



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (MII)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ESTUDIO DE LA HIBRIDACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y ENERGÍA EÓLICA

Autor: Miguel Fuentes Quiralte

Director: Ángel F. Truchero Angulo

Madrid

Julio de 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
ESTUDIO DE HIBRIDACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y
ENERGÍA EÓLICA

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2020/21 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha
sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Miguel Fuentes Quiralte

Fecha: 06 / 07 / 2021

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Ángel F. Truchero Angulo

Fecha: 06 / 07 / 2021

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESIS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. MIGUEL FUENTES QUIRALTE

DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: ESTUDIO DE LA HIBRIDACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y ENERGÍA EÓLICA, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor **CEDE** a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.
- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 6 de Julio de 2021

ACEPTA



Fdo MIGUEL FUENTES QUIRALTE

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:



MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL (MII)

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ESTUDIO DE LA HIBRIDACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA Y ENERGÍA EÓLICA

Autor: Miguel Fuentes Quiralte

Director: Ángel F. Truchero Angulo

Madrid

Julio de 2021

HYBRIDIZATION OF PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY AND WIND ENERGY STUDY

Author: **Fuentes Quiralte, Miguel**

Director: Truchero Angulo, Ángel F.

Entidad Colaboradora: Agreda Asset Manager S.L.

PROJECT SUMMARY

Introduction

The main purpose of this project is to evaluate the feasibility of the hybridization of a wind farm with a solar photovoltaic plant. In order to carry out a detailed study, it has been decided to study the technical, legal and economic aspects of the project.

The procedure carried out starts with a wind resource assessment. Starting with the basic concepts, passing through a market study and ending with the study and feasibility of the wind project. The wind project consists of a wind farm composed of 17 Gamesa G58 wind turbines of 0.85 MW each. With these conditions, the project has 14.45 MW and 1,807 net equivalent hours of energy production per year. In addition to the original wind farm, two other repowered scenarios of this same wind farm are studied.

Subsequently, solar photovoltaic energy is studied following a strategy similar to that used for wind energy. After explaining the main technologies of this type of energy, a market study is carried out to define the most interesting components for setting up a solar photovoltaic plant these days.

After studying both technologies, a hybridization study is carried out. The first step is to present the three wind scenarios and the components selected to assemble the photovoltaic solar plant. At this point, the hourly productions of the three wind scenarios are compared with the hourly energy production of a solar photovoltaic plant of variable size from 1MWp to 20 MWp. This study allows calculating the energy surplus that exists in each case and therefore to determine the optimal size in MWp of the hybridized solar photovoltaic plant with the most appropriate wind farm configuration.

Once the hybrid project is defined, the monitoring of both installations is studied, an economic study is carried out and the study ends by presenting the conclusions drawn.

Wind Energy

Regarding the wind turbine market study, it has been decided to establish the following criteria:

- 5 MW Wind turbine.
- Wind turbine model that exists in the current market and is not a prototype.
- Active manufacturer currently present in the Spanish market.

Following the established criteria, it is concluded that the most suitable manufacturer for our project is Nordex-Acciona. As far as the candidate models are concerned, the two models represented in the study meet all the requirements. Thus, both N149 and N163 are considered for a possible repowering of the wind farm.

Once the characteristics of the current market models are known and the repowering options are defined, the existing wind farm is presented.

The project is located in the Province of Albacete. It is a wind farm consisting of 17 Gamesa G58 wind turbines of 0.85 MW each. With these conditions, the project has 14.45 MW and an hourly production of around 1,807 net equivalent hours per year.

Regarding the life of the wind farm, it is important to highlight that the wind farm was built in November 2008. For this reason, its estimated useful life would end in 2028 unless modifications are made to extend its life, or a repowering is performed.

The main characteristics are shown in the following table:

Installed capacity	14,450 kW
Wind Turbines	17 x G 58 850 kW (HH 55 m)
Net equivalent hours	1,807 hours
COD	2004

Table 1 Main characteristics of actual Wind farm

The location and layout of the 17 wind turbines of the actual wind farm is shown in the following image:

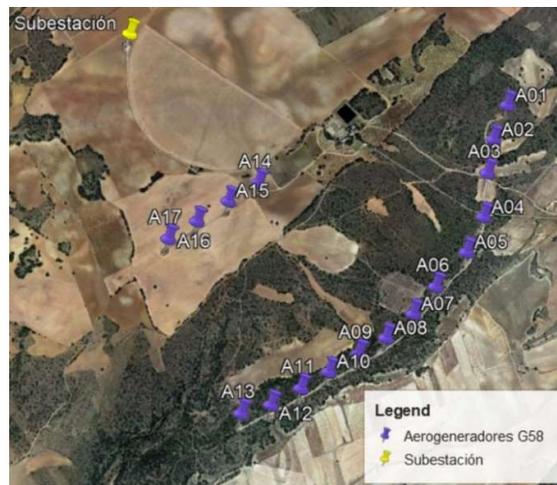


Image 1 Layout of the Wind farm

Once the locations of the wind turbines are known, the annual production of the wind farm is studied, and a wind energy assessment is carried out with a view to a possible repowering.

The repowering is based on the replacement of the old machines for more modern ones that result in both an economic and an environmental improvement. This is mainly due to the fact that current wind turbines are not only more efficient and therefore require less energy, but they are also more silent and require a much lower rotational speed. In this way, three important objectives are achieved:

- Land occupation reduction.
- Environmental impact reduction.
- Increase and optimization of the use of wind resources.

In the specific case of this study, the repowering with the N149 and N163 models of the manufacturer Nordex Acciona is evaluated. Being the current installed capacity of the wind farm 14.45 MW, the main idea is to repower with 3 machines that provide approximately 5 MW each.

For the repowering study, the possible effects of wakes caused by nearby wind farms are taken into account and a wind model is generated to simulate the performance of each of the scenarios studied.

Taking a look at the layout of the repowered wind farm, the annual production per turbine has been studied. Following purely energetic and geographical criteria, it has been decided to place the 3 wind turbines of the repowering in the positions corresponding to actual machines: A1, A5 and A11.



Image 2 Layout of the repowered Wind farm

After considering the definitive locations, the wind model is applied, and the following results are obtained:

Scenario	Energy production P50 (MWh/year)	Net Equivalent Hours
Actual Wind farm	26,106	1,807
Actual Wind farm + A's impact	25,726	1,780
Repowered Scenario with Nordex-N149	40,886	2,830
Repowered Scenario with Nordex-N163	44,473	3,078

Table 2 Repowering scenarios comparison

According to this table, the most suitable turbine for repowering the wind farm currently is the Nordex Acciona N163, since it provides 8.7% more equivalent hours than the next candidate, the N149, with 2,830 equivalent hours. These 2,830 hours represent a 56% increase compared to the G58 wind turbines installed in the wind farm.

Solar Photovoltaic Energy

The objective of this section is to learn about the main technologies that exist in the solar photovoltaic world. To this end, these technologies have been studied one by one, allowing a subsequent rigorous market study to be carried out. The technologies that have been studied are the following:

- PERC
- Half-Cell
- HJT
- Multi Bus Bar
- Tiling Ribbon
- Double Glass

Based on the existing technologies, a market study of the solar panels is performed. As a result of the study, it was decided to opt for the Risen Titan 120 model panels for three reasons:

- These panels are chronologically consistent with this project.
- These panels are bifacial panels.
- The panels are high power panels and have high efficiency.

The main characteristics of these solar panels are listed below:

Risen – Titan 120 High Performance Bifacial Monocrystalline Perc Module	
Number of cells	120
Power (Wp)	585 - 605
Maximum System Voltage (V _{DC})	1,500
Maximum efficiency	21.40%
Dimensions	2,172 x 1,303 x 35 mm

Table 3 Main characteristics of Module: Risen Titan 120

Once the modules to be used have been defined, the different structures on which they will be mounted are studied. After analysing the different configurations, it was decided to choose the N-S oriented horizontal single axis trackers. This decision is based on the fact that the performance of the plant is considerably increased with respect to the fixed structure, but without having the costs and the complexity of the double axis trackers.

Finally, regarding the inverters, both central inverters and string inverters are analyzed and after a market study it is concluded that, for the project studied, the best option is considered to be the Huawei SUN2000-175KTL-H0 string inverter.

Hybridization

A hybrid power system is the system that is capable of producing energy from two or more sources. Generally, these are renewable energy sources that are designed and located in such a way that they can share the same interconnection point.

To study the hybridization of a solar photovoltaic plant and an existing wind farm, it is important to consider the situation of the existing wind farm and its possible repowering. Once the wind section has been defined, a solar plant consisting of the selected equipment is presented.

The main objective of the hybridization study is to determine the photovoltaic solar energy capacity to be installed in such a way that a balance is reached between the optimization of the interconnection point and the potential surplus of energy that would not be generated.

For this reason, a solar photovoltaic plant of variable size is designed, from 1 MWp of installed capacity up to 20 MWp, in steps of 1 MWp.

Solar PV Model for 1 MWp	
Installed capacity	1,000 kWp
Total nominal power	875 kW ac
Produced Energy	2,187 MWh/año
Net equivalent hours	2,188
Performance ratio	85.94%
Nominal power ratio	1.14

Table 4 Solar PV plant of 1 MWp

To analyse in detail the behaviour of the hybrid plant, hourly series for wind and solar production are compared. Then, the sum of both theoretical series (wind and solar) is analysed in the context of the authorized capacity, in order to determine the total energy generated and the surpluses that cannot be fed into the grid.

The following figure illustrates the methodology of the study:

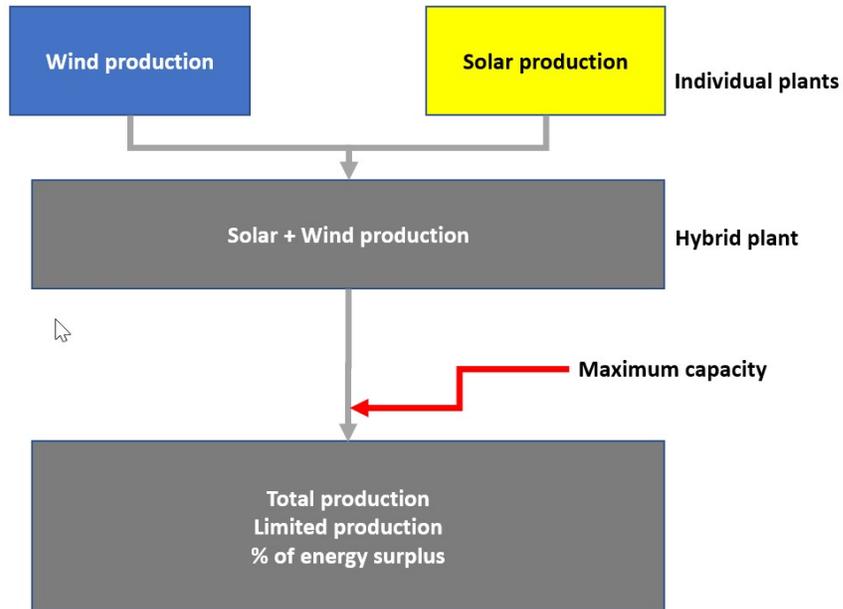


Image 3 Hybridization study methodology

After analysing the three wind scenarios against the 20 solar PV plant sizes, the following surplus results are presented:

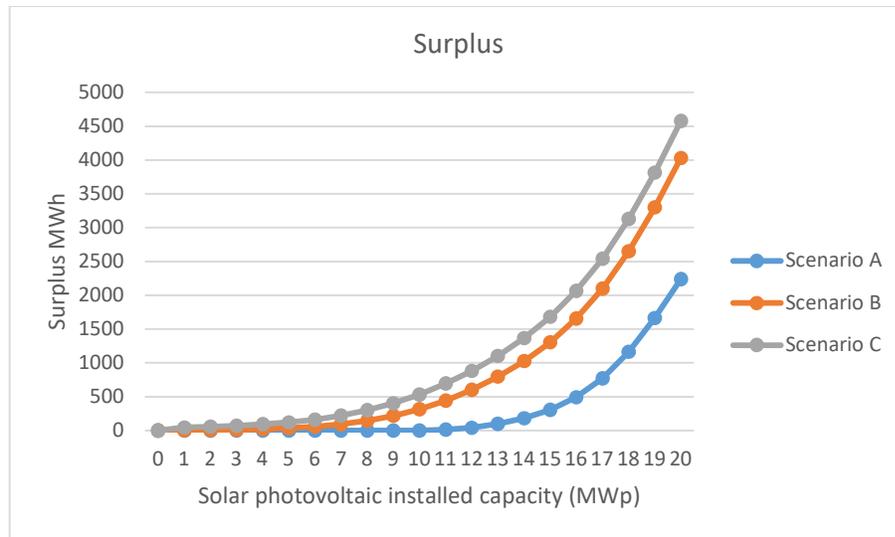


Figure 1 Surplus for each scenario

Based on the results obtained, it has been decided to consider a size of 15 MWp for the solar photovoltaic installation that will be hybridized to both, the current wind farm and the repowered wind farm with Nordex Acciona N163 (Scenario C). This decision has been made based on three main reasons:

- The surpluses recorded in the best of the repowering scenarios (N163) with this size do not exceed 5% referred to the hybrid plant.
- In the event of having to stop wind production during the construction of the repowering, the capacity of the interconnection point will still be used to a large extent with 15 MWp of solar PV.
- 15 MWp is a size at which better economic agreements can be reached with suppliers.

Solar PV Project

According to the criteria established in the hybridization study, it has been decided to consider the implementation of a solar PV plant with a capacity of 15 MWp. This is a small/medium size solar plant compared to the projects being carried out these days.

The first step is to start with the selection of the most suitable plot of land for the construction of the plant. Taking into account all the requirements to be met by the land the most suitable option is Plan B. This decision is supported by three main reasons:

- It meets all the requirements, including the surface area.
- It is the plot that is closest to the substation.
- This plan only affects a single plot and a single site.

The characteristics of plan B and its location with respect to the repowered wind farm and the substation are presented below:

Selected plot for solar PV installation			
Province	Albacete	Characteristic	Arable land
Municipality	-	Surface	29.29 Ha
Polygon	-	Average Slope N-S	2.30%
Plot	-	Average Slope E-W	3.70%

Table 5 Selected Plot Characteristics



Image 4 Selected Plot Location

Once the location has been determined, it is important to evaluate the interconnection point of the current wind farm to see if any modifications are required. Since this is a hybridization, only the following installations are required:

- Control cabinet for the energy produced by the hybridization.
- Two active and reactive energy meters for both installations.
- Updating of the protection and control systems.
- 630 A, 25kA line cubicle.

In relation to the interconnection points, it should be mentioned that there is currently a moratorium that leaves the process of granting interconnection points frozen. This moratorium does not affect hybridization projects, so hybridization is the ideal mechanism for developing renewable projects in Spain at this moment.

Once these small modifications have been made, hybridization will allow energy from both farms to be poured in the grid, thus optimizing the capacity of the access point.

Advantages and Disadvantages

Hybridization is the production of energy from different energy sources. In this case, photovoltaic solar energy and wind energy. This phenomenon has both positive and negative aspects.

The main advantages of hybridization as presented in this study are the following:

- It allows taking advantage of the interconnection point granted to the original installation in such a way that more energy can be poured into the grid with the same infrastructure of interconnection to the country's power grid.
- It provides synergies mainly at the time of control, monitoring and negotiation with suppliers. In addition, the interconnection part of the original installation is reused. This reduces both investment and maintenance costs for the two plants as a whole.
- In the event of a repowering of one of the two facilities, hybridization allows the other plant to generate and feed energy into the grid during the construction period, allowing for revenues throughout the life of the hybridization.
- In the future, this type of installation will allow the supply of renewable energy during all hours of the year as long as a storage system is in place.

The main disadvantage of hybridization is that it does not generate energy because it does not have more capacity to feed into the grid. For this reason, storage systems are presented as the ideal partner for hybridization. In this way, the surplus of energy would be stored and discharged at times when production is not at its maximum.

Monitoring

A monitoring system is an application that allows to remotely verify the correct operation of an installation of any kind in real time, in order to act quickly in case of detecting damages and/or failures (e.g.: inverter failures, broken cables, cell failures, etc.) and to be able to carry out a repair and/or maintenance of the solar panels system.

First of all, the monitoring scheme of the solar photovoltaic plant is presented:

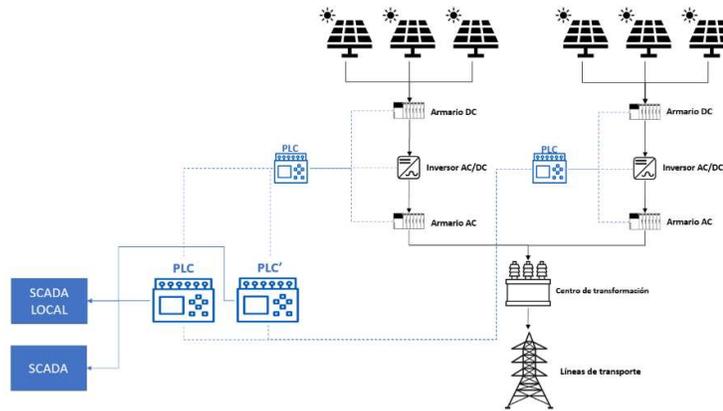


Image 5 Solar PV plant Monitoring scheme

Secondly, the wind farm monitoring scheme is presented:

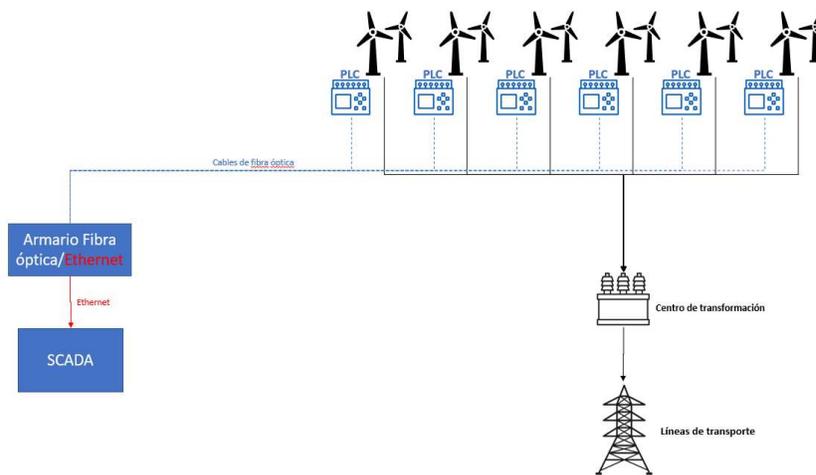


Image 6 Wind farm Monitoring scheme

The main monitoring structure is based on three levels: the sensor level, the PLC level and the SCADA level. These three levels can be seen represented in the illustrations above. To summarize, the sensors on the physical equipment take measurements and send them to the lower PLCs. In turn, these PLCs report to a higher-ranking PLC that has another similar PLC that supplements it in case of error. These higher-ranking PLCs report to both the local SCADA and the main SCADA that will in turn monitor both the wind farm and the solar photovoltaic plant that make up the hybridization.

Economic study

The two main objectives of this study are the following:

- Calculate the IRR of the project.
- Calculate the net present value (NPV) of the project.

The main assumptions to consider in this study are:

- The discount rate is 6%.
- Capex is amortized over 25 years.

In order to evaluate the economic viability of the hybridization, it has been decided to evaluate a 30-year period (2021-2050) as this corresponds to the end of life of the solar PV plant and the repowering (30 and 20 years respectively).

First, the revenues of the hybrid plant are evaluated. To calculate the amount of these revenues, the energy production forecast and the energy price forecast provided by Pöyry have been used. With these data series the following result is reached:

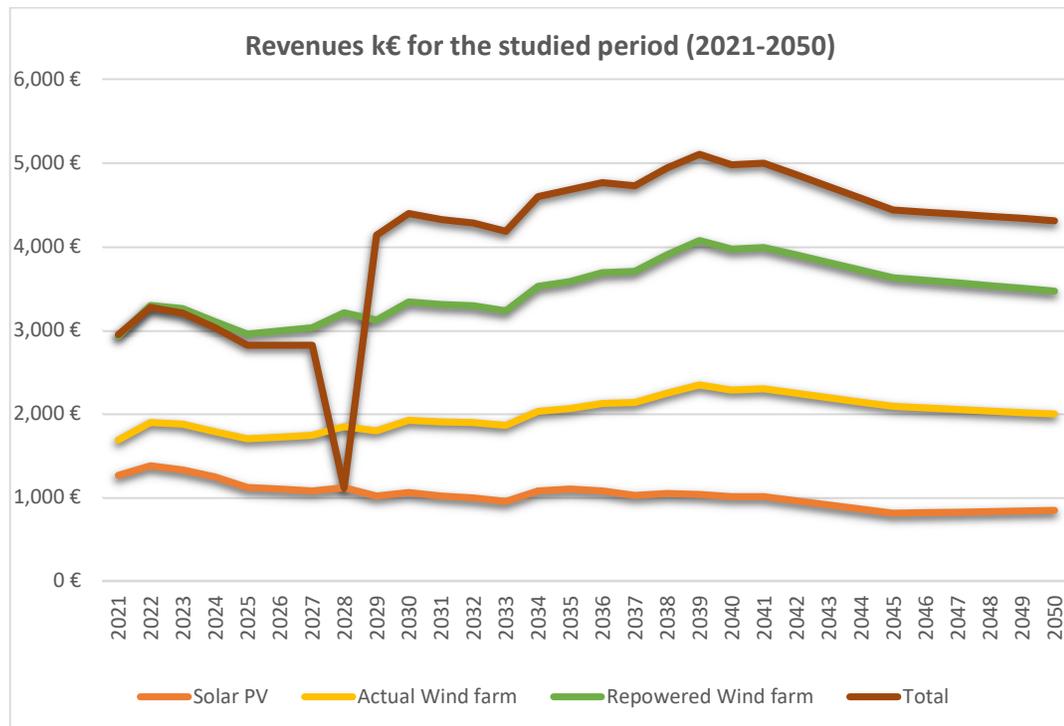


Image 7 Revenues breakdown for the concerning period (2021-2050)

In 2028, there is a significant drop in revenues due to the fact that during that year wind production is considered to be non-existent, since it is the year of the construction of the repowering.

Secondly, the economic investments and operating costs of both the part corresponding to the hybridization and those costs caused by the repowering are studied.

It is important to bear in mind that two major investments are required, one in 2021 (solar PV) and the other in 2028 (repowering of the wind farm). The operating costs for the period studied are as follows:

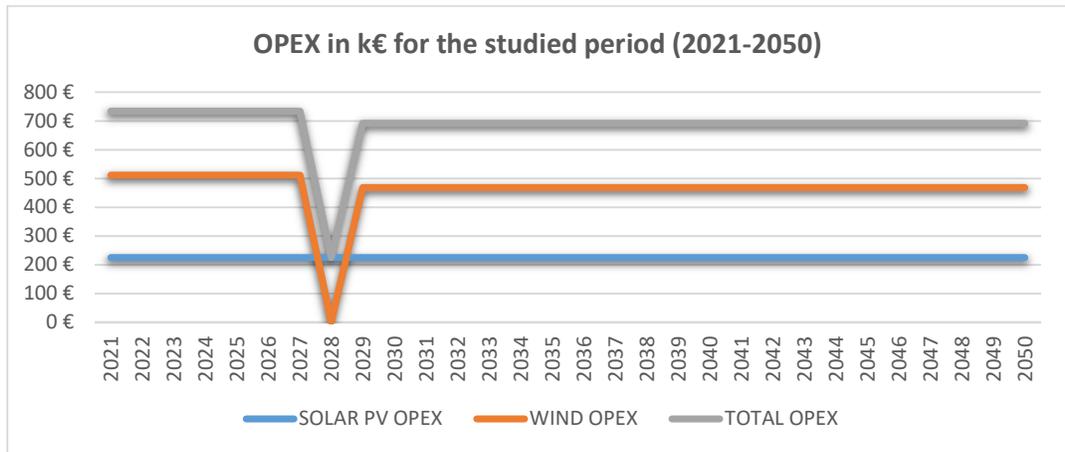


Image 8 Opex for period (2021-2050)

Concerning OPEX, it is important to note that this value suffers a considerable reduction after the repowering of the wind farm. The sharp drop in 2028 is due to the fact that during this period it will not be necessary to maintain operating costs, as this is the year in which the 17 G58 turbines are expected to be dismantled and the 3 Nordex-Acciona N163 wind turbines will be installed.

Thirdly, the annual benefits of the project are presented:

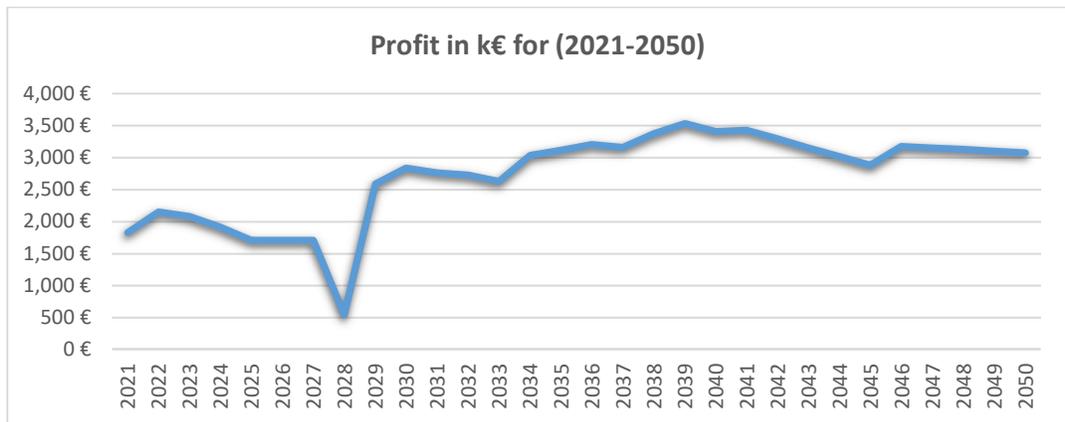


Image 9 Profit in k€ for (2021-2050)

The effect of the repowering of the wind farm has a very significant impact on the project's profits, as can be seen in the image above.

In spite of all the conditions foreseen for the year 2028, it is surprising how both plants together continue to produce a positive profit, although much lower than that corresponding to the periods in which both facilities are active. This information reinforces the economic viability of the project, which will not require capital injections beyond those needed for investments.

Finally, as a result of these revenues, expenses and investments, the following cash flows are obtained:

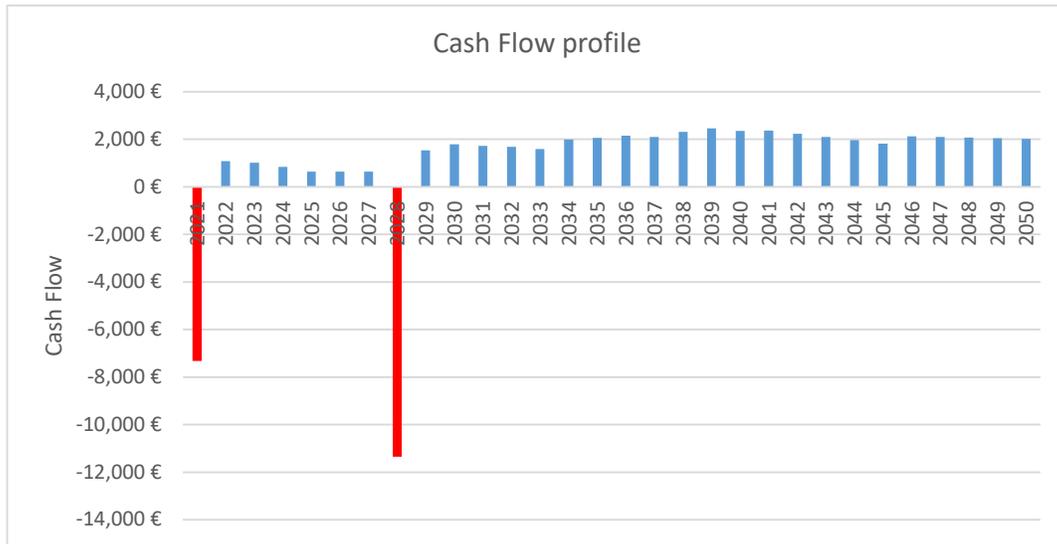


Image 10 Cash Flow profile for (2021-2050)

It is important to note that the two negative cash flows that appear in the years 2021 and 2028 correspond to the installation of the solar plant and the repowering respectively.

Thanks to these flows, both the IRR of the project and the present value are calculated. Thus, the following valuation is obtained:

- Net present value: 4.8 M € discounted at a rate of 6.0%.
- Project IRR: 9.3%.

Conclusions

The main conclusions of this project are the following:

Hybridization is presented as an optimization tool for interconnection points that has a competitive advantage when it comes to developing solar or wind projects in Spain, since it is not subject to the existing moratorium.

With regard to wind energy, the wind farm has 17 Gamesa G58 wind turbines of 0.85 MW each, reaching an hourly production of 1,807 net equivalent hours and with a remaining useful life of only 7 years. Thanks to the repowering carried out in 2028 with 3 Nordex-Acciona N163 machines with 5.04 MW, the following improvements are achieved:

- It extends the useful life of the wind farm by 20 years, reaching up to 2048.
- The number of wind turbines is reduced from 17 to 3.
- The number of equivalent hours is increased by 73% with respect to the current 1780h, reaching 3,078 equivalent hours of production.

The solar photovoltaic project that will be hybridized with the wind farm will be mounted with bifacial solar panels from Risen, model Titan 120, on single-axis tracker structures with N-S orientation for three reasons:

- They are bifacial panels that chronologically match this project.
- The single-axis tracker structures provide good results with high reliability.
- They are high power panels which will provide several advantages.

Regarding the inverters, Huawei string inverters model SUN2000-175KTL-H0 will be used as they provide the following advantages:

- Modularity.
- Better redundancy.
- Reduced space requirements.
- Reduced DC cabling losses.

Once the equipment has been selected, the technical feasibility study of the hybridization is performed. This surplus study is evaluated between the current and the repowered plant against a solar photovoltaic plant that is scaled from 1 MWp to 20 MWp. In this way it has been decided that the most suitable size for this plant is 15 MWp. This decision is based on the following statements:

- The losses registered in the best of the repowering scenarios (N163) with this size do not exceed 4% referred to the plant itself.
- In the event of having to stop wind production during the construction of the repowering, the capacity of the interconnection point with 15 MWp of solar will continue to be used to a large extent.
- 15 MWp is a size at which better economic agreements can be reached with suppliers.

With regard to the land to house this solar installation, it has been decided to select "Plan B". The reasons for this decision are as follows:

- It meets all the requirements, including that of surface area (30.4 Ha).
- It is the plot that is closest to the substation.
- This plan only affects a single plot, implying a single enclosure.



Image 11 Layout of repowered Wind farm, Solar PV plot and substation

Finally, the results of the economic analysis show that the project generates profit throughout the useful life of the plants, even in the year in which the G58 wind turbines are expected to be dismantled for the installation of the three N163 wind turbines of Nordex Acciona.

Finally, the cash flow projections up to 2050 allow us to conclude that the project is feasible with an IRR of 9.3% and an NPV of 4.8 M € discounted at a rate of 6.0%.

ESTUDIO DE LA HIBRIDACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTVOLTAICA Y ENERGÍA EÓLICA

RESUMEN DEL PROYECTO

Introducción

El objetivo principal de este proyecto es estudiar la viabilidad de la hibridación de un parque eólico con una planta solar fotovoltaica. Para poder llevar a cabo un estudio detallado se ha decidido estudiar la viabilidad: técnica, legal y económica.

El procedimiento llevado a cabo empieza con el estudio de la energía eólica. Empezando por los conceptos básicos, pasando por un estudio de mercado y acabando con el estudio y la viabilidad del proyecto eólico. El proyecto eólico parte de un parque eólico compuesto por 17 aerogeneradores Gamesa G58 de 0.85 MW cada uno. Con estas condiciones, el proyecto tiene 14.45 MW y una producción horaria de alrededor de 1,807 horas anuales. Además del parque eólico original, se estudian otros dos casos de este mismo parque repotenciado.

Seguidamente, se procede a estudiar la energía solar fotovoltaica siguiendo una estrategia similar a la llevada a cabo en el caso de la energía eólica. Tras exponer las tecnologías principales de este tipo de energía, se realiza un estudio de mercado que permite definir los componentes más interesantes de cara a montar una planta solar fotovoltaica hoy en día.

Una vez ambas tecnologías quedan estudiadas, se procede a realizar un estudio de la hibridación. Por esta razón, se empieza por presentar los tres escenarios eólicos y los componentes seleccionados para montar la planta solar fotovoltaica. En este punto, se contrastan las producciones horarias de los tres escenarios eólicos enfrentados a la producción de energía horaria de una planta solar fotovoltaica de tamaño variable desde 1MWp hasta los 20 MWp. Este estudio permite calcular el exceso de energía que existe en cada caso y de esta manera dimensionar el tamaño en MWp de la planta solar fotovoltaica hibridada a la configuración del parque eólico más adecuada.

Una vez definido el proyecto híbrido se procede a estudiar la monitorización del conjunto de ambas instalaciones, se realiza un estudio económico y se finaliza el estudio presentando las conclusiones a las que se ha llegado.

Energía eólica

En cuanto al estudio de mercado de los aerogeneradores, se ha decidió establecer los siguientes criterios:

- Aerogenerador de alrededor de 5 MW de potencia.
- Modelo de aerogenerador que exista en el mercado actual y no sea un prototipo.
- Fabricante activo actualmente presente en el mercado español.

Siguiendo los criterios establecidos se concluye que el fabricante más adecuado para nuestro proyecto es Nordex Acciona. En lo que se refiere a los modelos que son candidatos, los dos modelos representados en el estudio cumplen con todos los requisitos. De esta manera, tanto el N149 como el N163 se tienen en cuenta para una posible repotenciación del parque eólico.

Una vez conocidas las peculiaridades de los modelos del mercado actual y definidas las opciones de repotenciación, se dispone a presentar el parque eólico existente.

El proyecto se sitúa en la Provincia de Albacete. Se trata de un parque eólico compuesto por 17 aerogeneradores Gamesa G58 de 0.85 MW cada uno. Con estas condiciones, el proyecto tiene 14.45 MW y una producción horaria de alrededor de 1,807 horas anuales

En cuanto a la vida del parque, es importante resaltar que se trata de un parque construido en noviembre de 2008. Por esta razón, su vida útil estimada acabaría en 2028 a no ser que se realicen modificaciones para una extensión de vida o una sustitución de sus aerogeneradores (repotenciación).

Las principales características se ven recogidas en la siguiente tabla:

Potencia Nominal	14,450 kW
Aerogeneradores	17 x G 58 850 kW (HH 55 m)
Horas netas equivalentes	1,807 horas
COD	2004

Tabla 1 Características del parque eólico

En cuanto a la localización y distribución de los 17 aerogeneradores, se presenta la siguiente imagen:

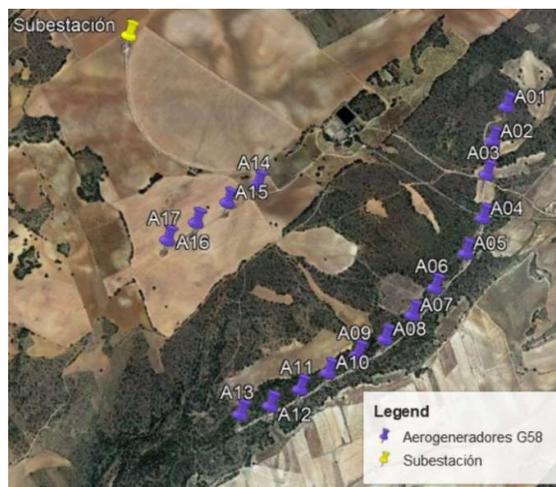


Ilustración 1 Mapa Parque Eólico

Conocidas las posiciones de los aerogeneradores se estudia la producción anual del parque y se realiza un estudio de viento de cara a una posible repotenciación.

La repotenciación, se basa en la sustitución de las máquinas antiguas por unas más modernas que dan lugar a una mejora tanto económica como medioambiental. Esto se debe principalmente a que los aerogeneradores actuales no son solamente más eficaces y por lo tanto se requieren menos, sino que, además, son más silenciosos y precisan de una velocidad de giro mucho menor. De esta forma, se logran tres objetivos importantes:

- Reducir la ocupación de terreno.
- Reducir el impacto medioambiental.
- Aumentar y optimizar el aprovechamiento del recurso eólico.

En el caso concreto de este estudio, se evalúa la repotenciación con los modelos N149 y N163 del fabricante Nordex Acciona. Siendo, la potencia actual del parque de 14.45MW la idea principal es repotenciar con 3 máquinas que proporcionen alrededor de 5 MW cada una.

De cara al estudio de repotenciación, se tienen en cuenta los posibles efectos de las estelas provocadas por parques cercanos y se genera un modelo eólico que permite simular el comportamiento de cada una de las variantes estudiadas.

En cuanto al plano del parque repotenciado, se han estudiado las producciones anuales por turbina. Siguiendo unos criterios puramente energéticos y geográficos, se ha decidido situar los 3 aerogeneradores de la repotenciación en las posiciones que corresponden con las máquinas A1, A5 y A11.



Ilustración 2 Layout del parque eólico repotenciado

Una vez consideradas las localizaciones definitivas, se aplica el modelo eólico obteniendo los siguientes resultados:

Escenario	Rendimiento energético P50 (MWh/año)	Horas netas equivalentes
Parque actual	26,106	1,807
Parque actual + impacto “A”	25,726	1,780
Parque repotenciado con Nordex-N149	40,886	2,830
Parque repotenciado con Nordex-N163	44,473	3,078

Tabla 2 Comparativa de escenarios para la repotenciación

En lo que respecta esta tabla, el modelo más adecuado para realizar una repotenciación en este momento en el parque es el Nordex Acciona N163 debido a que permite obtener un 8.7% más de horas equivalentes con respecto a la siguiente candidata que sería la N149 con 2,830 horas equivalentes. Estas 2,830 horas suponen a su vez un 56 % de aumento con respecto a los aerogeneradores G58 que están instalados en el parque.

Energía Solar fotovoltaica

El objetivo de este apartado consiste en conocer las principales tecnologías que existen en el mundo solar fotovoltaico. Para ello, se han ido estudiando una a una, permitiendo realizar un posterior riguroso estudio de mercado. Las tecnologías que se han estudiado son las siguientes:

- PERC
- Half-Cell
- HJT
- Multi Bus Bar
- Tiling Ribbon
- Double Glass

Con el conocimiento de las tecnologías existentes se realiza el estudio de mercado de los paneles solares. Gracias al estudio, se decide optar por los paneles del fabricante Risen modelo Titan 120 por tres razones:

- Son paneles que cronológicamente concuerdan con este proyecto.
- Se trata de paneles bifaciales.
- Son paneles de gran potencia y eficiencia.

A continuación, se presentan las principales características de estos paneles solares:

Risen – Titan 120 High Performance Bifacial Monocrystalline Perc Module	
Número de celdas	120
Potencia (Wp)	585 - 605
Máximo voltaje del Sistema (V_{DC})	1,500
Eficiencia máxima	21.40%
Dimensiones	2,172 x 1,303 x 35 mm

Tabla 3 Características módulo solar Titan 120

Una vez definidos los paneles a usar se estudian las diferentes estructuras sobre las que estos irán montados. Tras analizar las diferentes configuraciones se ha decidido escoger las estructuras seguidoras a un eje horizontal orientados N-S. Esta decisión se basa en que se aumenta el rendimiento de la planta considerablemente con respecto a la estructura fija, pero sin tener unos costes y una complejidad tan alta como los seguidores de doble eje.

Finalmente, en lo que refiere a los inversores, se estudian tanto los inversores centrales como lo de string y tras realizar un estudio de mercado se concluye que, para el proyecto estudiado, la mejor opción es el inversor en string Huawei SUN2000-175KTL-H0.

Hibridación

Un sistema de energía híbrido es aquel que es capaz de producir electricidad a partir de dos o más fuentes de energía. Generalmente, se trata de fuentes de energía renovables que se diseñan y se sitúan de tal manera que puedan compartir el mismo punto de conexión.

Para estudiar la hibridación de una planta solar fotovoltaica y un parque eólico existente, se empieza por plantear la situación del parque actual y de sus posibles repotenciaciones. Una vez establecida la parte eólica, se presenta una planta solar formada por los equipos elegidos.

El objetivo principal del estudio de hibridación es determinar la capacidad a instalar de energía solar fotovoltaica de tal forma que se alcance un equilibrio entre la optimización del punto de conexión y el potencial excedente de energía que no se llegaría a generar.

Por esta razón, se diseña una planta solar fotovoltaica de tamaño variable desde 1MWp de potencia instalada hasta una de 20 MWp, en escalones de 1 MWp.

