

**D M P R**

---

HYBRID CONSULTING

**HIBRIDACIÓN DE PARQUE  
EÓLICO Y FOTOVOLTAICO**

**UN PROYECTO REALIZADO POR:**

DAVID FERIA CERVANTES

MARIA RODRÍGUEZ CASTAÑO

RODRIGO ROJAS ALBENGRIN

PATRICIA MORENO ESTEBANÉ

**TUTOR:**

IGNACIO LÁINEZ ARACAMA

## ÍNDICE

1. RESUMEN .....	7
2. INTRODUCCIÓN .....	7
3. OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	9
4. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD .....	9
4.1 Repotenciación .....	10
4.1.1 Ventajas de la Repotenciación .....	10
4.2 Hibridación .....	10
4.2.1 Ventajas de la Hibridación.....	11
5. NORMATIVA .....	12
5.1 Normativa Local .....	12
5.2 Normativa Autonómica .....	12
5.3 Normativa Estatal .....	12
6. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO.....	13
6.1 Condiciones Climáticas .....	14
6.2 Áreas Protegidas .....	15
6.3 Montes de Utilidad Pública.....	17
6.4 Áreas Importantes para la Conservación de Aves y su Diversidad .....	17
6.5 Parque Eólico de Tarifa.....	18
7. BASE DE DATOS Y PRODUCCIÓN .....	18
7.1 Base de Datos .....	18
7.2 Producción.....	19
8. SELECCIÓN DEL DISEÑO.....	20
9. DISEÑO DE LA PLANTA HÍBRIDA Y REPOTENCIACIÓN .....	21
9.1 Diseño de la Planta Eólica Repotenciada.....	21
9.2 Diseño de la Planta Fotovoltaica .....	24
9.2.1 Componentes del Sistema Fotovoltaico.....	25
9.2.2 Criterios de Diseño.....	26
9.2.3 Dimensionamiento de la Planta .....	27
9.2.4 Características Técnicas de la Planta Solar Fotovoltaica .....	27
9.2.5 Configuración Eléctrica .....	28
9.2.5 Obra Civil.....	28
9.3 Planta Híbrida.....	29
10. INVERSIÓN DE LA PLANTA HÍBRIDA (CAPEX, COPEX Y LCOE).....	30

11. ANÁLISIS DEL POTENCIAL USO DE BATERIAS .....	31
12. BASES FUNDACIONALES Y OPERATIVAS DE LA CONSULTORA.....	34
12.1 Servicios de DMPR Hybrid Consulting.....	34
12.1.1 Cotización de los Servicios .....	35
12.2 Financiación de la Empresa.....	35
12.3 Proyección de la Empresa.....	36
13. CONCLUSIONES.....	37
14. ANEXOS.....	38
15. BIBLIOGRAFÍA.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Localización del Proyecto.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 2: Diagrama Climático de Tarifa .....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 3: Localización del Parque Natural del Estrecho.....</b>	<b>15</b>
<b>Figura 4: Zonificación del Parque Natural del Estrecho .....</b>	<b>16</b>
<b>Figura 5: Red Natura 2000 .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 6: Montes de Utilidad Pública .....</b>	<b>17</b>
<b>Figura 7: Áreas Importantes para Conservación de Aves y su Biodiversidad (IBA) .....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 8: Curva de Potencia del Aerogenerador DESA A300.....</b>	<b>18</b>
<b>Figura 9: Características Principales del Fabricante V150.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 10: Distribución Óptima de las Turbinas en el Emplazamiento .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 11: Principio de Funcionamiento Instalación FV.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 13: Ubicación de las Partes del Planta Hibridación .....</b>	<b>30</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Coordenadas del Emplazamiento .....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 2: Comparativa LCOE y Beneficio para Seleccionar el Diseño Final .....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 3: Ejemplo Parámetros para Realizar la Comparativa de LCOE .....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 4: Resultados anuales OpenWind. ....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 5: Consideraciones de Partida.....</b>	<b>27</b>
<b>Tabla 6: Consideraciones de Partida.....</b>	<b>28</b>
<b>Tabla 7: Resumen Ejecutivo .....</b>	<b>31</b>
<b>Tabla 8: Excedentes diarios totales del mes de enero .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 9: Excedentes de Energía Mensuales .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabla 10: Presupuesto y Capacidad de Diferentes Sistemas de Almacenamiento .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 11: Años de Amortización de Diferentes Sistemas de Almacenamiento .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 11: Honorarios de los Servicios Ofrecidos .....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 12: Inversión Inicial de DMPR Hybrid Consulting.....</b>	<b>36</b>

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1: Comparación entre la Curva Original del Aerogenerador V150 4 MW y la Curva Adaptada por el OpenWind .....</b>	<b>19</b>
<b>Gráfico 2: Producción Anual de la Planta Solar .....</b>	<b>25</b>
<b>Gráfico 3: Rendimiento Anual de la Planta Solar .....</b>	<b>25</b>
<b>Gráfico 4: Crecimiento Esperado de DMPR Hybrid Consulting .....</b>	<b>36</b>

## 1. RESUMEN

El presente Trabajo Final del Máster en Energías Renovables y Mercado Energético desarrolla conceptualmente la creación de una empresa de servicios de consultoría dedicada al:

- Tratamiento de datos y su análisis, estudio de la normativa aplicable y realización de proyectos de hibridación y repotenciación de plantas de generación de energía renovable.
- Aprovechando el nuevo nicho de mercado que tiene un gran potencial a nivel mundial en emplazamientos con buen recurso/retribución para la generación de electricidad a partir de la energía eólica y/o solar.

En este TFM se va a realizar un proyecto tipo de hibridación y repotenciación para un parque eólico, hibridando con energía solar fotovoltaica, ubicado este en Tarifa, dentro de la provincia de Cádiz. Además, se va a fundar una consultora con unas bases operativas específicas, las cuales se expondrán más adelante.

El proyecto consta de dos partes:

1. Estudio de potencial eólico: tratamiento de datos y normativa, estudios del viento con el programa OpendWind; Estudio de potencial solar: basado en el PVsyst,
2. Dimensionamiento de la hibridación, en el que se analizarán comparativamente la producción horaria anual de las diferentes tecnologías en hojas de cálculo y se va a realizar el diseño de la planta híbrida y repotenciada en el emplazamiento de Tarifa. Incluyendo el estudio de optimización de LCOE, Capex y Opex para posteriormente realizar un estudio de inversión del proyecto.

## 2. INTRODUCCIÓN

El mercado de las energías renovables crece a un ritmo acelerado a nivel mundial. A pesar de la pandemia Covid-19 y la crisis económica que nos azota, en el mundo se instalaron 260 GW en el año 2020, un 50% más de crecimiento respecto al año 2019. Más del 80% de la nueva capacidad eléctrica fue renovable en el 2020 de los cuales la energía eólica y solar representan el 91%.

Poniendo el foco en la potencia instalada de energías renovables en el mundo, se ha alcanzado casi 2.800 GW en 2020, un 10% más respecto a los 2.538 GW acumulados del año 2019. Un tercio de esta potencia mundial se concentra en China con unos 895 GW instalados. El siguiente país sería Estados Unidos con 292 GW, al cual le siguen Brasil con más de 150 GW, India superando los 134 GW, Alemania con 131 GW, Japón con poco más de 101 GW, Canadá con un 101 GW pero por debajo de Japón y ya aparecería España con 59 GW entrando en la lista del top ten en el número 8 a nivel mundial.

Centrándonos por tipos de tecnologías, en eólica España estaría en el quinto puesto con 27.089 MW, solo superado por China (casi 282 GW), EEUU (117,7 GW), Alemania (62.184 MW) e India (38.559 MW).

En cuanto a la tecnología solar, España está en el puesto número once con 11.785 MW, superado por China (253 GW), EEUU (73.814 MW), Japón (67.000 MW), Alemania (53.781 MW), India (38.983 MW), Italia (21.594 MW), Australia (17.625 MW), Vietnam (16.504 MW), Corea del Sur (14.575 MW) y Reino Unido (13.563 MW).

Todo este crecimiento se debe en gran parte a la agresiva política de descarbonización de la mayoría de los países para cumplir con los objetivos de la Cumbre de París de 2015 (COP 21) en la cual, 195 Gobiernos adoptaron un acuerdo histórico para limitar el calentamiento global a menos de dos grados Celsius y hacer esfuerzos para mantenerse dentro del límite de 1,5°C respecto a la temperatura de la era preindustrial y no superar los 2°C. Los objetivos para conseguir esta limitación deberán cumplirse mediante acciones nacionales voluntarias, y aumentando el flujo de financiación desde países desarrollados a países en vías de desarrollo.

Los compromisos de los países son los siguientes:

- La UE se compromete a reducir los GEI (Gases de Efecto Invernadero) un 40% respecto a las emisiones de 1990.
- EEUU reducirá entre un 26% - 28% los GEI en 2025 sobre las emisiones de 2005.
- China se compromete a limitar su pico de emisiones antes de 2030 y después a reducir los GEI de forma drástica.
- India se compromete a reducir sus emisiones en un 33% - 35% en 2030 respecto a las de 2005.
- Los países desarrollados inyectarán 100.000 M\$ anuales a partir de 2020 para países en desarrollo, cantidad que se revisará en 2025.

En 2016 Europa presenta un conjunto de medidas para cumplir con los compromisos de la cumbre de París denominado "Clean Energy for all Europeans" por lo que todos los países miembros tienen que hacer políticas para conseguir los objetivos de Europa, en el caso de España se ha realizado el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC). En él se adoptan diferentes medidas y compromisos, los cuales son revisados por Europa aceptando si es conveniente para conseguir el objetivo común europeo.

Observando la importancia política en las energías renovables y su crecimiento, se cree conveniente trabajar en el siguiente sector. La forma en la que vamos a entrar en él es creando una consultoría, dando apoyo en normativa y realización de proyecto a las empresas en el ámbito de la hibridación y repotenciación.

Existe una amplia variedad de países que presentan buenos recursos tanto eólicos como solares y, por tanto, donde proyectos de hibridación de estas dos tecnologías tendrían futuro. Las zonas geográficas con

mayor potencial mixto son Norte América, el este de América del Sur, el este de Europa y el sureste de Asia.

Concretamente, España se presenta como un futuro candidato donde instalar plantas híbridas eólico-fotovoltaicas sea muy eficiente. Esto se debe al elevado recurso tanto eólico como solar que existe, a la capacidad de energía eólica instalada y a la regulación de hibridación gracias al Real Decreto 23/2020 y al RD 1183/2020.

### 3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

- En el presente proyecto, la misión y visión que tenemos como empresa se traduce en los siguientes objetivos:
- Crear una consultora entrando en el mercado de las energías renovables dando apoyo en normativa y en el desarrollo del proyecto, ya sea en alguna de sus partes o en su totalidad. Los servicios que se van a ofrecer a pequeñas y medianas empresas son proyectos de hibridación y repotenciación para aprovechar al máximo los recursos naturales de los emplazamientos futuros, como los que están ya en operación.
- Gestión de la empresa de consultoría: desde el punto de vista financiero, servicios a ofrecer, inversión a realizar y proyección futura de la consultoría.
- Estudiar la viabilidad de nuevos proyectos, como en este caso, híbridos en aquellos emplazamientos donde los recursos tienen curvas muy complementarias, además de analizar el terreno en el que se implantarán las instalaciones con el fin de optimizar los recursos necesarios para la puesta en marcha del proyecto.
- Diseñar de forma óptima este tipo de sistemas gracias a las bases de datos que están a nuestra disposición: potencia idónea de cada planta, equipos más eficientes y diseño de la planta.
- Estimar la producción energética del sistema híbrido diariamente y a lo largo del año.
- Analizar los costes económicos y financieros, así como la rentabilidad que supone la ejecución de proyectos híbridos.

### 4. DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

La actividad que se llevará a cabo en este Proyecto es, por un lado, repotenciar un parque eólico de Tarifa, sustituyendo los aerogeneradores del parque que se encuentra en estado de explotación, para producir energía eléctrica a partir de energía eólica de manera más eficiente.

Por otro lado, se llevará a cabo la integración de una planta solar fotovoltaica en el mismo emplazamiento donde se sitúa el parque eólico de Tarifa, para seguir produciendo energía eléctrica en este caso, a partir de energía fotovoltaica.

