



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO PROYECTO DE EJECUCIÓN DEL PARQUE EÓLICO VILLADIEGO (BURGOS)

Autor: Álvaro de Egaña Marín
Director: Consolación Alonso Alonso

Curso 2022-2023

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
“Proyecto de ejecución del parque eólico Villadiego (Burgos)”
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2022/23 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Álvaro de Egaña Marín

Fecha: 07/06/2023

Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Consolación Alonso Alonso

Fecha: 07/06/2023



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO PROYECTO DE EJECUCIÓN DEL PARQUE EÓLICO VILLADIEGO (BURGOS)

Autor: Álvaro de Egaña Marín
Director: Consolación Alonso Alonso

Curso 2022-2023

Madrid

Página 5 de 63

Agradecimientos

A mi familia, en especial a mis padres, ya que sin su apoyo incondicional no podría haber conseguido llegar hasta aquí, ni habría tenido la oportunidad de vivir las experiencias que he vivido.

A mis amigos, que han hecho que estos años sean fantásticos, y que son una parte muy importante de mi vida.

A mi directora, Consuelo, por su apoyo y vocación plena a la docencia a lo largo de este año de proyecto.

A la empresa VORTEX, por su generosidad a la hora de proporcionarme los datos de viento necesarios para poder realizar este proyecto.

PROYECTO DE EJECUCIÓN DEL PARQUE EÓLICO VILLADIEGO (BURGOS)

Autor: de Egaña Marín, Álvaro

Director: Alonso Alonso, Consolación.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

Este proyecto consiste en el diseño integral de un parque eólico, en concreto en Villadiego, en la provincia de Burgos, y se han estudiado varios aspectos importantes en la ingeniería, desde el desarrollo de planos y cálculos justificativos, a la normativa importante o la viabilidad económica del proyecto.

Palabras clave: Energía eólica, renovables, energía, aerogenerador, sostenibilidad

1. Introducción

Este proyecto ha consistido en realizar el proyecto de ejecución de un parque eólico terrestre en el municipio de Villadiego, Burgos.

Para ello, se ha comenzado caracterizando el recurso eólico del emplazamiento elegido, realizando un estudio estadístico-descriptivo de una serie temporal de datos obtenida de una torre meteorológica virtual, para luego simular la producción de energía esperada de la instalación. El estudio energético conduce a la selección de la mejor tecnología de aerogenerador.

Posteriormente se diseñaron todas las estructuras propias de un parque eólico, comprendiendo desde la obra civil (zanjas, viales, cimentaciones, etc.), hasta la infraestructura eléctrica, como el dimensionamiento de cables, celdas de Media Tensión, o la subestación 30/132 kV.

Por último, se desarrolló un estudio de viabilidad económica, apoyado con el presupuesto de ejecución, para analizar la rentabilidad que podría esperarse de un parque de estas características.

Todos estos estudios comprenden lo que se define como un “proyecto de ingeniería clásico”, formado por los siguientes documentos: Memoria descriptiva, Planos, Pliego de condiciones, Presupuesto; y por lo anexos: Selección del emplazamiento, Estudio del recurso eólico, Cálculos justificativos, Estudio técnico de viabilidad y Alineación del proyecto con los ODS.

2. Desarrollo del proyecto

En primer lugar, se hizo una búsqueda exhaustiva de varios emplazamientos que cumplieran con las condiciones básicas necesarias para construir un parque eólico. Condiciones tales como un buen potencial eólico, lejanía a cualquier zona protegida o cercanía a un punto de interconexión eléctrica. De entre dos opciones válidas se acabó escogiendo el emplazamiento situado en Villadiego. Este estudio se desarrolla en el Anexo I.

Posteriormente, se realiza un estudio del potencial eólico de la zona. Lo más habitual es instalar una torre meteorológica para la obtención de los datos, pero en este proyecto se obtuvieron los datos proporcionados por la empresa VORTEX S.L., que comercializa un modelo para obtener la serie temporal de datos de velocidad, dirección, temperatura y presión a través de una torre meteorológica virtual.

Una vez obtenidos los datos en crudo, se procedió a su análisis usando el programa Windographer, ampliamente usado en el sector de la energía eólica. Este programa procesa los datos y, junto con las condiciones y ajustes apropiados, devuelve numerosa y valiosa información relativa a las condiciones del viento en el lugar, como la variación media del viento diaria y estacional, la rosa de los vientos o estadísticos clave como la media, mediana, valores anómalos, etc. En la figura presentada a continuación se puede ver la interfaz del programa, con los datos ya analizados.

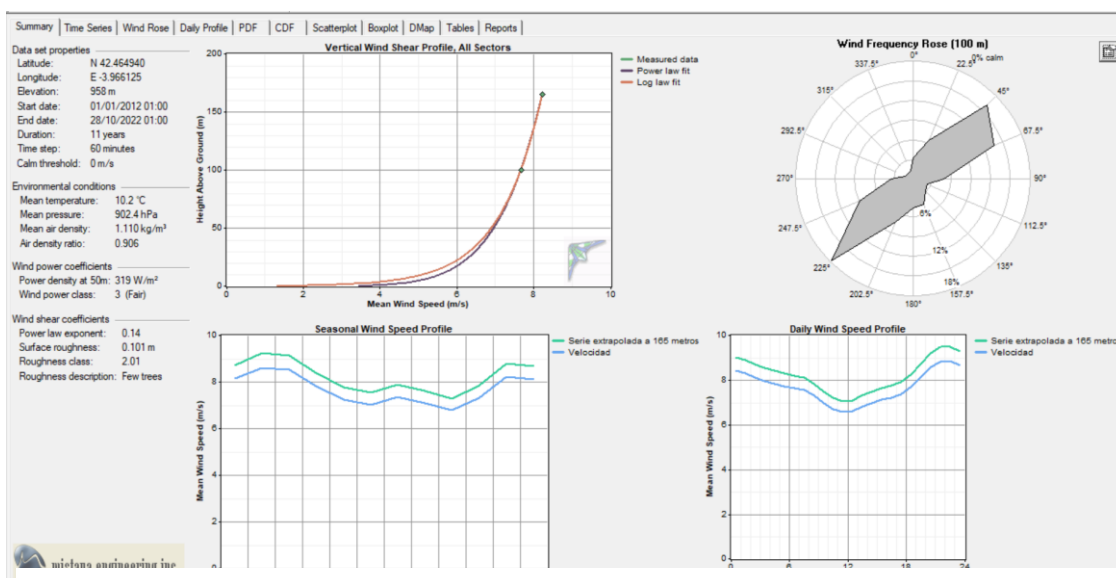


Figura 1. Interfaz de la simulación llevada a cabo con Windographer.

Además, el programa permite extrapolar la serie de datos a una altura determinada, y a través de la ley potencial, recalculan todos los estadísticos a esa altura. Esta funcionalidad resulta particularmente interesante, puesto que no siempre la altura de la estación meteorológica coincide con la altura de buje del generador. En el caso particular de este proyecto, se extrapola a 165 metros, ya que era la altura media de los tres modelos que posteriormente se analizaron.

Una vez analizado el recurso eólico en Windographer, se exporta al programa WasP. Este programa, desarrollado por la Universidad de Risø, se basa en un modelo matemático capaz de analizar la variación superficial de la velocidad y dirección del viento debida a la orografía y rugosidad del terreno. Para ello, se digitalizó el mapa del emplazamiento con la ayuda del programa QGIS, para obtener el mapa vectorial del terreno. En la siguiente figura se puede observar el mapa digitalizado con los aerogeneradores colocados. Las líneas rojas representan curvas de nivel, y las verdes la variación de rugosidad superficial en el terreno.

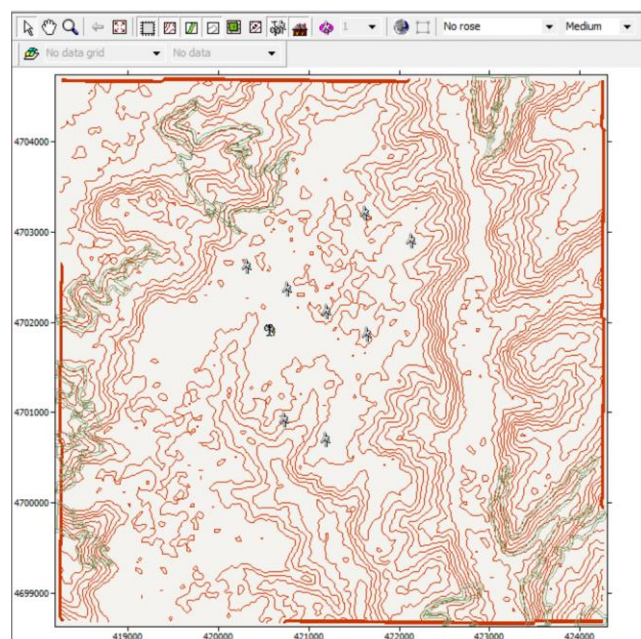


Figura 2. Mapa digitalizado del emplazamiento.

Con esta información se procedió a realizar el estudio tridimensional del campo de vientos. En función de los resultados de estas simulaciones se puede estimar el potencial eólico en el emplazamiento. Además, este programa permite simular los rendimientos de un modelo de aerogenerador en específico para poder obtener la cantidad de energía generada por el parque, y así elegir el óptimo. El estudio completo se puede consultar en el Anexo II.

En la siguiente figura se observa los resultados de la simulación hecha para el modelo finalmente seleccionado, el Siemens-Gamesa SG6.6-170.

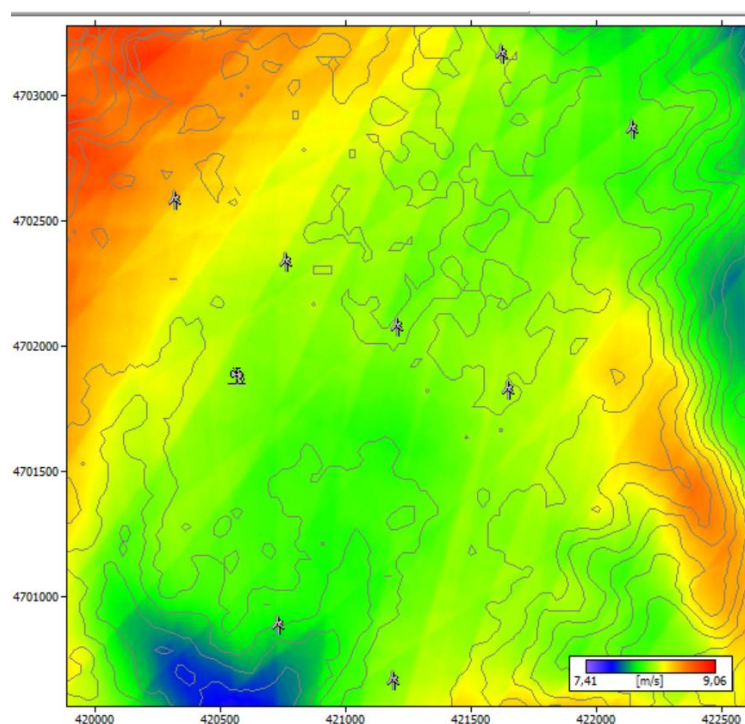


Figura 3. Resultados de la variación de la velocidad del viento.

Finalizada la evaluación del recurso eólico, se comienza a proyectar la obra civil. En esta parte del proyecto se diseñan los accesos al parque, los viales a construir y a reparar, las zanjas eléctricas, las cimentaciones de los aerogeneradores, y las canalizaciones para las telecomunicaciones y la puesta a tierra.

Primero se comienza con el diseño de los viales. En su diseño, se intentan aprovechar las vías existentes que solo haya que reacondicionar y, además, se tienen en cuenta varios criterios de diseño orientados al fácil acceso de maquinaria pesada durante la fase de construcción. Algunos de los criterios seguidos son: radio de curvatura amplio, pendiente baja y anchura de al menos 6 metros. La proyección de los viales se detalla en los Planos y en la Memoria Descriptiva.

Las zanjas eléctricas se diseñan de acuerdo con varios criterios. Se ha intentado que coincidiese en la medida de lo posible con los viales para su fácil construcción y manipulación. Estos criterios se pueden encontrar desarrollados en el Pliego de Condiciones.

Las cimentaciones proyectadas en los Planos corresponden a unas genéricas para un aerogenerador de la envergadura de los que se usarán en este proyecto.

Posterior a la obra civil, se desarrolla la infraestructura eléctrica.

El desarrollo de esta parte del proyecto comienza con el dimensionamiento de los cables de Media Tensión. En primer lugar, se dimensiona en base a la máxima intensidad admisible, teniendo en cuenta los variados factores de reducción presentes en las normas UNE. Seguidamente, se calculan las caídas de tensión en los cables y, con los dos criterios presentes, se elige el más restrictivo para determinar cuál será la sección de los cables. Se elige el aluminio como material al ser más económico.

Además, se calculan las intensidades de cortocircuito de la instalación, simulando una falta con las impedancias que componen la instalación. Todos estos cálculos se pueden encontrar en el Anexo III.

Con estos cálculos presentes, se procede a diseñar el esquema unifilar del circuito de Media Tensión que unirá los aerogeneradores con la subestación, así como la subestación en sí misma. El diseño final, así como los criterios seguidos se pueden encontrar en los Planos y en el Pliego de Condiciones.

Una vez finalizado el diseño de todas las estructuras del parque se procede a realizar el estudio económico de viabilidad del proyecto. Este estudio comienza con la realización del presupuesto por material y contrata. Este presupuesto se compone basándose en unas mediciones unitarias.

Una vez determinado el presupuesto, se puede comenzar a analizar la viabilidad del proyecto, detallado en el Anexo IV. En él se detallan los flujos de caja previstos, los gastos de explotación y los ingresos por venta de electricidad previstos. Con todos los flujos de caja, se calcula tanto el Valor Actual Neto (VAN), como la Tasa Interna de Retorno (TIR), así como un análisis de la sensibilidad ante variaciones en el precio de la electricidad, la inversión inicial y las horas de funcionamiento. Con todo ello, se puede estimar la rentabilidad del parque.

Por último, en el Anexo V se detallan en qué medida este proyecto se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, propuestos por la ONU.

3. Resultados y conclusiones

Se decide que el parque eólico se realice en el municipio de Villadiego, Burgos.

Una vez realizado el estudio de la serie temporal con Windographer, se concluye que:

- El recurso eólico disponible en el emplazamiento caracterizado por las velocidades medias analizadas a lo largo del documento resulta ser muy bueno desde el punto de vista de contenido energético.
La extrapolación del viento con la altura se ha realizado conforme a la ley potencial de variación del viento con la altura, obteniéndose un exponente alfa de 0,140.
- La velocidad media es superior en el rumbo NE (8,77 m/s).
- El campo de vientos presenta como dirección dominante en frecuencia NE (17,8%) y siendo también la de mayor contenido energético (11,01%).
- La densidad de potencia media a 100 metros es de 426 W/m², que extrapolado a 165 metros asciende a 526 W/m².

Respecto a la simulación con WasP, se concluye que el modelo adecuado para este parque es el Siemens-Gamesa SG6.6-170, de 6,2 MW de potencia nominal. Una vez tenidas en cuenta las posibles pérdidas (detalladas en el Anexo II) que se estiman en un 13,28%, se simula la producción de energía neta del parque:

Producción Energética Anual									
Modelo	HH (m)	Potencia nominal (MW)	N.º aeros	Potencia instalada (MW)	Energía Libre (MWh/año)	Energía Bruta (MWh/año)	Energía Neta (MWh/año)	Horas netas equivalentes	Factor de capacidad (%)
SG6.6	165	6,2	8	49,6	225.321	215.480	186.868	3.768	43,0

Tabla 1. Producción energética neta.

Con respecto al dimensionamiento de cables por intensidad máxima admisible y caída de potencial, se concluye lo siguiente:

Circuito	Intensidad (A)	Factor de corrección	Intensidad Final (A)	Sección (mm ²)	Aislamiento	Material	ΔU (%)
I	397,74	0,9018	441,05	400	XLPE	Aluminio	0,31
II	397,74	0,9018	441,05	400	XLPE	Aluminio	0,56
III	265,16	0,9018	294,04	185	XLPE	Aluminio	0,59

Tabla 2. Resumen del dimensionamiento de cables.

Con respecto a los cálculos de cortocircuito, se concluye que los interruptores tendrán una intensidad nominal de 630 A. En la tabla 3 se muestran los resultados del cálculo:

Tensión	Intensidad de cortocircuito
132 kV	31,5 kA
30 kV	12,1 kA
690 V	8,3 kA

Tabla 3. Resultados del cálculo de cortocircuito.

Con respecto al presupuesto, se concluye que la partida por materiales y contrata asciende a 54.728.342,27 € que, sumado a los gastos de desarrollo (650.000 €) y a los costes de interconexión con la red (2.800.000 €), hacen un CAPEX total de 58.178.342,7 €.

La rentabilidad el proyecto, con una tasa de descuento del 6%, se concluye en un VAN de 16.712 k€ y un TIR del 9,66%; así como un *payback* de 9,14 años.

Por último, en el Anexo V se desarrolla y concluye que este proyecto está alineado con los siguientes ODS:

- ODS 7: Energía asequible y no contaminante.
- ODS 13: Acción por el clima.
- ODS 12: Industria, innovación e infraestructura.
- ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico.

RESUMEN DEL PROYECTO

VILLADIEGO WIND FARM EXECUTION PROJECT

Author: de Egaña Marín, Álvaro.

Supervisor: Alonso, Alonso, Consolación.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

This project consists of the integral design of a wind farm, specifically in Villadiego, in the province of Burgos, and several important engineering aspects have been studied, from the development of plans and supporting calculations, to the important regulations or the economic feasibility of the project.

Keywords: wind energy, renewable energy, energy, wind turbine, sustainability.

1. Introduction

This project has consisted in carrying out the implementation project of an onshore wind farm in the municipality of Villadiego, Burgos.

To do so, we started by characterizing the wind resource of the chosen site, carrying out a statistical-descriptive study of a time series of data obtained from a virtual meteorological tower, and then simulating the expected energy production of the facility. The energy study leads to the selection of the best wind turbine technology.

Subsequently, all the structures of a wind farm were designed, from the civil works (ditches, roads, foundations, etc.) to the electrical infrastructure, such as the sizing of cables, Medium Voltage cells, or the 30/132 kV substation.

Finally, an economic feasibility study was developed, supported by the execution budget, to analyze the profitability that could be expected from a wind farm of these characteristics.

All these studies comprise what is defined as a "classic engineering project", consisting of the following documents: Descriptive report, Plans, Specifications, Budget; and by the annexes: Site selection, Wind resource study, Justifying calculations, technical feasibility study and Alignment of the project with the SDGs.

2. Project Development

First, an exhaustive search was made for several sites that met the basic conditions necessary to build a wind farm. Conditions such as good wind potential, remoteness from any protected area or proximity to an electrical interconnection point. From among two valid options, the site located in Villadiego was chosen. This study is developed in Annex I.

Subsequently, a study of the wind potential of the area is carried out. The most usual is to install a meteorological tower to obtain the data, but in this project the data was

obtained from the company VORTEX S.L., which markets a model to obtain the time series of speed, direction, temperature, and pressure data through a virtual meteorological tower.

Once the raw data were obtained, they were analyzed using the Windographer program, widely used in the wind energy sector. This program processes the data and, together with the appropriate conditions and settings, returns numerous and valuable information regarding the wind conditions at the site, such as mean daily and seasonal wind variation, wind rose or key statistics such as mean, median, outliers, etc. The figure below shows the program interface, with the data already analyzed.

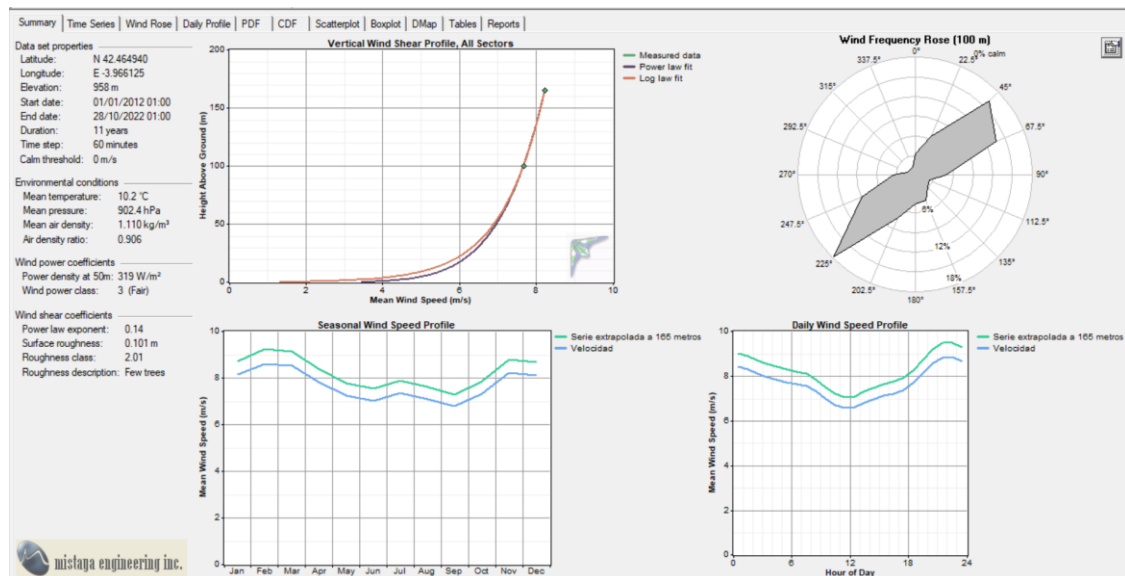


Figure 1. Simulation interface carried out with Windographer.

In addition, the program allows to extrapolate the data series to a given height, and through the potential law, to recalculate all the statistics at that height. This functionality is particularly interesting, since the height of the weather station does not always coincide with the hub height of the generator. In the case of this project, it was extrapolated to 165 meters, since it was the average height of the three models that were subsequently analyzed.

Once the wind resource has been analyzed in Windographer, it is exported to the WasP program. This program, developed by the University of Risø, is based on a mathematical model capable of analyzing the surface variation of wind speed and direction due to the orography and roughness of the terrain. For this purpose, the site map was digitized with the help of the QGIS program to obtain a vector map of the terrain. The following figure shows the digitized map with the wind turbines in place. The red lines represent contour lines, and the green lines represent the variation of surface roughness in the terrain.

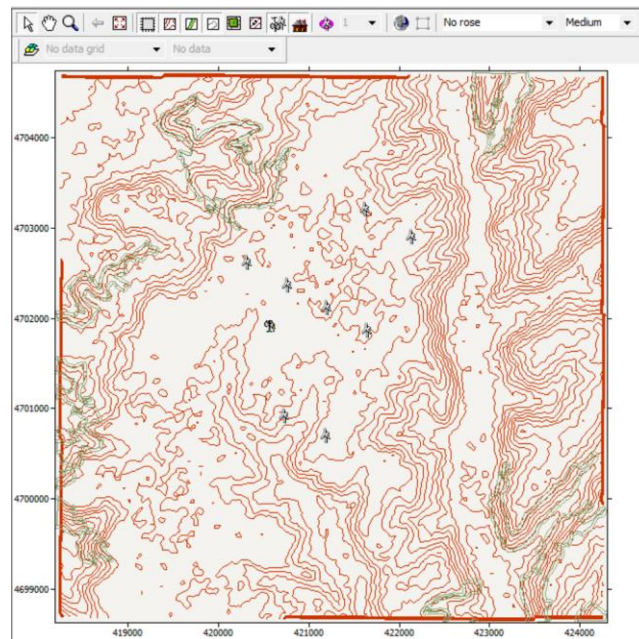


Figure 2. Digitized site map

With this information, a three-dimensional study of the wind field was carried out. Based on the results of these simulations, the wind potential at the site can be estimated. In addition, this program allows to simulate the performance of a specific wind turbine model to obtain the amount of energy generated by the wind farm, and thus choose the optimal one. The complete study can be found in Annex II.

The following figure shows the simulation results for the model finally selected, the Siemens-Gamesa SG6.6-170.

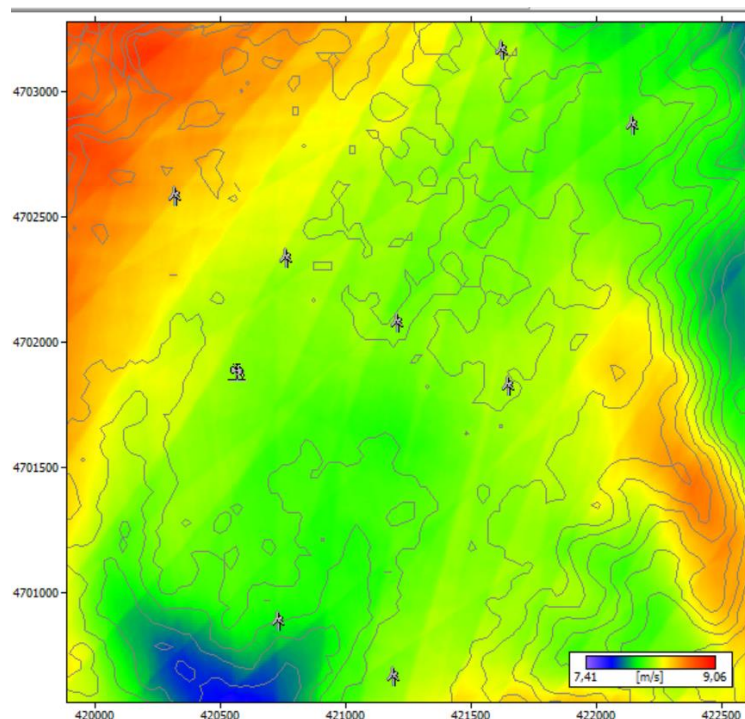


Figure 3. Results of wind speed variation.

Once the wind resource assessment has been completed, the civil works design begins. In this part of the project, the accesses to the wind farm, the roads to be built and repaired, the electrical trenches, the wind turbine foundations, and the telecommunications and grounding conduits are designed.

First, we start with the design of the roads. In their design, we try to take advantage of existing roads that only need to be reconditioned and consider several design criteria aimed at easy access for heavy machinery during the construction phase. Some of the criteria followed are wide radius of curvature, low slope, and width of at least 6 meters. The projection of the roadways is detailed in the Plans and in the Descriptive Report.

The electrical trenches are designed according to several criteria. They have been designed to coincide as far as possible with the roadways for easy construction and handling. These criteria can be found in the Specifications.

The foundations projected in the Plans correspond to generic foundations for a wind turbine of the size of those to be used in this project.

After the civil works, the electrical infrastructure is developed.

The development of this part of the project begins with the dimensioning of the Medium Voltage cables. First, it is sized based on the maximum admissible intensity, considering the various reduction factors present in the UNE standards. Then, the voltage drops in the cables are calculated and, with the two criteria present, the most restrictive one is chosen to determine the cable cross-section. Aluminum is chosen as the most economical material.

In addition, the short-circuit currents of the installation are calculated, simulating a fault with the impedances that make up the installation. All these calculations can be found in Annex III.

With these calculations present, we proceed to design the single-line diagram of the Medium Voltage circuit that will connect the wind turbines with the substation, as well as the substation itself. The final design, as well as the criteria followed, can be found in the Drawings and in the Specifications.

Once the design of all the structures of the wind farm has been completed, the economic feasibility study of the project is conducted. This study begins with the preparation of the budget by material and contract. This budget is composed based on unit measurements.

Once the budget has been determined, the feasibility of the project can begin to be analyzed, as detailed in Annex IV. It details the expected cash flows, operating costs and expected revenues from the sale of electricity. With all the cash flows, both the Net Present Value (NPV) and the Internal Rate of Return (IRR) are calculated, as well as an analysis of the sensitivity to variations in the price of electricity, the initial

investment, and the hours of operation. With all this, the profitability of the wind farm can be estimated.

Finally, Annex V details the extent to which this project is aligned with the Sustainable Development Goals proposed by the UN.

3. Results and conclusions

It is decided that the wind farm will be in the municipality of Villadiego, Burgos.

Once the study of the time series with Windographer has been carried out, it is concluded that:

- The wind resource available at the site characterized by the average speeds analyzed throughout the document turns out to be particularly good from the point of view of energy content. The extrapolation of wind with height has been conducted according to the potential law of wind variation with height, obtaining an alpha exponent of 0.140.
- The average speed is higher in the NE direction (8.77 m/s).
- The wind field has a dominant NE direction in frequency (17.8%) and is also the one with the highest energy content (11.01%).
- The average power density at 100 meters is 426 W/m², which extrapolated to 165 meters amounts to 526 W/m².

Regarding the simulation with WasP, it is concluded that the appropriate model for this wind farm is the Siemens-Gamesa SG6.6-170, with a nominal power of 6.2 MW. After considering the possible losses (detailed in Annex II), which are estimated at 13.28%, the net energy production of the wind farm is simulated:

Producción Energética Anual									
Model	HH (m)	Nominal Power (MW)	N.º	Installed Power (MW)	Free Energy (MWh/year)	Gross Energy (MWh/year)	Net Energy (MWh/year)	Equivalen Hours	Capacity factor (%)
SG6.6	165	6,2	8	49,6	225.321	215.480	186.868	3.768	43,0

Table 4. Net energy production.

With respect to cable sizing by ampacity and potential drop, the following conclusions can be drawn:

Circuit	Current (A)	Correction factor	Final Current (A)	Section (mm ²)	Insulation	Material	ΔU (%)
I	397,74	0,9018	441,05	400	XLPE	Aluminio	0,31
II	397,74	0,9018	441,05	400	XLPE	Aluminio	0,56
III	265,16	0,9018	294,04	185	XLPE	Aluminio	0,59

Tabla 5. Cable sizing summary.

With respect to the short-circuit calculations, it is concluded that the breakers will have a rated current of 630A. Table 3 shows the calculation results:

Voltage	Short-Circuit Current
132 kV	31,5 kA
30 kV	12,1 kA
690 V	8,3 kA

Tabla 3. Short-circuit current.

With respect to the budget, it is concluded that the item for materials and contract amounts to 54,728,342.27 € which, added to the development costs (650,000 €) and the costs of interconnection with the network (2,800,000 €), make a total CAPEX of 58,178,342.7 €.

The profitability of the project, with a discount rate of 6%, results in an NPV of 16,712 k€ and an IRR of 9.66%, as well as a payback of 9.14 years.

Finally, Annex V develops and concludes that this project is aligned with the following SDGs:

- SDG 7: Affordable and clean energy.
- SDG 13: Climate action.
- SDG 12: Industry, innovation, and infrastructure.
- SDG 8: Decent work and economic growth.

Índice General

Documento nº1: Memoria descriptiva.....	22
Documento nº2: Planos.....	64
Documento nº3: Pliego de Condiciones.....	78
Documento nº4: Presupuesto de ejecución.....	127
Anexo I: Selección del emplazamiento.....	149
Anexo II: Estudio del recurso eólico.....	164
Anexo III: Cálculos justificativos.....	197
Anexo IV: Análisis técnico de viabilidad.....	211
Anexo V: Alineación con los ODS.....	228

Documento nº1: Memoria descriptiva

Índice

1. Introducción	26
2. Objeto	27
2.1 Peticionario	27
3. Localización del emplazamiento y de aerogeneradores	28
3.1 Justificación de la implantación del parque en el área escogida	29
4. Normativa legal	30
4.1 Obra civil	30
4.2 Instalaciones eléctricas	30
4.3 Medioambientales	31
5. Evaluación del potencial eólico	32
5.1 Análisis estadístico-descriptivo de los datos eólicos.	32
5.2 Simulación del campo de vientos	38
5.3 Análisis energético: Energía media anual producida	40
6. Descripción del parque eólico Villadiego	42
6.1 Características generales	42
6.2 Obra civil	43
6.2.1 Descripción del emplazamiento	43
6.2.2 Cimentación de los aerogeneradores	44
6.2.3 Zanjas eléctricas	44
6.2.4 Accesos y vías interiores	44
6.2.5 Cimentación del aparellaje eléctrico de la subestación	45
6.2.6 Canalizaciones para la puesta a tierra	46
6.3 Aerogenerador Siemens-Gamesa SG6.6-170 6.2 MW	46
6.3.1 Generador	46
6.3.2 Convertidor	48
6.3.3 Curva de potencia y rendimiento	48
6.3.4 Transformador	49
6.4 Infraestructura eléctrica	50
6.4.1 Sistema eléctrico de Media Tensión (30 kV)	50
6.4.1.1 Centros de transformación	51
6.4.1.2 Líneas y conductores	53
6.4.2 Sistemas de Baja Tensión (B.T)	54
6.4.3 Subestación 30/132 kV. Sistema 30 kV	55
6.4.3.1 Transformador SS. AA	55

6.4.3.2 Aparellaje.....	56
6.4.3.3 Protecciones.....	57
6.4.3.4 Servicios Auxiliares.....	57
6.4.3.5 Telemando y teleseñal.....	57
6.4.4 Subestación 30/132 kV. Sistema 132 kV	57
7. Aspectos socioeconómicos.....	58
8. Ahorro y contaminación evitada	59
9. Presupuesto de las instalaciones proyectadas.....	60
10. Planificación del proyecto	61
11. Referencias	62

Índice de figuras

Figura 1. Interfaz de la simulación llevada a cabo con Windographer.....	8
Figura 2. Mapa digitalizado del emplazamiento.	9
Figura 3. Resultados de la variación de la velocidad del viento.....	9
Figura 4. Posición del emplazamiento y aerogeneradores sobre ortofoto.	29
Figura 5. Función de distribución de probabilidad de la estación Villadiego.	33
Figura 6. Rosa de frecuencias de la estación Villadiego.	34
Figura 7. Rosa de velocidad media de la estación Villadiego.	34
Figura 8. Rosa de energías de la estación Villadiego.	35
Figura 9. Frecuencia direccional del viento a 100 metros de la estación Villadiego.....	35
Figura 10. Velocidad media a 100 metros de la estación Villadiego.	36
Figura 11. Distribución energética de la estación Villadiego.	36
Figura 12. Perfil medio diario de la estación Villadiego.	37
Figura 13. Variación estacional de la estación Villadiego.	38
Figura 14. Mapa de isoventas de elevaciones en el emplazamiento.	39
Figura 15. Mapa de isoventas de velocidad media en el emplazamiento.....	39
Figura 16. Mapa de isoventas de densidad de potencia media en el emplazamiento....	40
Figura 17. Entorno poligonal del parque.	43
Figura 18. Esquema del generador. -Fuente: Siemens-Gamesa	47
Figura 19. Diagrama simplificado del aerogenerador. -Fuente: Siemens- Gamesa.	48
Figura 20. Curva de potencia Siemens-Gamesa SG6.6-170.	49
Figura 21. Rendimientos de los aerogeneradores Siemens-Gamesa SG6.6-170.....	49

Índice de tablas

Tabla 1. Producción energética neta.	11
Tabla 2. Resumen del dimensionamiento de cables.	11
Tabla 3. Resultados del cálculo de cortocircuito.	12
Tabla 4. Net energy production.	17
Tabla 5. Cable sizing summary.....	18
Tabla 6. Coordenadas del entorno poligonal.	28
Tabla 7. Posición de los aerogeneradores.	28
Tabla 8. Parámetros de la estación Villadiego.	33
Tabla 9. Distribuciones direccionales a 100 m estación Villadiego.	37
Tabla 10. Extensión de la simulación del campo de vientos.	38
Tabla 11. Producción energética media anual.	41
Tabla 12. Producción energética anual neta.	42
Tabla 13. Características generales del parque.	42
Tabla 14. Producción neta anual de los tres modelos de aerogenerador.....	46
Tabla 15. Especificaciones generales del generador.....	47
Tabla 16. Características básicas del transformador.	50
Tabla 17. Circuitos de generación	51
Tabla 18. Especificaciones técnicas del transformador de los aerogeneradores.	51
Tabla 19. Características principales de los conductores de M.T.	53
Tabla 20. Características principales fibra óptica.	54

Tabla 21. Características principales transformador SS.AA.	56
Tabla 22. Contaminación evitada por el parque.	59
Tabla 23. Planificación del proyecto	61

Índice de ecuaciones

Ecuación 1.Cálculo de la producción neta de los aerogeneradores.	41
---	----

1. Introducción

Uno de los grandes retos de nuestra generación es la electrificación de toda la tecnología de la que disfrutamos y que nos hace la vida más sencilla, desde el sector de los grandes transportes a los pequeños electrodomésticos de los que disponemos en nuestros hogares. Este proceso de electrificación trae consigo un creciente consumo eléctrico en España y en el mundo. Según datos de Enerdata, el consumo eléctrico mundial creció un 5,5% [1]. Además, la Administración de Información de Energética en EE. UU (EIA), afirma en su informe anual de 2021 que el mundo consumirá casi un 50% más de energía para 2050 [2].

Por otro lado, la humanidad se está enfrentando a una creciente crisis climática muy complicada de revertir de la cual el proceso energético es un gran culpable. La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), sentenció que el proceso energético es el causante del 78% de la emisión de gases invernadero [3]. Es, por lo tanto, absolutamente esencial tratar de frenar el deterioro de nuestro planeta, siendo este el gran reto del futuro.

En la conjunción entre el aumento del gasto energético y la reversión del estado del planeta se encuentran las energías renovables, cuyo desarrollo se está actualmente potenciando intensamente, dado que la comunidad científica y política coincide en que serán las grandes protagonistas de la solución a nuestro problema climático.

Dentro de todas las tecnologías renovables, la energía eólica es, sin lugar a duda, la que más importancia tiene en nuestro país. De hecho, el informe anual de Red Eléctrica de España (REE) mostró que la energía eólica se convirtió en 2021 en la principal fuente de generación eléctrica en España, representando el 23,3% del mix de generación [4].

2. Objeto

El presente trabajo se elabora como Trabajo Fin de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales de la Escuela Superior de Ingeniería ICAI, de acuerdo con la normativa vigente. Con este trabajo se pretende comprobar los conocimientos y aptitudes técnicas que el alumno ha desarrollado a lo largo de la carrera.

El trabajo consiste en diseñar un proyecto de ejecución de un parque eólico terrestre, en concreto en la provincia de Valladolid (Burgos). El proyecto de ejecución consta de cuatro documentos y cinco anexos, en los que se pone de manifiesto el conocimiento del alumno en varias áreas:

- Capacidad de análisis en la elección del emplazamiento y el estudio estadístico descriptivo del mismo, manejando programas informáticos usados en el sector, como WasP o Windographer.
- Diseño de la infraestructura tanto civil como eléctrica, usando AutoCAD para realizar planos profesionales de estructuras tales como el esquema unifilar de la subestación y generación, el diseño de caminos, zanjas, accesos, cimentaciones, etc.
- Estudio económico de viabilidad y diseño del presupuesto, en los que se utilizan variedad de conceptos económicos, como el VAN, el TIR, el WACC, etc.
- Confección del pliego de condiciones para el transcurso correcto de las obras, así como las condiciones contractuales entre las partes de proyecto, uso de la normativa técnica y legal, etc.

2.1 Peticionario

El petionario de las instalaciones objeto del parque es la Escuela Superior de Ingeniería ICAI, con domicilio en la calle Alberto Aguilera 25, en Madrid.

Con la entrega de este trabajo, el petionario busca evaluar el Trabajo Fin de Grado de Álvaro de Egaña Marín, con el fin de obtener la condición de Ingeniero Técnico Industrial.

3. Localización del emplazamiento y de aerogeneradores

Los terrenos donde se ubicará el parque son de carácter agrícola, y se ubican en el municipio de Villadiego, cercano a las poblaciones de Olmos de Picaza y Tobar, en la provincia de Badajoz (referencias en el plano nº1 “Localización del emplazamiento”).

Vértice	Coordenada X _{UTM}	Coordenada Y _{UTM}
1	421.611	4.703.518
2	422.047	4.703.426
3	422.628	4.702.564
4	421.596	4.700.747
5	421.093	4.700.412
6	420.730	4.700.628
7	420.238	4.701.765
8	420.226	4.702.625

Tabla 6. Coordenadas del entorno poligonal.

El municipio de Villadiego es el único término municipal afectado.

El acceso al emplazamiento se realiza a través de la carretera BU-V-6019, que conecta las localidades de Olmos de Picaza y Tobar.

El parque eólico Villadiego constará de 8 aerogeneradores colocados de tal manera que sus posiciones afecten lo menos posible a la generación del resto de generadores, así como siguiendo todas las distancias de seguridad. La situación de los aerogeneradores se muestra en la siguiente tabla, así como su localización sobre ortofoto.

Parque Eólico “Villadiego”		
Coordenadas UTM		
Aerog.	X _{UTM}	Y _{UTM}
A1	420.326	4.702.551
A2	420.770	4.702.302
A3	421.212	4.702.047
A4	421.655	4.701.796
A5	420.741	4.700.854
A6	421.199	4.700.636
A7	421.629	4.703.136
A8	422.151	4.702.836

Tabla 7. Posición de los aerogeneradores.



Figura 4. Posición del emplazamiento y aerogeneradores sobre ortofoto.

3.1 Justificación de la implantación del parque en el área escogida.

El proyecto se ha decidido realizar por los siguientes motivos descritos a continuación:

- La localización del emplazamiento es extensa, de fácil acceso, y a gran distancia de núcleos urbanos y de espacios naturales protegidos.
- El emplazamiento cuenta con un alto potencial eólico.
- Las características del suelo son aceptables para una correcta cimentación y excavación del terreno.
- La interconexión eléctrica es posible gracias a la subestación La Lora, ubicada a 15 kilómetros del terreno.
- La energía eólica aporta 3.100 millones de euros a la económica española, lo cual supone un 0,3% del PIB, según publica la Asociación Empresarial Eólica en su Anuario 2022 [5].

4. Normativa legal

Todas las obras recogidas en este proyecto se acogen a las leyes, normas y disposiciones legales vigentes a todos los niveles.

Para el planteamiento de este proyecto se ha tenido en cuenta la siguiente normativa:

4.1 Obra civil

- Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación por la que establece las normas para la calidad de la construcción, la coordinación de los agentes involucrados en la obra y los derechos y deberes de los propietarios.
- Código Técnico de la Edificación (CTE)
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales
- Real Decreto 1.627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción
- PG-3 Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para obras de carreteras y puentes.
- RC-08 Instrucción para la recepción de cementos.
- Real Decreto 485/1997, 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Normas Urbanísticas aplicables en la Comunidad Autónoma de Castilla y León.
- Ordenanzas Municipales relativas a Villadiego, Burgos.

4.2 Instalaciones eléctricas

- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Real Decreto 1.955/2000, 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 1.699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia

- Real Decreto 195/2020, de 11 de febrero, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
- Real Decreto 2.414/1961, de 30 de noviembre, de la Presidencia del Gobierno por el que se aprueba el Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Líneas Eléctricas de Alta Tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, del Ministerio de Industria por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (B.O.E. nº 224 18/09/2002).
- Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre, sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (B.O.E. 01/12/1982).
- Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico.
- Ley 82/1980, de 30 de diciembre, sobre la Conservación de la Energía.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

4.3 Medioambientales

- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental.
- Real Decreto 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.
- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- Directiva 2009/147/CE, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres (Directiva Aves).

5. Evaluación del potencial eólico

El emplazamiento fue seleccionado entre otros por sus óptimas condiciones eólicas. El estudio en detalle se puede analizar en el Anexo II: Estudio del Recurso Eólico.

El estudio se resume en:

- La configuración de una estación meteorológica virtual, obtenida a través de la empresa VORTEX. La medición comprende datos horarios de los últimos 10 años.
- Análisis estadístico-descriptivo de los datos obtenidos en la campaña de medición. En él, se obtienen estadísticos representativos del potencial eólico, como las distribuciones de frecuencias, temporales y direccionales. Este análisis se realiza con el programa Windographer.
- Determinación de la distribución tridimensional del campo de vientos del emplazamiento, considerando factores como la topografía, la rugosidad o posibles obstáculos. Este estudio se realiza con el programa WasP.
- Estudio energético del emplazamiento. Este estudio se realiza con el programa WasP y se realiza con el fin no solo de obtener la cantidad aproximada de energía que es capaz de generar el emplazamiento, sino también para determinar el modelo de aerogenerador óptimo de los disponibles en el mercado. En este estudio se consideraron tres modelos de aerogenerador distintos.

A continuación, se expondrán los resultados más relevantes del estudio llevado a cabo:

5.1 Análisis estadístico-descriptivo de los datos eólicos.

La torre anemométrica virtual está localizada en Villadiego, Burgos, en el punto en coordenadas UTM Huso 30N: (420.572,60, 4.701.852,20).

La torre anemométrica virtual tiene una altura de 100 metros, y se compone de los siguientes elementos:

- Anemómetro (100 m)
- Veleta (100 m)
- Barómetro (100 m)
- Termómetro (100 m)

Los datos analizados comienzan el 01/01/2012 a las 01:00 y acaban el 28/10/2023 a las 00:00, por lo que se cuenta con muchos datos para la realización del estudio. Esta cantidad de datos es positiva de cara a la fiabilidad del estudio.

Los parámetros más importantes, obtenidos con el programa Windographer, se muestran en la siguiente tabla. Además, se muestran las figuras del estudio estadístico más relevantes a efectos de evaluar el potencial eólico:

Variable	Estación Villadiego
Altura sobre el suelo (m)	100
Velocidad de viento: media (m/s)	7,671
Velocidad de viento: máxima (m/s)	25,9
Weibull k	2,238
Weibull c (m/s)	8,645
Densidad de potencia media (W/m²)	426
Contenido energético medio (kWh/m²/año)	3.732
Registros posibles	94.872
Registros válidos	94.872
Registros no válidos	0
Ratio de datos válidos (%)	100
Hora de máxima velocidad de viento	22

Tabla 8. Parámetros de la estación Villadiego.

- Distribución de Weibull:

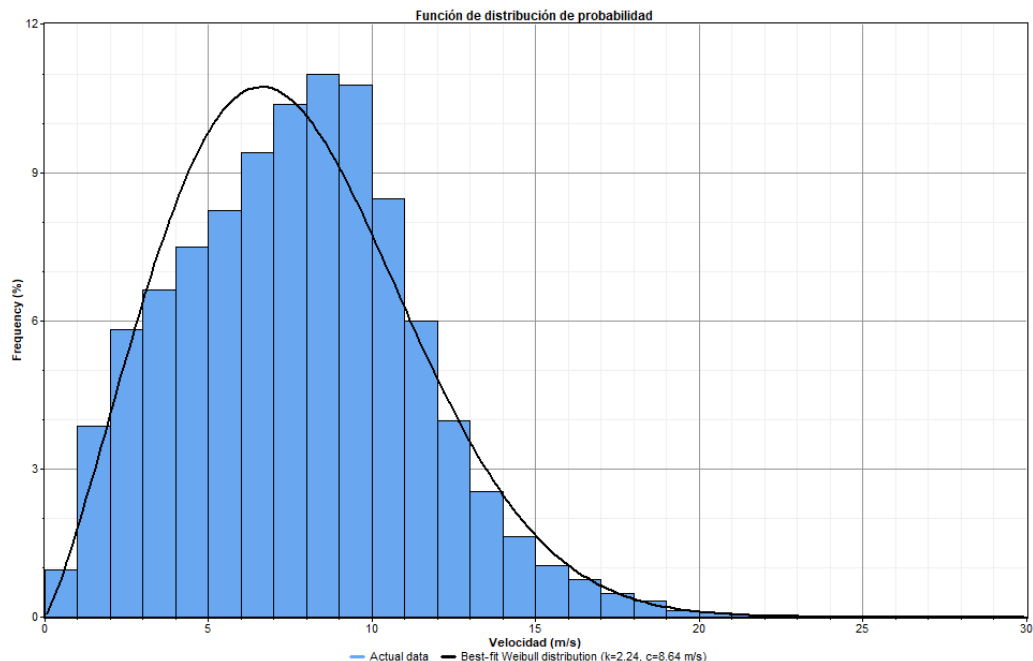


Figura 5. Función de distribución de probabilidad de la estación Villadiego.

