



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Proyecto de una instalación de un parque de energía eólica
ubicado en el municipio de Rueda de la Sierra, Guadalajara

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: González Caballero Herrera, Andrea

Tutor/a: Vargas Salgado, Carlos Afranio

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE UN PARQUE DE
ENERGÍA EÓLICA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE RUEDA DE
LA SIERRA, GUADALAJARA.**

AUTORA: ANDREA GONZÁLEZ-CABALLERO HERRERA

TUTOR: CARLOS VARGAS SALGADO

Curso académico: 2022/2023

RESUMEN

En este trabajo se ha realizado un proyecto de parque eólico on-shore situado en Rueda de la Sierra (Guadalajara). Se van a implementar 10 aerogeneradores de General Electric GE-158/5.3, de 5300kW de potencia unitaria conectados entre sí mediante dos circuitos eléctricos de media tensión de 30kV.

Esta ubicación se ha escogido siguiendo la legislación vigente y teniendo en cuenta las zonas protegidas. El parque está conectado a la subestación eléctrica ST Fuentelsaz, que transforma la tensión que sale de los aerogeneradores de 30kV a 220kV para distribuirla por la red.

Se realiza el análisis energético para escoger la disposición de aerogeneradores más rentable energéticamente mediante el programa SAM (System Advisor Model), que indica que la instalación produce una potencia neta anual de 185.393,424 MWh con un factor de carga del 39,9%. Tras esto, se plantea la puesta a tierra de los aerogeneradores y el dimensionado de red para el transporte de la energía eléctrica generada. Finalmente, se realizará el estudio de la viabilidad económica, para comprobar si el proyecto es rentable. Para ello, se calculan el Payback, con un valor obtenido de 11,5 años, el VAN y la TIR que resultan de 9.661,47 k€ y 7%, respectivamente.

Todo ello va acompañado por los planos, presupuesto total y pliego de condiciones.

Palabras Clave: Parque eólico, aerogenerador, energía, potencia.

RESUM

L'objectiu d'aquest TFG és realitzar un projecte de parc eòlic on-shore situat en Rueda de la Sierra (Guadalajara)). Es va a implementar 10 aerogeneradors de General Electric GE-158/5.3, de 5300kW de potència unitària connectats entre si mitjançant dos circuits elèctrics de mitjana tensió de 30kV.

Aquesta ubicació s'ha triat seguint la legislació vigent i tenint en compte les zones protegides. El parc està connectat a la subestació elèctrica ST Fuentelsaz, que transforma la tensió que ix dels aerogeneradors de 30kV a 220kV per a distribuir-la.

Es realitza l'anàlisi energètica per a triar la disposició d'aerogeneradors més rendible energèticament mitjançant el programa SAM (System Advisor Model) , que indica que la instal·lació produeix una potència neta anual de 185.393,424 MWh amb un factor de càrrega del 39,9%. Després d'això, es planteja la connexió a terra dels aerogeneradors i el dimensionament de xarxa per al transport de l'energia elèctrica generada. Finalment, es realitzarà l'estudi de la viabilitat econòmica, per a comprovar si el projecte és rendible. Per a això, es calculen el Payback, amb un valor obtingut de 11,5 anys, el VAN i la TIR que resulten de 9.661,47 k€ i 7%, respectivament. Tot això va acompanyat pels plans, pressupost total i plec de condicions.

Paraules clau: Parc eòlic, aerogenerador, energia, potència.

ABSTRACT

The objective of this TFG is to carry out an on-shore wind farm project located in Rueda de la Sierra (Guadalajara)). The consumption of this park will be 50 KW, through 10 General Electric wind turbines GE-158/5.3, 5300kW of unit power connected to each other by two circuits of medium voltage 30kV.

This location has been chosen according to current legislation and taking into account protected areas. The park is connected to the electrical substation ST Fuentelsaz, which transforms the voltage coming out of the turbines from 30kV to 220kV to distribute it.

The energy analysis is performed to choose the most energy-efficient wind turbine arrangement using the SAM (System Advisor Model) program, which indicates that the installation produces an annual net power of 185.393,424 MWh with a load factor of 39,9%. Following this, the grounding of the wind turbines and the sizing of the network for the transport of the electricity generated is proposed. Finally, the economic feasibility study will be carried out, to check whether the project is profitable. For this, the Payback is calculated, with a value obtained of 9.3 years, the VAN and the IRR that result in 9.661,47 k€ and 7%, respectively. All this is accompanied by plans, total budget, and specifications.

Keywords: Wind farm, wind turbine, energy, power.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE ILUSTRACIONES

- I. MEMORIA
- II. PLIEGO DE CONDICIONES
- III. PRESUPUESTO
- IV. PLANOS
- V. ANEXO

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1- Tipos de clases de aerogeneradores por velocidad	14
Tabla 2- Tipos de clases de aerogeneradores por turbulencia	14
Tabla 3- Alternativas de aerogeneradores.....	15
Tabla 4- Principales resultados del análisis energético	15
Tabla 5- Características aerogenerador GE-158/5.3.....	16
Tabla 6- Distancia entre torres	19
Tabla 7- Coordenadas de la Alternativa 1.....	20
Tabla 8- Coordenadas de la alternativa 2	20
Tabla 9- Características técnicas DVCAS 36kV	31
Tabla 10- Distribución cabinas de M.T.	31
Tabla 11- Sección cables en los distintos tramos.	34
Tabla 12- Esquema número de cables por zanja	36
Tabla 13- Precios electricidad desde 2026 hasta 2045.....	39
Tabla 14- Tabla de amortización lineal	41
Tabla 15- Cronograma	42
Tabla 16- Tabla ingresos anuales.	42
Tabla 17- VAN y TIR del proyecto	45
Tabla 18- Factor alfa(K) y beta (A) para cada sector.....	54
Tabla 19- Distribución de frecuencias de viento de Weibull en cada sector.	54
Tabla 20- Energía bruta producida por sector por cada aerogenerador en MWh/año	55
Tabla 21- Frecuencias de la dirección del viento en cada sector.....	55
Tabla 22- Energía bruta producida en cada sector.	55
Tabla 23- Energía bruta por aerogenerador	56
Tabla 24- Energía neta anual producida por cada aerogenerador	56
Tabla 25- Resumen principales características de cada aerogenerador.....	56
Tabla 26- Intensidades nominales por cada tramo.	59
Tabla 27- Sección y número de conductores de cada tramo	60
Tabla 28- Resistencia y reactancia del conductor en cada tramo	61
Tabla 29- Caída de tensión en cada tramo y total.....	61
Tabla 30- Estimación precio energía anual.....	63
Tabla 31- Flujos de caja anuales	64
Tabla 32- Cálculo Payback	65

ÍNDICE ILUSTRACIONES

Ilustración 1- Gráfico de fuentes de energía en España en 2023. Fuente: Red Eléctrica	5
Ilustración 2- Mapa de parques eólicos en España. Fuente: Red Eléctrica	5
Ilustración 3- Mapa de parques eólicos Castilla-La Mancha.....	6
Ilustración 4- Mapa de velocidades del viento en España.....	8
Ilustración 5- Opciones posibles para emplazar el parque eólico.....	8
Ilustración 6- Mapa de las zonas protegidas de Guadalajara.....	9
Ilustración 7- Ubicación de la subestación eléctrica.....	10
Ilustración 8- Localización del parque eólico	11
Ilustración 9- Detalle de ubicación del parque con red de carreteras.....	12
Ilustración 10- Promedio diario de la velocidad del viento en Rueda de la Sierra.....	12
Ilustración 11-Rosa de velocidad de vientos en Rueda de la Sierra a 100 metros de altura.....	13
Ilustración 12- Distribución de Weibull en Rueda de la Sierra a 100m	13
Ilustración 13- Ejemplo de turbulencias debidas a obstáculo.....	17
Ilustración 14- Efecto estela de un aerogenerador	18
Ilustración 15- Líneas auxiliares donde posicionar aerogeneradores	19
Ilustración 16- Alternativa 1 en Google Earth. Fuente: Elaboración propia.....	19
Ilustración 17- Alternativa 2 en Google Earth. Fuente: Elaboración propia.....	20
Ilustración 18- Rosa de frecuencias de los vientos para la ubicación seleccionada con ejemplo de frecuencia de una velocidad dada. Fuente: Mapa Eólico Ibérico.....	22
Ilustración 19- Parámetros introducidos en SAM para la distribución de Weibull.....	22
Ilustración 20- Características aerogenerador	23
Ilustración 21- Pérdidas porcentuales que calcula el programa SAM.	25
Ilustración 22- Cargas aplicadas sobre el aerogenerador.	28
Ilustración 23- Acciones producidas sobre zapata.	28
Ilustración 24- Ejemplo de tipos de hormigón según la clase de exposición	29
Ilustración 25- Dimensiones celdas de M.T. Fuente: Ficha técnica módulos DVCSA.....	32
Ilustración 26- Detalle del cable seleccionado. Fuente: Ficha técnica TopCable.com	33
Ilustración 27- Explicación general curva de potencia. Fuente: Elaboración propia.....	47
Ilustración 28- Ejemplo de distribuciones de Weibull con diversos parámetros	49
Ilustración 29- Ubicación exacta punto de estudio energético	52
Ilustración 30- Gráfico curvas de potencia	52
Ilustración 31- Gráfico curvas de potencia corregidas	53
Ilustración 32- Estimación precio electricidad	62



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE UN PARQUE DE
ENERGÍA EÓLICA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE RUEDA DE
LA SIERRA, GUADALAJARA.**

I. MEMORIA DESCRIPTIVA

AUTORA: ANDREA GONZÁLEZ-CABALLERO HERRERA

TUTOR: CARLOS VARGAS SALGADO

Curso académico: 2022/2023

ÍNDICE MEMORIA

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3 ALCANCE	2
1.4 AGENDA 2030 Y ODS	2
1.5 NORMATIVA APLICADA	3
1.6 SITUACIÓN ACTUAL	4
CAPÍTULO 2: ESTUDIO DEL EMPLAZAMIENTO	7
2.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	7
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO EÓLICO DE LA SELECCIÓN FINAL.....	11
CAPÍTULO 3: ELECCIÓN AEROGENERADOR	13
3.1 CLASES DE AEROGENERADOR	14
3.2 ALTERNATIVAS.....	15
3.3 SELECCIÓN AEROGENERADOR Y NÚMERO.....	15
CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL PARQUE	17
4.1 CAUSAS Y EFECTOS MODIFICADORES DEL VIENTO.....	17
4.2 ESCENARIOS DE DISEÑO	19
4.3 SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS	21
CAPÍTULO 5: CIMENTACIÓN	27
5.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE LA ZAPATA	27
5.2 ELECCIÓN.....	29
CAPÍTULO 6: DIMENSIONADO DE RED ELÉCTRICA	30
6.1 CELDAS DE MEDIA TENSIÓN	30
6.2 DISEÑO RED MEDIA TENSIÓN	33
6.3 RED DE PUESTA A TIERRA	35
6.4 ZANJAS ELÉCTRICAS	36

CAPÍTULO 7: OBRA CIVIL	37
7.1 ACCESOS EXTERNOS Y VIALES INTERNOS	37
7.2 PLATAFORMA	37
7.3 CIMENTACIÓN	38
7.4 ZANJAS PARA CABLES Y PUESTA A TIERRA.....	38
7.5 MOVIMIENTO DE TIERRA	38
CAPÍTULO 8: ANÁLISIS ECONÓMICO	39
8.1 DATOS DE PARTIDA	39
8.2 INVERSIÓN INICIAL	40
8.3 COSTES OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	40
8.4 AMORTIZACIÓN	41
8.5 CRONOGRAMA PREVISTO	42
8.6 INGRESOS	42
8.7 BENEFICIO NETO ANUAL.....	43
8.8 RESULTADOS ANÁLISIS ECONÓMICO	45
CAPÍTULO 9: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS.....	46
9.1 ELECCIÓN AEROGENERADOR	46
9.2 DIMENSIONAMIENTO SECCIÓN CONDUCTOR	57
CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA.....	79

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es realizar un proyecto de parque eólico on-shore situado en Rueda de la Sierra (Guadalajara)). Para realizar este proyecto, se van a implementar 10 aerogeneradores de General Electric GE-158/5.3, de 5300kW de potencia unitaria conectados entre sí mediante dos circuitos eléctricos de media tensión de 30kV.

Se van a realizar los cálculos energéticos necesarios para seleccionar el modelo de aerogenerador más rentable y, una vez escogido, mediante el programa SAM se realiza la distribución de los aerogeneradores en el parque.

Para conectar el parque eólico a una subestación se diseña la red eléctrica siguiendo los criterios de dimensionamiento del reglamento de alta tensión y la red de puesta a tierra.

Finalmente, se realiza el estudio de la viabilidad económica para comprobar si el proyecto es rentable utilizando el programa Homer.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Ante la necesidad de frenar el cambio climático y reducir el efecto invernadero, en España se ha desarrollado el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) que establece una serie de objetivos para 2030. Entre ellos, se pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) un 23% respecto 1990 en España. Para llevar a cabo este objetivo se ha propuesto que las energías renovables incrementen un 22% (alcanzando el 42%) en el uso final de la energía.

En España, la mayor fuente de producción de energía, tanto renovable como no, es la eólica, gracias a las buenas condiciones climáticas, con una demanda del 23% respecto a la total. Sin embargo, también se quiere mejorar este dato, alcanzando en 2030 el 40% de la producción.

Este proyecto se ha realizado con el fin de contribuir en el plan nacional energético mediante el diseño de un parque eólico situado en Guadalajara, emplazamiento elegido con anterioridad para fomentar la creación de empleo y la independencia energética de la zona.

Además, tal como se verá posteriormente, es un proyecto económicamente rentable, puesto que a partir de la mitad de su vida útil proporciona beneficio neto, por lo que se puede considerar una inversión provechosa.

1.3 ALCANCE

El alcance de este trabajo es el diseño de un parque eólico y su conexión eléctrica a una subestación para distribuir la energía generada. El alcance cubre los siguientes puntos:

- Selección del emplazamiento siguiendo los criterios técnicos y legislativos vigentes.
- Estudio de la potencia aprovechable del emplazamiento a través de distintos modelos de aerogenerador para elegir el modelo más rentable energéticamente.
- Simulación de diversas alternativas de posición de los aerogeneradores para comprobar cual genera más energía mediante el programa SAM.
- Instalación eléctrica que cuenta con el diseño de la red de media tensión que conecta los aerogeneradores a la subestación transformadora, las celdas de media tensión de protección y maniobra y la red de puesta a tierra del parque.
- Análisis de viabilidad económica
- Impacto medioambiental producido
- Estudio de seguridad y salud

El diseño de la subestación transformadora no entra en el alcance del trabajo, al igual que el dimensionamiento de la cimentación de las zapatas de los aerogeneradores.

1.4 AGENDA 2030 Y ODS

Con el propósito de alcanzar un mundo más sostenible y justo, la Asamblea General de Naciones Unidas estableció los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Se tratan de 17 objetivos globales, propuestos para cumplirse en 2030 que abordan temas como la pobreza, desigualdades, medio ambiente o la paz.

El principal objetivo que tiene relación con este proyecto es el número 7, que persigue conseguir energía asequible y no contaminante. Para ello se quiere garantizar acceso universal a la energía, fomentar las energías renovables y mejorar la eficiencia energética.

Con el fin de cumplir estos objetivos, España ha establecido el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), documento que redacta las medidas a adoptar para satisfacer las metas energéticas en 2030. Se desea que, al finalizar el plan, los principales datos energéticos sean:

- 23% de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- 42% de energías renovables sobre el uso final de la energía.
- 39,5% de mejora de la eficiencia energética.
- 74% de energía renovable en la generación eléctrica.

Además, en relación con este proyecto, se pretende que en 2030 la potencia instalada de energía eólica alcance los 50 GW.

1.5 NORMATIVA APLICADA

El diseño de un parque eólico en Rueda de la Sierra, Guadalajara, Castilla-La Mancha ha de cumplir con la normativa establecida a nivel local, regional, nacional e internacional. Este conjunto de normas se aplica a diversos campos como la localización del parque, las condiciones técnicas sobre los aerogeneradores y su conexión, el impacto medioambiental o la regulación de las energías renovables. Algunas de las leyes y normas que se deben aplicar son:

- **A nivel internacional:**
 - Norma UNE-EN IEC 61400-1: En ella se fijan los requisitos de diseño de aerogeneradores y parques eólicos.

- **A nivel nacional:**
 - Ley 24/2013 cuya finalidad es la regulación del Sector Eléctrico, incluidas las instalaciones de generación eléctrica, tanto renovables como no renovables.
 - Orden TED/189/2023, de 21 de febrero, por la que se crea la División de Proyectos de Energía Eléctrica.
 - Real Decreto-ley 23/2021, de 26 de octubre, de medidas urgentes en materia de energía para la protección de los consumidores y la introducción de transparencia en los mercados de electricidad y gas natural
 - Orden TED/749/2020, de 16 de julio, por la que se establecen los requisitos técnicos para la conexión a la red necesarios para la implementación de los códigos de red de conexión
 - Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.
 - Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de electricidad a partir de renovables.
 - Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23.

- **A nivel autonómico:**
 - Decreto 20/2010, de 20 de abril, por el que se regula el aprovechamiento de la energía eólica en la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha.

1.6 SITUACIÓN ACTUAL

1.6.1 Energía eólica

La energía eólica es aquella que utiliza la fuerza propia del viento para producir energía. La energía cinética del viento se transforma en mecánica y, posteriormente, en energía eléctrica. Se trata de una fuente renovable, ilimitada y limpia, puesto que no produce gases contaminantes ni residuos en el medio ambiente. Actualmente, es la energía renovable más eficiente y utilizada y se encuentra en constante auge.

El proceso de conversión de energía se produce en el aerogenerador, el cual está conectado a la red para la distribución de la electricidad generada. Los aerogeneradores se pueden clasificar en diferentes clases como la dirección del eje de trabajo, el tipo y número de palas, la posición del rotor... Sin embargo, todos ellos funcionan de la misma manera. En esta ocasión nos centraremos en la descripción y funcionamiento de los aerogeneradores de eje horizontal tripala.

Un aerogenerador se puede dividir en dos partes principales:

- Rotor: formado por las palas y el buje, se encarga de recoger la energía cinemática del viento y la transmite al interior del aerogenerador mediante el movimiento del eje de velocidad baja.
- Góndola: contiene los elementos encargados de obtener la electricidad final. En ella se encuentra el eje de velocidad baja, alta y el multiplicador. Este último es un tren de engranajes que une los dos ejes para aumentar la velocidad de rotación. El eje de alta velocidad se une a un generador, de donde se obtiene finalmente la energía eléctrica.

1.6.2 Estado actual de la energía eólica en España

España es uno de los países pioneros en la implantación de parques eólicos a nivel mundial. Se trata del 2º país europeo con mayor potencia instalada y el 5º del mundo, además de ser el 3º país del mundo exportador de aerogeneradores, ya que cuenta con más de 25 centros de fabricación distribuidos en 16 comunidades autónomas.

Según los últimos datos publicados por la Red Eléctrica del mes de abril de 2023, la energía eólica es la mayor fuente de producción energética del país, con un total de 30.130 MW instalados, que corresponde al 25,2% de la producción total. Por detrás de la energía eólica se encuentra el ciclo combinado, con un total de 26.250 KW instalados. Es importante saber que, actualmente, el 60% de la energía generada en España proviene de fuentes renovables.

ESTRUCTURA DE LA GENERACIÓN POR TECNOLOGÍAS (%) | SISTEMA ELÉCTRICO: Nacional

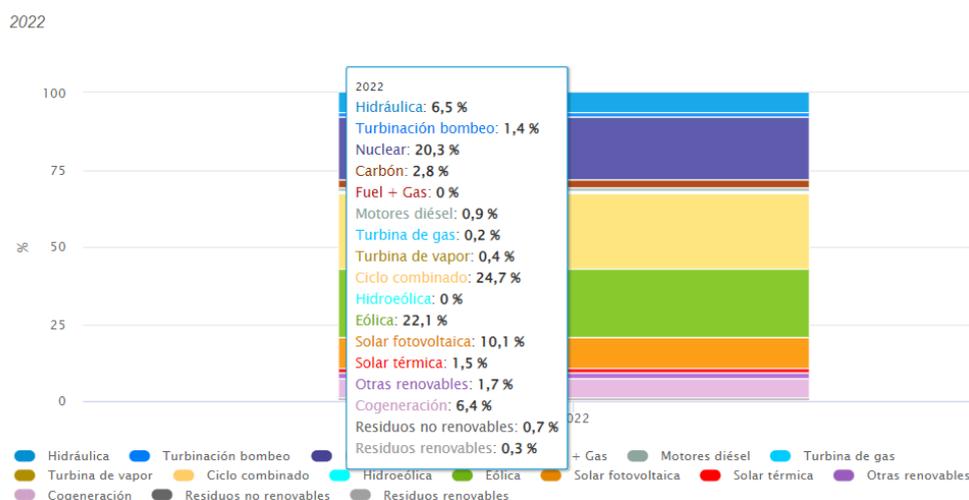


Ilustración 1- Gráfico de fuentes de energía en España en 2023. Fuente: Red Eléctrica

España cuenta con un total de 1.345 parques eólicos distribuidos por todo el país, que suman más de 21500 aerogeneradores. Del total, en 2022 se instalaron 46 parques nuevos. La comunidad autónoma con más producción de energía eólica es Castilla y León, con un total de 6268 MW instalados.

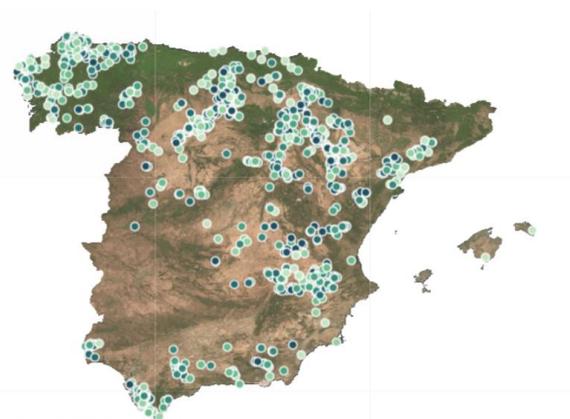


Ilustración 2- Mapa de parques eólicos en España. Fuente: Red Eléctrica

De cara al futuro, España ha redactado el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), donde establece una serie de objetivos medioambientales y energéticos hasta 2030, y métodos para conseguirlos. Entre ellos, para promover la generación de electricidad a través de energía eólica, se pretende alcanzar el 40% sobre la producción total, es decir, aumentar un 17% la actual y llegar a una potencia eólica instalada de 50 GW anuales.

Por último, se conoce que el año pasado, España llegó a producir 29.798 MW a través de la energía eólica, superando así todas las cifras anteriores. Sin embargo, para alcanzar los objetivos impuestos en el PNIEC, se necesitaría aumentar más de 2500 MW de potencia anuales.

Debido a la importancia de acelerar y agilizar los proyectos de energía renovable, el pasado 21 de febrero se autorizó la creación de la División de Proyectos de Energía Eléctrica (redactada en el BOE el 28 de febrero de 2023), cuyo objetivo es tramitar y legalizar las instalaciones eólicas y fotovoltaicas más eficientemente.

1.6.3 Estado actual de la energía eólica en Castilla-La Mancha

Castilla-La Mancha es la comunidad autónoma donde más potencia eólica se instaló en 2022. Se sumaron 837 MW al total, alcanzando los 3.949 MW. Se trata de la tercera comunidad que más potencia genera, por detrás de Castilla y León y Aragón, representando el 14,2% de la producción nacional.

A finales de 2021, Castilla-La Mancha contaba con un total de 151 instalaciones eólicas, siendo Albacete la provincia con mayor número de parques de la comunidad, y la cuarta provincia de España.

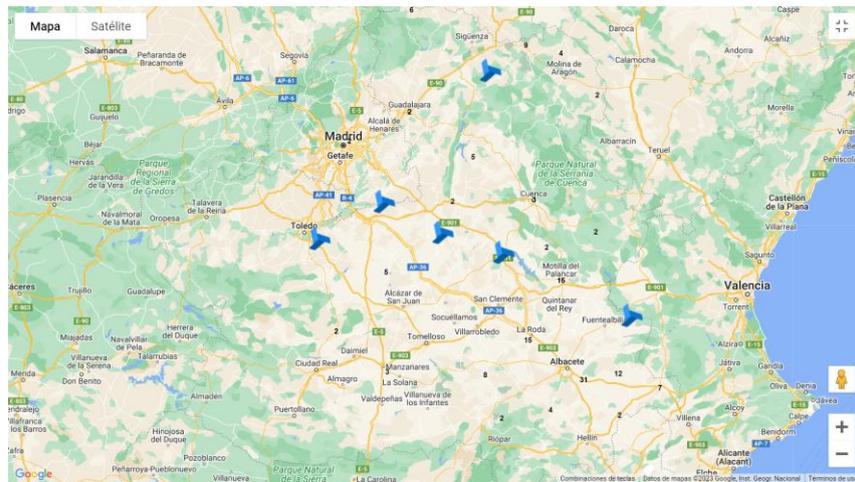


Ilustración 3- Mapa de parques eólicos Castilla-La Mancha. Fuente: AEE

CAPÍTULO 2: ESTUDIO DEL EMPLAZAMIENTO

En este capítulo se van a explicar los criterios que se han seguido para seleccionar el emplazamiento del parque y la ubicación final, detallando las características del recurso eólico que alberga.

2.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

El primer paso para realizar un proyecto de parque eólico es elegir la ubicación donde se va a construir. Para ello, existen una serie de criterios técnicos que califican el terreno desde distintas perspectivas. Estos criterios son:

- Velocidad y dirección del viento
- Impacto ambiental y zonas protegidas
- Orografía y proximidades

A continuación, se detalla la importancia de cada uno:

2.1.1 Velocidad y dirección del viento

Uno de los factores más importantes son las características cinemáticas del viento, es decir, la dirección y velocidad. Estas varían dependiendo del lugar, del día y de la altura, pero se pueden realizar aproximaciones mediante distintas herramientas que nos permiten conocer a grandes rasgos las características de cada zona.

Para realizar las mediciones existen dos instrumentos: las veletas y los anemómetros. Las veletas sirven para conocer la dirección del viento, que posteriormente se representa en la rosa de los vientos. Los anemómetros se utilizan para medir la velocidad a la que va el viento y llevar un registro de velocidades.

Una vez medida la dirección, se estudia la rosa de vientos, que muestra la estadística con la que el viento sopla en una determinada dirección. Podemos encontrar diferentes rosas de vientos dependiendo de las características que se quieran estudiar, siendo estas la frecuencia, velocidad o energía. En este caso nos centraremos en la rosa de la frecuencia del viento, ya que es la que nos proporciona Global Wind Atlas. Esta rosa está compuesta por 16 sectores que apuntan a una dirección distinta y se representa en cada uno la frecuencia con la que el viento incide en esa dirección, pudiendo así observar la dirección predominante en un lugar. Esta información servirá para orientar los aerogeneradores de forma perpendicular a la dirección más frecuente, ya que dará la máxima energía eólica.

Para conocer la velocidad del viento, se pueden consultar distintas webs que muestran las velocidades a diferentes metros de altura. En este trabajo, nos centraremos en Global Wind Atlas. A continuación, podemos observar el mapa de España con la representación de la velocidad del viento. Los colores más cálidos (morado, rojo) representan altas velocidades, mientras que los colores fríos (azul, verde), son las zonas con velocidades más bajas. Además, en la esquina inferior derecha se puede ver la velocidad exacta de cada punto situando el ratón sobre él y también se puede variar la altura a la que se mide.

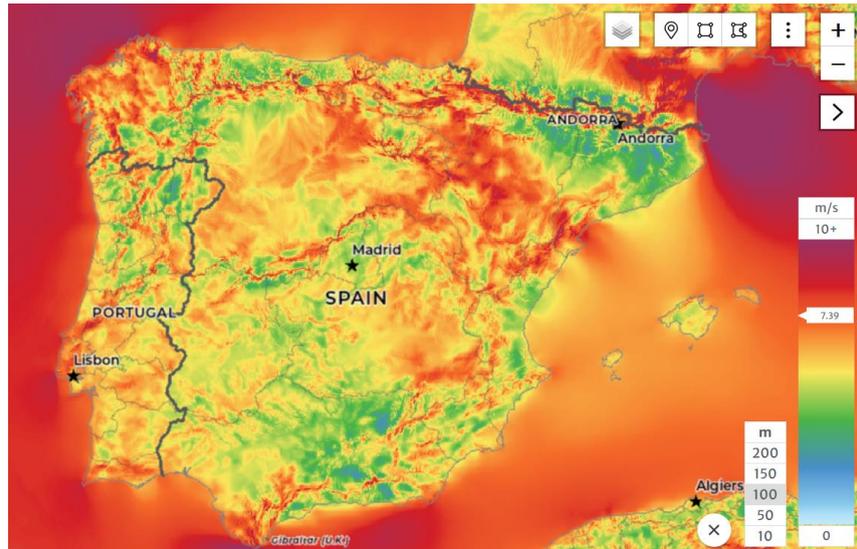


Ilustración 4- Mapa de velocidades del viento en España

Para ubicar correctamente un parque eólico, hay que tener en cuenta que será económicamente rentable si la velocidad media mínima es de 6m/s, y un aerogenerador normalmente estará en funcionamiento entre los 3m/s y 25m/s, si sale de ese rango se activarán los frenos y parará. Por tanto, es importante elegir una ubicación donde el viento sean lo más elevado y constante posible.

Mediante la web de Global Wind Atlas se puede ver a priori qué zonas cuentan con mayores velocidades del viento, ya que son las áreas con los colores más cálidos.

La medición de estas velocidades se indica realizando la media del 10% de las áreas con mayor intensidad de viento. Podemos observar varias opciones para colocar un parque basándonos únicamente en la velocidad, siendo estas:

1. Aragoncillo, Corduente, con coordenadas 40. 955271º, -2.038994º. Cuenta con una velocidad media de 8,3m/s.
2. Rueda de la Sierra, con coordenadas 40.91948º, -1.890335º, con una velocidad de 7,6 m/s.
3. Molina de Aragón, con coordenadas 40.857967º, -1.748199º, con una velocidad media de 7,7 m/s.

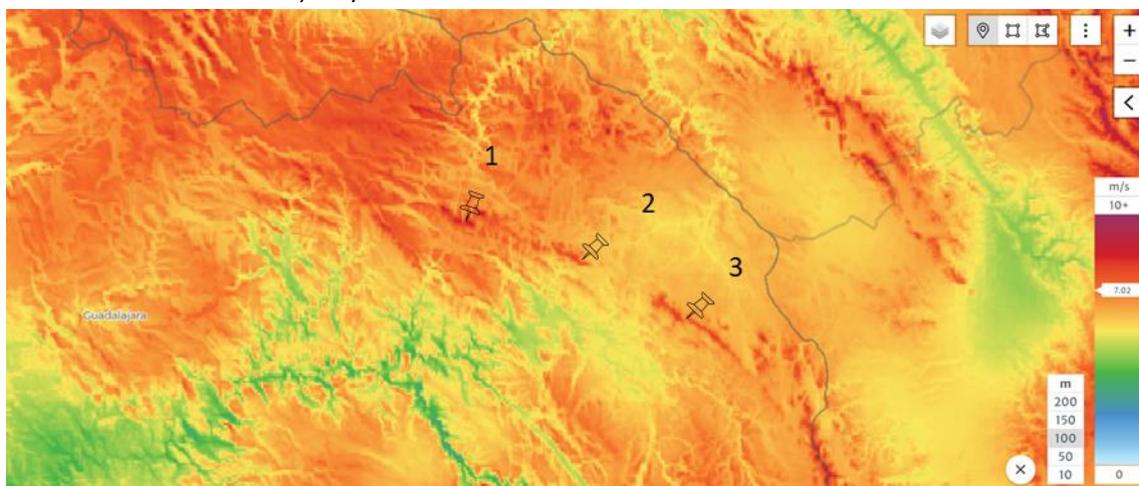


Ilustración 5- Opciones posibles para emplazar el parque eólico. Fuente: Global Wind Atlas y elaboración propia

2.1.2 Impacto ambiental y zonas protegidas

Construir un parque eólico puede tener consecuencias ambientales como el impacto en la fauna, llegando a afectar a las aves que atraviesan el espacio y pueden colisionar con las palas del aerogenerador, la modificación del paisaje, emisión de sustancias dañinas para el medioambiente, como el CO₂ durante la construcción del parque... Es por esto, que se han declarado zonas protegidas donde está prohibido construir parques eólicos y que hay que conocer antes de elegir la ubicación.

La siguiente ilustración muestra los espacios protegidos en la provincia de Guadalajara:

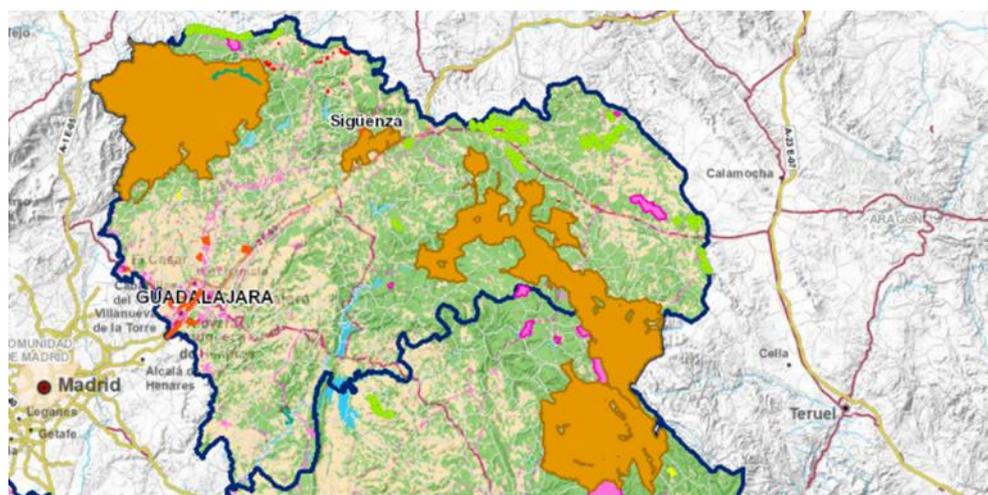


Ilustración 6- Mapa de las zonas protegidas de Guadalajara. Fuente: Global Wind Atlas y elaboración propia

En Guadalajara podemos encontrar 3 tipos de espacios protegidos:

- Parque natural: Se trata de un área de gran extensión caracterizada por su diversidad biológica, cultural y paisajística, protegida para evitar el deterioro y sobreexplotación del terreno.
- Monumento natural: Al contrario que el espacio anterior, un monumento natural es un elemento de la naturaleza o espacio de dimensión reducida, preservado para conservar su singularidad e importancia.
- Microrreserva: Es un área de escasa superficie, menor a 20 hectáreas, que alberga un tipo específico de ecosistema, fauna o flora, en ocasiones en peligro de extinción y que se desea proteger.

Dicho esto, si comparamos el mapa de los posibles parques eólicos con el de las zonas protegidas en la provincia de Guadalajara, podemos observar que la posibilidad de colocarlo en Molina de Aragón (opción 3) no es válida, ya que se encuentra en la Sierra de Caldereros, lugar protegido por ser monumento natural desde 2005.

Por tanto, quedan dos opciones: situarlo en Aragoncillo o en Rueda de la Sierra.

2.1.3 Orografía y proximidades

En la misma línea que el punto anterior, también es importante considerar la, es decir, las características que describen el relieve del terreno. Hay una gran diferencia entre situar un parque eólico en zonas montañosas o en un lugar llano. Mientras que en los espacios con colinas los vientos

son más fuertes, es más probable que haya mayores variaciones en la trayectoria del viento. Esto se debe a la existencia de obstáculos cuya consecuencia es que se crean turbulencias que modifican tanto la trayectoria como la energía que contiene el viento.

Además, también ha de tenerse en cuenta la accesibilidad al parque, el estado de la red de carreteras, infraestructuras y la comunicación con los transformadores y las subestaciones eléctricas para transportar la electricidad producida. Puesto que la energía producida en el parque eólico se integra a la red eléctrica desde el transformador de la góndola y se transporta a los diferentes puntos de consumo, es preferible que el parque se encuentre ubicado cerca de subestación eléctrica para tener que trasladar la mínima longitud posible y reducir así las pérdidas en la red.

La orografía de ambos puntos es muy similar, ya que se encuentran en montañas de gran altura sobre el nivel del mar, por lo que, en ese sentido, no hay prácticamente diferencia entre ubicarlo en un lugar o en otro. Por tanto, el principal punto para tener en cuenta es la proximidad a subestaciones eléctricas que permiten transformar y distribuir la tensión a los municipios cercanos. La subestación eléctrica que se encuentra en la zona es ST Fuentelsaz, a aproximadamente 7 km de Aragoncillo (1ª opción) y 5 km de Rueda de la Sierra (opción 2).

