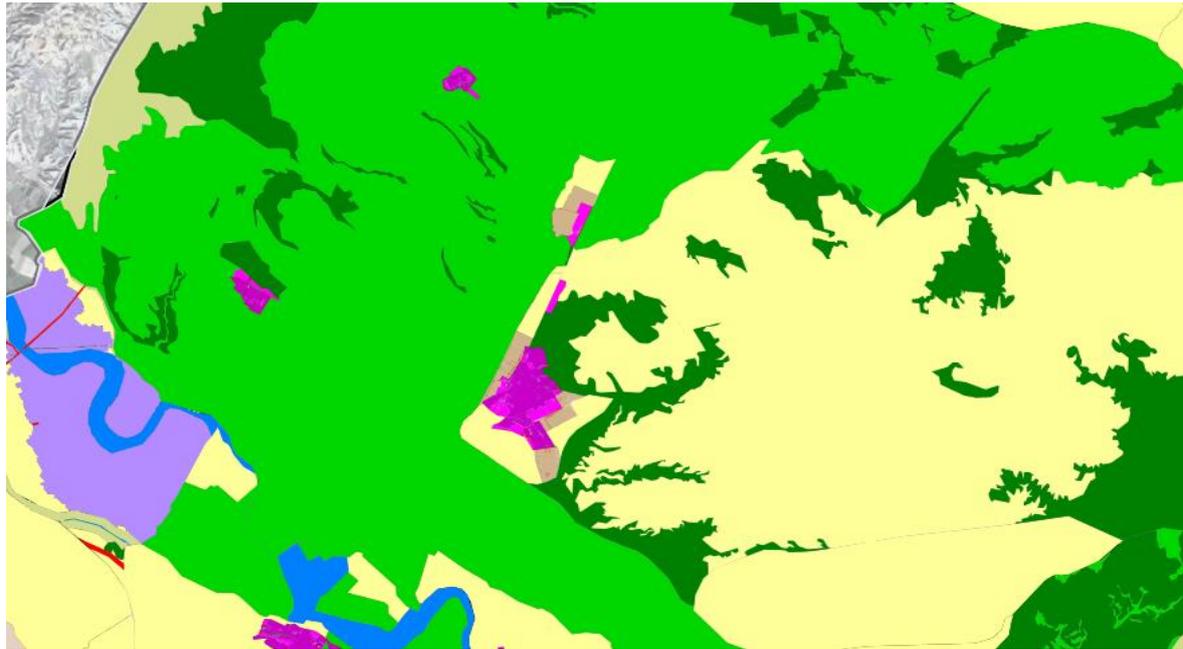
Además, se observa como en este territorio las velocidades son algo superiores a 7 metros por segundo, llegando a alcanzar en algunas zonas los 8,5 metros por segundo. Estas áreas son las más interesantes para la instalación del parque ya que la energía producida por el aerogenerador va a ser directamente proporcional al cubo de la velocidad del viento.



**Figura 18. Mapa velocidad media anual a 100m (m/s) en el municipio de Tauste.**  
Fuente: Global Wind Atlas [12].

#### 4.3.2 Rugosidad superficial.

A la hora de analizar el recurso eólico del que se dispone, aparte de la velocidad del viento, es importante conocer la rugosidad del terreno ya que es un factor que ayuda a conocer la localización idónea para el parque eólico porque influye directamente en el perfil de velocidades del viento. Es importante conocer que cuanto mayor sea la rugosidad presente en el terreno que se dispone mayor será la desaceleración del viento y por tanto el perfil de velocidades se verá empeorado y se tendrá una menor cantidad de energía para extraer con los aerogeneradores. En la figura 19 se establecen los diferentes tipos de suelos existentes en la zona.



- SU-C Suelo Urbano Consolidado
- SU-NC Suelo Urbano No Consolidado
- SUZ-ND Suelo Urbanizable No Delimitado
- SUZ-D Suelo Urbanizable Delimitado
- SNU-G Suelo No Urbanizable Genérico
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a espacios naturales
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a espacios naturales
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a espacios agropecuarios
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a cursos de agua
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a riesgos
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con infraestructuras
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a espacios naturales
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a espacios naturales
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a espacios agropecuario
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a cursos de agua
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a cursos de agua
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con categorías vinculadas a riesgos
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con infraestructuras
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial con infraestructuras
- SNU-E Suelo No Urbanizable Especial
- SU Suelo Urbano
- SNU Suelo No Urbanizable

Figura 19. Mapa tipos de suelos en el municipio de Tauste. Fuente: Gobierno de Aragón [11].

En las capas próximas al suelo, la velocidad del viento disminuye, produciéndose un efecto de cizallamiento del viento. La variación o gradiente de velocidad con respecto a la altura depende esencialmente de la rugosidad del terreno. Superficies lisas, como superficies de agua, terrenos llanos sin arbolado o llanuras nevadas, producen un gradiente suave, al contrario que las superficies de gran rugosidad, como edificaciones urbanas, terrenos muy irregulares o superficies boscosas. Para caracterizar las condiciones de un terreno, se define el parámetro  $z_0$ , denominado longitud de rugosidad, como la altura respecto al nivel del suelo expresada en metros, donde la velocidad del viento es nula. De esta forma, una superficie lisa, por ejemplo, un lago presenta una longitud de rugosidad muy pequeña (prácticamente la velocidad se puede suponer nula en la propia superficie del agua), mientras que un terreno boscoso o con edificios presenta un valor elevado (la velocidad del viento se hará nula en una zona próxima a la superficie de las copas de los árboles). En función del valor  $z_0$  se puede clasificar el terreno, según el Mapa Eólico Europeo [5], en clases de rugosidad.

La relación entre clase de rugosidad y la longitud de rugosidad viene dada por:

$$\text{Si } z_0 \leq 0.03 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \text{Clase} = \frac{\ln(5000z_0)}{\ln 150} \quad (1)$$

$$\text{Si } z_0 \geq 0.03 \text{ m} \quad \rightarrow \quad \text{Clase} = \frac{\ln(1000z_0/9)}{\ln 10/3} \quad (2)$$

| Clase de rugosidad | Longitud de rugosidad (z)(m) | Índice de energía (%) | Tipo de terreno  |
|--------------------|------------------------------|-----------------------|--|
| 0                  | 0.0002                       | 100                   | Superficie de agua. Terreno abierto, superficie lisa   |
| 0.5                | 0.0024                       | 73                    | Pistas de hormigón (aeropuertos), césped,...   |
| 1                  | 0.03                         | 52                    | Campos abiertos sin cercados ni setos. Edificios muy dispersos. Colinas suavemente redondeadas |
| 1.5                | 0.055                        | 45                    | Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8m situado como mínimo a 1250m.                    |
| 2                  | 0.1                          | 39                    | Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8m situado como mínimo a 500m.                     |
| 2.5                | 0.2                          | 31                    | Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8m situado como mínimo a 250m.                     |
| 3                  | 0.4                          | 24                    | Pueblo, bosques y terreno accidentado y desigual   |
| 3.5                | 0.8                          | 18                    | Ciudades con edificios altos.  |
| 4                  | 1.6                          | 13                    | Grandes ciudades con edificios muy elevados.   |

**Tabla 3. Tipos de terreno según su rugosidad. Fuente: EOI.**

Por tanto, en la zona a analizar y conociendo las características del territorio se puede deducir que la rugosidad va a estar acotada dentro del rango de 0.0002 metros y 0.4 metros de longitud de rugosidad siendo este un terreno idóneo para la instalación del parque eólico. Por último, hay que destacar que el área exacta donde se va a instalar el parque será en una zona especialmente escogida a conciencia donde se buscará el mayor aprovechamiento del recurso eólico y en este aspecto tiene gran importancia la rugosidad del terreno y la velocidad media en este.

### 4.3.3 Características del recurso eólico

Gracias a la aplicación del Global Wind Atlas [12] se puede conocer las características de la región de terreno que se quiere estudiar para el aprovechamiento eólico. En este apartado se va a analizar los diferentes puntos de interés y las diferentes características que hacen más provechoso el recurso eólico disponible. Además de los temas ya tratados en apartados anteriores como la velocidad media anual y la rugosidad del terreno hay aspectos que son importante a la hora de confeccionar un parque eólico.

En primer lugar, se va a analizar la frecuencia de dirección de los vientos a lo largo del año en el área seleccionada para la instalación del parque. En la figura 20 se muestra la rosa de los vientos para la frecuencia del viento.

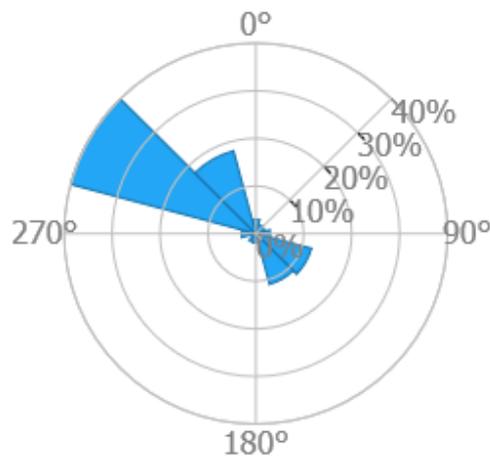


Figura 20. Rosa de los vientos – Frecuencia (%). Fuente: Global Wind Atlas [12].

Aquí se puede observar como la dirección del viento es muy constante a lo largo del año llegando a acumular casi un 60% por la parte del noroeste. Cabe destacar que esta importante constancia en la dirección del viento es fruto de la cuenca hidrográfica del Ebro que ayuda claramente a dirigir el viento a través de ella. Es por ello por lo que el resto del porcentaje de la dirección del viento esta también en la misma dirección, pero en sentido opuesto. Esto resulta muy interesante a la hora de la colocación de los aerogeneradores y también a la hora de su control en la orientación.

Ahora si se analiza la rosa de los vientos para la velocidad se hace más notable esta característica del recurso eólico.

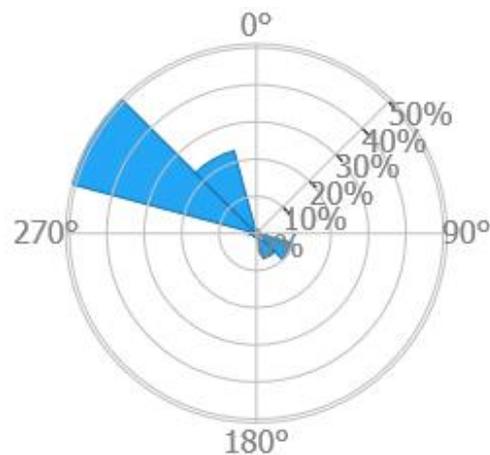


Figura 21. Rosa de los vientos – Velocidad del viento (%). Fuente: Global Wind Atlas [12].

Esto es debido a que si ya es importante su direccionalidad la gran cantidad de la velocidad media anual vendrá determinada por esta y tendrá influencia en esta rosa de los vientos. Es por esto por lo que sigue predominando el noroeste acumulando más del 70% de la procedencia del viento a lo largo del año para la región estudiada.

Por último, se va a analizar la potencia extraíble del viento en términos porcentuales con una última rosa de los vientos. Es de esperar que si la dirección y la velocidad vienen marcadas con un patrón claro la potencia que tiene el viento también lo tendrá. Todo esto se presenta en la figura 22.

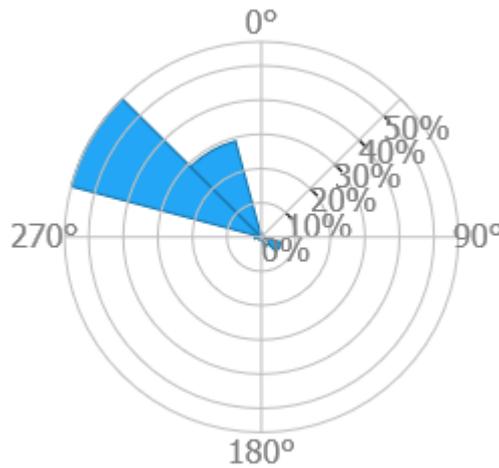


Figura 22. Rosa de los vientos – Potencia del viento (%). Fuente: Global Wind Atlas [12].

Efectivamente, se aprecia como es aún más evidente que en la anterior figura el alto porcentaje que tiene el viento del noroeste a la hora de hablar de la potencia que tiene el viento. Esto se debe a que la potencia del viento es directamente proporcional al cubo de la velocidad del viento.

Se puede concluir con que esta matriz del comportamiento del viento facilita la labor de colocación y orientación de los aerogeneradores a la hora de su instalación y disposición en el parque. Es por ello por lo que esta zona tiene un gran valor en términos de aprovechamiento del recurso eólico.

En la figura 23 se muestra la densidad de potencia del viento en la zona. Se observa como la calidad del viento es muy buena ya que su valor es constante a lo largo de toda el área llegando a no apreciar grandes diferencias entre las zonas con un mayor viento (las del 10% más ventosas).

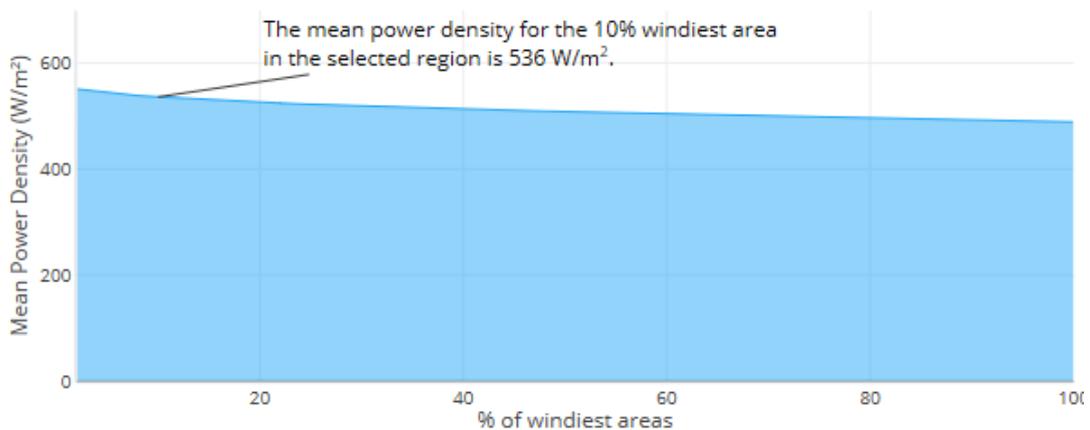


Figura 23. Distribución densidad de potencia del viento ( $W/m^2$ ). Fuente: Global Wind Atlas [12].

La diferencia entre potencia del viento del 10% de las zonas más ventosas y del 100% de las zonas es tan solo de  $47 \text{ W/m}^2$  confirmando lo expuesto anteriormente. Esta característica también tiene un valor extra en términos de aprovechamiento eólico ya que el aerogenerador no tendrá que soportar en teoría cambios bruscos en la velocidad del viento evitando así las ráfagas de viento que pueden llegar a ser muy perjudiciales para el funcionamiento del aerogenerador.

En relación con la última figura, se muestra esta otra figura, la figura 24, que hace referencia a las velocidades medias del área seleccionada a una altura de 100 metros.

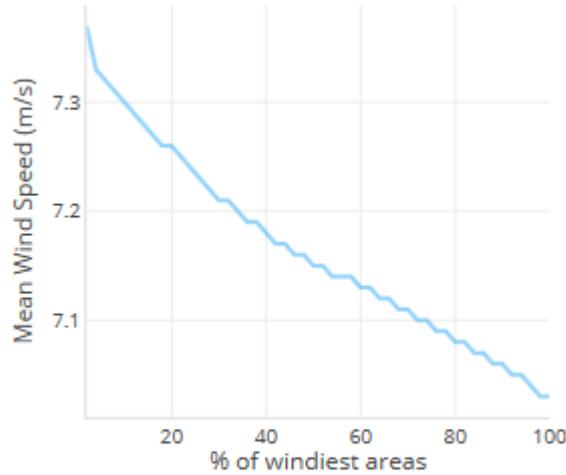


Figura 24. Distribución velocidad media del viento (m/s). Fuente: Global Wind Atlas [12].

Se puede apreciar como la variación de la velocidad media en las zonas más ventosas y en el resto es de tan solo 0,35 metros por segundo lo que confirma por tanto lo expuesto anteriormente. Las zonas más ventosas (el 10% más ventoso) tiene una velocidad media de 7,3 metros por segundo mientras que si se observa el 100% de las zonas la velocidad media del viento solo disminuye hasta un valor de 7,05 metros por segundo.

