



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Estudio técnico para el suministro de energía
mediante fuentes renovables a un criadero de
cerdos

Technical study for the supply of energy from
renewable sources to a pig farm

Autor/es

Alejandro Naval Labarta

Director/es

José Luis Bernal Agustín

Universidad de Zaragoza / Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2022

Resumen

La creciente importancia de las fuentes de energías renovables en el mundo actual, junto a la subida constante de precios debido a la falta de suministro de fuentes de energía finitas, ha motivado la realización de este Trabajo Fin de Grado centrado en el dimensionamiento de una instalación renovable híbrida.

En este trabajo se han consultado las cargas y consumos energéticos que conllevan una vivienda familiar y una granja porcina de tamaño medio aisladas de la red eléctrica. A partir de estos datos, se ha realizado el dimensionamiento y, posterior optimización, de la instalación renovable híbrida, la cual lleva consigo un equipo de baterías y un generador auxiliar.

Para la realización del primer dimensionado se utiliza el programa Ninja Renewables y la herramienta Excel, pues dicho programa permite exportar datos y realizar cálculos con dicha herramienta. Posteriormente, se realiza una optimización del tamaño de la instalación con la herramienta Optice, la cual viene dada por Matlab. Una vez realizado esto, se proponen los demás elementos de la instalación.

Finalmente, con la instalación obtenida, se realiza un estudio económico comparativo frente a lo que supondría conectar el emplazamiento a la red eléctrica.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación del proyecto	1
1.2 Objetivo, alcance y realización del proyecto.....	1
1.3 Contexto	1
1.4 Ubicación.....	3
1.5 Legislación	4
2. Marco teórico de la energía solar y eólica	5
3. Consumos y cargas de la instalación	6
4. Estudio del potencial solar y eólico en el emplazamiento mediante Ninja Renewables.....	7
5. Estudio de parámetros de la instalación para el dimensionamiento inicial	9
5.1 Generación fotovoltaica	10
5.2 Generación eólica.....	11
6. Dimensionado inicial de la instalación	14
7. Elección de inversores, generador auxiliar y baterías.....	17
7.1 Inversores	17
7.2 Generador auxiliar.....	18
7.3 Baterías.....	18
8. Inversión y análisis económico instalación híbrida tras primer dimensionamiento.....	19
9. Optimización de la instalación mediante Optice	20
10. Dimensionado final de la instalación renovable optimizada	24
10.1 Dimensionado de la instalación fotovoltaica	24
10.2 Dimensionado de la instalación eólica	25
10.3 Dimensionado del sistema de baterías	26
10.4 Elección final del generador diésel auxiliar	26
10.5 Inversor de conexión y control general de la instalación.....	26
11. Análisis económico de la instalación final.....	26
12. Modo de conexión de los distintos elementos de la instalación	29
13. Conclusiones.....	30
14. Bibliografía	31
ANEXOS	34

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Justificación del proyecto

La constante subida del precio de la luz, el agotamiento de fuentes de energía no renovables y la existencia de zonas diseminadas habitadas por población con dificultad al acceso a la red eléctrica son los principales motivos que han provocado la realización de este estudio. Además, el conflicto bélico entre Rusia y Ucrania que se está viviendo en estos momentos ha protagonizado un aumento exagerado del coste energético, lo que indica también la importancia de tener fuentes de energía independientes a todo este tipo de factores externos. Por otra parte, el constante crecimiento e importancia de las energías renovables en la sociedad actual ha reforzado más si cabe la realización de este proyecto mediante dicha alternativa energética.

1.2 Objetivo, alcance y realización del proyecto

El principal objetivo de este proyecto es el dimensionamiento, optimización y análisis de una instalación renovable híbrida, compuesta por energía fotovoltaica y energía mini eólica, la cual estará situada en una zona rural aislada de la red eléctrica. La instalación renovable, junto a un sistema de almacenamiento y un pequeño generador auxiliar, han de suministrar energía suficiente para abastecer los consumos de una casa de tamaño medio, en la cual habitará una familia de 4 personas, y una granja, de una producción de alrededor de 2000 cabezas de ganado porcino, construidas ambas en la misma zona rural. Además de la instalación fotovoltaica y eólica, las baterías y el generador auxiliar, se especificarán el regulador e inversor adecuados para la instalación a estudiar, todo ello cumpliendo con la legislación pertinente.

En primer lugar, se realizará un estudio del potencia solar y eólico en la zona del emplazamiento para así, posteriormente, realizar un primer dimensionamiento de la instalación renovable necesaria. Dicho estudio será realizado con la ayuda de Renewables Ninja, una herramienta de simulación de producción de energía fotovoltaica y eólica. Posteriormente, se utilizará una herramienta de optimización para asegurar que la instalación final es la adecuada en relación con la producción energética, impacto ambiental y aspecto económico.

1.3 Contexto

En el mundo en el que vivimos, existe una clara correlación entre la energía consumida y el índice de desarrollo humano del país correspondiente. Por ello, en España, existe una elevada demanda de energía en el día a día.

Además, el hecho de que los recursos no renovables se estén agotando y la gran dependencia energética que sufre España respecto a ellos, lo que supone también riesgo respecto al precio energético a pagar debido a la volatilidad de precios que existe, provoca que las alternativas renovables sean cada vez más valoradas.

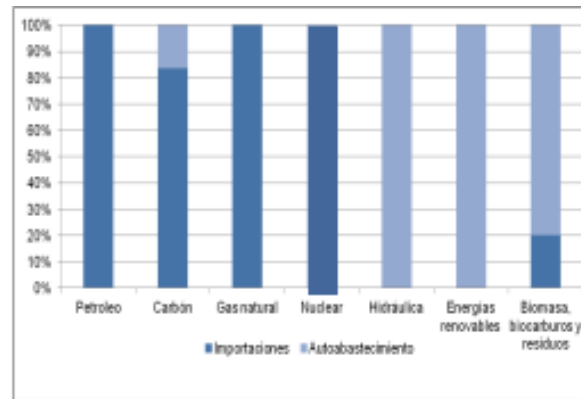


Figura 1. Porcentaje autoabastecimiento e importaciones diferentes energías en España. (Fuente: EIA [1])

En cuanto a energía eólica, se puede considerar España como uno de los países adecuados para el planteamiento de instalaciones eólicas, ya que es uno de los países europeos que mayor porcentaje de energía eléctrica cubre mediante esta forma de energía, lo que significa que existe potencial eólico.

Además, en el año 2020, la energía eólica fue la segunda fuente en cuanto a producción de energía eléctrica en España.

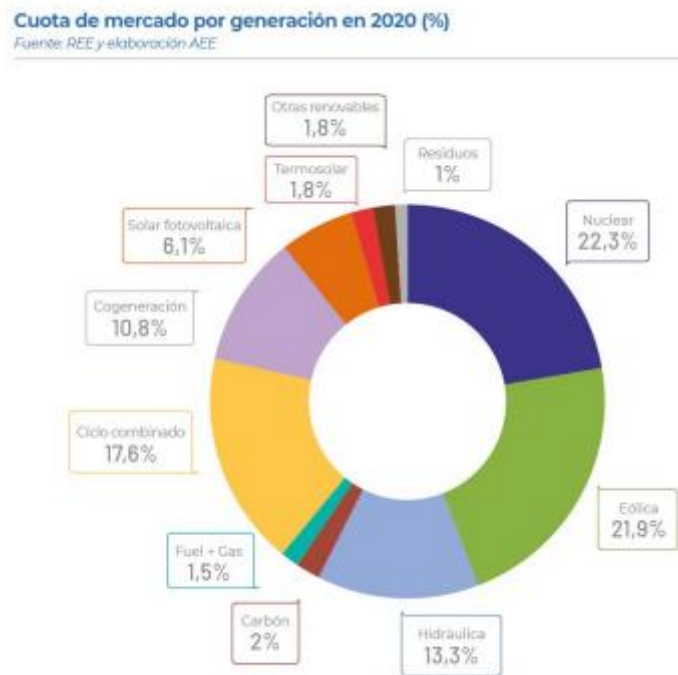


Figura 2. Cuota de mercado por generación en 2020. (Fuente: AEE [2])

De la figura anterior, se observa como la energía solar fotovoltaica empieza a tener su importancia en la generación eléctrica en España, siendo la sexta fuente de energía más importante. Además, la zona tarraconense, como se puede observar en el siguiente mapa de potencial solar, es una zona idónea para la instalación de paneles fotovoltaicos, pues el potencial solar es alto en dicha zona.

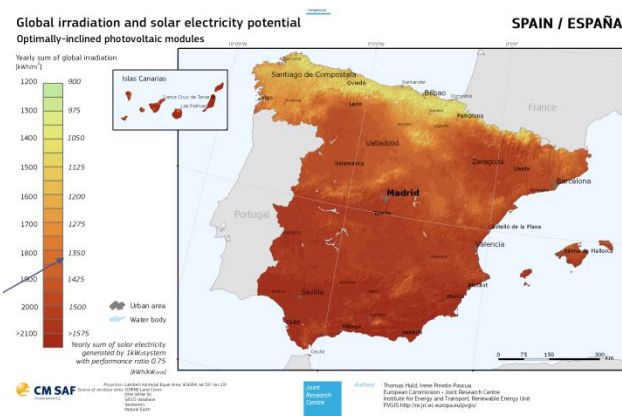


Figura 3. Potencial solar e irradiación global en España por zonas. (Fuente: SolarGIS [3])

En cuanto a potencial eólico en distintas partes de España, se puede observar la siguiente figura:

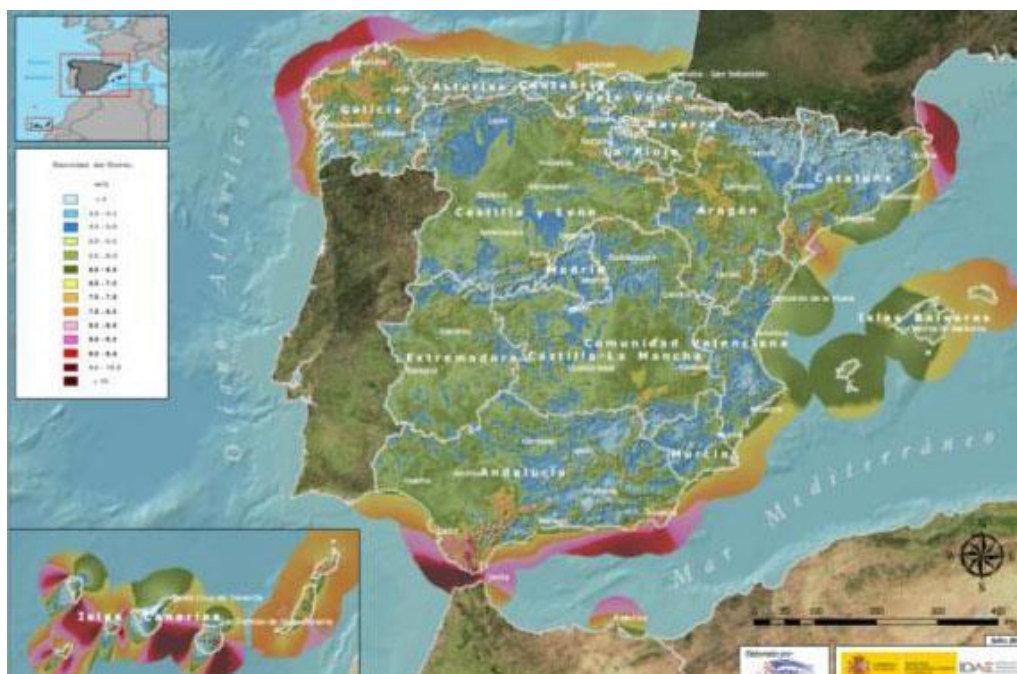


Figura 4. Potencial eólico en España por zonas. (Fuente: AEE [2])

Por tanto, también se puede destacar la zona de nuestro emplazamiento como una de las zonas más potentes en cuanto a generación eólica en España, lo que dota de sentido a nuestra propuesta de instalación renovable en dicha zona de España.

1.4 Ubicación

En cuanto a la elección concreta del emplazamiento de la instalación, se investigó primero a cerca de casas rurales con granja que había en el territorio nacional. Así, se observaron zonas con cierto potencial para encontrar este tipo de proyectos. Posteriormente, se concretó el lugar en el que nos situaríamos a través de Google Maps. Se puede observar una zona rural, muy poco habitada, alejada de núcleos urbanos, en la cual hay un terreno en el que hay construida una casa familiar junto a una granja de una producción moderada. Se sitúa concretamente cerca de una casa rural ecológica, en Perelló, provincia de Tarragona.

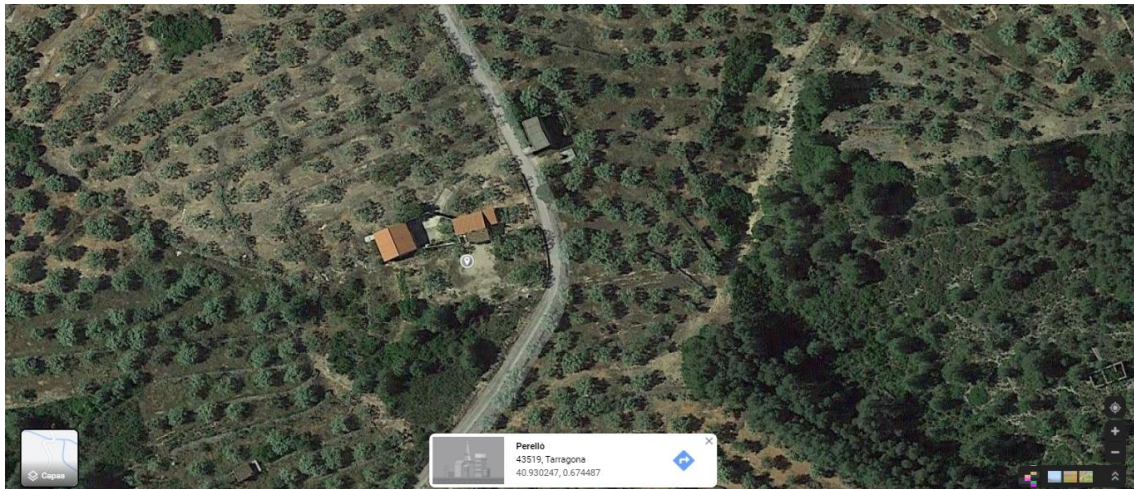


Figura 5. Emplazamiento de la instalación renovable a instalar. (Fuente: Google Maps [4])

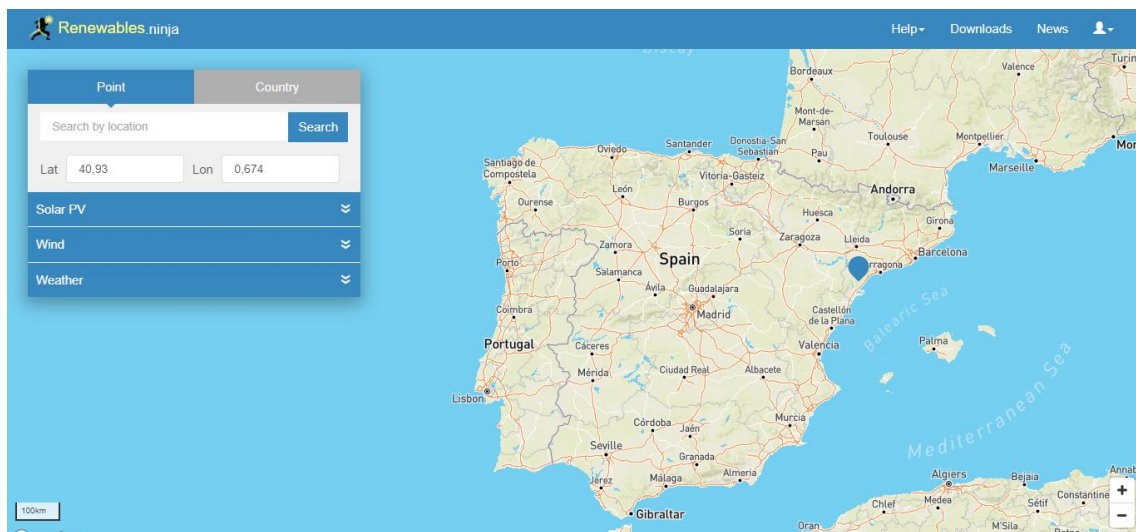


Figura 6. Ubicación en Ninja Renewables de la instalación. (Fuente: Ninja Renewables [5])

1.5 Legislación

La instalación del estudio, debido a estar aislada de la red eléctrica, no se clasifica en la categoría de autoconsumo si no que se considera una instalación generadora aislada, un sistema fotovoltaico autónomo (SFA). Este es un hecho a tener en cuenta para la legislación aplicable a la instalación, la cual es (<https://www.censolar.org/legislacion-fotovoltaica-es-2019/>):

- RD 842/2002 [6]
- RD 49/2004 [6]
- Ley 24/2013 [6]
- BT-ITC-40 [6]
- Pliego de condiciones técnicas de instalaciones aisladas de red [7]
- Ordenanzas municipales
- RD 477/2021 para subvenciones [6]

2. Marco teórico de la energía solar y eólica

- **Energía solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica se basa principalmente en las propiedades de los materiales semiconductores que forman las placas fotovoltaicas, en concreto sus uniones p-n, y que transforman la radiación incidente sobre las mismas en energía eléctrica. Se basa en que un electrón puede pasar de la banda de valencia a la de conducción si se le suministra la suficiente energía, la cual es procedente de la radiación solar. Si esto se consigue, el electrón pasa a la banda de conducción y se consigue generar corriente. En concreto, se genera corriente continua. Es por ello que, para adaptar la energía a una forma posible de consumo doméstico, es necesario un inversor integrado en la instalación, con el propósito de convertir dicha corriente a alterna.

El elemento básico de producción y fabricación de paneles es la célula fotovoltaica. El rendimiento y producción de energía eléctrica de la misma depende de la calidad de fabricación, del mantenimiento, de la suciedad, de la radiación solar incidente, orientación frente al sol o temperatura de funcionamiento. Todos ellos son parámetros que influyen de una manera u otra en la producción de energía eléctrica.

Las principales ventajas de esta forma de energía son su inagotabilidad, su escasa afección en la calidad del aire y del suelo, poco impacto ante flora y fauna y nula producción de ruido. Además, sus sistemas son modulables en cuanto a tamaño, suelen ser bastante duraderos y fiables en cuanto a términos de seguridad y funcionamiento. Sin embargo, tiene sus desventajas, como su efecto visual sobre el paisaje, dependencia de la existencia de luz solar, variación de la radiación durante el año o el tratamiento de las placas una vez acaba su vida útil.

- **Energía eólica**

La energía eólica tiene como principio de funcionamiento el utilizar la energía cinética del viento para generar energía eléctrica.

Es importante determinar los perfiles de viento a los cuales se somete el aerogenerador, desde la base hasta la punta de pala. Los perfiles nombrados indican, por su parte, cómo la velocidad del viento aumenta a medida que lo hace la altura. Los obstáculos y accidentes geográficos cercanos a la zona de los aerogeneradores se han de tener en cuenta, pues afectan directamente a dichos perfiles de velocidad.

Para optimizar la localización y orientación de los aerogeneradores son de utilidad la rosa de frecuencias y la rosa de energía. La primera de ellas indica la frecuencia de proveniencia de una dirección en concreto del viento, mientras que la segunda indica el porcentaje de energía dependiendo de la dirección del viento. Además, cada aerogenerador tiene su propia curva de potencia, la cual indica aquellas velocidades a las cuales la máquina genera mayor potencia y, a partir de qué velocidad máxima es mejor que deje de producir, pues existe una bajada repentina de producción a partir de cierta velocidad límite.

Las principales ventajas de la eólica son su vida útil de alrededor de 20 años, ser una fuente de energía limpia e inagotable además de ser una de las renovables más maduras y desarrolladas, por lo que se conoce ya ampliamente su tecnología y funcionamiento. Por otro lado, sus desventajas principales son su impacto visual en el paisaje, el ruido que genera en caso de estar cercano a núcleos de población o la naturaleza variable del viento.