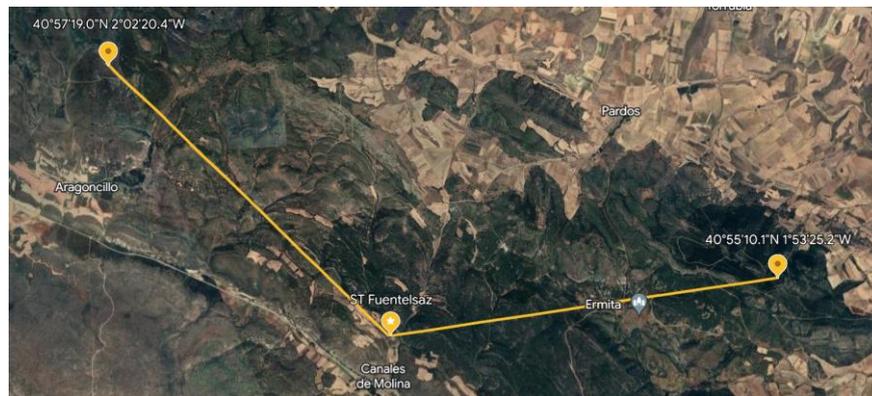


Ilustración 7- Ubicación de la subestación eléctrica. Fuente: Elaboración propia mediante Google Earth

Teniendo en cuenta que la subestación se encuentra más cerca de Rueda de la Sierra, se va a realizar el emplazamiento del parque eólico en ese lugar, para minimizar la distancia de cableado y las pérdidas generadas durante el transporte eléctrico en red.

2.1.4 Zona rural y despoblamiento

Dejando de lado las características técnicas del terreno, cabe destacar que Rueda de la Sierra es un municipio con un censo de 41 habitantes (según el Instituto Nacional de Estadística en 2022), es decir, se puede considerar una zona en peligro de despoblación. Por tanto, construir un parque eólico en este lugar proporcionará grandes ventajas para la zona, entre las que se encuentran:

- Empleo directo e indirecto en los municipios de alrededor: La construcción del parque requiere mano de obra, tanto para la preparación del terreno, el posicionamiento y el mantenimiento de los aerogeneradores. En consecuencia, estos profesionales pueden ser habitantes de la zona, generando así empleo local o foráneos, que necesitarían un lugar para establecerse durante el período de

construcción, lo que generaría también nuevos ingresos y empleo indirecto debido al aumento de servicios y consumo local.

- Modernización de infraestructuras: la instalación de un parque requiere que la red de carreteras para acceder a él y el lugar donde se sitúa el transformador eléctrico estén en buenas condiciones. Esto puede ser de provecho en caso de que las antiguas vías estuviesen en malas condiciones o para la creación de nuevas carreteras que mejoren la comunicación entre municipios.
- Independencia frente a fuentes de energía convencionales: gracias al uso de energías renovables, se van a abandonar las fuentes de energía convencionales, que a largo plazo son más contaminantes para el medio ambiente e incluso más caras, por lo que también se va a notificar un ahorro en el precio de la electricidad.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO EÓLICO DE LA SELECCIÓN FINAL

Como se ha explicado en el apartado anterior, la elección final es colocar el parque eólico en Rueda de la Sierra, debido a las velocidades favorables del viento, a que no se encuentra en zona protegida y a que está ubicado cerca de poblaciones a las que transportar energía.

Concretamente, el parque se encuentra en al oeste de Guadalajara, Castilla-La Mancha. Específicamente, estará emplazado en las coordenadas 40.91948°, -1.890335°, en la montaña Mojón Alto perteneciente a la comarca del Señorío de Molina.

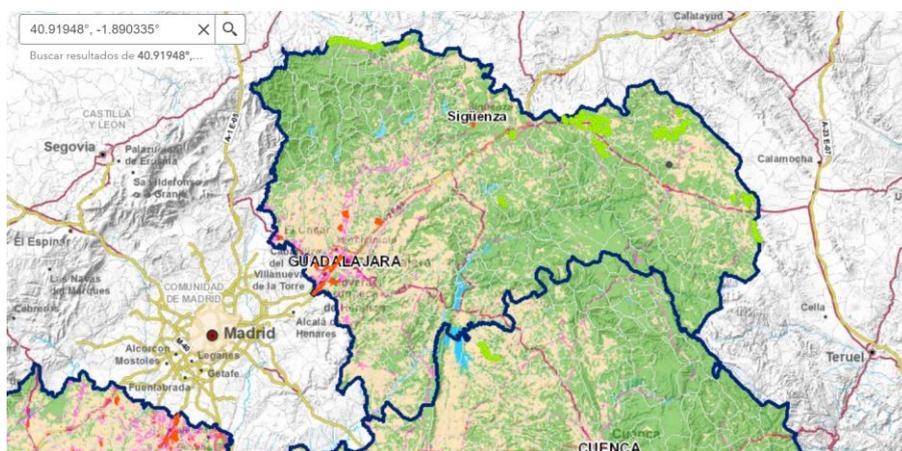


Ilustración 8- Localización del parque eólico

Está ubicado entre los municipios Rueda de la Sierra, Pardos, Cillas y Torrubia, siendo el primero de los nombrados el que más próximo está al parque eólico, aproximadamente a 3 kilómetros de distancia. Además, está delimitado por la carretera autonómica CM-210 al este y la carretera convencional N-211 al sur.



Ilustración 9- Detalle de ubicación del parque con red de carreteras

2.2.1 Parámetros eólicos

Esta ubicación se encuentra a unos 1300 metros sobre el nivel del mar y cuenta con una velocidad media de 7,7 m/s a 100 metros de altura y 8,3 m/s a 150 metros.

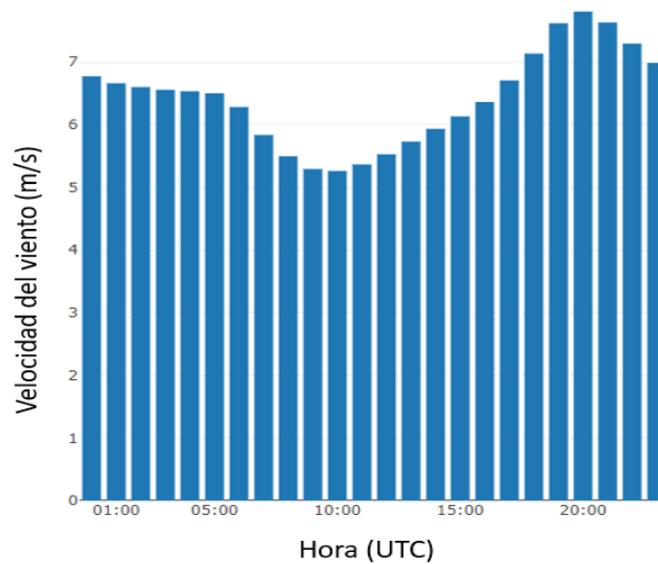


Ilustración 10- Promedio diario de la velocidad del viento en Rueda de la Sierra. Fuente: Atlas eólico ibérico

La rosa de frecuencia y de velocidades de vientos es la siguiente, siendo la dirección predominante la sudoeste, por lo que habrá que orientar los aerogeneradores de forma perpendicular a ésta.

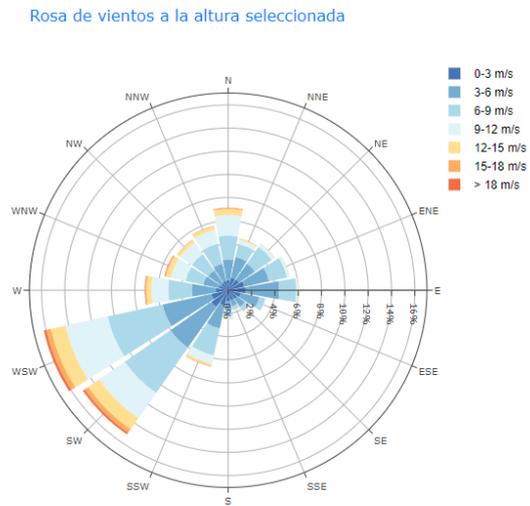


Ilustración 11: Rosa de velocidad de vientos en Rueda de la Sierra a 100 metros de altura. Fuente: Mapa Eólico Ibérico

La distribución de Weibull a 100 metros de altura es

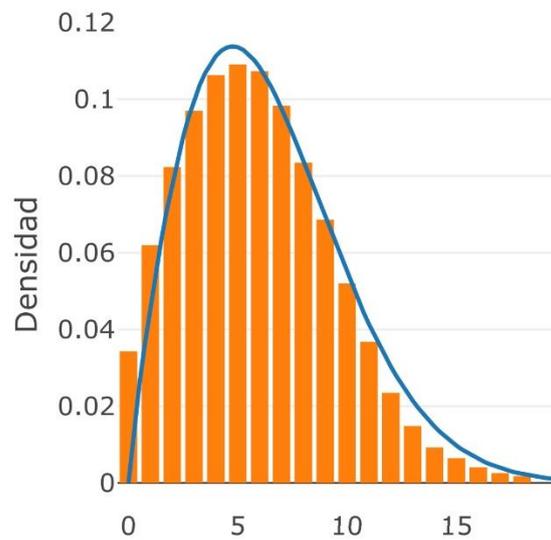


Ilustración 12- Distribución de Weibull en Rueda de la Sierra a 100m

CAPÍTULO 3: ELECCIÓN AEROGENERADOR

En esta sección se va a llevar a cabo la selección del aerogenerador a utilizar en el parque. Para ello, hay que conocer qué características se deben cumplir dependiendo de la localización del parque y la potencia nominal de los candidatos.

3.1 CLASES DE AEROGENERADOR

Una de las principales características de los aerogeneradores es la clase, que depende de las condiciones del viento al que estén expuestos. Según la norma IEC-61400, el viento se puede dividir en 3 clases: I, II y III, dependiendo del rango de velocidades que lleve.

Los rangos en los que se dividen las clases son:

Velocidad viento (m/s)	Clase
$8,5 < v \leq 10$	I
$7,5 < v \leq 8,5$	II
$v \leq 7,5$	III

Tabla 1- Tipos de clases de aerogeneradores por velocidad

A la hora de seleccionar el aerogenerador, ha de escogerse en base a la clase del viento en la que puede trabajar. Esta información se encuentra en la hoja de datos de cada aerogenerador. También es importante recalcar que un aerogenerador puede trabajar en clases inferiores a la suya, pero nunca superiores, es decir, un aerogenerador de clase II podrá trabajar con vientos menores a 7,5 m/s (clase III), pero no superiores a 8,5 m/s (clase I).

Además, también se pueden clasificar los aerogeneradores según la turbulencia del viento en el lugar en el que se encuentran. Las clases son:

Turbulencia	Clase
Turbulencia muy alta	A ⁺
Turbulencia alta	A
Turbulencia media	B
Turbulencia baja	C

Tabla 2- Tipos de clases de aerogeneradores por turbulencia

3.2 ALTERNATIVAS

Como se ha explicado en el apartado anterior, hay que tener en cuenta las características del viento al que se van a exponer los aerogeneradores. En este trabajo, el viento es de 7,7 m/s, por lo que se necesita un aerogenerador de clase II o clase III.

Otro factor importante es la potencia nominal de la turbina, es decir, la energía máxima que puede proporcionar un aerogenerador, ya que está directamente unida al número de aerogeneradores necesarios para llegar a la potencia total del parque. La potencia nominal depende de las características del molino eólico, como la altura o el diseño de las palas y, usualmente, es directamente proporcional al tamaño del aerogenerador. Puesto que la potencia del parque es de 50MW, se van a buscar posibles modelos con una potencia nominal mayor a 4 MW, para disminuir así el número de aerogeneradores a emplazar y facilitar la construcción.

Por otro lado, hay que considerar las características físicas de la turbina ya que, además de estar relacionadas con la potencia nominal, son importantes para estudiar las condiciones del viento. En este caso, se ha medido la velocidad media del viento a una altura de 100 metros, así que sería efectivo que la altura del buje se aproxime a este valor, aunque luego se aplicará un factor de corrección de velocidad en función de la altura a la que se encuentre.

Tras realizar una exhaustiva búsqueda de los aerogeneradores que más se puedan ajustar al proyecto, se han seleccionado tres opciones de distintas marcas: Siemens Gamesa, Enercon y General Electric. A continuación, se muestra una tabla con las principales características de cada uno de ellos.

Marca	Referencia	Potencia nominal (MW)	Rotor diámetro (m)	Alturas posibles (m)	Clase viento
Enercon	E-126 EP4	4.2	127	99, 135, 144	IIA
SG	6.6-170	6.6	116	80, 90, 94	IIS/IIIS
GE	GE-158	5.3	158	150	IIB/IIIA

Tabla 3- Alternativas de aerogeneradores

3.3 SELECCIÓN AEROGENERADOR Y NÚMERO

Para escoger el aerogenerador, se ha realizado un análisis energético para cada modelo (Capítulo 9, Apartado 1), calculando la energía anual que genera, el factor de carga y las horas equivalentes. Tras comparar los datos obtenidos se selecciona el modelo que cuente con el mayor factor de carga, parámetro que muestra el porcentaje de tiempo que la turbina trabaja a potencia nominal, indicando el rendimiento para un determinado emplazamiento.

Los resultados obtenidos del estudio energético son:

	Energía neta (MWh)	Potencia nominal (MW)	Horas equivalentes	Factor de carga
E-126 EP4	10635,97	4,20	2532,37	0,29
SG-6.6	17450,27	6,60	2643,98	0,30
GE-158	15166,33	5,30	2861,57	0,33

Tabla 4- Principales resultados del análisis energético

Siguiendo el criterio explicado con anterioridad, es decir, elegir el aerogenerador que tenga el mayor factor de carga, se puede seleccionar el modelo a emplear.

En primer lugar, es necesario tener en cuenta que un parque eólico se considera rentable si el factor de carga supera el 30%. Considerando esto, se descarta la primera opción, que cuenta con un factor de carga del 29%.

Comparando la energía neta anual que produce cada alternativa, la mejor opción sería el modelo de Siemens Gamesa de 6.6MW ya que su producción es mayor. Sin embargo, no es el aerogenerador que mejor se ajusta al entorno en el que se posiciona, puesto que el modelo de General Electric tiene un mayor factor, por lo que funcionará más horas a su potencia nominal, con un total del 33% de sus horas en funcionamiento.

En conclusión, el modelo con mayor rentabilidad energética es el GE-158/5.3 de General Electric. Además, hay que tener en cuenta que los cálculos se han realizado para una altura de buje de 100m (7,7 m/s de velocidad media) y la altura de este modelo es de 150 m/s (8,3 m/s), por lo que la energía generada será mayor que la calculada y, por tanto, también lo será su factor de carga y horas equivalentes.

Las principales características del modelo seleccionado son:

General		
Fabricante		General Electric
Modelo		GE-158/5.3
Potencia nominal	kW	5300
Rotor		
Diámetro	m2	158
Área barrida	m2	19607
Regulación de potencia		Control ángulo de paso
Velocidad de arranque	m/s	3
Velocidad de corte	m/s	25
Ráfaga máxima de supervivencia	m/s	80
Generador		
Tipo		Inducción doblemente alimentado
Torre		
Altura		150
Transformador		
Relación		0,69/30 kV
Tipo		Dyn11
Potencia		6228 kVA

Tabla 5- Características aerogenerador GE-158/5.3

Con este modelo y para un parque eólico de 50 MW harán falta 10 aerogeneradores. Este cálculo se realiza con el cociente entre la potencia total del parque y la potencia nominal del modelo seleccionado.

$$n^{\circ} \text{aero} = \frac{Pt}{Pn} = \frac{50}{5,3} = 9,43 \approx 10 \text{ aerogeneradores}$$

CAPÍTULO 4: DISEÑO DEL PARQUE

En este capítulo se va a realizar el diseño de la disposición de los aerogeneradores en la ubicación seleccionada. Para ello, se van a explicar los efectos que interfieren en la llegada del viento a los aerogeneradores y como pueden afectar a la energía generada. Se van a plantear posibles opciones para ubicar los aerogeneradores y se seleccionará el que mayor energía neta proporcione siguiendo los mismos pasos que en el apartado anterior.

Antes de comenzar, hay que recordar que se van a colocar 10 aerogeneradores de General Electric GE-158/5,3 para conseguir una potencia total de 50MW.

4.1 CAUSAS Y EFECTOS MODIFICADORES DEL VIENTO

4.1.1 Obstáculos del viento

Los obstáculos del viento son todos aquellos elementos que pueden modificar las características del viento, como la dirección, velocidad, turbulencia, etc., al impactar con éstos. La variación del viento depende principalmente de la porosidad del obstáculo, es decir, de la densidad que tenga. Por ejemplo, un edificio tiene muy poca porosidad y, por tanto, modificará totalmente la trayectoria del viento que impacta en él, mientras que un arbusto es mucho menos denso y poroso y las propiedades del viento que lo atraviesa no se modificarán tanto.

En el caso de que los obstáculos sean los propios relieves montañosos, ya que suele ser donde se ubican los parques eólicos, la principal consecuencia cuando el viento llega es la creación de turbulencias. Se genera el llamado abrigo del viento, donde parte de la energía que contiene el viento se pierde, además de que el rotor sufre daños y se deteriora debido a las variaciones del viento.

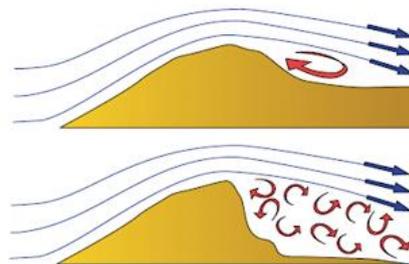


Ilustración 13- Ejemplo de turbulencias debidas a obstáculo

Por tanto, es muy importante conocer la orografía para evitar posibles desviaciones que puedan disminuir la cantidad de viento que reciben las palas de la turbina. La mejor opción es situar los aerogeneradores en lo alto de la colina o montaña, ya que así es menos probable que el viento interfiera con algún obstáculo y el aerogenerador no sufre daños por las turbulencias generadas.

4.1.2 Efecto estela

Es el efecto que se produce debido a la presencia de los aerogeneradores. Puesto que estos se pueden considerar obstáculos, cuando el viento atraviesa las palas del rotor se genera un abrigo de viento tras el aerogenerador que modifica la velocidad del viento detrás de él.

Este fenómeno se produce ya que, al llegar el viento al aerogenerador, parte de su energía es absorbida para convertirla en energía eléctrica y, por tanto, el viento que sale de la turbina contiene menos energía. La consecuencia es que la turbulencia del viento varía y la velocidad se ralentiza, por lo que el aerogenerador posterior no puede absorber tanta energía como se espera.

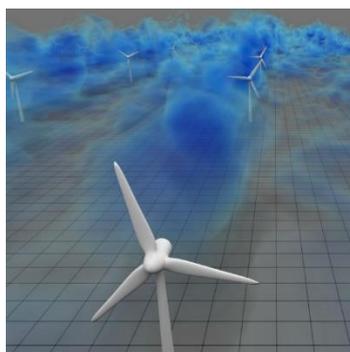


Ilustración 14- Efecto estela de un aerogenerador

Dicho esto, al diseñar un parque eólico se debe tener en cuenta el efecto estela para que un aerogenerador condicione lo menos posible las características del viento que llegan al siguiente y maximizar así la energía obtenida.

4.1.3 Efecto parque

Para que las condiciones en las que llega el viento a un aerogenerador estén lo menos alteradas posibles por el efecto estela, se deben colocar las torres a una distancia específica entre ellas. Lo más óptimo sería separar las torres lo máximo posible, pero ya que la extensión del parque es limitada y hay que conectar las turbinas a red, hay una distancia máxima entre turbinas.

La única normativa vigente que regula la distancia entre aerogeneradores es el Decreto 6/2015, de 30 de enero, por el que se aprueba el Reglamento que regula la instalación y explotación de los Parques Eólicos en Canarias. Este reglamento estipula que el contorno delimitado entre torres debe ser “puntos de intersección que se generarían al trazar dos líneas paralelas a la dirección del viento dominante a una distancia de dos (2) diámetros a ambos lados del eje del rotor, y dos líneas perpendiculares a la dirección del viento dominante, una que pase a una distancia de ocho (8) diámetros del eje de simetría del fuste del aerogenerador a sotavento y otra a una distancia de ocho (8) diámetros a barlovento.”

Sin embargo, puesto que esta normativa es solo para las Islas Canarias, generalmente se toma una distancia en la dirección dominante del viento entre 5 y 9 diámetros de rotor y entre 3 y 5 diámetros en la dirección perpendicular al viento.

En este caso se van a tomar 5 diámetros en la dirección del viento y 3 diámetros en la perpendicular, el valor más pequeño de cada uno para aprovechar mejor el espacio disponible. Por tanto, aproximadamente, las distancias serán:

Diámetro (m)	Distancia paralela (m)	Distancia perpendicular (m)
158	790	474

Tabla 6- Distancia entre torres

4.2 ESCENARIOS DE DISEÑO

Se van a estudiar dos posibles escenarios de posición de los aerogeneradores para compararlas entre sí y seleccionar la más rentable energéticamente. Para ello, se van a dibujar en AutoCAD los diseños con las medidas mínimas y, posteriormente, se va a realizar la simulación de ambas propuestas con el programa SAM (System Advisor Model) para comparar la producción energética de cada una y elegir así la mejor disposición.

Previamente y a modo de resumen, hay que recordar que se van a colocar 10 aerogeneradores de General Electric GE-158, con una potencia nominal de 5,3MW.

Para realizar el trazado en AutoCAD, es necesario descargar la imagen JPG en Google Earth Pro y después importar la imagen a AutoCAD con la escala correcta. En este caso la escala es de 1:200. Antes de posicionar los aerogeneradores, se dibujan las líneas auxiliares que cumplen con las distancias mínimas en paralelo y perpendicular a la dirección predominante del viento (sudeste). Así, los aerogeneradores han de estar sobre las líneas rojas que se muestran a continuación:



Ilustración 3- Líneas auxiliares donde posicionar aerogeneradores

4.2.1 Escenario 1

La primera alternativa que se ha realizado es la siguiente, con aerogeneradores tanto en serie como en paralelo:



Ilustración 46- Alternativa 1 en Google Earth. Fuente: Elaboración propia

Las coordenadas de estos puntos son:

Alternativa 1	Latitud	Longitud
Punto 1	40,9146497	-1,8895649
Punto 2	40,9088864	-1,8828633
Punto 3	40,9080258	-1,883263
Punto 4	40,9131031	-1,8876224
Punto 5	40,9119301	-1,8927275
Punto 6	40,9137665	-1,8960184
Punto 7	40,914779	-1,8984058
Punto 8	40,9183608	-1,9043242
Punto 9	40,9163443	-1,899208
Punto 10	40,918316	-1,8950406

Tabla 7- Coordenadas de la Alternativa 1

4.2.2 Escenario 2

Para la otra opción, se ha tratado de colocar los aerogeneradores en línea, para intentar evitar el efecto estela lo máximo posible. Así, la disposición queda como:

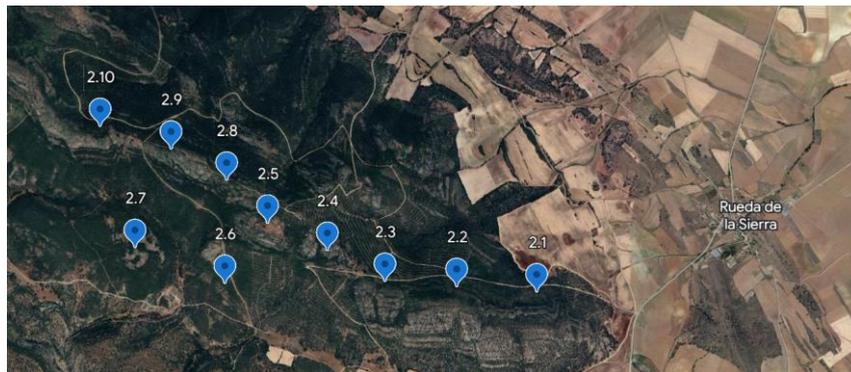


Ilustración 17- Alternativa 2 en Google Earth. Fuente: Elaboración propia

Las coordenadas de estos puntos son:

Alternativa 2	Latitud	Longitud
Punto 1	40,9148323	-1,8953653
Punto 2	40,911514	-1,8783459
Punto 3	40,9134833	-1,8887232
Punto 4	40,9146867	-1,8899319
Punto 5	40,9160649	-1,8948898
Punto 6	40,9124166	-1,8994693
Punto 7	40,9147076	-1,9061002
Punto 8	40,9187258	-1,8996686
Punto 9	40,9188686	-1,8995799
Punto 10	40,918484	-1,9032037

Tabla 8- Coordenadas de la alternativa 2

4.3 SIMULACIÓN DE LOS ESCENARIOS

Para seleccionar el mejor diseño del parque se va a realizar una simulación energética de cada caso utilizando el software SAM (System Advisor Model). Se trata de un programa desarrollado por NREL (National Renewable Energy Laboratory) que permite elaborar análisis y evaluaciones energéticas y económicas sobre proyectos de energías renovables.

A continuación, se va a explicar de forma teórica los pasos y datos que necesita el programa para llevar a cabo una simulación energética, y los parámetros introducidos en este caso. Cabe mencionar que estos cálculos no son exactos, ya que se necesitaría haber estudiado las condiciones del viento del emplazamiento durante un largo periodo para poder suministrar los datos al programa. Sin embargo, al ser un trabajo académico, no se cuenta con estos datos, por lo que se va a realizar una aproximación de la velocidad media y dirección de un punto en concreto. Se ha seleccionado el mismo punto que en el apartado de [Cálculos justificativos](#) (coordenada 40.91948°, -1.890335) con una altura de 200 metros de torre, ya que las únicas opciones son 100 y 200 metros.

Los datos que necesita el programa son:

1. **Elección del tipo de análisis a realizar:** Se debe seleccionar el tipo de proyecto a realizar. SAM cuenta con las siguientes opciones para llevar a cabo su análisis:

Choose a performance model, and then choose from the available financial models.	
> Photovoltaic	> Power Purchase Agreement
> Energy Storage	> Distributed
> Concentrating Solar Power	Merchant Plant
> Marine Energy	LCOE Calculator (FCR Method)
Wind	No Financial Model
Fuel Cell - PV - Battery	
Geothermal	
Solar Water Heating	
Biomass Combustion	
Generic System	

En este caso, se ha elegido “Wind no financial model”, puesto que el estudio económico se realizará posteriormente.

2. **Recurso eólico:** El siguiente paso es describir las características del viento del lugar. Para ello, SAM cuenta con tres opciones distintas:
 - a. Wind Resource File: El programa proporciona una serie de documentos con datos para ciertos emplazamientos de Estados Unidos y sus características principales. Si se conoce la orografía de nuestra ubicación, se podría elegir un archivo con propiedades similares.
 - b. Wind Speed Weibull Distribution: El usuario puede adjuntar los parámetros que describen la función de Weibull para una altura determinada (no importa si la altura de medición no es la misma que la de la torre, ya que después también se añade ese dato al programa).
 - c. Wind Resource Probabilily Table: En este caso hay que introducir manualmente las características del viento en la zona. El programa necesita la media de la velocidad del viento por cada sector de la rosa de los vientos con la frecuencia a la que sopla en esa dirección.

Se va a realizar la tabla con las velocidades promedio para cada sector, ya que es la fuente más exacta de datos y puede proporcionar mayor fiabilidad en los resultados. La media de la velocidad se va a calcular gracias a la rosa de frecuencia de velocidades interactiva del Mapa Eólico Ibérico, que muestra la frecuencia con la que el viento lleva cada rango de velocidades. Con estos datos, se puede realizar la media de los 16 sectores:

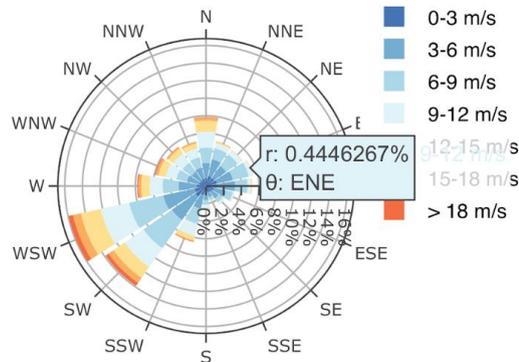


Ilustración 58- Rosa de frecuencias de los vientos para la ubicación seleccionada con ejemplo de frecuencia de una velocidad dada. Fuente: Mapa Eólico Ibérico

Por tanto, los datos a introducir en SAM serían:

Wind, No financial

Wind Resource Probability Table
▼

Define the Wind Resource using a Table of Probabilities

Wind Speed (m/s)	Wind Direction (deg)	Probability
5.74325	22.5	0.048
5.76094	45	0.052
5.95901	67.5	0.044
6.19775	90	0.042
8.09471	112.5	0.07
7.81328	135	0.0593
7.75145	157.5	0.0594
8.25055	180	0.0705
7.69628	202.5	0.0698
8.68351	225	0.1616
8.24494	247.5	0.1526
6.98023	270	0.0666
5.48302	292.5	0.0243
4.58092	315	0.0093
4.86486	337.5	0.0111
6.88023	360	0.066

Ilustración 69- Parámetros introducidos en SAM para la distribución de Weibull.

3. **Turbina eólica:** Para que el programa sepa que modelo se va a utilizar hay dos opciones también:
 - a. Escoger uno de los modelos que el programa tiene almacenados en su base de datos.
 - b. Introducir manualmente las características del modelo seleccionado.

El aerogenerador que se va a utilizar en este proyecto, GE-158/5.3, no está incluido en los datos de SAM, por lo que se van a escribir sus propiedades manualmente.

Define turbine design characteristics	
Rated output	5,300.00 kW
Rotor diameter	158.00 m
Hub height	150 m
Shear coefficient	0.14
User-defined rated output	5300 kW
User-defined rotor diameter	158 m
Maximum Cp	0.45
Maximum tip speed	85 m/s
Maximum tip-speed ratio	8
Cut-in wind speed	3 m/s
Cut-out wind speed	25 m/s
Turbine elevation (above sea level)	1,350 m
Drive train design	Direct Drive
Blade design	Advanced Design
Tower design	Advanced Design

Ilustración 20- Características aerogenerador

4. **Parque eólico:** A continuación, hay que introducir las coordenadas de los aerogeneradores. Este es el único punto en el que las dos simulaciones difieren, puesto que las coordenadas son distintas. Hay dos opciones para hacerlo:
 - a. Utilizar el editor de SAM para emplazar los aerogeneradores con las distancias y dirección que el usuario decida.
 - b. Importar un fichero con las coordenadas específicas de los aerogeneradores

En este caso se ha elegido la segunda opción, con las coordenadas descritas en las tablas 15 y 16. En el siguiente apartado se mostrarán ambos casos.

5. **Pérdidas:** El último paso es incluir las pérdidas del parque. Se van a dejar los valores proporcionados por SAM, ya que no sabemos con exactitud cuales serían las pérdidas de nuestro parque en específico. Estas se dividen en:
- a. Pérdidas por el efecto estela: Explicadas anteriormente, son la consecuencia de la pérdida de energía del viento al pasar por las palas del rotor.
 - b. Pérdidas por disponibilidad: Se refiere a la diferencia entre la energía obtenida y la que se habría absorbido si el parque estuviera operativo todas las horas posibles.
 - c. Pérdidas eléctricas: Se tratan de las pérdidas durante la generación y transporte de energía eléctrica.
 - d. Pérdidas de rendimiento: Son las pérdidas debidas al rendimiento de la propia turbina. La curva de potencia ha de ajustarse a la densidad del aire a la altura del buje, por lo que no se genera la potencia que proporciona el fabricante.
 - e. Pérdidas ambientales: Se tratan de las posibles pérdidas por factores ambientales, como la temperatura, heladas...
 - f. Pérdidas por restricciones: Pueden ocurrir cuando la capacidad del parque energética o eléctrica es menor a la que está produciendo en un determinado instante.

En conclusión, SAM calcula las siguientes pérdidas para un parque general:

Wind, No financial	
Wind Resource	
Wind Turbine	
Wind Farm	
Losses	
Uncertainties	
Grid Limits	
Simulate >	
Parametrics	Stochastic
P50 / P90	Macros

Wake Losses
Internal Wake loss can be set as a constant percent loss on the Wind Farm page, under Wake Effects, by choosing the Constant Loss Wake Model. Otherwise Internal Wake Loss will be zero and will be calculated using the given Wake Model.

Internal wake % External wake % Future wake %

Total wake losses %

Availability Losses
Energy-based availability is the amount of energy produced as a percentage of the total amount of energy that the wind plant could have captured if turbines were always ready to generate power.

Turbine % Balance of plant % Grid %

Total availability losses %

Electrical Losses
Electrical losses from a wind farm are the energy losses inherent in energy transmission in collector lines, transformers, and other site equipment and transmission to the point of revenue metering.

Efficiency % Parasitic consumption %

Total electrical losses %

Turbine Performance Losses
Turbine performance losses represent the amount of energy that is not produced by a wind turbine at a given wind speed compared to the OEM power curve.

Sub-optimal performance % Generic power curve adjustment %

Site-specific power curve adjustment % High wind hysteresis %

Total turbine performance loss %

Environmental Losses
Turbine performance losses represent the amount of energy that is not produced by a wind turbine at a given wind speed compared to the OEM power curve.

Icing % Degradation %

Environmental % Exposure changes %

Total environmental loss %

Curtaiment / Operational Strategies Losses
The deliberate management of a wind plant to reduce the amount of energy compared to what is possible from the available resource.

Load curtaiment % Grid curtaiment %

Environmental and permit curtaiment % Operational strategies %

Curtaiment and operational strategies loss total %

Ilustración 217- Pérdidas porcentuales que calcula el programa SAM.

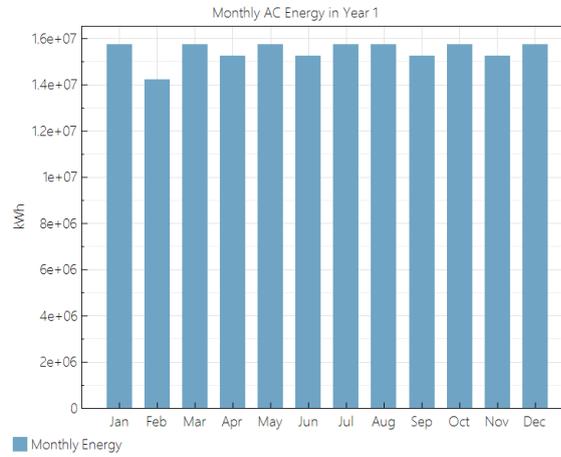
Las pérdidas totales calculadas suman un 17.75% de la energía total. Este valor difiere bastante del utilizado en el apartado anterior para escoger el modelo de aerogenerador, donde se han calculado unas pérdidas de aproximadamente el 10% de la energía bruta. Sin embargo, ya que la altura del buje es mayor que la que se ha utilizado al realizar el estudio energético (donde se ha generalizado para una altura de 100m), la energía bruta y el factor de carga serán mayores. Una vez explicados los pasos a seguir para realizar las simulaciones, falta importar los documentos con las coordenadas de ambas alternativas.

4.5 SELECCIÓN DEL ESCENARIO

Una vez incorporados ambos documentos, se obtienen los siguientes resultados:

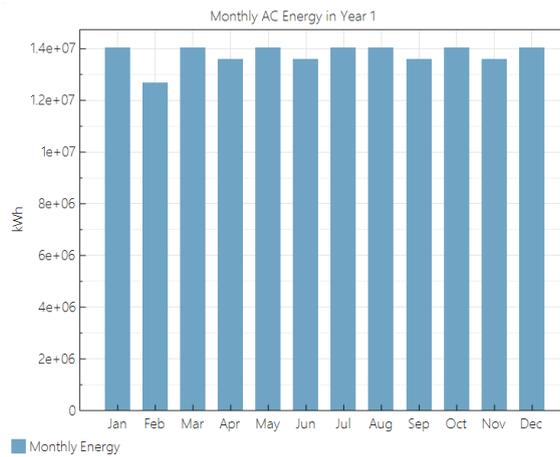
Alternativa 1:

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	185,393,424 kWh
Capacity	53,000 kW
Capacity factor in Year 1	39.9%



Alternativa 2:

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	165,178,832 kWh
Capacity	47,700 kW
Capacity factor in Year 1	39.5%



Comparando ambos resultados, se puede observar que la primera alternativa tiene mayor energía producida y factor de carga, por lo que se va a seleccionar ese diseño de parque eólico. En resumen, el emplazamiento del parque será la primera propuesta realizada, con una energía anual de 185.393,424 MWh y un factor de carga del 39,9%.

CAPÍTULO 5: CIMENTACIÓN

En este apartado se van a explicar las características que se debe tener en cuenta para seleccionar el tipo de cimentación y a elegir cuál se va a utilizar en este caso. Sin embargo, debido a que no es el objetivo final de este proyecto, no se van a realizar los cálculos para obtener las medidas exactas de las zapatas. Estos valores son proporcionados por la empresa fabricante del aerogenerador, General Electric, que recomienda las medidas exactas dependiendo del modelo.

5.1 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL DISEÑO DE LA ZAPATA

Para realizar el cálculo de la cimentación y escoger el tipo más adecuado, es necesario considerar ciertas propiedades tanto del suelo en el que se va a construir como de la estructura en sí. Estos factores son:

- Capacidad de carga del terreno: Es la capacidad máxima que posee el suelo para soportar cargas de la cimentación sin que se produzcan fallas por la compresión que ejerce la estructura. La capacidad de carga está relacionada con el tipo de suelo en el que se encuentra, la localización y la profundidad, por lo que antes de realizar los cálculos de cargas y acciones, es necesario llevar a cabo un estudio geotécnico para conocer las propiedades del suelo.
- Cargas: Para realizar el diseño de la zapata es necesario conocer las cargas del aerogenerador y las diferentes combinaciones que tienen según su estado. Esta información se encuentra normalizada en el UNE-EN ISO 61400-1, documento en el que se establecen los requisitos estructurales y de diseño de los aerogeneradores para asegurar la calidad, seguridad y rendimiento de éstos. Las cargas se pueden clasificar en:
 - Cargas estáticas: Compuestas por el peso de la góndola, torre y la zapata. Estas cargas se transmiten perpendicularmente al centro geométrico de la zapata generando un axil(N) en este punto.
 - Cargas aerodinámicas: Carga que produce el viento al incidir sobre las palas y la torre. Se considera un sistema de cargas horizontales repartidas que crean un cortante(V) y momento flector(M) en la zapata. Por simplificación, se considera que la fuerza del viento que incide sobre las palas se concentra en el centro del buje.
- Estados límite: Por último, para el dimensionado de la zapata es necesario tener en cuenta los estados límites. Se puede distinguir entre:
 - Estados límite de servicio (ELS): Relacionados con requisitos estéticos o de servicio como la distorsión angular o el asiento.
 - Estados límite últimos (ELU): Asociados al fallo estructural de la cimentación por hundimiento, deslizamiento o vuelco debido a la geometría de esta o con el colapso del terreno debido a las características del material con el que se construye la zapata.