#### 4.1 Repotenciación

La evolución de los aerogeneradores en los últimos años es muy importante. Actualmente, los aerogeneradores que se suelen utilizar, tanto en la construcción de nuevos parques como en la repotenciación, son de más de 4 MW de potencia. Son aerogeneradores de mucha más envergadura, con altura de las góndolas mayores y dimensiones de las palas que se multiplican por tres y cuatro veces las de hace 15-20 años.

Esto ha supuesto mayor área de barrido de los aerogeneradores, lo que implica, captar mayor energía. Por eso, el número de aerogeneradores de los parques actuales puede disminuir notablemente, necesitando sólo una décima parte de ellos si utilizamos los nuevos y modernos aerogeneradores.

Así, la repotenciación consiste en renovar la flota de aerogeneradores de una zona, estos al ser de mayor potencia liberaría espacio y se necesitaría menor número de máquinas para un mismo punto de acceso y conexión. La repotenciación sería conveniente para emplazamientos con tecnologías muy antiguas u obsoletas.

##### 4.1.1 Ventajas de la Repotenciación

- Aprovechamiento de los emplazamientos de elevado recurso, maximizando la producción del parque eólico gracias a la eficiencia de los nuevos aerogeneradores.
- Reducción de gastos de mantenimiento debido a que las máquinas pequeñas con mucha antigüedad tienen un desgaste importante, requiriendo un mayor coste de O&M y a que el número de aerogeneradores en el parque disminuye considerablemente y, por tanto, los fallos e incidencias se reducen.
- Mejora de la integración a la red eléctrica gracias a la instalación de aerogeneradores con mejor conexión a red.
- Mejora de la incidencia ambiental, es decir, menor impacto visual al disminuir el número de aerogeneradores.

#### 4.2 Hibridación

El concepto de hibridación se define como la combinación de dos o más fuentes de origen renovable en el mismo área de generación para producir energía.

- La evacuación de energía de las diferentes tecnologías se realizará desde la misma subestación interna del parque y en un mismo punto de conexión a la red.
- El control y monitorización de la planta híbrida se llevará a cabo desde un sistema de control y monitorización común.
- El valor resultante de la suma de los módulos de generación que componen la instalación podrá ser superior a la potencia máxima de acceso a la red permitida para la misma. En estos casos, la potencia máxima que se proporcione no podrá superar la potencia máxima asignada en el punto de conexión.
- El sector de las energías renovables está en continuo proceso de mejora, con el fin de aumentar la eficacia y competitividad. Una de las mejoras en el sector se sitúa en la suma del potencial de recursos renovables en un mismo emplazamiento.

#### 4.2.1 Ventajas de la Hibridación

Las principales ventajas que presentan los proyectos híbridos son las siguientes:

- Disminución de solicitudes de puntos de acceso y conexión. Las plantas híbridas tendrán mayor factor de capacidad debido a que las curvas de carga de las diferentes tecnologías que complementarán.
- Los plazos de conexión y puesta en marcha de las nuevas plantas se aceleran en los casos en los que la hibridación no suponga un aumento de la potencia y, por tanto, no haya que solicitar un nuevo punto de acceso.
- Mejora de la calidad y estabilidad del suministro garantizándose la potencia en el punto de suministro, ya que cuando un recurso no se encuentra disponible, se complementa con el que si lo está.
- Mejor aprovechamiento del terreno donde se sitúa el proyecto y, simultáneamente, reducción del impacto ambiental.
- Optimización en el uso de infraestructuras eléctricas (líneas, subestaciones, transformadores). Además, esto implica mejora optimización en las tareas de Operación y Mantenimiento, y por consiguiente, en Capex.

## 5. NORMATIVA

### 5.1 Normativa Local

- Plan General Municipal de Ordenación (PGOU) del Ayuntamiento de Tarifa, Cádiz.

Descripción de la Normativa Urbanística y Ordenanzas Municipales del Ayuntamiento de Tarifa.

### 5.2 Normativa Autonómica

- Ley 7/2002, de 17 de diciembre, de Ordenación Urbanística de Andalucía (LOUA).

Ley de contenido urbanístico en la Comunidad Autónoma. Esta ley persigue un desarrollo sostenible de la ciudad y tiene como objetivos configurar un modelo de ciudad en Andalucía, garantizar suelo suficiente para viviendas protegidas y reforzar los deberes de edificación, conservación y rehabilitación para mejorar la ciudad existente.

- Decreto 2/2013, de 15 de enero, por el que se modifica el Decreto 169/2011, de 31 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Fomento de las Energías Renovables, el Ahorro y la Eficiencia Energética en Andalucía.

### 5.3 Normativa Estatal

- Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica.

Contempla la posibilidad de que los titulares de instalaciones de generación con permisos de acceso y conexión concedidos y en vigor, hibriden las mismas mediante la incorporación de módulos de generación de electricidad que utilicen fuentes de energía primaria renovable o mediante la incorporación de instalaciones de almacenamiento, pudiendo evacuar la energía eléctrica producida *“utilizando el mismo punto de conexión y la capacidad de acceso ya concedida”*.

- Real Decreto 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.

Se habilita la hibridación y se permite instalar más potencia de la que se puede evacuar en un momento dado tanto si se hace hibridando tecnologías como si se realiza con la misma tecnología de generación.

- Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.
- Orden IET/1045/2014, de 16 de junio, por la que se aprueban los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

- 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.

Establece los derechos y obligaciones de estas instalaciones, así como las particularidades de su funcionamiento en el mercado y los procedimientos relativos a la inscripción en los correspondientes registros administrativos.

- Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental.

Describe el régimen jurídico de la evaluación ambiental de planes y programas, así como de proyectos, según la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental.

- Circular 1/2021, de 20 de enero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, por la que se establece la metodología y condiciones del acceso y de la conexión a las redes de transporte y distribución de las instalaciones de producción de energía eléctrica.
- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Se establece un sistema de compensación económicas a través de las primas. Fue la primera norma en hablar de repotenciación, entendiéndose como repotenciación “una modificación sustancial cuyo objeto sea la sustitución de sus aerogeneradores por otros de potencia mayor, en unas condiciones determinadas”.

- Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica Conectadas a Red del IDEA.

## 6. DESCRIPCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

El parque eólico escogido para la realización del proyecto de repotenciación e hibridación con una planta fotovoltaica se sitúa en el término municipal de Tarifa, en la comarca del Cabo de Gibraltar, en la provincia de Cádiz.

Las coordenadas geográficas de referencia de la ubicación del Proyecto son las siguientes:

TABLA 1: COORDENADAS DEL EMPLAZAMIENTO

	<b>Coordenadas Geográficas</b>
Latitud	36° 0' 35,9"
Longitud	-5°, 35' 59,9"

La siguiente imagen ilustra su ubicación:



FIGURA 1: LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

### 6.1 Condiciones Climáticas

El clima de Tarifa es de tipo Mediterráneo, con influencias oceánicas. Es un clima templado, con temperaturas que son suaves y suelen ser regulares todo el año, precipitaciones poco abundantes y elevada humedad.

La temperatura media anual es de 17,2 °C. Respecto a las precipitaciones, estas tienen mayor presencia entre los meses de octubre a abril, con una media de 590,6 mm/año [6]. Los meses de veranos son los más secos en el municipio de Tarifa, coincidiendo las temperaturas más altas en los meses en los que apenas hay precipitaciones.

La zona donde se ubica el Proyecto se caracteriza por la presencia de dos tipos de vientos, el que sopla desde el oeste, que es más suave y se denomina poniente, y el viento que procede del este, que es un viento más caliente y turbulento, y se denomina levante. Este último es el viento más dominante de la zona.

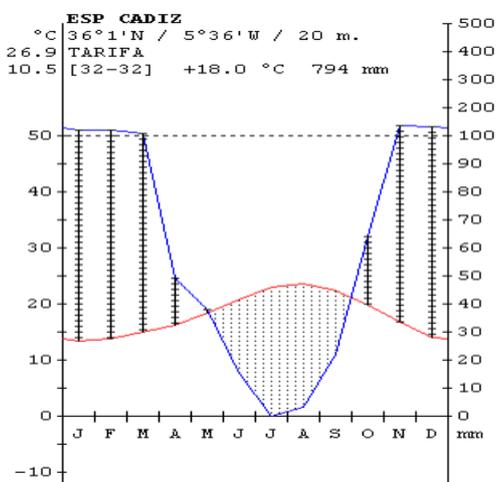


FIGURA 2: DIAGRAMA CLIMÁTICO DE TARIFA [5]

## 6.2 Áreas Protegidas

El emplazamiento de interés es muy sensible en cuanto al gran número de Áreas Protegidas que se encuentran a su alrededor. A destacar resulta el Parque Natural del Estrecho, que se sitúa alrededor de 25 km de nuestra ubicación (representado por el triángulo color magenta).



FIGURA 3: LOCALIZACIÓN DEL PARQUE NATURAL DEL ESTRECHO

Tarifa se sitúa en la zona norte del Parque Natural del Estrecho, que se encuentra entre el océano Atlántico y el mar Mediterráneo. Este Parque Natural es de suma importancia debido a su gran riqueza natural.

Los vientos de levante y poniente son muy determinantes en esta zona, ya que son principales causante de la configuración del terreno y han definido las rutas migratorias de las aves y construido dunas. Además, la fuerza del viento en esta zona ha sabido ser aprovechada por la especie humana para generar energía limpia.

El Parque Natural se ha dividido en diferentes zonas gracias al PORN (Plan de Ordenación de Recursos Naturales) para regular los usos y las actividades que pueden darse en el interior de este. Se habla así de zonificación y existen tres zonas:

- Zonas de protección A o zonas de reserva: existen recursos naturales y culturales de gran valor, y están prohibidas las actividades humanas. Incluye dos áreas:
  - La zona A1 incluye espacios naturales
  - La zona A2 incluye espacios culturales costeros

- Zonas de protección B o zonas de regulación especial: áreas con gran valor ambiental y de alto nivel de conservación de los recursos tanto naturales como culturales. Estas zonas apenas han sido modificadas por la acción humana. Se diferencian tres tipos de áreas:
  - La zona B1: presencia de especies endémicas o amenazadas y posibilidad de regeneración del hábitat.
  - La zona B2: espacios serranos de interés naturalístico y paisajístico. Es factible la reforestación con especies autóctonas.
  - La zona B3: espacios costeros y serranos con instalaciones destinadas a la Defensa Nacional.
- Zonas de protección C o zonas de regulación común: áreas con un alto grado de antropización, en las que se pueden apreciar modificaciones importantes del medio.

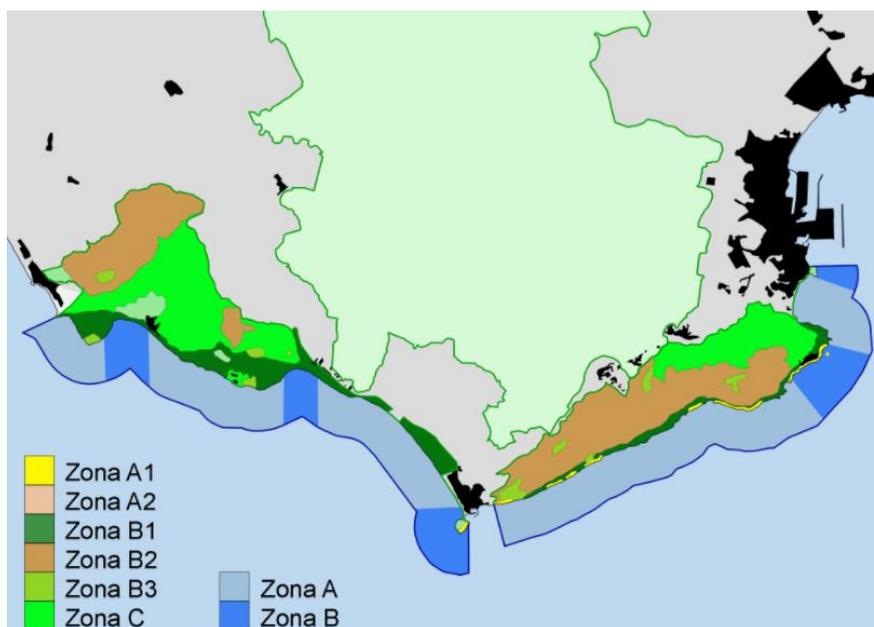


FIGURA 4: ZONIFICACIÓN DEL PARQUE NATURAL DEL ESTRECHO

El Parque Natural pertenece a la Red Natura 2000 y cuenta además con figuras de protección como el Lugar de Interés Comunitario (LIC) y el Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA).