Modelo solar fotovoltaico de 1 MWp	
Potencia nominal	1,000 kWp
Potencia nominal total	875 kW ac
Energía producida	2,187 MWh/año
Horas netas equivalentes	2,188
Proporción de rendimiento	85.94%
Proporción potencia nominal	1.14

Tabla 4 Resultados del modelo solar fotovoltaico para 1 MWp

Para analizar con detalle el comportamiento de la planta híbrida, se construyen series horarias para la producción eólica y solar. A continuación, se analiza la suma de ambas series teóricas (eólica y solar) en el contexto de la potencia autorizada, con el fin de analizar la energía total generada y los excedentes imposibles de verter a la red.

La siguiente figura ilustra la metodología del estudio:

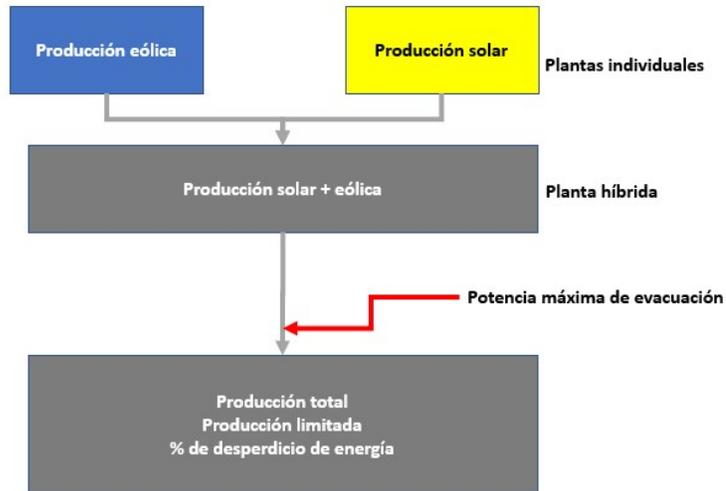


Ilustración 3 Metodología del estudio de hibridación.

Tras analizar las tres configuraciones eólicas contrastadas con los 20 tamaños de planta solar fotovoltaica se presentan los siguientes resultados del excedente:

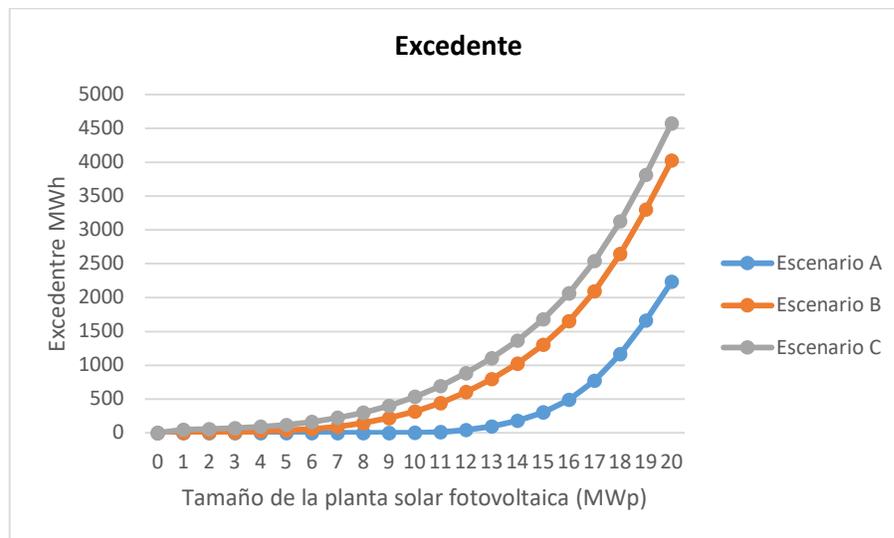


Ilustración 4 Excedente según escenario

Según los resultados obtenidos se ha decidido tener en cuenta un tamaño de 15 MWp para la instalación solar fotovoltaica que se hibridará al parque actual y que quedará

hibridado al futuro parque repotenciado con Nordex Acciona N163 (Escenario C). Se ha tomado esta decisión basada en tres razones principalmente:

- Los excedentes registrados en el mejor de los escenarios de repotenciación (N163) con este tamaño no exceden el 5% referido a la propia planta.
- En caso de tener que parar la producción eólica durante la construcción de la repotenciación se seguirá aprovechando en gran medida la capacidad del punto de conexión con 15 MWp de solar.
- 15 MWp es un tamaño con el cual se pueden llegar a mejores acuerdos económicos con los proveedores.

Proyecto Solar

Siguiendo los criterios establecidos en el estudio de hibridación, se ha decidido estudiar la implantación de una planta solar fotovoltaica con una potencia de 15 MWp. Se trata de una planta solar de tamaño medio/pequeño en comparación con los proyectos que se llevan a cabo hoy en día.

Lo primero es empezar por la selección de los terrenos más adecuados para la instalación de la planta. Teniendo en cuenta todos los requisitos que debe cumplir el terreno, se considera que la opción más adecuada es el plan B. Esta decisión viene apoyada en tres razones de peso:

- Cumple con todos los requisitos, incluso el de superficie.
- Es la parcela que se encuentra más cerca de la subestación.
- Este plan solamente afecta a una sola parcela y a un solo recinto.

Las características del plan B y su localización con respecto al parque repotenciando y a la subestación se presenta a continuación.

Terreno seleccionado para albergar la instalación fotovoltaica			
Provincia	Albacete	Condición	TA – Tierra arable
Municipio	-	Superficie	29.29 Ha
Polígono	-	Inclinación media N-S	2.30%
Parcela	-	Inclinación máxima E-O	3.70%

Tabla 5 Terreno seleccionado para la planta solar



Ilustración 5 Mapa del parque eólico con el terreno seleccionado para la planta solar

Una vez decidido el terreno es importante evaluar el punto de acceso y conexión del parque actual para ver si es preciso realizar modificaciones. Al tratarse de una hibridación, solamente es preciso realizar las siguientes instalaciones:

- Armario de control para la energía producida por la hibridación.
- Dos contadores de energía activa y reactiva para ambas instalaciones.
- Actualización de los sistemas de protección y control.
- Celda de línea 630 A, 25kA.

En relación con los puntos de acceso y conexión, es preciso mencionar que en la actualidad existe una moratoria que deja congelado el proceso de concesión de puntos de acceso y conexión. Esta moratoria no afecta a los proyectos de hibridación por lo que la hibridación se presenta como el mecanismo idóneo para desarrollar proyectos renovables en España en este momento.

Una vez realizados estas pequeñas modificaciones, la hibridación permitirá verter energía proveniente de ambos parques, de tal forma que se optimizará la explotación del punto de acceso.

Ventajas y Desventajas

La hibridación es la producción de energía a partir fuentes de energía distintas. En este caso, energía solar fotovoltaica y energía eólica. Este fenómeno tiene tanto puntos positivos como puntos negativos.

En lo que se refiere a las principales ventajas que aporta una hibridación como la que se presenta en este estudio son las siguientes:

- Permite aprovechar el punto de conexión otorgado a la instalación original de tal manera que se pueda verter más energía a la red con la misma infraestructura de conexión a la red eléctrica del país.
- Permite alcanzar sinergias principalmente a la hora de control, monitorización y negociación con los proveedores. Además, se reutiliza la parte de la conexión de la instalación original. Esto permite reducir los costes tanto de inversión como de mantenimiento del conjunto de ambas plantas.
- En caso de una repotenciación en una de las dos instalaciones, la hibridación permite que la otra componente genere y vierta energía a la red durante el periodo de construcción permitiendo tener ingresos a lo largo de toda la vida útil de la hibridación.
- De cara al futuro, este tipo de instalaciones permitirán el abastecimiento con energía renovable durante todas las horas del año siempre y cuando se cuente con un sistema de almacenamiento.

La desventaja principal que presenta la hibridación es el no generar energía por no disponer de más capacidad para verter a la red. Por esta razón, los sistemas de almacenamiento se presentan como el compañero idóneo de la hibridación. De esta manera, se almacenaría el exceso de energía y se vertería en momentos en los que la producción no fuese máxima.

Monitorización

Un sistema de monitorización es una aplicación que permite verificar de manera remota el correcto funcionamiento de una instalación de cualquier índole en tiempo real, con el objetivo de actuar rápidamente en el caso de detectar daños y/o averías (ejemplo: fallos en los inversores, cables rotos, fallos en las células, etc.) y poder llevar a cabo una reparación y/o mantenimiento del sistema de placas solares.

En primer lugar, se presenta el esquema de monitorización de la planta solar fotovoltaica:

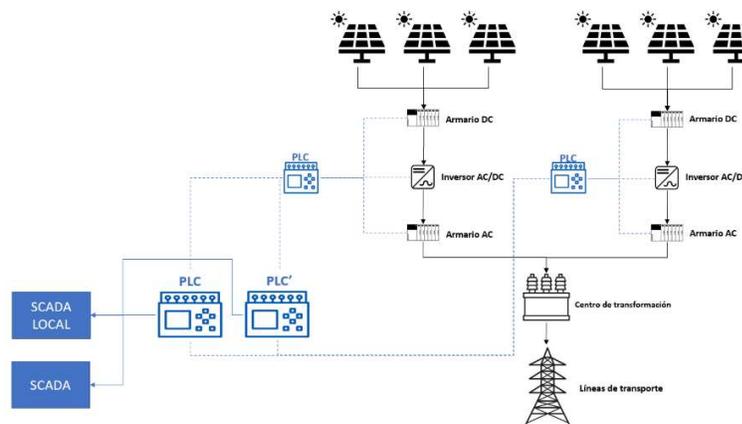


Ilustración 6 Esquema de la monitorización de una planta solar

En segundo lugar, se presenta el esquema de monitorización del parque eólico:

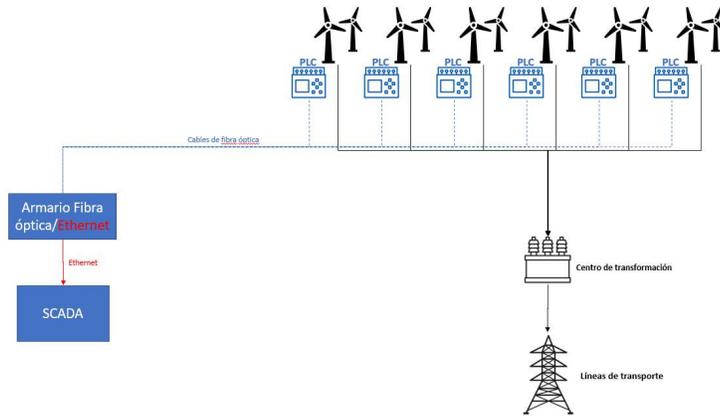


Ilustración 7 Esquema de monitorización de un parque eólico.

La estructura principal de monitorización se basa en tres niveles: el nivel de sensores, el de PLCs y el de SCADAs. Estos tres niveles se pueden ver representados en las ilustraciones anteriores. En resumen, los sensores que se encuentran en los equipos físicos toman medidas que mandan a los PLCs inferiores. A su vez, estos PLCs reportan a un PLC de mayor rango que dispone de otro PLC similar que lo suplementa en caso de error. Estos PLCs de mayor rango, reportan tanto al SCADA local como al SCADA principal que permitirá a su vez monitorizar tanto al parque eólico como a la planta solar fotovoltaica que conforman la hibridación.

Estudio económico

Los dos objetivos principales de este estudio son dos:

- Calcular la TIR del proyecto.
- Calcular el valor actual neto del proyecto.

Los principales detalles a tener en cuenta en este estudio son los siguientes:

- La tasa de descuento es del 6%.
- Los Capex se amortizan a 25 años.

Para poder evaluar la viabilidad económica de la hibridación, se ha decidido evaluar un periodo de 30 años (2021-2050) ya que se corresponde con el fin de vida la planta solar fotovoltaica y de la repotenciación (30 y 20 años respectivamente).

En primer lugar, se evalúan los ingresos de la planta híbrida. Para calcular la cuantía de estos ingresos se ha contado con la previsión de producción de energía y la previsión del precio de la energía facilitado por Pöyry. Con estas series de datos se alcanza el siguiente resultado:

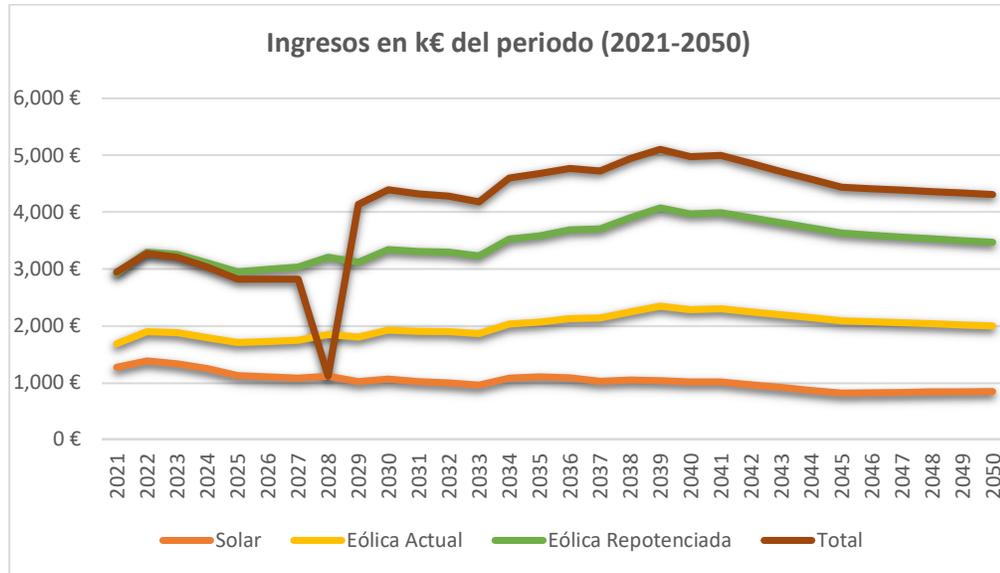


Ilustración 8 Ingresos de la planta híbrida

En el año 2028 se aprecia una caída importante en los ingresos debido a que durante ese año se considera nula la producción eólica ya que es el año de la construcción de la repotenciación.

En segundo lugar, se estudian las inversiones económicas y los costes operativos tanto de la parte correspondiente a la hibridación, como aquellos costes causados por la repotenciación. Es importante tener en cuenta que es preciso realizar dos inversiones fuertes, una en el año 2021 (solar fotovoltaica) y otra en el año 2028 (repotenciación del parque eólico). Los costes de operación para el periodo estudiado son los siguientes:

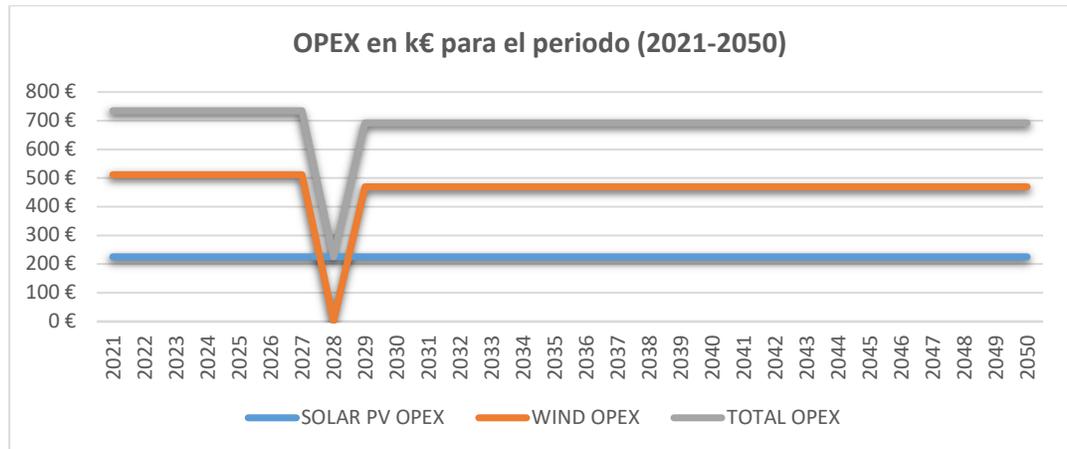


Ilustración 9 OPEX en k€ del periodo (2021-2050)

En lo que se refiere al OPEX, es importante destacar que este valor sufre una reducción considerable tras la repotenciación del parque eólico. La caída pronunciada presente en el año 2028 se debe a que durante ese periodo no será preciso mantener los costes de operación ya que es el año en el que se prevé desmantelar las 17 turbinas G58 e instalar los 3 aerogeneradores Nordex Acciona N163.

En tercer lugar, se presentan los beneficios anuales del proyecto.

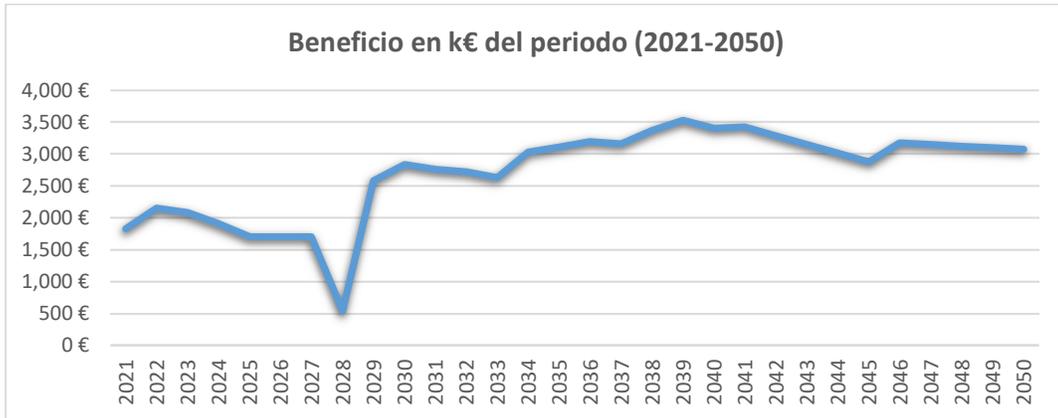


Ilustración 10 Beneficio en k€ del periodo (2021-2050)

El efecto de la repotenciación del parque supone un impacto muy significativo en los beneficios del proyecto tal y como se puede apreciar en la imagen anterior.

A pesar de todos los condicionantes que se prevén para el año 2028, es sorprendente como el conjunto de ambas plantas sigue produciendo un beneficio positivo, aunque mucho menor que el correspondiente a los periodos en los que están activas ambas instalaciones. Esta información refuerza la viabilidad económica del proyecto que no precisará inyecciones de capital más allá de aquellas que precisen las inversiones.

Finalmente, como resultado de estos ingresos, gastos e inversiones, se obtienen los siguientes flujos de caja:

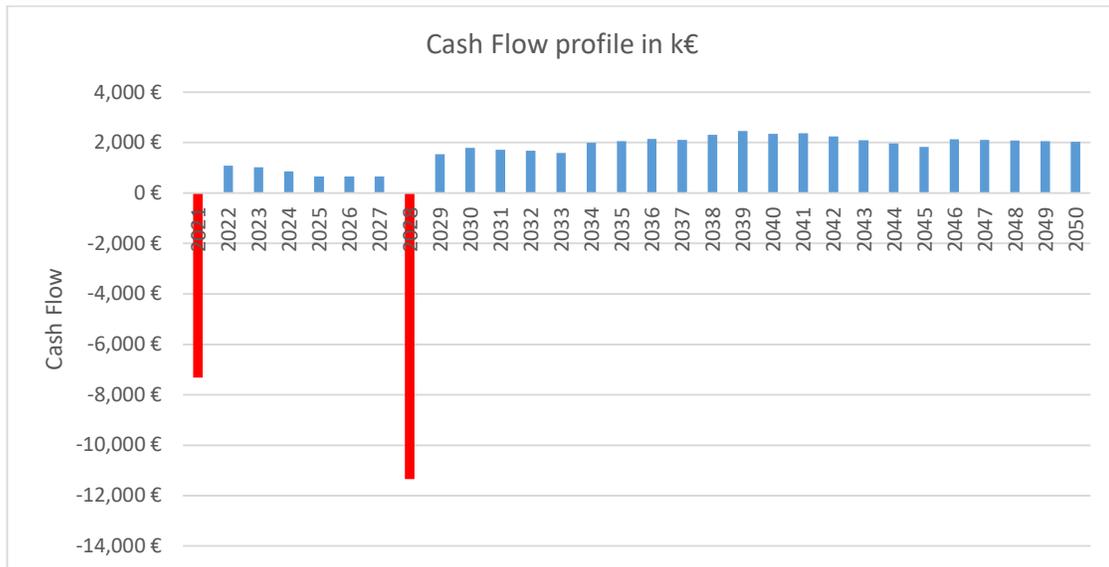


Ilustración 11 Flujos de caja en k€ (2021-2050)

Es importante destacar que los dos flujos de caja negativos que aparecen en los años 2021 y 2028 corresponden con la instalación de la planta solar y de la repotenciación respectivamente.

Gracias a estos flujos se calculan tanto la TIR del proyecto como el valor actual. De esta forma, se obtiene la siguiente valoración:

- Valor actual Neto: 4.8 M € descontando a una tasa del 6.0%
- TIR de proyecto: 9.3%

Conclusiones

Las principales conclusiones de este proyecto son las siguientes:

La hibridación se presenta como una herramienta de optimización de puntos de acceso y conexión que goza de una ventaja competitiva a la hora de desarrollar proyectos solares o eólicos en España ya que no está sujeta a la moratoria existente.

En lo que respecta a la energía eólica, se parte de una situación en la que el parque dispone de 17 aerogeneradores Gamesa G58 de 0.85 MW cada uno, alcanzando una producción horaria de alrededor de 1,807 horas anuales y con una vida útil restante de apenas 7 años. Gracias a la repotenciación llevada a cabo en el año 2028 con 3 máquinas Nordex-Acciona N163 con 5.04 MW, se consiguen las siguientes mejoras:

- Prolonga la vida útil del parque en 20 años, llegando hasta el 2048.
- Se reduce el número de aerogeneradores de 17 a 3.
- Se aumenta el número de horas equivalentes en un 73% con respecto a las 1780h actuales, alcanzando 3,078 horas equivalentes de producción.

El proyecto solar fotovoltaico que se hibridará con el parque eólico se montará con paneles solares bifaciales del fabricante Risen modelo Titan 120 sobre estructuras de seguidor a un eje con orientación N-S por tres razones:

- Son paneles bifaciales que cronológicamente concuerdan con este proyecto.
- Las estructuras de seguidor a un eje proporcionan buenos resultados con alta fiabilidad.
- Son paneles de gran potencia lo que brindará diversas ventajas.

En lo que se refiere a los inversores, se usarán los inversores en string de Huawei modelo SUN2000-175KTL-H0 [1] ya que proporcionan las siguientes ventajas:

- Modularidad
- Mejor redundancia
- Reducción de los requerimientos de espacio
- Reducción de las pérdidas de cableado de CC

Una vez seleccionados los equipos se realiza el estudio de viabilidad técnica de la hibridación. Este estudio de excedente se evalúa entre el parque actual y el repotenciado frente a una planta solar fotovoltaica que se escala de MWp en MWp. De esta manera se

ha decidido que el tamaño más adecuado para esta planta es de 15 MWp. Esta decisión se fundamenta en las siguientes afirmaciones:

- Las pérdidas registradas en el mejor de los escenarios de repotenciación (N163) con este tamaño no exceden el 4% referido a la propia planta.
- En caso de tener que parar la producción eólica durante la construcción de la repotenciación se seguirá aprovechando en gran medida la capacidad del punto de conexión con 15 MWp de solar.
- 15 MWp es un tamaño con el cual se pueden llegar a mejores acuerdos económicos con los proveedores.

En lo que se refiere a los terrenos para albergar esta instalación solar se ha decidido escoger el mencionado “Plan B”. Las razones que soportan esta decisión son las siguientes:

- Cumple con todos los requisitos, incluso el de superficie (30.4 Ha).
- Es la parcela que se encuentra más cerca de la subestación.
- Este plan solamente afecta a una sola parcela y a un solo recinto.



Ilustración 12 Parque eólico repotenciado junto a parcela para la planta solar de 15 MWp

Por último, los resultados del estudio económico muestran como el proyecto genera beneficios a lo largo de toda la vida útil de las plantas incluso en el año en el que se prevé desmantelar los aerogeneradores G58 para la instalación de los tres aerogeneradores N163 de Nordex Acciona.

Finalmente, la proyección de los flujos de caja hasta el año 2050 permiten concluir que proyecto es viable con una TIR de 9.3% y un VAN de 4.8 M € descontando a una tasa del 6.0%.

TABLA DE CONTENIDO

DOCUMENTO 1.: MEMORIA	1
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Estado de la cuestión	4
1.3 Motivación.....	5
1.4 Objetivos del proyecto.....	6
1.5 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	7
1.6 Metodología de trabajo	8
1.7 Recursos a emplear	10
2 ENERGÍA EÓLICA	11
2.1 Introducción.....	11
2.2 Aerogeneradores	11
2.2.1 Funcionamiento	11
2.2.2 Estudio de mercado de aerogeneradores.....	12
2.2.3 Características de los aerogeneradores seleccionados.....	14
2.3 Proyecto eólico	15
2.3.1 Descripción general.....	15
2.3.2 Características del punto de conexión a la red	16
2.3.3 Situación del parque eólico.....	17
2.3.4 Características de los aerogeneradores actuales.....	19
2.3.5 Producción energética actual del proyecto	20
2.3.6 Análisis del viento	21
2.4 Repotenciación	23
2.4.1 Contexto.....	23
2.4.2 Estudio de la repotenciación.....	25
3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	35
3.1 Paneles Solares	35

3.1.1	Introducción	35
3.1.2	Funcionamiento de un panel solar fotovoltaico	35
3.1.3	Tipología de los paneles solares fotovoltaicos.....	37
3.1.4	Estudio de mercado de los diferentes paneles solares.....	44
3.1.5	Estructura de los paneles solares.....	45
3.2	Inversores	46
3.2.1	Introducción	46
3.2.2	Tipos de inversores	46
3.2.3	Selección de los inversores	47
4	HIBRIDACIÓN	49
4.1	Introducción.....	49
4.2	Descripción	49
4.2.1	Parque eólico	49
4.2.2	Planta solar fotovoltaica	49
4.2.3	Metodología.....	50
4.2.4	Modelo dinámico de la planta solar.....	50
4.2.5	Cálculo de la producción de la planta híbrida	52
4.2.6	Resultados de la hibridación	53
4.2.7	Conclusión del dimensionamiento de la hibridación	57
4.3	Proyecto solar	58
4.3.1	Estudio de los terrenos para la instalación fotovoltaica	58
4.4	Punto de acceso y conexión	64
4.5	Ventajas y desventajas de la hibridación.....	65
5	MONITORIZACIÓN.....	67
5.1	Monitorización instalación solar fotovoltaica	67
5.2	Monitorización de la instalación eólica	69
6	ESTUDIO ECONÓMICO	73
6.1	Evaluación del Capex y el Opex	73
6.2	Ingresos	77
6.3	Análisis económico	79
7	CONCLUSIONES.....	82
DOCUMENTO 2.: REFERENCIAS		87
REFERENCIAS.....		88
DOCUMENTO 3.: ANEXOS.....		95

1	ESTUDIO DE MERCADO DE LOS PANELES SOLARES	96
2	SIMULACIÓN EN PVSYST PARA 1 MWP	98
3	DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	101
3.1	Escenario: Parque eólico actual.....	101
3.2	Escenario: Parque eólico repotenciado con 3 N149.....	102
3.3	Escenario: Parque eólico repotenciado con 3 N163.....	103
4	ESTUDIO DEL EXCEDENTE.....	104
5	ESTUDIO ECONÓMICO	106
5.1	Ingresos	106
5.2	Cuenta de pérdidas y Ganancias	107
5.3	Flujos de caja	108
6	OBJETIVOS Y METAS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 CARACTERÍSTICAS DEL PARQUE EÓLICO.....	II
TABLA 2 COMPARATIVA DE ESCENARIOS PARA LA REPOTENCIACIÓN	IV
TABLA 3 CARACTERÍSTICAS MÓDULO SOLAR TITAN 120	V
TABLA 4 RESULTADOS DEL MODELO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA 1 MWP	VI
TABLA 5 TERRENO SELECCIONADO PARA LA PLANTA SOLAR	VII
TABLA 6 CRONOGRAMA DE LA METODOLOGÍA DE ESTUDIO	9
TABLA 7 PRINCIPALES FABRICANTES DE AEROGENERADORES.....	13
TABLA 8 ESTUDIO DE MERCADO DE LOS AEROGENERADORES	13
TABLA 9 NORDEX ACCIONA N149.....	14
TABLA 10 NORDEX ACCIONA N163.....	15
TABLA 11 CARACTERÍSTICAS DEL PARQUE EÓLICO	15
TABLA 12 CARACTERÍSTICAS DE LA LÍNEA ELÉCTRICA EXISTENTE EN EL PROYECTO	16
TABLA 13 CARACTERÍSTICAS DEL TRANSFORMADOR.....	17
TABLA 14 COORDENADAS Y ALTITUD DE LOS 17 AEROGENERADORES G58.....	18
TABLA 15 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DEL PARQUE ACTUAL	20
TABLA 16 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA MENSUAL DEL PARQUE ACTUAL.....	20
TABLA 17 DISPONIBILIDAD DEL PARQUE ACTUAL.....	21
TABLA 18 PRINCIPALES DATOS OBTENIDOS DE LA MEDICIÓN CON ERA5	21
TABLA 19 DISTRIBUCIÓN SECTORIAL DE LA DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO	23
TABLA 20 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS OPCIONES DE REPOTENCIACIÓN	26
TABLA 21 PÉRDIDAS TÉCNICAS Y OPERACIONALES CON SUS FACTORES PARA LA SITUACIÓN SIN REPOTENCIAR	27
TABLA 22 PÉRDIDAS TÉCNICAS Y OPERACIONALES CON SUS FACTORES PARA LA SITUACIÓN REPOTENCIADA	28
TABLA 23 MODELO DE PRODUCCIÓN SIN TENER EN CUENTA EL EFECTO DE CABRERIZAS PARA 17 G58	29
TABLA 24 MODELO DE PRODUCCIÓN TENIENDO EN CUENTA EL EFECTO DE CABRERIZAS PARA 17 G58	29
TABLA 25 23 RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA DEL MODELO DE CAMPO EÓLICO PARA 3 NORDEX-ACCIONA N149-5,06MW A 120 M DE ALTURA DEL BUJE.	32
TABLA 26 RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA DEL MODELO DE CAMPO EÓLICO PARA 3 NORDEX-ACCIONA N163- 5,04MW A 120 M DE ALTURA DEL BUJE.	32
TABLA 27 RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN LA ACTUALIDAD CON Y SIN EFECTO DE "A"	32
TABLA 28 RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA DE LAS CONFIGURACIONES REPOTENCIADAS.	33
TABLA 29 COMPARATIVA DE ESCENARIOS PARA LA REPOTENCIACIÓN	33
TABLA 30 RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA PARA EL PROYECTO AFECTADO POR "A" PARA LAS DOS ALTERNATIVAS DE REPOTENCIACIÓN	34
TABLA 31 ESTUDIO DE MERCADO DE LOS PANELES SOLARES (REDUCIDO)	45
TABLA 32 CARACTERÍSTICAS MÓDULO SOLAR TITAN 120	45
TABLA 33 CARACTERÍSTICAS DEL INVERSOR.....	48
TABLA 34 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL PARQUE EÓLICO	49
TABLA 35 TABLA DE PÉRDIDAS PARA EL MODELO SOLAR	51
TABLA 36 RESULTADOS DEL MODELO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA 1 MWP	52
TABLA 37 SUPERFICIES POTENCIALES PARA ALBERGAR AL PROYECTO	60
TABLA 38 PLANES POTENCIALES	61
TABLA 39 TERRENO SELECCIONADO PARA LA PLANTA SOLAR	64
TABLA 40 CAPEX PARA LA REPOTENCIACIÓN	74
TABLA 41 CAPEX PARA LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA DE 15 MWP	74
TABLA 42 OPEX ESTIMADOS PARA PLANTA SOLAR PV	75
TABLA 43 OPEX PARA EL PARQUE EÓLICO REPOTENCIADO	75

TABLA 44 COSTES ANUALES DE O&M POR TURBINA	75
TABLA 45 OPEX ESTIMADOS PARA PLANTA SOLAR PV	76
TABLA 46 GASTOS DE O&M PARA LA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA	76
TABLA 47 COSTES DE ADAPTACIÓN DE LA SUBESTACIÓN PARA LA HIBRIDACIÓN	76
TABLA 48 PRODUCCIÓN ANUAL DE CADA TECNOLOGÍA.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

ILUSTRACIÓN 1 MAPA PARQUE EÓLICO	II
ILUSTRACIÓN 2 LAYOUT DEL PARQUE EÓLICO REPOTENCIADO	III
ILUSTRACIÓN 3 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE HIBRIDACIÓN	VI
ILUSTRACIÓN 4 EXCEDENTE SEGÚN ESCENARIO	VI
ILUSTRACIÓN 5 MAPA DEL PARQUE EÓLICO CON EL TERRENO SELECCIONADO PARA LA PLANTA SOLAR	VIII
ILUSTRACIÓN 6 ESQUEMA DE LA MONITORIZACIÓN DE UNA PLANTA SOLAR	IX
ILUSTRACIÓN 7 ESQUEMA DE MONITORIZACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO	X
ILUSTRACIÓN 8 INGRESOS DE LA PLANTA HÍBRIDA	XI
ILUSTRACIÓN 9 OPEX EN K€ DEL PERIODO (2021-2050)	XI
ILUSTRACIÓN 10 BENEFICIO EN K€ DEL PERIODO (2021-2050)	XII
ILUSTRACIÓN 11 FLUJOS DE CAJA EN K€ (2021-2050)	XII
ILUSTRACIÓN 12 PARQUE EÓLICO REPOTENCIADO JUNTO A PARCELA PARA LA PLANTA SOLAR DE 15 MWP	XIV
ILUSTRACIÓN 13 AEROGENERADOR	11
ILUSTRACIÓN 14 MAPA PARQUE EÓLICO	18
ILUSTRACIÓN 15 REPRESENTACIÓN DE LA ALTITUD DE LOS 13 PRIMEROS AEROGENERADORES	19
ILUSTRACIÓN 16 REPRESENTACIÓN DE LA ALTITUD DE LOS ÚLTIMOS 4 AEROGENERADORES	19
ILUSTRACIÓN 17 DISTRIBUCIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO A 55 M DE ALTITUD	22
ILUSTRACIÓN 18 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIA Y CONTENIDO ENERGÉTICO DE LA DIRECCIÓN DEL VIENTO EN %	22
ILUSTRACIÓN 19 LAYOUT DEL PARQUE REPOTENCIADO	31
ILUSTRACIÓN 20 PARQUE SOLAR FOTOVOLTAICO	35
ILUSTRACIÓN 21 CELDA O CÉLULA SOLAR	36
ILUSTRACIÓN 22 FINGERS Y BUSBARS DE UN PANEL SOLAR	37
ILUSTRACIÓN 23 PANEL SOLAR MONOCRISTALINO	38
ILUSTRACIÓN 24 PANEL SOLAR POLICRISTALINO	38
ILUSTRACIÓN 25 PANEL SOLAR DE SILICIO CUASI-MONO	39
ILUSTRACIÓN 26 PANEL SOLAR DE SILICIO AMORFO	39
ILUSTRACIÓN 27 TECNOLOGÍAS HALF-CELL Y PERK	40
ILUSTRACIÓN 28 ESQUEMA DEL CABLEADO INTERIOR DE UNA PLACA CON TECNOLOGÍA HALF-CELL	41
ILUSTRACIÓN 29 COMPARATIVA DE POTENCIA ENTRE FULL CELL Y HALF CELL	41
ILUSTRACIÓN 30 PANELES SEGÚN SUS BUS BAR	42
ILUSTRACIÓN 31 TILING RIBBON	43
ILUSTRACIÓN 32 CIRCULAR RIBBON	43
ILUSTRACIÓN 33 TECNOLOGÍA DOUBLE GLASS	44
ILUSTRACIÓN 34 DISTRIBUCIÓN CON INVERSOR EN STRING	47
ILUSTRACIÓN 35 DISTRIBUCIÓN CON INVERSOR CENTRAL	47
ILUSTRACIÓN 36 METODOLOGÍA DEL ESTUDIO DE HIBRIDACIÓN	50
ILUSTRACIÓN 37 EXCEDENTE REFERIDO A LA PRODUCCIÓN SOLAR PARA LOS TRES ESCENARIOS	53
ILUSTRACIÓN 38 EXCEDENTE REFERIDO A LA PRODUCCIÓN TOTAL Y A LA SOLAR PARA EL ESCENARIO A	54
ILUSTRACIÓN 39 PRODUCCIONES Y EXCEDENTES EN EL ESCENARIO A	54
ILUSTRACIÓN 40 EXCEDENTE REFERIDO A LA PRODUCCIÓN TOTAL Y A LA SOLAR PARA EL ESCENARIO B	55
ILUSTRACIÓN 41 PRODUCCIONES Y EXCEDENTES EN EL ESCENARIO B	55
ILUSTRACIÓN 42 EXCEDENTE REFERIDO A LA PRODUCCIÓN TOTAL Y A LA SOLAR PARA EL ESCENARIO C	56
ILUSTRACIÓN 43 PRODUCCIONES Y EXCEDENTES DEL ESCENARIO C	56
ILUSTRACIÓN 44 EXCEDENTE SEGÚN ESCENARIO	57
ILUSTRACIÓN 45 % DE EXCEDENTE CON RESPECTO A LA PRODUCCIÓN TOTAL POR ESCENARIO	57

ILUSTRACIÓN 46 TERRENOS POTENCIALES (I)	60
ILUSTRACIÓN 47 PLAN 0.....	62
ILUSTRACIÓN 48 PLAN A	62
ILUSTRACIÓN 49 PLAN B.....	63
ILUSTRACIÓN 50 PLAN C.....	63
ILUSTRACIÓN 51 MAPA DEL PARQUE EÓLICO CON EL TERRENO SELECCIONADO PARA LA PLANTA SOLAR.....	64
ILUSTRACIÓN 52 PRINCIPALES ELEMENTOS DE UNA PLANTA SOLAR FOTOVOLTAICA	68
ILUSTRACIÓN 53 ESQUEMA DE LA MONITORIZACIÓN DE UNA PLANTA SOLAR	69
ILUSTRACIÓN 54 ESQUEMA DE UN PARQUE EÓLICO	70
ILUSTRACIÓN 55 ESQUEMA DE MONITORIZACIÓN DE UN PARQUE EÓLICO.	71
ILUSTRACIÓN 56 PRECIO CAPTURADO DE PÖYRY CENTRAL PARA LA ENERGÍA SOLAR Y EÓLICA.	77
ILUSTRACIÓN 57 COEFICIENTE DE PRECIO CAPTURADO DE PÖYRY CENTRAL.....	77
ILUSTRACIÓN 58 INGRESOS DE LA PLANTA HÍBRIDA.....	79
ILUSTRACIÓN 59 OPEX EN K€ DEL PERIODO (2021-2050).....	80
ILUSTRACIÓN 60 BENEFICIO EN K€ DEL PERIODO (2021-2050)	80
ILUSTRACIÓN 61 FLUJOS DE CAJA EN K€UR (2021-2050).....	81
ILUSTRACIÓN 62 17 AEROGENERADORES G58 DE 0.85 MW	82
ILUSTRACIÓN 63 3 AEROGENERADORES N163 DE NORDEX ACCIONA.....	83
ILUSTRACIÓN 64 PARQUE EÓLICO REPOTENCIADO JUNTO A PARCELA PARA LA PLANTA SOLAR DE 15 MWP	84
ILUSTRACIÓN 65 BENEFICIO EN K€ DEL PERIODO (2021-2050)	85
ILUSTRACIÓN 66 FLUJOS DE CAJA (2021-2050)	85

DOCUMENTO 1.: MEMORIA

1 Introducción

1.1 Introducción

Las energías renovables son el futuro del sector energético ya que son aquellas que se obtienen a partir de fuentes naturales que producen energía de forma inagotable e indefinida. [2] Dentro de las energías renovables se encuentran la energía solar fotovoltaica y la energía eólica. Ambas energías son las energías renovables más importantes del momento.

En primer lugar, la energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene al convertir la luz solar en electricidad empleando una tecnología basada en el efecto fotoeléctrico. Es un tipo de energía renovable, inagotable y no contaminante. Una de las grandes ventajas de este tipo de energía es que puede obtenerse en cualquier lugar del planeta y a cualquier tipo de escala.