Las dimensiones de la cimentación están directamente relacionadas con los valores de los estados límites permitidos para cada distribución de cargas y los coeficientes de seguridad que han de tenerse en cuenta.

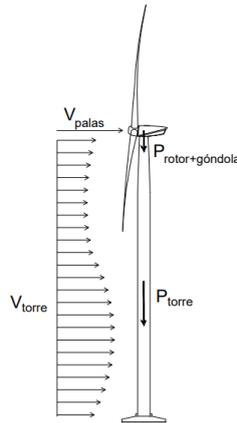


Ilustración 228- Cargas aplicadas sobre el aerogenerador.

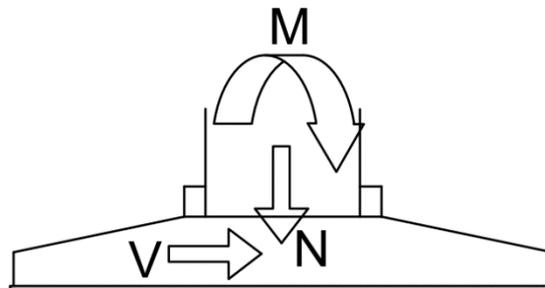


Ilustración 23- Acciones producidas sobre zapata. Fuente: Elaboración propia mediante AutoCAD

Tipos de zapata

La geometría de la zapata depende de cada parque eólico, ya que varía tanto con el modelo elegido como con el emplazamiento en el que se sitúa. Las principales características de la zapata son la forma de la base y la manera en la que se adhieren al suelo y distribuyen las cargas. Se pueden encontrar diversas formas, desde circulares hasta rectangulares, cada una con sus características y ventajas. Además, respecto al modo de anclaje al suelo, hay una serie de cimentaciones frecuentes según las características del terreno. Estas son:

- Cimentación superficial o aislada: La zapata hecha de hormigón se apoya directamente sobre el suelo y le transmite las cargas uniformemente mediante el contacto con éste. Se utiliza en ubicaciones donde el suelo tiene una gran capacidad portante y no es necesario reforzarla.
- Cimentación con pilotes: Por otra parte, este tipo de zapatas se utilizan cuando el suelo no tiene suficiente capacidad portante y es necesario reforzarlo para que pueda soportar las cargas del aerogenerador sin sobrepasar los valores de estado límites. A la base de hormigón se le añaden pilotes verticales en la parte inferior que se encargan de transmitir las cargas al suelo.

5.2 ELECCIÓN

Como se ha comentado anteriormente, en este trabajo no se va a realizar el cálculo exacto de las dimensiones de la zapata, pero sí se va a seleccionar la geometría de ésta. Se ha elegido una zapata circular con chaflán sujeta mediante cimentación superficial, hecha de hormigón armado. A continuación, se va a explicar los motivos que han conducido a esta conclusión:

- Características del suelo: El parque se va a ubicar en zona montañosa, por lo que se puede considerar que el suelo tiene una alta capacidad portante y no es necesario incluir pilotes para aumentar su capacidad.
- Distribución de cargas: Por una parte, la forma circular permite el reparto radialmente simétrico de cargas al suelo, lo que minimiza la concentración de tensiones en un punto, además de que, al no haber zonas angulares, la zapata es también menos propensa a sufrir concentración de tensiones en las esquinas. También cuenta con una mayor resistencia a momentos de torsión que la zapata cuadrada.
- Material: La cantidad de material a utilizar es menor que en una zapata cuadrada o con pilotes. Primero, la cantidad de acero en un armado radial es menor que en uno cuadrado, aunque cuenta con la desventaja de que su producción es más costosa. Segundo, las dimensiones para la zapata son menores que en el caso de haber escogido otra forma y el chaflán permite minimizar la cantidad de hormigón a utilizar sin alterar en exceso la distribución de cargas al suelo.
- Para determinar el tipo de hormigón y de acero, habría que analizar las tablas de clases de exposición que se encuentran en el EHE-08, Real Decreto 1247/2008, de 18 de julio, por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural. En este documento está la normativa relacionada con las características del hormigón armado que ha de utilizarse en cada caso, así como los coeficientes de seguridad de los materiales para realizar los cálculos de estados límites.

Parámetro de dosificación	Tipo de hormigón	CLASE DE EXPOSICIÓN												
		I	Ila	Ilb	IIla	IIlb	IIlc	IV	Qa	Qb	Qc	H	F	E
resistencia	masa	20	-	-	-	-	-	-	30	30	35	30	30	30
Mínima (N/mm ²)	armado	25	25	30	30	30	35	30	30	30	35	30	30	30
	pretensado	25	25	30	30	35	35	35	30	35	35	30	30	30

Ilustración 24- Ejemplo de tipos de hormigón según la clase de exposición

Las medidas de estas cimentaciones y materiales se establecen a modo orientativo para realizar los cálculos de presupuesto y obra civil, estando basadas en otros proyectos con características similares. Así las dimensiones que se van a escoger son un diámetro exterior de 20m y altura de 3m con canto de 1 m hasta un diámetro interior de 17 m, con hormigón HA-30/L/20/XC2 y acero B 500 S.

CAPÍTULO 6: DIMENSIONADO DE RED ELÉCTRICA

En este apartado se va a describir los elementos que componen la red de media tensión y a realizar la conexión de los aerogeneradores a la subestación eléctrica ST Fuentelsaz de 30/220KV, que distribuirá la energía a las localidades cercanas.

El aerogenerador escogido lleva incorporado un transformador de B.T/M.T en el interior de la góndola con un potencia de 6226kVA y una relación de transformación de 0,69/30kV.

Se va a realizar la conexión de la salida de cada transformador a la subestación. Para ello, se calculan las dimensiones de los cables a utilizar y para asociar unos aerogeneradores a otros, se incluyen cabinas de media tensión. Además, estas cabinas sirven también como protección frente sobreintensidades, sobretensiones y cortocircuito.

Por último, se realiza la red de tierras del parque eólico que comprende los aerogeneradores y la red de media tensión, para limitar las tensiones de paso y de contacto.

6.1 CELDAS DE MEDIA TENSIÓN

Todos los aerogeneradores cuentan con una cabina de media tensión ubicada en un quiosco al lado de su base, que les permite conectarse a la red y protegerse contra situaciones imprevistas. Existen distintas cabinas con diversas funciones dependiendo de la situación en la que se pongan. Cada cabina está formada por varias celdas en serie, siendo los principales tipos:

- Celda de línea (1L): Su función es realizar maniobras en la red de media tensión. No protege la red.
- Celda de remonte (OL): Lleva a cabo la conexión de la red con las celdas, conectando así los aerogeneradores entre ellos.
- Celda de protección (1A): Como su nombre indica, se encarga de proteger el transformador del aerogenerador frente sobreintensidades.

Las composiciones de celdas más comunes son:

- OL+1A: Celda de remonte con una celda de protección. Usualmente se coloca en los transformadores de inicio de línea.
- OL+1L+1A: Celda de remonte con celda de protección y de línea. Se ubican en los aerogeneradores intermedios.
- OL+2L+1A: Celda de remonte con dos celdas de línea y una de protección. Se utilizan en aerogeneradores conectados a más de una línea.

6.1.1 Selección cabinas

Las cabinas que se van a colocar son de la marca Schneider Electric, con celdas tipo DVCAS 36 kV, fabricadas expresamente para centros de transformación en parques eólicos.

Estas celdas están aisladas en gas SF₆ y permiten realizar combinaciones de hasta 4 celdas para formar las cabinas oportunas.

Además, su diseño permite que se coloquen tanto en el interior como en el exterior del aerogenerador. En su interior cuenta con una cuba de acero inoxidable, que contiene toda la aparamenta eléctrica, estanca y sellada, lo que impide que el operario entre en contacto con las partes activas de red.

Las principales características técnicas de la celda DVCAS son:

	Unidad	DVCAS 36kV
Tensión nominal	kV	36
Frecuencia	Hz	50/60
Intensidad nominal	A	630
Intensidad de cortocircuito (valor eficaz)	kA/s	20/3
Intensidad de cortocircuito (valor cresta)	kA	50/52
Nivel de aislamiento a frecuencia industrial (50/60Hz)	kV	70
Resistencia frente a arcos internos	kA/s	20
Presión del gas SF6 a 20°C	bar	0,3
Temperatura de operación	°C	-40 a +40
Temperatura de almacenamiento	°C	-40 a +50

Tabla 9- Características técnicas DVCAS 36kV

Estos valores técnicos y el diseño de las celdas han sido regulados mediante las siguientes normas:

- IEC 62271-1: Aparamta de alta y media tensión
 - IEC 62271-100: Interruptores de corriente alterna de alta tensión
 - IEC 62271-102: Desconectores y puestas a tierra de corriente alterna
 - IEC 62271-200: Conjuntos de aparamta de corriente alterna bajo envolvente metálica, para tensiones de más de 1 kV hasta 52 kV
- IEC 60265-1: Interruptores-seccionadores para tensiones superiores a 1 kV y menores 52 kV
- IEC 60529 Grados de protección para envolventes (Código IP)

6.1.2 Distribución cabinas

Siguiendo el criterio explicado anteriormente para formar cabinas dependiendo de la posición de los aerogeneradores en la línea, se ha escogido la siguiente distribución de celdas:

Circuitos de M.T.		
	Nº aerogenerador	Tipo de cabina
Circuito 1	1	0L+1A
	2	0L+1L+1A
	3	0L+1L+1A
	4	0L+1L+1A
	5	0L+1L+1A
Circuito 2	8	0L+1A
	7	0L+1L+1A
	9	0L+1L+1A
	10	0L+1L+1A
	6	0L+1L+1A

Tabla 10- Distribución cabinas de M.T.

6.1.3 Características de las celdas

La celda de línea cuenta con un interruptor-seccionador de 3 posiciones: conectado, desconectado y puesto a tierra. Son de categoría de usos generales, para maniobra frecuente (100 maniobras), según IEC 60265-1. Disponen de capacidad de cierre en cortocircuito, tanto en la operación de cierre del interruptor- seccionador como de la puesta a tierra de cables.

La celda de protección incorpora un interruptor automático de vacío y un seccionador de 3 posiciones. La capacidad de cierre contra cortocircuito, tanto del seccionador como de la puesta a tierra, la garantiza el interruptor automático. La intensidad de cortocircuito es de 20kA durante un intervalo de 3 segundos.

Todas las celdas cuentan con compartimento de cables de MT con pasatapas a bornes de conexión e indicadores de presencia de tensión, además de sistema de puesta a tierra mediante los seccionadores.

La distribución de celdas se realiza siempre de la misma forma: a la izquierda la celda de línea, después la celda de protección y, por último, la celda de remonte que permite la entrada de línea hacia el aerogenerador posterior. Es decir, los conductores entran por la celda de línea de la izquierda y salen por la celda de remonte hacia el siguiente aerogenerador.

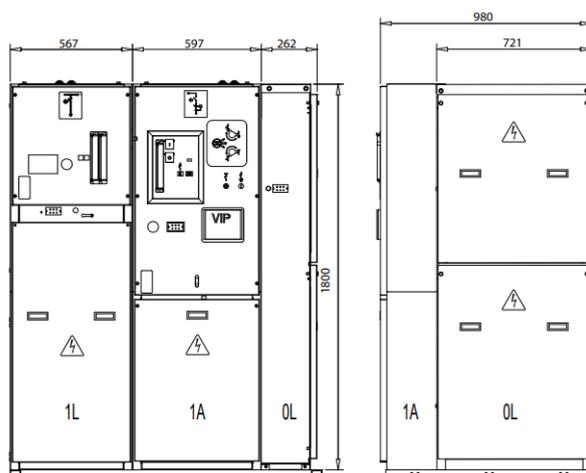


Ilustración 25- Dimensiones celdas de M.T. Fuente: Ficha técnica módulos DVCSA

6.3 DISEÑO RED MEDIA TENSIÓN

Para simplificar el diseño de la red, se ha decidido dividir la instalación eléctrica en dos circuitos distintos, los cuales se conectan en serie a la salida de tensión de cada aerogenerador y circulan subterráneos a una distancia de 1 metro de profundidad en el interior de tubos. A la salida del parque, ambos circuitos discurrirán en paralelo hasta llegar a la subestación eléctrica.

Las zanjas de conducción subterránea del parque transitarán en su mayoría paralelas a los caminos en las zonas donde no haya vegetación de interés, o por zonas despejadas de vegetación.

El cable seleccionado es de tipo X-VOLT RHZ1 AL / OL / 2OL de aluminio con asilamiento de XLPE (polietileno reticulado) de 18/30 kV, normalizado según UNE-EN 60228. El fabricante proporciona su propia tabla con las intensidades máximas admitidas por sección.

Las características principales son:

- Características eléctricas
 - MEDIA TENSIÓN 6/10 kV, 8,7/15 kV, 12/20 kV y 18/30 kV
- Características térmicas
 - Temperatura máxima del conductor: 90°C.
 - Temperatura máxima en cortocircuito: 250°C (máximo 5 s)
 - Temperatura mínima de servicio: -15 °C
- Capas del cable:
 1. Conductor de aluminio clase 2
 2. Pantalla semiconductora interna. Fabricado con material termoestable
 3. Aislamiento de polietileno reticulado (XLPE)
 4. Pantalla semiconductora externa. Material semiconductor pelable
 5. Pantalla metálica hecha de corona de alambres de cobre, con una sección mínima de 16mm².
 6. Obturación longitudinal
 7. Cubierta exterior

*Las secciones de cada capa están descritas en la tabla de propiedades del cable en el Anexo.

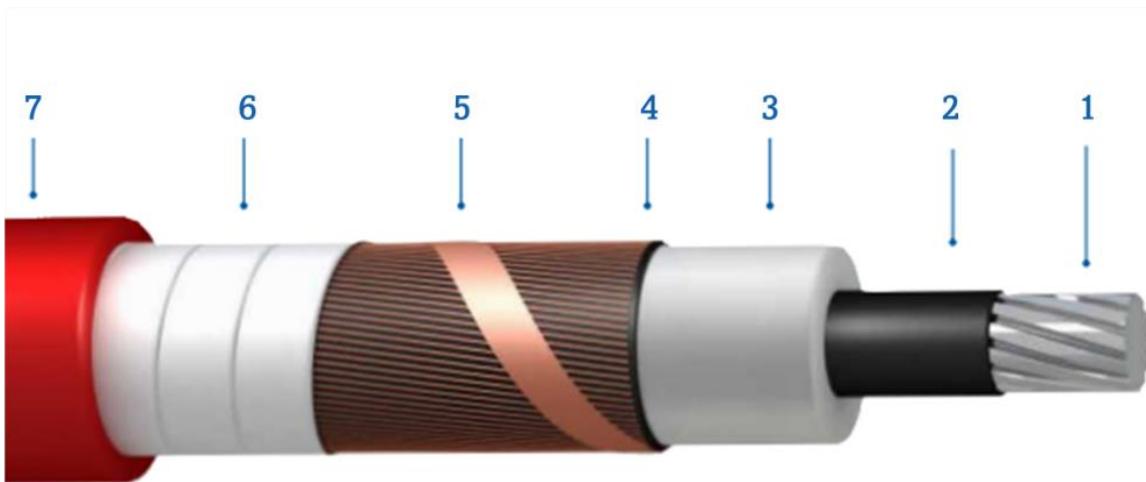


Ilustración 96- Detalle del cable seleccionado. Fuente: Ficha técnica TopCable.com

Las distribución del circuito y las secciones de los cables en los distintos tramos son las siguientes:

Tramo	Sección(mm2)	Disposición
Circuito 1		
A1-A2	50	3x(1x50) mm2 Al
A2-A3	120	3x(1x120) mm2 Al
A3-A4	95	2x[3x(1x95)]mm2 Al
A4-A5	185	2x[3x(1x185)]mm2 Al
A5-Trafo	400	5x[3x(1x400)]mm2 Al
Circuito 2		
A10-A9	50	3x(1x50) mm2 Al
A9-A8	120	3x(1x120) mm2 Al
A8-A7	95	2x[3x(1x95)]mm2 Al
A7-A6	185	2x[3x(1x185)]mm2 Al
A6-Trafo	400	5x[3x(1x400)]mm2 Al

Tabla 11- Sección cables en los distintos tramos. Fuente: Elaboración propia

A efectos de dimensionamiento, se ha decidido que la máxima sección permitida entre aerogeneradores sea de 240mm² y hasta la subestación de 400 mm², por lo que en secciones mayores a esta se ponen dos conductores por fase ubicados en diferentes tubos según el apartado 6.1.2.2.5 del ITE-LAT 06 a una distancia de 0,2 metros. Desde el último aerogenerador de cada circuito hasta la subestación, ambos circuitos circularán en paralelo a una distancia de 0,2 metros.

6.4 RED DE PUESTA A TIERRA

La puesta a tierra de la instalación consiste en la conexión metálica de los diferentes elementos del parque mediante una malla de cobre, con el objetivo de no superar las tensiones de paso y de contacto superiores admisibles, proporcionando un potencial de referencia permanente.

Se pueden diferenciar dos puestas a tierra distintas: de servicio (neutro) y de protección (masas). La puesta a tierra de servicio es la conexión de partes del circuito que suelen estar bajo tensión, en este caso los neutros de los transformadores, con el objetivo de proporcionar una referencia de potencial estable. Por otro lado, está la tierra de protección, a la que se conectan, según el ITC-RAT-13, las partes metálicas de una instalación que no estén en tensión normalmente pero que puedan estarlo a consecuencia de averías, accidentes, descargas atmosféricas o sobretensiones.

Para realizar la puesta a tierra se incluirá una red formada por un conductor de cobre de 70 mm² que circulará por la misma zanja por la que van los conductores y conectará las puestas a tierra de los aerogeneradores. La puesta a tierra de servicio conectará el neutro de los transformadores de cada transformador a la puesta a tierra del aerogenerador.

La puesta a tierra del aerogenerador estará formada por dos anillos de cobre unidos entre sí, y se realizará al mismo tiempo que la cimentación de la zapata. Los pasos a seguir para colocar la puesta a tierra son:

- Introducir en tierra 4 electrodos verticales por cada aerogenerador
- Colocar un anillo de cobre inferior y unirlo a las picas
- Establecer la jaula de acero para reforzar la zapata y conectar el anillo a la jaula mediante conectores de varilla.
- Colocar los cables de puesta a tierra en la parte superior de la jaula, y unir los conductores a la malla y de acero y al anillo inferior.
- Verter el hormigón para construir la zapata.
- Una vez el hormigón esté seco, colocar otro anillo superior y conectar los dos anillos con varillas de refuerzo.
- Por último, unir todas las partes metálicas a los conductores de puesta a tierra
- El cable de puesta a tierra irá por la misma zanja que los conductores de corriente

Además, según el ITC RAT-09, ha de incluirse sistemas de protección contra sobretensiones de tipo rayo. Se dispondrán pararrayos conectados directamente a tierra. Este sistema consta de tres partes: la captadora, la derivativa y la de puesta a tierra. Los impactos de rayos suelen producirse en las aspas del aerogenerador o en la góndola.

Para proteger las aspas de las descargas atmosféricas, se instalan a diferentes distancias captadores que atraerán las descargas. También se colocan pararrayos en la parte superior de la góndola junto los sensores de viento. Estos captadores están conectados mediante un cable de cobre a la puesta a tierra del aerogenerador.

6.5 ZANJAS ELÉCTRICAS

Para ubicar tanto los cables de media tensión como la red de puesta a tierra, se van a excavar zanjas que alojarán todos los cables en su interior. Hay 3 tipos de zanjas, dependiendo del número de conductores por fase necesarios en cada tramo. El esquema de cables es:

Número de cables según zanja		
Tipo	Cables 30kV	Puesta a tierra
Z1	1	1
Z2	2	1
Z3	5	1

Tabla 12- Esquema número de cables por zanja

La anchura y la profundidad dependerá del número de ternas necesarias, donde se alojarán, en orden ascendente:

- Red de cables de puesta a tierra
- Capa de arena fina de 100 mm de espesor y, sobre ella, los conductores de media tensión. En caso de haber más de un conductor por fase, se colocan a una distancia de 200mm entre ellos.
- Todos los cables de media tensión estarán rodeados de arena y, seguidamente se extenderá otra capa de arena fina compacta de unos 400 mm de espesor.
- Sobre esta capa se colocará una protección mecánica a base de placas de PVC.
- Por último, se extiende una capa de tierra compactada de aproximadamente 600mm de espesor. A 400mm de la superficie se colocará una cinta de plástico que servirá de señalización de existencia de cables eléctricos de media tensión.

CAPÍTULO 7: OBRA CIVIL

La obra civil necesaria para construir el parque está formada por las siguientes infraestructuras:

- Accesos externos y viales
- Plataformas
- Cimentación de los aerogeneradores
- Zanjas para cables y red de puesta a tierra
- Movimientos de tierra

7.1 ACCESOS EXTERNOS Y VIALES INTERNOS

Los accesos principales al parque eólico serán dos, uno por el este y otro por el norte. Según los viales ya existente en el emplazamiento, el acceso por el este servirá para llegar a los aerogeneradores 1, 2 3 y 4, mientras que el acceso por el norte se utilizará para los aerogeneradores restantes, es decir, el 5, 6, 7, 8, 9 y 10. No se prevé la construcción de nuevas sendas externas, pero sí la posible mejora de las existentes si las condiciones lo requieren.

Los viales internos partirán del final de los accesos y accederán a la base de los aerogeneradores que constituyen el parque. Se va a intentar hacer uso de los viales ya existentes para realizar la canalización de los conductores de media tensión y red de tierras. Los aerogeneradores se han colocado lo más próximos a las sendas para minimizar la excavación de tierras en la colina y realizar así la comunicación entre aerogeneradores por los caminos existentes. Además, estos viales han de tener la curvatura necesaria para el transporte de las palas y la torre del aerogenerador, con un mínimo de radio de 30m.

Para las zonas donde no haya vial existente se va a construir uno nuevo que cumpla con las especificaciones del fabricante. No contamos con esos datos puesto que es un trabajo académico, pero las características serán, aproximadamente:

- Vial de firme de zahorra
- Anchura de vial de 6 metros
- Pendiente máxima del 10%

7.2 PLATAFORMA

La zapata va a estar rodeada de una plataforma cuadrada que permite el acceso desde los viales internos al aerogenerador, el transporte y acopio de las palas y torre. Esta plataforma tendrá las medidas mínimas que los camiones y grúas puedan maniobrar con facilidad. Sus dimensiones serán, aproximadamente, 45m de anchura y 75m de longitud. Se realizará mediante un terraplén de zahorra, intentando aprovechar al máximo la tierra excavada.

7.3 CIMENTACIÓN

Como se ha explicado anteriormente, se va a construir una zapata circular de hormigón armado para cada aerogenerador. Al igual que los viales, las dimensiones específicas de la zapata para este modelo las proporciona el fabricante, pero al no contar con esa información se van a tomar medidas similares a otros proyectos.

El acceso de los cables de media tensión al interior de la torre se realiza a través de tubos de PVC introducidos en la base de hormigón.

7.4 ZANJAS PARA CABLES Y PUESTA A TIERRA

Por las zanjas se dispondrá la red de media tensión y red de puesta a tierra. Discurrirán por el borde de los viales del parque, en el lado más cercano a los aerogeneradores. Si fuera necesario atravesar zonas con vegetación, su profundidad será suficiente para garantizar la protección de la flora. En las zonas de plataformas, las zanjas discurrirán por el borde de la explanación.

Además, cada 40 metros aproximadamente y en los cambios de dirección se incluirán arquetas, que permiten maniobrar y controlar con mayor facilidad el cableado subterráneo.

7.5 MOVIMIENTO DE TIERRA

Antes de iniciar la construcción del parque es necesario modificar el terreno existente. Los lugares donde se va a retirar tierra son:

- Área donde se va a ubicar la plataforma y viales existentes si es necesario modificarlos
- Base del aerogenerador para ubicar la zapata
- Viales nuevos
- Zanjas: en los viales se va a realizar una excavación para colocar el cableado eléctrico y la red de puesta a tierra.

Además, se va a añadir terraplén en la plataforma y en los viales, intentando aprovechar la tierra excavada anteriormente.

CAPÍTULO 8: ANÁLISIS ECONÓMICO

Por último, se comprueba si el proyecto es viable económicamente. Para ello, se va a realizar el análisis económico, calculando finalmente el VAN y el TIR, principales criterios utilizados para comprobar si un proyecto es rentable. Cabe tener en cuenta que todos los datos escogidos son hipótesis posibles para poder realizar un análisis académico y es preferible tener una visión pesimista del futuro ya que, si el proyecto sale rentable, se podrá asegurar el beneficio de éste para cualquier otro escenario.

8.1 DATOS DE PARTIDA

Para la determinación de la viabilidad del proyecto se han tomado diferentes hipótesis que son necesarias para realizar los cálculos. Las hipótesis se presentan a continuación:

8.1.1 Producción

Con las simulaciones lanzadas mediante el programa SAM (en el Capítulo 4, apartado 3), se estima una producción neta total (energía vertida a la red) de 185.393,42 MWh/año. Esta estimación corresponde con, aproximadamente, un funcionamiento de 3495 horas equivalentes a potencia nominal (53 MW), con un factor de capacidad del 39,9%.

8.1.2 Vida útil

Se considerará una vida útil de 20 años, empezando a funcionar en 2026 hasta 2045.

8.1.3 Precio de venta

La legislación actual no establece ningún tipo de prima a la generación eólica, por lo que todos los futuros ingresos que pueda tener el parque eólico vendrán directamente de la venta de la energía eléctrica. El precio de venta del MWh varía diariamente, siendo necesario establecer un precio fijo para la obtención de los ingresos del parque eólico. La estimación del precio se obtiene de OMIP, que ofrece previsiones futuras hasta 2033. A partir de ese año, se ha extrapolado para seguir la tendencia decreciente de los precios, por lo que nos presentamos ante la situación más desfavorable posible. Así, los precios anuales de energía quedan:

Año	Precio (€/MWh)	Año	Precio (€/MWh)
2026	60,5	2036	41,80
2027	59,5	2037	41,45
2028	52,61	2038	41,53
2029	46,88	2039	40,87
2030	45,43	2040	41,34
2031	44,21	2041	40,92
2032	42,97	2042	40,55
2033	42,95	2043	39,98
2034	42,5	2044	39,62
2035	42,07	2045	39,06

Tabla 13- Precios electricidad desde 2026 hasta 2045

8.1.4 Impuestos

Los impuestos a pagar por la construcción de un parque eólico y la venta de electricidad son:

- Impuesto sobre el Valor de la Producción de Energía Eléctrica (IVPEE): Según se indica en el Art. 8 de la Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética, el impuesto se exigirá al tipo del 7% sobre el ingreso de energía anual.
- Impuesto sobre Construcciones, Instalaciones y Obras (ICIO): Este porcentaje depende del término municipal en el que vaya a realizarse la construcción. Según las normas del ayuntamiento de Guadalajara, término municipal al cual pertenece la instalación diseñada, el tipo de gravamen es del 4% de la inversión inicial total.
- Según la Ley 9/2011, de 21 de marzo, por la que se crean el Canon Eólico y el Fondo para el Desarrollo Tecnológico de las Energías Renovables y el Uso Racional de la Energía en Castilla-La Mancha, debe abonarse un total de 871 € por cada unidad de aerogenerador.
- Impuesto sobre Actividades Económicas (IAE): Según el Epígrafe 151.4 del Real Decreto Legislativo 1175/1990, de 28 de septiembre, por el que se aprueban las tarifas y la instrucción del Impuesto sobre Actividades Económicas, se debe abonar 0,721215 €/kW.
- Impuesto de Sociedades (IS): Asumiendo que la compañía que lleva a cabo el proyecto es una Sociedad Anónima (S.A.), la tasa establecida para el IS es de un 25% sobre la base imponible.
- Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA): Impuesto ya incluido en el presupuesto por contrata.

8.2 INVERSIÓN INICIAL

Los costes iniciales corresponden a la inversión realizada en:

- Movimientos de tierras
- Cimentación
- Conductos y puesta a tierra
- Elementos de las zanjas
- Cabinas de media tensión
- Aerogeneradores
- Ingeniería

Todos estos elementos ascienden a un coste total de sesenta y dos millones doscientos cincuenta y cuatro mil quinientos ochenta y seis euros con treinta y ocho céntimos (62.254.586,38 €).

8.3 COSTES OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (O&M)

Además de la inversión inicial, es necesario tener en cuenta los costes anuales que surgen del mantenimiento y las operaciones en el parque, incluyendo gastos administrativos y seguros. Según la AEMER (Asociación de Mantenimiento de Energías Renovables), la media de coste de mantenimiento para un parque de 25MW es de 600.000€ por lo que, al ser este parque del doble de potencia se va a estimar que el coste de mantenimiento y operaciones sea de 1.000.000€.

8.4 AMORTIZACIÓN

La amortización es un método que sirve para conocer contablemente el desgaste o el consumo gradual de ciertos activos a lo largo del tiempo. Se pretende que el periodo de amortización sea menor que la vida útil estimada durante la cual generarán beneficios económicos.

La amortización del proyecto se realiza de acuerdo con la tabla de coeficientes de amortización del Impuesto de Sociedades, la cual se encuentra en el Art. 12 de la Ley 27/2014, de 27 de noviembre, del Impuesto sobre Sociedades, que establece un coeficiente lineal máximo del 7%, el cual se podrá amortizar durante un período máximo de 30 años. Con este coeficiente, obtenemos:

	Coste inicial (k€)	Coeficiente lineal	Año 1 (k€)	Valor residual 1 (k€)	Año 2 (k€)	Valor residual 2 (k€)
	62.254,59	7%	4.357,82	57.896,77	4.357,82	53.538,94
Total amortizado				4.357,82		4.357,82
	Año 3 (k€)	Valor residual 3 (k€)	Año 4 (k€)	Valor residual 4 (k€)	Año 5 (k€)	Valor residual 5 (k€)
	4.357,82	49.181,12	4.357,82	44.823,30	4.357,82	40.465,48
Total amortizado		4.357,82		4.357,82		4.357,82
	Año 6 (k€)	Valor residual 6 (k€)	Año 7 (k€)	Valor residual 7 (k€)	Año 8 (k€)	Valor residual 8 (k€)
	4.357,82	36.107,66	4.357,82	31.749,84	4.357,82	27.392,02
Total amortizado		4.357,82		4.357,82		4.357,82
	Año 9 (k€)	Valor residual 9 (k€)	Año 10 (k€)	Valor residual 10 (k€)	Año 11 (k€)	Valor residual 11 (k€)
	4.357,82	23.034,20	4.357,82	18.676,38	4.357,82	14.318,55
Total amortizado		4.357,82		4.357,82		4.357,82
	Año 12 (k€)	Valor residual 12 (k€)	Año 13 (k€)	Valor residual 13 (k€)	Año 14 (k€)	Valor residual 14 (k€)
	4.357,82	9.960,73	4.357,82	5.602,91	4.357,82	1.245,09
Total amortizado		4.357,82		4.357,82		1.245,09

Tabla 14- Tabla de amortización lineal

Como se puede observar, en el año 14 en el que el parque esté en funcionamiento, que corresponde al año 2039, se amortizaría la inversión en los bienes inmuebles, es decir, aerogeneradores, plataforma, red eléctrica y cimentación.

La vida útil de la instalación se estima en 20 años por lo que, al llegar a esta fase se habrían amortizado por completo los bienes involucrados.

8.5 CRONOGRAMA PREVISTO

CRONOGRAMA PREVISTO (k€)													
MES	TOTAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
AVANCE CONSTRUCCIÓN	100%	10%	20%	20%	20%	20%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
INVERSIÓN TOTAL	62255	6225	12451	12451	12451	12451	6225	0	0	0	0	0	0
SUBVENCIONES		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL ACUMULADO		6225	18676	31127	43578	56029	62255	62255	62255	62255	62255	62255	62255

Tabla 15- Cronograma

Puesto que no se sabe cuál va a ser el método de financiación del proyecto, se ha previsto que la empresa constructora sea la encargada de realizar el 100% de la inversión. Se considera que el 100% del material del proyecto se pagará en los 6 primeros meses de construcción.

8.6 INGRESOS

Para conocer los ingresos que proporciona el parque, es necesario conocer la energía que produce y el precio de venta de esta energía. Ambos datos ya han sido calculados anteriormente, siendo la energía producida de 185.393,42 MWh/año y el precio el estimado en el apartado 8.1.3, por lo que, multiplicándolos entre sí, da unos ingresos anuales de:

Año	k€	Año	k€	Año	k€	Año	k€
2026	11.216,30	2031	8.196,24	2036	7.749,45	2041	7.586,30
2027	11.030,91	2032	7.966,36	2037	7.684,56	2042	7.517,70
2028	9.753,55	2033	7.962,65	2038	7.699,39	2043	7.412,03
2029	8.691,24	2034	7.879,22	2039	7.577,03	2044	7.345,29
2030	8.422,42	2035	7.799,50	2040	7.664,16	2045	7.241,47

Tabla 16- Tabla ingresos anuales.

8.7 BENEFICIO NETO ANUAL

A los ingresos anuales hay que quitarle los costes anuales e impuestos explicados anteriormente para obtener los ingresos netos. Así, el beneficio neto anual queda como:

	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Energía producida(MWh/año)		185.393,42	185.393,42	185.393,42	185.393,42	185.393,42
Precio(€/MWh)		60,50	59,50	52,61	46,88	45,43
Ingresos (k€/año)		11.216,30	11.030,91	9.753,55	8.691,24	8.422,42
Inversión inicial (€)	-62.254,59					
Canon eólico (k€)		8,71				
Costes O&M (€/año)		1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00
Amortización (k€)		4.357,82	4.357,82	4.357,82	4.357,82	4.357,82
Base Imponible		5.649,77	5.473,09	4.195,73	3.133,42	2.864,60
IVPEE (k€)		785,14	772,16	682,75	608,39	589,57
ICIO (k€)		2.490,18				
IAE (k€)		38,22	38,22	38,22	38,22	38,22
IS (k€)		1.412,44	1.368,27	1.048,93	783,36	716,15
Beneficio neto (k€/año)		923,78	3.294,43	2.425,82	1.703,46	1.520,66

	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Energía producida(MWh/año)	185.393,42	185.393,42	185.393,42	185.393,42	185.393,42	185.393,42
Precio(€/MWh)	44,21	42,97	42,95	42,50	42,07	41,80
Ingresos (k€/año)	8.196,24	7.966,36	7.962,65	7.879,22	7.799,50	7.749,45
Inversión inicial (€)						
Canon eólico (k€)						
Costes O&M (€/año)	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00
Amortización (k€)	4.357,82	4.357,82	4.357,82	4.357,82	4.357,82	4.357,82
Base Imponible	2.638,42	2.408,53	2.404,83	2.321,40	2.241,68	2.191,62
IVPEE (k€)	573,74	557,64	557,39	551,55	545,97	542,46
ICIO (k€)						
IAE (k€)	38,22	38,22	38,22	38,22	38,22	38,22
IS (k€)	659,61	602,13	601,21	580,35	560,42	547,91
Beneficio neto (k€/año)	1.366,86	1.210,53	1.208,01	1.151,28	1.097,07	1.063,03

	2037	2038	2039	2040	2041	2042
Energía producida(MWh/año)	185.393,42	185.393,42	185.393,42	185.393,42	185.393,42	185.393,42
Precio(€/MWh)	41,45	41,53	40,87	41,34	40,92	40,55
Ingresos (k€/año)	7.684,56	7.699,39	7.577,03	7.664,16	7.586,30	7.517,70
Inversión inicial (€)						
Canon eólico (k€)						
Costes O&M (€/año)	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00
Amortización (k€)	4.357,82	4.357,82	1.245,09	0,00	0,00	0,00

Base Imponible	2.126,74	2.141,57	5.131,94	6.464,16	6.386,30	6.317,70
IVPEE (k€)	537,92	538,96	530,39	536,49	531,04	526,24
ICIO (k€)						
IAE (k€)	38,22	38,22	38,22	38,22	38,22	38,22
IS (k€)	531,68	535,39	1.282,98	1.616,04	1.596,57	1.579,43
Beneficio neto (k€/año)	1.018,91	1.028,99	3.280,34	4.273,41	4.220,46	4.173,81

	2043	2044	2045
Energía producida(MWh/año)	185.393,42	185.393,42	185.393,42
Precio(€/MWh)	39,98	39,62	39,06
Ingresos (k€/año)	7.412,03	7.345,29	7.241,47
Inversión inicial (€)			
Canon eólico (k€)			
Costes O&M (€/año)	1.200,00	1.200,00	1.200,00
Amortización (k€)	0,00	0,00	0,00
Base Imponible	6.212,03	6.145,29	6.041,47
IVPEE (k€)	518,84	514,17	506,90
ICIO (k€)			
IAE (k€)	38,22	38,22	38,22
IS (k€)	1.553,01	1.536,32	1.510,37
Beneficio neto (k€/año)	4.101,96	4.056,57	3.985,97

Como puede verse, el beneficio neto obtenido es positivo para todos los años de vida útil de la instalación.