- Rosa de viento de frecuencia, velocidad y energía:

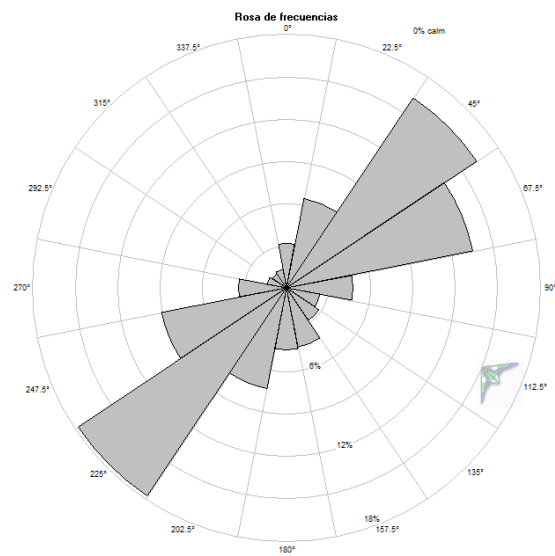


Figura 6. Rosa de frecuencias de la estación Villadiego.

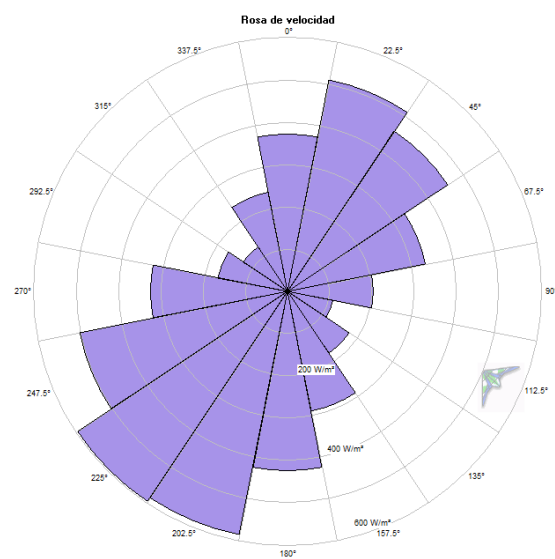


Figura 7. Rosa de velocidad media de la estación Villadiego.

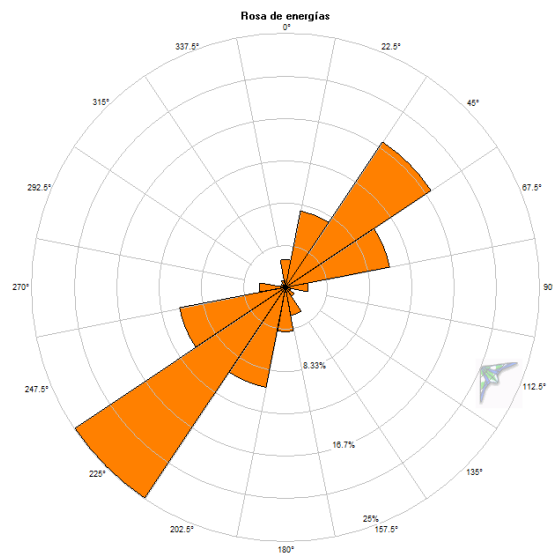


Figura 8. Rosa de energías de la estación Villadiego.

- Distribución direccional de frecuencia, velocidad y energías

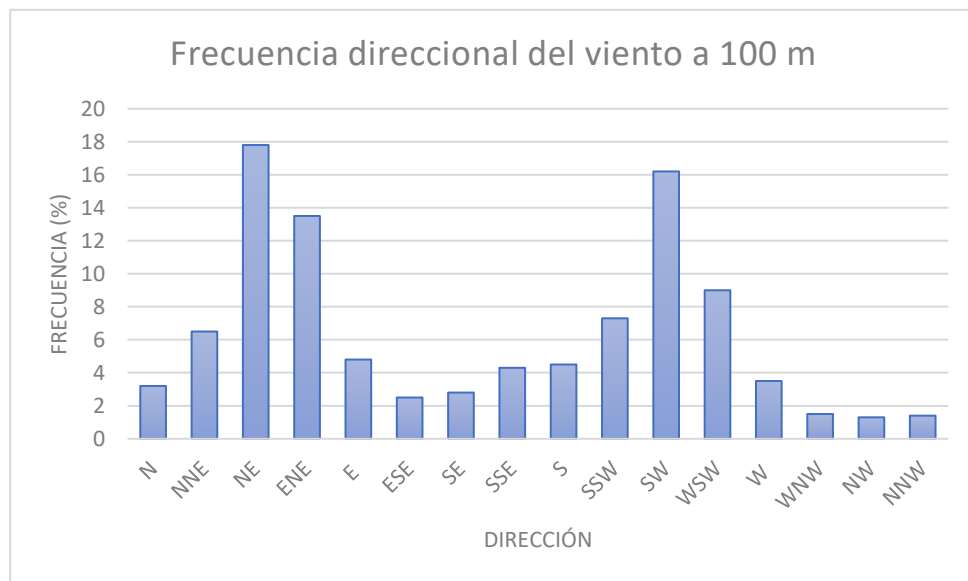


Figura 9. Frecuencia direccional del viento a 100 metros de la estación Villadiego.

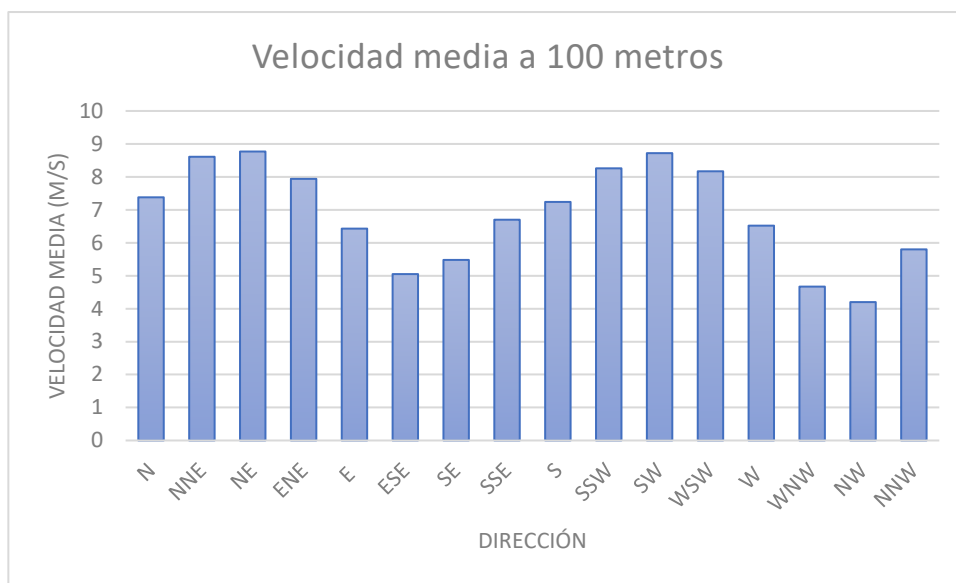


Figura 10. Velocidad media a 100 metros de la estación Villadiego.

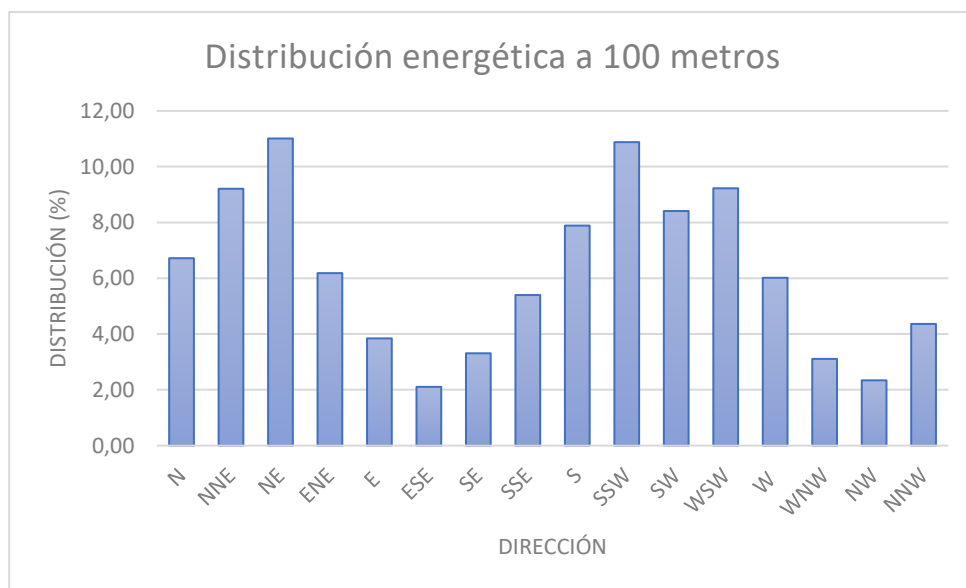


Figura 11. Distribución energética de la estación Villadiego.

Grados	f (%)	Velocidad media (m/s)	Energía (%)
0	3,2	7,38	6,72
22,5	6,5	8,61	9,21
45	17,8	8,77	11,01
67,5	13,5	7,94	6,18
90	4,8	6,43	3,84
112,5	2,5	5,05	2,11
135	2,8	5,48	3,31
157,5	4,3	6,7	5,40
180	4,5	7,24	7,89
202,5	7,3	8,26	10,88
225	16,2	8,72	8,41
247,5	9	8,17	9,22
270	3,5	6,52	6,02
292,5	1,5	4,67	3,11
325	1,3	4,2	2,34
337,5	1,4	5,8	4,36

Tabla 9. Distribuciones direccionales a 100 m estación Villadiego.

- Variación horaria de la velocidad del viento

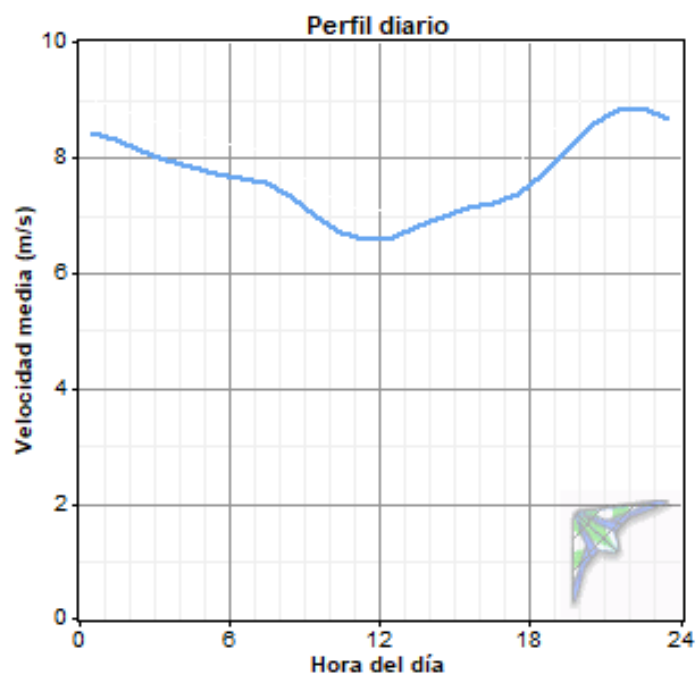


Figura 12. Perfil medio diario de la estación Villadiego.

- Variación mensual de la velocidad del viento

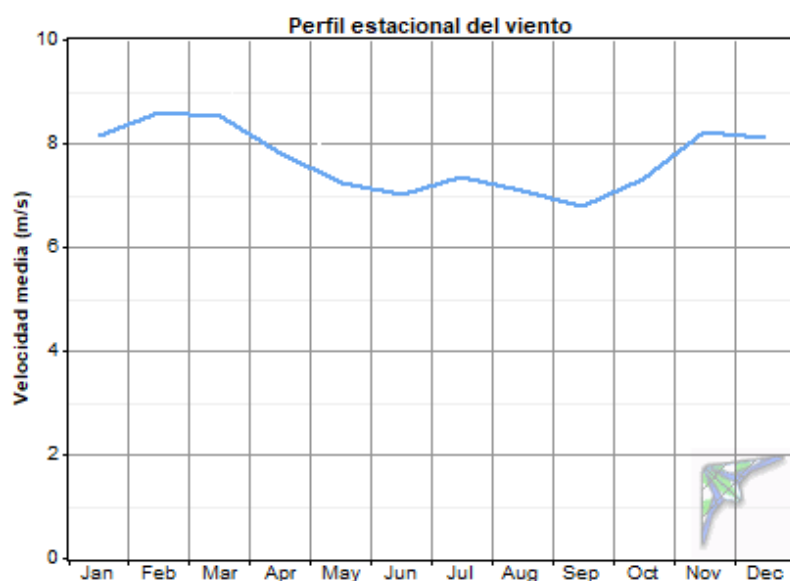


Figura 13. Variación estacional de la estación Villadiego.

5.2 Simulación del campo de vientos

El programa WasP ofrece la posibilidad de analizar el efecto de la orografía y rugosidad superficial del terreno en el viento. Para ello, el programa necesita unas entradas (inputs). Estas entradas consisten en: la serie temporal de datos de viento correspondientes a la estación meteorológica, con un total de 94.872 observaciones; y una topografía y rugosidad digitalizadas (ver Anexo II, apartados 4b y 4c).

La simulación se realizó con una resolución horizontal de 50 metros, con la extensión descrita a continuación:

Extensión campo de vientos simulado	
ED50- Zona 30N	
X _{UTM}	Y _{UTM}
419.625	4.700.335
419.625	4.703.545
422.835	4.700.335
422.835	4.703.545

Tabla 10. Extensión de la simulación del campo de vientos.

A continuación, se adjuntan la simulación de isoventas a 165 metros de la altitud, altura de referencia a los tres modelos de aerogenerador, velocidad media y densidad de potencia media. En ellas puede observarse que todos los aerogeneradores se han situado en las zonas planas en las que hay mayor densidad de potencia.

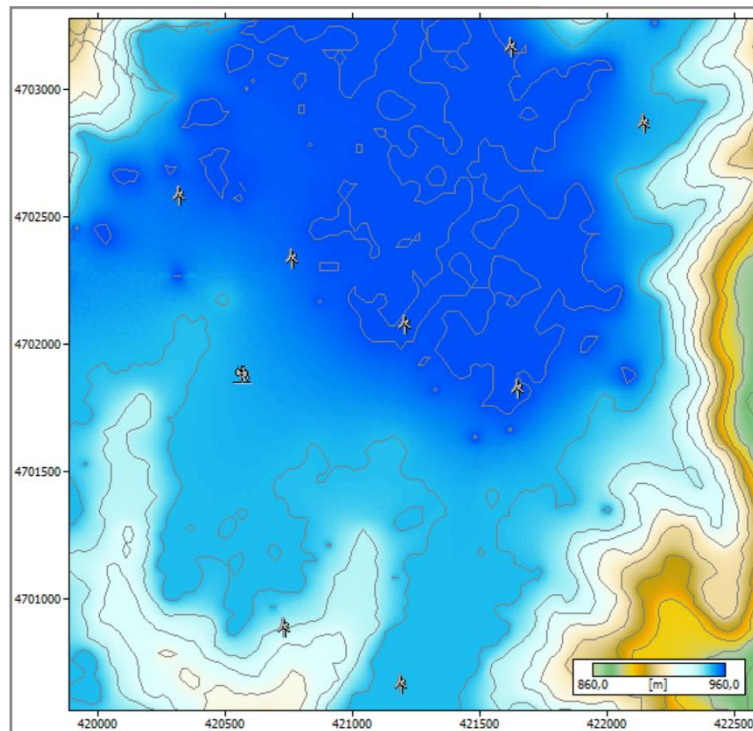


Figura 14. Mapa de isoventas de elevaciones en el emplazamiento.

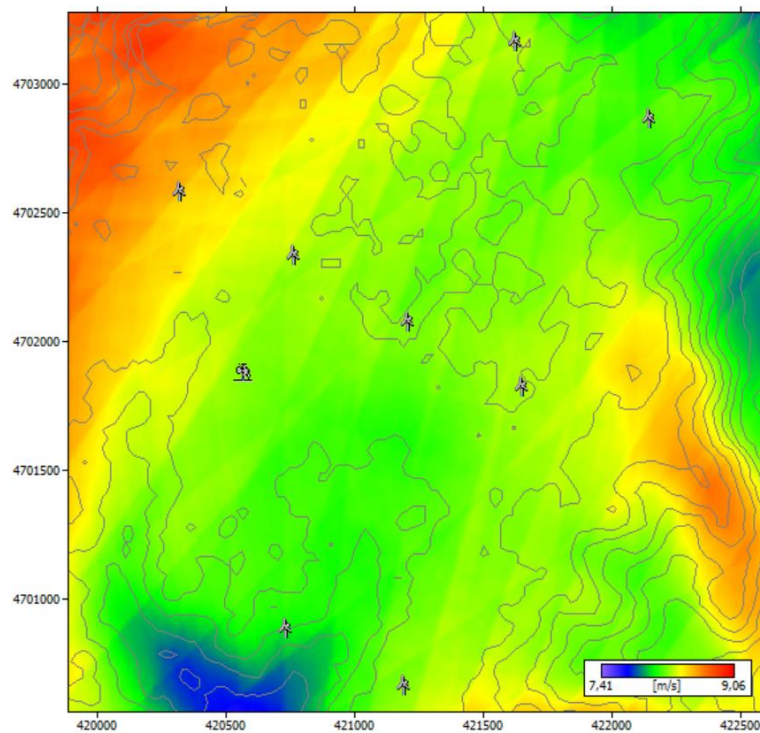


Figura 15. Mapa de isoventas de velocidad media en el emplazamiento.

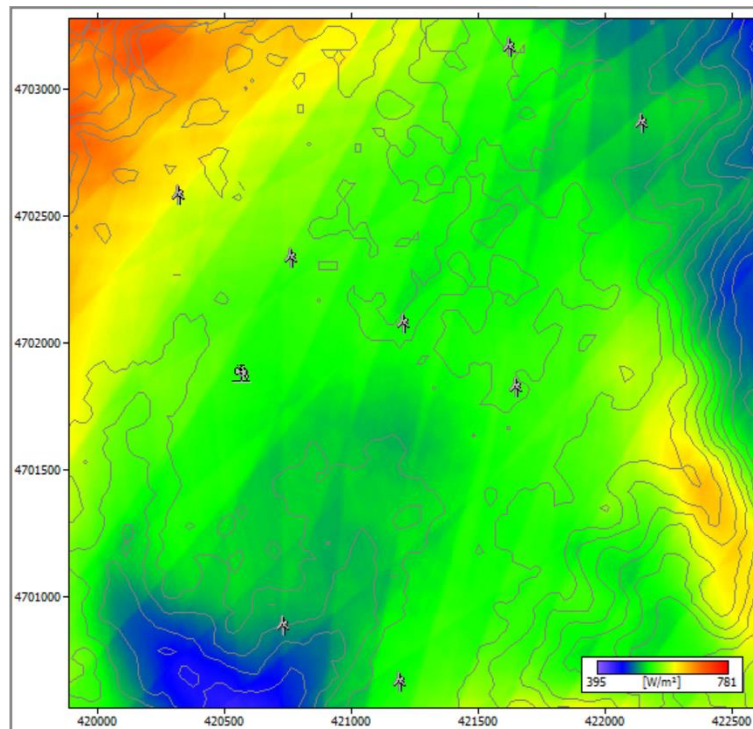


Figura 16. Mapa de isoventas de densidad de potencia media en el emplazamiento.

5.3 Análisis energético: Energía media anual producida.

La estimación de la energía media anual producida se realiza a través del programa WasP, considerando las siguientes hipótesis:

- Campo de viento en el emplazamiento de cada aerogenerador: parámetros de Weibull (A y C) más la frecuencia.
- Productividad de los aerogeneradores del 100%.
- Pérdidas de producción por efecto estela (modelo PARK)
- Curva de potencia de los aerogeneradores Siemens SG6.6-170 AM4 de 6,2 MW de potencia nominal y una altura de buje de 165 metros adaptada a la densidad calculada del emplazamiento $d = 1,091 \text{ kg/m}^3$.

La producción energética media anual de los aerogeneradores Siemens es:

Parque Eólico Villadiego								
Producción Energética Media Anual Estimada								
Aerogeneradores Siemens-Gameasa SG6.6-170 6,2 MW								
Altura de buje 165 metros								
Aero	X_{UTM}	Y_{UTM}	Producción Libre (MWh/año)	Producción Bruta (MWh/año)	Pérdidas estela (%)	Velocidad a HH (m/s)	Clase	Horas Equivalentes
1	420.326	4.702.551	29.239	28.240	3,42	8,49	II	4.526
2	420.770	4.702.302	28.270	26.604	5,89	8,28	II	4.263
3	421.212	4.702.047	28.060	26.484	5,62	8,23	II	4.244
4	421.655	4.701.796	28.389	27.236	4,06	8,28	II	4.365
5	420.741	4.700.854	27.113	25.786	4,89	8,03	II	4.132
6	421.199	4.700.636	28.185	27.610	2,04	8,25	II	4.425
7	421.629	4.703.136	28.301	26.935	4,83	8,3	II	4.317
8	422.151	4.702.836	27.764	26.585	4,25	8,16	II	4.260
TOTAL			225.321	215.480	4,38	8,25	II	4.317

Tabla 11. Producción energética media anual.

Donde:

- Producción libre: Producción de un aerogenerador estando aislado.
- Producción bruta: Producción de un aerogenerador considerando el efecto que provocan el resto de los aerogeneradores sobre él (efecto estela).
- Horas equivalentes: Tiempo en un año en el que el aerogenerador estaría funcionando a plena capacidad.

Sin embargo, esta es la producción bruta del parque. Para poder aproximarnos a la producción real que el parque conseguirá, debemos tener en cuenta otras pérdidas que suceden en la práctica.

Estas son:

- Pérdidas de energía en las instalaciones eléctricas: 97% (en rendimientos).
- Indisponibilidad de los aerogeneradores e instalaciones eléctricas: 97%.
- Pérdidas por la variación en la curva de potencia: 95%.
- Pérdidas por Efecto Bloqueo: 98%.
- Factores ambientales, suciedad, etc.: 99%.

Por lo tanto, para el cálculo de la producción neta:

$$\text{Producción Neta} = 0,97 \cdot 0,97 \cdot 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \cdot \text{Producción Bruta [MWh/año]}$$

Ecuación 1. Cálculo de la producción neta de los aerogeneradores.

Después de tener en cuenta estas pérdidas, la producción neta del parque eólico Villadiego será:

Producción Energética Anual									
Modelo	HH (m)	Potencia nominal (MW)	N.º aeros	Potencia instalada (MW)	Energía Libre (MWh/año)	Energía Bruta (MWh/año)	Energía Neta (MWh/año)	Horas netas equivalentes	Factor de capacidad (%)
SG6.6	165	6,2	8	49,6	225.321	215.480	186.868	3.768	43,0

Tabla 12. Producción energética anual neta.

6. Descripción del parque eólico Villadiego

Las obras que se han planteado para la ejecución del parque se han dimensionado en el Documento nº2: Planos, y en este apartado se describen.

6.1 Características generales

Este parque eólico estará constituido de 8 aerogeneradores (potencia nominal 49,6 MW) tripala de paso variable de 170 metros de diámetro y una altura de buje de 165 metros. El modelo elegido, mencionado anteriormente, es el Siemens-Gamesa SG6.6-170, que cuenta con una potencia nominal de 6,2 MW.

Los aerogeneradores tienen una tensión de salida de 690 V, que será elevada mediante un transformador ubicado en la góndola de este y proporcionado por el fabricante, a 30 kV. Una vez elevada, circulará a través de los cables enterrados en las zanjas y de las cabinas de línea formando 3 circuitos de generación, hasta llegar a la subestación de 30kV del parque.

En dicha subestación se elevará la tensión a 132 kV para su transporte a través de una línea aérea hasta la Subestación “La Lora”, propiedad de Red Eléctrica de España.

Las características generales del parque son:

Modelo	SG 6.6-170
Nº aeros	8
Potencia nominal unitaria	6,2 MW
Potencia nominal del parque	49,6 MW
Altura de buje	165 m
Diámetro del rotor	170 m
Producción bruta anual	215.480 MWh
Producción neta anual	186.868 MWh
Horas equivalentes	3.768
Factor de capacidad	43,0 %

Tabla 13. Características generales del parque.

6.2 Obra civil

La obra civil de la que consta el parque tiene los siguientes componentes:

- Cimentación de los aerogeneradores
- Zanjas eléctricas
- Accesos y vías interiores
- Cimentación del aparellaje eléctrico de la subestación
- Canalizaciones para la puesta a tierra

6.2.1 Descripción del emplazamiento

El Parque Eólico Villadiego se encuentra en el municipio de Villadiego, Burgos, y se quieren instalar 8 aerogeneradores, con una potencia nominal total de 49,6 MW.

El emplazamiento consiste en un polígono irregular, de forma aproximadamente heptagonal. El área aproximada del emplazamiento es de 4,66 km².

Se encuentra a unos 7 kilómetros de Villadiego, y a unos 2 de la localidad de Olmos de Picaza.

Es un terreno bastante llano, situado a una altura de unos 960 metros sobre el nivel del mar.

El acceso está planteado sobre un vial existente, y el propio emplazamiento cuenta con algunos viales que, después de ser reacondicionados, se podrán utilizar como viales internos.

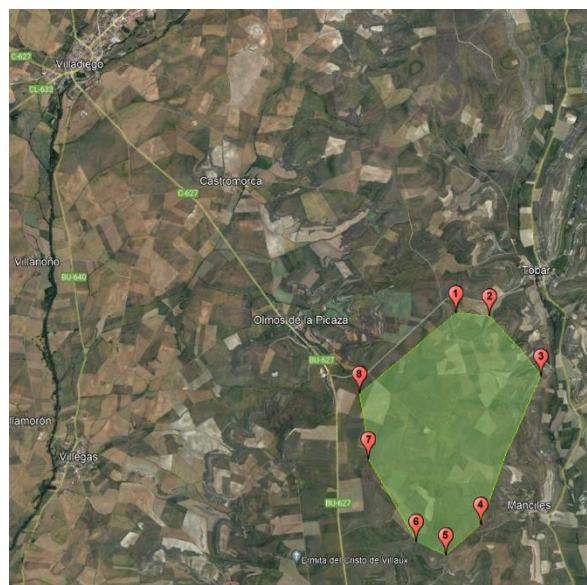


Figura 17. Entorno poligonal del parque.

6.2.2 Cimentación de los aerogeneradores

La cimentación de los aerogeneradores es una parte muy importante en el proyecto dado que los cimientos deben estar diseñados de tal manera que soporten no solo el peso y esfuerzos de la gran estructura que es un aerogenerador, sino que además deberán soportar los esfuerzos propios de la acción del viento sobre el mismo.

En el plano n°6 “Cimentación de aerogeneradores. Geometría y dimensionamiento”, se ha planteado una cimentación básica de un aerogenerador de las características del modelo elegido para este proyecto.

Sin embargo, sería conveniente que un ingeniero de caminos o similar revisase la cimentación propuesta, ya que es un proyecto de ingeniería en sí mismo.

6.2.3 Zanjas eléctricas

En la zanja se instalarán las ternas de media tensión (30 kV) que se encargarán del transporte de electricidad desde los aerogeneradores (o circuito de generación), a la subestación de 30 kV.

Además de estas ternas, en la misma zanja irá instalado el circuito de fibra óptica que se encargará de las telecomunicaciones, y la red de puesta a tierra.

La instalación será subterránea, y tendrá que seguir la normativa vigente. Por ello, se tendrán que instalar, por capas, no sólo los cables, sino planchas de PVC y una cinta de señalización que advierta del peligro de los cables de tensión.

Las estructuras de las zanjas, así como las medidas, se encuentran detalladas en el plano n°8 “Zanjas eléctricas”.

6.2.4 Accesos y vías interiores

Accesos:

Los accesos y viales interiores se han intentado proyectar aprovechando la infraestructura ya existente.

El acceso más sencillo se realiza desde la carretera BU-V-6019, que conecta las localidades de Olmo de Picaza y Tobar.

En esta vía, se encuentra un desvío de un camino ya existente al emplazamiento, que solo necesitaría ser reacondicionado.

En el plano n°5 “Parcelario y vial de acceso”, se puede consultar el detalle del acceso desde la carretera BU-V-6019, a efectos del transporte de cargas pesadas.

Viales internos:

Para el diseño de los viales internos, se ha intentado aprovechar al máximo los viales ya existentes y que solo habría que acondicionar.

Además, para minimizar el movimiento de tierras, se han proyectado de tal manera que respetan la orografía propia del terreno, aunque no ha sido necesario proyectarlos de manera muy diferente a la originalmente planteada gracias a las características planas del terreno.

Por otra parte, se han hecho coincidir las zanjas eléctricas con los viales internos para mejorar las condiciones de la obra y la posterior posible manipulación por parte de los operarios durante la vida útil del parque.

Los criterios básicos seguidos en el diseño de los caminos han sido:

- Una anchura de caminos de unos 6 metros, para asegurar que los camiones pesados tendrán suficiente espacio para maniobrar.
- La pendiente máxima del parque es del 5%, lo cual no supone un problema para el transporte de cargas.
- El radio máximo de curvatura es de 65 metros.

Se ha estimado una longitud aproximada de viales nuevos de 3.981 m, y una longitud de viales a acondicionar de 1.473 m. Estas distancias son aproximadas y no se han medido en el terreno real, por lo que, a la hora de iniciar las obras, un perito técnico deberá certificar la fiabilidad de estas medidas, y, en caso necesario, adaptar los planos correspondientes.

En el plano nº3 “Emplazamiento sobre curvas de nivel”, se pueden observar los detalles sobre los viales, así como comprobar que la orografía es más bien plana.

Además, en el plano nº7 “Viales tipo- detalles”, se observan los tipos de viales que se podrán construir en el proyecto. Estos diseños son orientativos, pero, en cualquier caso, deberán cumplir las condiciones básicas de estos viales: capacidad de drenaje del agua en caso de precipitaciones, y soporte de un peso de unas 10 toneladas.

6.2.5 Cimentación del aparellaje eléctrico de la subestación

El aparellaje exterior de la subestación y los soportes de las líneas de salida deberán contar con sus correspondientes cimentaciones, de acuerdo con las especificaciones de cada fabricante.

Los cimientos deberán ser de hormigón armado.

6.2.6 Canalizaciones para la puesta a tierra

La red de puesta a tierra consta de dos partes: un circuito de cobre desnudo, y una conexión a tierra independiente en cada aerogenerador.

Estos circuitos irán, por una parte, enterrados en las zanjas eléctricas, anteriormente mencionadas, que conectarán toda la red de puesta a tierra del parque, y en las excavaciones de los cimientos de los aerogeneradores.

La red de puesta a tierra es fundamental para el funcionamiento con seguridad del parque ante cualquier sobrecarga o cortocircuito.

Por lo tanto, todos los elementos, móviles y fijos, que sean metálicos, deberán contar con una conexión a tierra, como se especifica en el “Pliego de condiciones de la infraestructura eléctrica”.

Para conocer el detalle de la red de puesta a tierra, remitirse al plano nº10 “Distribución general de tierras”.

6.3 Aerogenerador Siemens-Gamesa SG6.6-170 6.2 MW

Este aerogenerador es de 6,2 MW de potencia nominal, de 165 metros de altura al buje y 170 metros de radio. [6]

Este modelo de aerogenerador se eligió de entre tres modelos de distintos fabricantes a la hora de analizar la producción neta que cada aerogenerador proporcionaba.

A continuación, se muestra el resumen de los datos analizados en el “Anexo II: Estudio del recurso eólico”.

Modelo	Producción neta anual (MWh)
Vestas V172	161.425
Nordex N163	167.532
Siemens-Gamesa SG6.6-170	186.868

Tabla 14. Producción neta anual de los tres modelos de aerogenerador.

Como se puede observar en la tabla, el modelo escogido para el parque demostró en las simulaciones un rendimiento notablemente superior a los otros dos modelos.

6.3.1 Generador

A continuación, se muestran las especificaciones del generador:

Especificaciones principales del generador	
Tipo generador	Trifásico asíncrono de realimentación doble
Construcción	DFIG
Refrigeración	Aire
Convertidor	Convertidor de frecuencia PWM
Tensión en bornas	690 V
Potencia nominal	6,2 MW
Frecuencia	50 Hz
Velocidad	1120 rpm
Velocidad de arranque	3 m/s
Velocidad de corte	25 m/s
Velocidad nominal	11.5 m/s
Tipo de freno	Freno de disco hidráulico
Peso	152.733 kg
Rango de temperatura	-20°C, 40°C
Modo de regulación	AM4
Ruido máximo	106 dB

Tabla 15. Especificaciones generales del generador.

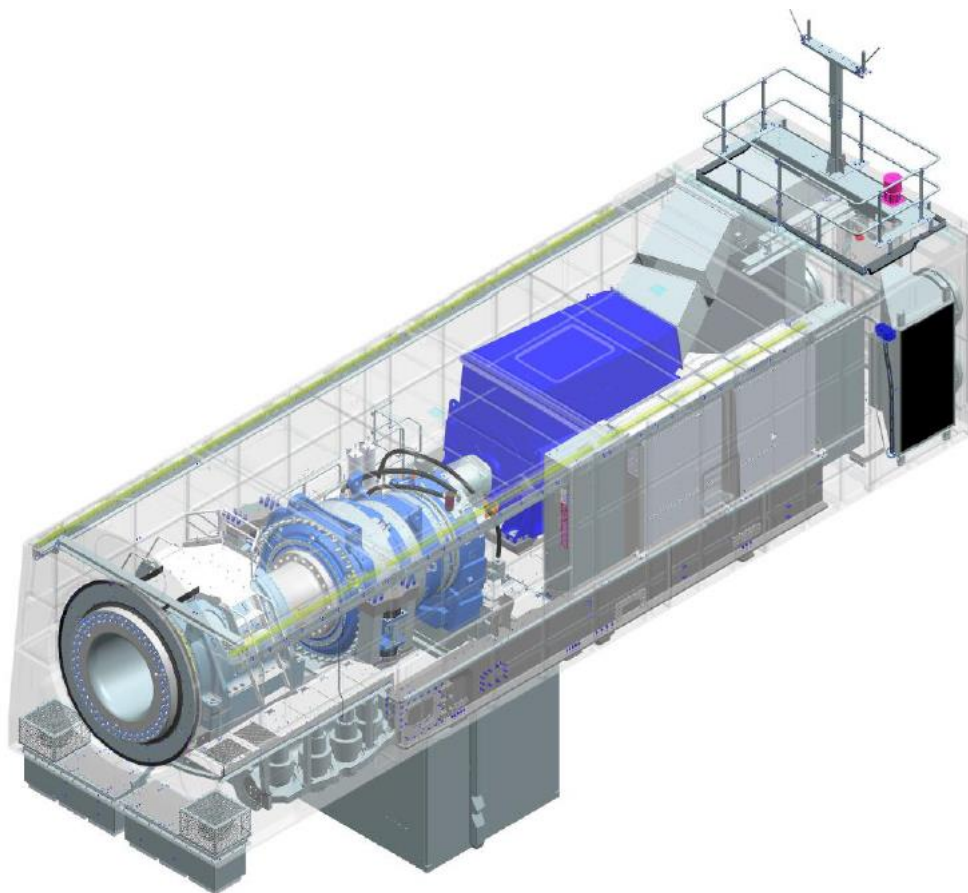


Figura 18. Esquema del generador. -Fuente: Siemens-Gamesa

bruta y neta. Cabe destacar que la media de rendimientos en este modelo es bastante superior al del resto de modelos estudiados.

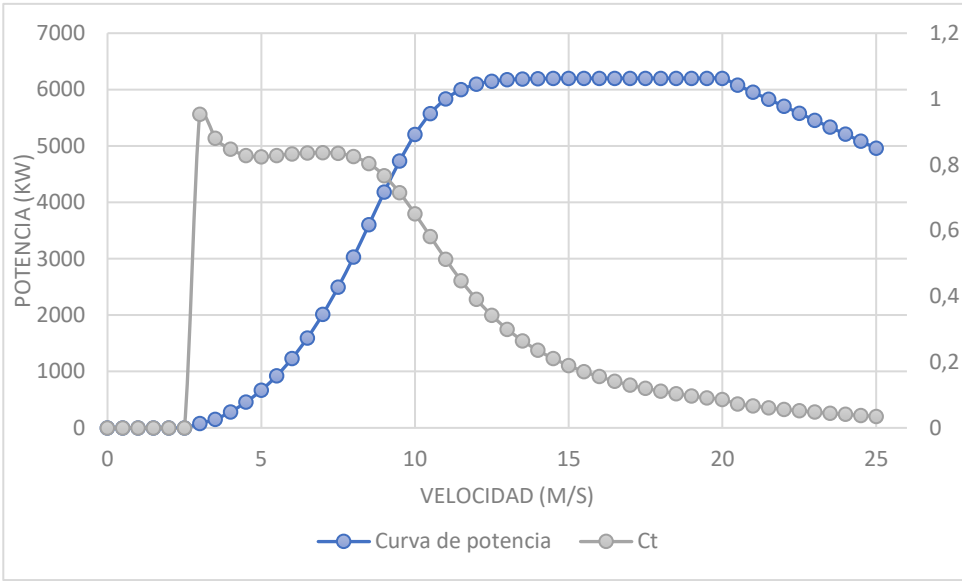


Figura 20. Curva de potencia Siemens-Gamesa SG6.6-170.

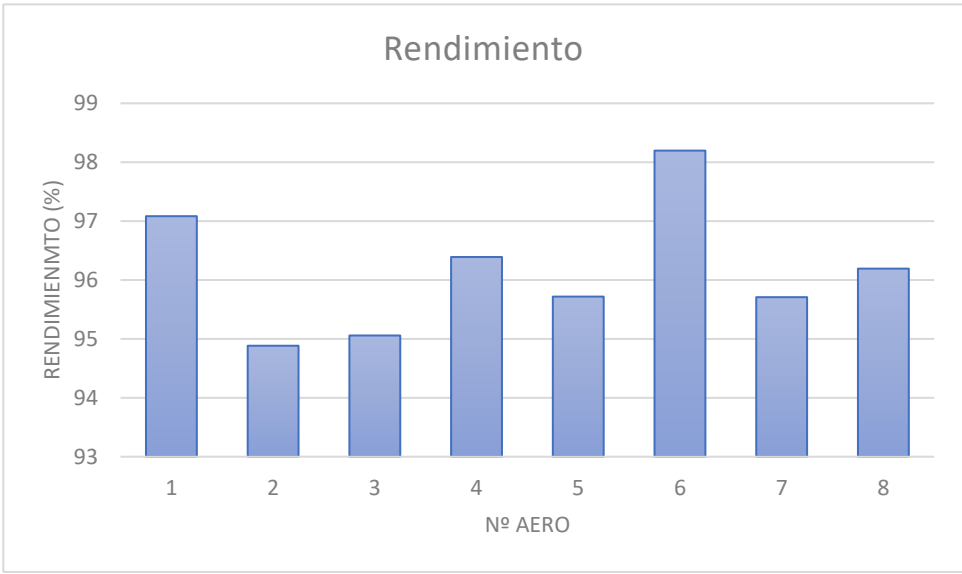


Figura 21. Rendimientos de los aerogeneradores Siemens-Gamesa SG6.6-170

6.3.4 Transformador

El transformador está ubicado en la góndola del aerogenerador.

Las características básicas son las siguientes, pudiendo consultarse más en profundidad en el “Pliego de condiciones de la Infraestructura Eléctrica”.

Potencia nominal	6,5 MVA
Frecuencia	50 Hz
Tipo de conexión	Dyn11 o Dyn1
Tensión BT	0,69 kV
Tensión MT	30 kV

Tabla 16. Características básicas del transformador.

6.4 Infraestructura eléctrica

Los sistemas eléctricos del parque eólico, a pesar de ser muy extensos, se dividen básicamente en circuitos de baja tensión (B.T.) y de media tensión (M.T), y el cableado necesario para llegar hasta la subestación, donde la electricidad se elevará de los 30 kV de media tensión a los 132 kV de alta tensión necesarios para su transporte. El diseño de la subestación no se ha realizado en su totalidad pues es muy complejo y corresponde más bien a un TFM que a un TFG.

Todas las instalaciones que se van a describir a continuación se han diseñado conforme a la normativa vigente.

6.4.1 Sistema eléctrico de Media Tensión (30 kV)

En esta sección se describirán las instalaciones de media tensión que se encuentran en el interior de cada aerogenerador.

El sistema de Media Tensión es necesario para poder transportar la energía que el generador produce en Baja Tensión (690 V). Un transformador elevará la energía a 30 kV y ahí es donde comienza el sistema de Media Tensión.

Dicho sistema se divide en tres circuitos de generación, que unen los distintos aerogeneradores. Estos circuitos se han diseñado para que los generadores estén unidos de la manera más eficiente posible, es decir, con la mínima distancia entre ellos.

En los generadores se encontrarán las cabinas de interconexión, que reciben la llegada del cable procedente del anterior aerogenerador y sale de ellas un cable con la energía de los anteriores aerogeneradores sumada a la del nuevo generador conectado.

Las cabinas de interconexión serán del tipo 0L+1V (0 entradas, 1 salida) para los aerogeneradores que comienzan el circuito (A01, A06 y A07); y del tipo 0L+1L+1V (1 entrada, 1 salida) para el resto de ellos.

En el plano nº11 “Esquema unifilar general” se puede observar la interconexión entre aerogeneradores y sus circuitos de generación.

A modo de resumen, estos son los circuitos y los aerogeneradores que los forman:

Circuito	Nº de aeros	Denominaciones
1	3	A01, A02, A03
2	3	A07, A08, A04
3	2	A06, A05

Tabla 17. Circuitos de generación

Todos los circuitos se conectarán posteriormente a las barras de 30 kV presentes en la subestación por medio de un interruptor automático y un seccionador de 630 A.

6.4.1.1 Centros de transformación

En el interior de cada aerogenerador habrá un centro de transformación proporcionado por el fabricante. Para más detalle, consultar el plano nº11 “Esquema unifilar general”.

El centro de transformación constará del propio transformador, de una celda de protección y de las celdas de entrada y/o salida al circuito de generación.

Transformador:

Como se ha expuesto en otras ocasiones, el transformador elevará la tensión de 690 V a 30 kV. Las características se exponen en el “Pliego de Condiciones de Infraestructura Eléctrica”, y se adjuntan a continuación:

Disposición	3 fases
Refrigeración	KFWF K-class fluid
Potencia nominal	6,5 MVA
Frecuencia	50 Hz
Tipo de conexión	Dyn11 o Dyn1
Tensión BT	0,69 kV
Tensión MT	30 kV
Cambiador de tomas	±2x2,5%/
Nivel de aislamiento BT	1,05 kV
Nivel de aislamiento MT	36 kV
Corriente máxima	7,11 kA
Pérdidas en vacío	4,77 kW
Pérdidas en carga a 75°	84,24 kW
Protecciones	Descargadores de sobretensiones conectados al pasatapas de alta tensión
Conexión a tierra	Punto estrella conectado a tierra

Tabla 18. Especificaciones técnicas del transformador de los aerogeneradores.

Cabinas de M.T en el aerogenerador:

Las celdas de Media Tensión presentes en el aerogenerador se conectarán

En el parque hay dos centros de transformación distintos, y, cada uno de ellos estarán formados por distintas celdas:

- Tipo A: Celdas de remonte y protección: Son aquellas que se encuentran en los generadores que comienzan un circuito. Es por ello que no necesitan contar con celdas de línea, porque no es necesario proteger al transformador de posibles cortocircuitos aguas abajo. Esta celda la tendrán instalada los aerogeneradores 1,6 y 7.
- Tipo B: Celdas de remonte, protección y línea: Estas cabinas se encuentran en el resto de los generadores y sí que necesitan contar con una celda de línea porque les entra un cable procedente de otros aerogeneradores y por lo tanto necesitan protegerse aguas abajo.

La tensión asignada a estas cabinas es de 36 kV y una intensidad nominal de 630 A.

Los componentes principales de cada cabina se listan a continuación:

- Cabinas de llegada de línea (remonte):
 - Juego de barras tripolar de 630 A.
 - Enclavamiento mediante candado.
 - Dispositivo con bloque de tres lámparas de presencia de tensión.
 - Salida de cables por pasatapas a bornes enchufables para cable seco unipolar.
 -
- Cabinas de salida de línea (interruptor seccionador):
 - Interruptor seccionador tripolar SF6 de 630 A, con seccionamiento y puesta a tierra.
 - Juego de barras tripolar de 630 A.
 - Dispositivo con bloque de tres lámparas en presencia de tensión.
 - Salida de cables por pasatapas a bornes enchufables para cable seco unipolar.
 -
- Cabinas de protección:
 - Juego de barras tripolar de 630 A.
 - Interruptor seccionador tripolar de corte en vacío de 630 A.
 - Interruptor automático tripolar de corte en SF6, de 630 A.
 - Pulsadores de apertura y cierre.
 - Bobina de apertura y cierre del interruptor.
 - Enclavamiento mediante candado.
 - Barra de tierras.
 - Relé de protección de 3 fases + N (50-51/50N-51N)
 - Disparadores de sobretensiones.

- Salida de cables por pasatapas a bornes enchufables para cable seco unipolar.

6.4.1.2 Líneas y conductores

Las zanjas de Media Tensión tendrán las ternas de Media Tensión y la fibra óptica enterrada, además de la puesta a tierra.

- Conductores de M.T a barras de 30 kV:

Estos conductores transportarán la energía desde los aerogeneradores hasta la subestación de 30/132 kV. Los conductores se han dimensionado de forma que puedan aguantar las intensidades que circulen sobre ellos, teniendo en cuenta varios factores reductores, así como las posibles caídas de tensión y la intensidad de cortocircuito.

Para consultar el estudio que se realizó en el dimensionamiento de los cables, se puede consultar el “Anexo III: Cálculos justificativos”.

A continuación, se presentan los conductores que se utilizarán para los circuitos de M.T.

Denominación	RHZ1-OL
Tipo	Unipolar
Sección	3x(1x400) mm ² y 3x(1x185) mm ²
Material conductor	Aluminio
Nivel aislamiento	18/30 kV
Aislamiento	Polietileno reticulado (XLPE)
Pantalla	Hilos de Cu
Cubierta	Poliolefina
Cubierta de armadura	Polietileno
Normativa	UNE-21123, IEC-502

Tabla 19. Características principales de los conductores de M.T.

- Fibra óptica:

A efectos de comunicaciones de los generadores con el edificio de control, se va a instalar un circuito de fibra óptica. Su función será comunicar las señales que transmiten los aerogeneradores y enviarlas a los ordenadores de control a través del sistema SCADA, de Siemens-Gamesa.