3. Consumos y cargas de la instalación

Para el dimensionamiento de la instalación híbrida renovable es necesario conocer el consumo medio de un hogar rural en el cual habitan 4 personas y de una granja de 2000 cabezas de ganado aproximadamente. Para ello, no se han consultado fuentes externas, si no que se ha obtenido la información a través de fuentes propias [8], ajustando así este estudio lo máximo posible a la realidad. Se han consultado tanto las facturas energéticas de una casa situada en zona rural habitada por 4 personas como las de una explotación ganadera en el mismo territorio de similar tamaño al estudiado. Se mostrarán a continuación dos gráficas que describirán el consumo energético mensual a lo largo del año en ambos casos, además de otra gráfica conjunta que aglutine ambos consumos, proyectando así el consumo total que nuestra instalación híbrida, junto a las baterías y el generador auxiliar han de cubrir.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Consumo vivienda (kWh)	332	322	280	316	168	318	337	308	309	292	355	415
Consumo granja (kWh)	1980	1615	1360	1165	1350	1225	1190	1200	1155	1620	1950	2550
Consumo total (kWh)	2312	1937	1640	1481	1518	1543	1527	1508	1464	1912	2305	2965

Tabla 1. Datos de consumo mensuales durante el año. (Fuente: Elaboración propia)

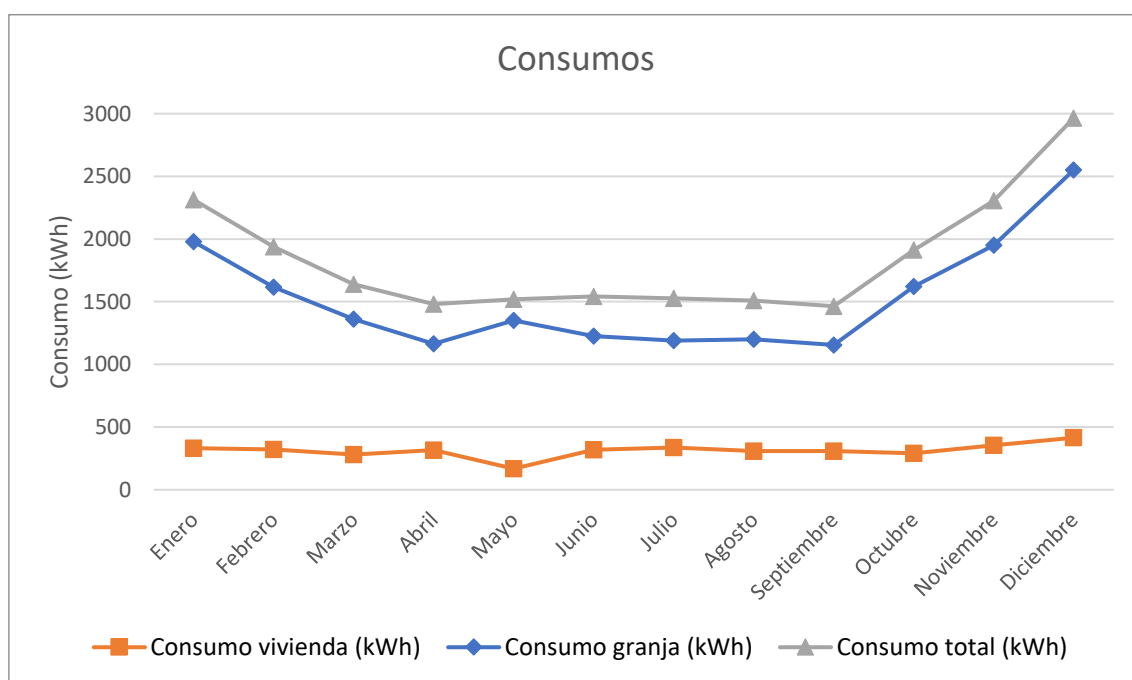


Figura 7. Gráfico de consumos mensuales durante un año. (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede observar en la figura anterior, el consumo sigue un patrón claro, incrementándose mucho durante los meses de invierno y disminuyendo durante el período estival. La razón de ello puede ser la necesidad de más luz en la vivienda durante el invierno debido a las escasas horas de sol y, en la granja, necesidad de luz, consumo mayor de la depuradora o energía para las bombas de calor, pues hay que garantizar el bienestar de los animales.

Además, se observa que el mes de diciembre es el más exigente en cuanto a demanda de energía se refiere. En este caso, se realizará un primer dimensionamiento de la instalación para dicho mes, garantizando así cubrir la demanda de los meses del año restante. Posteriormente, se optimizará con Optice dicho dimensionamiento de la instalación, pudiendo ser más eficientes energética y económicamente. Además, para dotar de mayor precisión al dimensionamiento de la instalación, se va a optar por estudiar los perfiles horarios de un día tipo de este mes, para así estudiar con mayor exactitud las horas en las que hay mayor producción o aquellas en las cuales sea más necesario el uso de baterías o el generador eléctrico auxiliar. A continuación, se muestra el perfil horario de consumo de un día tipo del mes de Diciembre:



Figura 8. Gráfico de perfil de consumo horario durante día tipo Diciembre. (Fuente: Elaboración propia)

4. Estudio del potencial solar y eólico en el emplazamiento mediante Ninja Renewables

La herramienta utilizada para estudiar el potencial solar y eólico en el lugar en el que se sitúan la granja y la casa con el fin de, posteriormente, realizar un primer dimensionamiento de la instalación renovable híbrida es Ninja Renewables [7]. Ninja Renewables es una web que trabaja con datos horarios, diarios y mensuales de producción energética solar y fotovoltaica, lo cual dota a la web de una amplia gama de datos ofrecidos. Además, la herramienta web te permite descargar dichos datos en una hoja Excel, lo cual simplifica mucho el análisis de los resultados de la simulación.

Una vez se ha incluido en el programa el lugar a estudiar, es necesario incluir otros datos para la simulación. En el caso de la energía fotovoltaica es necesario incluir la inclinación de los paneles solares, el acimut, la capacidad del sistema, el porcentaje de pérdidas o el tipo de seguimiento a realizar son datos necesarios para la simulación. Por su parte, en la energía eólica, es suficiente con confirmar el tipo de modelo de aerogenerador, su altura y la potencia máxima. Todos ellos son parámetros que se pueden ir modificando tantas veces como se quiera en las simulaciones según el objetivo de producción que se quiera obtener.

Renewables.ninja Help Downloads News

Solar PV

MERRA has global coverage, while CM-SAF covers only Europe but with higher data quality.

Dataset: MERRA-2 (global)

Select a year of data: 2020

Capacity (kW): 1

System loss (fraction): 0.1

Tracking: None

Tilt (°): 35

Azimuth (°): 180

Figura 9. Parámetros simulación fotovoltaica Ninja Renewables. (Fuente: Ninja Renewables [7])

Renewables.ninja Help Downloads News

Wind

Dataset: MERRA-2 (global)

Select a year of data: 2020

Capacity (kW): 1

Hub height (m): 80

Turbine model: Vestas V90 2000

Figura 10. Parámetros simulación eólica Ninja Renewables. (Fuente: Ninja Renewables [7])

5. Estudio de parámetros de la instalación para el dimensionamiento inicial

La primera aproximación de dimensionamiento de la instalación se realizará, como se ha comentado anteriormente, mediante el método del mes peor. Una vez obtenidos los datos de consumo horarios en un día tipo de diciembre, se procede a simular la producción energética solar y fotovoltaica mediante la herramienta Ninja Renewables, variando parámetros como inclinación de la placa fotovoltaica, capacidad de la instalación solar o potencia máxima de generador mini eólico. Otros parámetros como el porcentaje de pérdidas de la instalación fotovoltaica, el seguimiento a ejes de dicha instalación o la altura del aerogenerador se tomarán fijas.

A continuación, se explicarán los criterios que se han seguido para determinar cada uno de los parámetros nombrados anteriormente y que son necesarios para la simulación.

En cuanto a la potencia pico instalada de paneles fotovoltaicos, es una característica muy relacionada con el consumo, diario en este caso, y el dimensionamiento que se esté dispuesto a realizar del sistema de almacenamiento. En este caso se optará primero por un valor de 750Wp, aunque será susceptible de modificación. Dicho valor se ha tomado en base a la potencia pico comúnmente instalada para hogares familiares, 150-400Wp, si bien en este caso al tener también gran parte de consumo por parte de la granja se ha optado por casi triplicar los valores más habituales.

Por su parte, las pérdidas del sistema fotovoltaico, que determinan lo que se denomina “performance ratio” de la instalación, o rendimiento energético, vienen dadas por multitud de factores. En nuestro caso se ha optado por un valor de pérdidas totales del 12%, las cuales se dividen en pérdidas por dispersión de potencia en los módulos, pérdidas por incremento de temperatura de las células fotovoltaicas, pérdidas debidas a la acumulación de suciedad en dichos módulos, pérdidas por degradación de la instalación, pérdidas eléctricas y pérdidas por reflectancia.

Por último, en cuanto a generación fotovoltaica se refiere, se ha optado por instalar un sistema de seguimiento a dos ejes. La razón es que, si bien aumenta el precio de instalación y mantenimiento del sistema, se considera que dicho gasto se amortiza con el aumento de producción que ello genera, pues además es un caso con una generación y consumo mayores que un hogar doméstico normal, pues se ha de añadir a ello una granja porcina. Es decir, quizá si sólo fuera necesario cubrir el consumo de un hogar familiar no sería rentable asumir el coste de instalación y mantenimiento que este sistema supone, pero al tener una instalación de mayor importancia y potencia se considera que sí es necesario y rentable.

Por otra parte, se ha tenido que elegir el modelo de aerogenerador a instalar. Se ha de tener en cuenta que se trata de una instalación de energía mini eólica, las cuales se caracterizan por tener una altura de alrededor de 10 metros, bastante inferior comparado con un generador común eólico. Aquí es importante destacar que se ha observado que ninguno de los aerogeneradores ofrecidos por el software se acercaba a parámetros comunes de los mini aerogeneradores instalados habitualmente en hogares. Por tanto, se ha optado por elegir un modelo que se adapte a nuestra situación y realizar un método de cálculo alternativo, con las velocidades de viento de Ninja Renewables y la herramienta Excel. En este caso el modelo elegido ha sido el ATLAS 2.0, el cual tiene una potencia de 2 kW de generación [9].

5.1 Generación fotovoltaica

Para el dimensionado de la instalación fotovoltaica se ha realizado, en primer lugar, la elección del día de generación de energía del mes de diciembre. Para tomar un día que no difiera en exceso de los restantes del mes y, por tanto, sea representativo, se ha optado por graficar el factor de capacidad de los primeros 21 días del mes, pudiendo así observar qué día es propicio para el cálculo de generación. También se muestran los parámetros con los que se ha realizado la simulación en Ninja Renewables a través de Excel.

Input Parameters:	
API Key:	3a528ea528bb7e19fe55f8d4c16e044e203a97b2
Dataset:	merra2
Year:	2018 (2000–2018 for registered users)
Latitude:	40.93
Longitude:	0.674
Capacity:	0.75 (kW)
System Loss:	12 (%)
Tracking:	2 (axis)
Tilt:	35 (°)
Azimuth:	180 (°)

Figura 11. Parámetros escogidos para simulación de generación fotovoltaica en Ninja Renewables. (Fuente: Ninja Renewables [5])

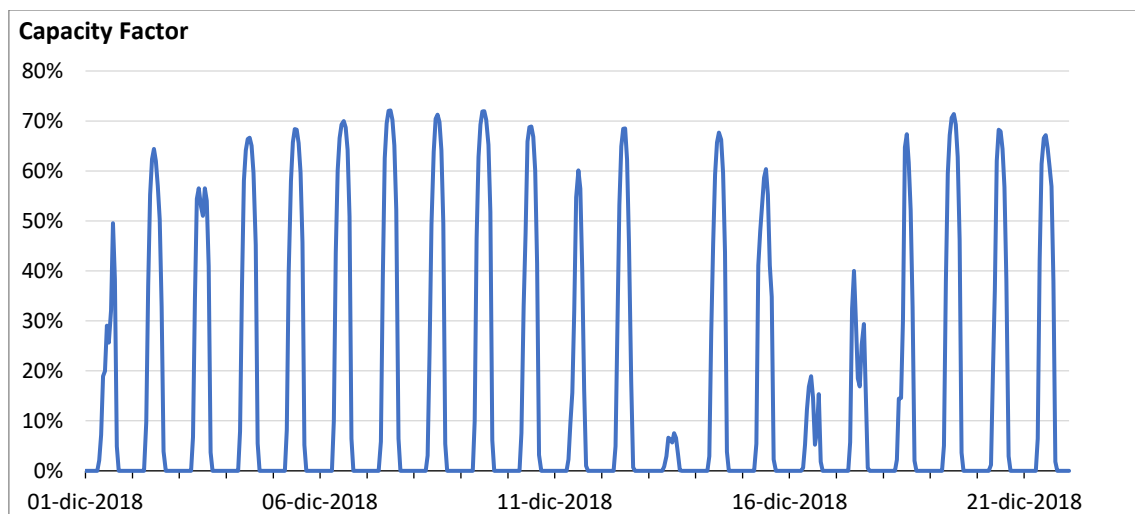


Figura 12. Factor de capacidad durante los días del mes de Diciembre. (Fuente: Ninja Renewables [5])

Se puede observar que, excepto 3 días de estos primeros 21 del mes, todos los restantes son similares. Así, se ha optado por elegir el día 4 de diciembre para la obtención de datos de la simulación, pues es un día representativo del mes. A continuación, se muestra la producción fotovoltaica según Ninja Renewables en dicho día.

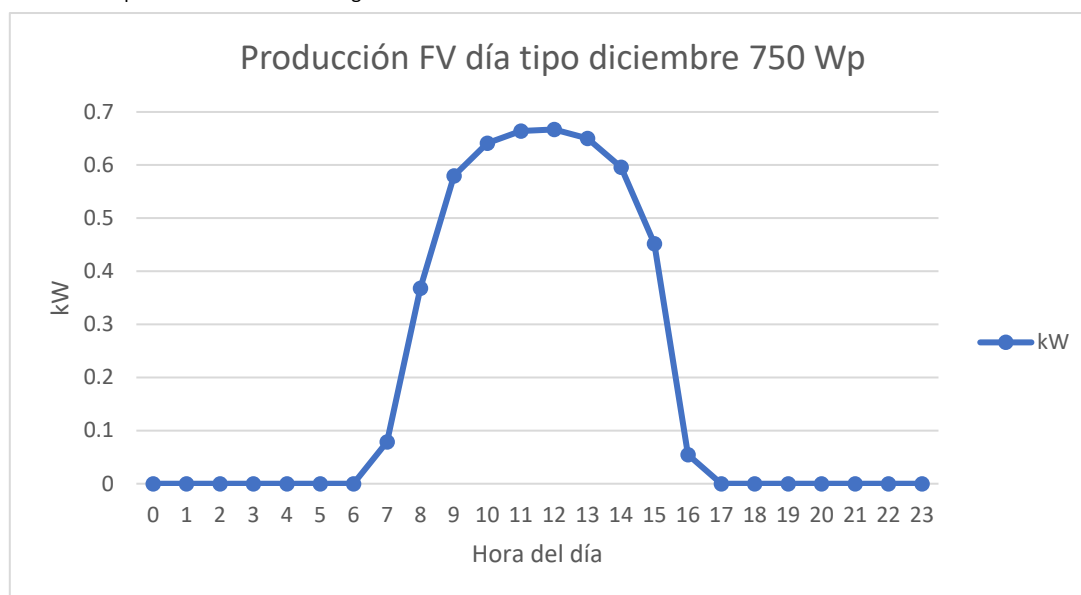


Figura 13. Perfil horario de producción durante el día tipo de Diciembre. (Fuente: Elaboración propia)

5.2 Generación eólica

Debido a que la instalación correspondiente se trata de un modelo de mini eólica, se ha observado que, en general, los aerogeneradores más comunes en este tipo de instalaciones son aquellos que poseen eje vertical, y no horizontal como suele ser habitual en los casos de grandes parques eólicos. Existen varias razones por las que este tipo de aerogeneradores son los más utilizados en el ámbito doméstico: tamaño inferior respecto a los aerogeneradores de eje horizontal, contaminación acústica prácticamente nula, facilidad de sujeción al suelo y colocación y eficiencia aceptable a velocidades de viento bajas. Por tanto, tras tomar la decisión de instalar un generador de tipo vertical, se ha optado por el modelo Atlas 2.0 [9], el cual es un aerogenerador vertical con turbina de tipo Savonius. Este modelo tiene una potencia nominal de 2 kW. Algunas de las características que nos han llevado a su elección han sido su escasa generación de ruido, siempre por debajo de 30dB, sus dimensiones y su precio, alrededor de 1300 euros, una opción realmente económica dentro del mercado de aerogeneradores. Además, las palas están hechas de aleación de aluminio con un especial diseño aerodinámico. El inversor que se instalará junto al aerogenerador es el recomendado por la propia casa de fabricación, es el modelo Growatt 2kW con un arranque a 50V [10].

Una vez se ha seleccionado el aerogenerador a instalar, se va a proceder al cálculo de generación de energía eléctrica que es capaz de generar durante un día tipo de diciembre, al igual que se ha realizado con la generación fotovoltaica. Cabe destacar que, en este caso, el procedimiento será distinto al realizado anteriormente ya que Ninja Renewables no ofrece la opción de cálculo de generación eléctrica con aerogeneradores de ámbito doméstico, pues solo ofrece modelos aptos para grandes parques eólicos. Aún así, se ha utilizado el software para obtener las velocidades de viento horarias durante todo el año, si bien se han utilizado sólo las del día elegido de diciembre para el posterior dimensionado [5]. A continuación, se muestra el perfil horario de velocidades de viento durante el día 4 de diciembre:

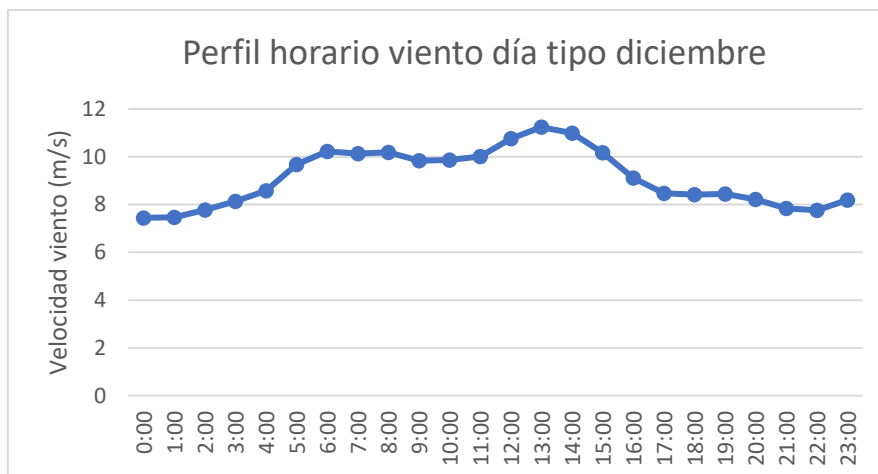


Figura 14. Perfil horario de velocidad del viento durante el día tipo de Diciembre. (Fuente: Elaboración propia)

Tras la obtención del perfil horario de viento durante este día, se procede a realizar el cálculo de la energía generada durante este día por el aerogenerador elegido. Para ello, y con los datos suministrados por Ninja Renewables, se ha calculado el valor medio y desviación típica de la velocidad del viento obtenida en el software. Posteriormente, para el cálculo de la potencia generada por el aerogenerador escogido, se ha de obtener la distribución de Weibull de dichos datos, para lo cual se calcula tanto el factor de escala como el factor de forma de esta misma distribución.

Distribución de Weibull	
Media	9.122375
Desviación típica	1.16362146
K	9.35848767
c	9.6099892

Tabla 2. Parámetros distribución de Weibull. (Fuente: Elaboración propia)

A partir del cálculo de los parámetros mostrados en la tabla anterior y un rango de velocidades escogido, se determina la distribución de Weibull de este viento en particular. En este caso, la velocidad del viento estará comprendida entre 0 m/s y 21 m/s, ya que la curva de potencia del aerogenerador nos muestra que la potencia extraída del aerogenerador se mantiene constante a partir de 20 m/s como se mostrará a continuación.