8.8 RESULTADOS ANÁLISIS ECONÓMICO

8.8.1 VAN y TIR

Los valores de VAN y TIR que presenta el proyecto son los siguientes:

VAN	9.661,47 k€
TIR	7%

Tabla 17- VAN y TIR del proyecto

Como se puede observar, ambos valores son económicamente rentables. Por un lado, el VAN es mayor que 0, lo que significa que va a generar beneficio a largo plazo. Por otro lado, el valor de la TIR es superior a la tasa supuesta ($7% > 5%$), es decir, el proyecto tiene mayor rentabilidad a la que se había supuesto en un principio.

8.8.2 Payback

El último parámetro que se estudia es el Payback, es decir, el periodo de recuperación de la inversión inicial.

Se obtiene un Payback de **11,5 años** ya que, a partir de la mitad de 2035, se recupera el total de la inversión realizada. Si la vida útil del parque es de 20, todavía quedan 9,5 años para que el parque únicamente genere beneficios netos.

CAPÍTULO 9: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

9.1 ELECCIÓN AEROGENERADOR

En este apartado, se van a explicar los aspectos teóricos y los pasos para elaborar el análisis de la potencia producida en el parque con cada una de las alternativas. Una vez realizado, se podrá escoger el aerogenerador más rentable energéticamente.

El objetivo final es calcular la energía anual producida por cada aerogenerador y su factor de carga, que se explicará posteriormente, y comparar los resultados obtenidos para seleccionar el aerogenerador más eficaz energéticamente.

9.1.1 METODOLOGÍA DE CÁLCULO

9.1.1.1 Curva de potencia

Para poder calcular la energía que proporciona un aerogenerador se debe conocer su curva de potencia. Cada modelo de aerogenerador tiene una curva de potencia distinta dada por el fabricante que muestra la cantidad de potencia que el aerogenerador es capaz de generar según la velocidad del viento. Esta potencia depende de factores como el diseño y número de palas, la altura del buje o los elementos de la góndola encargados de generar electricidad.

De forma genérica, la curva de potencia se divide en 3 tramos:

- Tramo 1: Hasta que no alcanza cierta velocidad actúa el freno, por lo que la potencia es nula. A esta velocidad se la denomina velocidad mínima de arranque y suele ser de 3 m/s. Esto se debe a que a bajas velocidades el aerogenerador puede tener problemas para arrancar y rotar las palas o el rendimiento es muy pequeño.
- Tramo 2: Zona donde la potencia aumenta proporcionalmente con la velocidad.
- Tramo 3: A medida que la velocidad aumenta, llega un punto en que la potencia no aumenta más por seguridad, llegando así a la potencia nominal. Este punto es la velocidad de corte y se mantiene hasta llegar a la velocidad máxima (normalmente 25m/s), cuando vuelve a actuar el freno y la potencia es nula.

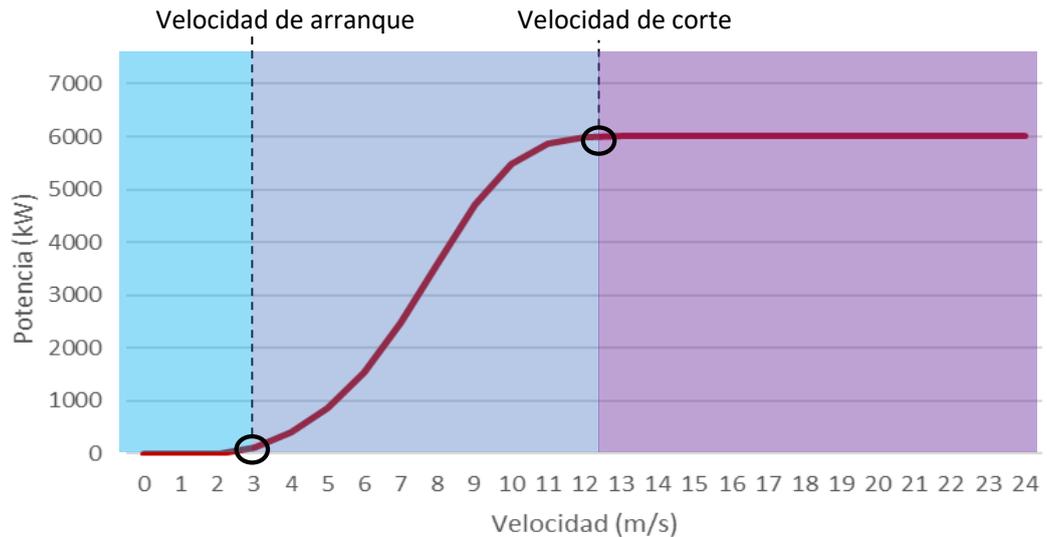


Ilustración 27- Explicación general curva de potencia. Fuente: Elaboración propia

La curva característica proporcionada por cada fabricante está medida en condiciones normales, es decir, a la altura del nivel del mar, 15º y 1 atm, y densidad de aire en estas condiciones es de 1,225 kg/m³. Sin embargo, estos datos no son constantes y varían según la altura sobre la superficie terrestre.

Por una parte, a mayor altitud la presión del aire disminuye, es decir, hay menos moléculas de aire en un volumen determinado y, por tanto, menor densidad de aire. Contrariamente, la densidad es inversamente proporcional a la temperatura, por tanto, para una altura dada, la densidad será mayor en zonas en las que la temperatura es más baja.

Esta variación de densidad influye en el cálculo de la potencia nominal de los aerogeneradores, ya que la masa de aire que llega a las palas del rotor es proporcional a la densidad. A mayor densidad de aire aumenta la masa que interactúa con las palas y, por tanto, aumenta la potencia generada. La fórmula que describe la potencia generada por el rotor del aerogenerador es la fórmula de Betz:

$$P_{extrot} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_p \cdot v^3, \text{ donde:}$$

- ρ : Densidad del aire a la altura del buje (kg/m³)
- A : Superficie de las palas en contacto con el viento (m²)
- C_p : Coeficiente de potencia. No todo el aire que llega a las palas puede ser absorbido por éstas. Este parámetro representa la relación máxima entre la potencia que incide y la extraída, siendo su valor máximo 0,59(-).
- v^3 : Velocidad del aire que incide al cubo (m/s)

Como se puede observar, la densidad del aire influye en la potencia absorbida por el aerogenerador y, por tanto, en la potencia nominal de éste. Por tanto, hay que calcular la densidad a la altura de cada aerogenerador y modificar la curva de potencia de cada modelo para obtener los valores correctos.

La variación de densidad es del orden de 1,225% por cada 100 metros de aumento en la altitud, por lo que se puede realizar una aproximación para todos los aerogeneradores ya que la diferencia de cota de los distintos bujes es muy pequeña en relación con la altura sobre el nivel del

mar a la que se encuentran. Así, la densidad del aire para todos los aerogeneradores va a ser la misma, considerando una altura de 1300 metros sobre el nivel del mar.

Para realizar el cálculo de la densidad a esta altura, se va a utilizar la fórmula:

$$\rho(h) = \rho_o - \left(\frac{\rho_o \cdot L \cdot h}{100}\right)$$

donde:

- $\rho(h)$: Densidad a una altura dada (kg/m^3)
- ρ_o : Densidad a la altura del nivel del mar (kg/m^3)
- L : Tasa de disminución porcentual de la densidad. Se va a tomar el valor 1,225(-)
- h : Altura sobre el nivel del mar (m)

Una vez calculada la densidad a la altura correspondiente, se procede a obtener las curvas de potencia corregidas para cada aerogenerador. Para ello, se obtiene el producto de la potencia nominal por el factor de ajuste de densidad, es decir, el cociente entre la densidad en condiciones ambientales y la densidad calculada anteriormente.

$$P(\rho) = P_n \cdot \left(\frac{\rho}{\rho_o}\right)$$

9.1.1.2 Función de Weibull

Para determinar la energía que se obtendrá de cada aerogenerador no basta con saber cuál es el valor medio de la velocidad del viento, sino que se necesita conocer todas las velocidades a las que sopla y la frecuencia de cada una de ellas. Esta distribución viene dada por la función de Weibull, que proporciona la probabilidad de que el aire lleve una velocidad dentro de unos rangos determinados.

La función de Weibull se describe como:

$$f(v) = \left(\frac{k}{\lambda}\right) \cdot \left(\frac{v}{\lambda}\right)^{(k-1)} \cdot e^{-\left(\frac{v}{\lambda}\right)^k}$$

donde:

- k : Factor de forma. Determina, como su nombre indica, la forma de la distribución. Ésta es ancha y asimétrica para valores cercanos a 1 y, por el contrario, estrecha y simétrica para mayores valores, cercanos a 2-3.
- λ : Factor de escala. Representa la velocidad media en el lugar de estudio. Se utiliza para posicionar la curva en el eje vertical de la gráfica y determina donde se ubica el “pico” de la curva.

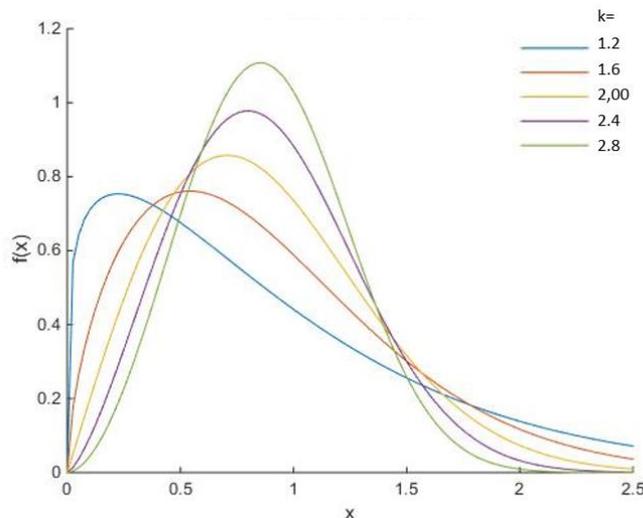


Ilustración 28- Ejemplo de distribuciones de Weibull con diversos parámetros

El cálculo numérico de la frecuencia para cada velocidad de viento se puede realizar mediante Excel, que cuenta con una función de la distribución de Weibull. Además, se va a dividir el punto de estudio (coordenada 40.91948°, -1.890335) en 12 zonas, una por cada sector de la rosa de velocidades (Ilustración 12), ya que el viento no sopla con la misma intensidad en todas las direcciones y es necesario conocer la frecuencia en cada una de ellas. Por tanto, la fórmula a utilizar es la siguiente:

=DIST.WEIBULL(x; alfa; beta; acumulado), donde:

- x: Es la velocidad para la que se quiere calcular la frecuencia
- Alfa: Factor de forma (k) en cada sector
- Beta: Factor de escala (A) en cada sector
- Acumulado: Hay dos posibles opciones:
 - VERDADERO: Función de distribución acumulativa
 - FALSO: Función de densidad de probabilidad. En este caso se selecciona este.

Los valores de alfa y beta se obtienen de la web de Global Wind Atlas, que proporciona estos parámetros para cada sector. Con estos valores, se puede obtener la frecuencia con la que la velocidad soplará en cada dirección del viento.

9.1.1.3 Energía bruta y neta

Una vez obtenida la curva de potencia corregida y la distribución de velocidades de Weibull para cada sector se calcula energía bruta que genera cada aerogenerador anualmente.

La energía bruta se puede definir como la energía total que el aerogenerador puede producir en sus máximas capacidades y sin pérdidas durante un rango determinado de tiempo. En este caso se va a calcular la energía anual generada y para ello se utiliza la siguiente fórmula:

$$E_{ij}(kWh/año) = P_i(kW) * f_{ij} * 8760(h)$$

, donde:

- $E_{ij}(kWh/año)$: Energía generada a una velocidad del viento i en el sector j
- $P_i(kW)$: Potencia corregida generada por el aerogenerador en la velocidad i
- f_{ij} : Valor de la distribución de Weibull en el sector j para la velocidad i

El siguiente paso es obtener la energía total producida en cada sector y , con ese dato, la total producida por el aerogenerador. Para conocer la energía por sectores basta con realizar el sumatorio de la asociada a cada velocidad del viento el cual va de 0 m/s a 25 m/s.

$$E_j \left(\frac{kWh}{año} \right) = \sum_{i=0}^{25} E_{ij}$$

Por último, una vez conocida la energía en cada sector, se puede calcular la energía total que produciría cada aerogenerador. Para ello, se multiplica la potencia en cada sector por la frecuencia con la que el viento sopla en esa dirección, es decir, los valores de la rosa de los vientos. Este dato se obtiene de Global Wind Atlas, que proporciona los valores junto con los factores de escala y de forma.

$$E_{bruta\ aero} \left(\frac{kWh}{año} \right) = \sum_{j=1}^{12} E_j(kWh) \cdot frecuencia_j$$

Una vez realizado este cálculo se obtendría la energía bruta anual que el aerogenerador produce. Sin embargo, no toda la energía producida se aprovecha ya que, durante el proceso de generación de energía y volcado a red, parte de la energía bruta se pierde, disminuyendo así el rendimiento del aerogenerador. Estas pérdidas son causadas por diversos motivos como:

- Pérdidas mecánicas: Se producen en el multiplicador, encargado de aumentar las revoluciones por minuto del eje principal. Está formado por un conjunto de engranajes que transforman velocidades de rotación entre 15-30 rpm a unos 1500 rpm. Durante el proceso, la fricción, desgaste o resistencia entre engranajes o la inexactitud en el acoplamiento de estos, pueden generar pérdidas de energía. Las pérdidas mecánicas pueden variar, pero en general se estima que están entre un 1-3% de la energía producida.
- Pérdidas eléctricas: Estas se originan en la conversión de energía mecánica del eje de alta velocidad a energía eléctrica. La transformación de energía se produce en el generador y el transformador a alterna. Están relacionadas con el cableado, las resistencias o el rendimiento de los propios aparatos. Durante esta conversión se pueden producir pérdidas entre el 2-5% de la energía bruta.
- Pérdidas por disponibilidad: Como se ha explicado anteriormente, un aerogenerador no está siempre operativo, sino que solo funciona dentro de un rango de vientos debido a su seguridad, normalmente entre 3 y 25 m/s. Estas paradas no planificadas suponen pérdidas en la energía obtenida, normalmente entre 2-5%.

En total, se pueden estimar las pérdidas de energía entre un 5 y 15% de la energía bruta y es necesario recalcular la energía neta para conocer la potencia total del parque. Para realizar una aproximación se van a considerar unas pérdidas del 10% y la energía neta quedaría:

$$E_{neta} \left(\frac{kWh}{año} \right) = E_{bruta} \left(\frac{kWh}{año} \right) \cdot 0,9$$

9.1.1.4 Factor de carga y horas equivalentes

Para concluir, las últimas características restantes son las horas equivalentes y el factor de carga, valores que indicarán cuál es el modelo más rentable para escoger.

Por una parte, están las horas equivalentes. Este valor muestra el número de horas que el aerogenerador funcionaría si siempre estuviese trabajando a su máxima potencia, es decir, a la potencia nominal. Se calcula realizando el cociente entre la energía producida en un año y su potencia nominal:

$$h_{eq}(h) = \frac{E(MWh)}{P_n(MW)}$$

Por otra parte, está el factor de carga. Este parámetro sirve para conocer la eficiencia de un aerogenerador en unas circunstancias determinadas, puesto que un mismo modelo puede tener distintos factores dependiendo de la zona en el que se sitúa. El factor se calcula como la relación entre las horas equivalentes y el número total de horas que ha trabajado (en este caso 8760 h):

$$Fc(-) = \frac{h_{eq}}{h_t}$$

El factor de carga es uno de los valores más importantes para conocer la rentabilidad de un aerogenerador, ya que muestra su capacidad para producir energía. Así, contra mayor sea el factor de carga de un aerogenerador, mayor energía generará y, si se comparan factores de diversos aerogeneradores, el mejor es el que más alto tenga el factor de carga, ya que es el que más aprovecha la capacidad del propio aerogenerador. A partir de un factor de 0,3 se considera que un modelo es rentable para su uso.

En resumen, se van a calcular ambos parámetros para los tres modelos propuestos y el que mayor factor de carga tenga será el seleccionado, ya que es el más rentable según el criterio energético.

9.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se van a implementar todos los cálculos y resultados para obtener la energía producida por cada generador y el factor de carga de éstos.

Se va a elegir un punto concreto del parque para realizar la comparación entre aerogeneradores y facilitar así su elección. Se ha seleccionado la coordenada 40.91948°, -1.890335, con una velocidad media de 7.6 m/s y una altura sobre el nivel del mar de aproximadamente 1300 metros.

Además, no todas las torres cuentan con la misma altura, por lo que se va a realizar el análisis para una altura de buje genérica de 100 metros.

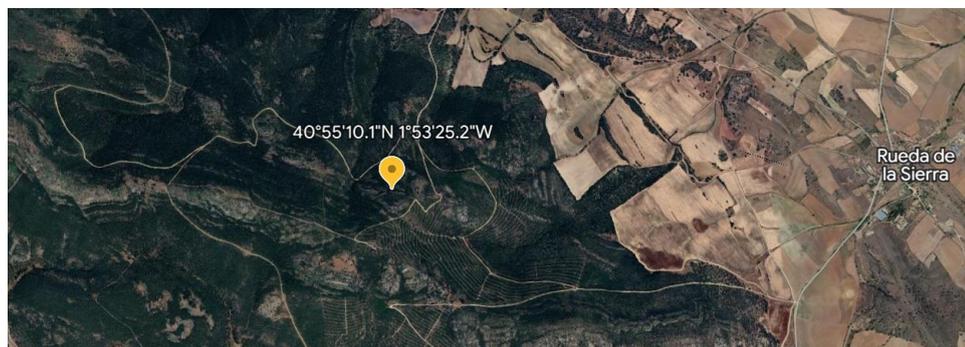


Ilustración 29- Ubicación exacta punto de estudio energético

9.1.2.1 Curvas de potencia

En primer lugar, la curva de potencia de cada aerogenerador es la siguiente:

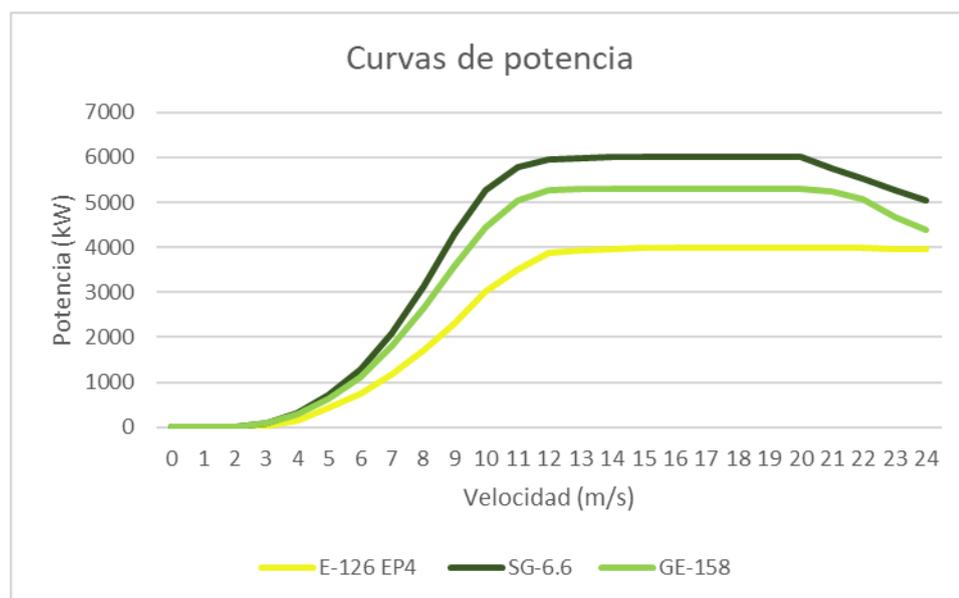


Ilustración 30- Gráfico curvas de potencia

Estos valores están calculados para una densidad de aire de 1,225 kg/m³. En este caso, la densidad del aire varía ya que la ubicación seleccionada se encuentra a una altura de 1300 metros sobre el nivel del mar. Se aplica la fórmula explicada en el apartado anterior, y la densidad resulta:

$$\rho(h) = 1,225 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) - \left(\frac{1,225 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) * 1,225\% * 1300\text{m}}{100}\right) = 1,225 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) - 0,189 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) = 1,036 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)$$

Con este dato, la curva modificada de potencias se calculará como:

$$P(\rho) = P_n * \left(\frac{\rho}{\rho_0}\right) = P_n * \left(\frac{1,036}{1,225}\right) = P_n * 0,84571$$

Realizando esta operación para cada aerogenerador, se obtienen la siguientes curvas:

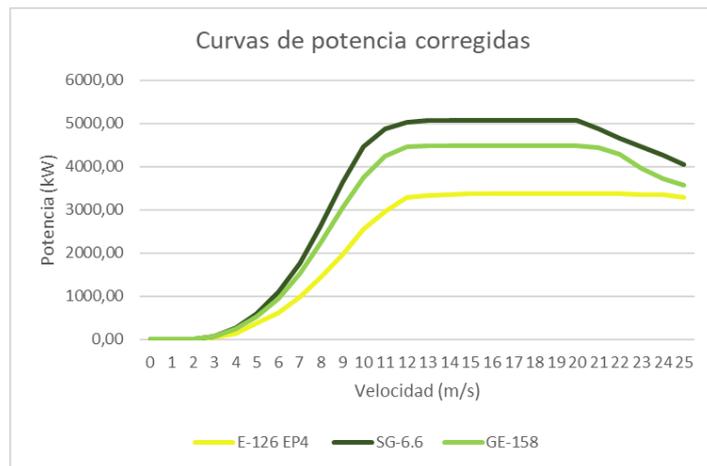


Ilustración 31- Gráfico curvas de potencia corregidas

9.1.3.1 Función de Weibull

Primero se obtienen los factores de forma y escala para el emplazamiento escogido. Como se ha mencionado en el apartado anterior, estos valores los proporciona Global Wind Atlas para cada sector. Para obtenerlos, es necesario descargar el archivo DWG y copiar los datos de las filas 10 y 11, asociados al factor de escala y de forma a 100 metros de altura. Estos valores son:

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Factor A	10,96	6,91	6,18	5,6	4,94	4,42	3,77	7,85	10,4	9,53	9,96	9,87
Factor K	2,186	1,752	2,107	2,26	1,896	1,361	1,186	1,854	1,643	1,951	1,959	2,037

Tabla 18- Factor alfa(K) y beta (A) para cada sector. Fuente: Global Wind Atlas y elaboración propia

Por último, se realiza la función de Weibull en cada sector mediante Microsoft Excel. Se utiliza la fórmula descrita y los parámetros de la Tabla 6, y queda:

v(m/s)	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6	Sector 7	Sector 8	Sector 9	Sector 10	Sector 11	Sector 12
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	0,012	0,057	0,044	0,045	0,087	0,158	0,200	0,040	0,034	0,024	0,021	0,019
2	0,026	0,089	0,089	0,100	0,143	0,165	0,174	0,068	0,051	0,044	0,040	0,038
3	0,040	0,107	0,123	0,144	0,166	0,148	0,141	0,088	0,062	0,061	0,057	0,055
4	0,054	0,115	0,141	0,165	0,163	0,124	0,109	0,100	0,069	0,075	0,069	0,069
5	0,066	0,113	0,142	0,161	0,139	0,099	0,082	0,104	0,073	0,083	0,078	0,079
6	0,075	0,104	0,129	0,137	0,108	0,076	0,060	0,102	0,074	0,088	0,084	0,086
7	0,081	0,092	0,107	0,102	0,076	0,056	0,044	0,095	0,073	0,088	0,085	0,088
8	0,083	0,078	0,081	0,067	0,049	0,041	0,032	0,085	0,070	0,085	0,083	0,086
9	0,082	0,063	0,057	0,039	0,029	0,029	0,022	0,073	0,065	0,079	0,079	0,082
10	0,079	0,050	0,037	0,021	0,016	0,020	0,016	0,061	0,060	0,071	0,072	0,075
11	0,073	0,038	0,022	0,010	0,008	0,013	0,011	0,049	0,055	0,062	0,064	0,066
12	0,066	0,028	0,012	0,004	0,004	0,009	0,008	0,038	0,049	0,053	0,056	0,057
13	0,057	0,020	0,006	0,001	0,002	0,006	0,005	0,028	0,043	0,044	0,047	0,048
14	0,048	0,014	0,003	0,000	0,001	0,004	0,004	0,021	0,037	0,036	0,039	0,039
15	0,040	0,009	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,015	0,032	0,028	0,031	0,031
16	0,032	0,006	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,010	0,027	0,021	0,025	0,023
17	0,025	0,004	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,007	0,023	0,016	0,019	0,018
18	0,019	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,005	0,019	0,012	0,014	0,013
19	0,014	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,016	0,008	0,011	0,009
20	0,010	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,013	0,006	0,008	0,006
21	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,010	0,004	0,005	0,004
22	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,008	0,003	0,004	0,003
23	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,002	0,003	0,002
24	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,001	0,002	0,001
25	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,001	0,001	0,001
	1,00	0,99	1,00	1,00	0,99	0,95	0,91	1,00	0,98	1,00	1,00	1,00

Tabla 19- Distribución de frecuencias de viento de Weibull en cada sector. Fuente: Elaboración propia

9.1.3.2 Cálculo energía bruta y neta por aerogenerador

Posteriormente se calcula la energía bruta que un aerogenerador produce por sector y por velocidad, después por sector y después la total por aerogenerador.

La energía bruta producida por cada sector para cada aerogenerador se obtiene del sumatorio de la energía asociada a cada velocidad:

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6
E-126 EP4	1874,61	537,66	525,31	412,15	164,04	86,59
SG-6.6	3028,56	911,17	919,13	730,51	289,86	149,56
GE-158	2637,17	787,88	791,66	630,29	250,81	129,55
	Sector 7	Sector 8	Sector 9	Sector 10	Sector 11	Sector 12
E-126 EP4	58,63	777,55	3486,15	1935,35	1001,66	958,03
SG-6.6	100,89	1302,88	5590,47	3169,68	1630,91	1565,59
GE-158	87,52	1127,85	4876,13	2753,73	1418,36	1360,52

Tabla 20- Energía bruta producida por sector por cada aerogenerador en MWh/año. Fuente: Elaboración propia

Para calcular la energía bruta total del aerogenerador, falta conocer la frecuencia con la que el viento sopla en cada dirección. Este dato lo proporciona también Global Wind Atlas y en este caso es:

Sector	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
frec	0,1095	0,0627	0,0822	0,086	0,043	0,022	0,0181	0,0731	0,2357	0,1367	0,067	0,0642

Tabla 21- Frecuencias de la dirección del viento en cada sector. Fuente: Global wind Atlas y elaboración propia

Así, la energía bruta producida por cada sector quedaría como:

	Sector 1	Sector 2	Sector 3	Sector 4	Sector 5	Sector 6
E-126 EP4	1874,61	537,66	525,31	412,15	164,04	86,59
SG-6.6	3028,56	911,17	919,13	730,51	289,86	149,56
GE-158	2373,45	709,09	712,50	567,26	225,73	116,60
	Sector 7	Sector 8	Sector 9	Sector 10	Sector 11	Sector 12
E-126 EP4	58,63	777,55	3486,15	1935,35	1001,66	958,03
SG-6.6	100,89	1302,88	5590,47	3169,68	1630,91	1565,59
GE-158	78,77	1015,06	4388,52	2478,35	1276,53	1224,47

Tabla 22- Energía bruta producida en cada sector. Fuente: Elaboración propia

Por último, se realiza el sumatorio de todos los sectores para obtener la energía bruta total por cada aerogenerador.

	Energía bruta (kWh)
E-126 EP4	11817,74
SG-6.6	19389,19
GE-158	16851,47

Tabla 23- Energía bruta por aerogenerador

Como se ha explicado en el apartado anterior, debido a las pérdidas durante la generación y conversión de la energía no se aprovechan al máximo las capacidades del aerogenerador. Por tanto, hay que recalcular la energía neta generada teniendo en cuenta que se obtiene el 90% de la energía bruta.

	Energía neta (MWh)
E-126 EP4	10635,97
SG-6.6	17450,27
GE-158	15166,33

Tabla 24- Energía neta anual producida por cada aerogenerador

9.1.3.3 Factor de carga y horas equivalentes

El último paso es calcular las horas equivalentes y el factor de carga de cada aerogenerador para comparar así los tres aerogeneradores y seleccionar la mejor opción.

	Energía neta (MWh)	Potencia nominal (MW)	Horas equi.	Factor de carga
E-126 EP4	10635,97	4,20	2532,37	0,29
SG-6.6	17450,27	6,60	2643,98	0,30
GE-158	15166,33	5,30	2861,57	0,33

Tabla 25- Resumen principales características de cada aerogenerador

9.2 DIMENSIONAMIENTO SECCIÓN CONDUCTORES

9.1.1 METODOLOGÍA OBTENCIÓN SECCIÓN CONDUCTORES

Para calcular la sección de los conductores se van a llevar a cabo dos criterios normalizados por la UNE 211435, de los cuales hay que seleccionar la sección más restrictiva. Estos criterios son:

- Intensidad máxima admisible en régimen permanente
- Criterio de caída de tensión

9.1.1.1 Criterio por intensidad máxima admisible en régimen permanente

Como su nombre indica, se refiere a la máxima corriente que un cable puede llevar de forma continua sin que se produzcan fallos y no supere su temperatura máxima asignada. Como se ha comentado anteriormente, los valores máximos de intensidad vienen dados por la ficha técnica del fabricante y los factores de corrección en cada caso de instalación están recogidos en la Instrucción Técnica Complementaria ITC-LAT 06, norma para líneas subterráneas con cables aislados.

Para conocer el valor de la intensidad en cada caso se aplica la fórmula:

$$I_n = I_{ad} \cdot K_t \cdot K_p \cdot K_A \cdot K_R, \text{ donde}$$

- I_{ad} : Intensidad máxima admisible
- I_n : Intensidad nominal del cable. Valor proporcionado para condiciones normales, es decir: temperatura de terreno de 25º, profundidad de 1 metro y resistividad térmica de 1,5 K·m/W.
- K_t : Factor de corrección por temperatura
- K_p : Factor de corrección por profundidad de enterramiento
- K_A : Factor de corrección por agrupación de circuitos
- K_R : Factor de corrección por resistividad térmica

Para obtener los valores de los factores de corrección es necesario basarse en las tablas proporcionadas por el ITE-LAT 06, las cuales se adjuntan en el anexo.

Antes de utilizar la fórmula descrita anteriormente es necesario calcular la intensidad nominal del conductor. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$I_n = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot \cos \varphi \cdot U \cdot \eta}, \text{ donde}$$

- P : Potencia en kW a la que se conecta
- U : Tensión que sale del aerogenerador en V
- η : Rendimiento

Hipótesis de cálculo

Para calcular las dimensiones del cable se van a tomar una serie de consideraciones generales:

- Temperatura máxima del conductor con aislante XLPE: 90º
- Temperatura del terreno: 20º
- Profundidad de cables: 1m
- Resistividad del terreno: 1,5 K·m/W
- Factor de potencia: 0,9
- Rendimiento del 100%

9.1.1.2 Criterio de caída de tensión

El segundo criterio se utiliza para verificar que la sección obtenida por la máxima intensidad admisible es correcta. El propósito es que la caída de tensión entre el primer punto y el final de la línea no supere un valor establecido. A efectos de dimensionamiento, se fijará una caída máxima de tensión del 5% desde la generación hasta la subestación. Si al realizar los cálculos con la sección obtenida anteriormente, la caída de tensión es mayor que la permitida, se aumentará la sección del conductor hasta que la caída de tensión sea válida.

La fórmula para la caída de tensión es:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot L \cdot I_n \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi), \text{ donde}$$

- ΔV : Caída de tensión en V
- L : Longitud del cable en km
- I_n : Intensidad que recorre el conductor
- R : Resistencia máxima del conductor a 90 °C y 50 Hz en Ω/km
- X : Reactancia a 50 Hz en Ω/km
- $\cos \varphi$ el factor de potencia

La resistencia máxima se obtiene mediante:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}, \text{ donde}$$

- ρ : Resistividad eléctrica del material: $\rho_\theta = \rho_{20} \frac{\theta_c + \theta}{\theta_c + 20}$, donde
 - ρ_θ ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$): Resistividad a la temperatura del material
 - ρ_{20} ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$): Resistividad para conductor a 20°C. Para el aluminio, este valor es 0,02826 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
 - θ_c : Temperatura característica del material. La temperatura característica del aluminio es 228°C
 - θ : Temperatura a la que se encuentra el material. Se utiliza 90°C ya que es la máxima a la que puede llegar.
 - Por tanto, realizando el cálculo queda una resistividad de 0,03623.
- L : Longitud del tramo (m)
- S : Sección del conductor (mm^2)

Para calcular la reactancia:

$$X = x \cdot L, \text{ donde:}$$

- $x \left(\frac{\Omega}{\text{km}}\right)$: Reactancia por unidad de longitud a 50Hz. Este dato lo proporciona el fabricante.
- L : Longitud en km del tramo

9.1.2 RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se van a implementar todos los cálculos realizados y resultados para obtener la sección de los conductores. Como se ha explicado anteriormente, el parque se divide en dos circuitos independientes, por lo que se calculan como dos problemas separados.

El primer paso es calcular la intensidad nominal del conductor, ya que se necesita para realizar tanto el criterio de máxima intensidad admisible como el de caída de tensión. Utilizando la fórmula para cada tramo, se obtienen los siguientes valores:

Línea	P(kW)	Un(kV)	cos fi	I _n (A)
Circuito 1				
A1-A2	5300,00	30,00	0,90	113,33
A2-A3	10600,00	30,00	0,90	226,66
A3-A4	15900,00	30,00	0,90	340,00
A4-A5	21200,00	30,00	0,90	453,33
Circuito 2				
A10-A9	5300,00	30,00	0,90	113,33
A9-A8	10600,00	30,00	0,90	226,66
A8-A7	15900,00	30,00	0,90	340,00
A7-A6	21200,00	30,00	0,90	453,33
A5-subestación	26500,00	30,00	0,90	566,66
A6-subestación	26500,00	30,00	0,90	566,66

Tabla 26- Intensidades nominales por cada tramo. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se llevan a cabo los dos criterios.

9.2.1.1 Criterio máxima intensidad admisible

Se ha obtenido la intensidad nominal, sin embargo, la intensidad real que pasa por el conductor no es exactamente la teórica, ya que las condiciones en las que se encuentra influyen en la corriente del conductor. Por tanto, es necesario conocer los factores de corrección de cada tramo para calcular la intensidad admitida, relacionados con las hipótesis descritas en el apartado anterior.

Es importante recordar que la máxima sección admitida en los tramos que se encuentran en el parque es de 240 mm² y del parque hasta la subestación eléctrica de 400 mm². En caso de excederse, se aumenta el número de conductores por fase una unidad. Se comienza con un conductor por fase para cada tramo y, cada vez que se aumente, se cambia el factor de corrección

por agrupamiento K_r para una distancia de 0,2m entre cada conductor. Así, la intensidad nominal calculada se divide entre el número total de conductores por fase (NCF) de cada tramo:

$$I_{adc}(A) = \frac{I_{ad}}{NCF},$$

obteniendo I_{ad} mediante la fórmula explicada en el apartado anterior.

Una vez se tiene esta nueva intensidad, se compara la intensidad que soporta cada sección de cable, dato proporcionado por el fabricante, con la intensidad admitida y se escoge la sección mínima que aguanta este valor. Así, la tabla con todos los cálculos realizados y aumentando el número de conductores por fase las veces necesarias, se obtienen las siguientes secciones:

Línea	$I_n(A)$	K_t	K_p	K_a	K_r	$I_{ad}(A)$	NCF	$I_{adc}(A)$	S (mm ²)	$I_{tabla}(A)$
Circuito 1										
A1-A2	113,33	1,04	1,00	1,00	1,00	108,97	1,00	108,97	50,00	140,00
A2-A3	226,66	1,04	1,00	1,00	1,00	217,95	1,00	217,95	120,00	235,00
A3-A4	340,00	1,04	1,00	0,83	1,00	393,88	2,00	196,94	95,00	205,00
A4-A5	453,33	1,04	1,00	0,83	1,00	525,17	2,00	262,59	185,00	295,00
Circuito 2										
A10-A9	113,33	1,04	1,00	1,00	1,00	108,97	1,00	108,97	50,00	140,00
A9-A8	226,66	1,04	1,00	1,00	1,00	217,95	1,00	217,95	120,00	235,00
A8-A7	340,00	1,04	1,00	0,83	1,00	393,88	2,00	196,94	95,00	205,00
A7-A6	453,33	1,04	1,00	0,83	1,00	525,17	2,00	262,59	185,00	295,00
A5-subestación	566,66	1,04	1,00	0,64	1,00	851,35	3,00	283,78	185,00	295,00
A6-subestación	566,66	1,04	1,00	0,64	1,00	851,35	3,00	283,78	185,00	295,00

Tabla 27- Sección y número de conductores de cada tramo

La última columna, $I_{tabla}(A)$, corresponde a la intensidad máxima admitida para la sección calculada, dato que proporciona el fabricante.