FIGURA 5: RED NATURA 2000 [8]

De suma importancia es la figura de SEO/Birdlife en esta zona de Cádiz para la protección de las aves ya que “el sitio es un importante cuello de botella migratorio, por el que pasan regularmente más de 20.000 cigüeñas y aves rapaces, incluidas (las cifras son totales estacionales) *Pernis apivorus* (8.000-11.500 aves), *Milvus migrans* (45.000-60.000), *Circaetus gallicus* (4.000), *Buteo buteo* (3.000) y *Hieraaetus pennatus* (4.000)”.

### 6.3 Montes de Utilidad Pública

Como podemos observar en la siguiente imagen, encontramos Montes de Utilidad Pública regulados por la Ley 2/1992 Forestal de Andalucía alrededor del emplazamiento del PE Tarifa, sobre todo, al sur y oeste.

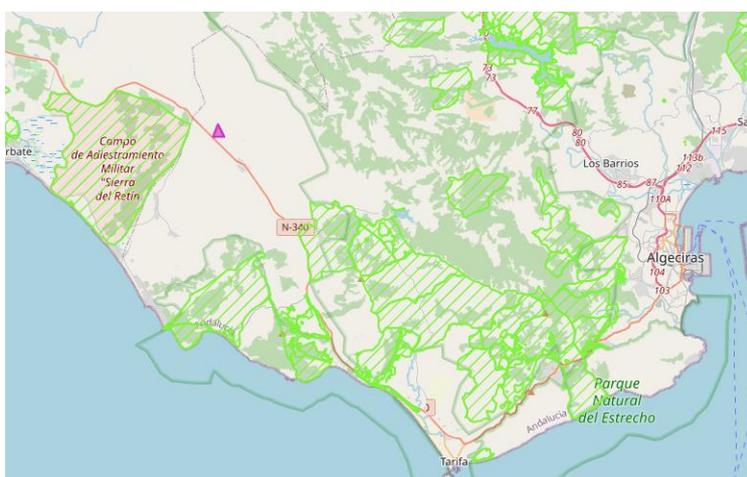


FIGURA 6: MONTES DE UTILIDAD PÚBLICA [9]

### 6.4 Áreas Importantes para la Conservación de Aves y su Diversidad

Como podemos observar en la siguiente imagen, el parque eólico se encuentra en una de las Áreas Importantes para la Conservación de Aves y la Diversidad en España (IBA). Concretamente en la IBA 250, denominada La Janda.



FIGURA 7: ÁREAS IMPORTANTES PARA CONSERVACIÓN DE AVES Y SU BIODIVERSIDAD (IBA) [10]

## 6.5 Parque Eólico de Tarifa

El Parque Eólico de Tarifa tiene una potencia instalada de 30 MW y cuenta con 100 aerogeneradores instalados. Las turbinas que se utilizaron fueron las DESA A300, de 300 kW de potencia.

Estos aerogeneradores tienen un diámetro de rotor de 30 m y una altura de la góndola de 30 m. Respecto al área de barrido, es de 707 m<sup>2</sup> y su densidad de potencia, de 2,36 m<sup>2</sup>/kW. [11]

El tipo de generador es asíncrono. La curva de potencia del aerogenerador es la siguiente:

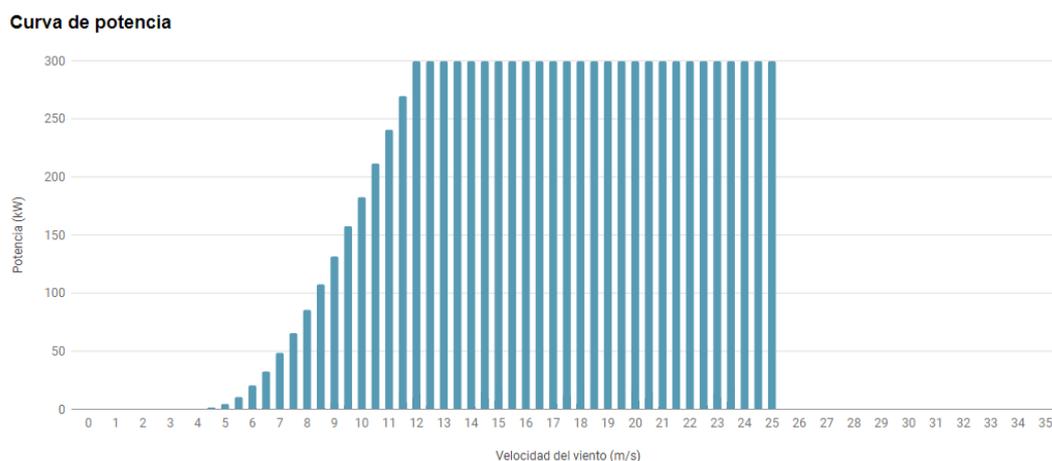


FIGURA 8: CURVA DE POTENCIA DEL AEROGENERADOR DESA A300

## 7. BASE DE DATOS Y PRODUCCIÓN

### 7.1 Base de Datos

Para el desarrollo del presente proyecto se ha hecho un análisis de las características de la zona y datos técnicos tanto de radiación como de viento, con datos históricos desde el año 2005 al 2016 y con un

intervalo de una hora. Las características de la zona del proyecto analizadas han sido la elevación, caminos o carreteras, ríos y poblaciones a partir del portal de la Junta de Andalucía.

Para caracterizar el viento se ha considerado datos como la velocidad de viento, temperatura, presión de superficie y ángulo de dirección la zona a una altura de 105 metros. Estos datos han sido obtenidos en el portal de Copernicus para estudiarlos y analizarlos de forma exhaustiva e introducirlos en el programa OpenWind con la finalidad de obtener un diseño óptimo del parque eólico repotenciado.

Para el estudio de la radiación, se ha utilizado el programa PVGIS para obtener las variables de la irradiancia global, altura del sol, temperatura del aire y la velocidad del viento a 10 metros.

## 7.2 Producción

Para hallar la producción de la eólica y de la fotovoltaica se ha seleccionado el año 2015 ya que es el que presentaba el menor error cuadrático. Este se ha obtenido hallando los promedios anuales y comparando con el promedio total de los 12 años (ver Anexo 1).

La producción del parque eólico que tenemos para este proyecto es de 89.835 MW anuales con 3.208 horas equivalentes de funcionamiento del parque. Para obtener estos valores nos apoyamos del programa Openwind para conocer la cantidad de energía producida al año, la curva de potencia y las horas equivalentes del parque eólico. Estos resultados han permitido adaptar la curva de potencia de la V150. Teniendo en cuenta las respectivas pérdidas del parque, se han obtenido los datos de la curva de potencia y las horas equivalentes.

El siguiente gráfico muestra la comparativa de la nueva curva de potencia con respecto a la original (ver Gráfico 1):

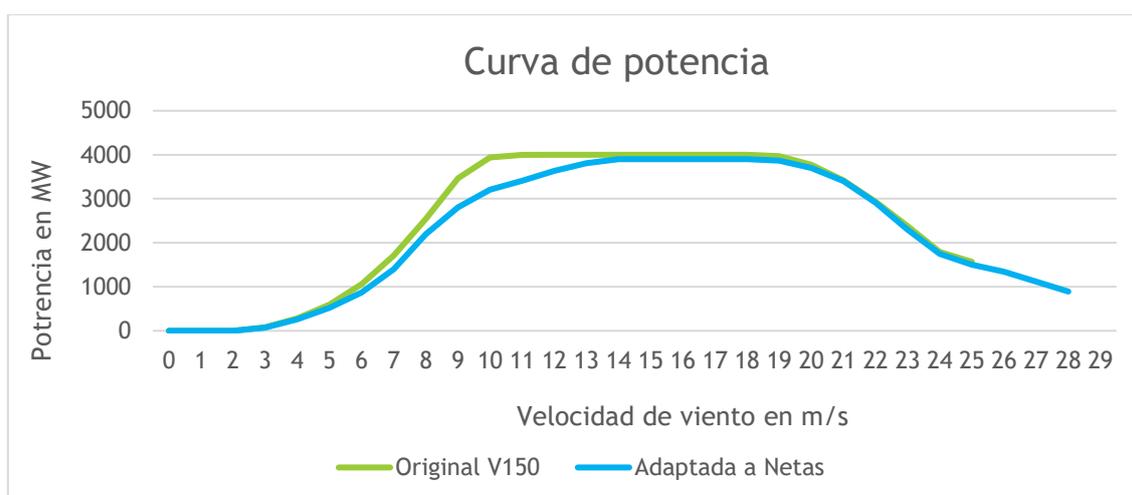


GRÁFICO 1: COMPARACIÓN ENTRE LA CURVA ORIGINAL DEL AEROGENERADOR V150 4 MW Y LA CURVA ADAPTADA POR EL OPENWIND.

En el caso de la fotovoltaica se ha analizado la producción según diferentes potencias: 1MW, 2,5MW, 5MW, 10 MW, 15 MW Y 20MW. Para averiguar dicha producción se ha utilizado el programa PVGIS y, además, se

han obtenido horas equivalentes (HEQ) hora a hora de la zona de estudio para 1 kW de potencia. Estos datos se han multiplicado por las potencias mencionadas anteriormente, con el siguiente diseño para el parque fotovoltaico: a seguimiento en un eje (2.068 HEQ) y el óptimo fijo a 32° (1.659 HEQ).

La selección del diseño de nuestro proyecto ha sido seleccionada a partir del parque eólico de 28 MW debido a que este diseño es para un parque híbrido.

## 8. SELECCIÓN DEL DISEÑO

En este apartado se va a estudiar que diseño es más óptimo para la planta híbrida de Tarifa, en base a la potencia instalada en eólica y en fotovoltaica, esta última tanto con seguimiento a un eje como de eje fijo. El eje fijo óptimo para la ubicación es 32° por lo que se realizará una comparativa de potencia eólica fija de 28 MW (7 aerogeneradores V150 de 4MW cada uno) con potencias de fotovoltaica tanto a eje fijo de 32° como con seguimiento a un eje. La potencia fotovoltaica comparadas para ambos tipos sería de 0, 1, 2,5, 5, 10, 15, y 20 MW.

Para decidir la potencia y configuración de la fotovoltaica para hibridar el parque eólico, se ha hecho una comparativa en base a la producción de energía, el Capex, el Opex, degradación de los paneles fotovoltaicos y del LCOE de cada tipo de combinación de ambas tecnologías con la ayuda de hojas de cálculo. Finalmente se seleccionará el diseño en base al LCOE más favorable (coste de producir un MWh) y los mayores ingresos obtenidos al final de la vida útil del parque.

El diseño final más favorable será 28 MW eólicos con 10 MW de fotovoltaica con seguimiento a un eje, el cual se justifica en la Tabla 2.

TABLA 2: COMPARATIVA LCOE Y BENEFICIO PARA SELECCIONAR EL DISEÑO FINAL

Híbrida	Eólica (MW)	28	28	28	28	28	28	28
	FV (MW)	0	1	2.5	5	10	15	20
PV Seguidor 1 eje	NPV 25 YEARS (M€)	14.53	14.88	15.41	16.26	<b>17.69</b>	18.94	19.79
	LCOE (€/MWh)	19.64	19.62	19.59	19.54	<b>19.53</b>	19.56	19.75
PV 32°	NPV 25 YEARS (M€)	14.53	14.76	15.10	15.62	16.37	17.09	17.46
	LCOE (€/MWh)	19.64	19.66	19.69	19.76	19.99	20.16	20.47

La selección se ha realizado en base al LCOE y el beneficio a 25 años más favorables. La planta elegida para el diseño final (resaltada en amarillo) es la que presenta el menor LCOE de todas, 19,53 €/MWh y alcanza un beneficio de 17,69 M€. Aunque no sea el mejor diseño en base al beneficio, si lo es respecto al LCOE y suponiendo que el contrato PPA de venta de energía es de 30 €/MWh, nos interesaría que nos costará lo mínimo posible producir un MWh.

La hibridación con fotovoltaica fija a 32° presenta unos LCOE superiores respecto a la de seguimiento a un eje, por ello queda directamente descartada. Se puede observar que conforme mayor potencia se instala, más caro nos cuesta producir un MWh.

