



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional durante todos estos años.

A mis amigos por ser y estar y hacer estos años de carrera mucho más llevaderos.

A mi tutor, Jose Felipe, por su paciencia y consejos que me han ayudado con este trabajo.

RESUMEN

El alcance de este Trabajo Final de Grado (TFG) es el diseño de un parque eólico y otro fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica renovable a las poblaciones de Geldo y de Soneja, pertenecientes a la comarca del Alto Palancia (Castellón).

Para ello se ha realizado, en primer lugar, un estudio de la demanda de energía eléctrica por parte de las poblaciones de Geldo y Soneja. Seguidamente, se ha seleccionado una zona para situar el parque eólico teniendo en cuenta la legislación vigente y se ha realizado un estudio del potencial eólico de la misma. A continuación, se han comparado distintos aerogeneradores disponibles en el mercado, eligiendo aquel que maximice la producción energética. Después de esto, se ha realizado un proceso análogo para evaluar el potencial fotovoltaico, seleccionar una zona para este parque y comparar distintas placas fotovoltaicas disponibles en el mercado, escogiendo la que permita generar mayor energía.

Una vez finalizado el diseño de los parques, se ha analizado cuál podría ser la mejor opción para suministrar la energía eléctrica que las poblaciones demandan. Estas opciones han sido las siguientes: suministrar parte de la energía a través del parque fotovoltaico, suministrarla toda a través del eólico o realizar una combinación de ambos parques para que estos trabajen sincronizados y poder cubrir así toda la demanda de energía eléctrica.

Tras ello, se ha realizado un análisis del impacto ambiental básico causado por la instalación de ambos parques en las zonas escogidas, analizando las repercusiones de los mismos sobre la flora y fauna del entorno.

Finalmente, se ha analizado la viabilidad económica del proyecto con el fin de comprobar si este es rentable.

Palabras Clave: parque eólico, parque fotovoltaico, aerogenerador, módulo fotovoltaico, impacto ambiental, viabilidad económica.

RESUM

L'abast d'aquest Treball Final de Grau (TFG) és el disseny d'un parc eòlic i un altre fotovoltaic per al subministrament d'energia elèctrica renovable a les poblacions de Geldo i de Soneja, pertanyents a la comarca de l'Alt Palància (Castelló).

Per a això s'ha realitzat, en primer lloc, un estudi de la demanda d'energia elèctrica per part de les poblacions de Geldo i Soneja. Seguidament, s'ha seleccionat una zona per a situar el parc eòlic tenint en compte la legislació vigent i s'ha realitzat un estudi del potencial eòlic d'aquesta. A continuació, s'han comparat diferents aerogeneradors disponibles en el mercat, triant aquell que maximitze la producció energètica. Després d'això, s'ha realitzat un procés anàleg per a avaluar el potencial fotovoltaic, seleccionar una zona per a aquest parc i comparar diferents plaques fotovoltaiques disponibles en el mercat, triant la que permeti generar major energia.

Una vegada finalitzat el disseny dels parcs, s'ha analitzat quin podria ser la millor opció per a subministrar l'energia elèctrica que les poblacions demanden. Aquestes opcions han sigut les següents: subministrar part de l'energia a través del parc fotovoltaic, subministrar-la tota a través de l'eòlic o realitzar una combinació de tots dos parcs perquè aquests treballen sincronitzats i poder cobrir així tota la demanda d'energia elèctrica.

Després d'això, s'ha realitzat una anàlisi de l'impacte ambiental bàsic causat per la instal·lació de tots dos parcs en les zones triades, analitzant les repercussions dels mateixos sobre la flora i fauna de l'entorn.

Finalment, s'ha analitzat la viabilitat econòmica del projecte amb la finalitat de comprovar si aquest és rendible.

Paraules Clau: parc eòlic, parc fotovoltaic, aerogenerador, mòdul fotovoltaic, impacte ambiental, viabilitat econòmica.

ABSTRACT

The scope of this Bachelor Thesis (TFG) is the design of a wind farm and a photovoltaic one for the supply of renewable electricity to the towns of Geldo and Soneja, belonging to the Alto Palancia region (Castellón).

To do this, a study of the demand for electrical energy by the populations of Geldo and Soneja has been studied, first. Subsequently, an area has been selected to locate the wind farm taking into account current legislation and a study of its wind potential has been carried out. Next, different wind turbines available on the market have been compared, choosing that one which maximizes energy production. After this, an analogous process has been executed to evaluate the photovoltaic potential, to select an area for this park and to compare different photovoltaic panels available on the market, choosing that one which allows generating the most energy.

Once the design of the parks has been completed, it has been studied which could be the best option to supply the electricity that the populations demand. These options have been the following: supplying part of the energy through the photovoltaic park, supplying all of it through the wind farm or carrying out a combination of both parks so that they work in sync and being able to cover all the demand for electrical energy by this way.

After that, an analysis of the basic environmental impact caused by the installation of both parks in the chosen areas has been carried out, analyzing their repercussions on the flora and fauna of the environment.

Finally, the economic viability of the project has been analyzed in order to see if it is profitable.

Key Words: wind farm, photovoltaic park, wind turbine, photovoltaic module, environmental impact, economic viability.

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE
EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA**

ÍNDICE GENERAL

Documentos Contenidos en el TFG:

- **MEMORIA**
- **PRESUPUESTO**
- **ANEXO DE PLANOS**

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objeto del Proyecto	1
1.2. Alcance del Trabajo Final de Grado.....	2
1.3. Justificación	2
2. NORMATIVA	4
2.1. Eólica	4
2.1.1. Legislación Europea.....	4
2.1.2. Legislación Estatal	4
2.1.3. Legislación Autonómica	4
2.2. Fotovoltaica.....	5
2.2.1. Legislación Europea.....	5
2.2.2. Legislación Estatal	5
2.2.3. Legislación Autonómica	5
3. PANORAMA ACTUAL	6
3.1. Eólica	6
3.1.1. Situación a Nivel Europeo y Mundial	6
3.1.2. Situación a Nivel Nacional	7
3.2. Fotovoltaica.....	8
3.2.1. Situación a Nivel Europeo y Mundial	8
3.2.2. Situación a Nivel Nacional	10
4. DESCRIPCIÓN POBLACIONES Y ESTUDIO DE SUS DEMANDAS ENERGÉTICAS	12
4.1. Descripción de las Poblaciones	12
4.2. Estudio de la Demografía de las Poblaciones.....	13
4.3. Análisis de Sectores Productivos, Terciarios y Residenciales de las Poblaciones	13
4.4. Estudio de la Demanda Energética a Distintos Niveles.....	14

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE
EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA**

5. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO	18
5.1. Situación de los Municipios.....	18
5.2. Selección de la Zona del Parque Eólico	19
5.3. Evaluación del Potencial Eólico	20
5.3.1. Rosa de los Vientos	21
5.3.2. Distribución de Velocidades. Distribución de Weibull	22
5.3.3. Perfil de Velocidades.....	24
6. ESTUDIO DE LOS AEROGENERADORES.....	26
6.1. Comparación de los Modelos.....	26
6.2. Corrección de las Curvas de Potencia	29
6.3. Estimación de Producción Energética Anual.....	30
6.4. Elección de Aerogenerador	33
6.5. Cálculo de Producción Energética Mensual	33
6.5.1. Método A.....	34
6.5.2. Método B.....	36
6.5.3. Método C.....	38
7. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO.....	39
7.1. Efectos Modificadores del Viento	39
7.1.1. Efecto Colina.....	39
7.1.2. Efecto Parque	39
7.2. Predimensionado del Parque Eólico	40
8. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO	41
8.1. Situación de los Municipios.....	41
8.2. Selección de la Zona del Parque Fotovoltaico.....	41
8.3. Evaluación del Potencial Solar Fotovoltaico	42
8.3.1. Radiación e Irradiancia. Tipos de Radiación.....	42
8.3.2. Hora Sol Pico (HSP).....	43
8.3.3. Performance Ratio (PR).....	43
9. ESTUDIO DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS.....	44
9.1. Comparativa de Módulos Fotovoltaicos	44
9.2. Elección de Módulo Fotovoltaico.....	44
9.3. Cálculo de Producción Energética por Módulo.....	45
10. DISEÑO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO	47
10.1. Orientación e Inclinación de los Módulos.....	47
10.2. Separación entre Módulos	47
10.3. Elementos Complementarios de la Instalación Fotovoltaica.....	48

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE
EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA**

10.3.1. “String”	48
10.3.2. Concentrador de “Strings”	48
10.3.3. Inversor	49
10.4. Predimensionado del Parque Fotovoltaico	49
11. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	51
11.1. ALTERNAT. I. Suministro Total con Fotovoltaica	51
11.2. ALTERNAT. II. Suministro Total con Eólica	52
11.3. ALTERNAT. III. Suministro Total con Combinación Eólica y Fotovoltaica	53
11.4. ALTERNAT IV. Suministro Parcial con Combinación Eólica y Fotovoltaica	53
12. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL	55
12.1. Descripción del Proyecto	55
12.2. Inventario Ambiental	55
12.2.1. Clima	55
12.2.2. Sismología	56
12.2.3. Composición del Suelo y Relieve	57
12.2.4. Usos del Suelo	57
12.2.5. Hidrografía	57
12.2.6. Espacios Naturales	57
12.2.7. Flora	58
12.2.8. Fauna	58
12.3. Identificación de Impactos	59
12.4. Factores Ambientales Afectados	60
12.5. Evaluación de Impactos. Matriz Decisión	61
12.6. Medidas Preventivas y Correctoras	63
13. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA	65
13.1. Costes Iniciales	65
13.2. Costes de Explotación	66
13.3. Ingresos	66
13.4. Flujos de Cajas	67
13.5. Análisis de Emisiones	68
13.6. Análisis Financiero	68
14. CONCLUSIONES	70
15. REFERENCIAS	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). (ONU, 2015).....	3
Figura 2 - Evolución energía eólica mundial. (energías-renovables.com, 2020)	6
Figura 3 – Distribución energía eólica mundial. (AEE, 2020)	7
Figura 4 - Evolución energía eólica nacional. (AEE, 2020)	7
Figura 5 - Distribución energía eólica nacional. (SmartGridsInfo, 2018)	8
Figura 6 - Evolución energía fotovoltaica mundial. (IRENA, 2021)	9
Figura 7 - Distribución energía fotovoltaica mundial. (IRENA, 2021)	9
Figura 8 – Evolución energía fotovoltaica nacional. (REE, 2019)	10
Figura 9 - Distribución energía fotovoltaica nacional. (SmartGridsInfo, 2018)	11
Figura 10 - Situación Geldo y Soneja. (Visor de la GVA)	12
Figura 11 - Demanda eléctrica Residencia y Restaurante. (Elaboración propia)	15
Figura 12 - Distribución demanda energía eléctrica distintos niveles. (Atlas de la Demanda Eléctrica Española. REE, 1997)	15
Figura 13 - Evolución demanda energía eléctrica Geldo. (Elaboración propia).....	16
Figura 14 - Evolución demanda energía eléctrica Soneja. (Elaboración propia)	17
Figura 15 - Evolución demanda energía eléctrica TOTAL. (Elaboración propia).....	17
Figura 16 - Ubicación espacios naturales. (Visor de la GVA).....	18
Figura 17 - Zona parque eólico. (Google Earth)	19
Figura 18 - Relieve colina parque eólico. (Visor de la GVA)	20
Figura 19 - Rosa de los vientos de frecuencias. (Global Wind Atlas)	21
Figura 20 - Rosa de los vientos de velocidades. (Global Wind Atlas)	21
Figura 21 - Rosa de los vientos de potencias. (Global Wind Atlas).....	22
Figura 22 - Distribución Weibull zona parque eólico. (Danish Wind Industry Association)	24
Figura 23 - Perfil de velocidades. (Elaboración propia)	25
Figura 24 - Evolución velocidad media mensual. (Elaboración propia)	34
Figura 25 - Representación del efecto colina. (Asignatura Tecnología Energética)	39
Figura 26 - Separación aerogeneradores efecto parque. (Asignatura Tecnología Energética)	40
Figura 27 - Zona parque fotovoltaico. (Google Earth)	41
Figura 28 - Intervalo longitudes de onda aprovechables. (Asignatura Tecnología Energética)	42
Figura 29 - Orientación (β) y separación (d) de los módulos. (Elaboración propia).....	48
Figura 30 - Energía producida por aerogenerador y por concentrador. (Elaboración propia).....	51
Figura 31 – Distribución del suministro anual. Alternativa I. (Elaboración propia)	52
Figura 32 – Distribución del suministro anual. Alternativa II. (Elaboración propia)	52
Figura 33 - Distribución del suministro anual. Alternativa III. (Elaboración propia).....	53
Figura 34 - Distribución del suministro anual. Alternativa IV. (Elaboración propia)	54
Figura 35 - Climograma Alto Palancia. (es.climate-data.org).....	56
Figura 36 - Mapa sísmológico de España. (IGN).....	56
Figura 37 - Representación flujos de cajas del proyecto. (Elaboración propia)	68
Figura 38 - Flujo de cajas obtenido del RETscreen. (RETscreen)	69
Figura 39 - Representación flujo de cajas sin pérdidas. (Elaboración propia)	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Datos demográficos. (Elaboración propia).....	13
Tabla 2 - Viviendas, comercios y lugares públicos. (Elaboración propia)	14
Tabla 3 - Factores de forma y escala ponderados. (Elaboración propia).....	23
Tabla 4 - Rugosidades superficiales. (Atlas Eólico de España. IDAE, 2011)	25
Tabla 5 - Clases de aerogeneradores. (Elaboración propia)	26
Tabla 6 - Aerogeneradores a comparar y sus fabricantes. (Elaboración propia).....	27
Tabla 7 - Características aerogeneradores EWT Directwind. (Elaboración propia).....	27
Tabla 8 - Características aerogenerador PowerWind 500. (Elaboración propia)	27
Tabla 9 - Características aerogenerador Soyut Wind 500. (Elaboración propia).....	28
Tabla 10 - Corrección de curvas de potencia. (Elaboración propia)	29
Tabla 11 - Valores finales producción energía eólica anual. (Elaboración propia).....	31
Tabla 12 - Estimación producción energética anual detallado. (Elaboración propia)	32
Tabla 13 - Coeficientes y velocidades mensuales. (Elaboración propia)	34
Tabla 14 - Velocidades medias en cada sector anualmente. (Elaboración propia)	35
Tabla 15 - Energía mensual calculada con método A. (Elaboración Propia)	36
Tabla 16 - Energía mensual calculada con método B. (Elaboración propia).....	37
Tabla 17 - Energía mensual calculada con método C. (Elaboración propia).....	38
Tabla 18 - Comparación módulos fotovoltaicos. (Elaboración propia)	44
Tabla 19 - Valores introducidos en PVGIS. (PVGIS).....	45
Tabla 20 - Energía e irradiación mensual. (Elaboración propia)	45
Tabla 21 - Valores de HSP y energía generada mensualmente. (Elaboración propia)	46
Tabla 22 - Resultados de simulación con PGVIS. (PVGIS)	47
Tabla 23 – Características concentrador de "strings". (Elaboración propia)	49
Tabla 24 - Características inversor. (Elaboración propia)	49
Tabla 25 - Valores energéticos anuales Alternat. IV. (Elaboración propia)	54
Tabla 26 - Flora característica del Alto Palancia. (Boletín Nº12. ICAP, 2000)	58
Tabla 27 - Fauna característica del Alto Palancia. (Boletín Nº12. ICAP, 2000)	58
Tabla 28 - Matriz decisión fase construcción. (Elaboración propia).....	62
Tabla 29 - Matriz decisión fase explotación. (Elaboración propia).....	62
Tabla 30 - Matriz decisión fase desmantelamiento. (Elaboración propia)	63
Tabla 31 - Costes Iniciales Eólica. (Elaboración propia).....	65
Tabla 32 - Costes Iniciales Fotovoltaica. (Elaboración propia).....	65
Tabla 33 - Energías y tarifas parques eólicos. (Elaboración propia)	67
Tabla 34 - Análisis ingresos suministro energía parques. (Elaboración propia)	67
Tabla 35 - Tasas para cálculo de VAN y TIR. (Elaboración propia).....	69

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE
EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA**

Documento nº 1:
MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objeto del Proyecto

El objetivo de este Trabajo Final de Grado, en adelante TFG, es el diseño y análisis de alternativas y soluciones para el abastecimiento de energía eléctrica renovable a las poblaciones de Geldo y Soneja, ambas ubicadas en la comarca del alto Palancia (Castellón). Esta energía eléctrica podrá ser obtenida de una instalación eólica o de otra fotovoltaica.

Para alcanzar dicha finalidad, será necesario cumplir los siguientes objetivos específicos que aparecen listados a continuación. Estos objetivos servirán para determinar los pasos a seguir durante la realización del proyecto.

- Enunciar brevemente cuáles serán las normativas y restricciones a cumplir a la hora de ejecutar el proyecto.
- Estudio de la demanda de energía eléctrica por parte de las poblaciones a lo largo de un año, procurando que esta sea lo más precisa posible.
- Realizar la caracterización del potencial eólico de la zona seleccionada para ubicar el parque eólico. Para ello será necesario disponer de los siguientes datos: Velocidades medias del viento, rugosidades del terreno, distribución de Weibull y rosas de los vientos entre otros datos.
- Comparación y elección de los aerogeneradores realizando un estudio en el que se comparen sus características principales, eligiendo aquel que maximice la producción de energía en la zona seleccionada. Una vez se halla seleccionado un modelo de aerogenerador a ubicar en el parque, se realizará un estudio de la energía mensual que producirá cada uno de estos.
- Diseño de la distribución de los aerogeneradores en el parque eólico de forma que maximice el aprovechamiento del recurso eólico.

Llegados a este punto se habrá finalizado de diseñar el parque eólico. Seguidamente se realizará un proceso análogo para diseñar el parque fotovoltaico siguiendo los siguientes pasos:

- Caracterizar el recurso solar fotovoltaico disponible en la zona seleccionada para ubicar el parque fotovoltaico. Será necesario conocer la radiación presente en la zona y otros parámetros como las Horas Solares Pico y el Performance Ratio.
- Comparación de las características principales de distintos módulos fotovoltaicos, eligiendo aquel que permita maximizar la energía producida por la instalación. Una vez se haya seleccionado un modelo y se conozca su potencia nominal, se podrá calcular con precisión la energía mensual producida por cada uno de estos.
- Diseño del parque fotovoltaico, determinando la orientación e inclinación de los módulos y también la separación entre los mismos de forma que se maximice la producción energética. También se expondrán elementos complementarios a emplear en el parque y como estos condicionarán el funcionamiento del mismo.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Habiendo diseñado ambas instalaciones productoras de energía eléctrica, la memoria de este proyecto continuará siguiendo los siguientes objetivos:

- Realización de un Estudio de Impacto Ambiental Básico causado por la instalación de ambos parques en la zona. Se estudiará cómo afecta al medio natural de la zona, realizando un análisis de la flora y fauna de los alrededores. Se propondrán también medidas para disminuir el impacto negativo del proyecto.
- Análisis de la viabilidad económica del proyecto con la finalidad de determinar si la construcción del mismo es rentable.

1.2. Alcance del Trabajo Final de Grado

El alcance de este Trabajo Final de Grado es el del diseño de un parque de energía eólica onshore cuyos excedentes estarán acogidos a compensación y otro parque de energía solar fotovoltaica para autoconsumo y sin excedentes. También se estudiará el análisis de alternativas para que estos realicen el suministro de energía eléctrica a las poblaciones de Geldo y Soneja (Castellón). Finalmente se realizará un estudio del impacto ambiental que causarán los parques y un estudio de la viabilidad económica de los mismos.

El parque eólico onshore estará conectado a red para verter de la energía que no se consuma, de forma que al final del período de facturación el valor de esa energía se compense monetariamente. Por otro lado, el parque fotovoltaico estará aislado de red de forma que toda la energía producida sirva para el autoconsumo de los municipios de Geldo y Soneja.

Destacar que el alcance de este TFG es el del diseño de los parques anteriormente nombrados, análisis del impacto de los mismos y estudio de su viabilidad económica. Este trabajo no tratará temas relacionados con su diseño eléctrico como puede ser el dimensionamiento del cableado de las instalaciones o la elaboración de una red de distribución de la energía eléctrica hasta las poblaciones.

Comentar en último lugar que gran parte de los datos estadísticos empleados en este trabajo se corresponden al año 2019 a pesar de redactar este trabajo a mediados de 2021. Se ha evitado hacer uso de datos del año 2020 y 2021 ya que con la pandemia mundial del covid-19 muchos de estos datos se tratarían de datos anómalos o distorsionados que pueden diferir ligeramente de la realidad.

1.3. Justificación

Este Trabajo Final de Grado se enmarca en lo establecido por el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020, junto con su sucesor, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030; ambos aplicados dentro del territorio de español.

El PER pretendía que para el año 2020, al menos el 20% del consumo final bruto de energía en España proceda del aprovechamiento de las fuentes renovables [1]. Habiéndose alcanzado dicho objetivo a fecha de redacción de este documento (mediados de 2021); según indica la Asociación Empresarial Eólica (AEE), tan solo la energía eólica cubre el 21,9% de la energía consumida en España. [2]

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Según lo propuesto por el PNIEC, plan sucesor del PER, se busca lograr una reducción de un 23% de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990 [3]. Este objetivo implicaría eliminar una de cada tres toneladas de gases de efecto invernadero que se emiten actualmente. Dado que este proyecto busca desarrollar formas de obtención de energía eléctrica renovable como son la eólica y la fotovoltaica, se está favoreciendo a lograr los objetivos marcados por el PNIEC ya que estas fuentes de energía no emiten gases de efecto invernadero al mismo tiempo que evitan el consumo de recursos limitados como son el petróleo, el gas natural o el carbón.

Otro de los motivos por el que se ha decidido realizar este proyecto es la rentabilidad y ahorro económico que puede suponer a lo largo de su vida útil. Se ha decidido desarrollar energía eólica ya que desde la aprobación del Real Decreto 661/2007 el 25 de mayo de 2007, la inversión e investigación en este sector se ha visto muy favorecida. Por parte de la fotovoltaica, se ha decidido diseñar una instalación de este tipo ya que desde la aprobación del Real Decreto 244/2019 junto con el Real Decreto Ley 15/2018 se eliminó el conocido como “impuesto al sol” y se vio favorecida la instalación de módulos fotovoltaicos para autoconsumo.

Con el desarrollo de este proyecto también contribuye a lograr uno de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) adoptados en septiembre de 2015 por la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU), visibles en la Figura 1, concretamente el objetivo número 7: “Energía asequible y no contaminante”. Este objetivo busca alcanzar distintas metas para 2030, siendo estas las siguientes: garantizar el acceso universal a servicios energéticos asequibles, fiables y modernos; aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas y duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética. [4]



Figura 1 - Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). (ONU, 2015)

Durante el diseño de ambos parques energéticos, se prestará especial atención a espacios protegidos y zonas especiales de conservación de los hábitats naturales y las especies silvestres de fauna y flora establecidas por la Red Natura 2000. Así pues, se buscará ubicar estos parques en zonas en las que causen el menor impacto medioambiental posible.

2. NORMATIVA

Para poder llevar a cabo la construcción de los parques habrá que ceñirse a las normativas impuestas por los distintos órganos reguladores, concretamente las normas referidas a producción de energía eléctrica y medio ambiente. Para conocer la legislación que afecta al proyecto se consultarán las siguientes páginas web:

- El portal web EUR-Lex, para conocer la normativa aplicada a nivel europeo. **[5]**
- El Boletín Oficial del Estado (BOE), para conocer la legislación a nivel nacional. **[6]**
- Página web de la Generalitat Valenciana (GVA), para conocer la normativa aplicada a nivel autonómico. **[7]**

2.1. Eólica

2.1.1. Legislación Europea

- **Directiva 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo**, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.
- **Directiva 92/43/CEE del Consejo**, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.
- **Directiva 2011/92/UE del Parlamento Europeo y del Consejo**, de 13 de diciembre de 2011, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

2.1.2. Legislación Estatal

- **Real Decreto 413/2014**, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- **Real Decreto 661/2007**, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- **Real Decreto 1997/1995**, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.

2.1.3. Legislación Autonómica

- **Acuerdo del Gobierno Valenciano**, de 26 de julio de 2001, por el que se aprueba el Plan Eólico de la Comunidad Valenciana.
- **Ley 7/2016**, de 30 de septiembre, de reforma del artículo 15 de la Ley 11/1994 de la Generalitat, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunitat Valenciana.

2.2. Fotovoltaica

2.2.1. Legislación Europea

- **Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo** de 11 de diciembre de 2018 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.
- **Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo**, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética.

2.2.2. Legislación Estatal

- **Real Decreto 244/2019**, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica y junto con el Real Decreto-Ley 15/2018 impulsa el consumo de energía fotovoltaica en el país.
- **Real Decreto-Ley 15/2018**, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores. Mediante este Decreto-Ley se elimina el conocido como “impuesto al sol” impuesto con el Real Decreto 900/2015.
- **Real Decreto 1578/2008**, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica.

2.2.3. Legislación Autonómica

- **Decreto Ley 14/2020 del Consell**, de 7 de agosto, de medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica.
- **Ley 6/2014 de la Generalitat**, de 25 de julio, de Prevención, Calidad y Control Ambiental de Actividades en la Comunitat Valenciana

3. PANORAMA ACTUAL

3.1. Eólica

3.1.1. Situación a Nivel Europeo y Mundial

La humanidad ha aprovechado la energía del viento desde que existen registros. Con el paso de los años se han ido desarrollando distintas tecnologías para transformar este tipo de energía en energía eléctrica. Sin embargo, fue en los años 1973 y 1979, con la llegada de las dos grandes crisis del petróleo a los Estados Unidos, cuando realmente se desarrollaron las turbinas eólicas como tecnologías renovables modernas y comenzaron a crearse empresas dedicadas a la comercialización de estas nuevas tecnologías. [8]

En la Figura 2 se puede visualizar como, con los años, la energía eólica ha sufrido un crecimiento constante a nivel internacional. Se puede apreciar cómo se ha preferido desarrollar en mayor medida las instalaciones de energía eólica on-shore. Otros motivos que han propiciado la evolución de esta tecnología eólica han sido, al mismo tiempo, la necesidad de emplear una fuente de energía alternativa renovable para evitar el consumo de los recursos limitados disponibles en el planeta, y la disminución del precio tanto de los aerogeneradores como de las instalaciones eólicas en su totalidad.

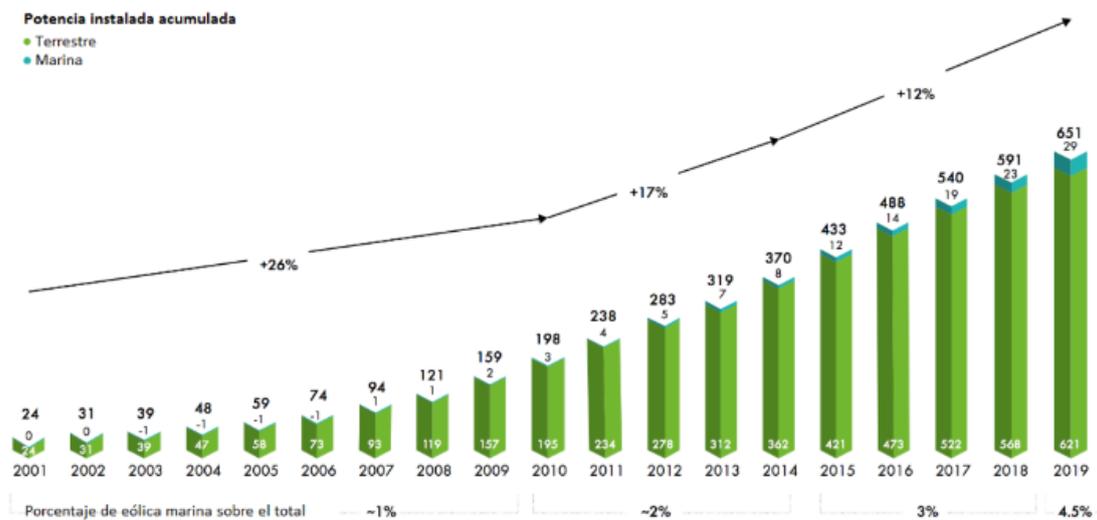


Figura 2 - Evolución energía eólica mundial. (energías-renovables.com, 2020)

La potencia eólica instalada en el mundo ha sobrepasado los 651 GW. Durante 2019, esta se ha incrementado en 60,4 GW. China, EE.UU., Reino Unido, India y España han sido los países que más potencia han instalado en el año y continúan siendo líderes a nivel mundial. El reparto de toda esta potencia eólica instalada se puede apreciar en la Figura 3.

China, en primera posición en el ranking mundial, sumó 26,1 GW en 2019, y cuenta con una capacidad eólica de 236 GW, el 37% de la potencia eólica mundial. Estados Unidos experimentó la instalación de 9,1 GW, alcanzando los 105 GW eólicos instalados en el país.

En Europa, en 2019, la nueva potencia ha estado liderada por Reino Unido, España y Alemania, habiendo instalado 15,4 GW de potencia eólica en solo ese año. [9]

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

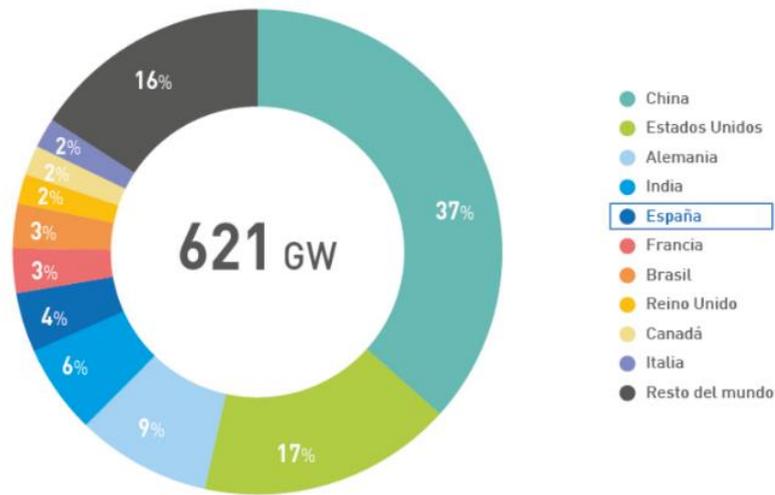


Figura 3 – Distribución energía eólica mundial. (AEE, 2020)

3.1.2. Situación a Nivel Nacional

Como ya se nombró anteriormente, a raíz de la aprobación del Plan de Energías Renovables (PER) por parte del Consejo de Ministros y motivado por ser un sector en el que es viable invertir e investigar desde que fue aprobado el Real Decreto 661/2007, la potencia eólica instalada en España ha ido incrementando constantemente.

En el año 2007 España llegó a ser pionera de la energía eólica a nivel mundial produciendo un 20% de la misma [10]. Actualmente, España es líder en generación eólica a nivel europeo, siendo el país que más potencia onshore ha instalado a lo largo de 2019 en la UE. A nivel mundial, se mantiene en la 5ª posición en el ranking mundial de potencia instalada [11]. En la Figura 4 puede apreciarse cuál ha sido la evolución de la potencia eólica instalada en el país.



Figura 4 - Evolución energía eólica nacional. (AEE, 2020)

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Pueden encontrarse diversos parques eólicos a lo largo del territorio nacional, habiendo aumentado la potencia instalada en España en 2.243 MW el año 2.019, situando el total de potencia eólica instalada en 25.704 MW. Más de 1 GW de la nueva potencia corresponde a parques en Aragón. El resto de los megavatios instalados, unos 1.141 MW, se reparten entre Castilla y León, Galicia, Andalucía, Navarra, Extremadura y Canarias.