9.2.2 Criterio caída de tensión

La caída de tensión se calcula en base a las secciones obtenidas por el criterio de máxima intensidad admisible y, en caso de superar una caída del 5%, se aumenta la sección a una más grande. En caso de alcanzar 240 mm², se añade un conductor por fase. Las tablas adjuntadas a continuación son las últimas que se han obtenido, modificando tanto la sección como el número de conductores hasta conseguir una caída de tensión del último aerogenerador hasta la subestación inferior a 5%.

Para calcular la resistencia y reactancia de cada tramo es necesario conocer la sección, longitud de tramo y reactancia por unidad de longitud. Como ya se ha explicado, el primer dato lo obtenemos del criterio anterior, la longitud se ha medido mediante el plano realizado en AutoCAD de la distribución de los conductores y la reactancia por unidad de longitud es un dato proporcionado por el fabricante. Con estos datos, resultan los siguientes valores:

Línea	Un(kV)	In(A)	NCF	In con(A)	cos fi	fi	L(m)	S(mm2)	R	x	X
Circuito 1											
A1-A2	30,00	113,33	1,00	113,33	0,90	25,84	525,00	50,00	0,38	0,15	0,08
A2-A3	30,00	226,66	1,00	226,66	0,90	25,84	700,00	120,00	0,21	0,13	0,09
A3-A4	30,00	340,00	2,00	170,00	0,90	25,84	300,00	95,00	0,11	0,14	0,04
A4-A5	30,00	453,33	2,00	226,66	0,90	25,84	970,00	185,00	0,19	0,12	0,12
Circuito 2											
A10-A9	30,00	113,33	1,00	113,33	0,90	25,84	440,00	50,00	0,32	0,15	0,07
A9-A8	30,00	226,66	2,00	113,33	0,90	25,84	1745,00	120,00	0,53	0,13	0,23
A8-A7	30,00	340,00	2,00	170,00	0,90	25,84	400,00	95,00	0,15	0,14	0,05
A7-A6	30,00	453,33	2,00	226,66	0,90	25,84	550,00	185,00	0,11	0,12	0,07
A5-subestación	30,00	453,33	5,00	90,67	0,90	25,84	7000,00	400,00	0,63	0,11	0,75
A6-subestación	30,00	453,33	5,00	90,67	0,90	25,84	6500,00	400,00	0,59	0,11	0,72

Tabla 28- Resistencia y reactancia del conductor en cada tramo

Con estos valores y utilizando la fórmula descrita en la metodología de cálculo, se calcula la caída de tensión producida en cada tramo:

Línea	AV(V) línea	AV(%) línea	AV(V) total	AV(%) total
Circuito 1				
A1-A2	40,49	0,13	40,49	0,13
A2-A3	68,52	0,23	109,01	0,36
A3-A4	11,42	0,04	120,43	0,40
A4-A5	94,39	0,31	214,82	0,72
Circuito 2				
A10-A9	28,44	0,09	28,44	0,09
A9-A8	212,91	0,71	241,34	0,80
A8-A7	20,30	0,07	261,65	0,87
A7-A6	30,35	0,10	291,99	0,97
A5-subestación	1162,23	3,87	1377,05	4,59
A6-subestación	1015,06	3,38	1307,05	4,36

Tabla 29- Caída de tensión en cada tramo y total.

9.3 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para comprobar si el proyecto es económicamente rentable, es necesario calcular el VAN, la TIR y el Payback. A continuación, se explican los pasos hasta llegar a obtener estos parámetros.

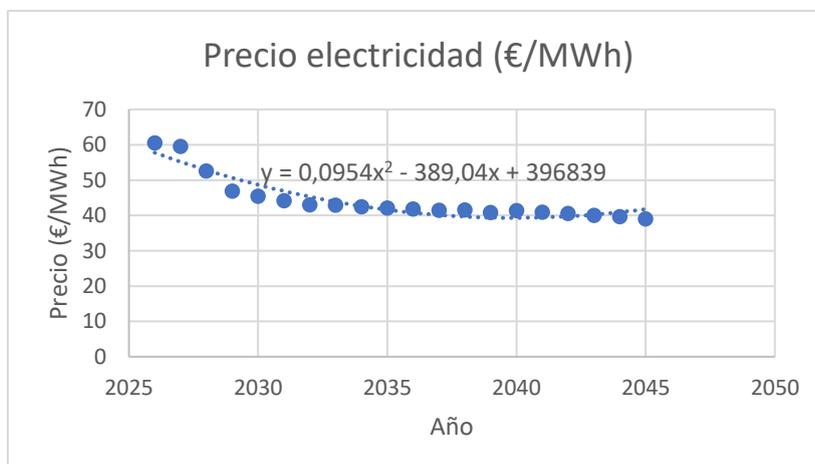
9.3.1 Estimación precio electricidad

Para realizar la estimación del precio en los próximos 20 años se ha realizado una extrapolación polinómica en base a la previsión del precio de electricidad generada por OMIP para los futuros 10 años. Los valores proporcionados desde el año 2024 hasta 2033 son los siguientes:

Contract name	Best bid (€/MWh)	Best Ask (€/MWh)	Volume (MWh)	Price (€/MWh)	Time	Volume (MWh)	Open Interest	Nr of Contracts	OTC volume (MWh)	D (€/MWh)	D-1 (€/MWh)
FTB YR-24	n.a.	92.00	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	92.35
FTB YR-25	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	73.00
FTB YR-26	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	62.50
FTB YR-27	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	59.50
FTB YR-28	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	52.61
FTB YR-29	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	46.88
FTB YR-30	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	45.43
FTB YR-31	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	44.21
FTB YR-32	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	42.97
FTB YR-33	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	42.95

Ilustración 32- Estimación precio electricidad

Mediante Excel se ha realizado una extrapolación, asumiendo que los precios seguirán la tendencia decreciente y posicionándonos así en la situación más desfavorable, obteniendo la ecuación correspondiente, la cual es:



Utilizando la ecuación, el precio de la electricidad desde 2026 hasta 2046 queda como:

Año	Precio (€/MWh)	Año	Precio (€/MWh)
2026	60,5	2036	41,80
2027	59,5	2037	41,45
2028	52,61	2038	41,53
2029	46,88	2039	40,87
2030	45,43	2040	41,34
2031	44,21	2041	40,92
2032	42,97	2042	40,55
2033	42,95	2043	39,98
2034	42,5	2044	39,62
2035	42,07	2045	39,06

Tabla 30- Estimación precio energía anual

9.3.2 VAN (Valor Actual Neto)

Es una medida utilizada para evaluar la viabilidad financiera de un proyecto de inversión. Representa la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo entrantes y salientes de un proyecto, descontados a una determinada tasa de interés. Se calcula con la fórmula:

$$VAN = -I_o + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

, donde:

- I_o es el valor del desembolso inicial.
- F_t son los flujos netos de caja de cada período t , resultado del beneficio neto más la amortización, es decir, las ganancias reales anuales.
- k es el tipo de tasa.

En función del valor obtenido en el VAN, se debe tomar una decisión distinta:

- $VAN > 0$: el proyecto será rentable e interesa financieramente invertir en él.
- $VAN = 0$: el proyecto no genera ni pérdidas ni beneficios, resultando indiferente su realización.
- $VAN < 0$: el proyecto generará pérdidas económicas por lo que debe ser rechazado.

El flujo neto de caja anual se obtiene realizando el sumatorio del beneficio neto y la amortización, ya que es la cantidad monetaria real que se gana anualmente, es decir:

$$\text{Flujo neto (€)} = \text{Beneficio (€)} + \text{Amortización(€)}$$

Realizando este cálculo para cada año, se obtienen unos flujos netos de:

Año	Inversión inicial	Beneficio neto (k€)	Amortización (k€)	Flujo neto de caja(€)
2025	-62.254.586,38 €			-62.254,59
2026		923,78 €	4.357,82 €	5.281,60
2027		3.294,43 €	4.357,82 €	7.652,25
2028		2.425,82 €	4.357,82 €	6.783,64
2029		1.703,46 €	4.357,82 €	6.061,28
2030		1.520,66 €	4.357,82 €	5.878,48
2031		1.366,86 €	4.357,82 €	5.724,68
2032		1.210,53 €	4.357,82 €	5.568,35
2033		1.208,01 €	4.357,82 €	5.565,83
2034		1.151,28 €	4.357,82 €	5.509,10
2035		1.097,07 €	4.357,82 €	5.454,89
2036		1.063,03 €	4.357,82 €	5.420,85
2037		1.018,91 €	4.357,82 €	5.376,73
2038		1.028,99 €	4.357,82 €	5.386,82
2039		3.280,34 €	4.357,82 €	7.638,16
2040		4.273,41 €	4.357,82 €	8.631,23
2041		4.220,46 €	0,00 €	4.220,46
2042		4.173,81 €	0,00 €	4.173,81
2043		4.101,96 €	0,00 €	4.101,96
2044		4.056,57 €	0,00 €	4.056,57
2045		3.985,97 €	0,00 €	3.985,97

Tabla 31- Flujos de caja anuales

Para obtener el VAN se va a suponer una tasa del 5% y se realiza mediante Microsoft Excel con la siguiente fórmula: =VNA (k, flujos de caja).

Finalmente, se obtiene un valor de **9.661,47 k€**.

9.3.3 TIR (Tasa Interna de Retorno)

Es la tasa de interés a la cual el VAN de un proyecto de inversión es igual a cero, lo que significa que los flujos de efectivo futuros generados por el proyecto compensan exactamente el costo inicial de la inversión. Se obtiene igualando el valor de k de la fórmula anterior a 0.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t}$$

Cuanto mayor sea la TIR, mayor rentabilidad, de ese modo se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. En función del valor que adopte la TIR con respecto a una tasa de referencia se podrá decir si es aceptable o no. Si la

tasa que hemos puesto es superior al TIR, se puede decir que el proyecto no es rentable, ya que sería necesaria una tasa más elevada.

Al igual que el VAN, la TIR se calcula mediante Excel, usando la fórmula =TIR (beneficio+flujos de caja), con la que se obtiene un valor del 7%.

9.3.4 Payback

Por último, se calcula el Payback del proyecto, es decir, el tiempo que transcurre hasta que se cubre la totalidad de la inversión inicial. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Payback = a + \frac{inversión - b}{Ft}$$

, donde:

- a: Año anterior a la recuperación total de la inversión
- b: Suma de flujos de caja hasta el periodo 'a'
- Ft: Valor del flujo de caja del periodo en el que se recupera

Para averiguar el año anterior a la recuperación total, se suman los flujos de caja acumulados a la inversión inicial hasta que el valor cambie a positivo. Este proceso resulta:

Año	Flujo de caja acumulado (k€)
2025	-62.254,59
2026	-56.972,99
2027	-49.320,74
2028	-42.537,09
2029	-36.475,82
2030	-30.597,34
2031	-24.872,66
2032	-19.304,31
2033	-13.738,48
2034	-8.229,38
2035	-2.774,49
2036	2.646,37
2037	8.023,10
2038	13.409,91
2039	21.048,07
2040	29.679,30
2041	33.899,76
2042	38.073,57
2043	42.175,53
2044	46.232,10
2045	50.218,07

Tabla 32- Cálculo Payback

Mediante la fórmula, obtenemos un Payback de **11,5 años**.

CAPÍTULO 10: BIBLIOGRAFÍA

- (1) Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico (2020). PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf
- (2) Organización de las Naciones Unidas (2015). OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- (3) Balance eléctrico nacional. Referencia bibliográfica en línea. Red Eléctrica Española (REE) [Fecha de consulta: abril de 2023]. Disponible en <https://www.ree.es/es/datos/balance/balance-electrico>
- (4) Potencial eólico en España. Referencia bibliográfica en línea. Global Wind Atlas. [Fecha de consulta: abril de 2023]. Disponible en: <https://globalwindatlas.info/es>
- (5) Datos eólicos de España. Referencia bibliográfica en línea. Mapa eólico ibérico. [Fecha de consulta: abril de 2023]. Disponible en: <https://www.mapaeolicoiberico.com/map;latitude=42.81953;longitudo=-1.63290;altura=50;dato=micro>
- (6) Visor cartografía básica y temática Castilla-La Mancha. Portal de mapas de Castilla-La Mancha. Disponible en: <https://castillalamancha.maps.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=a8ef467d6441455d8e08c9d343908cb6>
- (7) Aerogenerador E-126 EP4. Referencia bibliográfica en línea. Enercon. [Fecha de consulta: abril de 2023]. Disponible en: https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/windblatt/pdf/en/WB_012015_GB.pdf
- (8) Aerogenerador SG6.6-170. Referencia bibliográfica en línea. Siemens Gamesa. [Fecha de consulta: abril de 2023]. Disponible en: https://www.siemensgamesa.com/-/media/siemensgamesa/downloads/en/products-and-services/onshore/brochures/siemens-gamesa-onshore-wind-sg-5-x-platform-en.pdf?ste_sid=cd78473e856e81143e43440eb33fb753
- (9) Aerogenerador GE-158/5.3. Referencia bibliográfica en línea. General Electric. [Fecha de consulta: abril de 2023]. Disponible en: <https://www.ge.com/renewableenergy/wind-energy/onshore-wind/cypress-platform>
- (10) Conductor X-VOLT RHZ1 AL / OL / 2OL. Referencia bibliográfica en línea. Top cable. [Fecha de consulta: mayo de 2023]. Disponible en: http://www.cabletelandalucia.com/assets/topcable_catgral_esp_2016_lr-133-221.pdf

- (11) Previsión precios electricidad. Referencia bibliográfica en línea. OMIP. [Fecha de consulta: junio 2023]. Disponible en: <https://www.omip.pt/es/dados-mercado?date=2023-07-03&product=EL&zone=ES&instrument=FTB>
- (12) Raso, C. (2015). Bajan los costes de mantenimiento de los parques eólicos. El Economista.
- (13) Sahuquillo, P. (2022, julio). Diseño y análisis de viabilidad económica de una instalación eólica off-shore de 50MW ubicada en la costa de Gran Canaria. [Trabajo Fin de Máster]. Universitat Politècnica de València.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

**PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE UN PARQUE DE
ENERGÍA EÓLICA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE
RUEDA DE LA SIERRA, GUADALAJARA.**

II. PLIEGO DE CONDICIONES

AUTORA: ANDREA GONZÁLEZ-CABALLERO HERRERA

TUTOR: CARLOS VARGAS SALGADO

Curso académico: 2022/2023

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

1.	OBJETO GENERAL	71
2.	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS GENERALES.....	72
2.1	Objeto	72
2.2	El contratista	72
2.3	Códigos y normas aplicables en el proyecto	72
2.4	Estudio de seguridad.....	74
2.5	Seguridad pública.....	74
2.6	Datos de la obra	74
2.7	Replanteo de la obra.....	74
2.8	Mejoras y variaciones en el proyecto	75
2.9	Subcontratación	75
2.10	Ejecución de las obras.....	75
2.11	Plazo de ejecución	75
2.12	Recepción provisional	75
2.13	Penalización por demora	76
2.14	Período y retención de garantía.....	76
2.15	Recepción definitiva.....	76
2.16	Disposición final	76
3.	PLIEGO DE CONDICIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS	77
3.1	Objeto	77
3.2	Descripción de la obra	77
3.3	Prescripciones para la ejecución de excavaciones y rellenos	78
3.4	Estanqueidad de excavaciones	79
3.5	Entibados metálicos y de madera, apoyos y soportes.....	79
3.6	Rellenos.....	79
4.	PLIEGO DE CONDICIONES OBRAS DE HORMIGÓN	82
4.1	Objeto	82
4.2	Instrucciones y normas	82
4.3	Descripción de la obra	82
4.4	Características de los materiales.....	83

4.5	Condiciones de ejecución	86
4.6	Control de calidad	89
5.	PLIEGO DE CONDICIONES INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA	90
5.1	OBJETO	90
5.2	Señalización	90
5.3	Conductores.....	90
5.4	Canalizaciones.....	91
5.5	Centros de transformación	91
5.6	Celdas 30 kV.....	92
5.7	Sistema de puesta a tierra	92

1.OBJETO GENERAL

En este proyecto se pretende diseñar la instalación de un parque eólico en Rueda de la Sierra (Guadalajara) de 50 kW de potencia, formado por 10 aerogeneradores GE-158/5.3 de potencia unitaria 5.3kW. Para ello es necesario contratar a diferentes agentes como constructores, promotores, directores o proyectistas, entre otros.

El pliego de condiciones es un conjunto de cláusulas que regulan las obligaciones, responsabilidades y garantías entre los distintos agentes involucrados en la obra. Este documento recoge las condiciones tanto técnicas como legales que han de guiar la ejecución del proyecto.

2. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS GENERALES

2.1 Objeto

El objeto del Pliego de Condiciones Generales es establecer los requisitos a los que ha de ajustarse la ejecución de las instalaciones de referencia cuyas características técnicas se comentarán en esta parte del Pliego de Condiciones y en las siguientes.

2.2 El contratista

Podrá ser contratista toda aquella persona natural o jurídica que tenga capacidad legal o técnica para ello. La personalidad y capacidad del contratista, de acuerdo con las normas del derecho español, deberá existir y ser acreditadas en el momento de la oferta y el contrato, en su caso.

El contratista se verá en la obligación de cumplir la Reglamentación del trabajo correspondiente, la contratación del Seguro Obligatorio, el Subsidio Familiar o de Vejez, Seguro de Enfermedad y cualquier reglamentación social vigente en el momento de la ejecución. Concretamente deberá cumplir lo que diga la Norma UNE 24042 "Contratación de Obras. Condiciones Generales.", siempre y cuando no las modifique alguna de las partes de este Pliego de Condiciones.

2.3 Códigos y normas aplicables en el proyecto

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

1. Artículo 1558 y siguientes del Código Civil, en los casos que sea procedente su aplicación; Real Decreto Legislativo 3/2011, de 14 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Sector Público; Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.
2. Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, aprobada por Orden del 09/03/71, del Ministerio de Trabajo y en lo que no se oponga a la mencionada Ordenanza:
 - Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
 - Real Decreto 487/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañe riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores.
 - Cuantos preceptos sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo contengan las Ordenanzas Laborales, Reglamentos de Trabajo, Convenios Colectivos y Reglamentos de Régimen Interior en vigor.
3. Real Decreto 223/08, de 15 de febrero, por el que se aprueban el reglamento sobre condiciones técnicas de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias, ITC-LAT 01 a 09.

- Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas y Centros de Transformación (Real Decreto 3275/1982, de 12 de noviembre).

- Normas Administrativas y Técnicas para el Funcionamiento y conexión a Redes Eléctricas de Centrales Hidroeléctricas de hasta 5.000 kVA y Centrales de Autogeneración Eléctrica (Orden de 5 de septiembre de 1985).

- Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas (Decreto 2414/1961, de 30 de noviembre).

4. Real Decreto 2413/1973 de 20 de septiembre, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, del Ministerio de Industria y Energía (RBT) y sus instrucciones técnicas complementarias, ITC-RAT de 01 a 23.
5. Pliego de Preinscripciones técnicas generales para obras de carreteras y puentes de la Dirección General de Carreteras, PG-3. ORDEN de 2 de julio de 1976.
6. EHE-08 Instrucción de Hormigón Estructural. Real Decreto 1247/2008 de 18 julio.
7. Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales y sus modificaciones posteriores.
8. Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención y sus modificaciones posteriores.
9. Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
10. Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido y sus correcciones posteriores.
11. Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

Serán de obligatorio cumplimiento todas las normas que aparezcan en la ejecución que estén recogidas en este documento.

Si durante el período de ejecución de las obras de las instalaciones, cualquier norma mencionada anteriormente, es modificada, sustituida o corregida, parcial o totalmente, serán de obligado cumplimiento las modificaciones, correcciones o sustituciones de las normas en cuestión.

En caso de que un elemento se de este Pliego de Condiciones se refiera a dos normas distintas, se aplicará la norma más restrictiva.

Ante situaciones extraordinarias que no estén recogidas en este Pliego de Condiciones, se atenderán las órdenes provenientes de la Dirección de Obra.

2.4 Estudio de seguridad

El contratista deberá presentar de forma obligatoria y antes de la inicio de la obra, un estudio de seguridad que contemple las medidas reflejadas en este documento.

Deberá también revisar las normas mencionadas en el anterior apartado pues su cumplimiento es de carácter obligatorio (a no ser que entren en conflicto con lo especificado en este documento, en cuyo caso prevalecerá lo dicho en este último).

El Contratista proveerá lo preciso para el mantenimiento de máquinas y elementos de trabajo en las debidas condiciones de seguridad.

Los operarios encargados de trabajar con circuitos deberán ir equipados con ropa sin accesorios metálicos y llevarán su equipo de trabajo en bolsas. El calzado habrá de ser aislante.

Los operarios estarán obligados a usar todos los medios de protección necesarios para minimizar los riesgos personales. El director de Obra tendrá el poder de suspender los trabajos si estima que esto se cumple. El director de Obra podrá exigir al Contratista el cese de cualquier empleado que, por imprudencia, pudiera producir accidentes que hicieran peligrar su propia integridad o la de sus compañeros.

2.5 Seguridad pública

El Contratista tomará toda precaución posible para proteger a todas las personas, animales y cosas de los peligros procedentes del trabajo, recayendo en él las responsabilidades por los accidentes que puedan acaecer. También mantendrá la póliza de seguros que proteja a sus operarios frente a responsabilidades por daños o responsabilidad civil.

2.6 Datos de la obra

Se proveerá al Contratista con los planos y el Pliego de Condiciones del proyecto, así como todos los datos que consideré necesarios para la ejecución de este.

El Contratista podrá tomar nota a fotocopiar todos los documentos que necesite del proyecto, haciéndose responsable de la buena conservación de los documentos originales, que serán devueltos al director de Obra tras su uso.

Una vez acabada la obra el Contratista habrá de actualizar los planos y documentos originales en función de las características de la obra terminada.

El Contratista no estará autorizado a alterar o corregir por su cuenta los datos del proyecto, salvo que lo apruebe el director de Obra.

2.7 Replanteo de la obra

Cuando el Contratista tenga el proyecto y antes de que empiece la obra, el director de Obra deberá llevar a cabo el replanteo del proyecto. Se levantará Acta firmada por la Propiedad, el representante del Contratista y el propio director de Obra.

2.8 Mejoras y variaciones en el proyecto

No se aceptarán cambios ni mejoras en el proyecto a no ser que hayan recibido la aprobación del director de Obra por escrito.

2.9 Subcontratación

La empresa contratista no podrá contratar servicios de otra empresa para la realización de labores comprometidas con la propiedad sin comunicarlo previamente al director de obra, el cual deberá manifestar su conformidad por escrito y anticipadamente a tal subcontratación, teniendo derecho a rechazarla.

El Contratista aceptará todas las responsabilidades correspondientes y estará obligado a pagar a los operarios sus salarios y cargas que legalmente estén establecidas y todo aquello que se legisle, decrete y ordene antes o durante la obra.

2.10 Ejecución de las obras

Las obras se ejecutarán según lo requerido en el presente Pliego de Condiciones y conforme a las normas mencionadas anteriormente.

El Contratista deberá tener supervisando los trabajos a un técnico suficientemente preparado, a juicio del director de Obra.

2.11 Plazo de ejecución

Los plazos de ejecución empezarán a contar a partir del replanteo de la obra y el Contratista estará obligado a cumplirlos.

Estos plazos podrían ser modificados siempre y cuando el director de Obra, con la aprobación del contratante, haya realizado una modificación en el proyecto que afecte de forma real a los plazos establecidos inicialmente.

Si por causas ajenas al Contratista no fuera posible cumplir con los plazos establecidos, se concederá al director de Obra la prórroga estrictamente necesaria.

2.12 Recepción provisional

Una vez terminadas las obras y dentro de los quince días siguientes a la petición del Contratista, se hará la recepción provisional de las mismas por el Contratante, requiriendo para ello la presencia del director de Obra y del representante del Contratista, levantándose la correspondiente Acta, en la que se hará constar la conformidad con los trabajos realizados, si es procedente.

El Acta será firmada por el director de Obra, por el Contratista y, de ser el caso, por la Propiedad, dándose la obra por recibida si se ha ejecutado correctamente, de acuerdo con las especificaciones contenidas en el Pliego de Condiciones Técnicas y proyecto correspondiente, comenzando en este momento a contar el plazo de garantía.

En el caso de no hallarse la obra en estado de ser recibida, se hará constar así en el Acta y se darán al contratista las instrucciones precisas y detalladas para remediar los defectos observados, fijándose un plazo de ejecución. Expirado dicho plazo, se hará un nuevo reconocimiento.

2.13 Penalización por demora

En caso de sobrepasarse el plazo fijado por el licitante en su propuesta, y salvo causa de fuerza mayor, se establecerá una penalidad de un 1% por día natural de retraso sobre la fecha prevista para la finalización de las obras.

2.14 Período y retención de garantía

El período de garantía será el señalado en el contrato y comenzará el día que se apruebe el Acta de Recepción.

Hasta que se produzca la recepción final, el Contratista será responsable de la conservación de la obra.

De la cantidad total a abonar al contratista se descontará, en concepto de retención por garantía un 5%, que sería abonado al término del plazo estipulado.

2.15 Recepción definitiva

Una vez acabado el plazo de garantía señalado en el contrato, o en su defecto, a los doce meses de la recepción provisional, se procederá a la recepción definitiva de las obras, con la presencia obligatoria del director de Obra y del representante del Contratista, levantándose el Acta correspondiente firmada por el director de Obra y el representante del Contratista si las obras son conformes.

2.16 Disposición final

La concurrencia a cualquier concurso cuyo proyecto incluya el presente Pliego de Condiciones, presupone la plena aceptación de todas y cada una de sus cláusulas.

3. PLIEGO DE CONDICIONES DE MOVIMIENTO DE TIERRAS

3.1 Objeto

El objeto de este apartado es establecer los requisitos técnicos a cumplir para el suministro de materiales, ejecución, ensayos, pruebas y finalización de las obras de excavación y relleno, de acuerdo con el resto de los documentos.

La totalidad de los componentes por construir deberán cumplir todos y cada uno de los apartados que le sean aplicables, salvo que se indique lo contrario en los planos o así lo indique el director de la obra.

3.2 Descripción de la obra

3.2.1 Documentación

La obra por ejecutar se define por los siguientes documentos:

- Planos
- Especificaciones

3.2.2 Planos

En el momento de la recepción de los planos por parte del Contratista, éste deberá verificar las dimensiones de los detalles de cada plano, antes de comenzar con la obra y, de ser conveniente, dar parte a la Supervisión de la Obra de posibles errores o modificaciones.

En caso de no dar parte alguno, el Contratista será responsable de posibles errores encontrados en la obra que pudieran haber sido evitados. El Contratista deberá ceñirse estrictamente a lo indicado en los planos y/o especificaciones, si fuera necesaria alguna corrección o modificación, deberá ser presentada a la Dirección de la Obra por escrito y ésta deberá validarla.

3.2.3 Interpretación de la documentación

Es de obligado cumplimiento por parte del Contratista, la perfecta ejecución de las obras y el aspecto de esta, tomándose las acciones y medidas adecuadas, aunque no estén estipuladas por los documentos.

Todas las dimensiones se deducirán numéricamente de los planos. Asimismo, no se proporcionará ninguna dimensión que esté basada en la interpretación gráfica de los planos. Si fuera preciso, deberá presentarse por escrito a la Dirección de la Obra y ser validada.

En caso de haber alguna contradicción entre los planos y las especificaciones, prevalecerá la indicación de los planos, salvo excepción comunicada desde la Dirección de la Obra. Igualmente, es obligación por parte del Contratista, la correcta interpretación de los documentos, en caso de duda, deberá consultar con la Dirección de la Obra.

3.2.4 Replanteo

La Supervisión de la Obra se encargará de entregar al Contratista, por escrito, las bases de replanteo necesarias y suficientes, para la realización de un correcto replanteo general de la obra. El Contratista será responsable de vigilar estas bases y de obedecerlas y seguirlas, además de hacer cualquier otro replanteo con el fin de una ejecución de la obra perfecta. El Contratista será responsable de errores que surjan por la ausencia de una correcta vigilancia de las bases. La Supervisión de la Obra podrá realizar reconocimientos de los replanteos de la obra en cualquier momento, es por ello por lo que el Contratista deberá hacerlos accesibles para las personas y materiales necesarios, para el reconocimiento de estos.

3.2.5 Seguridad y salud

El Contratista se hará cargo de la vigilancia, el mantenimiento y el cuidado de la obra, hasta la recepción final por parte del Propietario. A su vez, será responsable de mantener las correctas señalizaciones y protecciones de la obra, de acuerdo con el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo.

3.2.6 Control de calidad

La Supervisión de la Obra podrá solicitar cualquier tipo de pruebas o ensayos que estén previamente recogidos en los planos o especificaciones, éstas correrán a cargo del Contratista en la medida que estén dentro de los márgenes firmados por el Contratista.

Las pruebas de carga estarán a cargo del Contratista cuando así se estipule en los planos, en los casos donde resulten negativas, a juicio de la Supervisión de la Obra, deberán de ser realizadas, otra vez, volviendo a estar a cargo del Contratista. En los demás casos, el Propietario será el que se haga cargo de las pruebas, no obstante, el Contratista deberá ser capaz de realizarla.

3.3 Prescripciones para la ejecución de excavaciones y rellenos

Las excavaciones en cualquier tipo de terreno deberán ser realizadas de acuerdo con las cotas indicadas en los planos y/o especificaciones, siempre siguiendo las órdenes procedentes desde la Supervisión de la Obra. El Contratista, en circunstancias puntuales, puede revisar las cotas y hacer modificaciones sobre ellas, siempre con la validación de las mismas por parte de la Dirección de la Obra.

Los materiales que provienen de la Obra, excavaciones y demoliciones, son propiedad del Propietario, sin embargo, el Contratista podrá utilizar dichos materiales bajo la supervisión de la Dirección de la Obra. Los materiales que no puedan ser utilizados o reutilizados, a juicio de la Supervisión de la Obra, deberán ser transportados a un lugar seguro, fuera del alcance de las personas y que no pueda producir interferencias con la obra, ni con terceros, ni puedan ocasionar desviaciones del flujo de aguas superficiales.

En aquellas situaciones donde la ejecución de excavaciones o rellenos pueda provocar posibles alteraciones al tráfico, el Contratista deberá de avisar a la Administración y tomar las medidas necesarias, aportadas por la Administración, para la perfecta ejecución de la obra.

3.3.1 Excavación para cimentaciones y fosos

Toda la excavación deberá hacerse bajo las longitudes, profundidades, ángulos de desnivel, anchuras que se indiquen en los planos, así deberán de tomarse cualquier tipo de medida no expuesta en los planos y/o especificaciones, para una perfecta ejecución.

El fondo de todas las excavaciones deberá quedar niveladas, sin ningún tipo de material suelto, conservados en un buen estado, secas y sin ningún tipo de escombros provenientes de la realización de las obras. Asimismo, el fondo de toda excavación deberá ser supervisado por la Dirección de la Obra. Los materiales que provengan de excavaciones deberán ser reutilizados para rellenos en la medida de lo posible, bajo indicaciones de los planos y/o especificaciones. Los materiales que no puedan ser reutilizados y no sean necesarios para la obra, deberán ser transportados a un vertedero facilitado por el Contratista y fuera del terreno de la Propiedad.

El Contratista se encargará de hacer cualquier preparación de la zona, para una correcta excavación, dejando libre la superficie de las excavaciones en todo momento. El Contratista no deberá de cortar o arrancar, en ninguna circunstancia, ningún servicio subterráneo sin autorización de la Dirección de la Obra, cualquier avería causada en las líneas de servicio subterráneo serán reparadas por el Contratista y correrá de su cuenta.

3.3.2 Excavación en zanjas

La excavación de las zanjas se realizará desde y hasta las dimensiones indicadas en los planos y/o especificaciones, con una tolerancia máxima de 5 cm. En situaciones donde no se cumpla la tolerancia exigida por las especificaciones, el Contratista deberá restituir la excavación con relleno aprobado por la Supervisión de la Obra.

La anchura de la excavación no será mayor que la requerida por las condiciones naturales de los suelos locales. Las zanjas eléctricas tendrán la profundidad necesaria indicada por los planos y en ellas se montarán los cables de Media Tensión y Puesta a Tierra, según proceda.

3.4 Estanqueidad de excavaciones

Las excavaciones serán conservadas secas y libres de cualquier tipo de agua durante la realización del trabajo y quedará bajo la responsabilidad del Contratista proporcionar el personal, maquinaria y cualquier tipo de servicio, para su cumplimiento.

El Contratista deberá tomar las medidas necesarias para evitar que los cursos del agua deterioren o provoquen incidentes en cualquier trabajo de albañilería o cementación.

A su vez, no se verterán en las excavaciones aguas provenientes de la superficie y se deberá evacuar toda el agua que puede producir molestias en la realización de las obras.

3.5 Entibados metálicos y de madera, apoyos y soportes

El Contratista deberá hacerse cargo de proporcionar cualquier tipo de apoyo o soporte, de metal o de madera, para la correcta realización de las obras, sobre todo en excavaciones y relleno, donde se trabaja, frecuentemente, en desnivel. Cualquier medida que se tome, para la utilización o no de soportes o apoyos, quedarán pendientes de ser revisados por la Supervisión de la Obra.

3.6 Rellenos

Cualquier tipo de relleno quedará pendiente de ser aprobado por la Supervisión de la Obra. Los materiales de rellenos procederán de las excavaciones de la obra, siempre que la Supervisión de la Obra les dé el visto bueno. No obstante, la Supervisión podrá ordenar la utilización de materiales ajenos a la obra en la medida que se requiera.

Los rellenos de las cimentaciones y fosos serán realizados mediante capas de espesor igual o inferior a 150 mm, previamente compactadas hasta un 95÷98% Proctor modificado y de forma que no se dañe el trabajo ya realizado. En el caso que la compactación sea realizada por medios mecánicos, el espesor podrá ser de hasta 300 mm.

Mientras no se ordene lo contrario por parte de la Supervisión de la Obra, el relleno deberá llegar al nivel original de la superficie.

Los rellenos de las cimentaciones, fosos o zanjas deberán cumplir las siguientes condiciones:

- No podrán existir elementos con tamaño superior a 100 mm.
- La fracción que pasa por el tamiz 200 ASTM, será inferior al 35% en peso.
- Procederán de suelos de CBR mayor de 5 y el hinchamiento durante el ensayo será menor del 2 %.
- La fracción que pasa por el tamiz 40 ASTM, cumplirá LL menor que 35 o, simultáneamente, LL menor que 40, IP mayor que (0,6 LL - 9).

3.6.1 Rellenos con material filtrante

Los materiales filtrantes para zanjas o cualquier otra zona, deberán atender a las siguientes condiciones:

- En ningún caso, el tamaño podrá superar los 76 mm (Tamiz 3" ASTM), igualmente, el cernido ponderal acumulado por el tamiz 200 ASTM no rebasará el 5 %.
- Siendo D_x el tamaño superior al del $x\%$, en peso, de los materiales filtrantes; y d_x el tamaño superior al de $x\%$ en peso, del terreno a drenar, se deberán cumplir las condiciones siguientes:
 - D_{15}/d_{85} menor que 5 mm.
 - D_{15}/d_{15} mayor que 5 mm.
 - D_{50}/d_{50} menor que 25 mm.
 - D_{60}/d_{10} menor que 20 mm.
- En el caso de terrenos cohesivos, estas cuatro condiciones se sustituirán por la de D_{15} menor que 0,1 mm.
- Cuando no sea posible encontrar un material que cumpla con dichos límites, podrá recurrirse al empleo de filtros compuestos por varias capas; una de las cuales, la del material grueso, se colocará junto al sistema de evacuación y cumplirá las condiciones de filtro respecto a la siguiente; y así sucesivamente, hasta llegar al relleno natural.

3.6.2 Relleno de zanjas para cables eléctricos

El montaje de los cables sobre las zanjas se realizará de la siguiente manera, siguiendo los siguientes criterios:

- Red de cables de puesta a tierra
- Capa de arena fina de 100 mm de espesor y, sobre ella, los conductores de media tensión. En caso de haber más de un conductor por fase, se colocan a una distancia de 200mm entre ellos.

- Todos los cables de media tensión estarán rodeados de arena y, seguidamente se extenderá otra capa de arena fina compacta de unos 400 mm de espesor.
- Sobre esta capa se colocará una protección mecánica a base de placas de PVC.
- Por último, se extiende una capa de tierra compactada de aproximadamente 600mm de espesor. A 400mm de la superficie se colocará una cinta de plástico que servirá de señalización de existencia de cables eléctricos de media tensión.

4. PLIEGO DE CONDICIONES OBRAS DE HORMIGÓN

4.1 Objeto

El objeto de esta especificación es proporcionar los requerimientos técnicos, para la realización de todo tipo de pruebas relacionadas con la obra de hormigón, en sintonía con el resto de los documentos.

Esta especificación está compuesta por diversos apartados que deberán ser obedecidos en su conjunto y su totalidad, salvo excepción indicada en los planos o bajo supervisión de la Dirección de la Obra.

4.2 Instrucciones y normas

Por norma general y cuando no hay contradicciones o modificaciones, las obras de hormigón deberán atender a los siguientes Pliego y documentos en el orden en el que se muestran:

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

4.3 Descripción de la obra

4.3.1 Documentación

La obra por ejecutar se define por los siguientes documentos:

- Planos
- Especificaciones

4.3.2 Planos

En el momento de la recepción de los planos por parte del Contratista, éste deberá verificar las dimensiones de los detalles de cada plano, antes de comenzar con la obra y, de ser conveniente, dar parte a la Supervisión de la Obra de posibles errores o modificaciones.

En caso de no dar parte alguno, el Contratista será responsable de posibles errores encontrados en la obra que pudieran haber sido evitados. El Contratista deberá ceñirse estrictamente a lo indicado en los planos y/o especificaciones, si fuera necesaria alguna corrección o modificación, deberá ser presentada a la Dirección de la Obra por escrito y ésta deberá validarla.