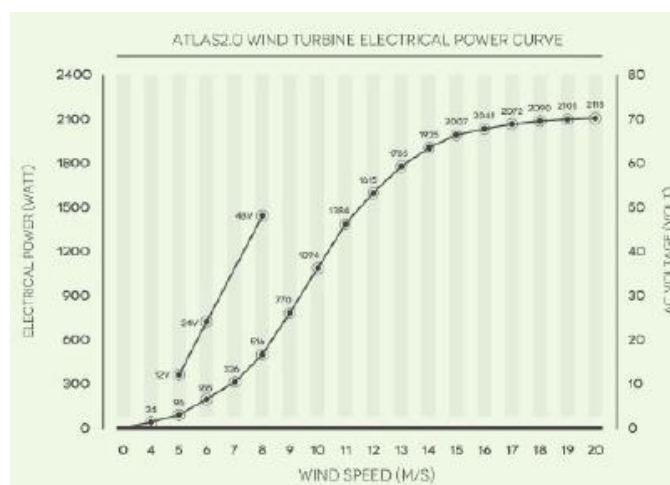


Figura 15. Curva de potencia generador Atlas 2.0. (Fuente: Tesup [9])

Una vez se ha obtenido la distribución de probabilidad de velocidad de viento, se procede a calcular la potencia media de estos valores del viento. Para el cálculo de esta potencia media se ha de multiplicar la potencia obtenida para cada una de las velocidades por la densidad de probabilidad de cada velocidad. La fórmula resultaría:

$$P_{media} = \frac{1}{2} * \rho * v^3 * St * p(v)$$

Una vez aplicada esta fórmula y, por tanto, conocida la potencia media para cada valor de viento, se procede a calcular la energía que puede suministrar el aerogenerador para cada una de las velocidades, para lo cual se necesitará el valor del coeficiente de potencia, C_p . Cabe destacar que, en este caso particular, la energía calculada es la potencia multiplicada por 24 horas, ya que los valores hallados de potencia son valores horarios, por lo que, al multiplicarlos por el tiempo correspondiente (24 horas), resulta el valor energético generado durante el período de un día.

$$P_v = \text{Energía} = P_v * C_p$$

Para poder utilizar las fórmulas anteriores se ha de tener en cuenta, además de los datos de velocidad de viento y densidad del aire, el modelo de aerogenerador y sus características. De ello dependerán los parámetros de superficie de incidencia, St , y coeficiente de potencia, C_p . Se adjunta a continuación una tabla con las características técnicas del modelo de aerogenerador escogido:

Características	
Número de palas	3
Altura de las palas [m]	1
Diámetro aerogenerador (D) [m]	1
Separación entre palas ϵ [m]	0.1
C_p (Savonius)	0.15

Tabla 3. Características aerogenerador Atlas 2.0. (Fuente: Tesup [9])

Para el cálculo de la superficie de incidencia del viento, St , se toma como área de incidencia dos rectángulos formados por la altura de las palas y dos tramos horizontales, que resultan de la resta de la separación entre palas respecto al diámetro total de la pala, como se adjunta a continuación en la vista en planta de la turbina:

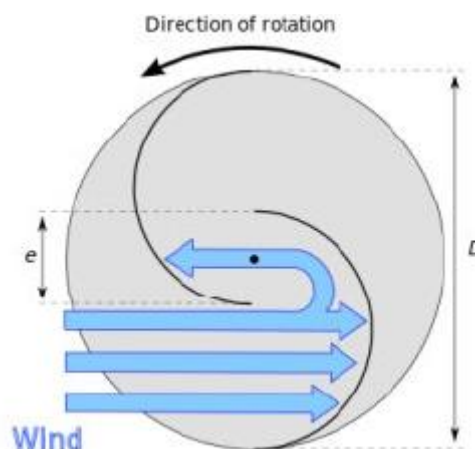


Figura 16. Vista en planta de aerogenerador. (Fuente: Wikipedia [11])

Resulta, por tanto, un área de incidencia de 0.9 m^2 .

En cuanto al valor del coeficiente de potencia, se ha de tener en cuenta el modelo de rotor que el aerogenerador lleva consigo. Como se ha nombrado anteriormente, el modelo de rotor de este aerogenerador es savonius, el cual posee un rango de C_p desde 0.02 hasta 0.15. Se ha optado por elegir el valor más alto, pues se supone que se trabajará en las mejores condiciones posibles, con una velocidad específica óptima según el gráfico que adjuntaremos a continuación.

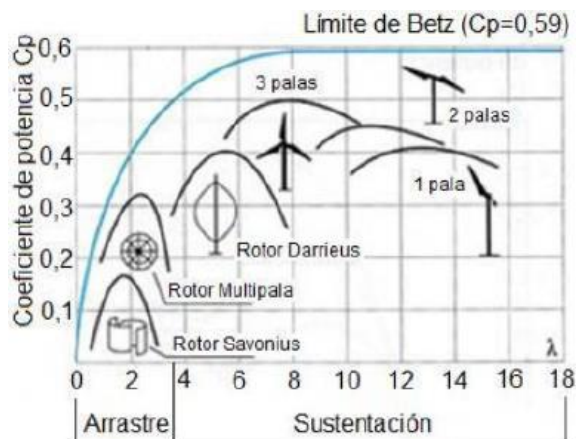


Figura 17. Gráfico de coeficiente de potencia vs λ para distintos aerogeneradores. (Fuente: Conocimiento eólico [12])

Una vez ya conocidos todos los valores que era necesario conocer y, realizada la distribución de probabilidad de velocidades de viento de Weibull, se realiza el cálculo de generación energética en un día tipo de Diciembre a través de la herramienta de Microsoft Excel. El valor de la energía eólica producida durante este día resulta de 3.15 kWh.

6. Dimensionado inicial de la instalación

Para el dimensionado inicial de la instalación, se han de tener en cuenta los datos obtenidos en los apartados anteriores de generación eólica, generación fotovoltaica y consumo durante un día de diciembre. De los datos obtenidos, se observa cómo la granja aglutina la mayor parte del consumo y que la generación eólica y fotovoltaica con los modelos de aerogenerador y placa elegidos son similares.

Para la decisión de qué porcentaje de demanda energética es cubierto por un tipo de energía u otra se ha de tener en cuenta dos factores.

La generación de energía eólica en invierno debería ser superior a la generación fotovoltaica, pues de lo contrario la instalación estaría muy sobredimensionada. Si durante el invierno la demanda tiene su pico y ésta se cubre en su mayoría con generación fotovoltaica, que durante este período genera escasa producción energética, significará que en el período de verano habrá demasiado excedente de generación en nuestro sistema. Por otra parte, la instalación fotovoltaica es mejor económicamente y posee mayor capacidad de producción, por lo que sería un factor a tener en cuenta. Por tanto, tras exponer los dos factores considerados más importantes para la decisión de qué porcentaje de energía se cubre con un tipo de energía u otra se ha decidido por cubrir un 50% de la demanda con energía eólica, 40% con generación fotovoltaica y 10% con el generador auxiliar o las baterías. Se deja el 10% de la demanda para el generador auxiliar ya que se está realizando el dimensionado con el método del mes peor y, si

ni en este caso es necesario el apoyo del generador auxiliar, quizá sería tener el generador auxiliar prácticamente obsoleto. Cabe destacar que estos valores son porcentajes orientativos ya que posteriormente se realizará la optimización del dimensionamiento de la instalación. Además, cabe mencionar que al tratarse de un terreno en el campo con gran extensión permite la instalación sin problema de gran número de placas o aerogeneradores.

El total de consumo durante un día tipo de diciembre es de 95.17 kWh siendo 10.17 kWh demandados por la casa y 85 kWh demandados por la granja porcina. A continuación, se mostrará en un gráfico el perfil de demanda horario durante dicho día:

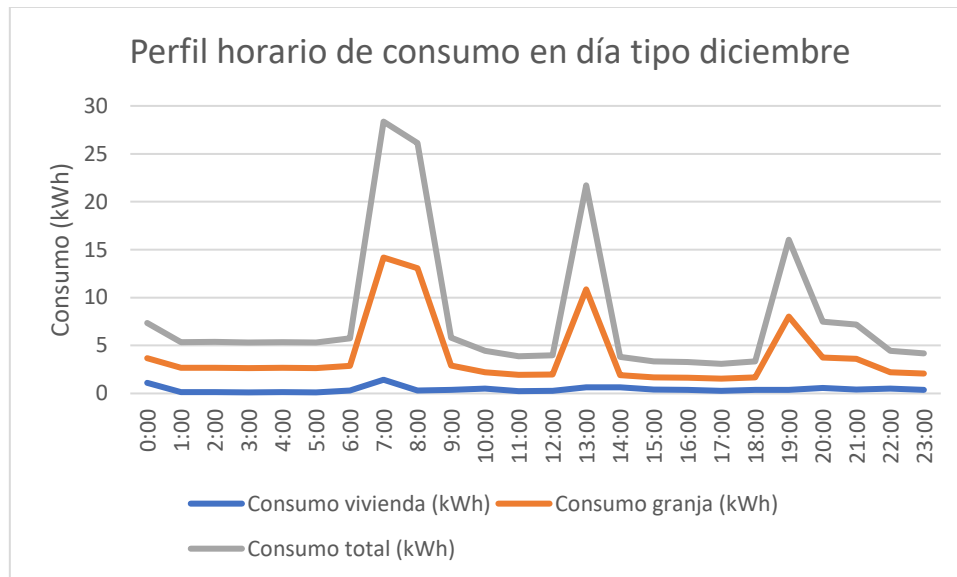


Figura 18. Perfil horario de consumo del día tipo de Diciembre. (Fuente: Elaboración propia)

Si se aplican los porcentajes comentados anteriormente para cubrir la demanda, 47.59 kWh han de ser generados mediante aerogeneradores eólicos, 38.07 kWh por generación fotovoltaica y 9.52 kWh serán cubiertos por el generador auxiliar.

Por otra parte, la generación de energía eólica y fotovoltaica con los modelos de aerogenerador y placa utilizados en los apartados anteriores durante este día es de 3.15 kWh y 4.75 kWh respectivamente.

Una vez ya conocidos los datos de demanda y generación energética se puede realizar el primer dimensionado de la instalación renovable híbrida.

En primer lugar, para hallar el número de aerogeneradores simplemente dividiremos la energía demandada entre la energía que es capaz de producir un aerogenerador durante un día. De esta manera, resulta que sería necesaria la instalación de los siguientes aerogeneradores:

$$\text{Número de aerogeneradores} = \frac{47.59 \text{ kWh}}{3.15 \text{ kWh}} = 15.11 \text{ aerogeneradores} = 15 \text{ aerogeneradores}$$

Posteriormente, para el dimensionado de la instalación fotovoltaica, se realizarán distintas simulaciones en el Excel de Ninja Renewables cambiando la potencia pico de la instalación. Así, cuando se consiga alcanzar una generación de 38.07 kWh durante un día se podrá estimar el número de paneles necesarios. Tras las necesarias simulaciones, se ha conseguido la generación fotovoltaica objetivo con una potencia pico de la instalación de 8.1 kWp. Una vez se ha realizado una primera aproximación de la potencia pico necesaria a instalar en este caso, se acude al

Estudio técnico para el suministro de energía mediante fuentes renovables a un criadero de cerdos

mercado y se compara los distintos paneles que ofrece. Finalmente, se elige el modelo de la marca Waaree-Autosolar 24V y 450Wp y silicio monocristalino.

El panel escogido presenta en su ficha técnica las características y curva característica tensión-intensidad que se mostrarán en las siguientes figuras:

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC						
TYPE	JAM72S20 -445/MR	JAM72S20 -450/MR	JAM72S20 -455/MR	JAM72S20 -460/MR	JAM72S20 -465/MR	JAM72S20 -470/MR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	445	450	455	460	465	470
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	49.56	49.70	49.85	50.01	50.15	50.31
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	41.21	41.52	41.82	42.13	42.43	42.69
Short Circuit Current(Isc) [A]	11.32	11.36	11.41	11.45	11.49	11.53
Maximum Power Current(Imp) [A]	10.80	10.84	10.88	10.92	10.96	11.01
Module Efficiency [%]	20.0	20.3	20.5	20.7	20.9	21.2
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of Isc(α_{Isc})	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of Voc(β_{Voc})	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of Pmax(γ_{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m², cell temperature 25°C, AM1.5G					

Figura 19. Características técnicas de panel fotovoltaico. (Fuente: Autosolar [13])

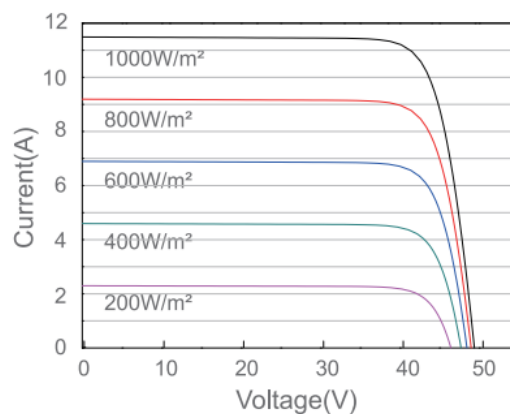


Figura 20. Curva I-V de panel fotovoltaico. (Fuente: Autosolar [13])

A continuación, se adjunta el perfil horario de simulación de generación fotovoltaica, si bien antes se va a realizar el cálculo de paneles fotovoltaicos a instalar:

$$\text{Número de paneles necesarios} = \frac{8100 \text{ Wp}}{450 \text{ Wp}} = 18 \text{ paneles}$$

El área necesaria para instalar los paneles sería la siguiente en este caso particular:

$$\text{Área paneles FV} = 18 \cdot (2,112 \cdot 1,052) = 39,99 \text{ m}^2$$

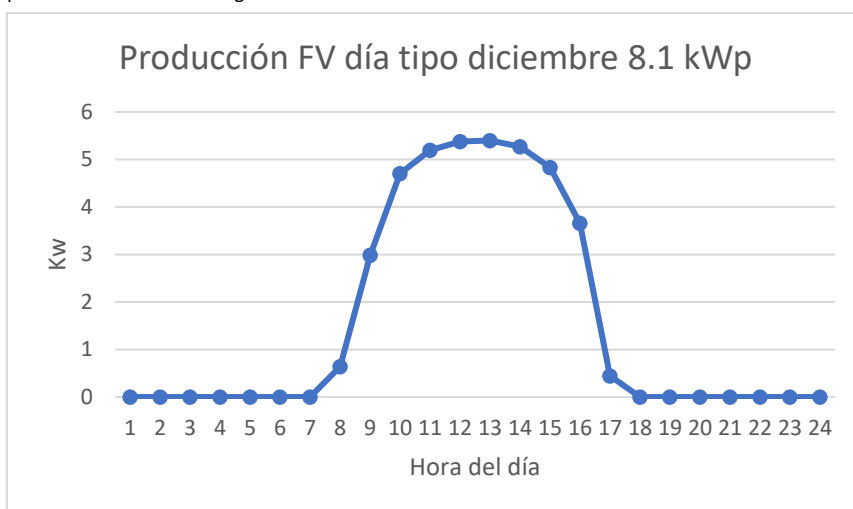


Figura 21. Producción fotovoltaica durante el día tipo de Diciembre. (Fuente: Elaboración propia)

Por último, cabe mencionar que lo restante de generación necesaria durante el día se deja para el generador auxiliar que será elegido posteriormente.

7. Elección de inversores, generador auxiliar y baterías

7.1 Inversores

Una pieza clave en la instalación renovable híbrida son los inversores, tanto para la energía fotovoltaica como para la energía eólica. Su función es la de convertir la corriente continua generada en corriente alterna. La corriente alterna de salida ha de ser muy similar a la que suministra la red eléctrica convencional para no dañar los aparatos eléctricos de la granja y del hogar.

En el caso de la energía fotovoltaica, el voltaje de entrada es 24V, pues viene dado por el modelo de panel solar elegido, y el voltaje de salida y frecuencia serán 24V y 50Hz respectivamente. Además de estos parámetros, hay otro parámetro clave para la elección del correcto inversor, la potencia mínima que ha de tener la capacidad de manejar el inversor.

Potencia inversor mínima = Potencia instalada/1.2 = $8.1 / 1.2 = 6.75\text{kW}$

Una vez se conocen las exigencias que debe cumplir el inversor a instalar, se ha elegido el modelo Victron Phoenix 24V [14]. Cabe destacar que, al igual que el modelo de panel solar elegido, es de la marca Waaree Autosolar, lo cual ha sido importante en esta decisión, para así completar una instalación con productos de un mismo fabricante. Este inversor es ideal para instalaciones fotovoltaicas que estén preparadas para el autoconsumo, lo cual es un hecho que ha favorecido su elección, además de poseer una alta eficiencia. Si bien su potencia nominal es de 4000W, el fabricante enuncia que hasta 6 unidades del inversor pueden ser conectadas en paralelo para alcanzar una potencia de salida superior. Por tanto, nuestro caso precisara de 2 inversores para obtener una potencia de salida de 8kW. El precio por unidad resulta de 1934 €.

Por otra parte, para el caso de la generación eólica se ha elegido el modelo de inversor que aconsejaba el fabricante del aerogenerador correspondiente. El inversor elegido es el modelo Growatt 2kW con arranque de 50V, el cual está tasado en 440,79 € [10].

7.2 Generador auxiliar

En una instalación desconectada de la red como es este caso, es importante ya no sólo el poseer equipos de almacenamiento de energía si no también tener a disposición un equipo generador de energía totalmente independiente de las condiciones climáticas, pues puede haber ciertas ocasiones en las cuales las baterías estén al límite de carga y no haya producción ni eólica ni fotovoltaica.

En general, para este tipo de instalaciones es mejor optar por generadores diésel en lugar de gasolina, pues tienen un mejor arranque a bajas temperaturas o tras un largo tiempo sin ser utilizado, lo cual es una característica importante en este caso.

Para la elección de la potencia del generador, se considera que el generador no debe trabajar a más del 80% de su potencia nominal para garantizar estabilidad de la corriente y evitar sobrecargas. En este caso, no se va a calcular numéricamente la potencia del generador, pues se adquirirá uno con valor de potencia similar a los habituales en instalaciones domésticas. La razón de ello es que ya se ha sobredimensionado el sistema y se han colocado baterías que cubren la demanda de todo un día, por lo que se considera que adquirir un generador muy potente supondría un gasto económico y energético innecesario. A pesar de ello, se realizará posteriormente la optimización del sistema.

Se adquirirá el generador diésel DG6000SE de 5300 W, cuyo precio es 1349 € [15].

7.3 Baterías

En este apartado se va a realizar tanto la elección del modelo de baterías como su dimensionamiento. Si bien se ha realizado un primer dimensionado de la instalación renovable con el método del mes peor y que, en principio, sería suficiente su generación para cubrir la demanda, hay que resaltar que no es del todo cierto esta afirmación. El principal problema reside en el hecho de que la generación de energía predomina las horas centrales del día y en cambio el perfil horario de demanda nos muestra picos durante las primeras y últimas horas del día. Es decir, si bien puede ser que la cantidad de energía generada diariamente sea suficiente para cubrir la demanda, éstas van desfasadas y es por ello que surge la necesidad de almacenar energía en las baterías.

El modelo escogido para este estudio es la batería estacionaria de 24V y 1000Ah de la marca Waaree-Autosolar [16]. El motivo es que se ha creído conveniente elegir todos los equipos de la misma marca comercial además de que es recomendada para sistemas híbridos y está caracterizada por una alta capacidad cíclica y tener un comportamiento de recarga excelente. Además, su voltaje es de 24V, valor adecuado para el inversor de potencia. La profundidad de descarga que permite la batería para su correcto funcionamiento es de hasta el 50%. El precio de este tipo de baterías es de 4837 €

A continuación, se va a realizar un dimensionamiento breve y aproximado de lo que requeriría la instalación. Cabe destacar que, aunque lo habitual es realizar un dimensionado de baterías para cubrir unos 3 o 4 días de autonomía, se realizará éste para solamente 1 día pues la instalación está dotada también con un generador auxiliar que podría cubrir necesidades puntuales.

$$\text{Capacidad necesaria} = \frac{\text{Energía total diaria}}{V * \frac{PD}{100}} * \text{Días autonomía} = \frac{(95170)}{24 * \frac{50}{100}} * 1 = 7930,83 \text{ Ah}$$

Por tanto, para alcanzar esa capacidad en nuestra instalación será necesario incluir 8 baterías del modelo elegido en paralelo y resultará un sistema de 24V y 8000Ah.