La comunidad autónoma con mayor potencia instalada acumulada es Castilla y León, con una cobertura de la demanda eléctrica del 80%. Le siguen Castilla La Mancha con un 67,6%, La Rioja con un 64% y Navarra con un 46% [9]. La distribución de la energía eólica instalada a nivel nacional se puede apreciar en la Figura 5.

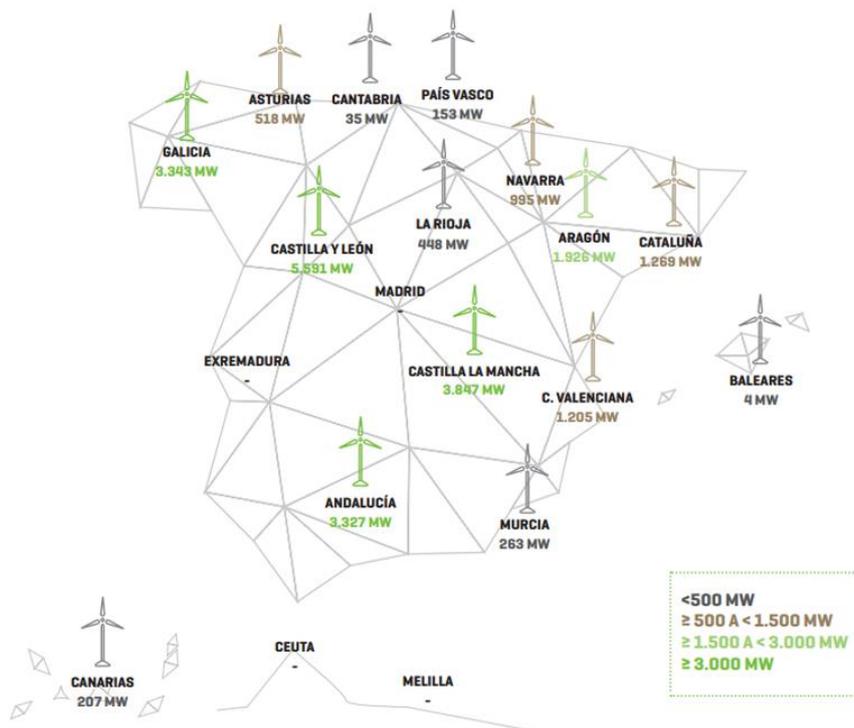


Figura 5 - Distribución energía eólica nacional. (SmartGridsInfo, 2018)

3.2. Fotovoltaica

3.2.1. Situación a Nivel Europeo y Mundial

Para hablar de la evolución de la energía fotovoltaica hay que remontarse hasta la década de los cincuenta, momento en el que fue fabricada la primera célula solar. A partir de ese momento y hasta el 1985, con las crisis del petróleo como marco de referencia, se empiezan a buscar otras fuentes de energía que no estuvieran basadas en fósiles siendo una de ellas la solar fotovoltaica pero rápidamente se perdió el interés por ella hasta llegar al año 2000. Es entonces cuando se vuelve a incentivar el uso de energías renovables, estando la eólica y la fotovoltaica como abanderadas. Desde entonces se ha producido un crecimiento exponencial de la producción de energía solar fotovoltaica, duplicándose aproximadamente cada 2 años a lo largo de la última década [11], como se puede observar en la Figura 6.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

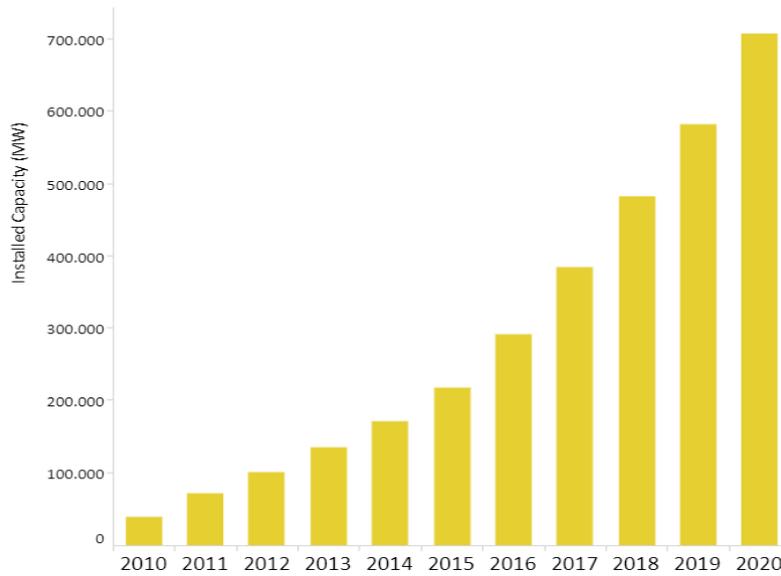


Figura 6 - Evolución energía fotovoltaica mundial. (IRENA, 2021)

Se ha apostado por el desarrollo de esta tecnología a nivel internacional ya que, al igual que la energía fotovoltaica, esta se trata de un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante. Una de las particulares ventajas que también posee esta tecnología es que es modular, por lo que se pueden construir desde enormes plantas fotovoltaicas en suelo hasta pequeños paneles para tejados. Como se puede apreciar en la Figura 7, China es uno de los países donde la fotovoltaica ha experimentado un mayor crecimiento durante esta última década, llegando a convertirse en el mayor productor de energía fotovoltaica del mundo.

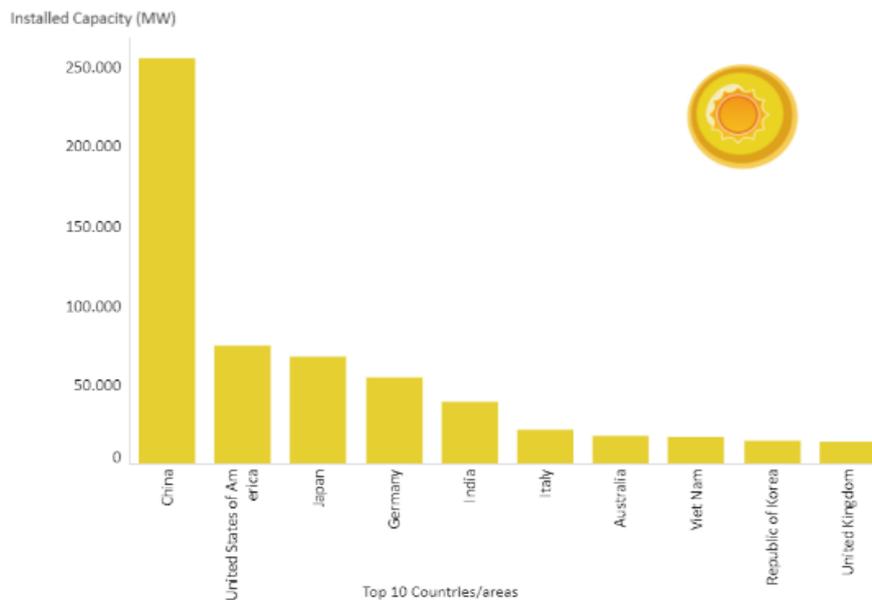


Figura 7 - Distribución energía fotovoltaica mundial. (IRENA, 2021)

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

La energía solar fotovoltaica se ha convertido así en la tercera fuente de energía renovable más importante en términos de capacidad instalada a nivel global, después de la energía hidráulica y antes que la termosolar. De hecho, este tipo de instalaciones se han convertido en una de las fuentes más baratas de energía eléctrica en regiones con alto potencial. [12]

3.2.2. Situación a Nivel Nacional

En el caso de España, también se comenzó a hacer uso de energía fotovoltaica a partir de los años 2000. Más concretamente a partir del 2009-2010, años en los que empezó a repuntar la instalación de paneles solares en el país. La evolución de esta tecnología no fue continuamente creciente ya que la aprobación del llamado “impuesto al sol” junto con el Real Decreto 900/2015 publicado el 09 de octubre de 2015 supuso un notable desincentivo para la evolución de esta [11]. Dicho impuesto consistía en un gravamen que obligaba a aquellos autoconsumidores de renovables que tenían instalados más de 10 kW de potencia, a pagar una cuantía para contribuir al sistema eléctrico. [13]

Desde este momento y hasta el 5 de octubre de 2018, fecha en la que se aprobó el Real Decreto-Ley 15/2018 y se puso fin a ese “impuesto al sol”, la instalación de energía fotovoltaica en el país permaneció estancada. A partir de entonces, la energía solar fotovoltaica se vio impulsada de nuevo, finalizando el año 2019 con más de 7.800 MW de potencia instalada, lo que supuso un aumento del 66 % respecto a 2018 [14]. En la Figura 8 se puede apreciar cuál ha sido la evolución de la energía fotovoltaica en España.

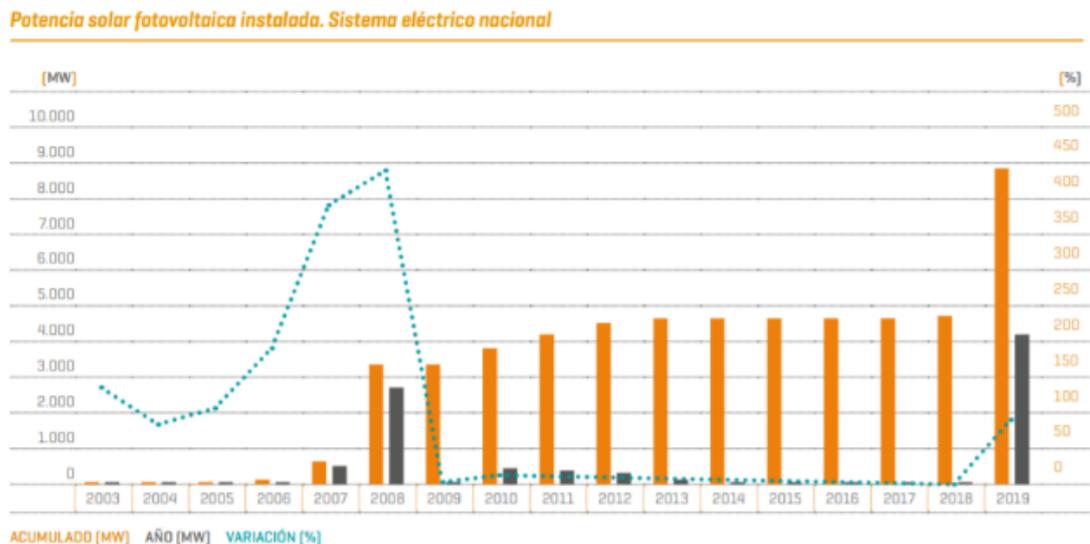


Figura 8 – Evolución energía fotovoltaica nacional. (REE, 2019)

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

España cerró el año 2019 con 8.913 MW de capacidad fotovoltaica instalada a lo largo del territorio nacional. Actualmente y como se observa en la Figura 9, la potencia fotovoltaica instalada está repartida de manera disforme a lo largo del territorio nacional, siendo las Comunidades Autónomas del sur de España las que acumulan la mayor parte de esta ya que en estas zonas, la cantidad de recurso solar disponible es más elevada. Andalucía es la región con más potencia solar fotovoltaica instalada con más de un 20 % de toda la potencia nacional, seguida muy de cerca por Castilla-La Mancha y algo más lejos Extremadura y Murcia. Solo estas cuatro comunidades suman el 66% de la potencia fotovoltaica instalada en España. Por el lado contrario, destacan las comunidades de la cornisa cantábrica todas ellas por debajo del 0,6 % respecto al conjunto nacional. [15]

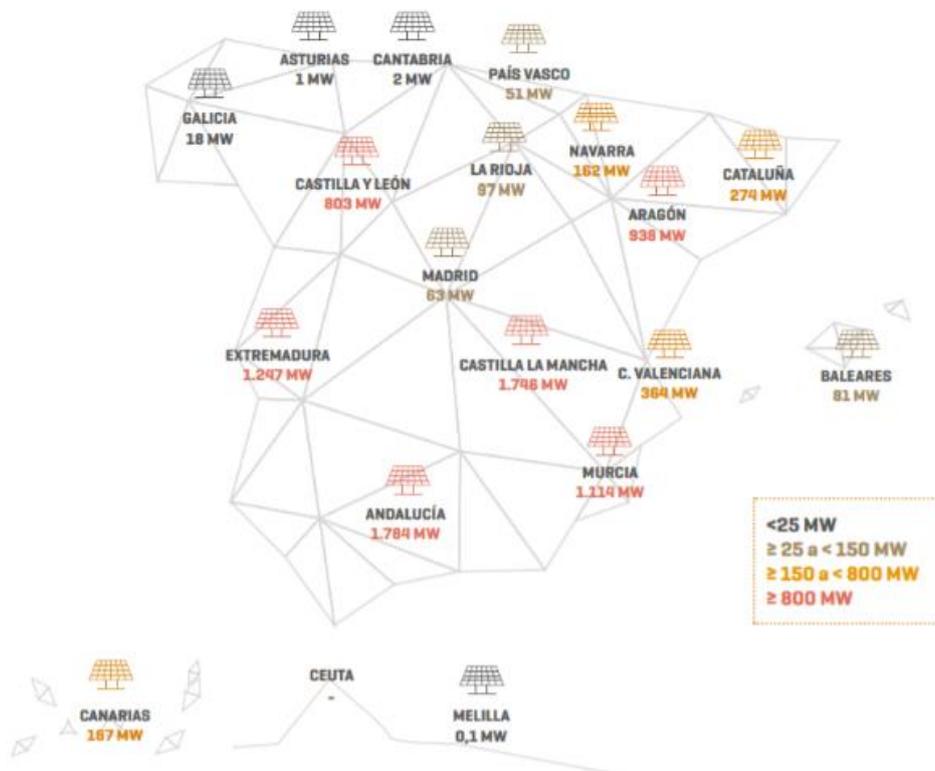


Figura 9 - Distribución energía fotovoltaica nacional. (SmartGridsInfo, 2018)

4. DESCRIPCIÓN POBLACIONES Y ESTUDIO DE SUS DEMANDAS ENERGÉTICAS

4.1. Descripción de las Poblaciones

Los municipios de Geldo y Soneja se tratan de dos localidades del Alto Palancia. Esta es una comarca de la provincia de Castellón, y por ende, se encuentra en la misma Comunidad Valenciana. Geográficamente, ambos se encuentran en la ribera del río Palancia, situado a los pies de cordilleras montañosas como son la Sierra de Espadán y la Sierra Calderona [16]. Los dos núcleos poblacionales se encuentran muy próximos uno del otro, estando separado por a penas 5 km. Ambos municipios se encuentran ubicados a 300 metros de altitud sobre el nivel del mar.

Como se puede ver en la Figura 10, obtenida del Visor Cartogràfic de la Generalitat Valenciana (GVA) [17], la principal vía de comunicación es la autovía A-23, que pasa muy cercana a ambos municipios (color rosa con bordes azules en la Figura 10). Otra carretera que comunica ambas poblaciones con el resto de la comarca es la carretera nacional N-234 (no se puede apreciar en la Figura 10). Otra red de comunicación de estos municipios es la vía de tren que une Sagunto con Teruel (color rojo en la Figura 10), la cual no realiza parada en Geldo, pero sí en Soneja y en la población vecina que es Segorbe.



Figura 10 - Situación Geldo y Soneja. (Visor de la GVA)

Con referencia a la economía de la zona, la mayoría de los geldanos y sonejeros trabajan en la agricultura y la industria que tienen los pueblos. Por parte de Geldo, uno de los productos básicos de su economía es el sector turístico rural, el cual se ha comenzado a explotar los últimos años. La economía de la comarca en general, siempre se ha basado en la agricultura de secano, a pesar de existir importantes zonas de regadío en la parte baja del valle. [16]

4.2. Estudio de la Demografía de las Poblaciones

Para conocer los datos demográficos de ambas poblaciones se consultará el portal informativo de la GVA llamado ARGOS. [18]

Con respecto a datos demográficos de la población de Geldo, cabe destacar que esta se trata de una pequeña población ubicada en el interior de Castellón que cuenta con muy poco término municipal, tan solo 0,56 Km², pero al mismo tiempo posee un relativo elevado número de habitantes, contando con 633 personas empadronadas a fecha de 2020. Por ello este municipio posee la peculiaridad de contar con una densidad de población de 1.130,36 habitantes por Km², uno de los valores más elevados del país.

Referidos a la población de Soneja, esta posee 29,10 Km² de término municipal y cuenta con 1.456 habitantes según el censo del año 2020. Tales valores proporcionan un valor de densidad de población mucho más reducido que la población anterior.

La Tabla 1 recogerá los datos nombrados hasta ahora.

Tabla 1 - Datos demográficos. (Elaboración propia)

	GELDO	SONEJA
Habitantes (2020)	633	1456
Superficie (km ²)	0,56	29,1

El dato nombrado anteriormente de la alta densidad de población del municipio de Geldo no afecta al desarrollo del proyecto. El dato al que se debe prestar importancia es la reducida superficie que tiene el municipio, lo cual hará prácticamente imposible situar ningún parque en él. Se buscará situar el parque fotovoltaico en alguna explanada dentro del término municipal de Soneja. Dado que no se encuentra ninguna zona elevada dentro del término de estos municipios para situar en ella el parque eólico, este tendrá que desplazarse hacia zonas montañosas más elevadas procurando que estas estén lo más cerca posible de los municipios.

4.3. Análisis de Sectores Productivos, Terciarios y Residenciales de las Poblaciones

Dado que los municipios con los que se está trabajando se tratan de municipios de pequeño tamaño, en sus términos municipales pueden encontrarse un reducido número tanto de viviendas particulares como de empresas y comercios. Así pues, el propósito de este apartado es el de analizar el número de viviendas, comercios, servicios y lugares públicos de ambas poblaciones, que aparecerán listados en la Tabla 2, para así posteriormente en el siguiente apartado estimar su consumo eléctrico anual.

Para hacer más breve el análisis del consumo eléctrico de los comercios, se han agrupado en pequeños subgrupos aquellos de tamaño similar y que consumen una cantidad similar de energía eléctrica. En el caso de los lugares públicos y servicios de ambas poblaciones se han agrupado todos ya que posteriormente se dispondrá del consumo del alumbrado público en general de las dos poblaciones.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 2 - Viviendas, comercios y lugares públicos. (Elaboración propia)

	Viviendas particulares	Comercios particulares			
		Bares Restaurantes	Panaderías Carnicerías	Estancos Supermercados	Peluquerías Barberías
GELDO	549	4	3	2	2
SONEJA	1157	6	3	2	3

	Alumbrado público				
	Ayuntamiento	Colegio	Centro Salud	Polideportivo	Iglesia
GELDO	1	1	1	1	1
SONEJA	1	1	1	1	1

4.4. Estudio de la Demanda Energética a Distintos Niveles

En este apartado se calculará cual es la demanda de energía eléctrica por parte de las dos poblaciones. Con este fin, se ha podido realizar un análisis preciso del consumo de energía eléctrica por parte de la población de Geldo durante el periodo 2019-2020. La demanda de energía eléctrica por parte de las poblaciones se calculará como sigue a continuación:

- **VIVIENDAS.** El número de viviendas de cada población viene indicado en la Tabla 2. Para conocer la demanda eléctrica mensual media de cada una de ellas se ha consultado la web de la Red Eléctrica de España (REE) [19], obteniendo los consumos medios mensuales de la Figura 11. Se considerará que todas estas viviendas constituyen el sector Residencial de las poblaciones (*Resi*)
- **COMERCIOS.** Dado que solo se conocerá la demanda eléctrica por parte del sector de la Restauración (*Rest*), la demanda del resto de sectores deberá de ser calculada en función de esta. La suma de la demanda de todos los comercios formará el conjunto Comercios (*Com*).
 - **Bares o restaurantes.** Se ha podido tener acceso a la demanda de energía eléctrica de cada mes del bar de mayor tamaño de Geldo, por lo que se le asignará esta demanda eléctrica a los bares o restaurantes de ambas poblaciones. Estos constituirán el sector Restauración (*Rest*).
 - **Panaderías o despachos de pan y carnicerías.** Estos comercios se considerarán que constituyen el sector Alimentación (*Ali*) de las poblaciones y su valor se calculará posteriormente.
 - **Peluquerías o barberías.** Junto con los estancos y tabaquerías, se considera que todos estos forman el sector de Otros comercios (*Otr*) y su valor será calculado posteriormente.
 - **Estancos o tabaquerías y pequeños supermercados.** Estos formarán el sector Otros comercios (*Otr*) junto con las peluquerías o barberías y se calculará su valor.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

- **ALUMBRADO PÚBLICO.** Dentro de este conjunto se agrupará la demanda eléctrica por parte de: luminarias de la vía pública, ayuntamiento, colegio público, centro de salud, iglesia y polideportivo. Se ha contado con la colaboración del Excmo. Ayto. de Geldo, que ha facilitado el consumo por parte del alumbrado público de Geldo durante el periodo 2019-2020. La energía demandada por parte del alumbrado público de Soneja se calculará proporcionalmente al número de habitantes de esta población.

Las únicas demandas eléctricas conocidas hasta ahora son las de una residencia del sector *Resi* y el de un restaurante del sector *Res*. Estos valores vienen representados en la Figura 11.

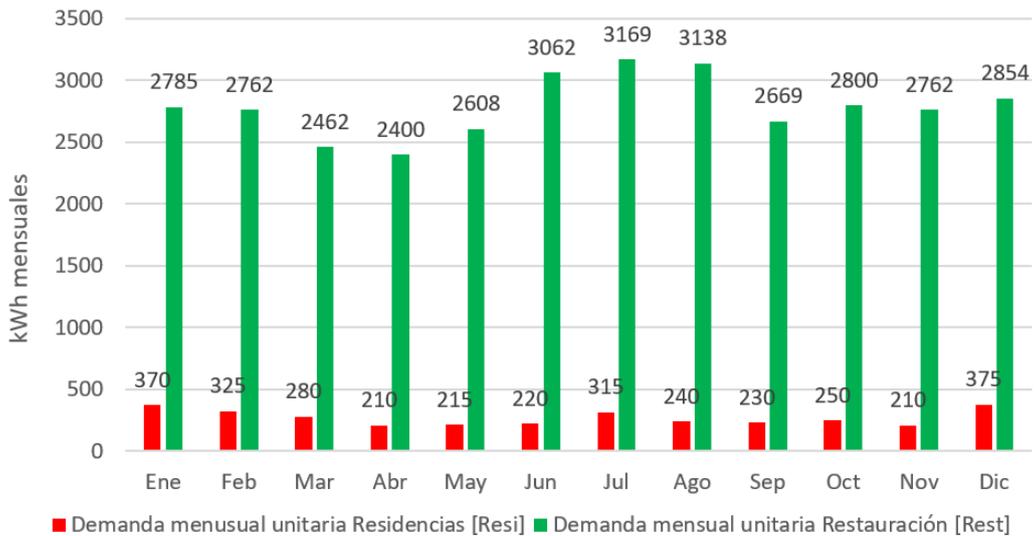


Figura 11 - Demanda eléctrica Residencia y Restaurante. (Elaboración propia)

Para estimar la demanda eléctrica de los sectores *Ali* y *Otr*, y obtener la demanda total del sector *Com*, se ha consultado el Atlas de la Demanda Eléctrica Española [20]. Dicho documento de la REE indica la siguiente distribución de la demanda de energía eléctrica en España:

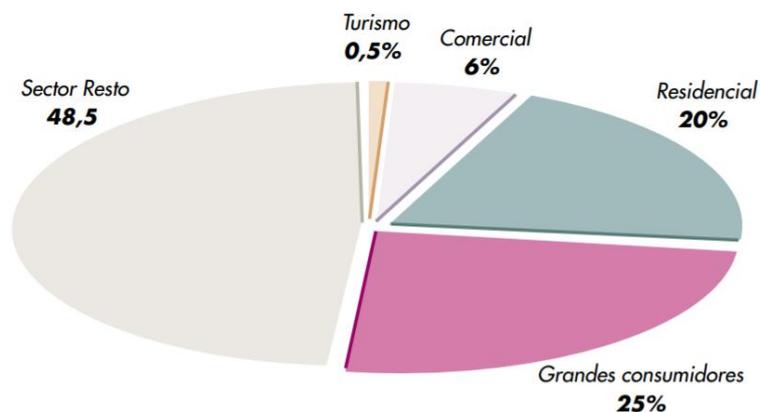


Figura 12 - Distribución demanda energía eléctrica distintos niveles. (Atlas de la Demanda Eléctrica Española. REE, 1997)

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Dentro del sector Comercial (*Com*), el cual demanda un 6% de la energía eléctrica total, la participación de la demanda eléctrica es la siguiente:

- Restauración (*Rest*) demanda un 29% de la energía eléctrica del sector.
- Alimentación (*Ali*) demanda un 20% de la energía eléctrica del sector.
- Otros comercios (*Otr*) demanda un 51% de la energía eléctrica del sector.

Dado que los valores mensuales de *Resi* y de *Rest* son los únicos conocidos con exactitud, se busca estimar los valores de *Ali* y de *Otr* en función de *Rest*. Haciendo uso de los porcentajes anteriormente citados y considerando un reparto de demanda eléctrica en las poblaciones igual al del resto del país, se tienen las siguientes Ecuaciones:

$$Ali = \frac{20}{29} \cdot Rest \quad [1]$$

$$Otr = \frac{51}{29} \cdot Rest \quad [2]$$

$$Com = Rest + Ali + Otr = \frac{100}{29} \cdot Rest \quad [3]$$

Conociendo el número de empresas que forma cada sector y habiendo estimado la demanda eléctrica de cada una de ellas, se obtiene la demanda de energía eléctrica mensual por parte de cada sector de las poblaciones de Geldo y Soneja. Su representación puede verse en las Figuras 13 y 14 respectivamente.

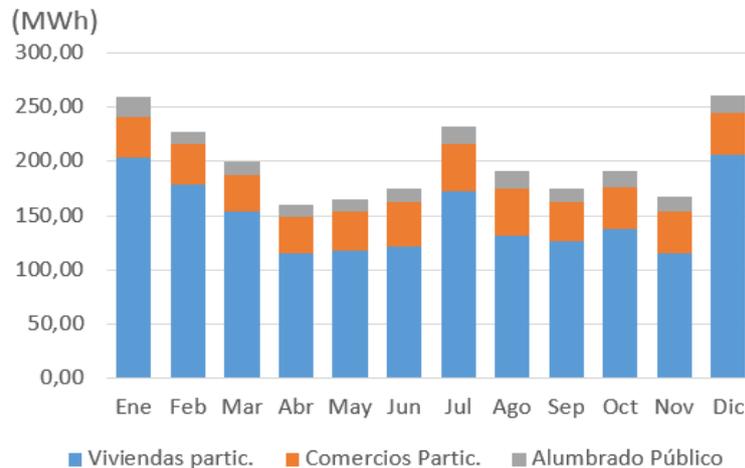


Figura 13 - Evolución demanda energía eléctrica Geldo. (Elaboración propia)

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

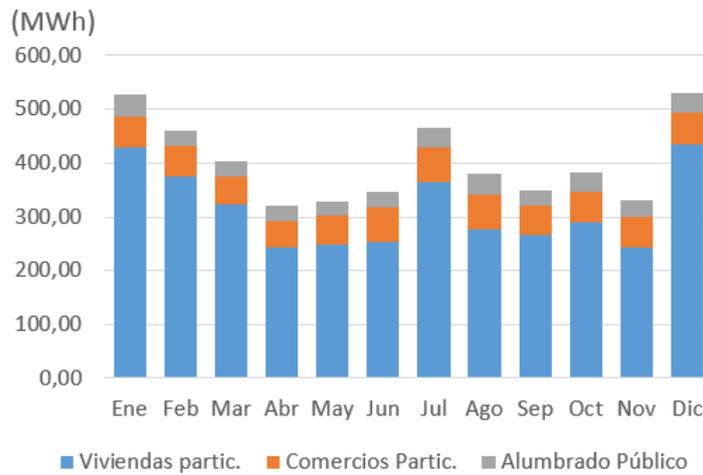


Figura 14 - Evolución demanda energía eléctrica Soneja. (Elaboración propia)

Será de gran utilidad conocer cuál es la demanda de energía eléctrica de cada mes realizada por parte de las dos poblaciones en conjunto. Para conocerla se han sumado los valores de cada mes de las Figuras 13 y 14 y se han mayorado un 15% para atender a picos de demanda imprevistos si fuera necesario. Así se han obtenido los valores que aparecen en la Figura 15, obteniéndose una demanda eléctrica anual (mayorada) de **8.315,88 MWh**. Estos valores de las demandas energéticas de cada mes se emplearán posteriormente en el capítulo 11 para analizar las distintas alternativas del suministro eléctrico.

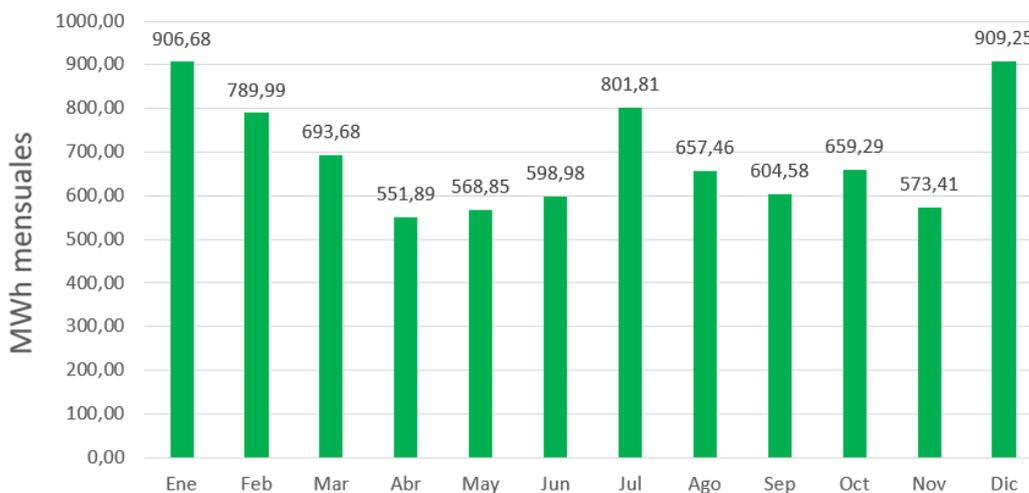


Figura 15 - Evolución demanda energía eléctrica TOTAL. (Elaboración propia)

5. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO

5.1. Situación de los Municipios

Como se comentó anteriormente, ambas poblaciones pertenecen a la comarca del Alto Palancia, situada en el interior de la provincia de Castellón, situándose los municipios a una altura de 304 m sobre el nivel del mar (msnm) en el caso de Geldo y 263 msnm en el caso de Soneja. Ya que el interior de Castellón se caracteriza por ser una zona montañosa se buscará alguna colina con suficiente elevación para situar en ella el parque eólico.

Recordar que, estos municipios se encuentran muy próximos a los parques naturales de la Sierra de Espadán y la Sierra Calderona. Se adjunta la Figura 16, obtenida del Visor Cartogràfic de la GVA, en la que se puede ver la proximidad de estos espacios naturales a las poblaciones. Habrá que tener esto en cuenta a la hora de escoger una zona para ubicar el parque eólico.