Por último, del historial de datos proporcionado por Global Wind Atlas [12] se puede extraer información sobre la variabilidad de la velocidad del viento mensual y diariamente. En la figura 25 se muestra la variación respecto a la velocidad media de la zona según el momento del año o del día en el que se estudie.



Figura 25. Variación mensual de la velocidad del viento. Fuente: Global Wind Atlas [12].

Aquí se aprecia como los meses de febrero, marzo, abril, julio tienen por lo general una velocidad media del viento mayor a la media. Esto es interesante a la hora de estudiar diferentes posibilidades para el suministro de energía a lo largo del año. Pese a esta variación tampoco se puede determinar nada en claro ya que el valor máximo de esta es de un 1,19 para marzo y de un 0,88 para septiembre por lo que no se puede llegar a una conclusión definitiva en este aspecto.

Por último y para completar este análisis de las características del recurso eólico, se va a analizar mediante la figura 26 la mencionada variación del viento según las diferentes horas del día. Esta característica no es que sea de gran importancia, pero hace ver en qué momentos del día se estaría produciendo una mayor cantidad de energía.

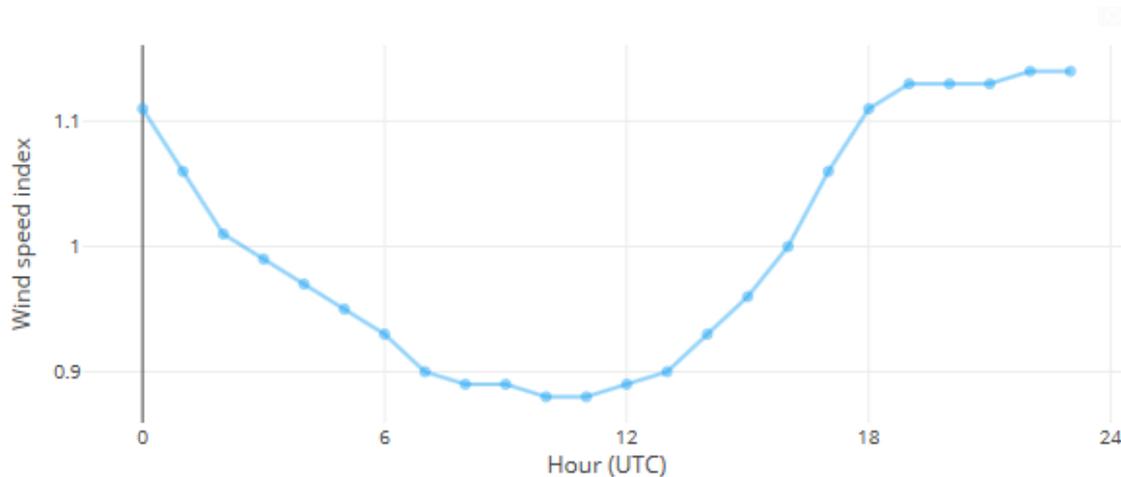


Figura 26. Variación por horas de la velocidad del viento. Fuente: Global Wind Atlas [12].

Se observa como las horas con mayor incidencia de la velocidad del viento serían entre las 17:00h y las 02:00h. Al igual que con la variación en los diferentes meses del año tampoco se puede hacer grandes conclusiones con estos datos ya que la variación de la velocidad media es muy pequeña.

Todas estas características hacen de la zona estudiada una región idónea para el emplazamiento de un parque eólico. Las características más importantes además de su velocidad media anual y la rugosidad del terreno son la direccionalidad constante que tiene el viento a lo largo del año, la potencia constante sin grandes diferencias de velocidad del viento y la calidad del recurso eólico para su aprovechamiento.

#### 4.4 DENSIDAD DE POTENCIA EÓLICA

##### 4.4.1 Definición densidad de potencia eólica

En relación con expuesto en el anterior apartado, se aprecia como la velocidad del viento tiene mucha influencia en la potencia que se puede extraer del viento. En un aerogenerador se aprovecha la energía cinética del viento, que viene dada por la siguiente ecuación:

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3)$$

Donde  $m$  es el caudal másico del aire y  $v$  la velocidad del viento.

El caudal másico del aire depende de la velocidad del viento, de la densidad del viento del tiempo y del área barrida por las palas del aerogenerador. Quedando de la siguiente manera:

$$m = \rho V = \rho Avt \quad (4)$$

Donde  $\rho$  es la densidad del aire,  $t$  el tiempo y  $A$  el área barrida por las aspas del aerogenerador.

Ahora si se sustituye en la ecuación (3) quedaría de la siguiente forma:

$$E_c = \frac{1}{2}\rho Av^3t \quad (5)$$

Para obtener la potencia del viento se deriva la ecuación de la energía en función del tiempo:

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (6)$$

Para conocer la densidad de potencia eólica simplemente se ha de dividir la ecuación (6) por el área de barrido de las palas del aerogenerador:

$$\text{Densidad de potencia eólica} = \frac{P}{A} = \frac{1}{2}\rho v^3 \quad (7)$$

Por último, para obtener la potencia eólica media disponible se tiene que emplear la velocidad media del viento, quedando de la siguiente manera:

$$\overline{P}_d = \frac{1}{2}\rho A\overline{V}^3 \quad (8)$$

La densidad de potencia eólica expresa la cantidad de potencia eólica existente en un punto concreto por metro cuadrado. A partir de esta densidad de potencia eólica se puede calcular la cantidad de potencia aprovechable en nuestro aerogenerador. Cabe destacar que esta densidad de potencia nunca va a ser aprovechable al 100% ya que la ley de Betz dice que sólo puede convertirse menos de 16/27 (el 59 %) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador. La ley de Betz fue formulada por primera vez por el físico alemán Albert Betz en 1919. Su libro "Wind-Energie", publicado en 1926, proporciona buena parte del conocimiento que en ese momento se tenía sobre energía eólica y aerogeneradores.

#### 4.4.2 Densidad del aire

Como se ha desarrollado en el anterior apartado, la densidad de potencia eólica depende directamente de la densidad del aire. Esta densidad va a depender también de la temperatura y la altura sobre el nivel del mar:

$$\rho = \left( \frac{P_0}{(T + 273)R} \right) e^{\left( \frac{-gz}{R(T+273)} \right)} \quad (9)$$

Donde:

$$P_0 = 94450 \text{ Pa} ; T = 14^\circ\text{C} ;$$

$$R = 286,9 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} ; g = 9,8 \text{ m/s}^2 ;$$

$$z = 585 \text{ m}$$

Estos datos han sido obtenidos de la base de datos meteorológicos de AEMET-Openata y la altitud es conocida para la región estudiada más la altura de buje. Queda entonces de la siguiente manera:

$$\rho = 1,143 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Es importante saber que es necesario calcular la densidad del aire para cada emplazamiento concreto para poder estimar la producción energética de manera más precisa y hay que evitar cometer el error de pensar que la densidad del aire es siempre igual a 1,225 kg/m<sup>3</sup> (densidad del aire para condiciones estándar) ya que las curvas de potencia nominales de los aerogeneradores están calculadas para una densidad de aire estándar a nivel del mar.

#### 4.5 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

La velocidad a la que sopla el viento no tiene un valor constante a lo largo del tiempo en una zona determinada, es por ello por lo que es necesario analizar cómo se comporta el recurso eólico en el área estudiada. La distribución de Weibull es una función de distribución de probabilidad utilizada para descubrir la distribución de estas velocidades durante un largo periodo de tiempo. La frecuencia con la que el viento sopla a cada velocidad sigue una distribución de Weibull. Esta distribución viene definida por dos parámetros: el factor de escala  $c$  y el factor de forma  $K$ . A continuación, se presenta la función de distribución:

$$F(V) = p(v \leq V) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{V}{c} \right)^K \right] \quad (10)$$

Y la función de densidad:

$$d_p(V) = \frac{dF(V)}{dV} = \frac{K}{c} \left( \frac{V}{c} \right)^{K-1} \exp \left[ - \left( \frac{V}{c} \right)^K \right] \quad (11)$$

El parámetro de escala da información sobre lo amplia que es la distribución y el parámetro de forma afecta a la curvatura de la función. Mientras que el factor de escala ( $c$ ) se expresa en metros por segundo y está relacionado con la velocidad media de la zona en un determinado espacio temporal, el factor de forma ( $K$ ) es adimensional y caracteriza la asimetría de la distribución. Ambos factores varían con la altura.

La aplicación Global Wind Atlas [3] permite conocer estos valores para cada sector definido en las rosas de los vientos anteriores y por tanto facilita mucho la tarea a la hora de realizar los cálculos necesarios para conocer la distribución de Weibull. Esta aplicación permite conocer los valores también para las diferentes alturas de la zona seleccionada desde 10 metros de altura hasta 200 metros de altura gracias a un historial de mediciones. Para realizar el cálculo de la distribución de Weibull se va a seleccionar la altura de 100 metros con la que se está realizando el estudio.

La siguiente figura muestra las diferentes distribuciones de Weibull para los 12 sectores dados por la aplicación que son particiones de  $30^\circ$  según la dirección del viento.

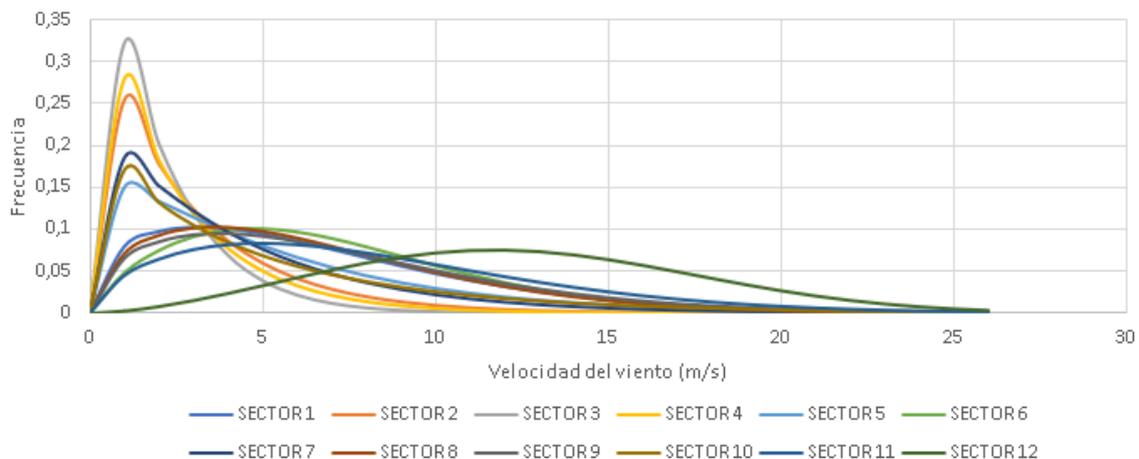
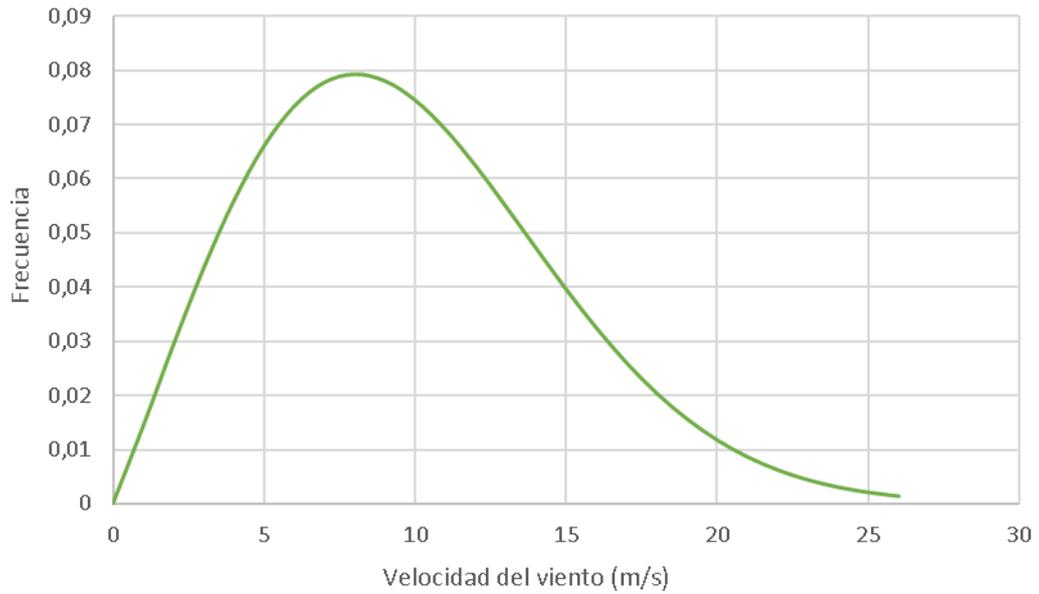


Figura 27. Distribución de Weibull por sectores. Fuente: Global Wind Atlas [12].

Este análisis es útil a la hora de analizar más en detalle la distribución de cada viento para una zona dada y se puede comprobar cómo es muy diferente para cada uno de los sectores. Sin embargo, si se hace uso de la rosa de los vientos de frecuencias (figura 20) para darle un sentido de ocurrencia a cada sector y se construye una única distribución de Weibull para la zona estudiada quedará de la siguiente forma en la figura 28:



**Figura 28. Distribución de Weibull a 100m.**

#### 4.6 PERFIL DE VELOCIDADES

Ya se ha explicado la importancia que tiene la rugosidad del terreno en la velocidad del viento y cómo influye la altura respecto al terreno en esta. Es por ello por lo que el análisis de esta variante tiene gran valor cuando se analiza las características del viento. A causa de la fricción del aire con el terreno, el viento se ve ralentizado cuando más cerca está del suelo. Como se ha explicado anteriormente factores como árboles, edificios o colinas influyen en la variación de velocidad. Cuanto mayor sea la cantidad de obstáculos presentes menor será la velocidad del viento y por el contrario cuando el terreno se encuentre más despejado será cuando se alcancen velocidades mayores. Dicha variación se puede calcular gracias a la siguiente ley potencial.

$$\bar{V}_2 = \bar{V}_1 \left( \frac{z_2}{z_1} \right)^n \quad (12)$$

$$n = 0,096 \log Z_0 + 0,016(\log Z_0)^2 + 0,24 \quad (13)$$

Donde:  $\bar{V}_1 =$  *velocidad media del viento a la altura  $z_1$*   
 $\bar{V}_2 =$  *velocidad media del viento a la altura  $z_2$*   
 $n =$  *exponente relacionado con la rugosidad*

Aplicando las ecuaciones expuestas y conociendo los datos que facilita la aplicación Global Wind Atlas [12] se puede presentar la figura 29 que muestra el perfil de velocidades en la zona estudiada:

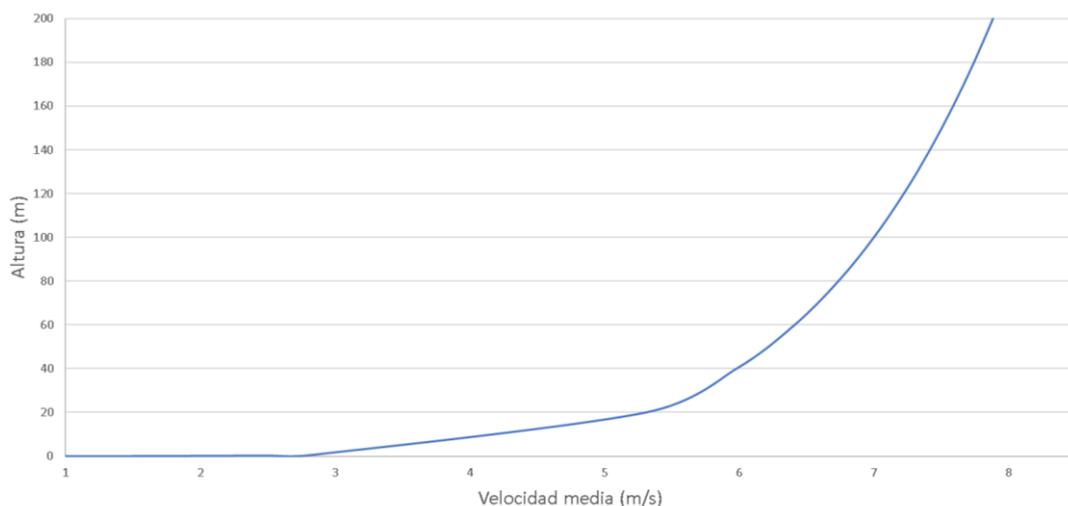


Figura 29. Perfil de velocidades.

