

Proyecto Fin de Máster Ingeniería Industrial

Combinación de energía solar fotovoltaica y energía minieólica como alternativas limpias para el parcial abastecimiento de una vivienda

Autor: Pablo Asensio Gómez

Tutor: Jesús Manuel Riquelme Santos

Dpto. Energía Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Proyecto Fin de Máster
Ingeniería Industrial

Combinación de energía solar fotovoltaica y energía minieólica como alternativas limpias para el parcial abastecimiento de una vivienda

Autor:
Pablo Asensio Gómez

Tutor:
Jesús Manuel Riquelme Santos
Profesor titular

Dpto. de Energía Eléctrica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2020

Proyecto Fin de Máster: Combinación de energía solar fotovoltaica y energía minieólica como
alternativas limpias para el parcial abastecimiento de una vivienda

Autor: Pablo Asensio Gómez
Tutor: Jesús Manuel Riquelme Santos

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi familia, la que siempre está cuando se la necesita, sobre todo durante estos duros meses de cuarentena.

A mis amigos, mi otra familia, sin los cuales no tendría esos momentos especiales que tan importantes son y que espero siempre conservar.

A Elena, por sus consejos y por saber escucharme cuando más necesitaba desahogarme.

A mi tutor, Jesús, por mantener activa nuestra conversación pese a no estar presentes físicamente.

*Pablo Asensio Gómez
Sevilla, 2020*

La necesidad de abonar las facturas de luz en las viviendas y locales se hace evidente por el continuo uso de la electricidad para desarrollar diversas actividades dentro de dichos emplazamientos.

Por otro lado, la contaminación, debido a las grandes emisiones de CO₂ a la atmósfera, produce impactos negativos a tener en cuenta para el futuro desarrollo sostenible que se desea conseguir.

Es por esto que, mediante el uso apropiado de energías renovables, a través de un estudio energético y económico de los elementos que intervienen en el proyecto, pueden verse alteradas positivamente ambas premisas, desde una reducción económica por el abastecimiento parcial de dichas energías, a una disminución en la emisión de gases procedentes de combustible fósil.

Palabras Clave: facturas de luz, viviendas, electricidad, renovables, reducción económica

Abstract

Electricity use in houses and venues leads to the mandatory payment of expensive monthly bills in order to sustain the different activities which might take place there.

Moreover, high CO₂ emissions into the atmosphere are the main source of pollution these days, whose negative impact should be taken into account when talking about promoting the much desired sustainable development.

This is why, by means of the appropriate use of renewable energy, through an energy and economic study of the elements involved in the project, both premises can be positively altered, from an economic reduction due to the partial supply of these energies, to a decrease in the emissions of fossil fuel gases.

Keywords: electricity bills, homes, electricity, renewable, economic reduction

Agradecimientos	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice	vi
Índice de Tablas	viii
Índice de Figuras.....	ix
Notación	x
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	2
2. Marco normativo.....	2
3. Antecedentes	3
3.1. Factura eléctrica.....	3
3.1.1. Definición	3
3.1.2. Partes de la factura	3
3.1.2.1. Factura resumen	3
3.1.2.2. Consumo eléctrico.....	4
3.1.2.3. Datos del contrato	4
3.1.2.4. Destino del importe de la factura	4
3.1.2.5. Detalle de la factura.....	4
3.1.2.6. Información adicional.....	4
3.2. Energías renovables	5
3.2.1. Definición	5
3.2.2. Ventajas del uso de energía renovable.....	5
3.2.3. Situación nacional de las energías renovables	6
3.3. Energía solar fotovoltaica.....	6
3.3.1. Introducción	6
3.3.2. Efecto fotovoltaico	7
3.3.3. Tipos de células fotovoltaicas	8
3.3.4. Composición de módulos fotovoltaicos.....	9
3.3.5. Curva característica I-V	9
3.3.6. Distancia de seguridad entre módulos	11
3.4. Energía Minieólica.....	12
3.4.1. Introducción	12
3.4.2. Tecnología minieólica	13
3.4.3. Configuración de los aerogeneradores.....	14
3.4.4. Potencia eólica	15
3.4.5. Curva de potencia.....	16
4. Memoria Descriptiva	17
4.1. Emplazamiento	17
4.2. Vivienda tipo	18
4.3. Datos meteorológicos.....	19
4.3.1. Temperatura	19
4.3.2. Radiación solar.....	20
4.3.3. Viento	20
4.4. Instalaciones	21
5. Memoria constructiva	23
5.1. Aerogeneradores minieólicos	23
5.1.1. Enair 30 PRO	23