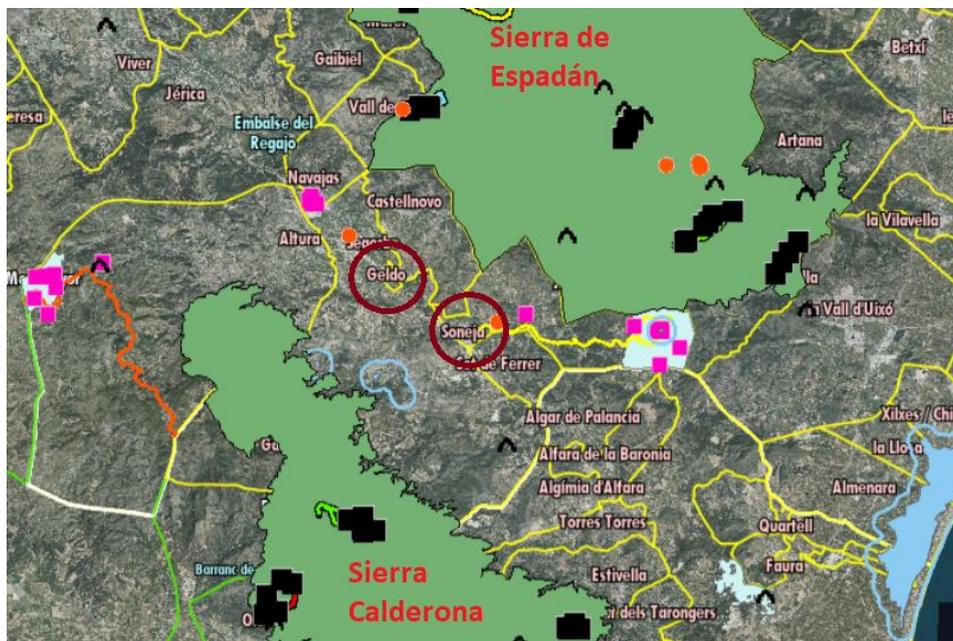


Figura 16 - Ubicación espacios naturales. (Visor de la GVA)

Se dispondrá de una colina en la que podrá emplazarse el parque, ubicada muy próxima a la población vecina de Jérica. Empleando la web de Google Earth, se ha comprobado que esta se encuentra a una distancia de 11,4 km respecto de Geldo y 15,4 km respecto de Soneja. En el siguiente apartado se describirá mejor esta ubicación escogida para albergar el parque eólico.

5.2. Selección de la Zona del Parque Eólico

Para llevar a cabo la selección de la zona en la que se situará el parque eólico se han seguido los criterios establecidos por el Plan de Energías Renovables (PER) [21], intentando también que la instalación se encuentre lo más cerca posible de los municipios y evitando su construcción en terrenos muy cercanos a parques naturales.

Los requisitos impuestos por el PER imponen que el parque eólico debe de salvaguardar las siguientes distancias: 1000 m con respecto a zonas urbanas o urbanizables, 250 m con respecto a líneas eléctricas de alta tensión, 100 m con respecto a carreteras autonómicas y 200 m con respecto a autovías o autopistas.

Como se comentaba previamente, se ha seleccionado una pequeña colina conocida como el Alto de la Cruz, situada al oeste de las poblaciones la cual resulta prometedora ya que está situada casi perpendicularmente a la dirección del viento y ubicada a una altura de 830 msnm. Empleando la herramienta de medición que ofrece Google Earth se observa que se disponen de 840 metros de longitud para situar distintos aerogeneradores en ella lo suficientemente distanciados los unos de los otros. Las coordenadas del centro de esta colina son: 39° 52' 52,43" N 0° 35' 11,68" W. Se hará uso de la web de Google Earth [22] para analizar dicha colina y para que pueda visualizarse se adjunta la Figura 17.



Figura 17 - Zona parque eólico. (Google Earth)

Una gran ventaja que presenta esta ubicación para el parque eólico es que la colina es atravesada por una línea cortafuegos, en el terreno a lo largo de esta línea a penas se encuentran plantas, rocas o arbustos, lo que facilitará la tarea de acondicionar la zona para la instalación de los aerogeneradores en ella.

A demás, como se aprecia en la Figura 18, la diferencia entre el punto más bajo y el más elevado de la colina no es muy significativa, variando esta desde los 856,58 m en su parte más elevada hasta los 830 m en la parte más baja en la que se instalarán aerogeneradores. Por este motivo se considerará que todos los aerogeneradores se sitúan a la misma altura a lo largo de la colina.

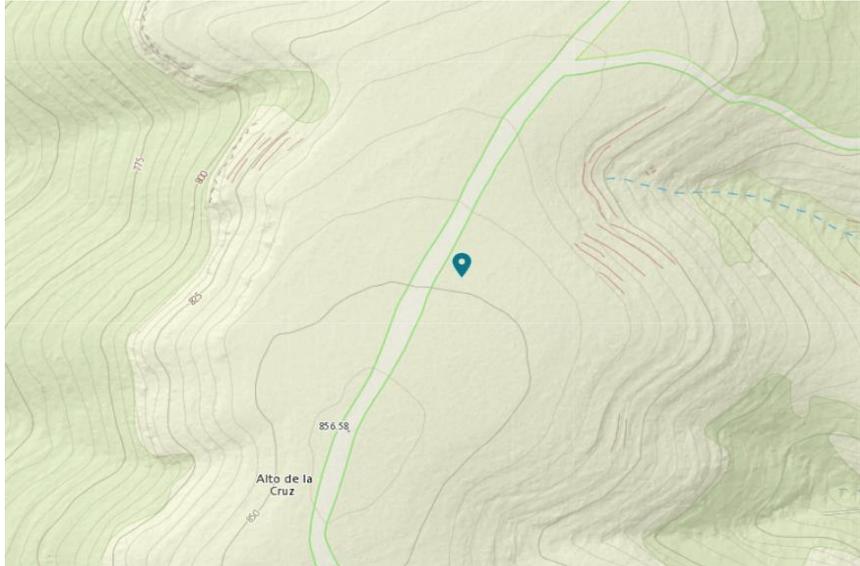


Figura 18 - Relieve colina parque eólico. (Visor de la GVA)

5.3. Evaluación del Potencial Eólico

Se entiende como potencial eólico a la potencia disponible en una corriente de aire de densidad ρ y con velocidad v y que se puede extraer a través de una superficie de área A del mismo para su uso. Esta depende principalmente de la velocidad del viento, de la densidad del aire y del área de barrido de las palas del aerogenerador, como se puede apreciar en la Ecuación 4:

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad [4]$$

Se aprecia como la potencia disponible en el viento es proporcional al cubo de la velocidad del mismo, por lo que este parámetro será el más importante de todos. También es proporcional a la densidad de este, la cual disminuye ligeramente conforme aumenta la altitud. No afecta en gran medida a la potencia de este, pero se tendrá en cuenta que las curvas de potencia de los aerogeneradores que proporcionan los catálogos están tomadas en condiciones de viento distintas con una densidad del aire diferente, por lo que en el apartado 6.2 se aplicará una corrección a la potencia empleando la Ecuación 5.

$$P_2 = \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot P_1 \quad [5]$$

Cabe citar la fórmula de Betz, la cual dice que no toda la potencia del viento puede ser extraída para su uso. Se introduce así el coeficiente de potencia (C_p), entendido como la relación entre la potencia extraíble y la potencia disponible, que corresponde a un valor máximo de 59%. [23]

Para evaluar totalmente el potencial eólico de la zona escogida, será necesario disponer de los datos de las rosas de los vientos, distribuciones de velocidades (Weibull) y perfil de velocidades del viento entre otros, así como otros datos que estos requieran para su cálculo u obtención.

5.3.1. Rosa de los Vientos

Para conseguir un correcto aprovechamiento de la potencia del viento, conviene que los aerogeneradores se sitúen perpendicularmente a la dirección del viento. Para conocer cuáles son las zonas más propensas por las que circule el viento, se hace uso de la rosa de los vientos. Esta se obtendrá de la página web de Global Wind Atlas [24] y se trata de un círculo dividido en 12 sectores iguales, resultando 12 porciones de 30º sexagesimales cada uno. La dirección Norte (dirección 1), se corresponde con los 0º y a partir de esta, el resto de direcciones se ordenan siguiendo un sentido horario.

Esta herramienta nos servirá para realizar el estudio, en primer lugar, de la frecuencia del viento. Esto es, la frecuencia o porcentaje del tiempo con la que el viento sopla en cada uno de los sectores indicando previamente. La Figura 19 muestra esta rosa de frecuencias.

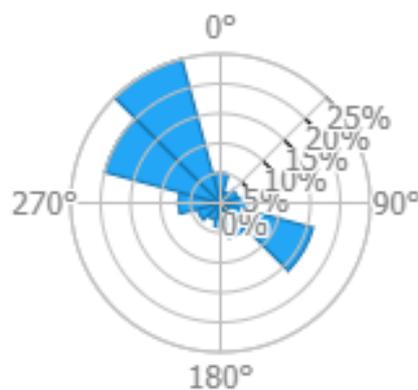


Figura 19 - Rosa de los vientos de frecuencias. (Global Wind Atlas)

Se puede comprobar como la dirección predominante del viento sería la dirección Nornoroeste (NNO). Si se observa la foto de la colina se aprecia como los aerogeneradores estarán situados prácticamente de manera perpendicular al viento.

La siguiente rosa de los vientos que se desea estudiar es la de velocidad del viento, que indica cuál es la dirección en la que el viento sopla con mayor intensidad y se muestra en la Figura 20.

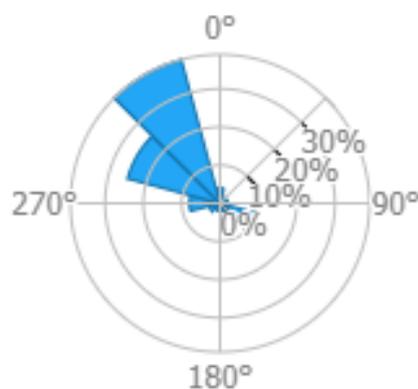


Figura 20 - Rosa de los vientos de velocidades. (Global Wind Atlas)

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

De esta rosa de los vientos se aprecia como la dirección en la que el viento circula con mayor velocidad es también la NNO.

Finalmente, se estudia la rosa de los vientos que indica la potencia disponible en las direcciones del viento. Esta se muestra en la Figura 21.

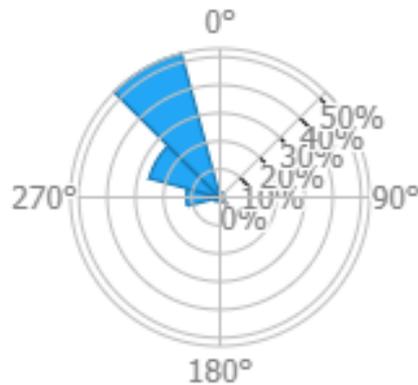


Figura 21 - Rosa de los vientos de potencias. (Global Wind Atlas)

De esta se aprecia como la dirección NNO es también la que recibe la mayor cantidad de potencia del viento.

Con todo esto se concluye que los aerogeneradores deberán estar orientados de manera perpendicular a la dirección Nornoroeste, es decir, formando un ángulo de **22,5°** en **sentido antihorario** con la dirección Este.

5.3.2. Distribución de Velocidades. Distribución de Weibull

Para caracterizar la variación de la velocidad del viento en un emplazamiento típico, suele describirse utilizando la llamada Distribución de Weibull, que nos indica cual es la probabilidad de que un viento con una velocidad v sople en una determinada dirección. Esta se expresa siguiendo la siguiente Ecuación 6:

$$P(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad [6]$$

Siendo:

- $P(v)$ la probabilidad de que ocurra una determinada velocidad v en cierta dirección.
- C el factor de escala (m/s), su valor está directamente relacionado con la velocidad media.
- k el factor adimensional de forma, este depende de la simetría de la función, adquiriendo valores cercanos a 2 o a 3 cuando la distribución es simétrica y se asemeja a la normal. Cuando la distribución es muy asimétrica toma valores cercanos a 1.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Para conocer los valores de los factores de escala y de forma (C y k) que caracterizan la distribución del viento en las zonas donde se quieren colocar los aerogeneradores se ha hecho uso de la web de Global Wind Atlas, introduciendo las coordenadas de la ubicación y obteniendo unos valores de C y de k para cada dirección en la que puede soplar el viento, todos ellos a 50 m de altura respecto al suelo. Como se verá posteriormente, el buje de los aerogeneradores se situará en alturas distintas, por lo que habrá que emplear las siguientes fórmulas para corregir estos factores de escala y de forma.

$$\alpha = \frac{0,37 - 0,088 \cdot \ln(C_1)}{1 - 0,088 \cdot \ln(z_2/10)} \quad [7]$$

$$C_2(z) = C_1 \cdot \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^\alpha \quad [8]$$

$$k_2(z) = \frac{k_1 \cdot (1 - 0,088 \cdot \ln(z_1/10))}{1 - 0,088 \cdot \ln(z_2/10)} \quad [9]$$

Estas fórmulas funcionan de la siguiente manera: Conocidos los factores de escala (C_1) y de forma (k_1) a una altura determinada $z_1 = 50$ m, podemos saber los nuevos valores de los mismos (C_2 y k_2) a la altura del buje z_2 .

Para hacer un orden de magnitud de cómo es la caracterización del viento en dicha zona, se ha hallado una media ponderada para C y para k a la distancia de 40 m, 50 m y 75 m (ya que estas serán las distintas alturas a las que se ubiquen los bujes de los aerogeneradores respecto del suelo); haciendo uso para ello de los valores de la probabilidad de que sople el viento en cada dirección (proporcionados por la primera rosa de los vientos) para calcular dichas medias ponderadas. Así pues, se han obtenido los siguientes valores de C_{pond} y de k_{pond} :

Tabla 3 - Factores de forma y escala ponderados. (Elaboración propia)

SECTOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
C [40 m]	4,40	4,14	4,54	3,51	3,61	3,07	3,72	4,21	5,15	5,81	8,75	12,89
C [50 m]	4,67	4,4	4,82	3,74	3,85	3,28	3,96	4,47	5,45	6,13	9,15	13,36
C [75 m]	4,91	4,63	5,07	3,95	4,07	3,47	4,18	4,71	5,72	6,42	9,50	13,78
k [40 m]	1,0598	1,0715	1,0099	1,3618	1,747	1,5711	2,3669	1,7353	1,2357	1,1556	1,2621	2,1176
k [50 m]	1,084	1,096	1,033	1,393	1,787	1,607	2,421	1,775	1,264	1,182	1,291	2,166
k [75 m]	1,1046	1,1169	1,0527	1,4195	1,821	1,6376	2,4671	1,8088	1,2881	1,2045	1,3156	2,2073
Frecuencia	0,05	0,02	0,03	0,06	0,16	0,06	0,04	0,03	0,04	0,07	0,2	0,25

40 m
50 m
75 m

C_{pond}	7,27
C_{pond}	7,61
C_{pond}	7,92

k_{pond}	1,619
k_{pond}	1,656
k_{pond}	1,688

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Viendo los valores que se han obtenido para la altura de 50 m: $C_{pond}=7,61$ y $k_{pond}=1,656$; parece que esta se trata de una distribución asimétrica. Para obtener los valores de la velocidad media anual del viento y visualizar mejor la distribución de velocidades del viento, se han introducido los anteriores valores ponderados en la calculadora proporcionada por la Danish Wind Industry Association [25], y se obtiene que la **velocidad media del viento** a la altura de **50 metros** es de **6,82 m/s** y la velocidad mediana es de 6,1 m/s. Observando la Figura 22 se aprecia como la media y la mediana de la distribución difieren ligeramente, por lo que se puede afirmar que se trata de una distribución asimétrica.

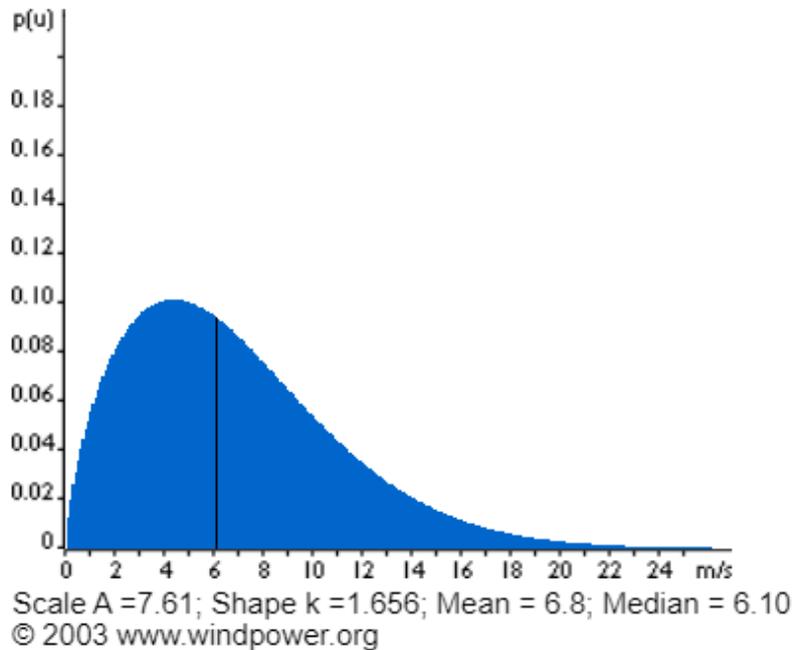


Figura 22 - Distribución Weibull zona parque eólico. (Danish Wind Industry Association)

5.3.3. Perfil de Velocidades

La velocidad del viento evoluciona de forma logarítmica conforme aumenta la altura según muestra la Ecuación 10, formando así un perfil de velocidades. Esto es beneficioso ya que un aumento de la velocidad implica un aumento de la potencia, pero podría llegar a afectar al diseño del parque eólico ya que, si las aspas de los aerogeneradores son muy grandes, podrían estar sometidas a un aire más veloz en su parte superior y otro menos veloz en su parte inferior, generando distintas tensiones.

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{\ln(z_2/z_0)}{\ln(z_1/z_0)} \quad [10]$$

Destacar que la velocidad del viento varía más rápidamente contra menor es la rugosidad superficial del terreno. Esta rugosidad superficial depende principalmente de los obstáculos y el relieve de la superficie terrestre, correspondiéndose un valor de rugosidad disminuido para terrenos llanos y sin obstáculos y un valor más elevado para paisajes con obstáculos como árboles o edificios. En la Tabla 4 se muestran distintos valores de rugosidades superficiales.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 4 - Rugosidades superficiales. (Atlas Eólico de España. IDAE, 2011)

Descripción	Rugosidad (m)
Glaciares y nieves perpetuas	0,003
Cultivos	0,03
Prados y herbazales	0,05
Terrenos con arbustos	0,07
Bosques caducifolios	0,60
Bosques perennifolios y mixtos	0,75
Zonas urbanas	0,75

Dado que la colina donde se pretende instalar el parque se corresponde a una zona rodeada de árboles, principalmente carrascas y pinos, se considerará una rugosidad superficial de 0,6 m.

Para realizar cálculos de una manera más sencilla y poder conocer las velocidades a distintas alturas, se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{z_2}{z_1}\right)^n \quad [11]$$

$$n = 0,016 (\log z_0)^2 + 0,096 \log z_0 + 0,24 \quad [12]$$

Siendo:

- v_1 velocidad media del viento a una altura (z_1). En la ubicación de la colina se dispone de una velocidad del viento (v_1) de 6,82 m/s a una altura sobre el suelo (z_1) de 50 m.
- v_2 la velocidad media a otra altura distinta (z_2). Seguidamente se mostrará en la Figura 23 cual es la evolución de la velocidad del viento (v_2) al variar la altura (z_2).
- n un parámetro en función de la rugosidad del terreno ($z_0 = 0,6$).

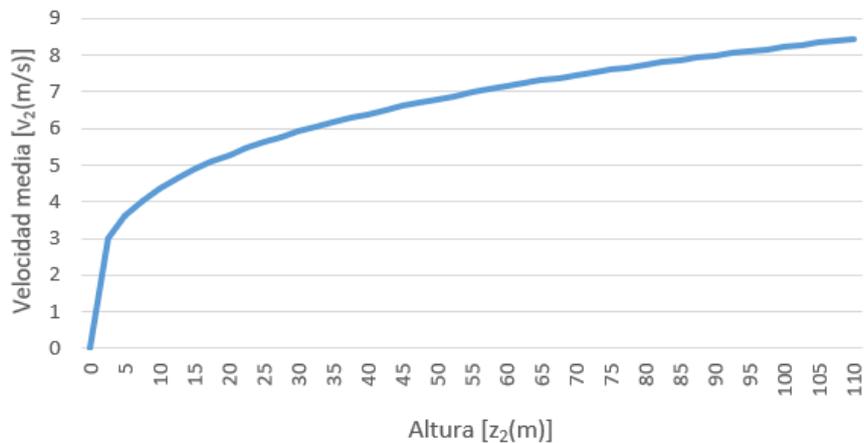


Figura 23 - Perfil de velocidades. (Elaboración propia)

6. ESTUDIO DE LOS AEROGENERADORES

6.1. Comparación de los Modelos

Se va a analizar 3 tipos de aerogeneradores de mediana potencia disponibles en el mercado que se desean instalar en la zona seleccionada. Se garantizará que estos cumplan con los requisitos de seguridad establecidos y que maximicen la producción de energía eléctrica.

En primer lugar, se van a establecer los requisitos básicos de seguridad que se debe cumplir en la instalación. La Norma UNE-EN IEC 61400-1 especifica los requisitos esenciales de diseño para garantizar la seguridad de los aerogeneradores. Esta clasifica los aerogeneradores en 3 tipos dependiendo de la velocidad de referencia del viento (v_{ref}) que sean capaces de soportar. Esta velocidad referencia depende, como se aprecia en la Ecuación 13, de la velocidad media anual del viento en la zona. La velocidad de referencia del aerogenerador seleccionado deberá estar por debajo del límite indicado en la Tabla 5.

$$v_{ref} = \frac{v_{anual}^{media}}{0,2} \quad [13]$$

Tabla 5 - Clases de aerogeneradores. (Elaboración propia)

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

Las alturas de los aerogeneradores varían desde 40 hasta 75 metros, con ellas también lo hacen las velocidades medias del viento y consecuentemente las velocidades de referencia. Tomando la **altura de 75 m**, a esta le corresponde una **velocidad media del viento de 7,62 m/s** como se puede deducir de la Figura 23 y, con ella, la velocidad de referencia será de 38,1 m/s. Se hará uso pues de aerogeneradores de la clase II, que contarán con la robustez suficiente para resistir los vientos de la zona y permitirá así estar más del lado de la seguridad a la hora de diseñar el parque eólico.

Se ha hecho uso de la base de datos de The Wind Power [26] para buscar distintos aerogeneradores de 500 kW de potencia con distintas características. La idea principal era adquirir estos aerogeneradores de marcas españolas como podrían ser ADES, Norvento o Siemens-Gamesa. Sin embargo, estas disponen de aerogeneradores de pequeña o alta potencia y ninguna de ellas comercializa ningún modelo de potencia intermedia. Por este motivo, se ha optado por analizar modelos de empresas extranjeras.

De todos los modelos de aerogeneradores de eje horizontal tripala a sotavento de 500 kW disponibles en la base de datos citada previamente, se han escogido los siguientes modelos distribuidos por las siguientes compañías. Estos se enuncian en la Tabla 6:

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 6 - Aerogeneradores a comparar y sus fabricantes. (Elaboración propia)

AEROGENERADOR	COMPAÑÍA
EWT Directwind 500/52	EWT (Países Bajos)
PowerWind 500	PowerWind (India)
Soyut Wind 500	Soyut Wind (Turquía)

Seguidamente, en las Tablas 7, 8 y 9 se exponen las principales características de estos:

Tabla 7 - Características aerogeneradores EWT Directwind. (Elaboración propia)

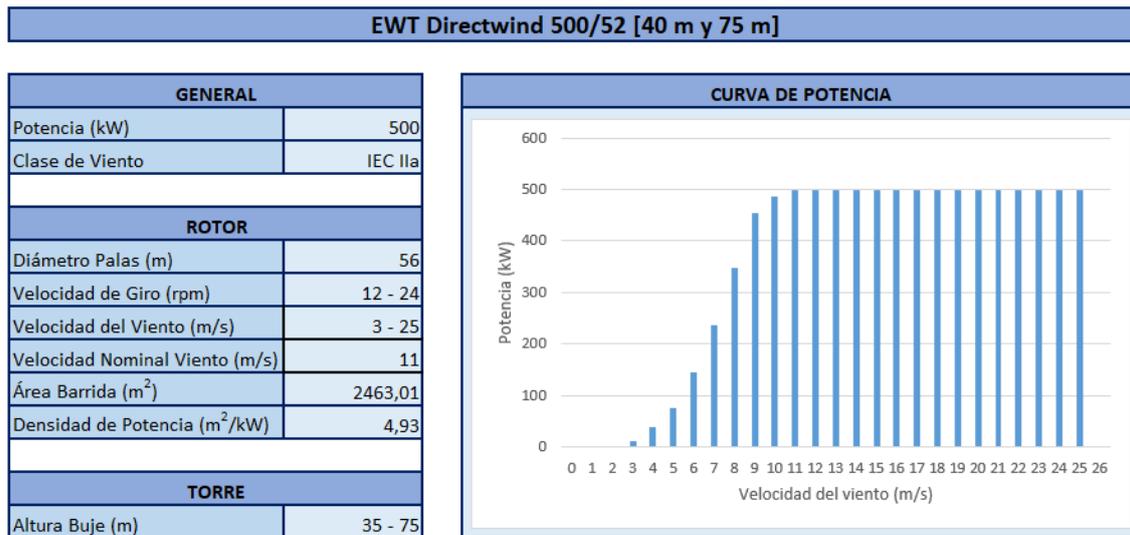
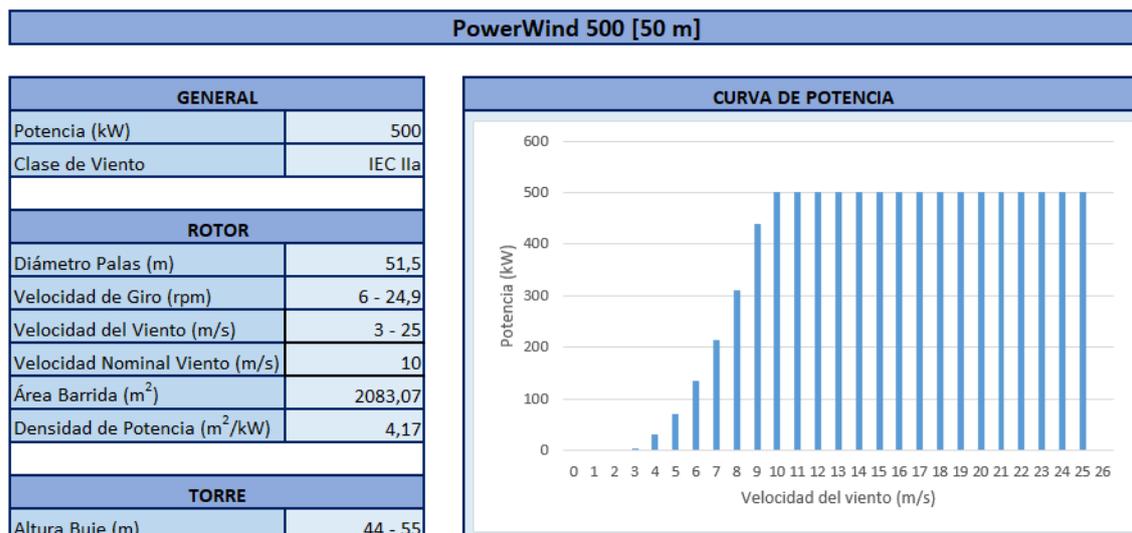
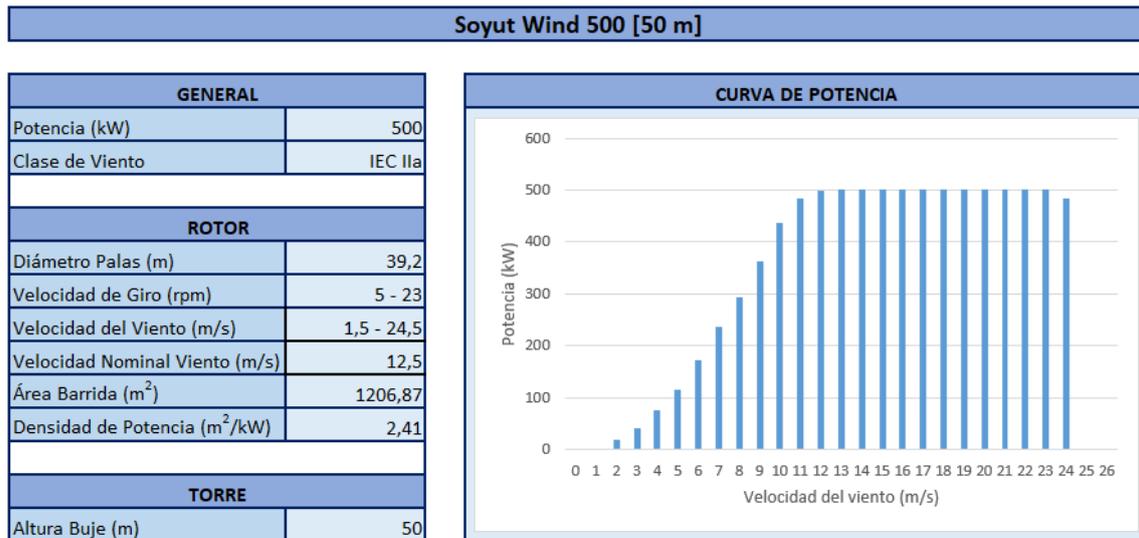


Tabla 8 - Características aerogenerador PowerWind 500. (Elaboración propia)



DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 9 - Características aerogenerador Soyut Wind 500. (Elaboración propia)



Como se puede apreciar en la Tabla 7, el aerogenerador de la compañía EWT tiene un amplio rango de alturas de torre, por lo que en los cálculos se considerarán 2 veces el mismo modelo de aerogenerador, uno de ellos con una altura de torre de 40 m y otro con una altura de 75 m. En las Tablas 8 y 9 se aprecia como la altura del resto de aerogeneradores casi no varía, por lo que estos se considerarán con una altura de torre de 50 m.

Con estas características no se puede conocer cuál será el aerogenerador que maximice la producción de energía. Se puede ver como todos ellos tienen aproximadamente la misma altura, pero cuentan con palas de distintos diámetros. Los tres primeros (los dos modelos de EWT Directwind 500/52 y el de PowerWind 500) comienzan a generar energía cuando la velocidad del viento alcanza los 3 m/s, siendo el tercero el que tiene una menor velocidad nominal, por lo que comienza a dar antes la potencia máxima. Por el otro lado, el cuarto aerogenerador Soyut Wind 500 comienza a extraer energía del viento antes. Sin embargo, tarda más tiempo en otorgar la potencia máxima.

Para seleccionar el mejor aerogenerador de todos, se realizará un cálculo estimado de cuánta energía consigue producir a lo largo de un año cada uno de estos, si estuvieran ubicados en la zona seleccionada. Como se ha dicho anteriormente, seleccionaremos aquel que produzca mayor cantidad de energía.

6.2. Corrección de las Curvas de Potencia

Antes de empezar, se hará una corrección de la curva de potencia de los aerogeneradores en función de la densidad de aire en el terreno, empleando para ello la Ecuación 5, enunciada anteriormente en el apartado 5.3. Para calcular cuál es la densidad del aire en esta zona, se considerará este como un gas ideal y se aplicará la siguiente Ecuación:

$$\rho = \frac{p}{R^* \cdot T} \quad [14]$$

Sabiendo que la zona se trata de una colina situada a 830 m de altura sobre el nivel del mar (mostrada en la Figuras 17 y 18), en la que se han medido una temperatura media máxima promedio a lo largo del año $T=14,5^{\circ}\text{C}$ [27] y una presión p de 939,8 mbar [28], la cual disminuye al aumentar la altura (al nivel del mar, esta se considera de 1013,25 mbar). Se considera un valor de R^* igual a $287 \text{ J}/\text{kg} \cdot \text{K}$. La densidad que se obtiene será pues de $\rho_2=1,111 \text{ kg}/\text{m}^3$, valor inferior a $\rho_1=1,225 \text{ kg}/\text{m}^3$, que se corresponde con la densidad a nivel del mar y con la cual han sido ensayados los aerogeneradores para hallar sus curvas de potencia y obtener los valores de P_1 .