## CAPÍTULO 5. ELECCIÓN DEL AEROGENERADOR

En el siguiente capítulo se va a explicar los pasos y el proceso que hay que seguir a la hora de escoger el tipo de aerogenerador más conveniente para las características que tiene la zona seleccionada, cumpliendo con los criterios de seguridad establecidos y maximizando la potencia producida.

### 5.1 CLASE DE AEROGENERADOR

Según la velocidad del viento en la ubicación es necesario conocer la clase de aerogenerador que se debe escoger. Según la normativa citada anteriormente para los aerogeneradores (capítulo 2) se establece según la Norma IEC 61400-1 que los aerogeneradores están clasificados en tres clases diferentes acorde a unos niveles de robustez mínimos exigidos determinados por la velocidad del viento de la zona. Esto quiere decir que cada clase soporta con seguridad hasta una cierta velocidad de referencia. Esta velocidad de referencia se calcula a partir de la velocidad media anual del viento en la zona estudiada y viene determinada por la siguiente ecuación:

$$V_{ref} = \frac{V_{media\ anual}}{0,2} \quad (14)$$

En la siguiente tabla se recoge lo especificado según la Norma IEC 61400-1 en referencia a las clases de aerogeneradores.

| Clase de aerogenerador | I    | II   | III  | S                                      |
|------------------------|------|------|------|--|
| Vref (m/s)             | 50   | 42,5 | 37,5 | Valores especificados por el diseñador |
| A Iref (-)             | 0,16 |      |      |  |
| B Iref (-)             | 0,14 |      |      |  |
| C Iref (-)             | 0,12 |      |      |  |

**Tabla 4. Clases de aerogeneradores. Fuente: Norma IEC 61400-1.**

La velocidad media anual a 100 metros de altura para la zona estudiada oscila entre 6,5 y 7,2 metros por segundo, obteniendo una velocidad referencia entre 32,5 y 36,5 metros por segundo. Con estas velocidades de referencia cualquier clase de aerogenerador podría soportar las ráfagas de viento de la zona, por lo que se elegirán modelos de aerogenerador clase III.

## 5.2 ELECCIÓN DEL MODELO

Viendo los resultados del anterior apartado los aerogeneradores para la instalación del parque podrán ser de clase III, II y I. A continuación, en la siguiente tabla, se ha realizado una selección de varios modelos de aerogeneradores disponibles en el mercado que se ajustan a las condiciones y características del emplazamiento que se han ido analizado.

| MODELO        | ALTURA (m)               | FRABRICANTE    |
|---------------|--------------------------|----------------|
| V100-2.0 MW   | 80-95                    | Vestas         |
| GW 100/2500   | 80-90-100                | Goldwind       |
| SG 2.1-114    | 68-80-93-106-125-127-153 | Siemens Gamesa |
| G80/2000      | 60-78-100                | Siemens Gamesa |
| E-70 E4 2.000 | 85-100-113               | Enercon        |

**Tabla 5. Aerogeneradores preseleccionados.**

A continuación, se presentan las características de cada uno de los cinco modelos preseleccionados para su posible instalación en el parque.

|                       |                                   |       |
|-----------------------|-----------------------------------|-------|
| <b>POTENCIA</b>       | Potencia nominal (kW)             | 2000  |
| <b>ROTOR</b>          | Diámetro (m)                      | 100   |
|                       | Área de barrido (m <sup>2</sup> ) | 7.854 |
|                       | Velocidad de giro (rpm)           | 13,4  |
| <b>PALAS</b>          | Longitud (m)                      | 49    |
| <b>TORRE</b>          | Altura (m)                        | 80-95 |
| <b>FUNCIONAMIENTO</b> | Velocidad arranque (m/s)          | 3     |
|                       | Velocidad nominal (m/s)           | 12    |
|                       | Velocidad parada (m/s)            | 22    |

**Tabla 6. Características del modelo V100-2.0 MW de Vestas. Fuente: Vestas [13].**

|                       |                                   |            |
|-----------------------|-----------------------------------|------------|
| <b>POTENCIA</b>       | Potencia nominal (kW)             | 2500       |
| <b>ROTOR</b>          | Diámetro (m)                      | 100        |
|                       | Área de barrido (m <sup>2</sup> ) | 7.823      |
|                       | Velocidad de giro (rpm)           | 7,6 - 14,5 |
| <b>PALAS</b>          | Longitud (m)                      | 49         |
| <b>TORRE</b>          | Altura (m)                        | 80-90-100  |
| <b>FUNCIONAMIENTO</b> | Velocidad arranque (m/s)          | 2,5        |
|                       | Velocidad nominal (m/s)           | 13         |
|                       | Velocidad parada (m/s)            | 25         |

**Tabla 7. Características del modelo GW 100/2500 de Goldwind. Fuente: Goldwind [14].**

|                       |                                   |                          |
|-----------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| <b>POTENCIA</b>       | Potencia nominal (kW)             | 2100                     |
| <b>ROTOR</b>          | Diámetro (m)                      | 114                      |
|                       | Área de barrido (m <sup>2</sup> ) | 10.207                   |
|                       | Velocidad de giro (rpm)           | 8,5 - 15,5               |
| <b>PALAS</b>          | Longitud (m)                      | 56                       |
| <b>TORRE</b>          | Altura (m)                        | 68-80-93-106-125-127-153 |
| <b>FUNCIONAMIENTO</b> | Velocidad arranque (m/s)          | 2,5                      |
|                       | Velocidad nominal (m/s)           | 11                       |
|                       | Velocidad parada (m/s)            | 25                       |

Tabla 8. Características del modelo SG 2.1 de Siemens-Gamesa. Fuente: Siemens-Gamesa [15].

|                       |                                   |           |
|-----------------------|-----------------------------------|-----------|
| <b>POTENCIA</b>       | Potencia nominal (kW)             | 2000      |
| <b>ROTOR</b>          | Diámetro (m)                      | 80        |
|                       | Área de barrido (m <sup>2</sup> ) | 5.027     |
|                       | Velocidad de giro (rpm)           | 9 - 19    |
| <b>PALAS</b>          | Longitud (m)                      | 39        |
| <b>TORRE</b>          | Altura (m)                        | 60-78-100 |
| <b>FUNCIONAMIENTO</b> | Velocidad arranque (m/s)          | 3,5       |
|                       | Velocidad nominal (m/s)           | 15        |
|                       | Velocidad parada (m/s)            | 25        |

Tabla 9. Características del modelo G80/2000 de Gamesa. Fuente: Gamesa [14].

|                       |                                   |            |
|-----------------------|-----------------------------------|------------|
| <b>POTENCIA</b>       | Potencia nominal (kW)             | 2000       |
| <b>ROTOR</b>          | Diámetro (m)                      | 71         |
|                       | Área de barrido (m <sup>2</sup> ) | 3.959      |
|                       | Velocidad de giro (rpm)           | 21,5       |
| <b>PALAS</b>          | Longitud (m)                      | 39         |
| <b>TORRE</b>          | Altura (m)                        | 85-100-113 |
| <b>FUNCIONAMIENTO</b> | Velocidad arranque (m/s)          | 2,5        |
|                       | Velocidad nominal (m/s)           | 13,5       |
|                       | Velocidad parada (m/s)            | 34         |

Tabla 10. Características del modelo E-70 E4 2.000 de Enercon. Fuente: Enercon [14].

Una vez expuestas las características más relevantes de los aerogeneradores seleccionados se ha de elegir un modelo para la instalación del parque. Analizando estas características y conociendo las características y condiciones de la zona donde se pretende realizar la instalación se opta por la elección del modelo de Gamesa G80/2000. Esta elección viene condicionada por el buen funcionamiento que ha demostrado el aerogenerador en España y la alta efectividad que tiene estando presente en más de 100 parques eólicos a lo largo del mundo. También al ser un fabricante con sede en España la labor de distribución y transporte va a ser más sencilla y económica que si se

tratase de cualquier otro modelo. Por otra parte, pese a los buenos resultados que ofrece este aerogenerador, es una maquina antigua por lo que su coste no es tan elevado como las otras máquinas más modernas que se barajaban.

Ahora que ya se conoce el aerogenerador a instalar, se presentan una serie de ventajas y características que tiene este modelo: Tecnología de paso y velocidad variable para maximizar la energía producida, fabricación de palas más ligeras mediante el empleo de fibra de vidrio y preimpregnados, diseño aerodinámico y sistema de control Gamesa NRS® para minimizar el ruido emitido y Gamesa SGIPE: sistema de control y monitorización remota.

Para conocer un poco más sobre este aerogenerador, en la figura 30 se pueden observar las partes más relevantes que forman la máquina escogida.

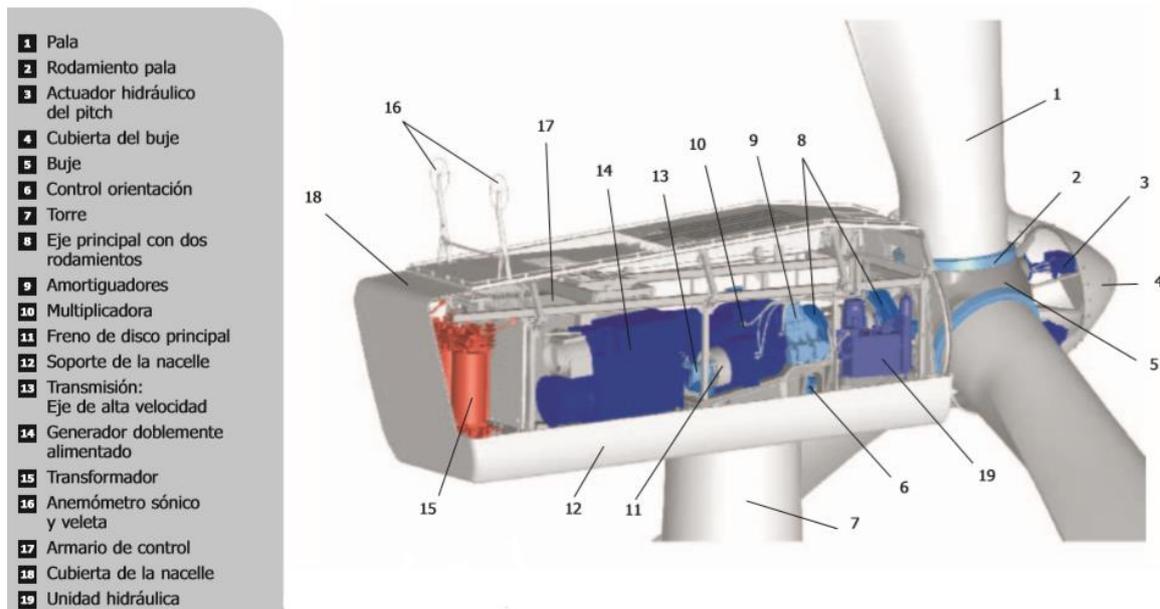


Figura 30. Partes del modelo G80/2000 de Gamesa. Fuente: Gamesa [14].

Por último, para el posterior cálculo de la energía producida por el aerogenerador hay que conocer la curva de potencia Gamesa G80/2000. Esta curva de potencia es facilitada por el fabricante en el catálogo del aerogenerador además del resto de características que son importantes para conocer y analizar el funcionamiento del aerogenerador. En la tabla 11 y en la figura 31 se proporcionan los valores de velocidad y potencia de la curva, así como su representación gráfica.

|                 |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Velocidad (m/s) | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    |
| Potencia (kW)   | 66,3  | 152   | 280   | 457   | 690   | 978   | 1.296 | 1.598 |
| Velocidad (m/s) | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19-25 |
| Potencia (kW)   | 1.818 | 1.935 | 1.980 | 1.995 | 1.999 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |

Tabla 11. Curva de potencia Gamesa G80/2000. Fuente: Gamesa [14].

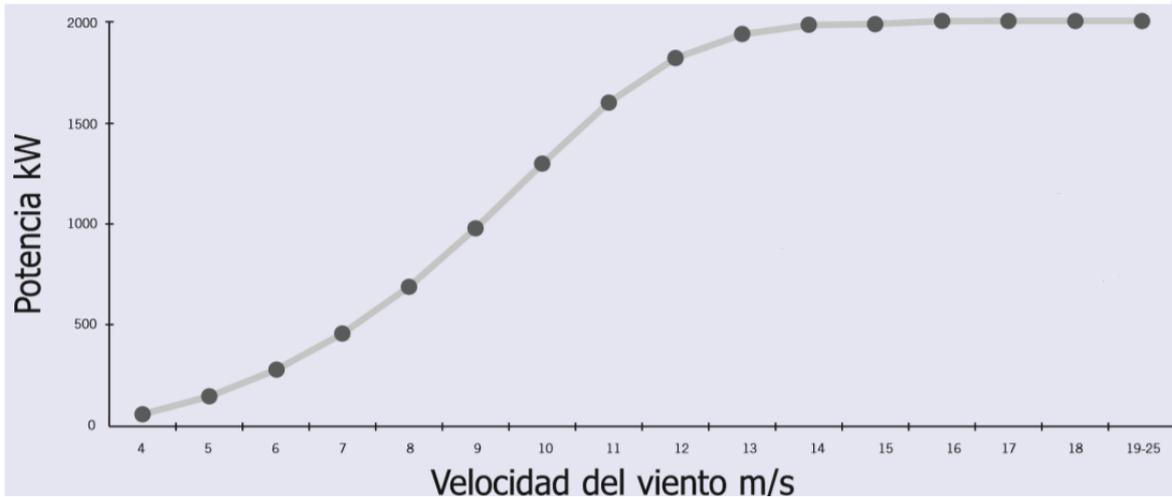


Figura 31. Curva de potencia Gamesa G80/2000. Fuente: Gamesa [14]

### 5.3 CÁLCULO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA

Una vez conocida la curva de potencia del aerogenerador donde se expone la potencia que se podría extraer para cada velocidad del viento, el siguiente paso es calcular los kW producidos por cada aerogenerador. Conociendo la distribución de Weibull en la zona estudiada (apartado 4.5) y la curva de potencia del aerogenerador se hace uso de la siguiente ecuación donde se realiza el sumatorio de los productos de la distribución de Weibull y la curva de potencia para cada velocidad del viento.

$$P(v) = \sum_{v_{arranque}}^{v_{parada}} \text{Frecuencia} * \text{Potencia extraible} \quad (15)$$

Para conocer la cantidad de energía producida (kWh) cada año por cada aerogenerador se multiplican los kW obtenidos con la ecuación anterior (15) por el número de horas anuales que son 8760 horas. La ecuación queda de la siguiente forma:

$$EEP = n^{\circ} \text{ horas} * P(v) \quad (16)$$

Lo siguiente es conocer el número de horas equivalentes. Este parámetro indica la cantidad de horas que un aerogenerador tardaría en producir la energía estimada con la ecuación anterior (16) si este se encontrase trabajando a potencia nominal durante el tiempo de producción de energía.

$$H_{eq} = \frac{EEP (kWh)}{P_n (kW)} \quad (17)$$

Mediante el uso de la siguiente ecuación se conoce si la instalación del aerogenerador es viable o no, el factor de carga permite conocer la relación que existe entre la energía generada por el aerogenerador en un año y la que se hubiera producido si este hubiese estado trabajando a su potencia nominal durante el mismo periodo de tiempo. Entonces cuanto mayor sea el factor de carga obtenido, mejor será el rendimiento que presentará el aerogenerador.

$$F_c = \frac{H_{eq} (h)}{8760 (h)} \quad (18)$$

Ahora se va a hacer una estimación de la energía producida gracias a lo anteriormente mencionado y se recogerá en una tabla los resultados obtenidos. Es importante saber que este cálculo es una mera aproximación ya que la energía real obtenida será diferente debido a los diferentes efectos que se producen en el parque que se estudiarán en el próximo capítulo y a su vez hacen que existan pérdidas en la producción de energía.

Gracias a la aplicación Global Wind Atlas [3] se podía conocer la distribución de Weibull dividida en sectores (figura 27). Si se calcula la energía estimada en cada sector a partir de las frecuencias conocidas por la rosa de los vientos de frecuencias (figura 20) para cada sector y las características del modelo G80/2000 resulta la siguiente tabla:

|                        |         |        |        |        |           |           |
|------------------------|---------|--------|--------|--------|-----------|-----------|
| Sector                 | 1       | 2      | 3      | 4      | 5         | 6         |
| Energía estimada (kWh) | 147.388 | 17.938 | 7.034  | 17.469 | 197.409   | 875.007   |
| Sector                 | 7       | 8      | 9      | 10     | 11        | 12        |
| Energía estimada (kWh) | 64.393  | 82.358 | 65.268 | 49.725 | 1.053.740 | 5.091.474 |

**Tabla 12. Energía estimada (kWh) por sectores por aerogenerador.  
Fuente: Global Wind Atlas [12].**

Era de esperar un resultado tan diferencial en cuanto a la división por sectores ya que, si se hace vista atrás a las figuras 20, 21 y 22 donde se representaba en porcentaje la direccionalidad del viento, así como su velocidad y potencia la diferencia de porcentaje era muy grande debido a las características del emplazamiento que se explicaron en ese apartado.