5.1.2.	Enair 70 PRO	24
5.1.3.	Bornay 13+	25
5.2.	Sistema fotovoltaico.....	26
5.2.1.	Módulo Atersa A-255P.....	26
5.2.2.	Módulo Zytech ZT320S.....	27
5.2.3.	Módulo Eurener MEPV300	28
6.	Energía consumida	29
7.	Energía generada.....	30
7.1.	Energía generada minieólica	31
7.2.	Energía generada fotovoltaica	33
8.	Rentabilidad del autoconsumo	36
8.1.	Introducción al VAN.....	36
8.2.	Herramienta de optimización.....	36
9.	Resultados y discusiones.....	39
9.1.	Análisis 1.....	39
9.1.1.	Casos 1 y 2: Atersa y Enair 30 PRO / Atersa y Enair 70 PRO.....	40
9.1.2.	Casos 3 y 4: Atersa y Bornay 13+ / Zytech y Enair 30 PRO	40
9.1.3.	Casos 5 y 6: Zytech y Enair 70 PRO / Zytech y Bornay 13+	40
9.1.4.	Casos 7 y 8: Eurener y Enair 30 PRO / Eurener y Enair 70 PRO	41
9.1.5.	Caso 9: Eurener y Bornay 13+	41
9.2.	Análisis 2.....	42
9.3.	Análisis 3.....	43
9.3.1.	Sin subvención	44
9.3.2.	Con subvención.....	44
9.4.	Análisis 4.....	45
9.4.1.	Sin subvención	46
9.4.2.	Con subvención.....	46
9.5.	Análisis 5.....	47
9.5.1.	Casos 1 y 2: Atersa y Enair 30 PRO / Atersa y Enair 70 PRO.....	48
9.5.2.	Casos 3 y 4: Atersa y Bornay 13+ / Zytech y Enair 30 PRO	48
9.5.3.	Casos 5 y 6: Zytech y Enair 70 PRO / Zytech y Bornay 13+	49
9.5.4.	Casos 7 y 8: Eurener y Enair 30 PRO / Eurener y Enair 70 PRO	49
9.5.5.	Caso 9: Eurener y Bornay 13+	50
10.	Conclusiones y líneas futuras	50
11.	Glosario.....	52
12.	Bibliografía	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperaturas mensuales Cádiz.....	19
Tabla 2. Irradiancias mensuales Cádiz.....	20
Tabla 3. Velocidades y rachas máximas mensuales Cádiz.....	20
Tabla 4. Características Enair 30PR	23
Tabla 5. Características Enair 70PRO.....	24
Tabla 6. Características Bornay 13+	25
Tabla 7. Características módulo A-255P.....	26
Tabla 8. Características módulo ZT320S	27
Tabla 9. Características módulo MEPV300	28
Tabla 10. Potencia pico instalada unitaria por modelo	31
Tabla 11. Datos energía por kWp Atersa A-255P	34
Tabla 12. Datos energía por kWp Zytech ZT320S	34
Tabla 13. Datos energía por kWp Eurener MEPV300.....	35
Tabla 14. Datos económicos Análisis 1	41
Tabla 15. Datos económicos Análisis 2	42
Tabla 16. Nº de módulos y potencia instalada máxima.....	43
Tabla 17. Datos económicos Análisis 3 (sin subvención).....	44
Tabla 18. Datos económicos Análisis 3 (con subvención).....	44
Tabla 19. Nº de aerogeneradores y potencia instalada máxima.....	45
Tabla 20. Datos económicos Análisis 4 (sin subvención).....	46
Tabla 21. Datos económicos Análisis 4 (con subvención).....	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación energética del sistema nacional	6
Figura 2. Efecto fotovoltaico	7
Figura 3. Tipos de células fotovoltaicas	8
Figura 4. Composición de módulos fotovoltaicos	9
Figura 5. Curva característica I-V.....	10
Figura 7. Curva I-V (según temperatura)	10
Figura 6. Curva I-V (según irradiancia)	10
Figura 8. Ángulos de inclinación de módulos en función de pérdidas.....	11
Figura 9. Distancia y medidas de módulos.....	11
Figura 10. Distancia de sombreado.....	12
Figura 11. Componentes del aerogenerador	13
Figura 12. Aerogenerador lento	15
Figura 13. Aerogenerador rápido.....	15
Figura 14. Aerogenerador Darrieus	15
Figura 15. Aerogenerador Savonius.....	15
Figura 16. Curvas de coeficiente de potencia del rotor.....	16
Figura 17. Curva de potencia aerogenerador.....	17
Figura 18. Emplazamiento de la vivienda.....	17
Figura 19. Croquis vivienda	18
Figura 20. Evolución gráfica de las temperaturas.....	19
Figura 21. Evolución gráfica de las irradiancias.....	20
Figura 22. Evolución gráfica de las velocidades y rachas máximas de vientos.....	21
Figura 23. Esquema de funcionamiento de las instalaciones	22
Figura 25. Aerogenerador Bornay	23
Figura 24. Aerogenerador Enair	23
Figura 26. Energía anual Enair 30PRO.....	24
Figura 27. Curva de potencia Enair 30PRO	24
Figura 28. Energía anual Enair 70PRO.....	25
Figura 29. Curva de potencia Enair 70PRO	25
Figura 30. Energía anual Bornay 13+	26
Figura 31. Curva de potencia Bornay 13+	26
Figura 32. Curva I-V Atersa 255P	27
Figura 33. Curva I-V Atersa 255P (temperatura)	27
Figura 34. Curva I-V Atersa 255P (irradiancia)	27
Figura 35. Curva I-V ZT320S (irradiancia).....	28
Figura 36. Curva P-V ZT320S (irradiancia).....	28
Figura 37. Curva I-V MEPV300 (irradiancia).....	29
Figura 38. Consumo horario anual.....	29
Figura 39. Generación minieólica Cádiz 2019	31
Figura 40. Generación minieólica Enair 30PRO	32
Figura 41. Generación minieólica Enair 70PRO	32
Figura 42. Generación minieólica Bornay 13+.....	33
Figura 43. Generación fotovoltaica Cádiz 2019	33
Figura 44. Generación fotovoltaica Atersa A-255P.....	34
Figura 45. Generación fotovoltaica Zytech ZT320S.....	35
Figura 46. Generación fotovoltaica Eurener MEPV300	35
Figura 47. Gráfica datos económicos Análisis 1	42
Figura 48. Gráfica datos económicos Análisis 2	43
Figura 49. Gráfica datos económicos Análisis 3 (sin subvención)	44
Figura 50. Gráfica datos económicos Análisis 3 (con subvención)	45
Figura 51. Gráfica datos económicos Análisis 4 (sin subvención)	46
Figura 52. Gráfica datos económicos Análisis 4 (con subvención)	47