El procedimiento para llegar a esta comparativa y estas conclusiones sería el siguiente:

Primero se ha realizado un sumatorio de la producción de ambas tecnologías hora a hora durante un año completo. Esta no puede exceder los 30 MW debido a que es lo máximo permitido de evacuación a red según el acceso y conexión que posee del emplazamiento. En el Anexo 2 se puede observar el comportamiento de la producción de un día de abundante recurso y, por lo tanto, los excedentes de energía que se pierde (ver Anexo 2).

Una vez que se sabe la producción, hay que calcular los Capex y Opex de cada tecnología y tener en cuentas los diferentes parámetros que nos van a permitir realizar el cálculo de los diferentes LCOE. Estos son los siguientes:

TABLA 3: EJEMPLO PARÁMETROS PARA REALIZAR LA COMPARATIVA DE LCOE

	<b>Eólica</b>	<b>Fotovoltaica</b>	<b>Híbrida</b>
Potencia (MW)	28	10	30
CAPEX (€/MW)	750.000,00 €	450.000,00 €	25.500.000,00 €
OPEX (€/MW/year)	15.000,00 €	8.000,00 €	500.000,00 €
Degradación (%)	0	0,5	-
Ratio KWh/KW	3.207,73	2.067,69	-
Tasa de descuento	4%		
PPA (€/MWh)	30		
Amortización (años)	25		

En la Tabla 3 se aprecia los parámetros utilizados para hacer la comparativa de los LCOE. Destacar que consideramos Capex y Opex diferentes según la tecnología fotovoltaica y que el correspondiente a la híbrida será la suma de los dos. También la degradación de los paneles fotovoltaicos (0,5%), la tasa de descuento (4%), el precio de venta de la energía (30 €/MWh) y la amortización que sería 25 años.

Finalmente, a partir de este punto se calcula el beneficio del proyecto durante la vida útil del parque y el LCOE para cada configuración. Este último nos indicará lo que nos cuesta producir un MWh, básicamente se dividen todos los costes del proyecto entre la producción anual de la electricidad, teniendo en cuenta la tasa de descuento y la vida útil de la planta híbrida.

## 9. DISEÑO DE LA PLANTA HÍBRIDA Y REPOTENCIACIÓN

En esta parte del proyecto se va a tratar primeramente la parte eólica, después la parte fotovoltaica y por último la hibridación de la planta.

### 9.1 Diseño de la Planta Eólica Repotenciada

El parque eólico existente en el emplazamiento estaba compuesto por 100 aerogenerador A300 de 300 KW de potencia por aerogenerador teniendo un total de 30 MW de potencia. Esta tecnología ya está obsoleta,

por ello se va a repotenciar con 7 máquinas V150 de 4 MW cada una, alcanzando una potencia total de 28 MW.

El proyecto de la parte eólica repotenciada se ha trabajado en OpenWind tal y como se ha explicado en el apartado 7 en la parte de base de datos y producción. Básicamente se introdujeron los datos del viento obtenidos de Copernicus en el programa, se realizó la simulación situando los aerogeneradores en las posiciones más óptimas. Se obtuvo la producción total anual del parque, la cual se usó para ajustar la curva de potencia de la V150 y obtener una curva adaptada. Esto nos permitió obtener la producción horaria anual y horaria con nuestros datos de viento y las pérdidas existentes de la parte eólica.

Los resultados y las pérdidas que nos aplican son los mostrados en la Tabla 4.

Tabla 4: Resultados anuales OpenWind.

<b>Ideal Energy [GWh]</b>	102,55
<b>Gross Energy [GWh]</b>	102,34
<b>Net Energy [GWh]</b>	99,69
<b>Capacity Factor [%]</b>	40,62
<b>Array Efficiency [%]</b>	97,41
<b>HEQ [h]</b>	3.560,37

En la Tabla 4 se muestra los resultados obtenidos de OpenWind teniendo en cuenta sólo las pérdidas por estelas (Array Efficiency, un 2,59 %) indicando que la producción es 99.690 MWh esto se traduce en 3.560,37 horas equivalentes.

A este resultado hay que aplicarle también pérdidas por eléctricas (2%), pérdidas por disponibilidad (2%) y 5% de pérdidas por sub-rendimiento, sumando un total de un 9%. Por ello nuestra producción anual sería 89.835 MWh y por lo tanto 3.208 horas equivalentes.

Las características de las turbinas V150 son las siguientes (Figura 9):

- Estas máquinas son de clase S.
- Tiene una potencia de 4MW.
- Su rotor es de 150 metros de diámetro y le permite barrer un área de 17.671,0 m<sup>2</sup>
- La altura de la torre es de 105 metros.
- Sistema pitch regulable.

- Rango de trabajo -30°C a 45°C.

Destacar que nos hemos puesto en contacto con el fabricante de turbinas VESTAS, el cual nos ha proporcionado la ficha de especificación del rendimiento de la V150. Además, nos ha confirmado que esta turbina de clase S se apta para instalarla en el emplazamiento de Tarifa.

General

IEC Class	S	Mean V [m/s]	10
Rated Capacity	4000 kW	TI@15 [%]	16
Peak Output	4000 kW	Voltage	690
Rotor Diameter	150 m		
Hub Height	105 m	<input checked="" type="radio"/> Pitch Regulated	
Cut-in Wind Speed	3 m/s	<input type="radio"/> Stall Regulated	
Cut-out Wind Speed	24.5 m/s	<input type="radio"/> Fixed Speed	
Number of Blades	3	<input checked="" type="radio"/> Variable Speed	
Rotor Is Tilted Back	5 degrees		
Low Temp Shutdown	-30 C	Restart at	-20
High Temp Shutdown	45 C	Restart at	30

FIGURA 9: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL FABRICANTE V150

Según el estudio en OpenWind, cada aerogenerador tiene diferentes valores de producción de estelas y factor de capacidad debido a su posición en el emplazamiento. Esto se muestra en el Anexo 3.

Para la distribución de los aerogeneradores se ha considerado: los parques naturales, carreteras y caminos, los ríos, la población, las estelas de las máquinas y las zonas de mejor viento. Todo ello se muestra a continuación en la Figura 10.

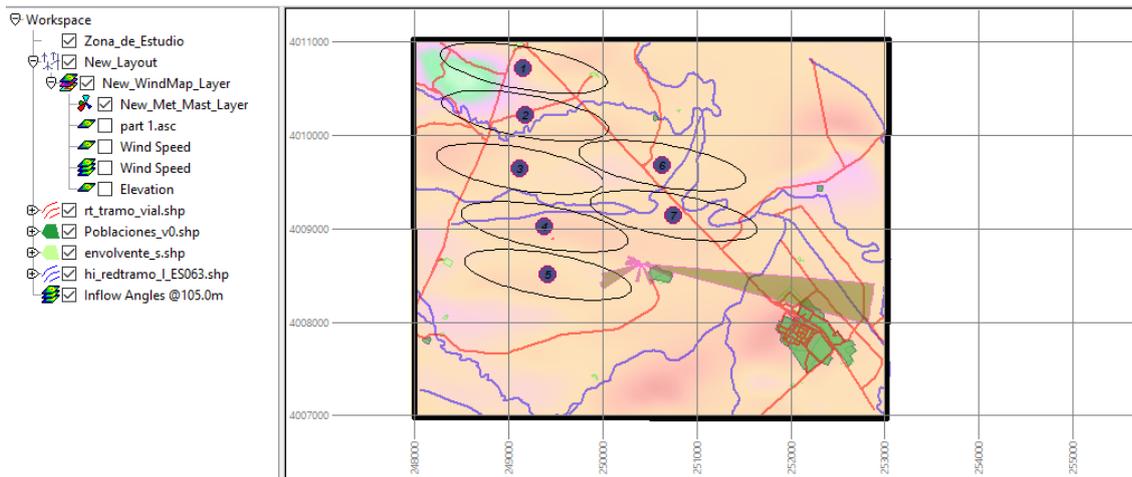


FIGURA 10: DISTRIBUCIÓN ÓPTIMA DE LAS TURBINAS EN EL EMPLAZAMIENTO

Las turbinas se han tratado de colocar de forma que se aproveche al máximo los caminos existentes, la forma más óptima es la mostrada en la Figura 10. Se ha tenido especial cuidado con el parque natural situado al extremo izquierdo del emplazamiento, así como el resto de los elementos del lugar nombrados anteriormente.

La rosa de los vientos del emplazamiento se puede observar en la Figura 10, la dirección predominante del viento en el lugar es de levante ya que el viento vendría mayormente desde el este hacia el oeste. En menor medida, tal y como indica la rosa del viento, vendrían también vientos de poniente, desde el oeste hacia el este.

## 9.2 Diseño de la Planta Fotovoltaica

La planta solar de Tarifa se encuentra en el término municipal de Tahivilla, concretamente al sur de la instalación del parque eólico de Tarifa, ocupará una superficie de alrededor de 10 hectáreas y tendrá una potencia instalada de 10 MW. El total de horas equivalentes de producción de nuestro parque es de 2.068 h/año, generando una producción total de 20.677 MWh/año.

El siguiente gráfico representa la energía generada en nuestra planta, así como las pérdidas del sistema:

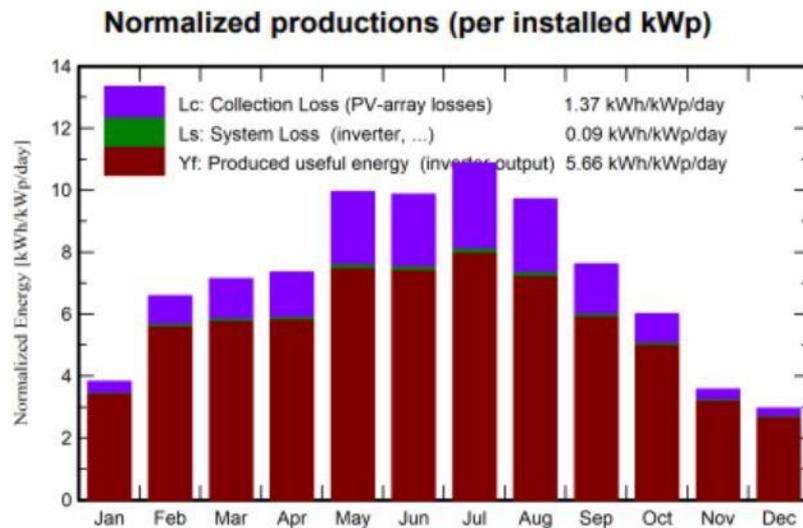


GRÁFICO 2: PRODUCCIÓN ANUAL DE LA PLANTA SOLAR

A continuación, se indica el coeficiente de rendimiento de nuestra planta solar que, como podemos observar, será más eficiente cuando la radiación es menor. Esto es debido a las pérdidas que se producen por la temperatura.

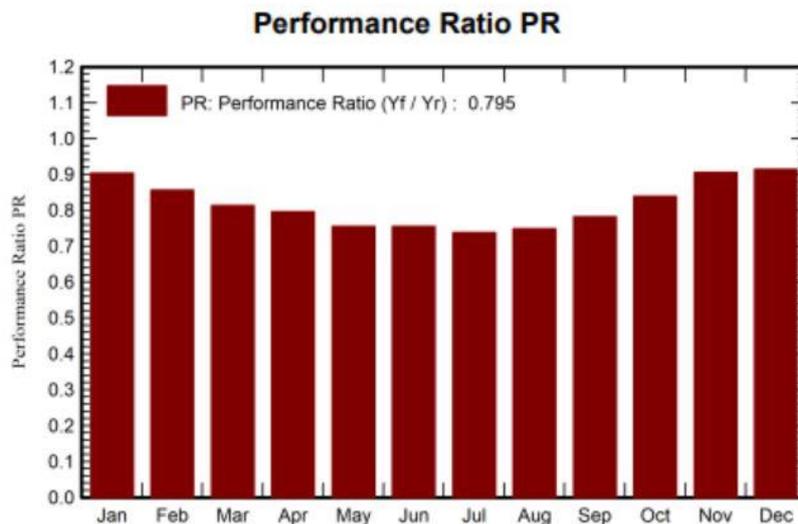


GRÁFICO 3: RENDIMIENTO ANUAL DE LA PLANTA SOLAR

### 9.2.1 Componentes del Sistema Fotovoltaico

La planta solar generará energía eléctrica a partir de la incidencia de la radiación solar en células fotovoltaicas y gracias al efecto fotoeléctrico.