El tipo de fibra óptica elegido es el multimodo, ya que las distancias entre aerogeneradores son bastante cortas y abaratará costes de inversión.

La conexión específica de la fibra óptica se puede consultar en el plano nº9 “Esquema de interconexión de cables de fibra óptica.”

Las características principales de la instalación se exponen en la siguiente tabla:

Cable CDAW Optral®	
Tipo de fibra	Multimodo 50/125 μm
Nº de fibra	8
Elementos de tracción	Fibra de Vidrio Reforzada (WB)
Cubierta interior	LSZH
Armadura	Hilos de acero galvanizados
Cubierta exterior	LSZH- Negro

Tabla 20. Características principales fibra óptica.

6.4.2 Sistemas de Baja Tensión (B.T)

Los sistemas de baja tensión en el parque son todos aquellos que operen por debajo de 1000 V.

Básicamente podemos distinguir dos tipos: la instalación principal en cada generador, y el circuito de servicios auxiliares (SS. AA).

- Instalación principal

Es el circuito instalado en la turbina, y que transporta la energía eléctrica, antes mecánica, que el generador asíncrono ha transformado. Como se ha descrito en apartados anteriores, el circuito tiene una tensión nominal de 690 V.

Según las especificaciones que da el fabricante, este circuito constaría de 4 módulos independientes dispuestos en paralelo para que, en caso de fallo en alguno de ellos, el generador pueda seguir operando.

- Sistemas auxiliares

Los sistemas auxiliares alimentarán los consumos del aerogenerador, como alumbrado, ventilación, elementos de control, etc.

Este sistema se alimenta a través de un transformador 690/400 V ubicado en la góndola.

Todos los elementos conectados deberán contar con su sistema de protección ante cualquier fallo, es decir, protecciones magnetotérmicas y diferenciales de sensibilidad.

Se dará servicio a los sistemas auxiliares a través de un cuadro de distribución ubicado en la góndola.

- Red de puesta a tierra

Como se ha mencionado anteriormente, la red unirá todos los aerogeneradores mediante un cable de cobre desnudo $1 \times 95 \text{ mm}^2$, que irá enterrado en las zanjas eléctricas.

La función de esta red es evitar una diferencia de potencial alta e inusual debido a las grandes corrientes que se producen en caso de cortocircuitos o cualquier sobrecarga, redirigiendo dicha intensidad a tierra y protegiendo a los equipos y a las personas.

Para consultar la red de puesta a tierra del parque, referirse al plano nº10 “Distribución general de tierras.”

Los aerogeneradores contarán con dos tipos de puesta a tierra:

- Tierra de protección: A este tipo se conectarán todos los equipos que, aunque no estén normalmente expuestos a tensión, podrían estarlo en caso de averías o cualquier circunstancia externa al funcionamiento normal de los generadores. Estos elementos son, por ejemplo, las carcasas metálicas de los equipos.
- Tierra de servicio: A esta tierra irán conectados los neutros del transformador de cada centro de transformación, en la toma de tierra que hay en la góndola. Este tipo conectará a tierra a los cuadros eléctricos, los herrajes o las celdas de M.T., es decir todo aquello que sí tiene tensión en condiciones normales de funcionamiento.

6.4.3 Subestación 30/132 kV. Sistema 30 kV

La subestación se encargará de transformar la energía en M.T a los 132 kV necesarios para transportarla al suministrador de electricidad. Esto lo hará a través de un transformador de potencia.

El sistema de 30 kV se alojará dentro del edificio de control, mientras que el sistema de 132 kV de la subestación se situará en el exterior. Posteriormente la energía a 132 kV se transportará a la distribuidora por medio de líneas aéreas.

En el sistema de 30 kV se contará con cabinas de protección, que recibirán los circuitos de generación y que además dispondrán de interruptores automáticos. Además, se contará con una salida que vaya al transformador de servicios auxiliares y una cabina de acometida que dirigirá esa energía hacia el transformador elevador (o de potencia) de la subestación

Para más detalle, consultar el plano nº12 “Esquema unifilar general de la subestación. Sistema 30 kV.”

Todos los equipos que se van a implementar en la estación deberán estar diseñados y probados en ensayos conforme a las normas UNE.

6.4.3.1 Transformador SS. AA

Al igual que en los aerogeneradores, los servicios auxiliares de la subestación (iluminación, equipos de control, señalización, refrigeración), se instalará un transformador de SS.AA.

Dicho transformador estará en la intemperie y tendrá una placa metálica que indique sus características principales.

Sus características son:

Relación de transformación	30.000/400 V
Potencia nominal	100 kVA
Tensión de aislamiento	36 kV
Grupo de conexión	Dyn11
Tensión en vacío	$\pm 2,5\% - \pm 5\%$
Tensión de cortocircuito	4%
Refrigeración	Aceite ONAN

Tabla 21. Características principales transformador SS.AA.

6.4.3.2 Aparellaje

El aparellaje de la subestación consta de interruptores, interruptores-fusibles y seccionadores.

- Interruptores

Se utilizan para proteger la línea y para desconectar la carga, en caso de necesario.

Su tensión de aislamiento será de 36 kV, la intensidad nominal de 630 A para las líneas y para la acometida, y de 1.250 A para el lado de M.T. del transformador. Además, su poder de corte será de 25 kA.

- Interruptores-fusibles

Estos interruptores se utilizarán para la protección del transformador de SS. AA ante cualquier fallo de los servicios auxiliares de la subestación. Su tensión de aislamiento será de 36 kV, su intensidad nominal de 400 A, y los fusibles de 10 A.

- Seccionadores

Se utilizarán en las cabinas y tendrán tres posiciones: abierto, cerrado y puesta a tierra. Serán de accionamiento manual.

Su tensión de aislamiento será de 36 kV y su intensidad nominal de 630 A para las líneas y la acometida.

6.4.3.3 Protecciones

Las protecciones que se instalarán son las siguientes:

- En líneas de generación: Protección de sobreintensidad (50, 51, 67 Na)
- En líneas de acometida y transformador elevador: Protección de sobreintensidad (50,51), y de sobretensión del neutro (59N).

Se instalarán los correspondientes transformadores de intensidad y de tensión para la correcta medida.

Los transformadores de tensión deberán ser de clase 0,2; y los de intensidad deberán ser de una clase igual o mejor a 0,2.

En el plano nº12 “Esquema unifilar general subestación sistema 30 kV”, pueden consultarse las posiciones concretas.

6.4.3.4 Servicios Auxiliares

Comprende todas las fuentes auxiliares de alimentación, tanto de AC como de DC.

Se instalarán los cuadros adecuados para cada servicio, especificados en el “Pliego de Condiciones de Infraestructura Eléctrica”.

6.4.3.5 Telemando y teleseñal

El gobierno se hará desde el edificio de control, agrupando todos los sistemas desde la misma red.

El sistema SCADA controlará el estado de los aerogeneradores.

6.4.4 Subestación 30/132 kV. Sistema 132 kV

Esta parte de la subestación elevará los 30 kV de Media Tensión a los 132 kV en Alta Tensión necesarios para su transporte al punto de interconexión con la red, que en este caso será la subestación La Lora. Este transporte se realizará mediante líneas aéreas, y la transformación de potencial se realizará a través de un transformador de potencia (o elevador) de potencia nominal 55 MVA.

Esta subestación contará con todos los elementos suficientes de corte y protección, tales como autoválvulas, seccionadores, interruptores, y transformadores de tensión e intensidad.

Esta subestación será de intemperie, por lo que deberá contar con todas las medidas de protección y seguridad dispuestas en la normativa vigente.

7. Aspectos socioeconómicos

Las energías renovables, y en especial la eólica, están cobrando gran importancia en el día a día de nuestra sociedad. No es raro ver parques eólicos durante todo el trayecto de un viaje en coche, por ejemplo.

España es el país de Europa que más dinero invierte al año en energía eólica, unos 3.100 millones de euros, como menciona la Asociación Empresarial Eólica en su Anuario 2022. [5]

Además, desde el punto de vista medioambiental, la energía eólica es importantísima, ya que evita la liberación de toneladas de CO₂ a la atmósfera, aspecto esencial para la supervivencia futura del ser humano.

Según un informe elaborado por la consultora KPMG para Siemens-Gamesa, la energía eólica podría evitar 2.222 muertes en España y cuatro millones en el mundo en el año 2030 debidas a la contaminación.

Además, este informe recoge que eso supondría un ahorro en sanidad de 67.000 millones de euros, y 483 millones de euros en contaminación evitada. [7]

Por otro lado, la energía eólica, al ser más barata que otras energías debido al coste cero de la materia prima que usan para crearla, supondría un ahorro en la factura de la luz para los consumidores.

Por último, el desarrollo de este parque eólico conllevará la creación de puestos de trabajo. En concreto, durante la fase de construcción y desarrollo del parque se necesitarán 290 personas, y durante el funcionamiento normal del parque a 5. Por lo tanto, este proyecto contribuirá positivamente a la economía y al enriquecimiento de la localidad.

8. Ahorro y contaminación evitada

La energía eólica supone un ahorro de la cantidad de toneladas de CO₂ expulsadas a la atmósfera, ya que toda la energía generada por el parque será energía que una planta que utilice combustibles fósiles no tendrá que generar.

De hecho, es un elemento clave absolutamente esencial para la descarbonización de la sociedad.

En el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030, el Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico sostiene que para 2030, la energía eólica supondrá un 34% del mix energético español, evitando así la liberación de 10,75 millones de toneladas de CO₂. [8]

Según la Junta de Castilla y León, 1 kWh de electricidad generada por energía eólica evita la liberación de 1 kg de CO₂ a la atmósfera. [9]

Por lo tanto, si hacemos el cálculo, podemos obtener la cantidad aproximada de CO₂ que se ha evitado liberar con este parque:

Toneladas de CO ₂	
Contaminación evitada anual	186.868 ton
Contaminación evitada total (20 años)	3.737.360 ton

Tabla 22. Contaminación evitada por el parque.

9. Presupuesto de las instalaciones proyectadas

En este capítulo se presenta el presupuesto resumen, desarrollado en el documento nº4: “Presupuesto de ejecución.”

Obra Civil	
Parque Eólico	1.901.025,40
Edificio de Control	150.000,00
Subestación Intemperie	190.000,00
Suministros eléctricos	
Conductores y P.A. T	231.705,92
Subestación 30 Kv	126.581,87
Cabinas Media Tensión	137.240,40
Subestación 132 kV	1.084.150,00
Montajes Eléctricos	
Tendido cables	129.000,00
Subestación	195.000,00
Aerogeneradores	41.600.000,00
Ingeniería y Dirección de Obra	
Ingeniería del Parque Eólico	100.000,00
Dirección Facultativa de la obra	80.000,00
Varios	65.500,00
TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL	45.990.203,59
16 % Gastos Generales	7.358.432,57
3 % Beneficio Industrial	1.379.706,11
TOTAL DE EJECUCIÓN CONTRATA	54.728.342,27

El presupuesto de ejecución por materiales y contrata del Parque Eólico Villadiego (49,6 MW) asciende a la cantidad de:

CINCUENTA Y CUATRO MILLONES SETECIENTOS VEINTIOCHO MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y DOS EUROS CON VEINTISIETE CÉNTIMOS (54.728.342,27 €)

10. Planificación del proyecto

El plazo de ejecución previsto se ha establecido en 1 año:

	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5				MES 6				MES 7				MES 8				MES 9				MES 10				MES 11				MES 12			
Semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
INGENIERÍA BÁSICA	■	■	■	■	■																																											
Proyecto Básico	■	■	■	■	■																																											
EIA			■	■	■																																											
INGENIERÍA DETALLADA					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																																
Obra Civil					■	■	■	■	■	■																																						
Instalaciones eléctricas						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																																
INGENIERÍA DE DESARROLLO					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																															
CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
OBRA CIVIL										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Caminos										■	■	■	■	■	■	■	■																															
Zanjas													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																								
Cimentaciones																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Edificio de control																													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
INSTALACIONES ELÉCTRICAS																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Cables BT/MT/AUX																	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Cabinas MT/AUX																													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
Subestación MT/AT																														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■			
AEROGENERADORES																																																
PUESTA EN MARCHA																																																
Pruebas																																																
Recepción provisional																																																

Tabla 23. Planificación del proyecto

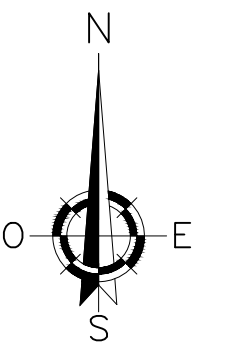
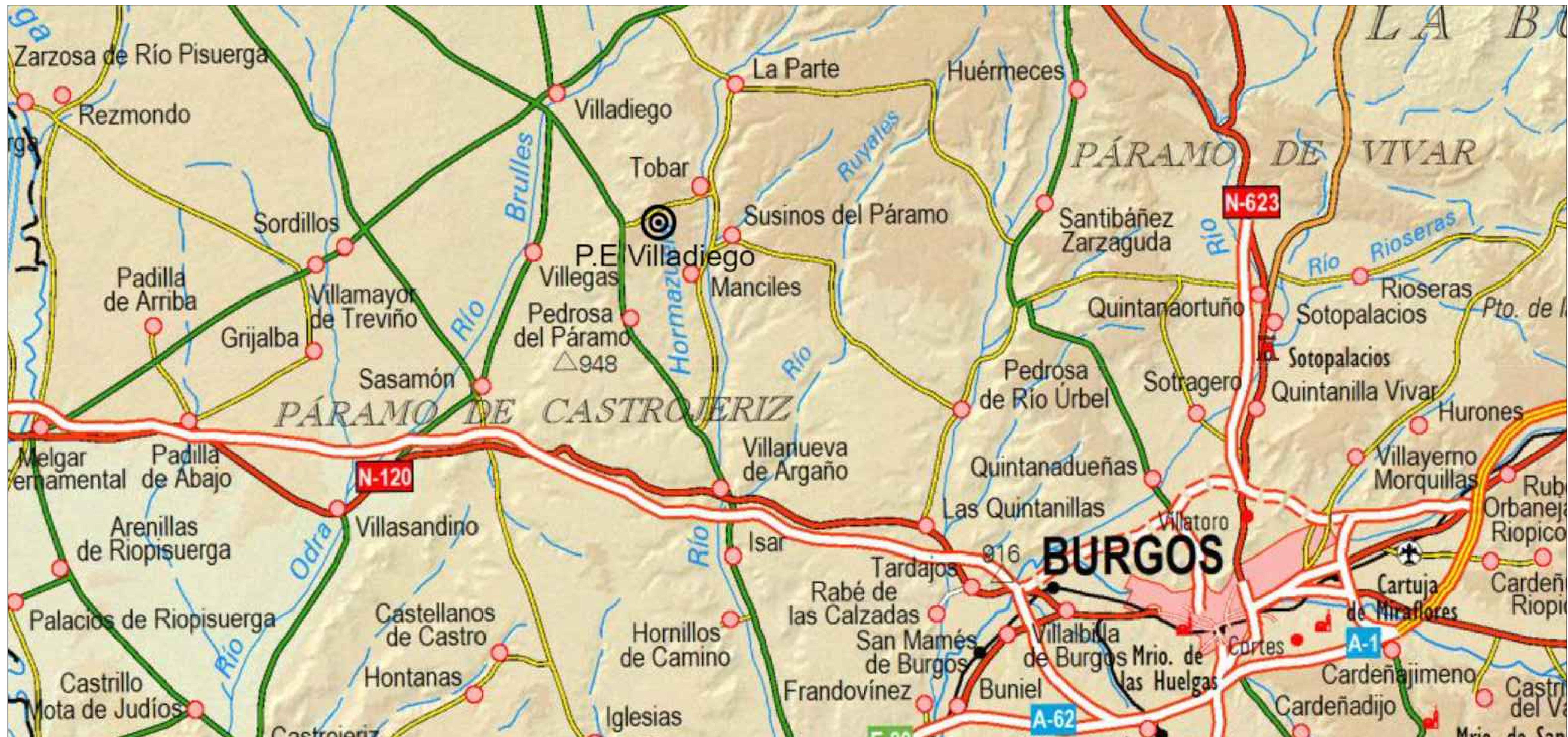
11. Referencias

- [1] Enerdata, «Consumo nacional de electricidad,» 2021. [En línea]. [Último acceso: 25 Enero 2023].
- [2] U.S. Energy Information Administration, «Annual Energy Outlook 2021,» 2021.
- [3] Agencia Europea de Medio Ambiente, «La energía y el cambio climático,» 25 Septiembre 2017. [En línea]. [Último acceso: 20 Enero 2023].
- [4] Red Eléctrica de España, «La eólica se convierte en la principal fuente de generación de energía eléctrica en España en 2021,» 16 Diciembre 2021. [En línea]. [Último acceso: 25 Enero 2023].
- [5] Asociación Empresarial Eólica, «Anuario Eólico 2022,» 2022.
- [6] European Commission, «New European Wind Atlas,» [En línea].
- [7] KPMG, «"El impacto socioeconómico de la energía eólica en el contexto de la transición energética",» 2019.
- [8] Ministerio para la Transición Energética y el Reto Demográfico, «Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC),» 2021.
- [9] Junta de Castilla y León, «Consideraciones Ambientales Energía Eólica,» [En línea]. Available: <https://energia.jcyl.es/web/es/biblioteca/eolica-consideraciones-ambientales.html>.
- [10] CENER, «Mapa Eólico Ibérico,» [En línea].
- [11] Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad, «Grid Map,» [En línea].
- [12] Instituto Geográfico Nacional, «Sistema de información del Instituto Geográfico Nacional,» [En línea].
- [13] Siemens- Gamesa, «SG 6.6-170 Aerogenerador Onshore,» [En línea].
- [14] Prysmian Group, «Catálogo de cables para Baja y Media Tensión,» [En línea].
- [15] Optral, «Catálogo de cables de fibra óptica,» [En línea].
- [16] Dirección General del Catastro, «Sede Electrónica del Catastro,» [En línea].
- [17] Ecoticias, «La Energía Eólica en 2022,» [En línea].

Documento nº2: Planos

ÍNDICE

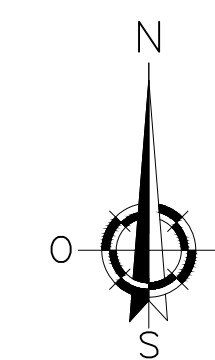
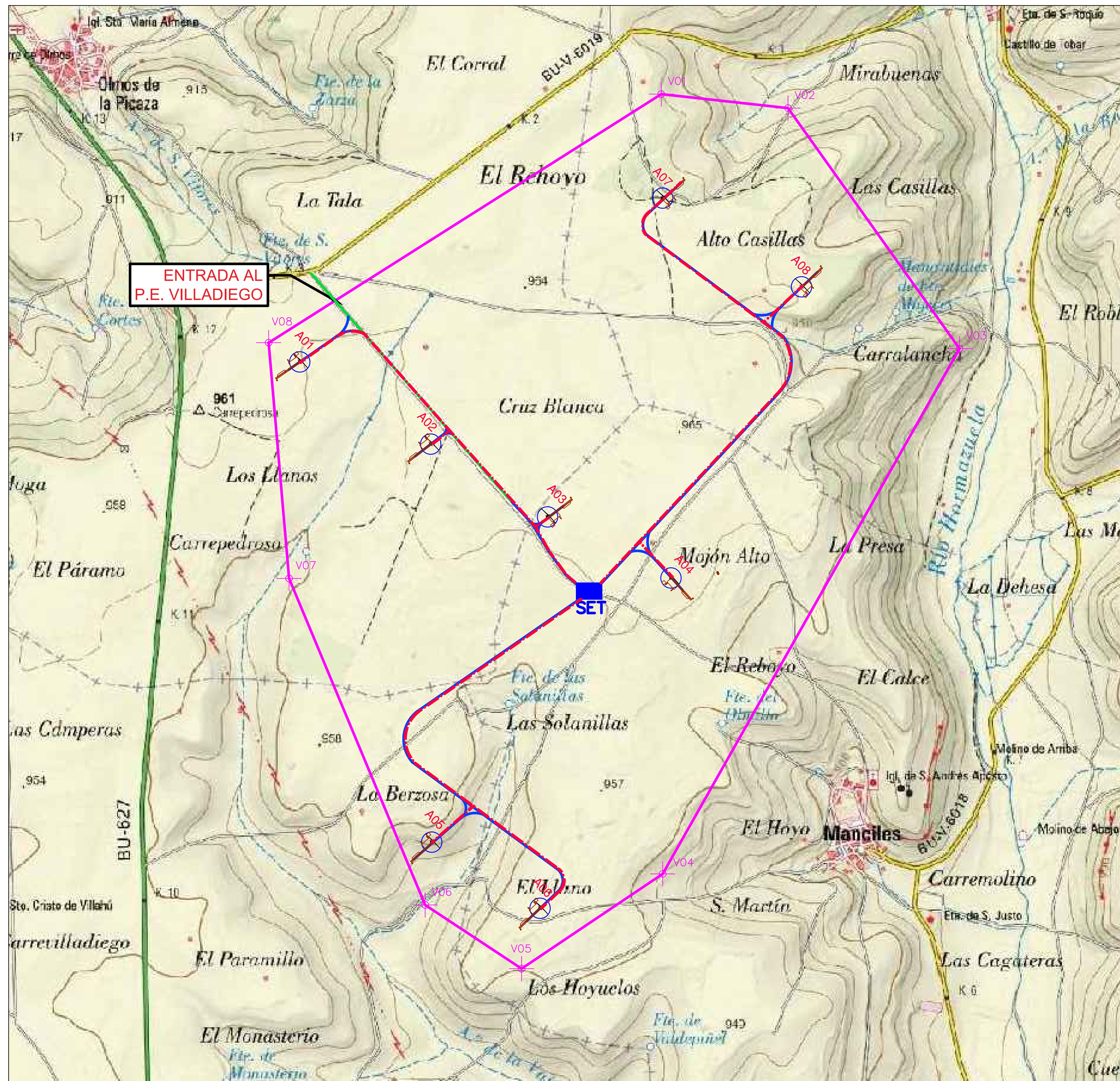
1. Localización del emplazamiento.
2. Emplazamiento sobre topografía.
3. Emplazamiento sobre curvas de nivel.
4. Emplazamiento sobre ortofoto.
5. Parcelario y vial de acceso.
6. Cimentación de los aerogeneradores, geometría y dimensionamiento.
7. Viales tipo- detalles.
8. Zanjas eléctricas.
9. Esquema de interconexión de fibra óptica.
10. Distribución general de tierras.
11. Esquema unifilar general.
12. Esquema unifilar de la subestación 30kV.



varo de Egaña Marín

Ans

1	22-04-23	AEM	AEM			TRABAJO FIN DE GRADO			
EDIC	FECHA	CDD	TP	RVS	APR	EDITADO PARA			
TITULO PROYECTO:									
P.E. VILLADIEGO									
TITULO PLANO:								ESCALA:	
LOCALIZACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO									
						Plano:			
						Nº 1			
						HOJA		SIGUE	



ID. AERO.	X_{UTM}	Y_{UTM}	Z
A01	420.326	4.702.551	959
A02	420.770	4.702.302	959
A03	421.212	4.702.047	961
A04	421.655	4.701.796	961
A05	420.741	4.700.854	942
A06	421.199	4.700.636	956
A07	421.629	4.703.136	960
A08	422.151	4.702.836	956

COORDENADAS UTM POLIGONALES (ZONA 30N)		
ID. VÉRTICE	X _{UTM}	Y _{UTM}
V01	421.611	4.703.518
V02	422.047	4.703.426
V03	422.628	4.702.564
V04	421.596	4.700.747
V05	421.093	4.700.412
V06	420.730	4.700.628
V07	420.238	4.701.765
V08	420.226	4.702.625

LEYENDA

- | | |
|---|---------------------------------------|
|  | ENTORNO POLIGONAL |
|  | VIAL NUEVO |
|  | VIAL EXISTENTE A REPARAR |
|  | ZANJA DE CABLES ELÉCTRICOS |
|  | SUBESTACIÓN Y EDIFICIO DE CONTROL |
|  | AEROGENERADOR Y PLATAFORMA DE MONTAJE |

Álvaro de Egaña Marín

Am

1	22-04-23	AEM	AEM			TRABAJO FIN DE GRADO
EDIC	FECHA	DD	TP	RVS	APR	EDITADO PARA

P.E. VILLADIEGO

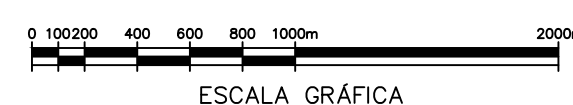
TITULO PLANO:

EMPLAZAMIENTO SOBRE TOPOGRAFÍA



Plano:	Nº 2
--------	------

HOJA	SIGUE
------	-------

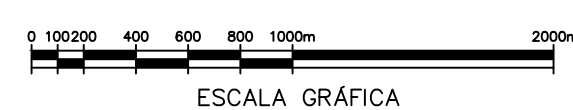


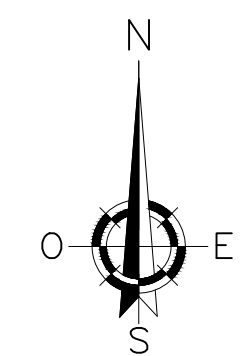


COORDENADAS UTM POLIGONALES (ZONA 30N)		
ID. VÉRTICE	X _{UTM}	Y _{UTM}
V01	421.611	4.703.518
V02	422.047	4.703.426
V03	422.628	4.702.564
V04	421.596	4.700.747
V05	421.093	4.700.412
V06	420.730	4.700.628
V07	420.238	4.701.765
V08	420.226	4.702.625



1	25-04-23	AEM	AEM			TRABAJO FIN DE GRADO			
EDIC	FECHA	DD	TP	RVS	APR	EDITADO PARA			
TITULO PROYECTO:									
P.E. VILLADIEGO									
TITULO PLANO:						ESCALA:			
EMPLAZAMIENTO SOBRE CURVAS DE NIVEL						1:20.000			
						Plano:			
						Nº 3			
						HOJA		SIGUE	





COORDENADAS UTM DE LOS AEROGENERADORES (HUSO 30N)			
ID. AERO.	X_{UTM}	Y_{UTM}	Z
A01	420.326	4.702.551	959
A02	420.770	4.702.302	959
A03	421.212	4.702.047	961
A04	421.655	4.701.796	961
A05	420.741	4.700.854	942
A06	421.199	4.700.636	956
A07	421.629	4.703.136	960
A08	422.151	4.702.836	956

COORDENADAS UTM POLIGONALES (ZONA 30N)		
ID. VÉRTICE	X _{UTM}	Y _{UTM}
V01	421.611	4.703.518
V02	422.047	4.703.426
V03	422.628	4.702.564
V04	421.596	4.700.747
V05	421.093	4.700.412
V06	420.730	4.700.628
V07	420.238	4.701.765
V08	420.226	4.702.625



- | | |
|---|---------------------------------------|
|  | ENTORNO POLIGONAL |
|  | VIAL NUEVO |
|  | VIAL EXISTENTE A REPARAR |
|  | ZANJA DE CABLES ELÉCTRICOS |
|  | SUBESTACIÓN Y EDIFICIO DE CONTROL |
|  | AEROGENERADOR Y PLATAFORMA DE MONTAJE |

Álvaro de Egaña Marín

Adm

[illegible]



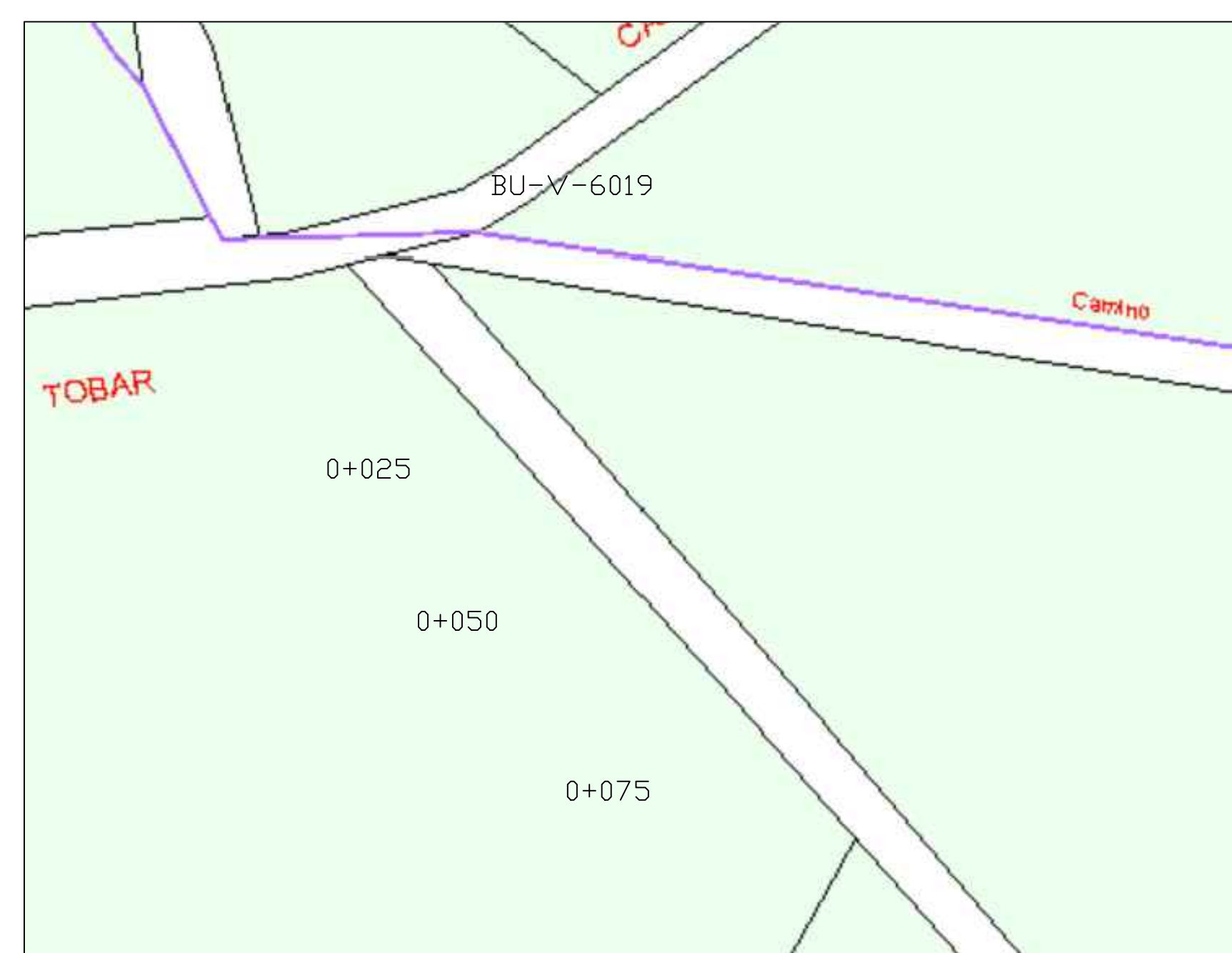
COORDENADAS UTM POLIGONALES

LEYENDA

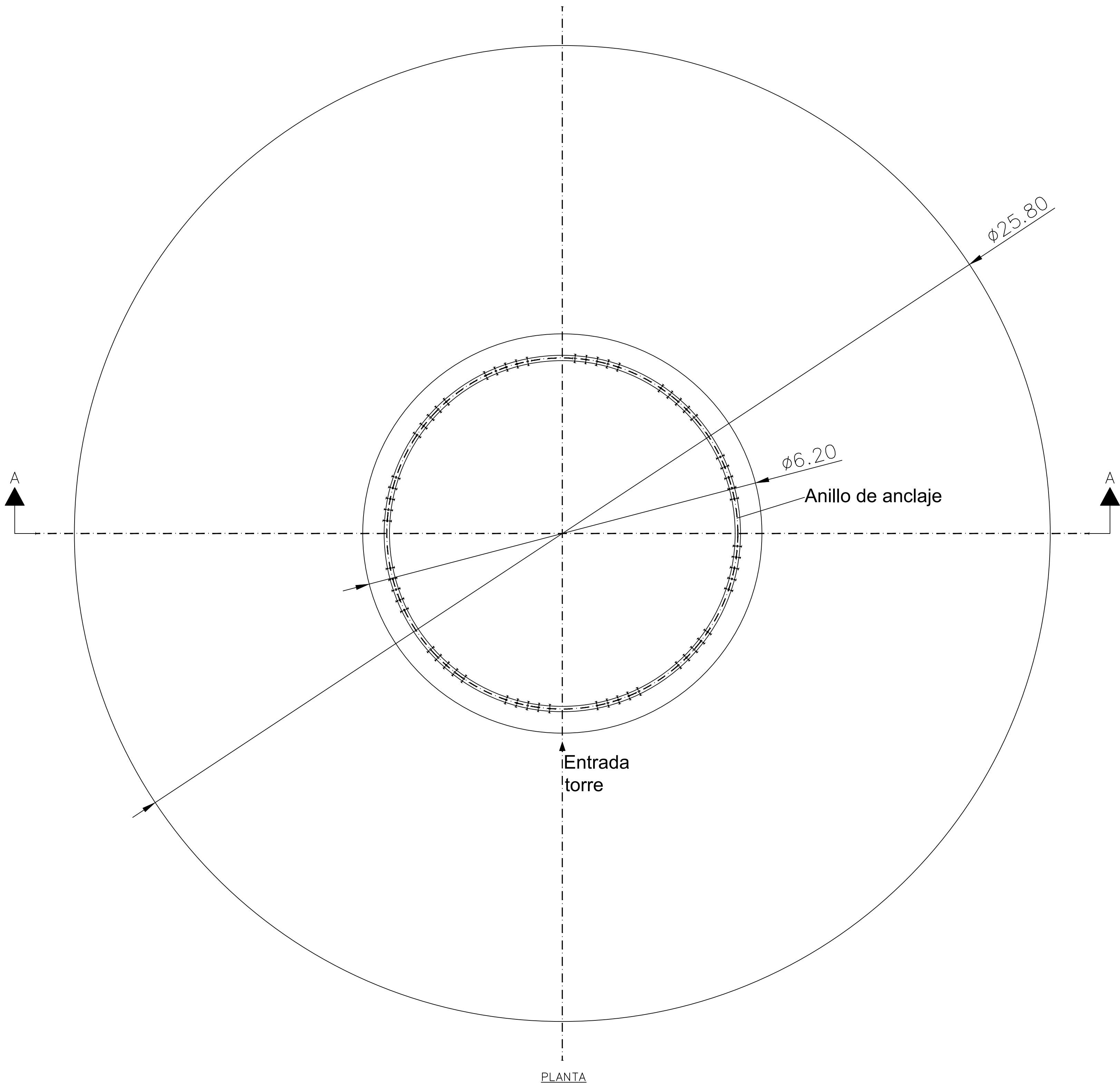
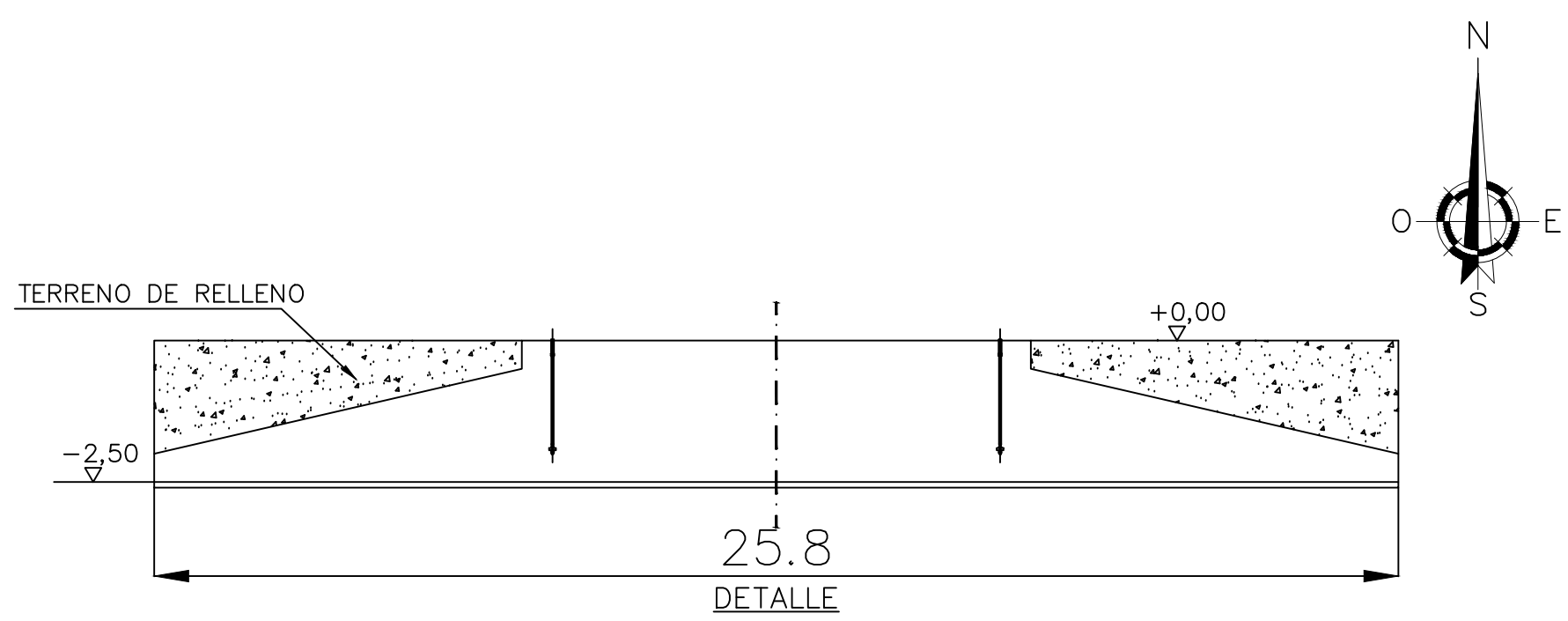
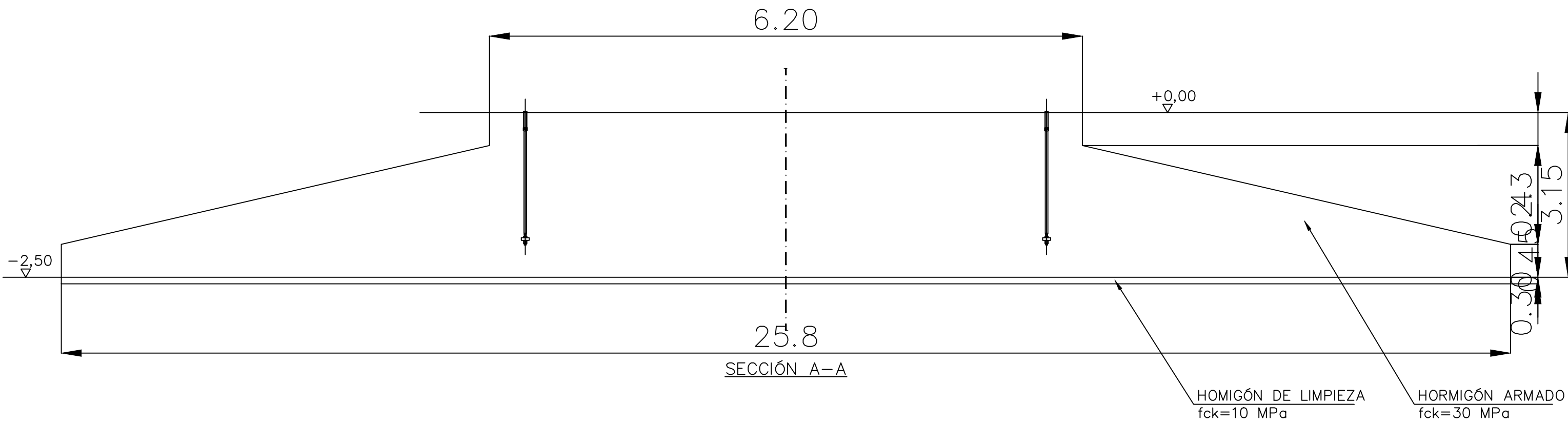
- | | |
|---|---------------------------------------|
|  | ENTORNO POLIGONAL |
|  | VIAL NUEVO |
|  | VIAL EXISTENTE A REPARAR |
|  | ZANJA DE CABLES ELÉCTRICOS |
|  | SUBESTACIÓN Y EDIFICIO DE CONTROL |
|  | AEROGENERADOR Y PLATAFORMA DE MONTAJE |

Álvaro de Egaña Marín

Agm



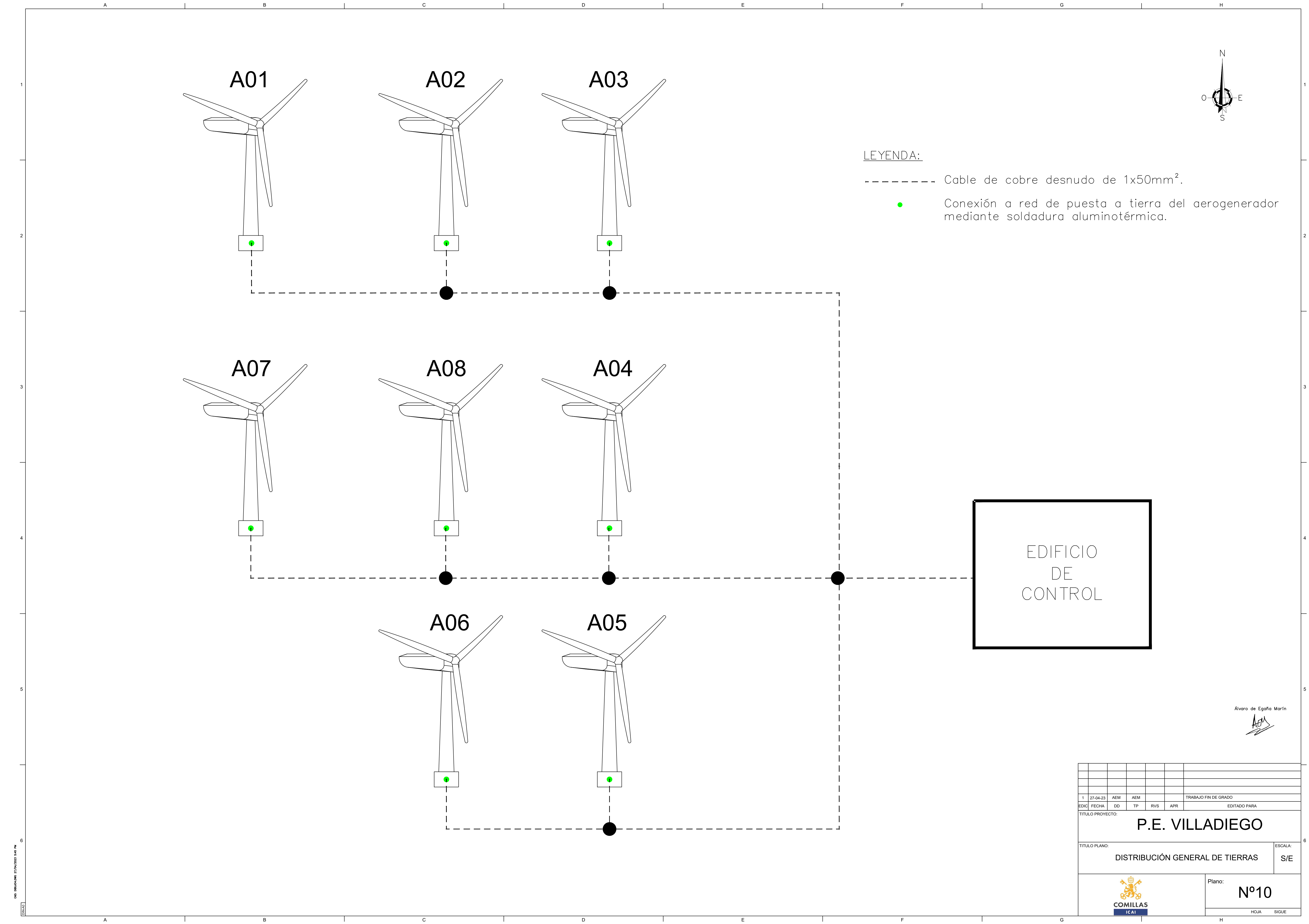
1	22-04-23	AEM	AEM			TRABAJO FIN DE GRADO			
EDIC	FECHA	DD	TP	RVS	APR	EDITADO PARA			
TITULO PROYECTO:									
P.E. VILLADIEGO									
TIPO PLANO:						ESCALA			
PARCELARIO Y VIAL DE ACESO									
						Plano:			
						Nº 5			
						FOLIA SIGUIE			



NOTAS. -
1.- TODAS LAS DIMENSIONES ESTÁN EN METROS.

Álvaro de Egoña Marín

1	01-05-23	AEM	AEM					TRABAJO FIN DE GRADO	
EDIC	FECHA	DD	TP	RVS	APR			EDITADO PARA	
TÍTULO PROYECTO:									
P.E. VILLADIEGO									
TÍTULO PLANO: PREDISEÑO CIMENTACIÓN AEROGENERADORES GEOMETRÍA Y DIMENSIONAMIENTO									ESCALA: 1:60
COMILLAS ICAI									Plano: N°6
									HOJA SIGUE



LEYENDA:

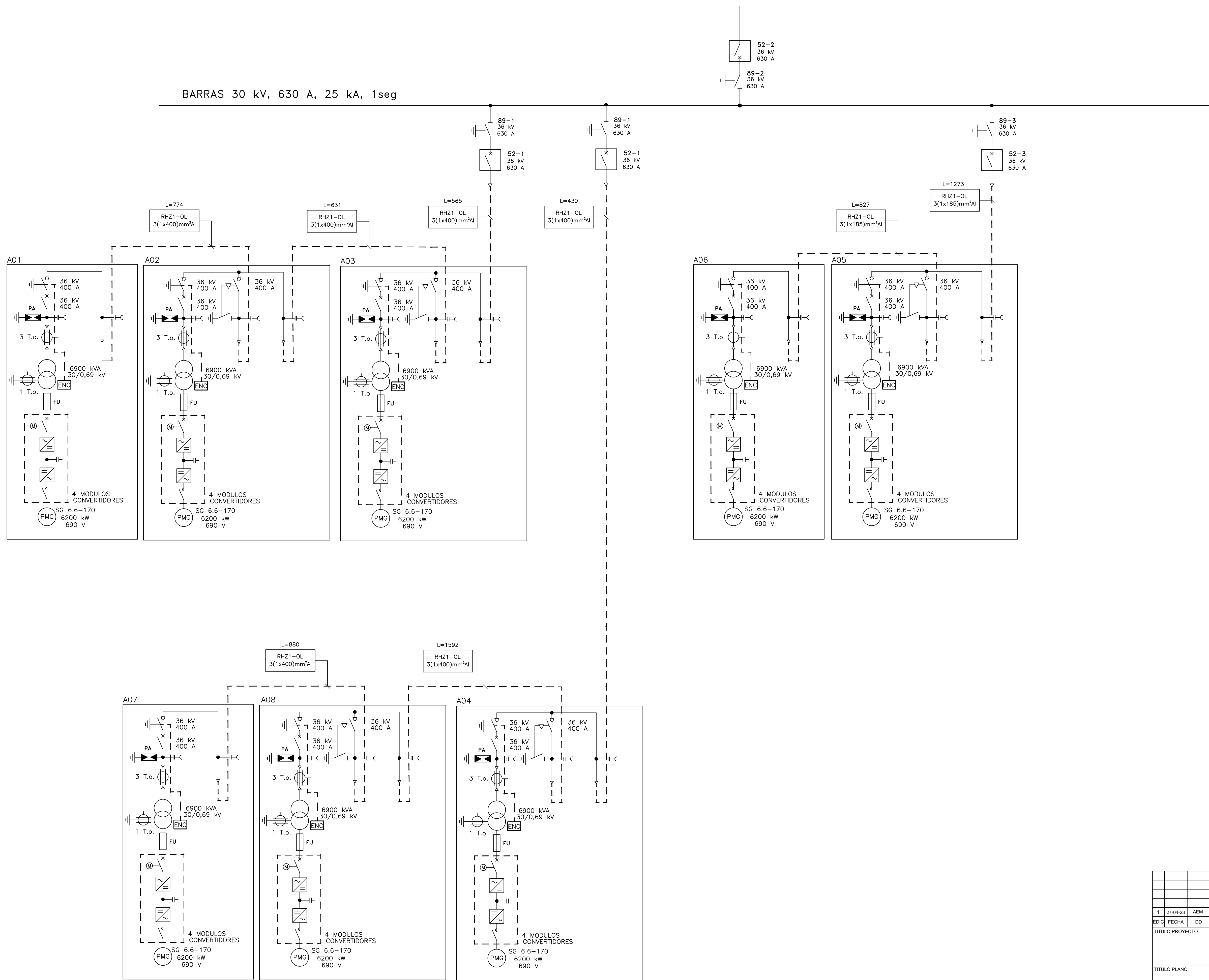
----- Cable de cobre desnudo de 1x50mm².