En cuanto a las dimensiones de las instalaciones fotovoltaicas, es importante saber que estas pueden ir desde las que están destinadas a encender un simple LED durante unas horas hasta aquellas que se encargan de abastecer parte del consumo de una ciudad. Este fenómeno y la reducción del precio de los paneles solares en los últimos años eleva la energía solar al más alto nivel de competitividad hoy en día.

En segundo lugar, la energía eólica es aquella que se produce gracias al aprovechamiento de la energía cinética presente en las corrientes de aire. De la misma forma que la energía solar fotovoltaica, la eólica es: renovable, inagotable y no contaminante. En cuanto a los lugares idóneos para situar un parque eólico predominan aquellas zonas en las que el recurso de viento sea más elevado. [3]

Las dimensiones en las que se aplican las tecnologías eólicas son por norma general de un tamaño grande. Normalmente, la energía eólica se produce a nivel industrial con parques eólicos compuestos de diversos aerogeneradores capaces de producir 6 MW cada uno en los modelos más actuales.

En lo que se refiere a los periodos de producción energética de ambas energías, cabe destacar que la producción de la energía solar fotovoltaica se produce durante las horas de sol. Por otro lado, los aerogeneradores tienen sus picos de producción en los momentos con más viento. Estos periodos de grandes ráfagas de aire suelen coincidir con los periodos nocturnos y los días nublados, momentos en los que la solar fotovoltaica o no produce o no produce de manera óptima.

El tema que centra el estudio de este proyecto tiene como objetivo el aprovechamiento del fenómeno mencionado en el párrafo anterior. El hecho de que las producciones de ambas energías sean complementarias incita a llevar a cabo una hibridación entre ambas tecnologías. Una hibridación de un parque solar y un parque eólico permitiría alcanzar grandes sinergias además de explotar al máximo el punto de conexión a la red. Es precisamente, el mejor aprovechamiento de los puntos de conexión existentes, uno de los objetivos de los gobiernos nacionales para fomentar el desarrollo

de tecnologías de generación renovables [4]. De esta forma, si se dispone de un punto de conexión a red para un parque solar o para uno eólico, se podrá construir un parque de la otra energía con dimensiones similares. En este esquema de hibridación, ambos parques verterían a la red por el mismo punto, optimizando el uso de ese punto de conexión. La hibridación de ambas tecnologías requiere un sistema de gestión y control de la producción conjunta para cumplir con los requisitos y limitaciones del vertido a red. Por esta razón, se estudiará el sistema de monitorización de ambos parques.

En lo que se refiere al contexto socioeconómico, este proyecto se sitúa en un momento de la historia caracterizado por el azote del COVID-19. Se trata de un momento de incertidumbre y miedo que viene acompañado de falta de recursos y de empleo en muchos países del mundo. Todas estas circunstancias provocan una ansiedad por encontrar vías nuevas para poder salir de esta nueva crisis. Crisis que seguramente será contrarrestada con proyectos de energía renovable.

En cuanto al contexto tecnológico es importante remarcar que se están intentando potenciar las fuentes de energía renovables para poder aprovechar al máximo los recursos proporcionados por la naturaleza. Por esta razón, se intenta llegar al reto de cero emisiones en 2050 [5], reduciendo el consumo de combustibles fósiles en el mundo. Este reto es de vital importancia para el porvenir del planeta y ha sido el foco de atención tecnológica durante los últimos años.

Para poder hacer posible esta maximización del aprovechamiento de los recursos es necesario pensar en nuevos sistemas que optimicen el uso de los recursos. Es importante saber que actualmente se han estudiado diferentes tipos de hibridaciones, pero la hibridación más prometedora en un horizonte temporal próximo es la de energía solar y energía eólica. [6]

Una de las ventajas más importantes que brinda la hibridación es la posibilidad de abastecer energía 100% renovable en cualquier momento o por lo menos quedarnos más cerca de ese objetivo. Cuando este fenómeno se logre a gran escala ayudará a todo el conjunto de sociedades del planeta a poder ser autosuficientes acabando con muchos de los principales problemas del mundo.

A todo lo anterior, se le suman dos hechos importantes que conciernen a las energías renovables: un gran desarrollo de su eficiencia y rendimiento y su bajada de precio. Estos dos fenómenos demuestran la viabilidad tecnológica y económica de proyectos como el estudiado en este documento. Es importante destacar que son precisamente la solar y la eólica las que son tachadas de imbatibles en lo que a precios se refiere. [7]

Por todo lo anteriormente mencionado, nace este proyecto que se centra en el estudio de la hibridación de energía solar fotovoltaica con la energía eólica. Esta idea permite aprovechar recursos naturales como son la luz solar y el viento a lo que se le añade la innovación de hibridar estas tecnologías para poder optimizar al máximo su aprovechamiento tanto técnico como económico. Este proyecto considera que a través del aprovechamiento del punto de conexión a la red y a las sinergias se mejorará en gran medida la viabilidad de los proyectos renovables haciendo posible un mundo más verde.

En concreto, el proyecto va a tratar el caso de un proyecto de energía eólica en la provincia de Albacete, Castilla-La Mancha. Las características principales de esta instalación no son óptimas debido a que sus 14.45 MW se distribuyen en 17 aerogeneradores fabricados por Gamesa del modelo G58 de 0.85 MW. De esta forma, se estudiará la posibilidad de la hibridación con un parque solar e incluso una repotenciación del parque eólico para poder exprimir el potencial económico del proyecto al máximo.

1.2 Estado de la cuestión

En lo que se refiere a proyectos con soluciones similares es importante destacar que en España no existe ningún proyecto comercial de este tipo ya que ha sido precisamente hace escasos meses cuando se han presentado varios documentos legales en los que se definen los requisitos y medidas a seguir de cara a los puntos de conexión y a las potenciales hibridaciones. Estos documentos son 3: el RDL 23/2020; el RDL 1183/2020 y la circular de la CNMC 2021. [8] [9] [10]

A un nivel de laboratorio sí que se encuentran proyectos en los que se estudia la compatibilidad de un aerogenerador de 500W con un sistema de 36 células monocristalinas de 50W. [11]

Cabría destacar la existencia del proyecto “EL Hierro”. Se trata de un proyecto localizado en la isla de El hierro. Consiste en la hibridación de un parque eólico de 11.5 MW con una central hidroeléctrica, con cuatro turbinas Pelton, que suman 11.3 MW y una central de bombeo 6 MW. [12]

1.3 Motivación

La principal motivación de este proyecto viene dada por la situación económico-social provocada por el COVID-19 unido a la nueva legislación referida a la hibridación en España [13]. Estas circunstancias motivan a buscar soluciones para mejorar el mundo y el porvenir de sus habitantes.

El proyecto se contextualiza en un momento óptimo en el que hay un gran auge de las tecnologías renovables y en el que éstas se consideran como un medio para poder aprovechar al máximo los recursos existentes. Tal y cómo se ha visto en el estudio del estado del arte, el proyecto se sitúa en una situación temporal en la que todavía no existe gran cantidad de proyectos con estas características. De esta forma, se cree que el propio momento temporal anima y motiva a la realización de este proyecto. Poder optar al diseño de una de las primeras hibridaciones de energía solar y energía eólica es un honor para mí.

Además, existe una fuerte motivación en mi persona que me llama a estudiar y conocer en profundidad la energía renovable y en concreto la solar y la eólica. Desde una temprana edad, me fascinaba pensar que se podría aprovechar los recursos naturales inagotables para poder abastecer energía renovable durante el máximo tiempo posible.

Existe una parte importante de motivación solidaria ya que creo que tanto, la energía solar fotovoltaica como la energía eólica serán capaces de cambiar la vida de muchas personas. Esta razón viene fundamentada principalmente por el hecho de que muchos de los países más necesitados del mundo se localizan en zonas de naturaleza pobre como desiertos. Sin embargo, es precisamente en estos lugares donde tanto la luz solar como el viento suelen ser más predominantes. Por todo ello, se conseguiría proporcionar energía a las zonas más pobres lo que daría muchas más oportunidades a los habitantes de estos lugares. Además, la innovación de la hibridación que aporta este proyecto sería fundamental para que fuera posible empezar a pensar en un modelo en el cual se pueda abastecer a una población principalmente con energía renovable.

A pesar de que todo parezca estar muy de cara a priori, es necesario saber que, debido a restricciones de cualquier índole, puede existir un desaprovechamiento de la energía producida. Es por esta razón, por la que el proyecto va a estudiar la compatibilidad entre las producciones eólica y solar. Gracias a este estudio, se podrá calcular el aprovechamiento del punto de conexión a la vez que la energía no producida cuando entre ambas tecnologías se exceda la capacidad del nodo.

Teniendo en cuenta todo lo mencionado anteriormente, estimo que este es un proyecto prometedor y entrañable que seguro me servirá para desarrollarme en un campo con el que disfruto, las energías renovables.

1.4 Objetivos del proyecto

Este proyecto tiene como objetivo principal el estudio de viabilidad económica y técnica de la hibridación de una planta solar fotovoltaica con un parque eólico existente.

Para lograr este objetivo principal, es necesario cumplir una serie de objetivos secundarios. Estos objetivos secundarios son los tres siguientes:

- Determinar los equipos más adecuados para la instalación.
- Estudiar la viabilidad técnica de la hibridación.
- Hacer un estudio económico del conjunto de las instalaciones.

1.5 Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La afinidad de este proyecto con el medio ambiente es inmensa. Dentro de los “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS) existen varios que están alineados con este proyecto.

En primer lugar, el ODS más afectado por este proyecto es el de “energía asequible y no contaminante”. Este proyecto favorece la creación de energía renovable (no contaminante).

En segundo lugar, el objetivo de “ciudades y comunidades sostenibles” se ve apoyado por este proyecto ya que la investigación en la producción híbrida de energía solar fotovoltaica y eólica acerca a la sociedad a conseguir el objetivo de producción renovable durante las 24 horas del día los 365 días del año. Este objetivo se podrá conseguir siempre y cuando se acompañe a la hibridación con sistemas de almacenamiento.

En tercer lugar, este proyecto está perfectamente alineado con el objetivo de “Acción por el clima” ya que la hibridación se presentará como un proyecto económicamente más apetecible que la solar fotovoltaica por separado. Por esta razón, se fomenta la producción de más energía renovable y por lo tanto se reducen las emisiones de CO₂.

En cuarto lugar, existen dos objetivos a los que el proyecto contribuiría de una forma más liviana. Estos dos objetivos son: “Industria, Innovación e infraestructura” y “trabajo decente y crecimiento económico”. En lo que se refiere al objetivo de innovación, el proyecto está claramente innovando con la hibridación de dos tecnologías renovables y en lo que concierne al segundo objetivo, se cree que se crearán nuevos empleos en sectores prometedores. Estos sectores se caracterizan por tener puestos de calidad y en los que se reconoce el trabajo de sus empleados.

A todo lo anterior se le suman los objetivos clave de la Unión Europea para el 2030 [14]. Este proyecto favorece directamente dos de los objetivos principales:

- Aumentar la cuota de renovables al menos hasta el 32%
- Mejorar la eficiencia energética

La alineación de este proyecto con los objetivos de desarrollo sostenible se adjunta en el Anexo: Objetivos y metas de Desarrollo sostenible.

1.6 Metodología de trabajo

La metodología de trabajo de este proyecto consistirá en lo siguiente:

1. Estudio del estado del arte.
2. Estudio y búsqueda de los principales elementos de una planta solar.
 - a. Estudio de los paneles solares.
 - b. Estudio de los inversores.
3. Estudio y búsqueda de los principales elementos de un parque eólico.
 - a. Estudio de los aerogeneradores.
4. Estudio de la monitorización.
5. Estudio de la repotenciación.
6. Estudio de la hibridación.
 - a. Estudio de la compatibilidad de los recursos
7. Estudio de las parcelas en las que se situará el proyecto.
8. Simulación de los diferentes escenarios.
9. Estudio económico de los diferentes escenarios.
10. Conclusión.

De cara a la planificación de este proyecto, se ha elaborado el siguiente cronograma:

Actividad	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo
Estudio del estado del arte							
Estudio y búsqueda de los principales elementos de una planta solar							
Estudio y búsqueda de los principales elementos de una planta eólica							
Estudio de la monitorización							
Estudio de la repotenciación							
Estudio de la hibridación							
Estudio de las parcelas en las que se situará el proyecto							
Simulación de los diferentes escenarios							
Estudio económico							
Conclusión							
Redacción del proyecto							

Tabla 6 Cronograma de la metodología de estudio

1.7 Recursos a emplear

Los recursos principales serán los siguientes:

- PVSyst: Simulador de plantas de energía solar fotovoltaica
- Greenbyte: Plataforma de monitorización.
- Google Earth: Instrumento para obtener las características geográficas de las parcelas donde se sitúa el proyecto.
- Catastro online
- Sigpac: Sistema de Identificación de Parcelas Agrícolas
- Herramientas de office

2 Energía Eólica

2.1 Introducción

La energía eólica es aquella que se obtiene a través del aprovechamiento de la energía cinética presente en las palas de un aerogenerador en movimiento provocado por el viento. Esta energía residente en las corrientes de viento se convierte en electricidad a través de un generador eléctrico. Se trata de una energía renovable, limpia y que no contamina. [3]

2.2 Aerogeneradores

2.2.1 Funcionamiento

Los sucesores de los molinos de viento usados antiguamente para moler grano son los aerogeneradores. Su mecanismo consiste en un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento.

Los principales componentes que forman un aerogenerador son los siguientes:

- La torre.
- Un sistema de orientación ubicado al final de la torre, en su extremo superior.
- Un armario de acoplamiento a la red eléctrica.
- Una góndola.
- Un eje y mando del rotor por delante de las palas.
- Dentro de la góndola, un freno, un multiplicador, el generador y el sistema de regulación eléctrica.

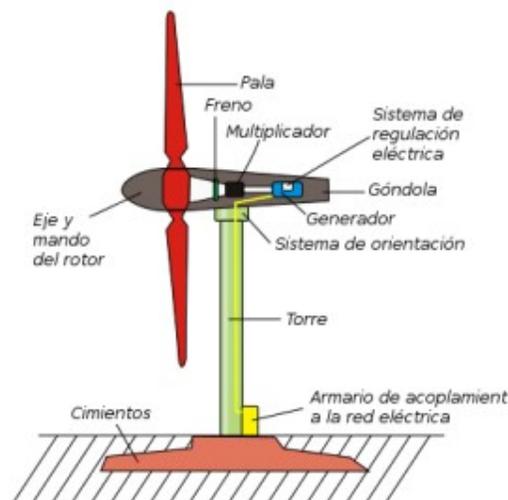


Ilustración 13 Aerogenerador

Los aerogeneradores actuales ya no son aquellos molinos de viento usados para moler grano. Son aparatos de alta tecnología. Por norma general, los aerogeneradores

generan electricidad mientras que el viento tenga una velocidad de entre 3 m/s y 25 m/s. La potencia máxima la generan en torno a los 15 m/s y se desconecta para prevenir daños cuando hay tormentas con vientos que soplan a velocidades medias superiores a 25 m/s durante un intervalo de más de 10 minutos. [15]

El funcionamiento de aerogenerador se basa en el siguiente proceso: el viento pasa sobre las aspas del aerogenerador provocando en estas una fuerza giratoria. Las palas hacen rotar un eje que hay dentro de la góndola, que a su vez entra a una caja de cambios. La caja de cambios incrementa la velocidad de rotación del eje proveniente del rotor e impulsa el generador que utiliza campos magnéticos para convertir la energía rotacional en energía eléctrica. [15]

En lo que se refiere a la evacuación de la electricidad producida en los aerogeneradores, esta se transmite desde su centro de transformación mediante una línea eléctrica hasta una subestación de distribución.

Existen dos tipos de aerogeneradores: los terrestres y los marinos. Estos últimos disponen del mismo funcionamiento que los terrestres, pero están localizados en el mar. Es importante remarcar que, para optimizar la producción energética, tanto los aerogeneradores terrestres como los marinos disponen en la parte superior de la góndola dos instrumentos que miden la velocidad y la dirección del viento. [15] Cuando el viento cambia de dirección, los motores giran la góndola y las palas se mueven con ella para ponerse de cara al viento. Las aspas también se inclinan o se ponen en ángulo para asegurar que se extrae la cantidad óptima de energía a partir del viento.

De cara a optimizar la producción, la parte superior del aerogenerador rotará “persiguiendo” al viento de tal manera que siempre estén alineados. El funcionamiento de seguimiento hace que se rote buscando la mejor dirección y como es de esperar, en la mayor parte de las ocasiones las variaciones son incrementales y siguen al viento, que rota más en una de las dos direcciones de rotación. Por esta razón, existen momentos en los que el aerogenerador llega una posición de rotación máxima. En ese caso, se “deslía” rotando en la dirección contraria.

2.2.2 Estudio de mercado de aerogeneradores

En esta sección se van a estudiar cuales son los tamaños y potencias que tienen los aerogeneradores más actuales. Se trata de un estudio que concierne a los principales fabricantes de aerogeneradores.

Los principales fabricantes de aerogeneradores a nivel mundial se ven ilustrados en la siguiente Tabla 7 junto con el % de potencia eólica que producen sus aerogeneradores [16].

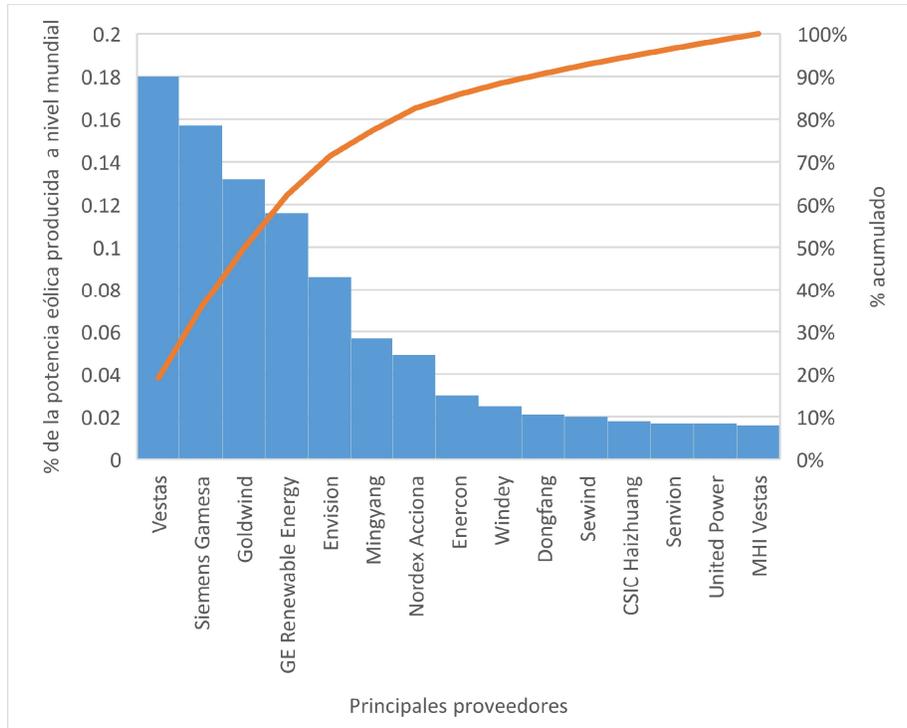


Tabla 7 Principales fabricantes de aerogeneradores

Con la ayuda del diagrama anterior se ha decidido estudiar los modelos de aerogenerador producidos por los 7 principales fabricantes. Teniendo en cuenta la cantidad de energía que producen los aerogeneradores de cada marca, se ha decidido tener en cuenta aerogeneradores de alrededor de 5.0 MW con tecnologías que sean una realidad en este momento. Los primeros 7 proveedores representan a más del 80% de la producción eólica total producida en todo el mundo.

El estudio realizado se representa en la siguiente Tabla 8, en la que se pueden apreciar las principales características de cada modelo de aerogenerador.

Fabricante	Modelo	Potencia (MW)	Diámetro del rotor (m)	Altura del cubo (m)	Área de barrido (m2)
Vestas	V150	6.0	150	105,125,155	17672
Vestas	V162	6.0	162	119,125,149	20162
Siemens Gamesa	SG 5.8 - 155	5.8	155	90,102.5, 122.5, 165	18868
Siemens Gamesa	SG 5.8 - 170	5.8	170	100,115,135,165	22697
Goldwind	GW 154 - 6.7	6.7	154	103	18648
Goldwind	GW 171 - 6.45	6.45	171	108	22992
Goldwind	GW 175 - 8.0	8.0	175	110	24080
Goldwind	GW 184 - 6.45	6.45	184	112	26621
GE Renewable Energy	GE 158 - 5.5	5.5	158	101, 121, 151, 161	19629
GE Renewable Energy	GE 164 - 6.0	6.0	164	112, 167	21148
Envision	E 148 - 4.5	4.5	148	140	17223
Mingyang	MySE 5.5 - 155	5.5	158	-	19607
Mingyang	MySE 7.0 - 158	7.0	158	-	19607
Nordex Acciona	N149 - 5.X	5.06	149	164	17460
Nordex Acciona	N163 - 5.X	5.04	163	164	20867

Tabla 8 Estudio de mercado de los aerogeneradores

Gracias al estudio realizado se puede determinar qué modelo de turbina y qué fabricante es más adecuado para este proyecto. Por esta razón se han establecido unos criterios que permitirán hacer una selección lo más adecuada posible.

Los tres principales criterios que se van a tener en cuenta son los siguientes:

- Aerogenerador de alrededor de 5 MW de potencia.
- Modelo de aerogenerador que exista en el mercado actual y no sea un prototipo.
- Fabricante activo actualmente en el mercado español.

Siguiendo los criterios establecidos se ha decidido que el fabricante más adecuado para nuestro proyecto es Nordex Acciona. En lo que se refiere a los modelos que son candidatos, los dos modelos representados en el estudio cumplen con todas las características. De esta manera, tanto el N149 como el N163 se tendrán en cuenta.

2.2.3 Características de los aerogeneradores seleccionados

En este apartado se presentan las características de los modelos Nordex Acciona escogidos para este proyecto.

El N149 [17]:

Modelo	N149/5.X
Datos de funcionamiento	
Potencia nominal	5.0-5.X MW
Velocidad del viento de entrada	3 m/s
Velocidad de corte del viento	hasta 26 m/s
Rotor	
Diámetro	149.1 m
Área de barrido	17,460 m ²
Caja de cambios	
Tipo	Caja de cambios de alta velocidad
Generador	
Construcción	Generador asíncrono de doble alimentación
Sistema de refrigeración	Refrigeración por líquido/aire
Frecuencia de la red	50/60 Hz
Sistema de freno	
Freno principal	Freno aerodinámico
Freno de retención	Freno de disco
Altura de buje	
Altura de buje	hasta 164 m

Tabla 9 Nordex Acciona N149

El N163 [18]:

Modelo	N163/5.X
Datos de funcionamiento	
Potencia nominal	5.0-5.X MW
Velocidad del viento de entrada	3 m/s
Velocidad de corte del viento	hasta 26 m/s
Rotor	
Diámetro	163 m
Área de barrido	20,867 m ²
Caja de cambios	
Tipo	Caja de cambios de alta velocidad
Generador	
Construcción	Generador asíncrono de doble alimentación
Sistema de refrigeración	Refrigeración por líquido/aire
Frecuencia de la red	50/60 Hz
Sistema de freno	
Freno principal	Freno aerodinámico
Freno de retención	Freno de disco
Altura de buje	
Altura de buje	hasta 164 m

Tabla 10 Nordex Acciona N163

2.3 Proyecto eólico

2.3.1 Descripción general

El proyecto se sitúa en la Provincia de Albacete. Se trata de un parque eólico compuesto por 17 aerogeneradores Gamesa G58 de 0.85 MW cada uno. Con estas condiciones, el proyecto tiene 14.45 MW y una producción horaria de alrededor de 1,807 horas anuales.

Las características principales del parque eólico actual se pueden ver reflejadas en la siguiente Tabla 11:

Potencia Nominal	14,450 kW
Aerogeneradores	17 x G 58 850 kW (HH 55 m)
Subestación	20/132 kW
Líneas de transmisión de alto voltaje	132 kV

Tabla 11 Características del parque eólico

Cada aerogenerador equipado con un transformador de 0.69/20 kV está conectado mediante una línea subterránea a la subestación de 20/132 kV con un transformador de 16 MVA. La subestación, se conecta a una ST de 400 kV.

El proyecto está actualmente en funcionamiento, siendo mantenido bajo un contrato de O&M con el fabricante de los equipos.

En cuanto a la vida del parque, es importante resaltar que se trata de un parque construido en noviembre de 2008. Por esta razón, su vida útil estimada acabaría en 2028 a no ser que se realicen modificaciones para una extensión de vida o una sustitución de aerogeneradores (repotenciación).

2.3.2 Características del punto de conexión a la red

Actualmente, la subestación del proyecto está en funcionamiento y evacua toda la energía generada por el parque eólico. Esta energía evacuada está condicionada por la capacidad del punto de conexión del proyecto que asciende hasta los 14.45 MW.

En lo que se refiere a la subestación de la que dispone el proyecto actualmente, se trata de una subestación con una única posición de transformación. Tiene niveles de tensión 132/20 kV y salida de línea de 132 kV (evacuación en circuito único) en un apoyo de la línea de 132 kV existente en las proximidades del proyecto.

En cuanto a la posible hibridación del parque eólico con una planta solar fotovoltaica se regula en la legislación vigente en España, concretamente en el Real Decreto-Ley 23/2020, de 23 de junio [19]. Documento que trata de medidas energéticas y otros ámbitos para la reactivación económica, estableciendo que se podrá evacuar energía eléctrica de las instalaciones híbridas utilizando el mismo punto de acceso y conexión ya concedido. Este fenómeno, se podrá dar siempre que la nueva instalación cumpla con los requisitos técnicos que le sean de aplicación. Algunos de estos requisitos son los siguientes:

- Se considerará que no se ha modificado la tecnología de generación si se mantiene el carácter síncrono o asíncrono de la instalación. [19]
- La capacidad de acceso solicitada o concedida no podrá incrementarse en una cuantía superior al 5 % de la capacidad de acceso solicitada o concedida en el permiso de acceso original. [19]
- Se considerará que no se ha modificado la ubicación geográfica de las instalaciones de generación cuando el centro geométrico de las instalaciones de generación planteadas inicial y finalmente, sin considerar las infraestructuras de evacuación, no difiera en más de 10,000 metros. [19]

La línea eléctrica de evacuación de 132 kV existente para la subestación presenta las principales características que se muestran a continuación.

Línea eléctrica	
Frecuencia	50 Hz
Tensión de red máxima	145 kV
Potencia máxima que transportar	96.6 MVA
Número de circuitos	1
Número de cables por fase	1
Número de cables de fibra óptica	1
Longitud	749 m

Tabla 12 Características de la línea eléctrica existente en el proyecto

Por tanto, la posible evacuación de la energía generada por la planta solar fotovoltaica de la hibridación es posible que sea transportada por la actual línea de 132 kV ya que está diseñada para una potencia máxima a transportar muy superior a los 35 MVA requeridos en caso de optar por la citada solución. De esta manera, se considerará para el estudio de la hibridación una planta solar de hasta 20 MWp.

Como se ha explicado anteriormente, la futura hibridación y repotenciación no aumentaría la cantidad de potencia vertida a la red, por lo que la línea eléctrica de 132 kV no se vería afectada.

Las características constructivas esenciales del transformador de potencia instalado en la subestación son las que se muestran a continuación.

Transformador	
Tipo de servicio	Continuo
Refrigeración	ONAN
Potencia nominal	16 MVA
Tensiones de vacío	
Primario	132 kV \pm 10x1%
Secundario	20kV
Frecuencia	50 Hz
Conexión	Estrella/triángulo
Grupo de conexión	YNd11
Tensión de cortocircuito para la relación 132/20 kV	12.50%

Tabla 13 Características del transformador

Una vez conocida la potencia instalada adecuada para la instalación fotovoltaica de la hibridación se comentarán los cambios necesarios para adecuar el punto de conexión.

2.3.3 Situación del parque eólico

El parque eólico se ve representado en la Ilustración 14 Mapa Parque Eólico, en la que se pueden apreciar los 17 aerogeneradores G58 junto con la subestación del parque.

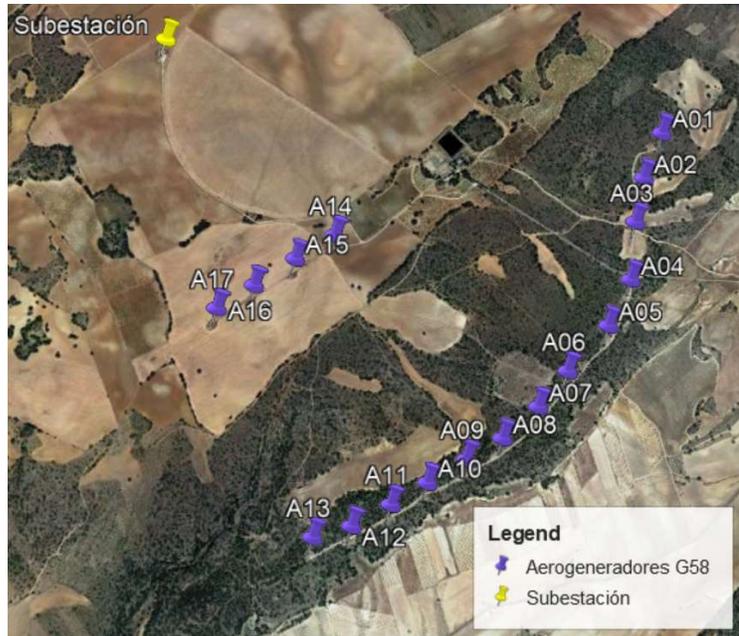


Ilustración 14 Mapa Parque Eólico

La localización de la subestación en la que se encuentra el punto de conexión es un dato muy relevante de cara a hacer el estudio de los terrenos potenciales en los que se pueda instalar la explotación fotovoltaica.

En la siguiente tabla, se exponen con precisión las altitudes de los 17 aerogeneradores que componen hoy en día el parque.

Aerogenerador	Altitud (m)
A01	925
A02	910
A03	908
A04	922
A05	930
A06	921
A07	921
A08	917
A09	911
A10	896
A11	900
A12	895
A13	886
A14	879
A15	880
A16	880
A17	880

Tabla 14 Coordenadas y altitud de los 17 aerogeneradores G58

Con la ayuda de la herramienta Google Earth se ha podido ver que los 13 primeros aerogeneradores del parque están situados sobre una loma en la zona más alta del parque mientras que los últimos 4 se sitúan en una zona más baja.

Resulta sorprendentemente que existan aerogeneradores situados en zonas de menor altitud que otros. Para poder ilustrar este efecto se ha añadido el perfil de elevación de una ruta que parte del aerogenerador 1 y llega al aerogenerador 13.

En la Ilustración 15 superior, vemos que existe una gran diferencia en altitud entre



Ilustración 15 Representación de la altitud de los 13 primeros aerogeneradores

los 13 primeros aerogeneradores. Esto indica que habrá aerogeneradores como el 4, el 5, el 6 o el 7 que en principio tendrán mucho más recurso eólico que los demás.

En lo que se refiere a los últimos cuatro aerogeneradores, su localización está significativamente más desfavorecida que la de los más altos instalados. Están situados en una zona de cultivo de una altitud mucho menor y están a una altitud máxima inferior a la mínima de los 13 aerogeneradores situados en la loma.



Ilustración 16 Representación de la altitud de los últimos 4 aerogeneradores

Si se comparan los perfiles de altitud de los dos conjuntos de aerogeneradores, se puede ver que los últimos cuatro están sustancialmente más bajos que el resto. La diferencia es de alrededor de 50 m de altitud por lo que se supone que estos aerogeneradores proporcionarán unos niveles de energía mucho más bajos.

2.3.4 Características de los aerogeneradores actuales

Los principales datos referidos a la producción de energía eólica actual del proyecto son los reflejados en la siguiente tabla:

Modelo de turbina	G58-850kW
Número de turbinas	17
Altura del buje (m)	55
Diámetro del rotor (m)	58
Capacidad instalada (MW)	14.45
Área de barrido del rotor (m ²)	44,915
Producción bruta (MWh/año)	34,118
Perdida por estelas (%)	6.1
Producción bruta después del efecto de las estelas (MWh/año)	32,038
Pérdidas técnicas y operacionales (%)	18.5
Producción neta a largo plazo (MWh/año)	26,106
Densidad de potencia neta (kWh/(m ² ·año))	581
Horas equivalentes a plena potencia	1,807

Tabla 15 Producción energética del parque actual

2.3.5 Producción energética actual del proyecto

En este apartado se va a exponer la producción mensual y la disponibilidad del parque eólico que son dos datos muy relevantes a la hora de estudiar un parque.

En primer lugar, se expone una tabla con los registros de producción energética en MWh de los últimos diez años:

Mes/Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	3,146	3,755	1,787	2,841	6,213	4,155	3,845	3,611	3,938	4,459	4,501	2,277
2	2,372	3,299	3,299	3,507	5,243	3,831	4,924	4,760	3,061	3,116	2,066	2,162
3	1,838	2,612	3,366	1,708	3,409	3,486	3,419	3,762	2,546	4,833	1,987	3,383
4	2,821	1,418	1,227	3,925	1,643	2,803	1,923	1,731	1,329	2,539	2,938	1,457
5	1,306	2,317	1,049	1,708	2,131	1,400	1,462	1,811	1,141	1,423	1,569	1,493
6	1,461	1,116	859	1,754	1,402	1,266	922	1,541	1,566	1,258	1,459	1,509
7	1,711	891	1,549	1,199	1,114	1,371	1,166	1,136	1,173	1,263	1,333	918
8	1,059	1,048	1,243	1,258	908	1,207	1,396	842	1,154	883	930	1,018
9	1,260	1,154	921	1,142	675	789	1,007	1,103	1,159	604	1,449	1,359
10	1,590	2,011	833	1,604	1,244	1,078	1,100	603	745	1,589	1,693	2,294
11	3,708	3,766	2,252	2,195	4,075	2,835	2,370	2,076	2,097	2,561	5,397	-
12	3,577	2,688	3,964	3,723	2,075	3,702	851	1,380	4,348	2,867	3,525	-
TOTAL	25,849	26,075	22,349	26,564	30,132	27,923	24,385	24,356	24,257	27,395	28,847	17,870

Tabla 16 Producción energética mensual del parque actual

Viendo los resultados anuales se puede afirmar que la media de producciones ronda los 26,106 MWh/año.

En segundo lugar, se expone la disponibilidad del parque que se basa en la disponibilidad de los aerogeneradores que lo conforman. Un aerogenerador está disponible si se encuentra en condiciones de poder producir energía cuando el recurso eólico lo permita. Este dato permite evaluar la gestión y las condiciones del parque actual.

Mes / Año	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	-	98.8%	99.0%	99.0%	97.5%	98.2%	99.1%	99.3%	98.8%	99.1%	98.6%	97.9%
2	-	99.1%	98.7%	98.7%	99.9%	98.7%	99.7%	98.9%	98.3%	98.6%	97.5%	97.2%
3	-	99.9%	99.9%	99.9%	97.2%	99.2%	99.2%	99.7%	98.9%	96.5%	99.6%	98.8%
4	98.7%	99.4%	96.4%	96.4%	98.6%	99.3%	99.5%	97.8%	99.0%	91.7%	99.5%	99.8%
5	99.3%	99.5%	99.5%	99.5%	99.8%	99.2%	98.7%	96.7%	99.0%	98.0%	99.5%	98.3%
6	99.3%	99.8%	99.0%	99.0%	99.5%	99.0%	99.4%	99.1%	99.2%	96.4%	99.3%	100%
7	98.7%	99.9%	96.6%	96.6%	98.0%	99.5%	99.3%	99.6%	99.0%	98.7%	98.8%	98.6%
8	98.2%	99.9%	97.6%	97.6%	99.1%	99.5%	99.4%	98.0%	98.6%	99.3%	97.0%	98.4%
9	99.0%	99.9%	99.0%	99.0%	99.1%	99.3%	99.8%	98.4%	95.0%	95.3%	98.4%	99.5%
10	98.9%	99.9%	99.3%	99.3%	98.6%	99.1%	98.9%	99.2%	98.6%	94.7%	98.0%	99.5%
11	99.3%	99.1%	96.0%	96.0%	98.1%	99.0%	99.2%	99.4%	98.3%	98.7%	98.9%	98.5%
12	94.8%	98.9%	99.3%	99.3%	98.5%	99.3%	99.2%	98.8%	99.4%	99.3%	95.7%	-
TOTAL	74.2%	99.5%	98.4%	98.4%	98.7%	99.1%	99.3%	98.7%	98.5%	97.2%	98.4%	90.4%

Tabla 17 Disponibilidad del parque actual

De los resultados representados en la tabla anterior, se puede concluir que la disponibilidad media es del 98,5% sin tener en cuenta la disponibilidad de los años 2009 y 2020 ya que no existen datos del año completo en estos casos. Sobre este resultado, se puede afirmar que es un valor que se encuentra en el rango aceptable que se puede encontrar hoy en día en el mercado español (>97.5%). [20]

2.3.6 Análisis del viento

En esta sección se muestran las principales estadísticas del régimen de viento estimado. Estas medidas se han obtenido basándose en una posición del mástil con una altura de 55 m. Al no disponer de medidas ya que la torre de medición que existe en el parque ha sufrido diversos problemas técnicos, se ha decidido recurrir al ERA5 [21] a una altitud de 921 metros.

Los resultados obtenidos para este punto de medición son los siguientes:

Velocidad media del viento (m/s)	6.54
Potencia media (W/m ²) ($\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$)	354
Weibull A(m/s), k	A=7.3
	k=1.83
Perfil vertical medio del viento (α)	0.12

Tabla 18 Principales datos obtenidos de la medición con ERA5

El perfil vertical del viento se ha establecido en 0.12 ya que este valor es el obtenido en parques eólicos similares en la zona de Albacete.

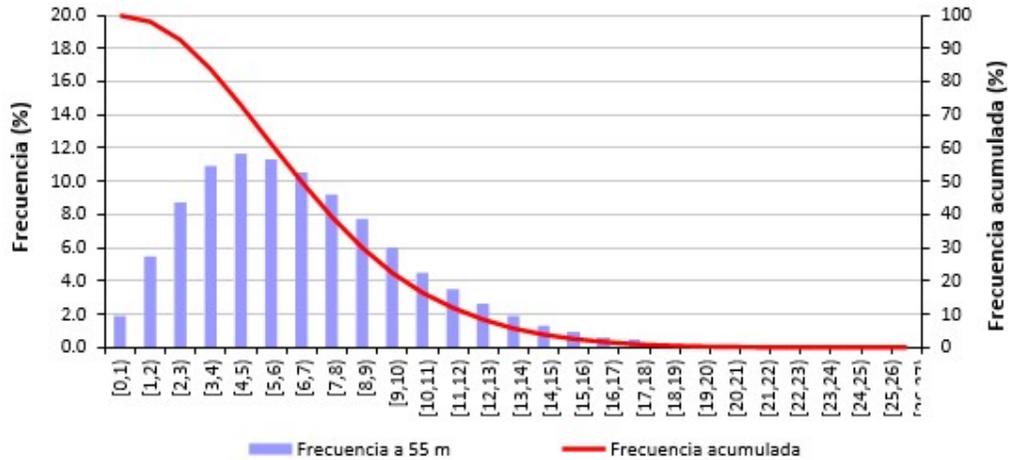


Ilustración 17 Distribución de la velocidad del viento a 55 m de altura

La distribución de la velocidad de viento a 55 metros de altura con respecto al suelo indica que, durante gran parte del tiempo, la velocidad del viento se sitúa entre 1 m/s y 10 m/s. Además, según los datos representados, no se suele superar la velocidad de 25 m/s a partir de la cual las máquinas se pararían automáticamente por su seguridad.

Una vez conocida la velocidad del viento en el emplazamiento se estudia su dirección. En la Ilustración 18 siguiente se puede apreciar como la dirección de viento que más domina en este emplazamiento es la noroeste.