Notación

Σ	Sumatorio
$<$	Menor que
$>$	Mayor que
$\leq$	Menor igual que
$^{\circ}$	Grados geométricos
tg	Función tangente
sen	Función seno
cos	Función coseno

1. INTRODUCCIÓN

La electricidad es un fenómeno que se encuentra presente en la mayoría de lugares y actividades de uso cotidiano, desde una simple carga de un teléfono móvil, hasta el posible uso de radio y televisión, entre otros. De manera inequívoca, la electricidad forma parte de nuestras vidas, ya que sin ella se prescindiría de todas las tecnologías que permiten tener una vida más cómoda y eficiente.

Su origen puede provenir de fuentes de energías no renovables (carbón, petróleo y gas) o de fuentes de energías renovables (eólica, solar, hidráulica...), generando, en el primer caso, el vapor necesario para mover unas turbinas, las cuales generan la electricidad, o mediante el movimiento de aspas, captación de la luz solar o energía potencial del agua, entre otras, que originan la misma forma de energía de manera limpia y sin contaminación a la atmósfera.

La electricidad se distribuye hasta los hogares donde se utiliza de varias formas para satisfacer las necesidades de los consumidores, ya sea para calefacción, carga de aparatos electrónicos, iluminación, etc. Esta forma de energía no se obtiene gratuitamente, puesto que se debe tener en cuenta los gastos de generación y distribución de la misma, así como los impuestos aplicados, por lo se debe pagar un importe que varía según varios aspectos de contratación.

Desde un punto de vista económico, se puede optimizar el gasto que se realiza teniendo en cuenta una serie de medidas y valorando el uso de medios alternativos para abastecer parcialmente una vivienda.

El autoconsumo es una técnica de obtención de energía basada en la producción eléctrica en el mismo punto de consumo o cercano. Permite numerosos beneficios a los usuarios o productores a la hora de abastecerse energéticamente y, por lo tanto, ahorrar en la factura eléctrica. El desarrollo de las energías renovables y su modularidad han permitido que el autoconsumo se expanda hasta niveles domésticos, convirtiéndose en una buena alternativa para la generación de electricidad.

A su vez, también contribuyen a la ausencia de contaminación derivado de fuentes de energías no renovables, por lo que resulta una vía limpia y renovable, ayudando a conseguir el objetivo establecido por los Estados miembros de la Unión Europea de reducir un 20% el consumo de energía primaria y aumentar un 20% las energías renovables, además de mejorar la eficiencia energética en las edificaciones.

Debido al recurso solar que dispone España, el autoconsumo fotovoltaico se ha convertido en la forma de autoconsumo más extendida, aunque, dependiendo del emplazamiento, la hibridación con aerogeneradores minieólicos puede llegar a ser ventajosa, aprovechando de forma más completa los recursos energéticos que dispone la zona.

Por lo tanto, mediante una serie de modificaciones que permitan obtener energía, teniendo en cuenta el consumo propio de energía durante un período de tiempo, los datos climatológicos y las características físicas y económicas de los elementos a instalar, se puede conseguir tanto un aumento en la eficiencia de la vivienda donde se localice el montaje, como una reducción en el importe de la factura eléctrica del consumidor.

1.1. Objetivos

Los objetivos del presente Trabajo de Fin de Máster se enfocan en el estudio exhaustivo de la introducción, en la vivienda bajo análisis, de instalaciones que producen energías de forma renovable, tales como minieólicas y placas solares. Dichos objetivos son los que se enuncian a continuación:

- ✓ Obtención de la energía consumida anual de la vivienda a estudio.
- ✓ Simulación de la energía generada anual de las instalaciones minieólicas y fotovoltaicas.
- ✓ Realizar un estudio energético comparando las curvas de energías obtenidas.
- ✓ Realizar un estudio económico completo con el fin de conocer con exactitud el coste que tendrá lugar dichas instalaciones y la rentabilidad de las mismas.
- ✓ Elección de aquellas propuestas que resulten más viables técnica y económicamente.

2. MARCO NORMATIVO

En España, el autoconsumo de energía eléctrica para instalaciones conectadas a la red eléctrica se encuentra regulado por el Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica y el RD-Ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores, que deroga muchos puntos de la anterior normativa, establecida por el RD-Ley 900/2015, la cual suponía diversos impedimentos para la expansión del autoconsumo, entre los que destaca la limitación del máximo de potencia de generación instalada hasta la potencia contratada, configuraciones de medida o los relativos al pago de cargos por la energía autoconsumida.