● Conexión a red de puesta a tierra del aerogenerador mediante soldadura aluminotérmica.

EDIFICIO
DE
CONTROL

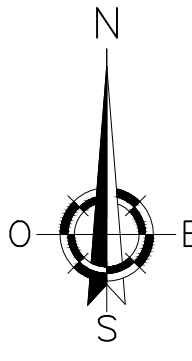
Álvaro de Egoña Marín

1	27-04-23	AEM	AEM						TRABAJO FIN DE GRADO
EDIC	FECHA	DD	TP	RVS	APR				EDITADO PARA
TÍTULO PROYECTO:									
P.E. VILLADIEGO									
TÍTULO PLANO:									ESCALA:
DISTRIBUCIÓN GENERAL DE TIERRAS									S/E
									Plano:
									Nº10
									HOJA
									SIGUE



AGM

CAD: PLANO11.DWG 24/06/2023 8:54 PM



Adm

1	01-05-23	AEM						TRABAJO FIN DE GRADO	
EDIC.	FECHA	DD	TP	RVS	APR			EDITADO PARA	
TÍTULO PROYECTO:									
P.E. VILLADIEGO									
TÍTULO PLANO:									ESCALA:
ESQUEMA UNIFILAR GENERAL SUBESTACIÓN SISTEMA 30kV									S/E
 COMILLAS ICAÍ						Plano:			
						Nº 12			
						HOJA SIGUE			

Documento nº3: Pliego de Condiciones

Índice:

Pliego de Condiciones Generales

Pliego de Condiciones de la Infraestructura de Obra Civil

Pliego de Condiciones de la Infraestructura de Instalaciones Eléctricas

Pliego de Condiciones Generales

Índice

1. Objeto	3
2. Disposiciones generales	3
2.1 Partes involucradas	3
3. Normativa legal aplicable.....	3
4. Seguridad.....	4
5. Seguridad Pública.....	5
6. Organización del trabajo	5
7. Datos de la obra.....	5
8. Replanteo de la obra	6
9. Mejoras y variaciones en el proyecto	6
10. Recepción del material	6
11. Organización.....	6
12. Ejecución de las obras	7
13. Plazo de ejecución	7
14. Recepción provisional	7
15. Periodo de garantía	8
16. Recepción definitiva	8

1. Objeto

El objeto del presente documento es agrupar las normas y expectativas necesarias para el correcto desarrollo del Parque Eólico Villadiego. Todas las partes involucradas en la construcción deberán cumplir todas las condiciones expuestas en este pliego.

Para consultar las condiciones técnicas de la construcción, se han elaborado dos sendos documentos: uno sobre la Obra Civil y otro sobre Infraestructura Eléctrica, recogiendo este documento las condiciones generales que aplican a todos los ámbitos del proyecto.

2. Disposiciones generales

2.1 Partes involucradas

A continuación, se detallan las atribuciones específicas de las partes involucradas en el desarrollo del proyecto y que estarán continuamente mencionadas más adelante:

- El Promotor es la persona física o jurídica que impulsa, desarrollando y/o financiando, el proyecto.
- La Dirección de Obra será la persona designada por el Promotor para dirigir y observar el cumplimiento de estas condiciones.
- El Contratista es la persona física o jurídica que, disponiendo de condición legal para ello, llevará a cabo las obras acordadas por contrato, además de ser responsable de éstas. Por esta razón, previo al inicio de las obras, el Contratista será responsable de contratar a todo el personal necesario para la ejecución de las mismas, teniendo asimismo la obligación de contar con un Seguro de Responsabilidad Civil, Subsidio Familiar y de Vejez, y Seguro de Enfermedad, para cada uno de los trabajadores presentes en la obra. En concreto, seguirá lo dispuesto en la norma UNE-24042: “Contratación de obras. Condiciones generales”, así como todo lo detallado en estos Documentos.

3. Normativa legal aplicable

Todas las obras, además de lo prescrito en el presente Pliego de Condiciones, se regirán por todo lo especificado en:

- Artículo 1.588 y siguientes del Código Civil, en los casos de procedente aplicación.

- Real Decreto Legislativo 2/2000, del 16 de junio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.
- Real Decreto 1098/2001, del 12 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento General de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.
- Real Decreto 223/2008, del 15 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas de seguridad en líneas eléctricas de Alta Tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT.
 - a. Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas y Centros de Transformación (R.D 32757/1982, del 12 de noviembre).
 - b. Normas Administrativas y Técnicas para el Funcionamiento y conexión a Redes Eléctricas de Centrales Hidroeléctricas de hasta 5000 kVA y Centrales de Autogeneración Eléctrica. (Orden del 5 de septiembre de 1985).
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, aprobada el 09/03/1971, del Ministerio de Trabajo:
 - a. Real Decreto 1627/1997, del 24 de octubre, por el que se establecen las condiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
 - b. Real Decreto 487/1997, del 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos para los trabajadores.

Cualquier modificación de estas normas aprobadas durante la fase de construcción, serán de obligado cumplimiento.

Ante eventualidades no previstas en este Documento, la decisión potestativa corresponde la Dirección de Obra.

4. Seguridad

El Contratista deberá presentar, antes del comienzo de las obras, un estudio de seguridad en el que se reflejen las medidas adoptadas para implementar las condiciones del presente Pliego. Este estudio será revisado y aprobado por la Dirección de Obra.

El Contratista estará obligado a cumplir todas las condiciones presentes en el apartado 3 del presente Pliego: “Normativa legal aplicable”.

El Contratista deberá proveer a sus trabajadores de cuanto sea preciso para el mantenimiento de máquinas, herramientas, materiales y útiles de trabajo en las mejores condiciones de seguridad.

Mientras los operarios trabajen con tensión, o en las proximidades de equipos en tensión, deberán llevar ropa sin accesorios metálicos y evitarán en la medida de lo posible el uso de herramientas metálicas. Las herramientas y equipos se transportarán en bolsas y se utilizará calzado aislante.

El personal está obligado a utilizar todos los dispositivos y medios de protección a su disposición, pudiendo la Dirección de Obra suspender los trabajos de la obra, si estima que el personal está expuesto a peligros corregibles.

La Dirección de Obra podrá exigir al Contratista, por escrito, el cese de cualquier trabajador que, por su actitud temeraria, fuera capaz de crear un accidente que ponga en riesgo su propia integridad o la de sus compañeros.

La Dirección de Obra podrá exigir al Contratista en cualquier momento, que presente los documentos acreditativos de haber realizado todas las gestiones con la Seguridad Social para la regularización de sus trabajadores.

5. Seguridad Pública

El Contratista deberá tomar todas las precauciones posibles en lo relativo a la protección de personas, animales o cosas ajenas a la obra de cualquier peligro procedente de los trabajos, siendo responsable de cualquier accidente ocasionado sobre las mismas.

El Contratista mantendrá una póliza de seguros que proteja a sus trabajadores de responsabilidades por daños, civil, etc. en las que pudieran incurrir como consecuencia de la ejecución de los trabajos.

6. Organización del trabajo

La organización de los trabajos es responsabilidad del Contratista, planificando los trabajos para su perfecta finalización de la manera más eficaz posible. En caso de contratiempos o imprevistos durante la realización de los trabajos, la Dirección de Obra, estimará el momento más oportuno para su reanudación.

7. Datos de la obra

El Promotor deberá poner a disposición del Contratista una copia de los Planos y Pliego de Condiciones del Proyecto.

El Contratista podrá tomar notas o realizar cuantas copias sean necesarias para la correcta ejecución del proyecto. El Contratista será responsable de la buena conservación de los documentos originales, que serán devueltos a la Dirección de la Obra una vez finalizados los trabajos.

Tras la finalización de la obra, y en el plazo máximo de dos meses, el Contratista actualizará los planos y documentos originales, de acuerdo con las características de la

obra terminada. El Contratista entregará a la Dirección de Obra dos expedientes completos que reflejen los trabajos realmente ejecutados.

El Contratista no hará ninguna alteración, corrección, omisión o cualquier variación sustancial sin previa aprobación por escrito de la Dirección de Obra.

8. Replanteo de la obra

La Dirección de Obra, una vez el Contratista esté en posesión de la documentación, deberá realizar un replanteo de todo el proyecto.

Se levantará acta de dicho replanteo, estableciendo los puntos singulares. Se firmará por triplicado (Dirección de Obra, Promotor y Contratista).

9. Mejoras y variaciones en el proyecto

No se considerarán mejoras y variaciones del Proyecto, salvo las ordenadas expresamente y por escrito por la Dirección de Obra.

10. Recepción del material

La Dirección de Obra, de acuerdo con el Contratista, dará su aprobación a los materiales suministrados y confirmará su validez para una instalación correcta.

11. Organización

El Contratista actúa de patrono legal, siendo de su responsabilidad todas las obligaciones correspondientes, y quedando obligado al pago de los salarios y cargas legalmente establecidos.

De acuerdo con lo establecido en el Pliego, la organización de la obra y la procedencia de materiales quedará a cargo del Contratista, quien informará a la Dirección de Obra.

El Contratista deberá dar cuenta diariamente a la Dirección de Obra, de la admisión de personal, adquisición de material, alquiler de elementos auxiliares y cualquier otro gasto.

12. Ejecución de las obras

Las obras se ejecutarán conforme a los Planos y a los Pliegos de Condiciones proporcionados al Contratista. Cualquier posible error o incongruencia se resolverá con la Dirección de Obra.

El Contratista no podrá realizar ninguna modificación o alteración de los datos fijados en el Proyecto, salvo aprobación previa y por escrito de la Dirección de Obra.

El Contratista deberá tener al frente de las obras, a un personal suficientemente especializado, a juicio de la Dirección de Obra.

13. Plazo de ejecución

Las obras deberán realizarse conforme al cronograma descrito en la Memoria Descriptiva. El Contratista deberá cumplir con dichos plazos, que serán improrrogables.

No obstante a lo anteriormente descrito, los plazos podrán ser modificados si, por alguna modificación de la Dirección de Obra, los plazos señalados en el contrato realmente se ven alterados.

Si por causas ajenas al Contratista, se tuviesen que aplazar los trabajos, la Dirección de Obra concederá la prórroga estrictamente necesaria.

En caso de no cumplir con los plazos, salvo causa mayor, se penalizará al Contratista con un 2% sobre el importe total por día de demora.

14. Recepción provisional

Una vez finalizados los trabajos, el Contratista solicitará la recepción provisional en un plazo de no más de quince días.

Se levantará un Acta en presencia de la Dirección de Obra, el Promotor y el Contratista, en el que se tratará la conformidad con los trabajos realizados. El Acta será firmada por todas las partes, dando por recibida la obra si se ha ejecutado correctamente, de acuerdo a los documentos proporcionados al Contratista.

En el caso de no hallarse la obra en condiciones de ser recibida, se hará constar en el Acta, y la Dirección de Obra, dará las instrucciones precisas para solucionar los defectos observados, fijándose un plazo de ejecución para su subsanación. Expirado ese plazo, se realizará un nuevo reconocimiento, pudiendo rescindir el contrato por incumplimiento de garantías si el Contratista no ha sido capaz de terminar las tareas.

15. Periodo de garantía

El periodo de garantía se especificará en el contrato y empezará a contar desde la fecha de aprobación en el Acta de recepción.

Hasta que suceda la recepción definitiva, el Contratista tendrá la responsabilidad de la perfecta conservación de la obra.

16. Recepción definitiva

Una vez finalizado el periodo de garantía acordado en el contrato, o en su defecto a los doce meses de la recepción provisional, se procederá a la recepción definitiva de las obras, concurriendo la Dirección de Obra y el Contratista, levantándose, si la ejecución de la obra es conforme, Acta por duplicado, firmado por la Dirección de Obra y el Contratista, y ratificado por el Promotor.

Una vez se firme el Acta, la responsabilidad de la conservación de las obras recaerá sobre la parte contratante, a excepción de una mala praxis por parte del Contratista que no pudo ser descubierta durante el periodo de garantía.

Pliego de Condiciones Técnicas de Obra Civil

Índice

1.	Especificación del movimiento de tierras	4
1.1	Objeto.....	4
1.2	Instrucciones y normas	4
1.3	Descripción de la obra	4
1.3.1	Planos	4
1.3.2	Interpretación de la documentación.....	5
1.3.3	Control de calidad.....	5
1.4	Prescripciones para la ejecución de excavaciones y rellenos.	5
1.4.1	Excavación para cimentaciones y foso	6
1.4.2	Excavación en zanjas	6
1.5	Estanqueidad de excavaciones.....	7
1.6	Entibados metálicos y de madera, apoyos y soportes.....	7
1.7	Rellenos	7
1.7.1	Rellenos con material filtrante	8
1.7.2	Relleno de zanjas para cables eléctricos	8
1.8	Inspección y control.....	9
1.8.1	Tolerancias de acabado en excavaciones	9
1.8.2	Tolerancias de acabado en rellenos.....	9
1.8.3	Control de calidad	9
2.	Especificación de obras de hormigón.....	10
2.1	Objeto.....	10
2.2	Normativa aplicable	10
2.3	Descripción de la obra	10
2.4	Características de los materiales	11
2.4.1	Procedencia y recepción de los materiales.....	11
2.4.2	Almacenamiento de materiales	11
2.4.3	Materiales para encofrados y cimbras	11
2.4.4	Armaduras.....	12
2.4.5	Elementos embebidos y pernos de anclaje.....	12
2.4.6	Cemento	12
2.4.7	Agua.....	13
2.4.8	Áridos.....	13
2.4.9	Aditivos.....	13
2.4.10	Morteros.....	13

2.4.11 Materiales para juntas de estanqueidad.....	14
2.5 Condiciones de ejecución	14
2.5.1 Ejecución y colocación de encofrados y cimbras	14
2.5.2 Preparación y colocación de armaduras.....	14
2.5.3 Elementos embebidos y pernos de anclaje.....	15
2.5.4 Dosificación del hormigón.....	15
2.5.5 Fabricación del hormigón	15
2.5.6 Transporte del hormigón.....	16
2.5.7 Docilidad.....	16
2.5.8 Protección y curado	16
2.5.9 Juntas de hormigonado	16
2.5.10 Hormigonado bajo el agua	17
2.5.11 Hormigonado en tiempo frío.....	17
2.5.12 Hormigonado en tiempo caluroso	17
2.5.13 Rellenos de mortero bajo placas de asiento y en cajetines o manguitos.....	18
2.5.14 Descabezados de pilotes	18
2.6 Control de calidad	18
2.6.1 Control de armaduras.....	18
2.6.2 Control de componentes del hormigón.....	19
2.6.3 Petición de hormigonado	19
2.6.4 Control de calidad, consistencia y resistencia del hormigón	19
2.7 Aspectos de la obra acabada y tolerancias	19
2.7.1 Tolerancias	19

1. Especificación del movimiento de tierras

1.1 Objeto

El objeto de esta Especificación es proporcionar las características técnicas relativas al suministro de materiales, ejecución, ensayos y pruebas de todas las obras de excavación y relleno.

Todos los elementos por construir deberán cumplir con la totalidad de los apartados que le sean aplicables, salvo indicación contraria de la Dirección de Obra.

1.2 Instrucciones y normas

Esta especificación hará referencia a:

- Normas NTL del CEDEX
- Pliego de preinscripciones técnicas generales para obras, carreteras y puentes, PG-3.

1.3 Descripción de la obra

La obra a ejecutar se define en los siguientes documentos:

- Planos
- Especificaciones

1.3.1 Planos

Cuando se reciban los planos y antes de iniciar cualquier trabajo, el Contratista deberá comprobar el correcto dimensionamiento de los planos y, si encuentra alguna incongruencia, informar de ello a la Dirección de Obra, que subsanará el error. De no hacerlo, el Contratista carga con la responsabilidad del error cometido.

El Contratista respetará todas las indicaciones proporcionadas, salvo cuando creyera aconsejable hacer algún cambio, que la Dirección de la Obra podrá aprobar por escrito.

1.3.2 Interpretación de la documentación

Es obligación del Contratista ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, aún cuando no se halle expresamente descrito en la documentación.

Todas las dimensiones se deducirán numéricamente de las cotas de los planos.

No se deducirá ninguna dimensión basada en la interpretación gráfica de los planos. En caso de que sea preciso definir alguna dimensión, se consultará a la Dirección de Obra.

1.3.3 Control de calidad

La Dirección de Obra solicitará cuantas pruebas y ensayos estime oportunos para asegurar el cumplimiento de estas especificaciones. Esto correrá a cargo del Contratista, en tanto que su número y tipo se encuentren dentro de lo previsto en los documentos del proyecto.

1.4 Prescripciones para la ejecución de excavaciones y rellenos.

Las excavaciones realizadas en cualquier tipo de terreno se realizarán a las cotas del proyecto, con las dimensiones indicadas, y además se seguirán las instrucciones proporcionadas por la Dirección de Obra antes y durante las obras.

Si por razones particulares de trabajo, el Contratista considera la excavación a una cota distinta, podrá hacerlo asumiendo los costes del exceso de excavación y del relleno necesario para volver a la cota diseñada, previa autorización expresa de la Dirección de Obra.

Los materiales procedentes de las excavaciones y demoliciones pertenecen al Promotor. El Contratista podrá hacer uso de dichos materiales, previa aprobación del Promotor y de la Dirección de Obra.

Aquellos materiales no usados, según el criterio de la Dirección de Obra, se llevarán a un lugar de almacenamiento fuera del área de la obra, y siempre colocados de tal manera que no produzca daño ni interferencia a personas u otras actividades.

Durante la ejecución de los trabajos, y en específico de las voladuras, el Contratista examinará las paredes de las excavaciones y procederá a su saneamiento si fuere necesario.

Si existiere peligro de que lleguen escombros en carreteras o vías públicas durante los trabajos de voladura, el Contratista lo pondrá en conocimiento de la Administración Pública, y llevará cabo las instrucciones que la Administración disponga.

1.4.1 Excavación para cimentaciones y foso

Todas las excavaciones se realizarán cumpliendo las cotas y dimensiones proporcionadas en los planos, o como sea preciso para lograr la correcta ejecución sea cual sea el material encontrado.

El fondo de las excavaciones deberá quedar perfectamente nivelado, libre de escombros y en buen estado, hasta la finalización de la obra.

Las condiciones del suelo de las excavaciones deberán ser revisadas y aprobadas por la Dirección de Obra. Los materiales excavados se utilizarán posteriormente en el relleno bajo el ámbito de estas especificaciones. Los materiales que la Dirección de Obra califique de no necesarios serán transportados a un vertedero dispuesto por el Contratista y situado fuera de los límites de la Propiedad.

El Contratista no cortará ningún servicio subterráneo sin previa aprobación de la Dirección de Obra. Las averías a una línea de servicio sin autorización serán de responsabilidad completa del Contratista.

Todo exceso de profundidad o anchura que vaya más allá de lo requerido por el trabajo será rellenado y compactado a coste del Contratista, siempre que la Dirección de Obra considere que este exceso se debe a la negligencia o descuido en el trabajo del Contratista.

1.4.2 Excavación en zanjas

Las zanjas se realizarán con una profundidad de 1,25 metros y una tolerancia máxima admisible de 5 cm. Toda excavación que exceda dicha tolerancia será restituida por el Contratista con relleno compactado.

La anchura de la excavación no será mayor de la requerida por las condiciones del suelo locales.

Las zanjas montarán los cables de Media Tensión, Puesta a Tierra y Fibra Óptica, según proceda.

Cuando las zanjas lleven montadas cables de M.T, Fibra Óptica y PAT, tendrán una profundidad mínima de 1,25 metros, salvo cuando la zanja cruce un vial, en cuyo caso tendrá una profundidad de 1,50 metros.

El ancho mínimo de zanja para cables eléctricos es de 400 milímetros.

El excedente resultante de la excavación de las zanjas se situará a los lados, separados un metro para evitar que interfiera con la estabilidad de las zanjas, y se utilizará para el relleno posterior de las mismas.

Los apartados relativos a la “Excavación para cimentaciones y foso” son aplicables también a la excavación en zanjas.

1.5 Estanqueidad de excavaciones

Las excavaciones se preservarán secas durante la realización del trabajo, y el Contratista deberá proporcionar a los trabajadores de cualquier material o medio necesario para proteger a la obra de cualquier curso de agua que se aproxime a la obra, así como de inundaciones.

El Contratista empleará todos los medios necesarios para evitar el curso de agua deteriore o arrastre las excavaciones y las cimentaciones.

1.6 Entibados metálicos y de madera, apoyos y soportes

Los entibiados utilizados para el soporte de la cimentación o de cualquier estructura serán proporcionados por el Contratista, y en suficiente cantidad para la eficaz realización de la obra, así como será responsable de la retirada de estos una vez no sean necesarios.

La Dirección de la Obra deberá aprobar expresamente el uso de los entibiados, previa solicitud del Contratista.

1.7 Rellenos

Todos los rellenos deberán estar aprobados previamente por la Dirección de Obra.

Como se ha dispuesto previamente, los materiales de relleno serán los excedentes de las excavaciones, previa aprobación de la Dirección de Obra.

El relleno será extendido en capas de un espesor no superior a 150 milímetros y compactado un 95-98% Proctor modificado. El espesor podrá ser de 300 milímetros si se usan medios mecánicos para su compactación.

Todos los rellenos alcanzarán el nivel original del suelo, salvo que la Dirección de Obra indique lo contrario.

Los rellenos deberán cumplir con la siguiente especificación:

- Carecerá de elementos superiores a 10 cm.
- La fracción que pasa por el tamiz 200 ASTM, deberá ser inferior al 35% en peso.
- Procederán de suelos de CBR mayores a 5.

1.7.1 Rellenos con material filtrante

Los materiales filtrantes para zanjas deberán cumplir lo siguiente:

El tamaño máximo no será, en ningún caso superior a setenta y seis milímetros (76 mm) (Tamiz 3" ASTM); y el cernido ponderal acumulado por el tamiz 200 ASTM no deberá superar el cinco por ciento (5%).

Cuando no sea posible encontrar un material que cumpla con estos requisitos, se podrá emplear filtros compuestos por varias capas, con la del material grueso justo en el sistema de evacuación.

1.7.2 Relleno de zanjas para cables eléctricos

La tarea de relleno de zanjas se realizará a la vez que la colocación de los cables, siguiendo el Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión (RLAT).

El tendido de cables seguirá los siguientes criterios:

- En el fondo de la zanja se extenderá el conductor de tierra.
- Sobre el fondo se colocará una capa de arena fina lavada de unos 100 mm de espesor, y sobre ella se extenderán las ternas de cables de Media Tensión, hasta un total de tres, y separadas unos 200 mm entre sí.
- Seguidamente, se extenderá otra capa de arena fina de unos 300 mm, debidamente compactada, y sobre ella se colocará el cable de fibra óptica.
- A continuación, sobre los cables de fibra óptica, se colocará otra capa de arena de 150 mm, y sobre ella, una protección mecánica a base de placas de PVC.
- Sobre las placas se extenderá otra capa de arena de 150 mm, y justo encima, se colocará una cinta de señalización que indique la existencia de cables de media tensión por debajo de ella.
- Por último, encima de la cinta se extenderá una última capa de arena limpia y compactada de unos 300 mm, hasta llegar a ras de suelo.

1.8 Inspección y control

1.8.1 Tolerancias de acabado en excavaciones

Todas las excavaciones deberán cumplir con las siguientes tolerancias:

- ± 5 cm en las elevaciones.
- ± 5 cm en la profundidad de zanjas eléctricas.
- Las cimentaciones deberán ser apisonadas por medios manuales o mecánicos para garantizar una compactación del 90% del Proctor modificado.

1.8.2 Tolerancias de acabado en rellenos

La superficie acabada no podrá superar una tolerancia de quince milímetros cuando se compruebe con una regla de tres metros aplicada tanto paralela como normal a los ejes de la explanada. Tampoco podrá haber zonas de retención de agua.

Cualquier irregularidad que exceda este criterio será corregida por el Contratista.

1.8.3 Control de calidad

El Contratista deberá realizar todas las pruebas y ensayos necesarios para asegurar la calidad necesaria de los materiales.

El Contratista deberá establecer y operar un laboratorio a pie de obra para el control del movimiento de tierras. El laboratorio deberá contar de todos los materiales y equipos necesarios para llevar a cabo los ensayos descritos en las normas NLT-108 y NLT-109 del CEDEX, así como a un operario a pie de obra especializado que sea capaz de realizar dichos ensayos.

La Dirección de Obra será responsable de supervisar los ensayos del Contratista, además de realizar los ensayos suplementarios que considere necesarios. El Contratista deberá poner a disposición de la Dirección de Obra el laboratorio de control, así como los medios que los que dispone para la correcta realización de los ensayos sin ningún cargo extra.

El registro, control y almacenamiento de los materiales utilizados, así como los grados de compactación conseguidos en los trabajos de excavación y relleno, deberán ser determinados de acuerdo a las normas NLT-108 y NLT-109 del CEDEX, anteriormente mencionadas.

2. Especificación de obras de hormigón

2.1 Objeto

El objeto de esta especificación es concretar las características técnicas necesarias para el suministro de materiales, ejecución de la obra, ensayos y pruebas, alineándose también con el resto de los documentos del proyecto.

Todos los elementos de la obra deberán cumplir en su totalidad con los requisitos técnicos en adelante especificados, salvo si se indica lo contrario en los planos o así lo dispone la Dirección de Obra.

2.2 Normativa aplicable

En esta especificación, servirán de referencia las siguientes normas y planos, en todo lo que sea alcanzable y no contradiga a el presente documento, con el siguiente orden de preferencia:

- Planos
- “Especificación de obras de hormigón.”
- “Instrucciones de Hormigón Estructural” (EHE)
- “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos” (RC-08)
- Normas UNE
- Normas ASTM

2.3 Descripción de la obra

La obra de hormigón, al igual que la especificación del movimiento de tierras, está basada en los planos y las especificaciones. Por ello, lo concretado en el apartado 1.3 “Descripción de la obra” se aplica en su totalidad en este apartado.

2.4 Características de los materiales

2.4.1 Procedencia y recepción de los materiales

Previo al uso de los materiales en la obra, el Contratista tiene la obligación de informar a la Dirección de Obra la procedencia de estos, así como sus datos de identificación y los valores de origen, ya que posteriormente serán objeto de control a través de pruebas y ensayos, que verificarán la idoneidad de los materiales para utilizarse en la obra.

El Contratista será responsable de la recepción de los materiales, para poder hacer una primera confirmación de la idoneidad de estos y así tenga conocimiento de su posición dentro de la obra.

La Dirección de Obra podrá rechazar los materiales que, a su juicio, provengan de empresas o lugares que no garantizan suficientemente su calidad.

Si se acuerda que un material sea de una marca, nombre o patente concreto, será necesaria una autorización escrita de la Dirección de Obra para poder modificar esa partida.

2.4.2 Almacenamiento de materiales

El Contratista será responsable del correcto almacenamiento de los materiales necesarios para la realización de los trabajos. Si algún material resultare deteriorado, el Contratista deberá reponerlo de inmediato para evitar un retraso en la obra y una posterior penalización.

En general los materiales se almacenarán por formas y tipos, de forma que estén protegidos contra aceite, polvo y agua, existiendo un drenaje perfecto para evitar esto último.

Los cementos se almacenarán conforme a lo indicado en el artículo 26 de la EHE.

2.4.3 Materiales para encofrados y cimbras

Los encofrados pueden ser de madera, metálicos o de cualquier otro material rígido, siempre y cuando reúna unas buenas condiciones de eficacia para el uso al que se destina.

En cualquier caso, dichos materiales deberán disponer de superficies que cuando estén en contacto con el hormigón, sean capaces de permanecer uniformes y lisas.

Por ello, los materiales no deben contener sustancias agresivas para el hormigón.

Las cimbras y apeos podrán ser del mismo material que los encofrados, siempre y cuando sean capaces de aguantar las acciones que sufran por el proceso de hormigonado.

2.4.4 Armaduras

Los materiales permitidos deberán cumplir con lo expuesto en el artículo 32 de la EHE.

Los aceros que se empleen en las armaduras deberán ser de acuerdo con lo concretado en los planos.

2.4.5 Elementos embebidos y pernos de anclaje

El Contratista será responsable del suministro de los elementos metálicos de anclaje y elementos embebidos, salvo que dispongan lo contrario los planos o la Dirección de Obra.

Todos los elementos embebidos que no estén en contacto directo con el hormigón deberán contar con un revestimiento antioxidante.

El Contratista deberá proteger los pernos de anclaje contra cualquier daño durante el suministro, almacenamiento y manipulación.

Los materiales usados, salvo que se indique lo contrario, serán:

- Placas, perfiles laminados, redondos, etc. que estén embebidos serán acero S275JR, según CTE Documento Básico SE-A Seguridad Estructural Acero.
- Tuercas y arandelas serán acero S235JR, según CTE Documento Básico SE-A Seguridad Estructural Acero.
- Pernos de anclaje serán acero S275JR, según CTE Documento Básico SE-A Seguridad Estructural Acero.

2.4.6 Cemento

El cemento utilizado cumplirá con las prescripciones presentes en el “Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos.” (RC-08)

Se cumplirá también con el artículo 26 de la EHE.

Se requerirá autorización escrita de la Dirección de Obra si el Contratista quiere usar cemento aluminoso.

El Contratista deberá presentar un certificado de pruebas, garantizando que el cemento que se va a utilizar cumple con los requisitos técnicos presentes en esta especificación.

2.4.7 Agua

Podrá emplearse agua tanto para el amasado como para el curado del hormigón, siempre cumpliendo el artículo 27 de la EHE.

2.4.8 Áridos

Los áridos deberán cumplir con el artículo 28 de la EHE, y en ningún caso procederán de la arena de playa, de rocas porosas o blandas, ni contener nódulos de yeso, pirita, o compuestos.

2.4.9 Aditivos

Son aditivos los materiales que, exceptuando al cemento, el agua o áridos, se añaden al hormigón para mejorar alguna de sus características.

Todos los aditivos deberán cumplir el artículo 29 de la EHE.

Solo podrán usarse previa autorización de la Dirección de Obra. El Contratista propondrá el material y su dosificación, y la Dirección lo aprobará o rechazará, pudiendo exigir un ensayo previo con el mismo.

Si se empleare cloruro cálcico como acelerador de fraguado su dosificación deberá ser menor al 2% en peso del cemento, pudiendo llegar al 3,5% si se pretender hormigonar a baja temperatura, y solamente para hormigones en masa.

2.4.10 Morteros

Se utilizarán únicamente morteros de cemento.

Las características del agua y del árido fino del cemento serán las especificadas en el presente documento. Si se requieren aditivos para mejorar sus especificaciones, se podrán usar previa autorización de la Dirección de Obra.

El mortero debe tener, como mínimo, la misma resistencia que el hormigón que se emplea.

El uso de morteros especiales quedará supeditado a los planos de la obra.

2.4.11 Materiales para juntas de estanqueidad

Los materiales a emplear serán de caucho natural, caucho sintético, cloruro de polivinilo, neopreno, u otro material definido previamente en los planos. Si el material a usar dependiere del Contratista, lo propondrá a Dirección de Obra para su aprobación previa.

En cualquier caso, deberán reunir las siguientes especificaciones:

- Resistencia a tracción mayor o igual a 125 kP/cm².
- Alargamiento en rotura mayor o igual al 300%.
- Impermeabilidad: 100% a la presión de trabajo.
- El material deberá ser compatible con los líquidos con los que está en contacto.

2.5 Condiciones de ejecución

Estas condiciones tienen como objeto la comprobación de que los procesos realizados durante la obra son los correctos.

El plan de obra es responsabilidad del Contratista, que se asegurará de proporcionarlo a la Dirección de la Obra. Además, los resultados de los controles deberán ser registrados por el Contratista y puestos en conocimiento de la Dirección de Obra.

2.5.1 Ejecución y colocación de encofrados y cimbras

El proyecto de ejecución y dimensionamiento de los encofrados y cimbras será responsabilidad del Contratista.

Su ejecución y colocación están sujetos al artículo 65 de la EHE.

Deberán tener una resistencia y rigidez suficientes como para no producir deformaciones superiores a los 5 mm.

En las aristas expuestas, deberán colocarse berenjenos para obtener un chaflán de 25mm a 45°.

El descimbrado y desencofrado se realizará previa autorización de la Dirección de Obra, y cumplirá con los artículos 73 y 74 de la EHE.

2.5.2 Preparación y colocación de armaduras

Se regirá por el artículo 69 de la EHE.

Las armaduras deberán cortarse y doblarse de acuerdo con las dimensiones proporcionadas en los planos. Las distancias entre armaduras y encofrados se asegurarán con separadores.

Si resulta necesaria la colocación de solapes no previstos, se pedirá expresa autorización a la Dirección de Obra.

2.5.3 Elementos embebidos y pernos de anclaje

Los pernos de anclaje, así como el resto de los elementos embebidos se colocarán en la posición exacta indicada en los planos del proyecto, teniendo el Contratista la responsabilidad de esto.

Todos los pernos se colocarán usando plantillas de precisión, cuidando especialmente su posición planimétrica y altimétrica. Esta posición será controlada por el Contratista, y cualquier error será subsanado a coste del Contratista.

Inmediatamente de su colocación, el Contratista deberá impregnar la parte roscada que queda al aire con grasa, y cubrirlo con bolsas de plástico para evitar oxidaciones.

2.5.4 Dosificación del hormigón

Se cumplirá con el artículo 71 de la EHE.

El estudio de su dosificación en ensayos previos se realizará de acuerdo con los artículos 83 a 91 de la EHE, y no se procederá a su fabricación hasta que la Dirección de Obra haya aprobado la fórmula.

Dicha fórmula deberá contener:

- La granulometría de los áridos.
- Las dosis de agua, cemento y los posibles aditivos por m³ de hormigón fresco.
- La consistencia, que se medirá con el descenso en el cono de Abrams.

2.5.5 Fabricación del hormigón

Se realizará en connivencia con el artículo Capítulo 6 y artículo 71 de la EHE, con las modificaciones posteriormente mencionadas.

El amasado se deberá efectuar en hormigonera, con las partes debidamente medidas de acuerdo con la fórmula que el Contratista presentó.

Los materiales se verterán en la hormigonera en el siguiente orden:

1. Una parte de la dosis de agua (aprox. la mitad)
2. El cemento y la arena simultáneamente.
3. La grava.
4. El resto del agua hasta completar la dosis especificada.

Se comprobará el grado de humedad para corregir en caso de que sea necesario.

2.5.6 Transporte del hormigón

Se regirá por el artículo 71 de la EHE y esta especificación.

El transporte deberá ser lo más rápido posible, y no más de media hora después del amasado.

El medio de transporte deberá ser aprobado por la Dirección de Obra.

2.5.7 Docilidad

Se atenderá al artículo 31 de la EHE, apartado 31.5.

El Contratista utilizará el hormigón de la misma calidad durante todo el transcurso de la obra.

La altura libre de caída del hormigón durante el vertido no podrá ser mayor de 1,75 m.

El espesor en ningún caso será superior a 50 cm.

La compactación se realizará mediante vibrador, aprobado previamente por la Dirección de Obra.

2.5.8 Protección y curado

Se efectuará siguiendo el artículo 71 de la EHE, apartado 6.

La Dirección establecerá los plazos de curación.

El Contratista deberá proteger las estructuras con superficies hormigonadas durante el proceso de curación.

2.5.9 Juntas de hormigonado

Se efectuará de acuerdo con el artículo 71 de la EHE.

No se harán más juntas de las previstas en los planos y las aprobadas por la Dirección de Obra. Además, su posición, forma y refuerzos serán las previstas.

Si se temen efectos de retracción, las juntas se dejarán abiertas durante al menos diez días.

La Dirección de Obra podrá exigir el uso de resinas epoxi para la ejecución de las juntas, así como para la reparación de coqueas y otros defectos propios del hormigón.

2.5.10 Hormigonado bajo el agua

Siempre que se pueda evitar, no se verterá hormigón en presencia de agua. En ningún caso se verterá hormigón en presencia de barro o lodo que pueda contaminar el hormigón.

La colocación del hormigón bajo el agua se realizará usando una trompa, sumergiendo uno de los dos extremos en el hormigón.

2.5.11 Hormigonado en tiempo frío

Se atenderá al artículo 71 de la EHE, apartado 5.

Ningún material contendrá hielo, nieve o cualquier elemento deteriorante.

Se podrán usar, previa aprobación de la Dirección, elementos como el acelerador de fraguado para garantizar la calidad del hormigón.

Una vez vertido, la temperatura deberá mantenerse por encima de los 5°C para el proceso de curación, elaborando en su defecto un plan que asegure la curación de este.

2.5.12 Hormigonado en tiempo caluroso

Se atenderá al artículo 71 de la EHE, apartado 5.

Se adoptarán las medidas necesarias para que la temperatura del hormigón no exceda los 30°C.

Si la temperatura excede los 40°C, la Dirección de Obra deberá autorizar expresamente el hormigonado y proponer medidas para refrigerarlo.

2.5.13 Rellenos de mortero bajo placas de asiento y en cajetines o manguitos.

Previo al relleno del mortero, se limpiarán todas las superficies que vayan a estar en contacto con el mortero.

A continuación, se picará la capa superior del hormigón y se retirará toda materia extraña.

Cuando la estructura esté nivelada, y previa autorización de la Dirección de Obra, se procederá a realizar una nueva limpieza y se humedecerá la superficie sin llegar a encharcarla.

A las dos horas, se procederá a verter el mortero de relleno por uno de los lados de la placa de asiento.

Una vez endurecido el mortero, se quitarán los tornillos de nivelación y se rellenarán los espacios vacíos.

Cuando se acabe de endurecer todo el mortero, se achaflanarán los bordes a 45°.

2.5.14 Descabezados de pilotes

Las cabezas de los pilotes se demolerán hasta dejarlas al nivel especificado por los planos.

Cuando sean hormigonados “in situ”, se demolerá la cabeza una longitud mínima de 50 cm.

2.6 Control de calidad

Se realizarán los controles siguiendo los capítulos 16 y 17 de la EHE.

Los niveles de control para el hormigón y acero serán los indicados en el artículo 2 de la EHE.

El Contratista deberá presentar a la Dirección de Obra un procedimiento de los ensayos y control de la obra, que la Dirección deberá aprobar.

Además, el Contratista deberá garantizar el acceso y uso de los medios del laboratorio de Control para efectuar cuantos ensayos estime oportunos la Dirección.

2.6.1 Control de armaduras

El control de calidad de los aceros se efectuará de acuerdo con el artículo 88 de la EHE, así como siguiendo las prescripciones establecidas por este documento.

2.6.2 Control de componentes del hormigón

Se efectuará de acuerdo con el artículo 85 de la EHE.

2.6.3 Petición de hormigonado

Antes de la puesta en marcha de los trabajos de hormigonado, y con una antelación mínima de 24 horas, el Contratista solicitará a la Dirección de Obra la correspondiente autorización de hormigonado, indicando la unidad a hormigonar, la cantidad aproximada de hormigón, así como la hora y fecha del hormigonado.

2.6.4 Control de calidad, consistencia y resistencia del hormigón

La calidad se medirá de acuerdo con lo prescrito en el artículo 15 de la EHE.

La consistencia y resistencia se regirán por el artículo 86 de la EHE.

Para la resistencia, el control será de tipo estadístico, y el nivel será el que se indique en los planos del proyecto. Se atenderá a lo especificado en el artículo 16 de la EHE.

Los criterios de aceptación son:

- Si f es mayor o igual a f límite, la obra se aceptará.
- Si f es menor o igual a $0,85 \cdot f$ límite, la obra se demolerá.
- Si f es menor que f límite y mayor que $0,85 \cdot f$ límite, se realizarán los ensayos o pruebas descritos en la EHE.

2.7 Aspectos de la obra acabada y tolerancias

Si la Dirección de Obra considera que existen superficies de hormigón deficientes, se picarán hasta profundizar más allá de la armadura para el correcto saneamiento del hormigón.

El Contratista repetirá los trabajos de acuerdo con los planos.

2.7.1 Tolerancias

La situación de cualquier elemento de la estructura no diferirá más de ± 5 mm.

Las elevaciones de los distintos elementos estructurales no podrán diferir más de ± 5 mm.

Las dimensiones de los elementos estructurales del hormigón no diferirán las indicaciones ± 2 mm.

La desviación vertical de cualquier elemento no será mayor de una milésima altura.

La colocación de cualquier perno de anclaje no variará ± 2 mm.

Cualquier exceso de estas tolerancias llevará a la Dirección de Obra a decidir si es necesario repararlo, demolerlo, o en su defecto se acepta.

Pliego de Condiciones Infraestructura Eléctrica

Índice

1. Objeto	4
2. Infraestructura Eléctrica de Generación	4
2.1 Conductores	4
2.1.1 Circuitos de control.....	5
2.1.2 Circuitos de potencia Media Tensión.....	5
2.2 Centros de transformación	6
2.2.1 Transformadores	6
2.2.2 Celdas de media tensión	7
2.3 Sistemas de control	9
3. Especificación de la Subestación 30/132 kV	9
3.1 Aparellaje en 30 kV	10
3.1.1 Cabinas de 30 kV	10
3.1.2 Cabina de acometida desde transformador elevador	10
3.1.3 Cabina de protección de línea	11
3.1.4 Cabina de servicios auxiliares.....	11
3.1.5 Medidas de tensión en barras	12
3.2 Interruptores.....	12
3.3 Seccionadores de P.A.T	12
3.4 Transformadores de intensidad	12
3.5 Transformadores de tensión	13
4. Aparellaje B.T y equipos auxiliares	13
4.1 Armarios de distribución y protección baja tensión	13
4.2 Interruptores automáticos	14
4.3 Interruptores-fusibles	14
4.4 Protecciones	14
4.5 Medida	15
4.6 Telemando y teleseñal.....	15
4.7 Sistemas de alimentación de Corriente Continua	15
4.8 Aparatos de medida analógica	16

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones técnicas fibra óptica.	5
Tabla 2. Especificaciones técnicas conductores transformador 0,69/30 kV - celdas 30 kV.	5
Tabla 3. Especificaciones técnicas conductores celdas 30 kV- barras 30 kV.	6
Tabla 4. Especificaciones técnicas del transformador del aerogenerador.	7
Tabla 5. Especificaciones técnicas del embarrado.	8
Tabla 6. Especificaciones técnicas de los interruptores.	12
Tabla 7. Especificaciones técnicas del transformador de intensidad en la posición del transformador.	12
Tabla 8. Especificaciones técnicas del transformador de intensidad en la posición de línea.	13
Tabla 9. Especificaciones técnicas del transformador de tensión.	13

1. Objeto

El objeto de este documento es especificar las características técnicas relacionadas con toda la infraestructura eléctrica del parque. En este, se distinguen la infraestructura de generación, la de la subestación de 30 kV, y la del aparellaje y equipos auxiliares de los circuitos de baja tensión.

Para garantizar la calidad de los equipos, el Contratista deberá realizar cuantos ensayos estipulen la normativa y esta especificación.

2. Infraestructura Eléctrica de Generación

Esta especificación recoge toda la infraestructura eléctrica del circuito de generación, que se origina en los aerogeneradores, para acabar en la subestación.

2.1 Conductores

La señalización y maniobra del parque desde el edificio de control se realizará a través de cables de fibra óptica multimodo de ocho fibras (50/125 μm) suministrado por la empresa Optral. Tiene protección contra roedores, por lo que no es necesario añadirla. Irán enterrados en la misma zanja que los cables de fuerza.

Todos los conductores llevarán grabada de forma indeleble la identificación del conductor y nombre del fabricante. Además, estarán identificados con un código de borna y equipo receptor.

Añadido a lo anterior, y siguiendo las normas UNE 21.123 y R.U. 3.305, el conductor deberá llevar grabado de forma indeleble la identificación del conductor, nombre del fabricante y su año de fabricación cada 30 centímetros.

Para formar empalmes, se usará un empalme retráctil en frío para las líneas de interconexión (aerogenerador-subestación) de más de 1.100 metros. Estarán constituidos por un manguito metálico que realiza la función de presión entre conductores. El aislamiento será reconstruido con cinta autovulcanizable.

En paralelo a los cables de MT, y en la misma zanja, se tenderá una línea de puesta a tierra que será de cobre desnudo de sección 95 mm².

2.1.1 Circuitos de control

Los circuitos de control estarán formados, como se ha mencionado antes, por fibra óptica multimodo de 8 fibras y sección 50/125 μm , y estarán enterrados en la misma zanja donde se encuentran los cables de fuerza.

Las características de este conductor son:

Cable CDAW Optral®	
Tipo de fibra	Multimodo 50/125 μm
Nº de fibra	8
Elementos de tracción	Fibra de Vidrio Reforzada (WB)
Cubierta interior	LSZH
Armadura	Hilos de acero galvanizados
Cubierta exterior	LSZH- Negro

Tabla 1. Especificaciones técnicas fibra óptica.

2.1.2 Circuitos de potencia Media Tensión

- Del transformador de 0,69/30 kV a celdas de 30 kV:

Denominación	HEPRZ1
Tipo	Unipolar
Sección	3x(1x50) mm^2
Material conductor	Aluminio
Nivel aislamiento	18/30 kV
Aislamiento	HEPR
Pantalla	Hilos de Cu
Cubierta	Poliolefina
Cubierta de armadura	Polietileno
Normativa	UNE-60754, UNE-620-9E

Tabla 2. Especificaciones técnicas conductores transformador 0,69/30 kV - celdas 30 kV.