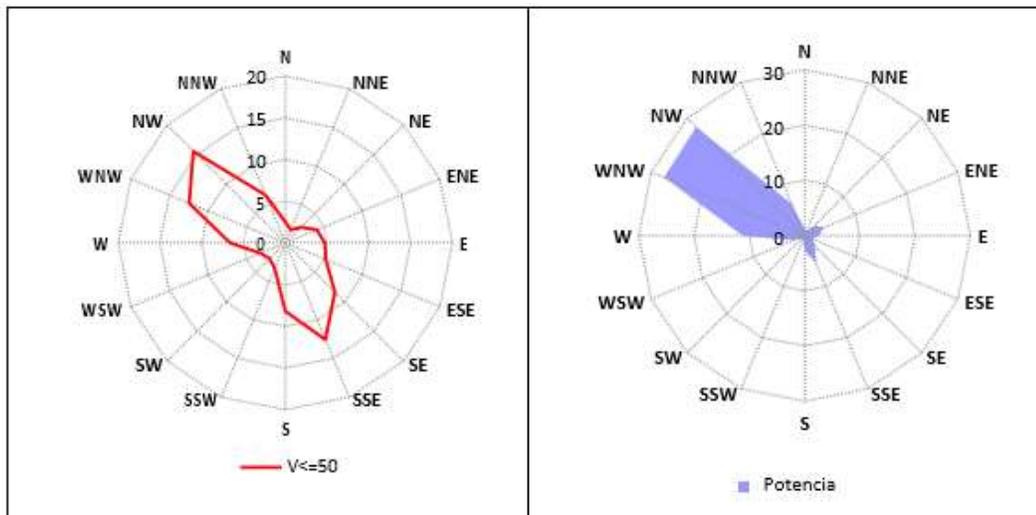


Ilustración 18 Distribución de frecuencia y contenido energético de la dirección del viento en %

De cara a presentar unos resultados más precisos se ha decidido incluir la siguiente tabla que dispone de los datos que se han usado para representar el diagrama anterior.

Sector	Frecuencia [%]	Velocidad del viento [m/s]	Potencia [W/m ²]
N	2.5	4.92	171
NNE	1.7	4.9	183
NE	2.6	6.38	359
ENE	4.1	6.56	324
E	4.7	5.56	194
ESE	5.2	4.72	111
SE	8.4	4.85	110
SSE	12.5	5.53	151
S	8.2	4.99	121
SSW	3.3	3.98	74
SW	2.7	4.05	91
WSW	3.2	5.7	249
W	6.6	8.3	603
WNW	12.4	9.46	784
NW	15.5	8.85	634
NNW	6.2	6.76	357
TOTAL	100	6.54	354

Tabla 19 Distribución sectorial de la dirección y velocidad del viento

2.4 Repotenciación

En esta sección se va a estudiar la posible repotenciación del proyecto. Para el correcto desarrollo y entendimiento de este proceso se procede a realizar una introducción en la que se explica en qué consiste una repotenciación para el caso concreto de un parque eólico.

2.4.1 Contexto

El concepto de repotenciación se refiere al hecho de sustituir equipos antiguos por unos nuevos más acordes con el momento actual. En el caso concreto de la repotenciación de un parque eólico, consistiría en retirar los aerogeneradores antiguos, de menor eficiencia y potencia y sustituirlos por aerogeneradores más eficaces y potentes. En lo que se refiere al caso concreto del proyecto estudiado, se refiere a la retirada de los 17 aerogeneradores de 0.85 MW y a la instalación de unos nuevos permitiendo maximizar el aprovechamiento del recurso eólico en el emplazamiento del parque.

En un país como España, donde la cantidad de recurso eólico y su aprovechamiento lo eleva a potencia mundial es importante saber que los mejores emplazamientos eólicos son aquellos que fueron ocupados en primer lugar. Por esta razón, los aerogeneradores que se instalaron en el año 1984 son equipos con eficiencias bajas promovidos por tecnologías obsoletas. [22]

Las diferencias de recurso eólico entre los parques construidos en los primeros años de este tipo de energía y los construidos ahora son muy importantes. Además, teniendo en cuenta que la vida útil de los aerogeneradores (20-30 años), es el momento en España para la repotenciación de los parques más antiguos.

El fuerte crecimiento del sector eólico y la necesidad del aumento de energía proveniente de este recurso, han dado lugar a la posibilidad de reemplazar los aerogeneradores más antiguos incluso antes de que acabe su vida útil. Este hecho, refleja a la perfección la situación de esta industria por lo que queda claro que la repotenciación de los parques eólicos con buenos recursos eólicos se categoriza casi como obligatoria.

2.4.1.1 Ventajas

La sustitución de máquinas antiguas por unas más modernas permite mejorar tanto económica como medioambientalmente. Esto se debe principalmente a que los aerogeneradores actuales no son solamente más eficaces y por lo tanto se requieren menos, sino que, además, son más silenciosos y precisan de una velocidad de giro mucho menor. De esta forma, se consiguen tres objetivos importantes:

- Reducir la ocupación de terreno.
- Reducir el impacto medioambiental.
- Aumentar y optimizar el aprovechamiento del recurso eólico.

A todo lo anterior, se le suma la ventaja de que, al plantear la repotenciación de un parque eólico, en condiciones normales se han guardado registros del recurso eólico a lo largo de los años. Este hecho es sin lugar a duda una gran oportunidad principalmente por dos razones. En primer lugar, se puede dimensionar el “nuevo” parque con mucha más precisión que si fuera un parque de nueva creación. En segundo lugar, el conocimiento de la producción eólica de cada aerogenerador permite saber cuáles son los emplazamientos con mejor producción dentro de los existentes. Aunque a priori, este segundo aspecto no parezca tan relevante, sí lo es. Al repotenciar un parque, a no ser que se aumente la capacidad, evento que resulta normalmente complicado, se reduce el número de aerogeneradores. Se sustituye un gran número de aerogeneradores de bajo rendimiento por unos pocos con mejores características. De esta forma, para determinar la localización de los nuevos aerogeneradores, bastaría con ponerlos en los lugares donde se situaban los aerogeneradores antiguos con mayor disponibilidad de recurso eólico.

Las principales ventajas de la repotenciación quedan resumidas en la siguiente lista:

- 1) Aumento de la eficiencia y de la eficacia de la generación. Debido a la incorporación de nuevos avances tecnológicos que traen consigo importantes mejoras.
- 2) Mejor adaptabilidad de los sistemas de control del parque en los sistemas de control del Operador del Sistema.
- 3) Optimización del aprovechamiento del recurso eólico.
- 4) Reduce el número de aerogeneradores necesarios para conseguir la misma potencia instalada e igual o mayor energía generada; reducción de los efectos en el medioambiente y del impacto visual que tienen los aerogeneradores.

Para finalizar, es importante resaltar que no existen grandes desventajas en la repotenciación a parte de las económicas y las referidas a la contaminación visual que unos aerogeneradores de mayores dimensiones puedan causar.

2.4.1.2 Desmantelamiento

Dentro del proceso de repotenciación, se incluye el desmantelamiento de los aerogeneradores antiguos. Se trata de un proceso cuya duración es de vital importancia para el proyecto. Cuanto más corto sea el proceso de desmantelamiento y la posterior construcción del parque repotenciado, menor será el número de horas de recurso eólico no aprovechadas. Estas horas serán un factor clave a la hora de evaluar la viabilidad económica de la repotenciación.

El proceso de desmantelamiento se puede resumir en los 5 pasos siguientes [23]:

- 1) Bajado de las palas con grúas.
- 2) Bajado de la góndola con grúas.
- 3) Retirada de la góndola a un taller especializado para su desmantelamiento.
- 4) Desmontaje de la torre por tramos y su posterior bajado con grúa.
- 5) Retirado de los tramos de la torre y transporte hasta lugar de destino.

Tal y cómo se ha precisado en el apartado anterior, una de las dificultades, quizás la mayor, que se encontrarán los responsables de una repotenciación es la venta de los equipos desmantelados en el mercado de segunda mano. Esta dificultad se ha desarrollado principalmente debido al increíblemente rápido desarrollo tecnológico del sector. El precio de las máquinas de segunda mano es muy bajo e incluso se considera a veces la venta de estos aerogeneradores como si fueran pura chatarra. Incluso, se han llegado a dar casos en los que se ha recurrido a pagar dinero para que algún tercero se lleve los aerogeneradores.

A pesar de la posibilidad de tener un bajo o incluso negativo rendimiento económico proveniente de los aerogeneradores antiguos, existen empresas que han surgido en los últimos años para evitar que esto suceda. Estas empresas no se limitan a desmantelar los parques, sino que además abordan su desmantelamiento desde los principios de la economía circular. Y lo hacen promoviendo una segunda vida para los equipos y materiales retirados, reduciendo la cantidad de residuos generados o fomentando su aprovechamiento energético y buscando soluciones eficientes a la eliminación de residuos

. Una de las principales salidas económicamente positivas para estos equipos es la venta en países subdesarrollados. Este tipo de empresas, llegan a subastar por Internet molinos desmantelados para que sigan girando en parques eólicos de otros países. [24]

2.4.2 Estudio de la repotenciación

En esta sección, se va a estudiar la repotenciación de este proyecto. Por esta razón, los principales pasos a seguir son los siguientes:

- Características principales de los aerogeneradores para la repotenciación.
- Estudio de los parques eólicos cercanos.
- Evaluación de pérdidas técnicas.
- Modelado del campo de vientos.
- Definición de la configuración del parque (layout).
- Cálculo de producción con distintos niveles de confianza.

2.4.2.1 Características principales de los aerogeneradores para la repotenciación

Según el estudio de mercado realizado con anterioridad en este proyecto, se ha decidido estudiar la posibilidad de repotenciar el parque con máquinas Nordex Acciona. Los dos modelos a estudiar y comparar con la situación actual son el N149 y el N163. La potencia actual del parque es de 14.45MW por lo que la idea principal es repotenciar con 3 máquinas que proporcionen alrededor de 5 MW cada una.

En la siguiente tabla se resumen las características principales de los dos casos que se van a estudiar para la repotenciación junto con el estado actual del parque.

Parque eólico	Existente	Repotenciado	Repotenciado
Potencia total instalada (MW)	14.45	14.45	14.45
Modelo de las turbinas	G58-850kW	N149-5.06 MW	N163-5.04 MW
Número de turbinas	17	3	3
Altura de buje (m)	55	120	120
Diámetro del rotor (m)	58	149	163
WTG IEC Clase	IIIB	S	S

Tabla 20 Características principales de las opciones de repotenciación

2.4.2.2 Estudio de los parques eólicos cercanos

Una vez conocidas cuales son las principales opciones para la repotenciación, es preciso hacer un estudio profundo para poder escoger la alternativa más conveniente. Por esta razón, lo primero es añadir al estudio del parque actual la posibilidad de verse afectado por las estelas provocadas por parques cercanos.

En situaciones cercanas al parque se encuentran 3 parques eólicos:

Parque eólico “A”: Se trata de un parque eólico en construcción de 36 MW de potencia generados con 12 aerogeneradores.

Parque eólico “B”: Se trata de un parque eólico de 36.96 MW de potencia que cuenta con 56 aerogeneradores.

Parque eólico “C”: Se trata de un parque eólico de 22.95 MW de potencia con 27 aerogeneradores.

2.4.2.3 Modelo eólico

Conociendo la producción general del parque, la localización de los aerogeneradores del propio parque y la localización de los parques que pueden crear estelas que afecten a este proyecto, es el momento de estudiar la producción energética por aerogenerador con el efecto y sin el efecto de estas mencionadas estelas.

De cara a realizar este estudio, se ha elaborado un modelo basado en WASP y PARK que permite simular la producción energética de aerogeneradores afectados por los aerogeneradores de otros parques.

A continuación, se describen los modelos mencionados:

- WASP [25] es un modelo de evaluación de campos eólicos desarrollado por la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU), con el que se han desarrollado el Atlas Eólico Europeo y varios Atlas Eólicos nacionales y regionales.
- PARK, también desarrollado por DTU, es un modelo para calcular las pérdidas de producción debidas a las sombras entre los aerogeneradores. El modelo PARK está integrado en la versión 11.6 de WASP.

Este modelo es de gran ayuda para poder evaluar las condiciones de la repotenciación y estudiar los diferentes escenarios. Además, brinda la posibilidad de conocer la producción bruta para cada aerogenerador del parque. Al conocer este valor, solamente faltaría tener en cuenta las pérdidas técnicas y operativas que se le suponen a un parque eólico conectado a la red.

La siguiente tabla resume los factores que se han aplicado para adecuar la producción bruta de un parque eólico operativo conectado a la red eléctrica junto con sus factores.

Pérdidas	Factor
Disponibilidad de los aerogeneradores	0.986
Disponibilidad del parque eólico	
Incumplimiento de la curva de potencia	0.93
Condiciones específicas del emplazamiento	0.96
Suciedad y degradación de las palas	0.995
Altas temperaturas	1
Heladas y bajas temperaturas	1
Histéresis por altas ráfagas	0.999
Pérdidas eléctricas	0.97
Otras pérdidas	0.96
TOTAL	0.815

Tabla 21 Pérdidas técnicas y operacionales con sus factores para la situación sin repotenciar

Como se puede ver en la tabla anterior, para ajustar la producción real es necesario un factor "Otras pérdidas". Este factor puede interpretarse como un factor de corrección del modelo.

La siguiente tabla muestra los factores de corrección y las pérdidas previstas para las configuraciones repotenciadas.

Pérdidas	Factor
Disponibilidad de los aerogeneradores	0.986
Disponibilidad del parque eólico	
Incumplimiento de la curva de potencia	0.98
Condiciones específicas del emplazamiento	0.97
Suciedad y degradación de las palas	0.995
Altas temperaturas	1
Heladas y bajas temperaturas	1
Histéresis por altas ráfagas	1
Pérdidas eléctricas	0.98
Otras pérdidas	0.96
TOTAL	0.877

Tabla 22 Pérdidas técnicas y operacionales con sus factores para la situación repotenciada

Como puede verse, algunos de los factores han mejorado, en comparación con los de la situación anterior. Esta mejora supone un aumento del 7.6%, en comparación con la situación actual del parque.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se procede a calcular la producción bruta teórica después de tener en cuenta las pérdidas de estela producidas por:

- El propio parque.
- Los parques eólicos vecinos existentes: “B” y “C”.
- Efecto de bloqueo.

El futuro parque eólico “A” situado a unos 2 km al noroeste del proyecto, está actualmente en construcción, y se espera que entre en funcionamiento en 2021. En esta evaluación se ha considerado un aumento de las pérdidas de estela en el futuro y se calcularán dos escenarios (con y sin “A”).

Las siguientes tablas muestran los resultados del modelo del campo eólico (velocidad y producción) y los resultados finales de producción para las configuraciones analizadas del proyecto.

Los resultados obtenidos con este modelo sin tener en cuenta los efectos del futuro parque de “A” son los siguientes:

Aero	Velocidad del viento	Producción bruta	Pérdidas de estela	Producción
	m/s	MWh/año	%	MWh/año
A01	6.23	2,041	3.4	1,971
A02	6.03	1,911	5.2	1,813
A03	6.05	1,928	5.5	1,822
A04	6.42	2,167	4.4	2,070
A05	6.7	2,348	3.9	2,256
A06	6.54	2,244	4.7	2,138
A07	6.6	2,281	5.6	2,153
A08	6.53	2,242	7.2	2,080
A09	6.43	2,173	7.9	2,001
A10	6.18	2,011	8	1,850
A11	6.32	2,099	7.7	1,937
A12	6.25	2,053	8.2	1,885
A13	6.12	1,967	5.2	1,865
A14	5.64	1,648	6.3	1,545
A15	5.67	1,667	7.8	1,536
A16	5.68	1,673	7.6	1,545
A17	5.67	1,664	5.7	1,569
Total	6.18	34,118	6.1	32,038

Tabla 23 Modelo de producción sin tener en cuenta el efecto de Cabrerizas para 17 G58

A continuación, se presentan los datos obtenidos teniendo en cuenta el efecto del nuevo parque en construcción.

Aero	Velocidad del viento	Producción bruta	Pérdidas de estela	Producción
	m/s	MWh/año	%	MWh/año
A01	6.23	2,041	4.2	1,956
A02	6.03	1,911	6	1,796
A03	6.05	1,928	6.6	1,802
A04	6.42	2,167	5.4	2,050
A05	6.7	2,348	4.8	2,236
A06	6.54	2,244	5.7	2,117
A07	6.6	2,281	6.4	2,135
A08	6.53	2,242	8	2,063
A09	6.43	2,173	8.8	1,982
A10	6.18	2,011	9.1	1,829
A11	6.32	2,099	9	1,910
A12	6.25	2,053	9.6	1,856
A13	6.12	1,967	7.2	1,825
A14	5.64	1,648	8.6	1,507
A15	5.67	1,667	10.5	1,493
A16	5.68	1,673	10.4	1,499
A17	5.67	1,664	8.9	1,516
Total	6.18	34,118	7.5	31,572

Tabla 24 Modelo de producción teniendo en cuenta el efecto de Cabrerizas para 17 G58

Como puede verse, la reducción de la producción es de un 1.4% debido a las estelas generadas por el futuro parque "A".

La estimación de la energía para las configuraciones repotenciadas se ha estimado considerando la existencia de “A”, ya que la repotenciación tendría lugar después de la puesta en marcha de este parque eólico.

2.4.2.4 Definición de la configuración del parque (layout)

La repotenciación se realizará según este estudio con tres aerogeneradores de alrededor de 5 MW que sustituirán a los 17 aerogeneradores de 0.85 MW.

De esta manera, se deben escoger los tres mejores emplazamientos del parque para situar estos tres molinos de cara a maximizar el potencial del proyecto. Para tomar esta decisión es preciso apoyarse en el estudio de producción por aerogenerador combinado con el estudio geográfico de los aerogeneradores.

Gracias a la información presente en los estudios anteriormente citados se ha decidido instalar las tres turbinas destinadas a la repotenciación en los emplazamientos de: A5, A8 y A11. Esta selección se ha tomado siguiendo dos criterios: el criterio geográfico y el criterio energético.

Desde un punto de vista puramente geográfico, es razonable colocar los aerogeneradores separados unos de otros y en las cimas. Por esta razón, los aerogeneradores situados en la zona de cultivo se desechan directamente (A14, A15, A16 y A17). Además, la Ilustración 15 descarta todas las posiciones menos aquellas que se encuentran en lo alto de sus respectivas zonas elevadas. Por lo tanto, el criterio geográfico nos deja 4 opciones potenciales (A1, A5, A8 y A11), que quedarán a disposición del criterio energético.

Energéticamente hablando, no hay duda de que los aerogeneradores A1, A5, A8 y A11 son aquellos que mejores resultados de producción tienen dentro de las diferentes elevaciones. En concreto, los emplazamientos de A5 y A8 son sustancialmente superiores a los de A1 y A11 por lo que la tercera localización se disputará entre estos dos últimos. Comparando minuciosamente los datos de A1 y A11 se ha decidido optar por A11 ya que tiene una producción bruta y un viento superiores a los de A1.

En la siguiente Layout del parque repotenciado se puede apreciar el layout final del parque repotenciado.



Ilustración 19 Layout del parque repotenciado

2.4.2.5 Estudio de las diferentes opciones para la repotenciación

De cara a evaluar la repotenciación de la mejor manera posible, se van a analizar cuatro casos distintos para poder hacer una comparativa adecuada. Los cuatro casos son los siguientes:

- El parque actual.
- El parque actual teniendo en cuenta el impacto del parque eólico “A”.
- El parque repotenciado con aerogeneradores Nordex-N149 teniendo en cuenta el impacto del parque eólico “A”.
- El parque repotenciado con aerogeneradores Nordex-N163 teniendo en cuenta el impacto del parque eólico “A”.

En el apartado anterior, se definieron las localizaciones de los tres aerogeneradores nuevos por lo que antes de comparar estas cuatro opciones se considera necesario aplicar el modelo los aerogeneradores de Nordex Acciona en esas tres localizaciones.

Las siguientes tablas muestran la estimación de energía para las configuraciones repotenciadas.

Aero	Velocidad del viento	Producción bruta	Pérdidas de estela	Producción
	m/s	MWh/año	%	MWh/año
A05	7.24	16,256	1.7	15,984
A08	7.17	16,006	2.7	15,572
A11	7.02	15,484	2.9	15,043
Total	7.14	47,746	2.4	46,599

Tabla 25 23 Resultados de la producción de energía del modelo de campo eólico para 3 Nordex-Acciona N149-5,06MW a 120 m de altura del buje.

Aero	Velocidad del viento	Producción bruta	Pérdidas de estela	Producción
	m/s	MWh/año	%	MWh/año
A05	7.24	17,649	1.7	17,351
A08	7.17	17,404	2.7	16,931
A11	7.02	16,881	2.9	16,405
Total	7.14	51,934	2.4	50,687

Tabla 26 Resultados de la producción de energía del modelo de campo eólico para 3 Nordex-Acciona N163-5,04MW a 120 m de altura del buje.

Disponiendo de las producciones energéticas provistas por el modelo para los modelos de Nordex Acciona es el momento de hacer el estudio de los cuatro casos antes mencionados.

De un modo más detallado se presentan los datos de los cuatro casos en las siguientes tablas:

Parque eólico	El Proyecto	
Modelo de aerogenerador	G58-850kW	G58-850kW
Número de aerogeneradores	17	17
Altura de buje (m)	55	55
Diámetro del rotor (m)	58	58
Capacidad instalada (MW)	14.45	14.45
Área de barrido del rotor (m²)	44,915	44,915
Producción bruta (MWh/año)	34,118	34,118
Pérdidas por estelas (%)	6.1	7.5
Producción después de estelas (MWh/año)	32,038	31,572
Pérdidas técnicas y operacionales (%)	18.5	18.5
Producción neta a largo plazo (MWh/año)	26,106	25,726
Densidad de energía neta (kWh/(m²-año))	581	573
Horas equivalentes a plena potencia	1,807	1,780

Tabla 27 Resultados de la producción de energía en la actualidad con y sin efecto de "A"

Parque eólico	El Proyecto	
Modelo de aerogenerador	N149-5.06MW	N163-5.04MW
Número de aerogeneradores	3	3
Altura de buje (m)	120	120
Diámetro del rotor (m)	149	163
Capacidad instalada (MW)	14.45	14.45
Área de barrido del rotor (m²)	52,310	62,602
Producción bruta (MWh/año)	47,746	51,934
Pérdidas por estelas (%)	2.4	2.4
Producción después de estelas (MWh/año)	46,599	50,687
Pérdidas técnicas y operacionales (%)	12.3	12.3
Producción neta a largo plazo (MWh/año)	40,886	44,473
Densidad de energía neta (kWh/(m²-año))	782	710
Horas equivalentes a plena potencia	2,830	3,078

Tabla 28 Resultados de la producción de energía de las configuraciones repotenciadas.

2.4.2.6 Comparativa y conclusiones sobre los escenarios para la repotenciación

Resumiendo, los resultados de energía neta (energía vendida) de los cuatro escenarios son los siguientes:

Escenario	Rendimiento energético P50 (MWh/año)	Horas netas equivalentes
Parque actual	26,106	1,807
Parque actual + impacto "A"	25,726	1,780
Parque repotenciado con Nordex-N149	40,886	2,830
Parque repotenciado con Nordex-N163	44,473	3,078

Tabla 29 Comparativa de escenarios para la repotenciación

De la tabla anterior se pueden sacar varias conclusiones. En primer lugar, se puede apreciar que el impacto de la construcción del nuevo parque ("A") implica una reducción del 1.5% en las horas de producción y una reducción del 1.45% en el rendimiento energético.

En segundo lugar, comparando el caso con el impacto de "A" y la repotenciación con la N149, se aumenta casi un 59% en términos de rendimiento energético y de horas.

Finalmente, comparando el caso que sufre el impacto del nuevo parque con la repotenciación con aerogeneradores N163, el impacto asciende hasta un 79%. Aunque era de esperar, en términos de aprovechamiento del recurso eólico esta última opción sería la más adecuada junto con la del modelo N149.

Siguiendo las indicaciones de las conclusiones anteriormente citadas, se ha decidido calcular la producción de energía para diferentes niveles de confianza en los casos de repotenciación. Es importante remarcar que se ha considerado un 7% de incertidumbre total. En la siguiente tabla, se ve reflejado el estudio mencionado:

Repotenciación				
	N149		N163	
Percentil	Producción (MWh/año)	Horas netas equivalentes	Producción (MWh/año)	Horas netas equivalentes
50%	40,886	2,830	44,473	3,078
75%	38,956	2,696	42,374	2,932
90%	37,218	2,576	40,483	2,802
99%	34,228	2,369	37,231	2,577

Tabla 30 Resultados de la producción energética para el proyecto afectado por “A” para las dos alternativas de repotenciación

En lo que respecta esta tabla, el modelo más adecuado para realizar una repotenciación en este momento en el parque es el Nordex Acciona N163 debido a que permite obtener un 8.7% más de horas equivalentes con respecto a la siguiente candidata que sería la N149 con 2,830 horas equivalentes. Estas 2,830 horas suponen a su vez un 56 % de aumento con respecto a los aerogeneradores G58 que están instalados en el parque.

3 Energía solar fotovoltaica

Esta sección está dedicada al estudio de los principales elementos que componen un parque solar fotovoltaico como el representado en la siguiente Ilustración 20.



Ilustración 20 Parque Solar Fotovoltaico

Los principales elementos por estudiar son los paneles solares y los inversores. El estudio de estos elementos ayudará a: entender su funcionamiento; ver qué tipos existen y encontrar cuál es el modelo más adecuado para nuestro proyecto.

3.1 Paneles Solares

3.1.1 Introducción

Los paneles solares son dispositivos que están diseñados para captar la energía del sol con dos posibles fines: generar calor o generar electricidad. Cuando estos persiguen el fin de generar calor se denominan colectores solares, que suelen usarse a nivel doméstico para facilitar agua caliente. Los que persiguen el fin de generar electricidad son los llamados paneles fotovoltaicos y son estos los que ocuparán el centro de atención de este proyecto. Estos paneles fotovoltaicos consiguen generar electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre las células fotovoltaicas de las que están compuestos.

3.1.2 Funcionamiento de un panel solar fotovoltaico

En el caso de los paneles fotovoltaicos, el proceso de generación de electricidad se consigue gracias al 'efecto fotovoltaico' que provoca la energía solar (fotones), generando cargas positivas y negativas en dos semiconductores próximos de distinto tipo, lo que genera un campo eléctrico que producirá una corriente eléctrica.

El panel solar está formado celdas o células, que son la unión de dos semiconductores. Uno de ellos es de tipo P y el otro de tipo N.

Por un lado, el semiconductor de tipo N es aquel material de silicio que ha sido dopado con impurezas pentavalentes. Es por esta razón, aplicando la ley del octeto, 4

(valencia del silicio) más 5 (valencia de la impureza) da 9 por lo que queda un electrón libre [26].

Por otro lado, el semiconductor de tipo P es aquel que ha sido dopado con impurezas trivalentes ($4 + 3 = 7$) por lo que existen muchos “huecos” (falta de electrones) en el material.

Al estar en contacto directo el semiconductor P con el semiconductor N, algunos electrones del P se pasan a tapar los “huecos” del N. Es por esta razón, por la que se crea una región de agotamiento en la que no existen ni electrones libres ni agujeros sin tapar. Esta región se ve ilustrada en la Ilustración 21 Celda o célula solar con una franja amarilla.

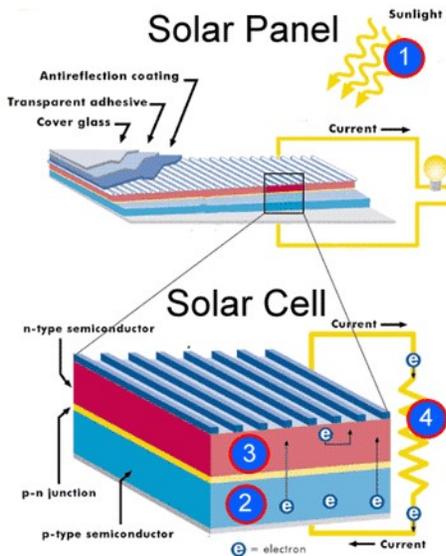


Ilustración 21 Celda o célula solar

Por todo lo anterior, cuando los rayos de luz inciden en la celda solar, el semiconductor N libera muchos más electrones que el semiconductor P y a su vez, el semiconductor P crea muchos más huecos. De esta manera se crea una diferencia de potencial. Al ser este voltaje muy pequeño (0.5 V en cada celda) se fabrican los paneles con varias celdas en serie. Por ejemplo, en un panel de 60 células se obtendrán 30V. Viendo las características físicas de las celdas, se puede afirmar que la cantidad de energía que proporcionen dependerá de su tamaño. Existe un conector que une el lado N con el P y por el que circula una corriente eléctrica aprovechable.

Existiendo un exceso de electrones en el lado P, es necesario captarlos y llevarlos a un terminal de conexión. Para ello se usan los fingers. Estos elementos son unos caminos que se sitúan cerca de las celdas y conducen a los electrones hacia los BusBars.

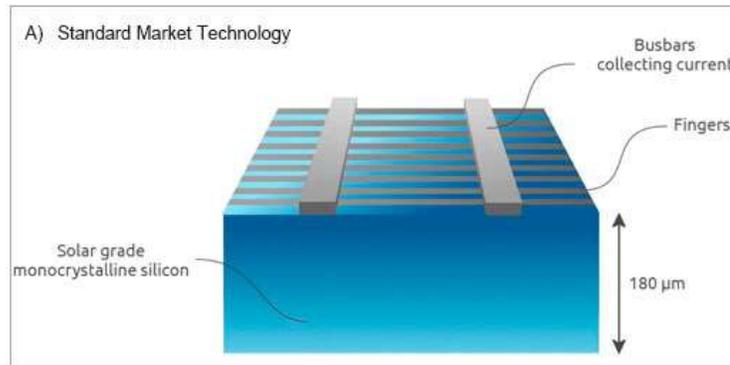


Ilustración 22 Fingers y BusBars de un panel solar

Los BusBars son los caminos “principales que transportan a los electrones. Transmitiendo la corriente eléctrica. [27]

En cuanto al tipo de corriente que se crea en los paneles solares, se puede afirmar que esta es corriente continua por lo que será necesario convertirla en corriente alterna a través de un Inversores.

3.1.3 Tipología de los paneles solares fotovoltaicos

En esta sección se van a estudiar los diferentes tipos y modelos de paneles solares. Existe una gran cantidad y variedad de modelos por ello se considera imprescindible ver cuáles son las diferentes categorías y tecnologías que hay en el mercado. Es importante tener en cuenta que en cuánto a los paneles solares, a parte de su eficiencia y potencia es muy importante valorar si se prefieren monofaciales o bifaciales, según la cantidad de caras que aprovechan la energía solar.

En cuanto a los materiales que componen estos paneles, destacan dos. Por un lado, el arseniuro de galio (GaAs), que se utiliza en otros dispositivos electrónicos complejos, y el silicio (Si), de menor coste económico y que es el más utilizado para los paneles. Dentro de los compuestos de silicio, que son los que centran este estudio, también hay que elegir si se desean monocristalinos o policristalinos.

3.1.3.1 Tipos de paneles según la estructura de sus células

Dentro de los paneles fotovoltaicos fabricados con células de silicio existen principalmente dos tipos de células según su estructura tridimensional: los monocristalinos y policristalinos.

En lo que se refiere a los paneles mono o policristalinos hay que saber que estos se diferencian los unos de los otros principalmente por el proceso de fabricación de las células de silicio que los forman. [28]

3.1.3.1.1 Paneles solares de silicio monocristalinos

Por un lado, los paneles monocristalinos son negros y se recomiendan para climas poco cálidos. El color de este tipo de paneles se puede ver en la Ilustración 23. Este tipo de panel es el que se lleva usando desde tiempos históricos. Su proceso de calentamiento es lento y su fabricación consume un alto nivel de energía. Además, su fabricación es más

lenta, pero son ligeramente más eficientes que sus primos los policristalinos. La fabricación de este tipo de paneles se realiza de una forma más controlada por lo que se crea un solo cristal de grandes dimensiones que posteriormente se cortan en obleas uniformes. Esta uniformidad es la que logra las mejores eficiencias generalmente.



Ilustración 23 Panel solar Monocristalino

3.1.3.1.2 Paneles solares de silicio policristalinos

Por otro lado, los policristalinos son de un tono más azulado (Ilustración 24) y se suelen instalar en lugares con climas más cálidos. Su descubrimiento se hizo mucho más tarde y la rapidez del proceso de calentamiento es mucho más alta. En cuanto a su fabricación, es más rápida, pero, sin embargo, son menos eficientes. Esto se debe a que la cristalización se consigue insertando semillas aleatoriamente por lo que no aparecen cristales uniformes.



Ilustración 24 Panel solar policristalino

Además de los paneles mono y policristalinos existen variaciones y combinaciones de estos. Los productos que destacan de la combinación o variación de estos son: los cuasi-mono y los de silicio amorfo.

3.1.3.1.3 Paneles solares de silicio cuasi-mono

Los también llamados casi-mono se producen con una combinación del sistema de fabricación de célula lenta de la monocristalina y un control cuidadoso de la orientación del cristal. De esta manera se obtiene una célula monocristalina con partes policristalinas. Este fenómeno permite obtener rendimientos excelentes y además se puede apreciar visualmente. [29]

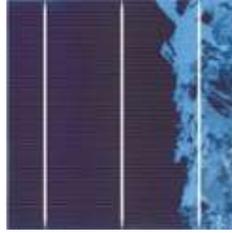


Ilustración 25 Panel solar de silicio cuasi-mono

3.1.3.1.4 Paneles solares de silicio amorfo

Este tipo de paneles se fabrican depositando película de silicio (gaseoso) encima de una superficie de acero o cristal. Tienen menor densidad de potencia por lo que necesitan el doble de superficie que el resto de los tipos. Por esta razón, la eficiencia del panel solar amorfo no es tan alta como en los paneles cristalinos.

La única razón para poder escoger este tipo de paneles es su precio. Son muy baratos, pero por el contrario precisan grandes superficies (mayores costes de cableado, estructuras y terreno). Además, se ha demostrado que su eficiencia se reduce mucho más rápido a lo largo de los años. [29]



Ilustración 26 Panel solar de silicio amorfo

3.1.3.2 Paneles solares monofaciales o bifaciales

Los paneles fotovoltaicos que se han venido usando a lo largo de los años eran módulos monofaciales. Para poder obtener mayores rendimientos y eficiencias, aparecen los paneles bifaciales que reciben radiación solar tanto por su parte frontal como por su parte posterior.

La mejora experimentada en los paneles bifaciales puede alcanzar hasta un aumento del 30%. Dato que se obtiene cuando se instalan los paneles en entornos con superficies altamente reflectantes.

En lo que se refiere a los paneles bifaciales, es importante indicar que estos pueden ser tanto para células monocristalinas como para células policristalinas. [30]

3.1.3.3 Últimas tecnologías en paneles solares fotovoltaicos

En este apartado, se explican las diferentes tecnologías de fabricación presentes en la actualidad que permiten mejorar el rendimiento de los paneles. Estas tecnologías se centran en mejorar los rendimientos de los paneles de dos maneras. Una de ellas es la mejora del rendimiento en sí al permitir que las células absorban más energía cuando reciben la luz solar. La otra manera se basa en mejorar el rendimiento reduciendo las posibles pérdidas cuando existen sombras.

Dentro de estas tecnologías se estudian las siguientes:

- PERC
- Half-Cell
- HJT
- Multi Bus Bar
- Tiling Ribbon
- Double Glass

3.1.3.3.1 Tecnología PERC

La tecnología PERC (Passivated Emitter Rear Cell) se basa en añadir una capa reflectante (Dielectric Layer) de tal manera que se aproveche al máximo la radiación solar. Esta capa, se añade en la parte trasera del panel solar de tal forma que permite que se reflejen los fotones de nuevo hacia la célula, atravesándola. Por esta razón se consigue aumentar considerablemente la eficiencia total. [31]

Con respecto a los paneles monocristalinos, policristalinos y a la aplicación de PERC, se puede afirmar que esta tecnología es aplicable a ambos tipos de paneles.

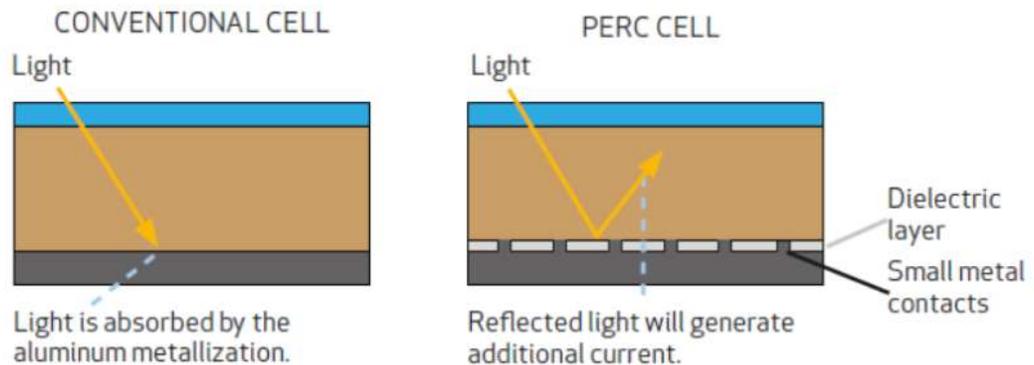


Ilustración 27 Tecnologías Half-Cell y Perk

3.1.3.3.2 Tecnología Half-Cell

La tecnología **Half-Cell** o Half-Cut es otro tipo de innovación aplicada a los paneles solares. Half-Cut consiste en el uso de células solares cortadas por la mitad de tal forma que la caja de conexiones quede situada en el centro del panel solar. Así, se consigue que el panel quede dividido en 2 mitades, con el 50% de capacidad en cada una. Esta manera de organizar los paneles permite ampliar las opciones de las placas fotovoltaicas. Además, las placas Half-Cell dividen el flujo de corriente en dos partes unidas en serie. De esta forma, se consigue reducir la resistencia media y se asegura la

producción de al menos una de las dos partes de placa en caso de que aparezcan sombras en una parte del panel. [31]

Al igual que la tecnología PERC que era aplicable tanto a paneles monocristalinos como a paneles policristalinos, la tecnología Half-Cell también es aplicable en ambos tipos.

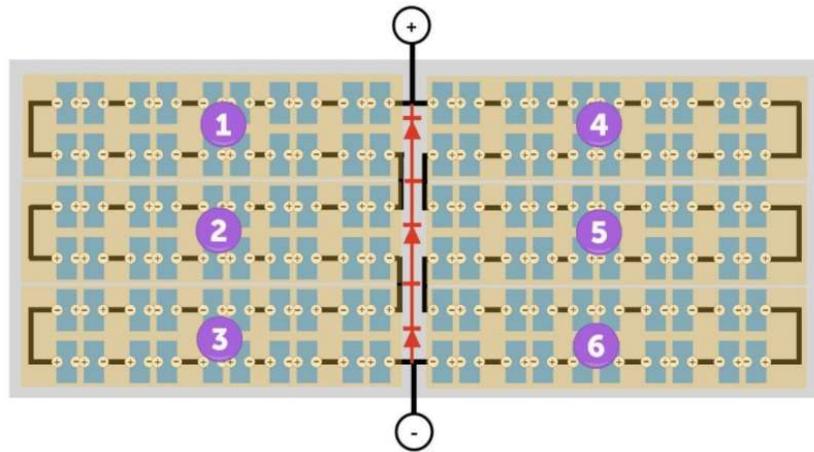


Ilustración 28 Esquema del cableado interior de una placa con tecnología Half-Cell



Ilustración 29 Comparativa de potencia entre Full Cell y Half Cell

3.1.3.3.3 Tecnología HJT

Por otro lado, se ha desarrollado una nueva tecnología de paneles solares. Esta tecnología se denomina HJT (Hetero Junction Technology). La tecnología en sí se caracteriza por combinar las ventajas de las células de silicio cristalino y las de silicio amorfo. Por esta razón, se consiguen mejores grados de eficiencia a un menor coste de producción. [32]

Las principales ventajas del HJT son las siguientes:

- Mejores propiedades de absorción del espectro solar y, por lo tanto, una mayor eficiencia en un espectro más amplio en comparación con la tecnología cristalina
- Menor número de pasos de fabricación
- Muy buen comportamiento térmico gracias a la contribución del silicio amorfo

- Coeficiente bifacial superior al 90%
- Riesgo mínimo de desarrollo de “Potential Induced Degradation” (PID).

3.1.3.3.4 Tecnología MBB (Multi BusBar)

Los Bus Bar son las conexiones que atraviesan las células solares. Físicamente, son unas barras metálicas que conducen la electricidad de tal forma, que se consigue incrementar la potencia de las celdas y mejorar la capacidad de producción. Por norma general, cuántos más Bus Bar tenga un panel fotovoltaico mayor será la captación de electricidad.

Cuando se trata de celdas policristalinas, se pueden apreciar una cantidad de líneas muy finas que cruzan toda la celda, esas líneas denominadas “fingers” tienen como función recoger la energía de toda la superficie de la celda y canalizarla hacia el Bus Bar, donde se conecta el “ribbon” por medio de una soldadura. Este “ribbon” o “tabbing wire”, es un conductor especial, con recubrimiento de plata y estaño que conecta cada celda con las demás formando una serie eléctrica. [27]

Las principales ventajas de la tecnología MBB son las siguientes: [33]

- Es menos probable que aparezcan microgrietas.
- Tiene un mayor rendimiento
- Aparece una reducción en el número de buses rotos.
- Mayor fiabilidad del producto.