El fomento del uso de las energías renovables es un hecho que toda organización desea lograr para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Con objeto de practicar el autoconsumo con generación distribuida renovable, en el RD 15/2018 establece que la energía autoconsumida de origen renovable estará exenta de todo tipo de cargas y peajes, facilitando su acceso a todos los consumidores.

A partir de la reforma del artículo 9 de la Ley 24/2013, se han introducido una serie de modificaciones donde se explican varios puntos a tratar acerca del autoconsumo regulado actual.

- ✓ Se realiza una nueva definición de autoconsumo, entendiéndose como tal el consumo por parte de uno o varios consumidores de energía eléctrica proveniente de instalaciones de generación próximas a las de consumo y asociadas a las mismas.
- ✓ Se realiza una nueva definición de las modalidades de autoconsumo, reduciéndolas a solo dos: “autoconsumo sin excedentes”, que en ningún momento puede realizar vertidos de energía a la red y “autoconsumo con excedentes”, en el que sí se pueden realizar vertidos a las redes de distribución y transporte.
- ✓ Se habilita a que reglamentariamente se puedan desarrollar mecanismos de compensación entre el déficit y el superávit de los consumidores acogidos al autoconsumo con excedentes para las instalaciones de hasta 100 kW.
- ✓ Se dispone de un registro de autoconsumo simplificado. Dicho registro de ámbito estatal tendrá fines estadísticos para poder evaluar si se está logrando la implantación deseada, analizar los

impactos en el sistema y para poder computar los efectos de una generación renovable en los planes integrados de energía y clima.

Se introducen asimismo modificaciones en la ITC-BT-40 del “Reglamento electrotécnico para baja tensión”, en las que se regulan los requisitos de los mecanismos antivertido y diversos requisitos de seguridad de las instalaciones generadoras de baja tensión. La disposición final primera modifica el RD 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el “Reglamento unificado de puntos de medida del sistema eléctrico”, entre las que cabe señalar que se habilita la posibilidad de que se integren en los sistemas de telegestión y telemedida los equipos ubicados en baja tensión en fronteras tipo 3 y 4. Otra de las normas que se modifica para el impulso del autoconsumo mediante la disposición final cuarta, es el RD 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia, con el fin de permitir que se conecten instalaciones monofásicas de generación a la red de hasta 15 kW. [1]

3. ANTECEDENTES

3.1. Factura eléctrica

3.1.1. Definición

La factura eléctrica es el recibo por el cual el cliente debe abonar una cantidad equivalente a la energía eléctrica consumida durante un período de tiempo, entre otros términos. Dicho importe dependerá de la tarifa que se haya contratado, pues cada una de ellas ofrecerá una serie de ventajas en función de la potencia contratada y del consumo horario.

En la factura se incluyen todos los términos correspondientes al mantenimiento del servicio, los derechos de tenerlos conectados a la red y el importe debido a la energía consumida. Se representan tanto importes desglosados, como globales (suma de los desglosados) de cada uno de los conceptos que intervienen en el gasto económico periódico.

3.1.2. Partes de la factura

3.1.2.1. Factura resumen

Los importes efectuados a la compañía de luz dependen de la potencia contratada, de la energía consumida, impuesto de la electricidad, alquiler de equipos de medida y control y, finalmente, del impuesto sobre el valor añadido (IVA).

La potencia contratada es la cantidad de kilowatios contratados. Este importe se considera fijo y aumenta a medida que se incrementa la potencia.

La energía consumida es el gasto energético que se produce, la cual depende del tiempo de utilización de cada aparato.

El impuesto de electricidad representa el valor a pagar por el consumo en cada punto de suministro. Al igual que la potencia contratada, se trata de un precio fijo que se aplica sobre la suma del término de potencia y energía consumida.

El alquiler de equipos de medida y control es una cantidad fija que es necesaria abonar si el contador eléctrico pertenece a la compañía distribuidora.

El impuesto sobre el valor añadido de la suma de todos los conceptos anteriores.

3.1.2.2. Consumo eléctrico

Se visualizan las lecturas del consumo eléctrico anterior y actual, realizando una comparativa para calcular la diferencia entre ambos períodos. A su vez, se muestra un diagrama de barras de la evolución del consumo en el que se representa la energía consumida (kWh) frente a los períodos de tiempos mensuales. De esta manera, se tiene una imagen más visual y representativa del consumo anual y de la media estimada. También se aporta información complementaria sobre el consumo medio diario facturado, el consumo medio diario en los últimos 14 meses y el consumo acumulado del último año.

3.1.2.3. Datos del contrato

Las características que definen el contrato realizado. Se representa como datos más significativos el titular del contrato, la dirección de suministro, el tipo de contrato, tipo de contador, peaje de acceso y la potencia contratada, entre otras.