Los componentes de este sistema fotovoltaico son los siguientes:

- Módulos fotovoltaicos. Son los encargados de transformar la energía del Sol en energía eléctrica, generando una corriente continua proporcional a la irradiancia solar recibida.
- Estructura de soporte de seguimiento de 1 eje. Son las estructuras sobre las que se instalarán los módulos fotovoltaicos que se mueven sobre un eje horizontal orientado de norte a sur y realizan un seguimiento automático de la posición del sol en sentido este-oeste a lo largo del día, maximizando así la producción de los módulos en cada momento.

Para la elección de este tipo de soporte se ha tenido en cuenta el comportamiento de estos frente a viento alto (ver Anexo 4)

- Inversor. Dispositivo de electrónica de potencia que permite transformar la energía eléctrica generada en forma de corriente continua por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna para poder ser elevada posteriormente de tensión y vertida a la red eléctrica, adecuándola a las características de esta.
- Transformador de potencia. Es el dispositivo encargado de elevar la tensión de salida de los inversores (480 V) hasta los 30 kV de la Red de Media Tensión.

A continuación, se muestra un esquema del principio de funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica.

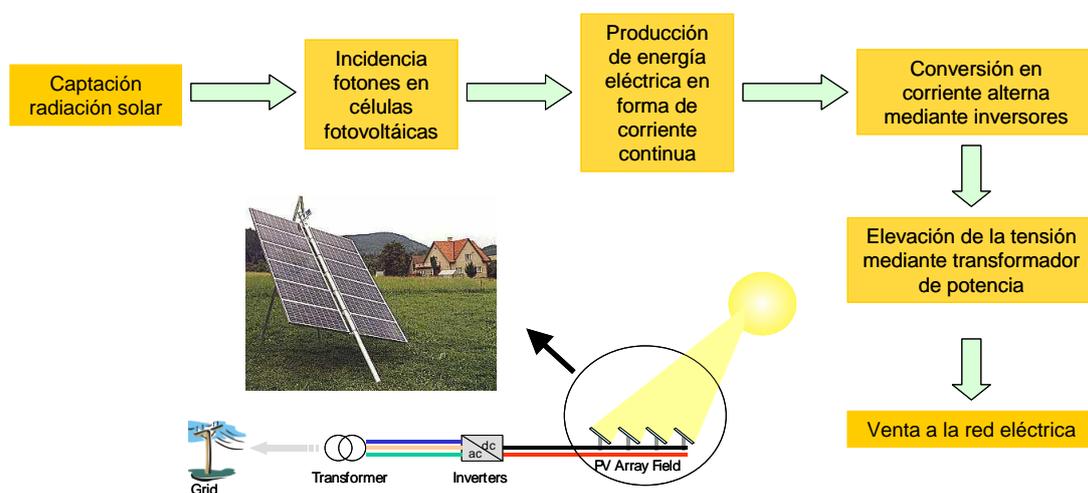


FIGURA 11: PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO INSTALACIÓN FV

### 9.2.2 Criterios de Diseño

El diseño de la planta se ha realizado con el programa de diseño PVsyst 7.2 y considerando una vida útil de 25 años. En la siguiente tabla se detallan las características principales de los componentes de la planta: [12,13]

TABLA 5: CONSIDERACIONES DE PARTIDA

Elemento	Parámetro	Unidad	
<b>Módulo FV</b>	Fabricante y modelo	-	Jinkosolar / JKM570M-7RL4-V
	Tecnología	-	Tiling Ribbon (TR) + Half Cell
	Potencia	Wp	570
	Tolerancia de Potencia	%	0-+3 %
	Tensión en el Punto de Máxima Potencia (VMPP)	V	44,60
	Intensidad en el Punto de Máxima Potencia (IMPP)	A	12,78
	Eficiencia STC	%	21,30
<b>Estructura Soporte</b>	Tipo	-	Seguidor horizontal de 1 eje N-S
	Configuración	-	Monofila 1Vx17
	Pendiente N-S tolerada	%	10
	Nº de strings / estructura	Ud.	2
	Nº de módulos / estructura	Ud.	34
<b>Inversor</b>	Fabricante y modelo	-	Huawei / SUN2000-100KTL-M1
	Rango de Tensión	V	200-1000
	Potencia Aparente	kVA	110
	Tensión Nominal de Salida	V	480

### 9.2.3 Dimensionamiento de la Planta

Teniendo en cuenta las consideraciones de partida, se ha realizado el dimensionado de la Planta Solar FV con los siguientes criterios:

- Maximizar el área ocupada, respetando las servidumbres y distancias mínimas exigidas.
- Maximizar la generación anual de energía.
- Optimización de longitudes de cableado.
- Optimización de movimientos de tierra y canalizaciones subterráneas que afectan directamente al terreno.

### 9.2.4 Características Técnicas de la Planta Solar Fotovoltaica

Tomando como base las consideraciones anteriores del apartado 9.2.2, el diseño final de la Planta realizada con PVsyst presenta las siguientes características principales:

TABLA 6: CONSIDERACIONES DE PARTIDA

Elemento	Parámetro	Unidad	
<b>Configuración Planta FV</b>	Potencia Pico	MWp	10
	Potencia Nominal de Inversores	kVA	110
	Nº de inversores	Ud.	77
	Nº de módulos	Ud.	17.544
	Nº de strings	Ud.	516
	Nº de seguidores 1Vx17	Ud.	258
	Nº de módulos por string	Ud.	34
	Pitch	m	10

### 9.2.5 Configuración Eléctrica

La planta solar FV generará energía eléctrica a partir de la radiación solar que incidirá sobre los paneles módulos fotovoltaicos, que se colocan sobre estructuras con seguimiento al sol. Posteriormente y gracias a los inversores fotovoltaicos, la corriente continua se transforma en corriente alterna para que los transformadores eleven la tensión de Baja Tensión (BT) a Media Tensión (MT).

La energía generada será conducida por medio de una red de Media Tensión (MT) subterránea de 30 kV hasta Centro de Seccionamiento de la Planta y posteriormente a través de una Línea de Evacuación Subterránea de 30 kV se conectará a la Subestación Elevadora 220/30 kV. El punto de medida principal de la energía generada por la Instalación se ubicará en las celdas de la sala eléctrica de dicha subestación elevadora a un nivel de tensión de 220 kV.

### 9.2.5 Obra Civil

La obra civil necesaria para la construcción y posterior explotación del Parque Solar se describe a continuación:

- Preparación del terreno y Movimientos de Tierra.

Consistirá en una limpieza y desbroce del terreno para eliminar la capa vegetal existente. De esta forma se realizará la extracción y retirada en las zonas designadas, de todas las malezas y cualquier otro material indeseable a juicio de la dirección de obra.

Una vez finalizada la preparación del terreno y evitando lo máximo posible el desplazamiento de tierras, se harán los movimientos de tierras necesarios para la plataforma de área de instalaciones provisionales y adecuación de áreas de seguidores solares con pendientes superiores al 15%.

- Viales interiores de la Instalación.

La Instalación contará con una red de viales interiores que darán acceso a las diferentes Estaciones de Potencia que conforman la Planta.

Todos los viales de la Planta serán de 4 m de ancho y la pendiente máxima de los caminos se establece en un 10%, y aquellos tramos en los que presenten pendientes mayores, si los hubiera, se hormigonarán consecuentemente.

- Zanjas y canalizaciones para los cables de potencia y control.

Serán necesarias canalizaciones para:

- Baja Tensión, que conecta las cajas de agrupación con los inversores. Los cables irán directamente enterrados a un mínimo de 0,70 m de profundidad
- Media Tensión, que tendrá que llegar al Centro de Seccionamiento y discurrirán directamente enterrados en zanjas de un mínimo de 0,80 m de profundidad
- Cimentaciones

Estos trabajos incluirán la realización de las cimentaciones de las estructuras fotovoltaicas y de las estaciones de potencia (MT) o centros de transformación, aunque la estructura de los seguidores se instalará por medio de hincado directo al terreno siempre que sea posible.

- Vallado perimetral.

Todo el recinto de la Instalación estará protegido para evitar el ingreso de personal no autorizado a la Planta, así como para evitar el ingreso de fauna y para delimitar las instalaciones. La distancia mínima entre seguidores y el vallado perimetral será de 6 m.

### 9.3 Planta Híbrida

El diseño de nuestra planta tiene una capacidad de generación máxima de 89.816 MWh a partir de 7 aerogeneradores V150 de 4 MW cada uno y 20.676 MWh de los 17.544 módulos solares de la marca Jinkosolar / JKM570M-7RL4-V con una potencia 570 Wp, generando un total de 110.493 MWh de producción energética anual entre fotovoltaica y eólica (ver Anexo 5). Sin embargo, la planta vierte a la red 109.050 MWh porque este proyecto solo puede verter 30 MWh según concesión, por lo que estaría desaprovechando 1.443 MWh.

Para el diseño del parque híbrido se tomó en cuenta los siguientes puntos importantes: para la repotenciación del parque eólico se ha considerado que al oeste del proyecto se encuentra un paraje natural, por eso hemos ubicado los aerogeneradores en una zona en la cual no afectarán a la fauna de la zona; se han tratado de reutilizar los caminos ya existentes del parque para evitar generar nuevos cambios en la zona; y por último, se ha escogido un sitio llano para poder colocar el nuevo parque fotovoltaico, teniendo en cuenta la separación adecuada de los aerogeneradores para evitar pérdida por la sombra y lo más cercana posible a la subestación para evitar pérdidas.

En la Figura 13 podemos observar la ubicación de los 7 aerogeneradores con una marca de un globo rojo con una numeración del 1 al 7. Respecto a los caminos, el único tramo que se crearía sería entre el

aerogenerador 1 y el aerogenerador 3 (se observa en la imagen de recuadro rojo). Los caminos que se observan de color rosado son los caminos que se reutilizarían del proyecto. Las líneas de color naranja representan los caminos que se van a dismantelar. Las líneas en amarillo indican la conexión de los 7 aerogeneradores con la planta fotovoltaica y la subestación y, en la parte inferior de la imagen, el recuadro de color verde representa la ubicación de la planta fotovoltaica.

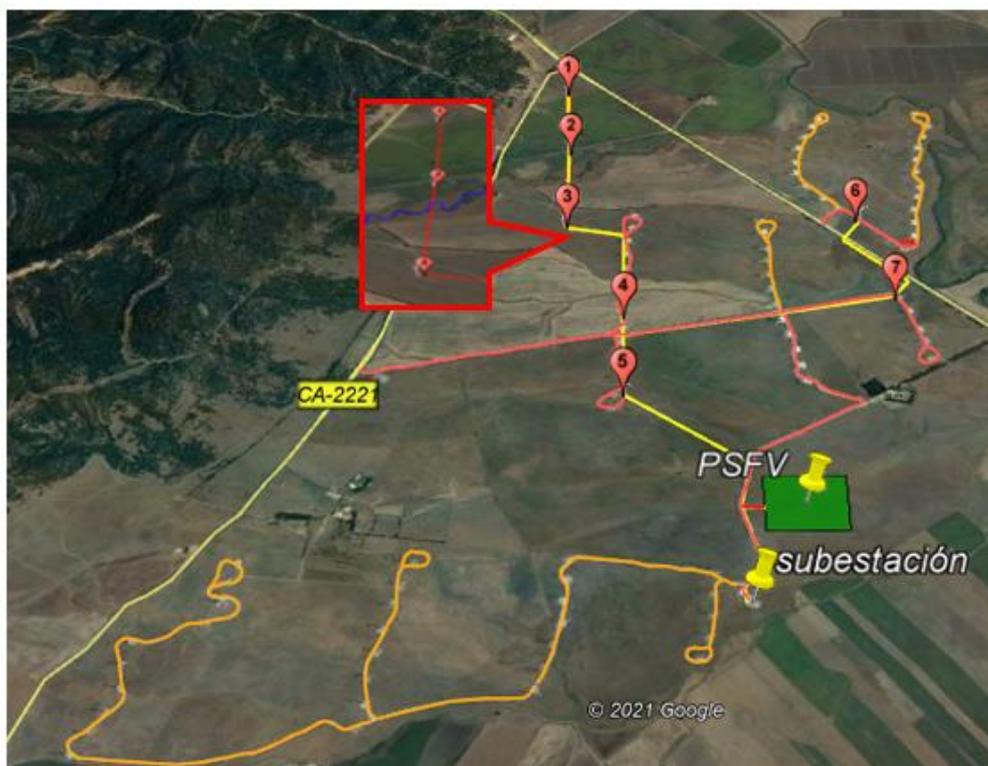


FIGURA 12: UBICACIÓN DE LAS PARTES DEL PLANTA HIBRIDACIÓN

## 10. INVERSIÓN DE LA PLANTA HÍBRIDA (CAPEX, COPEX Y LCOE)

Para demostrar que la planta híbrida estudiada es rentable y nuestro trabajo aporta valor para nuestros clientes, se ha realizado un estudio de inversión del proyecto con la finalidad de demostrar que es rentable. El Capex y Opex se ha realizado por tecnologías, sumando estos valores se ha obtenido el correspondiente a la planta híbrida. En los Anexos 6 y 7 podemos observar el desglose de los Capex y Opex de cada tecnología.