Con esto se obtienen las curvas de potencia de los aerogeneradores corregidas, es decir, los distintos valores de P_2 :

Tabla 10 - Corrección de curvas de potencia. (Elaboración propia)

v (m/s)	EWT Directwind 500/52 [40 m y 75 m]		PowerWind 500 [50 m]		Soyut Wind 500 [50 m]	
	Curva de Potencia [P1(kW)]	Potencia Corregida [P2(kW)]	Curva de Potencia [P1(kW)]	Potencia Corregida [P2(kW)]	Curva de Potencia [P1(kW)]	Potencia Corregida [P2(kW)]
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	19	17,23
3	12	10,88	5	4,53	41	37,18
4	40	36,28	32	29,02	77	69,83
5	76	68,93	71	64,39	116	105,20
6	144	130,60	134	121,53	172	155,99
7	236	214,04	214	194,08	236	214,04
8	347	314,71	310	281,15	294	266,64
9	454	411,75	439	398,15	363	329,22
10	487	441,68	500	453,47	437	396,33
11	500	453,47	500	453,47	484	438,96
12	500	453,47	500	453,47	499	452,56
13	500	453,47	500	453,47	500	453,47
14	500	453,47	500	453,47	500	453,47
15	500	453,47	500	453,47	500	453,47
16	500	453,47	500	453,47	500	453,47
17	500	453,47	500	453,47	500	453,47
18	500	453,47	500	453,47	500	453,47
19	500	453,47	500	453,47	500	453,47
20	500	453,47	500	453,47	500	453,47
21	500	453,47	500	453,47	500	453,47
22	500	453,47	500	453,47	500	453,47
23	500	453,47	500	453,47	500	453,47
24	500	453,47	500	453,47	484	438,96
25	500	453,47	500	453,47	0	0
26	0	0	0	0	0	0

6.3. Estimación de Producción Energética Anual

Se procede a realizar el cálculo de la energía producida por cada aerogenerador a lo largo de un año. En el caso de los aerogeneradores con altura de torre igual a 50 metros, se puede emplear los valores de C y k de Weibull proporcionados por el Global Wind Atlas, sin necesidad de aplicar las Ecuaciones 7, 8 o 9 con el fin de corregir los valores de estos parámetros. Para aquellos cuya torre mida una altura distinta de 50 m sí que se tendrá que aplicar las anteriores ecuaciones. Todos los valores de C y de k quedan recogidos en la Tabla 3.

Antes de comenzar con los cálculos, destacar que en ellos se tienen 2 probabilidades distintas: una de ellas es la probabilidad de que el viento fluya a una velocidad determinada en un sector en concreto, la cual viene determinada por la distribución de velocidades del viento siguiendo la distribución de Weibull en ese sector determinado y se denotará con $f(v_i)$. Por otro lado, se tiene la probabilidad de que el viento circule por ese sector, valor que lo determina la rosa de los vientos y se denotará como f_{Sector_j} .

Los cálculos se realizarán empleando la herramienta de Microsoft Excel. Este programa informático presenta la ventaja de poder calcular fácilmente la distribución de Weibull para cada sector. Introduciendo la Ecuación 15 en el mismo, se obtiene la probabilidad $f(v_i)$ de que el viento sople con una velocidad v_i en dicho sector.

$$f(v_i) = DIST.WEIBULL(v_i, k_j, C_j, FALSO) \quad [15]$$

Se comenzará multiplicando la probabilidad $f(v_i)$ por el número de horas que tiene un año, que son 8760 h. Se tiene así el número de horas que el viento sopla a esa velocidad v_i . Este se multiplica por la potencia corregida que otorga el aerogenerador a dicha velocidad (P_{2i}) y se tiene la energía que produce a esa velocidad. Sumando las energías producidas en cada velocidad del viento se obtiene la energía total producida por el viento en ese sector si circulase en esa dirección todas las horas del año.

$$E_j = \sum_i f(v_i) \cdot 8760 (h) \cdot P_{2i} (kW) \quad [16]$$

Como el viento no circula siempre en la misma dirección, para hallar la potencia total producida por el aerogenerador se realiza el sumatorio de la energía producida en cada sector (E_j) por la probabilidad de que el viento vaya en la dirección de ese sector (f_{Sector_j}).

$$Energ = \sum_j f_{Sector_j} \cdot E_j \quad [17]$$

Así se obtendrá el valor de la energía bruta producida por cada aerogenerador en la zona seleccionada. Se ha considerado unas pérdidas globales del 15%, por lo que los valores obtenidos se han multiplicado por un coeficiente 0,85, obteniendo la energía neta producida.

Se calcularán las horas equivalentes de cada aerogenerador dividiendo la energía neta producida por el mismo entre su potencia nominal.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

$$h_{eq} = \frac{Energ}{500 kW} \quad [18]$$

Este número de horas equivalentes indica el número de horas que el aerogenerador tendría que estar trabajando a su potencia máxima, su potencia nominal, para otorgar la energía que produce anualmente.

Por último, se calculará su factor de carga. Este factor adimensional se entiende como la relación entre la cantidad de energía producida anualmente y la que podría producir si trabajase el 100% del tiempo a plena potencia, es decir, siempre estuviera entregando su potencia nominal. Este parámetro es de gran ayuda para seleccionar el aerogenerador óptimo ya que contra mayor sea su valor, significa que produce una mayor energía eléctrica.

$$F_{Carga} = \frac{h_{eq}}{8760 h} \quad [19]$$

Haciendo uso del programa de Microsoft Excel para efectuar los cálculos de energía producida anualmente por cada aerogenerador, se han obtenido los valores finales de energía neta mostrados en la Tabla 11. Se mostrará en la Tabla 12, a modo de ejemplo, el cálculo detallado de la energía bruta anual estimada que produciría el aerogenerador EWT Directwind 500/52 de 75 metros de altura de torre. El resto de valores de energía neta producida por cada aerogenerador que aparecen en la Tabla 11, se han calculado empleando la misma plantilla Excel cambiando los valores de P_{2i} y; en caso de variar la altura, también los valores de k_j y C_j .

Tabla 11 - Valores finales producción energía eólica anual. (Elaboración propia)

	EWT Directwind 500/52 [40 m]	EWT Directwind 500/52 [75 m]	PowerWind 500 [50 m]	Soyut Wind 500 [50 m]
Energía Neta Anual (MWh)	1228,89	1341,17	1249,66	1321,43
Horas Equivalentes (h)	2457,78	2682,34	2499,32	2642,86
Factor de Carga	0,281	0,306	0,285	0,302

Observando la Tabla 11 puede verse como se ha obtenido un valor bastante aproximado de la energía que producirían en caso de colocarse en el emplazamiento, siendo el segundo aerogenerador el que maximiza ligeramente esta producción energética y, consecuentemente, tiene un ligero mayor factor de carga. Esta ligera diferencia es debida a que el aerogenerador se encuentra a una mayor altura, con lo que consigue trabajar con una corriente de aire más veloz, lo que implica una mayor potencia disponible en el aire para ser extraída según indica la Ecuación 4. El cuarto aerogenerador queda muy cerca del segundo aún teniendo una altura de buje de 50 m. Muy posiblemente sea debido a que este comienza a producir energía antes que el resto ya que la velocidad mínima del viento debe ser de 1,5 m/s con este aerogenerador.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 12 - Estimación producción energética anual detallado. (Elaboración propia)

SECTOR	1	2	3	4	5	6
C_j	4,91	4,63	5,07	3,95	4,07	3,47
k_j	1,105	1,117	1,053	1,42	1,821	1,638
$f_{Sectorj}$	0,05	0,02	0,03	0,06	0,16	0,06

v_i (m/s)	P_{2i} (kW)	Energía producida por cada Sector en distintas Velocidades (kWh)					
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	11	11405,20	11809,08	10831,16	15521,11	18707,55	18652,85
4	36	31535,89	32236,50	29905,11	41496,00	53196,50	46490,18
5	69	49080,09	49435,18	46774,94	59242,35	74687,89	58354,43
6	131	75486,85	74809,63	72639,92	80183,17	92693,96	65946,50
7	214	99723,94	97125,64	97248,37	90020,63	89376,82	58959,55
8	315	117524,70	112379,54	116489,22	87453,41	70037,52	43632,46
9	412	122658,14	115056,77	123885,90	73216,68	44503,09	26676,89
10	442	104526,53	96112,05	107812,77	48822,25	21220,39	12475,48
11	453	84949,12	76516,92	89651,75	30343,57	8894,56	5229,45
12	453	67027,83	59107,12	72503,98	17922,13	3344,14	2005,77
13	453	52734,33	45501,43	58558,12	10344,81	1160,53	724,63
14	453	41379,56	34917,55	47237,72	5843,19	372,45	247,13
15	453	32391,14	26718,07	38063,81	3233,50	110,72	79,72
16	453	25298,44	20389,28	30640,47	1754,79	30,53	24,37
17	453	19717,70	15520,78	24641,70	934,73	7,82	7,07
18	453	15338,13	11787,16	19800,04	489,09	1,86	1,95
19	453	11909,51	8932,00	15896,67	251,56	0,41	0,51
20	453	9231,37	6754,39	12753,00	127,27	0,09	0,13
21	453	7143,80	5097,64	10223,60	63,36	0,02	0,03
22	453	5519,76	3840,07	8190,26	31,06	0,00	0,01
23	453	4258,63	2887,59	6557,06	15,00	0,00	0,00
24	453	3281,01	2167,67	5246,28	7,14	0,00	0,00
25	453	2524,42	1624,59	4195,05	3,35	0,00	0,00
26	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL (MWh)		994,65	910,73	1049,75	567,32	478,35	339,51

SECTOR	7	8	9	10	11	12
C_j	4,18	4,71	5,72	6,42	9,5	13,78
k_j	2,467	1,809	1,288	1,205	1,316	2,207
$f_{Sectorj}$	0,04	0,03	0,04	0,07	0,2	0,25

v_i (m/s)	P_{2i} (kW)	Energía producida por cada Sector en distintas Velocidades (kWh)						
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
1	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
2	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
3	11	22249,76	16336,30	11532,43	10264,70	7367,62	2342,15	
4	36	71694,60	50815,19	34351,82	30753,54	24312,96	10714,71	
5	69	97812,33	79880,15	56414,16	51375,12	44435,25	25566,88	
6	131	100083,99	113498,49	90172,64	84252,14	79376,93	57257,87	
7	214	66520,06	128018,85	122311,12	118071,68	120794,69	105949,56	
8	315	29571,54	119841,92	146511,85	146996,46	162917,87	169483,94	
9	412	8635,75	92857,82	154075,96	161504,84	193545,51	233759,33	
10	442	1509,71	55091,83	131286,42	144448,22	186878,94	257079,20	
11	453	182,34	29307,26	105950,79	122879,61	171392,68	263854,23	
12	453	15,31	14260,58	82492,79	101244,03	152066,16	257665,19	
13	453	0,91	6529,56	63672,05	82995,45	134094,12	246135,67	
14	453	0,04	2818,01	48752,10	67721,14	117586,32	230230,80	
15	453	0,00	1147,98	37050,45	55022,14	102580,82	211037,15	
16	453	0,00	441,97	27961,26	44527,44	89063,43	189679,07	
17	453	0,00	160,99	20963,44	35901,24	76982,86	167241,79	
18	453	0,00	55,53	15619,48	28845,76	66262,60	144707,27	
19	453	0,00	18,16	11569,29	23101,07	56810,13	122907,07	
20	453	0,00	5,63	8521,28	18443,20	48523,99	102493,94	
21	453	0,00	1,66	6242,66	14681,23	41299,12	83931,83	
22	453	0,00	0,46	4549,88	11653,91	35030,80	67502,17	
23	453	0,00	0,12	3299,77	9226,12	29617,51	53322,79	
24	453	0,00	0,03	2381,78	7285,41	24962,85	41375,40	
25	453	0,00	0,01	1711,31	5738,80	20976,81	31537,47	
26	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
TOTAL (MWh)		398,28	711,09	1187,39	1376,93	1986,88	3075,78	1577,85

6.4. Elección de Aerogenerador

Vistos los resultados de la Tabla 11, las dos mejores opciones que se tienen son el segundo y el cuarto aerogenerador. Habrá que decidir entre el modelo EWT Directwind 500/52 de 75 m y el aerogenerador Soyut Wind 500 de 50 m de altura; siendo el primero de estos el que produce un poco más de energía neta, concretamente producirá 1341,17 MWh frente a los 1321,43 MWh generados por el segundo modelo anualmente, lo que equivale a un 1,5% más de energía neta.

Cabe comprobar si merece la pena adquirir un aerogenerador de 25 metros más de altura para conseguir ese ligero aumento de energía. A pesar de resultar un aerogenerador de mayor altura, se ignorará que pueda presentar problemas de esbeltez o algún tipo de problema de robustez ya que, como se ha visto en el apartado 6.1, este es capaz de soportar una clase de viento IEC IIa, lo que equivale a soportar una velocidad de referencia de 42,5 m/s. En ese mismo apartado ya se comentó como la velocidad del viento a 75 m queda por debajo de esa velocidad de referencia.

En el subapartado 5.3.3 se habló de que el perfil de velocidades podría provocar la presencia de una velocidad del viento muy elevada en la parte más alta del aerogenerador y otra muy baja en su parte inferior, lo cual supondría que aparecieran distintas tensiones y se redujese así su vida útil. Se analizarán las dimensiones del segundo aerogenerador de la Tabla 11, el de mayor producción energética. El punto más alto será la suma de la altura del buje más un medio del diámetro de la circunferencia descrita por sus palas, es decir, 100,75 m. A esta altura le corresponde una velocidad del viento de 8,23 m/s aproximadamente como se puede ver en la Figura 23. Al restar a la altura del buje un medio del diámetro de las palas se obtiene la altura inferior, que son 49,25 m, altura correspondiente a una velocidad del viento de 6,79 m/s como se puede ver en la misma Figura 23. Viendo que la diferencia de velocidades no es muy elevada se asume que no aparecerán tales problemas de tensiones.

Es interesante tener en cuenta también que este segundo aerogenerador es el único de los que se han comparado que se fabrica en Europa, ya que la empresa EWT se encuentra en Holanda. Esto hará más fácil su compra ya se ahorrarán costes de importación de otros continentes y se agilizará el proceso burocrático.

Con todo ello se llega a la conclusión de que el aerogenerador EWT Directwind 500/52 de altura de buje 75 m y 51,5 m de diámetro de palas es la mejor opción de todas las estudiadas. Se escogerá pues este tipo de aerogenerador para diseñar el parque eólico.

6.5. Cálculo de Producción Energética Mensual

El cálculo de producción energética anual anterior no es lo suficientemente preciso ya que el viento no sopla con la misma velocidad todos los meses del año, siendo los meses de la estación de verano aquellos en los que el viento circula con menor velocidad.

La web de Global Wind Atlas permite saber la velocidad media del viento cada mes (V_{med_Mes}) ya que proporciona unos coeficientes que son el resultado de dividir la velocidad media de cada mes (V_{med_Mes}) entre la anual (V_{med_Anual}). Tanto dichos coeficientes como las velocidades medias mensuales aparecen en la Tabla 13. En la Figura 24 aparecerá representada la distribución de la velocidad media del viento a través de los meses del año.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 13 - Coeficientes y velocidades mensuales. (Elaboración propia)

		V_{med_Anual} (a 75 m de altura) (m/s)					
		7,62					
MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	
COEFICIENTE	1,44	1,45	1,36	1,01	0,88	0,64	
V_{med_Mes} (m/s)	10,97	11,05	10,36	7,70	6,71	4,88	
MES	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
COEFICIENTE	0,56	0,49	0,71	0,83	1,31	1,36	
V_{med_Mes} (m/s)	4,27	3,73	5,41	6,32	9,98	10,36	

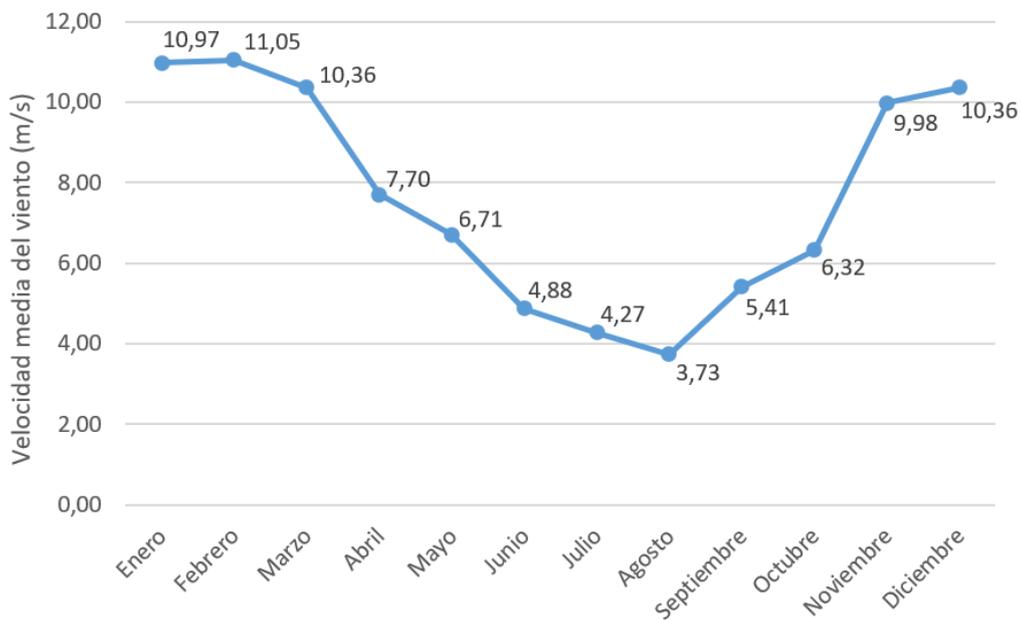


Figura 24 - Evolución velocidad media mensual. (Elaboración propia)

Se han empleado 3 métodos distintos para introducir estos coeficientes en el cálculo de la energía eólica producida mensualmente.

6.5.1. Método A

Para llevar a cabo este método se ha hecho uso de los valores de C y k de la distribución de Weibull para cada sector a una altura de 75 m disponibles en la Tabla 3. Se ha introducido los valores de cada sector en la calculadora proporcionada por la Danish Wind Industry Association, para así obtener la velocidad media anual del viento en cada sector ($V_{med_Sector_Anual}$). Es decir, este método no hará uso de las velocidades medias mostradas en la Tabla 13, sino que hará uso de los valores de las distintas $V_{med_Sector_Anual}$ de cada sector, mostradas en la Tabla 14.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 14 - Velocidades medias en cada sector anualmente. (Elaboración propia)

SECTOR	1	2	3	4	5	6
C_j	4,91	4,63	5,07	3,95	4,07	3,47
k_j	1,105	1,117	1,053	1,42	1,821	1,638
$V_{med_Sector_Anual}$	4,72	4,44	4,95	3,59	3,61	3,1
$f_{Sectorj}$	0,05	0,02	0,03	0,06	0,16	0,06

SECTOR	7	8	9	10	11	12
C_j	4,18	4,71	5,72	6,42	9,5	13,78
k_j	2,467	1,809	1,288	1,205	1,316	2,207
$V_{med_Sector_Anual}$	3,71	4,19	5,28	6,01	8,73	12,21
$f_{Sectorj}$	0,04	0,03	0,04	0,07	0,2	0,25

Seguidamente se ha multiplicado el valor de $V_{med_Sector_Anual}$ por el coeficiente asociado a cada mes, mostrado en la Tabla 13, obteniendo así la velocidad media del viento en cada sector durante cada uno de los meses ($V_{med_Sector_Mes}$).

Asumiendo que el factor de forma (k) de las distribuciones de Weibull se mantiene constante a lo largo del año, se ha vuelto a emplear la calculadora proporcionada por la Danish Wind Industry Association para calcular ahora el factor de escala (C) de cada sector a lo largo de cada mes (C_{Sector_Mes}). Este factor de escala depende directamente de la velocidad media del viento por lo que influirá notablemente en el cálculo de energía eólica producida en cada mes.

Empleando como plantilla la hoja Excel con la que se ha estimado la energía producida anualmente en el apartado 6.3, se ha ido calculando la energía producida en cada mes del año introduciendo para ello los distintos valores de C_{Sector_Mes} y manteniendo los valores de k . Se ha seguido un proceso análogo al del apartado 6.3. pero multiplicando por las horas que tiene cada mes (en lugar de las 8760 horas del año) en la Ecuación 16, para así obtener la energía producida mensualmente. Finalmente, el valor de la energía de mes se ha multiplicado por 0,85 para considerar el 15% de pérdidas considerado previamente. Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 15.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 15 - Energía mensual calculada con método A. (Elaboración Propia)

Energ Produc Mensual (MWh)	
Enero	138,03
Febrero	124,96
Marzo	135,98
Abril	111,06
Mayo	101,12
Junio	66,50
Julio	55,60
Agosto	43,70
Septiembre	76,71
Octubre	95,30
Noviembre	129,23
Diciembre	135,47
ANUAL (Suma)	1213,68
ANUAL (6.3)	1341,17

Viendo que la suma de las energías producidas mensualmente difiere bastante de la energía anual calculada en el apartado 6.3. (habiendo un 10,5% de diferencia), se ha decidido considerar este método como erróneo y buscar otro método que proporcione resultados más acertados.

6.5.2. Método B

Se ha decidido emplear un método alternativo en el que se relaciona la velocidad media mensual directamente con la energía producida por cada aerogenerador, empleando un coeficiente corrector para conseguir así que la suma de las producciones mensuales coincida con el valor anual ya calculado en el apartado 6.3. Este método considera que la potencia (y con ella la energía) están directamente relacionadas con el cubo de la velocidad de incidencia del viento sobre el aerogenerador; motivo por el cual la energía producida se verá afectada por el cubo del coeficiente igualmente. Se hará uso de la Ecuación 20 para elaborar los cálculos y los resultados de cada mes se recogerán en la Tabla 16:

$$E_{mes} = E_{dia} \cdot n_{dias_Mes} \cdot COEF_{Mes}^3 \cdot FC \quad [20]$$

Siendo:

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

- E_{mes} la energía producida por cada aerogenerador a lo largo de un mes.
- E_{dia} la energía producida diariamente. Valor obtenido directamente dividiendo la producción energética anual entre los 365 días de un año.
- n_{dias_Mes} el número de días que tenga el mes a calcular.
- $COEF_{Mes}$ el coeficiente de variación de la velocidad media asociado al mes que se desea calcular. Este se eleva al cubo ya que la potencia (y con ella la energía) depende cúbicamente de la velocidad.
- FC el Factor de Corrección empleado para que la energía resultante coincida con la energía anual ya calculada. Este se obtiene dividiendo los 365 días de un año entre la suma de todos los $COEF_{Mes}$ elevados al cubo y multiplicados por los n_{dias_Mes} tal como indica la Ecuación 21. Esta proporciona un valor de $FC = 0,7318$

$$FC = \frac{365}{n_{dia_1} \cdot COEF_{Mes_1}^3 + n_{dia_2} \cdot COEF_{Mes_2}^3 + \dots + n_{dia_{12}} \cdot COEF_{Mes_{12}}^3} \quad [21]$$

Tabla 16 - Energía mensual calculada con método B. (Elaboración propia)

MES	COEF	DÍAS	E_{mes} (MWh)
Enero	1,44	31	248,90
Febrero	1,45	28	229,53
Marzo	1,36	31	209,68
Abril	1,01	30	83,11
Mayo	0,88	31	56,80
Junio	0,64	30	21,15
Julio	0,56	31	14,64
Agosto	0,49	31	9,81
Septiembre	0,71	30	28,87
Octubre	0,83	31	47,66
Noviembre	1,31	30	181,35
Diciembre	1,36	31	209,68
TOTAL		365	1341,17
Factor de Corrección [FC]			0,7318
Energ Anual [Energ (MWh)]			1341,17
Energ Diaria [E _{dia} (MWh)]			3,6744

Este método, aunque conceptualmente parece correcto, presenta valores de producción energética mensual muy bajos para determinados meses del año como pueden ser Julio o Agosto. Lo que lleva a pensar que este método no refleja correctamente la realidad, por lo que tampoco podrá ser considerado como válido.

6.5.3. Método C

Dado que el método B proporciona valores muy dispares, no llega a considerarse que este proporcione valores válidos ya que en la realidad, aunque la velocidad media del viento varíe a lo largo de los meses, la producción de energía eólica no varía tan agresivamente. Se ha decidido pues desarrollar este nuevo método para el cálculo de energía eólica mensual.

Este nuevo método se basa en obtener una energía media mensual (E_{med}) resultante de dividir la anual (E_{Anual}) entre cada uno de los 12 meses del año, para luego calcular un valor orientativo de cuál será la producción de energía cada mes multiplicando este valor de E_{med} por el coeficiente asociado a cada mes ($COEF_{Mes}$) tal como indica la Ecuación 22. Los valores proporcionados para cada mes se recogerán en la Tabla 17.

$$E_{mes} = E_{med} \cdot COEF_{mes} \quad [22]$$

Tabla 17 - Energía mensual calculada con método C. (Elaboración propia)

MES	COEF	E_{mes} (MWh)
Enero	1,44	160,94
Febrero	1,45	162,06
Marzo	1,36	152,00
Abril	1,01	112,88
Mayo	0,88	98,35
Junio	0,64	71,53
Julio	0,56	62,59
Agosto	0,49	54,76
Septiembre	0,71	79,35
Octubre	0,83	92,76
Noviembre	1,31	146,41
Diciembre	1,36	152,00
E_{Anual} (6.3) (MWh)		1341,17
E_{med} (MWh)		111,76
ANUAL (SUMA) (MWh)		1345,64

Viendo que la suma de la producción de todos los meses da un valor muy próximo a la producción anual ya calculada y que los valores no son tan dispares como los proporcionados por el método anterior, se considerarán estos valores como válidos y serán empleados en el capítulo 11 para estudiar las distintas alternativas del suministro de energía eléctrica.

7. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO

Recordar antes de comenzar este capítulo, que el modelo de aerogenerador seleccionado a ubicar en el parque se trata del EWT Directwind 500/52 cuyo eje del buje se ubica a 75 m de altura sobre el suelo. En la Tabla 7 pueden verse cuáles son sus características.

A lo largo del capítulo se van a analizar cuáles son los efectos que interfieren en la llegada del viento hacia los aerogeneradores y provoca que estos no puedan extraer tanta energía del mismo como deberían. También se planteará la cantidad y disposición de aerogeneradores a instalar en el parque.

7.1. Efectos Modificadores del Viento

7.1.1. Efecto Colina

Comúnmente, los parques eólicos instalan sus aerogeneradores en la parte superior de montañas o colinas no muy escarpadas ya que en estas siempre se aprecian velocidades de viento superiores a las de las áreas circundantes. Esto es debido a que, según indica la Danish Wind Industry Association, el viento es comprimido en la parte de la montaña que da al viento, y una vez el aire alcanza la cima de la colina puede volver a expandirse al descender hacia la zona de bajas presiones por la ladera a sotavento de la colina [25]. La Figura 25 busca representar el efecto colina que se acaba de describir.

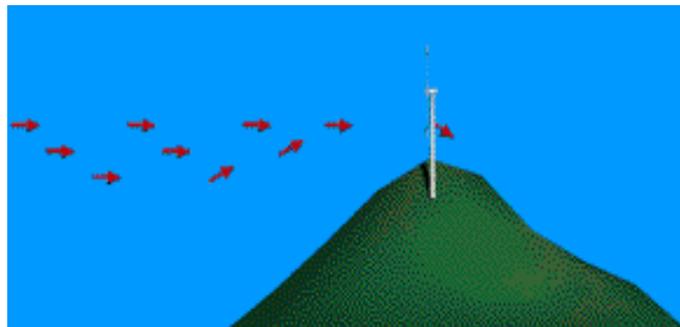


Figura 25 - Representación del efecto colina. (Asignatura Tecnología Energética)

En la ligera montaña dónde se desean instalar los aerogeneradores se dará este deseado efecto colina ya que, a pesar de tener cierta cantidad de árboles y arbustos en sus laderas, estos están distribuidos de manera uniforme por lo que no se considera que esta se trate de una colina escarpada.

7.1.2. Efecto Parque

Para comprender el efecto parque debe introducirse también el concepto de efecto estela. El efecto parque se produce cuando el viento atraviesa las aspas de un aerogenerador y genera una estela detrás de las palas de este. Esta estela se trata de una larga cola de viento bastante turbulenta y ralentizada en comparación con el viento que llega a la turbina, esto puede producir que el viento llegue a los demás aerogeneradores con menor velocidad y con ello que produzcan menor potencia de la que deberían. Además, si un aerogenerador recibe una corriente de aire muy turbulenta podría producirse una disminución de su vida útil.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Todo lo anterior se conoce como el efecto parque (o efecto sombra) y es algo que se debe evitar ya que produce pérdidas en la energía que se generará. Según se menciona en las diapositivas de la asignatura Tecnología Energética [29], el IDAE considera que estas pérdidas por efecto parque y estela son de aproximadamente un 15%, valor empleado previamente en los apartados 6.3 y 6.4 para calcular la energía neta producida por cada aerogenerador.

Según recomendaciones del IDAE y como se representa en la Figura 26, para reducir estas pérdidas, la separación mínima entre los ejes de los aerogeneradores deberá ser de entre 5 y 9 diámetros de rotor en la dirección del viento predominante y de entre 3 y 5 diámetros separados en la dirección perpendicular a los vientos dominantes.

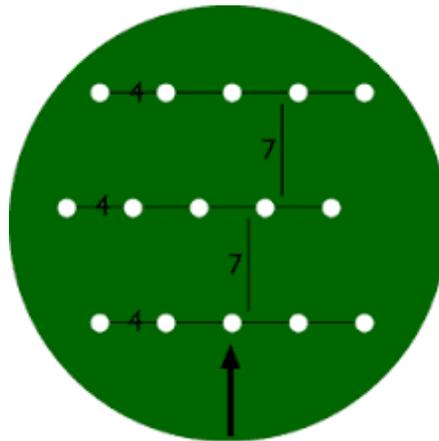


Figura 26 - Separación aerogeneradores evitar efecto parque. (Asignatura Tecnología Energética)

En el parque eólico que se desea diseñar, los aerogeneradores se situarán en una sola fila. Dicha fila se trata de la línea cortafuegos visible en la Figura 17, por lo que solo habrá que tener en cuenta la separación de al menos 3 veces el diámetro del rotor entre ejes en la dirección perpendicular al viento. Aplicado al aerogenerador que se ha seleccionado, con 51,50 m de diámetro de rotor, equivaldrá a establecer una **distancia de 154,50 m entre ejes**. Se podrá instalar pues un número limitado de aerogeneradores ya que la longitud de la colina es limitada.

7.2. Predimensionado del Parque Eólico

Únicamente faltaría saber el número de aerogeneradores a instalar en el parque eólico. Como se verá en el capítulo 11, este número variará según la alternativa seleccionada. De todos modos interesará instalar el mayor número posible ya que estos generan gran cantidad de energía.

Dado que se quieren evitar las pérdidas por efecto parque y que solo se dispone de 840 m de longitud a lo largo de la colina (visible en la Figura 17) para instalar los aerogeneradores, aparece una restricción de espacio la cual viene determinada por la Ecuación 23.

$$N_{Aerog} \cdot D_{Palas} + (N_{Aerog} - 1) \cdot 2 \cdot D_{Palas} \leq 840 \text{ (m)} \quad [23]$$

De la Ecuación 23 se tiene que el número de aerogeneradores en el parque (N_{Aerog}) debe ser menor de 6,1 aerogeneradores, es decir, como **máximo** podrán ubicarse **6 aerogeneradores** en el parque.

8. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO SOLAR FOTOVOLTAICO

8.1. Situación de los Municipios

En los apartados 4.1 y 5.1 ya se ha descrito la ubicación de los municipios que se pretende abastecer. Dado que las poblaciones de esta zona de la provincia de Castellón están rodeadas de grandes extensiones de campo, resultará sencillo encontrar un terreno plano de gran superficie que se encuentre en desuso apto para albergar el parque fotovoltaico.

A demás de eso, España es uno de los países de Europa que mayor radiación solar recibe y que cuenta con una gran cantidad de horas de sol diarias. Esto es debido a que es el país de dicho continente que se encuentra más próximo al Ecuador del planeta. Esto hace que tenga un gran potencial solar el cual puede ser aprovechado satisfactoriamente.

8.2. Selección de la Zona del Parque Fotovoltaico

Seleccionar la ubicación de este parque es una tarea más sencilla ya que no se requiere que se encuentre en lo alto de una colina como ha sido el caso del parque eólico. Los únicos requisitos que deberá cumplir la zona serán que se encuentre lo más cercano posible a las poblaciones de Geldo y Soneja y que no presente objetos elevados cercanos para evitar así las sombras y que esto perjudique a los paneles fotovoltaicos.

Para buscar esta zona, se hará uso de la página web de Google Earth; una vez se haya encontrado una posible ubicación se empleará la página web del Visor Cartogràfic de la GVA para comprobar que esta no se trate de una zona protegida o algún parque natural o similar; cuando se verifique que esta zona es válida para instalar en ella el parque fotovoltaico, se utilizará la página web de Global Solar Atlas [30] para conocer cuanta radiación solar hay presente en dicha zona.

Se ha encontrado un terreno como el descrito anteriormente que resulta válido para ubicar el parque fotovoltaico y aparece en la Figura 27. Este se sitúa en las coordenadas 39º 49' 19,18" N 0º 24' 58,02" W y está próximo a la población de Soneja. Al introducir estas coordenadas en el Visor Cartogràfic de la GVA se puede apreciar como no interfiere con ningún parque natural o espacio protegido a pesar de estar próximo al parque natural de la sierra de Espadán.

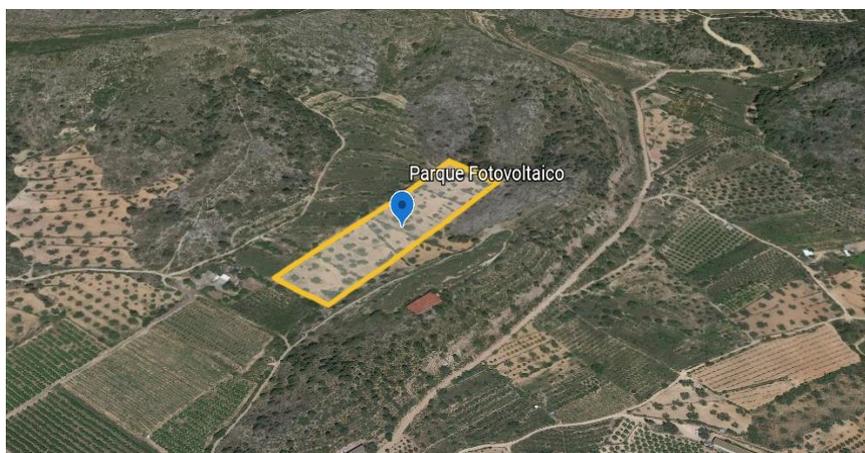


Figura 27 - Zona parque fotovoltaico. (Google Earth)

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Haciendo uso de la herramienta de medición disponible en Google Earth se aprecia como la superficie marcada con línea amarilla abarca una superficie de 276 m de largo por 75 m de ancho, es decir, un total de 20.700 m² en los que se ubicará el parque fotovoltaico.

Haciendo uso de la web de Global Solar Atlas, se puede afirmar que esta zona es adecuada para realizar una instalación fotovoltaica ya que anualmente recibe 1910 kWh/m² de irradiación, valor que está por encima de la media española (1850 kWh/m²) y es superior al registrado en el país con mayor potencia fotovoltaica instalada de Europa (Alemania, con 1070 kWh/m²). [31]

8.3. Evaluación del Potencial Solar Fotovoltaico

Análogo al potencial eólico, el potencial solar fotovoltaico se entiende como la potencia extraíble de la radiación solar y aprovechable para ser transformada en energía eléctrica. El cálculo de la energía que se puede obtener de un módulo fotovoltaico en cierto periodo de tiempo es bastante más sencillo que el cálculo de la energía eólica. Esta puede ser calculada a través de la siguiente Ecuación:

$$E_{\text{modulo}} = P_{\text{mpp}} \cdot HSP \cdot PR \quad [24]$$

Siendo:

- E_{modulo} la energía producida por un módulo a lo largo de un periodo de tiempo, pudiendo ser medida en kWh/año o en kWh/mes.
- P_{mpp} la potencia nominal o potencia pico del módulo seleccionado.
- HSP las Horas Sol Pico del período de tiempo en el que se quiere calcular la producción de energía. Seguidamente se explicará mejor dicho parámetro.
- PR el Performance Ratio o factor de pérdidas de la instalación. Se explicará a continuación.

8.3.1. Radiación e Irradiancia. Tipos de Radiación.

Se entiende radiación solar como la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Estas ondas no necesitan un medio material para propagarse por lo que atraviesan el espacio y llegan hasta la Tierra. De la radiación solar, solo es útil para su aprovechamiento una parte de la misma, concretamente aquellas cuyas longitudes de onda se comprenden entre 300 y 1500 nm [29]. Como se aprecia en la Figura 28, se aprovecha la radiación cuyas longitudes de onda están dentro del intervalo visible, una parte del intervalo infrarrojo y una pequeña parte del intervalo ultravioleta.

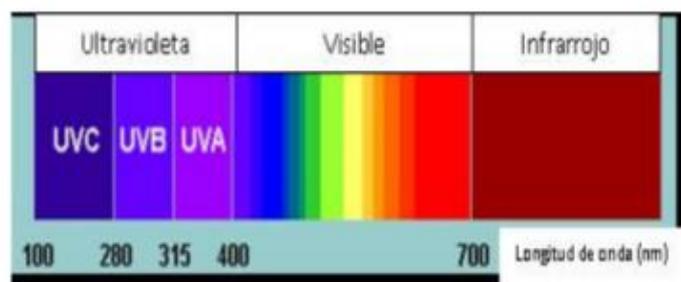


Figura 28 - Intervalo longitudes de onda aprovechables. (Asignatura Tecnología Energética)

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

La irradiancia solar se describe como la potencia incidente por unidad de superficie sobre un plano dado proveniente de la radiación electromagnética del sol. Esta se expresa en W/m^2 . Esta sirve para definir la constante solar, que se entiende como la intensidad recibida en forma de radiación solar por unidad de tiempo y unidad de superficie, medida en la parte externa de la atmósfera en un plano perpendicular a los rayos. Su valor es de $1367 W/m^2$ según el World Radiation Centre (WRC). [29]

Se distinguen 3 tipos de radiación solar según el WRC:

- **Radiación solar directa:** radiación solar que llega a la superficie de la Tierra sin sufrir cambios de dirección. Como se extrae del Global Solar Atlas, en la zona del parque se reciben aproximadamente $1910 kWh/m^2$ de irradiación solar directa anualmente.
- **Radiación solar difusa:** radiación solar cuyos rayos han sufrido cambios en su dirección y acaban incidiendo en una superficie horizontal. Estos cambios pueden deberse a la reflexión o refracción con moléculas de la atmósfera. En los cálculos se suele estimar la radiación difusa con un 70% de la radiación directa.
- **Albedo:** se entiende como la radiación que refleja la superficie terrestre y la devuelve a la atmósfera.

La **radiación global** analizada anteriormente se descompone en la suma de radiación directa, difusa y albedo.

8.3.2. Hora Sol Pico (HSP)

Según la norma UNE 206008:2013 IN la hora sol pico es: “Tiempo en horas en el que una irradiación constante de $1.000 W/m^2$ producirá la misma irradiación que una irradiación variable con el tiempo, que incida sobre la misma superficie durante un periodo de tiempo determinado”. Una HPS equivale a $1KWh/m^2$ y sirve para contabilizar la energía recibida del sol agrupándola en paquetes, siendo cada “paquete” de 1 hora recibiendo $1000 W/m^2$.

Como se verá posteriormente en la Tabla 21, el cálculo de HSP es a la vez muy importante para la estimación del potencial solar y muy sencillo de calcular ya que se obtiene dividiendo el valor de la irradiación global promedio de un mes o un año entre $1.000 W/m^2$. Este proporcionará el valor de 2064,83 h a lo largo del año.

8.3.3. Performance Ratio (PR)

Este es el factor de pérdidas que tendrá la instalación. Engloba las pérdidas de energía que pueden ser debidas a sombras, suciedad o polvo sobre los módulos, variaciones de temperatura o de radiación... Se obtiene restando a 1 el valor de las pérdidas totales del sistema, valor que se obtendrá posteriormente de la Tabla 22. Estas pérdidas totales son de un 22,58%, por lo que el PR tomará un valor de 77,42%.

9. ESTUDIO DE LOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

9.1. Comparativa de Módulos Fotovoltaicos

Para buscar y comparar distintos módulos fotovoltaicos se ha consultado la base de datos de Sunfields Europe [32]. Se han comparado 3 módulos diferentes, con distintas tipologías de células (monocristalinas o policristalinas) y comercializados por distintas compañías.

Tabla 18 - Comparación módulos fotovoltaicos. (Elaboración propia)

		SunPower (USA) SPR-P3-415-COM	ESCELO (España) MEPV 400-HC	Panasonic (Internac) VBHN330SJ47
DATOS ELÉCTRICOS				
Potencia Nominal	P_{nom_Mod} (W)	415	400	330
Eficiencia panel	Efi (%)	20,10	19,81	19,70
Tipo de Célula		Monocristalino	Monocristalino	Policristalino
Tensión Nominal	V_{nom_Mod} (V)	45	40,6	58
Intensidad Nominal	I_{nom_Mod} (A)	9,22	9,86	5,70
DIMENSIONES				
Largo	L_{Mod} (mm)	2066	2015	1590
Ancho	a_{Mod} (mm)	998	1002	1053
Superficie	S_{Mod} (m ²)	2,062	2,019	1,674

Como se indica en los catálogos de los módulos fotovoltaicos, todos estos valores han sido medidos en condiciones estándar de medida. Estas son: una irradiancia incidente sobre los mismos de 1.000 W/m², una temperatura ambiente de 25°C y una masa de aire (AM) de 1,5.

El concepto masa de aire se trata de un parámetro adimensional dependiente del ángulo con el que los rayos solares inciden sobre una superficie. En condiciones de trabajo estándar en energía solar fotovoltaica, esta adquiere un valor de 1,5. [33]

Todos estos son modelos disponibles en el mercado actualmente. Se han comparado módulos con células solares fotovoltaicas de silicio cristalino tanto monocristalinas como policristalinas. Por lo general los paneles con células monocristalinas tienen un mayor rendimiento que aquellos con células policristalinas, pero al mismo tiempo suelen ser más costosos.

9.2. Elección de Módulo Fotovoltaico

El criterio para elegir el módulo fotovoltaico más conveniente es que este tenga la mayor eficiencia posible, ya que con ello se asegura que producirá la mayor cantidad de energía por metro cuadrado de panel fotovoltaico instalado. El primer módulo fotovoltaico tiene una eficiencia de 20,10%, la más elevada de todos. Esto se traduce en que la instalación fotovoltaica tendrá 201 W de potencia por cada metro cuadrado de módulo fotovoltaico instalado.

El resto de módulos comparados tienen valores de eficiencia bastante próximos a este ya que se tratan de modelos muy competitivos. Finalmente se escogerá el primer modelo de la Tabla 18, el módulo fotovoltaico SPR-P3-415-COM de 415 kW de potencia nominal, comercializado por la empresa SunPower (USA). Ya que esta empresa distribuye sus modelos internacionalmente, estos podrán adquirirse dentro del país, por lo que no habrá que abonar pagos extra por importarlo desde el extranjero ni similares.

9.3. Cálculo de Producción Energética por Módulo

Para conocer cuál será la energía generada por cada módulo fotovoltaico a lo largo de un año, se hará uso de la Ecuación 24 enunciada anteriormente ahora que ya se conoce el valor de todos los parámetros de dicha Ecuación. Se obtiene el siguiente resultado:

$$E_{\text{modulo}} = \frac{415 \text{ W} \cdot 2064,83 \text{ h/año} \cdot 0,7742}{1000} = 662,08 \text{ kWh/año}$$

Este mismo valor puede ser calculado haciendo uso de la página web del Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) [34], ofrecida por la comisión europea. En el programa se indica la potencia de un módulo (0,415 kWp) obteniendo así la energía generada por cada módulo. En dicho programa se han introducido los valores mostrados en la Tabla 19:

Tabla 19 - Valores introducidos en PVGIS. (PVGIS)

Datos proporcionados:	
Localización [Lat/Lon]:	39.822, -0.416
Horizonte:	Calculado
Base de datos:	PVGIS-SARAH
Tecnología FV:	Silicio cristalino
FV instalada [kWp]:	0.415
Pérdidas sistema [%]:	15

De esta manera, el programa ha proporcionado la producción energética tanto diaria como mensual por parte de cada módulo suponiendo que estos tengan la orientación e inclinación óptimas, valores que también ha proporcionado y se mostrarán en el apartado 10.1. También se ha obtenido del programa la irradiación global por metro cuadrado recibida por el sistema descrito diaria y mensualmente. Sumando los resultados de los datos mensuales se obtiene el total anual. Todos los resultados proporcionados por el PVGIS se han recopilado en la Tabla 20.

Tabla 20 - Energía e irradiación mensual. (Elaboración propia)

MES	Días	Ed (kWh)	Em (kWh)	Hd (kWh/m ²)	Hm (kWh/m ²)
Ene	31	1,54	47,84	4,52	140,05
Feb	28	1,67	46,89	4,97	139,24
Mar	31	1,88	58,17	5,70	176,76
Abr	30	1,95	58,59	6,05	181,64
May	31	2,01	62,31	6,37	197,35
Jun	30	2,09	62,81	6,78	203,3
Jul	31	2,11	65,35	6,90	213,84
Ago	31	2,05	63,62	6,65	206,24
Sep	30	1,86	55,89	5,94	178,24
Oct	31	1,67	51,64	5,18	160,53
Nov	30	1,51	45,19	4,51	135,16
Dic	31	1,46	45,15	4,27	132,48
TOTAL	365	21,80	663,45	67,84	2064,83

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Los valores de la Tabla 20 son los siguientes:

- Ed es la producción diaria de energía por el sistema (kWh/día).
- Em es la producción mensual de energía por el sistema (kWh/mes).
- Hd es la suma diaria de irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema (kWh/m²-día).
- Hm es la suma mensual de irradiación global por metro cuadrado recibida por los módulos del sistema (kWh/m²-mes).

Habiéndose explicado en el subapartado 8.3.2 el concepto de HSP y como este se calcula, se ha realizado el cálculo de los mismos para cada mes del año, proporcionando su suma el valor anual. Se han calculado también las HSP diarias dividiendo las mensuales entre los días que tenga cada mes. También se ha calculado el valor de la energía producida mensualmente por cada módulo haciendo uso de la Ecuación 24 a pesar de que el PVGIS ha proporcionado este resultado en la Tabla 20. Así se comprobará si los cálculos han sido efectuados correctamente.

Tabla 21 - Valores de HSP y energía generada mensualmente. (Elaboración propia)

MES	Días	HSP diarias	HSP mensual	Emes (kWh)
Ene	31	4,52	140,1	45,00
Feb	28	4,97	139,24	44,74
Mar	31	5,70	176,76	56,79
Abr	30	6,05	181,64	58,36
May	31	6,37	197,35	63,41
Jun	30	6,78	203,3	65,32
Jul	31	6,90	213,84	68,71
Ago	31	6,65	206,24	66,26
Sep	30	5,94	178,24	57,27
Oct	31	5,18	160,53	51,58
Nov	30	4,51	135,16	43,43
Dic	31	4,27	132,48	42,56
TOTAL	365	67,84	2064,83	663,42

Se puede observar como los valores de la energía mensual calculada de la Tabla 21 son muy próximos a los valores proporcionados por el PVGIS, visibles en la columna Em de la Tabla 20.

Se hará uso de los valores de la energía mensual producida por módulo fotovoltaico expuestos en la Tabla 21 ya que estos son ligeramente más restrictivos.

10. DISEÑO DEL PARQUE FOTOVOLTAICO

10.1. Orientación e Inclinación de los Módulos

Todos estos ángulos vienen determinados por el PVGIS, que los calcula rápidamente solo con introducir las coordenadas de la ubicación del parque e indicar que calcule la orientación e inclinación óptima de los mismos para que maximice la producción energética. La simulación en el PVGIS ha proporcionado los resultados de la Tabla 22.

Tabla 22 - Resultados de simulación con PGVIS. (PVGIS)

Resultados de la simulación:	
Ángulo de inclinación [°]:	37 (opt)
Ángulo de azimut [°]:	-1 (opt)
Producción anual FV [kWh]:	663.45
Irradiación anual [kWh/m ²]:	2064.83
Variación interanual [kWh]:	16.92
Cambios en la producción debido a:	
Ángulo de incidencia [%]:	-2.58
Efectos espectrales [%]:	0.61
Temperatura y baja irradiancia [%]:	-7.07
Pérdidas totales [%]:	-22.58

La orientación de los paneles vendrá determinada por el ángulo de azimut (γ), que viene definido por el PVGIS como el ángulo que presentan los módulos fotovoltaicos respecto a la dirección Sur. Así -90° corresponde estar orientados hacia el Este, 0° es orientación Sur y 90° es Oeste. El ángulo de azimut proporcionado por el PVGIS es de $\gamma = -1^\circ$, lo que corresponde con una alineación casi hacia el Sur, ligeramente orientada hacia el Este. [34]

Por otro lado, la inclinación de los paneles la determina el ángulo de inclinación (β), entendido como el ángulo que presentan los módulos fotovoltaicos respecto al plano horizontal. En el caso del parque los módulos tienen un ángulo de inclinación $\beta = 37^\circ$ según se indica en el PVGIS.

10.2. Separación entre Módulos

A la hora de ubicar los módulos en el parque, estos deberán guardar una distancia mínima entre ellos para que no generen sombras mutuamente y esto interfiera en su producción de energía. Esta distancia (d) es la que deberán mantener los módulos que estén en paralelo, es decir, debe ser la distancia entre los distintos "strings". Para los módulos en serie no es necesario mantener tal distancia. Para el valor de d se emplea la siguiente Ecuación:

$$d = a \cdot \cos(\beta) + \frac{h}{\tan(\alpha)} \quad [25]$$

En la anterior Ecuación:

- $h = a \cdot \text{sen}(\beta)$, valor fácilmente deducible por trigonometría de la Figura 29.
- $\alpha = 90^\circ - \text{Latitud}(\circ) - \text{Declinación}(\circ) = 90 - 39,5 - 23,5 = 27^\circ$.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

La declinación solar se entiende como el ángulo formado entre el plano eclíptico y el ecuador, el cual toma su valor máximo en los solsticios de verano e invierno, siendo este de $23,45^\circ$ ($23,5^\circ$ a efectos prácticos) y toma un valor de 0° en los equinoccios de primavera y otoño. [35]

Ya que los módulos se situarán en horizontal, el valor de a se corresponde con el ancho de los módulos, es decir, $a = 998$ mm. La Ecuación 25 proporciona un resultado de $d = 1975$ mm.

$$d = 998 \cdot \cos (37) + \frac{998 \cdot \operatorname{sen} (37)}{\tan (27)} = 1975 \text{ mm}$$

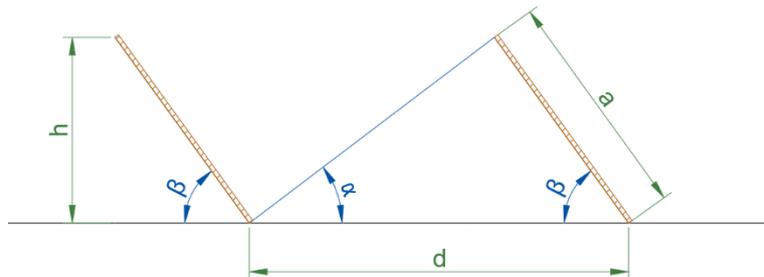


Figura 29 - Orientación (β) y separación (d) de los módulos. (Elaboración propia con AutoCAD)

10.3. Elementos Complementarios de la Instalación Fotovoltaica

En el parque fotovoltaico son necesarios otros elementos para recoger la energía generada por los módulos fotovoltaicos, concentrarla y llevarla hasta la red eléctrica. Estos se enuncian en los siguientes subapartados.

10.3.1. "String"

El conjunto de módulos fotovoltaicos colocados en serie forma un "string". Conforme se colocan módulos en serie, sus tensiones nominales se van sumando. Habrá que tener en cuenta que el valor de esta tensión total circulante por el "string" no sea muy elevado. El conjunto de "strings" se conectarán en paralelo a un concentrador de "strings", sumándose así las intensidades de estos "strings" conectados. Finalmente, a los inversores se les conectará cierta cantidad de concentradores de "strings", también en paralelo.

10.3.2. Concentrador de "Strings"

La misión de estos es la de unificar los "strings" para conducir la energía hacia los inversores, ayudando así a reducir la cantidad de cableado empleado en el parque fotovoltaico y haciendo más práctica la distribución de módulos agrupados en "strings" por el parque fotovoltaico.

Se ha escogido como unificador de "strings" el modelo Sunny String-Monitor SSM16-11, de la compañía SMA Solar Technology, con fusibles de protección de 20 A [36]. Sus características principales han sido obtenidas de su catálogo disponible en la página web de Ingeteam y quedan recogidas en la Tabla 23.

Tabla 23 – Características concentrador de "strings". (Elaboración propia)

Sunny String-Monitor SSM16-11		
Número de Strings Permitidos	n_{\max_Strng}	16
Tensión CC Máx. Admis. Entrada	$V_{\max_E_Strng}$ (V)	1000
Corr. CC Máx. Admis. Entrada	$I_{\max_E_Strng}$ (A)	14
Corr. CC Máx. Admis. Salida	$I_{\max_S_Strng}$ (A)	280
Dimensiones	(mm)	1060 x 894 x 245
Peso	(kg)	86

10.3.3. Inversor

Sabiendo que los módulos fotovoltaicos generan energía eléctrica en corriente continua, esta deberá ser transformada a corriente alterna para poder ser transportada por la red eléctrica. Así pues, este el inversor será el elemento encargado de transformar dicha corriente continua proveniente de los módulos en corriente alterna para su uso.

Se ha escogido el inversor Ingecon Sun Power Maxter 500HE TL, distribuido por la empresa Ingeteam [37]. Al igual que con el concentrador de "strings", sus características se han obtenido del catálogo disponible en la página web de la empresa. Como se puede apreciar en la Tabla 24, estas son sus principales características:

Tabla 24 - Características inversor. (Elaboración propia)

IngeconSun Power Maxter 500HE TL		
Número de Entradas		3
Intervalo Potencia Entrada	$P_{\text{nom}_E_Inv}$ (kWp)	500
Tensión CC Máx. Entrada	$V_{\max_E_Inv}$ (V)	900
Corriente CC Máx. Entrada	$I_{\max_E_Inv}$ (A)	1072
Potencia Nominal Salida	$P_{\text{nom}_S_Inv}$ (kW)	519
Tensión CA Nominal Salida	$V_{\max_S_Inv}$ (V)	275
Corriente CA Máx. Salida	$I_{\max_S_Inv}$ (A)	1104
Dimensiones	(mm)	1761 x 1031 x 877
Peso	(kg)	600

10.4. Predimensionado del Parque Fotovoltaico

Como se nombró previamente, la superficie del parque es de 20700 m². Esta superficie, al no ser infinita, permitirá albergar un número máximo de módulos fotovoltaicos en ella, por lo que esta supondrá una restricción (expresada con la Ecuación 27) a la hora de construir el parque.

Por otro lado, cada elemento complementario de la instalación fotovoltaica también impone otra restricción a la construcción del parque (expresadas con las Ecuaciones 28, 29 y 30 que se enuncian a continuación). Todas las operaciones que se van a realizar a continuación han empleado datos de las Tablas 18, 23 y 24 y los valores obtenidos han sido redondeados inferiormente a la unidad.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

- Número de módulos máximos que puede albergar la superficie del parque (N_{max}):

Observando la Figura 28 y considerando que cada módulo ocupa su superficie proyectada sobre el plano horizontal del suelo teniendo en cuenta la distancia d entre módulos para evitar la formación de sombras, se tiene que la superficie que ocupa cada módulo es la siguiente:

$$S_{TOT\ Módulo} = L_{Mod} \cdot d \quad [26]$$

Resultando la Ecuación 26 en una $S_{TOT\ Módulo} = 4,08 \text{ m}^2$, así el número máximo de módulos que puede albergar el parque se determinará tal como indica la Ecuación 27.

$$N_{Módulos} \leq \frac{S_{TOT\ Parque}}{S_{TOT\ Módulo}} \quad [27]$$

Así se obtiene que el valor de $N_{Módulos} \leq 5073,53$ módulos, es decir **5073 módulos como máximo**.

- Número de módulos en serie (N_{Serie}):

$$N_{Serie} \leq \frac{V_{max\ E\ Strng} (V)}{V_{nom\ Mod} (V)} \quad [28]$$

Con lo que se tiene que N_{Serie} debe ser menor de 22,22, es decir, menor o igual de 22 módulos.

- Número de strings en paralelo ($N_{Paralelo}$):

$$N_{Paralelo} \leq \frac{I_{max\ S\ Strng} (A)}{I_{nom\ Mod} (A)} \quad [29]$$

Obteniendo que el número máximo de “strings” a conectar en paralelo es de 30,37, lo que equivale a un máximo de 30. Sin embargo, se sabe que el concentrador de “strings” dispone de 16 entradas. Por eso se considera que como máximo se podrán tener 16 “strings” en paralelo.

Hasta este punto se sabe que se pueden conectar un máximo de 16 “strings” de 22 módulos en serie cada una a un solo concentrador de “strings”, es decir, 352 módulos en total. Faltará saber ahora cuántos concentradores pueden conectarse a un solo inversor.

- Número de concentradores de “strings” a conectar a cada inversor (N_{Strng_Inv}):

$$N_{Strng_Inv} \leq \frac{P_{nom\ E\ Inv} (W)}{352 \cdot P_{nom\ Mod} (W)} \quad [30]$$

Dicha Ecuación proporciona el resultado de 3,42 concentradores de strings conectados a un solo inversor, es decir, se conectarán 3 concentradores a cada inversor, haciendo uso así de todas las entradas de las que este dispone. Esto equivale a conectar 1056 módulos a cada inversor.

Quedará saber el número de módulos totales a instalar ya que se sabe que **cada 1056 módulos**, se tendrá **un inversor con 3 concentradores de “strings”** conectados a él en paralelo, cada uno de los cuales agruparán **16 “strings”** conectados también en paralelo, de **22 módulos** en serie cada una.

11. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.

A continuación se expondrán diferentes alternativas para suministrar la energía eléctrica demandada por los municipios de Geldo y Soneja (valores recogidos en la Figura 15) empleando los parques eólicos y fotovoltaicos diseñados previamente. En función de cada alternativa estudiada se requerirá de un número distinto de aerogeneradores y/o módulos fotovoltaicos. En la Figura 30 se reúnen los datos de la energía eléctrica mensual generada por cada aerogenerador y por cada concentrador de “strings” (elemento de la instalación fotovoltaica que agrupa un total de 352 módulos). Estos valores se han obtenido de las Tablas 17 y 21 respectivamente.

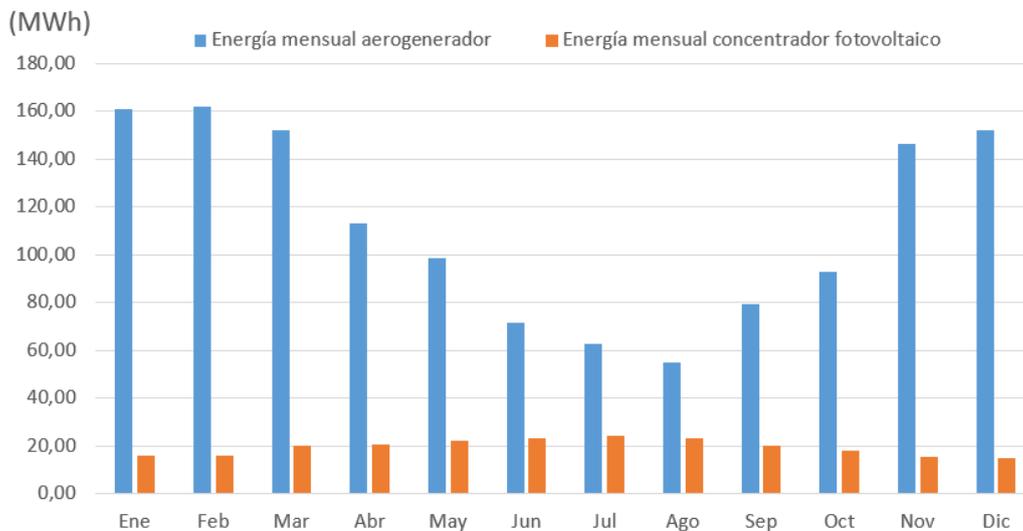


Figura 30 - Energía producida por aerogenerador y por concentrador. (Elaboración propia)

Viendo que en los meses de verano, los aerogeneradores producen una menor cantidad de energía, mientras que los módulos fotovoltaicos presentan un ligero aumento de la energía generada, se considerará la alternativa de combinar ambos parques para realizar el suministro eléctrico a las poblaciones estudiadas.

Antes de analizar las distintas alternativas cabe recordar el número máximo de aerogeneradores (N_{Aerog}) y de módulos fotovoltaicos ($N_{Módulos}$) que pueden ubicarse en sus respectivos parques. Las Ecuaciones 23 y 27 proporcionaron los valores de $N_{Aerog} \leq 6$ y $N_{Módulos} \leq 5073$.

11.1. ALTERNAT. I. Suministro Total con Fotovoltaica

Se ha dimensionado el parque fotovoltaico determinando los módulos necesarios para suministrar la energía demandada en el mes más desfavorable de todos. Este es Diciembre, ya que en esta época del año hay una demanda de energía eléctrica de 909,25 MWh y cada módulo fotovoltaico producirá tan solo 42,56 kWh ese mes, con lo que serían necesarios **21.364 módulos**. Este valor es considerablemente mayor al permitido, por lo que esta alternativa no sería posible y queda descartada. En caso ser posible, la distribución del suministro se indica en la Figura 31. Cabe remarcar que la energía fotovoltaica sería toda para autoconsumo, por lo que la energía sobrante se perdería y se estaría desaprovechando así el potencial fotovoltaico.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

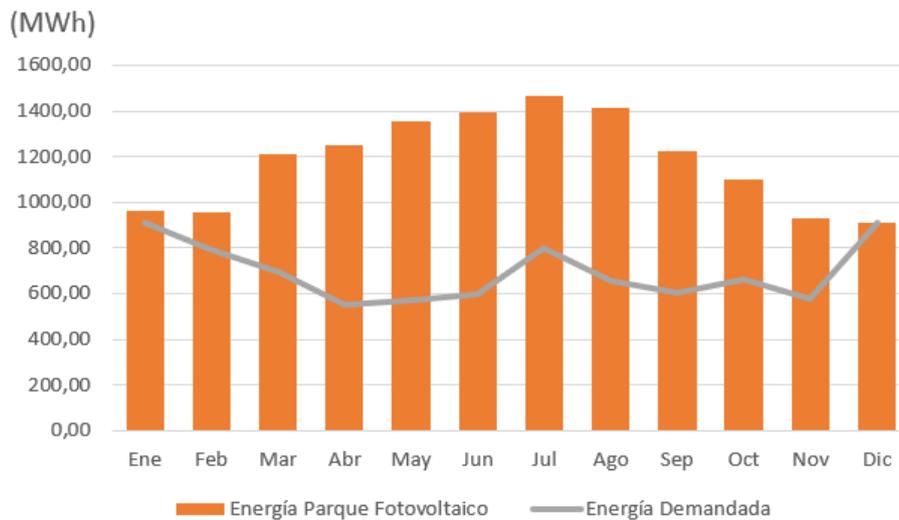


Figura 31 – Distribución del suministro anual. Alternativa I. (Elaboración propia)

11.2. ALTERNAT. II. Suministro Total con Eólica

Para dimensionar el parque eólico se diseña para que este suministre energía durante el mes más desfavorable, que sería Julio. Este mes supone una gran demanda energética al mismo tiempo que se puede generar poca energía eólica. Es cierto que durante el mes de agosto se obtiene menos energía eólica, pero durante este mes la demanda no es tan elevada. Durante el mes de Julio se demandan 801,81 MWh, mientras que cada aerogenerador tiene la capacidad de generar 62,59 MWh de energía eléctrica.