- De celdas a barras de 30 kV:

Denominación	RHZ1-OL
Tipo	Unipolar
Sección	3x(1x400) mm^2 y 3x(1x185) mm^2
Material conductor	Aluminio
Nivel aislamiento	18/30 kV
Aislamiento	Polietileno reticulado (XLPE)
Pantalla	Hilos de Cu
Cubierta	Poliolefina

Cubierta de armadura	Polietileno
Normativa	UNE-21123, IEC-502

Tabla 3. Especificaciones técnicas conductores celdas 30 kV- barras 30 kV.

Los conductores de los circuitos de media tensión tendrán que haber sido sometidas previamente a ensayos normalizados para garantizar que cumplen con las especificaciones requeridas.

En primer lugar, el fabricante deberá aportar los certificados de haber realizado los siguientes ensayos con una entidad independiente:

- Prueba de tensión a frecuencia industrial.
- Medida de la resistencia eléctrica de los conductores.
- Ensayo de descargas parciales.
- Verificación de las características geométricas.
- Medida de la resistencia de aislamiento a temperatura ambiente.

Además, el Contratista deberá realizar los siguientes ensayos, para cada cable, durante la ejecución de la obra:

- Medida de resistencia de aislamiento en bobina.
- Medida de resistencia de aislamiento montado.
- Prueba de continuidad.
- Ensayo de rigidez eléctrica.

Todos estos ensayos deberán estar conforme a la norma UNE 21-123.

2.2 Centros de transformación

Este apartado hace referencia a los transformadores y celdas de media tensión que estarán instaladas en cada uno de los ocho aerogeneradores que componen el parque.

La relación de transformación de los aerogeneradores es de $30 \pm 2 \times 2,5\% / 0,69$ kV y una potencia de transformación de 6,5 MVA.

2.2.1 Transformadores

Cada aerogenerador cuenta con un transformador trifásico, refrigerado por líquido (KFWF). Estos transformadores deberán cumplir las normas UNE 20.110, UNE-EN 60.076-1, IEC 726, CEI 76-1 a 76-5 e IEC 762(1982).

Además, estos transformadores deberán disponer de una placa de identificación en la que se indique el nombre del fabricante, tipo de transformador, número de serie, potencia y frecuencia nominales, relación de transformación y peso.

Estos transformadores deberán ser sometidos de acuerdo con los ensayos estipulados en las normas UNE 20.101 y 20.178 (1.986) y CEI 76-1 a 76-5 y 726 (1.982), en los que se

determinarán la relación de transformación, tensión de cortocircuito, pérdidas en carga y en vacío; ensayo de tensión aplicada, inducida y onda de choque; y nivel de ruido entre otros.

Las características de los transformadores incorporados en los aerogeneradores son:

Disposición	3 fases
Refrigeración	KFWF K-class fluid
Potencia nominal	6,5 MVA
Frecuencia	50 Hz
Tipo de conexión	Dyn11 o Dyn1
Tensión BT	0,69 kV
Tensión MT	30 kV
Cambiador de tomas	$\pm 2 \times 2,5\%$
Nivel de aislamiento BT	1,05 kV
Nivel de aislamiento MT	36 kV
Corriente máxima	7,11 kA
Pérdidas en vacío	4,77 kW
Pérdidas en carga a 75°	84,24 kW
Protecciones	Descargadores de sobretensiones conectados al pasatapas de alta tensión
Conexión a tierra	Punto estrella conectado a tierra

Tabla 4. Especificaciones técnicas del transformador del aerogenerador.

2.2.2 Celdas de media tensión

Las cabinas de media tensión estarán ubicadas dentro de los aerogeneradores y estarán compuestas por un módulo de 2 o 3 unidades con las funciones:

- Celda de llegada de línea (a modo de remonte)
- Celda de salida de línea (interruptor seccionador)
- Celda de protección

Estas celdas serán prefabricadas, y seguirán las normas UNE-EN 60.298, CEI 298 y la recomendación UNESA 6.407. Dado que se utilizarán en interiores, deberán estar diseñadas a tal efecto (IP2 CX según norma CEI 529).

Serán de chapa de acero de calidad, formando un conjunto suficientemente resistente para aguantar las vibraciones propias de la operación.

Si las celdas forman una sección de maniobra y protección, estas deberán estar mecánica y eléctricamente separadas para evitar la propagación de efectos indeseados. Además, deberán ser capaces de soportar las explosiones propias de un cortocircuito sin deformarse.

Se construirá un circuito de puesta a tierra anclado a la estructura, y conectando mediante trenzas de cobre cualquier parte móvil o herraje.

Las características del embarrado son:

Tensión nominal	36 kV
Tensión de prueba por onda de choque tipo impulso	170 kV
Tensión de prueba (frecuencia industrial)	70 kV
Intensidad nominal	400 A
Frecuencia	50 Hz
Límite térmico 1 s	16 kA ef
Límite electrodinámico	40 kA pp

Tabla 5. Especificaciones técnicas del embarrado.

Conexión con los cables:

Las acometidas de media tensión y las salidas se harán con cables. La unión de estos cables con los pasatapas se ejecutará mediante terminales enchufables de conexión reforzada con tornillos y apantallados.

Características concretas de las cabinas:

Las cabinas deberán reunir una serie de características, dependiendo de la función a realizar. Estas son:

- Cabinas de llegada de línea (remonte):
 - Juego de barras tripolar de 630 A.
 - Enclavamiento mediante candado.
 - Dispositivo con bloque de tres lámparas de presencia de tensión.
 - Salida de cables por pasatapas a bornes enchufables para cable seco unipolar.
- Cabinas de salida de línea (interruptor seccionador):
 - Interruptor seccionador tripolar SF6 de 630 A, con seccionamiento y puesta a tierra.
 - Juego de barras tripolar de 630 A.
 - Dispositivo con bloque de tres lámparas en presencia de tensión.
 - Salida de cables por pasatapas a bornes enchufables para cable seco unipolar.
- Cabinas de protección:
 - Juego de barras tripolar de 630 A.
 - Interruptor seccionador tripolar de corte en vacío de 630 A.
 - Interruptor automático tripolar de corte en SF6, de 630 A.
 - Pulsadores de apertura y cierre.
 - Bobina de apertura y cierre del interruptor.
 - Enclavamiento mediante candado.
 - Barra de tierras.

- Relé de protección de 3 fases + N (50-51/50N-51N)
- Disparadores de sobretensiones.
- Salida de cables por pasatapas a bornes enchufables para cable seco unipolar.

Todas las celdas deberán someterse a lo siguientes ensayos para asegurar que cumplen con las características requeridas:

- Operación mecánica sin tensión y de los elementos móviles.
- Verificación del cableado y del grado de protección.
- Pruebas de dispositivos auxiliares, hidráulicos, neumáticos y eléctricos.
- Ensayo a frecuencia industrial, a onda de choque y dieléctrico de los circuitos auxiliares.

2.3 Sistemas de control

El fabricante de aerogeneradores Siemens- Gamesa proporciona un sistema de control llamado “Supervisory Control and Data Adquisition” (SCADA), por lo que se utilizará dicho sistema. Este sistema monitorea cada aerogenerador para conocer su estado en todo momento.

Este sistema medirá en tiempo real alguno parámetros, como son:

- Generación de potencia activa.
- Provisión de potencia reactiva.
- Temperatura ambiente.
- Nivel de tensión.
- Nivel de frecuencia.

Así como el tiempo en el que se ha encontrado en ese estado, pudiendo extraer una serie temporal de datos que será de gran utilidad a la hora de analizar la producción del parque.

3. Especificación de la Subestación 30/132 kV

A continuación, se especificarán las partes que componen toda la sección de 30 kV. Todo el aparellaje de 30 kV se alojará en el centro de control, en una sala especialmente habilitada para ello.

Los conductores del circuito de potencia deberán contar, como se especificó en los circuitos de potencia de generación, con una identificación indeleble en el que se especifique la identificación del conductor y el nombre del fabricante, así como con una codificación numérica con la borna y el equipo receptor. Añadido a eso, llevará grabado los datos del conductor, nombre del fabricante y su año de fabricación cada 30 centímetros.

Además, deberán realizarse los mismos ensayos que con los conductores de generación para asegurar su eficacia.

3.1 Aparellaje en 30 kV

Todo el aparellaje será de tipo interior, es decir, alojándose en el centro de control. Las unidades de distribución y protección constarán de:

- Protección del transformador
- Unidades de protección de línea
- Servicios auxiliares

3.1.1 Cabinas de 30 kV

Las cabinas de 30 kV se dividen en tres, según la función que realizan dentro de la subestación: la cabina de acometida, la de protección de línea y la de servicios auxiliares.

Todas las cabinas dispondrán de un elemento de corte automático en vacío de tipo de aislamiento SF6.

La conexión de las cabinas se realizará mediante cables subterráneos unipolares de aislamiento seco 18/30 kV con terminales aislados.

A las cabinas de acometida llegarán los cables de 3x(1x400) mm² y 3x(1x185) mm² procedentes de los circuitos de generación del parque.

Por otro lado, a la cabina de protección del transformador de servicios auxiliares llegarán los cables RHZ1-OL 3x(1x95) mm².

Todos los elementos que sean visibles deberán tener algún dispositivo que indique al operario la presencia de tensión.

3.1.2 Cabina de acometida desde transformador elevador

Estas cabinas contarán con los siguientes elementos:

- 1 interruptor automático de corte por SF6, 36 kV, 1.250 A y 25 kA de poder de corte, con mando motorizado y con contador de maniobras.
- 1 seccionador trifásico en vacío de tres posiciones (abierto/cerrado/puesta a tierra) de accionamiento manual, Vn=36 kV, poder de cierre 65 kA cresta.
- 3 transformadores de intensidad, aislamiento seco, tensión nominal 36 kV, y relación de transformación 1.000/5-5-5, intensidad térmica 25 kA.
- 3 aisladores testigo resistivos y 3 juegos de pilotos luminosos que indiquen presencia de tensión.
- 1 juego de cerraduras para el enclavamiento.

- 1 relé de protección tipo 8IVD-DIN (2x50/51, 59N, 50N/51N, 79).

El embarrado deberá soportar una intensidad térmica de 25 kA durante un segundo y conducir 1.000 A de intensidad nominal.

3.1.3 Cabina de protección de línea

Las cabinas de protección de línea deberán contar con los siguientes elementos:

- 1 interruptor automático de corte por SF6, 36 kV, 1.250 A y 25 kA de poder de corte, con mando motorizado y con contador de maniobras.
- 3 seccionador trifásico en vacío de tres posiciones (abierto/cerrado/puesta a tierra) de accionamiento manual, $V_n=36$ kV, poder de cierre 65 kA cresta.
- 3 transformadores de intensidad de sección toroidal, aislamiento seco, 36 kV, de relación 300/5 (circuito 2 y 3), y 400/5 (circuito 1).
- 3 aisladores testigo resistivos y 3 juegos de pilotos luminosos que indiquen presencia de tensión.
- 1 juego de cerraduras para el enclavamiento.
- 2 relé de protección tipo 8IRD-DIN (3x50/51, 67N).
- 1 transformador de intensidad de sección toroidal, 60/1 A, diámetro interior 110 mm.

3.1.4 Cabina de servicios auxiliares

Las cabinas de servicios auxiliares deberán contar con los siguientes elementos:

- 1 interruptor-seccionador trifásico en carga de 36 kV, intensidad 200 A, mando manual.
- 3 bases portafusibles de 36 kV y 10 A según DIN 43625.
- 2 seccionador trifásico en vacío de tres posiciones (abierto/cerrado/puesta a tierra) de accionamiento manual, $V_n=36$ kV, poder de cierre 65 kA cresta.
- 3 aisladores testigo resistivos y 3 juegos de pilotos luminosos que indiquen presencia de tensión.

El embarrado deberá soportar una intensidad térmica de 25 kA durante un segundo y soportar los 1.000 A de intensidad nominal asignados.

3.1.5 Medidas de tensión en barras

Estos componentes irán conectados al embarrado general sin necesidad de colocar una celda independiente:

- 3 transformadores de tensión con aislamiento seco, de 36 kV, con una relación de transformación 30: $\sqrt{3}/0,11$: $\sqrt{3}-0,11$: $\sqrt{3}-110:3$ kV.

3.2 Interruptores

Los interruptores se usan para proteger y desconectar la línea en caso de sobrecarga o cortocircuito.

Las especificaciones son:

Dieléctrico	Vacío
Tensión nominal	36 kV
Intensidad nominal	1.250
Poder de corte	25 kA
Poder de cierre	62,5 kA pp
Tensión a frecuencia industrial	70 kV
Tensión a impulso	170 kV

Tabla 6. Especificaciones técnicas de los interruptores.

3.3 Seccionadores de P.A.T

Se utilizarán únicamente para la conexión a tierra de aquellos circuitos cuyo interruptor esté abierto, y será de accionamiento manual.

3.4 Transformadores de intensidad

Los transformadores de intensidad serán de servicio interior, tipo soporte y antiexplosivos. Su construcción será con resina epoxy.

Posiciones de transformador:

Relación de transformación	1.000/5-5-5 A
Tensión nominal	36 kV
Potencia y clase núcleo 1 (medida)	20 VA 5P20
Potencia y clase núcleo 2 (protección)	10 VA 5P20
Potencia y clase núcleo 3 (protección)	10 VA cl. 0,5
Intensidad térmica de cortocircuito	25 kA

Tabla 7. Especificaciones técnicas del transformador de intensidad en la posición del transformador.

Posiciones de línea:

Relación de transformación	300/5-5 A 400/5-5 A
Tensión nominal	36 kV
Potencia y clase núcleo 1 (medida)	10 VA cl. 0,5
Potencia y clase núcleo 2 (protección)	10 VA 5P20
Intensidad térmica de cortocircuito	25 kA

Tabla 8. Especificaciones técnicas del transformador de intensidad en la posición de línea.

3.5 Transformadores de tensión

Serán de tipo soporte y servicio interior. Su construcción se hará con resina epoxi.

Relación de transformación	30: $\sqrt{3}/0,11$: $\sqrt{3}-0,11$: $\sqrt{3}-110/3$ kV
Tensión nominal	36 kV
Potencia y clase núcleo 1 (medida)	30 VA 3P
Potencia y clase núcleo 2 (protección)	30 VA cl. 0,5
Potencia y clase núcleo 2 (protección)	50 VA 3P
Factor de tensión (s. continuo)	1,2
Factor de tensión (8 h)	1,9

Tabla 9. Especificaciones técnicas del transformador de tensión

4. Aparellaje B.T y equipos auxiliares

Todos los aparellajes deberán cumplir con las Instrucciones Técnicas de Baja Tensión (ITC-BT). El cumplimiento de dichas normas deberá ser comprobado por la Dirección de Obra.

4.1 Armarios de distribución y protección baja tensión

La distribución y protección se distribuirá en embarrado tripolar de cobre de acuerdo con la intensidad nominal e intensidad de cortocircuito del transformador. El embarrado tendrá como mínimo la misma capacidad de carga que el interruptor principal.

Los elementos de protección se alojarán en unidades modulares y fabricadas dotados de juntas de estanqueidad, y permitirán la ampliación por extensión de armaduras.

Donde haya una unión entre barras, éstas estarán plateadas y atornilladas siguiendo las normas DIN. Todos los embarrados, cables, terminales y conexiones deberán contar con una capacidad de carga de 1,5 veces la del interruptor principal a plena carga.

Las especificaciones más importantes serán:

- Tensión de empleo máxima: 690 V.
- Tensión de aislamiento: 1 kV.
- Intensidad nominal: 200 A.

Los elementos que trabajen bajo tensión deberán realizarse de un material autoextinguible.

4.2 Interruptores automáticos

Estos aparatos estarán fijos, con accionamiento automático y cierre manual, de corte omnipolar.

Las especificaciones más importantes son:

- Tensión nominal: 690 V.
- Tensión de servicio: 400 V.
- Tensión de aislamiento: 1 kV.
- Poder de corte: UNE-CEI

4.3 Interruptores-fusibles

Estos aparatos se utilizan para la protección y seccionamiento de las líneas principales. Están instalados en barras de 400 V, y son de accionamiento manual.

Sus especificaciones principales son:

- Intensidad nominal: 400 A.
- Tensión nominal: 690 V.
- Tensión de aislamiento: 1 kV.

4.4 Protecciones

Estos equipos de protección están normalizados bajo la norma UNE 21-136 (CEI-255).

Las protecciones que se instalarán serán:

- Líneas de generación:
 - Protección de sobreintensidad (50, 51, 67 Na)
- Transformador de SS. AA:
 - Relé de detección de gases, presión y temperatura.
- Transformador de potencia 30/132 kV:
 - Protección de sobreintensidad (50,51)
 - Protección de sobretensión neutro (59 N)

4.5 Medida

De acuerdo con el Reglamento de Puntos de Medida (RPM), el punto de medida se considera de tipo 1.

Se instalarán en los puntos de interés (como transformadores y circuitos de interés), convertidores multifunción (analizadores de red), con el fin de medir las diversas variables presentes en el parque, como tensión, intensidad o potencia activa y reactiva.

Los transformadores de tensión deberán ser de clase 0,2; y los de intensidad deberán ser de una clase igual o mejor a 0,2.

Todos los equipos serán de tipo trifásico desequilibrado, con medida a cuatro hilos.

4.6 Telemando y teleseñal

El gobierno se hará desde el edificio de control, todos agrupados bajo una misma red de control.

Las señales de estado en el edificio de control serán de los interruptores y seccionadores de 132 kV, de los interruptores de 36 kV, y de las posiciones de las tomas de los transformadores y de los conmutadores.

Además, como se ha mencionado antes, el sistema SCADA permitirá el control telemático del estado de los aerogeneradores.

4.7 Sistemas de alimentación de Corriente Continua

Se prevé la instalación de una unidad centralizada de alimentación en CC a base de baterías de tensión 125 V, equipada junto a su rectificador-cargador, en el edificio de control.

Dichas baterías alimentarán los equipos básicos de control, de protección, etc. en caso de emergencia o caída de la red.

También se instalará una unidad de alimentación en CC a 48 V que podrá dar servicio a los equipos de comunicación de la subestación.

4.8 Aparatos de medida analógica

Estos aparatos serán empotrables, con sensibilidad y amortiguadores.

Serán de precisión o industriales, de acuerdo con el uso concreto. Además, deberán permitir la corrección del “0” en reposo.

Todos estos equipos deberán haber sido sometidos a los ensayos especificados en las normas VDE y recomendados en la AEE.

Documento n°4: Presupuesto de ejecución

Índice

1.	Mediciones y precios unitarios.....	3
1.1	Obra civil del parque eólico	3
1.2	Conductores y puesta a tierra.....	11
1.3	Aerogeneradores	14
1.4	Subestación 30/132 kV	15
1.5	Edificio de control	19
1.6	Ingeniería y dirección de obra	20
1.7	Varios	21
2.	Presupuesto de ejecución material	22

1. Mediciones y precios unitarios

A continuación, se presenta el desglose de todos los conceptos tenidos en cuenta a la hora de hacer el presupuesto de ejecución del Parque Eólico Villadiego.

1.1 Obra civil del parque eólico

Cod.	Descripción	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Totales	Precio	Importe (€)
	CAPÍTULO 1: OBRA CIVIL PARQUE EÓLICO								
	Subcapítulo 1.01: Movimiento de tierras								
1.01.01	m² Limpieza y desbroce a máquina.								
	Desbroce y limpieza de terreno por medios mecánicos, con un espesor de 25 a 35 cm, incluso carga y transporte de los productos del desbroce a vertedero o a acopios intermedios para su posterior utilización								
	Viales nuevos	1	3981,00	8,00		31848			
	ACJ	1	1473,00	4,00		5892			
	Plataformas	8	40,00	40,00		12800			
	Aerogeneradores	8		450,00		3600			
	Ciment. Torre meteorológica	1	2,50	2,50		6,25			
	Zanja línea 30 kV	1	6.071,00	0,70		4250			
							58.395,95	1,03	60.147,83
1.01.02	m³ Excav. DESMONTE terreno compacto.								
	Excavación en desmonte, a cielo abierto, por medios mecánicos, en terrenos de consistencia media dura, hasta una profundidad igual o menor de dos metros, incluso carga y transporte a vertedero de los productos procedentes de la excavación								
	Viales principales	1				51.550			
	Plataformas	8	20,00	40,00	2,50	16.000			
							67.550,00	3,62	244.531,00
1.01.03	m³ Excav. zanjas en terreno compacto.								

	Excavación en pozo o zanjas, por procedimientos mecánicos, en terreno de consistencia dura, hasta una profundidad igual o menor de dos metros, incluso carga y transporte a vertedero de los productos procedentes de la excavación								
	Zanja línea media tensión	1	6.071,00	0,70	1,00	4.249,70			
							4.249,70	6,97	29.620,41
1.01.04	m³ Excav. Vaciado terreno compacto.								
	Excavación en terrenos de consistencia dura, en vaciado para cimentación de grandes dimensiones, hasta 3 m de profundidad, incluso transporte de sobrantes a vertedero o acopios intermedios, para su posterior reutilización								
	Ciment. Aerogeneradores	8		1383,00		11.064,00			
	Ciment. Torres Meteo	1	2,20	2,20	1,00	4,84			
							11.068,84	8,60	95.192,02
1.01.05	m³ Relleno en cimentación de aerogeneradores								
	Relleno en cimentación de aerogeneradores con material procedente de la excavación, tendido en tongadas de 20 cm, con preparación previa, explanación, humectación y compactación hasta el 95% del Proctor Modificado, medido sobre perfil.								
	Ciment. Aerogeneradores	8		861,00		6.888,00			
							6.888,00	13,88	95.628,72
1.01.06	m³ Relleno en TERRAPLEN núcleo de viales.								

	Relleno en núcleo de viales con material de calidad tolerable (PG-3), procedente de la excavación, o de préstamos, tendido en tongadas de 20 cm, con preparación previa, explanación, humectación y compactación hasta el 95% del Proctor Modificado, medido sobre perfil.								
	Viales principales	1				13.540			
	Plataformas	8	20,00	40,00	2,50	16.000			
							29.540,00	2,00	59.080,00
1.01.07	m³ Relleno firme de viales.								
	Relleno en ejecución de firme de viales con zahorras artificiales de calidad sub-base del PG-3, tendido en capa de 25 cm, compactado y humectado, hasta el 98% del Proctor Modificado, medido sobre perfil.								
	Viales nuevos	1	3.981,00	7,00	0,25	6.966,75			
	Viales a reparar	1	1.473,00	2,00	0,25	736,50			
	Plataformas	8	40,00	40,00	0,10	1.280,00			
							8.983,25	10,46	93.964,80
1.01.08	m³ Relleno en zonas localizadas.								
	Relleno, extendido y compactado de tierras en zonas localizadas, por medios manuales, con apisonadora manual tipo rana, en tongadas de 30 cms de espesor, incluso humectación de estas, con aporte de material procedente de la excavación o préstamo, medido sobre perfil								
	Zanja línea media tensión	1	6071,00	0,70	0,45	1.912,37			
							1.912,37	3,01	5.746,77
1.01.09	m³ Relleno con arena en zanjas.								

	Relleno con arena de río en zanjas, por medios manuales, en formación de lechos para tendidos de cables, incluso aporte de materiales, testigos y compactado, medido sobre perfil								
	Zanja línea media tensión	1	6071,00	0,70	0,55	2.337,34			
							2.337,34	21,04	49.166,83
1.01.10	mL Formación de cuneta.								
	Formación de cuenta en tierra, taludes 1,5:1 y 1:1, con profundidad de 0,40 m								
	Viales principales	0,5	5.454,00			2.727,00			
							2.727,00	1,80	4.908,60
	TOTAL SUBCAPÍTULO 1.01								737.986,98
	Subcapítulo 1.02: Hormigones								
1.02.01	m³ Hormigón de Limpieza HM 10.								
	Suministro y colocación de hormigón en masa HM 10, con una resistencia característica Fck de 10 N/mm², para limpieza y nivelación de fondos de excavación, incluso vertido, vibrado y nivelación de este								
	Ciment. Aerogenerador	8			39,00	312,00			
	Ciment. Torres Meteo	1			0,40	0,40			
							312,40	95,49	29.831,08
1.02.02	m³ Horm. HA-30 T. máx. 20 mm.								

	Ciment. Suministro y colocación de hormigón fuertemente armado, tipo HA-30, con una resistencia característica Fck de 30 N/mm², y 20 mm de tamaño máximo del árido en cimentaciones, incluso vertido, vibrado y nivelación de este. Según normas NTE-CSZ y EHE								
	Cimentación Aerogeneradores	8			522,00	4.176,00			
	Ciment. Torres Meteo	1			13,20	13,20			
							4.189,20	120,00	502.704,00
1.02.03	m2 Encofrado curvo en alzados								
	Encofrado y desencofrado con madera suelta en zapatas de cimentación, considerando 8 posturas.								
	Cimentación Aerogeneradores	8	49,00			392,00			
							392,00	56,21	22.034,32
1.02.04	m2 Junta de hormigón								
	Junta entre fases de hormigonado con producto adhesivo adecuado, incluso limpieza y preparación de la superficie, suministro y colocación, entre la zapata y el pedestal								
	Cimentación Aerogeneradores	8	64,00			512,00			
							512,00	56,21	28.779,52
	TOTAL SUBCAPÍTULO 1.03								583.348,92
	Subcapítulo 1.03: Aceros								
1.03.01	kg Acero Corrugado B 500 S o N.								
	Suministro y colocación de acero corrugado B 500 S o N, cortado, doblado, según dimensiones y formas indicadas en los planos, incluso p.p. de solapes, recortes y despuntes. Según EHE								

	Cimentaciones Aerogeneradores	8			57420,00	459.360,00			
							459.360,00	1,20	551.232,00
1.03.02	Ud Sistema de anclaje de la torre del aerogenerador a la cimentación								
	Sistema de anclaje compuesto por Juegos de Pernos y accesorios, según las indicaciones del suministrador, para los aerogeneradores.								
	Cimentaciones Aerogeneradores	8				8,00			
							8,00	500,00	4.000,00
	TOTAL SUBCAPÍTULO 1.04								555.232,00
	Subcapítulo 1.04: Varios								
1.04.01	mL Cinta plástica señalizadora.								
	Cinta de plástico señalizadora normalizada, enterrada en zanja sobre cables eléctricos								
		1	6.071,00			6.071,00			
							6.071,00	0,50	3.035,50
1.04.02	ud Suplemento cruce zanja/calzada.								
	Suplemento cruce especial de zanja con calzada, a base de fibrocemento para alojamiento de conductores y relleno de hormigón HM-20, s/planos, incluso aporte de material								
		3				3,00			
							3,00	900,00	2.700,00
1.04.03	ml Plancha PVC								
	Plancha de PVC enterrada para protección de cables eléctricos en zanja enterrada								
		1	6.071,00			6.071,00			
							6.071,00	2,00	12.142,00
1.04.04	Ud de mojoneros de hormigón prefabricado								

	Suministro y colocación de mojones de hormigón prefabricado a una distancia de 70 metros, para señalización de recorrido de zanjas incluyendo: aporte, suministro y colocación, aplomado del poste y retacado con materiales de la propia excavación.								
		1				86,00			
							86,00	30,00	2.580,00
1.04.05	P.A de Balizamiento de Yacimientos arqueológicos								
	Balizamiento de yacimientos arqueológicos a base de cerramiento perimetral constituido por postes de madera y cinta de plástico								
		1				1,00			
							1,00	4.000,00	4.000,00
	TOTAL SUBCAPÍTULO 1.04								24.457,50
	TOTAL CAPÍTULO 1								1.901.025,40

1.2 Conductores y puesta a tierra

Cod.	Descripción	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Totales	Precio	Importe (€)
	CAPÍTULO 2: CONDUCTORES Y P.A.T.								
	CABINAS MEDIA TENSIÓN AEROGENERADORES								
	Subcapítulo 2.01: Conductores y P.A.T.								
2.01.01	ML. Suministro de cable MT 1x400 mm ² Conductor de enlace en M.T., entre aerogeneradores, tipo RHZ1 OL 18/30 kV, 1x400 mm ² , Al.	3	4.768				14.304	11,04	157.916,16
2.01.02	ML. Suministro de cable MT 1x300 mm ² Conductor de enlace en M.T., entre aerogeneradores, tipo RHZ1 OL 18/30 kV, 1x300 mm ² , Al.		0				0	7,50	0,00
2.01.03	ML. Suministro de cable MT 1x240 mm ² Conductor de enlace en M.T., entre aerogeneradores, tipo RHZ1 OL 18/30 kV, 1x240 mm ² , Al.	3	2.100				6.300	6,30	39.690,00
2.01.04	ML. Suministro de cable MT 1x150 mm ² Conductor de enlace en M.T., entre aerogeneradores, tipo RHZ1 OL 18/30 kV, 1x150 mm ² , Al.	3	0				0	4,61	0,00
2.01.05	ML. Suministro de cable BT 3x6 mm ² Conductor de enlace en B.T., entre aerogeneradores y torres meteorológicas tipo RV 0.6/1 kV, 3x6mm ² , Cu.								

			0				0	0,73	0,00
2.01.06	ML. Suministro de cable Fibra Óptica monomodo.								
	Cable de transmisión de señales y datos para control, maniobra y automatismos de fibra óptica 10/125, a base de 8 hilos monomodo, tipo DP06-ET90.316/UIT G.652								
		1	0				0	1,37	0,00
2.01.07	ML. Suministro de cable Fibra Óptica multimodo.								
	Cable de transmisión de señales y datos para control, maniobra y automatismos de fibra óptica 50/125, a base de 8 hilos multimodo, tipo DP06-ET 90.316/OM2								
		1	6.972				6.972	1,13	7.857,44
2.01.08	Ud. Puesta a Tierra Aerogenerador.								
	Instalación p.a.t. aerogenerador considerando cable de Cu desnudo de 50 mm ² , soldaduras aluminotérmicas, picas, etc.								
		1	8				8	739,00	5.911,97
2.01.09	ML. Suministro de cable de tierra de 1x50 mm ²								
	Conductor de p.a.t. para enlace entre aerogeneradores, CT y subestación, a base conductor Cu desnudo 50 mm ²								
		1	6.972				6.972	2,92	20.330,35
TOTAL SUBCAPÍTULO 2.01									231.705,92
	Subcapítulo 2.02: Tendido y Montaje								
2.02.01	Ud. Tendido y montaje.								

	Tendido, conexionado, e identificación de los cables anteriores, en zanja registrable o enterrados. Incluidos terminales y empalme. (No se incluye obra civil).								
		1	1					129.000,00	129.000,00
SUBTOTAL CAPÍTULO 2.02									129.000,00
	Subcapítulo 2.03: Cabinas de Media Tensión								
2.03.01	Ud Cabinas compactas								
	Conjunto modular de cabinas de media tensión formado por cabinas de remonte, seccionamiento y protección general.								
	0L+1V	3	1					14.146,80	42.440,40
	0L+1L+1V	5	1					18.960,00	94.800,00
	0L+2L+1V	0	1					23.760,00	0,00
SUBTOTAL CAPÍTULO 2.03									137.240,40
	TOTAL CAPÍTULO 2								497.946,32

1.3 Aerogeneradores

Cod.	Descripción	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Totales	Precio	Importe (€)
	CAPÍTULO 3: AEROGENERADORES								
	Subcapítulo 3.01: Unidades SIEMENS GAMESA SG 170								
3.01.01	ud. Aerogenerador								
	Aerogenerador tipo Gamesa compuesto por rotor de 170 m de diámetro, góndola multiplicador, sistema de frenado, generador eléctrico, grupos hidráulicos, sistemas automáticos de giro, orientación, cuadros control incluido el transporte, montaje y puesta en servicio de este.								
		8,00						5.200.000	41.600.000,00
	TOTAL SUBCAPITULO 3.01								41.600.000,00
	TOTAL CAPITULO 3								41.600.000,00

1.4 Subestación 30/132 kV

Cod.	Descripción	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Totales	Precio	Importe (€)
	CAPÍTULO 4: SUBESTACION 30/132 kV								
	Subcapítulo 4.01: Obra Civil								
	-								
4.01.01	P.A. Obra civil subestación área intemperie incluyendo movimiento tierras, hormigones, aceros, albañilería, red de tierras, saneamiento y varios.								
		1	1					150.000,00	150.000,00
	TOTAL SUBCAPÍTULO 4.01								150.000,00
	Subcapítulo 4.02: Estructuras metálicas								
4.02.01	ud. Incluye todos los apoyos soportes en perfiles de acero galvanizado laminado necesarios para el aparellaje a instalar	1	1					40.000,00	40.000,00
	TOTAL SUBCAPÍTULO 4.02								40.000,00
	Subcapítulo 4.03: Aparellaje y equipos Subestación 30 kV								
4.03.01	Ud. Suministro de celda de acometida de línea 30 kV.								
	Celda de acometida a barras de 30 kV, en armario metálico prefabricado, normalizado y homologado, conteniendo básicamente en su interior, interruptor seccionador, interruptor automático de corte en SF6, relés de protección, etc.								
		1					1	23.981,77	23.981,77
4.03.02	Ud. Suministro de celda de salida de línea 30 kV.								

	Celda para alimentación a parques, en armario metálico prefabricado, normalizado y homologado, conteniendo básicamente en su interior, interruptor seccionador, interruptor automático de corte en SF6, seccionador de puesta a tierra, relés de protección, etc.								
		2					2	23.981,77	47.963,54
4.03.03	Ud. Suministro de celda servicios auxiliares 30 kV.								
	Celda para protección de transformador de SS.AA., en armario metálico prefabricado, normalizado y homologado, conteniendo básicamente en su interior interruptor-seccionador SF6 con fusibles asociados, etc.								
		1	1				1	11.050,15	11.050,15
4.03.04	Ud. Suministro de equipo rectificador-batería								
	Unidad cargadora rectificador baterías 125 Vcc, 100 Ah, montada sobre armario metálico de interior conteniendo en su interior cargador-rectificadores y las baterías de Ni-Cd.								
		1					1	11.660,80	11.660,80
4.03.05	Ud. Suministro de armario de SS.AA.								
	Armario metálico de interior con interruptor de acometida y embarrados de 400/220 Vca y 125 Vcc, para alimentación de alumbrado y fuerza de la subestación, circuitos de aparamenta del parque de 20 kV, etc.								
		1					1	7.285,90	7.285,90
4.03.06	Ud. Suministro de transformador de SS.AA.								
	Suministro de transformador de SS. AA de relación 30/0,4 kV. de 100 kVA de potencia, con grupo de conexión Dyn11, tipo seco, con refrigeración AN. Incluye envolvente metálica.								
		1					1	3.150,00	3.150,00
4.03.07	Ud. Autoválvula								

	Pararrayos autoválvula unipolar para 30 kV y max. Tensión de servicio 36 kV								
		3					3	350,00	1.050,00
4.03.08	P/A. Suministro y montaje de alumbrado y fuerza								
	Suministro y montaje de todo el material necesario para el alumbrado normal, de emergencia y tomas de corriente de usos varios para el edificio de la Subestación.								
		1					1	9.054,85	9.054,85
4.03.09	P/A. Suministro y montaje de alumbrado y fuerza								
	Suministro y montaje de todo el material necesario para el alumbrado normal, de emergencia y tomas de corriente de usos varios para la Subestación.								
		1					1	4.000,00	4.000,00
4.03.10	Ud. Suministro de elementos de seguridad								
	Elementos de seguridad como guantes, banqueta, pértiga, etc..								
		1					1	4.500,00	4.500,00
4.03.11	Ud Suministro S.A.I.								
	Suministro para alimentación sistema control parque								
		1					1	2.884,86	2.884,86
	TOTAL SUBCAPÍTULO 4.03								126.581,87
	Subcapítulo 4.04: Aparellaje 132 kV								
4.04.01	Ud trafo potencia 132/30 kV								
	Transformador de potencia trifásico en aceite con regulación de tensión en carga, grupo de conexión YNd11, 55 MVA								
		1					1	825.000,00	825.000,00
4.04.02	Ud seccionador C/PAT								

	Seccionador tripolar de apertura horizontal con cuchillas de tubo de cobre con dispositivo de mando único para maniobrar los 3 polos. Tensión aislamiento 145 kV, intensidad nominal 1.250 A								
		1					1	11.750,00	11.750,00
4.04.03	Ud Interruptor automático 132 kV								
	Interruptor automático de 145 kV tipo intemperie, corte SF6.Con mando tipo resorte rearmable mediante motor eléctrico. 1250 A, 25 kA								
		1						33.000,00	33.000,00
4.04.04	Ud. Autoválvula						1		
	Autoválvula para sistema de 132 kV, con neutro rígido a tierra								
		6					6	1.600,00	9.600,00
4.04.05	Ud control y protecciones								
		1					2	35.600,00	71.200,00
4.04.06	Ud. Tubos y piezas de conexión								
		1					1	10.000,00	10.000,00
4.04.07	Ud. Armario de medida facturación								
		1					1	30.000,00	30.000,00
4.04.08	Ud. Equipo de comunicaciones								
		1					1	60.000,00	60.000,00
4.04.09	Ud. transformador de intensidad								
	Tipo columna, en aceite, con refrigeración natural relación de transformación 200-400/5-5-5-5 A, 145 kV, 25 kA								
		3					3	5.900,00	17.700,00
4.04.10	Ud. transformador de tensión								
	Tipo columna, en aceite, con refrigeración natural relación de transformación 132.000: $\sqrt{3}/110$: $\sqrt{3}/110$: $\sqrt{3}/110$: $\sqrt{3}$ V, 145 kV								
		3					3	5.300,00	15.900,00
4.04.11	Ud. Cable de control, protección y medida.								

	Cable de control, protección, medida y fuerza.,								
		1					1	18.000,00	18.000,00
	TOTAL SUBCAPÍTULO 4.04								1.084.150,00
	Subcapítulo 4.05: Montaje+ puesta marcha								
4.05.01	Montaje Aparellaje Eléctrico de 30/132 kV								
		1	1					150.000,00	150.000,00
4.05.02	Supervisión, pruebas y puesta en marcha								
		1	1					45.000,00	45.000,00
	TOTAL SUBCAPÍTULO 4.05								195.000,00
	TOTAL CAPÍTULO 4								1.595.731,87

1.5 Edificio de control

Cod.	Descripción	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Totales	Precio	Importe (€)
	CAPÍTULO 5: EDIFICIO DE CONTROL								
	Subcapítulo 5.01: Obra Civil Edificio de Control								
5.01.01	Ud. Obra Civil Edificio de Control								
	Edificio de Control de subestación y parque, según plantas de distribución recogidas en planos, a concretar con proyecto de ejecución, con acabados y características constructivas adecuadas a las normas vigentes, totalmente acabado, de acuerdo con la memoria								
		1						150000	150000

TOTAL SUBCAPITULO 5.01									150.000
	TOTAL CAPÍTULO 5								150.000

1.6 Ingeniería y dirección de obra

Cod.	Descripción	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Totales	Precio	Importe (€)
	CAPÍTULO 6: INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE OBRA								
	Subcapítulo 6.01. Ingeniería del Parque Eólico								
6.01.01	Ud de Ingeniería del parque eólico incluyendo tanto la ingeniería de obra civil como de instalaciones eléctricas, BT, MT y subestación eléctrica	1						100.000	100.000
	TOTAL SUBCAPÍTULO 6.01								100.000
	Subcapítulo 6.02. Dirección facultativa de la obra								
6.02.01	Ud. Dirección Facultativa de la obra	1						80.000	80.000
	TOTAL SUBCAPÍTULO 6.02								80.000
	TOTAL CAPÍTULO 6								180.000

1.7 Varios

Cod.	Descripción	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Totales	Precio	Importe (€)
	CAPITULO 7: VARIOS								
	Subcapítulo 7.01: Control de Calidad								
7.01.01	Control de calidad en obra realizado por empresa especializada	1						65.500	65.500,00
	TOTAL SUBCAPITULO 7.01								65.500,00
	TOTAL CAPITULO 7								65.500,00
	TOTAL MEDICIONES Y PRECIOS UNITARIOS								45.990.203,59

2. Presupuesto de ejecución material

El desglose en euros de las principales partidas presupuestarias de la sección anterior es:

Obra Civil	
Parque Eólico	1.901.025,40
Edificio de Control	150.000,00
Subestación Intemperie	190.000,00
Suministros eléctricos	
Conductores y P.A. T	231.705,92
Subestación 30 Kv	126.581,87
Cabinas Media Tensión	137.240,40
Subestación 132 kV	1.084.150,00
Montajes Eléctricos	
Tendido cables	129.000,00
Subestación	195.000,00
Aerogeneradores	41.600.000,00
Ingeniería y Dirección de Obra	
Ingeniería del Parque Eólico	100.000,00
Dirección Facultativa de la obra	80.000,00
Varios	65.500,00
TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL	45.990.203,59
16 % Gastos Generales	7.358.432,57
3 % Beneficio Industrial	1.379.706,11
TOTAL DE EJECUCIÓN CONTRATA	54.728.342,27

El presupuesto de ejecución por materiales y contrata del Parque Eólico Villadiego (49,6 MW) asciende a la cantidad de:

CINCUENTA Y CUATRO MILLONES SETECIENTOS VEINTIOCHO MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y DOS EUROS CON VEINTISIETE CÉNTIMOS (54.728.342,27 €)

ANEXO I: Selección del Emplazamiento

Índice

1. Objeto	4
2. Criterios para la selección de emplazamiento	4
3. Opción 1:	4
3.1 Accesos	6
3.2 Medio Ambiente	6
3.3 Interconexión eléctrica.....	7
3.4 Características del terreno.....	8
3.5 Recurso eólico.....	8
4. Opción 2:	9
4.1 Accesos	10
4.2 Medio Ambiente	10
4.3 Interconexión eléctrica.....	11
4.4 Características del terreno.....	12
4.5 Recurso eólico.....	12
5. Justificación del emplazamiento elegido	13

Índice de figuras:

Figura 1. Localización del emplazamiento nº1.- Fuente: Google Earth Pro	5
Figura 2. Distancia del emplazamiento nº1 al Espacio Protegido más cercano. - Fuente: Instituto Geográfico Nacional	6
Figura 3. Distancia del emplazamiento nº1 a la subestación La Lora. – Fuente: Google Earth Pro	7
Figura 4. Imagen del terreno del emplazamiento 1	8
Figura 5. Variación estacional de la velocidad del viento en el emplazamiento 1. - Fuente: Global Wind Atlas	9
Figura 6. Variación diurna de la velocidad del viento en el emplazamiento 1. – Fuente: Global Wind Atlas	9
Figura 7. Rosa de los vientos de frecuencias del emplazamiento 1. -Fuente: Global Wind Atlas.....	9
Figura 8. Localización del emplazamiento nº2. -Fuente: Google Earth Pro	9
Figura 9. Distancia del emplazamiento nº2 al Espacio Protegido más cercano. - Fuente: Instituto Geográfico Nacional	11
Figura 10. Distancia del emplazamiento nº2 a la Subestación Cerrato. – Fuente: Google Earth Pro	11
Figura 11. Imagen del terreno del emplazamiento 2. -Fuente: Google Earth Pro	12
Figura 12. Variación diurna de la velocidad del viento en el emplazamiento 2. – Fuente: Global Wind Atlas	13
Figura 13. Variación estacional de la velocidad del viento en el emplazamiento 2. - Fuente: Global Wind Atlas	13
Figura 14. Rosa de los vientos de frecuencias del emplazamiento 2. -Fuente: Global Wind Atlas	13

Índice de tablas:

Tabla 1. Coordenadas UTM del emplazamiento nº1	5
Tabla 2. Coordenadas UTM del emplazamiento nº2	10

1. Objeto

El objeto de este documento consiste en analizar qué características son necesarias en un emplazamiento para construir un parque eólico lo más rentable posible.

Para ello se estudiarán dos opciones de emplazamiento encontradas y se justificará la que finalmente se eligió para la construcción del parque.

2. Criterios para la selección de emplazamiento

La selección del emplazamiento se realiza en base a varios criterios comunes para posteriormente valorar que opción cumple dichas características en mayor medida.

Los criterios tenidos en cuenta son:

- Accesos al emplazamiento: características y estado de las carreteras de acceso.
- Medio ambiente: excluido de todas las listas de espacios protegidos.
- Interconexión eléctrica: El emplazamiento deberá estar a menos de 20 km de un punto de conexión o subestación eléctrica para evitar el sobre coste de construir una línea eléctrica.
- Tipo de vegetación: el nivel de rugosidad del terreno influye en la potencia creada por los aerogeneradores.
- Tipo de terreno: composición del terreno apropiada para la cimentación de la torre.
- Orografía no muy abrupta.
- Recurso eólico suficiente: una velocidad media mínima de unos 7 m/s a 100 m de altura y sin mucha variación diaria ni estacional.

3. Opción 1:

La primera opción planteada se encuentra en el municipio de Villadiego, en la provincia de Burgos.

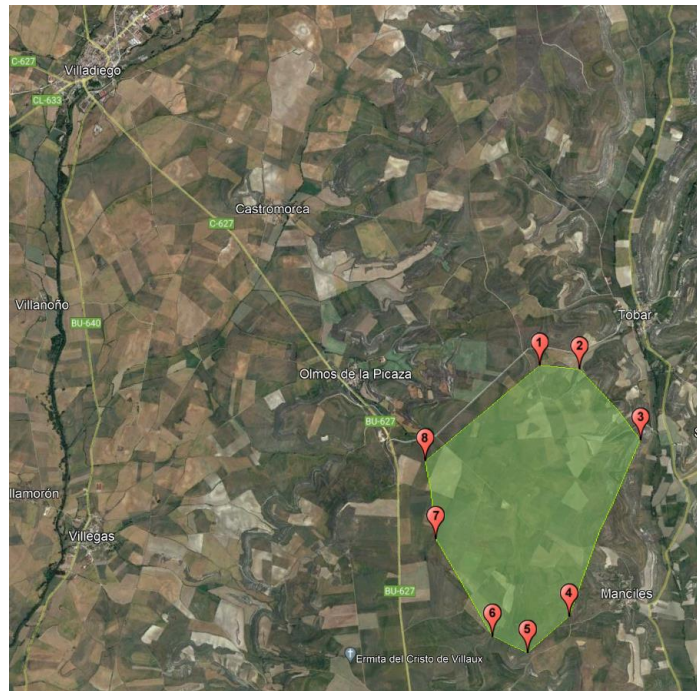


Figura 1. Localización del emplazamiento n°1.- Fuente: Google Earth Pro

El emplazamiento se encuentra a una altura de 960 metros sobre el nivel del mar.

Hay otros parques eólicos en las inmediaciones del emplazamiento, aunque a una distancia considerable. Este dato da una pista sobre los futuros resultados de generación y facilita la obtención de datos de viento precisos

Las coordenadas en formato UTM (Zona 30T) del polígono perimetral son:

Vértice	Coordenada X_{UTM}	Coordenada Y_{UTM}
1	421.611	4.703.518
2	422.047	4.703.426
3	422.628	4.702.564
4	421.596	4.700.747
5	421.093	4.700.412
6	420.730	4.700.628
7	420.238	4.701.765
8	420.226	4.702.625

Tabla 1. Coordenadas UTM del emplazamiento n°1

3.1 Accesos

El parque se ha diseñado para que los aerogeneradores estén a una distancia mínima de 10 veces la altura del buje, unos 1200 m, de cualquier centro urbano para evitar cualquier posible contaminación acústica.