3.1.2.4. Destino del importe de la factura

El importe que se efectúa en la factura eléctrica se desglosa en varios destinos:

- Impuestos aplicados. Los impuestos antes mencionados sobre la electricidad y sobre el IVA.
- Coste de producción de electricidad y costes de comercialización que supone a las comercializadoras la gestión de las facturas de los clientes con tarifas del Precio Voluntario al Pequeño Consumidor (PVPC), la atención al cliente y la contratación.
- Costes regulados que se subdividen en incentivos a las energías renovables, cogeneración y residuos, coste de las redes de transporte y distribución y otros costes regulados, pertenecientes a los pagos correspondientes al operador del sistema y al operador del mercado en concepto de retribución, pagos por capacidad del sistema en función de los periodos tarifarios y las cuantías que resulten de aplicar las pérdidas.

3.1.2.5. Detalle de la factura

Se calculan los importes reflejados en el apartado “Factura resumen” de manera desglosada y detallada hasta determinar la cantidad final a pagar. A su vez, se hace una comparativa para una mayor contrastación por parte del cliente del precio que supondría la elección de otras modalidades de discriminación horaria disponibles.

3.1.2.6. Información adicional

Información sobre opciones alternativas a la contratación del cliente, sobre el origen de la electricidad que llega a la vivienda en cuestión y sobre el impacto medioambiental de las fuentes energéticas utilizadas para la generación dicha electricidad, dando a conocer la etiqueta energética en emisiones de dióxido de carbono y en residuos radiactivos de alta actividad.

3.2. Energías renovables

3.2.1. Definición

Las energías renovables son aquellas que se obtienen a partir de fuentes y recursos naturales, permitiendo la sustitución parcial, completa o la complementariedad con las energías provenientes de combustibles fósiles.

Este tipo de energía, además de presentarse de manera “semi-indefinida” (ya sea por la gran cantidad de energía que se puede aprovechar o porque su regeneración es más rápida que su consumo), supone un bajo impacto negativo sobre el medio ambiente, de manera que se fomenta el desarrollo sostenible al satisfacer las necesidades sin comprometer al medio ambiente o a la atmósfera por la ausencia de residuos contaminantes.

Dentro del marco de las energías renovables, se debe distinguir entre aquellas energías provenientes de fuentes limpias y las que provienen de fuentes contaminantes. Entre las primeras caben destacar la energía eólica, solar, geotérmica, hidroeléctrica, entre otras. Las energías renovables de fuentes contaminantes se obtienen a partir de materia orgánica o biomasa, las cuales presentan el problema similar de las energías de combustibles fósiles: emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, con adición de hollines y otras partículas sólidas propias de su producción. La razón de su clasificación renovable estriba en que el dióxido de carbono emitido ya ha sido previamente absorbido por los vegetales. [2]

3.2.2. Ventajas del uso de energía renovable

Entre las ventajas de este tipo de energía, destacan:

- ✓ Reserva ‘inagotable’. Las energías renovables se obtienen de fuentes energéticas consideradas inagotables o semi inagotables, puesto que su consumo va a un ritmo ralentizado en comparación con su generación.
- ✓ Solución contra el cambio climático. Debido a las nulas o bajas emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera en los procesos de generación de energía, se consideran energías pioneras frente a la degradación medioambiental.
- ✓ Reducción de la dependencia energética. La alta importación de combustibles fósiles para la generación energética supedita al país con el proveedor internacional, de modo que gran parte de la economía se encuentra sujeta a esta dependencia y suministro energético. La producción de energía autóctona con fuentes de energías naturales puede representar un paso hacia adelante para la independencia en las exportaciones internacionales.
- ✓ Competitividad. La disminución de costes en las tecnologías renovables realzan su competitividad actual con las convencionales. Las innovaciones y las economías a escala aportan aspectos positivos no solo en términos ambientales, si no en económicos.
- ✓ Horizonte favorable. Las normativas acerca del cambio climático y la consecución de un planeta sostenible implica el uso incondicionado de este tipo de energías, entendiendo la obligación de disponer de tecnologías renovables para la disminución de índices que alertan sobre datos perjudiciales de clima, recursos naturales y medio ambiente. [3]

3.2.3. Situación nacional de las energías renovables

Las energías renovables en España conforman un conjunto a tener en cuenta para la generación de electricidad. A lo largo del tiempo, se ha fomentado el uso de tecnologías que permiten su obtención, apostando por su desarrollo y su uso casi indiscutible para el futuro.

El objetivo según el Plan de Fomento de las Energías Renovables para el año 2010 era generar hasta el 30% de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, alcanzándose dicha cifra mediante la energía eólica, principalmente, junto con la hidráulica (con un 16% de demanda nacional en ambas energías). La energía solar quedaba a la vanguardia de sufrir una expansión y generación del mismo nivel que las anteriores, pese a la favorable situación geográfica en la que se encuentra el país (2% de demanda).[4]

Durante el año 2016, casi el 16% de toda la energía consumida en España provenía de fuentes de energía renovables, con casi el 40% de generación de electricidad, unas cifras que se asemejan a lo obtenido durante el año 2018. Este progresivo aumento de las energías renovables permitió un descenso considerable en las emisiones de CO₂, contribuyendo al desarrollo sostenible y al cumplimiento de la Directiva 20/20/20 por la que se pretende reducir un 20% el consumo de energías primarias y emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar un 20% las energías renovables para el año 2020, establecidas por los dirigentes de la Unión Europea en 2007 e incorporadas a la legislación en 2009. [4]