Así pues sería necesario disponer de **13 aerogeneradores** en el parque eólico. Este valor supera también al máximo permitido debido a la limitación de espacio. En caso de que no hubiera limitación de espacio y se pudiera disponer de ese número de aerogeneradores, el suministro anual sería como se muestra en la Figura 32. Dado que este parque eólico no podría implementarse, esta alternativa debe de ser descartada.

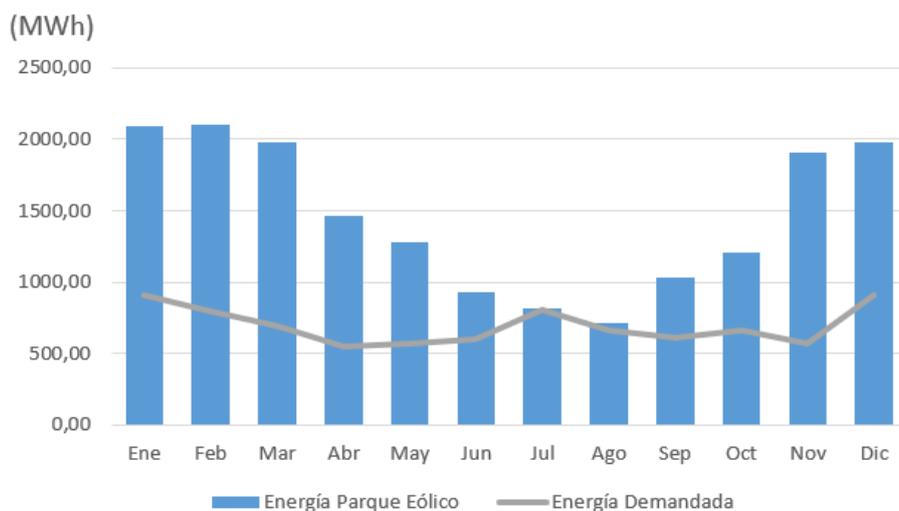


Figura 32 – Distribución del suministro anual. Alternativa II. (Elaboración propia)

11.3. ALTERNAT. III. Suministro Total con Combinación Eólica y Fotovoltaica

Se ha escogido el mes de Julio como el más desfavorable ya que, aún siendo el mes con mayor generación fotovoltaica, la generación de energía eólica en este es de las más bajas. A demás, es un mes con gran demanda de energía eléctrica.

Teniendo Julio una demanda de energía de eléctrica de 801,81 MWh y pudiendo producirse 62,59 MWh por aerogenerador instalado y 68,71 kWh por módulo instalado, se encuentran 2 soluciones, ambas imposibles de llevar a cabo: instalar el número máximo de aerogeneradores ($N_{Aerog} = 6$) y sobrepasar la capacidad del parque fotovoltaico ($N_{Módulos} = 6205$) o sobrepasar la capacidad del eólico ($N_{Aerog} = 9$) e instalar la máxima cantidad posible en el fotovoltaico ($N_{Módulos} = 5073$). La Figura 33 muestra cómo sería la distribución de energía eléctrica anual si se llevase a cabo la primera opción, la cual sobrepasa la capacidad del parque fotovoltaico.

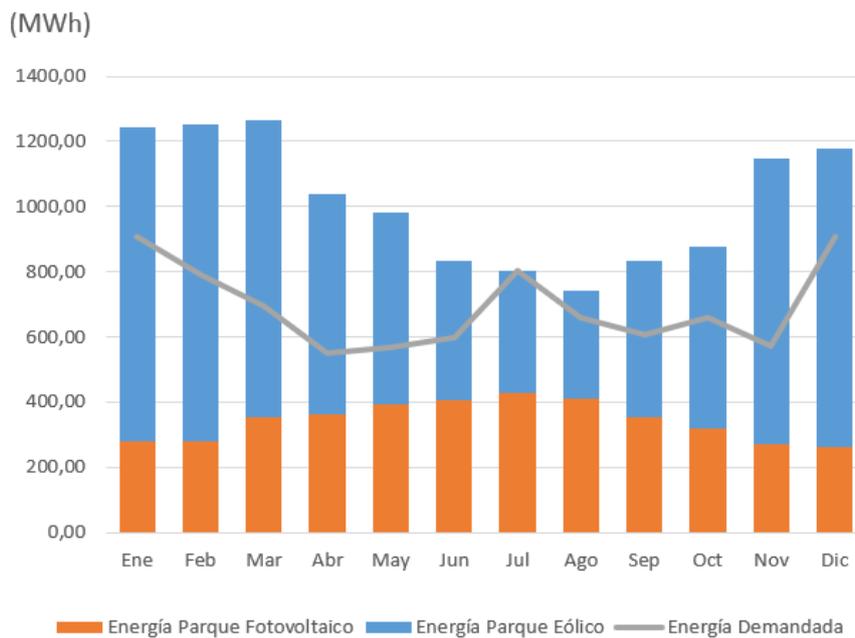


Figura 33 - Distribución del suministro anual. Alternativa III. (Elaboración propia)

11.4. ALTERNAT IV. Suministro Parcial con Combinación Eólica y Fotovoltaica

Viendo que los meses más desfavorables para realizar su suministro eléctrico son los meses de verano (concretamente Julio y Agosto), ya que en ellos la generación de energía eólica es menor se ha optado por llevar a cabo la siguiente alternativa.

Esta consiste en combinar los parques eólico y fotovoltaico para que garanticen el suministro de energía eléctrica todos los meses del año a excepción de Julio y Agosto. Durante estos meses, parte del suministro deberá provenir de la red eléctrica.

La mejor solución hallada es disponer del máximo número de aerogeneradores en el parque eólico ($N_{Aerog} = 6$) e instalar un total de $N_{Módulos} = 3168$ módulos en el fotovoltaico. Se ha escogido un valor de $N_{Módulos}$ que sea múltiplo de 1056 para que así ninguno de los elementos complementarios de la instalación fotovoltaica esté desaprovechado. Basados en la explicación del final del apartado 10.4, se requerirá de los siguientes elementos complementarios:

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

- 3 inversores IngeconSun Power Maxter 500HE TL.
- 9 concentradores de “strings” Sunny String-Monitor SSM16-11.
- 144 cadenas o “strings”, de 22 módulos fotovoltaicos conectados en serie en cada una.

Implementando estas instalaciones, se tendrá un **parque eólico de 3 MW** y un **parque fotovoltaico de 1,315 MW** cuya combinación abastecerá la demanda eléctrica de todos los meses, a excepción de Julio y Agosto. La combinación de las instalaciones abastecerá un 74% de la demanda eléctrica del mes de Julio, mientras que en Agosto lo hará un 81,9%. Durante estos meses, la energía eléctrica restante deberá de ser obtenida de la red eléctrica convencional. La Figura 34 muestra cómo será la distribución de energía eléctrica al implementar esta alternativa y los valores numéricos anuales vendrán recogidos en la Tabla 25.

Cuando se realice el análisis de viabilidad económica del proyecto en el capítulo 13, se verá cómo los costes de adquirir luz de la red eléctrica se incluirán con los costes anuales. Por otro lado, se obtendrán ingresos del suministro de electricidad a las poblaciones y de verter la energía eólica sobrante a la red eléctrica.

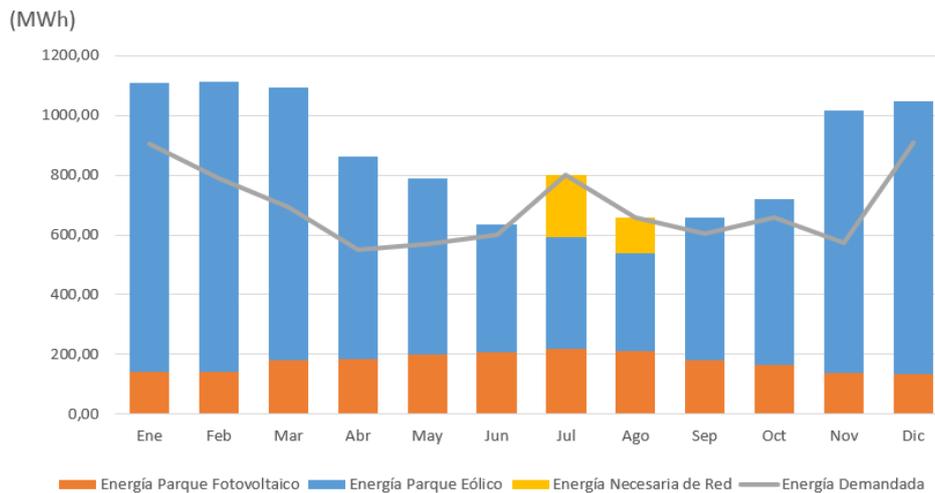


Figura 34 - Distribución del suministro anual. Alternativa IV. (Elaboración propia)

Tabla 25 - Valores energéticos anuales Alternat. IV. (Elaboración propia)

Valores anuales (MWh)	
Energía demandada	8315,88
Energía generada parque eólico	8073,84
Para abastecer poblaciones	5886,56
Sobrante para verter a la red	2187,28
Energía generada parque fotovoltaico	2101,75
Energía adquirida de la red	327,57

12. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

En este capítulo se procede a analizar las distintas posibles repercusiones del proyecto sobre el medio ambiente de la comarca del Alto Palancia en general, con el objetivo de que minimizarlas cuanto sea posible o adoptar medidas correctoras si se requiere. Para ello, se realizará una breve descripción del proyecto que se desea realizar, se elaborará un inventario ambiental y se estimarán cuáles pueden ser los impactos de las diferentes fases del proyecto (construcción, funcionamiento y desmantelamiento) sobre el medio ambiente y cuáles serían las medidas correctoras a tomar.

12.1. Descripción del Proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de un parque eólico y otro fotovoltaico complementado con el análisis de alternativas y soluciones para el abastecimiento de energía eléctrica renovable a los municipios de Geldo y Soneja, de la comarca del Alto Palancia (Castellón). La solución adoptada finalmente ha sido la diseñar un parque eólico de 3 MW y otro fotovoltaico de 1,315 MW de potencia instalada para abastecer la demanda eléctrica de estas poblaciones de manera combinada, teniendo que seguir adquiriendo energía de la red eléctrica durante los meses de Julio y Agosto.

12.2. Inventario Ambiental

Se procede a realizar una descripción de la zona y su entorno, elaborando un listado de la flora y fauna característica del Alto Palancia, con el fin de minimizar los efectos negativos que pueda tener el proyecto sobre todas estas.

12.2.1. Clima

El clima predominante en esta zona es el clima subtropical húmedo (Cfa) según la clasificación climática Köppen-Geiger [38]. Se ha analizado el clima de la localidad de Segorbe, ya que esta es la capital de la comarca del Alto Palancia.

Como descripción general del clima, según indica la página web de Weather Spark [27], se tiene que los veranos en Geldo son calientes, húmedos y mayormente despejados; los inviernos son largos, fríos, ventosos y parcialmente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 3 °C a 29 °C y rara vez baja a menos de -1 °C o sube a más de 33 °C.

Analizando las precipitaciones del lugar, estas suelen variar a lo largo del año: la temporada más mojada dura 9 meses, de septiembre a mayo, con una probabilidad de más del 11 % de que cierto día será un día mojado. La temporada más seca dura 3 meses, de junio a agosto, con una probabilidad mínima de lluvia del 5%. Cabe destacar también que el tipo más común de precipitación durante el año es solo lluvia.

A continuación, la Figura 34 muestra un climograma que representa la evolución de las temperaturas y precipitaciones a lo largo del año.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

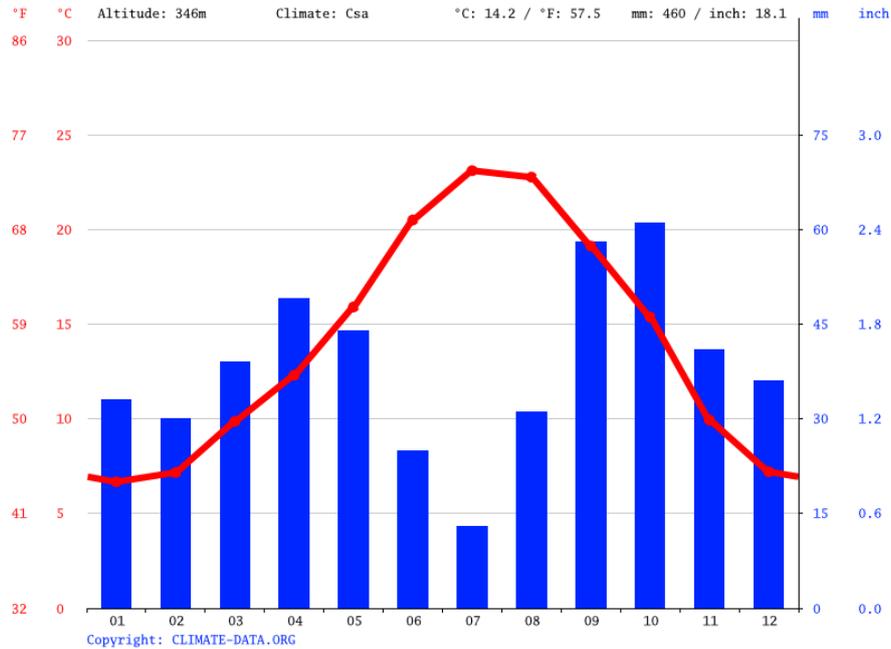


Figura 35 - Climograma Alto Palancia. (es.climate-data.org)

12.2.2. Sismología

Como se puede apreciar en la Figura 35, obtenida del Instituto Geográfico Nacional (IGN), la provincia de Castellón no destaca por tener un alto grado de sismicidad. Dicha zona posee una intensidad sísmica menor de IV. Es cierto que está cerca de provincias ligeramente más probables a sufrir actividad sísmica como son Alicante o Murcia. De todos modos, se considerará muy poco probable la probabilidad de sufrir terremotos, por lo que esto no afectará al proyecto.

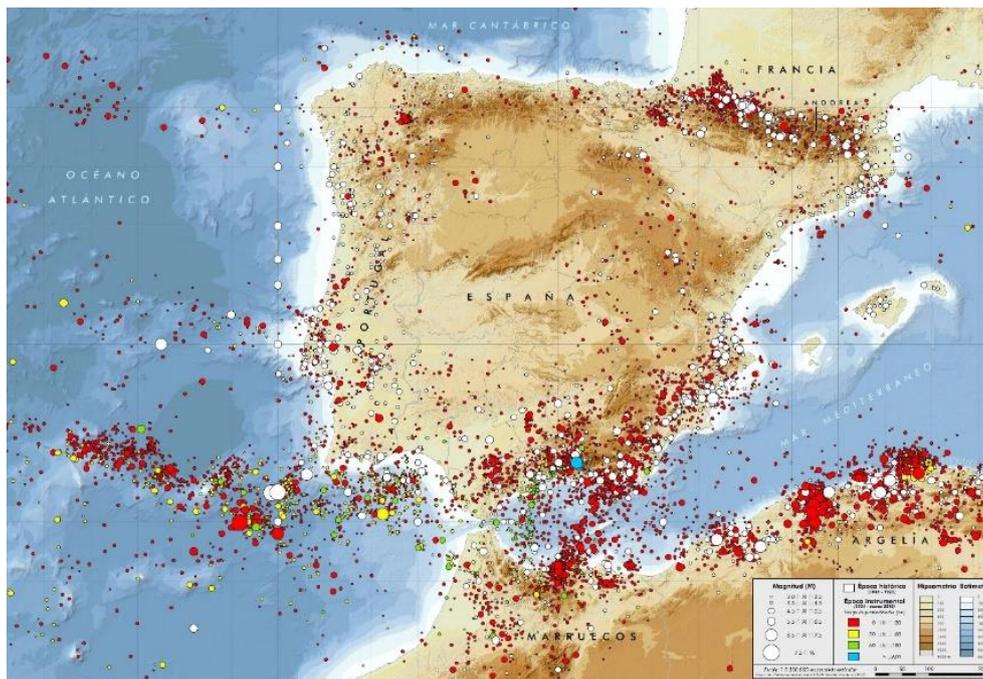


Figura 36 - Mapa sísmológico de España. (IGN)

12.2.3. Composición del Suelo y Relieve

Por una parte, el terreno dominante en la comarca es el Mesomediterráneo seco, donde se desarrolla potencialmente el carrascal y pinares. El piso Termomediterráneo subhúmedo se da en la zona occidental en la zona norte de la comarca, más concretamente en la Sierra de El Toro, la cabecera del río Palancia y en determinadas zonas de las sierras de Espina y Espadán. **[39]**

Por otra parte, La comarca carece de uniformidad paisajística desde el punto de vista del relieve, dadas las diferencias existentes entre las tierras del valle y las de montaña, siendo el río Palancia el que aglutina estas distintas zonas. Las mayores altitudes se dan al noroeste, en las sierras de Javalambre y de El Toro. **[40]**

12.2.4. Usos del Suelo

Según los datos del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo en España (SIOSE), referidos a la ocupación del suelo en el Alto Palancia en 2011, un 50% del terreno de la comarca se trata de monte bajo: terreno cubierto por pastizal y matorral; Por otro lugar, el suelo arbolado forestal abarca un 30% de su superficie; Finalmente, con una ocupación de un 17% de la superficie, se encuentran los cultivos. **[41]**

La zona en la que se quiere ubicar el parque eólico está rodeada principalmente por árboles, arbustos y matorrales; predominando las encinas como árboles característicos del terreno. Afortunadamente la zona seleccionada (ilustrada en la Figura 17), se trata de un cortafuegos en el que no crece vegetación. A demás, no se han encontrado terrenos destinados para el cultivo en las cercanías de esta zona.

El terreno en el que se desea ubicar el parque fotovoltaico se trata de monte bajo en el que se tienen unos pocos arbustos. Este se trata de un terreno en el que previamente pudo haber algún cultivo de secano por lo que también se trata de un terreno en el que no crece abundante vegetación.

12.2.5. Hidrografía

La comarca del Alto Palancia es atravesada por la cuenca hidrográfica del río Palancia, río de corto recorrido y de caudal variable, típicamente mediterráneo. Este río nace y desemboca en la Comunidad Valenciana, por lo que todo él discurre por la misma zona climática. **[42]**

12.2.6. Espacios Naturales

Los espacios naturales más destacables de la comarca son los Parques Naturales de la Sierra de Espadán y de la Sierra Calderona. También se pueden encontrar otros espacios naturales protegidos de menor tamaño que estos, siendo los dos anteriores los más relevantes. En total, la superficie protegida de la comarca comprende 56.498,99 Ha, lo que equivale a un 58,54 % respecto a la superficie total de la comarca (96.515 Ha). **[18]**

Las zonas escogidas para ubicar tanto el parque eólico como el fotovoltaico no se encuentran comprendidas dentro de ninguno de estos espacios naturales protegidos, estando situado el parque de energía eólica bastante próximo al parque de la Sierra de Espadán, pero fuera del espacio protegido por el mismo.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

12.2.7. Flora

En este apartado se van a elaborar un listado de las especies florales presentes en la comarca y más concretamente, las que se encuentran más próximas a las zonas de construcción de los parques, que son zonas de montaña y zonas próximas a ríos. La información sobre flora de este subapartado y la de fauna del subapartado siguiente se obtendrá del libro Boletín Nº12 del Instituto Cultural del Alto Palancia (ICAP). [43]

Tabla 26 - Flora característica del Alto Palancia. (Boletín Nº12. ICAP, 2000)

ÁRBOLES AUTÓCTONOS	ARBUSTOS	PLANTAS DE RÍO
Carrasca	Aliaga	Caña
Pino carrasco	Romero	Delfa
Pino rodeno	Pirigallo	Zarzamora
Rebollo	Higueruela	Menta
Arce	Enebro	Guardalobo
Serval	Lentisco	Olivarda

ÁRBOLES DE CULTIVOS DE SECANO	ÁRBOLES DE CULTIVOS FRUTALES
Olivo	Cerzo
Almedro	Peral
Algarrobo	Manzano

12.2.8. Fauna

A continuación, se mostrará un listado de las especies animales más relevantes en la comarca y que pueden encontrarse en las zonas dónde están instalados los parques del proyecto. Ciertamente, ubicar una especie en un lugar determinado no es muy acertado, sobre todo en el caso de aves y mamíferos, ya que estos suelen estar en movilidad durante todo el año. No se ha encontrado ningún tipo de especie en peligro de extinción que requiera especial protección, por lo que se prestará especial atención a todas las especies por igual.

Tabla 27 - Fauna característica del Alto Palancia. (Boletín Nº12. ICAP, 2000)

COMUNIDAD ORNÍTICA (TERRENOS NATURALES)	COMUNIDAD ORNÍTICA (TERRENOS URBANOS)	MAMÍFEROS
Gavilán	Golondrina común	Ciervo
Búho real	Gorrión común	Jabalí
Collalba negra	Lechuza	Zorro
Águila perdicera	Jilguero	Conejo
Águila real	Codorniz común	Liebre
Vencejo real	Mirlo común	Cabra montés
Halcón común	Carbonero común	Comadreja
Ratonero común	Estornino negro	Garduña
Tórtola común	Paloma torcaz	Tejón
Azor	Abubilla	Gato montés
Ruiseñor común	Faisán vulgar	Ardilla

ANFIBIOS	REPTILES
Rana común	Salamanquesa
Sapo común	Lagartija ibérica
Sapo corredor	Lagarto ocelado
Polla de agua	Culebra de escalera
Zarcero	Culebra viperina
Lavandera cascadeña	Culebra bastarda
Focha común	Víbora hocicuda

12.3. Identificación de Impactos

Seguidamente, se van a analizar los distintos posibles impactos sobre el medio ambiente que pueden tener cada una de las distintas fases del desarrollo del proyecto. Estas fases, junto con sus posibles impactos, son las que se muestran y describen a continuación:

- **FASE DE CONSTRUCCIÓN.** Durante esta fase se comienza acondicionando las zonas en las que se situarán ambos parques, se transportarán aerogeneradores y módulos fotovoltaicos a sus respectivos destinos y se realizará el montaje e instalación de toda la tecnología necesaria en los parques. Estos son los impactos generados durante esta fase:
 - Modificación del hábitat de las especies de fauna.
 - Tala de árboles y desbroce de arbustos.
 - Construcción de carreteras y caminos.
 - Uso de camiones y maquinaria pesada.
 - Movimientos de tierras y creación de polvo.
 - Pavimentación de las superficies dónde se situarán los parques.
 - Transporte de aerogeneradores y de placas fotovoltaicas.
 - Montaje de aerogeneradores y de placas fotovoltaicas.

- **FASE DE EXPLOTACIÓN.** Esta fase comprende la vida útil de los parques durante la cual se pretende que estos estén en funcionamiento constante (con excepción de alguna posible parada para mantenimiento) suministrando la energía requerida por las poblaciones. Durante este tiempo pueden darse los siguientes impactos:
 - Presencia de aerogeneradores y placas fotovoltaicas en el medio natural.
 - Ruidos y vibraciones asociados al funcionamiento del parque eólico principalmente.
 - Circulación de vehículos asociados a labores de mantenimiento.

- **FASE DE DESMANTELAMIENTO.** Esta fase se dará al final de la vida útil de los parques. Entonces tendrán que realizarse las siguientes tareas: desmontar los parques eólico y fotovoltaico en su totalidad, desplazar aerogeneradores y módulos fotovoltaicos a su punto de reciclaje, reforestación de las zonas que han albergado ambas instalaciones. Los impactos generados durante esta fase son los siguientes:
 - Ruidos y vibraciones asociados al desmantelamiento de los elementos de los parques.
 - Circulación de vehículos, camiones y maquinaria pesada.
 - Transporte de los elementos desmantelados y otros objetos residuales.
 - Reciclaje de residuos tras el desmantelamiento.
 - Reforestación de las zonas para reacondicionarlas.

12.4. Factores Ambientales Afectados

Una vez identificados los impactos que este proyecto puede implicar, se procede a enunciar las características, elementos o factores del medio que pueden verse afectados por estos impactos:

- CARCATERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS

- **Tierra y suelo.** Durante las fases de construcción y de desmantelamiento, estos elementos se verán directamente afectados ya que se producirán excavaciones y movimientos de tierra, pavimentación y cimentación del terreno y un frecuente transporte de vehículos por la zona. Todo esto provocará la erosión del mismo y una disminución de su calidad.
- **Aire.** A pesar de que ni los aerogeneradores ni las placas fotovoltaicas produzcan gases de efecto invernadero, es cierto que los vehículos y maquinaria que pueda intervenir durante su transporte o al realizar labores de mantenimiento durante su vida útil sí que emiten gases de CO₂ que perjudican la calidad del aire
- **Agua.** Se recuerda que el parque fotovoltaico se sitúa próximo al río, por lo que su presencia podría afectar a la calidad del agua y los animales que viven en ese hábitat durante todas las fases de su vida útil. Cabe destacar también la posible afección a aguas subterráneas presentes en la zona, las cuales podrían verse afectadas durante la fase de construcción concretamente si algún elemento llega a alcanzarlas.
- **Medio acústico.** Durante las fases de construcción y desmantelamiento, se producirá un notable aumento del nivel de ruido y vibraciones en la zona debido al uso de maquinaria para trabajar los terrenos y transportar los elementos necesarios. También durante de fase de funcionamiento del parque eólico se producirá un ruido de menor intensidad debido a la rotación de las palas del mismo. Estas dos, en especial la primera, podrían ahuyentar algunas de las especies de fauna, provocando cambios en sus hábitats. Se desestima que pueda resultar molesto para habitantes de poblaciones cercanas ya que ambos parques se encuentran distanciados varios kilómetros de las mismas.

- MEDIO BIOLÓGICO

- **Flora.** Durante la fase de construcción, se producirá una tala de árboles y desbroce de arbustos para acondicionar los terrenos para la instalación de los parques. Teniendo en cuenta que no se han encontrado vegetales en la zona que requieran especial protección por estar en peligro de extinción y que al finalizar la fase de desmantelamiento se producirá una reforestación de los terrenos; se considera que este no será un factor especialmente afectado.
- **Fauna.** Tanto la modificación de la naturaleza como la emisión de ruidos provocará la alteración de los hábitats de algunos animales como aves o mamíferos, concretamente las aves que tendrán que alterar sus rutas de vuelo ahuyentadas por el ruido que puedan producir los parques e incluso podrían morir como consecuencia de choques contra las palas de los aerogeneradores.

- **FACTOR ECONÓMICO**

- **Empleo.** Durante las fases de construcción y desmantelamiento de ambos parques, se requerirá la contratación de un gran número de trabajadores para la realización de todas las tareas requeridas. Por ello mientras duren estas fases se generarán varios puestos de empleo temporales. Al mismo tiempo, durante la fase de explotación de los parques se requerirá de personal para realizar labores de mantenimiento y de vigilancia por lo que se seguirán generando puestos de empleo.
- **Economía.** Como se comentó anteriormente, durante las fases del proyecto se crearán varios puestos de empleo. Se asignará prioridad a asignar estos puestos de empleo a personas residentes en la comarca del Alto Palancia para que así la instalación de estos parques pueda favorecer a su economía.

- **FACTOR SOCIAL**

- **Actividades recreativas.** Como se nombró anteriormente, la zona en la que se ubican los parques está bastante próxima al parque natural de la Sierra de Espadán, también suelen haber rutas senderistas próximas a la zona, así como una vía ciclista conocida como la Vía Verde de Ojos Negros. La ubicación de los parques no interfiere con ninguna de estas.
- **Calidad paisajística.** La calidad del paisaje se verá alterada tras la instalación de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos en ellos. El mayor impacto sobre la calidad paisajística lo producirán los aerogeneradores del parque eólico.

12.5. Evaluación de Impactos. Matriz Decisión

En este apartado se pretende valorar de forma cuantitativa los posibles impactos negativos que puede tener la ejecución del proyecto sobre el medio ambiente. Con esta finalidad se empleará el criterio de las matrices decisión vistas en la asignatura de Proyectos de GITI [44], método de selección de alternativas propuesto por Pahl & Beitz. En las matrices decisión también se incluirán elementos que se verán afectados positivamente, por lo que se tratarán de forma distinta como se explicará posteriormente.

Se elaborará una matriz para cada fase del proyecto. En las filas de estas matrices se situarán las **acciones** susceptibles de causar un **impacto** ambiental negativo (A_i) mientras que en sus columnas se situarán los **factores medioambientales** que pueden verse afectados por estas acciones (F_j). Una vez situadas filas y columnas en la matriz, se asignará un peso a cada factor medioambiental (w_j) en función de lo relevante que sea este sobre el resto, de forma que la suma de los pesos sea la unidad. Seguidamente se valorará el impacto de cada acción sobre cada factor medioambiental (a_{ij}), asignándole un valor de 0 a 10 según cual sea su repercusión (0 cuando una acción no tenga repercusión sobre un elemento y 10 cuando tenga una gran repercusión).

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Una vez estén construidas las matrices, se normalizará cada una dividiendo los elementos de cada columna entre el mayor elemento de las mismas y para finalizar se valorará el impacto cada acción, realizando el sumatorio del impacto de cada una de ellas (a_{ij}) ponderado con el peso del factor ambiental al que afecta (w_j). Dado que habrá elementos como el empleo o la economía de la zona y también acciones como el reciclaje de residuos o la reforestación, que se verán afectados positivamente, su valor ponderado se restará en el sumatorio ya que el propósito de estas matrices es el de calcular las acciones más perjudiciales.

Remarcar que esta es una evaluación de los impactos subjetiva ya que lo que se pretende es adquirir un orden de magnitud y para ello los pesos se han asignado siguiendo un criterio propio. Una vez se sepa cual o cuales son las acciones más perjudiciales, se tendrán especialmente en cuenta en el siguiente apartado (el 12.6) al adoptar medidas preventivas y correctoras para disminuir los impactos negativos de estas.