8. Inversión y análisis económico instalación híbrida tras primer dimensionamiento.

Una vez se ha realizado la elección de los equipos que conformarán la instalación híbrida, se va a realizar un cálculo de la inversión inicial necesaria y, posteriormente, se realizará un pequeño análisis de rentabilidad de cada una de las energías mediante una gráfica. Mediante dicho análisis se podrá observar si es adecuado el porcentaje de energía elegido a cubrir por parte de la energía fotovoltaica y de la eólica económicamente y, comprobar así, si la situación es de las óptimas, si bien esto se encargará posteriormente el software de optimización de corroborarlo.

Equipos	Precio
Panel FV	211,04 €/ud
Aerogenerador	1290 €/ud
Inversor Growatt 2kW	440,79 €
Inversor Victron Phoenix	1934,34 €/ud
Batería	4837 €/ud

Tabla 4. Precios unitarios de los elementos de la instalación. (Fuente: Elaboración propia)

Inversión inicial [€] = $211,04 \cdot 18 + 1290 \cdot 15 + 440,79 + 1934,34 \cdot 2 + 4837 \cdot 8 = 66154,19$ €

A continuación, se graficará la relación que existe entre euro invertido y magnitud de la instalación en cada una de las dos opciones de generación renovable que existen en este proyecto y así poder compararlas económicamente. Cabe resaltar que el gráfico se va a realizar con los precios indicados anteriormente además de añadir los respectivos inversores a cada una de las dos formas de generación de energía.

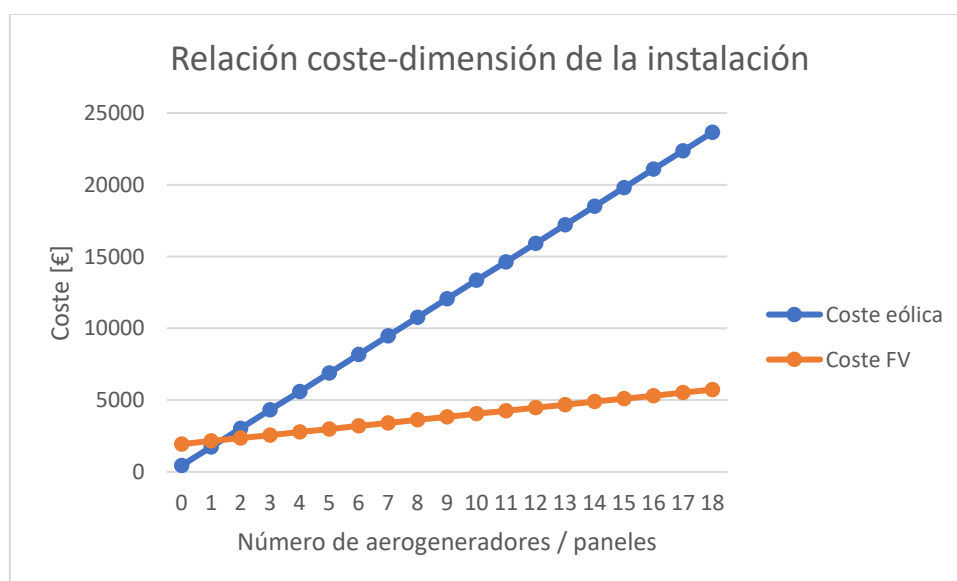


Figura 22. Relación coste vs dimensión de la instalación renovable. (Fuente: Elaboración propia)

De la gráfica se puede observar cómo el coste para una instalación de cierta magnitud es mucho menor para el caso de energía fotovoltaica. A pesar de que el coste del inversor es superior en el caso de la fotovoltaica, como se observa cuando hay 0 paneles o aerogeneradores, posteriormente cuando la se van instalando paneles o aerogeneradores la eólica supera con creces a la fotovoltaica. Por tanto, desde el punto de vista económico es sin duda más favorable dimensionar la instalación para cubrir la mayoría de la demanda con energía fotovoltaica. Sin embargo, se decidió no realizarlo de este modo debido a lo que ya se explicó en un apartado anterior, pues si toda la demanda queda cubierta con fotovoltaica en invierno resultaría una instalación sobredimensionada y que, en época estival, tendría unos excedentes que no habría capacidad alguna de aprovechar. A pesar de este rápido análisis, se estudiará en el siguiente apartado el dimensionamiento óptimo de la instalación, utilizando para ello el software Optice.

9. Optimización de la instalación mediante Optice

Optice es un código de Matlab para simulación, optimización y diseño de instalaciones híbridas renovables para sistemas conectados o desconectados a red [17]. Dicho código, cuando trabaja en la parte de optimización, trata de minimizar el precio del ciclo de vida de la instalación y maximizar a su vez la producción energética renovable. En primer lugar, se realiza una simulación con los parámetros del sistema fotovoltaico, aerogeneradores, baterías y generador diésel. Dicha simulación ofrece datos de interés como son el consumo del generador diésel en litros, la producción energética horaria tanto del sistema fotovoltaico como de la instalación eólica, el coste del ciclo de vida de cada una de las instalaciones o la fiabilidad de la instalación conjunta, que se mide como el número de horas totales al año que la energía fotovoltaica junto a la eólica y al generador elegido son capaces de cubrir la demanda que hay en cada una de las 8760 horas anuales. Tras la realización de la simulación, que posteriormente habrá que optimizar, los resultados obtenidos considerados más relevantes son los siguientes:

Variable	Valor
Fiabilidad de la instalación	4022 horas anuales sobre 8760 totales
Coste ciclo de vida instalación FV	1045,6 \$
Coste ciclo de vida instalación eólica	4884,2 \$
Coste ciclo de vida generador diésel	66016 \$
Coste ciclo de vida batería	50703 \$
Coste ciclo de vida instalación	122650 \$

Tabla 5. Resultados simulación Optice. (Fuente: Optice [17])

De los resultados anteriores, obtenidos tras la primera simulación, cabe destacar que la fiabilidad de la instalación no es adecuada, pues sólo 4022 horas sobre 8760 horas. Es decir, sólo un total de 46% de las horas del año son cubiertas adecuadamente por la instalación, por lo que se puede suponer que la instalación inicial no llega a las dimensiones requeridas para poder satisfacer todas las necesidades de demanda de la casa y la granja.

Además de estos datos, la simulación nos ofrece otros datos horarios interesantes, como producción energética horaria de cada una de las dos energías renovables, consumo del generador diésel o consumo energético total. Dichas gráficas se mostrarán en anexos debido a la imposibilidad de mostrarlos en una tabla.

Tras la simulación del caso a tratar se realiza la posterior optimización. El modelo de optimización de Optice trata de maximizar la fiabilidad del sistema al mismo tiempo que reducir

el coste total del ciclo de vida de la instalación. Es decir, trata de maximizar el número de horas anuales que las energías renovables junto al generador pueden cubrir la demanda total de la casa más la granja al mismo tiempo que intenta que sea una instalación global lo más económica posible. Dichos parámetros suelen ser inversos, pues a mayor coste de la instalación, más productiva y potente es y por ello más fiable, pero la optimización trata de llegar a un equilibrio entre ambos parámetros. Para ello el software utiliza un algoritmo genético, el cual es un método de optimización metaheurístico que se utiliza para resolver problemas de este tipo. Además, el algoritmo genético utiliza dentro de él una “fitness function”, la cual define las variables de interés y los objetivos que necesitan ser optimizados.

En este caso en particular, las variables de interés son el ángulo de inclinación de la placa fotovoltaica, el ángulo de azimuth, potencia nominal de la instalación fotovoltaica, altura del aerogenerador, potencia nominal del aerogenerador y capacidad de batería. Para la optimización, se han de proponer al software los límites inferior y superior de estas seis variables, límites los cuales se consideren interesantes para la instalación. Por su parte, las variables objetivo a optimizar son el coste del ciclo de vida de la instalación y el número de horas anuales que la instalación es capaz de satisfacer la demanda eléctrica total. En particular, en este estudio se busca que la fiabilidad sea total, pues al ser un sistema aislado de red no se puede permitir que la instalación diseñada no sea capaz de abastecer a la granja y a la casa todas y cada una de las horas de un año pues se dejaría sin servicio a los ocupantes del emplazamiento.

Puesto que se trata de una optimización con más de una función objetivo a maximizar o minimizar, en este caso 2, se trata de una optimización multiobjetivo. Por tanto, no se obtendrá una única solución como si ocurriese si se tratara de optimizar un único parámetro, si no que se obtendrán múltiples soluciones que respeten y busquen el equilibrio entre los objetivos de las dos funciones a optimizar. Para lograr esto, es de utilidad el concepto de optimalidad de Pareto, el cual ofrece múltiples soluciones a un problema de este tipo.

Tras la optimización, se recogen las 200 soluciones que forman el frente de Pareto, además de las 6 variables de interés que van asociadas a cada una de esas 200 parejas de soluciones. El óptimo de Pareto se basa en el hecho de generar beneficio o máxima productividad con algo en concreto sin afectar a la otra variable [18]. Es lo que se busca en este caso, el máximo bienestar económico, minimizando el LCC, sin afectar a la producción de energía, con máxima fiabilidad. Esto se puede observar en la gráfica realizada a través de Matlab que se muestra a continuación:

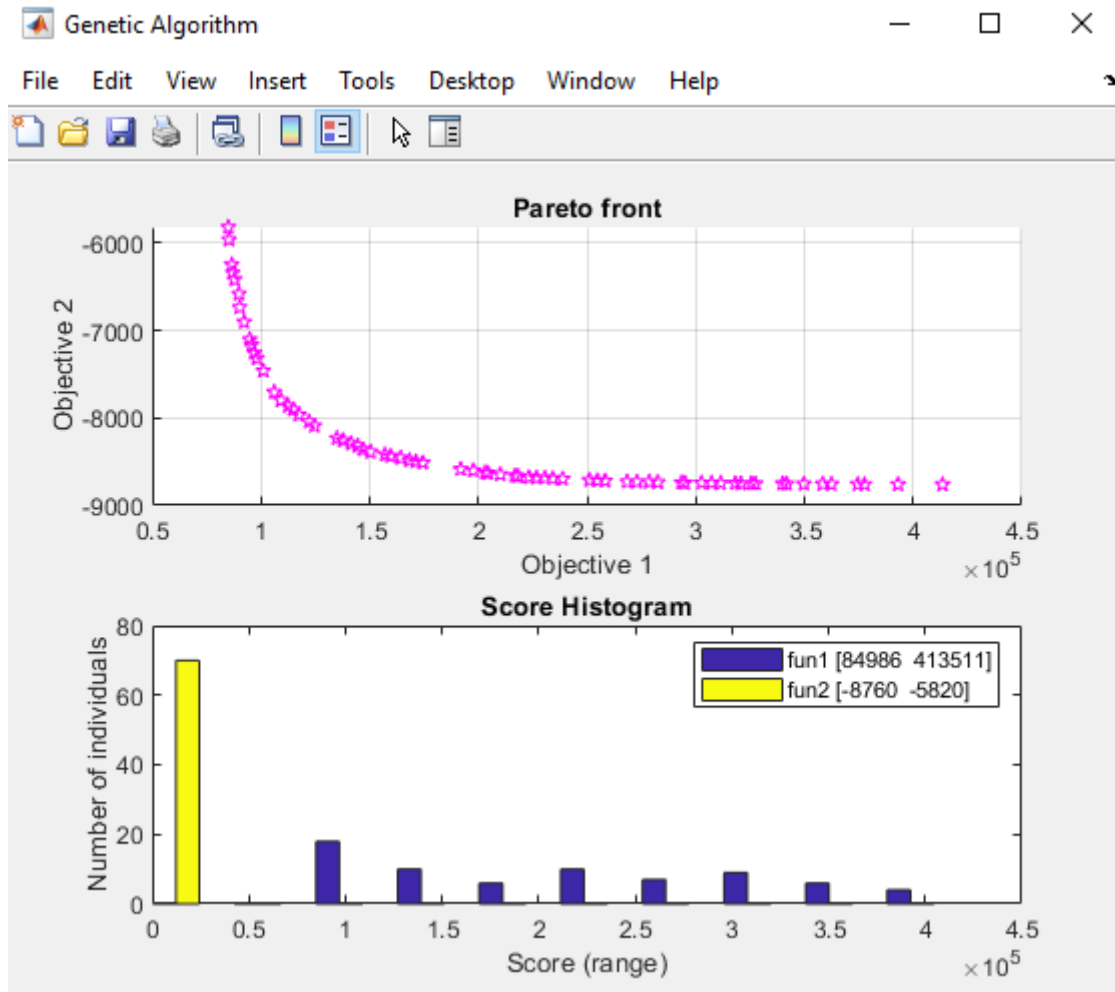


Figura 23. Soluciones frente de Pareto e histograma tras la optimización del sistema mediante Optice. (Fuente: Optice [17])

En la figura anterior se puede ver una representación de la solución de Pareto y un histograma con los máximos y mínimos valores de las soluciones propuestas durante la optimización. Se puede observar que la solución que precisa este estudio está dentro de esta simulación, pues la función 2 alcanza un mínimo de -8760 horas, horas totales durante el período temporal de un año. En cuanto al gráfico del frente de Pareto, el objetivo 1 correspondería al coste total del ciclo de vida de la instalación mientras que el objetivo 2 correspondería al número de horas que la instalación sería capaz de abastecer las necesidades energéticas.

Para la comprensión de este gráfico cabe decir que los puntos que están más a la izquierda del eje de abscisas son aquellos que, aunque buscan el equilibrio entre ambas soluciones, le otorgan mayor importancia al tema económico. Si se observa en detalle, dichos puntos presentan menor coste económico, pero también menor fiabilidad. Por el contrario, aquellos puntos situados en la zona derecha del gráfico son aquellos que dan mayor importancia a las horas de fiabilidad, si bien el coste económico es mayor. Cabe destacar aún así que dicha solución siempre busca el equilibrio óptimo entre ambos parámetros.

Tras la correspondiente simulación y observando la gráfica anterior, se observa que la solución optimizada según Pareto para una fiabilidad total durante el año tendría un coste inicial de 387203,43 €. Esto supone un coste muy elevado para lo que supone una instalación de este estilo, además que incluso supera al ahorro que supone respecto a construir una instalación para conectarse a la red y pagar de la red la energía necesaria. Si se analiza la gráfica, se observa que debido a cómo trabaja el software siguiendo el patrón de Pareto, para fiabilidades superiores a 8400 horas la curva disminuye mucho su pendiente, lo que supone incrementar mucho el coste económico de la instalación para incrementar mínimamente las horas de fiabilidad de la misma. Es decir, el programa sobredimensiona en exceso lo que es la instalación fotovoltaica, eólica y baterías, sin tener apenas en funcionamiento el generador diésel para llegar a la fiabilidad total, lo cual supone un gasto excesivo para lo que puede ser la instalación deseada.

Debido a lo explicado anteriormente, para el dimensionado final de la instalación se ha optado finalmente por el siguiente método. Se optimizará la solución del problema, a partir de la cual se elegirá un punto de la solución de Pareto mostrada que resulte fiable a la vez que posea sentido económico. Posteriormente, estableciendo dichos valores escogidos como base, se simulará en Matlab el comportamiento real del sistema. Una vez simulada la situación real, se comprobará su fiabilidad y, si resulta que quedan pocas horas para obtener la fiabilidad total, éstas se completarán manualmente suponiendo que el generador diésel trabaja a máxima potencia, lo cual nos asegura que la demanda en ese tiempo quedaría cubierta.

Se ha realizado de nuevo la optimización del problema, con los límites de los parámetros propuestos más ajustados a lo que sería la instalación deseada y resulta la siguiente solución de Pareto:

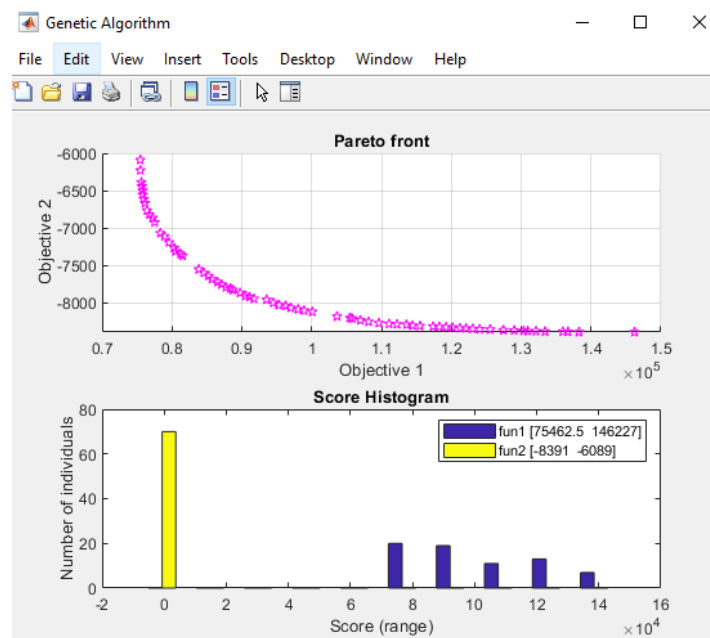


Figura 24. Soluciones frente de Pareto e histograma tras la optimización del sistema mediante Optice. (Fuente: Optice [17])

Tras observar la representación de soluciones posibles, se opta por escoger una solución que esté alrededor de los 110000\$ de coste, pues a partir de dicha zona la pendiente de la curva disminuye mucho y ocurre el hecho que se ha comentado en los párrafos anteriores. La solución escogida como base para la posterior simulación posee los siguientes valores:

Total LCC [€]	Fiabilidad [horas]	Ángulo de inclinación [°]	Ángulo de azimuth [°]	Potencia nominal FV [Wp]	Altura aerogenerador [m]	Potencia nominal aerogenerador [W]	Capacidad baterías [Ah]
102646,97	8270	35,05	308,54	8246,7	23,99	22058	7950,6

Tabla 6. Valores solución Optice tomada como referencia. (Fuente: Optice [17])

10. Dimensionado final de la instalación renovable optimizada

Una vez obtenidos los valores base de la instalación mediante la correspondiente optimización, se va a realizar la simulación para obtener mediante ella finalmente el dato de fiabilidad de la instalación, el cual se expresa en horas. A continuación, se muestra una imagen con los valores finales introducidos como parámetros de simulación.

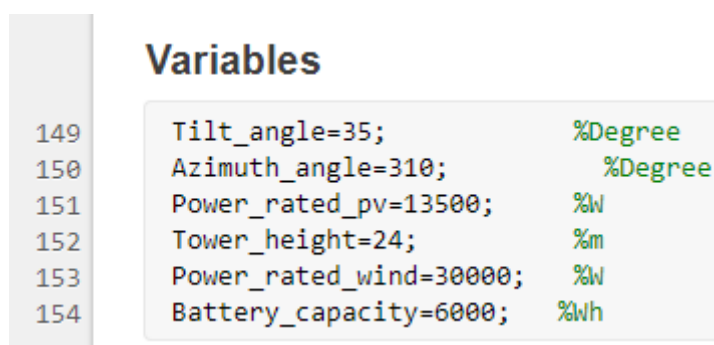


Figura 25. Parámetros finales de la instalación para la simulación en Optice. (Fuente: Optice [17])

Cabe destacar que, para intentar obtener mayor fiabilidad, se ha optado por incrementar los valores de potencia instalada fotovoltaica y potencia de aerogenerador.

Tras la simulación correspondiente, la fiabilidad del sistema resulta ser 8734 horas. Es decir, sólo restarían 26 horas para obtener la fiabilidad total durante un año completo. Dichas horas se cubrirán como se ha explicado anteriormente, trabajando el generador diésel a plena potencia para así asegurar que la demanda está bien cubierta.

10.1 Dimensionado de la instalación fotovoltaica

Para el caso de la instalación fotovoltaica, se decide instalar los mismos paneles con los que se realizó el primer dimensionamiento de la instalación.