El acceso al parque se hace a través de la carretera BU-627, y después por un camino de tierra durante aproximadamente 1 kilómetro.

Dicho camino deberá ser acondicionado para el paso de maquinaria pesada durante la construcción del parque.

3.2 Medio Ambiente

El emplazamiento no se encuentra en las listas de Espacios Protegidos que proporciona la Comunidad de Castilla y León y el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

El Espacio Protegido más cercano al emplazamiento es el Parque Natural de Hoces del Alto Ebro y Rudrón, que se encuentra a unos 25 kilómetros de este. Por lo tanto, ni la construcción ni el funcionamiento del parque afectarán en modo alguno a dicho Espacio.

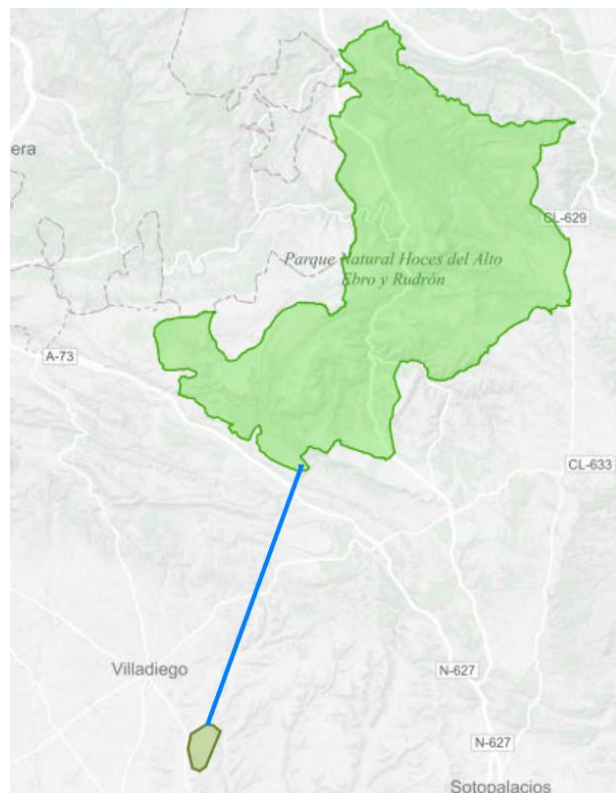


Figura 2. Distancia del emplazamiento nº1 al Espacio Protegido más cercano. - Fuente: Instituto Geográfico Nacional

3.3 Interconexión eléctrica

La distancia del emplazamiento a un punto de interconexión eléctrica es esencial para la viabilidad de este, ya que una distancia excesiva incrementaría demasiado los costes del proyecto.

Este es a menudo el motivo por el que un posible emplazamiento se tiene que descartar.

El emplazamiento está situado a unos 15 kilómetros de la Subestación La Lora y a unos 5 kilómetros de una red de Alta Tensión de 400 kV.

Se conectará el parque a la subestación, ya que, a pesar de estar a mayor distancia, es más viable conectar el parque a una subestación que a una línea eléctrica.

La longitud es lo suficientemente pequeña como para conectar el parque con una obra civil menor.

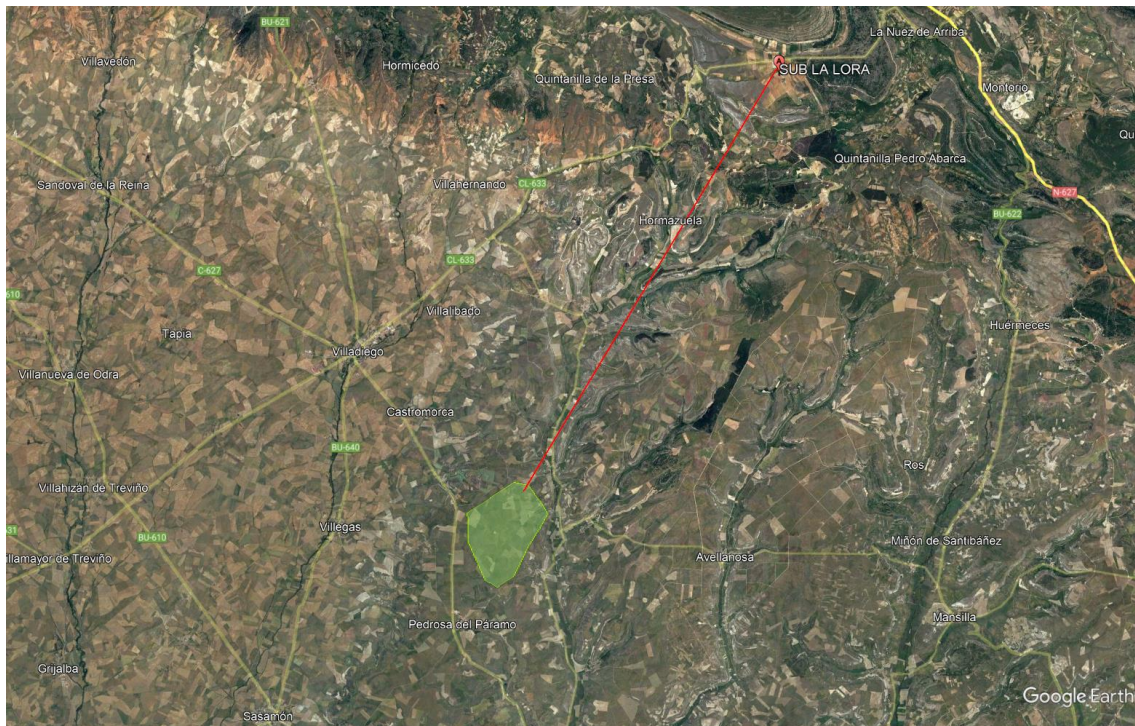


Figura 3. Distancia del emplazamiento nº1 a la subestación La Lora. – Fuente: Google Earth Pro

3.4 Características del terreno

El terreno del emplazamiento es amplio y de carácter rural, ya que su suelo está destinado a fines agrícolas y de orografía completamente plana, por lo que las posibles obras de nivelación del terreno serán menores.

La rugosidad tanto del emplazamiento como de sus alrededores es baja, ya que es una localización alejada de centros urbanos grandes y sin bosques grandes a su alrededor, por lo que se clasifica como una rugosidad de clase 1. Este dato es positivo de cara al recurso eólico, ya que el factor de rugosidad no influirá negativamente en la velocidad del viento.

Por otra parte, la Junta de Castilla y León clasifica el terreno como Franco- Arcillosa, un tipo de tierra duro, pero no muy rocoso, lo cual facilitará la obra de cimentación de las torres.



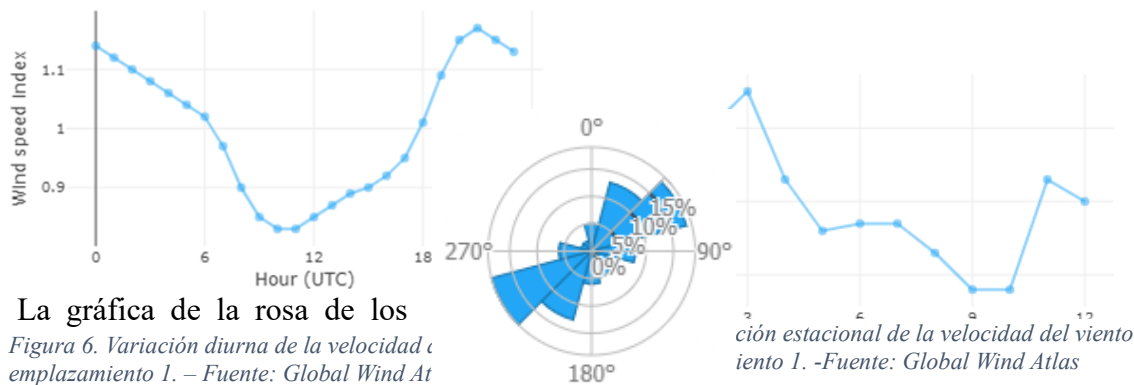
Figura 4. Imagen del terreno del emplazamiento 1

3.5 Recurso eólico

El recurso eólico que se produce en este terreno se ha estimado usando el Mapa Eólico Ibérico, así como el Global Wind Atlas. Ambos mapas dan una idea aproximada de como será el recurso eólico en el terreno a falta de la realización de una campaña de medición mucho más precisa. Para ahorrar recursos, esta campaña se realizará una vez se haya elegido el emplazamiento definitivo.

En primer lugar, la velocidad media de las dos fuentes a 100 metros (aproximadamente la altura del buje) es de 7,55 m/s. Esta velocidad es suficiente para poder generar la energía suficiente para plantear la viabilidad del proyecto.

Otro factor importante a tener en cuenta es la variación tanto diurna como estacional de la velocidad. En este caso, tanto las variaciones diurnas como estacionales son aceptables.



vientos de frecuencias señala que el viento viene del noreste. Por ello, los aerogeneradores tendrán que estar orientados en esa dirección.

Figura 7. Rosa de los vientos de frecuencias del emplazamiento 1. -Fuente: Global Wind Atlas

4. Opción 2:

La segunda opción planteada se encuentra en la localidad de Castrillo de Onielo, en la provincia de Palencia



Figura 8. Localización del emplazamiento nº2. -Fuente: Google Earth Pro

El emplazamiento se encuentra a unos 890 metros sobre el nivel del mar.

Las coordenadas en formato UTM (Zona 30T) del polígono perimetral son:

Vértice	Coordenada X _{UTM}	Coordenada Y _{UTM}
1	393.867	4.635.531
2	393.977	4.635.342
3	395.007	4.635.724
4	396.545	4.635.782
5	396.564	4.635.952
6	395.589	4.636.106

Tabla 2. Coordenadas UTM del emplazamiento nº2

4.1 Accesos

El parque se ha diseñado para que los aerogeneradores se encuentren como mínimo a 2 kilómetros de cualquier núcleo de población, distancia suficiente para evitar la posible contaminación acústica que provoquen los aerogeneradores.

Se accede a través de una carretera secundaria, la PP-1121, y posteriormente se continúa 3 kilómetros por un camino de tierra que, aunque ya construido, es de difícil acceso.

Este camino tendría que ser completamente reacondicionado en obra civil para posibilitar el paso de maquinaria pesada y vehículos.

4.2 Medio Ambiente

El emplazamiento no se encuentra en las listas de Espacios Protegidos que proporciona la Comunidad de Castilla y León y el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

El Espacio Natural Protegido más cercano al emplazamiento es el Parque Natural Hoces del Río Riaza, que se encuentra a 60 kilómetros de distancia aproximadamente. Por lo tanto, la construcción del Parque Eólico no afectará en modo alguno a este Espacio Natural.

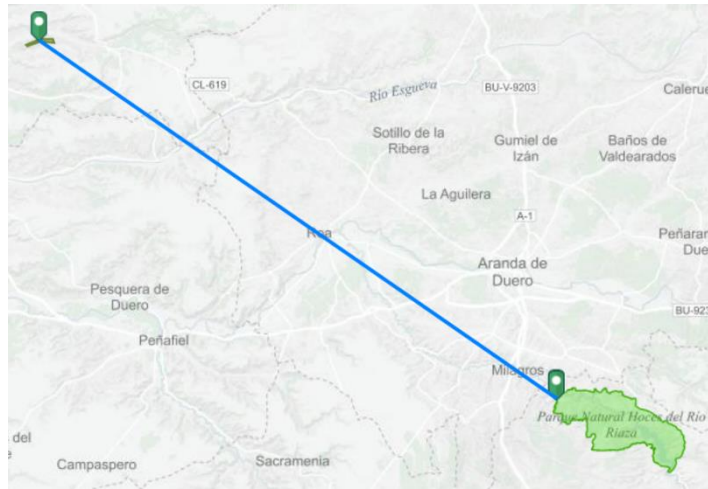


Figura 9. Distancia del emplazamiento n°2 al Espacio Protegido más cercano. - Fuente: Instituto Geográfico Nacional

4.3 Interconexión eléctrica

Como se ha mencionado antes, la distancia a un punto de conexión a la red es, probablemente, una de las características más definitivas a la hora de determinar la viabilidad de un proyecto.

En este caso, no se cuenta con una línea de Alta Tensión cercana, por lo que se recurre a una subestación cercana. Por lo tanto, el punto de interconexión de este emplazamiento sería la Subestación Cerrato, que se encuentra a 8,2 kilómetros del área elegida.

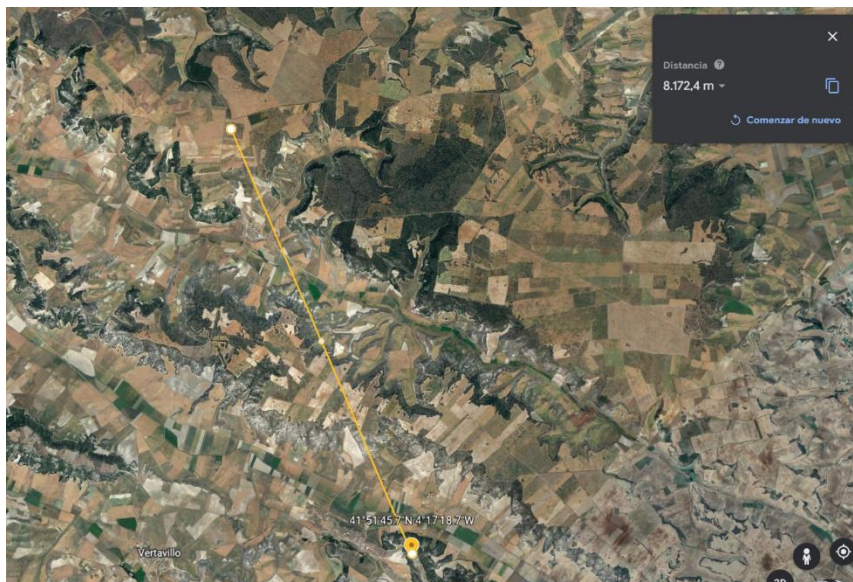


Figura 10. Figura 3. Distancia del emplazamiento n°2 a la Subestación Cerrato. - Fuente: Google Earth Pro

4.4 Características del terreno

El terreno del emplazamiento en este caso es la cima de una colina (*Figura 11*), por lo que es más bien estrecho. En cuanto a la orografía, aunque las imágenes satelitales muestran un terreno bastante plano, es bastante probable que las obras de nivelación sean más complejas.

La rugosidad tanto del emplazamiento como de sus alrededores es baja, ya que es una localización alejada de centros urbanos grandes y sin bosques grandes a su alrededor, por lo que se clasifica como una rugosidad de clase 1. Este dato es positivo de cara al recurso eólico, ya que el factor de rugosidad no influirá negativamente en la velocidad del viento.

Por otra parte, la Junta de Castilla y León clasifica el terreno como Franco- Arcillosa, un tipo de tierra duro, pero no muy rocoso, lo cual facilitará la obra de cimentación de las torres.



Figura 11. Imagen del terreno del emplazamiento 2. -Fuente: Google Earth Pro

4.5 Recurso eólico

El recurso eólico se ha estimado, como en el caso anterior, usando el Mapa Eólico Ibérico y Global Wind Atlas.

En primer lugar, la velocidad media del viento a 100 metros es de 7,4 m/s. Esta velocidad es suficiente para considerar que el emplazamiento es candidato a un parque eólico.

Por otra parte, las variaciones diurnas son aceptables. Las estacionales, aunque aceptables, varían más de lo deseable en los meses de marzo y abril.

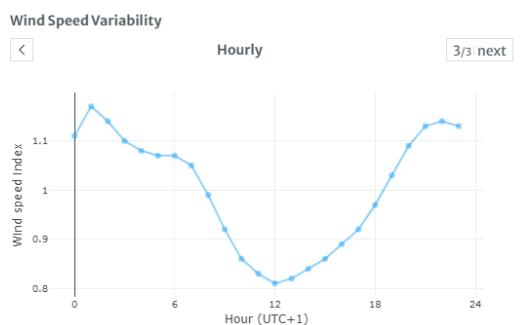


Figura 12. Variación diurna de la velocidad del viento en el emplazamiento 2. – Fuente: Global Wind Atlas

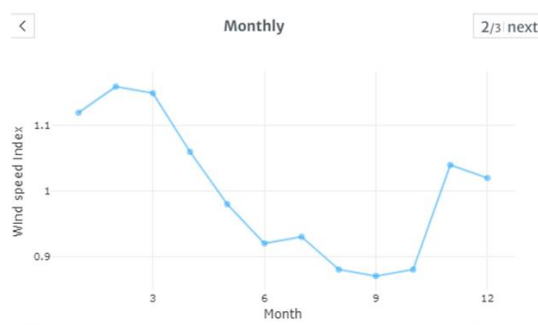


Figura 13. Variación estacional de la velocidad del viento en el emplazamiento 2. –Fuente: Global Wind Atlas

La gráfica de la rosa de los vientos de frecuencias señala que el viento viene del noreste. Por ello, los aerogeneradores tendrán que estar orientados en esa dirección

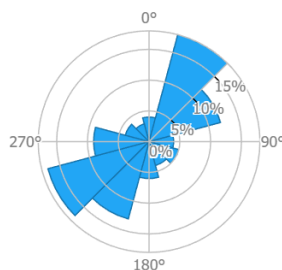


Figura 14. Rosa de los vientos de frecuencias del emplazamiento 2. –Fuente: Global Wind Atlas

5. Justificación del emplazamiento elegido

A la vista de los resultados expuestos, se ha decidido realizar el proyecto en el emplazamiento situado en el municipio de Villadiego (Burgos). La velocidad media no ha sido un factor definitivo, ya que, aunque superior, la diferencia es escasa. Sin embargo, la rosa de los vientos en el emplazamiento de Villadiego se encuentra más alineada en la misma dirección que la del emplazamiento 2. Respecto a la variación estacional, aunque en el caso del emplazamiento en Castrillo de Onielo es aceptable, el terreno de Villadiego presenta menor variación, por lo que la generación a lo largo de los meses será más estable.

Además, el terreno del emplazamiento nº1 es óptimo para la construcción del parque, por varios motivos. En primer lugar, el terreno es más amplio que el del emplazamiento nº2. Esto permitirá incluir más aerogeneradores en la dirección predominante del viento y distanciarlos lo suficiente para evitar las pérdidas por estela, es decir, la interacción entre generadores que provoca la deceleración del flujo, así como los efectos negativos a la infraestructura de los aerogeneradores por flujo turbulento.

En cuanto al tipo de terreno, aunque ninguno de los dos se encuentra cerca de un núcleo de población grande o de vegetación extensa, el terreno en Villadiego cuenta con una orografía completamente plana, no así el terreno en Castrillo de Onielo. La obra civil de nivelación en Villadiego, por lo tanto, será menos costosa.

ANEXO II: Estudio del Recurso Eólico

Índice

1. Objeto.....	5
2. Alcance.....	5
3. Emplazamiento.....	6
4. Datos de partida.....	8
4.1 Datos de series temporales de viento en el emplazamiento.....	8
4.2 Orografía del emplazamiento.....	9
4.3 Rugosidad superficial de los tipos de suelo.....	10
4.4 Densidad del aire	10
4.5 Curva de potencia y coeficiente de empuje	11
5. Localización de los aerogeneradores.....	13
6. Resultados de la campaña de medición.....	14
6.1 Estación de Villadiego	14
7. Perfiles verticales del viento	20
8. Conclusión de la campaña de medición	21
9. Simulación del campo de vientos.....	21
10. Emplazamiento de detalle de aerogeneradores.....	24
10.1 Energía media anual producida	24
10.2 Vestas V-172 S03: 8 aerogeneradores de 5,83 MW, HH: 166 m (Potencia total: 46,64 MW)	25
10.3 Nordex-N163 M5: 8 aerogeneradores de 6,24 MW, HH: 164 m (Potencia total: 49,92 MW)	26
10.4 Siemens SG6.6-170 AM4: 8 aerogeneradores de 6,2 MW, HH: 165 m (Potencia total: 40,6 MW)	28
11. Estimación de la energía media vertida a red	29
12. Conclusiones.....	31

Índice de figuras:

Figura 1. Situación del Parque Eólico "Villadiego" en la provincia de Burgos. -Fuente: Google Earth Pro	6
Figura 2. Disposición de los aerogeneradores en el emplazamiento con vista al norte. - Fuente: Google Earth Pro	7
Figura 3. Situación del emplazamiento sobre mapa geográfico local. -Fuente: Instituto Geográfico Nacional.....	7
Figura 4. Disposición de los aerogeneradores en la dirección predominante del viento. - Fuente: Google Earth Pro	8
Figura 5. Topografía digitalizada del área del emplazamiento.....	10
Figura 6. Curva de potencia y Ct Aerogenerador Vestas V-172 S03.....	12
Figura 7. Curva de potencia y Ct Aerogenerador Nordex N163 M5.....	12
Figura 8. Curva de potencia y Ct Aerogenerador Siemens SG6.6-170 AM4.....	13
Figura 9. Función de distribución de probabilidad de la estación Villadiego.	15
Figura 10. Rosa de frecuencias de la estación Villadiego.	15
Figura 11. Rosa de velocidad media de la estación Villadiego.	16
Figura 12. Rosa de energías de la estación Villadiego.	16
Figura 13. Frecuencia direccional del viento a 100 metros de la estación Villadiego....	17
Figura 14. Velocidad media a 100 metros de la estación Villadiego.	17
Figura 15. Distribución energética de la estación Villadiego.	18
Figura 16. Perfil medio diario de la estación Villadiego.	19
Figura 17. Variación estacional de la estación Villadiego.	19
Figura 18. Perfil vertical de la variación del viento.	20
Figura 19. Mapa de isoventas de elevaciones en el emplazamiento.	22
Figura 20. Mapa de isoventas de velocidad media en el emplazamiento.....	23
Figura 21. Mapa de isoventas de densidad de potencia media en el emplazamiento.....	23
Figura 22. Producción individual anual media Vestas V-172 S03.....	25
Figura 23. Rendimiento Vestas V-172 S03.....	26
Figura 24. Producción individual anual media Nordex-N163 M5.	27
Figura 25. Rendimiento Nordex- N163 M5.	27
Figura 26. Producción individual anual media Siemens-Gameasa SG6.6-170 AM4.	28
Figura 27. Rendimiento Siemens-Gameasa DG6.6-170 AM4.....	29

Índice de tablas:

Tabla 1. Características básicas de los modelos de aerogenerador considerados.....	5
Tabla 2. Coordenadas UTM del alcance de la topografía digitalizada.	9
Tabla 3. Posición de los aerogeneradores.	13
Tabla 4. Parámetros de la estación Villadiego.	14
Tabla 5. Distribuciones direccionales a 100 m estación Villadiego.	18

Tabla 6. Extensión del campo de vientos simulado.....	22
Tabla 7. Producción energética media anual estimada Vestas V-172 S03.....	25
Tabla 8. Producción energética media anual estimada Nordex-N163 M5	26
Tabla 9. Producción energética media anual Siemens-Gamesa SG6.6-170 AM4.....	28
Tabla 10. Pérdidas en los aerogeneradores	29
Tabla 11. Energía media anual vertida a la red de los tres modelos.	30

Índice de ecuaciones:

Ecuación 1. Variación de la temperatura con la altura.	11
Ecuación 2. Fórmula para el cálculo de la densidad.....	11
Ecuación 3. Cálculo de la producción neta de los aerogeneradores.	29

1. Objeto

La realización del presente estudio de evaluación del recurso eólico se efectúa con los siguientes objetos:

- Caracterizar el potencial eólico presente en el emplazamiento de Villadiego, ubicado en el término municipal de Villadiego, en la provincia de Burgos.
- Estimar la producción media anual de energía que el Parque Eólico Villadiego verterá a la red con una potencia eléctrica instalada de 49,6 MW.

2. Alcance

Para lograr los objetivos anteriormente mencionados, se han llevado a cabo las siguientes acciones:

- Configuración de una estación meteorológica virtual para la obtención de datos de viento. Esta estación virtual se ha obtenido por parte de la empresa VORTEX, que mediante el uso de modelos matemáticos estiman los datos de viento de manera fiable en cualquier zona del mundo donde no se disponga de una estación meteorológica física, reduciendo además los costes de la campaña de medición.
- Los parámetros que se han medido son la velocidad y dirección del viento a 100 metros (la altura del buje), así como la temperatura y la presión, magnitudes necesarias para el cálculo de la densidad del aire. Los datos comprenden un periodo de más de 10 años, en intervalos de 1 hora.
- Análisis y tratamiento de los datos en crudo para obtener estadísticos representativos del potencial energético del recurso eólico, como las distribuciones de frecuencias y temporales. Este análisis estadístico se realiza a través del programa informático Windographer.
- Determinación de la distribución espacial del flujo de vientos del emplazamiento usando el programa WasP. Este programa fue desarrollado por el Laboratorio Nacional Risø, dependiente del gobierno de Dinamarca, y ejecutado en el marco de Atlas Eólico Europeo. Este modelo es un modelo tridimensional de flujos de viento que considera factores como la topografía, los obstáculos o la rugosidad superficial.
- Análisis energético del emplazamiento con el objeto de evaluar el rendimiento de un parque eólico con 8 aerogeneradores. En este análisis se han considerado tres modelos de aerogenerador presentes en el mercado:

Modelo	Potencia unitaria (MW)	Altura del buje (m)
Vestas V-172 S03	5,83	166
Nordex N163 M5	6,24	164
Siemens 6.6-170 AM4	6,2	165

Tabla 1. Características básicas de los modelos de aerogenerador considerados.

- Estimación de la energía media anual producida por el parque eólico “Villadiego”. Esta estimación se realizará usando el modelo PARK, integrado en el programa WasP. Este modelo tiene en cuenta las pérdidas por estela del parque, que será una de las pérdidas a tener en cuenta a la hora de estimar la energía que finalmente se verterá a la red.

3. Emplazamiento

El Parque Eólico Villadiego se encuentra en el municipio de Villadiego, provincia de Burgos. Está situado a 960 metros sobre el nivel del mar.

En las siguientes imágenes se muestra la localización del emplazamiento, así como la distribución de los aerogeneradores.

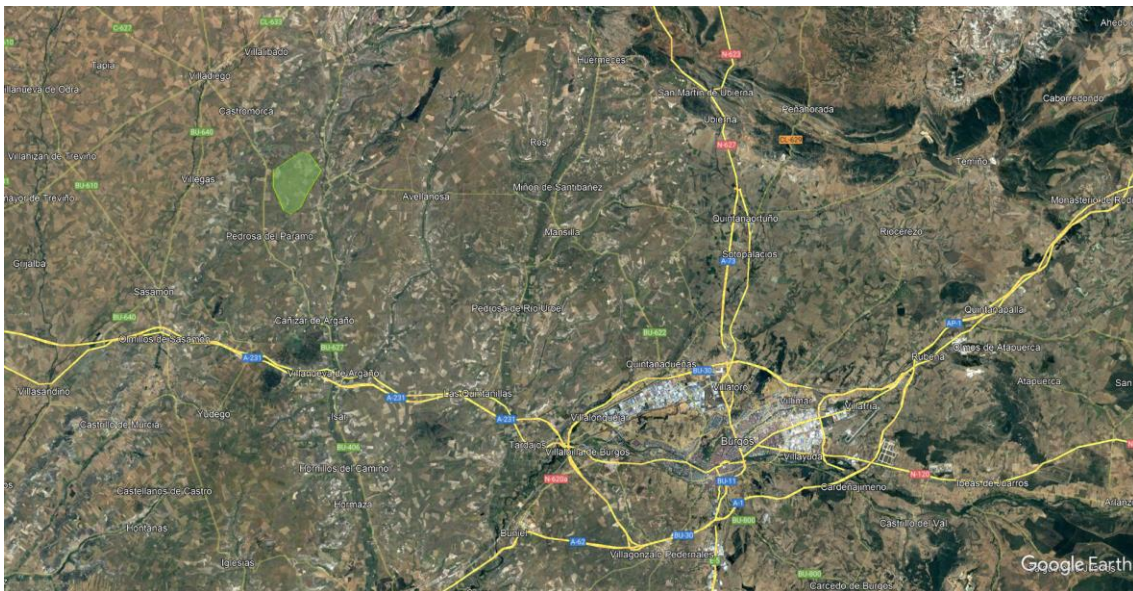


Figura 1. Situación del Parque Eólico "Villadiego" en la provincia de Burgos. -Fuente: Google Earth Pro



Figura 3. Situación del emplazamiento sobre mapa geográfico local. -Fuente: Instituto Geográfico Nacional



Figura 2. Disposición de los aerogeneradores en el emplazamiento con vista al norte. -Fuente: Google Earth Pro



Figura 4. Disposición de los aerogeneradores en la dirección predominante del viento. -Fuente: Google Earth Pro

4. Datos de partida

Los datos de partida necesarios para poder realizar el estudio son:

- Datos de series temporales en el emplazamiento. Proporcionados por VORTEX S.L.
- Orografía del emplazamiento en el que se sitúa el parque.
- Rugosidad superficial de los tipos de suelo
- Densidad del aire, calculada a partir de los datos de temperatura y presión proporcionados por VORTEX S.L.
- Curva de potencia y coeficiente de empuje de los tres modelos de aerogeneradores considerados en este estudio. Proporcionados por los fabricantes.

4.1 Datos de series temporales de viento en el emplazamiento

La campaña de medición en el emplazamiento ha sido realizada por la empresa VORTEX.

Para ello, se dispone de una estación anemométrica virtual situada en el punto (420.572,60, 4.701.852,20) en coordenadas UTM, en la provincia de Valladolid, Burgos.

La torre anemométrica virtual tiene una altura de 100 metros, y se compone de los siguientes elementos:

- Anemómetro (100 m)
- Veleta (100 m)
- Barómetro (100 m)
- Termómetro (100 m)

Los datos proporcionados por la torre comienzan el 1/1/2012 a las 01:00, y acaban el 28/10/2023 a las 00:00, por lo que hay 94871 entradas de datos disponibles. La abundancia de datos es positiva, ya que permitirá reducir la posibilidad de errores y, por lo tanto, maximizar la fiabilidad de los estadísticos que se obtengan como resultado de dicho estudio.

4.2 Orografía del emplazamiento

La orografía del terreno es un parámetro de entrada al modelo de cálculo de WAsP. Por esta razón, se ha digitalizado el área de emplazamiento usando la herramienta QGIS y tomando como base de partida los datos proporcionados por el Sistema de Información y Datos del Sistema de Observación de la Tierra de la NASA (EOSDIS, por sus siglas en inglés)

La topografía digitalizada se corresponde a una superficie de 6 x 6 km² (36 km²), con una distancia entre líneas de nivel de 10 metros. El alcance se resume en la siguiente tabla:

Alcance de la topografía digitalizada	
ED50- Zona 30N	
X _{UTM}	Y _{UTM}
418.203,1	4.698.629,0
418.203,1	4.704.729,5
424.303,1	4.698.629,0
424.303,1	4.704.729,5

Tabla 2. Coordenadas UTM del alcance de la topografía digitalizada.

A continuación, se muestra la topografía digitalizada:

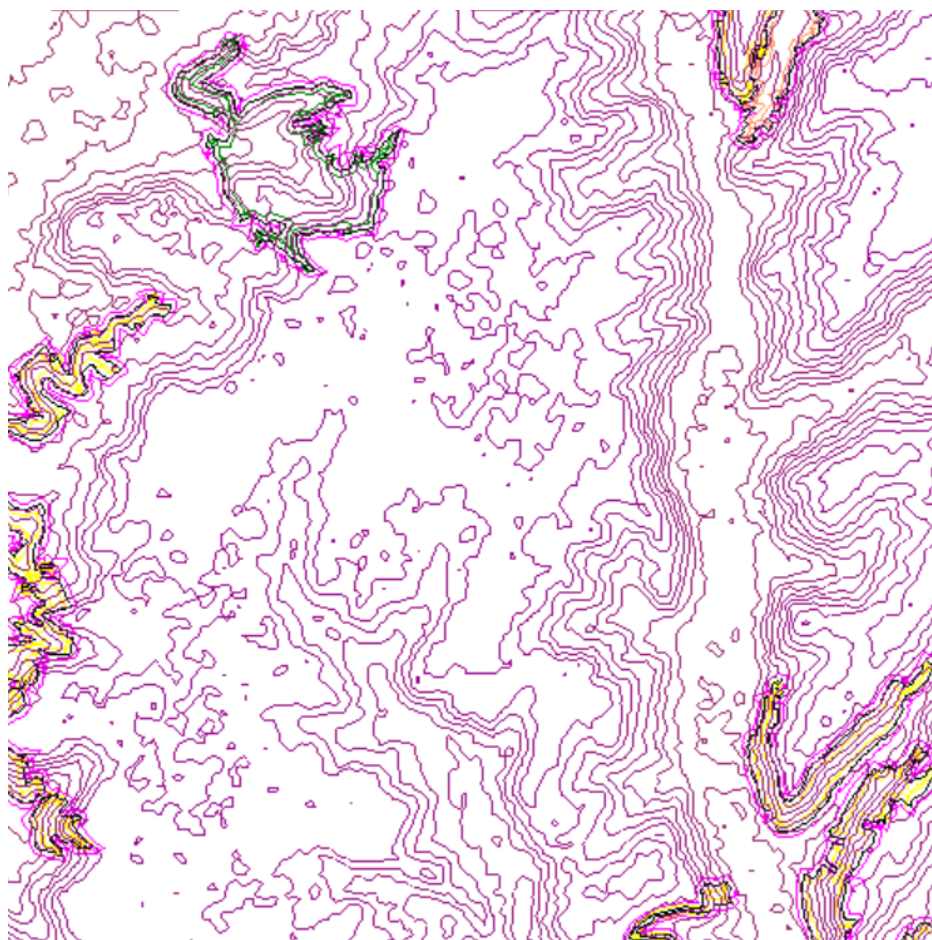


Figura 5. Topografía digitalizada del área del emplazamiento.

4.3 Rugosidad superficial de los tipos de suelo

La rugosidad superficial de los tipos de suelo se ha digitalizado usando la herramienta de digitalización de mapas QGIS, y tomando como datos de partida la base de datos CORINE, un proyecto dirigido por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA) que desarrolla una base de datos sobre la cobertura y uso de del territorio de la Unión Europea.

Los valores de rugosidad presentes en el emplazamiento son de 0,03 a 0,07. Estos valores concuerdan con las características rurales y sin mucho pasto del terreno.

4.4 Densidad del aire

La densidad del emplazamiento depende directamente de 3 variables: altura, presión y temperatura.

$$T(z_2) = T(z_1) - \frac{1\text{ }^{\circ}\text{C}}{154\text{ m}} \cdot (z_2 - z_1) [^{\circ}\text{C}]$$

Ecuación 1. Variación de la temperatura con la altura.

Como se van a estudiar distintos tipos de tecnologías a distintas alturas de buje, habría que tener en cuenta todas las alturas. Sin embargo, en el caso de los tres modelos, la altura de buje es prácticamente similar, variando 1 m. Por lo tanto, se utiliza la altura media de los tres, 165 metros.

La temperatura media medida en la torre es de 10,19 °C para una altura de 1058 metros sobre el nivel del mar (958 m de elevación y 100 m de la altura del termómetro). Aplicando la fórmula de la parte superior a una altura de 1123 metros (958 m de elevación y 165 m de altura del buje), queda una temperatura media final de **9,77 °C**

La densidad para estas condiciones se obtiene aplicando la siguiente fórmula:

$$\rho = \left(\frac{P_0}{R \cdot T} \right) \cdot \exp \left(\frac{-g \cdot z}{R \cdot T} \right) [\text{kg/m}^3]$$

Ecuación 2. Fórmula para el cálculo de la densidad.

Donde:

$$\begin{aligned} P_0 &= 101325 \text{ Pa} \\ g &= 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \\ z &= \text{altitud (m)} \\ T &= \text{temperatura (K)} \\ R &= 286,9 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \end{aligned}$$

Por tanto, la densidad del emplazamiento de Villadiego para una altura de buje de 165 metros es de 1,091 kg/m³.

4.5 Curva de potencia y coeficiente de empuje

Para este estudio, se analizarán los siguientes aerogeneradores:

- Vestas V172 S03 de 5,83 MW de potencia nominal y altura de buje de 166 metros.
- Nordex N163 M5 de 6,24 MW de potencia nominal y una altura de buje de 164 metros.
- Siemens SG6.6-170 AM4 de 6,2 MW de potencia nominal y una altura de buje de 165 metros.

Para todas las curvas de potencia y coeficientes de empuje se ha tenido en cuenta la densidad calculada en el apartado 4d. (1,091 kg/m³)

Aerogenerador Vestas V-172 S03

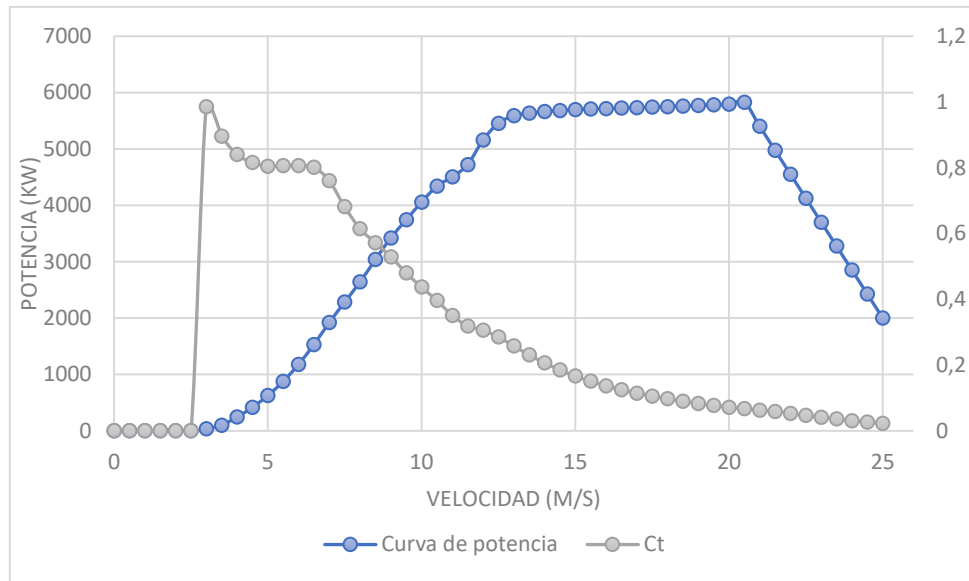


Figura 6. Curva de potencia y C_t Aerogenerador Vestas V-172 S03.

Aerogenerador Nordex N163 M5

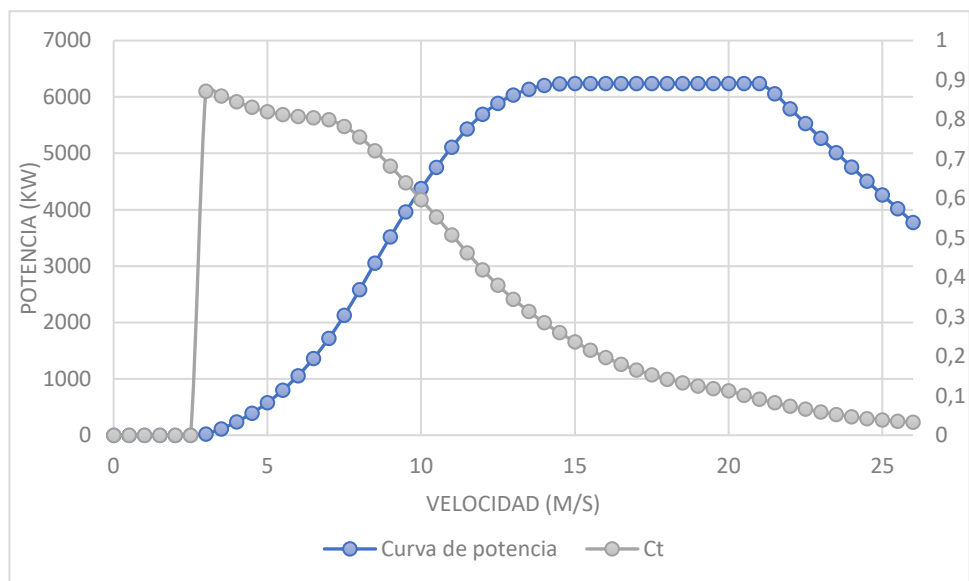


Figura 7. Curva de potencia y C_t Aerogenerador Nordex N163 M5.

Aerogenerador Siemens SG6.6-170 AM4

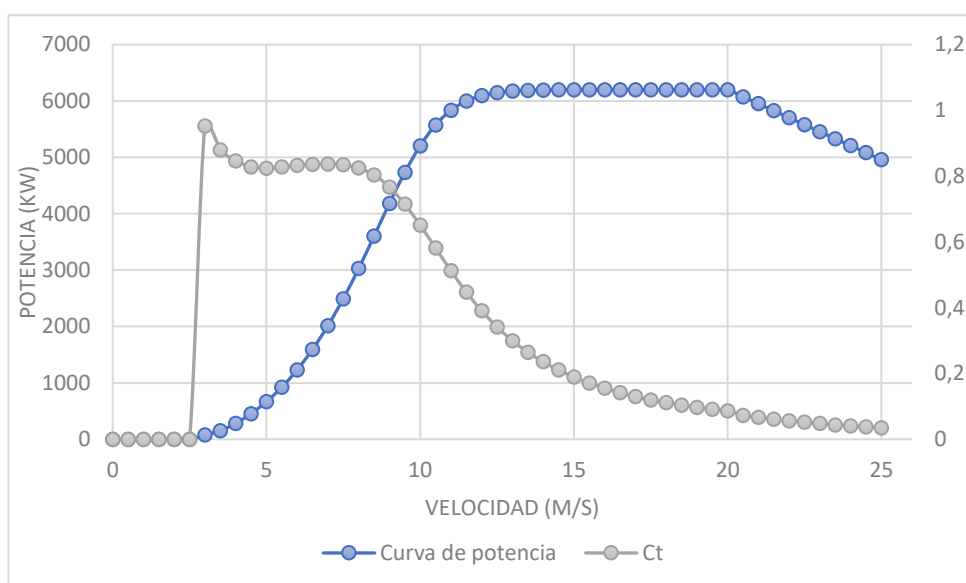


Figura 8. Curva de potencia y Ct Aerogenerador Siemens SG6.6-170 AM4.

5. Localización de los aerogeneradores

El parque eólico de Villadiego está formado por 8 aerogeneradores en las 3 alternativas, ya que ninguna superará el límite de potencia establecida.

Las posiciones se han establecido teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Distancia de un aerogenerador a un núcleo urbano: superior a 1 km.
- Distancia de un aerogenerador a una carretera asfaltada: superior a 275 metros.
- Distancia de un aerogenerador a una línea eléctrica: superior a 275 metros.
- Orientación de los aerogeneradores en dirección perpendicular a la dirección de mayor potencial eólico, intercalándolos entre sí para evitar en la medida de lo posible efecto estela. Distancia entre aerogeneradores: 510 metros.

Las posiciones de los aerogeneradores en coordenadas UTM (datum ED50, huso 30N) son:

Parque Eólico "Villadiego"		
Coordenadas UTM		
Aerog.	X _{UTM}	Y _{UTM}
A1	420.326	4.702.551
A2	420.770	4.702.302
A3	421.212	4.702.047
A4	421.655	4.701.796
A5	420.741	4.700.854
A6	421.199	4.700.636
A7	421.629	4.703.136
A8	422.151	4.702.836

Tabla 3. Posición de los aerogeneradores.

6. Resultados de la campaña de medición

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la campaña de medición después de haber realizado el correspondiente tratamiento de los datos eólicos con el fin de determinar los parámetros que cuantifican el potencial eólico en el emplazamiento del parque:

- Período de datos.
- N.º de observaciones del período.
- Velocidad media.
- Velocidad máxima.
- Parámetros de Weibull.
- Densidad de potencia media.
- Distribución direccional de velocidad, frecuencia, densidad de energía.

Además, se han incluido los siguientes gráficos:

- Función de distribución de probabilidad.
- Rosa de Frecuencia, Velocidad y Energía.
- Variación diaria de velocidad.
- Variación estacional de velocidad.

6.1 Estación de Villadiego

Seguidamente se presenta el análisis estadístico-descriptivo realizado con los datos registrados con una frecuencia horaria por esta estación virtual en el periodo (01/01/2012-28/10/2022).

Variable	Estación Villadiego
Altura sobre el suelo (m)	100
Velocidad de viento: media (m/s)	7,671
Velocidad de viento: máxima (m/s)	25,9
Weibull k	2,238
Weibull c (m/s)	8,645
Densidad de potencia media (W/m²)	426
Contenido energético medio (kWh/m²/año)	3732
Registros posibles	94872
Registros válidos	94872
Registros no válidos	0
Ratio de datos válidos (%)	100
Hora de máxima velocidad de viento	22

Tabla 4. Parámetros de la estación Villadiego.

- Distribución de Weibull:

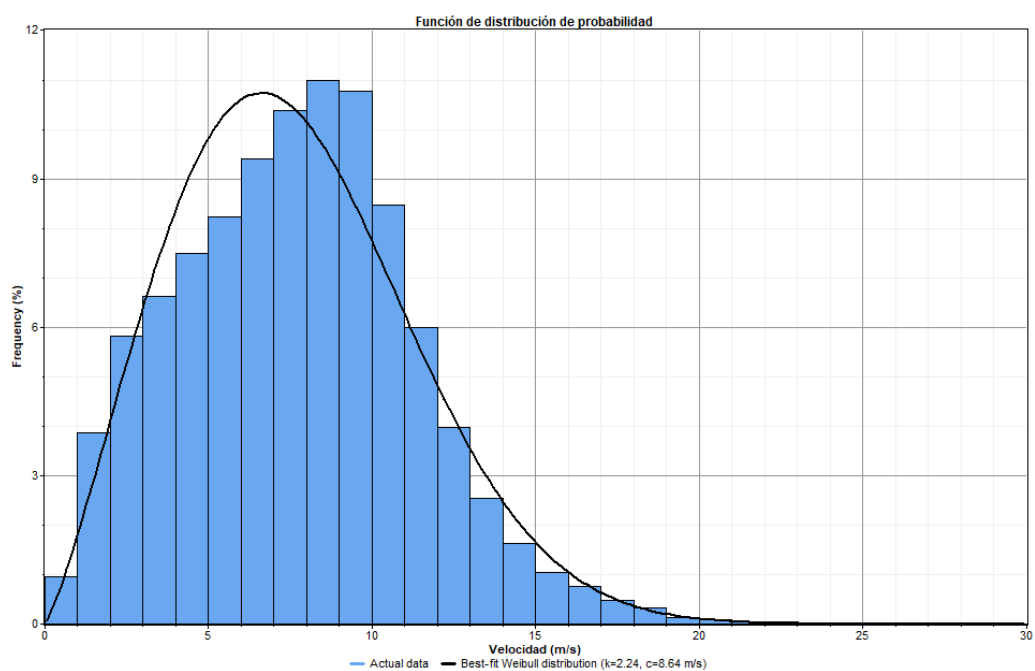


Figura 9. Función de distribución de probabilidad de la estación Villadiego.