En la siguiente tabla se recogen los datos totales más relevantes de producción de energía de un aerogenerador en la zona estudiada

|               |                  |               |                     |                |
|---------------|------------------|---------------|---------------------|----------------|
| Aerogenerador | Altura torre (m) | EEP(kWh/ año) | H <sub>eq</sub> (h) | F <sub>c</sub> |
| G80/2000      | 100              | 7.669.210     | 3.834,6             | 0,37           |

**Tabla 13. Energía estimada (kWh) total por aerogenerador. Fuente: Global Wind Atlas [12].**

## CAPÍTULO 6. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO

A continuación, en este apartado se procederá a analizar la ubicación de los aerogeneradores en la zona seleccionada. Para ello se tendrá en cuenta las posibles pérdidas y las directrices a seguir en cuanto a distancia entre aerogeneradores entre vías y núcleos urbanos.

Hay que recordar que en el anterior capítulo el modelo seleccionado es el G80/2000 de 100 metros de altura de torre ya que es el que más confianza y seguridad respecto al comportamiento ofrecía. Por lo que respecta al lugar de instalación, ya se tuvo en cuenta las figuras ambientales presentes y las condiciones con los núcleos rurales, urbanos y urbanizables, por lo que en este aspecto no se presentara ningún tipo de restricción.

### **6.1 EFECTOS QUE MODIFICAN EL VIENTO**

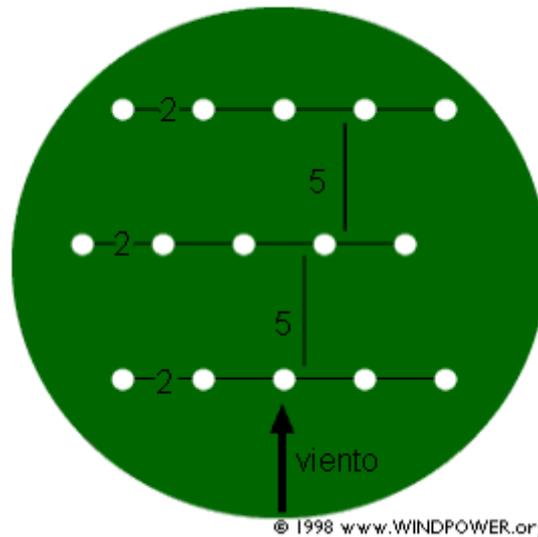
En esta sección se van a estudiar los diversos efectos que afectan a las condiciones del viento debido a la implantación de los diferentes aerogeneradores en el terreno seleccionado. Se verá cómo afecta la distancia entre los aerogeneradores pertenecientes a una misma fila y los aerogeneradores que están ubicados en filas diferentes. Además, se verá cómo influye el efecto embudo presente en la zona estudiada que ya se mencionó en el capítulo 3 cuando se explicó la situación actual autonómica. Este efecto es debido a la disposición del Valle del Ebro y como sirve de conducto para el viento haciendo que este tome una dirección y una velocidad superior a la existente en la zona.

#### **6.1.1 Efecto parque**

El viento al atravesar un aerogenerador hace que este produzca energía. Por el principio de conservación de la energía la cantidad de energía disponible en el viento variará siendo menor a la salida de la turbina que a la entrada de esta. Habrá una estela tras la turbina, es decir, una larga cola de viento bastante turbulenta y ralentizada, si se compara con el viento que llega a la turbina. En los parques eólicos, para evitar una turbulencia excesiva corriente abajo alrededor de las turbinas, cada una de ellas suele estar separada del resto una distancia mínima equivalente a tres diámetros del rotor. En las direcciones de viento dominante esta separación es incluso mayor. Esta situación que se produce es conocida como efecto parque y es necesario evitarla ya que si se disminuye la velocidad del viento como se ha visto anteriormente también disminuirá la cantidad de energía que produzca el aerogenerador. También es importante destacar que con este efecto la turbulencia crece y si esta turbulencia está continuamente presente en el parque hará que la vida útil de los aerogeneradores disminuya también.

Lo ideal sería poder separar las turbinas lo máximo posible en la dirección de viento dominante, pero, por otra parte, el coste del terreno y de la conexión de los aerogeneradores a la red eléctrica aconseja instalar las turbinas más cerca unas de otras. Como norma general, la separación entre aerogeneradores en un parque eólico es de 5 a 7 diámetros de rotor en la dirección de los vientos dominantes, y de 2 a 4 diámetros de rotor en la dirección perpendicular a los vientos dominantes.

En la figura 32 se puede observar un boceto con las medidas respecto a los diámetros que se va a seguir según las condiciones del emplazamiento y de las características del viento donde se ve claramente una dirección y una velocidad muy determinantes.



**Figura 32. Distribución en planta del parque. Fuente: Windpower [16].**

Con el objetivo de evitar el efecto parque se realizará de la distribución de los aerogeneradores respetando las distancias mínimas recomendadas. En la figura anterior se puede apreciar las medidas que se van a seguir en la instalación del parque.

En la dirección dominante del viento que es de la que mayor potencia se puede extraer del viento los aerogeneradores deberán separarse a una distancia de 5 veces el diámetro del rotor. Para el caso del modelo G80/2000 se tiene un diámetro de 80 metros por lo que la distancia de separación entre los aerogeneradores de distintas filas tendrá que ser de 400 metros. Por otro lado, en la dirección perpendicular a la dirección dominante del viento los aerogeneradores deberán separarse a una distancia de 2 veces el diámetro del rotor, para el modelo G80/2000 de 80 metros de diámetro se tendrá una separación de 160 metros entre los aerogeneradores de la misma fila.

### 6.1.2 Efecto colina

Es frecuente que los parques eólicos estén instalados en lo alto de colinas provocando en el viento un efecto acelerador. Este efecto acelerador provoca que tanto la potencia del viento como su velocidad sea mayor en las zonas adyacentes a las colinas. Este fenómeno tiene el nombre de efecto colina, y resulta positivo para la producción de energía siempre y cuando las condiciones de la colina no sean muy pronunciadas ya que se produciría un aumento negativo de la cantidad de turbulencias presentes en la zona.

En la figura 33 se aprecia como la zona estudiada no sufre una excesiva presencia del efecto colina ya que al estar situada cerca del Valle de Ebro y ser una zona más rural no se ve afectada en gran medida por este efecto. Sin embargo, en la figura también se puede observar cómo hay algún parque ubicado en la zona que si se beneficia de este efecto siendo de gran interés su estudio más profundo a la hora de instalar un parque eólico.

Por otra parte, cabe mencionar que pese a los beneficios que tiene este efecto en cuanto a la producción energética también es más costosa la instalación y la implantación del parque en una

zona del tipo colina que en una zona más llana y donde el acceso para la obra y mantenimiento sea más sencillo.

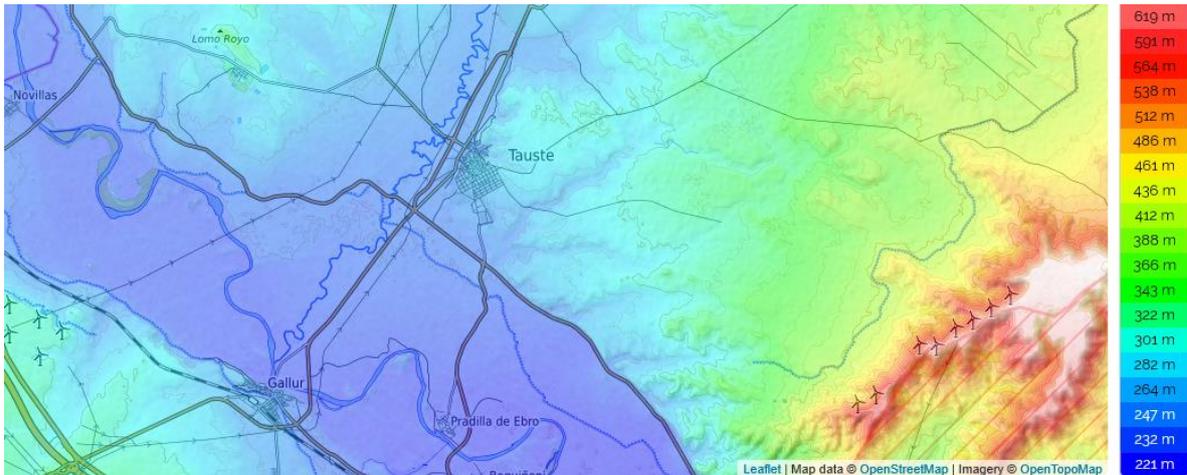


Figura 33. Mapa líneas de nivel (m) en el municipio de Tauste. Fuente: Topographic-map [17].

## 6.2 DISPOSICIÓN DE LOS AEROGENERADORES

En este apartado se va a estudiar cómo se va a realizar la instalación de los aerogeneradores en el terreno estudiado. Teniendo en cuenta todo lo anterior y conociendo las características del viento y del terreno de la zona el área donde se va a instalar el parque deberá contar con una distancia de unos 1.300 metros para la primera fila y unos 1.150 metros para la segunda fila teniendo en cuenta que para la primera fila se dispondrán 8 aerogeneradores y para la segunda fila 7 aerogeneradores.

Por otra parte, la distancia entre las filas será la anteriormente comentada de unos 400 metros para evitar el efecto parque. Además, se debe tener en cuenta también las distancias mínimas a respetar respecto a los núcleos urbanos y a las vías de circulación establecidas en el PER 2011-2020. En la figura 34 se muestra el área seleccionada para la instalación del parque eólico situada al oeste de Tauste y al sureste de Santa Engracia. Mas adelante se procederá a la ubicación exacta de los aerogeneradores y las distancias respecto a lo mencionado.



Figura 34. Ubicación del parque eólico. Fuente: Google Maps [18].

Una vez es conocida la ubicación exacta del parque se procede a estudiar la ubicación exacta de los aerogeneradores respetando todo lo anteriormente mencionado. Dado que el área seleccionada sin restricciones de ningún tipo cuenta con una superficie igual a 15 km<sup>2</sup> se puede tomar una distancia respecto a los núcleos urbanos y respecto a las vías de circulación superior a la mínima para cumplir con los requisitos establecidos, así como para la distancia entre aerogeneradores calculada previamente.

Por otra parte, si se recuerda lo analizado en el capítulo de caracterización del viento la dirección dominante de este era proveniente del Noroeste por lo que la ubicación en la direccionalidad de las filas de aerogeneradores será en este sentido para tener un aprovechamiento óptimo de la energía del viento. En la figura 35 se realiza la propuesta para la ubicación de los aerogeneradores en la zona de terreno seleccionada anteriormente teniendo en cuenta todo lo explicado y las características del terreno.

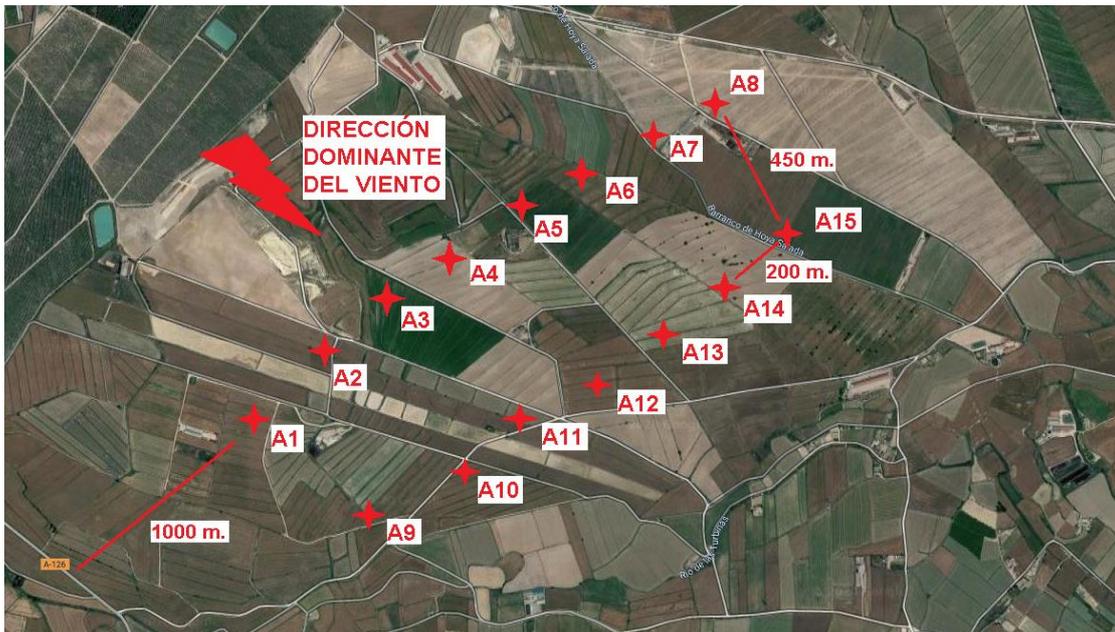


Figura 35. Ubicación de los aerogeneradores en el parque eólico. Fuente: Google Maps [18].

A continuación, en la tabla 14 se muestran las coordenadas de latitud y longitud de cada aerogenerador para conocer en profundidad la ubicación exacta de cada máquina a instalar.

|               |           |           |           |           |           |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Aerogenerador | 1         | 2         | 3         | 4         | 5         |
| Latitud       | 41.924013 | 41.926440 | 41.927940 | 41.929313 | 41.930910 |
| Longitud      | -1.318916 | -1.315933 | -1.312543 | -1.309282 | -1.306192 |
| Aerogenerador | 6         | 7         | 8         | 9         | 10        |
| Latitud       | 41.932091 | 41.933719 | 41.934637 | 41.920588 | 41.922121 |
| Longitud      | -1.302930 | -1.300012 | -1.297721 | -1.313214 | -1.308879 |
| Aerogenerador | 11        | 12        | 13        | 14        | 15        |
| Latitud       | 41.923909 | 41.925027 | 41.926751 | 41.927900 | 41.929465 |
| Longitud      | -1.305789 | -1.302485 | -1.299567 | -1.296520 | -1.293687 |

Tabla 14. Coordenadas de los 15 aerogeneradores del parque. Fuente: Google Maps [18].

### 6.3 CÁLCULO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR EL PARQUE

En este apartado se va a calcular la energía real que se producirá en el parque. Para ello se aplican una serie de pérdidas contrastadas para este tipo de parques eólicos entre las que se encuentran las pérdidas aproximadas por el efecto parque, las pérdidas por disponibilidad que viene a ser básicamente por el mantenimiento de los aerogeneradores, las pérdidas eléctricas y por últimos las diferentes pérdidas que se puedan producir por otros factores.

Entonces, conociendo la energía bruta producida por cada aerogenerador para las condiciones del parque estudiadas y su ubicación y conociendo también las diferentes pérdidas se puede resumir en la tabla 15 como quedaría el cálculo de la energía producida por el parque.

|  |             |
|--|-------------|
| Potencia unitaria (MW)   | 2           |
| Número de aerogeneradores                                      | 15          |
| Potencia del parque (MW)                                       | 30          |
| Energía bruta producida anualmente por aerogenerador (kWh/año) | 7.669.210   |
| Energía bruta producida anualmente por el parque (kWh/año)     | 115.038.150 |
| Pérdidas efecto parque = 4,5% Energía bruta (kWh/año)          | 5.176.716   |
| Pérdidas por disponibilidad = 12% Energía bruta (kWh/año)      | 13.804.578  |
| Pérdidas eléctricas = 1% Energía bruta (kWh/año)               | 1.150.381   |
| Pérdidas varias = 4% Energía bruta (kWh/año)                   | 4.601.526   |
| Energía neta producida anualmente por el parque (kWh/año)      | 90.304.950  |
| Horas equivalentes   | 3.010,5     |
| Factor de carga  | 0,345       |

**Tabla 15. Cálculo de los valores relevantes en la producción energética del parque.**

Los valores obtenidos para el factor de carga y para el número de horas equivalentes son los habituales para un proyecto de energía eólica rentable.