La potencia pico de la instalación fotovoltaica ha de ser 13500 Wp. Con este dato y la potencia nominal de cada panel fotovoltaico se va a calcular el número de paneles necesarios.

$$\text{Número de paneles fotovoltaicos} = \frac{13500 \text{ Wp}}{450 \text{ Wp}} = 30 \text{ paneles}$$

El área necesaria para instalar los paneles sería la siguiente en este caso particular:

$$\text{Área paneles FV} = 30 \cdot (2,112 \cdot 1,052) = 66,65 \text{ m}^2$$

Si bien esta sería el área necesaria para colocar todos los paneles pegados y de forma horizontal, en este caso se necesitaría un área algo superior pues se deben evitar sobre todo efectos de sombreado de una placa sobre otra debido a la inclinación de los paneles, lo cual

afectaría a la producción energética del sistema. A pesar de ello, no se va a calcular el área necesaria, pues se trata simplemente de una estimación ya que el terreno en el cual se van a colocar los paneles no presenta problemas de espacio al ser una parcela rural de grandes dimensiones. Por tanto, se colocarán los paneles en una zona de alrededor de la casa o la granja con un área algo superior a 66,65 m².

Además del número de paneles fotovoltaicos, también se ha de dimensionar de nuevo el número de inversores a instalar junto a dichos paneles para un correcto funcionamiento de la instalación.

Potencia inversor mínima = Potencia instalada/1.2 = 13.5 / 1.2 = 11.25 kW

Finalmente se ha optado por un inversor fotovoltaico de la marca SMA, reconocida en el mercado de instalaciones renovables híbridas. El modelo es el Sunny Tripower 8.0 Smart Energy [19], con capacidad para instalaciones de 12 kWp.

10.2 Dimensionado de la instalación eólica

En cuanto a la instalación eólica, se va a optar por la instalación de un modelo distinto al que se utilizó en el dimensionamiento inicial de la instalación. En este caso, al tener como parámetros una altura de 24 metros y una potencia de 30 kW se decidió buscar en el mercado un modelo de dicha altura y que cumpliera dicha potencia. Finalmente se eligió el modelo Aeolos H-30kW de la marca Wind Turbine Star [20]. Dicho modelo es totalmente distinto al elegido inicialmente, tal y como se puede suponer observando la altura y potencia requeridas actualmente. Se trata de un aerogenerador tripala de eje horizontal, que el fabricante recomienda explícitamente para su instalación en grandes granjas. Además de cumplir los parámetros de altura y potencia, cumple también el hecho de no exceder el límite de decibelios que puede ser perjudicial tanto para los animales como las personas, lo cual es muy importante.

A continuación, se va a calcular el número necesario de aerogeneradores en la instalación.

$$\text{Número de aerogeneradores} = \frac{30000 \text{ W}}{30000 \text{ W}} = 1 \text{ aerogenerador}$$

El área necesaria para colocar el aerogenerador en este caso es poco relevante, pues al ser un solo aerogenerador de eje horizontal no ocupa demasiado en el terreno. Simplemente se deberá tener en cuenta el hecho de intentar colocar dicho aerogenerador en una zona lo más alejada posible a la casa y a la granja, para evitar problemas de obstáculos que afecten a los perfiles de viento y minimizar al máximo el posible ruido ocasionado por el aerogenerador. Además, el fabricante nos proporciona el precio y modelo de inversor recomendado para la conexión “off grid” de su propio producto, por lo que finalmente será el inversor elegido [20].

10.3 Dimensionado del sistema de baterías

Como último elemento de la optimización resulta el sistema de baterías necesario para la instalación. En este caso la capacidad necesaria de baterías es de 6000 Ah. Al igual que en los dos apartados anteriores, se opta por el mismo modelo de baterías que en el primer dimensionado.

La batería seleccionada es de 24V y 1000Ah. Para conseguir la capacidad calculada por Optice se colocarán 6 baterías de las mismas en paralelo, consiguiendo así un sistema de baterías de 24V y 6000Ah [16].

10.4 Elección final del generador diésel auxiliar

Finalmente, se ha optado por adquirir un generador diésel monofásico más potente que el elegido durante el dimensionado inicial de la instalación, además de otro generador diésel auxiliar de la misma marca por si hubiera alguna avería o rotura en el otro generador. Ambos serán monofásicos. El generador diésel principal de nuestra instalación será el modelo DHY12000XSET [21], el cual tiene una potencia de 10kW y está valorado en 5582,21€. Por otra parte, el generador auxiliar es el modelo DHY6000LEK [22], cuya potencia es de 5kW y un precio de 1966,25€.

La decisión final de adquirir estos generadores se ha debido al hecho de que se ha decidido cubrir la demanda de la instalación durante unas pocas horas del año solamente a través de los generadores. De las 8760 horas del año, la hora de mayor demanda supone 14,35 kW, por lo que en caso de que dicha hora coincidiese con aquellas en las cuales la generación renovable y almacenamiento de baterías fueran nulos se podría cubrir con ambos generadores funcionando, lo cual asegura la fiabilidad de la instalación.

10.5 Inversor de conexión y control general de la instalación

Para completar finalmente la instalación, se va a instalar un inversor que realiza las funciones de conexión de ambos tipos de energía con la casa y la granja además de gestionar y controlar el conjunto baterías, generador diésel y energías renovables. Se ha visto esta opción en la web de SMA y se ha considerado conveniente su instalación para este caso en particular.

El modelo elegido finalmente es el Sunny Island 4548US, el cual es válido para un rango de potencia de 2 hasta 100 kW. Su precio es de 2929,29€ [23].

11. Análisis económico de la instalación final

Una vez se ha realizado el dimensionado final de la instalación se va a proceder al análisis económico de la instalación global en su conjunto.

La instalación está compuesta finalmente por 30 paneles fotovoltaicos de la marca Waaree-Autosolar, 1 aerogenerador del modelo Aeolos-H30, 6 baterías de la marca Waaree-Autosolar, 2 generadores diésel distintos de la marca Hiunday y 3 inversores distintos.

A continuación, se mostrará una tabla resumen con los elementos nombrados anteriormente, las unidades requeridas, su precio por unidad, precio total y años de vida útil estimados para cada uno de ellos.

Elemento	Nº de unidades	Coste unitario [€]	Coste total [€]	Años vida útil
Paneles FV	30	211,04	6331,20	25
Aerogenerador	1	28131,45	28131,45	25
Batería	6	4837	29022	7
Generador DHY12000	1	5582,21	5582,21	15
Inversor eólico	1	8383,55	8383,55	15
Inversor FV	1	2079,00	2079,00	15
Inversor Sunny Island 4548US	1	2929,29	2929,29	15
Generador DHY6000	1	1966,25	1966,25	15

Tabla 7. Precios, años de vida y número de unidades de elementos de la instalación. (Fuente: Elaboración propia)

Una vez obtenidos los costes que supone la adquisición inicial de los equipos de la instalación, será necesario para el análisis económico de la inversión tener en cuenta un cierto gasto de mantenimiento de la instalación de periodicidad anual, junto a las horas anuales que se ha de cubrir la demanda restante con el generador diésel trabajando a plena potencia. Además, habrá que calcular también los gastos que supondrá la adquisición de los equipos que queden obsoletos debido a que su vida útil sea menor que la vida útil del proyecto. Cabe destacar que la vida útil de la instalación global está estimada en 25 años.

En primer lugar, y con los datos de la tabla anterior se va a calcular el coste de la inversión inicial de la instalación. Cabe destacar que no se tienen en cuenta los costes de instalación porque se considera que serían compensados con precios más bajos de los equipos en caso de que se contactase con una compañía instaladora. Es decir, si se contactase con una compañía instaladora, habría que asumir los costes de mano de obra de la misma pero a su vez conseguiría precios más baratos de los equipos debido a contactos que mantienen con los proveedores. Posteriormente, y realizando los cálculos y análisis pertinentes, se calculará el VAN de la misma.

Inversión inicial [€] = 6331,20 + 28131,45 + 29022,00 + 5582,21 + 8383,55 + 2079,00 + 2929,29 + 1966,25 = 84424,95 €

Se ha de tener en cuenta que los gastos de mantenimiento anuales se van a estimar con valor del 1% de la inversión inicial.

Coste de mantenimiento anual = 844,25 €

Por su parte, el gasto anual que supondrán las 26 horas que seguro el generador diésel DHY12000X [21] trabajará a plena potencia será:

Coste generador diésel anual = 26 horas · 10 kW · $\frac{1}{10 \text{ kWh/l}}$ · 1,447 €/l = 37,62 €

El precio del diésel viene dado por el mercado y consultado en web [25].

Para los cálculos de parámetros económicos nombrados anteriormente, es necesario estimar los beneficios económicos que la instalación proporciona anualmente. En este caso en particular, los beneficios vendrán dados por el ahorro que supone el hecho de autoabastecerse energéticamente frente al caso de comprar la energía eléctrica a la red, además de no tener que sumir el gasto de llevar el cableado de la red hasta el emplazamiento y construir un centro de transformación propio para poder consumir la energía.

El gasto anual energético total en la granja y en la casa toma un valor de 22112 kWh. Si se toma como precio de la electricidad 0,35 €/kWh, precio medio de la energía en España en el día 29 de marzo de 2022 según REE [24], el ahorro anual es de 7739,2 €. Además, el ahorro de construir un centro de transformación propio y llevar una línea aérea al emplazamiento se va a considerar como beneficio inicial en el año 0. Es decir, lo que se ahorra al poner en marcha la instalación en sus primeros instantes de vida respecto a si se optara por conexión a red. Se toma para ello como referencia un TFG que estudia un caso similar al nuestro y proporciona el coste económico que supone tanto llevar la línea aérea como construir el centro de transformación propio [26].

Ahorro inicial = 41282,62 + 39274,59 = 80557,21 €

Además, como valor de tasa de descuento para el VAN se tomará un 8%.

Una vez establecidos los valores de los parámetros que son necesarios para calcular el VAN de la inversión, se va a proceder a su cálculo, para el cual se utilizará la siguiente fórmula [27].

$$VAN = -D_0 + CF \left[\frac{1 - (1+k)^{-n}}{k} \right] > 0$$

Figura 26. Fórmula del VAN. (Fuente: César Castillo López [27])

De la fórmula anterior, D_0 corresponde a la inversión inicial, CF sería el flujo de caja anual, k sería la tasa de descuento y n la vida útil del proyecto.

Dicha fórmula es válida en nuestro caso porque los flujos de caja son constantes anualmente. Cabe añadir a dicha fórmula los desembolsos que habrá que realizar durante la vida del proyecto para renovaciones de equipos. Para ello bastará con dividir el coste de adquisición entre $(1+k)^n$.

$$VAN = -84424,95 + 80557,21 + (7739,20 - 881,87) \cdot \frac{1 - (1+0,08)^{-25}}{0,08} - \frac{29022}{(1+0,08)^7} - \frac{29022}{(1+0,08)^{14}} - \frac{29022}{(1+0,08)^{21}} - \frac{5582,21}{(1+0,08)^{15}} - \frac{8383,55}{(1+0,08)^{15}} - \frac{2079}{(1+0,08)^{15}} - \frac{2929,29}{(1+0,08)^{15}} - \frac{1966,25}{(1+0,08)^{15}} = 30151,16 \text{ €}$$

El VAN en este caso resulta ser positivo, mayor que 0, lo que indica que el proyecto es rentable.

12. Modo de conexión de los distintos elementos de la instalación

Hasta el momento, en el presente trabajo simplemente se han expuesto las características técnicas de los elementos de la instalación y los cálculos correspondientes de consumos y necesidades energéticas del emplazamiento. En este apartado se va a mostrar brevemente la viabilidad técnica de la instalación. Una vez se tienen definidos los elementos que forman la misma, ha de ser posible conectarlos entre ellos y realizarlo de manera correcta para que el funcionamiento del proyecto se lleve a cabo.

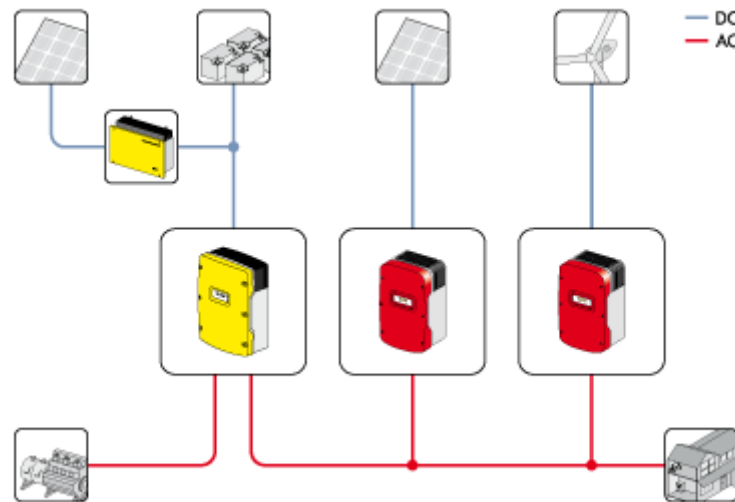


Figura 27. Modo de conexión de la instalación híbrida. (Fuente: SMA [19])

En la figura anterior se pueden observar los dos inversores vinculados tanto a la energía eólica como a la solar, que convierten la corriente continua en alterna para posibilitar el uso doméstico, como el inversor que está conectado a las baterías y al generador auxiliar, que además de adecuar la corriente para su posterior utilización, también realiza la función de inversor inteligente y controla hasta qué punto pueden descargarse las baterías o cuando es necesario conectar el generador auxiliar. Este último inversor es muy importante de cara a la eficiencia de la instalación y en este caso sería el Sunny Island 4548 US [19].

Sería esta la forma en la que nuestra instalación sería conectada con el objetivo de buscar siempre el correcto funcionamiento y máxima eficiencia energética.

13. Conclusiones

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado era estudiar la viabilidad técnica y económica de una instalación híbrida renovable aislada de la red eléctrica junto a un grupo de baterías y un generador auxiliar con el objetivo de poder autoabastecer una vivienda familiar y una granja porcina de tamaño medio. El planteamiento del primer dimensionamiento de la instalación para, posteriormente, realizar una optimización y simulación ha permitido seleccionar la instalación global óptima para el caso actual.

En primer lugar, se realizó mediante Ninja Renewables un estudio del potencial solar y eólico del emplazamiento para posteriormente realizar un primer dimensionado de la instalación. Además, para ello también se utilizaron datos de consumo de viviendas y granjas tipo que fueron obtenidos manualmente de facturas propias y no de bases de datos ni aproximaciones.

Posteriormente, se realiza mediante Optice las correspondientes simulaciones y optimizaciones necesarias para alcanzar aquella instalación que permita obtener una fiabilidad total durante el año y que a su vez no resulte económicamente exagerada. La mayor dificultad encontrada en este trabajo vino en este apartado cuando Optice, por su forma de trabajar con la Solución de Pareto, dimensionaba en exceso la instalación para poder garantizar suministro durante todas las horas del año. Realizando el trabajo y aplicando correspondientes conocimientos se observó lo comentado anteriormente y se optó por proponer una solución a dicho problema, que minimizaba los problemas económicos que podía haber.

Una vez tomada la anterior decisión, se realizó la simulación real de la instalación final para corroborar su fiabilidad.

Por último, ya con los parámetros de la instalación decididos, se buscaron los modelos correspondientes de cada uno de los elementos necesarios, se realizó el análisis de viabilidad económica mediante el VAN y se propuso el modo de conexión adecuado para todos los elementos que se quieren conectar.

Como reflexión final del proyecto, para casos concretos de casas junto a explotaciones ganaderas aisladas de red en un entorno rural sería recomendable el hecho de dimensionar correctamente y diseñar una instalación híbrida que pudiera abastecer durante el año las necesidades de ambas. Se ha demostrado que es económicamente favorable, lo que es el punto más importante a tener en cuenta. Además, las directrices políticas actuales apoyan la irrupción de las energías renovables y la integración de sistemas generadores de energía para autoconsumo, lo cual es también un punto importante a la hora de decidir si optar por tu propia instalación híbrida o bien llevar la red eléctrica y construir un centro de transformación propio. Por ambas razones, tanto económica como políticamente se recomienda actualmente apostar por la primera opción, como se ha mostrado en el trabajo actual.

No se han estudiado en el presente trabajo en detalle, pero también habría aspectos medioambientales de emisiones y contaminantes que abogarían por una energía renovable y limpia, lo cual se deja abierto para posibles ampliaciones futuras de este estudio.

14. Bibliografía

- [1] *Spain - Countries & Regions*. (2021). IEA. <https://www.iea.org/countries/spain>
- [2] Asociación Empresarial Eólica. (2021, 20 agosto). *AEE anuario 2020*.
<https://aeeolica.org/aee-anuario-2020/>
- [3] *Solar Irradiance data*. (2021). Solargis.
https://solargis.com/?gclid=CjwKCAjw77WVBhBuEiwAJ-YoJHFYFVin2_51ggsG6JkTNH1J1kVtcqprvv3-3riLOzOLHzljR_uMORoC708QAvD_BwE
- [4] *Google Maps*. (2022). Maps. <https://www.google.es/maps/?hl=es>
- [5] *Renewables.ninja*. (2022). Ninja Renewables. <https://www.renewables.ninja/>
- [6] *BOE.es - Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado*. (2022). Boletín Oficial del Estado.
<https://www.boe.es/>
- [7] *IDAE.es – Instituto Diversificación y Ahorro de Energía*. (2022). <https://www.idae.es/home>
- [8] *e-distribución*. (2022). Endesa E-distribución. <https://www.edistribucion.com/>
- [9] *TESUP España | Aerogeneradores y paneles solares flexibles*. (2022). TESUP ES.
<https://www.tesup.es/>
- [10] *Inversor Red Growatt MIC 2000TL-X Monofásico | AutoSolar*. (2022, 26 abril). AutoSolar.
<https://autosolar.es/inversores-de-red-monofasicos/inversor-red-growatt-mic-2000tl-x-monofasico>
- [11] Wikipedia. (2022, 13 abril). *Rotor Savonius*. Wikipedia, la enciclopedia libre.
https://es.wikipedia.org/wiki/Rotor_Savonius
- [12] U. (2017, 30 abril). *Teoría de la cantidad de movimiento. Límite de Betz*. Conocimiento eólico. <http://conocimientoeolico.blogspot.com/2017/04/teoria-de-la-cantidad-de-movimiento.html>
- [13] *Panel JA Solar 450W 24V Monocristalino PERC | AutoSolar*. (2022, 15 junio). Autosolar.
<https://autosolar.es/panel-solar-24-voltios/panel-ja-solar-450w-24v-monocristalino-perc>

[14] *Inversor Victron Phoenix 24V 5000VA | al Mejor Precio.* (2022). Autosolar.

<https://autosolar.es/inversores-24v/inversor-victron-phoenix-24v-5000va>

[15] *Generador Diesel DG6000SE de 5.300w.* (2021, 9 junio). LEROY MERLIN.

<https://www.leroymerlin.es/fp/84224895/generador-diesel-dg6000se-de-5-300w>

[16] *Batería Estacionaria BAE 24V 1000Ah | AutoSolar.* (2022). Autosolar.

<https://autosolar.es/baterias-estacionarias-opzs-24v/bateria-estacionaria-bae-24v-1000ah>

[17] *Manual de Optice.* (2022). Matlab. Ver en Anexos.

[18] Gil, S. (2021, 19 julio). *Óptimo de Pareto.* Economipedia.

<https://economipedia.com/definiciones/optimo-de-pareto.html>

[19] Technology Ag, S. S. (2021). *Inversor híbrido Sunny Tripower Smart Energy | SMA Solar.*

SMA. <https://www.sma.de/es/productos/inversores-hibridos/sunny-tripower-smart-energy.html>

[20] *Aerogenerador 30kW - Aeolos Aerogeneradores Precios, Generador Eolicos, 30kw Turbina Eolica.* (2021). Aeolos Wind Turbine.

<https://www.windturbinestar.com/Aerogenerador-30kw.html>

[21] Hyundai Power Products. (2022). *Generador Diesel Serie Pro DHY12000XSE-T HYUNDAI.*


<https://hyundaipower.shop/generador-electrico-diesel/50-dhy12000xset-generador-diesel-fullpower-refrigerado-por-agua-8435528104213.html>

[22] Hyundai Power Products. (2022b). *Generador Diesel Serie Pro monofásico DHY6000LEK*

HYUNDAI. <https://hyundaipower.shop/generador-electrico/44-dhy6000lek-generador-diesel-monofasico-6030001600071.html>

[23] Technology Ag, S. S. (2022). *Sunny Island 4.4M / 6.0H / 8.0H.* SMA Solar.