Tabla 28 - Matriz decisión fase construcción. (Elaboración propia)

FASE: CONSTRUCCIÓN	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS				MEDIO BIOLÓGICO		FACTOR ECONÓMIC		FACTOR SOCIAL		RESULTADO SUMATORIO
	Tierra y suelo	Aire	Agua	Medio acústico	Flora	Fauna	Empleo	Economía	Actividades recreat	Calidad paisajística	
	0,12	0,11	0,13	0,06	0,14	0,15	0,06	0,06	0,05	0,12	
Modificación hábitat especies de fauna	0,67	0,5	1	0,38	1	1	0	0	0,75	0,9	0,723
Tala de árboles y desbroce de arbustos	0,78	0,63	0,71	0,88	1	0,8	0	0	0,88	1	0,731
Construcción de carreteras y caminos	0,89	0,75	0,57	0,88	0,56	0,7	-0,6	-0,9	0,75	0,7	0,535
Uso de camiones y maquinaria pesada	0,67	1	0,57	0,88	0,67	0,7	-0,7	-0,9	0,63	0,6	0,524
Movimiento tierras y creación de polvo	1	0,75	1	1	0,78	0,8	-0,4	-0,4	1	0,8	0,716
Pavimentación superficies parques	0,89	0,5	0,86	0,88	1	0,9	-0,6	-0,6	0,88	0,7	0,660
Transporte aerogeneradores y módulos FV	0,44	0,88	0,71	1	0,56	0,5	-0,7	-0,7	0,63	0,6	0,473
Montaje aerogeneradores y módulos FV	0,56	0,5	0,57	0,63	0,67	0,6	-1	-1	0,63	0,6	0,400

Tabla 29 - Matriz decisión fase explotación. (Elaboración propia)

FASE: EXPLOTACIÓN	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS				MEDIO BIOLÓGICO		FACTOR ECONÓMIC		FACTOR SOCIAL		RESULTADO SUMATORIO
	Tierra y suelo	Aire	Agua	Medio acústico	Flora	Fauna	Empleo	Economía	Actividades recreat	Calidad paisajística	
	0,12	0,11	0,13	0,06	0,14	0,15	0,06	0,06	0,05	0,12	
Presencia aerogens y módulos FV naturaleza	1	0,63	1	0,63	1	1	-1	-1	1	1	0,696
Ruidos y vibraciones asociadas parque eólico	0,86	0,75	0,83	0,88	0,86	0,89	-0,7	-0,7	0,88	1	0,678
Circulación vehículos labores de mantenimiento	1	1	1	1	1	0,78	-0,9	-0,9	0,75	0,89	0,718

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 30 - Matriz decisión fase desmantelamiento. (Elaboración propia)

FASE: DESMANTELAMIENTO	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS				MEDIO BIOLÓGICO		FACTOR ECONÓMICO		FACTOR SOCIAL		RESULTADO SUMATORIO
	Tierra y suelo	Aire	Agua	Medio acústico	Flora	Fauna	Empleo	Economía	Actividades recreat	Calidad paisajística	
	0,12	0,11	0,13	0,06	0,14	0,15	0,06	0,06	0,05	0,12	
Ruidos y vibraciones asociadas a parques	0,67	0,67	0,63	1	0,9	1	0,71	0,71	0,88	0,89	0,807
Circulación vehículos, camiones y maq pesada	1	0,89	0,88	0,89	0,9	0,89	1	1	1	0,89	0,921
Transporte elementos desmantelados y otros	0,89	0,78	0,75	0,78	0,8	0,89	1	1	0,88	0,89	0,852
Reciclaje de residuos tras el desmantelamiento	-0,9	-0,9	-1	-0,7	-0,9	-1	-0,7	-0,7	-0,9	-0,9	-0,887
Reforestación de zonas para reacondicionarlas	-0,9	-1	-0,9	-0,7	-1	-1	-0,9	-0,9	-1	-1	-0,933

Al observar los pesos asignados a los factores ambientales en las matrices se aprecia como los mayores pesos corresponden a la flora y la fauna, ya que estos son los factores ambientales que pueden llegar a verse más afectados.

De la primera matriz (Tabla 28) se llega a la conclusión de que la acción de talar árboles y desbrozar arbustos será la que cause mayor impacto negativo sobre el medio ambiente durante la fase de construcción; seguida muy de cerca por las acciones de modificar los hábitats de las especies de fauna y la de mover grandes cantidades de tierra y generar polvo.

Durante la fase de explotación, se puede ver en la segunda matriz (Tabla 29) como todas las acciones causan prácticamente el mismo impacto sobre el medio.

Por último, en la fase de desmantelamiento se puede apreciar en la tercera matriz (Tabla 30) como la circulación de vehículos, camiones y maquinaria pesada es la acción que mayor impacto causará sobre el medio. Puede apreciarse como las acciones de reciclaje y reforestación causan un impacto beneficioso sobre el medio ya que estas poseen un signo negativo tras realizar el sumatorio.

12.6. Medidas Preventivas y Correctoras

Se procede a enunciar algunos de los anteriores factores afectados y las medidas propuestas para prevenir y corregir los posibles impactos perjudiciales que estos puedan sufrir durante la realización del proyecto:

- Tierra y Suelo.

Con el fin de evitar, en medida de lo posible, la erosión del terreno y el empeoramiento de la calidad del suelo; se evitará realizar movimientos de tierra agresivos y se establecerá un límite de velocidad para los vehículos y maquinaria que circulen por las zonas de los parques durante todas las fases del proyecto. Una vez finalizada la fase de desmantelamiento, se tratará de restaurar el terreno y recuperar así sus propiedades.

- Calidad del aire.

Se dispondrá de una flota de vehículos eléctricos para desplazarse hasta los parques para realizar labores de mantenimiento y similares. Los camiones empleados para el transporte y otro tipo de maquinaria pesada que se tenga que utilizar serán alimentados con combustibles fósiles convencionales que provocarán emisiones de CO₂. Sin embargo, estas mismas se verán reducidas gracias a disponer de dicha flota de vehículos eléctricos.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

- **Contaminación del medio acústico.**

Durante las fases de construcción y de desmantelamiento de los parques, la producción de ruido y vibraciones será algo prácticamente inevitable. Para intentar reducir los mismos en medida de lo posible, se emplearán máquinas que sean lo menos ruidosas como sea posible.

Durante la fase de explotación, se hará uso de vehículos eléctricos para acceder a los parques y realizar labores de mantenimiento en estos, con lo que se reducirá casi al máximo los decibelios emitidos por los mismos. El único ruido que perturbará ligeramente el medio acústico será el generado por la rotación de las aspas.

- **Flora.**

El objetivo del proyecto es que los parques ocupen la menor superficie posible y que, con ello, se tenga que eliminar la menor cantidad de vegetación posible de los terrenos durante la fase de construcción.

Como se ha nombrado previamente, una vez finalizada la fase de desmantelamiento, se producirá a reforestar las zonas afectadas por la construcción de los parques.

- **Fauna.**

Como se mencionó anteriormente, son los mamíferos y especialmente las aves los más afectados por la construcción de los parques. Como medida general, se tratará de recuperar las especies de fauna que se hayan visto afectadas por la construcción de los parques.

Siendo las aves las especies mayormente afectadas por los aerogeneradores ya que pueden chocar contra estos; se ha decidido instalar en los aerogeneradores unos dispositivos desarrollados por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) que se encargaría de detener las palas de los mismos si se detecta la trayectoria de un ave que se dirige hacia el aerogenerador. [45]

Otra posible solución a adoptar sería pintar una de las tres aspas de cada generador de color negro ya que, según revela un estudio realizado por el Instituto Noruego de Investigación sobre Naturaleza (NINA), esto ayuda a las aves a detectar más fácilmente la presencia de estos y desviar su trayectoria a tiempo para esquivarlo. Según reveló el estudio, esto reduce hasta en un 70% el número de accidentes mortales por colisión de las aves. [46]

- **Actividades recreativas.**

Se mencionó que circulaban distintas rutas senderistas y ciclistas cercanas a la zona de los parques, para no interferir con las mismas, se señalará correctamente la presencia de los parques eólicos y fotovoltaico situando diversas señales a sus alrededores para evitar el paso de personas ajenas a la propiedad en el interior de los mismos. Además, se pretenderá que todas las rutas recreativas anteriormente mencionadas estén correctamente señalizadas.

- **Impacto visual.**

El impacto visual y paisajístico que producirán ambos parques es inevitable, sobre todo el producido por los aerogeneradores del parque eólico. Se descarta la idea de pintar los aerogeneradores con tonos que los mimeticen con el entorno ya que esto produciría una mayor cantidad de impactos de las aves contra los mismos.

13. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

El objetivo de este capítulo es el de analizar si el proyecto es viable. Se busca analizar si es posible amortizar los costes que supondría la instalación de estos parques energéticos para garantizar el suministro de electricidad a las poblaciones de Geldo y Soneja. Se va a considerar una vida del proyecto de 20 años para elaborar los cálculos pertinentes.

13.1. Costes Iniciales

Los costes iniciales que supondría instalar un parque eólico pueden estimarse haciendo uso de unos valores proporcionados por el PER 2011-2020. Este documento del IDAE estima el coste de un aerogenerador de 2MW y 100 metros de altura aprox. 750 €/kW [29]. Dado que se desconoce el coste asociado a un aerogenerador de 0,5 MW y 75 m de altura como el que se ha escogido, tomaremos como referencia el coste anterior de 750€/kW para estimar así un coste al alza. Además, en el documento del PER se indica que este coste supone un 75% del coste total del parque. En el caso de la instalación que se está diseñando, se disponen de 3 MW de potencia instalada, lo que supondría un coste de 2.250.000€. Aplicando el porcentaje del 75% y considerando un 5% del coste para contingencias, se obtienen los costes iniciales supuestos por la Eólica mostrados en la Tabla 31.

Tabla 31 - Costes Iniciales Eólica. (Elaboración propia)

(EÓLICA)	PORCENTAJE APROX. DE LA INVERSIÓN	INVERSIÓN
Aerogeneradores	75%	2.250.000 €
Otros costes	25%	750.000 €
Instalación parque	100%	3.000.000 €
Contingencias	5%	150.000 €
TOTAL		6.150.000 €

En el caso del parque fotovoltaico, se ha realizado el cálculo preciso de todos los elementos necesarios para la instalación. Estos se mostrarán en la Tabla 32, donde se ha considerado mayorar el cálculo un 15% para cubrir otro tipo de gastos y también se ha aplicado un 5% de su coste total destinado a contingencias.

Tabla 32 - Costes Iniciales Fotovoltaica. (Elaboración propia)

(FOTOVOLTAICA)	CANTIDAD	COSTE	INVERSIÓN
MÓDULO Sun Power SPR-P3-415-COM	3168	210,00 €	665.280 €
CONCENTRADOR Sunny String-Monitor SSM16-11	9	330,00 €	2.970 €
Ingecon Sun Power Maxter 500HE TL	3	32.000,00 €	96.000 €
PRECIó ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS	-	-	764.250 €
Otros costes	-	15%	114.638 €
Contingencias	-	5%	38.213 €
TOTAL			917.100 €

13.2. Costes de Explotación

Estos costes de explotación irán destinados principalmente a labores de supervisión y mantenimiento de cada uno de los parques.

Para los costes de explotación del parque eólico, el PER 2011-2020 establece un valor de 45.000€/MW cada año [29], lo que equivaldría a un gasto de explotación de **135.000€ anuales**.

Por parte de la instalación fotovoltaica, se ha estimado un costo de explotación de 47,2 €/kW cada año [21]. Teniendo 1.314,72 kW de potencia fotovoltaica instalada, se obtiene un gasto de explotación de **62.055€ anuales**.

13.3. Ingresos

En este apartado se pretende calcular el precio al cual se debe cobrar el kWh de energía eléctrica producida por la combinación de ambas instalaciones. Posteriormente se calculará si aplicar esta tarifa resulta beneficioso o no. Para empezar, se recuerda que en la Figura 34 aparece la energía demandada, la suministrada por parte de ambos parques y la que tendría que obtenerse de la red. Se hará uso de las fórmulas que aparecen en el Real Decreto 413/2014 con el fin de calcular la tarifa de comercialización de la electricidad producida por los parques.

$$Tarifa_Comercializar = \frac{Retribución_Específica + Ingresos_Producción_Anual}{Energía_Producida_Anual} \quad [31]$$

$$Retribución_Específica = 101.240 \frac{€}{MW} \cdot Potencia_Instalada \quad [32]$$

$$Ingresos_Producción_Anual = Energía_Producida \cdot Precio_Mercado \quad [33]$$

Considerando valores de los 2 parques en conjunto, la potencia instalada total sería de 4,31472 MW, los cuales generarían una energía de 8315,88 MWh (además de los 2187,28 MW de energía eólica sobrante, que no se ha considerado para este cálculo).

A mediados de Junio de 2021, el precio de mercado de la energía eólica es de 29 €/MWh [47]. Por otro lado, se ha consultado también cual es el precio que la compañía eléctrica paga por inyectar la energía sobrante en la red eléctrica [48], y este es de 51 €/MWh. También se ha consultado el precio medio de la electricidad proveniente de la red eléctrica (despreciando las variaciones horarias del precio), y este es de 168,20 €/MWh. [49]

Con todo esto, se obtiene una tarifa de **80,60 €** a aplicar a **cada MWh** producido por las instalaciones energéticas. Los valores anteriormente citados se recogen en la Tabla 33.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 33 - Energías y tarifas parques eólicos. (Elaboración propia)

	Valor Anual (MWh)	Tarifa aplicada (€/MWh)
Energía Demandada	8315,88	-
Energía Suministrada Fotovoltaica	2101,75	80,6
Energía Suministrada Eólica	5886,56	80,6
Energía Sobrante Eólica Verter a Red	2187,28	51
Energía a Adquirir de Red	327,57	-168,2

13.4. Flujos de Cajas

Para realizar el cálculo se ha considerado que las instalaciones van a tener una vida de 20 años y que sufrirán un deterioro progresivo de su rendimiento a lo largo de su vida útil, llegando a ser del 80% al final de su vida útil. Los ingresos provendrán de suministrar energía tanto a poblaciones como a red eléctrica. Por otro lado, los costes tendrán en cuenta los costes iniciales de la instalación de las plantas, los costes anuales asociados a labores de mantenimiento y los costes de adquirir electricidad de la red eléctrica durante los meses de Julio y Agosto. Se ha empleado el programa de Excel para realizar los cálculos y se ha obtenido los resultados de la Tabla 34, que se representan gráficamente en la Figura 37.

Tabla 34 - Análisis ingresos suministro energía parques. (Elaboración propia)

Año	Rendimiento Instalaciones (%)	Tarifa (€/MWh)	Tarifa (€/MWh)	Tarifa (€/MWh)	Tarifa (€/MWh)	Ingresos Obtenidos (€)	Gastos Acumulados (€)	Beneficios (€)
		80,6	80,6	51	-168,2			
0	-	-	-	-	-	0	7.067.100 €	-7.067.100 €
1	100,00	2101,75	5886,56	2187,28	327,57	755.409 €	7.319.252 €	-6.563.843 €
2	98,95	2079,63	5824,60	2164,26	411,66	1.502.866 €	7.585.548 €	-6.082.682 €
3	97,89	2057,50	5762,63	2141,23	495,74	2.242.372 €	7.865.987 €	-5.623.615 €
4	96,84	2035,38	5700,67	2118,21	579,83	2.973.926 €	8.160.570 €	-5.186.644 €
5	95,79	2013,26	5638,70	2095,18	663,92	3.697.529 €	8.469.297 €	-4.771.768 €
6	94,74	1991,13	5576,74	2072,16	748,01	4.413.179 €	8.792.166 €	-4.378.987 €
7	93,68	1969,01	5514,78	2049,14	832,09	5.120.878 €	9.129.180 €	-4.008.301 €
8	92,63	1946,88	5452,81	2026,11	916,18	5.820.626 €	9.480.337 €	-3.659.711 €
9	91,58	1924,76	5390,85	2003,09	1000,27	6.512.421 €	9.845.637 €	-3.333.216 €
10	90,53	1902,64	5328,89	1980,06	1084,36	7.196.265 €	10.225.081 €	-3.028.816 €
11	89,47	1880,51	5266,92	1957,04	1168,44	7.872.158 €	10.618.668 €	-2.746.511 €
12	88,42	1858,39	5204,96	1934,02	1252,53	8.540.098 €	11.026.399 €	-2.486.301 €
13	87,37	1836,27	5142,99	1910,99	1336,62	9.200.087 €	11.448.274 €	-2.248.186 €
14	86,32	1814,14	5081,03	1887,97	1420,71	9.852.125 €	11.884.292 €	-2.032.167 €
15	85,26	1792,02	5019,07	1864,94	1504,79	10.496.210 €	12.334.453 €	-1.838.243 €
16	84,21	1769,89	4957,10	1841,92	1588,88	11.132.344 €	12.798.758 €	-1.666.414 €
17	83,16	1747,77	4895,14	1818,90	1672,97	11.760.526 €	13.277.206 €	-1.516.680 €
18	82,11	1725,65	4833,18	1795,87	1757,06	12.380.757 €	13.769.798 €	-1.389.041 €
19	81,05	1703,52	4771,21	1772,85	1841,14	12.993.036 €	14.276.534 €	-1.283.498 €
20	80,00	1681,40	4709,25	1749,82	1925,23	13.597.363 €	14.797.413 €	-1.200.050 €

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

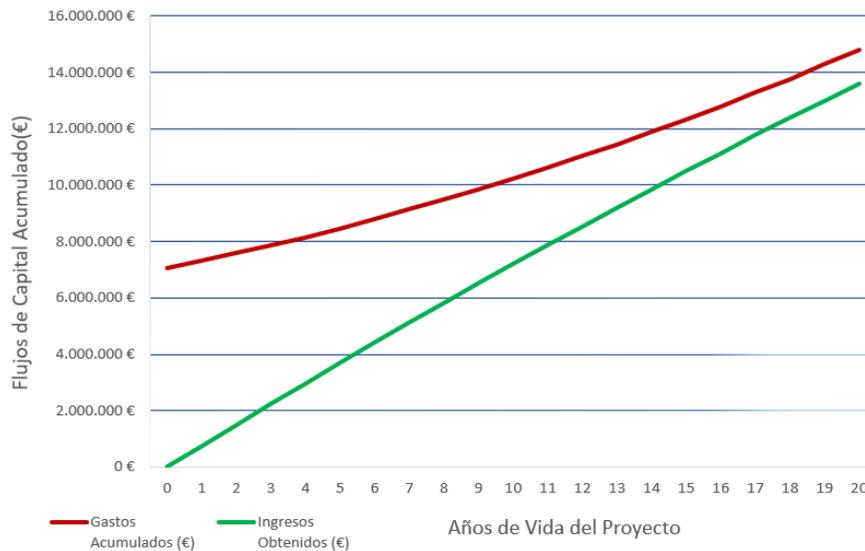


Figura 37 - Representación flujos de cajas del proyecto. (Elaboración propia)

13.5. Análisis de Emisiones

Ya que estos parques producen una energía limpia que no genera gases de efecto invernadero, se ha considerado emplear el programa de RETscreen para comparar estas fuentes de energía con una planta que emplea gas natural para la producción de energía eléctrica. Al introducir los datos de la instalación **eólica**, se ha obtenido que esta produce energía **evitando** la emisión a la atmósfera de **3.578,4 toneladas de CO₂** anuales, las cuales generaría una planta de gas natural. En el caso de la **fotovoltaica**, se ha obtenido que esta **evita** la emisión de **1.568,2 toneladas de CO₂** cada año. En total, la cantidad de CO₂ que se deja de emitir gracias al uso de estas plantas es equivalente al CO₂ emitido por 942 automóviles anualmente.

13.6. Análisis Financiero

Se obtendrán los valores del Valor Anual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) empleando el programa de RETscreen International para saber si el proyecto es económicamente viable. La página web de ecomipedia.com [50] define los conceptos de VAN y TIR como se muestra a continuación:

- “**El VAN** es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para conocer cuánto se va a ganar o perder con esa inversión”. Si este toma un valor mayor que 0, muestra que el proyecto es rentable.
- “**El TIR** es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Es decir, el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión para las cantidades que no se han retirado del proyecto”. Entonces, si adquiere un valor mayor que el coste de oportunidad, significa que el proyecto es rentable. El TIR es la tasa de descuento que hace que el VAN sea nulo.

Para poder introducir las 2 instalaciones como una sola en el RETscreen, se ha introducido como si fuera una instalación eólica de 4314,82 kW de potencia instalada que comercializa 10.503,2 MWh anuales (suma de la energía suministrada y volcada a la red) a un precio de 74,12 €/MWh (obtenido ponderando las tarifas de energía suministrada y la de energía volcada a red con sus respectivas cantidades de energía). Los costes de adquirir energía de la red eléctrica vienen añadidos con el resto de costes del proyecto.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Haciendo uso del RETscreen se obtendrán resultados más fieles a la realidad ya que este programa tiene en cuenta parámetros como la tasa de inflación, la tasa de descuento, tasas de escalonamiento... Es decir, que tiene en cuenta cual será el valor futuro del dinero. En la Tabla 35 se muestran los datos introducidos en RETscreen.

Tabla 35 - Tasas para cálculo de VAN y TIR. (Elaboración propia)

PARÁMETROS FINANCIEROS	VALOR (%)
Tasa de escalonamiento combustibles	0
Tasa de inflación	2
Tasa de descuento	5
Tasa de escalonamiento exportación	0

Tras introducir todos los valores en el RETscreen, se ha obtenido un valor del **TIR** de **-1,9%** y un **VAN** de **-3.266.374 €**. Valores que confirman que este proyecto no llega a ser rentable a lo largo de su vida útil de 20 años. Se adjunta la Figura 38, en la que se puede ver el flujo de cajas del efectivo acumulado proporcionado por el RETscreen. Se aprecia que ser obtendría un flujo de cajas muy similar si se representasen gráficamente los valores de la columna beneficios de la Tabla 33.

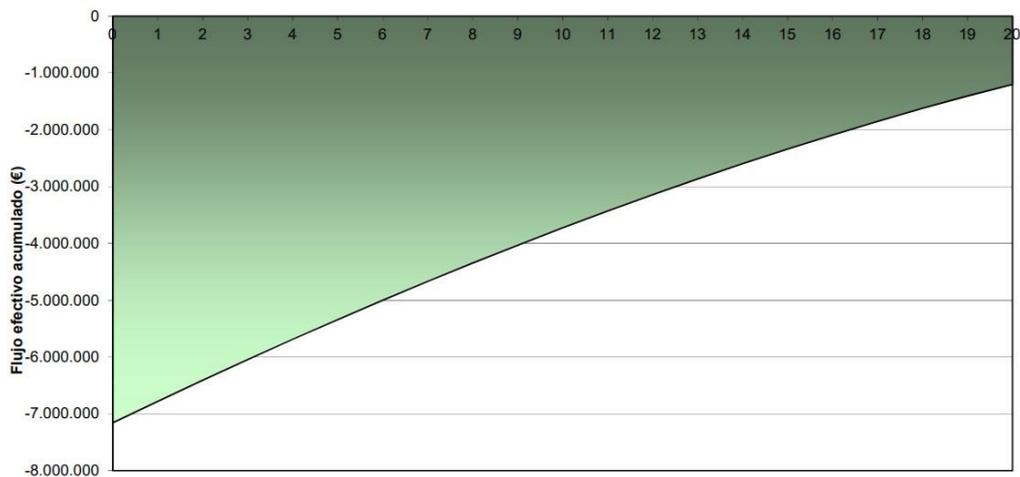


Figura 38 - Flujo de cajas obtenido del RETscreen. (RETscreen)

14. CONCLUSIONES

El proyecto ha consistido en diseñar la instalación de 2 parques generadores de energía eléctrica y estudiar las diferentes alternativas para abastecer la energía eléctrica demanda por las poblaciones de Geldo y Soneja, municipios de la comarca del Alto Palancia (Castellón).

En primer lugar, se ha calculado la cantidad de energía eléctrica que demandan estas poblaciones durante cada uno de los meses a lo largo de un año. Seguidamente se ha analizado el potencial eólico de la zona escogida para ubicar esta instalación, se han comparado distintos aerogeneradores y se ha escogido un modelo de 500kW de potencia y 75 m de altura de la compañía EWT. Posteriormente se ha diseñado como deberá ser la construcción de este parque.

Seguidamente, se ha realizado un proceso análogo para diseñar el parque fotovoltaico: analizando el potencial fotovoltaico de la zona en la que va a ubicarse el parque; comparando distintos modelos de módulos fotovoltaicos y escogiendo un módulo de 415 W de potencia y de 2,062 m² de superficie. Luego se ha diseñado como deberá ser esta instalación y cuáles serán los elementos adicionales necesarios en ella.

El análisis del potencial eólico y fotovoltaico de las zonas donde se ubicarán tales instalaciones ha revelado que son zonas aptas para llevar a cabo tal proyecto. También se ha realizado el cálculo de cuál será la energía producida a lo largo de los meses por cada aerogenerador y cada módulo fotovoltaico ubicado en su respectivo parque.

Conociendo la energía demanda eléctrica de cada uno de los meses y la energía que puede generar cada aerogenerador y cada módulo, se ha procedido a analizar distintas alternativas para poder garantizar el suministro a las poblaciones y poder escoger la mejor de ellas. Cada alternativa obligaba a instalar un número distinto de aerogeneradores o módulos en sus parques.

Las alternativas de hacer uso de un único parque (solo el fotovoltaico o solo el eólico) para suministrar la energía demandada han sido descartadas ya que implicaría disponer de un número de módulos fotovoltaicos o aerogeneradores (según sea la instalación estudiada) muy elevado, tanto que superarían la capacidad de los parques.

Habiendo observado que los aerogeneradores generan menor energía los meses de verano, mientras que los módulos fotovoltaicos incrementan su producción durante estos meses. Se ha decidido estudiar las siguientes alternativas: generar el suministro total o parcial de la energía demandada, pero haciendo que los parques trabajen de manera híbrida, para que así uno compense la falta de producción del otro.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

La mejor alternativa estudiada ha sido la de combinar ambos parques para abastecer la demanda eléctrica de las poblaciones. Dado que durante los meses de Julio y Agosto no se puede garantizar el suministro total de la electricidad, se ha decidido que estos meses, parte del suministro deberá provenir de la red eléctrica. Para llevar a cabo esta alternativa escogida, se han instalado **6 aerogeneradores** en el parque eólico y **3168 módulos** en el parque fotovoltaico. Como resultado se tiene un **parque eólico de 3 MW** y otro **fotovoltaico de 1.314,72 kW** de potencia para realizar el suministro de energía eléctrica.

Disponiendo de unas instalaciones de tales dimensiones se tiene que el parque **fotovoltaico** genera **2.101,75 MWh** de energía anualmente que será consumida en su totalidad; el parque **eólico** por su parte, generará un total de **8.073,84 MWh** anuales, de los cuales **5.886,56 MWh** serán suministrados a las poblaciones para su consumo y el resto se verterá a la red, recibiendo la correspondiente compensación económica. Así la energía eléctrica necesaria de adquirir de la red durante los meses de Julio y Agosto asciende a **327,57 MWh**.

Una vez finalizado el diseño y análisis de alternativas de los parques se ha realizado un estudio del impacto que implicaría instalar estos parques sobre el medio ambiente, analizando cuáles serían los factores ambientales más afectados y que se debería tener especial precaución con estos. Seguidamente se han nombrado distintas medidas preventivas y correctoras para intentar, en medida de lo posible, minimizar el posible impacto negativo que pueda llegar a tener este proyecto sobre el medio ambiente.

Por último, se ha realizado un análisis de la viabilidad económica de este proyecto enumerando cuáles serían los costes asociados a la ejecución del mismo, y cuáles serían los ingresos que este generaría. Se ha obtenido que este durante la vida útil del proyecto los ingresos acumulados no llegan a superar a los costes acumulados, lo que implicaría que este proyecto no es rentable. Seguidamente, para realizar un análisis más preciso y validar estos anteriores cálculos, se ha realizado el análisis financiero empleando RETscreen. Este programa ha proporcionado un **TIR** de **-1,9%** y un **VAN** de **-3.266.374 €**, valores que confirman que el proyecto no es económicamente rentable. De todos modos es cierto que al finalizar la vida útil de las instalaciones, el proyecto se situaría con un balance de **-1.200.050 €**, cantidad mucho menor que la inversión inicial requerida, que es de **7.067.100€**.

A pesar de no ser económicamente rentable, hay que considerar que este permite generar una energía limpia, evitando así la emisión de un total de **5146,6 toneladas de CO₂** a la atmósfera cada año que los parques están en funcionamiento. Además, la puesta en marcha de este proyecto ayudaría a alcanzar el objetivo de reducir la emisión de gases de efecto invernadero perseguido por el PNIEC a la vez que permitiría estar más cerca de alcanzar el séptimo Objetivo del Desarrollo Sostenible expuesto por la ONU de cara a 2030.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

El proyecto podría ser rentable si la tarifa con la que se comercializa la electricidad generada a las poblaciones de Geldo y Soneja fuese mayor. Según ha proporcionado la Ecuación 31 del apartado 13.3, esta tarifa debe ser de 80,60 €/MWh. Si esta tarifa energética tomase un valor mayor o igual que 89 €/MWh, este proyecto comenzaría a ser económicamente rentable. La Figura 38 muestra el resultado de rehacer los cálculos expuestos en la Tabla 33 pero con una tarifa de 89 €/MWh, valor con el cual el proyecto recupera todos los costes en el último año. Mientras que el precio del MWh suministrado por las instalaciones del proyecto no supere el valor de 168,20€ (precio aplicado al MWh extraído de la red eléctrica), la ejecución de este proyecto podría seguir suponiendo un ahorro en el precio de la energía eléctrica.

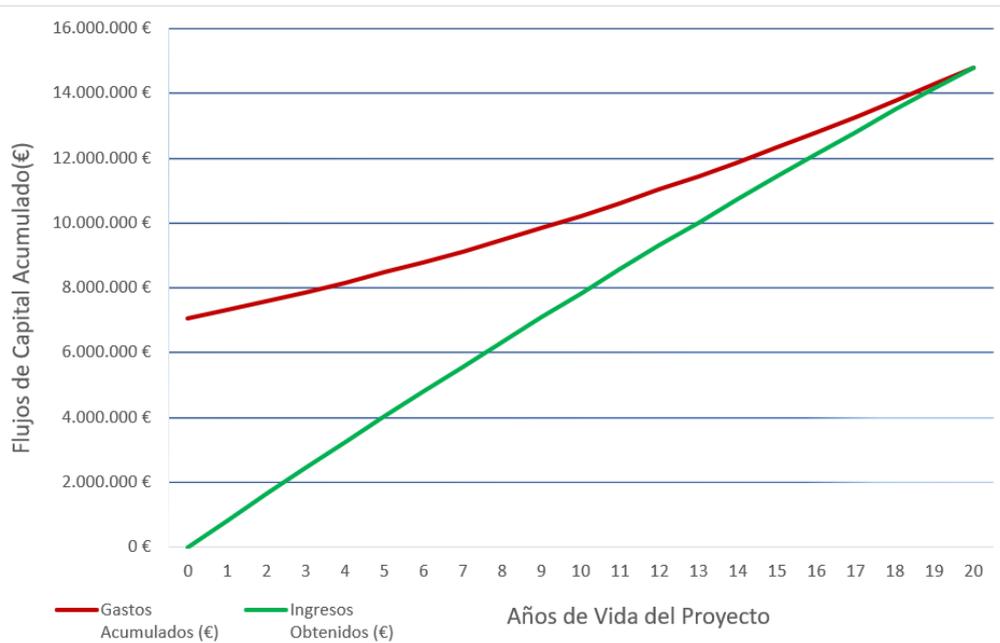


Figura 39 - Representación flujo de cajas sin pérdidas. (Elaboración propia)

15. REFERENCIAS

[1] INSTITUTO DE LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). *Plan de Energías Renovables 2011-2020*.

<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>. [Consulta: Mayo de 2021].

[2] ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA (AEE). *La Eólica en España*.

<https://www.aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-espana>. [Consulta: Mayo de 2021].

[3] GOBIERNO DE ESPAÑA. *Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030*.

<https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>. [Consulta: Junio de 2021].

[4] ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU). *Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS)*.

<https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>. [Consulta: Mayo de 2021].

[5] EUR-LEX. *El Acceso al Derecho de la Unión Europea*.

<https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>. [Consulta: Mayo de 2021].

[6] GOBIERNO DE ESPAÑA. *Diario Oficial Boletín Oficial del Estado (BOE)*.

https://www.boe.es/diario_boe/. [Consulta: Mayo de 2021].