## **CAPÍTULO 7. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL**

En este capítulo se llevará a cabo un estudio de impacto ambiental en el que se evaluarán los diferentes efectos y repercusiones que puedan aparecer en el medio ambiente tras la implantación del parque eólico en el lugar elegido y sus alrededores. Para comenzar se realizará una descripción del proyecto que se va a llevar a cabo. Para caracterizar el estado del medio ambiente en la zona donde se realiza el proyecto, se lleva a cabo un inventario ambiental y con el fin de valorar los impactos del proyecto se hará uso de la matriz de Leopold. Se tendrá 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. Todo esto para conseguir el objetivo principal es tratar de minimizar esos efectos adoptando y repercusiones.

### **7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

El presente proyecto tiene como objetivo la construcción de un parque eólico de 30 MW en Tauste ubicado la provincia de Zaragoza. El parque estará compuesto por 15 aerogeneradores modelo G80/2000 de Gamesa de 100 metros de altura de torre. La producción estimada de energía por el parque será de 90.304.950 kWh/año.

### **7.2 INVENTRARIO AMBIENTAL**

En el inventario ambiental se realiza un inventario en el que se muestran las características de la zona bajo estudio con el objetivo de conocer sus peculiaridades y poder minimizar de esta manera los diferentes impactos negativos que puedan aparecer por la construcción del parque eólico, así como un listado de las especies de flora y fauna existentes en la zona.

#### **7.2.1 Climatología**

El clima predominante en el territorio municipal de Tauste es el clima templado y se clasifica como Cfb por el sistema Köppen-Geiger. La primera letra (C) indica que se encuentra dentro del grupo de los climas templados. La segunda (f) indica que el verano es suave. Y la tercera letra (b) indica que el verano es caluroso superándose los 10°C de media en el mes más cálido, pero sin llegar a los 22°C.

Es un clima oceánico propiamente dicho. La temperatura media del mes más cálido no llega a los 22°C pero se superan los 10°C durante cuatro o más meses al año. Es llamado clima oceánico o atlántico, templado y húmedo, y se da en las regiones occidentales de las grandes masas continentales: Norte de la Europa Occidental, y el Sur de Chile. También se puede encontrar en islas como las de Nueva Zelanda y casi toda la isla de Tasmania.

En cuanto a las precipitaciones, Tauste no es una región donde llueve mucho ya que los meses con el máximo de días con precipitaciones son diciembre y mayo. La temporada más seca dura entorno a tres meses que van desde mediados de junio hasta principios de octubre. La acumulación anual de precipitaciones es escasa con unos 513 mm al año.

En la figura 36 se puede apreciar un cierto periodo de sequía en los meses de verano siendo julio el mes más seco en esta región. 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.

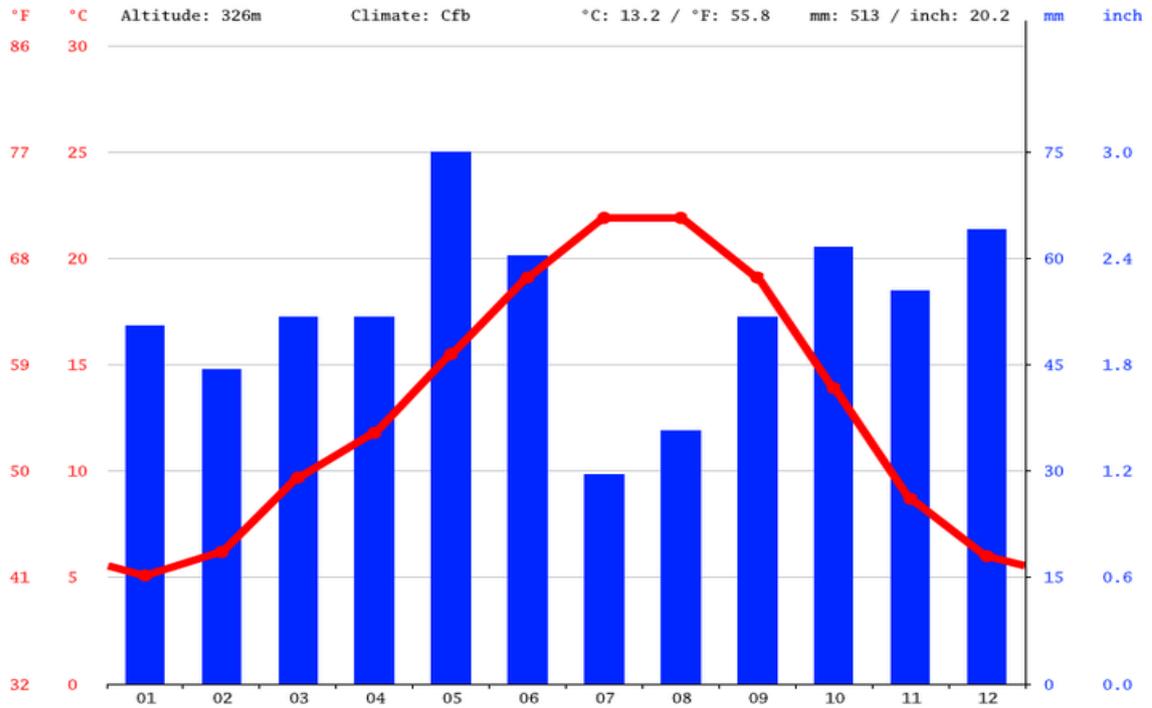


Figura 36. Climograma de Tauste. Fuente: Climate-Data.org [19].

### 7.2.2 Sismología

En la figura 37 se puede observar como la provincia de Zaragoza tiene un grado de sismicidad bastante bajo. En este territorio no se han registrado seísmos de gran magnitud. Es de gran interés tener en cuenta un factor como este a la hora de la implantación de un parque eólico.

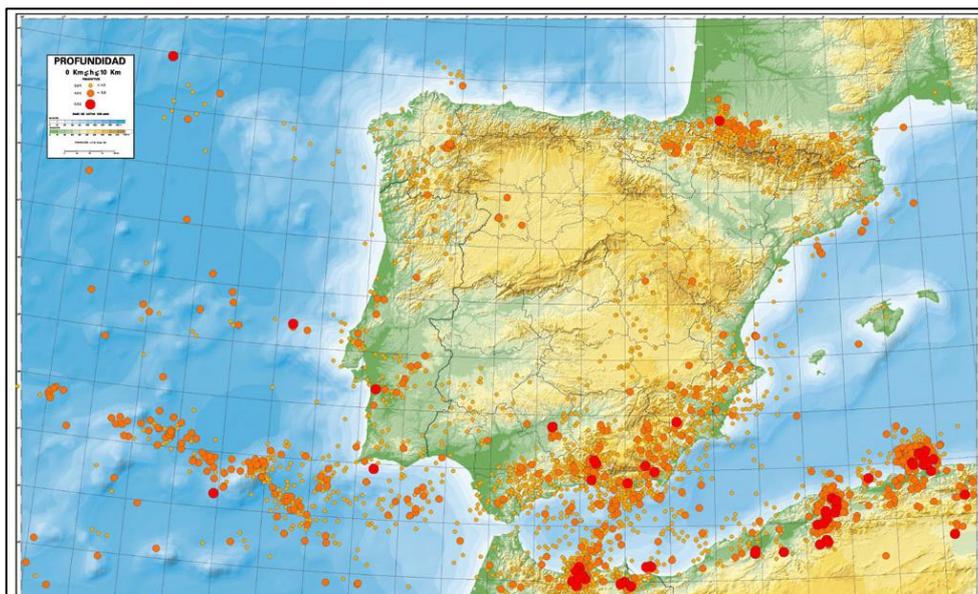


Figura 37. Mapa de sismicidad. Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN) [20].

### 7.2.3 Composición del suelo y relieve

En la figura 38, obtenida a partir del Instituto Geológico y Minero de España se presenta los diferentes tipos de composición del suelo a lo largo del municipio de Tauste, así como el relieve del municipio.

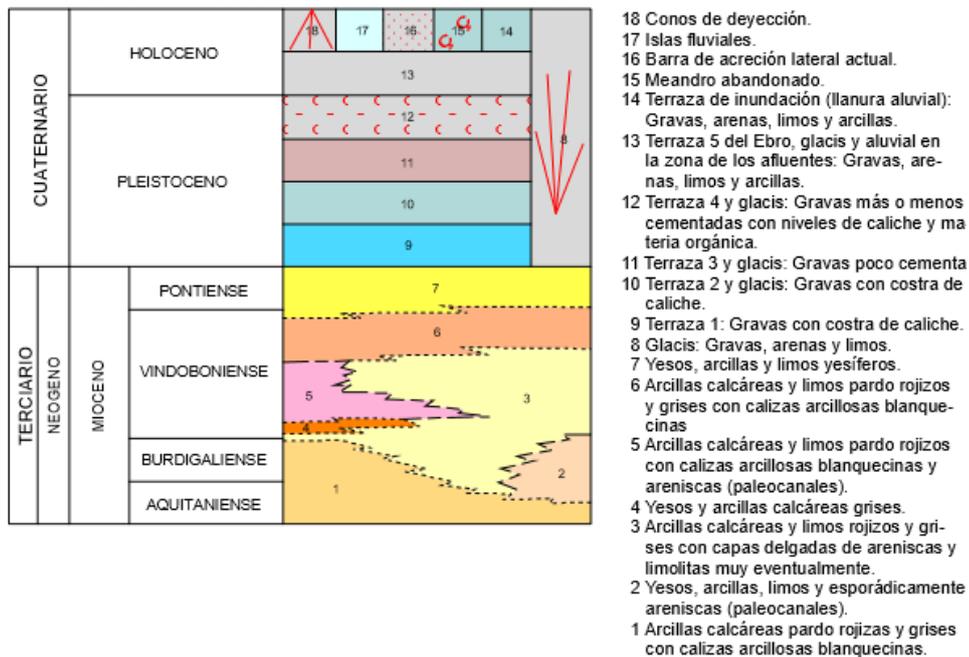
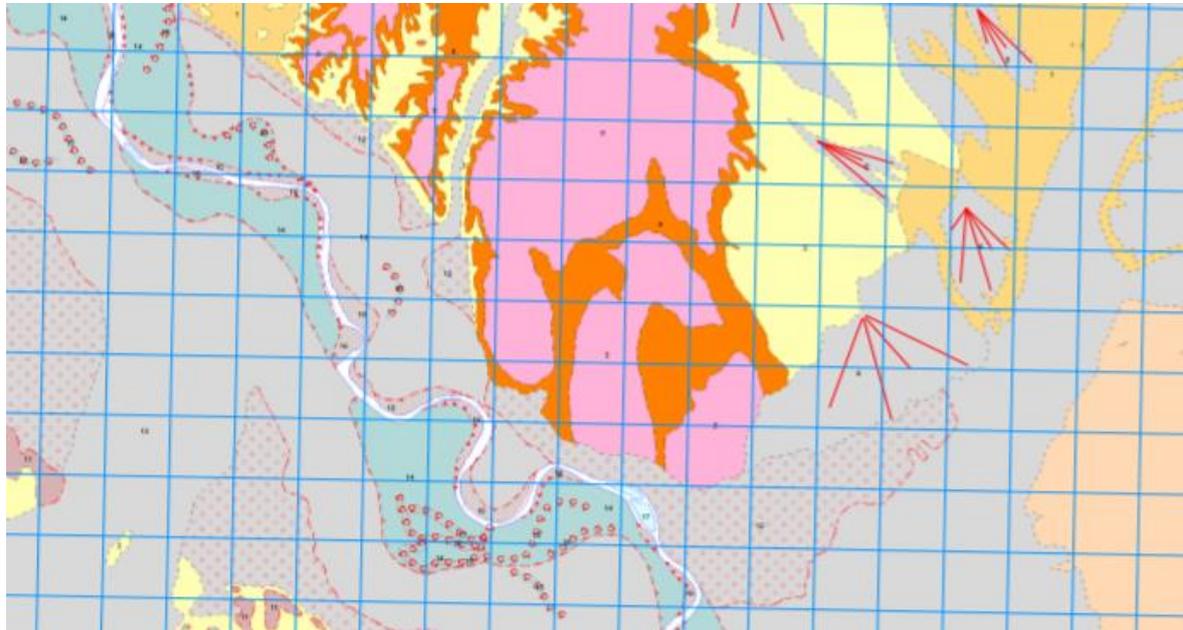


Figura 38. Mapa geológico de Tauste. Fuente: IMGE [20].

Se puede apreciar el predominio en la zona de suelo de tipo gravas, arena limos y arcillas donde en especial destacan las arcillas del tipo calcáreas y los limos pardos rojizos, así como los yesos y arcillas calcáreas grises.

Por lo que respecta a la orografía del área escogida, como se vio anteriormente, esta no es escarpada, situándose a cotas de nivel entre 450 y 500 metros.

#### **7.2.4 Usos de los suelos**

La zona escogida se caracteriza por estar ocupada en gran parte por tierras para el cultivo y agrupaciones de campo agrícolas. El ayuntamiento de Tauste [8] agrupa en tres grandes sectores los tipos de vegetación presentes en la zona: bosques, matorrales y pastizales.

#### **7.2.5 Fauna**

La fauna presente en el entorno del santuario como es la Bardena Negra es muy diversa debido a la variedad de hábitats existentes.

Existen numerosas especies de invertebrados en los diferentes hábitats de este territorio, destacando los caracoles, con tres especies con importancia antrópica por su interés culinario: el caracol blanco, la parda y en menor medida la papatierra, que viven en los espartales.

Las aves son el grupo más importante por el número de especies observables tanto nidificantes como en paso migratorio, pudiendo observarse una gran variedad de ellas. Destacan el grupo de las rapaces y el de las aves esteparias. Ambas constituyen comunidades que podemos situar entre las más ricas y diversas de Europa. En cuanto a los vertebrados fácilmente podemos encontrar las siguientes clases:

##### Anfibios

- Sapo común
- Sapo corredor
- Sapo de espuelas
- Sapillo moteado
- Rana común

##### Reptiles

- Lagarto ocelado
- Lagartija ibérica
- Lagartija colilarga
- Lagartija cenicienta
- Culebra de escalera
- Culebra lisa meridional
- Culebra bastarda

##### Aves

- Buitre leonado
- Alimoches
- Águila culebrera
- Búho real
- Gavilán
- Alcaraván
- Alondras
- Terreras
- Cogujadas
- Collalbas
- Alcaudón común

## Mamíferos

- Zorro
- Tejón
- Gineta
- Garduña
- Ratón de campo
- Lirón careto
- Musaraña
- Libres
- Conejos
- Jabalí

### 7.2.6 Flora

En este apartado, se muestra un listado de las plantas más destacables de zona seleccionada para el parque eólico. Como se ha explicado antes en el territorio predominan los campos de cultivo, los matorrales y pastizales. Se pueden clasificar de la siguiente forma:

#### Bosques

- Carrascas (*Quercus rotundifolia*)
- Quejigo (*Quercus faginea*)
- Arce de Montpellier (*Acer monspessulanus*)

#### Matorrales

- Pino carrasco
- Coscoja (*Quercus coccifera*)
- Sabina negral (*Juniperus phoenicea*)
- Romero
- Lentisco

#### Pastizales

- Tamarices
- Saladares
- Espartales

### 7.2.7 Espacios naturales

Como ya se vio en el apartado 4.2 de figuras ambientales la zona escogida para la instalación del parque eólico no se encuentra en ninguna zona protegida, por lo que no hay ningún tipo de restricción en este sentido.

### 7.2.8 Hidrología

Como se ha visto anteriormente el proyecto del parque eólico no interfiere en la red hidrológica de la comunidad de Aragón. Si bien es cierto que el municipio de Tauste cuenta con varios ríos siendo el Ebro el de mayor importancia la distribución elegida de los aerogeneradores dentro del parque respeta por completo el cauce y la distancia con todos ellos. Hay que destacar que las cuencas de

los ríos están ubicadas en altitudes más bajas que donde se va a implantar la instalación del parque eólico por lo que el impacto producido sobre ellas es casi inexistente.

### **7.2.9 Socioeconomía**

Según los datos aportados por el INE [23] en el año 2019, el municipio de Tauste tiene una población total de 6.912 habitantes. De esos habitantes, un total de 3.451 son hombres mientras que 3.461 son mujeres por lo que prácticamente la población está repartida en un 50% en cuanto a sexo se refiere. Por otro lado, la edad media de la población de Tauste es de 45,5 años, una media que está acorde con la de la provincia de Zaragoza que es 45,6 años.

En cuanto a economía se refiere Tauste cuenta con industrias y talleres especializados, preferentemente en maquinaria y derivados agrícolas, estando muchas de ellas ubicadas en el polígono industrial de «Las Rozas». También existe un parque eólico en el área conocida como «Planas de Pola». Mención especial merece la empresa Tauste Ganadera, la mayor explotación de ganado vacuno lechero de España y una de las mayores de Europa. Además de leche, comercializa quesos y enmienda húmica, un producto que aporta humus mejorando las propiedades del suelo. También es importante la producción agrícola existente en el municipio debido al alto número de campos de cultivos que hay en la zona.