4.3.3 Interpretación de la documentación

Es de obligado cumplimiento por parte del Contratista, la perfecta ejecución de las obras y el aspecto de esta, tomándose las acciones y medidas adecuadas, aunque no estén estipuladas por los documentos.

Todas las dimensiones se deducirán numéricamente de los planos. Asimismo, no se proporcionará ninguna dimensión que esté basada en la interpretación gráfica de los planos. Si fuera preciso, deberá presentarse por escrito a la Dirección de la Obra y ser validada.

En caso de haber alguna contradicción entre los planos y las especificaciones, prevalecerá la indicación de los planos, salvo excepción comunicada desde la Dirección de la Obra. Igualmente, es obligación por parte del Contratista, la correcta interpretación de los documentos, en caso de duda, deberá consultar con la Dirección de la Obra.

4.3.4 Replanteo

La Supervisión de la Obra se encargará de entregar al Contratista, por escrito, las bases de replanteo necesarias y suficientes, para la realización de un correcto replanteo general de la obra. El Contratista será responsable de vigilar estas bases y de obedecerlas y seguirlas, además de hacer cualquier otro replanteo con el fin de una ejecución de la obra perfecta. El Contratista será responsable de errores que surjan por la ausencia de una correcta vigilancia de las bases. La Supervisión de la Obra podrá realizar reconocimientos de los replanteos de la obra en cualquier momento, es por ello por lo que el Contratista deberá hacerlos accesibles para las personas y materiales necesarios, para el reconocimiento de estos.

4.3.5 Seguridad y salud

El Contratista se hará cargo de la vigilancia, el mantenimiento y el cuidado de la obra, hasta la recepción final por parte del Propietario. A su vez, será responsable de mantener las correctas señalizaciones y protecciones de la obra, de acuerdo con el Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo.

4.3.6 Control de calidad

La Supervisión de la Obra podrá solicitar cualquier tipo de pruebas o ensayos que estén previamente recogidos en los planos o especificaciones, éstas correrán a cargo del Contratista en la medida que estén dentro de los márgenes firmados por el Contratista.

Las pruebas de carga estarán a cargo del Contratista cuando así se estipule en los planos, en los casos donde resulten negativas, a juicio de la Supervisión de la Obra, deberán de ser realizadas, otra vez, volviendo a estar a cargo del Contratista. En los demás casos, el Propietario será el que se haga cargo de las pruebas, no obstante, el Contratista deberá ser capaz de realizarla,

4.4 Características de los materiales

4.4.1 Procedencia y recepción de los materiales

Antes del uso de los materiales recibidos, el Contratista deberá notificar a la Supervisión de la Obra la procedencia de estos, los valores de origen, así como las características que más tarde serán sometidas a control.

Los materiales a los que se refiere este apartado serán los siguientes:

- Aceros para armaduras
- Cemento
- Agua
- Áridos
- Aditivos
- Aceros para embebidos y pernos de anclaje
- Materiales para juntas de estanqueidad

El Contratista se hará cargo de llevar una correcta organización de los materiales, para que la comprobación de éstos se realice de una manera más asequible. La Supervisión de la Obra tendrá la potestad de decidir si los materiales serán validados para su uso o, si de lo contrario, no son permitidos debido a la procedencia de ellos o sus características.

4.4.2 Almacenamiento de los materiales

El Contratista se hará cargo de proteger los materiales frente a cualquier incidente que se pueda ocasionar. Las armaduras se mantendrán protegidas frente a aceites, grasas, polvo, etc. y de forma que exista un drenaje perfecto. Asimismo, las armaduras de diferentes tipos y diámetros se almacenarán en diferentes montones.

El cemento se suministrará y almacenará siguiendo el artículo 26 de la EHE.

Los áridos se guardarán en áreas limpias y organizadas en función del tamaño y la forma, con el fin de evitar, en la medida de lo posible, la segregación. El árido grueso se distribuirá uniformemente, mientras que el árido fino se distribuirá de tal forma que se facilite el drenaje inferior, debiendo de excluir la última capa de su uso.

4.4.3 Materiales para encofrados y cimbras

Los encofrados podrán ser del material que se considere oportuno, siempre cumpliendo las condiciones exigidas por la Supervisión de la Obra. En cualquier caso, los materiales que se vayan a emplear deberán cumplir con las exigencias mínimas necesarias, para que, en contacto con el hormigón, mantenga las superficies lo suficientemente lisas y uniformes, para su posterior uso. Además, los materiales que se utilicen para el encofrado no deberán tener partículas ni elementos que tengan un comportamiento agresivo frente a la masa del hormigón.

Para cimbras, podrán emplearse los mismos materiales que para el encofrado, no obstante, deberán ser más resistentes, para poder resistir ante las acciones que se produzcan durante el proceso de hormigonado.

4.4.4 Armaduras

Los materiales para emplear en armaduras quedarán descritos por las prescripciones del artículo 32 de la EHE. Todos los aceros que se utilicen en las armaduras deberán atenderse a las características expuestas en los planos.

4.4.5 Elementos embebidos y pernos de anclaje

El material que se deberá utilizar en pernos de anclaje será el acero S275JR, salvo indicación en contra en los planos del proyecto. El material para tuercas u arandelas será el acero S235JR según CTE Documento Básico SE-A Seguridad Estructural Acero.

En caso de que los materiales procedan del fabricante de los equipos o del Contratista, éstos deberán ceñirse estrictamente a las características que queden expuestas en los planos.

El material para placas, perfiles laminados, redondos, etc. a colocar como elementos embebidos será el acero S275JR según CTE Documento Básico SE-A Seguridad Estructural Acero, salvo excepción indicada en los planos del proyecto.

Todos los elementos embebidos, excepto los que están destinados a ser roscados, deberán tener una capa de pintura antioxidante en las zonas donde no vaya a estar en contacto con el hormigón o mortero de relleno.

4.4.6 Cemento

El cemento que utilizar deberá cumplir con las condiciones de los siguientes documentos:

- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de cementos (RC08).
- Artículo 26 de la EHE.

4.4.7 Agua

Se podrá utilizar cualquier tipo de agua, para el amasado de hormigón, o para el curado del hormigón, siempre y cuando cumpla las condiciones expuestas en el artículo 27 de la EHE.

4.4.8 Áridos

Deberán cumplir las condiciones expuestas en el artículo 28 de la EHE. En ningún caso, se podrá utilizar áridos provenientes de playa de mar, ni procedentes de rocas blandas, friables, porosas, ni que contenga elementos como piritita, yeso o compuestos.

4.4.9 Aditivos

Los aditivos son los elementos, excepto agua y áridos, que se añaden al hormigón, para mejorar o variar sus características. Éstos deberán cumplir con las condiciones expuestas en el artículo 29 de la EHE.

El uso de aditivos quedará pendiente de aprobación por parte de la Supervisión de la Obra, quienes recibirán por escrito las características de estos aditivos y la cantidad con la que se deben dosificar. Asimismo, la Supervisión de Obra podrá realizar cualquier tipo de ensayo, con el fin de validar su posible uso.

4.4.10 Materiales para juntas de estanqueidad

Los materiales a que emplear podrán ser bandas de caucho natural, caucho sintético, cloruro de polivinilo, neopreno, u otro material definido en los planos. Si existieren materiales cuya definición fuese a cargo del Contratista, éste los propondrá a la Supervisión de Obra para su aprobación.

Deberán reunir las siguientes características:

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

4.5 Condiciones de ejecución

4.5.1 Ejecución y colocación de encofrados y cimbras

El proyecto y el dimensionamiento de los encofrados y cimbras quedarán bajo la responsabilidad del Contratista. Para su ejecución y colocación, se tendrán en cuenta las condiciones expuestas en el artículo 65 de la EHE.

Los encofrados deberán ser lo suficiente resistentes para resistir sin daños considerables, siendo posible unas deformaciones máximas de 5 mm. En las aristas de los encofrados deberán realizarse diversos chaflanes de 25 mm a 45º.

El descimbrado y desencofrado se realizará bajo las condiciones expuestas en los artículos 73 y 74 de la EHE. En cualquier caso, previamente a realizar las acciones de descimbrado y desencofrado, se solicitará permiso a la Supervisión de la Obra.

4.5.2 Preparación y colocación de armaduras

Se realizarán bajo las condiciones expuestas en el artículo 69 de la EHE. Las armaduras serán manipuladas en sintonía con las especificaciones de los planos del Proyecto. Las distancias entre armaduras y encofrados deberán seguir las indicaciones expuestas en los planos.

Asimismo, el uso de separadores deberá estar regulado por la Supervisión de la Obra, siendo aprobados por éstos. En caso de utilizar separadores distintos a los indicados en los planos, deberán de presentarse por escrito y se validados por la Dirección de la Obra.

4.5.3 Dosificación del hormigón

Se realizarán siguiendo las condiciones expuestas en el artículo 71 de la EHE, con las modificaciones incluidas en la siguiente especificación. El estudio de la dosificación deberá hacerse siempre con ensayos previos, siguiendo las condiciones expuestas en los artículos 83 y 91 de la EHE.

La fabricación del hormigón no comenzará hasta que la fórmula a emplear sea validada por la supervisión de la Obra. Dicha fórmula deberá señalar los siguientes datos, obligatoriamente:

- La granulometría de los áridos combinados
- Las dosificaciones de cemento, agua y eventualmente aditivos por m³ de hormigón fresco.
- La consistencia, indicada por el descenso en el cono de Abrams.

La fórmula de trabajo podrá ser reconsiderada si no llegase a cumplir alguno de los siguientes factores:

- El tipo de cemento.
- El tipo, absorción o tamaño del árido grueso.
- El módulo granulométrico del árido fino en más de dos décimas.
- La naturaleza o proporción de aditivos.
- El método de puesta en obra.

4.5.4 Fabricación del hormigón

Las condiciones de fabricación quedarán expuestas en los artículos 6 y 71 de la EHE, con las modificaciones que se incluyen en esta especificación. El armado se realizará siempre en una hormigonera, con capacidad de medición de agua y áridos por peso y el agua por volumen. No obstante, siempre y cuando la obra no cobre mucha importancia, se podrán añadir los áridos en volumen, con previo aviso a la Supervisión de la Obra. El orden en el que se vierten los materiales en la hormigonera será el siguiente:

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

Quedarán pendientes comprobaciones de humedad, con el fin de corregir la cantidad de agua vertida.

4.5.5 Transporte del hormigón

Las condiciones de fabricación quedarán expuestas en el artículo 71 de la EHE, con las modificaciones que se incluyen en esta especificación.

El transporte se realizará en la mayor brevedad posible de tal forma que no se tarde más de 30 minutos entre el amasado y la definitiva colocación del mismo. El sistema de transporte quedará pendiente de ser aprobado por la Supervisión de la Obra. En caso de que el método de transporte sea el camión, deberán estar provistos de agitadores y con una velocidad controlada. En el momento exacto de transporte y de descarga, el agitador deberá estar en funcionamiento.

4.5.6 Docilidad

Las condiciones de fabricación quedarán expuestas en el artículo 71 de la EHE, apartado 31.5, con las modificaciones que se incluyen en esta especificación. El Contratista deberá utilizar la misma calidad de hormigón para obras similares y no se podrá utilizar hormigón con cementos de distintas procedencias en una misma estructura.

La altura máxima de vertido del hormigón no podrá ser mayor que 1,75 m. No obstante, en situaciones puntuales donde se requiera mayor altura, ésta deberá ser validada por la Supervisión de la Obra. El espesor de las tongadas será fijado con el objetivo de conseguir la compactación perfecta en todo el interior, así el espesor máximo de las tongadas será de 50 cm.

4.5.7 Protección y curado

Las condiciones de fabricación quedarán expuestas en el artículo 71 de la EHE.

El procedimiento del curado quedará pendiente de ser aprobado por la Supervisión de la Obra y se fijará el plazo mínimo al que debe extenderse.

En caso de que el procedimiento sea por riego de agua, el curado se prolongará en un plazo mínimo de una semana desde el hormigonado. Durante el curado del hormigón, el Contratista será el responsable de que el curado se realice en perfectas condiciones, sin que sufran deterioros procedentes de huellas de personas, animales o vibraciones por diversas circunstancias.

4.5.8 Juntas de hormigonado

Las condiciones de fabricación quedarán expuestas en el artículo 71 de la EHE.

No se deberán realizar más de las juntas previstas por las indicaciones de los planos, salvo excepción proveniente de la Supervisión de la Obra.

La posición de las juntas y las dimensiones de ellas deberán seguir las indicaciones que se especifiquen en los planos. En caso de que la junta pueda tener defectos debidos a las retracciones, deberán quedar expuestas al aire libre durante 10 días, con el fin de evitar posibles incidentes causados por la retracción.

La Supervisión de la Obra tendrá la potestad de exigir la utilización de resinas epoxi, para la ejecución de las juntas. En caso de que el hormigón quede dañado, deberá ser reparado con resinas epoxi, pero siempre con la aprobación de la Supervisión de la Obra.

4.5.9 Hormigonado bajo el agua

No está permitido verter el hormigón con presencia del agua, especialmente en cimentaciones, a excepción de no ser posible evitarla. En caso no poder evitar el agua, se podrá hormigonar, pero bajo la revisión de la Supervisión de la Obra. No obstante, no será posible hormigonar en presencia de barro o lodo, ya que resulta muy sencillo la contaminación del hormigón. También quedará excluido el hormigonado cuando la velocidad del agua supere los 0,5 m/s, o una temperatura inferior a 2°C. Finalmente, la dosificación de cemento mínima para hormigonar será de 350 kg/m³.

Se prestará especial atención a la colocación. Se colocará uniformemente, evitando la formación de capas, siempre empezando desde un extremo y, lentamente, dirigirse al extremo opuesto en dirección contraria a la dirección del agua. Asimismo, se deberá tener cuidado y evitar, en cualquier caso, que se vierta sobre el agua e intentar verter sobre la mezcla ya vertida.

4.5.10 Ejecución de juntas de estanqueidad

Las posiciones y dimensiones serán especificadas por los planos del Proyecto. A su vez, las instrucciones que se efectuarán para la ejecución de las juntas de estanqueidad serán las recomendadas por el fabricante y aprobadas por la Supervisión de la Obra.

4.5.11 Descabezados de pilotes

Las cabezas de los pilotes de hormigón serán demolidas con el fin de nivelar la superficie a la altura indicada por planos. En caso de que queden deteriorados, deberán proceder a la revisión del mismo.

Asimismo, mientras los pilotes sean hormigonados "in situ", no se demolerá la cabeza, hasta la aprobación desde la Supervisión de la Obra, procediendo después a la demolición de la cabeza en una distancia mínima de 50 cm.

4.6 Control de calidad

Las condiciones de fabricación quedarán expuestas en los artículos 16 y 17 de la EHE, con las modificaciones que se incluyen en esta especificación. Los niveles de control para el hormigón y el acero estarán indicados en los planos del Proyecto.

El Contratista, previamente al inicio de los trabajos, deberá presentar el procedimiento, con los ensayos a realizar y los controles de la obra, que se llevará a cabo durante la obra y ésta deberá ser aprobada por la dirección de la Obra. En caso de realizar ensayos o controles no periódicos, deberán ser presentados con tiempo suficiente, para la aceptación de ellos y que la Supervisión de la Obra pueda asistir.

Por último, el Contratista presentará todos los resultados de los ensayos a la Supervisión de la Obra. Igualmente, deberá facilitar el acceso a la Supervisión de la Obra al laboratorio donde se están llevando a cabo los procesos oportunos.

5. PLIEGO DE CONDICIONES

INFRAESTRUCTURA ELÉCTRICA

5.1 OBJETO

El objeto de esta especificación es proporcionar los requerimientos técnicos, para la implantación de la infraestructura eléctrica de media tensión, en sintonía con el resto de los documentos.

Esta especificación está compuesta por diversos apartados que deberán ser obedecidos en su conjunto y su totalidad, salvo excepción indicada en los planos o bajo supervisión de la Dirección de la Obra.

5.2 Señalización

Todas las instalaciones eléctricas deberán estar correctamente señalizadas y tener las advertencias e instrucciones necesarias que impidan una interpretación errónea, maniobras mal ejecutadas, contactos con elementos de tensión, etc.

Por esta razón, todas las máquinas y aparatos principales, paneles de cuadros y circuitos, deben estar diferenciados entre sí con marcas claramente establecidas, señalizados mediante rótulos de dimensiones y estructura adecuadas para una lectura y comprensión sencilla.

Concretamente todos los elementos de accionamiento de los aparatos de maniobra y los propios aparatos deberán estar claramente señalizados, señalando las posiciones de apertura y cierre, o que sea físicamente visible su posición, siendo imposible desconocer la posición del accionamiento que se quiere manipular.

5.3 Conductores

En este apartado se indicarán las características sobre construcción, ensayos, calidad, garantías y documentación que los cables han de satisfacer. Las características básicas que definen los conductores a emplear en la red de media tensión de 30 kV son:

- Naturaleza del conductor.....aluminio
- Tipo de conductor.....unipolar
- Tensión asignada.....18/30 kV
- Material de aislamiento.....XLPE
- Pantalla metálica.....cobre
- Cubierta exterior.....poliolefina termoplástica

Las características mecánicas, físicas y químicas seguirán la norma UNE 21123 y son facilitadas por el fabricante. Asimismo, tendrán que haber sido sometidos al menos a los siguientes ensayos según la norma IEC 60502-2, corroborados con un acta por parte del fabricante:

- Medida de la resistencia eléctrica de los conductores.

- Ensayo de descargas parciales en cables con conductores aislados con pantalla sobre el conductor y pantalla sobre el aislamiento.
- Ensayo de tensión a frecuencia industrial.
- Verificación de las características geométricas.

La sección de los conductores será tal que cumpla con los calores de intensidad máxima de cortocircuito, caída de tensión máxima e intensidad de cortocircuito máxima admisible.

Durante su manipulación se deberá tomar la necesaria precaución para que el cable no sufra golpes, rozaduras, ni grandes esfuerzos de tensión, flexión ni tracción.

El tendido deberá ejecutarse bajo supervisión de algún miembro de la Dirección Facultativa, ya sea el director de Obra o persona delegada por él. Un error en el tendido podría causar averías inmediatas en el cable o averías latentes que podrían convertirse en averías francas como podría ser la penetración de humedad en el aislamiento.

5.4 Canalizaciones

Los tubos que se emplearán para alojar los conductores serán de PVC, de sección circular de al menos 1,5 veces el diámetro exterior del cable o del diámetro aparente del circuito en el caso de que se trate de varios cables bajo el mismo tubo.

Previamente a la instalación del cable en el tubo, se deberá limpiar asegurando que no queden restos en el interior que puedan dañar los cables. Asimismo, se asegurará de que los tubos empleados queden perfectamente alineados y que no haya taponamientos. Durante su tendido se protegerá el cable de las bocas del tubo por medio de la utilización de un rodillo en la entrada del tubo que lo lleve por el centro de este, y de una pequeña pila de arena en la salida para forzar su salida por la parte media. Se deberá evitar en la medida posible los cambios de dirección y siempre respetando los radios máximos de curvatura indicados por el fabricante de los conductores.

5.5 Centros de transformación

En este apartado se hace referencia a los centros de transformación de los aerogeneradores. Todos ellos tendrán las mismas características, cambiando únicamente las celdas de distribución en función de la ubicación del aerogenerador en la red. Las características básicas que definen los transformadores de centros de transformación son:

- Tipo.....Trifásico
- Aislamiento.....seco encapsulado
- Relación de transformación.....30/0,69 kV
- Nivel de aislamiento.....36 kV
- Potencia nominal.....3662 kVA

Toda manipulación y el acopio de los transformadores se deberán realizar con la máxima precaución, evitando dañar cualquiera de sus elementos. En caso de que se produjera algún daño sobre él, se comunicará a la Dirección Facultativa y ésta decidirá cómo proceder ante la situación. Antes de su puesta en servicio se deberá comprobar las fugas de aceite, conexiones, dispositivos de protección, posición del conmutador del transformador, continuidad del transformador y su aislamiento.

5.6 Celdas 30 kV

Las celdas empleadas serán módulos compactos prefabricados, con envolvente metálica y con hexafluoruro de azufre como elemento de corte y extinción. Sus características técnicas quedan ya especificadas en los documentos del proyecto. El montaje de las celdas se realizará según lo descrito en los documentos del proyecto, realizándose según su disposición en la red de aerogeneradores en el caso de las celdas DVCAS, y según lo señalado en los planos en el caso de los módulos CBGS.

Los cables se conectarán desde la parte frontal de las celdas. Los accionamientos son manuales y se localizan en la parte frontal con selectores que indican la posición de los interruptores-seccionadores. Además, se podrá observar estado de conexión del aparellaje a través de una mirilla protegida por una placa con el apropiado grado de protección frente al impacto.

Aunque estén diseñadas para prestar servicio con bajo mantenimiento, se aconseja realizar una inspección periódica cada 5 años, comprobando el estado del gas, los elementos externos y realizando las tareas de limpieza.

Antes de comenzar cualquier trabajo sobre las celdas, se deberá desconectar y aislar, poniendo a tierra de forma fija, la parte de la instalación sobre la que se vaya a trabajar, además de tomar las medidas y prescripciones de seguridad propias de las instalaciones de alta tensión. Los puntos para revisar serán:

- Accionamiento de los seccionadores.
- Realizar maniobras de prueba.
- Comprobar enclavamientos.
- Lubricación de cojinetes, articulaciones, rodillos y demás puntos de lubricación.
- Comprobación del estado del gas, cuya presión es visible desde un manómetro incluido en el equipo.
- Inspección de los interruptores automáticos (cada 3 años o 2000 operaciones)

5.7 Sistema de puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra consistirá en una única instalación, accesible a lo largo de todo el parque formado por la toma de tierra de la subestación, constituida por una malla de cobre de espesor mínimo 50 mm², y picas verticales constituidas por barras de cobre que estará unida a la puesta a tierra de la red de media tensión y los aerogeneradores, tal y como se especifica en el apartado correspondiente del proyecto.

Cualquier elemento que no soporte tensión deberá estar conectado a la malla de tierra. La malla de tierra se tenderá a la profundidad que se indica en el proyecto. La disposición de esta y de las picas será la señalada en los planos del proyecto. Las conexiones se realizarán mediante soldadura aluminotérmica, también indicado en los planos, y los cruzamientos de harán sin cortar el cable. No se tatará ningún tramo de malla de tierra, ni soldadura alguna, sin la autorización previa de la Dirección Facultativa.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE UN PARQUE DE
ENERGÍA EÓLICA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE RUEDA DE
LA SIERRA, GUADALAJARA.**

III. PRESUPUESTO

AUTORA: ANDREA GONZÁLEZ-CABALLERO HERRERA

TUTOR: CARLOS VARGAS SALGADO

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

ÍNDICE PRESUPUESTO

1. RESUMEN DE PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL, POR CONTRATA Y GENERAL
2. MEDICIONES Y PRECIOS UNITARIOS

1. RESUMEN DE PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL, POR CONTRATA Y CON IVA

Capítulo 1: Movimiento de tierras	952.935,92 €
Capítulo 2: Cimentación	1.946.705,26 €
Capítulo 3: Conductos y puesta a tierra	2.031.522,84 €
Capítulo 4: Elementos zanjas	146.803,62 €
Capítulo 5: Cabinas media tensión	153.786,46 €
Capítulo 6: Aerogeneradores	37.500.000,00 €
Capítulo 7: Ingeniería	503.600,00 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	43.235.354,11 €
13% Gastos generales	5.620.596,03 €
6% Beneficio industrial	2.594.121,25 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	51.450.071,39 €
21% IVA	10.804.514,99 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA CON IVA	62.254.586,38 €

El presupuesto de ejecución contrata con IVA del Parque Eólico asciende a la cantidad de:

SESENTA Y DOS MILLONES DOSCIENTOS CINCUENTA Y CUATRO MIL QUINIENTOS OCHENTA Y SEIS EUROS CON TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS (62.254.586,38 €)

2. MEDICIONES Y PRECIOS UNITARIOS

Código	Descripción	Dimensión	Uds.	Longitud	Anchura	Altura	Parciales	Totales	Precio unitario (€)	Importe (€)
CAPÍTULO 1: MOVIMIENTO DE TIERRAS										
C01.1	Despeje y limpieza del terreno	m ²								
	Desbroce y limpieza del terreno de topografía con desniveles acusados, con medios mecánicos. Comprende los trabajos necesarios hasta una profundidad no menor que el espesor de la capa de tierra vegetal, considerando como mínima 25 cm; y carga a camión. El precio no incluye la tala de árboles ni el transporte de los materiales retirados.									
	Viales existentes y nuevos			7012,78	6		42076,68			
	Plataforma		10	75	45		33750			
							0	75826,68	1,17	88.717,22
C01.2	Excavación desmonte	m ³								
	Desmonte en tierra disgregada, para dar al terreno la rasante de explanación prevista, con medios mecánicos, y carga a camión.									
	Viales nuevos			1875,98	6	0,2	2251,176			
	Plataforma		10	75	45	0,2	6750			
								9001,176	2,05	18.452,41
C01.3	Excavación zanjas	m ³								
	Excavación de zanjas en terreno de tránsito compacto, de hasta 1,25 m de profundidad máxima, con medios mecánicos, y carga a camión.									
	Zanja 1 terna			1665	0,3	1,1	549,45			
	Zanja 2 ternas			3965	0,5	1,1	2180,75			

	Zanjas 5 ternas			13500	0,5	1,3	8775			
							0	11505,2	16,36	188.225,07
C01.4	Excavación vaciado terreno compacto	m ³					0			
	Desmote en terreno de tránsito duro, para dar al terreno la rasante de explanación prevista, con medios mecánicos, y carga a camión.						0			
	Cimentación aerogenerador		10	380,13		3,3	12544,29			
							0	12544,29	8,60	107.880,89
C01.5	Relleno en terraplén en viales y plataforma	m ³					0			
	Terraplenado para cimiento de terraplén, mediante el extendido en tongadas de espesor no superior a 30 cm de material de la propia excavación y posterior compactación con medios mecánicos hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima, y ello cuantas veces sea necesario, hasta conseguir la cota de subrasante. El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.						0			
	Viales nuevos			1875,98	6	0,2	2251,176			
	Plataforma		10	75	45	0,4	13500			
							0	15751,176	19,93	313.920,94
C01.6	Compactación de fondo de excavación	m ²					0			
	Compactación de fondo de caja de pavimento, al 95% con medios mecánicos.						0,2			
	Cimentación aerogenerador		10	1520,53		0,2	3041,06			
								3041,06	6,62	20.131,82
C01.7	Relleno en cimentación	m ³					0			
	Relleno en trasdós de muro de hormigón, con tierra seleccionada procedente de la propia excavación, con medios mecánicos; y compactación en tongadas sucesivas de 30 cm de espesor máximo, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95%.El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.									

	Cimentación aerogenerador			4148,43			4148,43			
								4148,43	11,96	49.615,22
C01.8	Relleno arena fina en zanjas	m ³								
	Relleno de zanjas con arena de 0 a 5 mm de diámetro.									
	Zanja 1 terna			1665	0,3	0,5	249,75			
	Zanja 2 ternas			3965	0,5	0,5	991,25			
	Zanjas 5 ternas			13500	0,5	0,9	6075			
								7316	17,76	129.932,16
C01.9	Relleno tierra compacta en zanjas	m ³								
	Relleno de zanjas con tierra seleccionada procedente de la propia excavación, y compactación en tongadas sucesivas de 25 cm de espesor máximo con medios mecánicos, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo									
	Zanja 1 terna			1665	0,3	0,6	299,7			
	Zanja 2 ternas			3965	0,5	0,6	1189,5			
	Zanjas 5 ternas			13500	0,5	0,6	4050			
								5539,2	6,51	36.060,19
TOTAL CAPÍTULO 1										952.935,92

CAPÍTULO 2: CIMENTACIÓN										
C02.1	Hormigón de limpieza HL-150/F/20	m ³								
	Hormigón HL-200/F/20, fabricado en central y vertido desde camión, para formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, en el fondo de la excavación previamente realizada.									
	Cimentación aerogenerador		10	314,16		0,1	314,16			
								314,16	94,07	29.553,03
C02.2	Hormigón HA-30/L/20/XC2	m ³					0			

	Hormigón para armar en zapatas de cimentación, HA-30/F/20/XC2, fabricado en central, y vertido desde camión.						0			
	Cimentación aerogenerador		10	808,17			8081,7			
								8081,7	117,49	949.518,93
C02.3	Acero para hormigón	kg					0			
	Acero UNE-EN 10080 B 500 S para elaboración de la ferralla (corte, doblado y conformado de elementos) en taller industrial y montaje en zapata de cimentación. Incluso alambre de atar y separadores.						0			
	Cimentación aerogenerador		10	53000			530000			
								530000	1,81	959.300,00
C02.4	Anclaje de torre a cimentación	Ud					0			
	Sistema de anclaje específico para fustes de hormigón, según las indicaciones del suministrador, para los aerogeneradores del tipo GE-158						0			
	Cimentación aerogenerador		10	1			10			
								10	833,33	8.333,30
TOTAL CAPÍTULO 2										1.946.705,26

CAPÍTULO 3: CONDUCTOS Y PUESTA A TIERRA										
C03.1	Suministro de cable MT 3x(1x50mm2)	m	1	235,5			235,5			
								235,5	7,24	1.705,02
C03.2	Suministro de cable MT 3x(1x95mm2)	m	2	242			484			
								484	9,33	4.515,72
C03.3	Suministro de cable MT 3x(1x120mm2)	m	1	630			630			
								630	10,20	6.426,00
C03.4	Suministro de cable MT 3x(1x185mm2)	m	2	384,5			769			
								769	16,40	12.611,60
C03.5	Suministro de cable MT 3x(1x400mm2)	m								

	A5-subestación		5	7000			35000			
	A6-subestación		5	6500			32500			
								67500	27,87	1.881.225,00
C03.6	Puesta a tierra aerogenerador	Ud								
	Instalación p.a.t. aerogenerador considerando anillos de cobre, uniones, soldaduras aluminotérmicas, picas, etc.									
	Aerogenerador		10							
								10	739,00	7.390,00
C03.7	Cable puesta a tierra 1x70mm2	m								
	Conductor de cobre desnudo de 70 mm2 correspondiente a la red subterránea									
	Zanjas			19130						
								19130	6,15	117.649,50
TOTAL CAPÍTULO 3										2.031.522,84

CAPÍTULO 4: ELEMENTOS ZANJAS										
C04.1	Arqueta para líneas subterráneas	ud								
	Arqueta prefabricada de hormigón, sin fondo, de 81,5x90,5x120 cm de medidas interiores y 8 cm de espesor de pared, boca de acceso de 53,5x62,5 cm, con paredes rebajadas para la entrada de tubos, capaz de soportar una carga de 400 kN		478					478	206,96	98.978,62
C04.2	Cinta plástica señalizadora	mL		19130						
	Cinta de plástica señalizadora normalizada, enterrada en zanja sobre cables eléctricos							19130	0,50	9.565,00
C04.3	Lámina PVC enterrada			19130						
	Plancha de PVC enterrada para protección de cables eléctricos	mL						19130	2,00	38.260,00
TOTAL CAPÍTULO 4										146.803,62

CAPÍTULO 5: CABINAS MEDIA TENSIÓN										
C05.1	Cabina 0L+1A	ud								
	Cabina de media tensión formada por celda de remonte y celda de protección		2						10.873,79	21.747,58
C05.2	Cabina 0L+1V+1A	ud								
	Cabina de media tensión formada por celda de remonte, celda de línea y celda de protección		8						16.504,86	132.038,88
TOTAL CAPÍTULO 5										153.786,46

CAPÍTULO 6: AEROGENERADORES										
C06.1	Aerogenerador GE-158/5.3	ud								
	Aerogenerador tipo GENERAL ELECTRIC incluido el transporte, montaje y puesta en servicio del mismo.		10						3.750.000,00	37.500.000,00
TOTAL CAPÍTULO 6										37.500.000,00

CAPÍTULO 7: INGENIERÍA										
C07.1	Redacción proyecto TFG	h								
			300						12,00	3.600,00
C07.2	Estudio viabilidad	Ud								
			1						500.000,00	500.000,00
TOTAL CAPÍTULO 7										503.600,00



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE UN PARQUE DE
ENERGÍA EÓLICA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE RUEDA DE
LA SIERRA, GUADALAJARA.**

IV. PLANOS

AUTORA: ANDREA GONZÁLEZ-CABALLERO HERRERA

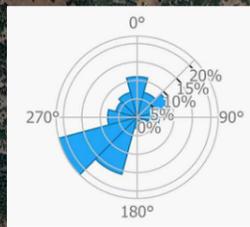
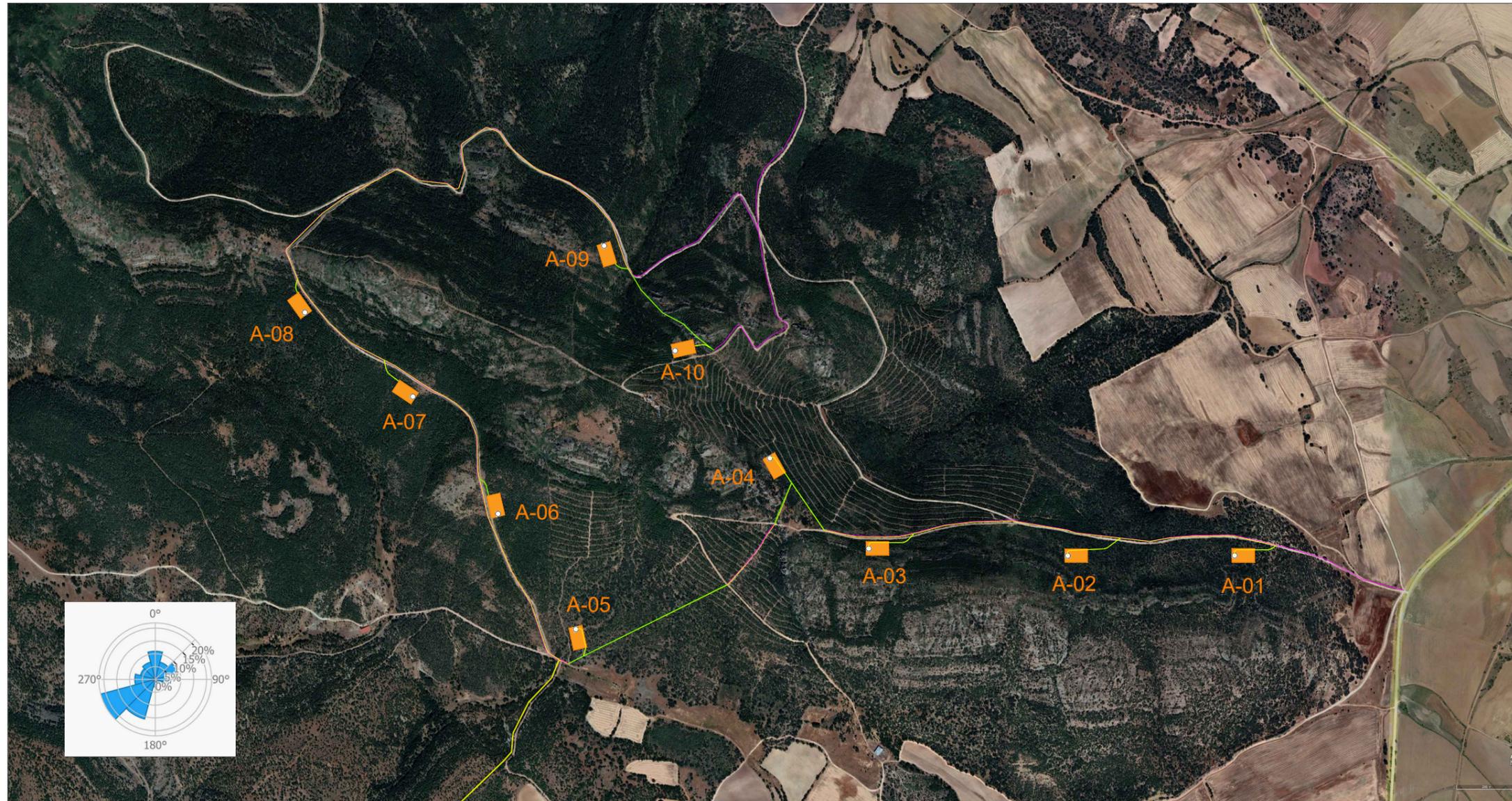
TUTOR: CARLOS VARGAS SALGADO