En la Tabla 7 se pueden observar el resumen ejecutivo de todos los números importantes.

TABLA 7: RESUMEN EJECUTIVO

	<b>Eólica</b>	<b>Fotovoltaica</b>	<b>Híbrida</b>
<b>Potencia (MW)</b>	28	10	30
<b>CAPEX (€/MW)</b>	23.241.019,56 €	4.469.363,00 €	27.710.382,56 €
<b>OPEX (€/MW/año)</b>	15.000,00 €	8.000,00 €	500.000,00 €
<b>Degradación (%)</b>	0	0,5	-
<b>HEQ (Ratio KWh/KW)</b>	3.207,73	2.067,69	-
<b>Tasa de descuento</b>	4%		
<b>PPA (€/MWh)</b>	30		
<b>Vida útil (años)</b>	25		
<b>Producción (MWh/año)</b>	109.050,00		
<b>LCOE (€/MWh)</b>	21,01		
<b>VAN (M€)</b>	15,19		
<b>TIR (%)</b>	9,00		
<b>Periodo Recuperación (años)</b>	13,11		

Se ha sumado el Capex y Opex para la vida útil de la planta (25 años), sabemos la producción anual de la misma (109 GWh) y la tasa de descuento sería un 4%, siendo nuestro LCOE 21,01 (€/MWh).

Suponiendo que la empresa tiene un contrato PPA y vende la energía a 30 (€/MWh), el proyecto tendría un VAN de 15,19 millones de euros, esto nos indica que aporta valor y beneficio a lo largo de toda la vida útil del proyecto. La TIR es de un 9% y mayor que la tasa de descuento, por lo que indica que el proyecto es rentable, y finalmente el periodo de recuperación de la inversión sería 13,11 años.

Con estudio de inversión confirmamos que nuestros servicios y nuestro trabajo aporta beneficio a los clientes y seguridad.

## 11. ANÁLISIS DEL POTENCIAL USO DE BATERIAS

En base al resultado del proyecto, y a la limitación de evacuación de energía de 30 MWh, se sabe que se está perdiendo una parte de energía producida y por ello se ha estudiado el uso de baterías.

La energía anual excedente del proyecto es de 1.443 MWh, por lo que se ha estudiado que batería es más óptima para capturar esta energía excedente y venderla cuando este a un precio elevado o si se trata de un PPA como estamos suponiendo, venderla cuando se tenga poca producción.

Suponiendo el uso de baterías de Ion-Litio y sabiendo que, aunque su precio está bajando mucho en los últimos años, sigue siendo muy elevado (250.000 €/MW), se ha realizado un estudio para averiguar si sería rentable el uso de estas.

Se conoce que los excedentes anuales son de 1.443 MWh y que estos excedentes se producen en un total de 518 tramos horarios de los 8760 que hay en el año. Esto sería lo mismo que decir que se producen excedentes en un 5.91% de las horas anuales. Tan solo con esta observación, se podría decir que no es rentable almacenar esto MWh, ya que estas pérdidas se producen con poca frecuencia.

La dinámica llevada a cabo para dimensionar la batería necesaria es la mostrada en el ejemplo de la Tabla 8.

TABLA 8: EXCEDENTES DIARIOS TOTALES DEL MES DE ENERO

Días	Excedentes MWh
02	0,48
03	0,06
09	27,53
10	1,76
12	7,32
19	8,11
22	8,13
31	10,20

En esta tabla se muestra la suma del excedente diario del mes de enero. Como se puede observar estos excedentes solo ocurren en los días 2, 3, 9, 10, 12, 19, 22 y 31, entonces la cuestión es qué batería instalar, se podría poner una de mucha capacidad, que recoja toda la energía excedente del día 9 (27.53 MWh) o una de baja (día 2, 0.48 MWh). Finalmente se ha hecho un promedio para seleccionar la batería más óptima según estas pérdidas diarias del mes, la batería óptima para el mes de enero tendría una capacidad de almacenamiento de 7.95 MWh.

Este procedimiento se ha realizado para cada mes, permitiéndonos conocer que potencia de batería es más óptima instalar en cada uno de ellos (Tabla 9).

TABLA 9: EXCEDENTES DE ENERGÍA MENSUALES

Meses	Batería necesaria (MW)
Enero	7,95
Febrero	9,21
Marzo	30,26
Abril	22,05

Meses	Batería necesaria (MW)
Mayo	24,99
Junio	19,33
Julio	1,29
Agosto	13,58
Septiembre	22,02
Octubre	0,37
Diciembre	13,08
<b>Promedio</b>	<b>15,00</b>

En la tabla 9 se muestra que tipo de batería es necesaria para cada mes, según los días en los que se producen estos excedentes y la cantidad de MWh que corresponden a cada mes. Finalmente se ha realizado un promedio de los tipos de batería a instalar en cada mes, dando como resultado, que la batería más óptima es una de 15 MWh.

Aunque nuestro sistema de almacenamiento óptimo sería de 15 MWh, hemos considerado otras capacidades para estudiar la viabilidad de esta solución. En la tabla 10 se recogen los precios de cada sistema de almacenamiento y la capacidad de energía que se podría almacenar respecto a los 1.443 MWh de excedentes que tenemos.

TABLA 10: PRESUPUESTO Y CAPACIDAD DE DIFERENTES SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Capacidad de Almacenamiento	Precio	Energía Recuperada
15 MW	3.750.000,00 €	782,73 MWh
10 MW	2.500.000,00 €	592,73 MWh
5 MW	1.200.000,00 €	402,73 MWh

A continuación, en la Tabla 11 se muestra el precio de venta de la energía capturada, los ingresos por la venta de esta, y el periodo de recuperación de la inversión de las baterías.

TABLA 11: AÑOS DE AMORTIZACIÓN DE DIFERENTES SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

Capacidad de Almacenamiento	Precio Venta de Energía	Beneficios de Excedentes (1 año)	Años de amortización
15	30	23.481,90 €	160
10	30	17.781,90 €	141
5	30	12.081,90 €	99

Tras analizar los resultados obtenidos de nuestro estudio, podemos concluir que actualmente y bajo estas condiciones **no resulta rentable** implantar un sistema de almacenamiento, ya que para amortizar su uso necesitaríamos más años que vida útil tiene nuestra Planta.

## 12. BASES FUNDACIONALES Y OPERATIVAS DE LA CONSULTORA

Nuestra empresa **DMPR Hybrid Consulting**, es una consultoría formada por cuatro autónomos asociados que brindamos diferentes servicios de asesoría técnica en proyectos de energías renovables.

Debido al apoyo cada vez más creciente a las energías renovables tanto desde el punto de vista financiero, legislativo como gubernamental en la mayor parte del mundo, decidimos dedicarnos a la asesoría de este tipo de proyectos.

Un paso más en la producción de energía verde es la hibridación de diferentes tipos de energía, lo cual supone otro paso hacia la producción de energía limpia y eficiente, ya que las plantas de generación híbrida están emergiendo en todo el mundo.

DMPR Hybrid Consulting está especializada en el diseño de Proyectos Híbridos, por eso gran parte de nuestro trabajo se basa en el tratamiento y análisis de una gran cantidad de datos para que, sobre el papel, podamos reflejar la realidad de un proyecto de este tipo.

La regulación específica sobre esta materia es muy actual y novedosa, por eso manejar y entender la normativa de aplicación de esta nueva tecnología es uno de nuestros puntos fuertes como consultoría de ingeniería de proyectos híbridos.

Por esto, ofrecemos un servicio totalmente personalizado y adaptado a las necesidades específicas de cada proyecto y trabajamos para Administraciones Públicas, pequeñas y medianas empresas privadas y particulares en el asesoramiento estratégico con los siguientes fines:

- Para detectar y aprovechar oportunidades asociadas a las tecnologías renovables
- Estudiar y diseñar proyectos eólicos, fotovoltaicos y, sobre todo, híbridos
- Evaluar la producción y el rendimiento de estos

### 12.1 Servicios de DMPR Hybrid Consulting

En nuestra Consultoría ofrecemos servicios desde el diseño inicial de infraestructura energética y medioambiental hasta el diseño, financiación, construcción, verificación, puesta en marcha, operación y evaluación del rendimiento.

Nuestro objetivo es cubrir todo el ciclo de vida del proyecto, desde el desarrollo, la construcción y la operación de la planta hasta el desmantelamiento de esta.

Además, ayudamos a los promotores de proyectos privados y a los inversores de capital en proyectos de adquisición, como ingenieros de la propiedad.

### 12.1.1 Cotización de los Servicios

Los honorarios de DMPR Hybrid Consulting serán especificados al inicio de cada servicio y con las especificaciones necesarias de métodos de pago. Las tareas adicionales que se soliciten tras requerir el servicio, serán facturadas de manera independiente.

En la siguiente tabla, se detallan los precios asignados para una planta de 10 MW.

TABLA 12: HONORARIOS DE LOS SERVICIOS OFRECIDOS

Servicios	Precio
<b>1. Acceso y Conexión</b>	5.000 €
<b>2. Autorización Administrativa Previa (AAP)</b>	
Fotovoltaica	10.500 €
Eólica	12.000 €
Híbrida	16.200 €
<b>3. Autorización Administrativa de Construcción (AAC)</b>	
Fotovoltaica	15.300 €
Eólica	18.000 €
Híbrida	22.000 €
<b>4. Estudio de Viabilidad de incluir Sistema de Almacenamiento</b>	4.200 €
<b>5. Soporte Adicional</b>	
Soporte de Ingeniería	100 €/h
Estudios Topográficos	2.500 €
Estudio Hidrológico	3000 €

**Nota:** los precios se estipularán en función de los MW de cada proyecto.

Regularmente, las tareas realizadas se facturarán de la siguiente manera:

- 40% a la aceptación del trabajo
- 50% a la entrega de la documentación
- 10% tras el plazo de modificaciones

### 12.2 Financiación de la Empresa

Nuestra empresa se financia a partir de fondos propios por parte de los cuatro socios, siendo un total de **25.000€** la inversión inicial.

A continuación, se detalla los costes del primer año:

TABLA 13: INVERSIÓN INICIAL DE DMPR HYBRID CONSULTING

Gastos	Precio
IT: licencias informáticas (AutoCAD, PVSyst, OpenWind...), página web, equipo informático	5.000 €
Material de oficina: ordenadores, impresoras, móviles, monitores	6.500 €
Alquiler de Oficina	40 €/día
Registro de la Marca	200 €
Abogado	100 €/h

### 12.3 Proyección de la Empresa

Como empresa recién nacida en el mercado, hemos establecido diferentes fases para lograr el crecimiento de nuestra consultoría de forma óptima.

El objetivo del primer año es captar clientes potenciales para introducirnos en el mercado. Además, confiamos en que este año no tengamos pérdidas para poder recuperar la inversión inicial y empezar construir nuestro capital social.

Durante los tres próximos años, pretendemos captar clientes de manera exponencial y fidelizar aquellos que ya han confiado en nuestros servicios. Esto supondrá un crecimiento del 30%.

Gracias a las ganancias que vamos a generar, estableceremos nuestra oficina para empezar a contratar personal cualificado en DMPR Hybrid Consulting. Será a partir del octavo año cuando empezaremos a ofrecer servicios a empresas internacionalmente gracias a nuestro capital generado y nuestro equipo formado durante los años anteriores.