La tasa de paro ha ido descendiendo en los últimos años hasta colocarse en el 2019 con una tasa total del 7,9% con un total de 270 parados registrados. Debido a la pandemia de la Covid-19 en junio de 2020 la tasa del paro ha crecido hasta un 9,74% con un total de 330 parados registrados.

## **7.3 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS**

Seguidamente, se realiza la identificación de las acciones que pueden llegar a producir impactos en el medio ambiente debido a la instalación del proyecto del parque. Los impactos van a ser agrupados según la fase de proyecto en la que aparezcan a lo largo de su vida. Estas fases son la fase de construcción, la fase de explotación y la fase de desmantelamiento.

### Fase de construcción

- Creación de accesos viales como carreteras y caminos
- Desbroce de los diferentes tipos de bosque, matorrales y pastizales.
- Movimientos de tierra y emisión de polvo
- Construcción de cimentaciones, aerogeneradores, líneas eléctricas y pavimentación.
- Circulación de camiones, automóviles y maquinaria para el transporte.
- Ruidos y vibraciones.

### Fase de explotación

- Circulación de camiones, automóviles y maquinaria para mantenimiento.
- Ruidos y vibraciones por el funcionamiento del parque eólico.
- Propia presencia de los aerogeneradores en el territorio.

#### Fase de desmantelamiento

- Desarme de los aerogeneradores y líneas eléctricas.
- Circulación de camiones, automóviles y maquinaria para desarme.
- Reacondicionamiento del terreno y reforestación.
- Movimiento de tierra y emisión de polvo.
- Ruidos y vibraciones.

### **7.4 FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS**

Una vez se conocen las acciones, hay que caracterizar los posibles elementos que se puedan ver alterados por las acciones anteriores. Se pueden clasificar en diferentes grupos que son los siguiente: características físicas y químicas, condiciones biológicas, factores culturales y relaciones ecológicas.

#### Características físicas y químicas

- **Atmosfera:** Aunque la energía que generan los aerogeneradores de un parque eólico es limpia existen una serie de factores que implican una emisión de gases a la atmosfera como pueden ser los automóviles y maquinarias presentes a lo largo de la vida de un parque.
- **Tierra:** El terreno de la zona se verá afectado por los diferentes procesos que se dan lugar en la instalación del parque. Estos procesos pueden ser la cimentación de los aerogeneradores o la pavimentación del terreno.
- **Procesos:** El continuo uso de maquinaria pesada y camiones a lo largo de la vida del parque puede provocar degradaciones en el suelo como la erosión.
- **Confort sonoro:** Durante el funcionamiento del parque se verá incrementado el nivel de ruido de la zona. Este ruido es causado principalmente por las palas. Además de esto, en una zona tranquila como Tauste el aumento del tránsito de vehículos como camiones y maquinaria pesada puede hacer que aumente en cierta medida el nivel de ruido.
- **Agua:** Puede ser que se dé lugar a filtraciones en la cimentación de los aerogeneradores que alcancen diferentes aguas subterráneas deteriorando la calidad de estas.

#### Condiciones biológicas

- **Flora:** Para la instalación del parque eólico será necesario el acondicionamiento del terreno mediante la tala de las diferentes especies de flora presentes en la zona seleccionada. Hay que destacar que al finalizar el proyecto se realizara una labor de reacondicionamiento para este aspecto.
- **Fauna:** La anterior mencionada perdida de vegetación puede repercutir en la fauna presente en la zona haciendo que el número de especies disminuya notablemente. También cabe destacar que el aumento en el nivel del ruido que supone la implantación de un parque eólico puede hacer que muchas especies abandonen el lugar. Por lo que respecta a las aves, es frecuente un aumento en el número de muertes debido al choque con las palas de los aerogeneradores.

#### Factores culturales

- Explotación de las tierras: Muchas de las tierras de cultivo presentes en la zona pueden verse afectadas por la implantación del parque dejando de producir sus frutos.
- Empleo: La construcción y mantenimiento de un parque eólico supone un gran despliegue a la hora de contratar trabajadores. Esto supone un aumento en los puestos de trabajo a los que pueden optar gente de la comarca produciéndose de esta manera una inyección de capital en la zona.
- Interés estético: La capacidad a nivel estético de los paisajes de la zona se verá afectada por la implantación de los aerogeneradores de 100 metros de altura.
- Facilidades y actividades humanas: A la hora de transportar material para la obra y la instalación del parque es obvio que la red de transporte se va a ver modificada. También en la fase de desmantelamiento los vertederos cercanos van a recibir gran cantidad de residuos que no se pueden reciclar.

#### Relaciones ecológicas

- Cadena trófica: Las modificaciones de las que se han hablado a nivel de flora y fauna podrían suponer un aumento o disminución del número de especies presentes en el territorio pudiendo afectar de esta forma a la cadena trófica de la zona.

### **7.5 EVALUACIÓN DE IMPACTOS. MATRIZ DE LEOPOLD**

Ahora es importante poner en relación todo lo mencionado anteriormente y evaluar conjuntamente los posibles impactos que tiene la ejecución del proyecto del parque eólico. Para ello se construirá una matriz relacional de tipo causa-efecto denominada matriz de Leopold.

La matriz de Leopold coloca en el eje horizontal las acciones y procesos que causan un impacto ambiental en el territorio de la instalación del parque y en el eje vertical los diferentes elementos y/o características ambientales que puedan llegar a verse afectadas por dichas acciones y procesos. En cada interacción de una acción con una característica ambiental se coloca una barra diagonal que divide en dos la casilla. De modo que, en la parte superior izquierda, se coloca un número entre 1 y 10 para indicar la magnitud del posible impacto (10 representa la máxima magnitud y 1 la mínima). Delante de esta calificación, se pone un signo positivo o negativo según si el impacto es beneficioso o perjudicial para los factores estudiados. En la esquina inferior derecha de la casilla se coloca un número entre 1 y 10 para indicar la importancia o intensidad del posible impacto (10 representa la máxima importancia y 1 la mínima). Cabe destacar que es una evaluación subjetiva por lo que puede que no todo el mundo esté de acuerdo con las calificaciones otorgadas.

Cuando se finalice la construcción de las diferentes matrices se realizará la suma de todas las magnitudes presentes en las casillas y de todas las intensidades presentes en las casillas. Se realizará lo mismo para todas las columnas. La suma de las diferentes filas que forman la matriz indica la fragilidad del elemento ambiental considerado y la suma de las diferentes columnas indica la agresividad que tiene cada acción. Por último, se realiza la suma de magnitudes e intensidades de cada categoría en las que se han agrupado las condiciones ambientales y los procesos. Con el resultado obtenido, se llega a las acciones del proyecto que más afectan al medio y las condiciones ambientales que se ven más dañadas. Esto permite buscar soluciones a medida para minimizar o solucionar los impactos del proyecto.

Se va a realizar tres matrices diferentes de Leopold para la evaluación de los impactos. Esto se debe a que como se ha visto anteriormente cada fase tiene acciones y procesos diferentes por lo que el medio no se verá afectado de igual manera (Tablas 16, 17 y 18).

| ELEMENTOS AMBIENTALES              |                              |                    | ACCIONES Y PROCESOS        |   |                            |                           |  |                                |                               |                                   |                         |   |                      | Evaluaciones |        |
|------------------------------------|------------------------------|--------------------|----------------------------|---|----------------------------|---------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---|----------------------|--------------|--------|
|                                    |                              |                    | Creación de accesos viales | Pavimentación y reacondicionamiento del suelo | Modificaciones del hábitat | Desbroce de la vegetación | Movimientos de tierra y emisión de polvo | Montaje de los aerogeneradores | Construcción de cimentaciones | Construcción de líneas eléctricas | Circulación automóviles | Circulación de camiones y maquinaria pesada | Ruidos y vibraciones |              |        |
| Características físicas y químicas | Tierra                       | Suelos             | -4/3                       | -3/2  |                            |                           | -3/2                                     |                                | -1/2                          | -1/1                              | -1/2                    | -5/2  |                      | -18/14       | -30/28 |
|                                    |                              | Forma del terreno  | -2/2                       | -2/4  |                            |                           | -3/2                                     |                                | -2/1                          | -1/2                              | -1/1                    | -1/2  |                      | -12/14       |        |
|                                    | Atmósfera                    | Calidad            |                            |   |                            |                           |  |                                |                               |                                   | -3/2                    | -6/3  |                      | -9/5         | -9/5   |
|                                    |                              | Procesos           | Erosión                    |   |                            |                           |  |                                |                               |                                   | -2/1                    | -4/5  |                      | -6/6         | -6/6   |
|                                    | Confort sonoro               | Sonido             | -1/2                       | -1/1  |                            |                           |  |                                | -1/1                          | -1/2                              | -1/2                    | -4/2  | -2/3                 | -11/13       | -11/13 |
|                                    | Agua                         | Filtraciones       |                            |   |                            |                           |  |                                | -2/1                          |                                   |                         |   |                      | -2/1         | -2/1   |
| Condiciones biológicas             | Flora                        | Bosques            |                            |   | -3/1                       | -3/2                      |  |                                |                               |                                   |                         |   |                      | -6/3         | -24/22 |
|                                    |                              | Matorrales         |                            |   | -4/5                       | -6/5                      |  |                                |                               |                                   |                         |   |                      | -10/10       |        |
|                                    |                              | Pastizales         |                            |   | -3/4                       | -5/5                      |  |                                |                               |                                   |                         |   |                      | -8/9         |        |
|                                    | Fauna                        | Anfibios           |                            |   | -3/2                       |                           | -2/1                                     |                                |                               |                                   |                         |   | -2/1                 | -7/4         | -42/38 |
|                                    |                              | Reptiles           |                            |   | -4/4                       |                           | -3/2                                     |                                |                               |                                   |                         |   | -2/2                 | -9/8         |        |
|                                    |                              | Aves               |                            |   | -4/3                       |                           | -1/2                                     |                                |                               |                                   |                         |   | -2/3                 | -7/8         |        |
|                                    |                              | Mamíferos          |                            |   | -6/5                       |                           | -4/5                                     |                                |                               |                                   |                         |   | -3/4                 | -13/14       |        |
|                                    |                              | Insectos           |                            |   | -1/1                       |                           | -3/2                                     |                                |                               |                                   |                         |   | -2/1                 | -6/4         |        |
| Factores culturales                | Explotación tierras          | Agricultura        | -4/2                       | -2/1  |                            |                           |  | -2/2                           | -3/3                          |                                   |                         |   |                      | -11/8        | -11/8  |
|                                    |                              | Salidas al campo   | -2/2                       | -1/1  |                            | -1/2                      |  |                                | -2/1                          |                                   |                         |   | -2/2                 | -8/8         | -36/30 |
|                                    | Interés estético y humano    | Calidad vida rural | -2/2                       |   |                            |                           | -3/2                                     | -1/2                           | -3/2                          |                                   | -2/3                    | -4/2  |                      | -15/13       |        |
|                                    |                              | Paisajes           |                            |   |                            | -4/4                      |  | -6/3                           | -3/2                          |                                   |                         |   |                      | -13/9        |        |
|                                    |                              | Economía           | Empleo                     | 6/5   | 4/4                        |                           | 3/4                                      | 7/4                            | 6/4                           | 7/5                               |                         |   |                      | +33/26       | +33/26 |
|                                    | Servicios e infraestructuras | Red de transportes | -4/1                       |   |                            |                           |  |                                |                               |                                   |                         | -4/2  |                      | -8/3         | -8/3   |
| Vertedero                          |                              |                    |                            |   |                            |                           |  |                                |                               |                                   |                         |   |                      | 3/3          |        |
| Relaciones ecológicas              | Cadena trófica               |                    |                            | -2/4  |                            |                           |  |                                |                               |                                   |                         |   | -2/4                 | -2/4         |        |
| Evaluaciones                       |                              |                    | -13/19                     | -5/13   | -30/29                     | -16/22                    | -22/18                                   | 0/9                            | -2/11                         | -7/18                             | -8/8                    | -26/19                                      | -19/18               | -148/184     |        |

Tabla 16. Matriz de Leopold para la fase de construcción.

| ELEMENTOS AMBIENTALES \ ACCIONES Y PROCESOS |                           |                    | Movimientos de tierra y emisión de polvo | Funcionamiento de los aerogeneradores | Circulación automóviles | Circulación de camiones y maquinaria pesada | Gestión y control de la vida natural | Ruidos y vibraciones | Evaluaciones |     |     |
|---|---------------------------|--------------------|--|---------------------------------------|-------------------------|---|--------------------------------------|----------------------|--------------|-----|-----|
|   |                           |                    |  |                                       |                         |   |                                      |                      |              |     |     |
| Características físicas y químicas          | Tierra                    | Suelos             | -1                                       | 1                                     |                         | -2  | 1                                    |                      |              | -3  | -4  |
|   |                           | Forma del terreno  |  |                                       |                         | -1  | 1                                    |                      |              | -1  | 3   |
|   | Atmósfera                 | Calidad            |  |                                       | -3                      | -5  | 2                                    |                      |              | -8  | -8  |
|   |                           | Procesos           | Erosión                                  |                                       |                         | -1  | -1                                   | 1                    |              | -2  | -2  |
|   | Confort sonoro            | Sonido             |  | -6                                    | -1                      | -3  |                                      | -2                   |              | -12 | -12 |
|   |                           |                    |  | 3                                     | 2                       | 2   | 2                                    | 2                    | 9            | 9   |     |
| Agua  | Filtraciones              |                    |  |                                       |                         |   |                                      |                      |              |     |     |
| Condiciones biológicas                      | Flora                     | Bosques            |  |                                       |                         | 2   | 2                                    |                      |              | +2  | +13 |
|   |                           | Matorrales         |  |                                       |                         | 5   | 4                                    |                      |              | +5  |     |
|   |                           | Pastizales         |  |                                       |                         | 6   | 4                                    |                      |              | +6  | 10  |
|   | Fauna                     | Anfibios           |  |                                       |                         | 3   | -1                                   | 2                    |              | +2  | +1  |
|   |                           | Reptiles           |  |                                       |                         | 4   | -4                                   | 5                    |              | 0   | 7   |
|   |                           | Aves               | -2                                       | 7                                     |                         | 5   | -4                                   | 2                    |              | -1  | 11  |
|   |                           | Mamíferos          |  |                                       |                         | 4   | -3                                   | 2                    |              | +1  | 5   |
|   |                           | Insectos           |  |                                       |                         | 1   | -2                                   | 1                    |              | -1  | 2   |
| Factores culturales                         | Explotación tierras       | Agricultura        |  |                                       |                         |   |                                      |                      |              |     |     |
|   | Interés estético y humano | Salidas al campo   | -1                                       | 2                                     | -3                      | -5  | -2                                   | -2                   |              | -11 | -22 |
|   |                           | Calidad vida rural | -3                                       | 1                                     | -5                      | 2   | 5                                    | -3                   | 3            | -6  | 9   |
|   |                           | Paisajes           |  |                                       | -5                      | 3   |                                      |                      |              | -5  | 3   |
|   | Economía                  | Empleo             |  | 7                                     | 5                       |   | 6                                    | 4                    |              | +13 | +13 |
| Servicios e infraestructuras                | Red de transportes        |                    |  |                                       |                         |   |                                      |                      |              |     |     |
|   | Vertedero                 |                    |  |                                       |                         |   |                                      |                      |              |     |     |
| Relaciones ecológicas                       | Cadena trófica            | Cadena trófica     |  |                                       |                         |   |                                      |                      |              |     |     |
| Evaluaciones                                |                           |                    | -5                                       | -11                                   | -8                      | -17   | +41                                  | -21                  |              | -21 | 87  |
|   |                           |                    | 4  | 20                                    | 7                       | 9   | 28                                   | 19                   |              |     |     |

Tabla 17. Matriz de Leopold para la fase de explotación.