<https://www.sma.de/es/productos/inversor-con-bateria/sunny-island-44m-60h-80h.html>

[24] *Precio de la tarifa de luz por horas HOY | Consulta ahora* . (2022). REE.

<https://tarifaluzhora.es/>

[25] *Precio gasóleo B o agrícola hoy en España*. (2022). Diésel Precio.

<https://www.dieselogasolina.com/precio-del-gasoleo-b-o-agricola.html>

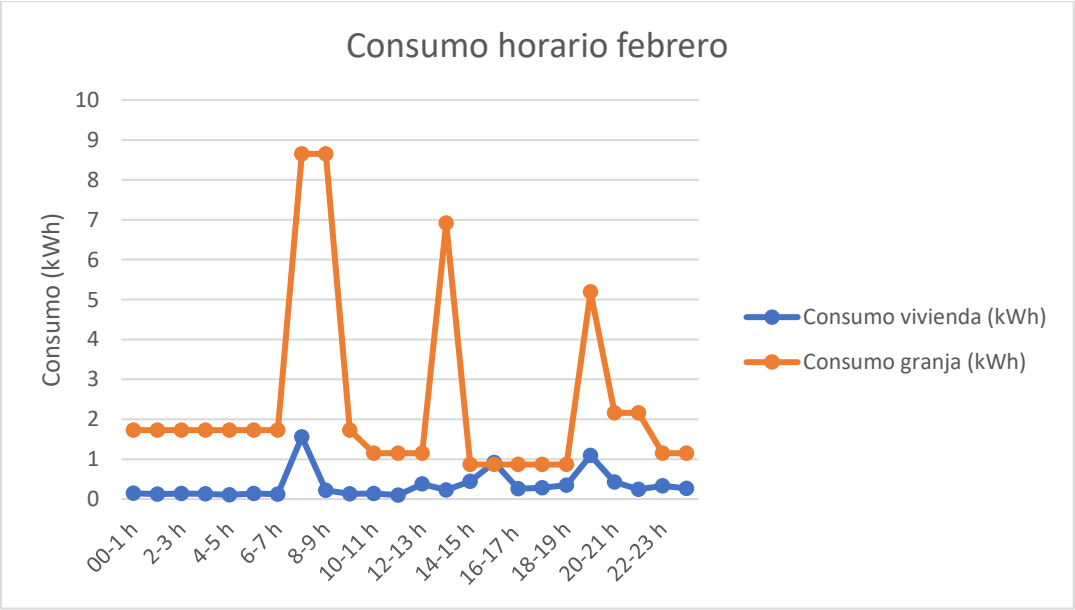
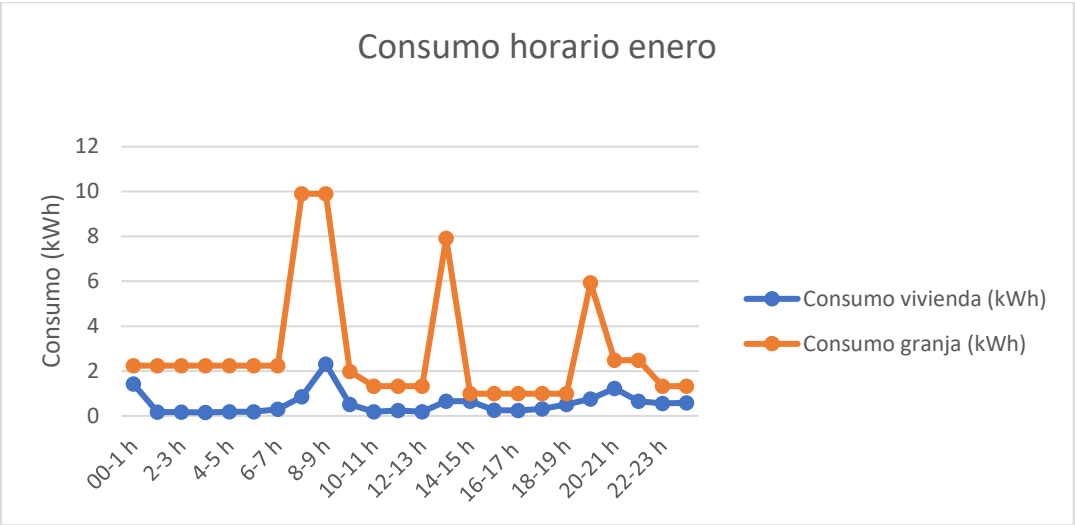
[26] TFG Víctor Sánchez Paz. (2017). Universidad de Salamanca. Ver en Anexos.

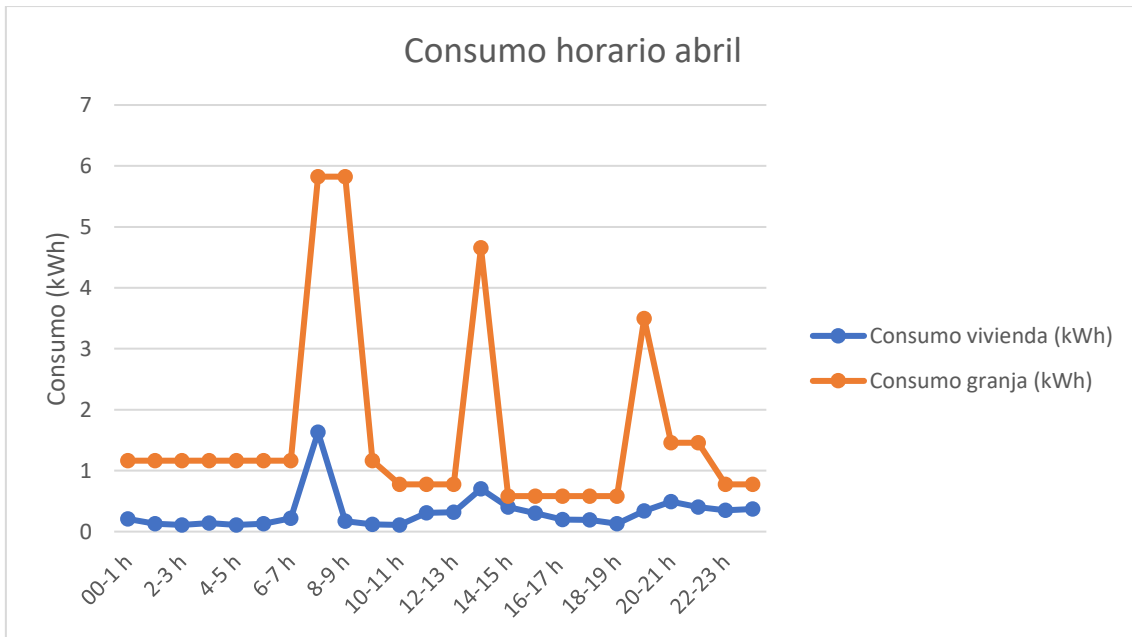
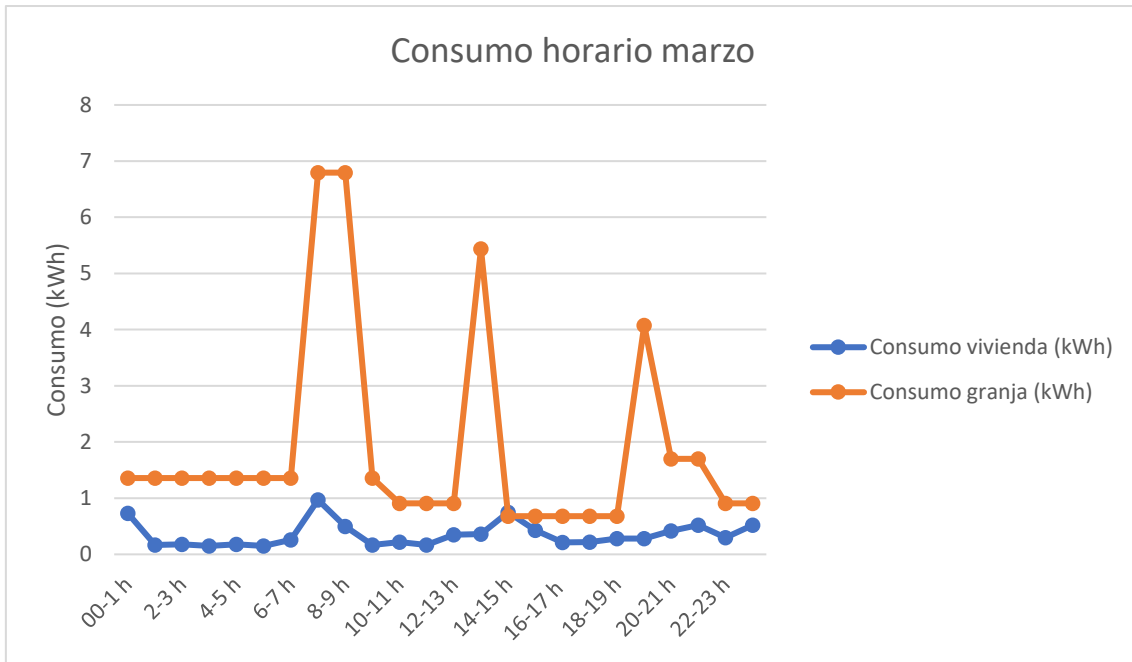
[27] Lopez, C. C. (2019, 2 mayo). *Cálculo manual del VAN*. César Castillo López.

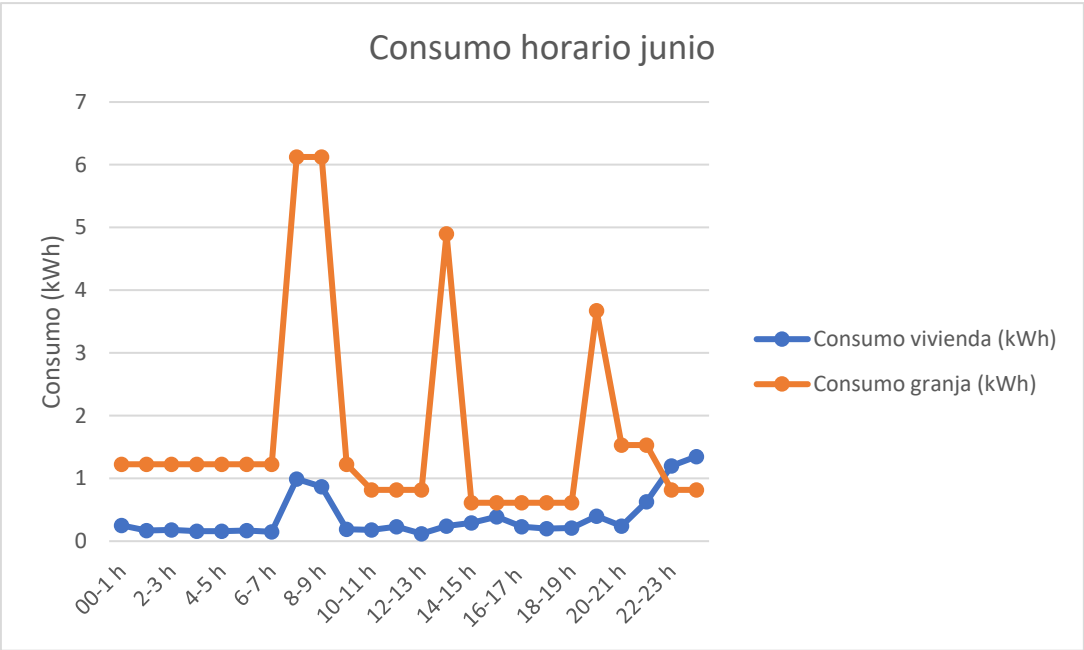
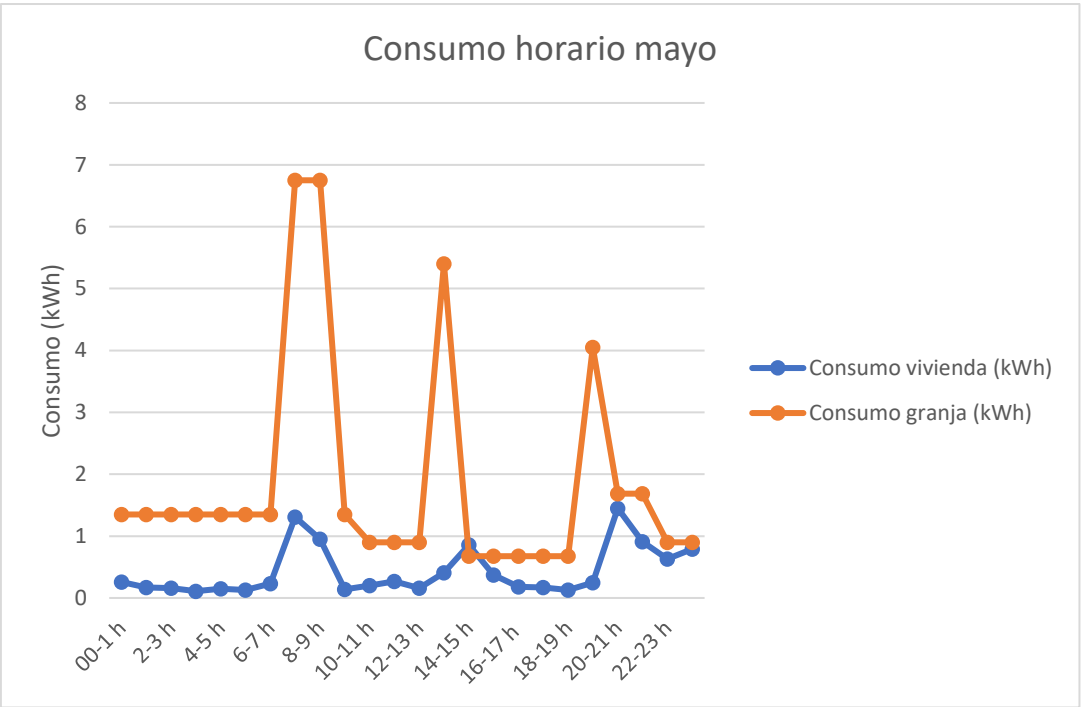
<https://www.cesarcastillolopez.com/2019/05/calculo-manual-del-van.html>

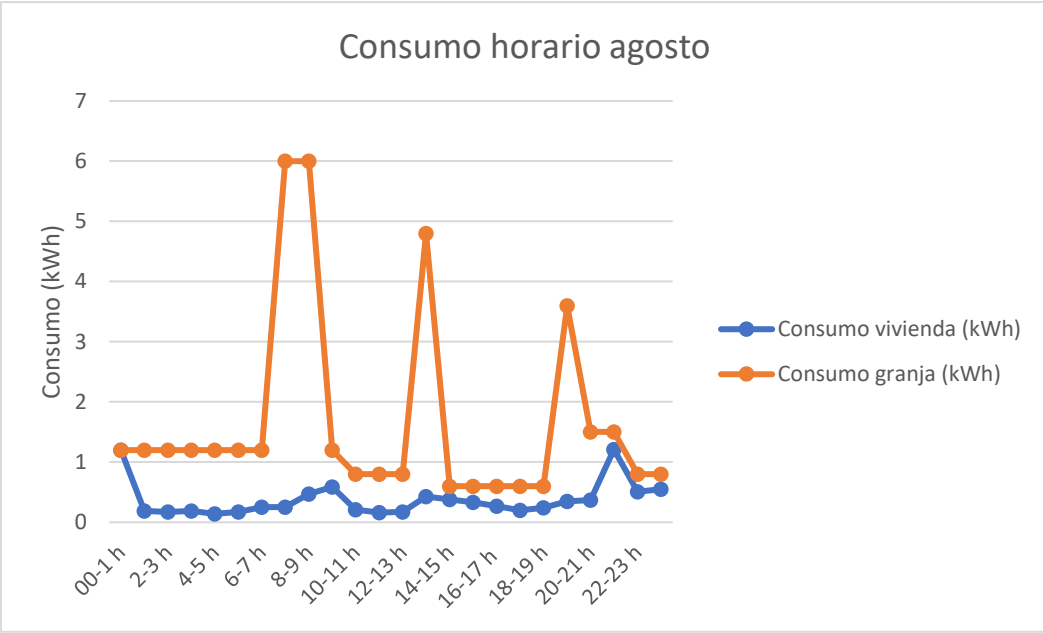
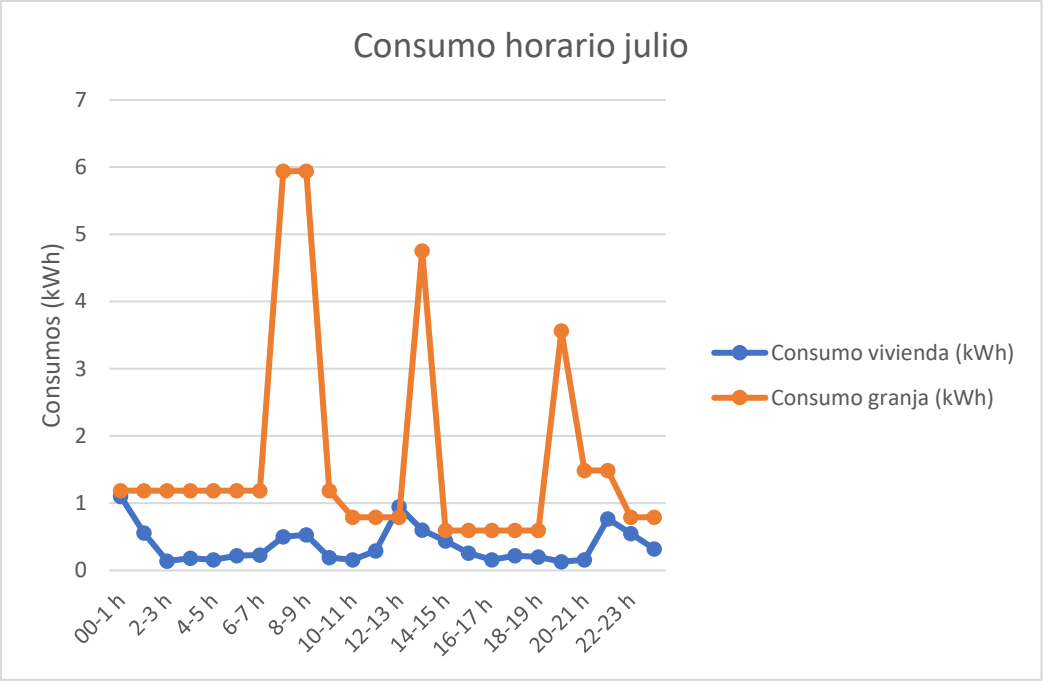
ANEXOS