- Rosa de viento de frecuencia, velocidad y energía:

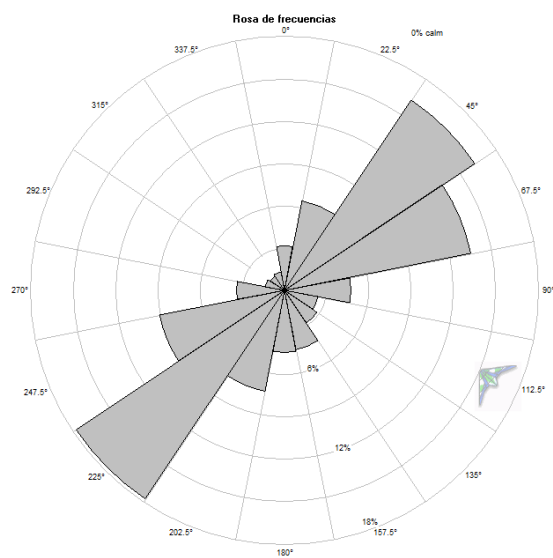


Figura 10. Rosa de frecuencias de la estación Villadiego.

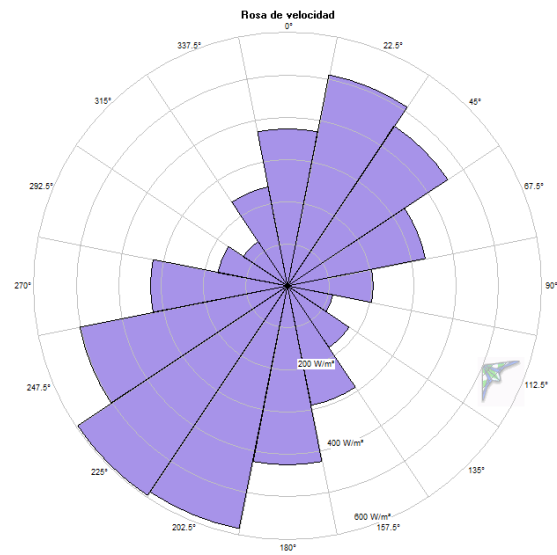


Figura 11. Rosa de velocidad media de la estación Villadiego.

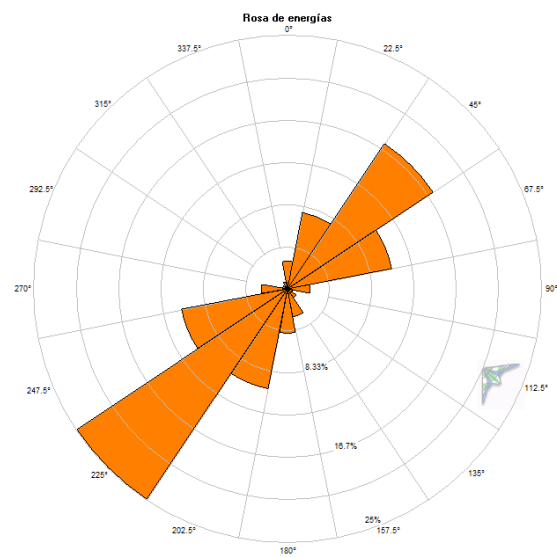


Figura 12. Rosa de energías de la estación Villadiego.

- Distribución direccional de frecuencia, velocidad y energías



Figura 13. Frecuencia direccional del viento a 100 metros de la estación Villadiego.

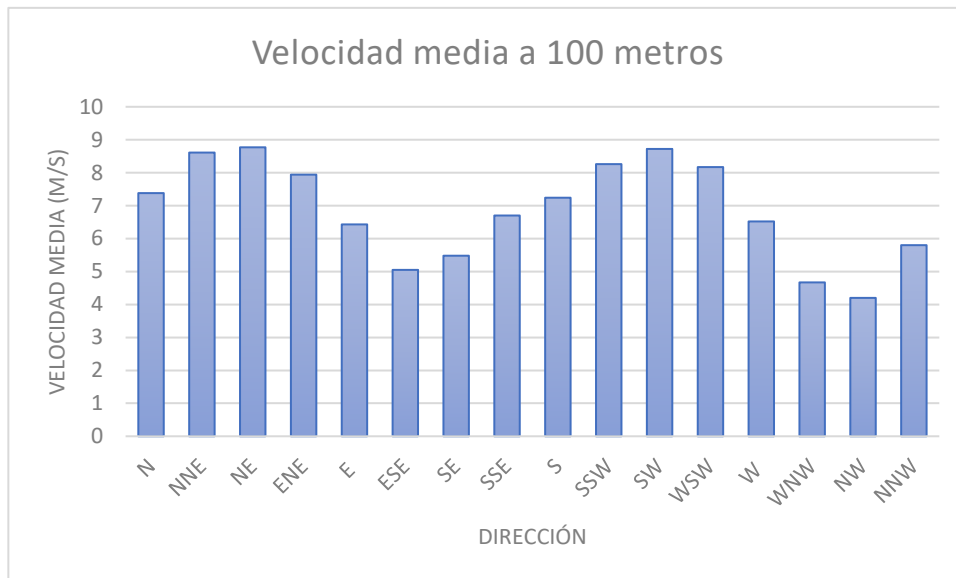


Figura 14. Velocidad media a 100 metros de la estación Villadiego.

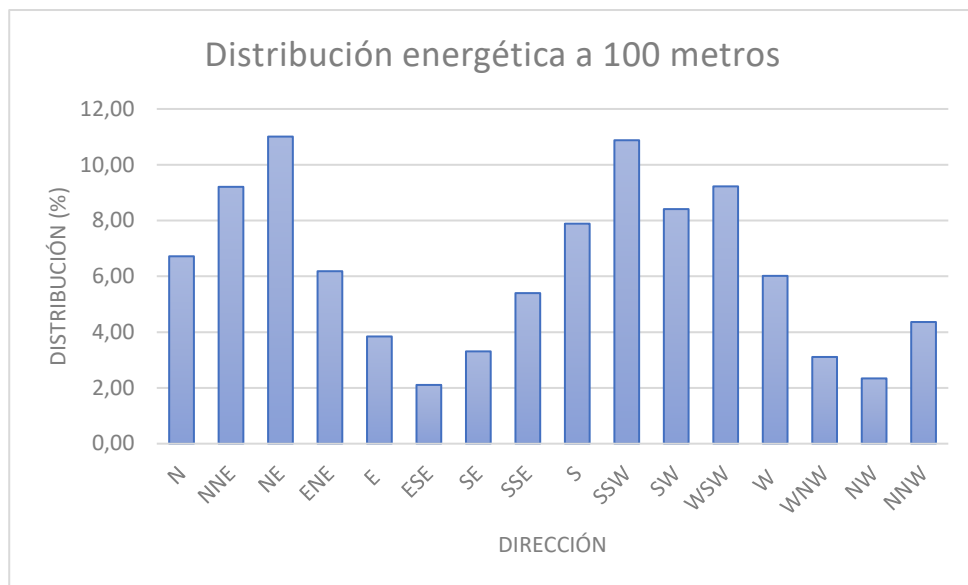


Figura 15. Distribución energética de la estación Villadiego.

Grados	f (%)	Velocidad media (m/s)	Energía (%)
0	3,2	7,38	6,72
22,5	6,5	8,61	9,21
45	17,8	8,77	11,01
67,5	13,5	7,94	6,18
90	4,8	6,43	3,84
112,5	2,5	5,05	2,11
135	2,8	5,48	3,31
157,5	4,3	6,7	5,40
180	4,5	7,24	7,89
202,5	7,3	8,26	10,88
225	16,2	8,72	8,41
247,5	9	8,17	9,22
270	3,5	6,52	6,02
292,5	1,5	4,67	3,11
325	1,3	4,2	2,34
337,5	1,4	5,8	4,36

Tabla 5. Distribuciones direccionales a 100 m estación Villadiego.

- Variación horaria de la velocidad del viento

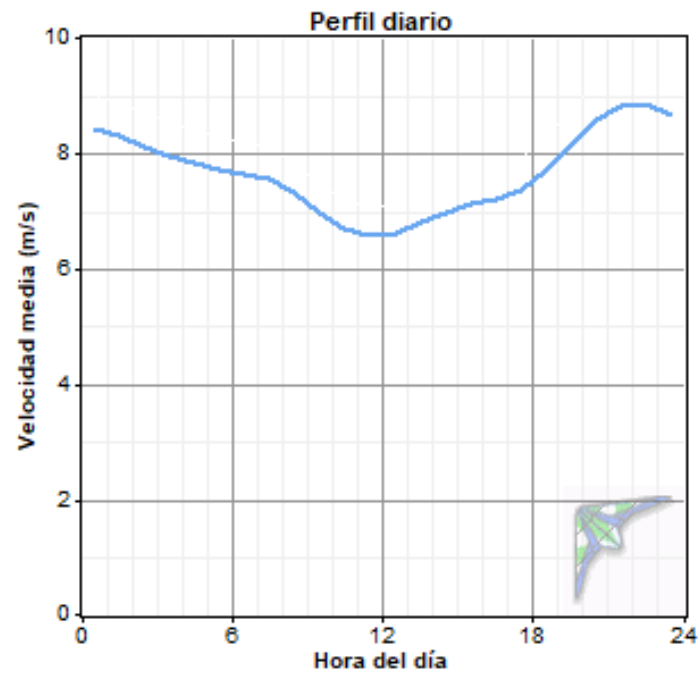


Figura 16. Perfil medio diario de la estación Villadiego.

- Variación mensual de la velocidad del viento

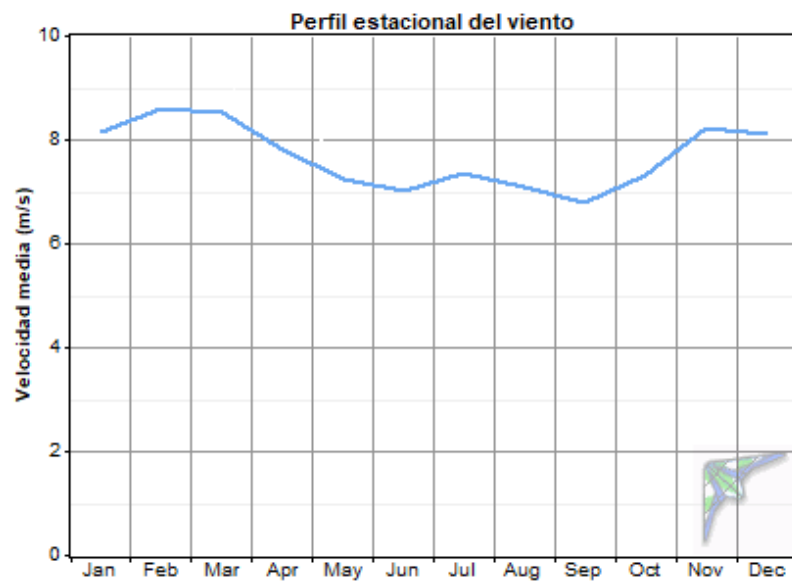


Figura 17. Variación estacional de la estación Villadiego.

7. Perfiles verticales del viento

Se ha realizado un análisis del perfil vertical de variación del viento con la altura. Se ha extrapolado la velocidad del viento a la altura del buje de los aerogeneradores seleccionado (165 metros).

El perfil vertical está basado en la ley potencial y se obtiene un exponente alfa de valor 0,140.

La velocidad media extrapolada a 165 metros es de 8,23 m/s.

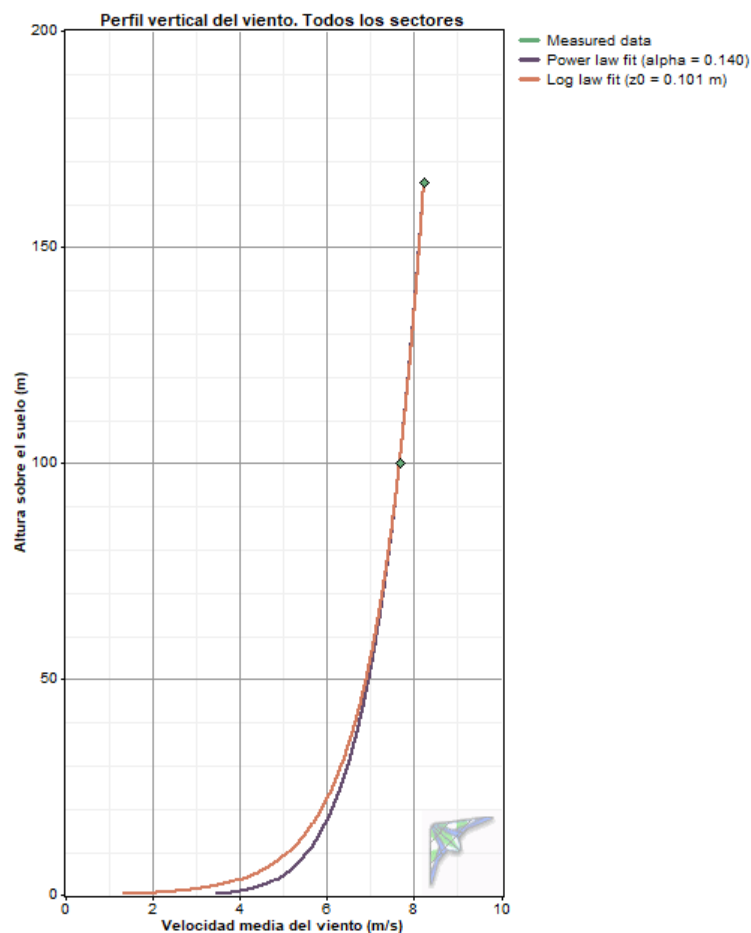


Figura 18. Perfil vertical de la variación del viento.

8. Conclusión de la campaña de medición

- La velocidad media que se alcanzó en la estación de Villadiego a 100 metros fue de 7,67 m/s.
 - o Utilizando la ley potencial de variación de la velocidad del viento con la altura se obtuvo un coeficiente de 0,140 y, por lo tanto, se extrapoló la velocidad media del viento obtenida a los 165 metros de altura del buje de los aerogeneradores, obteniéndose una velocidad media de 8,23 m/s.
- La velocidad media es superior en el rumbo NE (8,77 m/s).
- El campo de vientos presenta como dirección dominante en frecuencia NE (17,8%) y siendo también la de mayor contenido energético (11,01%).
- La densidad de potencia media a 100 metros es de 426 W/m², que extrapolado a 165 metros asciende a 526 W/m².
- La tendencia de variación horaria de la velocidad media sitúa un mínimo en torno a las 11:00 h y un máximo a las 22:00 h (horario solar).
- La gran cantidad de datos analizados (10 años), permiten suponer que estos valores son válidos a largo plazo.

9. Simulación del campo de vientos

Para evaluar el efecto de la orografía y la rugosidad superficial local en el comportamiento del viento en la zona del parque eólico, se ha realizado una simulación del campo de viento mediante el modelo WAsP.

El modelo WAsP (*Wind Atlas Analysis and Application Program*) obtiene a partir de unos datos de entrada, como son la serie temporal de viento, topografía, rugosidad, etc., obtiene la velocidad geostrófica, para finalmente calcular la velocidad del viento en una coordenada concreta asumiendo la igualdad de velocidades geostróficas (hipótesis razonable, ya que las velocidades geostróficas varían con largas distancias) y por último aplicar los modelos de orografía y rugosidad previamente definidos como *inputs*.

Se han tomado como datos de entrada (*inputs*) al modelo de simulación WAsP los siguientes:

- Serie temporal de velocidades medias diarias correspondientes a la estación Villadiego, con un total de 94.872 observaciones, promediadas cada hora desde el 01/01/2012 hasta el 28/10/2022 con un 100% de registros válidos.
- Rugosidad: Se ha modelizado como se indica en el apartado 44.3.

- Topografía: Digitalizada con un total de 76.058 puntos digitalizados, como se especifica en el apartado 44.2.

La simulación del campo de vientos se ha realizado con una resolución horizontal de 50 metros, y comprende la siguiente extensión territorial:

Extensión campo de vientos simulado	
ED50- Zona 30N	
XUTM	YUTM
419.625	4.700.335
419.625	4.703.545
422.835	4.700.335
422.835	4.703.545

Tabla 6. Extensión del campo de vientos simulado.

A continuación, se adjuntan la simulación de isoventas a 165 metros de la altitud, velocidad media y densidad de potencia media. En ellas puede observarse que todos los aerogeneradores se han situado en las zonas planas en las que hay mayor densidad de potencia.

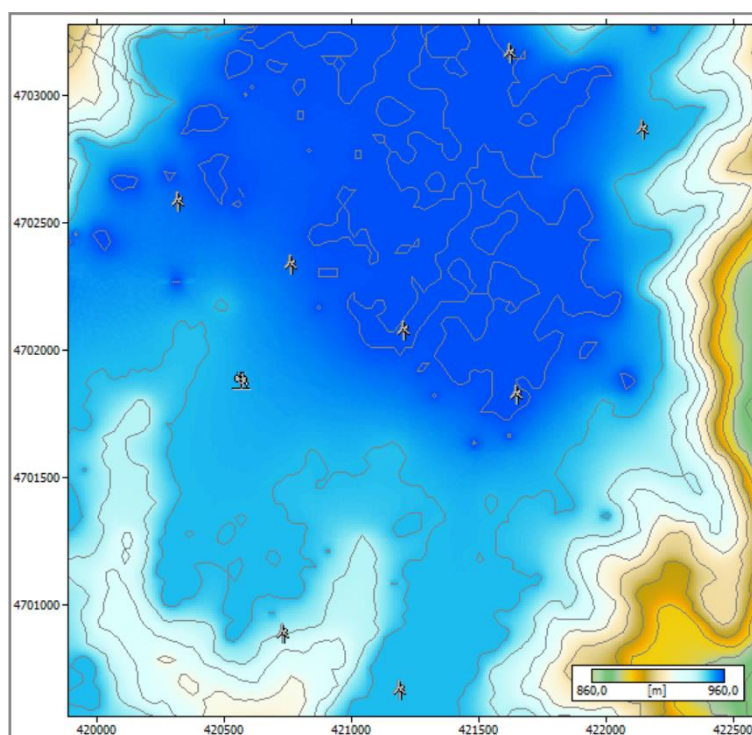


Figura 19. Mapa de isoventas de elevaciones en el emplazamiento.

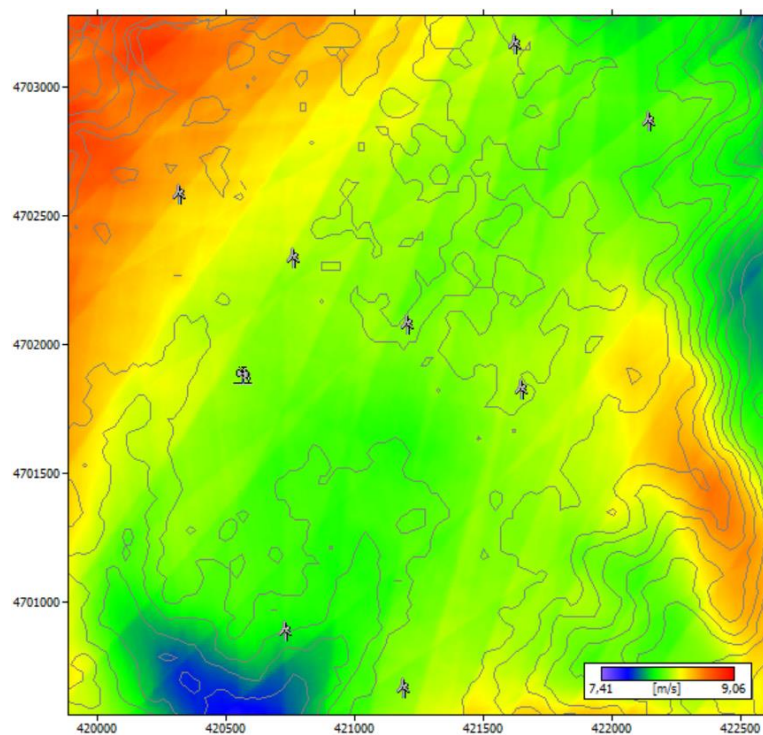


Figura 20. Mapa de isoventas de velocidad media en el emplazamiento.

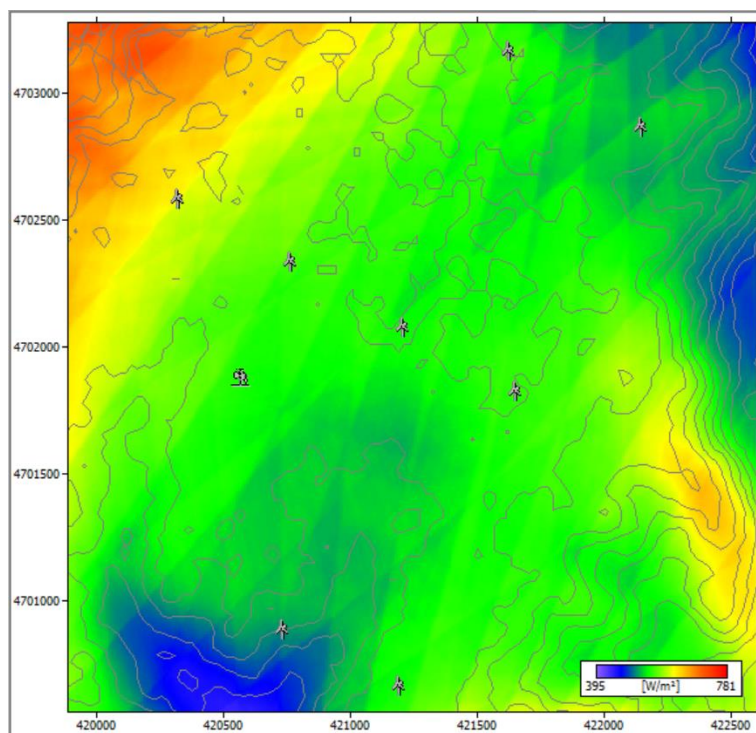


Figura 21. Mapa de isoventas de densidad de potencia media en el emplazamiento.

10. Emplazamiento de detalle de aerogeneradores

10.1 Energía media anual producida

La estimación de la energía media anual producida se ha realizado a través del modelo WAsP a partir de las siguientes hipótesis en conformidad con lo indicado anteriormente sobre las estaciones de referencia:

- Campo de viento en el emplazamiento de cada aerogenerador: parámetros de Weibull (A y C) más la frecuencia.
- Productividad de los aerogeneradores del 100%.
- Pérdidas de producción por efecto estela (modelo PARK)
- Alturas de buje de los aerogeneradores de 164, 165 y 166 metros.
- Curvas de potencia de los aerogeneradores:
 - o Vestas V172 S03 de 5,83 MW de potencia nominal y altura de buje de 166 metros adaptada a la densidad calculada del emplazamiento $d = 1,091 \text{ kg/m}^3$.
 - o Nordex N163 M5 de 6,24 MW de potencia nominal y una altura de buje de 164 metros adaptada a la densidad calculada del emplazamiento $d = 1,091 \text{ kg/m}^3$.
 - o Siemens SG6.6-170 AM4 de 6,2 MW de potencia nominal y una altura de buje de 165 metros adaptada a la densidad calculada del emplazamiento $d = 1,091 \text{ kg/m}^3$.

A continuación, se presenta la producción media anual bruta de cada aerogenerador para cada uno de los modelos estudiados, haciendo referencia a los siguientes términos:

- **Producción Libre:** Producción bruta por máquina considerándose aislada.
- **Producción Bruta:** Producción bruta por máquina considerando su integración en el parque eólico y, por lo tanto, las pérdidas por efecto estela.
- **Horas equivalentes:** Tiempo equivalente anual de funcionamiento a potencia nominal con un 100% de productividad. Esto es, sin tener en cuenta las pérdidas de producción por mantenimiento, indisponibilidades de red, efecto bloqueo, etc.

10.2 Vestas V-172 S03: 8 aerogeneradores de 5,83 MW, HH: 166 m (Potencia total: 46,64 MW)

Parque Eólico Villadiego								
Producción Energética Media Anual Estimada								
Aerogeneradores Vestas V-172 S03 5,83 MW								
Altura de buje 166 metros								
Aero	X _{UTM}	Y _{UTM}	Producción Libre (MWh/año)	Producción Bruta (MWh/año)	Pérdidas estela (%)	Velocidad a HH (m/s)	Clase	Horas Equivalentes
1	420.326	4.702.551	24.981	24.352	2,52	8,50	II	4.180
2	420.770	4.702.302	24.127	23.121	4,17	8,29	II	3.969
3	421.212	4.702.047	23.933	22.969	4,03	8,24	II	3.942
4	421.655	4.701.796	24.204	23.481	2,99	8,30	II	4.030
5	420.741	4.700.854	23.111	22.319	3,43	8,05	II	3.831
6	421.199	4.700.636	24.037	23.677	1,50	8,26	II	4.064
7	421.629	4.703.136	24.164	23.303	3,57	8,32	II	4.000
8	422.151	4.702.836	23.655	22.919	3,11	8,17	II	3.934
TOTAL			192.212	186.141	3,17	8,27	II	3.994

Tabla 7. Producción energética media anual estimada Vestas V-172 S03.

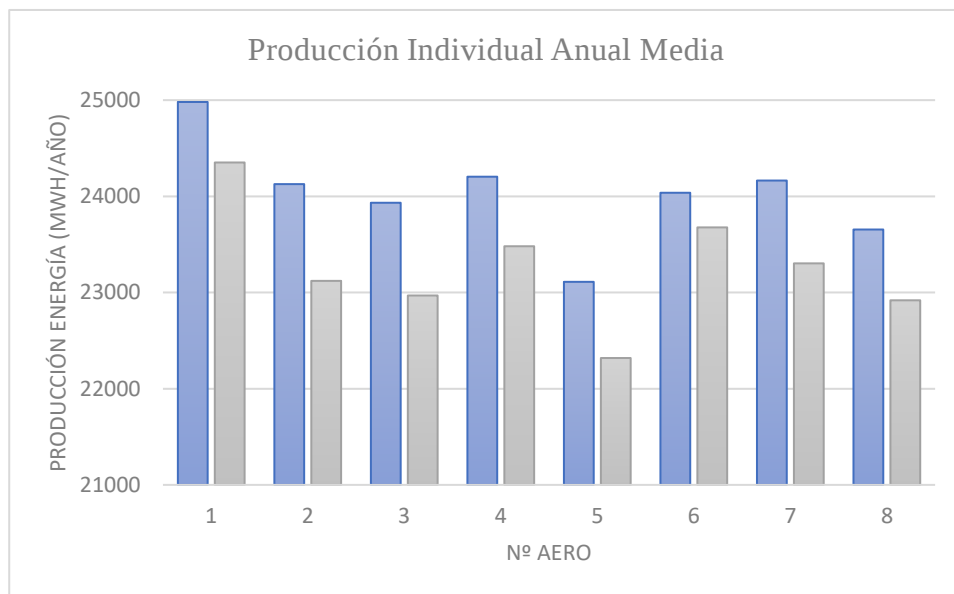


Figura 22. Producción individual anual media Vestas V-172 S03.

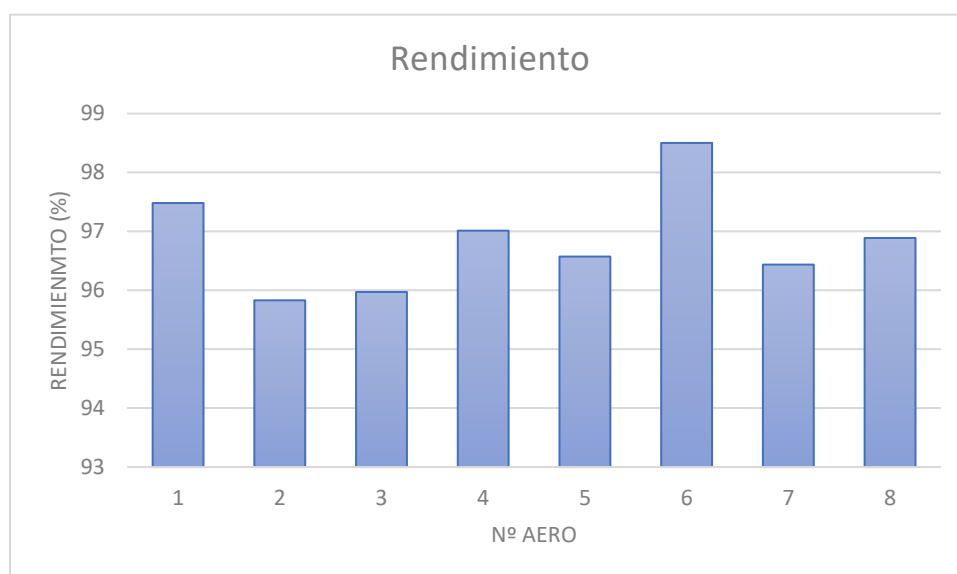


Figura 23. Rendimiento Vestas V-172 S03.

10.3 Nordex-N163 M5: 8 aerogeneradores de 6,24 MW, HH: 164 m (Potencia total: 49,92 MW)

Parque Eólico Villadiego								
Producción Energética Media Anual Estimada								
Aerogeneradores Nordex-N163 M5 6,24 MW								
Altura de buje 164 metros								
Aero	X _{UTM}	Y _{UTM}	Producción Libre (MWh/año)	Producción Bruta (MWh/año)	Pérdidas estela (%)	Velocidad a HH (m/s)	Clase	Horas Equivalentes
1	420.326	4.702.551	26.228	25.463	2,92	8,48	II	4.081
2	420.770	4.702.302	25.235	23.944	5,12	8,27	II	3.837
3	421.212	4.702.047	25.008	23.772	4,94	8,21	II	3.810
4	421.655	4.701.796	25.322	24.408	3,61	8,27	II	3.912
5	420.741	4.700.854	24.055	23.025	4,28	8,02	II	3.690
6	421.199	4.700.636	25.122	24.669	1,8	8,24	II	3.953
7	421.629	4.703.136	25.259	24.175	4,29	8,29	II	3.874
8	422.151	4.702.836	24.666	23.727	3,81	8,14	II	3.802
TOTAL			200.895	193.183	3,85	8,24	II	3.870

Tabla 8. Producción energética media anual estimada Nordex-N163 M5

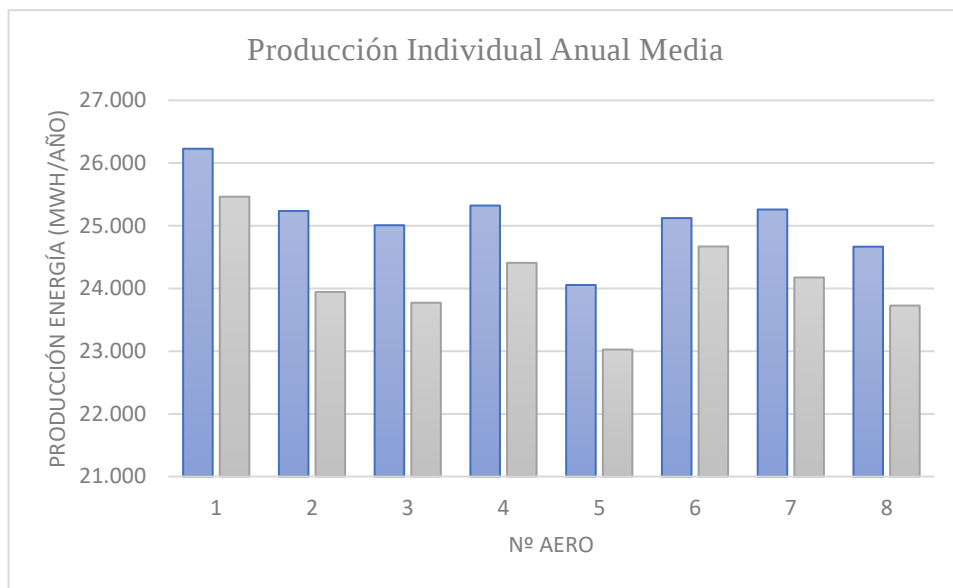


Figura 24. Producción individual anual media Nordex-N163 M5.

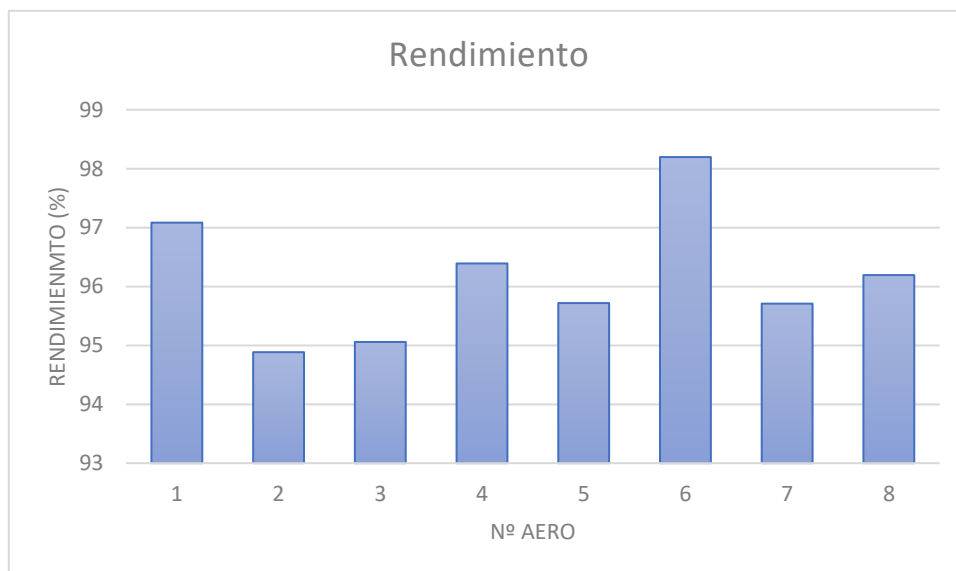


Figura 25. Rendimiento Nordex- N163 M5.

**10.4 Siemens SG6.6-170 AM4: 8 aerogeneradores de 6,2 MW,
HH: 165 m (Potencia total: 40,6 MW)**

Parque Eólico Villadiego								
Producción Energética Media Anual Estimada								
Aerogeneradores Siemens-Gamesa SG6.6-170 6,2 MW								
Altura de buje 165 metros								
Aero	X _{UTM}	Y _{UTM}	Producción Libre (MWh/año)	Producción Bruta (MWh/año)	Pérdidas estela (%)	Velocidad a HH (m/s)	Clase	Horas Equivalentes
1	420.326	4.702.551	29.239	28.240	3,42	8,49	II	4.526
2	420.770	4.702.302	28.270	26.604	5,89	8,28	II	4.263
3	421.212	4.702.047	28.060	26.484	5,62	8,23	II	4.244
4	421.655	4.701.796	28.389	27.236	4,06	8,28	II	4.365
5	420.741	4.700.854	27.113	25.786	4,89	8,03	II	4.132
6	421.199	4.700.636	28.185	27.610	2,04	8,25	II	4.425
7	421.629	4.703.136	28.301	26.935	4,83	8,3	II	4.317
8	422.151	4.702.836	27.764	26.585	4,25	8,16	II	4.260
TOTAL			225.321	215.480	4,38	8,25	II	4.317

Tabla 9. Producción energética media anual Siemens-Gamesa SG6.6-170 AM4.

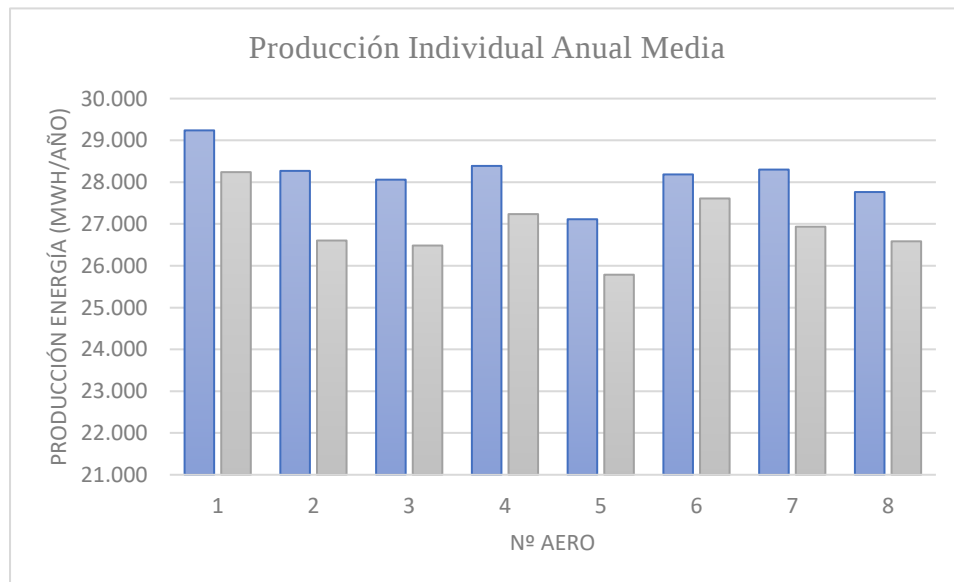


Figura 26. Producción individual anual media Siemens-Gamesa SG6.6-170 AM4.

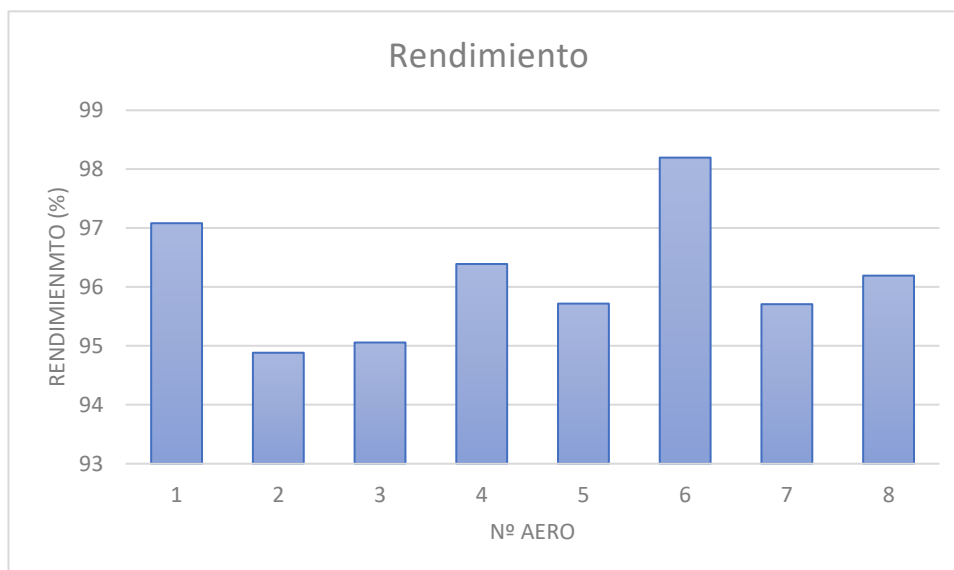


Figura 27. Rendimiento Siemens-Gamesa DG6.6-170 AM4.

11. Estimación de la energía media vertida a red

La estimación energética media anual realizada en el apartado 10 ha supuesto una productividad del aerogenerador del 100%. Para una determinación realista de la energía que finalmente se vierte a la red se han de considerar las pérdidas ocasionadas por:

- Pérdidas de energía en las instalaciones eléctricas: 97% (en rendimientos).
- Indisponibilidad de los aerogeneradores e instalaciones eléctricas: 97%.
- Pérdidas por la variación en la curva de potencia: 95%.
- Pérdidas por Efecto Bloqueo: 98%.
- Factores ambientales, suciedad, etc.: 99%.

Pérdidas	
Eléctricas	97%
Disponibilidad	97%
Curva de potencia	95%
Efecto Bloqueo	98%
Ambientales	99%
Total	86,72%

Tabla 10. Pérdidas en los aerogeneradores

Por lo tanto, para el cálculo de la producción neta:

$$\text{Producción Neta} = 0,97 \cdot 0,97 \cdot 0,95 \cdot 0,98 \cdot 0,99 \cdot \text{Producción Bruta [MWh/año]}$$

Ecuación 3. Cálculo de la producción neta de los aerogeneradores.

Por lo tanto, para cada una de las tecnologías objeto de estudio, la energía media anual vertida a la red y el tiempo medio de funcionamiento a potencia nominal resultan ser:

Parque Eólico Villadiego									
Producción Energética Anual									
Modelo	HH (m)	Potencia nominal (MW)	N.º aeros	Potencia instalada (MW)	Energía Libre (MWh/año)	Energía Bruta (MWh/año)	Energía Neta (MWh/año)	Horas netas equivalentes	Factor de capacidad (%)
V-172	166	5,83	8	46,6	192.212	186.141	161.425	3.463	39,54
N163	164	6,24	8	49,9	200.895	193.183	167.532	3.356	38,3
SG6.6	165	6,2	8	49,6	225.321	215.480	186.868	3.768	43,0

Tabla 11. Energía media anual vertida a la red de los tres modelos.

Se elegirá, por lo tanto, el modelo que más potencia pueda verter a la red. Por ello, se elige el Siemens-Gamesa SG6.6 AM4 como modelo para el parque eólico Villadiego, al mostrar un rendimiento bastante superior al del resto de tecnologías estudiadas.

12. Conclusiones

Los resultados obtenidos en el presente estudio se resumen a continuación:

- El recurso eólico disponible en el emplazamiento caracterizado por las velocidades medias analizadas a lo largo del documento resulta ser muy bueno desde el punto de vista de contenido energético.
La extrapolación del viento con la altura se ha realizado conforme a la ley potencial de variación del viento con la altura, obteniéndose un exponente alfa de 0,140.
- La velocidad media es superior en el rumbo NE (8,77 m/s).
- El campo de vientos presenta como dirección dominante en frecuencia NE (17,8%) y siendo también la de mayor contenido energético (11,01%).
- La densidad de potencia media a 100 metros es de 426 W/m², que extrapolado a 165 metros asciende a 526 W/m².
- La tendencia de variación horaria de la velocidad media sitúa un mínimo en torno a las 11:00 h y un máximo a las 22:00 h (horario solar).
- La gran cantidad de datos analizados (10 años), permiten suponer que estos valores son válidos a largo plazo.
- Respecto a la simulación del campo de vientos con el modelo WAsP, con la inclusión de modelos de orografía y rugosidad, dio como resultado el mapa de isoventas a 165 m, la altura del buje. En él se comprueba como, dentro de las zonas disponibles por orografía, los generadores se situaron en las zonas de mayor aprovechamiento energético.
- En la estimación de la producción media vertida a la red se han tenido en cuenta las disminuciones como consecuencia de indisponibilidad de los aerogeneradores, pérdidas eléctricas, de curva de potencia y otras. Todo ello engloba un factor de disminución de la producción media del parque de 0,8672, conforme al siguiente desglose:

Pérdidas	
Eléctricas	97%
Disponibilidad	97%
Curva de potencia	95%
Efecto Bloqueo	98%
Ambientales	99%
Total	86,72%

- Una vez comparados los valores de producción bruta y neta, así como las horas netas equivalentes y el factor de capacidad del parque (se muestran a continuación), se comprueba que el modelo de generador Siemens-Gamesa SG6.6-170 AM4 es el que proporcionará mayor rendimiento y, por lo tanto, verterá más energía a la red.

Parque Eólico Villadiego									
Producción Energética Anual									
Modelo	HH (m)	Potencia nominal (MW)	N.º aeros	Potencia instalada (MW)	Energía Libre (MWh/año)	Energía Bruta (MWh/año)	Energía Neta (MWh/año)	Horas netas equivalentes	Factor de capacidad (%)
V-172	166	5,83	8	46,6	192.212	186.141	161.425	3.463	39,54
N163	164	6,24	8	49,9	200.895	193.183	167.532	3.356	38,3
SG6.6	165	6,2	8	49,6	225.321	215.480	186.868	3.768	43,0

ANEXO III: Cálculos justificativos

Índice

1. Dimensionamiento de cables.....	4
1.1 Objeto.....	4
1.2 Dimensionado de los cables de Media Tensión	4
1.2.1 Documentos de referencia	5
1.2.2 Criterios para el dimensionamiento de cables M.T.	5
1.2.3 Hipótesis para el dimensionamiento de cables M.T.	5
1.2.3.1 Criterio 1: Por intensidad máxima admisible en régimen permanente.....	6
1.2.3.2 Criterio 2: Por caída de tensión en el cable	8
1.3 Niveles de aislamiento	9
1.4 Distancias mínimas	9
2. Cálculo de Cortocircuito	10
2.1 Objeto.....	10
2.2 Documentos de referencia.....	10
2.3 Hipótesis de cálculo y datos de partida.....	10
2.4 Corriente de cortocircuito de A.T.....	11
2.5 Corriente de cortocircuito en M.T.....	11
2.6 Corriente de cortocircuito en B.T.....	12
2.7 Resumen.....	13

Índice de tablas

Tabla 1. Circuitos de M.T.	4
Tabla 2. Características del cable seleccionado.	4
Tabla 3. Factor de corrección con la temperatura del terreno.	6
Tabla 4. Factor de corrección con la profundidad de enterramiento.	6
Tabla 5. Factor de corrección con la resistividad térmica del terreno.	6
Tabla 6. Factor de corrección por distancia entre ternas.	7
Tabla 7. Intensidad máxima admisible en régimen permanente para cables directamente enterrados.	8
Tabla 8. Resultados del cálculo de secciones.	8
Tabla 9. Caídas de tensión en cada circuito.	9
Tabla 10. Distancias mínimas en los conductores.	9
Tabla 11. Resultados del cálculo de intensidad de cortocircuito.	13

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Factor total de corrección	7
Ecuación 2. Intensidad de cada aerogenerador.	7
Ecuación 3. N° de aerogeneradores por circuito.	7
Ecuación 4. Intensidad total por cada circuito.	7
Ecuación 5. Cálculo de la caída de tensión en un cable.	8
Ecuación 6. Intensidad de cortocircuito de Alta Tensión.	11
Ecuación 7. Cálculo de la impedancia de la red.	11
Ecuación 8. Cálculo de la impedancia del transformador.	11
Ecuación 9. Intensidad de cortocircuito de Media Tensión.	12
Ecuación 10. Impedancia del transformador referido al lado de baja tensión.	12
Ecuación 11. Impedancia del transformador de SS.AA.	12

1. Dimensionamiento de cables

1.1 Objeto

El objeto del presente anexo es presentar los cálculos justificativos realizados para el dimensionamiento de los cables de Media Tensión presentes en el parque.

Estos cálculos se basan principalmente en dos criterios:

- Intensidad máxima admisible en régimen permanente, teniendo en cuenta los factores de reducción debidos al tipo de instalación presentes en el Reglamento de Líneas de Alta Tensión (ITC-06).
- Caída de tensión en el cable.

1.2 Dimensionado de los cables de Media Tensión

En este apartado se eligen las secciones de los conductores que transportan la energía generada por cada uno de los aerogeneradores del parque eólico Villadiego.

En la conexión de los aerogeneradores a la Subestación transformadora se realizará mediante tres circuitos de 30 kV, formados por los siguientes aerogeneradores:

Circuito	Nº de aeros	Denominaciones
1	3	A01, A02, A03
2	3	A07, A08, A04
3	2	A06, A05

Tabla 1. Circuitos de M.T.

El cable utilizado para estos tendidos subterráneos, con las secciones obtenidas en los cálculos justificados a continuación, son:

Denominación	RHZ1-OL
Tipo	Unipolar
Material	Aluminio
Nivel de aislamiento	18/30 kV
Cubierta	Poliolefina tipo DMZ1
Aislamiento	Polietileno reticulado (XLPE)

Tabla 2. Características del cable seleccionado.