| ELEMENTOS AMBIENTALES \ ACCIONES Y PROCESOS |                     |                     | Reciclaje de residuos | Reposición de la vegetación | Desarme de los aerogeneradores | Desarme de líneas eléctricas | Circulación automóviles | Circulación de camiones y maquinaria pesada | Ruidos y vibraciones | Evaluaciones |     |
|---|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|---|----------------------|--------------|-----|
|   |                     |                     |                       |                             |                                |                              |                         |   |                      |              |     |
| Características físicas y químicas          | Tierra              | Suelos              |                       |                             |                                |                              | -3                      | -5  |                      | -8           | -10 |
|   |                     | Forma del terreno   |                       |                             |                                |                              | -1                      | -1  | 3                    | 5            | 9   |
|   | Atmósfera           | Calidad             |                       |                             |                                |                              | -2                      | -5  |                      | -7           | -7  |
|   |                     | Erosión             |                       |                             |                                |                              | -2                      | -4  | 3                    | 5            | 5   |
|   | Confort sonoro      | Sonido              |                       |                             |                                |                              | -1                      | -3  | -2                   | -6           | -6  |
|   |                     | Filtraciones        |                       |                             |                                |                              | 2                       | 2   | 3                    | 4            | 4   |
| Condiciones biológicas                      | Flora               | Bosques             | 2                     |                             |                                |                              |                         |   |                      | +2           | +13 |
|   |                     | Matorrales          | 6                     |                             |                                |                              |                         |   |                      | +6           | 8   |
|   |                     | Pastizales          | 5                     |                             |                                |                              |                         |   |                      | +5           |     |
|   | Fauna               | Anfibios            | 1                     |                             |                                |                              |                         |   | -2                   | -1           | -5  |
|   |                     | Reptiles            | 1                     |                             |                                |                              |                         |   | -2                   | -1           |     |
|   |                     | Aves                |                       |                             |                                |                              |                         |   | -2                   | -2           |     |
|   |                     | Mamíferos           | 2                     |                             |                                |                              |                         |   | -4                   | -2           |     |
|   | Insectos            |                     | 2                     |                             |                                |                              |                         |   | -1                   | +1           | 18  |
|   |                     |                     | 2                     |                             |                                |                              |                         |   | 1                    | 3            |     |
|   | Factores culturales | Explotación tierras | Agricultura           |                             | -2                             | -2                           |                         |   |                      |              | -4  |
| Salidas al campo                            |                     |                     | 1                     | -2                          | -2                             |                              |                         | -2  |                      | -5           | 2   |
| Interés estético y humano                   |                     | Calidad vida rural  |                       | -1                          | -3                             | -3                           | -4                      | -4  |                      | -15          | -17 |
|   |                     | Paisajes            |                       | 2                           | 1                              | 2                            | 2                       | 3   | 2                    | +3           | 23  |
| Economía                                    |                     | Empleo              | 5                     | 6                           | 5                              |                              |                         |   | +16                  | +16          |     |
| Servicios e infraestructuras                |                     | Red de transportes  |                       |                             |                                |                              | -5                      | -4  |                      | -9           | -12 |
|   | Vertedero           | -3                  |                       |                             |                                |                              |                         |   | -3                   | 9            |     |
| Relaciones ecológicas                       | Cadena trófica      |                     |                       |                             |                                |                              |                         |   |                      |              |     |
| Evaluaciones                                |                     |                     | -3                    | +25                         | +3                             | -1                           | -17                     | -26   | -19                  | -38          | 98  |
|   |                     |                     | 4                     | 20                          | 11                             | 12                           | 12                      | 20  | 19                   |              |     |

Tabla 18. Matriz de Leopold para la fase de desmantelamiento.

Como se puede observar en las tablas anteriores, se ha añadido una columna y una fila adicional para realizar el sumatorio de cada una de las acciones o procesos y de cada uno de los elementos ambientales, con el objetivo de conocer los causantes de un mayor impacto ambiental y cuáles son los factores ambientales más afectados por el proyecto. Al ser una aproximación, no se ha tenido en cuenta la duración de cada una de las fases estudiadas y por lo tanto no se puede realizar una ponderación que muestre como varían realmente los diversos factores.

En la fase de construcción (Tabla 16) los elementos ambientales más frágiles son el suelo y el terreno, el interés estético y humano (calidad de la vida silvestre y el paisaje) y la flora y la fauna. También cabe destacar que como factor positivo importante será la generación de empleo y movimiento económico en la zona del proyecto ya que se necesitará mucho material y mano de obra que puede ser facilitada por trabajadores de la comarca. En cuanto a las acciones más agresivas en esta fase se refiere hay que hacer especial mención al desbroce de la vegetación, la modificación del hábitat, los ruidos y vibraciones de la zona, la continua circulación de camiones y maquinaria pesada y el movimiento de tierras y emisión de polvo.

En la fase de explotación (Tabla 17) uno de los elementos ambientales más afectados será el interés estético y humano ya que una vez este el parque en funcionamiento la envergadura de los aerogeneradores afectará en gran medida al paisaje y a la calidad de vida de la zona rural. Por otra parte, el confort sonoro de la zona empeorará debido a la gran cantidad de sonido que hacen los aerogeneradores al estar funcionando. Al igual que en la fase anterior, el mantenimiento del parque y el control del mismo, así como la gestión de la vida natural de la zona afectará al empleo y a la necesidad de contar con una cantidad mayor de trabajadores. Por último, las acciones y procesos más determinantes serán como se ha mencionado antes el ruido y las vibraciones y el funcionamiento de los propios aerogeneradores.

Por último, en la fase de desmantelamiento del parque (Tabla 18) se puede apreciar como los elementos ambientales que resultarán más beneficiados son la flora y el empleo. Esto se debe en gran parte a la reposición de la vegetación que se realizara al finalizar el proyecto y en cuanto al empleo se refiere, al igual que en la fase de construcción, la continua necesidad de mano de obra y materiales para el desarme del parque hacen que sea necesaria la contratación de trabajadores para realizar el desmantelamiento. Al igual que en la primera fase la circulación de vehículos y maquinaria pesada y los ruidos y vibraciones son los principales procesos que afectan de forma más agresiva en el desmantelamiento del parque.

## **7.6 MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS**

### **7.6.1 Ruidos y vibraciones**

Pese a que en la fase de construcción y en la fase de desmantelamiento se hace muy difícil evitar este problema se va a buscar vehículos modernos que tengan un menor impacto sonoro, así como buscar maquinaria pesada específica de calidad que reduzca el ruido a la hora de su funcionamiento. Por otra parte, en la fase de explotación, cuando haya que realizar algún tipo de operación de mantenimiento se procurará emplear vehículos que afecten de menos manera a la calidad del confort sonoro de la zona. También hay que destacar que a la hora del funcionamiento de los aerogeneradores el modelo de aerogenerador seleccionado emplea un sistema para reducir el nivel de ruido de las palas.

### **7.6.2 Calidad de aire**

En cuanto a la calidad del aire se emplearán vehículos híbridos o eléctricos para reducir la cantidad de emisiones y partículas en la zona del proyecto. Es importante estar concienciados con el medio ambiente y al ser continuo el trasiego de vehículos en todas las fases del proyecto esta elección es muy importante para prevenir futuros problemas de contaminación.

### **7.6.3 Suelo y erosión**

Para reducir el impacto en este factor ambiental lo que se va a realizar es una reducción en la velocidad de los vehículos y la maquinaria que circule por las vías del terreno. Además, al finalizar el proyecto, en la fase de desmantelamiento, se procederá a la reconstrucción y recuperación de la forma y propiedades del terreno.

### **7.6.4 Impacto visual**

En un parque eólico es casi imposible reducir el impacto visual que se produce, pero se puede pintar los aerogeneradores de tal forma que se mimeticen con el entorno visual de la zona.

### **7.6.5 Flora**

Pese a que la implantación del proyecto del parque eólico significa un gran impacto en la flora del lugar durante la fase de explotación se realizará una continua gestión de la vida natural de la zona favoreciendo en gran medida al impacto producido sobre este grupo. Además, en la fase de desmantelamiento se va a proceder a la reconstrucción de la vegetación de la zona.

### **7.6.6 Fauna**

Al igual que con la flora pese a que la fauna de la zona se va a ver afectada en gran medida se van a realizar unas medidas de gestión de la vida natural del entorno para favorecer a este grupo tan afectado. Hay que destacar que las aves son el grupo más afectado en la fauna de la zona, pero con el fin de evitar este problema, se dotará a los aerogeneradores de un dispositivo desarrollado por el CSIC capaz de detectar si hay aves dirigiéndose hacia los aerogeneradores y detener de esta manera sus palas.

## CAPÍTULO 8. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

En este capítulo se llevará a cabo un estudio de viabilidad económica que determine en qué medida es rentable el proyecto. Para ello, se realizará la estimación de un presupuesto de manera aproximada, haciendo uso de la información que aporta el PER 2011-2020 [1]. Más tarde, se utilizará el programa informático RETScreen con el objetivo de simular las hipótesis con las diferentes tasas de inflación y financiación y así conocer los resultados obtenidos en base a estas variables.

### 8.1 COSTES INICIALES

En la siguiente tabla (Tabla 19) y mediante el uso de la información aportada por el PER 2011-2020 [1], se obtiene una estimación de los diferentes costes iniciales que va a tener el parque eólico. Además, se puede observar cada una de las partes que componen el desglose de los costes iniciales del proyecto. Por último, hay que destacar que se va a añadir un 5% adicional de contingencias a los costes iniciales para tener un margen por si aparece algún tipo de imprevisto.

|                                  | Porcentaje de inversión estimada (%) | Inversión (€)       |
|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------|
| 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 €           |
| Adicional                        | 5%                                   | 2.000.000 €         |
| <b>Total</b>                     |                                      | <b>42.000.000 €</b> |

**Tabla 19. Costes iniciales del proyecto.**

El PER 2011-2020 [1] incluye dentro de estos costes tanto el coste de transporte de los aerogeneradores como los costes de ingeniería y del estudio de factibilidad.

### 8.2 COSTES DE EXPLOTACIÓN

Los costes de explotación vienen dados por el mantenimiento de los aerogeneradores, en estos costes se incluyen también los sueldos de los trabajadores que participan, el transporte de los materiales y los diferentes componentes de repuesto. Según el PER 2011-2020 [1], los costes de explotación se estiman en 45.000 €/MW/año. Por tanto, en este parque de 30 MW, los gastos de explotación anuales se estiman en 1.350.000 €.

### 8.3 INGRESOS

La cantidad de ingresos que se perciban gracias a la producción de energía producida por los aerogeneradores se obtendrá a partir de la tarifa de exportación. Para el cálculo de esta tarifa se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Tarifa de exportación} = \frac{\text{Retribución Específica} + \text{Ingresos Producción Anual}}{\text{Energía Producida Anualmente}} \quad (19)$$

Dónde:

$$\text{Retribución Específica} = R_{inv} \cdot \text{Potencia instalada} + R_o \cdot \text{Energía Producida} \quad (20)$$

$$\text{Ingresos Producción Anual} = \text{Energía Producida} \cdot \text{Precio de mercado} \quad (21)$$

El valor de la retribución a la inversión ( $R_{inv}$ ) y la retribución a la operación ( $R_o$ ) vendrá marcado por el Real Decreto 413/2014, en el cual, para instalaciones del tipo eólico, 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 energética, como se vio anteriormente en el capítulo 6, de 90.304,95 MWh/año. Con todo esto y un precio estimado de mercado de 48,04 €/MWh en el año 2019 obtenemos que la tarifa de exportación es de 81,67 €/MWh.

### 8.4 ANÁLISIS DE EMISIONES

La energía eólica no emite gases de efecto invernadero durante la producción de energía ya que es una energía de fuente renovable y por tanto es limpia con el medio ambiente. Gracias al programa RETScreen se puede comparar con la producción de energía a partir de gas natural la cantidad de emisiones que se ahorra emitir a la atmosfera con la producción energética gracias a este proyecto. La cantidad total de emisiones evitadas con la implantación de este proyecto es de 34.675.8 tCO<sub>2</sub> lo que es equivalente a 6.351 automóviles y camiones livianos no utilizados a lo largo del año. El hecho de ser una energía limpia y no emitir gases de efecto invernadero permite vender derechos de emisión de este tipo de gases a otras empresas factor que aportará un mayor beneficio como se estudiará en el siguiente apartado.

### 8.5 ANÁLISIS FINANCIERO

Primeramente, se va a establecer la vida útil del parque eólico. Para ello y según el Real Decreto 413/2014 y conociendo el tipo de instalación que se está tratando que emplea la energía eólica como primaria estando instalada en tierra y con la tabla que aparece abajo (Tabla 20) extraída de la Orden IET/1045/2014 se fija una vida útil del proyecto en 20 años.

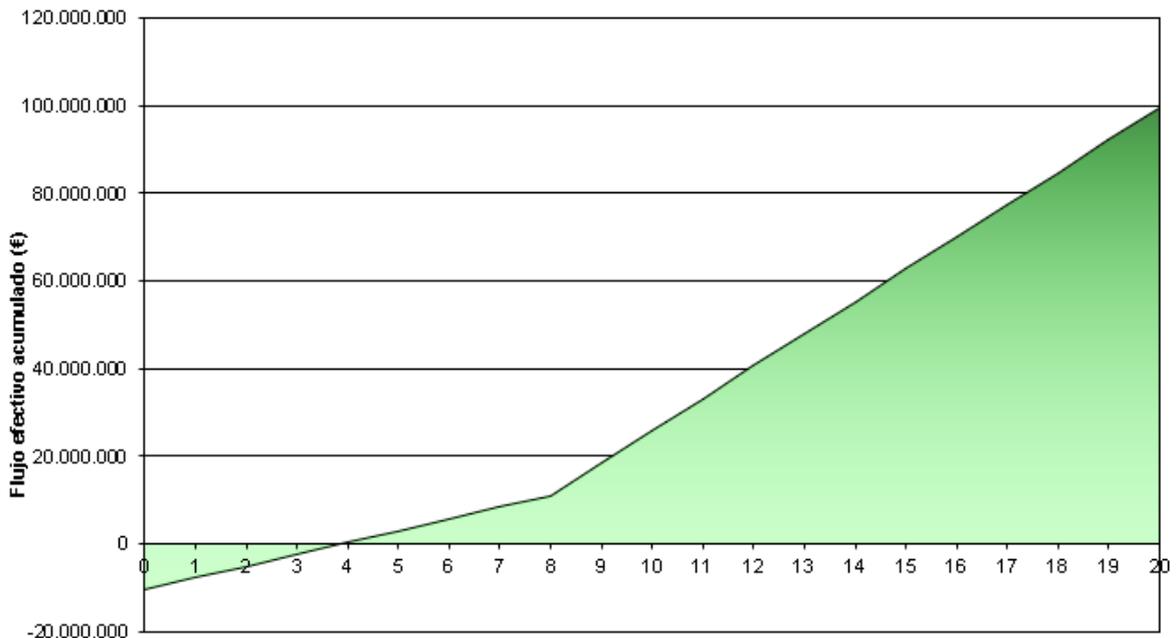
| Categoría | Grupo                    | Subgrupo             | Vida útil regulatoria (años) |
|-----------|--------------------------|----------------------|------------------------------|
| a)        | a.1                      | a.1.1, a.1.2 y a.1.3 | 25                           |
|           | a.2                      |                      | 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                           |

**Tabla 20. Vida útil según el tipo de instalación. Fuente: Orden IET/1045/2014.**

Ahora para el análisis financiero y gracias a la aplicación RETScreen que permite analizar diferentes marcos económicos se fija una tasa de inflación del 2.5% y una tasa de descuento del 4%. Para la parte de financiación del proyecto, se establece una relación de la deuda del 75% por lo que habrá que aportar un capital de 10.500.000€. Por otra parte, la tasa de interés de la deuda se fija en un 4% con una duración de 8 años.

Se conocen también gracias a la aplicación los ingresos anuales que se perciben por la producción energética y la exportación de electricidad. Estos ingresos ascienden a la cantidad de 7.374.935 €. Además, como se mencionó en el apartado anterior, hay que sumar a estos beneficios los que se obtendrán por la venta de derecho de emisiones. Según la web del Sendeco2 el precio de venta de los derechos de dióxido de carbono es 23.95 €/tCO<sub>2</sub> lo que supondría en este proyecto unos beneficios adicionales de 829.791,89 € anuales.

En la siguiente figura se representa el flujo de carga del proyecto haciendo referencia a las diferentes entradas y salidas de dinero (figura 39).



**Figura 39. Gráfico de flujo de carga acumulado. Fuente: RETScreen.**

Para estudiar la rentabilidad del proyecto se utilizan dos indicadores económicos que son el VAN y el TIR. El primero representa los ingresos generados en el proyecto descontando la inversión y los costes iniciales teniendo en cuenta el factor de descuento de actualización del dinero, si este es mayor que cero el proyecto resultará rentable. El segundo indicador es la tasa de descuento con la que el VAN se hace cero, es decir, cuanto mayor sea el TIR mayor será la rentabilidad del proyecto. Para el caso estudiado en el proyecto se obtienen los siguientes valores:

|                               |              |
|-------------------------------|--------------|
| Valor Actual Neto (VAN)       | 58.227.772 € |
| Tasa Interna de Retorno (TIR) | 30.6%        |

**Tabla 21. Valores del VAN y el TIR del proyecto. Fuente: RETScreen.**

Como se puede apreciar el proyecto resulta muy rentable ya que el Van es muy superior a cero y el TIR tiene un valor muy elevado.