Actualmente, la producción de energía renovable se mantiene en unos valores similares a los del año anterior (36,8% frente a los 38,5% del año 2018), aunque la potencia instalada se ha visto incrementada un 4,3%, suponiendo un récord con respecto a los años anteriores. A su vez, se ha conseguido una disminución considerable en las emisiones de CO₂ debido al fuerte descenso de la generación con carbón, pasando a proveer del 14,3% de la electricidad en 2018 a un 5% en 2019, figura 1. [4]

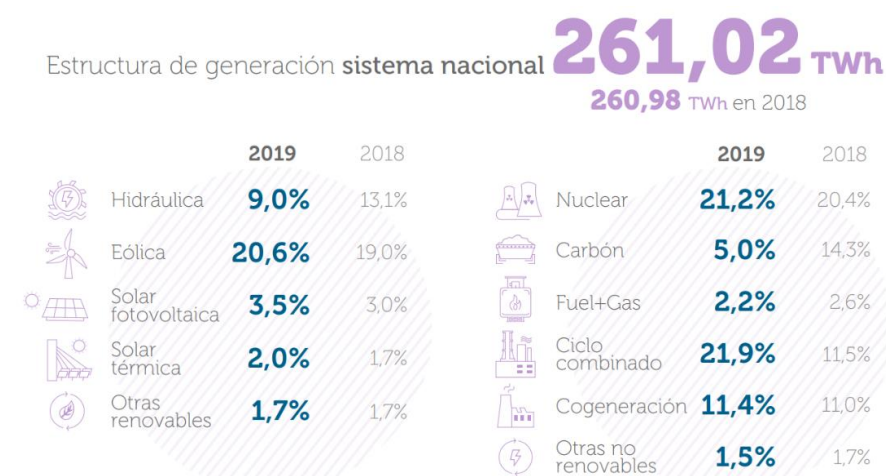


Figura 1. Generación energética del sistema nacional [4]

De los datos que se obtienen hasta la fecha, se deduce la gran participación de España en la apuesta por las energías renovables, siendo el séptimo país del mundo que más produce con energía eólica y el octavo que más produce con solar, con un crecimiento interanual del 12% y del 22%, respectivamente.

3.3. Energía solar fotovoltaica

3.3.1. Introducción

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable que utiliza la radiación procedente del Sol para producir electricidad, por lo que se clasifica como energía renovable no contaminante. Se trata de un sistema de producción eléctrica que ha avanzado considerablemente a lo largo de los últimos

años, convirtiéndose en la tercera fuente de energía renovable con más capacidad instalada a nivel global, después de la energía eólica e hidroeléctrica.

Una de las desventajas que presenta este tipo de energía es la dependencia a la radiación solar, por lo que son factores influyentes en la producción las condiciones meteorológicas características como cielo nublado y período nocturno. Asimismo, una correcta orientación de los paneles consiguiendo una incidencia perpendicular de la radiación solar sobre las células aumenta la eficiencia de las mismas, evitando pérdidas de entre un 10-25% de la energía incidente.

Las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica son numerosas, entre las que destacan la generación eléctrica para usos domésticos, la electrificación rural de pueblos que se encuentran alejados de las principales redes eléctricas, sistemas autónomos de iluminación y señalización, etcétera. Su enorme versatilidad, junto con los avances tecnológicos y economías de escala, ha ocasionado una reducción de su coste de forma constante, logrando que dicha energía sea competitiva con las fuentes de energía convencionales.

Económicamente, la inversión que se realiza estriba del coste de los equipos que permiten la producción de electricidad, su almacenamiento y su preparación para que los receptores puedan aprovecharlas, así como de elementos reguladores que permiten la correcta coordinación del sistema fotovoltaico.

3.3.2. Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico, figura 2, consiste en convertir la radiación solar en energía eléctrica a través de dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. Estas células pueden estar compuestas a partir de silicio puro (aunque existen otros materiales como el arseniuro de galio) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos. Durante el fenómeno, las células generan la electricidad en corriente continua de 2 a 4 A y un voltaje de 0,46 a 0,48 V. [5]

Cuando la célula capta la radiación solar, se produce un choque entre los fotones y los electrones procedentes de los átomos del material semiconductor, cediendo la suficiente energía y liberando dichos electrones, lo que permite su circulación de forma permanente sobre el material por la presencia de un campo eléctrico. El campo eléctrico se genera gracias a una unión P-N, donde una capa del material tiene exceso de electrones (carga negativa) y otra, una carencia de ellos (carga positiva). Un conductor externo permite el flujo de los electrones de una capa a otra para que vuelva a su zona origen, produciéndose así la corriente eléctrica continua. [5]

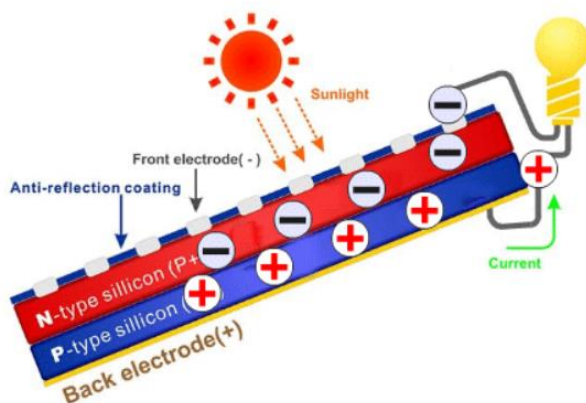


Figura 2. Efecto fotovoltaico [5]

3.3.3. Tipos de células fotovoltaicas

La manera de fabricar las células fotovoltaicas repercute en la eficiencia a la hora de captar la radiación solar. El material principal de la composición de dichas células es el silicio, aunque dependiendo del método de fabricación de las mismas, se obtienen distintos tipos de células con rendimientos variables, figura 3.