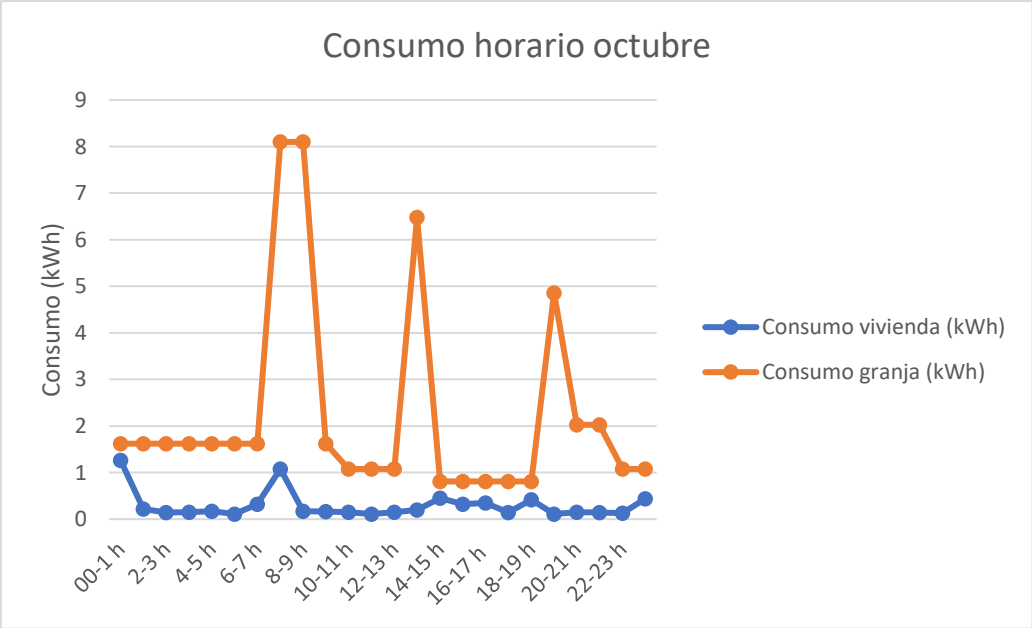
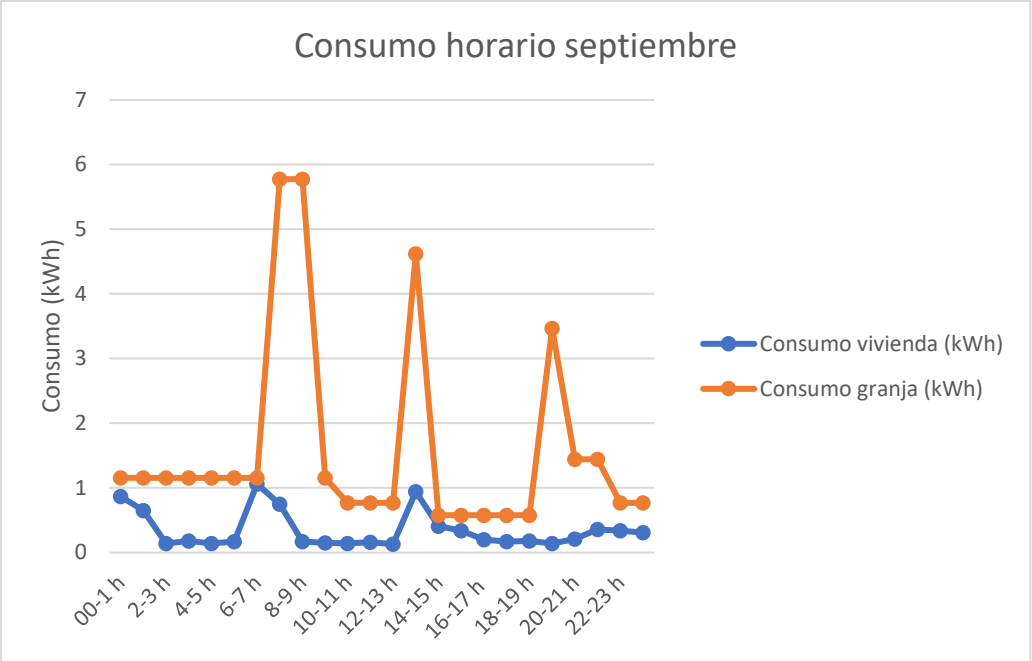
Consumos horarios día tipo de cada mes

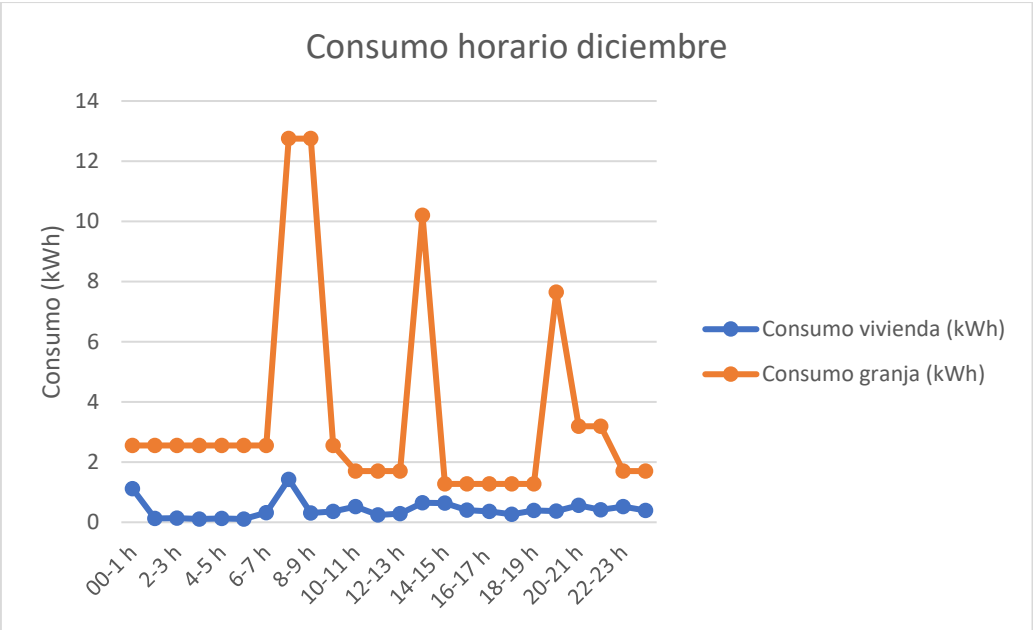




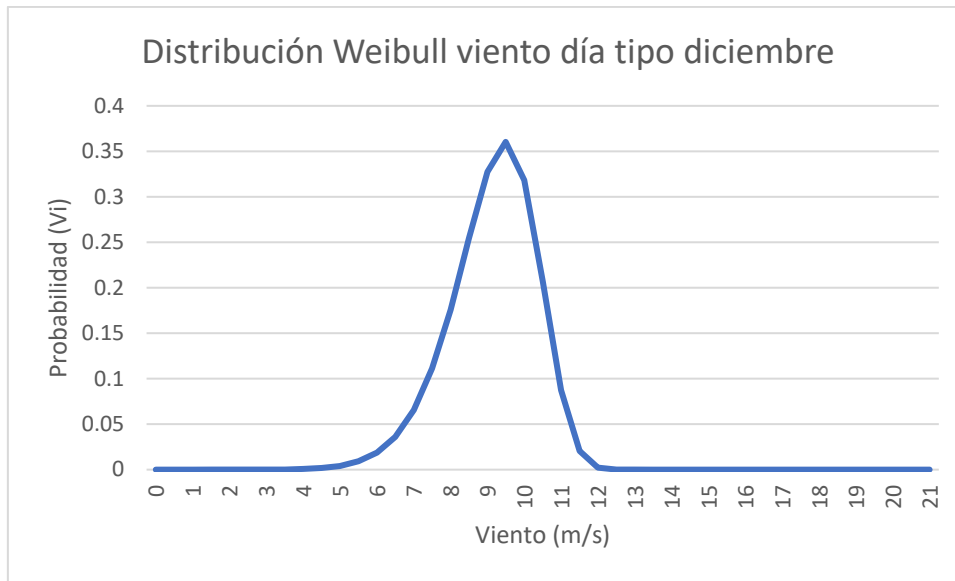








Distribución de Weibull velocidad del viento



El cálculo de los parámetros K y c ha sido con la siguiente fórmula.

Segundo método

$$k = \left(\frac{\sigma_v}{v} \right)^{-1.086}$$

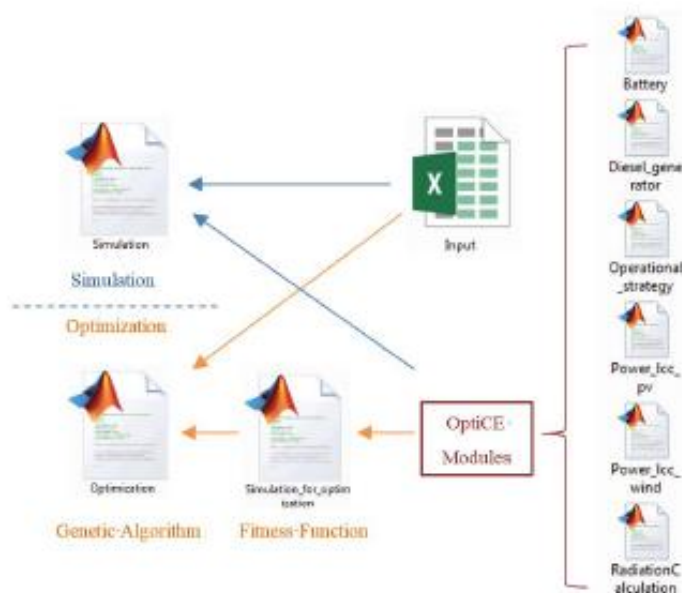
$$c = v(0.568 + 0.433/k)^{-1/k}$$

Optice

OptiCE is composed by 10 files as shown in Figure 2. OptiCE can be used for both hybrid system simulations and optimizations. In the current version, OptiCE can simulate hybrid PV-wind-battery-diesel systems. The relationship between simulation and optimization mode and related files is summarized in Figure 3.



Figure 2: Files in OptiCE



2.1 Simulation

In the simulation mode, 'Simulation.m' will be used. The first section of the code is reading input data from the MS Excel file named 'Input'. In the following section, the variables (Tilt angle, Azimuth angle, etc.) in the system are declared and assigned with values. The last section starts the simulation, during which several functions need to be called: OptiCE Modules.

A brief description about the simulation process is as follows: Photovoltaic production profile is calculated with function 'RadiationCalculation' and 'Power_lcc_pv'; wind power production profile is obtained from function 'Power_lcc_wind'; the renewable power output profile, together with battery capacity, is fed into the function 'Operation_strategy', which carries out simulation of the annual 8760 hours and outputs the battery state of charge profile and grid power profile; the system reliability and life cycle cost are further calculated and the simulation is terminated.

2.2 Optimization

In the optimization mode, 'Optimizaiton.m' will be used. Same as 'Simulation.m', the first section of the code deals with data input from the MS Excel file. The second section carries out optimization. The employed optimization method is Genetic Algorithm (GA). During the optimization, the fitness function, which is 'Simulation_for_optimization', is called by GA. The fitness function defines the variables of interest and the objectives that need to be optimized. The input data from the reading section is also fed the fitness function. The fitness function is the same with the third section of 'Simulation.m' except that it is a function rather than a part of the script. The simulation process in the fitness function is the same with 'Simulation.m'.

GA is a popular meta-heuristic optimization method, which can be used for both constrained and unconstrained problem. It is based on a natural selection process that mimics biological evolution [3]. The terminology related to GA, including individual, generation, population, Pareto front, etc. can be found with detailed explanation in [4]. The users are also recommended to know the basic of GA concepts and working principles. To customize the GA, the users are recommended to read the Matlab document [5] to familiarize with the syntax and options. Please notice that there is an update in Matlab 2016a, which makes the GA syntax different with previous Matlab versions. The GA configuration in OptiCE is shown in Figure 4.

```

lb = [1;1;1;1;1;1];           Low and upper bound
ub = [45;30;300000;30;300000;100000];

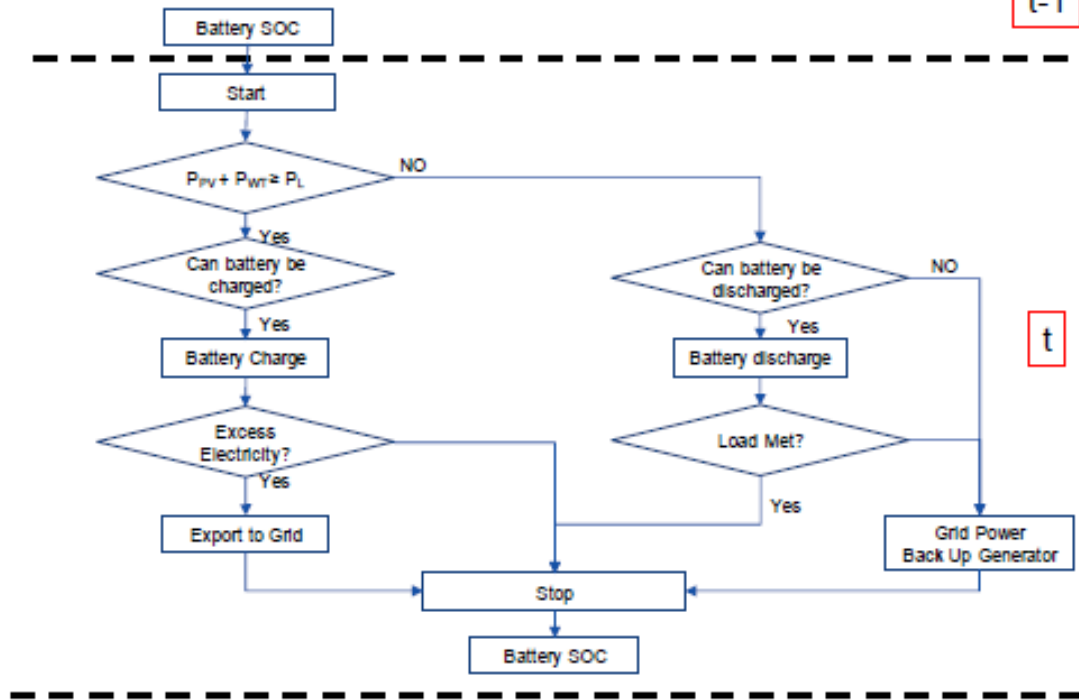
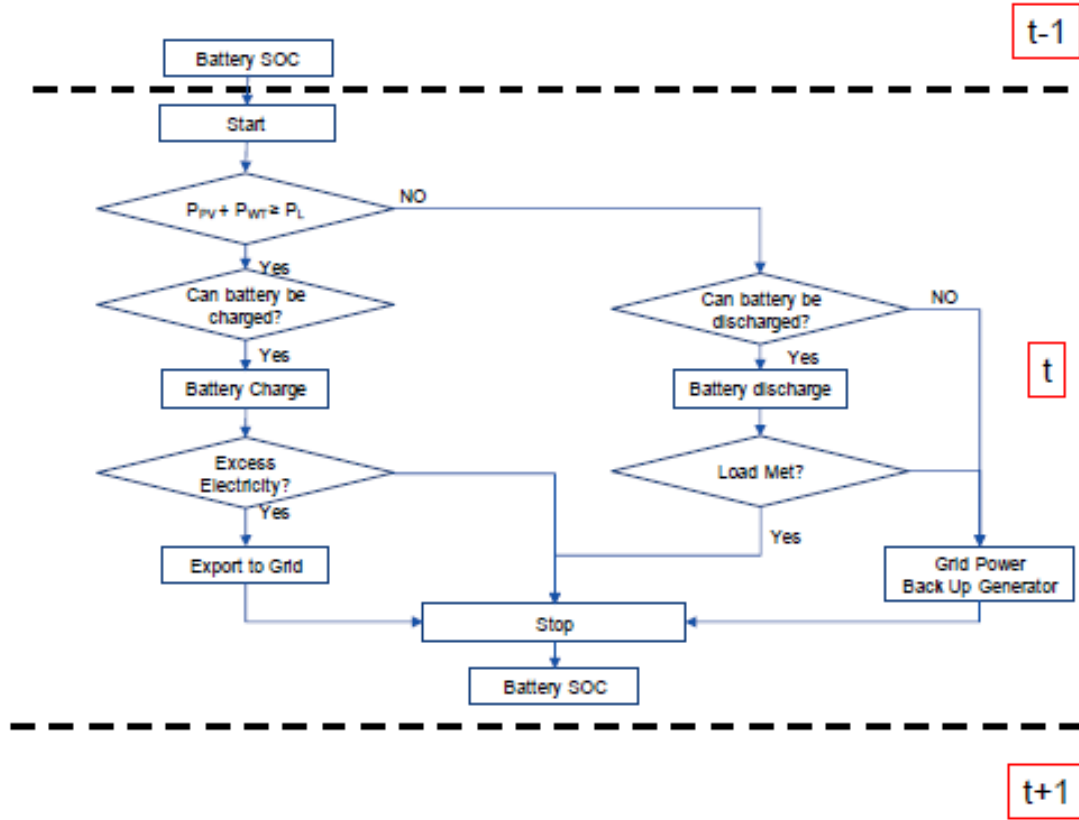
% GENETIC ALGORITHM OPTIMIZATION
FitnessFunction = @(x)Simulation_for_optimization(x,inputValues);  Fitness Function
numberOfVariables = 6;

opts = gaoptimset('PlotFcns',{@gplotpareto,@gplotscorediversity}, 'UseParallel',1,...  Parallel Computing
    'Generations',100, 'CrossoverFcn',(@crossoverheuristic), 'CrossoverFraction',0.5, 'PopulationSize',100);  Generations, Crossover Setting, Population Size

[x,fval,exitflag,output,population,scores] = ga(FitnessFunction,numberOfVariables,[],[],[],[],lb,ub,[],opts);  Call GA to carry out multi-objective optimization
  
```

3.5 Operation Strategy

The operation strategy of OptiCE is shown in Figure 5. At time t , the renewable power production from PV panels and wind turbines is compared with the load. If there is excess of electricity production, the battery is charged. If there is excess of electricity and the battery is fully charged, the excess of electricity is dumped (in the off-grid systems) or exported to the external grid (in grid-connected systems). If the renewable electricity production is lower than the load, the battery is discharged. If the renewable electricity production is lower than the load and the battery is fully discharged, the load is met using either a back-up generator or the electric grid.



t+1

3.7 Optimization objectives

The optimization model maximizes the system reliability REL (%) and at the same time minimize the life cycle cost LCC (US\$). REL and LCC are given by [10]:

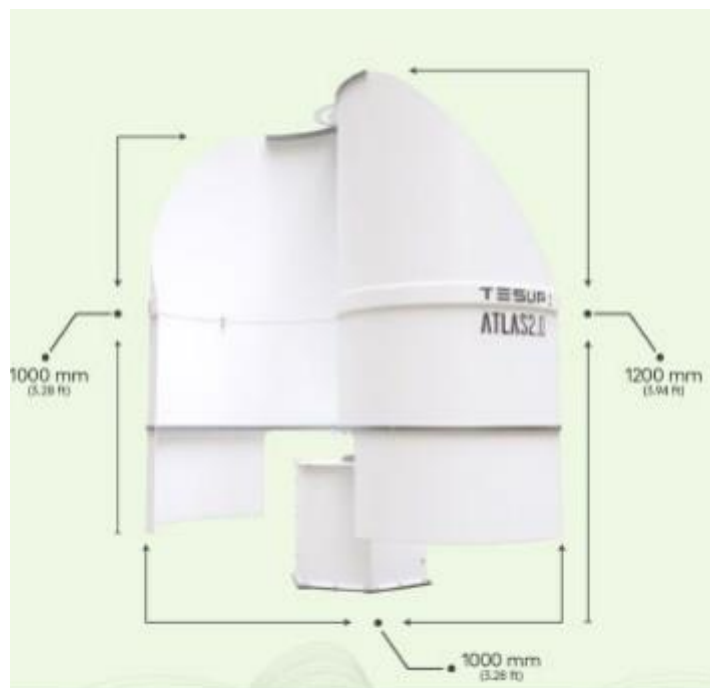
$$REL = \frac{H_{SL}}{8760} 100 \quad (10)$$

$$LCC = ICC - \sum_{n=1}^N \frac{d_n}{(1+i)^n} tr + \sum_{n=1}^N \frac{a_n}{(1+i)^n} (1-tr) + \sum_{r=1}^R \frac{ICC_c}{(1+i)^{rt_c}} (1-tr) - \frac{s}{(1+i)^N} \quad (11)$$

Fichas técnicas distintos elementos de la instalación

- Aerogenerador Atlas 2.0

SPECIFICATIONS	
DESIGNATION	12V to 48V
GENERATOR	
TYPE	2KW vertical axis wind permanent magnet generator
WEIGHT	20kg
MAX. POWER	2kW
OPERATING CIRCUIT VOLTAGE	0-100V
CURRENT	3-Phase
START OF CHARGING	3m/s
BASE PLATE MATERIAL	Sheetmetal
DIRECTION OF ROTATION	Clockwise
TEST STANDARDS	EN 61000-6-1 (electromagnetic compatibility - immunity) EN 61000-6-3 (electromagnetic compatibility - emissions)
ROTOR BLADES	
MATERIAL	Composites
HUB FLANGE	Aluminum
DIAMETER	600 (1.97 Feet)
WEIGHT PER ROTOR BLADES	750 g (1.65 lbs)
DIRECTION OF ROTATION	Counter-Clockwise
STARTING WIND SPEED	2 m/s
NO. OF BLADES	3
MAX RPM	650
MAX SPEED	50m/s
NOISE	30 dB