1.2.1 Documentos de referencia

Los siguientes documentos y normas aportan información complementaria y se han tenido en cuenta a la hora de realizar estos cálculos:

- Normas UNE 211.435:2.007, UNE-EN 60.228:2.005, UNE-21.192, IEC-60.949, IEC-60.228, UNE-60.502.
- Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de Alta Tensión y sus ITC-LAT 01 a 09. (Real Decreto 223/2.008)
- Catálogo de cables de MT de Prysmian 2.022.
- “Esquema Unifilar General de la Subestación”, plano nº13 del Documento nº2: Planos.
- “Esquema Unifilar General”, plano nº12 del Documento nº2: Planos.
- “Zanjas Eléctricas”, plano nº8 del Documento nº2: Planos.

1.2.2 Criterios para el dimensionamiento de cables M.T.

Para el dimensionamiento de la sección de los cables se utilizarán los dos criterios siguientes, eligiendo el más restrictivo de los dos:

- Criterio 1: Intensidad máxima admisible en régimen permanente.
- Criterio 2: Caída de tensión en el cable.

1.2.3 Hipótesis para el dimensionamiento de cables M.T.

- Los valores de la carga máxima admisible contemplan una profundidad de la instalación de 1,25 m. El terreno presenta una temperatura media de 15°C, y se entierra en arena fina de río (resistividad térmica de 1,5 K·m/W).
- La temperatura máxima de servicio en régimen permanente del conductor será de 90°C.
- La temperatura máxima en cortocircuito del conductor será de 250°C.
- Los cables estarán instalados directamente enterrados, con una separación de ternas igual o superior a 40 cm, como se contempla en el plano nº8 “Zanjas Eléctricas”.
- En la documentación del fabricante del aerogenerador se consulta la curva de capacidad de la máquina, de donde se obtiene el $\cos \varphi$ mínimo de funcionamiento, que se usará para obtener los valores máximos de corriente.

1.2.3.1 Criterio 1: Por intensidad máxima admisible en régimen permanente

Los factores de reducción que se listan a continuación están obtenidos de acuerdo con el Reglamento de Línea de Alta Tensión, específicamente de la ITC-LAT 06.

Temperatura °C Servicio Permanente es	Temperatura del terreno, θ_e , en °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
105	1,09	1,06	1,03	1,00	0,97	0,94	0,90	0,87	0,83
90	1,11	1,07	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
70	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67
65	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79	0,71	0,61

Tabla 3. Factor de corrección con la temperatura del terreno.

Profundidad (m)	Cables enterrados de sección		Cables bajo tubo de sección	
	$\leq 185 \text{ mm}^2$	$> 185 \text{ mm}^2$	$\leq 185 \text{ mm}^2$	$> 185 \text{ mm}^2$
0,50	1,06	1,09	1,06	1,08
0,60	1,04	1,07	1,04	1,06
0,80	1,02	1,03	1,02	1,03
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,25	0,98	0,98	0,98	0,98
1,50	0,97	0,96	0,97	0,96
1,75	0,96	0,94	0,96	0,95
2,00	0,95	0,93	0,95	0,94
2,50	0,93	0,91	0,93	0,92
3,00	0,92	0,89	0,92	0,91

Tabla 4. Factor de corrección con la profundidad de enterramiento.

Tipo de instalación	Sección del conductor mm^2	Resistividad térmica del terreno, K.m/W						
		0,8	0,9	1,0	1,5	2,0	2,5	3
Cables directamente enterrados	25	1,25	1,20	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
	35	1,25	1,21	1,16	1,00	0,89	0,81	0,75
	50	1,26	1,21	1,16	1,00	0,89	0,81	0,74
	70	1,27	1,22	1,17	1,00	0,89	0,81	0,74
	95	1,28	1,22	1,18	1,00	0,89	0,80	0,74
	120	1,28	1,22	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	150	1,28	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	185	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,74
	240	1,29	1,23	1,18	1,00	0,88	0,80	0,73
	300	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,80	0,73
	400	1,30	1,24	1,19	1,00	0,88	0,79	0,73
Cables en interior de tubos enterrados	25	1,12	1,10	1,08	1,00	0,93	0,88	0,83
	35	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,88	0,83
	50	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,83
	70	1,13	1,11	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
	95	1,14	1,12	1,09	1,00	0,93	0,87	0,82
	120	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	150	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	185	1,14	1,12	1,10	1,00	0,93	0,87	0,82
	240	1,15	1,12	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81
	300	1,15	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81
	400	1,16	1,13	1,10	1,00	0,92	0,86	0,81

Tabla 5. Factor de corrección con la resistividad térmica del terreno.

Factor de corrección										
Tipo de instalación	Separación de los ternos	Número de ternos de la zanja								
		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cables directamente enterrados	En contacto (d=0 cm)	0,76	0,65	0,58	0,53	0,50	0,47	0,45	0,43	0,42
	d = 0,2 m	0,82	0,73	0,68	0,64	0,61	0,59	0,57	0,56	0,55
	d = 0,4 m	0,86	0,78	0,75	0,72	0,70	0,68	0,67	0,66	0,65
	d = 0,6 m	0,88	0,82	0,79	0,77	0,76	0,74	0,74	0,73	-
	d = 0,8 m	0,90	0,85	0,83	0,81	0,80	0,79	-	-	-
Cables bajo tubo	En contacto (d=0 cm)	0,80	0,70	0,64	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,49
	d = 0,2 m	0,83	0,75	0,70	0,67	0,64	0,62	0,60	0,59	0,58
	d = 0,4 m	0,87	0,80	0,77	0,74	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68
	d = 0,6 m	0,89	0,83	0,81	0,79	0,78	0,77	0,76	0,75	-
	d = 0,8 m	0,90	0,86	0,84	0,82	0,81	-	-	-	-

Tabla 6. Factor de corrección por distancia entre ternas.

- La temperatura del terreno se considera a 15°C (factor de corrección: 1,07).
- Profundidad de enterramiento de 125 cm (factor de corrección: 0,98).
- Resistividad térmica del terreno igual a 1,5 K·m/W (sin factor de corrección).
- Los cables están separados entre ternas a una distancia mínima de 40 cm (factor de corrección: 0,86).

- Por lo tanto, el factor de corrección total será:

$$Factor = 1,07 \cdot 0,98 \cdot 0,86 = 0,9018$$

Ecuación 1. Factor total de corrección

- La intensidad de cada generador será:

$$I_{gen} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} = \frac{6200 \text{ kW}}{\sqrt{3} \cdot 30 \text{ kV} \cdot 0,9} = 132,58 \text{ A}$$

Ecuación 2. Intensidad de cada aerogenerador.

- El número admisible de aerogeneradores por línea será:

Intensidad de interruptor: 630 A

$$n^{\circ}aeros = \frac{I_{interruptor}}{I_{gen}} = \frac{630 \text{ A}}{132,58 \text{ A}} = 4,75 \sim 4$$

Ecuación 3. N° de aerogeneradores por circuito.

Por lo tanto, como máximo habrá 4 aerogeneradores por circuito.

- La intensidad total por cada circuito, después de la corrección, será:

$$I = \frac{I_{gen} \cdot n^{\circ}aeros}{Factor}$$

Ecuación 4. Intensidad total por cada circuito.

A partir del valor de intensidad en cada circuito, se escoge una sección que soporte una intensidad igual o superior a la calculada y de aluminio, al ser más económico que el cobre.

Sección (mm²)	EPR		XLPE		HEPR	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al
25	125	96	130	100	135	105
35	145	115	155	120	160	125
50	175	135	180	140	190	145
70	215	165	225	170	235	180
95	255	200	265	205	280	215
120	290	225	300	235	320	245
150	325	255	340	260	360	275
185	370	285	380	295	405	315
240	425	335	440	345	470	365
300	480	375	490	390	530	410
400	540	430	560	445	600	470

Tabla 7. Intensidad máxima admisible en régimen permanente para cables directamente enterrados.

Los resultados se exponen en la siguiente tabla:

Circuito	Intensidad (A)	Factor de corrección	Intensidad Final (A)	Sección (mm²)	Opciones de aislamiento válidas	Material
I	397,74	0,9018	441,05	400	XLPE, HEPR	Aluminio
II	397,74	0,9018	441,05	400	XLPE, HEPR	Aluminio
III	265,16	0,9018	294,04	185	XLPE, HEPR	Aluminio

Tabla 8. Resultados del cálculo de secciones.

Se elige el XLPE como aislamiento ya que proporciona protección resistencia al agua.

1.2.3.2 Criterio 2: Por caída de tensión en el cable

La caída de tensión en un cable se obtiene aproximadamente como:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos \varphi}{S \cdot \gamma}$$

Ecuación 5. Cálculo de la caída de tensión en un cable.

Donde L es la longitud del cable en km, I la intensidad que recorre el conductor (en amperios), S la sección del conductor en mm², γ la conductividad del aluminio a 90°C (27,3 m/Ω·mm²) y $\cos \varphi$ el factor de potencia (0,9).

A efectos de dimensionamiento se comprobará que la caída de tensión en los circuitos está dentro de unos márgenes razonables, menos del 1%.

A continuación, se muestran los resultados tabulados:

Circuito	I (A)	S (mm ²)	L (m)	ΔU (V)	ΔU (%)	Disposición
I	441,05	400	1.467	92,36	0,31	3(1x400) mm ² Al
II	441,05	400	2.665	167,79	0,56	3(1x400) mm ² Al
III	294,04	185	1.939	175,98	0,59	3(1x185) mm ² Al

Tabla 9. Caldas de tensión en cada circuito.

1.3 Niveles de aislamiento

Los niveles de aislamientos que se han adoptado para los materiales de 30 kV, siguiendo la MIE-RAT 12, son los que corresponden a materiales del grupo A para aislamiento pleno.

El sistema de 30 kV soporta:

- Permanentemente como tensión más elevada: 36 kV eficaces.
- Tensión soportada nominal a los impulsos tipo rayo: 170 kV.
- Tensión soportada nominal de corta duración, a frecuencia industrial durante un minuto: 70 kV.

1.4 Distancias mínimas

De acuerdo con el nivel de aislamiento adoptado en el apartado anterior, y siguiendo lo indicado en las Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-RAT 12 en 132 kV y 30 kV, las distancias mínimas fase-tierra y fase-fase son las siguientes:

Nivel de tensión	Tensión soportada a impulsos tipo rayo	Distancia mínima entre fases	Distancia mínima entre fase-tierra
30 kV	150 kV	32 cm	32 cm
132 kV	650 kV	130 cm	130 cm

Tabla 10. Distancias mínimas en los conductores.

Siguiendo la instrucción MIE-RAT 15 apartados 3.1.2, los elementos en tensión no protegidos, que se encuentren sobre pasillos, deberán estar a una altura mínima H sobre el suelo dada por:

$$H = 250 + d \text{ [cm]}$$

Siendo d la distancia asociada al nivel de tensión y expresada en la *Tabla 10*.

Además, los elementos en tensión, situados en zonas accesibles, estarán situados a una altura superior a 230 cm.

La distancia entre el cerramiento y las zonas en tensión debe ser superior a B, dado por:

$$B = 150 + d \text{ [cm]}$$

2. Cálculo de Cortocircuito

2.1 Objeto

El objeto de este apartado consiste en determinar las corrientes máximas de cortocircuito presentes en los distintos niveles de tensión presentes en el parque eólico Villadiego.

Este cálculo será utilizado para la correcta elección de los interruptores necesarios para el sistema eléctrico.

2.2 Documentos de referencia

- IEC Standard 60.909: “Short-Circuit Current Calculation in Three Phase A.C. Systems”.
- UNE-EN 60.067-5-2.008: “Transformadores de potencia. Aptitud para soportar cortocircuitos”.
- IEEE Standard 141-1.993: “Electric Power Distribution for Industrial Plants (Red Book)”.
- UNE 21.239-3: “Cálculo de corrientes de cortocircuito en sistema trifásicos de corriente alterna”.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- “Esquema Unifilar General de la Subestación”, plano nº13 del Documento nº2: Planos.
- “Esquema Unifilar General”, plano nº12 del Documento nº2: Planos.

2.3 Hipótesis de cálculo y datos de partida

El cálculo de corrientes de cortocircuito máximas se ha efectuado con las siguientes hipótesis:

- Las corrientes de cortocircuito se han estimado de la forma más conservadora posible de acuerdo a la norma UNE-EN 60.076-5, según la cual si se desconoce la potencia aparente de cortocircuito del sistema, se podrán utilizar los valores dados por la tabla 2 de la norma.
- Se han despreciado las impedancias generadas por los embarrados, interruptores y fusibles en media o baja tensión
- Los cambiadores de tomas han sido colocados en su toma principal
- Todas las cargas de tipo no motor están funcionando al 100%
- Se consideran fuera de servicio los equipos redundantes

2.4 Corriente de cortocircuito de A.T.

La corriente de cortocircuito viene dada por:

$$I_{CC,132kV} = \frac{S_{CC}}{\sqrt{3} \cdot V} [kA]$$

Ecuación 6. Intensidad de cortocircuito de Alta Tensión.

Donde:

- S_{CC} : Potencia de cortocircuito de red, estimada a un valor por defecto de 7200 MVA.
- V : Tensión de servicio.

Sustituyendo los valores se obtiene la corriente de cortocircuito en alta tensión:

$$I_{CC,132kV} = \frac{7200 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \cdot 132 \text{ kV}} = 31,5 \text{ kA}$$

Este valor de intensidad de cortocircuito es un valor normalizado por la IEC para intensidades de cortocircuito de la red.

2.5 Corriente de cortocircuito en M.T.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito en media tensión, será necesario obtener la impedancia de la línea.

Dicha impedancia (Z_l), será a su vez la suma de la impedancia de la red (Z_{red}) y de la del transformador (Z_{tx}).

La impedancia de la red será:

$$Z_{red} = \frac{V^2}{S_{cc}} = \frac{30000^2}{7200 \cdot 10^6} = 0,14 \Omega$$

Ecuación 7. Cálculo de la impedancia de la red.

Según la norma CEI-909, en ausencia de datos precisos se considerará:

$$X = 0,995 \cdot Z_{red} = 0,1393 \Omega$$

$$R = 0,1 \cdot X = 0,01393 \Omega$$

Por tanto, $Z_{red} = 0,14 \angle 84,29^\circ$.

La impedancia del transformador será:

$$Z_{tx} = \frac{u \cdot U^2}{S_{tx}} [\Omega]$$

Ecuación 8. Cálculo de la impedancia del transformador.

Donde:

- u: Tensión asignada de cortocircuito del transformador en %, en este caso del 8%.
- U: Tensión de servicio (30 kV).
- S: Potencia aparente asignada al transformador, en este caso será de 56 MVA.

Sustituyendo los valores, da como resultado una impedancia del transformador de:

$$Z_{tx} = \frac{0,08 \cdot 30000^2}{56 \cdot 10^6} = 1,29 \Omega \angle 90^\circ$$

Por lo tanto, $Z_l = Z_{red} + Z_{tx} = 0,14 \Omega \angle 84,29^\circ + 1,29 \Omega \angle 90^\circ = 1,43 \Omega \angle 89,44^\circ$

Finalmente, la intensidad de cortocircuito para el circuito de media tensión:

$$I_{CC,30\text{ kV}} = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot Z_l} = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 1,43 \angle 89,44^\circ} = 12,11 \text{ kA} \angle -89,44^\circ$$

Ecuación 9. Intensidad de cortocircuito de Media Tensión.

2.6 Corriente de cortocircuito en B.T.

Para calcular la corriente de cortocircuito en baja tensión, se refiere la Z_l al lado de media tensión del transformador:

$$Z_{BT} = \left(\frac{0,69}{30}\right)^2 \cdot 1,43 \Omega \angle 89,44^\circ = 7,56 \cdot 10^{-4} \Omega \angle 89,55^\circ$$

Ecuación 10. Impedancia del transformador referido al lado de baja tensión.

Se tiene en cuenta también la impedancia del transformador de servicios auxiliares:

$$Z_{SS.AA.} = \frac{u * U^2}{S_{SS.AA.}} [\Omega]$$

Ecuación 11. Impedancia del transformador de SS.AA.

Donde:

- u: Tensión de cortocircuito del transformador, en % (5%)
- U: Tensión de servicio (690 V)
- S_{SS.AA.}: Potencia aparente del transformador de servicios auxiliares (500 kVA)

Sustituyendo:

$$Z_{SS.AA.} = \frac{0,05 \cdot 690^2}{100000} = 0,048 \Omega \angle 90^\circ$$

Por lo tanto, la impedancia equivalente del circuito de baja tensión vendrá dado por:

$$Z = Z_{BT} + Z_{SS.AA.} = 0,048 \Omega \angle 90^\circ$$

Finalmente, se aplica la *Ecuación 9* para obtener la intensidad de cortocircuito de Baja tensión:

$$I_{CC,690V} = \frac{690}{\sqrt{3} \cdot 0,048 \angle 90^\circ} = 8,3 \text{ kA} \angle -90^\circ$$

2.7 Resumen

Los resultados del cálculo de cortocircuito son:

Tensión	Intensidad de cortocircuito
132 kV	31,5 kA
30 kV	12,1 kA
690 V	8,3 kA

Tabla 11. Resultados del cálculo de intensidad de cortocircuito.

ANEXO IV: Estudio de Viabilidad Económica

Índice

1.	Análisis Económico y Financiero.....	4
1.1	Objeto.....	4
1.2	Datos de partida	4
1.2.1	Producción	4
1.2.2	Vida útil	4
1.2.3	Precio de venta.....	4
1.2.4	Gastos de explotación.....	5
1.2.5	Hipótesis económicas	6
1.2.6	Hipótesis financieras y reparto de dividendos.	6
2.	Volumen de inversión total a acometer.....	7
3.	Ingresos esperados del parque	9
4.	Gastos de explotación estimados.....	10
5.	Detalle de la fuente de financiación a utilizar	11
6.	Análisis de la rentabilidad del parque.....	11
7.	Análisis de sensibilidad	12
8.	Conclusiones.....	15
9.	Referencias	16

Índice de figuras

Figura 1. Precios medios anuales del mercado. - Fuente: OMIE	5
Figura 2. Análisis de la sensibilidad a la inversión inicial.	13
Figura 3. Análisis de la sensibilidad a la variación del precio de la electricidad.	14
Figura 4. Análisis de la sensibilidad a la variación de las horas de funcionamiento.....	15

Índice de tablas

Tabla 1. Gastos de O&M por aerogenerador.	5
Tabla 2. Otros gastos de explotación del parque.	6
Tabla 3. Hipótesis económicas.	6
Tabla 4. Costes de inversión del proyecto.	8
Tabla 5. Ingresos esperados del parque.	9
Tabla 6. Gastos de explotación estimados del parque.	10
Tabla 7. Desglose de las fuentes de financiación.	11
Tabla 8. Análisis de rentabilidad del proyecto.	12
Tabla 9. Análisis de sensibilidad a la variación en la inversión inicial.	13
Tabla 10. Análisis de sensibilidad al precio de venta de la electricidad.	14
Tabla 11. Análisis de la sensibilidad a la variación de las horas de funcionamiento.....	15

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Fórmula del Valor Actual Neto (VAN).	11
Ecuación 2. Fórmula de la Tasa Interna de Retorno (TIR).	12

1. Análisis Económico y Financiero

1.1 Objeto

El objeto de este anexo es llevar a cabo el estudio económico de viabilidad del parque, esencial para su futura ejecución.

En él, se detallan los costes previstos tanto de inversión como de explotación a lo largo de los 20 años de vida útil fijados.

A partir de estos costes, se concluirá la viabilidad del proyecto a partir de varios marcadores, como el VAN, el TIR y el PR. A su vez, se realizará un estudio de la sensibilidad de la inversión, y se detallará la rentabilidad del accionista.

1.2 Datos de partida

1.2.1 Producción

La producción tenida en cuenta en este análisis es la obtenida en las simulaciones, detallada en el Anexo II.

Se estima una producción neta del parque de 186.868 MWh/año, lo cual suponen 3.768 horas al año de funcionamiento a potencia nominal.

1.2.2 Vida útil

Se ha fijado la vida útil del parque en 20 años como cifra estándar, pudiendo alargarse en un futuro.

1.2.3 Precio de venta

El precio de venta en el mercado (POOL), se fija diariamente con el precio de casación. El organismo que regula este precio es el Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE).

Para este proyecto, se ha fijado el precio de la electricidad en 50€/MWh, incrementando un 2% todos los años, según la tasa de inflación interanual prevista.

Este precio se ha obtenido de realizar las medias anuales desde el 2007 al 2022. Como los precios de 2021 y 2022 son valores atípicos provocados por la crisis del gas y la

invasión de Ucrania, se ha decidido no tenerlos en cuenta con el mismo peso que el resto de los valores ya que hay múltiples previsiones de que a lo largo de los siguientes años los precios se estabilicen a un precio más cercano a los años anteriores, aunque algo mayor.

En la siguiente figura, se pueden observar el histórico de precios con los que se ha obtenido el precio de venta para este estudio [1].

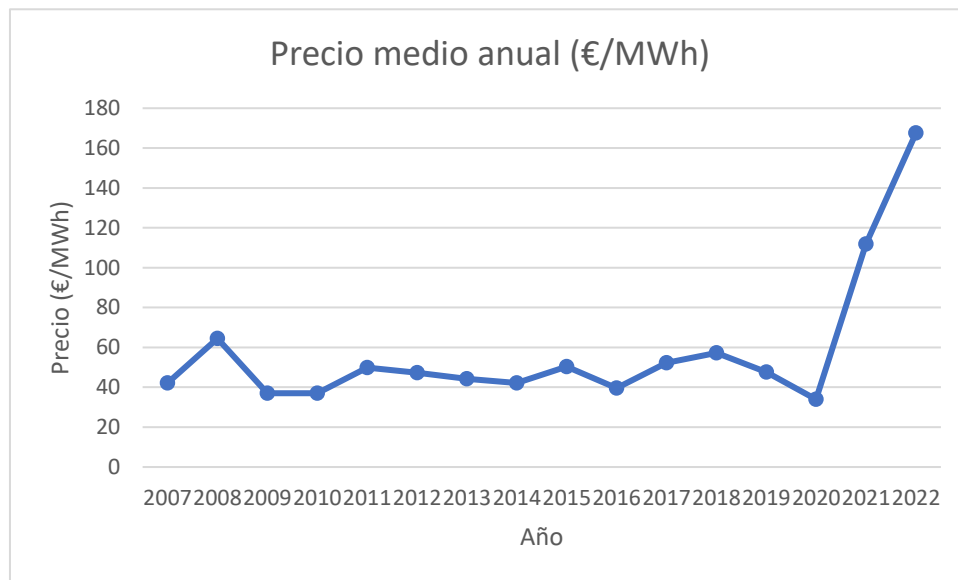


Figura 1. Precios medios anuales del mercado. - Fuente: OMIE

1.2.4 Gastos de explotación

Los gastos de explotación se han estimado escogiendo el caso más desfavorable posible. Esto se traduce en un incremento de los gastos habituales en una construcción de este tipo en un 30%, como consecuencia de la crisis actual.

En primer lugar, el fabricante de aerogeneradores proporciona el gasto estimado de Operación y Mantenimiento. En la siguiente tabla se observa el gasto por aerogenerador estimando, así como su cambio a euros con un precio de cambio de 1 USD = 1,08 €.

Año	USD	EUR
año 1 y 2	84.500	78.972
año 3 a 5	91.000	85.047
año 6 al 10	111.800	104.486
año 11 al 15	124.800	116.636
año 16 al 20	128.700	120.280

Tabla 1. Gastos de O&M por aerogenerador.

Además de este gasto, aparecen otros gastos como consecuencia de las tareas necesarias para el desarrollo de la actividad. En la siguiente tabla se pueden apreciar estos gastos desglosados.

	k€/año
O&M Resto del parque	56,6
Administración	12,6
Personal	25,1
Seguros	31,4
Impuestos	58,9
Otros gastos de explotación	25,1
Total	209,7

Tabla 2. Otros gastos de explotación del parque.

Estos gastos se actualizarán anualmente en el estudio, estimando un incremento anual del IPC del 2%.

1.2.5 Hipótesis económicas

Para el estudio, se han considerado las siguientes hipótesis económicas:

Tasa de inflación (%)	2
Tipo impositivo sobre beneficios (%)	25
Tipo impositivo de generación (%)	7
Periodo de amortización (años)	20
Tasa de descuento (%)	6

Tabla 3. Hipótesis económicas.

1.2.6 Hipótesis financieras y reparto de dividendos.

Para este proyecto se ha considerado un apalancamiento, es decir, una relación entre recursos propios y ajenos del 40/60%.

En cuanto a la política de dividendos, se ha escogido una repartición variable en función del año.

2. Volumen de inversión total a acometer

El volumen total de la inversión a acometer constará del presupuesto de ejecución por materiales y contrata, desglosado en el “*Documento nº4: Presupuesto de ejecución*”. A esa cantidad, hay que añadirle los gastos de desarrollo y los costes de interconexión, para obtener el CAPEX (Gastos de inversión o *Capital Expenditure*). Todos estos gastos aparecen desglosados a continuación:

Obra Civil	
Parque Eólico	1.901.025,40
Edificio de Control	150.000,00
Subestación Intemperie	190.000,00
Suministros eléctricos	
Conductores y P.A. T	231.705,92
Subestación 30 Kv	126.581,87
Cabinas Media Tensión	137.240,40
Subestación 132 kV	1.084.150,00
Montajes Eléctricos	
Tendido cables	129.000,00
Subestación	195.000,00
Aerogeneradores	41.600.000,00
Ingeniería y Dirección de Obra	
Ingeniería del Parque Eólico	100.000,00
Dirección Facultativa de la obra	80.000,00
Varios	65.500,00
TOTAL DE EJECUCIÓN MATERIAL	45.990.203,59
16 % Gastos Generales	7.358.432,57
3 % Beneficio Industrial	1.379.706,11
TOTAL DE EJECUCIÓN CONTRATA	54.728.342,27

El total de los gastos de inversión:

Concepto	Valor (€)
Material y contrata	54.728.342,27
Gastos de desarrollo	650.000
Gastos de interconexión	2.800.000
Total	58.178.342,27

Tabla 4. Costes de inversión del proyecto.

Por lo tanto, el CAPEX total del Parque Eólico Villadiego asciende a CINCUENTA Y OCHO MILLONES CIENTO SETENTA Y OCHO MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y DOS EUROS CON VEINTISIETE CÉNTIMOS (58.178.342,25 €).

3. Ingresos esperados del parque

En este estudio se han tenido en cuenta únicamente los ingresos que genera el parque por la venta de electricidad, omitiendo los ingresos financieros al no suponer un alto porcentaje del total de ingresos.

En la siguiente tabla se detallan los ingresos esperados año a año.

	Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
Producción de energía	GWh	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187	187
Precio de la electricidad	€/kWh	50,00	51,00	52,02	53,06	54,12	55,20	56,31	57,43	58,58	59,75	60,95	62,17	63,41	64,68	65,97	67,29	68,64	70,01	71,41	72,84
Ingresos por venta de electricidad	k€/año	9.343	9.530	9.721	9.915	10.114	10.316	10.522	10.733	10.947	11.166	11.390	11.617	11.850	12.087	12.328	12.575	12.826	13.083	13.345	13.612

Tabla 5. Ingresos esperados del parque.

4. Gastos de explotación estimados

A continuación, se muestran los gastos de explotación previstos por año y categoría:

Año	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041	2042	2043
O&M Aerogeneradores	631,8	631,8	680,4	680,4	680,4	835,9	835,9	835,9	835,9	835,9	933,1	933,1	933,1	933,1	933,1	962,2	962,2	962,2	962,2	962,2
O&M Resto parque	56,6	57,7	58,8	60,0	61,2	62,4	63,7	65,0	66,3	67,6	68,9	70,3	71,7	73,2	74,6	76,1	77,6	79,2	80,8	82,4
Administración	12,6	12,8	13,1	13,3	13,6	13,9	14,2	14,4	14,7	15,0	15,3	15,6	15,9	16,3	16,6	16,9	17,3	17,6	18,0	18,3
Personal	25,1	25,6	26,1	26,7	27,2	27,7	28,3	28,9	29,4	30,0	30,6	31,2	31,9	32,5	33,2	33,8	34,5	35,2	35,9	36,6
Seguros	31,4	32,0	32,7	33,3	34,0	34,7	35,4	36,1	36,8	37,6	38,3	39,1	39,8	40,6	41,5	42,3	43,1	44,0	44,9	45,8
Impuestos	58,9	60,1	61,3	62,5	63,8	65,1	66,4	67,7	69,0	70,4	71,8	73,3	74,7	76,2	77,8	79,3	80,9	82,5	84,2	85,8
Otros gastos de explotación	25,1	25,6	26,1	26,7	27,2	27,7	28,3	28,9	29,4	30,0	30,6	31,2	31,9	32,5	33,2	33,8	34,5	35,2	35,9	36,6
Total	841,5	845,7	898,6	902,9	907,4	1067,4	1072,1	1076,8	1081,6	1086,5	1188,7	1193,9	1199,1	1204,4	1209,8	1244,5	1250,2	1255,9	1261,8	1267,8

Tabla 6. Gastos de explotación estimados del parque.

5. Detalle de la fuente de financiación a utilizar

A continuación, se muestran las fuentes de financiación a las que se va a recurrir para la construcción del parque:

Concepto	Cantidad (€)
FONDOS PROPIOS	23.271.336,80
-Acciones ordinarias	23.271.336,80
-Acciones preferentes	0
SUBVENCIONES	0
FONDOS AJENOS	34.907.005,20
-Deuda principal	34.907.005,20
-Deuda subordinada	0
TOTAL	58.178.342

Tabla 7. Desglose de las fuentes de financiación.

6. Análisis de la rentabilidad del parque

Es esencial determinar qué rentabilidad se espera del Parque Eólico Villadiego para posteriormente, a la hora de tomar la decisión sobre su viabilidad, observar el proyecto desde el punto de vista económico, que es normalmente el factor determinante.

El análisis de rentabilidad se analiza desde dos indicadores básicos, el Valor Neto Actual (o VAN) y la Tasa Interna de Retorno (o TIR).

El VAN es una medida de rentabilidad de un proyecto que expresa el valor presente que adquieren los flujos de caja netos. Si el VAN es mayor que cero, el proyecto estudiado crea valor para la empresa, por lo que se aceptará. Este parámetro se utiliza ampliamente en el mundo empresarial, y su mayor desventaja es que es insensible a la hora de tener en cuenta imprevistos o situaciones excepcionales en el mercado.

Se calcula como:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

Ecuación 1. Fórmula del Valor Actual Neto (VAN).

Donde:

- I_0 = Inversión inicial del proyecto.
- n = número de años de duración del proyecto.
- t = tiempo en años.
- F_t = flujos de caja netos en cada año (diferencia entre ingresos y gastos).

- k = tasa de descuento del proyecto.

El TIR es una medida de rentabilidad que consiste en una media geométrica de los rendimientos futuros esperados. En términos simples, es la tasa de descuento en la que el VAN se hace cero. A mayor TIR, mayor rentabilidad del proyecto.

Su fórmula se obtiene al igualar el VAN a cero.

$$I_0 = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

Ecuación 2. Fórmula de la Tasa Interna de Retorno (TIR).

Por último, una medida útil para este análisis es el *Payback* o el periodo de recuperación. Esto es el periodo t en la que el VAN se hace cero y por lo tanto se ha cubierto la inversión inicial. Cuanto antes suceda el *payback*, más rentable será.

En la siguiente tabla se muestran los resultados:

	VAN (k€) k = 6%	TIR (%)	Payback (años)
Proyecto	16.712,24	9,66	9,14
Accionista	11.394,34	14,67	7,27

Tabla 8. Análisis de rentabilidad del proyecto.

7. Análisis de sensibilidad

El análisis de la sensibilidad es esencial en un estudio de viabilidad económica. En él, se recalculan las variables anteriormente mencionadas (VAN y TIR) variando los datos iniciales. Es muy útil para conocer si un posible error de cálculo en las partidas presupuestarias o en cualquier dato de partida influirían muy negativamente en la rentabilidad de la inversión. Es decir, si la inversión es muy sensible o no a posibles variaciones.

En este estudio se analizarán el VAN y el TIR ante variaciones del $\pm 5\%$ y $\pm 10\%$ en la inversión inicial y en el precio de venta de la electricidad. Se ha considerado también una variación de ± 100 horas y ± 200 horas en las horas de funcionamiento simuladas.

En lo expuesto a continuación se observan las variaciones de forma tabulada y gráfica.

Inversión (k€)	TIR proyecto (%)	VAN proyecto (k€)	TIR accionista (%)	VAN accionista (k€)
52.360,51 €	10,97%	21.419,33 €	17,27%	15.252,37 €
55.269,42 €	10,29%	19.065,79 €	15,91%	13.323,36 €
58.178,34 €	9,66%	16.721,80 €	14,67%	11.401,83 €
61.087,26 €	9,08%	14.358,68 €	13,53%	9.465,32 €
67.195,99 €	7,99%	9.416,23 €	11,40%	5.414,39 €

Tabla 9. Análisis de sensibilidad a la variación en la inversión inicial.

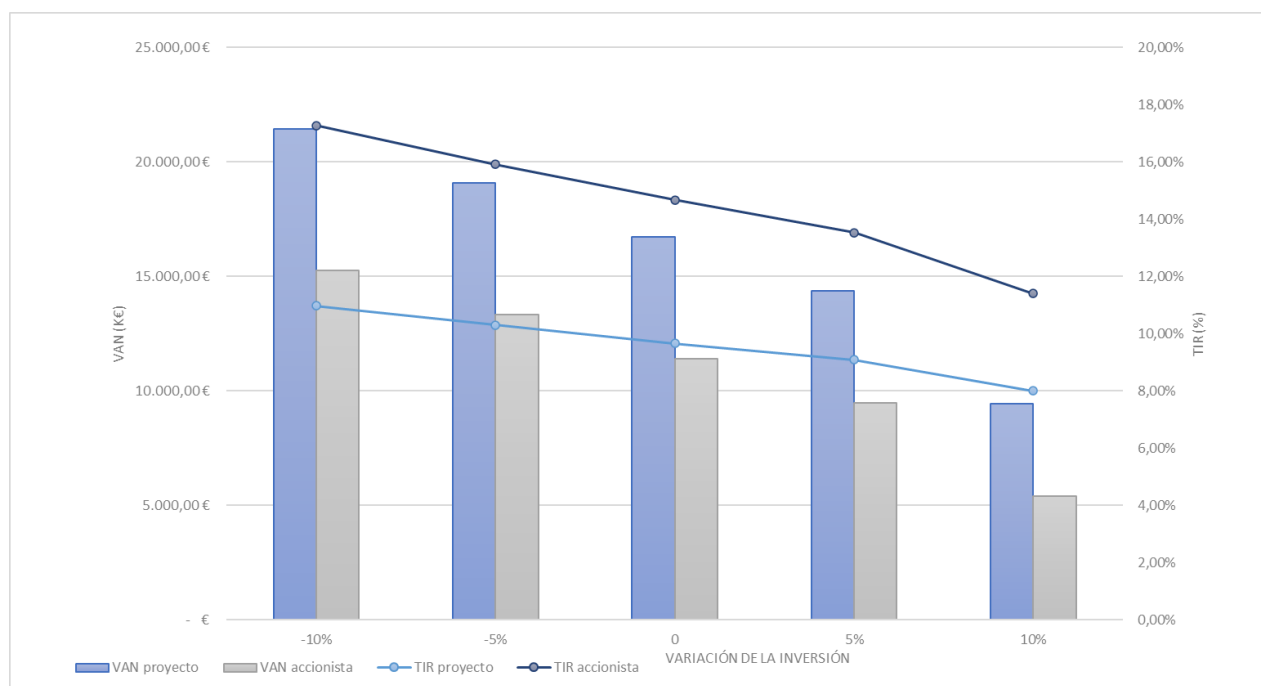


Figura 2. Análisis de la sensibilidad a la inversión inicial.

Precio de la electricidad (€/kWh)	TIR proyecto (%)	VAN proyecto (k€)	TIR accionista (%)	VAN accionista (k€)
45,00 €	8,26%	9.501,84 €	11,93%	5.747,58 €
47,50 €	8,97%	13.107,04 €	13,32%	8.570,96 €
50,00 €	9,66%	16.712,24 €	14,67%	11.394,34 €
52,50 €	10,33%	20.317,43 €	16,00%	14.217,72 €
57,75 €	11,71%	27.888,35 €	18,73%	20.146,82 €

Tabla 10. Análisis de sensibilidad al precio de venta de la electricidad.

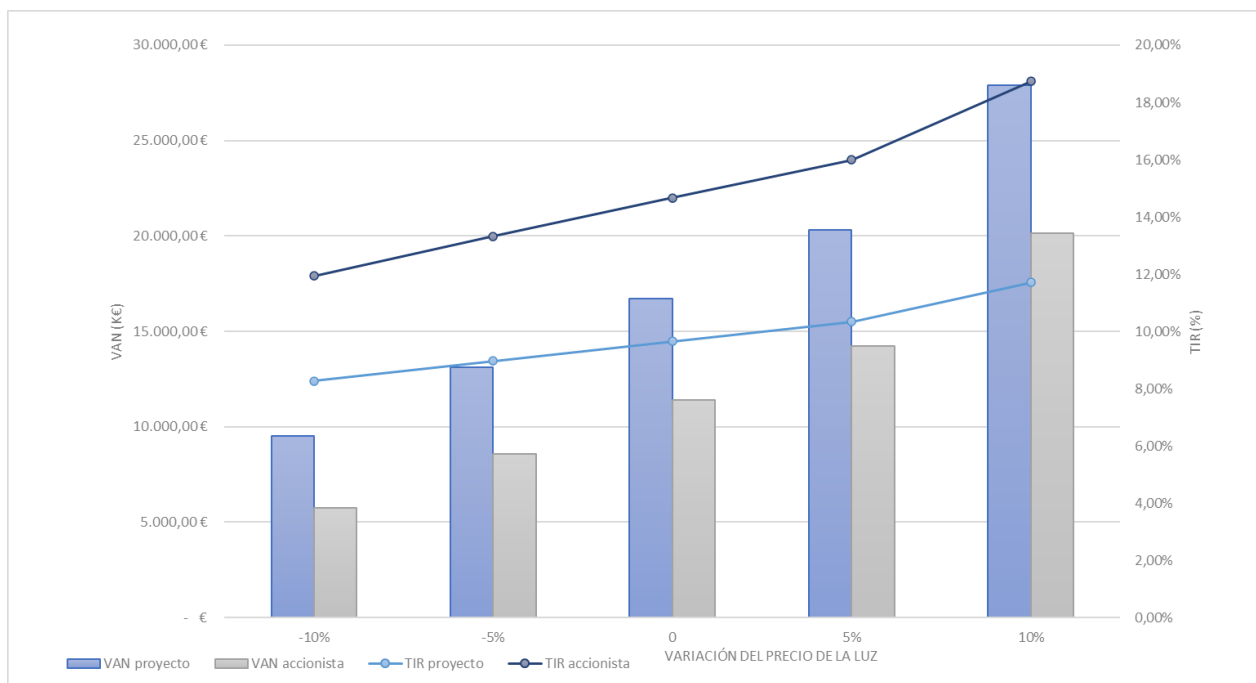


Figura 3. Análisis de la sensibilidad a la variación del precio de la electricidad.

Horas de funcionamiento	TIR proyecto (%)	VAN proyecto (k€)	TIR accionista (%)	VAN accionista (k€)
3391,20	8,26%	9.510,45 €	11,94%	5.754,32 €
3579,60	8,97%	13.116,13 €	13,32%	8.578,08 €
3768,00	9,66%	16.712,24 €	14,67%	11.394,34 €
3956,40	10,33%	20.327,48 €	16,00%	14.225,59 €
4144,80	10,99%	23.933,16 €	17,31%	17.049,34 €

Tabla 11. Análisis de la sensibilidad a la variación de las horas de funcionamiento.

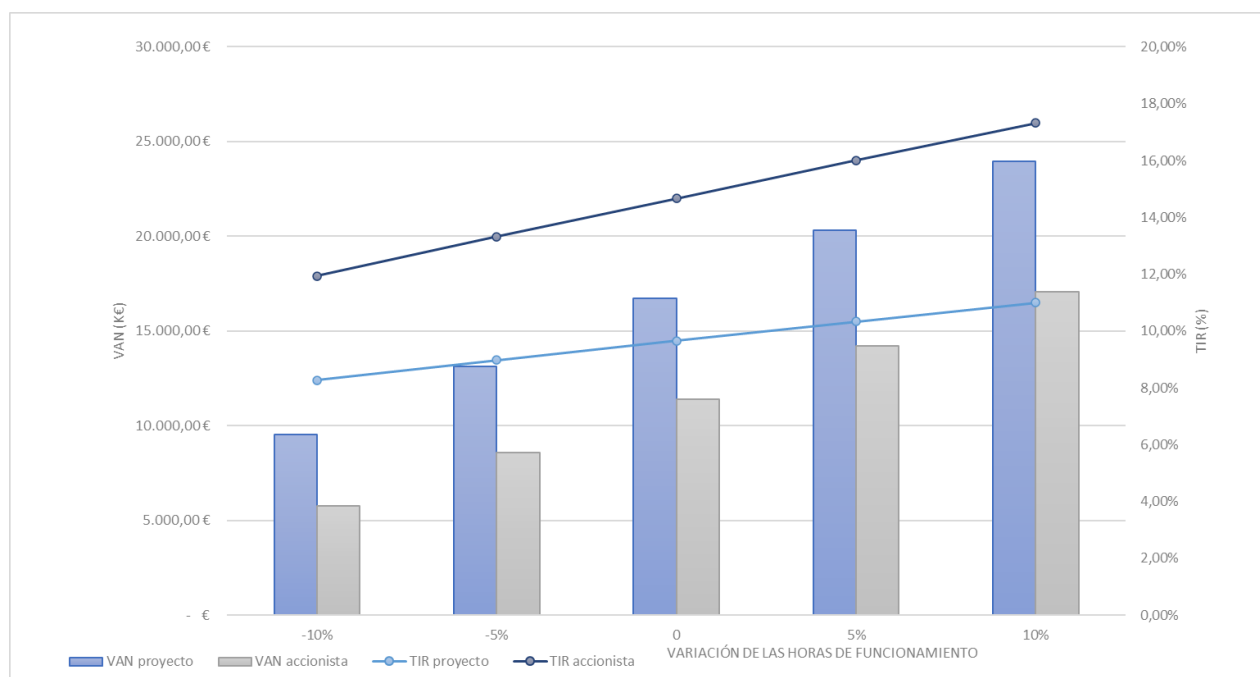


Figura 4. Análisis de la sensibilidad a la variación de las horas de funcionamiento.

8. Conclusiones

A la vista de todos los resultados anteriormente expuestos, el proyecto del Parque Eólico Villadiego resultaría viable desde el punto de vista económico. Para los ingresos esperados del parque, se ha tirado a la baja con el precio de la electricidad, ya que en los últimos años ha subido más de lo que se ha tenido en cuenta, por lo que, si esos precios se mantuvieran constantes, los ingresos crecerían.

Por otro lado, en el análisis de sensibilidad se demuestra que poniéndose en el peor de los casos la rentabilidad sigue siendo muy buena.

Por lo tanto, el proyecto aporta valor a la empresa y se recomienda su ejecución.

9. Referencias

- [1] Operador del Mercado Ibérico de Energía (OMIE), «Mínimo, medio y máximo precio de la casación del mercado diario.» [En línea].

ANEXO V: Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Índice

1. Objeto	3
2. Alineación con los ODS	3
2.1 ODS 7: Energía asequible y no contaminante	4
2.2 ODS 13: Acción por el clima	4
2.3 ODS 12: Industria, innovación e infraestructura	4
2.4 ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico.	5
3. Referencias	6

1. Objeto

El objeto del presente anexo es presentar los Objetivos de Desarrollo Sostenible marcados por la ONU para 2030 que este proyecto sigue.

2. Alineación con los ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son una serie de pautas o metas propuestas por la ONU para poder alcanzar para 2030, un mundo más justo, igualitario y sostenible.

En 2015, los líderes mundiales se pusieron de acuerdo para intentar, en 15 años, cumplir esos objetivos. Es lo que en España se llamó “Agenda 2030” [1].

El desarrollo sostenible, como concepto, pretende tener la tecnología, economía y estructura social suficiente para poder mantener la vida actual, o dicho de otra manera, alcanzar las demandas actuales, pero sin perjudicar o comprometer de por vida las generaciones futuras.

Este proyecto y su autor están alineados con la idea de hacer de esta sociedad una mas justa y sostenible. Es por ello que este proyecto se alinea con los siguientes ODS.

Los diecisiete objetivos se centran en conseguir una economía sostenible, con igualdad para todos los seres humanos, centrándose particularmente en la igualdad de las mujeres y niños.

A continuación, se muestran los diecisiete ODS:



2.1 ODS 7: Energía asequible y no contaminante



Este objetivo es, quizás, el más claro de todos. Las energías renovables, y la eólica en este caso, suministrarán energía limpia a los hogares. Además, resultará más económica que otros tipos de energía como el ciclo combinado, ya que la materia prima con la que se genera (el viento) tiene cero costes variables, teniendo que hacer frente solo a costes fijos de construcción y mantenimiento.

Por otra parte, se están poniendo en práctica muchas técnicas capaces de reciclar al final de su vida útil, los materiales con los que se construye el parque. Por ejemplo, el acero con el que se construyen los aerogeneradores se puede desmantelar y reusar para construir aerogeneradores nuevos.

2.2 ODS 13: Acción por el clima



Actualmente, la producción de energía es uno de los mayores actores contaminantes en la sociedad en la que vivimos. Es por ello que una alternativa limpia, donde esa producción de energía no contamina, constituye una acción por y para el clima sin ningún género de dudas.

2.3 ODS 12: Industria, innovación e infraestructura



El sector de la energía eólica es uno de los más recientes y constituye un sector que se encuentra a la vanguardia del desarrollo tecnológico. En los últimos 20 años, la tecnología ha ido cambiando y evolucionando hacia aerogeneradores más eficientes, más limpios y de menor coste.

Es por ello que este sector, y este proyecto en concreto, constituye una innovación tecnológica del más alto nivel, cambiando rápidamente hacia mejores tecnologías. Se espera que este camino recorrido en los últimos años continúe, habiendo mucho espacio para la mejora, como por ejemplo el incremento de la vida útil de los aerogeneradores.

2.4 ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico.



Como se desarrolló en el apartado de la Memoria: “Aspectos Socioeconómicos”, este proyecto constituye una fuente de crecimiento económico ya no solo para la empresa que lo desarrolla y explota, sino para la localidad de Villadiego.

En un contexto en España en el que el campo cada vez está más vacío, lo que los medios bautizaron como “la España vaciada”, es positivo que el desarrollo de este tipo de proyectos se produzca en zonas deprimidas demográfica y económicamente.

El trabajo necesario para construir y mantener este proyecto se desarrollará en la medida de lo posible con profesionales de la zona, buscando así el apoyo y visto bueno necesario de la población local para una convivencia tranquila y positiva de todos.

3. Referencias

- [1] Organización de las Naciones Unidas (ONU), «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» 25 Septiembre 2015. [En línea].