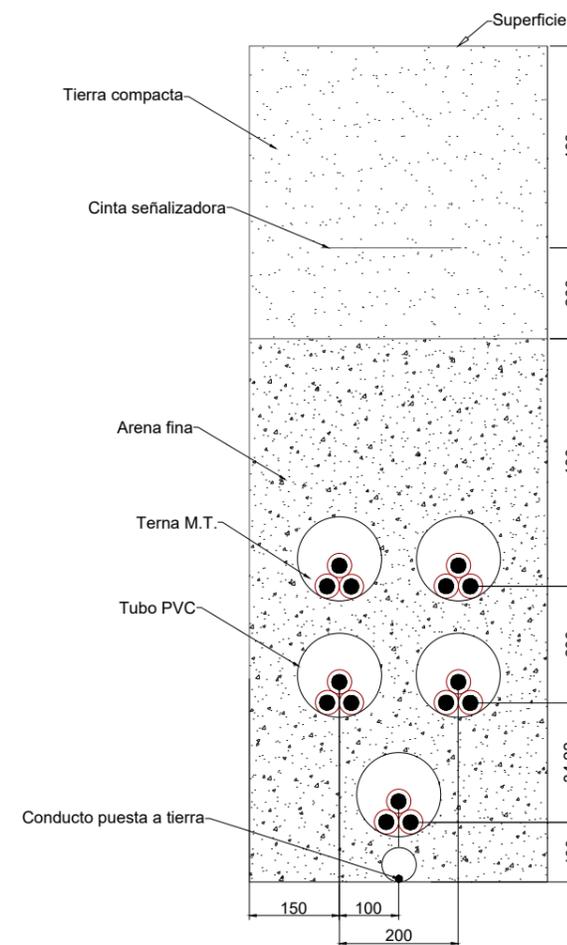
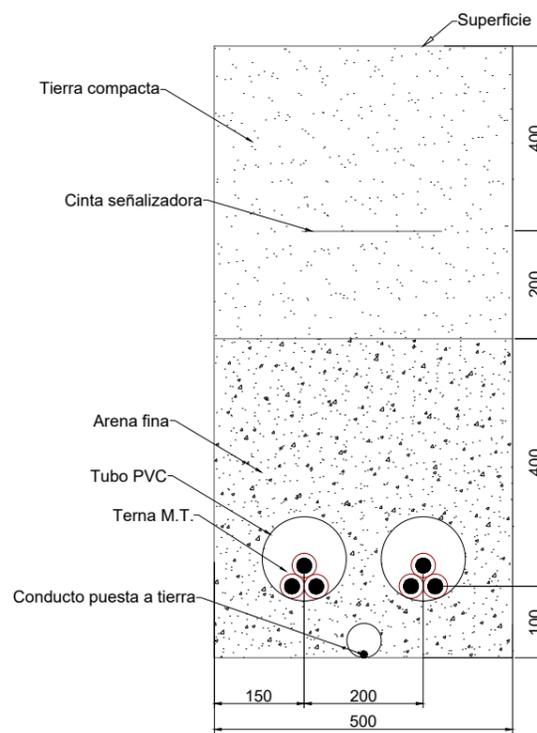
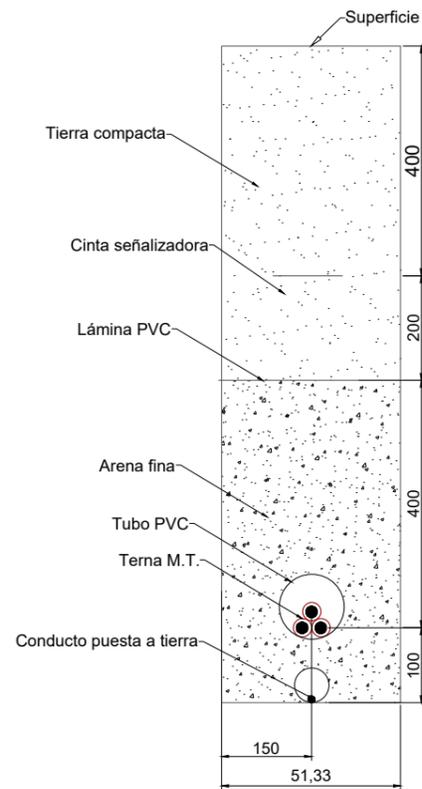
CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

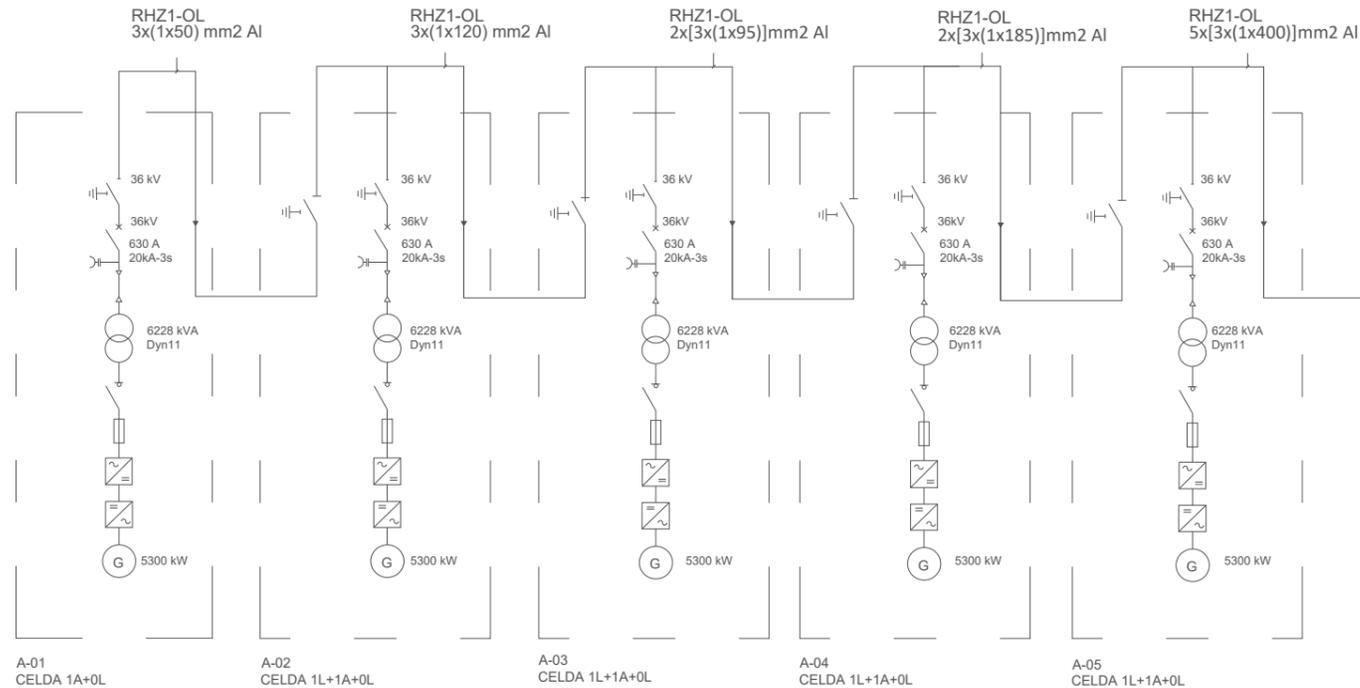
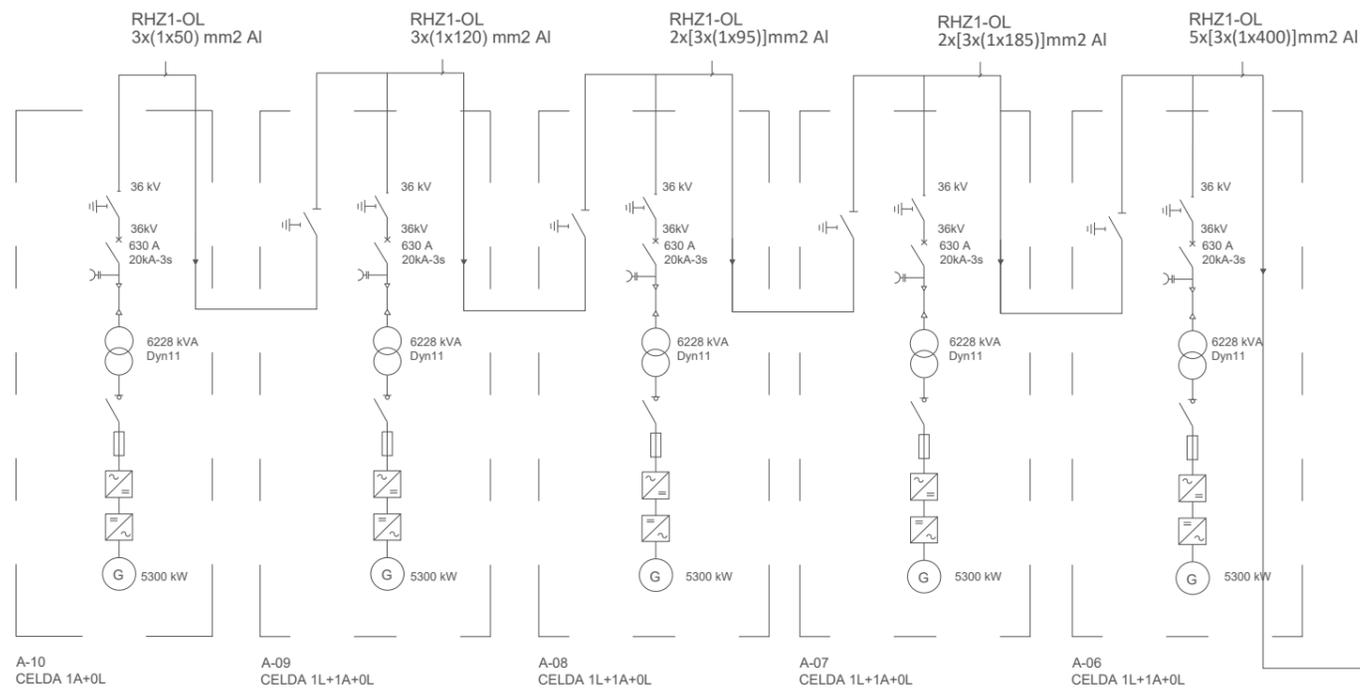
ÍNDICE PLANOS

1. DISEÑO PARQUE Y CONEXIÓN RED MEDIA TENSIÓN
2. ZANJAS ELÉCTRICAS
3. DIAGRAMA UNIFILAR RED MEDIA TENSIÓN
4. DIAGRAMA UNIFILAR INTERIOR AEROGENERADOR

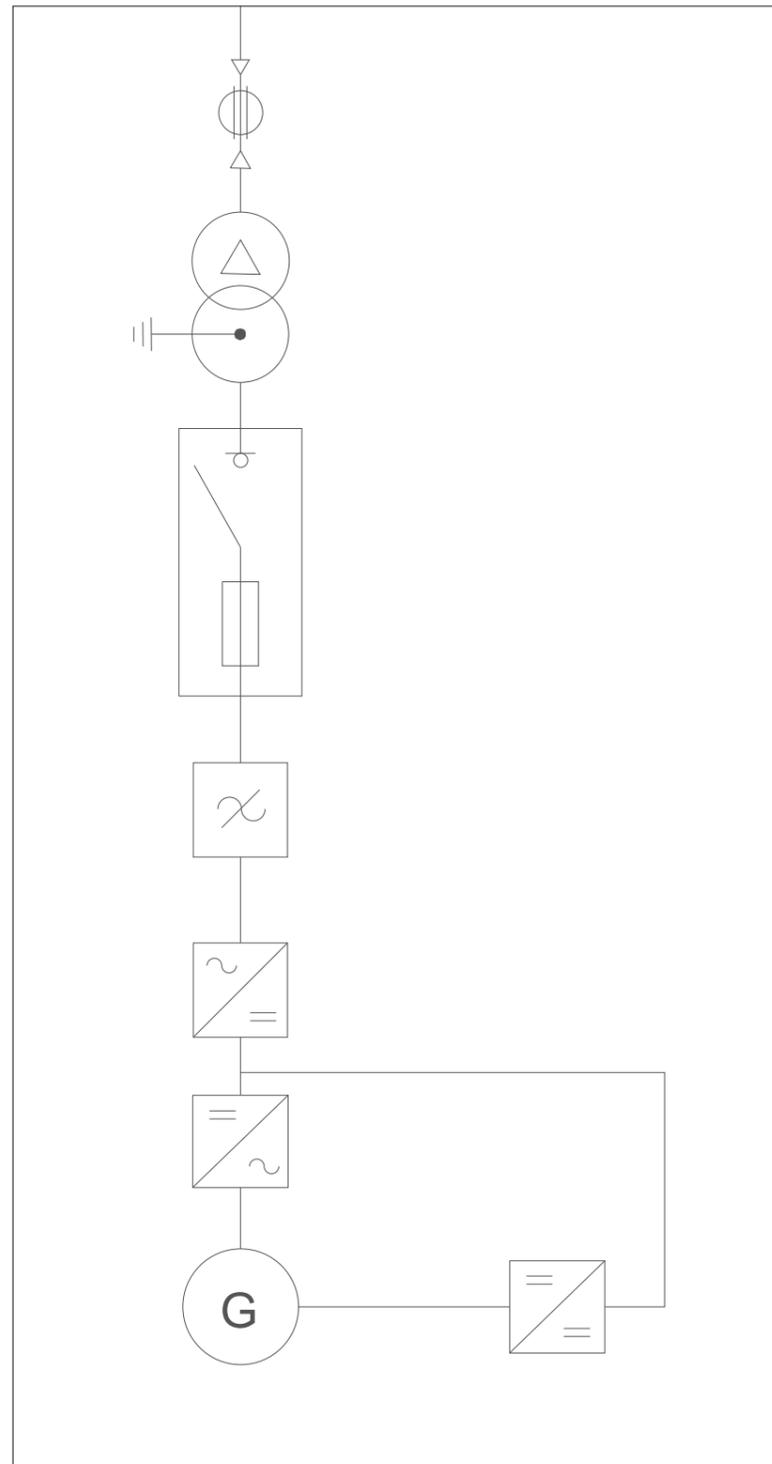
LEYENDA	
	Vial existente
	Vial nuevo
	Zanja eléctrica
	Aerogenerador con plataforma







LEYENDA	
	GE 158 5300kW
	RECTIFICADOR
	INVERSOR
	FUSIBLE BAJA TENSIÓN
	SECCIONADOR EN CARGA
	TRANSFORMADOR 0,69/30 kV
	INDICADOR PRESENCIA DE TENSIÓN
	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO
	SECCIONADOR 3 POSICIONES CON PUESTA A TIERRA
	EXCITADOR
	FILTRO
	EQUIPO DE MEDIDA



LEYENDA	
	GE 158 5300kW
	RECTIFICADOR
	INVERSOR
	FUSIBLE BAJA TENSIÓN
	SECCIONADOR EN CARGA
	TRANSFORMADOR 0,69/30 kV
	INDICADOR PRESENCIA DE TENSIÓN
	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO
	SECCIONADOR 3 POSICIONES
	EXCITADOR
	FILTRO
	EQUIPO DE MEDIDA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

**PROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE UN PARQUE DE
ENERGÍA EÓLICA UBICADO EN EL MUNICIPIO DE RUEDA DE
LA SIERRA, GUADALAJARA.**

ANEXOS

AUTORA: ANDREA GONZÁLEZ-CABALLERO HERRERA

TUTOR: CARLOS VARGAS SALGADO

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

ÍNDICE ANEXOS

1. DIMENSIONAMIENTO RED ELÉCTRICA

- 1.1 Objeto
- 1.2 Características cable seleccionado
- 1.3 Factores de corrección para el criterio térmico

2. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

- 2.1 Objeto
- 2.2 Tabla de grado de relación con los ODS
- 2.3 Explicación detallada

3. ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

- 3.1 Ley de prevención de riesgos laborales
- 3.2 Seguridad y salud en los lugares de trabajo
- 3.3 Señalización de seguridad y salud en el trabajo
- 3.4 Seguridad y salud en las obras de construcción
- 3.5 Seguridad y salud en la utilización de equipos de protección individual

4. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

- 4.1 Objeto
- 4.2 Descripción del proyecto
- 4.3 Descripción del entorno
- 4.4 Identificación acciones que producen impactos
- 4.5 Identificación factores afectados
- 4.6 Evaluación impactos
- 4.7 Medidas preventivas y correctoras

1 DIMENSIONAMIENTO RED ELÉCTRICA

1.1 OBJETO

Este documento contiene toda la información relativa a los datos utilizados y cálculos realizados para dimensionar la red de cables de media tensión del parque que lo conecta a la subestación elevadora.

1.2 CARACTERÍSTICAS CABLE SELECCIONADO

A continuación, se adjunta la tabla con los parámetros característicos del cable X-VOLT RHZ1 AL/OL/2OL 18/30 kV, la cual se ha utilizado para seleccionar la sección nominal de cada tramo.

Sección (mm ²)	Dimensiones				Datos eléctricos		Intensidades máximas	
	∅ Cond. (mm)	∅ Ais (mm)	∅ Ext. (mm)	Peso (Kg/Km)	X (Ω/km)	C(μF/km)	Al aire (40º)	Enterrados (25º)
1x50	8,3	25,7	34,2	1031	0,148	0,134	170	140
1x70	9,8	27,2	36,3	1170	0,141	0,147	210	170
1x95	11,3	28,7	37,8	1286	0,135	0,16	255	205
1x120	12,6	30	39,1	1408	0,13	0,171	295	235
1x150	14	31,4	40,5	1518	0,126	0,183	335	260
1x185	15,6	33	42,1	1683	0,122	0,197	385	295
1x240	18	35,4	44,5	1910	0,116	0,217	455	345
1x300	20,3	37,7	46,8	2159	0,112	0,236	520	390
1x400	23,4	40,8	49,9	2492	0,107	0,262	610	445
1x500	27	44,4	53,5	2896	0,102	0,292	720	510
1x630	32	49,4	58,5	3514	0,097	0,333	840	580
1x800	34	51,4	60,5	3988	0,095	0,35	975	665
1x1000	39	56,4	65,5	4797	0,092	0,391	1130	755

Ilustración nº1- Características técnicas del cable X-VOLT RHZ1 AL/OL/2OL 18/30 kV. Fuente: Catálogo TopCable.com

1.3 FACTORES DE CORRECCIÓN PARA EL CRITERIO TÉRMICO

Para calcular las secciones de los conductos mediante el criterio térmico, el ITE-LAT 06 proporciona las tablas necesarias para calcular la intensidad admitida. Estas tablas son:

Temperatura °C Servicio Permanente θ_s	Temperatura del terreno θ_t , 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 nº 1-Factor de corrección, K_t , para temperatura del terreno distinta de 25 °C

Proyecto de instalación de un parque eólico ubicado en Rueda de la Sierra

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
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 nº 2- Factor de corrección, K_r , para resistividad térmica del terreno distinta de 1,5 K.m/W

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 nº 3- Factor de corrección, K_r , por distancia entre ternos o cables tripolares

Profundidad (m)	Cables enterrados de sección		Cables bajo tubo de sección	
	≤ 185 mm ²	>185 mm ²	≤ 185 mm ²	>185 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 nº 4-Factores de corrección, *Kp*, para profundidades de la instalación distintas de 1m

Short-circuit impedance at rated current	
Rated power kVA	Minimum short-circuit impedance %
25 to 630	4,0
631 to 1 250	5,0
1 251 to 2 500	6,0
2 501 to 6 300	7,0
6 301 to 25 000	8,0
25 001 to 40 000	10,0
40 001 to 63 000	11,0
63 001 to 100 000	12,5
above 100 000	>12,5

NOTE 1 Values for rated power greater than 100 000 kVA are generally subject to agreement between manufacturer and purchaser.

NOTE 2 In the case of single-phase units connected to form a three-phase bank, the value of rated power applies to three-phase bank rating.

Ilustración nº 2- Impedancias de cortocircuito recomendadas por la IEC 60076-5.

2 RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

2.1 Objeto

En este apartado se explica detalladamente el grado de relación entre la construcción de un parque eólico en Rueda de la Sierra con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos en 2015 por la Asamblea General de Naciones Unidas, cuyo propósito es que en 2030 se hayan alcanzado.

2.2 Tabla de grado de relación con los ODS

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	ALTO	MEDIO	BAJO	NO PROCEDE
1. Fin de la pobreza				
2. Hambre cero				
3. Salud y bienestar				
4. Educación de calidad				
5. Igualdad de género				
6. Agua limpia y saneamiento				
7. Energía asequible y no contaminante				
8. Trabajo decente y crecimiento económico				
9. Industria, innovación e infraestructuras				
10. Reducción de las desigualdades				
11. Ciudades y comunidades sostenibles				
12. Producción y consumo responsables				
13. Acción por el clima				
14. Vida submarina				
15. Vida de ecosistemas terrestres				
16. Paz, justicia e instituciones sólidas				
17. Alianzas para lograr objetivos				

Tabla 5- Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Elaboración propia

2.3 Explicación detallada

Como se puede observar, llevar a cabo el proyecto de parque eólico en Rueda de la Sierra contribuye a lograr los objetivos impuestos por las Naciones Unidas, sobre todo aquellos relacionados con el fomento de energías renovables y limpias. Principalmente, el trabajo se encuentra relacionado con los objetivos 7 y 13. A continuación, se detalla cada uno.

La contaminación es uno de los grandes problemas a los que se enfrenta la sociedad actualmente, puesto que induce al cambio climático y efecto invernadero. Para frenar la emisión de productos contaminantes, la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha establecido varios objetivos relacionados entre sí.

El primero de ellos es el **Objetivo 7: energía asequible y no contaminante**, que pretende ‘Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna’ ((ONU), 2015). La energía eólica contribuye directamente a este punto, ya que es una fuente de energía limpia, con cero emisiones de carbono e independencia de los combustibles fósiles. Uno de los principales objetivos es llegar al 2030 con un notable aumento de energías renovables e infraestructuras limpias. En 2022 en España, el porcentaje de energía renovable fue del 42,2% de la producción total y se espera que esta cifra crezca en los próximos años.

En relación con el punto anterior, el **Objetivo 13: Acción por el clima**, pretende ‘Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos’. Para cumplir esta meta, la ONU establece una serie de pautas que se desarrollan a continuación, todas ellas estrechamente relacionadas este trabajo.

El principal objetivo es llevar a cabo la transición verde, es decir, impulsar la descarbonización de todos los aspectos de nuestra economía y, para ello, se debe concienciar a la sociedad e invertir en propuestas energéticas que no necesiten combustibles fósiles y no produzcan emisiones de dióxido de carbono. La implantación de un parque eólico cumple con estos puntos ya que no emite gases de efecto invernadero, por lo que ayuda a reducir la huella de carbono, promoviendo así la descarbonización del sistema energético.

Por otra parte, Rueda de la Sierra es considerado un pueblo en peligro de despoblación, ya que cuenta con un censo de 41 habitantes en 2022. La ONU pretende intervenir ante esta situación mediante objetivos como el 8, 9 y 11, en los que la creación de industria (en este caso el parque eólico) es capaz de influir.

Por una parte, los objetivos 8 y 9 están estrechamente relacionados entre sí, por lo que se van a explicar de forma conjunta. El **Objetivo 8: Trabajo decente y crecimiento económico** aborda la ‘promoción del crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos’, mientras que el **Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructuras** tiene como una de sus metas ‘aumentar significativamente la contribución de la industria al empleo y al producto interno bruto’.

Claramente, la construcción del parque requiere mano de obra y, en consecuencia, estos profesionales pueden ser habitantes de la zona, generando así empleo local, o foráneos, que necesitarían un lugar para establecerse durante el período de construcción, lo que generaría también nuevos ingresos y empleo indirecto debido al aumento de servicios y consumo local. Además, impulsa la industria y las modernización, aspectos muy importantes en zonas que se quieren rehabitar para evitar su extinción.

Por último, el **Objetivo 11: ciudades y comunidades sostenibles**, está estrechamente relacionado con la despoblación y proporciona una gran variedad de pautas para mejorar las condiciones de las infraestructuras y servicios de zonas rurales. Entre ellas ‘redoblar los esfuerzos para proteger y salvaguardar el patrimonio cultural’ y ‘proporcionar acceso a sistemas de transporte seguros’. La instalación de un parque requiere que la red de carreteras para acceder a él y el lugar donde se sitúa el transformador eléctrico estén en buenas condiciones. Esto puede ser de provecho en caso de que las antiguas vías estuviesen en malas condiciones o para la creación de nuevas carreteras que mejoren la comunicación entre municipios.

En conclusión, tanto la construcción del parque eólico como la zona donde se va a emplazar contribuyen en gran medida de impulsar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, sobre todo los relacionados con la energía limpia y, en menor medida, aquellos que impulsan medidas en contra de la despoblación.

3 ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

En este capítulo se va a realizar el estudio básico de seguridad y salud del proyecto. Se explican las normas vigentes que rigen las medidas necesarias que la obra ha de cumplir para su ejecución y se analizan los posibles riesgos existentes en un proyecto de parque eólico.

Los puntos que intervienen en el estudio y que rigen las normas son:

- Ley de prevención de riesgos laborales
- Seguridad y salud en los lugares de trabajo
- Señalización de seguridad y salud en el trabajo
- Seguridad y salud en las obras de construcción
- Seguridad y salud en la utilización de equipos de protección individual

3.1 LEY PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

3.1.1 Introducción

La ley 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales, tiene como objetivo 'la determinación del cuerpo básico de garantías y responsabilidades necesario para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo'.

De acuerdo con el artículo 6 de dicha ley, son las normas reglamentarias las que fijarán las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada protección de los trabajadores. Entre éstas se encuentran las destinadas a garantizar que de la presencia o utilización de los equipos de trabajo puestos a disposición de los trabajadores en la empresa o centro de trabajo no se deriven riesgos para la seguridad o salud de los mismos.

Esta ley establece un marco legal a partir del cual las normas reglamentarias irán fijando y concretando los aspectos más técnicos de las medidas preventivas. Dichas normas están orientadas a las disposiciones mínimas de seguridad y salud en:

- Lugares de trabajo.
- Materia de señalización.
- Utilización, por los trabajadores, de los equipos de trabajo.
- Obras de construcción.
- Utilización, por los trabajadores, de los equipos de protección individual.

3.1.2 Derechos y obligaciones

3.1.2.1 Protección frente a riesgos laborales

Todos los trabajadores que estén involucrados en la construcción de este proyecto tienen el derecho a una protección eficaz en materia de seguridad y salud en el trabajo.

El empresario informará de las pertinentes prevenciones de los riesgos laborales en materia de evaluación de riesgos, información, consulta, participación y formación de los trabajadores, así como la actuación en casos de emergencia y de riesgo grave e inminente.

3.1.2.2 Acción preventiva

Las medidas preventivas pertinentes que llevará a cabo el empresario siguen los siguientes principios:

- Evitar los riesgos y evaluar estos en caso de que no se puedan evitar.
- Tomar medidas que antepongan la protección de todos los trabajadores.
- Sólo los trabajadores calificados podrán acceder a las zonas de riesgo grave.

3.1.2.3 Evaluación de los riesgos

El empresario planificará la acción preventiva a partir de una evaluación inicial de los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores. Se tendrá en cuenta la naturaleza de la actividad y las actividades que impliquen un riesgo especial. Las causas de los riesgos las podríamos clasificar de la siguiente manera:

- Empleo indebido de maquinaria y equipos de trabajo.
- Negligencia en el manejo y conservación de las máquinas.
- Insuficiente calificación profesional de algún trabajador de la obra.
- Insuficiente instrucción del personal en materia de seguridad.

3.1.2.4 Equipos de trabajo y medios de protección

En el caso de que un equipo de trabajo presente algún tipo de riesgo para la seguridad y la salud, el empresario tomará las medidas necesarias como que la utilización de dicho equipo quede reservada para trabajadores calificados. A los trabajadores que manipulen esos equipos se les proporcionará equipos de protección individual adecuados para el desempeño de sus funciones. En todo caso, se proporcionará los medios de protección pertinentes para cada equipo de trabajo.

3.1.2.5 Información y participación de los trabajadores

El empresario mantendrá informados a todos los trabajadores en todo momento en aspectos como los riesgos para la seguridad y la salud de los trabajadores en el trabajo o las medidas y actividades de protección y prevención aplicables a los riesgos.

Por otro lado, los trabajadores podrán proponer mejoras al empresario en aspectos como los niveles de la protección de la seguridad y la salud en los lugares de trabajo, en materia de señalización, etc.

3.1.2.6 Formación preventiva de los trabajadores

El empresario garantizará que cada uno de los trabajadores reciba una formación teórica y práctica en materia preventiva.

3.1.2.7 Medidas de emergencia

El empresario deberá adoptar las medidas necesarias en materia de primeros auxilios,

Proyecto de instalación de un parque eólico ubicado en Rueda de la Sierra

lucha contra incendios y evacuación de los trabajadores, designando para ello al personal encargado de poner en prácticas estas medidas y comprobando periódicamente su correcto funcionamiento.

3.1.2.8 Riesgo grave e inminente

En el caso de que los trabajadores estén expuestos a un riesgo grave e inminente, el empresario estará obligado a:

- Informar a los trabajadores afectados acerca de la existencia de dicho riesgo y de las medidas adoptadas en materia de protección.
- Dar las instrucciones necesarias para que los trabajadores puedan interrumpir su actividad y poder adoptar medidas de seguridad.

3.1.2.9 Vigilancia de la salud

El empresario estará obligado a garantizar a los trabajadores la vigilancia continua de su estado de salud en función de los riesgos inherentes al trabajo, optando por la realización de aquellos reconocimientos o pruebas que causen las menores molestias al trabajador y que sean proporcionales al riesgo.

3.1.2.10 Documentación

El empresario deberá elaborar y conservar a disposición de la autoridad laboral la siguiente documentación:

- Evaluación de riesgos para la seguridad y la salud en el trabajo.
- Medidas de protección y prevención.
- Resultado de los controles de las condiciones de trabajo.
- Práctica de los controles del estado de salud de los trabajadores.
- Relación de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales.

3.1.2.11 Coordinación de actividades empresariales

En el caso de que en un mismo centro de trabajo se desarrollen actividades con trabajadores de dos o más empresas, éstas deberán cooperar en la aplicación de la normativa sobre prevención de riesgos laborales.

3.1.2.12 Protección de trabajadores sensibles a determinados riesgos

El empresario deberá garantizar, evaluando los riesgos y adoptando las medidas preventivas necesarias, la protección de los trabajadores que, por sus propias características personales o estado biológico conocido, incluidos aquellos que tengan reconocida la situación de discapacidad física, sean sensibles a los riesgos derivados del trabajo.

3.1.2.13 Obligaciones de los trabajadores en materia de prevención de riesgos

Corresponde a cada trabajador velar por su seguridad y salud en el trabajo y por la de los trabajadores que pueda afectar su actividad profesional, a causa de sus actos y omisiones en el trabajo, de conformidad con su formación y las instrucciones del empresario. Los trabajadores deberán:

- Usar adecuadamente las máquinas, aparatos, herramientas, etc.
- Utilizar correctamente los medios y equipos de protección.
- No poner fuera de funcionamiento los dispositivos de seguridad.
- Informar de inmediato un riesgo para la seguridad y la salud.

3.1.3 Servicios de prevención

3.1.3.1 Protección y prevención de riesgos profesionales

En cumplimiento del deber de prevención de riesgos profesionales, el empresario designará uno o varios trabajadores para ocuparse de dicha actividad, constituirá un servicio de prevención o concertará este servicio a una entidad ajena a la empresa.

En las empresas de menos de seis trabajadores, el empresario podrá asumir personalmente las funciones señaladas anteriormente, siempre que desarrolle de forma habitual su actividad en el centro de trabajo y tenga capacidad necesaria.

3.1.3.2 Servicios de prevención

En caso de que el grupo de trabajadores para la realización de las actividades de prevención fuera insuficiente, habría que contratar dicho servicio a una compañía externa. Se entenderá como servicio de prevención al conjunto de medios humanos y materiales necesarios para realizar las actividades preventivas.

3.1.4 Consulta y participación de trabajadores

3.1.4.1 Consulta de los trabajadores

En este caso el empresario, deberá consultar a los trabajadores la adopción de nuevas decisiones:

- Planificación y organización del trabajo en la empresa
- Organización y desarrollo de las actividades de protección de la salud.
- Designación de los trabajadores encargados de las medidas de emergencia.
- El proyecto y la organización de la formación en materia preventiva.

3.1.4.2 Derechos de participación y presentación

Los trabajadores tendrán derecho a participar en la empresa en cuestiones relacionadas con la prevención de riesgos en el trabajo. En la empresas o centro de trabajo que cuenten con seis o más trabajadores, la participación de éstos se canalizará a través de sus representantes y de la representación especializada.

3.2 SEGURIDAD Y SALUD EN LOS LUGARES DE TRABAJO

3.2.1 Introducción

La ley 31/1995, de 8 de noviembre de 1995, de Prevención de Riesgos Laborales es la norma legal que garantiza la protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de sus condiciones de trabajo.

De acuerdo con el artículo 6 de dicha ley, serán normas reglamentarias las que fijarán y concretarán los aspectos más técnicos de las medidas preventivas.

En este contexto, el Real Decreto 486/1997 de 14 de Abril de 1997 establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los lugares de trabajo, entendiendo como tales áreas del centro de trabajo, edificadas o no, en las que los trabajadores deban permanecer o a las que puedan acceder en razón de su trabajo, sin incluir las obras de construcción temporales o móviles.

3.2.2 Obligaciones del empresario

El empresario deberá adoptar las medidas necesarias para que el uso de los lugares de trabajo no origine riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores. En cualquier caso, los lugares de trabajo deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el presente Real Decreto en cuanto a sus condiciones constructivas, orden, limpieza, etc.

3.2.2.1 Condiciones constructivas

El diseño y las características constructivas de los lugares de trabajo deberán ofrecer seguridad frente a los riesgos de caídas, choques contra objetos, derrumbamientos o caídas de materiales sobre los trabajadores. Para ello el pavimento constituirá un conjunto homogéneo, llano y liso sin solución de continuidad, de material consistente, no resbaladizo o susceptible de serlo con el uso de fácil limpieza, las paredes serán lisas, pintadas en tonos claros y susceptibles de ser lavadas y los techos deberán resguardar a los trabajadores de las inclemencias del tiempo y ser lo suficientemente consistentes.

Las vías de circulación deberán poder utilizarse conforme a su uso previsto, de forma fácil y con total seguridad.

Los pavimentos de las rampas y escaleras serán de materiales no resbaladizos y en caso de ser perforados la abertura máxima de los intersticios será de 8 mm. La pendiente de las rampas variará entre un 8% y un 12%. La anchura mínima será de 0,55 m para las escaleras de servicio y de 1 m para las de uso general.

En caso de utilizar escaleras de mano, éstas tendrán la resistencia y los elementos de apoyo y sujeción necesarios para que su utilización en las condiciones requeridas no suponga un riesgo de caída, por rotura o desplazamiento de las mismas. En cualquier caso, no se emplearán escaleras de más de 5 m de altura y estas se colocarán formando un ángulo de 75° con la horizontal.

La instalación eléctrica no deberá entrañar riesgos de incendio o explosión, para ello se dimensionarán todos los circuitos considerando las sobreintensidades previsibles y se dotará a los conductores y resto de aparamenta eléctrica de un nivel de aislamiento adecuado.

Para evitar el contacto eléctrico directo se utilizará el sistema de separación por distancia o alejamiento de las partes activas hasta una zona no accesible por el trabajador, interposición de obstáculos y/o barreras y recubrimiento o aislamiento de las partes activas.

Para evitar el contacto eléctrico indirecto se utilizará el sistema de puesta a tierra de las masas y dispositivos de corte por intensidad de defecto.

3.2.2.2 Orden y limpieza

Las zonas de paso, salidas y vías de circulación de los lugares de trabajo deberán permanecer libres de obstáculos. Se eliminarán con rapidez los desperdicios, las manchas de grasa, los residuos de sustancias peligrosas y demás productos residuales que puedan originar accidentes o contaminar el ambiente.

3.2.2.3 Condiciones ambientales

La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores. Obligaciones:

- La temperatura de trabajo deberá estar comprendida entre 17 y 27 °C.
- La humedad relativa estará comprendida entre 30 y 70 %.
- Los trabajadores no deberán estar expuestos a continuas corrientes de aire.
- La renovación mínima del aire de los locales de trabajo será de 30 m³.

3.2.2.4 Iluminación

La iluminación será natural con puertas y ventanas acristaladas, complementándose con iluminación artificial en las horas de visibilidad deficiente. Los niveles mínimos de iluminación son:

- Áreas de uso ocasional/habitual: 50 /100 lux.
- Vías de circulación de uso ocasional/habitual: 25 /50lux.
- Zonas de trabajo con bajas exigencias visuales: 100 lux.
- Zonas de trabajo con moderadas exigencias visuales: 200 lux.
- Zonas de trabajo con exigencias visuales altas/muy altas: 500/1000 lux.

La iluminación anteriormente especificada deberá poseer una uniformidad adecuada, mediante la distribución uniforme de las luminarias.

3.2.2.5 Higiene y descanso

En el local se dispondrá de agua potable en cantidades suficientes y fácilmente accesible por los trabajadores.

Existirán aseos con espejos, retretes con descarga automática de agua y papel higiénico y lavabos con agua corriente, caliente si es necesario, jabón y toallas individuales u otros sistemas de secado con garantías higiénicas. Dispondrán además de duchas de agua corriente, caliente y fría, cuando se realicen habitualmente trabajos sucios, contaminantes o que originen elevada sudoración.

3.2.2.6 Material de primeros auxilios

El lugar de trabajo dispondrá de material para primeros auxilios en caso de accidente, que deberá ser adecuado, en cuanto a su cantidad y características, al número de trabajadores y a los riesgos a que estén expuestos.

Como mínimo se dispondrá, un lugar reservado y a la vez de fácil acceso, de un botiquín portátil.

3.3 SEÑALIZACIÓN DE SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO

3.3.1 Introducción

La ley 31/1995, de 8 de noviembre de 1995, de Prevención de Riesgos Laborales es la norma legal que garantiza la protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de sus condiciones de trabajo.

De acuerdo con el artículo 6 de dicha ley, serán normas reglamentarias las que fijarán y concretarán los aspectos más técnicos de las medidas preventivas.

Por todo lo expuesto, el Real Decreto 485/1997 de 14 de Abril de 1997 establece las disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y de salud en el trabajo, entendiéndose como tales aquellas señalizaciones que referidas a un objeto, actividad o situación determinada, proporcionen una indicación o una obligación relativa a la seguridad o la salud en el trabajo mediante una señal en forma de panel, un color, una señal luminosa.