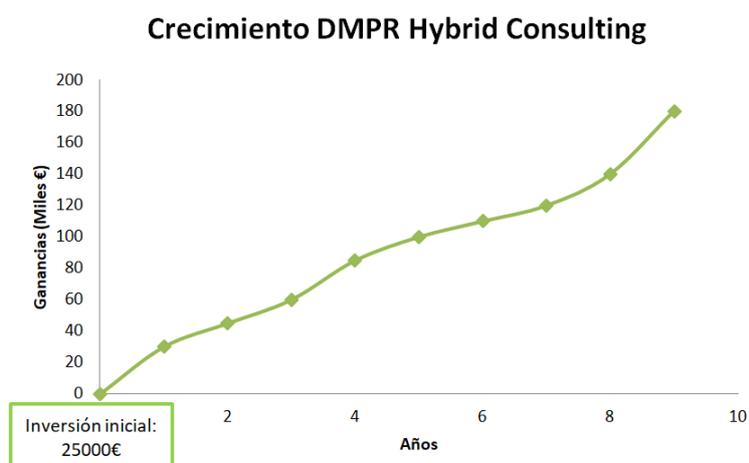


GRÁFICO 4: CRECIMIENTO ESPERADO DE DMPR HYBRID CONSULTING

### 13. CONCLUSIONES

El proyecto que se ha definido es el de valorar una empresa de asesoramiento para la implementación de futuras plantas híbridas en España a partir de un proyecto de hibridación en Tarifa.

- Nos encontramos en un mercado potencial debido a que ambas tecnologías (eólica y solar) son rentables por sí solas y ya no requieren de primas, además de eso, los gobiernos están apostando por ellos debido al compromiso que tiene el PNIEC con la disminución de los gases de efecto invernadero.
- Podemos decir que al aceptar la hibridación en el Real Decreto 1183/2020, aumentarían el número de proyectos de hibridación, debido a que estos generarían una mayor rentabilidad.
- Al repotenciar un parque eólico, se puede realizar un estudio de hibridación, ya que, al reducir la gran cantidad de aerogeneradores de la zona estos dejarían espacios libres para emplear nuevas tecnologías renovables.
- Además, otras de las ventajas de la repotenciación, serían: la reutilización de los caminos existentes del proyecto, reducción del impacto medioambiental debido a la disminución del número de los aerogeneradores, el alargamiento de la vida del parque y un gran beneficio económico por los ahorros en mantenimiento y de terreno.
- Al hibridar un parque, la producción de este sería mayor, ya que se aprovecharía los recursos de la zona al máximo, teniendo en cuenta que la velocidad de viento y la radiación varían mucho en las horas diarias.
- Gracias al resultado positivo de la rentabilidad del proyecto realizado en el parque de Tarifa DMPR ha demostrado poder tener una buena acogida en el mercado energético.

## 14. ANEXOS

### Anexo 1. Selección del año de estudio a partir de los errores cuadráticos

Años	V Prom. Viento	E Prom Viento	RMSD Velocidad	RMSD Energía	Prom. Irradiancia	RMSD Irradiancia	Punt. Viento	Punt. Energía	Punt. Irradiancia	$\Sigma$
2005	7,33	429,94	0,13	717,11	219,00	18,63	3	9	2	8
2006	6,98	381,16	0,00	483,67	212,02	7,09	12	10	4	15
2007	6,54	325,27	0,18	6.066,87	214,88	0,04	2	1	11	12,5
2008	7,04	416,83	0,01	186,86	212,83	3,44	11	11	6	17
2009	7,22	458,50	0,07	3.063,07	217,22	6,43	8	5	5	11,5
2010	7,31	461,30	0,12	3.380,76	205,91	76,91	5	4	1	5,5
2011	7,31	474,10	0,12	5.032,93	213,34	1,80	4	3	7	10,5
2012	6,44	328,50	0,27	5.574,21	218,03	11,21	1	2	3	4,5
2013	7,21	440,35	0,06	1.383,53	214,78	0,01	9	8	12	20,5
2014	6,69	354,50	0,07	2.367,86	215,95	1,61	7	6	8	14,5
2015	6,78	394,15	0,03	81,07	214,98	0,09	10	12	10	21
2016	7,26	448,65	0,09	2.069,88	213,71	0,95	6	7	9	15,5
Total	6,96	403,16			214,68					

V Prom. Viento: Velocidad Promedio del Viento

E Prom. Viento: Energía Promedio del Viento

RMSD Velocidad: Error Cuadrático de la Velocidad

RMSD Energía: Error Cuadrático de Energía

Prom. Irradiancia: Promedio Irradiancia

RMSD Irradiancia: Error Cuadrático de Irradiancia

Punt. Viento: Puntuación del Viento

Punt. Energía: Puntuación Energía

Punt. Sol: Puntuación de Irradiancia

$\Sigma$ : Sumatorio

Como se muestra en el Anexo 1, y se explica en la memoria, los datos el año seleccionado para la realización del proyecto es el 2015, debido a que es el más representativo de todos.



**Anexo 2. Ejemplo explicativo de la producción de la planta híbrida**

Mes	Día	Horas	Eólica (MW)	PV (MW)	Híbrida (MW)	Híbrida sin limitación (MW)
01	09	0	26,67	0	26,67	26,67
01	09	1	25,42	0	25,42	25,42
01	09	2	25,42	0	25,42	25,42
01	09	3	25,42	0	25,42	25,42
01	09	4	25,42	0	25,42	25,42
01	09	5	26,67	0	26,67	26,67
01	09	6	26,67	0	26,67	26,67
01	09	7	26,67	0	26,67	26,67
01	09	8	27,3	2,69	29,99	29,99
01	09	9	27,3	3,48	30	30,78
01	09	10	27,3	6,38	30	33,68
01	09	11	27,3	7,31	30	34,61
01	09	12	27,3	7,43	30	34,73
01	09	13	27,3	7,66	30	34,96
01	09	14	27,3	6,53	30	33,83
01	09	15	27,3	5,98	30	33,28
01	09	16	27,3	4,36	30	31,66
01	09	17	27,3	0	27,3	27,3
01	09	18	27,3	0	27,3	27,3
01	09	19	26,67	0	26,67	26,67
01	09	20	26,67	0	26,67	26,67
01	09	21	26,67	0	26,67	26,67
01	09	22	26,67	0	26,67	26,67
01	09	23	26,67	0	26,67	26,67

En el anexo 2, se muestra un ejemplo de la producción horaria de la planta híbrida del 9 de enero con una potencia de 28 MW eólicos y 10 MW de fotovoltaica con seguimiento a un eje. Se puede observar la producción del viento de cada tramo horario, la producción fotovoltaica en las horas que corresponde, el sumatorio de la producción final de la planta híbrida, la cual no puede superar los 30 MWh tal y como se muestra entre las horas 9:00 y 16:00 y, por último, la producción de la híbrida sin limitación. La producción de la configuración híbrida será diferente según la potencia de fotovoltaica instalada.

Observando esta tabla gráficamente (Gráfico Anexo 2) se pueden ver visualmente el comportamiento de un día de mucho viento y sol.

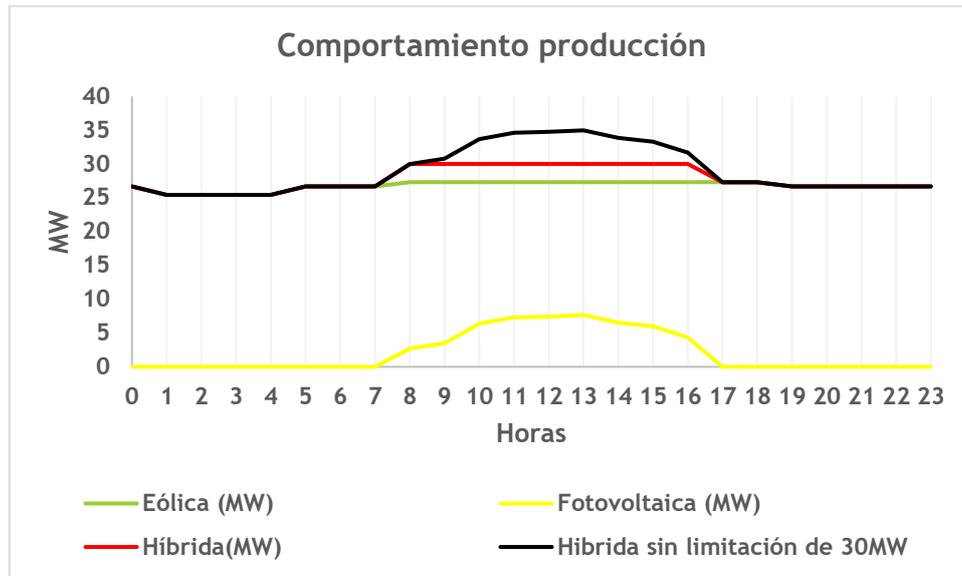


GRÁFICO ANEXO 2: COMPORTAMIENTO DE LA PRODUCCIÓN

En el gráfico se puede observar la producción horaria de cuatro curvas distintas. La amarilla representa la fotovoltaica, la azul la eólica, la roja la híbrida limitada a 30 MWh y la negra representa la híbrida sin limitación. Esta limitación hace que en algunos días aleatorios como este se pueda perder la energía sobrante (27.53 MWh).

### Anexo 3: Resultados por aerogenerador.

Index	Tipo Turbina	Altura Buje [m]	Diámetro Rotot[m]	Capacidad [kW]	Producción Ideal [MWh]	Producción Neta [MWh]	Factor de Capacidad %	Eficiencia %
1	V150	105	150	4.000	14.649,42	14.411,83	41,10	99,15
2	V150	105	150	4.000	14.649,42	14.276,80	40,72	97,87
3	V150	105	150	4.000	14.649,42	14.616,98	41,69	99,37
4	V150	105	150	4.000	14.649,42	14.274,11	40,71	97,20
5	V150	105	150	4.000	14.649,42	14.344,88	40,91	97,80
6	V150	105	150	4.000	14.649,42	13.857,85	39,52	94,98
7	V150	105	150	4.000	14.649,42	13.838,19	39,47	95,04

En este anexo se muestran los valores de producción, de estelas y factor de capacidad de los diferentes aerogeneradores según su posición emplazamiento. Estos datos son proporcionados por el programa OpenWind, el cual nos indica que todas las turbinas tienen un factor de capacidad y unas estelas muy similares, excepto las máquinas 6 y 7 que presentan un valor ligeramente inferior a las restantes.

#### **Anexo 4: Comportamiento del tracker frente a fuertes vientos**

Se ha comprobado que estimando una velocidad superior a 16,5 m/s, los trackers colocarían posición de defensa, esto ocurriría solamente en 76 tramos horarios respecto a las 8.760 h que hay en año, siendo este el 1%.

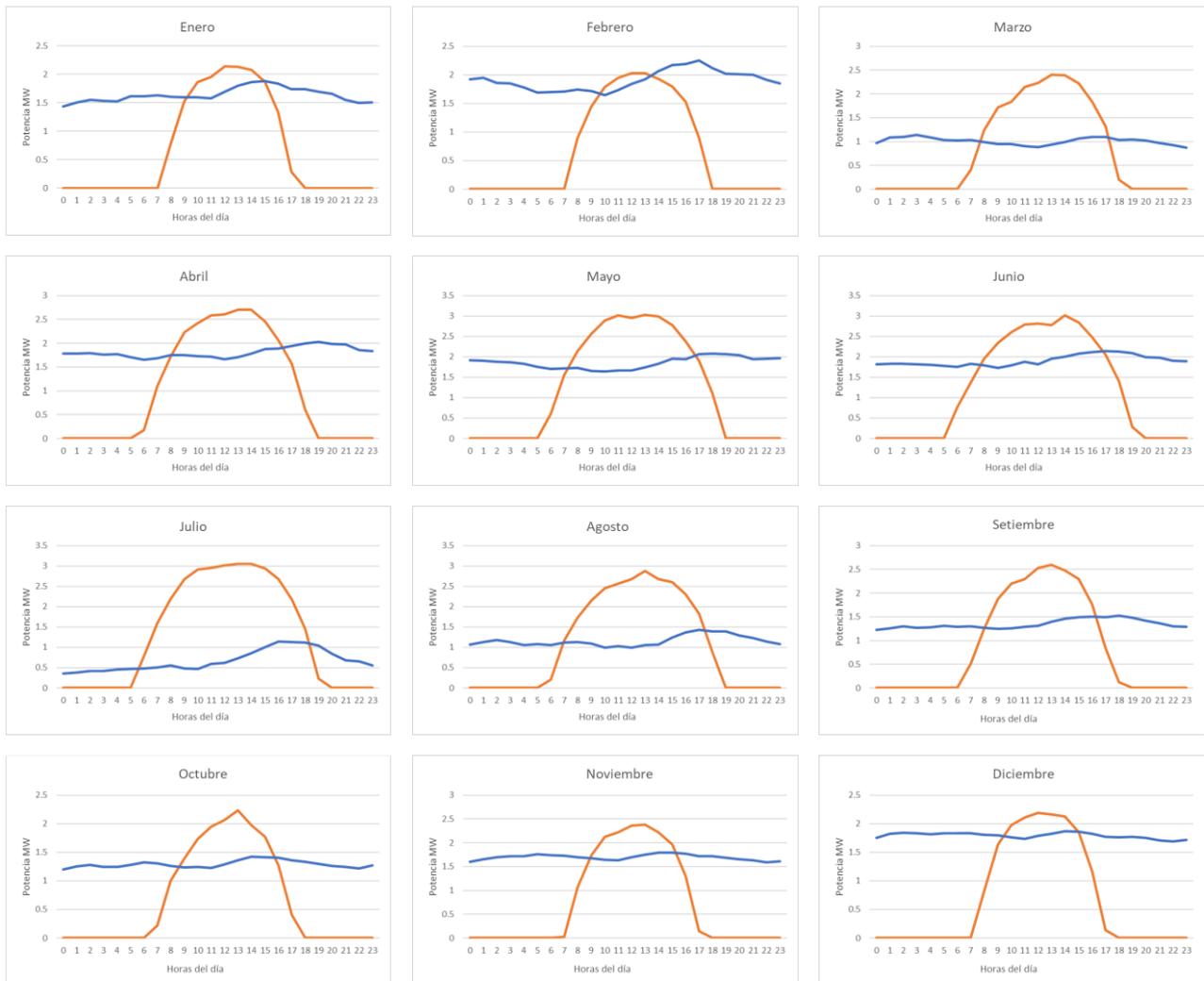
En cuanto a la producción de la planta híbrida, este cambio no afectaría, ya que la eólica estaría produciendo lo máximo posible, aportando casi el 100% de la energía evacuada.