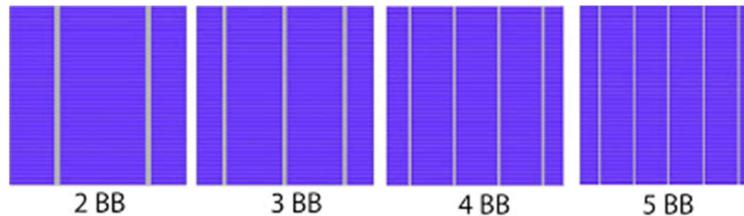


Ilustración 30 Paneles según sus Bus Bar

3.1.3.3.5 Tecnología Tiling Ribbon (TR)

Como ya se ha visto anteriormente, el ribbon, es un conductor de cobre instalado en los paneles solares fotovoltaicos que va soldado directamente sobre los cristales de silicio para interconectar las células solares en un módulo solar. Estos ribbons son primordiales a la hora de determinar la eficiencia de la célula, llevando la corriente generada en la célula solar a la barra colectora fotovoltaica (Bus Bar).

La tecnología Tiling Ribbon ha sido desarrollada por el fabricante Jinko Solar [34]. Esta tecnología se basa en eliminar el posible espacio que existe entre las células solares. Esta reducción de espacio conlleva al aumento de la eficiencia de los módulos de forma significativa. Esta tecnología está ilustrada en la siguiente Ilustración 31.

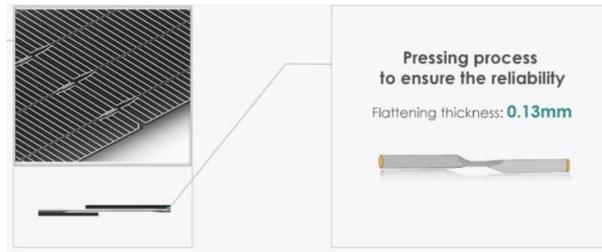


Ilustración 31 Tiling ribbon

Además, en comparación con el 5BB, Jinko Solar hace uso de un ribbon circular, desarrollado por ellos mismos. Esta forma de ribbon permite lograr la reutilización de la absorción de la luz y aumentar la generación de energía. Este efecto se puede apreciar en la siguiente Ilustración 32.

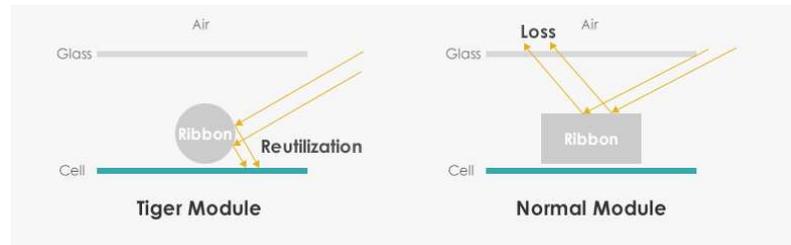


Ilustración 32 Circular Ribbon

3.1.3.3.6 Tecnología Double Glass

Esta tecnología consigue dos propósitos. Por un lado, mejora la eficiencia de los paneles al dejar pasar mejor la irradiación. Por otro lado, protege a las células solares de tal manera que puedan ser más longevas.

La tecnología Double Glass es un producto innovativo que consiste en rodear a las células solares con dos láminas de cristal reforzado contra el calor de 2.5 mm de grosor [35]. Este efecto deja pasar más luz de tal manera que puede ser una ventaja arquitectónica además de permitir un mejor aprovechamiento de la luz solar. En lo que se refiere al nivel arquitectónico, esta tecnología permite hacer paredes de paneles solares a través de las cuales atravesaría la luz hacia el interior del edificio tal y como se puede apreciar en la siguiente Ilustración 33 Tecnología Double Glass



Ilustración 33 Tecnología Double Glass

Estas láminas de cristal permiten que los paneles sobrevivan a las condiciones más extremas del planeta tierra. De esta manera su vida se alarga excediendo los 20-30 años [36].

3.1.4 Estudio de mercado de los diferentes paneles solares

Es esta sección, se va a realizar un estudio de mercado de los diferentes paneles solares. Para ello, se estudiarán los diferentes modelos de los principales proveedores y se escogerán los más adecuados para el proyecto.

Dentro de los proveedores, se estudiarán los siguientes: Trina, Suntech, Risen, Jinko y Longi.

El trabajo preliminar se basa en llevar a cabo un amplio estudio de gran parte del porfolio de productos de los proveedores anteriormente citados. Este estudio ha sido introducido como Estudio de mercado de los paneles solares debido a su dimensión.

Debido a la gran variedad de modelos disponibles en el mercado se ha decidido contactar con algunos proveedores que han podido aclarar la situación del mercado de los paneles solares. Es muy importante tener en cuenta que la instalación de paneles solares en el proyecto tiene como objetivo ser en Q2 de 2022. Por esta razón, los fabricantes coinciden en que en ese momento temporal lo más probable es que se estén vendiendo paneles PERC monofaciales o bifaciales con potencias cercanas a los 600Wp o incluso que se supere este valor.

Teniendo en cuenta el asesoramiento de los principales proveedores se ha decidido realizar un estudio de mercado de los paneles solares simplificado. En esta versión más reducida se descartan automáticamente los policristalinos y se tienen en cuenta tanto los bifaciales como los PERC monofaciales con potencias que rondan los 550Wp.

Marca	Modelo	Monofacial/Bifacial	Bus Bars	Tipo	Potencia (Wp)	Eficiencia max (%)
Trina	Vertex TSM-DE18M(II)	Monofacial	MBB	Monofacial Monocristalino 1/3-Cut MBB	480-505	21.1
Trina	Vertex TSM-DEG18MC.20(II)	Bifacial	MBB	Bifacial Monocristalino 1/3-Cut MBB	475-505	21
Suntech	Ultra V	Monofacial	MBB	Monofacial Monocristalino MBB PERC	570-590	21.3
Suntech	Ultra X	Monofacial	MBB	Monofacial Monocristalino MBB PERC	585-605	21.3
Risen	Titan 120 HIGH PERFORMANCE	Monofacial	MBB	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB PERC	580-605	21.4
Risen	Titan 120 HIGH PERFORMANCE	Bifacial	MBB	Bifacial Monocristalino Half-Cut MBB PERC	580-600	21.2
Jinko	Tiger Pro 72TR	Monofacial	9BB	Monofacial MBB Half-Cell Tilling Ribbon	540	21.31
Jinko	Tiger Pro 72 TR	Bifacial	MBB	Bifacial MBB Half-Cell Tilling Ribbon	535	21.16
Jinko	Tiger Pro 78 TR	Monofacial	MBB	Monofacial MBB Half-Cell Tilling Ribbon	585	21.4
Jinko	Tiger Pro 78 TR	Bifacial	MBB	Bifacial MBB Half-Cell Tilling Ribbon	580	21.21

Tabla 31 Estudio de mercado de los paneles solares (reducido)

De la tabla anterior, se ha decidido escoger para este proyecto los paneles del fabricante Risen modelo Titan 120 por tres razones:

1. Son paneles que cronológicamente concuerdan con este proyecto.
2. Se trata de paneles bifaciales.
3. Son paneles de gran potencia lo que brindará diversas ventajas.

Las características principales del modelo Titan 120 de Risen son las reflejadas en la siguiente tabla:

Risen – Titan 120 High Performance Bifacial Monocrystalline Perc Module	
Número de celdas	120
Potencia (Wp)	585 - 605
Máximo voltaje del Sistema (V _{DC})	1,500
Eficiencia máxima	21.40%
Dimensiones	2,172 x 1,303 x 35 mm

Tabla 32 Características módulo solar Titan 120

3.1.5 Estructura de los paneles solares

Una vez quedan definidos los paneles solares que se van a utilizar, es preciso determinar sobre qué tipo de estructura irán montados. Existen principalmente dos tipos de familias de estructuras: las estructuras fijas y las estructuras móviles.

Las estructuras fijas son aquellas que como su propio nombre indica no se mueven. Estas estructuras disponen los paneles orientados hacia el sur (en el hemisferio Norte) o hacia el norte (en el hemisferio Sur) y con una inclinación estable definida por la latitud de la zona geográfica para llevar al máximo la eficacia de la instalación. [37]

Este tipo de estructuras son más baratas y requieren menor mantenimiento que las estructuras móviles. Además, son mucho más fiables ya que no conllevan ninguna complejidad a la hora de captar energía. Es por esta razón por la que son más ligeras que las móviles y no precisan de energía para que los paneles capturen la luz solar.

Por otro lado, las estructuras móviles precisan de energía, son más pesadas, pero se dedican a perseguir al sol durante los periodos de luz, motivo por el cual se denominan seguidores (“tracker”). Esto permite que se incremente la incidencia de la radiación solar en los paneles solares. Estas estructuras pueden seguir al Sol con uno o dos ejes móviles. El uso de este tipo de estructuras permite aumentar la producción entre un 15% y un 40% anualmente.

En este proyecto se usarán estructuras móviles con un solo eje de giro ya que se aumenta el rendimiento de la planta considerablemente con respecto a la estructura fija, pero sin tener unos costes y una complejidad tan alta como los seguidores de doble eje. [37]

3.2 Inversores

3.2.1 Introducción

Los inversores son piezas clave en las instalaciones solares fotovoltaicas conectadas a red. Tal y como se menciona en el capítulo solar, los inversores se encargan de transformar la corriente continua (DC) generada por las células en corriente alterna (AC) que es la que precisa la red eléctrica.

Un inversor es un dispositivo electrónico que permite transformar la corriente continua en corriente alterna a un voltaje y a una frecuencia determinados. [38] De esta manera, lo que consigue el inversor es cambiar una corriente continua de 600V por ejemplo en una alterna de 400V.

Para lograr su cometido, cada inversor dispone de un oscilador que controla a un transistor. Este sistema se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar así, una onda rectangular que alimenta a un transformador. En este transformador se suaviza su forma, de tal manera que se obtenga la forma y el voltaje de señal deseados.

Existen diversas calidades de inversores. La calidad de un inversor viene determinada por la capacidad que tiene el inversor de crear una onda sinusoidal perfecta.

En cuanto al rendimiento energético de una instalación fotovoltaica, este se ve afectado tanto por un sobredimensionamiento o subdimensionamiento del sistema. A esto, se le añade el coeficiente de rendimiento del inversor. Por esta razón es muy importante escoger los inversores adecuados. [39]

3.2.2 Tipos de inversores

En el ámbito industrial de la energía solar fotovoltaica se presentan dos tipos de inversores según sus configuraciones en planta. De este modo, se encuentran los inversores en string o los inversores centrales.

3.2.2.1 Inversor en string

Los inversores en string son los más usados hoy en día. Se constituyen básicamente de: un regulador (normalmente MPPT); una sección de la conversión; una sección de sincronización y de control que le permiten regular y manejar la energía de salida de CA que se produce. [40]

Este tipo de inversores son de tamaño medio (2kW-200kW). Por ejemplo, Huawei dispone de dos modelos que tienen una potencia máxima activa de 193 kW. [41] Al encontrar muchos inversores a lo largo de la planta se trata de un sistema descentralizado que permite modularidad.

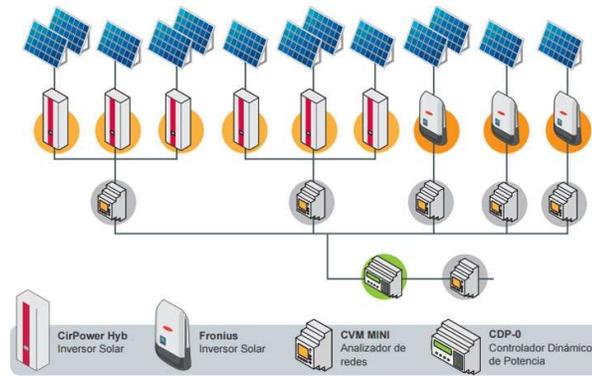


Ilustración 34 Distribución con inversor en string

En cuanto a las ventajas de los inversores en string destacan: [40]

- La modularidad
- Una mejor redundancia
- La reducción de los requerimientos de espacio
- La reducción de las pérdidas de cableado de CC, etc.

3.2.2.2 Inversor central

En lo que se refiere a los inversores centrales, estos son de mayor tamaño que los anteriores (>250kW) [40] Aporta un enfoque centralizado de la inversión de la energía de la planta solar. Esto permite tener un control más simple.

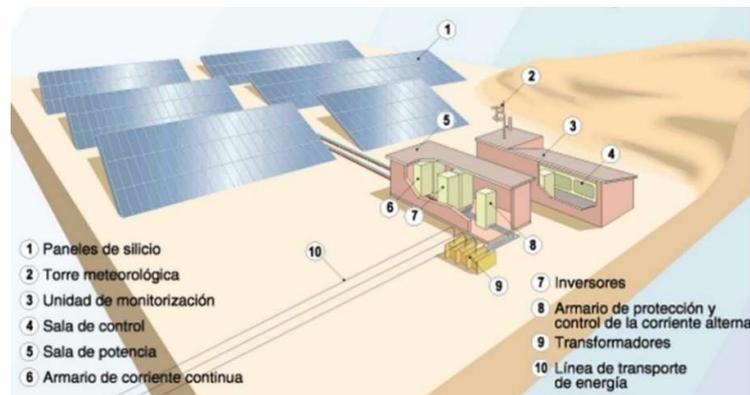


Ilustración 35 Distribución con inversor central

Los inversores centrales permiten un sistema más centralizado y por lo tanto más fácil de controlar.

3.2.3 Selección de los inversores

En lo que se refiere al proyecto de hibridación se considera más apropiado hacer uso de inversores en string. La principal razón consiste en la descentralización y una mejor redundancia. En un segundo plano, el inversor en string precisa de menos cableado y de espacio por lo que es óptimo de cara a optimizar el terreno disponible.

Dentro de los inversores en string se ha decidido hacer uso del inversor Huawei SUN2000-175KTL-H0 [1] Se trata de un inversor que dispone de características idóneas para el proyecto además de ser un inversor actual. El hecho de ser actual asegura que es un inversor que se puede comprar e instalar en estos momentos ya que al igual que los paneles solares, según se van desarrollando nuevas mejoras en los productos, otros quedan obsoletos.

La especificación del equipo es apropiada para la instalación prevista que funciona a 1500 Vcc. Las protecciones y funciones incluyen anti-islanding, regulación de potencia activa y reactiva y funciones de arranque/parada suave de acuerdo con el código de red aplicable.

Por todas las razones se ha escogido este inversor cuyas características principales se ven reflejadas en la Tabla 33 Características del inversor.

Modelo	SUN2000-175KTL-H0
Datos de entrada DC	
Tensión máxima	1,500 V
Voltaje DC Clasificada	1,080 V
Máxima corriente DC	234 A
Rango de Tensión MPP(T)	500~1,500 V
Tensión de MPPT	9
Entrada DC	18
Conectores	MC4
Datos de salida AC	
Potencia Máxima AC	193 kW
Voltaje AC Clasificada	800 V
Máxima corriente AC	140.7 A
Corriente AC Clasificada	126.3 A
Factor de potencia (cosφ)	0,8
Distorsión (THD)	< 3 %
Numero de fases de inyección	3
Eficiencia máxima	99.02 %
Datos generales	
Dimensiones (A/A/F)	700 x 1,035 x 365 mm
Peso	84 kg
Temperatura de Funcionamiento	-25 ~ +60 °C
Transformador	Sin Transformador
Clase Protectora	IP66
Humedad	0-100 %
Enfriamiento	Natural
Altitud máxima	5,000 m
Interfaz	RS 485, USB, Bluetooth, WLAN
Visualización	LED
Características de Protección	
Características de protección	Protección Anti-Aislante (ENS), protección contra Sobreintensidades, Dispositivo de Corriente Residual (RCD), protección contra sobretensión y Sobrecarga, monitorización de Aislamiento

Tabla 33 Características del inversor

4 Hibridación

4.1 Introducción

Un sistema de energía híbrido es aquel que es capaz de producir electricidad a partir de dos o más fuentes. Generalmente, se trata de fuentes de energía renovables que se diseñan y se sitúan de tal manera que puedan compartir el mismo punto de conexión. [42]

El punto de conexión a la red, tal y como su propio nombre indica es el enlace entre la instalación fotovoltaica y/o solar con el sistema eléctrico. Este punto de conexión es necesario para poder verter la energía producida al sistema y en el caso particular de España es Red Eléctrica la encargada de gestionar estos puntos a lo largo del país. [43]

La principal ventaja que aporta la hibridación es la optimización del uso de dicho punto de acceso a la red. Estos puntos de acceso se dimensionan por MW que se pueden verter a la red y según el tamaño del punto de conexión se dimensiona la planta solar o eólica que se vaya a instalar.

4.2 Descripción

El estudio de la hibridación se ha basado en un parque eólico con características conocidas que tiene la posibilidad de ser repotenciado y una planta solar con una capacidad que a priori se plantea variable de tal forma que se pueda estudiar cuál es el tamaño en MWp más adecuado para la hibridación.

4.2.1 Parque eólico

Según los estudios realizados en el capítulo energía eólica, estas son las características principales del parque eólico junto con su repotenciación.

Escenario	Actual	Repotenciado	
Ubicación	Albacete (España)		
Potencia instalada (MW)	14.45	14.45	14.45
N.º de aerogeneradores	17	3	3
Modelo y potencia de cada aerogenerador	G58-850 kW	N149-5.06 MW	N163-5.04 MW
Diámetro del rotor (m)	58	149	163
Altura de buje (m)	55	120	120
Clase IEC	IIIB	S	S

Tabla 34 Resumen de las características del parque eólico

4.2.2 Planta solar fotovoltaica

Se consideran diferentes tamaños de planta solar, cuyo diseño se basa en el escalado de una planta estándar de 1 MWp, ubicada en coordenadas cercanas al parque eólico considerado. De esta forma se hará el estudio de la planta empezando en 1 MWp y llegando hasta esa misma planta con unos 20 MWp.

Se ha elegido una configuración de planta acorde con la tecnología de los principales componentes de la instalación (módulos e inversores) que se utilizan actualmente en el mercado. En este caso se han considerado los siguientes elementos:

- Seguidor de un eje horizontal N-S.
- Paneles: Risen Titan 120 High Performance Bifacial Monocrystalline Perc.
- Inversores en string Huawei SUN2000-175KTL-H0.

4.2.3 Metodología

Para analizar con detalle el comportamiento de la planta híbrida, se construyen series horarias para la producción eólica y solar. A continuación, se analiza la suma de ambas series teóricas (eólica y solar) en el contexto de la potencia autorizada, con el fin de analizar la energía total generada y los excedentes imposibles de verter a la red.

La siguiente figura ilustra el procedimiento:

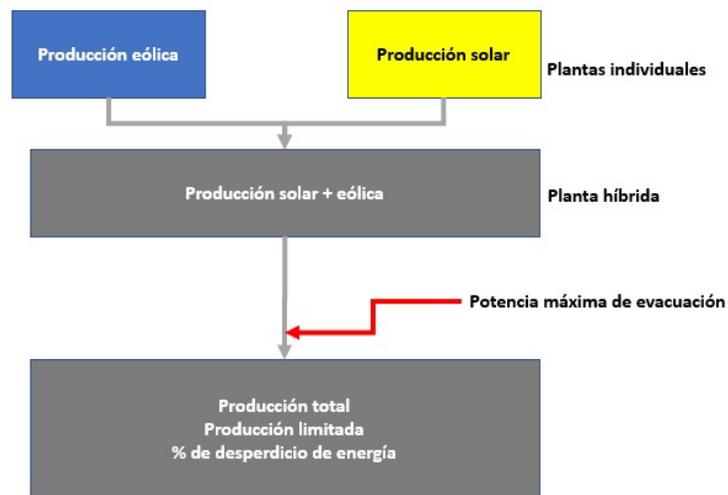


Ilustración 36 Metodología del estudio de hibridación.

Afortunadamente, la parte del estudio de la producción eólica se ha realizado en la sección de Energía Eólica.

. De este modo, se analizará la parte solar directamente y a la hora de contrastar datos en la planta híbrida entrarán en juego los datos del Proyecto eólico .

4.2.4 Modelo dinámico de la planta solar

En primer lugar, y para calcular la producción solar de la planta tipo de 1 MWp, se estudian las bases de datos de recurso solar por satélite (PVGis, Meteonorm) y/o las estaciones de referencia disponibles para el emplazamiento (AEMET), y se elige la fuente de datos que mejor refleje las características climáticas de la zona para cada año de estudio.

Una vez seleccionadas, se exportan las variables más importantes a considerar para un estudio de producción solar, que son: radiación global horizontal (GHI), radiación difusa (DHI), temperatura, velocidad del viento, humedad, etc. al software de simulación PVSyst 7.1, especializado en el diseño de plantas solares.

Para la evaluación de la producción, la simulación considera la estimación de las pérdidas de energía desde la planta hasta los transformadores de media tensión (MT). Las pérdidas consideradas son las siguientes

- *Pérdidas en la irradiación efectiva:* horizonte, sombreado cercano, ángulo de incidencia (AMI), suciedad.
- *Pérdidas en la conversión fotovoltaica:* degradación del módulo, nivel de irradiación, temperatura del módulo, espectral, calidad del módulo, LID (Light Induced Degradation), desajuste.
- *Pérdidas eléctricas:* cableado de CC y CA de baja tensión, inversor, transformador(es) de media tensión.

La siguiente tabla muestra las pérdidas que se han aplicado en la simulación PVSyst:

Pérdidas	Valor	PR
Radiación efectiva		
Horizonte	0.00%	100.00%
Sombreado cercano	0.00%	100.00%
Ángulo de incidencia (IAM)	0.33%	100.00%
Suciedad	3.00%	99.67%
Radiación efectiva TOTAL	3.33%	96.67%
Radiación fotovoltaica		
Degradación del módulo	0.40%	96.67%
Nivel de irradiación	0.30%	96.27%
Temperatura del módulo	5.00%	95.97%
Calidad del módulo (ganancia)	-0.50%	90.97%
LID	1.60%	91.47%
Desajuste	2.00%	89.87%
Conversión fotovoltaica TOTAL	8.80%	87.87%
Pérdidas eléctricas		
Cableado DC BT (óhmico)	1.20%	87.87%
Inversor AC-DC	1.80%	86.67%
Cableado AC BT (óhmico)	1.20%	84.87%
BT/MT transformador	1.10%	83.67%
Pérdidas eléctricas TOTALES	5.30%	82.57%
TOTAL	17.03%	82.57%

Tabla 35 Tabla de pérdidas para el modelo solar

Los resultados detallados y estadísticas asociados a la simulación de la planta modelo de 1 MWp pueden verse en detalle en el Simulación en PVSyst para 1 MWp.

En la siguiente tabla se reflejan los datos más relevantes para el modelo solar fotovoltaico de 1 MWp de potencia instalada.

Modelo solar fotovoltaico de 1 MWp	
Potencia nominal	1,000 kWp
Potencia nominal total	875 kW ac
Energía producida	2,187 MWh/año
Horas netas equivalentes	2,188
Proporción de rendimiento	85.94%
Proporción potencia nominal	1.14

Tabla 36 Resultados del modelo solar fotovoltaico para 1 MWp

El software ofrece como salida una serie de producción horaria para años completos, que está escalada para considerar los diferentes escenarios de tamaño de la planta solar.

4.2.5 Cálculo de la producción de la planta híbrida

La producción de la planta híbrida es la suma de la producción de la planta solar más la del parque eólico. Para calcular la producción total de la planta híbrida se ha usado la siguiente ecuación:

$$\text{Producción teórica total} = \text{Producción eólica teórica} + \text{Producción solar teórica}$$

Las producciones teóricas son las que se habrían producido si no hubiera habido limitación de potencia, cuyo valor se considera la potencia autorizada del parque eólico. Es importante tener en cuenta y no olvidarse de que siempre la plantas estarán sujetas a la capacidad del punto de conexión.

Teniendo en cuenta esta limitación de potencia, se ha calculado la producción total inyectada a la red, así como los excedentes que no pueden ser producidos ya que no se dispone de capacidad restante de vertido a la red eléctrica.

La metodología del estudio comienza por sacar la producción eólica para los tres posibles escenarios:

- **Escenario A:** producción eólica con el efecto de “A” sin repotenciar con 1,780 horas equivalentes de producción.
- **Escenario B:** producción eólica del parque repotenciado con N149 con 2,830 horas equivalentes.
- **Escenario C:** producción eólica del parque repotenciado con N163 con 3,078 horas equivalentes.

Para poder sacar la producción eólica horaria se ha calculado el promedio de producción eólica de otros 3 parques cercanos lo que permite tener un dato relativamente fiable. Los datos de estos parques son privados y por ello no se muestran.

Una vez definida la producción horaria eólica para los tres escenarios, se realizó una simulación con PVSyst que se muestra en Simulación en PVSyst para 1 MWp. Esta simulación aporta los datos de producción anual de una planta de 1 MWp. Es importante

tener en cuenta que para esta simulación se ha decidido establecer un ratio de MWp/MW igual a 1.15 ya que es un valor común y actual para esa zona de España. En cuanto a los equipos utilizados se ha simulado con aquellos determinados en el capítulo de Energía solar fotovoltaica (paneles Titan 120 e inversores Huawei en string).

Al tener las producciones horarias tanto de los escenarios eólicos como de la parte solar se calculó en qué momento y con qué cantidad de energía se superaban los 14,450 kW de los que dispone el punto de conexión del parque. De esta manera se pudieron calcular las pérdidas a nivel horario de cada escenario.

4.2.6 Resultados de la hibridación

Dado que el parque eólico ya existe, se ha supuesto que todos los excedentes provienen de la planta solar. El excedente calculado se refiere en porcentaje tanto a la producción total como a la producción solar. Los resultados obtenidos para cada escenario pueden verse a continuación.

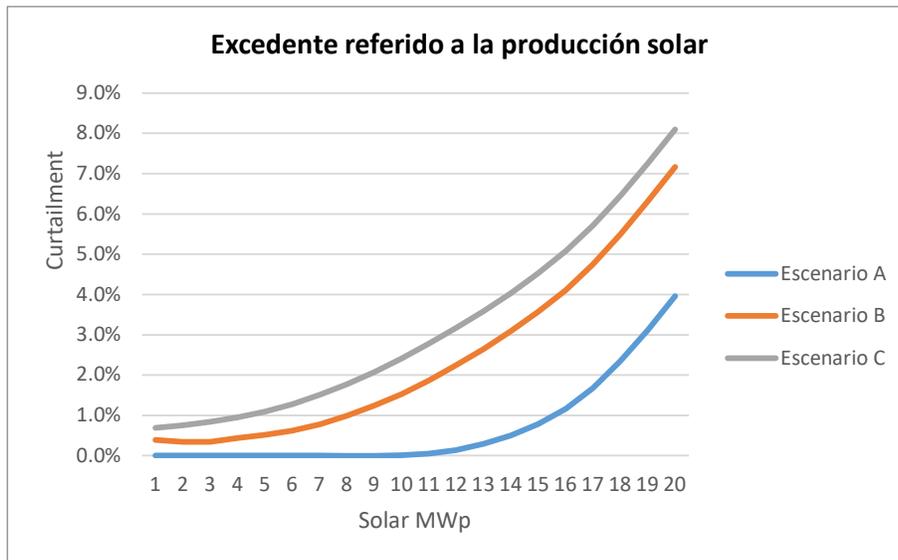


Ilustración 37 Excedente referido a la producción solar para los tres escenarios.

En la imagen anterior, se puede apreciar como los excedentes crecen con el aumento del dimensionamiento de la planta solar. Este comportamiento es de esperar ya que al aumentar la planta solar se aumenta la producción solar de forma casi lineal por lo que aumentarán los momentos en los que se exceda el límite del punto de conexión.

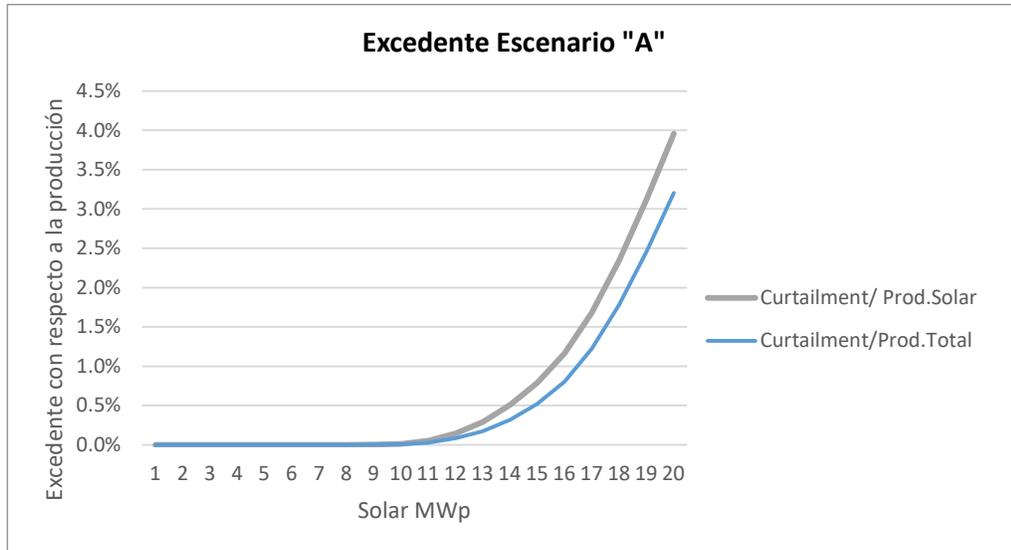


Ilustración 38 Excedente referido a la producción total y a la solar para el Escenario A

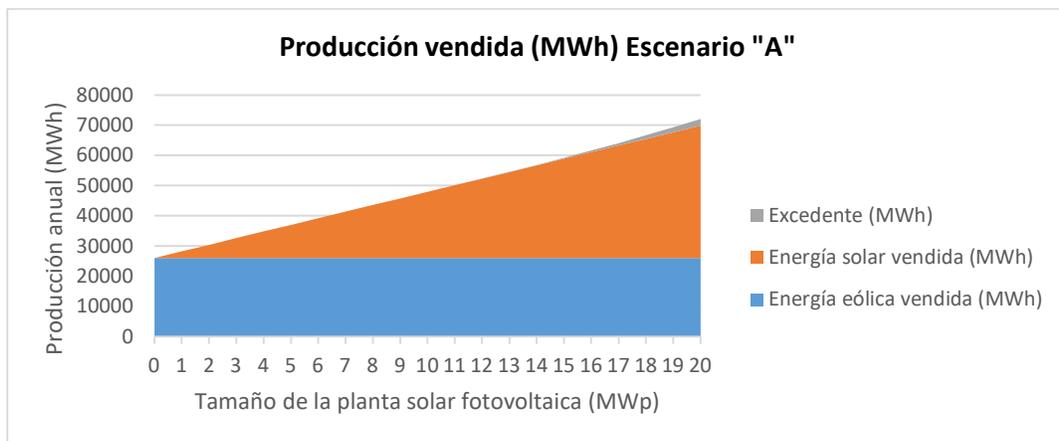


Ilustración 39 Producciones y excedentes en el Escenario A

En el Ilustración 39, se puede apreciar una cantidad de excedente muy reducida, incluso despreciable hasta un tamaño de 10 MWp. Además, las pérdidas máximas registradas para 20 MWp no alcanzan el 4% referido a la solar, ni tampoco el 3.5% referido a la producción total. Viendo estos resultados y teniendo en cuenta que en caso de realizar la hibridación esta convivirá más con la repotenciación que con el parque actual, se considera necesario el estudio del excedente en los escenarios repotenciados.

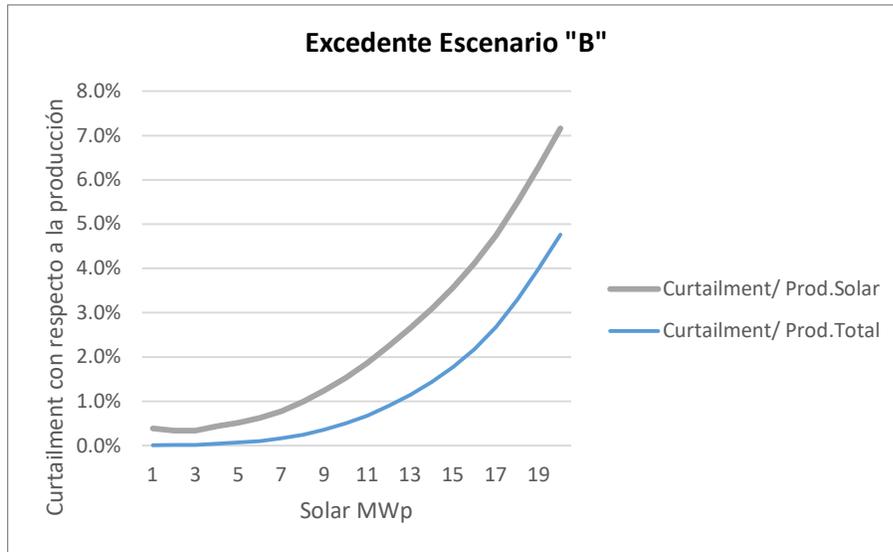


Ilustración 40 Excedente referido a la producción total y a la solar para el Escenario B

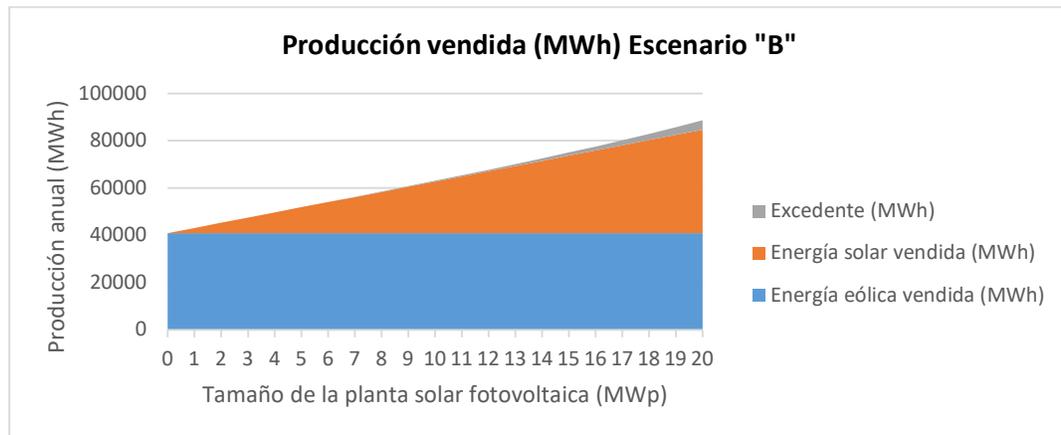


Ilustración 41 Producciones y excedentes en el Escenario B

En el Ilustración 41 aparecen más pérdidas con respecto al Ilustración 39 debido al aumento de producción. En este caso para una planta de 20 MWp se alcanzaría un excedente del 7.5% referido a la producción solar y un 5% referido a la producción total.

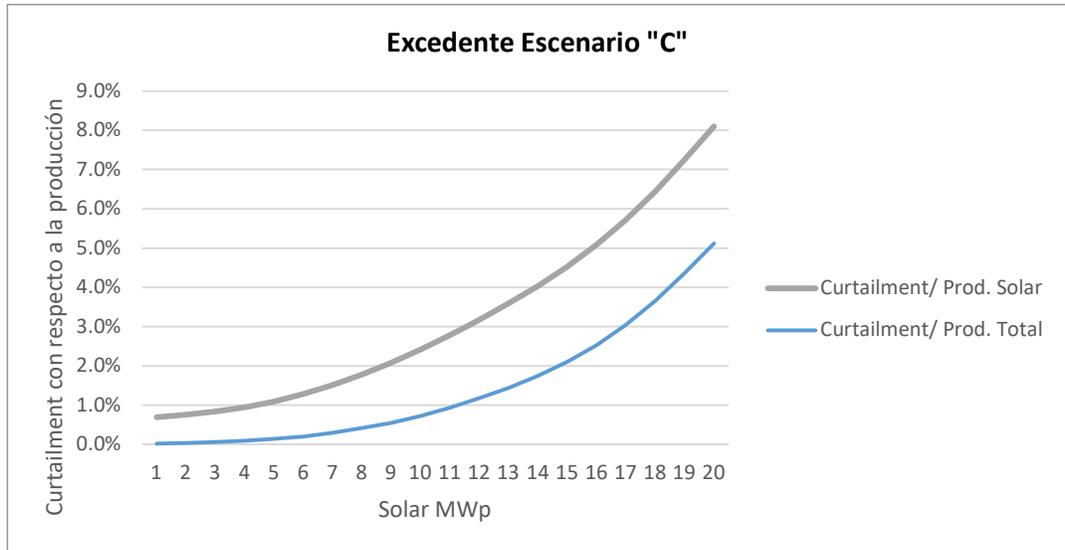


Ilustración 42 Excedente referido a la producción total y a la solar para el Escenario C

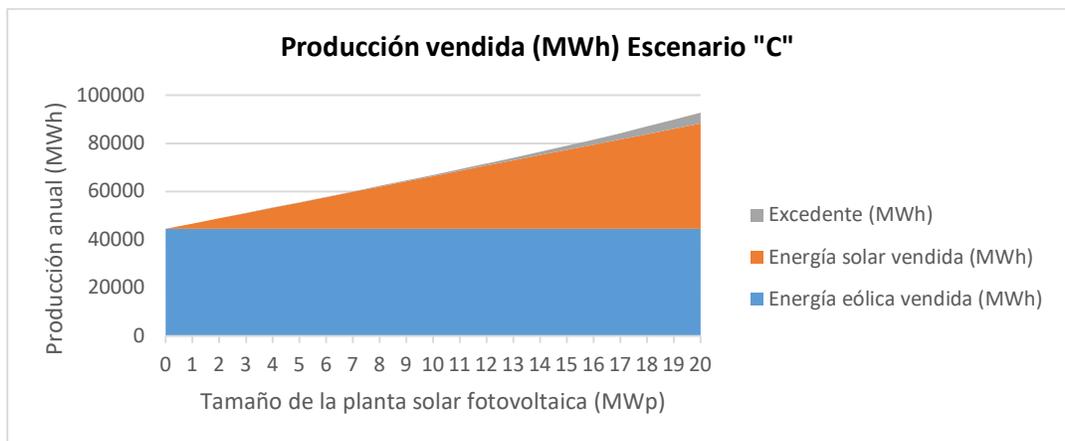


Ilustración 43 Producciones y excedentes del Escenario C

Finalmente, en el Ilustración 43 se pueden observar pérdidas aún superiores, aunque no alcanzan el 9% en el peor de los casos.

En lo que se refiere al estudio del excedente por separado, se muestra en las siguientes ilustraciones:

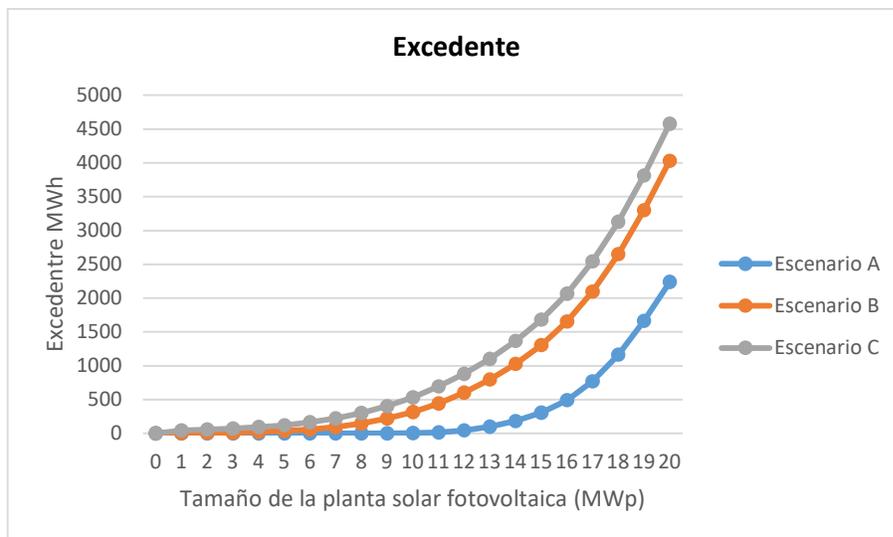


Ilustración 44 Excedente según escenario

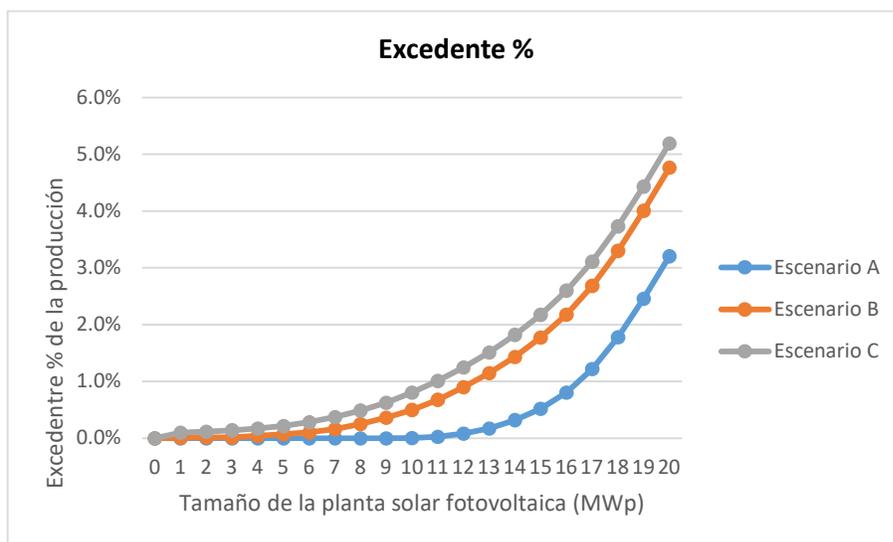


Ilustración 45 % de excedente con respecto a la producción total por escenario

El estudio del excedente por separado permite analizar de manera más precisa el tamaño de instalación solar más adecuado. Es importante tener en cuenta que los datos numéricos de estos estudios se presentan en el Estudio del .