- Células monocristalinas. Constituidas por un único cristal de silicio con estructura uniforme. Se trata de un material de alta pureza, en el que los átomos se encuentran dispuestos en una perfecta alineación que facilita la conductividad, por lo que se garantiza un mayor rendimiento en comparación con el resto de células del mercado, alcanzando rendimientos del 20-25%. La vida útil de estas células es superior y se distinguen por su color oscuro y sus bordes redondeados. Por contra, presentan un coeficiente térmico bajo y un mal comportamiento en caso de sombras parciales. Su fabricación resulta costosa y lenta, y se necesita una considerable cantidad de silicio con respecto a las demás para su elaboración.[7]
- Células policristalinas. Constituidas por muchos cristales de silicio. Se vierte el silicio en moldes cuadrados, evitando la necesidad de biselarlos como los monocristalinos. Su proceso de fabricación es más económico debido a la menor cantidad de silicio utilizada, aunque presentan un mejor coeficiente térmico. El rendimiento de este tipo de células es ligeramente inferior, con un 16-20%, por lo que se necesita disponer de más superficie de células para conseguir la misma potencia. Estas células son reconocibles por la irregularidad en su superficie y color, además de la forma cuadrada que las caracteriza. [7]
- Células amorfas. Se obtienen al depositar el silicio sobre una base de vidrio, plástico u otro material. Resulta la célula más económica debido al mayor aprovechamiento del silicio y a la necesidad de emplear menos cantidad. El proceso de fabricación es sencillo y flexible en cuanto a superficie y color, por lo que facilita la integración arquitectónica del conjunto de módulos. Presenta un buen comportamiento a las sombras parciales y a las altas temperaturas, aunque su rendimiento es el más bajo del mercado, con un 10-15%. [7]

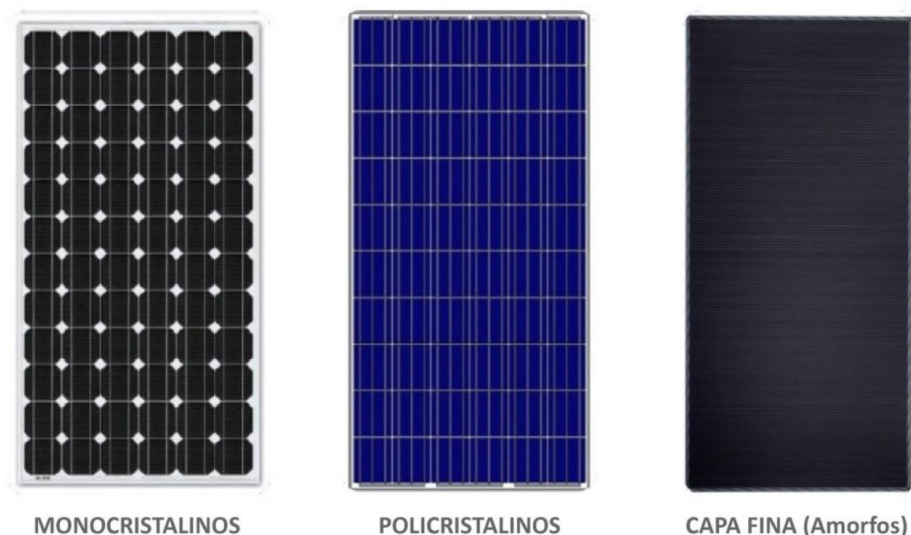


Figura 3. Tipos de células fotovoltaicas [8]

3.3.4. Composición de módulos fotovoltaicos

Los módulos o paneles solares están constituidos por la interconexión de las células fotovoltaicas, las cuales pueden estar en serie o en paralelo, dependiendo de los niveles de tensión y corriente requeridos por el panel. La tensión se calculará primeramente con la colocación de las células en serie hasta alcanzar el valor requerido, y la corriente, con la posterior colocación de células en paralelo. Esta disposición también se tiene en cuenta en los paneles solares, los cuales se organizan de la misma forma entre ellos para conseguir los valores de corriente y tensión deseados del generador fotovoltaico.