<b>Velocidad del viento (m/s)</b>	>16,5
<b>Producción viento (MWh)</b>	27,3
<b>Tramos horarios</b>	76
<b>Horas al año(%)</b>	1

## Anexo 5: Comportamiento producción solar y eólica mensual

En el Anexo 5 podemos observar el comportamiento de la producción del viento y de la fotovoltaica de la planta híbrida por cada mes del año de diferentes maneras:

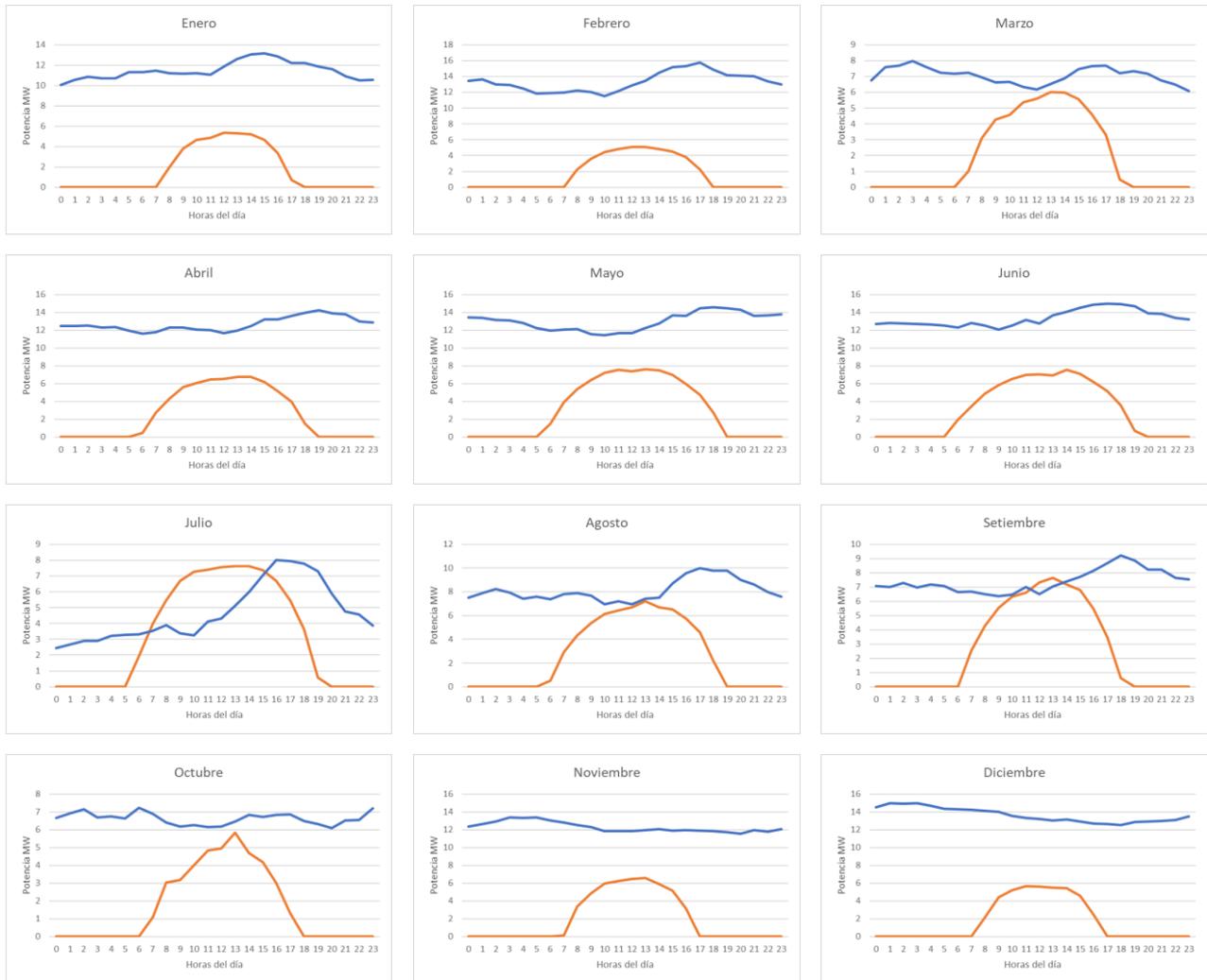
Ejemplo 1: Representativo de 4 MW para eólica y fotovoltaica, promedio de las horas mensuales de cada mes.



### LEYENDA

- Promedio de Horas del sol mensual
- Promedio de Horas de viento mensuales

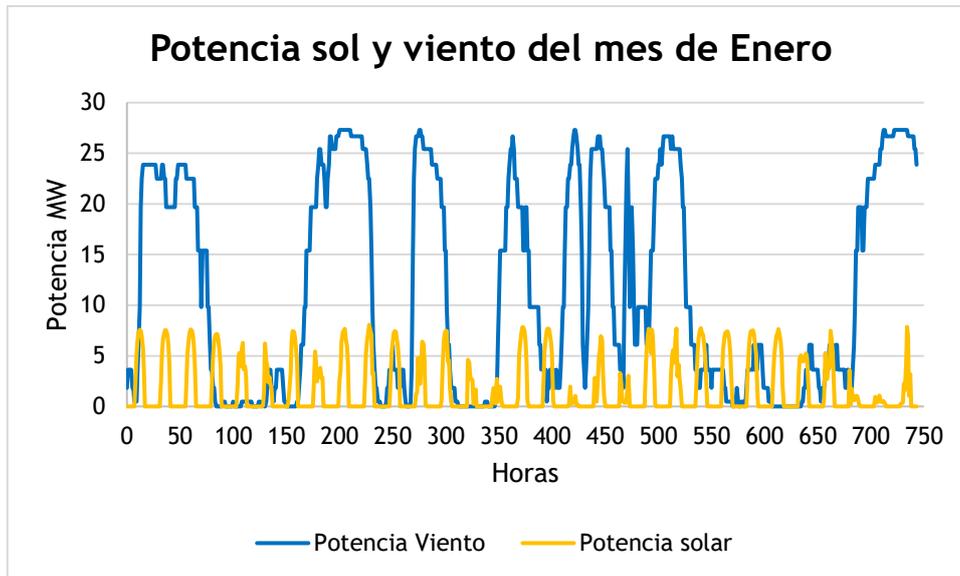
Ejemplo 2: Representación de curvas con las potencias reales de la planta híbrida, promedio de las horas mensuales de cada mes.



**LEYENDA**

- Promedio de de horas por mes del sol 10MW
- Promedio de de horas por mes del viento 28MW

Ejemplo 3: Representación de un mes al alzar



## Anexo 6. Desglose Capex de la Planta Eólica

Tipo	Precio	Unidades	Cantidad	Coste total
Promoción del parque	45.000 €	€/ MW	28	1.260.000 €
Ingeniería de accesos	5.000 €	€	1	5.000 €
Caminos de servicio	55 €	€/m	1.465,60	80.608 €
Plataformas	6.000 €	€/ud	7	42.000 €
Zapatas	80.000 €	€/ud	7	560.000 €
Sistema colector	25 €	€/m	6.008,00	150.200 €
Canalización y entubado	60 €	€/m	6,008	360.480 €
Plataformas	800 €	€/ud	7	5.600 €
Viales	7 €	€/m	6.008,00	42.056 €
Hidro Siembra	1 €	€/m2	1.465,60	1.466 €
C.T.E Aerogeneradores	50.000 €	€/ MW	28	1.400.000 €
Cableado interno parque	50 €	€/m	6.008,00	300.400 €
SCADA	60.000 €	€	1	60.000 €
Estación meteorológica	130 €	€/ud	3	390 €
7 V150 (4000 MW)	600.000 €	€/ MW	28	16.800.000 €
Pasos de río	60.000 €	€/ud	1	60.000 €
Desmantelamiento	10% Capex	€	1	2.112.820 €
<b>TOTAL</b>				<b>23.241.020 €</b>

En el anexo 4 podemos observar el desglose de los costes de la parte eólica. La inversión alcanza los **23,2 millones de euros**.

Teniendo en cuenta que los gastos de Operación y Mantenimiento de las plantas eólicas son aproximadamente de 15.000 euros por MW al año, y que la vida útil del proyecto es de 25 años, el OPEX sería de **10.000.000 millones de euros**.

## Anexo 7. Desglose Capex de la Planta Fotovoltaica

Se han calculado los gastos de capital (CAPEX-Capital Expenditures) y los gastos de operación (OPEX-Operational Expenditures) para la Planta Solar:

ACTIVIDAD	COSTES
<b>Estudios e Ingenierías</b>	119.073,00 €
<b>Suministro de Equipos Principales</b>	3.000.000,00 €
Módulos	1.800.000,00 €
Inversores	400.000,00 €
Estructura	800.000,00 €
<b>Obra Civil</b>	387.400,00 €
Acondicionamiento del terreno y/o movimientos de tierra	134.000,00 €
Viales	93.800,00 €
Zanjas	78.600,00 €
Cimentaciones CTs	41.560,00 €
<b>Suministro y Montaje Mecánico</b>	432.600,00 €
Hincas estructuras	69.060,00 €
Montaje estructuras	209.800,00 €
Montaje módulos	113.000,00 €
Montaje inversores	22.740,00 €
Vallado y Puertas de Acceso	18.000,00 €
<b>Suministro y Montaje Eléctrico</b>	385.800,00 €
Cableado BT	283.000,00 €
Cableado MT	75.300,00 €
Sistema Puesta a Tierra	27.500,00 €
<b>Control y Comunicaciones</b>	81.250,00 €
<b>Sistema de Seguridad</b>	63.240,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>4.469.363,00 €</b>

El presupuesto de Ejecución Material del Proyecto (CAPEX) es de **4.459.363 euros**.

Teniendo en cuenta que los gastos de Operación y Mantenimiento de las plantas solares son aproximadamente de 8.000 euros por MW al año, y que la vida útil del proyecto es de 25 años, el OPEX sería de **2 millones de euros**.

## 15. BIBLIOGRAFÍA

- [1] El Periódico de la Energía
- [2] IRENA (International Renewable Energy Agency)
- [3] Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de 2015
- [4] Asociación Empresarial Eólica (AEE)
- [5] UCM - Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial
- [6] Agencia Estatal de Meteorología
- [7] Programa de Uso Público Parque Natural del Estrecho – Junta de Andalucía
- [8] Sistema de Información del Banco de Datos de la Naturaleza (BDN): visor para Red Natura 2000 en España
- [9] Visor de Información de Rediam
- [10] capa .kmz para Google Earth
- [11] The Wind Power
- [12] Jinko Solar
- [13] Huawei