4.2.7 Conclusión del dimensionamiento de la hibridación

Según los resultados obtenidos se ha decidido tener en cuenta un tamaño de 15 MWp para la instalación solar fotovoltaica que se hibridará al parque actual y que quedará hibridado al futuro parque repotenciado con Nordex Acciona N163. Se ha tomado esta decisión basada en tres razones principalmente:

- 1- Los excedentes registrados en el mejor de los escenarios de repotenciación (N163) con este tamaño no exceden el 5% referido a la propia planta.

- 2- En caso de tener que parar la producción eólica durante la construcción de la repotenciación se seguirá aprovechando en gran medida la capacidad del punto de conexión con 15 MWp de solar.
- 3- 15 MWp es un tamaño con el cual se pueden llegar a mejores acuerdos económicos con los proveedores.

4.3 Proyecto solar

Siguiendo los criterios establecidos en el estudio de hibridación, se ha decidido estudiar la implantación de una planta solar fotovoltaica con una potencia de 15 MWp. Se trata de una planta solar de tamaño medio/pequeño en comparación con los proyectos que se llevan a cabo hoy en día. Sin embargo, es el tamaño más adecuado para complementar la energía proporcionada por la instalación eólica ya existente.

4.3.1 Estudio de los terrenos para la instalación fotovoltaica

Un requerimiento primordial para poder llevar a cabo la construcción de una planta solar es el hecho de disponer de un terreno para instalarla. Por esta razón, es necesario identificar y estudiar los potenciales terrenos que ocupará la planta.

A priori puede parecer un trabajo simple ya que en España existe una gran extensión de terreno con niveles altos de recurso solar. Sin embargo, se trata de una tarea mucho más compleja de lo que parece. Este hecho se debe principalmente a la cantidad de requisitos y condiciones que deben cumplirse y darse para poder conseguir un terreno adecuado.

4.3.1.1 Requisitos primordiales

En lo que se refiere a los requisitos de los terrenos existen cuatro grupos principales: los económicos, los legales, los que tienen que ver con la orografía y la localización y los requisitos dimensionales.

El principal *modus operandi* a la hora de hacer una oferta por un terreno se basa en el arrendamiento de esos terrenos pagando una cuota anual por hectárea durante el periodo de vida útil de la planta. De esta forma, gran parte de los propietarios no están dispuestos a alquilar sus terrenos para este fin ya que esto implicaría no disponer de estos activos durante gran parte del resto de sus vidas. Es importante tener en cuenta que la vida útil de un parque solar es de alrededor de 30 años, existiendo la posibilidad de alargar la vida del proyecto otros tantos en caso de una repotenciación. De todas formas, existen propietarios que sí que aceptan estos términos al ver que se trata de una fuente de ingresos relativamente segura durante un largo periodo de tiempo.

En lo que se refiere a los precios que se están pagando en la actualidad por el arrendamiento de estos terrenos está entre 1000 y 2000 euros por hectárea. Esta cantidad filtra indirectamente los terrenos que son aptos para la instalación de una planta. Al fin y al cabo, gran parte de los terrenos potenciales son terrenos explotados de forma agrícola.

Por esta razón, aquellos terrenos que produzcan rendimientos mayores a los precios de alquiler no serán candidatos ya que sus propietarios no dudarán en rechazar la oferta. Estos terrenos de alto rendimiento son aquellos que son de regadío o que tienen plantaciones de alto rendimiento.

Por todas las razones económicas anteriormente citadas, queda claro que no se trata de una negociación fácil. Este estudio no llegará hasta la etapa de negociación, sino que acabará en la etapa anterior. Etapa en la que se seleccionan cuáles son las posibles opciones potenciales.

En el marco legal, existen gran cantidad de terrenos en nuestro país que se encuentran protegidos y en los cuales no se puede plantear una instalación solar. Estos terrenos son los protegidos por red natura o que están protegidos por alguna razón de peso que no permita este tipo de construcciones. Por ejemplo, los yacimientos arqueológicos, los arroyos tanto secos como húmedos... Estos requisitos ayudan a reducir poco a poco la cantidad de parcelas aptas.

Por otro lado, los terrenos más adecuados de cara a instalar una planta lo más eficiente y económica deben: ser lo más regulares posibles en cuanto a forma; estar orientados hacia el sur; tener una inclinación del terreno lo menor y más uniforme posible y estar situados lo más cerca de la subestación.

A todo lo anterior, se le suma la necesidad de una extensión mínima para poder instalar la planta. De cara a hacer un estudio de terrenos, se considera que es preciso disponer de 1.5 hectáreas de terreno por MW en caso de estar formado por estructuras fijas. En el caso de que los paneles estén dispuestos sobre una estructura de seguidores, los requerimientos de terreno ascienden a 2 hectáreas. Por lo tanto, para el caso estudiado, que son 15 MW en estructura de seguidores, se necesitan hasta 30 hectáreas para poder asegurar que la instalación quepa.

Todas estas características reducen considerablemente la cantidad de parcelas candidatas por lo que queda claro que el estudio de terrenos es un paso complicado y clave en el desarrollo de un proyecto solar fotovoltaico.

4.3.1.2 Terrenos aptos

Teniendo en cuenta todos los requisitos anteriormente mencionados se ha realizado un estudio de las potenciales parcelas. El procedimiento para realizar este estudio comienza por identificar las parcelas o conjunto de parcelas de tamaños considerables que se encuentren en los alrededores del parque eólico. Para ser más precisos, las parcelas más interesantes serán aquellas situadas más cerca de la subestación ya que se reducirían los permisos y los costes de línea y transporte. Además, es necesario asegurarse de que ninguna de estas parcelas esté afectada por red natura o por ninguna restricción de cualquier índole.

Tras analizar todas las afecciones y los perfiles de inclinación de los emplazamientos de los aerogeneradores, se decide descartar la zona alta de terreno y buscar emplazamientos potenciales cerca de la subestación. Gracias al Sigpac [44], se ha podido analizar la tipología de los terrenos que rodean a la subestación. En general, la

mayoría de los terrenos colindantes son tierras arables con alguna parcela con árboles de rendimiento bajo. Sin embargo, la zona circular que se sitúa al este de la subestación es un terreno de regadío por lo que este círculo se ha descartado en el estudio.

Según las medidas citadas, los terrenos aparentemente potenciales son los representados en la siguiente ilustración.

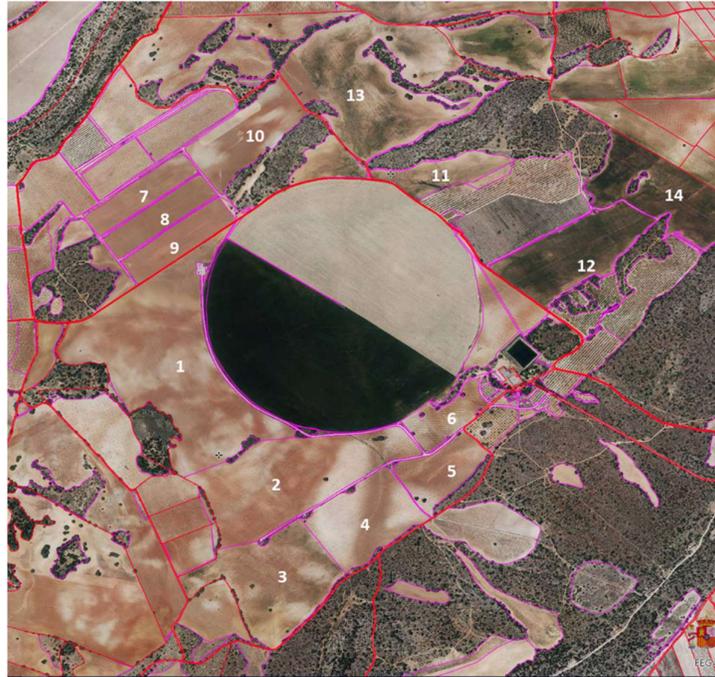


Ilustración 46 Terrenos potenciales (I)

Estas 13 parcelas que vienen enumeradas en la imagen se recogen en la tabla:

Terrenos potenciales			
Provincia	Condición	Superficie	Identificador
ALBACETE	TA	29.29	1
ALBACETE	FS	18.3	2
ALBACETE	TA	14	3
ALBACETE	FS	9.2	4
ALBACETE	FS	5.2	5
ALBACETE	VI	3.7	6
ALBACETE	TA	4.1	7
ALBACETE	TA	4.3	8
ALBACETE	TA	4.6	9
ALBACETE	TA	8	10
ALBACETE	TA	4.1	11
ALBACETE	TA	10.5	12
ALBACETE	TA	22.3	13
ALBACETE	TA	11.7	14

Tabla 37 Superficies potenciales para albergar al proyecto

Esta tabla aparte de reflejar qué parcela corresponde con qué número, indica la extensión de cada parcela junto con la condición del terreno. Las diferentes condiciones que se dan son: TA (tierras arables); FS (Frutos secos) y VI (Viñas). Teniendo en cuenta las características de estas parcelas se han planteado 4 planes que individual o conjuntamente podrían cumplir con los requisitos establecidos. Estos planes se presentan en la siguiente ilustración:

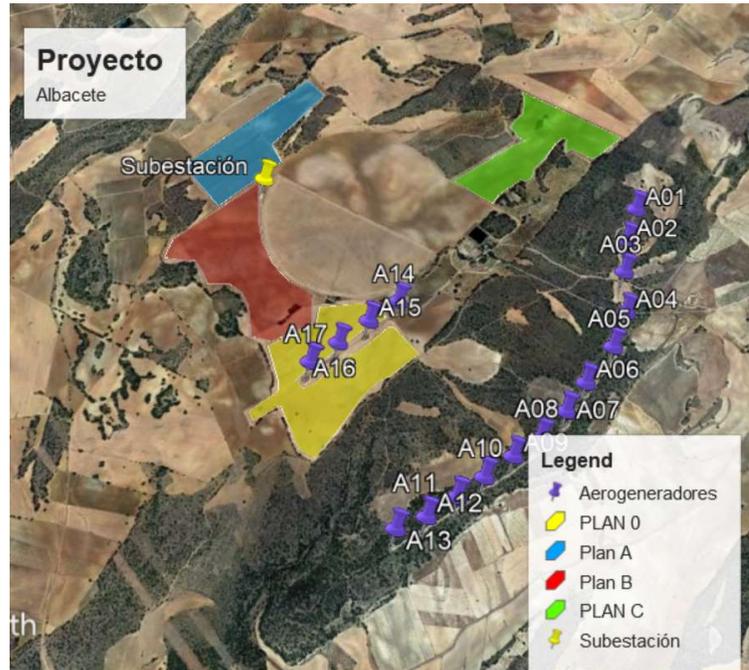


Tabla 38 Planes potenciales

En esta imagen, se representan las 4 opciones que se consideran ya que cumplen con todos los requisitos anteriormente mencionados. Cabe destacar que los llamados planes A, B y C disponen de menos de 30 hectáreas, pero se pueden considerar agrupaciones de estos planes con otros. En el caso de agrupar más extensión de la requerida simplemente se pagaría al propietario la parte proporcional correspondiente a la ocupación del parque.

Debido al potencial de estas 4 opciones se ha realizado un estudio más exhaustivo incluyendo los perfiles de elevación de estos terrenos. Para realizar este estudio, se ha analizado el perfil N-S y el perfil E-O de cada una de las parcelas afectadas gracias a la ayuda de Google Earth Pro.

El primer plan de la lista es el Plan 0 que está formado por las parcelas números 2, 3 y 4. La extensión total es de 30.4 hectáreas una vez se le excluye la distancia de seguridad que hay que guardar con los aerogeneradores 14, 15, 16 y 17.

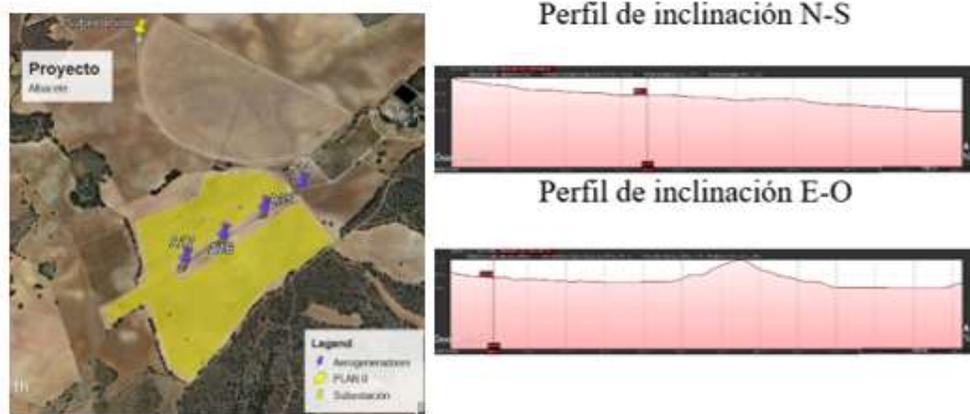


Ilustración 47 Plan 0

Tal y como se puede apreciar en la imagen superior, las inclinaciones de los perfiles N-S y E-O son aceptables y adecuadas para la instalación de una planta de 15 MWp por lo que solamente se podría mejorar la situación si se presentará una opción más cercana a la subestación y sin aerogeneradores en su interior.

El segundo plan que estudiar es el plan A. Este plan está formado por las parcelas 7, 8, 9 y 10 sumando un total de 20.8 hectáreas con perfiles de elevación adecuados tal y cómo se puede apreciar en la siguiente imagen.

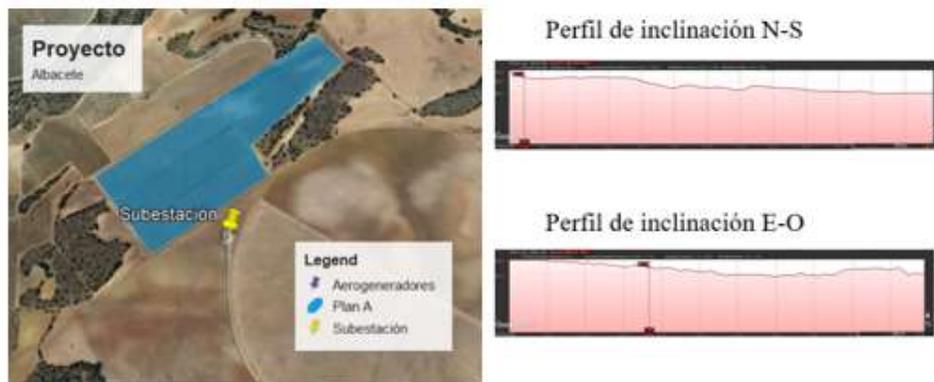


Ilustración 48 Plan A

Con respecto al Plan A el único inconveniente que tiene es que solamente dispone de 20,8 Ha. Como ya se ha aclarado antes, se considera la posibilidad de agruparlo con otro plan.

El tercer plan por estudiar es el plan B. Este plan está formado por la parcela 1 con 29.29 hectáreas con perfiles de elevación adecuados tal y como se puede apreciar en la siguiente imagen.

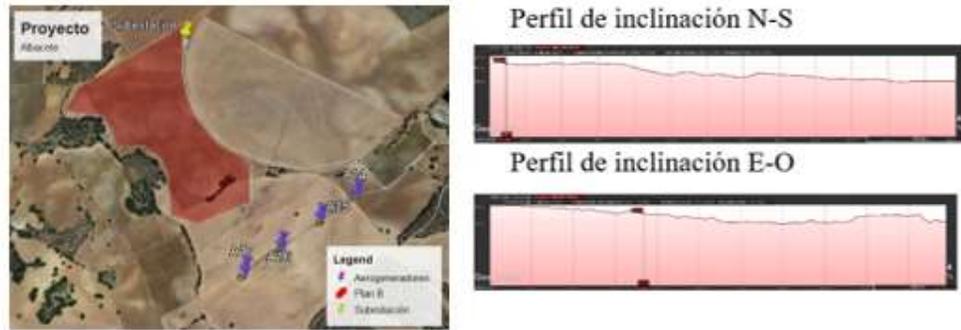


Ilustración 49 Plan B

Una de las principales ventajas que tiene esta opción con respecto a las otras es que está compuesta únicamente por una sola parcela con las dimensiones requeridas, por lo que los trámites serán mucho más livianos. Además, es la opción más próxima a la subestación y no presenta aerogeneradores en su interior.

Finalmente se presenta la opción C. Está compuesta por las parcelas 12 y 14, acumulando hasta 20.6 Ha una vez se le han quitado las zonas que no se consideran aptas. En cuanto a la elevación de estos terrenos, se puede afirmar que son aptas para una instalación fotovoltaica. Para apoyar esta hipótesis se adjuntan a continuación los perfiles de este conjunto de parcelas.

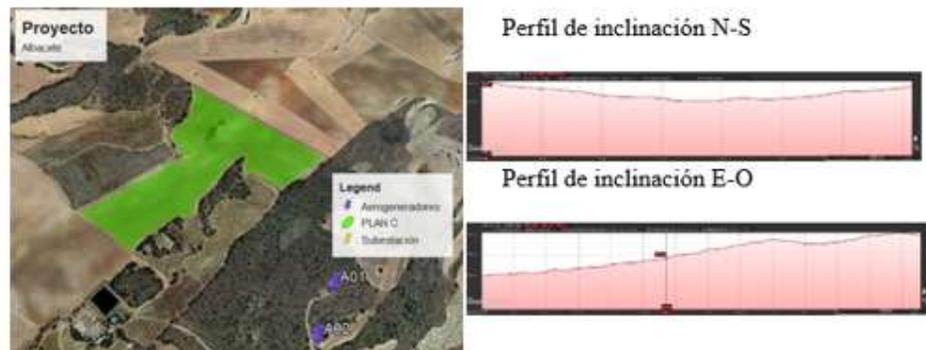


Ilustración 50 Plan C

4.3.1.3 Terreno seleccionado para albergar la instalación fotovoltaica

Tras exponer y estudiar los terrenos y planes potenciales para la instalación de un parque fotovoltaico que se pueda hibridar con el parque eólico existente se ha decidido que a priori, la mejor opción es el plan B. Esta decisión viene apoyada en tres razones de peso:

1. Cumple con todos los requisitos, incluso el de superficie.
2. Es la parcela que se encuentra más cerca de la subestación.
3. Este plan solamente afecta a una sola parcela y a un solo recinto.

Terreno seleccionado para albergar la instalación fotovoltaica			
Provincia	Albacete	Condición	TA – Tierra arable
Municipio	-	Superficie	29.29 Ha
Polígono	-	Inclinación media N-S	2.30%
Parcela	-	Inclinación máxima E-O	3.70%

Tabla 39 Terreno seleccionado para la planta solar



Ilustración 51 Mapa del parque eólico con el terreno seleccionado para la planta solar

4.4 Punto de acceso y conexión

En relación con los puntos de acceso y conexión, es preciso mencionar que en la actualidad existe una moratoria que deja congelado el proceso de concesión de puntos de acceso y conexión [45]. Esta moratoria no afecta a los proyectos de hibridación por lo que la hibridación se presenta como el mecanismo idóneo para desarrollar proyectos renovables en España en este momento.

La concesión de un punto de acceso y conexión está regulada por:

- Real Decreto 1183/2020 (29 de diciembre). [10]
- Circular 1/2021 de la CNMC (20 de enero). [8]
- Real Decreto-Ley 23/2020 (23 de junio). [9]

Es importante destacar que además de la moratoria, la hibridación goza de una ventaja económica con respecto a un proyecto que parte de cero. En lo que a los avales

se refiere, el importe a depositar es de 40,000 €/MW mientras que en el caso concreto de la hibridación, esta cuantía se reduce un 50% representando 20,000 €/MW.

Una vez definido el tamaño de la planta solar fotovoltaica se procede a evaluar los cambios que se han de llevar a cabo de cara a que se pueda verter energía a la red ya sea proveniente del parque eólico, de la planta solar o de ambas al mismo tiempo.

Dadas las características de la línea y del centro de transformación proporcionados en Características del punto de conexión a la red (14.45 MW) se puede afirmar que la incorporación de la planta solar fotovoltaica de 13.15 MW nominales de potencia instalada no obligará a modificar sustancialmente a las instalaciones ya existentes. Al fin y al cabo, de cara a la red no existe ningún cambio importante ya que lo único que cambia es que se debe conectar la planta solar a la subestación.

En lo que respecta a las pequeñas modificaciones que se deben hacer para poder permitir que se haga una explotación correcta de la hibridación, se considera la instalación de los siguientes equipos:

- Armario de control para la energía producida por la hibridación
- Dos contadores de energía activa y reactiva para ambas instalaciones
- Actualización de los sistemas de protección y control
- Celda de línea 630 A, 25kA

Una vez realizados estas pequeñas modificaciones, la hibridación permitirá verter energía proveniente de ambos parques, de tal forma que se optimizará la explotación del punto de acceso. Esta herramienta de optimización permite que aquellos propietarios de plantas solares y parques eólicos en España puedan aumentar significativamente su producción de energía sin precisar de un punto de acceso adicional. Gracias a esto, se podrá aumentar la cantidad de energía renovable producida anualmente en un punto de conexión de una manera económicamente más atractiva.

4.5 Ventajas y desventajas de la hibridación

La hibridación es la producción de energía a partir fuentes de energía distintas. En este caso, energía solar fotovoltaica y energía eólica. Este fenómeno tiene tanto puntos positivos como puntos negativos.

En lo que se refiere a las principales ventajas que aporta una hibridación como la que se presenta en este estudio son las siguientes:

- Permite aprovechar el punto de conexión otorgado a la instalación original de tal manera que se pueda verter más energía a la red con la misma infraestructura de conexión a la red eléctrica del país.
- Permite alcanzar sinergias principalmente a la hora de control, monitorización y negociación con los proveedores. Además, se reutiliza la parte de la conexión de la instalación original. Esto permite reducir los

costes tanto de inversión como de mantenimiento del conjunto de ambas plantas.

- En caso de una repotenciación en una de las dos instalaciones, la hibridación permite que la otra componente genere y vierta energía a la red durante el periodo de construcción permitiendo tener ingresos a lo largo de toda la vida útil de la hibridación.
- De cara al futuro, este tipo de instalaciones permitirán el abastecimiento con energía renovable durante todas las horas del año siempre y cuando se cuente con un sistema de almacenamiento.

La desventaja principal que presenta la hibridación es el no generar energía por no disponer de más capacidad para verter a la red. Por esta razón, los sistemas de almacenamiento se presentan como el compañero idóneo de la hibridación. De esta manera, se almacenaría el exceso de energía y se vertería en momentos en los que la producción no fuese máxima.

5 Monitorización

En esta sección se va a estudiar la monitorización de las dos instalaciones de energía renovable que conciernen a este proyecto. De cara a mantener las estructuras de solar y eólica por separado, se ha decidido estudiar la monitorización de ambas instalaciones individualmente. Se estudiará en primer lugar la monitorización de la parte solar y seguidamente la de la parte eólica.

5.1 Monitorización instalación solar fotovoltaica

Un sistema de monitorización es una aplicación que permite verificar de manera remota el correcto funcionamiento de una instalación de cualquier índole en tiempo real, con el objetivo de actuar rápidamente en el caso de detectar daños y/o averías (ejemplo: fallos en los inversores, cables rotos, fallos en las células, etc.) y poder llevar a cabo una reparación y/o mantenimiento del sistema de placas solares

Lo primero es definir cuáles son los principales elementos de una planta solar fotovoltaica. Estos se comprenden desde las células que producen electricidad en corriente continua hasta las líneas de transporte que llevan la corriente alterna hasta los centros de consumo. A continuación, se presenta una lista con los principales equipos y una breve descripción de cada uno de ellos [46]:

- **Células fotovoltaicas.** En estas células es donde empieza todo. Ellas son las encargadas de captar la energía solar y transformarla en corriente continua mediante el efecto fotovoltaico.
- **Torre meteorológica.** Se trata del equipo que analiza las condiciones meteorológicas con el objetivo de determinar la radiación solar que se está recibiendo o se prevé recibir.
- **Armario de corriente continua.** Armario que recibe la corriente continua que proviene de las células.
- **Inversor.** Tal y como se ha descrito anteriormente en este documento, el inversor es el encargado de convertir la corriente continua en corriente alterna.
- **Armario de corriente alterna.** Una vez sale la corriente alterna del inversor, la recibe el armario de corriente alterna.
- **Centro de transformación.** Debido a diversas razones, la corriente alterna que proviene del armario de alterna puede que no esté en las condiciones requeridas por la red. De esta forma, el centro de transformación se encarga de adaptar las condiciones voltaje para que sea apta para ser transportada.
- **Líneas de transporte.** Estas líneas transportan la energía eléctrica hasta los centros de consumo.
- **Contador de energía.** Este elemento es uno de los más relevantes ya que es el encargado de contabilizar la energía que se vierte a red lo que será imprescindible de cara a recibir los ingresos correspondientes.
- **Data logger** [47]. Se trata de un grabador independiente, típicamente pequeño y relativamente económico que se encarga de monitorizar y

registrar datos en tiempo real. Se encarga de observar datos como el voltaje, la temperatura, la intensidad...

- **Sala de control.** En último lugar, se encuentra el centro de control que es el lugar donde se supervisa el funcionamiento de todos los elementos de la central fotovoltaica. Es en este lugar, donde se encontrará el SCADA que servirá para el control de la planta.

Para tener una visión más clara de los principales elementos puestos en contexto, se añade la siguiente ilustración aclaratoria:

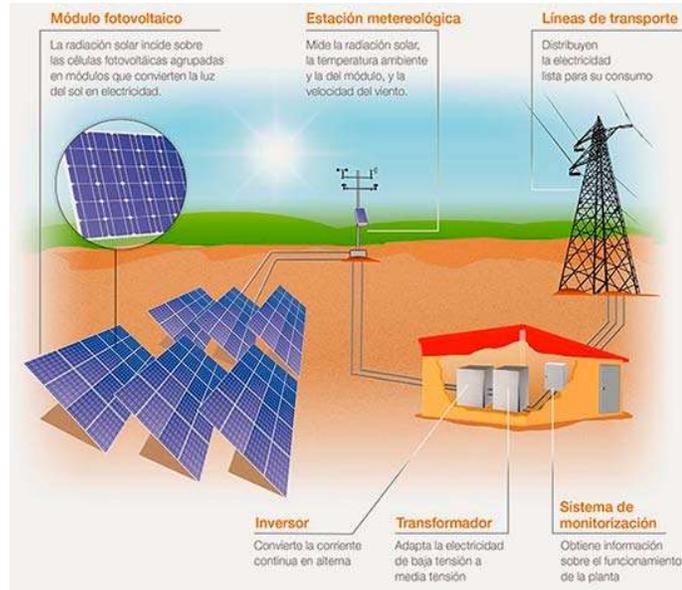


Ilustración 52 Principales elementos de una planta solar fotovoltaica

Una vez queda claro el esquema físico de la planta, es preciso ver el esquema de conexiones que permite la monitorización de dicha planta. Por esta razón, se presenta a continuación un esquema en el que se pueden ver esquematizadas tanto la red física (en color negro) como la red de monitorización (en color azul).

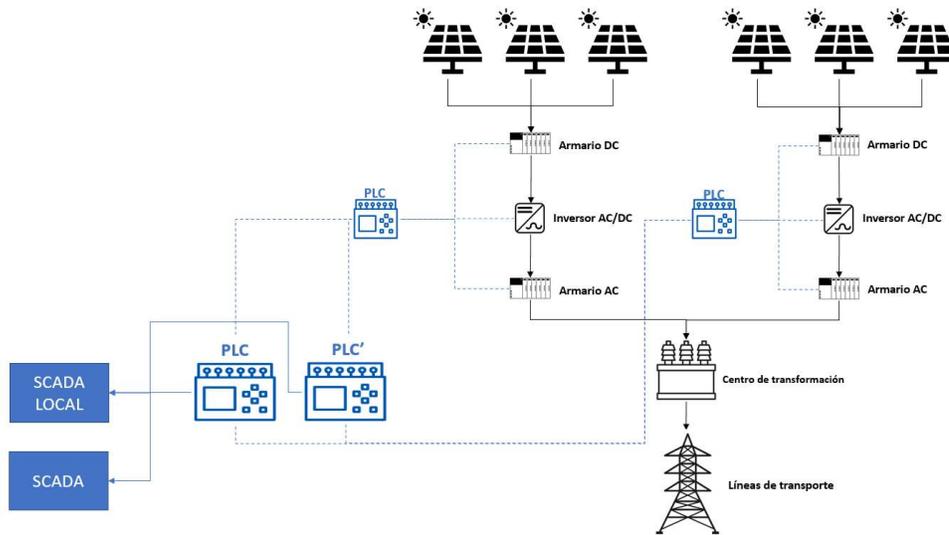


Ilustración 53 Esquema de la monitorización de una planta solar

La estructura principal de monitorización se basa en tres niveles: el nivel de sensores, el de PLCs y el de SCADAs. Estos tres niveles se pueden ver representados en la ilustración anterior. En resumen, los sensores que se encuentran en los equipos físicos toman medidas que mandan a los PLCs inferiores. A su vez, estos PLCs reportan a un PLC de mayor rango que dispone de otro PLC similar que lo suplementa en caso de error. Estos PLCs de mayor rango, reportan tanto al SCADA local como al SCADA principal que permitirá a su vez monitorizar el parque eólico que conforma la hibridación.

5.2 Monitorización de la instalación eólica

El sistema de monitorización de un parque eólico consta de menos elementos que una planta solar por lo que resulta más sencillo monitorizarlo. Una de las principales razones que fundamenta esta afirmación es que del propio aerogenerador ya sale la electricidad en alterna. De esta forma, la electricidad es adaptada y transportada a través de cables hasta el SET desde el cual se vierte a la red. Este concepto se puede ver perfectamente ilustrado en la siguiente imagen.

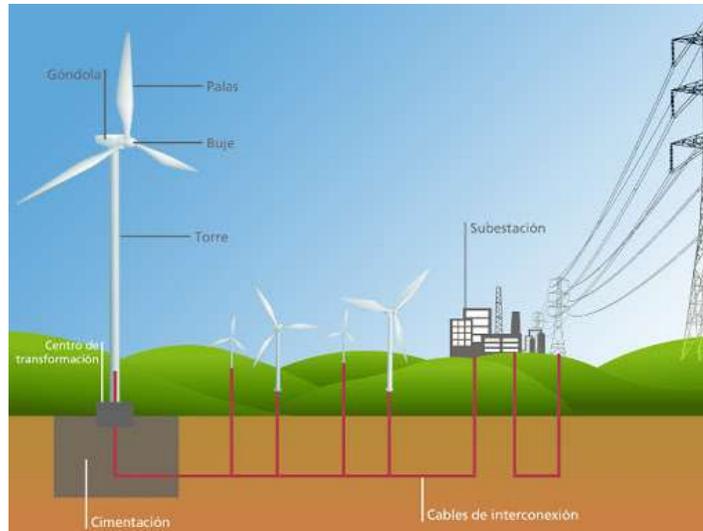


Ilustración 54 Esquema de un parque eólico

Una vez el esquema del parque eólico queda definido, se pasa a la parte de monitorización. La monitorización del parque eólico también resulta simple por su parte. Cada aerogenerador dispone de un PLC que se comunica individualmente a través de un cable de fibra óptica con el armario de fibra óptica. En este armario confluyen los distintos cables de fibra óptica que provienen de los distintos aerogeneradores. Una vez reunida toda la información, ésta se comunica desde el armario de fibra óptica hacia el SCADA a través de una conexión Ethernet.

El SCADA local en el que queda almacenada toda la información se comunicará con el exterior para que el centro de control pueda monitorizar el parque eólico en tiempo real. En el caso de este estudio, este SCADA controlará a su vez a la planta fotovoltaica. El esquema de comunicación se presenta en azul en la siguiente imagen:

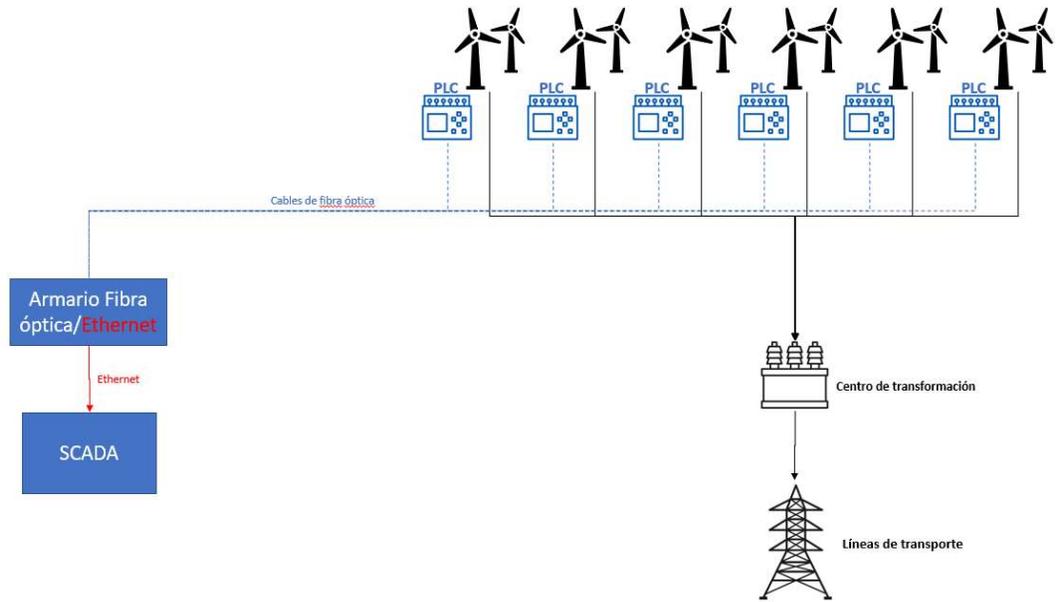


Ilustración 55 Esquema de monitorización de un parque eólico.

6 Estudio económico

En esta sección se va a realizar un estudio económico de las diferentes propuestas que se han comentado en las secciones anteriores. Para ello, se analizarán por un lado los costes y por otro lado los posibles ingresos.

6.1 Evaluación del Capex y el Opex

Se han evaluado los costes y las inversiones que habría que hacer para llevar a cabo los diferentes proyectos. Se ha considerado preciso estudiar individualmente los costes de las diferentes propuestas.

En primer lugar, se ha estudiado la posibilidad de repotenciar el parque eólico existente. En este estudio se incluye todo el desmantelamiento de los aerogeneradores actuales y la instalación de los nuevos.

A pesar de que la repotenciación puede resultar un tanto lejana en el tiempo (alrededor de 2028), es útil intentar estimar un presupuesto aproximado en base a los costes observados en proyectos de tamaño similar en España en los últimos años.

Se ha considerado en la estimación el uso de aerogeneradores de un diámetro de 150 metros y una altura de buje de 105 metros con las mismas características que los estudiados en la sección de Características de los aerogeneradores seleccionados. Estas dimensiones determinan la naturaleza de la geometría de los caminos internos, plataformas y cimientos, lo que sirve para obtener los principales costes de la obra civil. Es importante resaltar que será necesario adecuar las dimensiones de los caminos y demás ya que estos se dimensionaron para transportar los aerogeneradores G58 que resultan considerablemente más pequeños que los que se quieren instalar en la repotenciación. Actualmente, los principales fabricantes de turbinas ofrecen una potencia por turbina de entre 4.0 y 6.5 MW. Con respecto a estas dimensiones, se ha observado que los precios ofrecidos para los TSA (Acuerdos de Suministro de Turbinas) se sitúan en torno a los 650,000 euros una vez considerados todos los elementos (incluido el montaje).

Concepto	Cantidad	Precio unitario	TOTAL
Desmantelamiento de las turbinas eólicas existentes	17 unidad		Se podría compensar con la venta de los aerogeneradores del parque actual
Instalación de la obra, movilización	1 unidad	60,000 €	60,000 €
Modificación de la vía pública (para palas de hasta 71 metros)	1 unidad	50,000 €	50,000 €
Rehabilitación y adaptación de las carreteras interiores	1 unidad	80,000 €	80,000 €
Almohadillas para grúa	3 unidad	66,000 €	198,000 €
Cimentación del aerogenerador (diámetro de unos 25 metros)	3 unidad	172,000 €	516,000 €
Zanja para media tensión	4900 m	45 €	220,500 €
Mediciones	1 unidad	100,000 €	100,000 €
Adaptación de subestaciones e instalaciones	1 unidad	10,800 €	10,800 €
Estimación de Desmantelamiento + Obra Civil + BOP			1,235,300 €
Estimación del acuerdo de suministro de turbinas	3 unidad	3,200,000 €	9,600,000 €
Proyectos, Permisos y Gestión	5%	541,765 €	541,765 €
Coste total estimado para la repotenciación			11,377,065 € 787,340 €/MW

Tabla 40 Capex para la repotenciación

A continuación, se presentan los costes de inversión para la instalación de una planta solar fotovoltaica de 15 MWp para hibridarla con el parque eólico existente. Este estudio tiene en cuenta los diferentes equipos que se han seleccionado a lo largo del documento.

CONCEPTO	Cantidad	Precio unitario	TOTAL
Módulos	15,000 kWp	180 €	2,700,000 €
Inversores	15,000 kWp	50 €	750,000 €
Trackers	15,000 kWp	80 €	1,200,000 €
Obra eléctrica	15,000 kWp	90 €	1,350,000 €
Obra civil	15,000 kWp	68 €	1,020,000 €
Conexión a la red a través de SET	1 unidad	472,513 €	472,513 €
Gastos generales de EPC	8%	2,842,513 €	227,401 €
Proyectos, permisos y gestión del proyecto	5.00%	7,492,513 €	374,626 €
Coste total estimado para la planta solar de la hibridación			8,094,540 € 539,636 €/MWp

Tabla 41 Capex para la planta solar fotovoltaica de 15 MWp

Una vez se han estudiado los costes de inversión (Capex) de la repotenciación y de la planta solar es el momento de estudiar los costes de operación del parque eólico actual, repotenciado y de la planta solar.

Los costes de operación que tiene el parque eólico actual son los expuestos en la siguiente tabla:

CONCEPTO	COSTE / AÑO
Alquiler del terreno	50,000 €
O&M	270,000 €
Seguros	20,000 €
Representación OMEL	5,500 €
Personal	120,000 €
Impuestos (IAE, BICE, otros ...)	175,000 €
Otros costes potenciales	4,000 €
OPEX	685,500 €

Tabla 42 OPEX estimados para planta solar PV

Los costes de operación que se estiman para el parque eólico repotenciado (3 turbinas de alrededor de 5 MW) son los siguientes:

CONCEPTO	COSTE / AÑO
Alquiler del terreno	50,000 €
O&M	200,000 €
Seguros	30,000 €
Representación OMEL	8,000 €
Personal	120,000 €
Impuestos (IAE, BICE, otros ...)	175,000 €
Otros costes potenciales	60,000 €
OPEX	643,000 €

Tabla 43 OPEX para el parque eólico repotenciado

Los resultados anteriores corresponden al coste medio anual de OPEX. El coste anual de O&M del aerogenerador cambia a lo largo de los años de funcionamiento del parque eólico. Este fenómeno se debe principalmente al hecho de que cuanto más tiempo pase por los equipos, más costes serán requeridos para paliar los posibles fallos que aparezcan. En la tabla siguiente se pueden ver los valores típicos de esta evolución.