- Inversor Growatt 2Kw

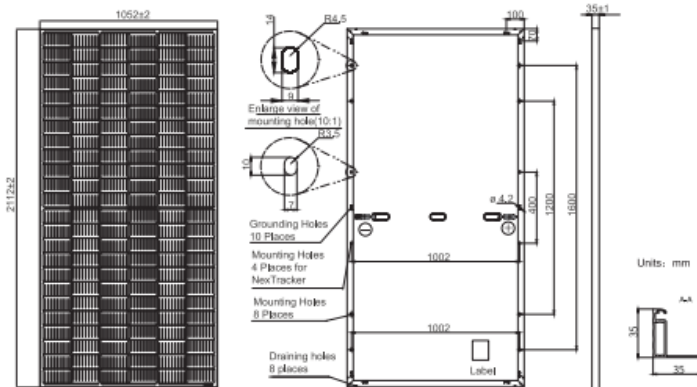
Datasheet	MIC 750TL-X	MIC 1000TL-X	MIC 1500TL-X	MIC 2000TL-X	MIC 2500TL-X	MIC 3000TL-X	MIC 3300TL-X
Input data (DC)							
Max. recommended PV power (for module STC)	1050W	1400W	2100W	2600W	2800W	3500W	4290W
Max. DC voltage	500V	500V	500V	500V	550V	550V	550V
Start voltage	50V	50V	50V	50V	80V	80V	80V
Nominal voltage	120V	180V	250V	360V	360V	360V	360V
MPP voltage range	50V-500V	50V-500V	50V-500V	50V-500V	65V-550V	65V-550V	65V-550V
No. of MPP trackers	1						
No. of PV strings per MPP tracker	1						
Max. input current per MPP tracker	13A						
Max. short-circuit current per MPP tracker	16A						
Output data (AC)							
AC nominal power	750W	1000W	1500W	2000W	2500W	3000W	3300W
Max. AC apparent power	750VA	1000VA	1500VA	2000VA	2500VA	3000VA	3300VA
Nominal AC voltage (range*)	230V (180-280V)						
AC grid frequency (range*)	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)						
Max. output current	3.6A	3.8A	7.1A	9.5A	11.9A	14.3A	14.3A
Adjustable power factor	0.8leading...0.8lagging						
THDi	<3%						
AC grid connection type	Single phase						
Efficiency							
Max. efficiency	97.4%	97.4%	97.4%	97.4%	97.6%	97.6%	97.6%
European efficiency	96.5%	96.5%	97.0%	97.0%	97.0%	97.1%	97.1%
MPP efficiency	99.9%						
Protection devices							
DC reverse polarity protection	yes						
DC switch	yes						
AC/DC surge protection	Type II / Type III						
Insulation resistance monitoring	yes						
AC short-circuit protection	yes						
Ground fault monitoring	yes						
Grid monitoring	yes						
Anti-islanding protection	yes						
Residual-current monitoring unit	yes						
AFCI protection	Optional						
General data							
Dimensions (W / H / D)	274/254/138mm						
Weight	6kg	6kg	6kg	6kg	6.2kg	6.2kg	6.2kg
Operating temperature range	- 25°C ... +60°C						
Noise emission (typical)	≤25 dB(A)						
Nighttime power consumption	< 0.5W						
Topology	Transformerless						
Cooling	Natural convection						
Protection degree	IP65						
Relative humidity	0-100%						
Altitude	4000m						
DC connection	H4/MC4(Optional)						
AC connection	Connector						
Display	OLED + LED/WIFI + APP						
Interfaces: RS485 / USB/Wi-Fi/ GPRS/ RF/LAN	Yes/Yes/Optional/Optional/Optional /Optional						
Warranty: 5 years / 10 years	Yes /Optional						

- Panel solar Waaree-Autosolar 24V y 450Wp

JASOLAR

JAM72S20 445-470/MR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



- **Batería estacionaria Waaree-Autosolar 24V y 1000Ah**

- Energía Útil Almacenada: 50%
- Medidas de la Batería: 215 x 193 x 710 (alto x ancho x alto). Medida por vaso estacionario.
- Posición de Trabajo de la Batería: Bornes en la parte superior
- Amperios-Hora de la Batería: 1000

- **Inversor Victron Phoenix**

Inversor Phoenix	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	Sí				
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Salida	Salida: 230V ± 2% / 50/60Hz ± 0,1% (1)				
Potencia cont. de salida 25°C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida 25°C (W)	1000	1300	1600	2400	4000
Potencia cont. de salida 40°C (W)	900	1200	1450	2200	3700
Potencia cont. de salida 65°C (W)	600	800	1000	1700	3000
Pico de potencia (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Eficacia máx. 12/ 24 / 48V (%)	92 / 94 / 94	92 / 94 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Consumo en vacío 12 / 24 / 48V (W)	8 / 10 / 12	8 / 10 / 12	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Consumo en vacío en modo AES (W)	5 / 8 / 10	5 / 8 / 10	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Consumo en vacío modo Search (W)	2 / 3 / 4	2 / 3 / 4	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
GENERAL					
Relé programable (3)	Sí				
Protección (4)	a – g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema				
On/Off remoto	Sí				
Características comunes	Temperatura de funcionamiento: -40 a +65°C (refrigerado por ventilador) Humedad (sin condensación): Máx. 95%				
CARCASA					
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Tipo de protección: IP21				
Conexiones de la batería	cables de batería de 1,5 metros se incluye		Pernos M8	2+2 Pernos M8	
Conexiones 230 V CA	Enchufe G-ST18I		Abrazadera-resorte	Bornes atornillados	
Peso (kg)	10		12	18	30
Dimensiones (al x an x p en mm.)	375 x 214 x 110		520 x 255 x 125	362 x 258 x 218	444 x 328 x 240
NORMATIVAS					
Seguridad	EN 60335-1				
Emisiones / Inmunidad	EN 55014-1 / EN 55014-2				
Directiva de automoción	2004/104/EC	2004/104/EC		2004/104/EC	

- Inversor Sunny Tripower 8.0 Smart Energy

Datos técnicos	Sunny Tripower 5.0 Smart Energy	Sunny Tripower 6.0 Smart Energy	Sunny Tripower 8.0 Smart Energy	Sunny Tripower 10.0 Smart Energy
Eingang (PV-CC)				
Potencia máx. del generador fotovoltaico	7500 Wp	9000 Wp	12000 Wp	15000 Wp
Tensión de entrada máx.	1000 V	1000 V	1000 V	1000 V
Rango de tensión del MPP	De 210 V a 800 V	De 250 V a 800 V	De 330 V a 800 V	De 280 V a 800 V
Tensión asignada de entrada	600 V			
Tensión de entrada mínima / tensión de entrada inicial	150 V / 180 V			
Tensión máxima de entrada A / B	12,5 A/12,5 A			12,5 A/25 A
Corriente de cortocircuito máx. por entrada A/B	20 A/20 A			20 A/40 A
Número de entradas de MPP independientes/strings por entrada de MPP	2 / A:1; B:1			2 / A:1; B:2
Conexión de batería				
Tipo de batería	Batería de iones de litio ¹⁾			
Rango de tensión	De 150 V a 600 V			
Corriente máxima de carga / corriente máxima de descarga	30 A ²⁾ / 30 A ²⁾			
Número de baterías conectables	1			
Potencia máxima de carga / potencia máxima de descarga ³⁾	7500 W / 6000 W	9000 W / 7200 W	10600 W / 10600 W	
Conexión de CA				
Potencia asignada (a 230 V, 50 Hz)	5000 W	6000 W	8000 W	10000 W
Potencia máx. aparente de CA	5000 VA	6000 VA	8000 VA	10000 VA
Tensión nominal de CA	3/N/PE; 220 V / 380 V 3/N/PE; 230 V / 400 V 3/N/PE; 240 V / 415 V De 156 V a 277 V			
Rango de tensión de CA	50 Hz / 45 Hz a 55 Hz			
Frecuencia de red de CA / rango	50 Hz / 230 V			
Frecuencia / tensión asignadas de red				
Corriente de salida asignada	3 x 7,3 A	3 x 8,7 A	3 x 11,6 A	3 x 14,5 A
Corriente máx. de salida	3 x 7,6 A	3 x 9,1 A	3 x 12,1 A	3 x 15,2 A
Factor de potencia a potencia nominal / factor de desfase ajustable	1 / 0,8 inductivo a 0,8 capacitivo			
Fases de inyección / Fases de conexión	3 / 3			

Rendimiento				
Rendimiento máximo / rendimiento europeo	98,2 % / 97,3 %	98,2 % / 97,5 %	98,2 % / 97,8 %	98,1 % / 97,5 %
Salida (CA de respaldo) en modo OnGrid				
Potencia máxima conectable de equipos consumidores en reserva	13800 W			
Corriente de salida máxima para equipos consumidores en reserva	3 x 20 A			
Salida (CA de respaldo) en modo OffGrid				
Potencia asignada 1~/3~ (a 230 V, 50 Hz)	1660 W / 5000 W	2000 W / 6000 W	2660 W / 8000 W	3330 W / 10000 W
Potencia máx. aparente de CA	5000 VA	6000 VA	8000 VA	10000 VA
Potencia de salida / potencia aparente de salida < 5 min	6000 W / 6000 VA	7200 W / 7200 VA	12000 W / 12000 VA	
Potencia de salida / potencia aparente de salida < 10 s	10000 W / 10000 VA		12000 W / 12000 VA	
Tensión nominal de CA	3/N/PE; 230 V / 400 V			
Frecuencia de red de CA	50 Hz			
Tiempo conmutación al funcionamiento de respaldo	de 30 ms a 10 s (ajustable)			
Dispositivos de protección				
Punto de desconexión en el lado de entrada (fotovoltaico CC)	●			
Monitorización de toma a tierra / Monitorización de red	● / ●			
Protección contra polarización inversa de CC / resistencia al cortocircuito de CA / con separación galvánica	● / ● / –			
Unidad de seguimiento de la corriente residual sensible a la corriente universal	●			
Clase de protección (según IEC 61140)	I			
Categoría de sobretensión (según IEC 60664-1) red / batería / energía fotovoltaica	III / II / II			
SPD	Tipo II CC / tipo II CA			
Datos generales				
Dimensiones (ancho / alto / fondo)	500 mm / 598 mm / 173 mm			
Peso	30 kg			
Rango de temperatura de funcionamiento	de –25 °C a +60 °C			
Emisión sonora, típica	30 dB(A)			
Autoconsumo (nocturno)	44 W			
Topología / sistema de refrigeración	Sin transformador / convección			
Tipo de protección (según IEC 60529) / clase climática (según IEC 60721-3-4)	IP65 / 4K26			
Valor máximo permitido para la humedad relativa (sin condensación)	100 %			
Equipamiento				
Conexión fotovoltaica / conexión BAT	SUNCLIX / MC4, con cable de batería MC4 de 3 m			
Conexiones de CA	CONECTOR DE ENCHUFE DE CA (5 x 1,5 a 10 mm²)			
Visualización a través de teléfono inteligente, tableta o portátil	●			
Número de interfaces: WLAN / Ethernet / BAT-CAN	1 / 2 / 1			
Número de entradas / salidas digitales	5 / 1			
Protocolos de comunicación	Modbus (SMA, Sunspec), Speedwire/Webconnect			
Gestión de sombras SMA ShadeFix (integrada)	●			
Garantía: 5 / 10 años	● / ● ⁴⁾			
Certificados y autorizaciones (otros a petición)	CE, IEC 62109-1/-2, productor TOR tipo A, VDE0126-1-1, VDE AR-E-2510-2, C10/11, VDE-AR-N4105			

- **Aeolos H-30kW y su inversor "off-grid"**



Aeolos Wind Turbine EXW Price

26/05/2022

AEOLOS-H 30kW (Grid-off)	Unit Price
30kW Wind Turbine	USD 30200
Grid-off Controller (300VDC)	USD 6900
Grid-off Inverter	USD 9000
Total	USD 46100

- **Generador diésel DHY12000XSET**



Referencia HY-DHY12000XSET

En stock 40 Artículos

Ficha de datos

Peso Neto	318 Kg
Potencia	11,4 KVA (400v) / 9 Kw (230v)
Voltaje	400 / 230 V
Cilindrada	794 Cc
Potencia Máxima	12,5 KVA (400v) / 10 Kw (230v)
Capacidad Depósito	30 L
Dimensiones Producto	1360x650x980 Mm
Dimensiones Caja	1410x700x1015 Mm
Frecuencia	50 Hz
Corriente	18A (400v) / 42A (230v)
Enchufes	1xPCE5p (400v) / 1x63A (230v)
Pantalla	ComAp MRS10
Funcionamiento A 50% Carga (Hr.)	10 H

Estudio técnico para el suministro de energía mediante fuentes renovables a un criadero de cerdos

Nivel De Ruido A 7 Mts; 50% Carga (DBA)	72 DBA
Batería	45 Ah
Tipo De Motor	Diesel
Modelo De Motor	EV80
Potencia Del Motor (HP)	16 HP
Arranque	Eléctrico
Capacidad Aceite	2,27 L
Alternador	KTDS-10
Potencia Alternador (KVA)	10 KVA
Factor De Potencia	0,8 / 1
Regulación Del Voltaje	AVR / Escobillas*
Peso Bruto	360 Kg

- **Generador diésel DHY6000XSET**



Referencia HY-DHY6000SE

Ficha de datos

Peso Neto	152 Kg
Potencia	5 Kw
Voltaje	230 V
Cilindrada	418 Cc
Potencia Máxima	5,3 Kw
Capacidad Depósito	12 L

Estudio técnico para el suministro de energía mediante fuentes renovables a un criadero de cerdos

Dimensiones Producto	920x520x760 Mm
Dimensiones Caja	950x570x790 Mm
Frecuencia	50 Hz
Corriente	23,9 A
Enchufes	2x16A
Pantalla	LED6
Funcionamiento A 50% Carga (Hr.)	10 H
Nivel De Ruido A 7 Mts; 50% Carga (DBA)	72 DBA
Salida Corriente Continua	12V / 8,3A
Batería	36 Ah
Tipo De Motor	Diesel
Modelo De Motor	D400E
Potencia Del Motor (HP)	10 Hp
Arranque	Eléctrico
Alternador	A5S
Potencia Alternador (KVA)	5 KVA
Regulación Del Voltaje	AVR*
Peso Bruto	168 Kg

- **Inversor Sunny Island 4548 US**

[Home](#) ▾ [Business](#) ▾ [Large Scale](#) ▾ [Servicio y asistencia](#) ▾ [Productos](#) ▾

[Expertos en FV](#) 



Eficiente

- Rendimiento máx. > 96 %
- Eficiencia CEC del 94 % y 94,5 %
- Gestión avanzada de baterías inteligente para alcanzar la vida útil máxima
- Cálculo del nivel de carga



Sencillo

- Cómoda puesta en marcha mediante la «Guía de configuración rápida»
- Gestión integral de redes aisladas
- Para sistemas aislados y de respaldo de batería



Flexible

- Para sistemas de entre 2 kW y 100 kW
- Monofásico, monofásico de tres conductores de 120 V/240 V y trifásico conmutables en paralelo y ampliables por módulos
- Conexión de CA y CC



Resistente

- Gran capacidad de sobrecarga
- OptiCool
- Cinco años de garantía por parte de SMA

Precio de llevar línea aérea al emplazamiento y construir CT propio

Presupuesto de la instalación:

Código	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
Capítulo 01 Línea aérea 20 kV				
01.01	Ud. Apoyo para derivación simple Hormigón armado HV 800/11	1	949,66	949,66
01.02	Ud. Apoyo de maniobra HV 630-11	1	885,93	885,93
01.03	Ud. Apoyo de derivación de MT particular HV 630-11	11	885,93	9.745,23
01.04	Ud. Apoyo fin de línea y entronque aéreo HV 1000/11	1	1054,09	1054,09
01.05	Ud. Cruceta metálica RH1 15/5	14	198,72	2782,08
01.06	Km. de Línea con Conductor aluminio- acero LA-56 /SC Conductor de aluminio-acero de 54,6 mm ² de sección total, designación UNESA LA-56; incluso acopio y transporte de materiales a pie de obra, tendido de conductores por medios manuales, tensión inicial, regulado y engrapado simple circuito.	2,3	4.231,23	9731,829
01.07	Ud. Desguace de Apoyo metálico Desguace de Apoyo de línea aérea, formado por retirada de apoyo, restitución del terreno y transporte de apoyo a vertedero, totalmente realizado.	1	280,00	280,00
01.08	Ud. Izado de apoyo bajo línea existente Izado de torre con separación de cables en simple circuito, regulado de vanos contiguos engrapado y realización de puentes postizos	1	300,00	300,00
01.09	Ud. Acondicionamiento acceso a apoyo Acondicionamiento acceso a apoyos	8	500,00	4000,00

01.10	Ud. Conexión de línea proyectada con existente Trabajos de conexión de línea proyectada con línea existente mediante Técnicas de Trabajos en Tensión	1	2000,00	2000,00
01.11	Ud. Juego seccionador LOAD-BUSTER 400A (SELAU) Juego de tres seccionadores en carga tipo LOAD-BUSTER, 24 kV 400 A, colocados en cruceta de apoyo, incluso tornillería, puentes de derivación, y pequeño material de	1	455,00	455,00

TFG Víctor Sánchez Paz 2016/2017



54

2. Anejo de instalación de cogeneración y de aprovechamiento de fuentes renovables.

	conexión y fijación totalmente realizado.			
01.12	Ju. Colocación de juego de portafusibles y fusibles 20kV Suministro y colocación de juego de portafusibles y fusibles 20kV	1	469,70	469,70
01.13	Ud. Juego de Autovalvulas HV 21-10kA Juego de tres autovalvulas pararrayos, HV 21 DE 10 kA, colocados en cruceta de apoyo, incluso tornillería, puentes de derivación, y pequeño material de conexión y fijación totalmente realizado.	1	137,50	137,50
01.14	Ud. Chapas antiescalo para torres metálicas de 20 kV - Serie C 2.5 Suministro y colocación de chapas antiescalo para torres metálicas de 20 kV - Serie C 2.5	1	291,50	291,50
01.15	Ud. Dispositivo anticolidión Baliza Salvapajaros ud colocación dispositivo anticolidión para aves, de 30 cm de anchura en forma de X de neopreno tipo BACH/H	80,00	22,85	1828,00
01.16	Ud. Aislamiento juego de Autoválvulas BCAC Aislamiento de juego de Autoválvulas mediante capuchón tipo BCAC	1	122,10	122,10
01.17	m2 Apertura de calle de la línea m2 de apertura de calle de la línea incluso talado de arbolado y retirada de madera	5.000,00	1,25	6250
Total Línea Aérea 20 kV.....				41282,619 €

Código	Descripción	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
Capítulo 02 Centro de transformación 250 kVA				
02.01	Dimensiones para alojar el centro de transformación (m³) Prefabricado de 6880 mm x 3180 mm x 560 mm	12,25	15,75	192,94
02.02	CT: Edificio prefabricado PFU 5 de Ormazabal. Dimensiones 6080 mm x 2380 mm x 3045 mm	1	8.753,49	8.753,49
02.03	Celda de remonte de conductores (SF6)	1	1.651,8	1.651,80
02.04	Celda de protección general. Con interruptor seccionador SF6 con bobina de disparo, fusibles limitadores de 24 kV, 50 A, PDC 25 kA, con señalización fusión, seccionador p.a.t, indicadores presencia de tensión y enclavamientos.	1	3.477,98	3.477,98

TFG Víctor Sánchez Paz 2016/2017



55

2. Anejo de instalación de cogeneración y de aprovechamiento de fuentes renovables.

02.05	Celda de medida SF6 Equipada con 3 transformadores de corriente (45/5 A) y tres transformadores de tensión (13,2 kV/0,11 kV)	1	5.604,70	5.604,70
02.06	Celda de protección individual Interruptor-seccionador SF6 con bobina de disparo, fusibles limitadores de 24 kV, 25 A. PDC 25 kA, con señalización fusión, seccionador p.a.t, indicadores presencia de tensión y enclavamientos.	1	2.918,17	2.918,17
02.07	Transformador trifásico reductor de tensión 15/0,4 kV de 250 kVA ONAN	1	16.675,51	16.675,51
Total Centro de transformación 250 kVA				39.274,59 €