## 8.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En este apartado se tienen en cuenta los factores económicos que hacen variar diversos indicadores económicos del proyecto y en qué cantidad afectan realmente a la parte financiera del proyecto. Estos factores van a ser estudiados mediante un análisis de sensibilidad de los costes iniciales y la tarifa de exportación. Se analiza como se ve el TIR alterado al variar estos dos factores (Tabla 22).

| Tarifa de exportación de electricidad<br>€/MWh |      | Costos iniciales |            |              |            | €          |
|--|------|------------------|------------|--------------|------------|------------|
|  |      | 29.400.000       | 35.700.000 | 42.000.000   | 48.300.000 | 54.600.000 |
|  |      | -30%             | -15%       | 0%           | 15%        | 30%        |
| 57,17  | -30% | 30,6%            | 21,5%      | 15,8%        | 11,8%      | 8,9%       |
| 69,42  | -15% | 43,2%            | 30,6%      | 22,8%        | 17,5%      | 13,8%      |
| 81,67  | 0%   | 57,0%            | 40,9%      | <b>30,6%</b> | 23,8%      | 18,9%      |
| 93,92  | 15%  | 71,4%            | 52,0%      | 39,3%        | 30,6%      | 24,5%      |
| 106,17   | 30%  | 86,2%            | 63,7%      | 48,6%        | 38,1%      | 30,6%      |

**Tabla 22. Análisis de sensibilidad sobre el TIR. Fuente: RETScreen.**

En la anterior tabla se puede observar cómo cuanto mayores son los costes iniciales y menor es la tarifa de exportación de electricidad menor rentabilidad va a tener el proyecto. Pero, por otra parte, si los costes iniciales del proyecto fueran menores y la tarifa de exportación aumentase se aprecia como la rentabilidad del proyecto aumenta. Pese a las altas variaciones entorno al 30% de ambos parámetros el proyecto sigue siendo rentable.

## CAPÍTULO 9. CONCLUSIONES

Para el diseño del parque se ha analizado el recurso eólico en la comarca de Cinco Villas ubicado en la provincia de Zaragoza resultando el municipio de Tauste como el más interesante a la hora de realizar la instalación de un parque eólico. Observándose las diferentes características de viento en dicho territorio como pueden ser la velocidad media anual y la direccionalidad del viento se ha concluido que es una zona idónea para la implantación del parque. Además, la direccionalidad del viento ha permitido la colocación de los aerogeneradores de forma que puedan rentabilizar en mayor grado la potencia que tiene el viento.

Más tarde, se han analizado varios modelos de aerogeneradores del mercado con el objetivo de escoger el más adecuado para su implantación en el parque. Finalmente, el modelo escogido ha sido el G80/2000 de Gamesa. La cantidad total de aerogeneradores instalada es de 15 situados a 100 metros de altura de torre. La estimación de energía neta producida por el parque es de 90.304.950 kWh/año con un factor de carga de 0,345.

Después, se ha realizado el estudio de impacto ambiental con el fin de analizar cómo afecta la implantación del proyecto a la zona escogida y a su entorno. Además de estudiar qué factores afectan y en que magnitud se han realizado varias propuestas de prevención para intentar reducir el impacto de estos factores sobre el entorno. Entre ellas destacan las medidas preventivas contra ruido y vibraciones, el suelo, la flora y la fauna. Esto se debe a la forma en la que afecta el proyecto al medio ambiente de la zona.

Por último, el análisis de viabilidad económica realizado ha demostrado que el parque eólico es un proyecto rentable. Esta conclusión se puede hacer gracias a los resultados obtenidos en los indicadores económicos. Estos resultados son un valor para el Valor Actual Neto (VAN) de 58.227.772 € y una Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) de 30.6%. También se ha realizado un pequeño análisis de sensibilidad sobre el TIR variando los costes iniciales y la tarifa de exportación de electricidad donde en el peor de los escenarios el TIR tendría un valor de 8.9%.

## CAPÍTULO 10. REFERENCIAS

- [1] Plan de Energías Renovables 2011-2020 (IDAE) (2020)
- [2] Comisión Europea (2020) [https://ec.europa.eu/info/policies/energy\\_es](https://ec.europa.eu/info/policies/energy_es)
- [3] PLAN ENERGETICO ARAGON 2013-2020 (2020)
- [4] Global Wind Energy Council (Acceso:28/04/2020) <https://gwec.net>
- [5] WindEurope (30/04/2020) <https://windeurope.org>
- [6] Asociación Empresarial Eólica (Acceso:30/04/2020) <https://www.aeeolica.org>
- [7] IRENA (Acceso: 24/04/2020) <https://www.irena.org/wind>
- [8] Ayuntamiento de Tauste (2020) <https://www.tauste.es>
- [9] Parques Nacionales y Naturales de España ((Acceso:14/05/20) <https://www.naturaspain.com>
- [10] Espacios Protegidos Aragón (Acceso:02/05/2020) <http://www.rednaturaldearagon.com>
- [11] Gobierno de Aragón (2020) <https://www.aragon.es/-/energia-2>
- [12] Global Wind Atlas (2020) <https://globalwindatlas.info>
- [13] Aerogenerador Vestas (Acceso:15/05/2020) [https://www.vestas.com/en/products/2-mw-platform/v100-2\\_0\\_mw](https://www.vestas.com/en/products/2-mw-platform/v100-2_0_mw)
- [14] Aerogenerador Goldwind, Gamesa y Enercon (Acceso:15/05/2020) <https://es.wind-turbine-models.com>
- [15] Aerogenerador Siemens Gamesa (Acceso:16/05/2020) <https://www.siemensgamesa.com/es-es/products-and-services/onshore/aerogenerador-sg-2-1-114>
- [16] Danish Wind Industry Association (2020) <https://www.windpower.org>
- [17] Coordenadas y Altitud (Acceso:26/04/2020) <https://www.coordenadas-gps.com>
- [18] Google Earth (2020). <https://www.google.com/intl/es/earth/>
- [19] Climate Data (Acceso : 15/05/20) <https://www.climate-data.org>
- [20] Instituto Geológico y Minero de España (2020) <https://info.igme.es>
- [21] Department of Energy (Acceso: 24/04/2020) <https://www.energy.gov>
- [22] Visor Cartográfico Aragón (Acceso:10/05/2020) <https://idearagon.aragon.es/visor>
- [23] Instituto Nacional de Estadística (INE, 2020) <https://www.ine.es>
- [24] Normativa Aerogeneradores (Acceso:28/04/2020) <https://www.une.org>

**Documento nº 2**  
**PRESUPUESTO**

## **SECCIÓN 1**

### **CAPÍTULO 1. AEROGENERADORES**

| <b>Código</b> | <b>Medición</b> | <b>Ud.</b> | <b>Descripción</b>  | <b>Precio unitario</b> | <b>Precio Total</b> |
|---------------|-----------------|------------|---|------------------------|---------------------|
| C1.1          | 15              | Ud.        | Aerogenerador marca Gamesa de 2.0 MW de potencia nominal modelo G80-2.0 MW. Diámetro de rotor 80 m y altura de torre 100 m. | 2.000.000€             | 30.000.000€         |
|               |                 |            |   |                        | 30.000.000 €        |

**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 €

### **CAPÍTULO 6. CONTINGENCIAS**

**TOTAL CAPÍTULO 5. CONTINGENCIAS** 2.000.000,00 €

### **RESUMEN PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN**

|  |                        |
|--|------------------------|
| 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 CAPÍTULO 6. CONTINGENCIAS                    | 2.000.000,00 €         |
| <b>TOTAL PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN</b>              | <b>42.000.000,00 €</b> |

## **SECCIÓN 2**

### **CAPÍTULO 1. PRECIOS DESCOMPUESTOS**

| <b>Número</b>     | <b>Magnitud</b> | <b>Descripción</b>                                 | <b>Cantidad</b> | <b>Precio Unitario</b> | <b>Subtotal</b> | <b>Importe</b> |
|-------------------|-----------------|--|-----------------|------------------------|-----------------|----------------|
| <b>Apartado 1</b> |                 | <b>Contextualización del estudio</b>               |                 |                        |                 | <b>771,38</b>  |
| Apartado 1.1      |                 | Búsqueda de Información                            |                 |                        |                 | 271,2          |
| 1.1.01            | h               | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales | 22              | 12                     | 264             |                |
| 1.1.02            |                 | Costes Directos Complementarios                    | 0,03            | 264                    | 7,2             |                |
| Apartado 1.2      |                 | Redacción técnica                                  |                 |                        |                 | 273            |
| 1.2.01            | h               | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales | 22              | 12                     | 264             |                |
| 1.2.02            |                 | Costes Directos Complementarios                    | 0,03            | 264                    | 9               |                |
| Apartado 1.3      |                 | Recursos empleados                                 |                 |                        |                 | 67,58          |
| 1.3.01            | Ud              | Licencia anual Microsoft Office profesional        | 1               | 65                     | 65              |                |
| 1.3.02            | kWh             | Electricidad                                       | 5               | 0,12                   | 0,6             |                |
| 1.3.03            |                 | Costes Directos Complementarios                    | 0,03            | 65,6                   | 1,98            |                |
| Apartado 1.4      |                 | Reunión de seguimiento                             |                 |                        |                 | 159,6          |
| 1.4.01            | h               | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales | 5               | 12                     | 60              |                |
| 1.4.02            | h               | Profesor tutor                                     | 6               | 16                     | 96              |                |
| 1.4.03            |                 | Costes Directos Complementarios                    | 0,03            | 156                    | 3,6             |                |

| Número            | Magnitud | Descripción   | Cantidad | Precio Unitario | Subtotal | Importe        |
|-------------------|----------|---|----------|-----------------|----------|----------------|
| <b>Apartado 2</b> |          | <b>Estudio de alternativas y cálculo de energía</b> |          |                 |          | <b>1980,68</b> |
| Apartado 2.1      |          | Búsqueda de información                             |          |                 |          | 642            |
| 2.1.01            | h        | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales  | 52       | 12              | 624      |                |
| 2.1.02            |          | Costes Directos Complementarios                     | 0,03     | 624             | 18       |                |
| Apartado 2.2      |          | Cálculos efectuados                                 |          |                 |          | 430,8          |
| 2.2.01            | h        | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales  | 35       | 12              | 420      |                |
| 2.2.02            |          | Costes Directos Complementarios                     | 0,03     | 420             | 10,8     |                |
| Apartado 2.3      |          | Redacción técnica                                   |          |                 |          | 594            |
| 2.3.01            | h        | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales  | 48       | 12              | 576      |                |
| 2.3.02            |          | Costes Directos Complementarios                     | 0,03     | 576             | 18       |                |
| Apartado 2.4      |          | Recursos empleados                                  |          |                 |          | 1,48           |
| 2.4.01            | kWh      | Electricidad  | 12       | 0,12            | 1,44     |                |
| 2.4.02            |          | Costes Directos Complementarios                     | 0,03     | 1,44            | 0,036    |                |
| Apartado 2.5      |          | Reunión de seguimiento                              |          |                 |          | 312,4          |
| 2.5.01            | h        | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales  | 12       | 12              | 144      |                |
| 2.5.02            | h        | Profesor tutor                                      | 10       | 16              | 160      |                |
| 2.5.03            |          | Costes Directos Complementarios                     | 0,03     | 304             | 8,4      |                |

| Número            | Magnitud | Descripción  | Cantidad | Precio Unitario | Subtotal | Importe        |
|-------------------|----------|--|----------|-----------------|----------|----------------|
| <b>Apartado 3</b> |          | <b>Impacto ambiental y viabilidad económica</b>    |          |                 |          | <b>1632,29</b> |
| Apartado 3.1      |          | Búsqueda de información                            |          |                 |          | 518,4          |
| 3.1.01            | h        | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales | 42       | 12              | 504      |                |
| 3.1.02            |          | Costes Directos Complementarios                    | 0,03     | 504             | 14,4     |                |
| Apartado 3.2      |          | Cálculos efectuados RETScreen                      |          |                 |          | 221,4          |
| 3.2.01            | h        | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales | 18       | 12              | 216      |                |
| 3.2.02            |          | Costes Directos Complementarios                    | 0,03     | 216             | 5,4      |                |
| Apartado 3.3      |          | Redacción técnica                                  |          |                 |          | 496,2          |
| 3.3.01            | h        | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales | 40       | 12              | 480      |                |
| 3.3.02            |          | Costes Directos Complementarios                    | 0,03     | 480             | 16,2     |                |
| Apartado 3.4      |          | Recursos empleados                                 |          |                 |          | 2,21           |
| 3.4.01            | kWh      | Electricidad                                       | 18       | 0,12            | 2,16     |                |
| 3.4.02            |          | Costes Directos Complementarios                    | 0,03     | 2,16            | 0,054    |                |
| Apartado 3.5      |          | Reunión de seguimiento                             |          |                 |          | 394,08         |
| 3.5.01            | h        | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales | 12       | 12              | 144      |                |
| 3.5.02            | h        | Profesor tutor                                     | 15       | 16              | 240      |                |
| 3.5.03            |          | Costes Directos Complementarios                    | 0,03     | 384             | 10,08    |                |

| Número            | Magnitud | Descripción  | Cantidad | Precio Unitario | Subtotal | Importe       |
|-------------------|----------|--|----------|-----------------|----------|---------------|
| <b>Apartado 4</b> |          | <b>Presupuesto</b>                                 |          |                 |          | <b>321,97</b> |
| Apartado 4.1      |          | Elaboración  |          |                 |          | 148,32        |
| 4.1.01            | h        | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales | 12       | 12              | 144      |               |
| 4.1.02            |          | Costes Directos Complementarios                    | 0,03     | 144             | 4,32     |               |
| Apartado 4.2      |          | Recursos empleados                                 |          |                 |          | 1,45          |
| 4.2.01            | kWh      | Electricidad                                       | 12       | 0,12            | 1,44     |               |
| 4.2.02            |          | Costes Directos Complementarios                    | 0,03     | 1,44            | 0,011    |               |
| Apartado 4.3      |          | Redacción técnica                                  |          |                 |          | 172,2         |
| 4.3.01            | h        | Graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales | 6        | 12              | 72       |               |
| 4.3.02            | h        | Profesor tutor                                     | 6        | 16              | 96       |               |
| 4.3.03            |          | Costes Directos Complementarios                    | 0,03     | 168             | 4,2      |               |

**CAPÍTULO 2. RESUMEN**

| Número       | Descripción                               | Importe        | %    |
|--------------|---|----------------|------|
| 1            | Contextualización del estudio             | 771,38         | 16,4 |
| 1.1          | Búsqueda de información                   | 271,2          | 5,8  |
| 1.2          | Redacción técnica                         | 273            | 5,8  |
| 1.3          | Recursos empleados                        | 67,58          | 1,4  |
| 1.4          | Reunión de seguimiento                    | 159,6          | 3,4  |
| 2            | Estudio de alternativas y cálculo energía | 1980,68        | 42,1 |
| 2.1          | Búsqueda de información                   | 642            | 13,6 |
| 2.2          | Cálculos efectuados                       | 430,8          | 9,2  |
| 2.3          | Redacción técnica                         | 594            | 12,6 |
| 2.4          | Recursos empleados                        | 1,48           | 0    |
| 2.5          | Reunión de seguimiento                    | 312,4          | 6,6  |
| 3            | Impacto ambiental y viabilidad económica  | 1632,29        | 34,7 |
| 3.1          | Búsqueda información                      | 518,4          | 11   |
| 3.2          | Cálculos efectuados RETScreen             | 221,4          | 4,7  |
| 3.3          | Redacción técnica                         | 496,2          | 10,5 |
| 3.4          | Recursos empleados                        | 2,21           | 0    |
| 3.5          | Reunión de seguimiento                    | 394,1          | 8,4  |
| 4            | Presupuesto                               | 321,97         | 6,8  |
| 4.1          | Elaboración del presupuesto               | 148,32         | 3,2  |
| 4.2          | Recursos empleados                        | 1,45           | 0    |
| 4.3          | Reunión de seguimiento                    | 172,2          | 3,7  |
| <b>TOTAL</b> |   | <b>4706,34</b> |      |