Año	Coste anual por turbina	O&M total
1 y 2	30,000 €	440,105 €
3 a 5	65,000 €	545,105 €
6 a 10	66,300 €	549,005 €
11 a 15	67,630 €	552,995 €
16 a 20	74,390 €	573,275 €

Tabla 44 Costes anuales de O&M por turbina

En la siguiente tabla, se presentan los OPEX estimados para una planta solar con las características marcadas:

CONCEPTO	COSTE / AÑO
Alquiler del terreno	43,500
O&M	150,000
Seguros	7,000
Representación OMEL	6,000

Tabla 45 OPEX estimados para planta solar PV

Finalmente, se exponen los costes de operación y mantenimiento para la planta solar:

Gastos de O&M	EUR/año
O&M Preventivo	80,000
O&M Predictivo y correctivo	30,000
Limpieza de los módulos	25,000
Cortar la hierba	
Tareas preventivas extras	
Sustitución de pequeños equipos eléctricos ...	15,000
O&M	150,000

Tabla 46 Gastos de O&M para la planta solar fotovoltaica

Una vez quedan definidos los costes referidos a la planta solar y al parque eólico la única parte que queda por determinar son los costes de inversión requeridos para adecuar la subestación para que a hibridación pueda trabajar de manera óptima. Para ello, se presentan las siguientes modificaciones con sus costes asignados:

Extensión de la subestación	Coste (€)
Celda de línea de 630A 25 kA	25,000
Actualización del sistema de control y protección	10,000
Instalación de dos contadores de energía activa y reactiva	700
Instalación de un armario de control para la hibridación	25,300
Presupuesto total (€)	61,203. 55 €

Tabla 47 Costes de adaptación de la subestación para la hibridación

Por último, se estima un coste de gestión de los activos de un 2% sobre los ingresos anuales.

6.2 Ingresos

Los ingresos económicos que tiene la planta híbrida son aquellos provenientes de la venta de la energía. Para poder hacer una estimación de estos ingresos se ha decidido tomar toda la producción del conjunto de las dos plantas y multiplicarla por el precio medio de la energía.

Los precios en los que se apoya este estudio son los proporcionados por AFRY [48] que da las curvas de Pöyry de precio de energía. Los precios para la tecnología solar fotovoltaica y energía eólica son los indicados en la siguiente imagen:

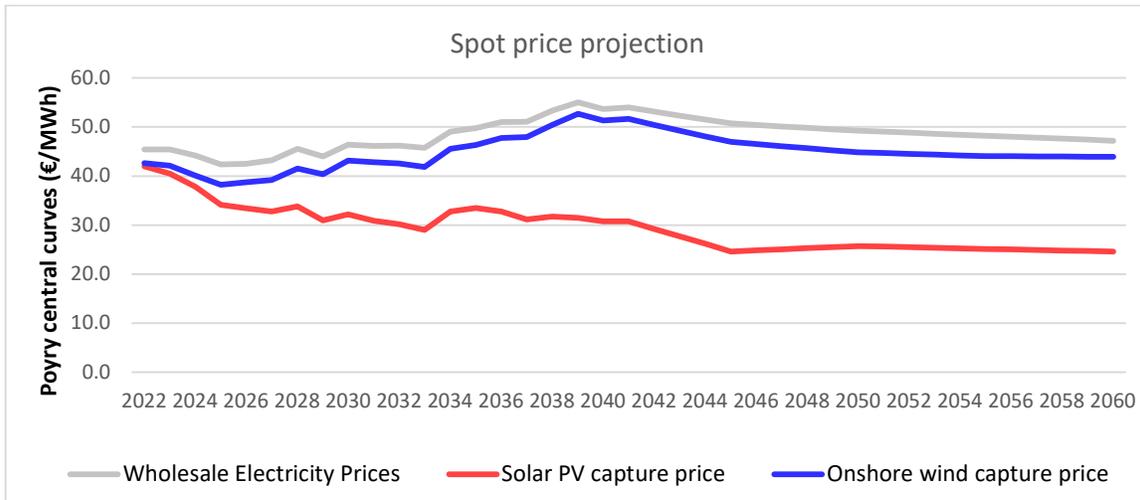


Ilustración 56 Precio Capturado de Pöyry central para la energía Solar y eólica.

Al evaluarse la hibridación de una planta solar con un parque eólico, es necesario fijarse además en los coeficientes establecidos por AFRY para la energía eólica y la energía solar fotovoltaica. Esta información se ve reflejada en la siguiente imagen:

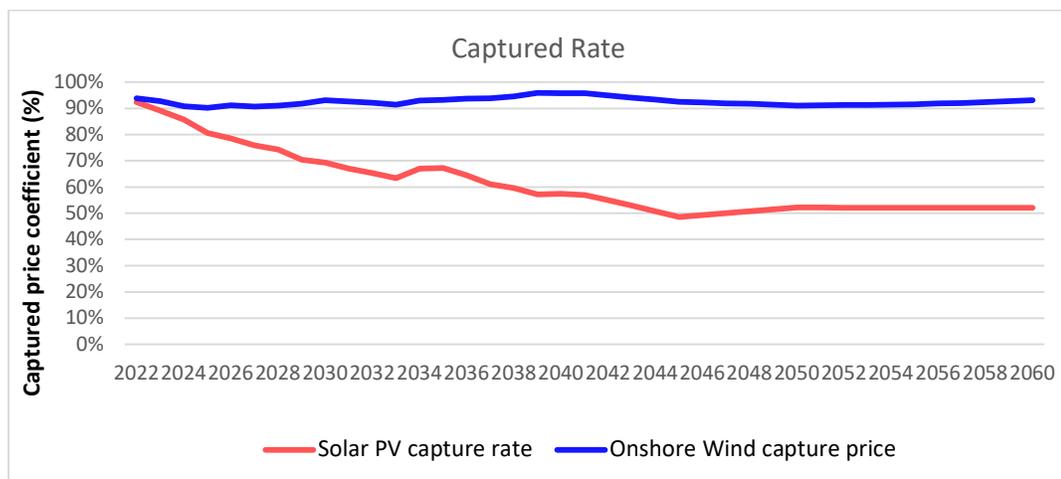


Ilustración 57 Coeficiente de precio capturado de Pöyry central

Una vez indicados los precios que se van a tener en cuenta (Pöyry central) de cara a calcular los ingresos de la hibridación, es el momento de mostrar la producción tanto

eólica como solar y de esta manera calcular los ingresos económicos anuales. A continuación, se muestran las producciones anuales tanto de la planta solar como del parque eólico repotenciado y sin repotenciar.

Caso	Producción anual (MWh)
Solar	26,475
Eólico actual	44,473
Eólico repotenciando	70,948

Tabla 48 Producción anual de cada tecnología

A partir de estos datos referidos a las producciones y con los precios establecidos por Pöyry se calculan los ingresos anuales para cada una de las tres casuísticas hasta el año 2050. Estos valores anuales se pueden ver representados detalladamente en el anexo: Ingresos y en la Ilustración 58 Ingresos de la planta híbrida.

6.3 Análisis económico

Una vez conocidos los ingresos y los gastos del proyecto se ha elaborado un estudio económico proyectado en el tiempo hasta el año 2050 momento en el cual se acaba tanto de la vida útil de la repotenciación como la de la planta solar fotovoltaica (20 y 30 años respectivamente).

Los dos objetivos principales de este estudio son dos:

- Calcular la TIR del proyecto.
- Calcular el valor actual neto del proyecto.

Los principales detalles a tener en cuenta en este estudio son los siguientes:

- La tasa de descuento es del 6%.
- Los Capex se amortizan a 25 años.

El resultado detallado de este estudio se encuentra en el anexo: Estudio Económico

Las diferentes medidas llevadas a cabo a lo largo de este estudio se ven representados a la perfección en la Ilustración 58 Ingresos de la planta híbrida.

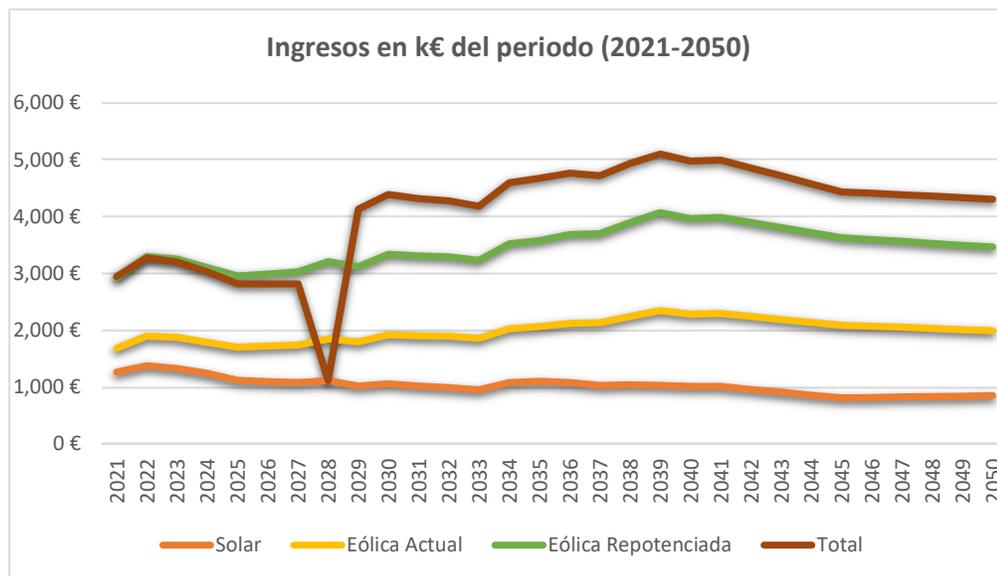


Ilustración 58 Ingresos de la planta híbrida

Por un lado, se visualiza como los ingresos del parque actual son sumamente menores a los que en principio proporcionaría el parque repotenciado con Nordex Acciona N163.

Por otro lado, se puede apreciar como los ingresos solares son significativamente menores a los de la tecnología eólica, pero suman una cantidad considerable de cara a optimizar el uso del punto de conexión.

Por último, es preciso comentar como en el año 2028 la producción eólica cae hasta ser nula debido a las construcciones de la repotenciación. De esta manera, durante ese año el parque solar aprovecha el punto de acceso y después de este corto periodo de ausencia eólica se empiezan a ver los frutos de la repotenciación junto con la planta solar. Gracias a estas mejoras se alcanzan los 5 millones de euros que son sumamente superiores a los apenas 3 millones que genera el parque eólico inicial.

En segundo lugar, se presentan los costes de operación:

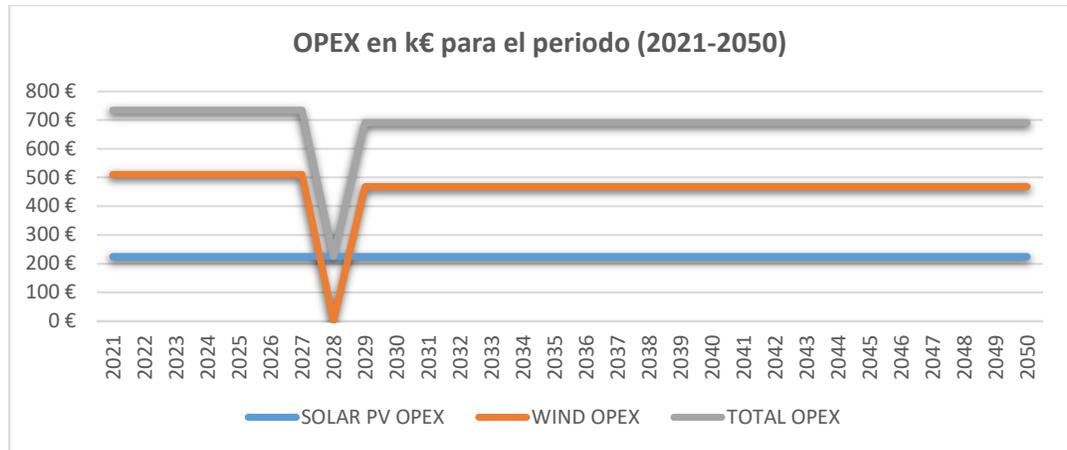


Ilustración 59 OPEX en k€ del periodo (2021-2050)

En lo que se refiere al OPEX, es importante destacar que este valor sufre una reducción considerable tras la repotenciación del parque eólico. La caída pronunciada presente en el año 2028 se debe a que durante ese periodo no será preciso mantener los costes de operación ya que es el año en el que se prevé desmantelar las 17 turbinas G58 e instalar los 3 aerogeneradores Nordex Acciona N163.

En la siguiente imagen se presentan los beneficios anuales del proyecto.

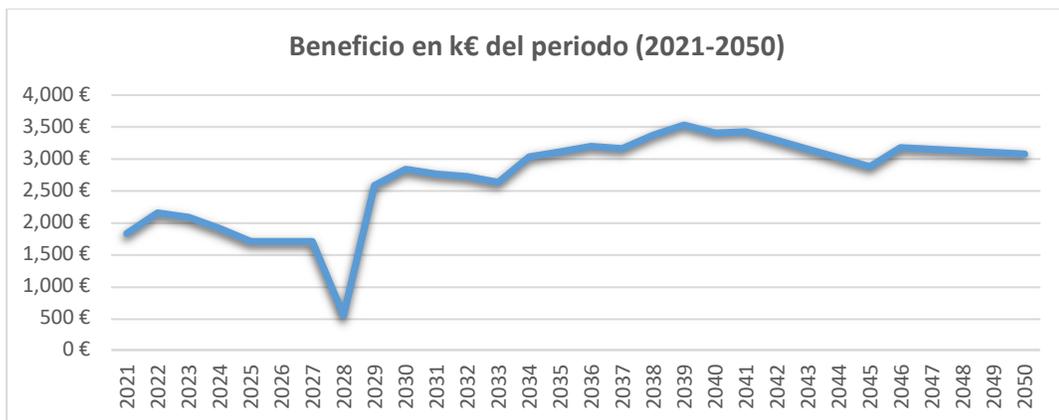


Ilustración 60 Beneficio en k€ del periodo (2021-2050)

El efecto de la repotenciación del parque supone un impacto muy significativo en los beneficios del proyecto tal y como se puede apreciar en la imagen anterior.

A pesar de todos los condicionantes que se prevén para el año 2028, es sorprendente como el conjunto de ambas plantas sigue produciendo un beneficio positivo, aunque mucho menor que el correspondiente a los periodos en los que están activas ambas instalaciones. Esta información refuerza la viabilidad económica del proyecto que no precisará inyecciones de capital más allá de aquellas que precisen las inversiones.

Como resultado de estos ingresos, gastos e inversiones, se obtienen los siguientes flujos de caja:

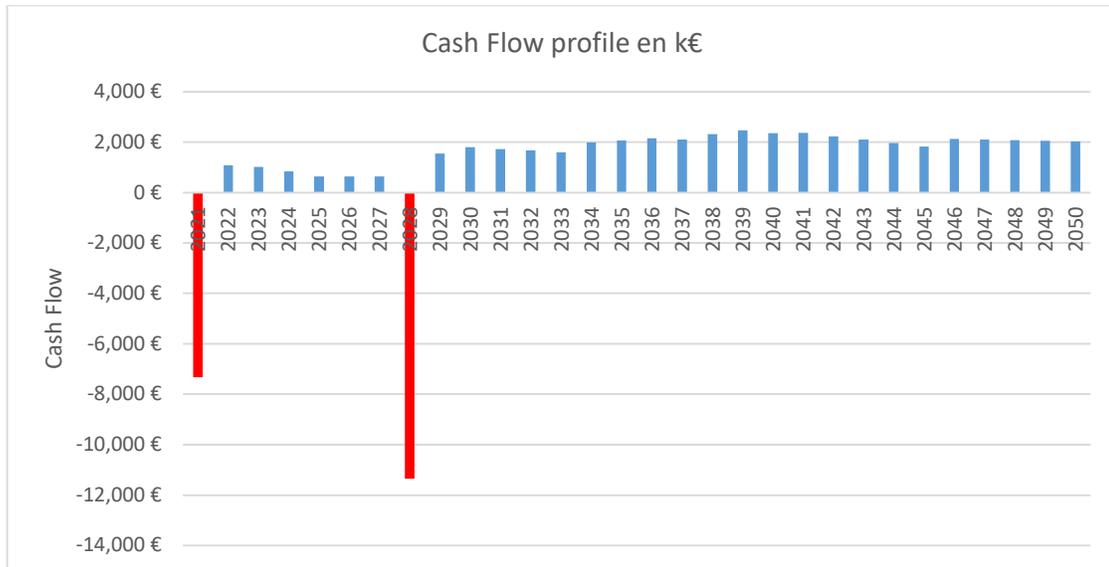


Ilustración 61 Flujos de caja en kEUR (2021-2050)

Es importante destacar que los dos flujos de caja negativos que aparecen en los años 2021 y 2028 corresponden con la instalación de la planta solar y de la repotenciación respectivamente.

Gracias a estos flujos se calculan tanto la TIR del proyecto como el valor actual. De esta forma, se obtiene la siguiente valoración:

- Valor actual Neto: 4.8 M € descontando a una tasa del 6.0%
- TIR de proyecto: 9.3%

7 Conclusiones

Las principales conclusiones de este proyecto son las siguientes:

La hibridación se presenta como una herramienta de optimización de puntos de acceso y conexión que goza de una ventaja competitiva a la hora de desarrollar proyectos solares o eólicos en España ya que no está sujeta a la moratoria existente.

En lo que respecta a la energía eólica, se parte de una situación en la que el parque dispone de 17 aerogeneradores Gamesa G58 de 0.85 MW cada uno, alcanzando una producción horaria de alrededor de 1,807 horas anuales y con una vida útil restante de apenas 7 años.

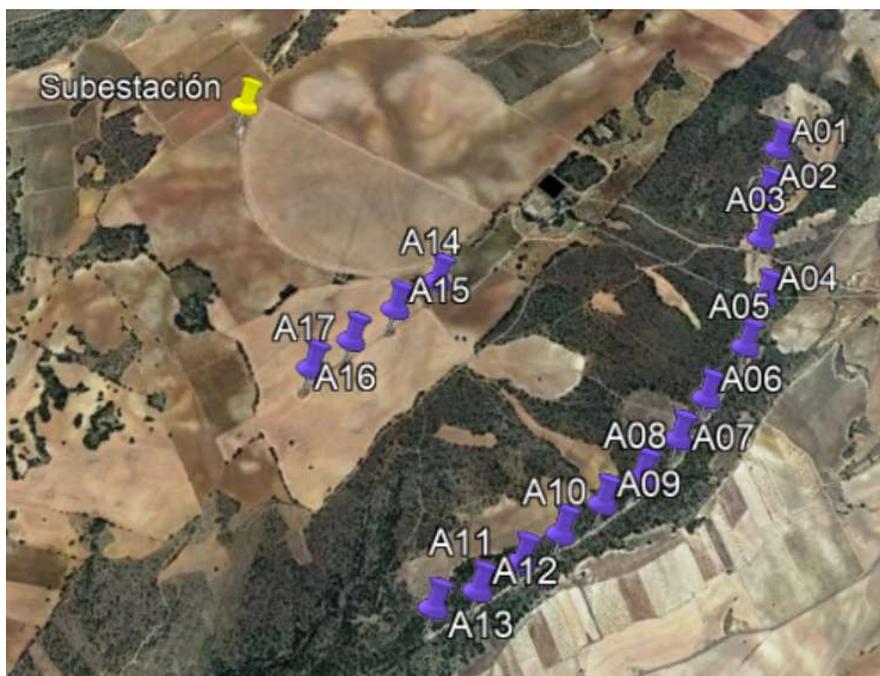


Ilustración 62 17 aerogeneradores G58 de 0.85 MW

Gracias a la repotenciación llevada a cabo en el año 2028 con 3 máquinas Nordex-Acciona N163 con 5.04 MW, se consiguen las siguientes mejoras:

- Prolonga la vida útil del parque en 20 años, llegando hasta el 2048.
- Se reduce el número de aerogeneradores de 17 a 3.
- Se aumenta el número de horas equivalentes en un 73% con respecto a las 1,780h actuales, alcanzando 3,078 horas equivalentes de producción.

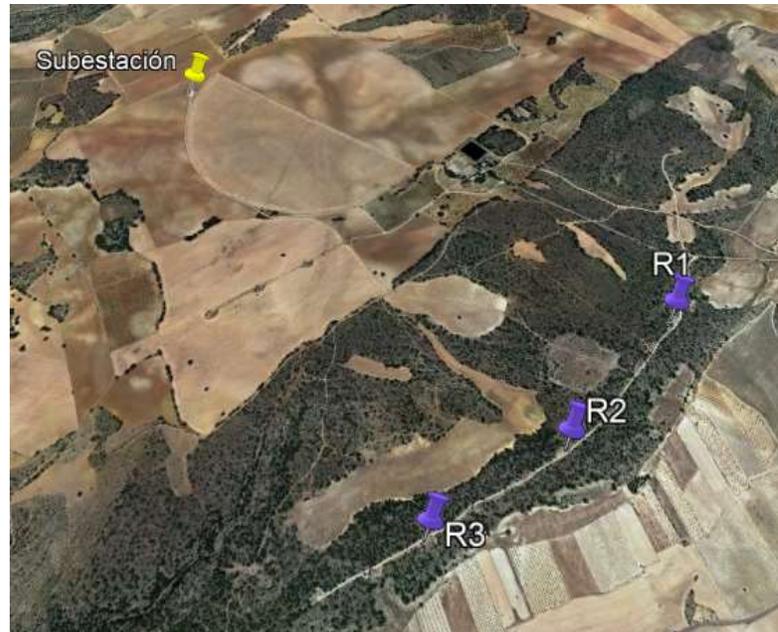


Ilustración 63 3 Aerogeneradores N163 de Nordex Acciona

El proyecto solar fotovoltaico que se hibridará con el parque eólico se montará con paneles solares bifaciales del fabricante Risen modelo Titan 120 sobre estructuras de seguidor a un eje por tres razones:

1. Son paneles bifaciales que cronológicamente concuerdan con este proyecto.
2. Las estructuras de seguidor a un eje proporcionan buenos resultados con alta fiabilidad.
3. Son paneles de gran potencia lo que brindará diversas ventajas.

En lo que se refiere a los inversores, se usarán los inversores en string de Huawei modelo SUN2000-175KTL-H0 [1] ya que proporcionan las siguientes ventajas:

- Modularidad
- Mejor redundancia
- Reducción de los requerimientos de espacio
- Reducción de las pérdidas de cableado de CC

Una vez seleccionados los equipos se realiza el estudio de viabilidad técnica de la hibridación. Este estudio de excedente se evalúa entre el parque actual y el repotenciado frente a una planta solar fotovoltaica que se escala de MWp en MWp. De esta manera se ha decidido que el tamaño más adecuado para esta planta es de 15 MWp. Esta decisión se fundamenta en las siguientes afirmaciones:

- 1- Las pérdidas registradas en el mejor de los escenarios de repotenciación (N163) con este tamaño no exceden el 4% referido a la propia planta.

- 2- En caso de tener que parar la producción eólica durante la construcción de la repotenciación se seguirá aprovechando en gran medida la capacidad del punto de conexión con 15 MWp de solar.
- 3- 15 MWp es un tamaño con el cual se pueden llegar a mejores acuerdos económicos con los proveedores.

En lo que se refiere a los terrenos para albergar esta instalación solar se ha decidido escoger el mencionado “Plan B”. Las razones que soportan esta decisión son las siguientes:

1. Cumple con todos los requisitos, incluso el de superficie (30.4 Ha).
2. Es la parcela que se encuentra más cerca de la subestación.
3. Este plan solamente afecta a una sola parcela y a un solo recinto.



Ilustración 64 Parque eólico repotenciado junto a parcela para la planta solar de 15 MWp

Por último, los resultados del estudio económico muestran como el proyecto genera beneficios a lo largo de toda la vida útil de las plantas incluso en el año en el que se prevé desmantelar los aerogeneradores G58 para la instalación de los tres aerogeneradores N163 de Nordex Acciona. Estos valores se pueden apreciar en la siguiente imagen:

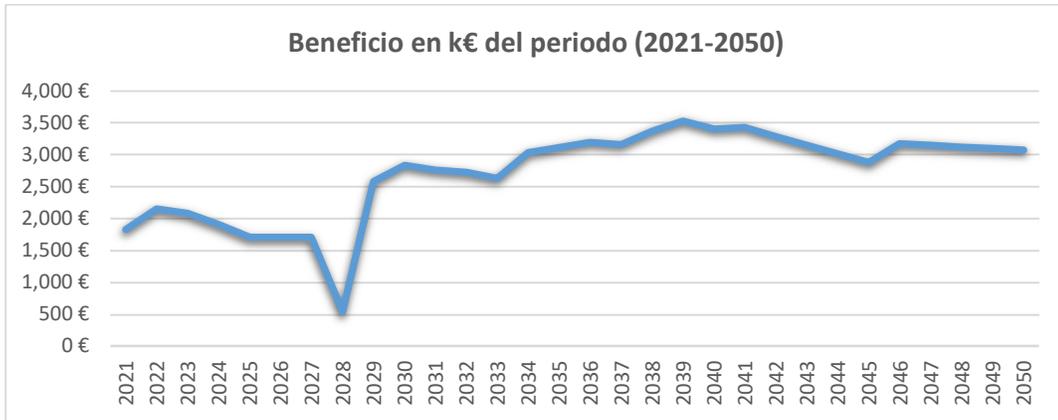


Ilustración 65 Beneficio en k€ del periodo (2021-2050)

Finalmente, la proyección de los flujos de caja hasta el año 2050 permiten ver una clara imagen de como una hibridación con repotenciación como la estudiada es económicamente viable con una TIR de 9.3% y un VAN de 4.8 M € descontando a una tasa del 6.0%.

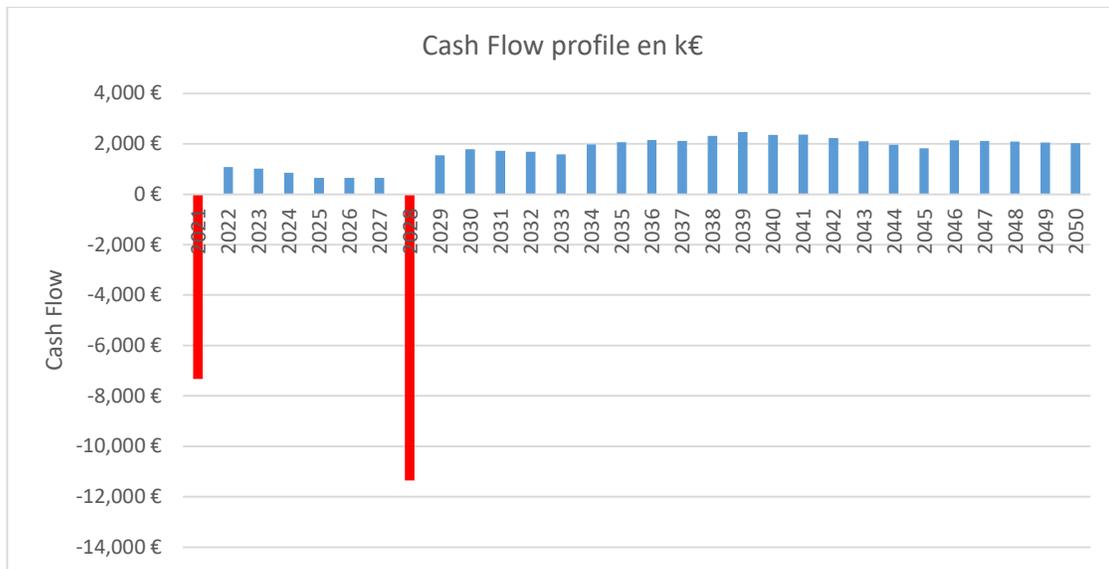


Ilustración 66 Flujos de caja (2021-2050)

DOCUMENTO 2.: REFERENCIAS

Referencias

- [1] ENF, “ENF,” 2021. [Online]. Available: <https://es.ensolar.com/pv/inverter-datasheet/12255>.
- [2] A. Branco, “Energías renovables, el futuro energético que nos espera,” *El Español*, 25 Julio 2019. [Online].
- [3] “Factor energía,” 2018. [Online]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>.
- [4] o. BOE-A-2021-904, “Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado,” 2021. [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2021-904>.
- [5] “Comisión Europea,” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es.
- [6] “Cinco días,” Octubre 2020. [Online]. Available: https://cincodias.elpais.com/cincodias/2020/10/28/companias/1603884999_749265.html.
- [7] “Energías renovables,” 29 Mayo 2019. [Online]. Available: <https://www.energias-renovables.com/panorama/la-reduccion-de-los-costes-de-la-20190529>.
- [8] BOE, “Circular 1/2021, de 20 de enero, de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia,” [Online]. Available: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-904.
- [9] BOE, “Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio,” [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-6621>.
- [10] BOE, “Real Decreto 1183/2020, de 29 de diciembre, de acceso y conexión a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica,” [Online]. Available: <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-17278>.
- [11] *. D. M. Z. E. Z. A. A.A. Jadallaha, “Hybridization of Solar/Wind Energy System for Power Generation in Rural Areas,” Istanbul, Turkey, 2016.
- [12] H. y. eléctricos, “El Hierro, camino hacia la sostenibilidad,” [Online]. Available: central hidroeléctrica, con cuatro turbinas Pelton, sumará 11,3 MW y la central de bombeo 6 MW..

- [13] BOE, “BOE,” 24 Junio 2020. [Online]. Available: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-un-real-decreto-ley-con-medidas-para-impulsar-las-energ%C3%ADas-renovables-y-favorecer-la-reactivaci%C3%B3n-econ%C3%B3mica/tcm:30-510021>.
- [14] CE, “Marco sobre clima y energía para 2030,” [Online]. Available: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_es.
- [15] EOLICCAT, “EOLICCAT,” [Online]. Available: <http://eoliccat.net/principios-de-la-energia-eolica/como-funciona-un-aerogenerador/?lang=es#:~:text=Los%20aerogeneradores%20producen%20electricidad%20aprovechando,viento%20para%20impulsar%20un%20generador.&text=La%20caja%20de%20cambios%20incrementa,energ%>.
- [16] E. renovables, “Energías renovables,” Energías renovables, Mayo 2020. [Online]. Available: <https://www.energias-renovables.com/eolica/aqui-estan-los-diez-mayores-fabricantes-de-20200528>.
- [17] N. A. N149, 2021. [Online]. Available: <https://www.nordex-online.com/en/product/n149-5-x/>.
- [18] N. A. N163, 2021. [Online]. Available: <https://www.nordex-online.com/en/product/n163-5-x/>.
- [19] BOE, 2020. [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-6621>.
- [20] E. d. Fuerteventura, “Eólicas de Fuerteventura,” Eólicas de Fuerteventura, Marzo 2019. [Online]. Available: <https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/633cc1e4-38ef-4bac-8c13-c01f23cd7803/DOC20191226125653PPT.pdf?MOD=AJPERES>.
- [21] ECMWF, “ERA5,” 2021. [Online]. Available: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>.
- [22] GTD, “GTD,” Abril 2009. [Online]. Available: <https://www.gtd.es/es/blog/manana-se-cumplen-25-anos-de-la-puesta-en-marcha-del-primer-parque-eolico-de-espana>.
- [23] Elecnor, “Plan de desmantelamiento,” Enero 2017. [Online]. Available: <http://www.indi.gva.es/documents/161328209/164276035/Anexo+III+Plan+Desmantelamiento/e53513f9-75a5-42c9-a0f1-424ba3109585;jsessionid=DB9A1C951F32F3CE5AB51DD0DCF29575>.
- [24] Merca2, “Merca2,” 2019. [Online]. Available: <https://www.merca2.es/surus-aerogeneradores-segunda-mano/>.
- [25] WASP, “WASP,” 2021. [Online]. Available: <https://www.wasp.dk/>.

Documento 2: Referencias

- [26] F. BARBARRUBIA, “<https://wsimag.com/es/ciencia-y-tecnologia/60969-como-produce-electricidad-un-panel-fotovoltaico>,” Febrero 2020. [Online]. Available: <https://wsimag.com/es/ciencia-y-tecnologia/60969-como-produce-electricidad-un-panel-fotovoltaico>.
- [27] BetSolar, “BetSolar,” 27 Julio 2017. [Online]. Available: <https://betsolar.es/la-tecnologia-busbar-en-los-paneles-fotovoltaicos/>.
- [28] AutoSolar, “AutoSolar,” 9 Junio 2017. [Online]. Available: <https://autosolar.es/blog/aspectos-tecnicos/diferencias-entre-silicio-monocristalino-y-multicristalino-o-policristalino>.
- [29] D. Solar, “Damia Solar,” 4 11 2017. [Online]. Available: https://www.damiasolar.com/presenti/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/blog-137-ita_1.
- [30] Enertiva, “Enertiva,” 18 Junio 2019. [Online]. Available: <https://enertiva.com/que-son-los-paneles-solares-bifaciales/#:~:text=Los%20paneles%20solares%20bifaciales%20producen,posterior%20de%20las%20celdas%20solares..>
- [31] Tecnosolab, “Tecnosolab,” 22 Octubre 2019. [Online]. Available: <https://tecnosolab.com/noticias/baterias-para-energia-solar-tipos/>.
- [32] A. Ukar, “PV magazine,” 4 Junio 2020. [Online]. Available: <https://www.pv-magazine.es/2020/06/04/tecnologia-heterojunction-hjt-esta-lista-para-dar-el-salto-a-proyectos-utility-scale/>.
- [33] D. Aguilar, “TecnoSun,” 19 Mayo 2020. [Online]. Available: <https://www.technosun.com/es/blog/conocimiento/celulas-partidas-y-multibusbar-paneles-solares-alta-eficiencia/>.
- [34] J. Solar, “Jinko Solar,” [Online]. Available: <https://www.jinkosolar.com/en/site/welding>.
- [35] “NEOSUN,” [Online]. Available: <https://neosun.com/double-glass/>.
- [36] J. GIFFORD, “Long read: Double glass can spell double trouble,” Enero 2019. [Online]. Available: <https://www.pv-magazine-australia.com/2019/01/19/long-read-double-glass-can-spell-double-trouble/>.
- [37] A. Solar, “Auto Solar,” 2021. [Online]. Available: <https://autosolar.es/estructura-paneles-solares#:~:text=Las%20estructuras%20paneles%20solares%20se,la%20eficacia%20de%20la%20instalaci%C3%B3n..>

- [38] O. planas, “Solar Energía,” Abril. [Online]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/convertidores-corriente>.
- [39] S. I. T. Solar, “Canales sectoriales,” 2019. [Online]. Available: <https://www.interempresas.net/Energia/Articulos/34613-Central-o-descentralizado-Elegir-el-inversor-fotovoltaico-adecuado.html>.
- [40] “Novergy,” 2017. [Online]. Available: <https://www.novergysolar.com/es/better-solar-string-inverter-vs-central-inverter/>.
- [41] Huawei, “Huawei,” 2021. [Online]. Available: <https://solar.huawei.com/es/products>.
- [42] Iberdrola, “Energía eléctrica por hibridación: cuando la unión de las renovables hace la fuerza,” Iberdrola, [Online]. Available: <https://www.iberdrola.com/innovacion/energia-hibrida#:~:text=Los%20sistemas%20de%20energ%C3%ADa%20h%C3%ADbrida,un%20mismo%20punto%20de%20conexi%C3%B3n.&text=Una%20instalaci%C3%B3n%20h%C3%ADbrida%20puede%20contar%20o%20no%20con%20sistemas%20de%20almacenami>.
- [43] “Red Electrica,” [Online]. Available: <https://www.ree.es/es>.
- [44] Sigpac. [Online]. Available: <https://sigpac.mapama.gob.es/fega/visor/>.
- [45] E. economista, “Moratoria puntos de acceso y conexión,” [Online]. Available: <https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/10974085/01/21/El-Gobierno-prolonga-al-menos-tres-meses-la-moratoria-de-renovables.html>.
- [46] O. Planas, Mayo 2020. [Online]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/planta-fotovoltaica>.
- [47] Dewesoft, Abril 2020. [Online]. Available: <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-data-logger>.
- [48] AFRY. [Online]. Available: <https://afry.com/en/our-offerings>.
- [49] ESrenovables, “ESrenovables,” 13 Abril 2020. [Online]. Available: <https://esrenovables.es/calculo-emisiones-co2-evitadas-instalacion-autoconsumo-energia-solar-fotovoltaica/>.
- [50] “Corresponsables,” Abril 2021. [Online]. Available: <https://www.corresponsables.com/actualidad/ods7-hibridacion-ahorro-proyectos-renovables-appa-renovables>.

Documento 2: Referencias

- [51] E. p. d. l. energía, “El periodico de la energía,” Abril 2021. [Online]. Available: <https://elperiodicodelaenergia.com/espana-sube-al-octavo-puesto-en-el-ranking-de-paises-con-mayor-potencia-instalada-renovable-en-el-mundo/#:~:text=Seg%C3%BAAn%20los%20datos%20del%20anuario,MW%20de%20potencia%20instalada%20renovable..>
- [52] Technosun, “Technosun,” 19 Mayo 2020. [Online]. Available: <https://www.technosun.com/es/baterias-solares/>.
- [53] “HITACHI ABB,” [Online]. Available: <https://www.hitachiabb-powergrids.com/es/es/offering/product-and-system/grid-edge-solutions/applications/energy-storage-applications/load-leveling>.
- [54] “3Amper,” MAyo 2017. [Online]. Available: <https://3amper.com/blog/2017/05/31/baterias-de-ciclo-profundo/>.
- [55] E. VM, “Energya VM,” Mayo 2020. [Online]. Available: <https://www.energyavm.es/baterias-de-flujo-que-son-y-como-funcionan/>.
- [56] A. Energy, “Aeterna Energy,” 28 10 2019. [Online]. Available: <https://www.aeternaenergy.com/solar-battery-storage-blog/what-is-peak-shaving-with-battery-storage>.
- [57] H. ABB, “Hitachi ABB Capacity Firming,” [Online]. Available: <https://www.hitachiabb-powergrids.com/offering/product-and-system/grid-edge-solutions/applications/energy-storage-applications/capacity-firming>.
- [58] H. ABB, “Hitachi ABB Frequency regulation,” [Online]. Available: <https://www.hitachiabb-powergrids.com/offering/product-and-system/grid-edge-solutions/applications/energy-storage-applications/frequency-regulation>.
- [59] H. ABB, “Hitachi ABB Power quality,” [Online]. Available: <https://www.hitachiabb-powergrids.com/offering/product-and-system/grid-edge-solutions/applications/energy-storage-applications/power-quality>.
- [60] Terawatt, “Terawatt,” 31 8 2020. [Online]. Available: <https://terawattingenieria.com/que-es-la-calidad-electrica/>.
- [61] “Ingeteam,” [Online]. Available: https://www.ingeteam.com/es-es/sectores/energia-fotovoltaica/p15_24_36/ingecon-sun-power-1000v-1500v.aspx.
- [62] “La portuguesa EDP Renovables promueve dos parques eólicos en Albacete que suman 78 Mw y 64 millones de euros en inversión,” Energía de Castilla La Mancha, Julio 2018. [Online]. Available:

<https://energiacastillalamancha.net/2018/07/30/la-portuguesa-edp-renovables-promueve-dos-parques-eolicos-en-albacete-que-suman-78-mw-y-64-millones-de-euros-en-inversion/>.

- [63] “The Wind Power,” Noviembre 2020. [Online]. Available: https://www.thewindpower.net/windfarm_es_2376_mucla-de-tortosilla.php.
- [64] T. W. Power, “The Wind Power,” Noviembre 2020. [Online]. Available: https://www.thewindpower.net/windfarm_es_2385_sierra-de-pinilla.php.
- [65] T. W. Power, “The Wind Power,” [Online]. Available: https://www.thewindpower.net/windfarm_es_2385_sierra-de-pinilla.php.
- 66] B. Solar, “Bet Solar,” 2017. [Online]. Available: <https://betsolar.es/la-tecnologia-bus-bar-en-los-paneles-fotovoltaicos/>.
- [67] T. W. Power, “The Wind Power,” Diciembre 2019. [Online]. Available: https://www.thewindpower.net/windfarm_es_30429_chinchilla.php.