3.3.2 Obligaciones generales del empresario

El empresario adoptará las medidas necesarias para que los equipos de trabajo se pongan a disposición de los trabajadores y sean adecuados al trabajo que deba realizarse. Para la elección de los equipos de trabajo se deberán tener en cuenta:

- Las condiciones y características específicas del trabajo a desarrollar.
- Los riesgos existentes para la seguridad y salud de los trabajadores.
- Las adaptaciones necesarias para su utilización por discapacitados.

El empresario deberá garantizar que los trabajadores reciban la formación e información adecuadas a los riesgos derivados de los equipos de trabajo. La información suministrada, preferentemente por escrito, deberá contener, como mínimo, las indicaciones relativas a las condiciones y forma correcta de utilización de los equipos de trabajo, teniendo en cuenta las instrucciones del fabricante, y las conclusiones que se puedan obtener de la experiencia adquirida en la utilización de los mismos.

3.3.2.1 Equipos de trabajo generales

Cada equipo de trabajo deberá estar provisto de un órgano de accionamiento que permita su parada total en condiciones de seguridad. Si fuera necesario para la seguridad o la salud de los trabajadores, los equipos de trabajo y sus elementos deberán estabilizarse por

fijación. Las zonas de un equipo de trabajo deberán estar adecuadamente iluminadas en función de las tareas que deban realizarse.

Las partes de un equipo de trabajo que alcancen temperaturas elevadas o muy bajas deberán estar protegidas cuando corresponda contra los riesgos de contacto o la proximidad de trabajadores.

Las herramientas manuales deberán estar construidas con materiales resistentes y la unión entre sus elementos deberá ser firme, de manera que se eviten las roturas o proyecciones de los mismos.

3.3.3 Equipos de trabajo móviles

Los equipos con trabajadores transportados deberán evitar el contacto de éstos con ruedas y orugas y al aprisionamiento por las mismas.

Para ello dispondrán de una estructura de protección que impida que el equipo de trabajo incline más de un cuarto de vuelta o una estructura que garantice un espacio suficiente alrededor de los trabajadores transportados cuando el equipo pueda inclinarse más de un cuarto de vuelta.

Las carretillas elevadoras deberán ser acondicionadas mediante la instalación de una cabina para el conductor, una estructura que impida que la carretilla vuelque, una estructura que garantice que, en caso de vuelco, quede espacio suficiente para el trabajador entre el suelo y determinadas partes de dicha carretilla y una estructura que mantenga al trabajador sobre el asiento de conducción en buenas condiciones.

3.3.3.1 Equipos de trabajo para movimiento de tierras y maquinaria pesada

Las máquinas para los movimientos de tierras estarán dotadas de faros de marcha hacia delante y de retroceso, servofrenos, freno de mano, bocina automática de retroceso, retrovisores en ambos lados, pórtico de seguridad antivuelco y antiimpactos y un extintor.

Si se produjese contacto con líneas eléctricas el maquinista permanecerá inmóvil en su puesto y solicitará auxilio por medio de las bocinas. De ser posible el salto sin riesgo de contacto eléctrico, el maquinista saltará fuera de la máquina sin tocar, al unísono, la máquina y el terreno. No se debe fumar cuando se abastezca de combustible la máquina, pues podría inflamarse. Al realizar dicha tarea el motor deberá permanecer parado.

3.3.3.2 Maquinaria herramienta

Las máquinas herramienta estarán protegidas eléctricamente mediante doble aislamiento y sus motores eléctricos estarán protegidos por la carcasa.

Se prohíbe trabajar sobre lugares encharcados, para evitar los riesgos de caídas y los eléctricos. Para todas las tareas se dispondrá una iluminación adecuada, en torno a 100 lux.

En las tareas de soldadura por arco eléctrico se utilizará yelmo del soldar o pantalla de mano, no se mirará directamente al arco voltaico, no se tocarán las piezas recientemente soldadas, se soldará en un lugar ventilado, se verificará la inexistencia de personas en el entorno vertical del puesto de trabajo.

En la soldadura oxiacetilénica no se mezclarán las botellas de gases distintos, estas se transportarán sobre bateas enjauladas en posición vertical y atadas, no se ubicarán al sol ni en posición inclinada y los mecheros estarán dotados de válvulas antiretroceso de llama.

3.4 Seguridad y salud en las obras de construcción

3.4.1 Introducción

La ley 31/1995, de 8 de noviembre de 1995, de Prevención de Riesgos Laborales es la norma legal que garantiza la protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de sus condiciones de trabajo.

De acuerdo con el artículo 6 de dicha ley, serán normas reglamentarias las que fijarán y concretarán los aspectos más técnicos de las medidas preventivas.

Por todo lo expuesto, el Real Decreto 1627/1997 de 24 de Octubre de 1.997 establece las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, entendiendo como tales cualquier obra, pública o privada, en la que se efectúen trabajos de construcción o ingeniería civil.

La obra en proyecto referente a la Ejecución de una obra civil de uso industrial se encuentra incluida en el Anexo I de dicha legislación, con la clasificación:

- Excavación y movimiento de tierras.
- Construcción.
- Montaje y desmontaje de elementos prefabricados.
- Acondicionamiento de instalaciones.
- Transformación.
- Desmantelamiento.
- Trabajos de pintura y de limpieza.
- Saneamiento.

3.4.2 Riesgos más frecuentes en las obras de construcción

Los oficios más comunes en las obras de construcción son los que se presentan a continuación:

- Movimiento, excavación y relleno de tierras.
- Trabajos con ferralla y encofrados.
- Trabajos de manipulación del hormigón.
- Montaje de estructura metálica y prefabricados.
- Albañilería, solados con mármoles, terrazos, etc.
- Pintura y barnizados.
- Instalación eléctrica definitiva y provisional de obra.

Los riesgos más comunes dentro de todos los oficios que han sido mencionados son:

- Deslizamiento o desprendimientos de tierras.
- Riesgos derivados del manejo de máquinas herramienta y pesada-
- Atropellos, colisiones, vuelcos y falsas maniobras de la maquinaria.
- Caídas de personas, materiales y útiles.
- Hundimientos, rotura o reventón de encofrados.
- Cuerpos extraños en los ojos.
- Golpes.
- Deficiente iluminación.
- Incendio y explosiones.

3.4.3 Medidas preventivas de carácter general

Se establecerán a lo largo de la obra letreros divulgativos y señalización de los riesgos, así como las medidas preventivas previstas. Se habilitarán zonas o estancias para el acopio de material y útiles.

Se procurará que los trabajos se realicen en superficies secas y limpias, utilizando los elementos de protección personal, fundamentalmente calzado antideslizante reforzado para protección de golpes en los pies, casco de protección para la cabeza y cinturón de seguridad.

El transporte aéreo de materiales y útiles se hará suspendiéndolos desde dos puntos mediante eslingas, y se guiarán por tres operarios, dos de ellos guiarán la carga y el tercero ordenará las maniobras.

Se tenderán cables de seguridad amarrados a elementos estructurales sólidos en los que enganchar el mosquetón del cinturón de seguridad de los operarios encargados de realizar trabajos en altura.

Se vigilarán los esfuerzos de torsión o de flexión del tronco, sobre todo si el cuerpo está en posición inestable. Se evitarán las distancias demasiado grandes de elevación, descenso o transporte, así como un ritmo demasiado alto de trabajo. Se tratará que la carga y su volumen

permitan asirla con facilidad. Se recomienda evitar los barrizales, en prevención de accidentes.

Si el trabajador sufriese estrés térmico se deben modificar las condiciones de trabajo, con el fin de disminuir su esfuerzo físico, mejorar la circulación del aire, apantallar el calor por radiación, dotar al trabajador de vestimenta adecuada, vigilar que la ingesta de agua tenga cantidades moderadas de sal y establecer descansos de recuperación si las soluciones anteriores no son suficientes.

El aporte alimentario calórico debe ser suficiente para compensar el gasto derivado de la actividad y de las contracciones musculares. Para evitar el contacto eléctrico directo se utilizará el sistema de separación por distancia o alejamiento de las partes activas hasta una zona no accesible por el trabajador, interposición de obstáculos y/o barreras y recubrimiento o aislamiento de las partes activas.

Para evitar el contacto eléctrico indirecto se utilizará el sistema de puesta a tierra de las masas (conductores de protección, líneas de enlace con tierra y electrodos artificiales) y dispositivos de corte por intensidad de defecto (interruptores diferenciales de sensibilidad adecuada a las condiciones de humedad y resistencia de tierra de la instalación provisional).

Las vías y salidas de emergencia deberán permanecer expeditas y desembocar lo más directamente posible en una zona de seguridad. El número, la distribución y las dimensiones de las vías y salidas de emergencia dependerán del uso, de los equipos y de las dimensiones de la obra y de los locales, así como el número máximo de personas que puedan estar presentes en ellos.

En caso de avería del sistema de alumbrado, las vías y salidas de emergencia que requieran iluminación deberán estar equipadas con iluminación de seguridad de suficiente intensidad.

3.4.4 Medidas preventivas para cada oficio

3.4.4.1 Movimiento de tierras, excavación de pozos y zanjas

Antes del inicio de los trabajos, se inspeccionará el tajo con el fin de detectar posibles grietas o movimientos del terreno. Se prohibirá el acopio de tierras o de materiales a menos de dos metros del borde de la excavación, para evitar sobrecargas y posibles vuelcos del terreno, señalizándose además mediante una línea esta distancia de seguridad. Se eliminarán todos los bolos o viseras de los frentes de la excavación que por su situación ofrezcan el riesgo de desprendimiento.

La maquinaria estará dotada de peldaños y asidero para subir o bajar de la cabina de control. No se utilizará como apoyo para subir a la cabina las llantas, cubiertas, cadenas y

guardabarros. Los desplazamientos por el interior de la obra se realizarán por caminos señalizados. Se utilizarán redes tensas o mallazo electrosoldado situadas sobre los taludes, con un solape mínimo de 2 m.

La circulación de los vehículos se realizará a un máximo de aproximación al borde de la excavación no superior a los 3 m para vehículos ligeros y de 4 m para pesados. Se conservarán los caminos de circulación interna cubriendo baches, eliminando blandones y compactando mediante zahorras. El acceso y salida de los pozos y zanjas se efectuará mediante una escalera sólida, anclada en la parte superior del pozo, que estará provista de zapatas antideslizantes.

Cuando la profundidad del pozo sea igual o superior a 1,5 m., se entibará el perímetro en prevención de derrumbamientos. Se efectuará el achique inmediato de las aguas que afloran (o caen) en el interior de las zanjas, para evitar que se altere la estabilidad de los taludes. En presencia de líneas eléctricas en servicio:

- Se solicitará a la compañía propietaria de la línea eléctrica el corte de fluido y puesta a tierra de los cables, antes de realizar los trabajos.
- La línea eléctrica que afecta a la obra será desviada de su actual trazado al límite marcado en los planos.
- La distancia de seguridad con respecto a las líneas eléctricas que cruzan la obra queda fijada en 5 m, en zonas accesibles durante la construcción.
- Se prohíbe la utilización de cualquier calzado que no sea aislante de la electricidad en proximidad con la línea eléctrica.

3.4.4.2 Relleno de tierras

Se prohíbe el transporte de personal fuera de la cabina de conducción y/o en número superior a los asientos existentes en el interior. Se regarán periódicamente los tajos, las cargas y cajas de camión, para evitar las polvaredas.

Se instalará, en el borde de los terraplenes de vertido, sólidos topes de limitación de recorrido para el vertido en retroceso. Se prohíbe la permanencia de personas en un radio no inferior a los 5 m. En torno a las compactadoras y apisonadoras en funcionamiento. Los vehículos de compactación y apisonado irán provistos de cabina de seguridad.

3.4.4.3 Encofrados

Se prohíbe la permanencia de operarios en las zonas de batido de cargas durante las operaciones de izado de tablonas, sopandas, puntales y ferralla; igualmente se procederá durante la elevación de viguetas, nervios, armaduras, pilares, bovedillas, etc.

El ascenso y descenso del personal a los encofrados, se efectuará a través de escaleras de

mano reglamentarias. Se instalarán barandillas reglamentarias en los frentes de losas horizontales, para impedir la caída al vacío de las personas. Los clavos o puntas existentes en la madera usada se extraerán o remacharán, según casos.

Queda prohibido encofrar sin antes haber cubierto el riesgo de caída desde altura mediante la ubicación de redes de protección. Trabajos con ferralla, manipulación y puesta en obra.

Se efectuará un barrido diario de puntas, alambres y recortes de ferralla en torno al banco (o bancos, borriquetas, etc.) de trabajo. Para vibrar el hormigón desde posiciones sobre la cimentación que se hormigona, se establecerán plataformas de trabajo móviles formadas por un mínimo de tres tablones, que se dispondrán perpendicularmente al eje de la zanja o zapata.

Los perfiles se apilarán ordenadamente sobre durmientes de madera de soporte de cargas, estableciendo capas hasta una altura no superior al 1,50 m. Se prohíbe elevar una nueva altura, sin que en la inmediata inferior se haya consolidado de forma adecuada. Se prohíbe la permanencia de operarios dentro del radio de acción de cargas suspendidas.

3.4.4.4 Albañilería

Los escombros se evacuarán diariamente mediante trompas de vertido montadas al efecto, para evitar el riesgo de pisadas sobre materiales.

3.4.4.5 5.4.5. Enfocados y enlucidos

Las "miras", reglas, tablones, etc., se cargarán a hombro en su caso, de tal forma que al caminar, el extremo que va por delante, se encuentre por encima de la altura del casco de quién lo transporta, para evitar los golpes a otros operarios y los tropezones entre obstáculos.

El corte de piezas de pavimento se ejecutará en vía húmeda, en evitación de lesiones por trabajar en atmósferas pulverulentas. Los lodos producto de los pulidos, serán orillados siempre hacia zonas no de paso y eliminados inmediatamente de la planta.

3.4.5 Instalación eléctrica provisional de obra.

El montaje de aparatos eléctricos será ejecutado por personal especialista, en prevención de los riesgos por montajes incorrectos. El calibre o sección del cableado será siempre el adecuado para la carga eléctrica que ha de soportar.

Los hilos tendrán la funda protectora aislante sin defectos apreciables (rasgones,

repelones y asimilables). No se admitirán tramos defectuosos. La distribución general desde el cuadro general de obra a los cuadros secundarios o de planta, se efectuará mediante manguera eléctrica antihumedad.

El tendido de los cables y mangueras se efectuará a una altura mínima de 2 m en los lugares peatonales y de 5 m en los de vehículos, medidos sobre el nivel del pavimento.

Los empalmes provisionales entre mangueras se ejecutarán mediante conexiones normalizadas estancas antihumedad. Las mangueras de "alargadera" por ser provisionales y de corta estancia pueden llevarse tendidas por el suelo, pero arrimadas a los paramentos verticales. Los interruptores se instalarán en el interior de cajas normalizadas, provistas de puerta de entrada con cerradura de seguridad. Los cuadros eléctricos metálicos tendrán la carcasa conectada a tierra. Los cuadros eléctricos se colgarán pendientes de tableros de madera recibidos a los paramentos verticales o bien a "pies derechos" firmes.

Las maniobras por ejecutar en el cuadro eléctrico general se efectuarán subido a una banqueta de maniobra o alfombrilla aislante. Los cuadros eléctricos poseerán tomas de corriente para conexiones normalizadas blindadas para intemperie. La tensión siempre estará en la clavija "hembra", nunca en la "macho", para evitar los contactos eléctricos directos. Los interruptores diferenciales se instalarán de acuerdo con las siguientes sensibilidades:

- 300 mA para alimentación a la maquinaria.
- 30 mA para alimentación a la maquinaria como mejora del nivel de seguridad.
- 30 mA para las instalaciones eléctricas de alumbrado.

Las partes metálicas de todo equipo eléctrico dispondrán de toma de tierra. El neutro de la instalación estará puesto a tierra. El hilo de toma de tierra, siempre estará protegido con macarrón en colores amarillo y verde. Se prohíbe expresamente utilizarlo para otros usos. La iluminación mediante portátiles cumplirá la siguiente norma:

- Portalámparas estanco de seguridad con mango aislante, rejilla protectora de la bombilla dotada de gancho de cuelgue a la pared, manguera antihumedad, clavija de conexión normalizada estanca de seguridad, alimentados a 24 V.
- La iluminación de los tajos se situará a una altura en torno a los 2 m., medidos desde la superficie de apoyo de los operarios en el puesto de trabajo.
- La iluminación de los tajos, siempre que sea posible, se efectuará cruzado con el fin de disminuir sombras.
- Las zonas de paso de la obra, estarán permanentemente iluminadas evitando rincones oscuros.

No se permitirá las conexiones a tierra a través de conducciones de agua. No se permitirá el tránsito de carretillas y personas sobre mangueras eléctricas, pueden pelarse y producir accidentes. No se permitirá el tránsito bajo líneas eléctricas de las compañías con elementos longitudinales transportados a hombro (pértigas, reglas, escaleras de mano y asimilables). La

inclinación de la pieza puede llegar a producir el contacto eléctrico.

3.4.6 Proximidad de instalaciones eléctricas de alta tensión

Los oficios más comunes en las instalaciones de alta tensión son los siguientes:

- Instalación de apoyos metálicos o de hormigón.
- Instalación de conductores desnudos.
- Instalación de aisladores cerámicos.
- Instalación de crucetas metálicas.
- Instalación de aparatos de seccionamiento y corte.
- Instalación de limitadores de sobretensión
- Instalación de transformadores tipo intemperie sobre apoyos.
- Medida de altura de conductores.
- Detección de partes en tensión.
- Instalación de conductores aislados en zanjas o galerías.
- Instalación de celdas eléctricas (seccionamiento, protección, medida, etc).
- Instalación de transformadores en envolventes prefabricadas a nivel del terreno.
- Instalación de cuadros eléctricos y salidas en B.T.
- Puestas a tierra y conexiones equipotenciales.
- Reparación, conservación o cambio de los elementos citados.

Los riesgos más frecuentes durante los oficios que han sido mencionados son los siguientes:

- Deslizamientos, desprendimientos de tierras por diferentes motivos.
- Riesgos derivados del manejo de máquinas-herramienta y maquinaria pesada.
- Atropellos, colisiones, vuelcos y falsas maniobras de la maquinaria.
- Caídas de personas, materiales y útiles.
- Contactos con el hormigón.
- Golpes y cortes.
- Incendio y explosiones. Electrocuciiones y quemaduras.
- Riesgo por sobreesfuerzos musculares y malos gestos.
- Contacto o manipulación de los elementos aislantes de los transformadores (aceites minerales, aceites a la silicona y piraleno).
- Contacto directo con una parte del cuerpo humano y a través de herramientas.
- Contacto a través de maquinaria de gran altura.

Se realizará un diseño seguro y viable por parte del técnico proyectista. Los trabajadores recibirán una formación específica referente a los riesgos en alta tensión.

Para evitar el riesgo de contacto eléctrico se alejarán las partes activas de la instalación a distancia suficiente del lugar donde las personas habitualmente se encuentran o circulan, se recubrirán las partes activas con aislamiento apropiado, de tal forma que conserven sus propiedades indefinidamente y que limiten la corriente de contacto a un valor inocuo (1 mA) y se

interpondrán obstáculos aislantes de forma segura que impidan todo contacto accidental.

Será obligatorio el uso del cinturón de seguridad para los operarios encargados de realizar trabajos en altura. Todos los apoyos, herrajes, autoválvulas, seccionadores de puesta a tierra y elementos metálicos en general estarán conectados a tierra, con el fin de evitar las tensiones de paso y de contacto sobre el cuerpo humano. La puesta a tierra del neutro de los transformadores será independiente de la especificada para herrajes. Ambas serán motivo de estudio en la fase de proyecto.

Las pantallas de protección contra contacto de las celdas, aparte de esta función, deben evitar posibles proyecciones de líquidos o gases en caso de explosión, para lo cual deberán ser de chapa y no de malla. Los mandos de los interruptores, seccionadores, deben estar emplazados en lugares de fácil manipulación, evitándose postura forzadas para el operador, teniendo en cuenta que éste lo hará desde el banquillo aislante.

Se realizarán enclavamientos mecánicos en las celdas, de puerta (se impide su apertura cuando el aparato principal está cerrado o la puesta a tierra desconectada), de maniobra (impide la maniobra del aparato principal y puesta a tierra con la puerta abierta), de puesta a tierra (impide el cierre de la puesta a tierra con el interruptor cerrado o viceversa), entre el seccionador y el interruptor (no se cierra el interruptor si el seccionador está abierto y conectado a tierra y no se abrirá el seccionador si el interruptor está cerrado) y enclavamiento del mando por candado.

Como recomendación, en las celdas se instalarán detectores de presencia de tensión y mallas protectoras quitamiedos para comprobación con pértiga. En las celdas de transformador se utilizará una ventilación optimizada de mayor eficacia situando la salida de aire caliente en la parte superior de los paneles verticales.

Para realizar todas las maniobras será obligatorio el uso de, al menos y a la vez, dos elementos de protección personal: pértiga, guantes y banqueta o alfombra aislante, conexión equipotencial del mando manual del aparato y plataforma de maniobras. Se colocarán señales de seguridad adecuadas, delimitando la zona de trabajo.

3.5 Seguridad y salud en la utilización de equipos de protección individual

3.5.1 Introducción

La ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo. Así son las normas de desarrollo reglamentario las que deben fijar las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuada protección de los trabajadores.

Entre ellas se encuentran las destinadas a garantizar la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual que los protejan adecuadamente de aquellos riesgos para su salud o su seguridad que no puedan evitarse o limitarse suficientemente mediante la utilización de medios de protección colectiva o la adopción de medidas de organización en el trabajo.

3.5.2 Protectores de cabeza

- Cascos de seguridad, no metálicos, clase N, aislados, con el fin de proteger a los trabajadores de los posibles choques, impactos y contactos eléctricos.
- Protectores auditivos acoplables a los cascos de protección.
- Gafas de montura universal contra impactos y anti-polvo.
- Mascarilla anti-polvo con filtros protectores.
- Pantalla de protección para soldadura autógena y eléctrica.

3.6 Protectores de manos y brazos

- Guantes contra las agresiones mecánicas (perforaciones, cortes, vibraciones).
- Guantes de goma finos, para operarios que trabajen con hormigón.
- Guantes dieléctricos.
- Guantes de soldador.
- Muñequeras.
- Mango aislante de protección en las herramientas.

3.7 Protectores de pie y piernas

- Calzado provisto de suela y puntera de seguridad contra las agresiones mecánicas.
- Botas dieléctricas.
- Botas de protección impermeable.
- Polainas de soldador.
- Rodilleras.

3.8 Protectores del cuerpo

- Crema de protección y pomadas.
- Chalecos y mandiles de cuero para protección de las agresiones mecánicas.
- Traje impermeable de trabajo.
- Cinturón de seguridad, de sujeción y caída, clase A.
- Fajas y cinturones anti-vibraciones.
- Pértiga.
- Banqueta aislante clase I para maniobra.
- Linterna individual de situación.
- Comprobador de tensión.

3.9 Protecciones para trabajos en la proximidad de instalaciones eléctricas de A.T.

- Casco de protección aislante clase E-AT.
- Guantes aislantes clase IV.
- Banqueta aislante de maniobra clase II-B o alfombra aislante para A.T.
- Pértiga detectora de tensión (salvamento y maniobra).
- Traje de protección de menos de 3 kg y bien ajustado.
- Gafas de protección.
- Insuflador boca a boca.
- Tierra auxiliar.
- Esquema unifilar.
- Placa de primeros auxilios.

4 ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

La necesidad de someter este proyecto al análisis de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) viene dada por la Ley 21/2013, puesto que pertenece al grupo i) Instalaciones para la utilización de la fuerza del viento para la producción de energía (parques eólicos) que tengan más de 30 MW, regulado en el Anexo I, título II, capítulo II, sección 1.ª, Grupo 3: Industria Energética.

4.1 OBJETO

El documento constituye el EIA del parque Eólico ubicado en Rueda de la Sierra, municipio de Guadalajara, y de sus infraestructuras de evacuación hasta su conexión con la ST Fuentelsaz 30/220 kV, que permitirá su evacuación de la energía eléctrica.

El objeto del presente Estudio de Impacto Ambiental es cumplimentar los requisitos exigidos por la Administración Competente para obtener las oportunas autorizaciones medioambientales para la implantación del parque eólico descrito.

Por tanto, el EIA presenta la descripción técnica del parque eólico y sus infraestructuras asociadas de evacuación, así como la identificación y evaluación ambiental de dichas instalaciones y la determinación de las medidas protectoras y correctoras.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

El parque eólico está integrado por 10 aerogeneradores de General Electric, GE-158/5.3, de 5.3MW de potencia unitaria, con un rotor de 158m y 150m de altura de buje, lo que conforma un parque eólico de 50 MW de potencia eléctrica instalada, a construir entre Rueda de la Sierra, Pardos, Cillas y Torrubia, siendo el primero de los nombrados el que más próximo está al parque eólico, aproximadamente a 3 kilómetros de distancia.

El acceso principal se realizará desde la carretera autonómica CM-210 y se hará uso en la máxima medida posibles de los viales internos existentes para transportar el material necesario, construyendo nuevos viales en caso de no poder conectar los aerogeneradores de forma eficiente.

Para que el efecto estela no altere las propiedades con las que el viento llega a las palas de la turbina, la distancia mínima recomendable entre aerogeneradores de una misma alineación es de al menos de 3 rotores (474 m.) y entre alineaciones paralelas de al menos 5 veces el diámetro del rotor, estimándose una distancia media de al menos 790 m. entre alineaciones paralelas, lo cual permite recuperar el flujo del viento y disminuir las estelas.

La energía se generará en el propio aerogenerador a una tensión de 690V que será elevado hasta una tensión de 30kV en un transformador ubicado en el interior del aerogenerador. Los aerogeneradores estarán unidos por circuitos eléctricos soterrados de 30KV que se encargarán de transportar la energía eléctrica producida hasta la subestación transformadora ya construida ST Fuentelsaz 30/220kV.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO

En primer lugar, se realiza un breve inventario ambiental en el que se detallarán las características de la zona bajo estudio para conocer las características del emplazamiento en el que se va a construir el parque.

4.3.1 Clima

Según la clasificación de Köpper, el clima en la región de Molina de Aragón es de tipo Csb, es decir, clima mediterráneo con veranos frescos. El clima se caracteriza por tener veranos cortos, calurosos y mayormente despejados mientras que los inviernos son largos, muy fríos, ventosos y parcialmente nublados (esta zona tiene el récord regional de frío, llegando a $-28,5^{\circ}\text{C}$), pero, sobre todo, con fuertes variaciones de temperatura entre la noche y el día.

4.3.2 Composición del suelo y relieve

Según el Instituto Geográfico Nacional en la zona escogida predomina el suelo calcáreo, caracterizado por su alto contenido de carbonato de calcio.



Ilustración 3: Mapa tipos de suelo en España. Fuente: Instituto Geográfico Nacional

4.3.3 Hidrología

El río más cercano a la zona es el río Tajo y sus correspondientes afluentes. Sin embargo, la distribución de aerogeneradores seleccionada respeta el cauce de todos ellos, no interfiriendo con el curso natural de los ríos en ningún caso.

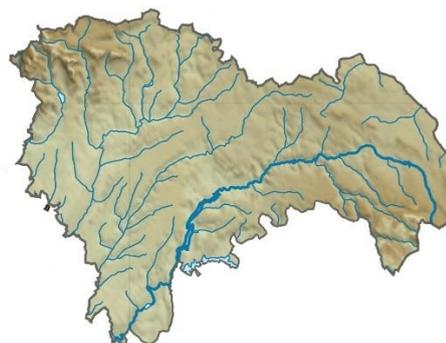


Ilustración 4: Mapa de ríos en la provincia de Guadalajara. Fuente: Wikipedia

4.3.4 Patrimonio Histórico-Artístico

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

4.3.5 Espacios naturales

Como se comentó previamente en el apartado 2.1.2, la zona elegida no se encuentra afectada por ningún espacio protegido, por lo que no existirá restricción alguna en este sentido.

4.4 IDENTIFICACIÓN ACCIONES QUE PRODUCEN IMPACTOS

Para realizar la evaluación de los impactos que afectan a la zona, es necesario identificar las acciones que se van a llevar a cabo en el proyecto y que son susceptibles de alterar el medio natural. Se divide el proyecto en tres fases distintas, cada una con sus respectivos impactos: construcción, explotación y desmantelamiento. Así, los principales impactos que genera cada fase son:

- Fase de construcción:
 - Apertura de nuevos accesos y acondicionamiento de los ya existentes para acceder a los puntos de ubicación de los aerogeneradores.
 - Explanación y acondicionamiento del terreno.
 - Excavación de las cimentaciones de aerogeneradores.
 - Apertura de zanjas para el cableado.
 - Montaje de aerogeneradores.
 - Montaje de la línea eléctrica.
 - Montaje de instalaciones auxiliares.
 - Ocupación de terrenos para almacenamientos temporales de material, casetas de obra o parques de maquinaria.
 - Tránsito de maquinaria, vehículos y transporte de materiales y equipos.
 - Generación, almacenamiento, recogida y tratamientos de materiales y residuos.

- Fase de explotación
 - Ocupación del terreno
 - Presencia de los aerogeneradores y cabinas de media tensión
 - Transporte de electricidad mediante red eléctrica
 - Funcionamiento elementos generadores de energía
 - Operaciones de mantenimiento

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

4.5 IDENTIFICACIÓN FACTORES AFECTADOS

A continuación, se presentan los diferentes elementos que se ven influenciados por los impactos mencionados anteriormente. Los factores se clasifican según su naturaleza, obteniendo las siguientes categorías: medio inerte, medio biótico, medio perceptual y medio socioeconómico (Gómez Orea, 2013).

4.5.1 Medio inerte

- Aire:

El principal impacto sobre la calidad del aire se produce en las fases de construcción y desmantelamiento, ya que los aerogeneradores no producen emisión contaminante. Sin embargo, se producirán emisiones de CO₂ asociadas al funcionamiento de máquinas y vehículos. Además, todos los movimientos de tierra provocan un aumento del polvo, y las maquinarias emiten gases de escape.

- Ruido:

Durante el funcionamiento de los aerogeneradores se producirá un aumento del nivel de ruido de la zona, causado principalmente por el movimiento de rotación de las palas. A esto hay que sumarle el ruido derivado de los medios de transporte y las máquinas utilizadas en las fases de construcción y desmantelamiento. Dichas actividades causarán efectos negativos en la fauna de la zona, asustando o desorientando a las aves y animales, llegando a provocar cambios en sus rutas y hábitats.

- Tierra y suelo:

La obra civil de ejecución del Parque Eólico conlleva la apertura de algunos caminos y zanjas, así como la cimentación de los aerogeneradores. Estas acciones se traducen en la pérdida de suelo natural, cambios en la morfología y riesgos inducidos en los terrenos debido a la alteración de los factores que estabilizan el medio físico. La zona presenta desniveles que, si bien no son excesivamente grandes, puede conllevar a una futura generación de procesos erosivos durante la obra civil.

Durante la fase de construcción existe una pérdida de suelo, aunque después se aprovechará la tierra extraída durante la misma. Si hablamos de la contaminación del suelo, el desbroce y la excavación no son procesos contaminantes. Sin embargo, en el caso de que por accidente se produjese algún vertido de naturaleza química, como por ejemplo gasolina de máquinas o vehículos, la calidad del suelo se vería seriamente dañada.

4.5.2 Medio biótico

- Vegetación:

Durante la fase de construcción se producirá la tala y el desbroce de formaciones vegetales para despejar las zonas pertenecientes a las vías de acceso y los aerogeneradores. Las actividades de excavación, desbroce y movimientos de tierra son las que más afectan tanto a la abundancia como a las formaciones vegetales.

La parte positiva es que, una vez construido el parque, y tras su posterior abandono, toda la zona empleada puede repoblarse con facilidad, siendo el impacto a largo plazo mucho menor en este aspecto.

- Fauna:

La presencia de un parque eólico tiene un impacto significativo en la fauna, especialmente en las aves. Durante la construcción, la tala de las formaciones vegetales puede conllevar la pérdida del refugio de gran cantidad de mamíferos y aves. Además, las aves pueden modificar sus rutas migratorias o de dispersión habituales debido a la presencia de los aerogeneradores, e incluso pueden sufrir lesiones o muerte al colisionar con las palas.

4.5.3 Medio perceptual

- Calidad del paisaje:

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

En la fase de construcción, los impactos paisajísticos vienen determinados por la presencia de elementos extraños en la zona de ocupación del proyecto y por la envergadura de las obras a realizar.

4.5.4 Medio socioeconómico

- Empleo:

La implantación de un parque eólico es una actividad de gran calibre que supone la creación de puestos de trabajo, tanto de carácter directo como indirecto. De esta manera, durante los meses que duren las fases de construcción y desmantelamiento se crearán numerosos puestos de trabajo relacionados con diversos sectores industriales como la industria del metal, de los subsectores de fundición, mecanizados y acabados de superficies, de la fibra de vidrio, de las actividades mecánicas, civil, eléctrica y de mantenimiento industrial.

Así mismo, a lo largo de toda la fase de funcionamiento se necesitarán empleados que realicen las labores de mantenimiento y vigilancia del parque.

4.6 EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS

Para evaluar los impactos producidos en la zona, se elabora una tabla clasificando cada impacto según los siguientes efectos:

- Positivos y negativos: dependiendo de si el factor es beneficioso o dañino.
- Temporales y permanentes
- Simples y acumulativos: si es simple, presentará un único componente ambiental sin efectos secundarios. Por el contrario, si es acumulativo, el efecto verá incrementada su gravedad conforme lo haga la duración de la actividad generadora.
- Recuperables e irrecuperables.
- Reversibles e irreversibles.
- Periódicos y de aparición irregular.
- Continuos de los discontinuos.

Por último, se indica la clasificación final de cada impacto, diferenciándolos entre compatible, moderado, severo o crítico, dependiendo del grado de influencia y gravedad que tenga.

Así, a tabla queda:

	Positivo	Negativo	Temporal	Permanente	Simple	Acumulativo	Recuperable	Irrecuperable	Reversible	Irreversible	Periódicos	Aparición irregular	Continuo	Descontinuo	JUICIO
Aire		X	X		X		X		X		X			X	Compatible
Ruido		X		X	X		X		X		X		X		Moderado
Tierra y suelo		X		X	X			X			X		X		Compatible
Vegetación		X	X		X		X		X		X			X	Compatible
Fauna		X		X	X		X		X		X			X	Moderado
Paisaje		X		X	X		X		X		X		X		Moderado
Empleo	X			X	X		X		X		X		X		Compatible

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

4.7 MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS

4.7.1 Medidas preventivas

Se pueden diferenciar las medidas dependiendo del tipo de impacto al que se refieren.

- Protección de la calidad atmosférica
 - Riego periódico de pistas con agua para estabilización del polvo.
 - Retirada de las pistas y accesos del material formado por acumulación de polvo.
 - Limitación de la velocidad de circulación de vehículos y minimización del número de cruces de pistas.
 - Revegetación de las áreas adyacentes a las pistas y de los terrenos restituidos.

- Minimización de ruido y vibraciones
 - Se recomienda utilizar equipos que funcionen con energía eléctrica siempre que sea técnicamente posible y rentable. Además, es aconsejable utilizar máquinas que estén equipadas con cabinas insonorizadas, silenciadores en los tubos de escape y recubrimientos de goma en las cajas de los volquetes.
 - Es importante llevar a cabo un mantenimiento regular de la maquinaria para reducir al mínimo el ruido generado por los aerogeneradores en funcionamiento. Sin embargo,

dado que el parque eólico se encuentra a varios kilómetros de las zonas habitadas, el impacto acústico es mínimo.

- Protección del suelo
 - La tierra vegetal que se recupere se acopiará en su totalidad al inicio de la actividad, para su reutilización a ser posible.
 - En la zona en la que se realiza el parque eólico no existen cursos de agua permanentes, por lo que las afecciones sobre la red hídrica superficial serán mínimas o nulas.
 - Todas las actividades de obra que impliquen la generación de residuos tóxicos y peligrosos deben disponer de los elementos necesarios para la correcta gestión de éstos

- Medidas tendentes a evitar el impacto sobre la flora
 - Se identificarán y señalarán aquellas poblaciones o ejemplares de flora catalogada presentes en el área de actuación, a fin de evitar su afección.
 - Intentar reservar la máxima capa de tierra vegetal existente en el área de explotación.
 - Evitar el exceso de polvo que pueda dañar a la vegetación del entorno.
 - No se permitirá el tránsito de maquinaria fuera de los límites establecidos como zonas de actuación, con el objetivo de no provocar impactos mayores a los estrictamente necesarios.

- Protección del paisaje
 - Se intentará seleccionar materiales que favorezcan la integración de estos en el paisaje de la zona.
 - La implantación de infraestructuras debe tener en cuenta la geometría del paisaje, con el objetivo de que se ajusten a la morfología del terreno y se integren dentro del entorno.
 - El material de acopio o el establecimiento de la maquinaria se ubicarán en zonas habilitadas a tal fin.

4.7.2 Medidas correctoras

- Impacto sobre fauna

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

- Impacto sobre paisaje

Se intentará remodelar la topografía alterada por la fase de construcción, para lo que se utilizarán las tierras extraídas del emplazamiento.

- Impacto sobre flora

Realizar operaciones de restauración topográfica y vegetal, incluyendo el tratamiento de zonas con dificultad de implantación de especies vegetales.