[7] GENERALITAT VALENCIANA (GVA). *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*.

<https://dogv.gva.es/va/>. [Consulta: Mayo de 2021].

[8] OPENMIND BBVA. *Energía eólica (II): de la Segunda Guerra Mundial Hasta Hoy*.

<https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/energia-eolica-ii-de-la-segunda-guerra-mundial-hasta-hoy/>. [Consulta: Mayo de 2021].

[9] ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA (AEE). *AEE Presenta el Anuario Eólico 2020.*

<https://www.aeeolica.org/comunicacion/la-actualidad-eolica/4277-ae-presenta-el-anuario-eolico-2020-analisis-de-la-situacion-de-la-energia-eolica-en-espana-y-en-el-mundo>.

[Consulta: Mayo de 2021].

[10] EL MUNDO. *España Produce el 20% de la Energía Eólica Mundial (2007).*

<https://www.elmundo.es/elmundo/2007/06/26/ciencia/1182857288.html>.

[Consulta: Mayo de 2021].

[11] NATURGY. *Evolución de la Energía Fotovoltaica: Pasado, Presente y Futuro.*

https://www.naturgy.es/empresas/blog/evolucion_de_la_energia_fotovoltaica_pasado_presente_y_futuro. [Consulta: Mayo de 2021].

[12] EVWIND. *La Energía Fotovoltaica se Abarata y ya Cubre el 2% del Consumo Mundial.*

<https://www.evwind.com/2020/02/02/la-energia-fotovoltaica-pv-se-ha-convertido-en-la-fuente-de-energia-electrica-mas-barata-en-regiones-con-un-alto-potencial/>.

[Consulta: Mayo de 2021].

[13] EL PERIÓDICO. *La Breve Historia del “Impuesto al Sol”.*

<https://www.elperiodico.com/es/mas-innovacion/20181017/la-breve-historia-del-impuesto-al-sol-7093609>. [Consulta: Mayo de 2021].

[14] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE). *España Cierra 2019 con un 10 % más de Potencia Instalada de Generación Renovable.*

<https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/notas-de-prensa/2019/12/espana-cierra-2019-con-un-10-mas-de-potencia-instalada-de-generacion-renovable>.

[Consulta: Mayo de 2021].

[15] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE). *Las Energías Renovables en el Sistema Eléctrico Español.*

https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/Renovables-2019.pdf.

[Consulta: Mayo de 2021].

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN
PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA**

[16] AYUNTAMIENTO.ES. *Ayuntamiento de Geldo.*

<https://www.ayuntamiento.es/geldo>.

[Consulta: Mayo de 2021].

[17] GENERALITAT VALENCIANA (GVA). *Visor de Cartografía.*

<https://visor.gva.es/visor/>. [Consulta: Mayo de 2021].

[18] GENERALITAT VALENCIANA (GVA). *Portal de Información ARGOS.*

http://www.argos.gva.es/bdmun/pls/argos_mun/DMEDB_COMADATOSGENERALES.DibujaPagina?aNComald=7&aVLengua=c. [Consulta: Mayo de 2021].

[19] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE). *Cómo Consumimos Electricidad.*

https://www.ree.es/sites/default/files/interactivos/como_consumimos_electricidad/como-varia-mi-consumo.html. [Consulta: Mayo de 2021].

[20] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (REE). *Atlas de la Demanda Eléctrica Española.*

https://www.ree.es/sites/default/files/downloadable/atlas_indel_ree.pdf.

[Consulta: Junio de 2021].

[21] INSTITUTO DE LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA (IDAE). *Plan de Energías Renovables 2011-2020.*

https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_PER_2011-2020_def_93c624ab.pdf. [Consulta: Mayo de 2021].

[22] Google Earth. <https://earth.google.com/web/>. [Consulta: Mayo de 2021].

[23] DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION. *La Ley de Betz.*

<http://xn--drmsttre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/betz.htm>.

[Consulta: Mayo de 2021].

[24] Global Wind Atlas. <https://globalwindatlas.info/>. [Consulta: Mayo de 2021].

[25] DANISH WIND INDUSTRY ASSOCIATION. *Distribution Plotting*.

<http://xn--drmsttre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/wres/weibull/index.htm>.

[Consulta: Mayo de 2021].

[26] THE WIND POWER. *Fabricantes y Aerogeneradores*.

https://www.thewindpower.net/turbines_manufacturers_es.php. [Consulta: Mayo de 2021].

[27] WEATHER SPARK. *El Clima Promedio en Geldo*.

<https://es.weatherspark.com/y/42700/Clima-promedio-en-Geldo-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>. [Consulta: Mayo de 2021].

[28] HERRAMIENTAS DE INGENIERÍA. *Calculadora Altitud-Presión*.

<https://www.herramientasingeneria.com/onlinecalc/spa/altitud/altitud.html>.

[Consulta: Mayo de 2021].

[29] Apuntes de la Asignatura Tecnología Energética. [Consulta: Mayo de 2021].

[30] Global Solar Atlas. <https://globalsolaratlas.info/map>. [Consulta: Junio de 2021].

[31] SOLATS. *Energía Solar en el Mundo*. <https://solats.com/energia-solar-en-el-mundo/>.

[Consulta: Junio de 2021].

[32] SUNFIELDS EUROPE. *Paneles para Profesionales*.

<https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/>. [Consulta: Junio de 2021].

[33] GLOSARIOS SERVIDOR DE ALICANTE. *Masa de Aire*.

<https://glosarios.servidor-alicante.com/energia-fotovoltaica/masa-de-aire>.

[Consulta: Junio de 2021].

[34] EUROPEAN COMMISSION. *Photovoltaic Geographical Information System*.

https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#PVP. [Consulta: Junio de 2021].

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN
PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA**

[35] Apuntes de la Asignatura Energía Fotovoltaica y Electrónica de Potencia de GIE.

[Consulta: Junio de 2021].

[36] SMA. *Accesorios para Inversor Central Sunny String-Monitor SSM16-11/SSM24-11.*

<https://files.sma.de/downloads/SSM16-24-IA-IES105120.pdf>. [Consulta: Junio de 2021].

[37] INGETEAM. *Ingecon Sun Power Sin Transformador.*

<https://www.ingeteam.com/Download/1683/attachment/ingecon-sun-power-max-tl-u-x275.pdf.aspx>. [Consulta: Junio de 2021].

[38] CLIMATE-DATA.ORG. *Comunidad Valenciana Clima.*

<https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana-290/>.

[Consulta: Junio de 2021].

[39] EL ALTO PALANCIA. *La Vegetación.*

<https://elaltopalancia.com/portfolio/la-vegetacion/>. [Consulta: Junio de 2021].

[40] EL ALTO PALANCIA. *El Relieve.*

<https://elaltopalancia.com/portfolio/el-relieve/>. [Consulta: Junio de 2021].

[41] GENERALITAT VALENCIANA (GVA). *Memoria Técnica de la Norma de Gestión “Palància”. Zonas de Especial Conservación (ZEC) Alt Palància y Curs Mitjà del Riu Palància.*

<https://agroambient.gva.es/documents/163280750/164366344/Memoria+t%C3%A9cnica+Norma+Gesti%C3%B3n+Pal%C3%A0ncia+incorporando+alegaciones/8e858f03-f957-4b60-b981-0f0cff946998;jsessionid=4E1150F8D073BC0DCF2FFB961D013DAF>. [Consulta: Junio de 2021].

[42] EL ALTO PALANCIA. *La Hidrografía.*

<https://elaltopalancia.com/portfolio/la-hidrografia/>. [Consulta: Junio de 2021].

[43] INSTITUTO DE CULTURA ALTO PALANCIA (ICAP) (2000). *Boletín Nº12.* Castellón. Diputació de Castelló.

[44] Apuntes de la Asignatura Proyectos de GITI (2015). Ref. 370. Publicaciones UPV.

[Consulta: Junio de 2021].

[45] EL MUNDO. *El molino Inteligente que Protege a las Aves.*

<https://www.elmundo.es/elmundo/2008/12/05/ciencia/1228502376.html>.

[Consulta: Junio de 2021].

[46] LA VANGUARDIA. *Una Sencilla Solución para que los Aerogeneradores no Sigam Matando Aves.*

<https://www.lavanguardia.com/natural/energia/20200824/483007601428/pintar-negro-pala-aerogeneradores-energia-eolica-solucion-evitar-muerte-aves-aguilas.html>.

[Consulta: Junio de 2021].

[47] EL PERIÓDICO DE LA ENERGÍA. *La Eólica Desploma el Precio de la Electricidad en el Mercado Mayorista hasta los 29 €/MWh, su Cota más Baja de los Últimos 12 meses.*

<https://elperiodicodelaenergia.com/la-eolica-desploma-el-precio-de-la-electricidad-en-el-mercado-mayorista-hasta-los-29-e-mwh-su-cota-mas-baja-de-los-ultimos-12-meses/>.

[Consulta: Junio de 2021].

[48] IBERDROLA. *Plan Solar.*

<https://www.iberdrola.es/smart-solar/plan-solar>.

[Consulta: Junio de 2021].

[49] TARIFALUZHORA BY SELECTRA. *¿Cuánto cuesta el kilovatio hora de luz (kWh) en España?*

<https://tarifaluzhora.es/info/precio-kwh>. [Consulta: Junio de 2021].

[50] ECOMIPEDIA.COM. *Definiciones*

<https://economipedia.com/definiciones/>. [Consulta: Junio de 2021].

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN
PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA**

Documento nº 2: **PRESUPUESTO**

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. OBJETIVO DEL PRESUPUESTO	1
2. COSTE DE LA MANO DE OBRA	2
3. COSTE DEL HARDWARE	6
4. COSTE DEL SOFTWARE	7
5. PRESUPUESTO FINAL.....	8

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Reparto de horas dedicadas a cada tarea	3
Tabla 2 - Cuadro de precios de la mano de obra	3
Tabla 3 - Coste de la mano de obra desglosado	4
Tabla 4 - Cuadro de precios de hardware	6
Tabla 5 - Cuadro de precios de software	7
Tabla 6 - Presupuesto base de licitación.....	8

1. OBJETIVO DEL PRESUPUESTO

El objetivo de este presupuesto es el de detallar el coste que conllevaría en el ámbito profesional la elaboración del proyecto descrito anteriormente en el documento de la memoria.

Con el fin de lograr una redacción correcta y detallada de este presupuesto, se ha decidido dividir los costes de elaboración de este proyecto como se muestra a continuación:

- Cotes de Mano de Obra (MO).
- Costes de Hardware.
- Costes de Software.

Se ha decidido considerar tales costes ya que durante la realización de este proyecto, el trabajo realizado ha sido principalmente informático, por lo que no se requiere incluir otro tipo de costes en el presupuesto.

En los apartados que siguen se expondrá el desglose de cada parte del presupuesto y el presupuesto final, el cual mostrará el coste total del proyecto.

Los costes de la MO se mostrarán desglosados en su correspondiente apartado según ha sido la planificación, reparto y ejecución de las tareas durante la elaboración del proyecto.

2. COSTE DE LA MANO DE OBRA

Para determinar el coste de la mano de obra se ha determinado un sueldo bruto de 1500 euros mensuales para el ingeniero industrial y 2200 euros para el tutor y el cotutor del proyecto. De acuerdo con el Boletín Oficial del Estado del Ministerio de Trabajo y Economía Social aprobado el lunes 17 de mayo de 2021, la empresa deberá destinar parte de los sueldos con los siguientes fines: deberá destinar un 23,60% del sueldo para contingencias comunes, un 5,5% para prestaciones por desempleo, un 0,6% para formación profesional, un 0,2% para el Fondo de Garantía Salarial (FOGASA) y un 1,5% para accidentes de trabajo y enfermedades profesionales (IT/MS).

Haciendo uso de los porcentajes anteriormente citados se tiene que la empresa deberá pagar 1971€ mensuales por el ingeniero industrial y 2890,80€ mensuales tanto por el tutor como por el cotutor.

Para justificar los pagos que se habrán de realizar por las labores del ingeniero, del tutor y del cotutor del proyecto, se ha elaborado la siguiente Tabla 1 que reúne en número de horas dedicada a cada tarea y las horas totales dedicadas en total al proyecto por parte de todos los creadores del mismo. Para diferenciar las horas dedicadas por parte de cada integrante del proyecto se ha empleado la siguiente nomenclatura:

- MOII: Mano de Obra del Ingeniero Industrial.
- MOT: Mano de Obra del Tutor.
- MOC: Mano de Obra del Cotutor.

Para llevar a cabo los cálculos del coste por hora de la mano de obra se ha considerado una duración de la jornada laboral de 8 horas, disponiendo a lo largo de cada año de: 15 días festivos, 30 días de vacaciones pagadas y 2 pagas extra. Con esto, se obtiene un total de 1792 horas de trabajo a lo largo del año. Así ya se puede conocer el precio horario de la mano de obra, que junto con el número de horas empleadas por cada miembro del proyecto (desglosadas en la Tabla 1), se obtiene el precio total de la mano de obra (visible en la Tabla 2). Para analizar el coste de la mano de obra con más detalle, estos se exponen desglosados en la Tabla 3.

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 1 - Reparto de horas dedicadas a cada tarea

Nº	CONCEPTO	Horas MOII	Horas MOT	Horas MOC
1	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	22	7	5
1.1	Reuniones para establecer bases del proyecto	3	3	3
1.2	Búsqueda de trabajos relacionados	12	2	
1.3	Recogida de datos iniciales	5		
1.4	Reuniones para revisar base del trabajo	2	2	2
2	INVESTIGACIONES TEÓRICAS INICIALES	53	6	2
2.1	Formación sobre el tema a tratar	18	3	
2.2	Búsqueda de documentos relacionados	13	1	
2.3	Consulta bases de datos sobre normativas	11		
2.4	Estudio panorama actual distintas tecnologías	9		
2.5	Reuniones para revisar reunión datos inicial	2	2	2
3	INVESTIGACIÓN TECNOLOGÍA EÓLICA	23	2	0
3.1	Búsqueda de información sobre eólica	7		
3.2	Cálculos estimación potencial eólico	13	2	
3.3	Análisis de bases de datos eólica	3		
4	INVESTIGACIÓN TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA	17	2	0
4.1	Búsqueda de información sobre fotovoltaica	7	1	
4.2	Cálculos estimación potencial fotovoltaico	5	1	
4.3	Análisis de bases de datos fotovoltaica	5		
5	CÁLCULOS DEL PROYECTO	45	8	2
5.1	Formación en el uso de Microsoft Excel	8		
5.2	Cálculo demanda energética	5	1	
5.3	Cálculos producción energía eólica	12	3	
5.4	Cálculos producción energía fotovoltaica	4		
5.5	Representación gráfica resultados obtenidos	10		
5.6	Análisis de resultados	4	2	
5.7	Reunión revisar resultados obtenidos	2	2	2
6	INVESTIGACIÓN EJECUCIÓN PROYECTO	27	3	0
6.1	Análisis de distintas alternativas	6	1	
6.2	Estudio inventario ambiental zona seleccionada	12		
6.3	Análisis impacto ambiental del proyecto	9	2	
7	INFORME DEL PROYECTO	113	0	0
7.1	Redacción de la memoria del proyecto	98		
7.2	Elaboración de análisis de viabilidad	9		
7.3	Elaboración de un presupuesto	6		
HORAS TOTALES		300	28	9

Tabla 2 - Cuadro de precios de la mano de obra

Nº	CÓDIGO	DESIGNACIÓN	PRECIO (€)	HORAS (h)	TOTAL (€)
1	MOII	Mano de Obra Ingeniero Industria	15,40 €	300	4.620,00 €
2	MOT	Mano de Obra Tutor	22,58 €	28	632,24 €
3	MOC	Mano de Obra Cotutor	22,58 €	9	203,22 €
TOTAL MANO DE OBRA			5.455,46 €		

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

Tabla 3 - Coste de la mano de obra desglosado

Nº	DESIGNACIÓN	PRECIO (€)	HORAS (h)	TOTAL (€)
1	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO		34	609,76 €
1.1	<i>Reuniones para establecer bases del proyecto</i>		9	181,68 €
	MOII	15,4	3	46,20 €
	MOT	22,58	3	67,74 €
	MOC	22,58	3	67,74 €
1.2	<i>Búsqueda de trabajos relacionados</i>		14	229,96 €
	MOII	15,4	12	184,80 €
	MOT	22,58	2	45,16 €
1.3	<i>Recogida de datos iniciales</i>		5	77,00 €
	MOII	15,4	5	77,00 €
1.4	<i>Reuniones para revisar base del trabajo</i>		6	121,12 €
	MOII	15,4	2	30,80 €
	MOT	22,58	2	45,16 €
	MOC	22,58	2	45,16 €
2	INVESTIGACIONES TEÓRICAS INICIALES		61	996,84 €
2.1	<i>Formación sobre el tema a tratar</i>		21	344,94 €
	MOII	15,4	18	277,20 €
	MOT	22,58	3	67,74 €
2.2	<i>Búsqueda de documentos relacionados</i>		14	222,78 €
	MOII	15,4	13	200,20 €
	MOT	22,58	1	22,58 €
2.3	<i>Consulta bases de datos sobre normativas</i>		11	169,40 €
	MOII	15,4	11	169,40 €
2.4	<i>Estudio panorama actual distintas tecnologías</i>		9	138,60 €
	MOII	15,4	9	138,60 €
2.5	<i>Reuniones para revisar reunión datos inicial</i>		6	121,12 €
	MOII	15,4	2	30,80 €
	MOT	22,58	2	45,16 €
	MOC	22,58	2	45,16 €
3	INVESTIGACIÓN TECNOLOGÍA EÓLICA		25	399,36 €
3.1	<i>Búsqueda de información sobre eólica</i>		7	107,80 €
	MOII	15,4	7	107,80 €
3.2	<i>Cálculos estimación potencial eólico</i>		15	245,36 €
	MOII	15,4	13	200,20 €
	MOT	22,58	2	45,16 €
3.3	<i>Análisis de bases de datos eólica</i>		3	46,20 €
	MOII	15,4	3	46,20 €
4	INVESTIGACIÓN TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA		19	306,96 €
4.1	<i>Búsqueda de información sobre fotovoltaica</i>		8	130,38 €
	MOII	15,4	7	107,80 €
	MOT	22,58	1	22,58 €
4.2	<i>Cálculos estimación potencial fotovoltaico</i>		6	99,58 €
	MOII	15,4	5	77,00 €
	MOT	22,58	1	22,58 €
4.3	<i>Análisis de bases de datos fotovoltaica</i>		5	77,00 €
	MOII	15,4	5	77,00 €

DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA

5	CÁLCULOS DEL PROYECTO		55	918,80 €
5.1	Formación en el uso de Microsoft Excel		8	123,20 €
	MOII	15,4	8	123,20 €
5.2	Cálculo demanda energética		6	99,58 €
	MOII	15,4	5	77,00 €
	MOT	22,58	1	22,58 €
5.3	Cálculos producción energía eólica		15	252,54 €
	MOII	15,4	12	184,80 €
	MOT	22,58	3	67,74 €
5.4	Cálculos producción energía fotovoltaica		4	61,60 €
	MOII	15,4	4	61,60 €
5.5	Representación gráfica resultados obtenidos		10	154,00 €
	MOII	15,4	10	154,00 €
5.6	Análisis de resultados		6	106,76 €
	MOII	15,4	4	61,60 €
	MOT	22,58	2	45,16 €
5.7	Reunión revisar resultados obtenidos		6	121,12 €
	MOII	15,4	2	30,80 €
	MOT	22,58	2	45,16 €
	MOC	22,58	2	45,16 €
6	INVESTIGACIÓN EJECUCIÓN PROYECTO		30	483,54 €
6.1	Análisis de distintas alternativas		7	114,98 €
	MOII	15,4	6	92,40 €
	MOT	22,58	1	22,58 €
6.2	Estudio inventario ambiental zona seleccionada		12	184,80 €
	MOII	15,4	12	184,80 €
6.3	Análisis impacto ambiental del proyecto		11	183,76 €
	MOII	15,4	9	138,60 €
	MOT	22,58	2	45,16 €
7	INFORME DEL PROYECTO		113	1.740,20 €
7.1	Redacción de la memoria del proyecto		98	1.509,20 €
	MOII	15,4	98	1.509,20 €
7.2	Elaboración de análisis de viabilidad		9	138,60 €
	MOII	15,4	9	138,60 €
7.3	Elaboración de un presupuesto		6	92,40 €
	MOII	15,4	6	92,40 €
TOTAL MANO DE OBRA			5.455,46 €	

3. COSTE DEL HARDWARE

Previamente se citó que este proyecto ha sido elaborado en su mayor parte haciendo uso de herramientas informáticas, por lo que ha sido indispensable disponer de un ordenador portátil para llevar a cabo la realización del mismo. Para contabilizar el coste del hardware se ha considerado que tanto tutor como cotutor han hecho uso de un ordenador que les ha sido proporcionado por la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), por lo que estos no se contabilizarán a la hora de obtener los costes del hardware.

Dado que ordenador portátil empleado por el ingeniero industrial es un ordenador para uso personal, deberá financiarse la amortización de este equipo. Para calcular cual es el coste de depreciación que se incluirá con el coste del proyecto, se ha considerado una vida útil del ordenador portátil de 7 años y se ha tenido en cuenta que la duración del proyecto ha sido de 3 meses.

Como resultado se tiene una amortización del ordenador portátil de 3,57%. Este valor sirve para obtener el coste de Hardware de la elaboración de este proyecto, mostrado en la Tabla 4.

Tabla 4 - Cuadro de precios de hardware

Nº	PRODUCTO	CANTIDAD	COSTE *	AMORTIZACIÓN	DEPRECIACIÓN
1	Ordenador portátil MSI Prestige 15 A10SC-293XES Intel Core i7-10710U/32GB/1TB SSD/GTX	1	1.299,99 €	3,57%	46,41 €
TOTAL HARDWARE				46,41 €	

*En el coste del ordenador portátil ya viene incluido el Impuesto Sobre el Valor Añadido (IVA) del 21%, por lo que la depreciación también contendrá ese IVA del 21%.

4. COSTE DEL SOFTWARE

En este apartado se expondrá en la Tabla 5 los costes que han supuesto la adquisición de licencias anuales para poder hacer uso de distintos sistemas informáticos para poder realizar el proyecto. Dado que la duración de la realización del proyecto ha sido de 3 meses y no de un año, se incluirá un coste proporcional a la duración del proyecto del coste total que ha supuesto la adquisición de estas licencias.

No se ha hecho uso de las licencias gratuitas proporcionadas por la UPV ya que se ha buscado realizar un proyecto profesional y que pueda ser implementado en la realidad si así es deseado, lo cual no hubiera sido posible si se hubiese hecho uso de estos programas informáticos de manera gratuita.

Tabla 5 - Cuadro de precios de software

Nº	SOFTWARE	CANTIDAD	COSTE *	AMORTIZACIÓN	DEPRECIACIÓN
1	Licencia de Microsoft Office 365	1	99,00 €	25%	24,75 €
2	Licencia de Autocad 2022	1	2.342,00 €	25%	585,50 €
3	Cuenta Premiun TheWindPower	1	150,00 €	25%	37,50 €
TOTAL SOFTWARE			647,75 €		

*El coste de los distintos componentes de software ya incluye el IVA del 21%.

5. PRESUPUESTO FINAL

Finalmente, la Tabla 6 reúne todos los costes anteriormente citados: mano de obra, hardware y software. Junto con estos costes aparece el Presupuesto Base de Licitación (con el 21% de IVA ya incorporado).

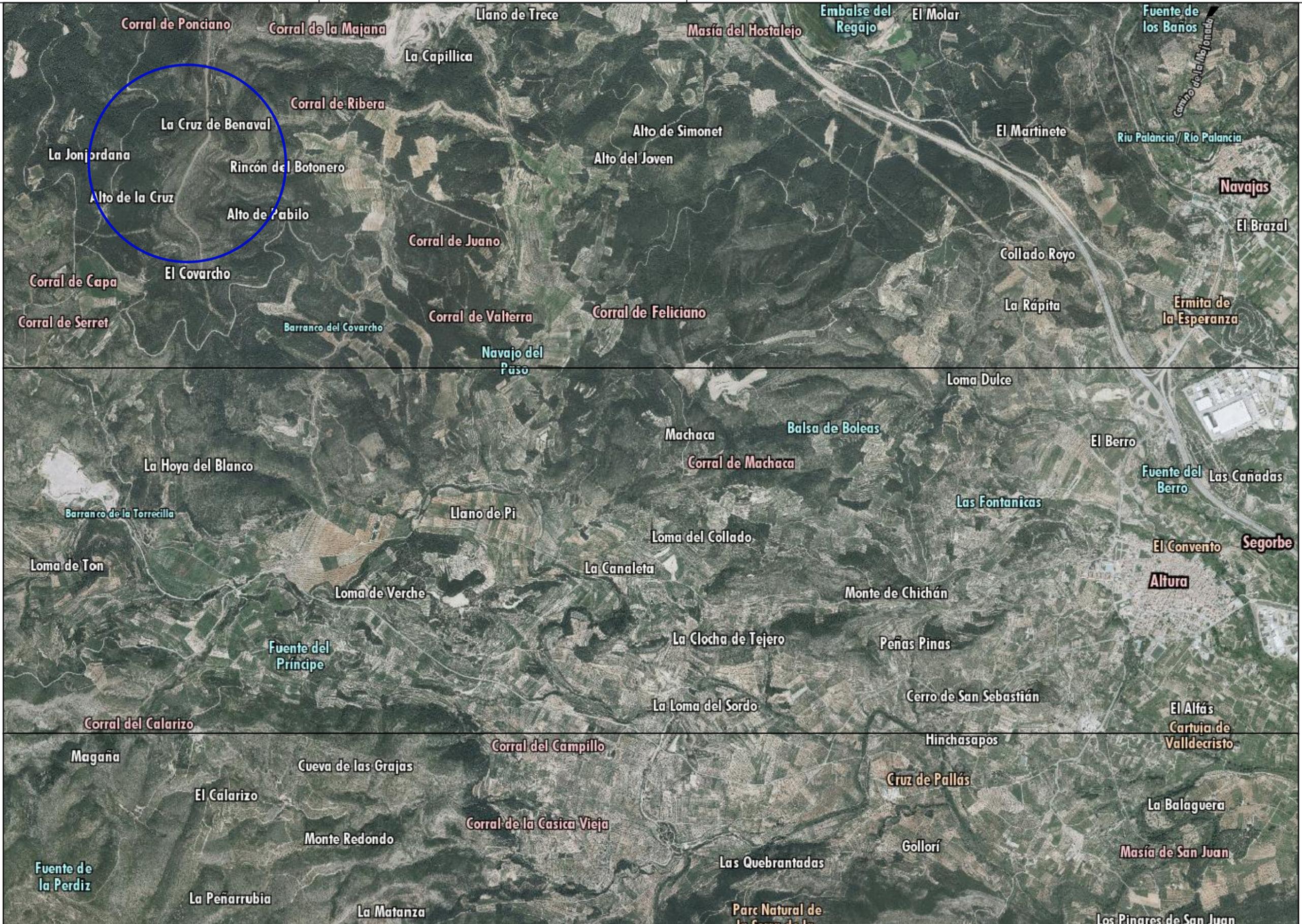
Tabla 6 - Presupuesto base de licitación

DESCRIPCIÓN	COSTE
COSTE MANO DE OBRA	5.455,46 €
COSTE HARDWARE	46,41 €
COSTE SOFTWARE	647,75 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	6.149,62 €
10% GASTOS GENERALES	614,96 €
6% BENEFICIO INDUSTRIAL	368,98 €
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA (PEC)	7.133,56 €
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN (+21% IVA)	8.631,61 €

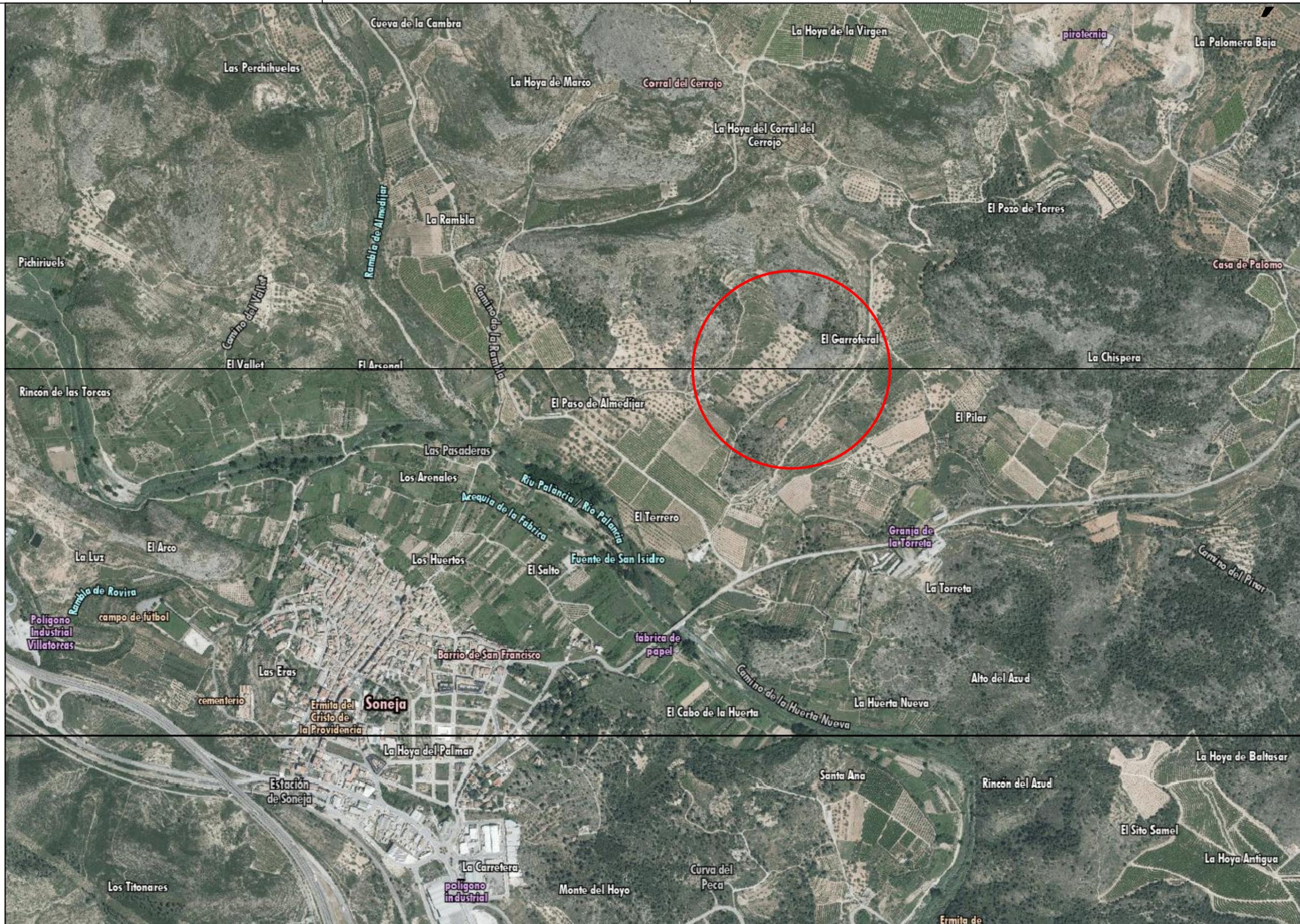
El coste final del presupuesto es de **OCHO MIL SEISCIENTOS TREINTA Y UN EUROS CON SESENTA Y UN CÉNTIMOS**.

**DISEÑO Y ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN
PARQUE EÓLICO Y FOTOVOLTAICO PARA LAS POBLACIONES DE GELDO Y SONEJA**

Documento nº 3:
ANEXO DE PLANOS









ZONA A

ZONA B