DOCUMENTO 3.: ANEXOS

1 Estudio de mercado de los paneles solares

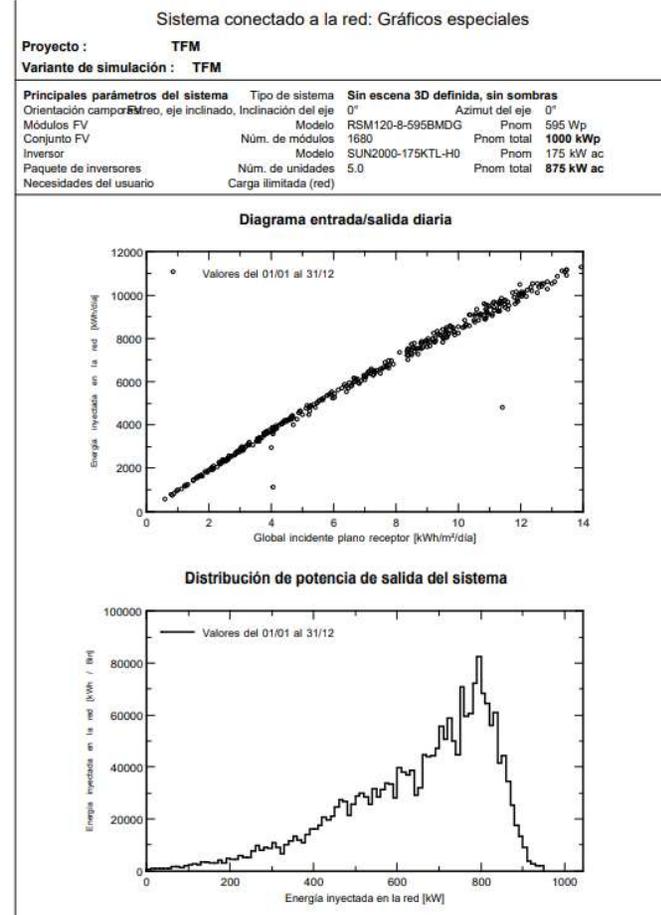
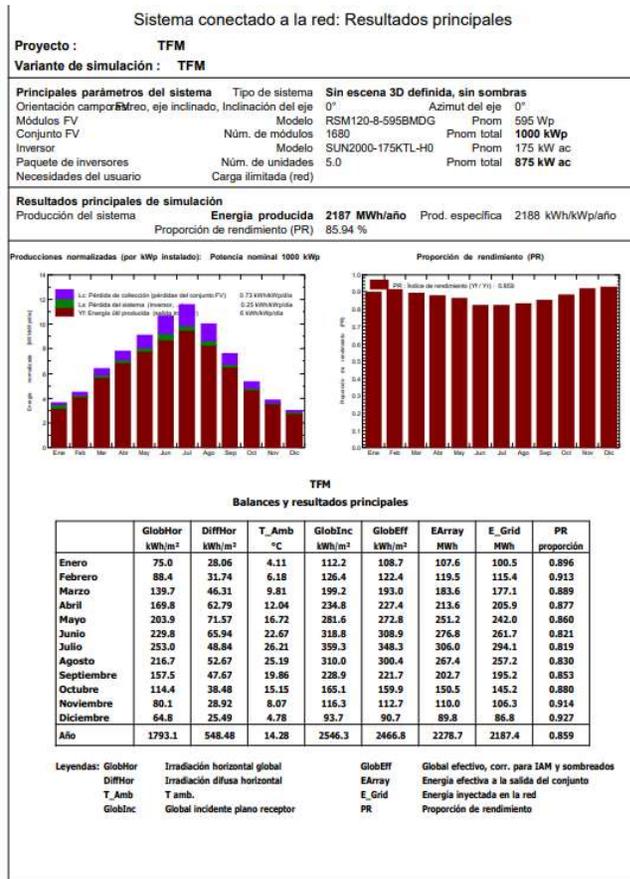
Marca	Modelo	Tipo	Potencia (Wp)	Eficiencia	Peso (kg)	Tamaño	URL
Trina	TALLMAX M-DE15M(II)	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	390-415	20.7	22	2015 x 996 x 35 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/Tianjing72-de15mll
Trina	TALLMAX M-DE15H(II)	Monofacial Monocristalino Half-Cut 5BB	385-415	20.7	22	2015 x 996 x 35 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/Tianjing72-de15hll
Trina	TALLMAX-PE15H	Monofacial Monocristalino Half-Cut 5BB	340-355	17.5	22	2015 x 996 x 35 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/Tianjing72-pe15h
Trina	DUOMAX M-DEG15M.20(II)	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	390-415	20.5	26	2024x 1002 x 30 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/TianAo72-deg15mll
Trina	DUOMAX M-PEG15H.20	Monofacial Monocristalino Half-Cut 5BB	340-355	17.5	26	2024x 1002 x 30 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/TianAo72-peg15h
Trina	Vertex TSM-DE18M(II)	Monofacial Monocristalino 1/3-Cut MBB	480-505	21.1	26.3	2176 x 1098 x 35 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/TALLMAX-V-DE18MII
Trina	Vertex TSM-DEG18MC.20(II)	Bifacial Monocristalino 1/3-Cut MBB	475-505	21	30.1	2187x1102x35 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/DUOMAX-V-DEG18MC20II
Trina	DUOMAX TWIN-DEG17MC.20(II)	Bifacial Monocristalino Half-Cut MBB	430-450	20.4	28.6	2111 x 1046 x 30 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/TianAo-Dual-core-deg17mcll
Trina	TALLMAX M-DE17M(II)	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	435-455	20.8	24	2102 x 1040 x 35 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/Tianjing72-de17mll
Trina	HONEY M-DE08M(II)	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	360-380	20.7	20	1763 x 1040 x 35 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/Tianjing60-de08mll
Trina	DUOMAX M-DEG6M.20(II)	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	325-345	20.3	22	1700 x 1002 x 30 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/TianAo60-deg6mll
Trina	DUOMAX M-DEG15M.20(II)	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	390-415	20.5	26	2024x 1002 x 30 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/TianAo72-deg15mll
Trina	DUOMAX M-PEG15H.20	Monofacial Monocristalino Half-Cut 5BB	340-355	17.5	26	2024x 1002 x 30 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/TianAo72-peg15h
Trina	DUOMAX M-DEG17M.20(II)	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	430-455	20.6	28.6	2111x1046x30 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/TrianAo72-deg17m20II
Trina	DUOMAX TWIN-DEG15MC.20(II)	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	390-415	20.5	26	2024x 1002 x 30 mm	https://www.trinasolar.com/lac/product/TianAo-Dual-core-deg15mcll
Suntech	HIPerforma	Bifacial Monocristalino MBB	390-410	20.2	23	2028 x 1002 x 35 mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	HIPerforma	Bifacial Monocristalino Half-Cut MBB	390-410	20.2	27	2028 x 1002 x 35 mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	HIPower	Monofacial Monocristalino Half-Cut	350-370	20.3	20.3	1756 x 1039 x 35 mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	HIPower	Bifacial Monocristalino Half-Cut MBB	425-445	20.4	28.1	2096 x 1040 x 35 mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	HIPro	Monofacial Policristalino Half-Cut MBB	285-305	18.1	19	1684 x 1002 x 35 mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	HIPro	Monofacial Policristalino Half-Cut MBB	305-325	19.3	19	1684 x 1002 x 35mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	HIPro	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	325-345	20.4	19	1684 x 1002 x 35mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	HIPro	Monofacial Policristalino Half-Cut 5BB	340-360	22.5	22.5	2008 x 1002 x 35mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	HIPro	Monofacial Policristalino Half-Cut 5BB	370-390	19.4	22.5	2008 x 1002 x 35mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	HIPro	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	390-410	20.4	22.5	2008 x 1002 x 35	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	Full Black	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	320-340	20.1	19	1684 x 1002 x 35 mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	Full Black	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB	350-370	20.3	20.3	1756 x 1039 x 35mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	Ultra S	Monofacial Monocristalino MBB PERC	350-370	20.3	20.3	1756 x 1039 x 35mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	Ultra S	Bifacial Monocristalino MBB PERC	430-450	20.7	24.5	2095 x 1039 x 35mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	Ultra S	Monofacial Monocristalino MBB PERC	470-490	21.4	21.7	2204 x 1039 x 35 mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	Ultra S	Bifacial Monocristalino Double Glass PERC	430-450	20.6	28.1	2096 x 1040 x 35mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	Ultra V	Monofacial Monocristalino MBB PERC	570-590	21.3	26.3	2176 x 1306 x 35 mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	Ultra X	Monofacial Monocristalino MBB PERC	585-605	21.3	26.9	2438 x 1134 x 35mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2
Suntech	Heterojunction	Monofacial Monocristalino Half-Cell HJT	415-435	21.4	27	2028 x 1002 x 35mm	http://www.suntech-power.com/resourcescenter.html?type=2

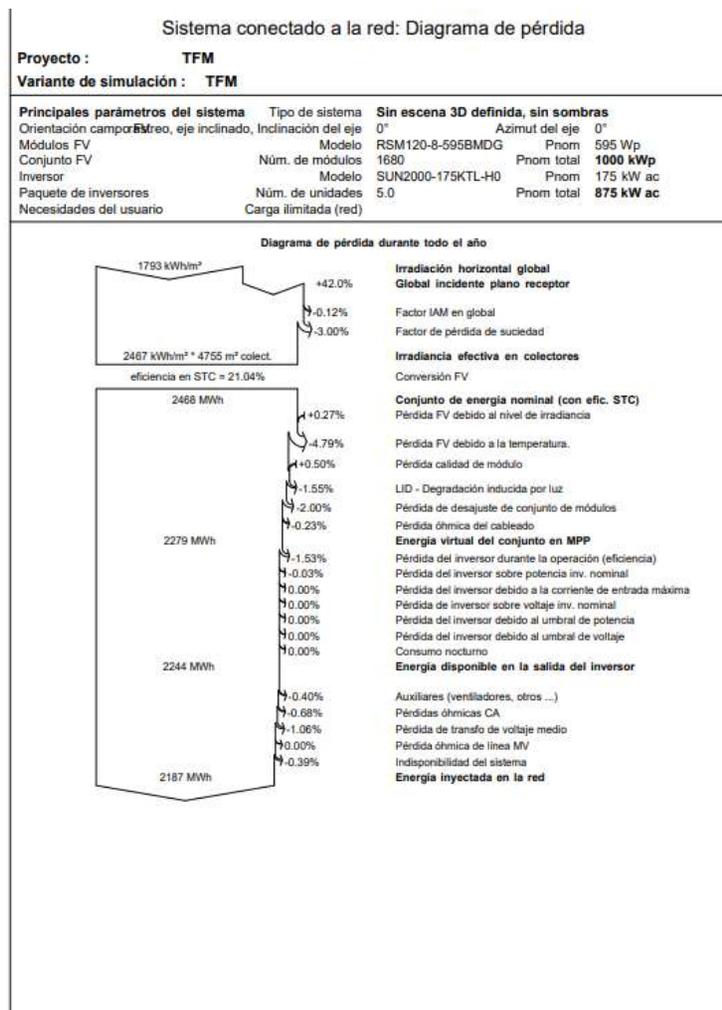
Marca	Modelo	Tipo	Potencia (Wp)	Eficiencia	Peso (kg)	Tamaño	URL
Risen	JÄGER PLUS 120 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB PERC	330-350	20.8	-	1689×996×35mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=473
Risen	JÄGER PLUS 132 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB PERC	360-385	20.9	-	1852×996×35mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=555
Risen	JÄGER PLUS 144 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB PERC	395-420	20.9	-	2015×996×40mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=474
Risen	JÄGER PLUS 156 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB PERC	430-455	21	-	2178×996×40mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=475
Risen	Titan 120 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Monocristalino Half-Cut MBB PERC	580-605	21.4	-	2172×1303×35mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=570
Risen	JÄGER PLUS 132 HIGH PERFORMANCE	Bifacial Monocristalino Half-Cut MBB PERC	360-380	20.4	-	1871×1000×30mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=565
Risen	JÄGER PLUS 144 HIGH PERFORMANCE	Bifacial Monocristalino Half-Cut MBB PERC	395-420	20.6	-	2034×1000×30mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=480
Risen	Titan 120 HIGH PERFORMANCE	Bifacial Monocristalino Half-Cut MBB PERC	580-600	21.2	-	2172×1303×30mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=569
Risen	72 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Policristalino	325-345	17.8	-	1956×992×40mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=488
Risen	120 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Policristalino	275-295	17.6	-	1685×992×35mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=556
Risen	144 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Policristalino	335-355	17.8	-	2010×992×40mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=489
Risen	72 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Cast-mono	370-395	20	-	1979×996×40mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=490
Risen	120 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Cast-mono	310-330	19.6	-	1689×996×35mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=491
Risen	144 HIGH PERFORMANCE	Monofacial Cast-mono	375-400	19.9	-	2015×996×40mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=492
Risen	Sieger 120 Heterojunction Intrinsic Thin-Layer	Bifacial HJT Half-Cut	335-355	21	-	1691×998×30mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=471
Risen	Titan 120	Monofacial Monocristalino PERC	580-605	21.4	31.5	2384x1096x35mm	Fabricante
Risen	Titan 120	Bifacial Monocristalino PERC	580-600	21.2	35	2172x1303x35mm	Fabricante
Risen	Titan 110	Monofacial Monocristalino PERC	535-555	21.2	29	2384x1096x35mm	Fabricante
Risen	Titan 110	Bifacial Monocristalino PERC	530-550	21	32.5	2384x1096x30mm	Fabricante
Risen	Titan S 40	Monofacial Monocristalino PERC	390-410	21.3	21.5	1754x1096x30mm	Fabricante
Risen	Titan 150	Monofacial Monocristalino PERC	485-510	20.8	28	2220x1102x40mm	Fabricante
Risen	Titan 150	Bifacial Monocristalino PERC	485-510	20.7	31.5	2240x1102x30mm	Fabricante
Risen	Sieger 144 Heterojunction Intrinsic Thin-Layer	Bifacial HJT Half-Cut	405-425	21.1	-	2016×998×30mm	https://en.risenenergy.com/index.php?c=show&id=472
Jinko	Cheetah HC 72M	Monofacial Monocristalino Half-Cut 5BB PERC	410	20.38	-	-	http://www.jinkosolar.com/en/site/cheetah#6
Jinko	Cheetah HC 60M	Monofacial Monocristalino Half-Cut 5BB PERC	345	20.45	-	-	http://www.jinkosolar.com/en/site/cheetah#6
Jinko	Swan G/G	Bifacial 5BB	405	-	-	-	http://www.jinkosolar.com/en/site/swan#6
Jinko	Swan G/B	Bifacial 5BB	405	-	-	-	http://www.jinkosolar.com/en/site/swan#6
Jinko	Tiger	Monofacial 9BB Half-Cell Tilling Ribbon	475	21.16	-	-	http://www.jinkosolar.com/en/site/tiger
Jinko	Tiger	Bifacial 9BB Half-Cell Tilling Ribbon	470	20.65	-	-	http://www.jinkosolar.com/en/site/tiger
Jinko	Tiger Pro 72TR	Monofacial MBB Half-Cell Tilling Ribbon	540	21.31	-	-	http://www.jinkosolar.com/en/site/tigerpro#6
Jinko	Tiger Pro 72 TR	Bifacial MBB Half-Cell Tilling Ribbon	535	21.16	-	-	http://www.jinkosolar.com/en/site/tigerpro#6
Jinko	Tiger Pro 78 TR	Monofacial MBB Half-Cell Tilling Ribbon	585	21.4	-	-	http://www.jinkosolar.com/en/site/tigerpro#6
Jinko	Tiger Pro 78 TR	Bifacial MBB Half-Cell Tilling Ribbon	580	21.21	-	-	http://www.jinkosolar.com/en/site/tigerpro#6
Longi	Hi-MO4 LR4-60HBD (Alta potencia)	Bifacial Monocristalino PERC Half-Cell	345-365	19.4	-	24 1791x1052x30 mm	https://es.longi-solar.com/home/products/hi_mo4.html
Longi	Hi-MO4 LR4-72HBD (Alta potencia)	Bifacial Monocristalino PERC Half-Cell	415-435	19.4	-	28.5 2131x1052x35 mm	https://es.longi-solar.com/home/products/hi_mo4.html
Longi	Hi-MO4m LR4-60HPH (Alta potencia)	Monofacial Monocristalino PERC Half-Cell	350-370	19.8	-	20 1776x1052x35 mm	https://es.longi-solar.com/home/products/hi_mo4m.html
Longi	Hi-MO4m LR4-72HPH (Alta potencia)	Monofacial Monocristalino PERC Half-Cell	420-440	19.8	-	24 2115x1052x35 mm	https://es.longi-solar.com/home/products/hi_mo4m.html
Longi	Hi-MO3 LR6-60HBD	Bifacial Monocristalino PERC Half-Cell	305-325	19.2	-	22 1689x996x30 mm	https://es.longi-solar.com/home/products/hi_mo3.html
Longi	Hi-MO3 LR6-72HBD	Bifacial Monocristalino PERC Half-Cell	365-385	19.2	-	25.5 2020x996x30 mm	https://es.longi-solar.com/home/products/hi_mo3.html
Longi	Hi-MO3m LR6-60HPH	Monofacial Monocristalino PERC Half-Cell	310-320	19.1	-	18.9 1683x996x35 mm	https://es.longi-solar.com/home/products/hi_mo3m.html
Longi	Hi-MO3m LR6-72HPH	Monofacial Monocristalino PERC Half-Cell	370-385	19.3	-	23 2004x996x35 mm	https://es.longi-solar.com/home/products/hi_mo3m.html

2 Simulación en PVSyst para 1 MWp

Variante de simulación : TFM																			
Fecha de simulación	04/04/21 21h01																		
Parámetros de simulación	Tipo de sistema Sin escena 3D definida, sin sombras																		
Plano de rastreo, eje inclinado	Inclinación del eje 0° Azimut del eje 0°																		
Limitaciones de rotación	Phi mínimo -55° Phi máximo 55°																		
	Algoritmo de rastreo Cálculo astronómico																		
Modelos usados	Transposición Perez Difuso Perez, Meteorom separado Circunsolar																		
Horizonte	Horizonte libre																		
Sombreados cercanos	Sin sombreados																		
Necesidades del usuario :	Carga ilimitada (red)																		
Características del conjunto FV																			
Módulo FV	Si-mono Modelo RSM120-8-595BMDG																		
Base de datos PVSyst original	Fabricante Risen Energy Co., Ltd																		
Número de módulos FV	En series 30 módulos En paralelo 56 cadenas																		
Número total de módulos FV	núm. de módulos 1680 Unidad Nom. Potencia 595 Wp																		
Potencia global del conjunto	Nominal (STC) 1000 kWp En cond. de funcionam. 915 kWp (50°C)																		
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)	U mpp 939 V I mpp 974 A																		
Área total	Área del módulo 4755 m² Área celular 4455 m²																		
Inversor	Modelo SUN2000-175KTL-H0																		
Base de datos PVSyst original	Fabricante Huawei Technologies																		
Características	Unidad Nom. Potencia 175 kWca Voltaje de funcion. 600-1500 V																		
	Potencia máx. (=>25°C) 193 kWca																		
Paquete de inversores	Potencia total 875 kWca Proporción Phom 1.14																		
	Núm. de inversores 5 unidades																		
Total	Potencia total 875 kWca Proporción Phom 1.14																		
Factores de pérdida del conjunto FV																			
Pérdidas de suciedad del conjunto	Fración de pérdida 3.0 %																		
Factor de pérdida térmica	Uc (const) 29.0 W/m²K Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s																		
Pérdida óhmica en el cableado	Res. conjunto global 3.2 mΩ Fracción de pérdida 0.3 % en STC																		
LID - Degradación Inducida por Luz	Fración de pérdida 1.6 %																		
Pérdida de calidad módulo	Fración de pérdida -0.5 %																		
Pérdidas de desajuste de módulo	Fración de pérdida 2.0 % en MPP																		
Efecto de incidencia (IAM): Perfil definido por el usuario																			
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>0°</th> <th>20°</th> <th>40°</th> <th>60°</th> <th>70°</th> <th>75°</th> <th>80°</th> <th>85°</th> <th>90°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1.000</td> <td>1.000</td> <td>1.000</td> <td>1.000</td> <td>0.982</td> <td>0.958</td> <td>0.931</td> <td>0.852</td> <td>0.000</td> </tr> </tbody> </table>	0°	20°	40°	60°	70°	75°	80°	85°	90°	1.000	1.000	1.000	1.000	0.982	0.958	0.931	0.852	0.000
0°	20°	40°	60°	70°	75°	80°	85°	90°											
1.000	1.000	1.000	1.000	0.982	0.958	0.931	0.852	0.000											

Sistema conectado a la red: Parámetros de simulación			
Factores de pérdida del sistema			
Inversor de pérdida de cable CA a transfo	Voltaje inversor 800 Vca tri		
Cables: 3 x 500 mm²	175 m	Fración de pérdida	1.0 % en STC
Transfo MV	Voltaje de Red 20 kV		
Transfo de MV			
Pérdidas operativas en STC	Pérdida de hierro (Conexión 24/24) 0.99 kW	Fración de pérdida	0.1 % en STC
	Pérdida de cobre (resistiva) 3 x 6.49 mΩ	Fración de pérdida	1.0 % en STC
Indisponibilidad del sistema	1.8 días, 3 periodos	Frac. de tiempo	0.5 %
Pérdidas auxiliares	Proporcional a la potencia 4.0 W/kW. del umbral de potencia		0.0 kW





3 Dimensionamiento de la planta solar fotovoltaica

3.1 Escenario: Parque eólico actual

17 G58-850kW a 55 m de altura de buje						
MW Solar	Energía vendida (MWh)	Energía eólica vendida (MWh)	Energía solar vendida (MWh)	Excedente (MWh)	Incremento de la producción por MW solar instalado (MWh)	Excedente (en % de la producción teórica total)
0	26,106	26,106	0	0	0	0.0%
1	28,293	26,106	2,187	0	2,187	0.0%
2	30,480	26,106	4,374	0	2,187	0.0%
3	32,667	26,106	6,561	0	2,187	0.0%
4	34,854	26,106	8,748	0	2,187	0.0%
5	37,041	26,106	10,935	0	2,187	0.0%
6	39,228	26,106	13,122	0	2,187	0.0%
7	41,415	26,106	15,309	0	2,187	0.0%
8	43,602	26,106	17,496	0	2,187	0.0%
9	45,789	26,106	19,683	0	2,187	0.0%
10	47,976	26,106	21,870	3	2,187	0.0%
11	50,163	26,106	24,057	13	2,187	0.0%
12	52,350	26,106	26,244	42	2,187	0.1%
13	54,537	26,106	28,431	96	2,187	0.2%
14	56,724	26,106	30,618	181	2,187	0.3%
15	58,911	26,106	32,805	306	2,187	0.5%
16	61,098	26,106	34,992	491	2,187	0.8%
17	63,285	26,106	37,179	772	2,187	1.2%
18	65,472	26,106	39,366	1,164	2,187	1.8%
19	67,659	26,106	41,553	1,663	2,187	2.5%
20	69,846	26,106	43,740	2,237	2,187	3.2%

3.2 Escenario: Parque eólico repotenciado con 3 N149

3 N149-5.06MW a 120 m de altura de buje						
MW Solar	Energía vendida (MWh)	Energía eólica vendida (MWh)	Energía solar vendida (MWh)	Excedente (MWh)	Incremento de la producción por MW solar instalado (MWh)	Excedente (en % de la producción teórica total)
0	40,886	40,886	0	0	0	0.0%
1	43,073	40,886	2,187	4	2,187	0.0%
2	45,260	40,886	4,374	8	2,187	0.0%
3	47,447	40,886	6,561	8	2,187	0.0%
4	49,634	40,886	8,748	23	2,187	0.0%
5	51,821	40,886	10,935	37	2,187	0.1%
6	54,008	40,886	13,122	58	2,187	0.1%
7	56,195	40,886	15,309	92	2,187	0.2%
8	58,382	40,886	17,496	146	2,187	0.3%
9	60,569	40,886	19,683	219	2,187	0.4%
10	62,756	40,886	21,870	315	2,187	0.5%
11	64,943	40,886	24,057	442	2,187	0.7%
12	67,130	40,886	26,244	603	2,187	0.9%
13	69,317	40,886	28,431	794	2,187	1.1%
14	71,504	40,886	30,618	1,025	2,187	1.4%
15	73,691	40,886	32,805	1,305	2,187	1.8%
16	75,878	40,886	34,992	1,655	2,187	2.2%
17	78,065	40,886	37,179	2,096	2,187	2.7%
18	80,252	40,886	39,366	2,648	2,187	3.3%
19	82,439	40,886	41,553	3,301	2,187	4.0%
20	84,626	40,886	43,740	4,030	2,187	4.8%

3.3 Escenario: Parque eólico repotenciado con 3 N163

3 N163-5.04MW a 120 m de altura de buje						
MW Solar	Energía vendida (MWh)	Energía eólica vendida (MWh)	Energía solar vendida (MWh)	Excedente (MWh)	Incremento de la producción por MW solar instalado (MWh)	Excedente (en % de la producción teórica total)
0	44,473	44,473	0	0	0	0.0%
1	46,660	44,473	2,187	46.28	2,187	0.1%
2	48,847	44,473	4,374	57.07	2,187	0.1%
3	51,034	44,473	6,561	71.15	2,187	0.1%
4	53,221	44,473	8,748	91.15	2,187	0.2%
5	55,408	44,473	10,935	119.7	2,187	0.2%
6	57,595	44,473	13,122	161.89	2,187	0.3%
7	59,782	44,473	15,309	222.22	2,187	0.4%
8	61,969	44,473	17,496	301.30	2,187	0.5%
9	64,156	44,473	19,683	402.64	2,187	0.6%
10	66,343	44,473	21,870	532.46	2,187	0.8%
11	68,530	44,473	24,057	693.22	2,187	1.0%
12	70,717	44,473	26,244	881.00	2,187	1.2%
13	72,904	44,473	28,431	1,102.80	2,187	1.5%
14	75,091	44,473	30,618	1,365.35	2,187	1.8%
15	77,278	44,473	32,805	1,680.07	2,187	2.2%
16	79,465	44,473	34,992	2,064.16	2,187	2.6%
17	81,652	44,473	37,179	2,541.05	2,187	3.1%
18	83,839	44,473	39,366	3,128.09	2,187	3.7%
19	86,026	44,473	41,553	3,814.80	2,187	4.4%
20	88,213	44,473	43,740	4,578.30	2,187	5.2%

4 Estudio del excedente

Excedente	MWp solares	17 x G58	3 x N149	3 x N163
Referido a la producción Solar	1	0.0%	0.4%	6.4%
	2	0.0%	0.3%	3.6%
	3	0.0%	0.3%	2.7%
	4	0.0%	0.4%	2.4%
	5	0.0%	0.5%	2.2%
	6	0.0%	0.6%	2.2%
	7	0.0%	0.8%	2.3%
	8	0.0%	1.0%	2.5%
	9	0.0%	1.2%	2.7%
	10	0.0%	1.5%	3.0%
	11	0.1%	1.9%	3.3%
	12	0.1%	2.2%	3.7%
	13	0.3%	2.7%	4.0%
	14	0.5%	3.1%	4.4%
	15	0.8%	3.6%	4.9%
	16	1.2%	4.1%	5.4%
	17	1.7%	4.8%	6.1%
	18	2.3%	5.5%	6.8%
	19	3.1%	6.3%	7.6%
	20	4.0%	7.2%	8.4%

Excedente	MWp solares	17 x G58	3 x N149	3 x N163
Referido a la producción Total	1	0.00%	0.01%	0.10%
	2	0.00%	0.02%	0.12%
	3	0.00%	0.02%	0.14%
	4	0.00%	0.05%	0.17%
	5	0.00%	0.07%	0.22%
	6	0.00%	0.11%	0.28%
	7	0.00%	0.16%	0.37%
	8	0.00%	0.25%	0.49%
	9	0.00%	0.36%	0.63%
	10	0.01%	0.50%	0.80%
	11	0.03%	0.68%	1.01%
	12	0.08%	0.90%	1.25%
	13	0.18%	1.15%	1.51%
	14	0.32%	1.43%	1.82%
	15	0.52%	1.77%	2.17%
	16	0.80%	2.18%	2.60%
	17	1.22%	2.68%	3.11%
	18	1.78%	3.30%	3.73%
	19	2.46%	4.00%	4.43%
	20	3.20%	4.76%	5.19%

5 Estudio Económico

5.1 Ingresos

Ingresos (k€)	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Solar	1,262 €	1,376 €	1,328 €	1,242 €	1,120 €	1,096 €	1,075 €	1,111 €	1,016 €	1,057 €
Eólica actual	1,682 €	1,896 €	1,872 €	1,784 €	1,698 €	1,722 €	1,742 €	1,845 €	1,795 €	1,920 €
Eólica repotenciada	2,923 €	3,294 €	3,253 €	3,100 €	2,951 €	2,991 €	3,028 €	3,206 €	3,119 €	3,337 €
Total	2,944 €	3,272 €	3,200 €	3,026 €	2,819 €	2,817 €	2,818 €	1,111 €	4,135 €	4,394 €

Ingresos (k€)	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Solar	1,014 €	990 €	952 €	1,075 €	1,097 €	1,077 €	1,023 €	1,043 €	1,032 €	1,010 €
Eólica actual	1,902 €	1,893 €	1,859 €	2,027 €	2,061 €	2,122 €	2,130 €	2,243 €	2,343 €	2,282 €
Eólica repotenciada	3,305 €	3,290 €	3,230 €	3,522 €	3,581 €	3,688 €	3,701 €	3,897 €	4,071 €	3,965 €
Total	4,319 €	4,279 €	4,182 €	4,597 €	4,678 €	4,765 €	4,724 €	4,940 €	5,103 €	4,975 €

Ingresos (k€)	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Solar	1,008 €	958 €	909 €	859 €	809 €	816 €	823 €	830 €	837 €	844 €
Eólica actual	2,295 €	2,243 €	2,191 €	2,139 €	2,087 €	2,068 €	2,050 €	2,031 €	2,012 €	1,994 €
Eólica repotenciada	3,988 €	3,898 €	3,807 €	3,717 €	3,627 €	3,594 €	3,562 €	3,529 €	3,497 €	3,464 €
Total	4,996 €	4,856 €	4,716 €	4,576 €	4,436 €	4,410 €	4,384 €	4,359 €	4,333 €	4,308 €

5.2 Cuenta de pérdidas y Ganancias

Cuenta de pérdidas y ganancias (k€)	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ingresos Solar	1,262 €	1,376 €	1,328 €	1,242 €	1,120 €	1,096 €	1,075 €	1,111 €	1,016 €	1,057 €
Ingresos Eólico	1,682 €	1,896 €	1,872 €	1,784 €	1,698 €	1,722 €	1,742 €	0 €	3,119 €	3,337 €
Ingresos Totales	2,944 €	3,272 €	3,200 €	3,026 €	2,819 €	2,817 €	2,818 €	1,111 €	4,135 €	4,394 €
OPEX Solar	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €
OPEX Eólico	-511 €	-511 €	-511 €	-511 €	-511 €	-511 €	-511 €	0 €	-468 €	-468 €
OPEX Total	-734 €	-224 €	-692 €	-692 €						
Asset Management	-59 €	-65 €	-64 €	-61 €	-56 €	-56 €	-56 €	-22 €	-83 €	-88 €
EBITDA	2,152 €	2,473 €	2,402 €	2,232 €	2,028 €	2,027 €	2,027 €	865 €	3,360 €	3,614 €
D&A	-324 €	-324 €	-324 €	-324 €	-324 €	-324 €	-324 €	-324 €	-779 €	-779 €
EBIT	1,828 €	2,149 €	2,078 €	1,908 €	1,705 €	1,703 €	1,704 €	541 €	2,582 €	2,835 €
Impuestos	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €
Beneficio	1,563 €	1,884 €	1,813 €	1,643 €	1,440 €	1,438 €	1,439 €	276 €	2,317 €	2,570 €

Cuenta de pérdidas y ganancias (k€)	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Ingresos Solar	1,014 €	990 €	952 €	1,075 €	1,097 €	1,077 €	1,023 €	1,043 €	1,032 €	1,010 €
Ingresos Eólico	3,305 €	3,290 €	3,230 €	3,522 €	3,581 €	3,688 €	3,701 €	3,897 €	4,071 €	3,965 €
Ingresos Totales	4,319 €	4,279 €	4,182 €	4,597 €	4,678 €	4,765 €	4,724 €	4,940 €	5,103 €	4,975 €
OPEX Solar	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €
OPEX Eólico	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €
OPEX Total	-692 €									
Asset Management	-86 €	-86 €	-84 €	-92 €	-94 €	-95 €	-94 €	-99 €	-102 €	-99 €
EBITDA	3,541 €	3,502 €	3,407 €	3,813 €	3,893 €	3,978 €	3,938 €	4,150 €	4,309 €	4,184 €
D&A	-779 €	-779 €	-779 €	-779 €	-779 €	-779 €	-779 €	-779 €	-779 €	-779 €
EBIT	2,762 €	2,724 €	2,628 €	3,035 €	3,114 €	3,199 €	3,159 €	3,371 €	3,530 €	3,405 €
Impuestos	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €
Beneficio	2,497 €	2,459 €	2,363 €	2,770 €	2,849 €	2,934 €	2,894 €	3,106 €	3,265 €	3,140 €

Cuenta de pérdidas y ganancias (k€)	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Ingresos Solar	1,008 €	958 €	909 €	859 €	809 €	816 €	823 €	830 €	837 €	844 €
Ingresos Eólico	3,988 €	3,898 €	3,807 €	3,717 €	3,627 €	3,594 €	3,562 €	3,529 €	3,497 €	3,464 €
Ingresos Totales	4,996 €	4,856 €	4,716 €	4,576 €	4,436 €	4,410 €	4,384 €	4,359 €	4,333 €	4,308 €
OPEX Solar	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €	-224 €
OPEX Eólico	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €	-468 €
OPEX Total	-692 €									
Asset Management	-100 €	-97 €	-94 €	-92 €	-89 €	-88 €	-88 €	-87 €	-87 €	-86 €
EBITDA	4,205 €	4,068 €	3,930 €	3,793 €	3,655 €	3,630 €	3,605 €	3,580 €	3,555 €	3,530 €
D&A	-779 €	-779 €	-779 €	-779 €	-779 €	-455 €	-455 €	-455 €	-455 €	-455 €
EBIT	3,426 €	3,289 €	3,152 €	3,014 €	2,877 €	3,175 €	3,150 €	3,125 €	3,100 €	3,075 €
Impuestos	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €
Beneficio	3,161 €	3,024 €	2,887 €	2,749 €	2,612 €	2,910 €	2,885 €	2,860 €	2,835 €	2,810 €

5.3 Flujos de caja

Flujos de caja (k€)	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ingresos	1,828 €	2,149 €	2,078 €	1,908 €	1,705 €	1,703 €	1,704 €	541 €	2,582 €	2,835 €
Capex	-8,094 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	-11,377 €	0 €	0 €
OPEX	-793 €	-799 €	-798 €	-795 €	-790 €	-790 €	-790 €	-246 €	-774 €	-779 €
Impuestos	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €
CFO	-7,324 €	1,084 €	1,015 €	848 €	649 €	648 €	648 €	-11,346 €	1,542 €	1,791 €

Flujos de caja (k€)	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040
Ingresos	2,762 €	2,724 €	2,628 €	3,035 €	3,114 €	3,199 €	3,159 €	3,371 €	3,530 €	3,405 €
Capex	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
OPEX	-778 €	-777 €	-775 €	-783 €	-785 €	-787 €	-786 €	-790 €	-794 €	-791 €
Impuestos	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €
CFO	1,720 €	1,681 €	1,588 €	1,986 €	2,064 €	2,147 €	2,108 €	2,316 €	2,472 €	2,349 €

Flujos de caja (k€)	2041	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050
Ingresos	3,426 €	3,289 €	3,152 €	3,014 €	2,877 €	3,175 €	3,150 €	3,125 €	3,100 €	3,075 €
Capex	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €	0 €
OPEX	-791 €	-789 €	-786 €	-783 €	-780 €	-780 €	-779 €	-779 €	-778 €	-778 €
Impuestos	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €	-265 €
CFO	2,369 €	2,235 €	2,101 €	1,966 €	1,831 €	2,131 €	2,106 €	2,081 €	2,057 €	2,033 €

6 Objetivos y metas de Desarrollo sostenible

La afinidad de este proyecto con el medio ambiente es inmensa. Dentro de los “Objetivos de Desarrollo Sostenible” (ODS) existen varios que están alineados con este proyecto.

En primer lugar, el ODS más afectado por este proyecto es el de “energía asequible y no contaminante”. Este proyecto favorece la creación de energía renovable (no contaminante), ya que consigue ahorrar emisiones de CO₂ que serían generadas en otros procesos de obtención de energía no renovables. Además, desde un punto de vista económico se encuentran grandes sinergias lo que permite reducir costes brindando la oportunidad de reducir el coste final de producción de la energía (LCOE).

Este proyecto, tiene una capacidad total instalada de 29.45 MW y generará 43,740 MWh de energía solar fotovoltaica al año. De esta forma, se reduce una cantidad importante de emisiones de gases de efecto invernadero y se permite la transición a una economía con bajas emisiones de carbono. Teniendo en cuenta que un kWh generado con energía solar fotovoltaica evita la emisión a la atmósfera de aproximadamente 800 kilogramos de CO₂ [49], para el proyecto solar fotovoltaica estudiado se evitaría la emisión de 35,200 toneladas de CO₂ al año.

La hibridación, permite [50]:

- Optimizar la capacidad de evacuación.
- Ahorrar en CAPEX y OPEX entre un 10 y un 15%.
- Simplificar en las tramitaciones.

El sistema eléctrico, gracias a un mayor desarrollo de la hibridación, reduciría su impacto ambiental, ahorraría en infraestructuras de red, mejoraría la calidad y estabilidad del suministro horario y estacional, a la vez que reduciría el riesgo de sobrecargas y restricciones técnicas, así como el número de solicitudes de puntos de acceso y conexión. Por estas razones, la hibridación está muy ligada al ODS número 7 “Energía asequible y no contaminante”.

En segundo lugar, el objetivo de “ciudades y comunidades sostenibles” se ve apoyado por este proyecto ya que la investigación en la producción híbrida de energía solar fotovoltaica y eólica acerca a la sociedad a conseguir el objetivo de producción renovable durante las 24 horas del día los 365 días del año. Este objetivo se podrá conseguir siempre y cuando se acompañe a la hibridación con sistemas de almacenamiento. Con esta configuración, el excedente que sin almacenamiento no se llegaría a generar, se iría acumulando en las baterías y sería liberado en los momentos adecuados permitiendo una disponibilidad de energía ininterrumpida.

En tercer lugar, este proyecto está perfectamente alineado con el objetivo de “Acción por el clima” ya que la hibridación se presentará como un proyecto económicamente más apetecible que la solar fotovoltaica por separado. Por esta razón, se fomenta la producción de más energía renovable y por lo tanto se reducen las emisiones de CO₂. En el contexto de la hibridación, este ODS se encuentra muy ligado al ODS7 anteriormente citado. El aumento de instalaciones renovables implica la posibilidad de reducir la producción de energía no renovable de tal manera que se reducen emisiones.

En cuarto lugar, “Industria, Innovación e infraestructura” es un ODS que se ve afectado por el proyecto estudiado. El poder hibridar un parque eólico con una planta solar fotovoltaica permite la optimización de la infraestructura eléctrica del país. Además, de cara a mejorar la rentabilidad de los sistemas de almacenamiento, la hibridación consigue generar unos niveles de excedente que permitirán que los sistemas de almacenamiento alcancen la rentabilidad deseada lo antes posible.

En quinto lugar, “trabajo decente y crecimiento económico” es un ODS que se ve afectado por la innovación de la hibridación ya que estas instalaciones precisarán de una cantidad de operarios mucho mayor que un simple parque eólico. Por esta razón, se contribuirá con la oferta de puestos de trabajo para técnicos lo que implicará un aumento a nivel de vida y a nivel cultural en las zonas más despobladas de nuestro país

En sexto lugar, “Vida de ecosistemas terrestres” es un ODS que se respeta con el proyecto. Para poder instalar una planta solar fotovoltaica o un parque eólico es preciso llevar a cabo unos estudios medioambientales que avalen el impacto que estas instalaciones tienen sobre el ecosistema con el que interactúan. Por esta razón, las instalaciones estudiadas no tienen ningún impacto negativo en el ecosistema. Es más, en algunos casos, el estudio medioambiental citado exige al promotor una serie de medidas de repoblación de hábitats naturales que ayudan a mejorar el ecosistema que rodea a las instalaciones renovables.

A todo lo anterior se le suman los objetivos clave de la Unión Europea para el 2030 [14]. Este proyecto favorece directamente dos de los objetivos principales:

- Aumentar la cuota de renovables al menos hasta el 32%.
- Mejorar la eficiencia energética.
- Alcanzar al menos un 40% de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (con respecto a 1990).

España dispone actualmente de 59,108 MW renovables instalados en España [51]. De estos megavatios instalados, 27,089 MW son de energía eólica. Por esta razón, la hibridación de todos estos parques supondría en un caso hipotético que considera el 100% de hibridación de los parques existentes de alrededor de 27,000 MW adicionales de energía solar fotovoltaica. Este incremento no precisaría de un aumento en la red eléctrica del país por lo que esta quedaría significativamente optimizada.

La hibridación permitiría a España alcanzar en tiempo récord la cifra de 86 GW de potencia renovable instalada.