Los elementos que componen un módulo fotovoltaico, figura 4, son los siguientes:

- Una superficie exterior de cristal templado con un grosor de 3-4 mm, con la cara exterior texturada para la correcta absorción de la radiación solar.
- Un relleno interior fabricado a partir de acetato etileno que realiza la función de encapsulante de las células fotovoltaicas, protegiéndolas de la humedad, abrasión y de los rayos UV, al igual que de las posibles vibraciones.
- Una superficie posterior fabricada normalmente a partir de fluoruro de polivinilo para ofrecer protección al módulo y adhesión al material del encapsulante.
- Las células fotovoltaicas.
- Una caja de conexiones con bornes de conexión y diodos bypass para la conexión con otros módulos y la evitación de los efectos que se producen por puntos calientes y sombreados, respectivamente.
- Un marco de aluminio que permite la instalación sobre un determinado soporte. [9]



Figura 4. Composición de módulos fotovoltaicos [10]

3.3.5. Curva característica I-V

El comportamiento eléctrico del módulo fotovoltaico se representa a partir de la curva característica intensidad-tensión, figura 5. Los datos que se abaten en dicha gráfica vienen determinados por unas condiciones ambientales concretas y normalizadas con las que se ensaya su comportamiento (radiación solar de 1000 W/m², temperatura ambiente de 25°C y distribución espectral de 1,5 AM). Las condiciones reales de operación pueden variar dependiendo del emplazamiento geográfico, por lo que es necesario aplicar factores de corrección en los cálculos obtenidos.

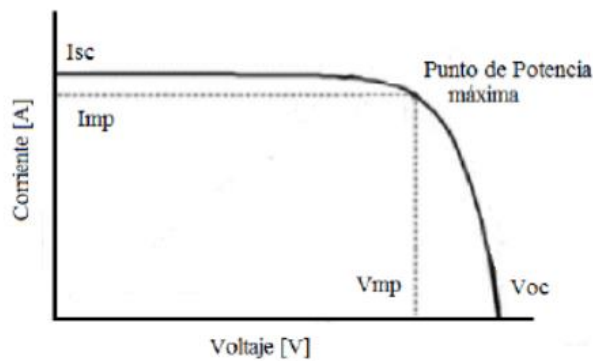


Figura 5. Curva característica I-V [11]

Los parámetros que intervienen son los siguientes:

- Intensidad de cortocircuito (I_{sc}): máxima corriente que se mide en el módulo cuando la tensión de salida es cero.
- Intensidad en el punto de máxima potencia (I_{mp}): valor de la corriente cuando la potencia producida por el módulo es la máxima.
- Tensión de circuito abierto (V_{oc}): máxima tensión que se mide en el módulo cuando la corriente entre sus bornes es cero.
- Tensión en el punto de máxima potencia (V_{mp}): valor de la tensión cuando la potencia producida por el módulo es la máxima.
- Potencia máxima: máxima potencia que producirá el módulo en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura, correspondiente al par máximo I-V.

La calidad del dispositivo fotovoltaico resulta de gran interés en la selección de un modelo. La relación entre el punto de máxima potencia proporcionada por el módulo y el punto hipotético de máxima potencia cuando se trabaja con un rendimiento del 100% se denomina factor de forma, cuyo valor será menor cuanto más eficiente sea el módulo.

Las condiciones ambientales determinan el funcionamiento del módulo fotovoltaico, alterando los valores de la curva característica en función de dichos datos.

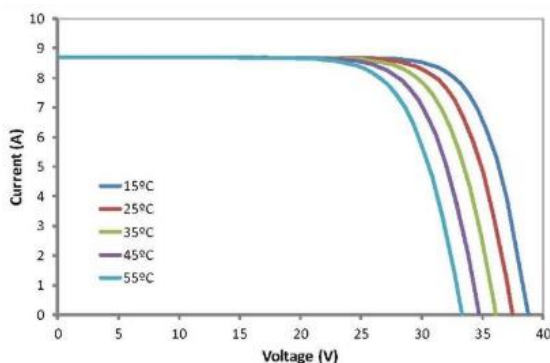


Figura 6. Curva I-V (según temperatura) [9]

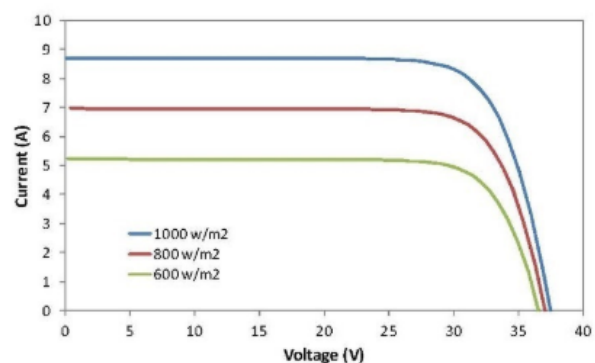


Figura 7. Curva I-V (según irradiancia) [9]

La irradiancia condiciona la intensidad generada por el módulo aumentando su valor cuanto mayor radiación solar capte el mismo, figura 6. Sin embargo, la tensión que aparece en bornes del módulo disminuye cuanto mayor es la temperatura ambiente y, por lo tanto, la temperatura que alcanza las células del módulo, figura 7.

3.3.6. Distancia de seguridad entre módulos

Para la instalación fotovoltaica, es imprescindible tener en cuenta el sombreado que produce la presencia de módulos próximos a otros. Es por esto que se calcula analíticamente la mínima distancia permitida para que las sombras no ocasionen pérdidas energéticas y, por lo tanto, económicas en dichos paneles.

Para ello, la orientación de los módulos es hacia el Sur debido al emplazamiento de la vivienda, de modo que se capte la máxima radiación para que la producción energética sea la máxima posible (ángulo de azimut = 0°). A partir del Código Técnico de Edificación (Sección HE 5 “Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica”), se calculan los límites de inclinación de los paneles solares en función de la máxima pérdida permitida, figura 8.

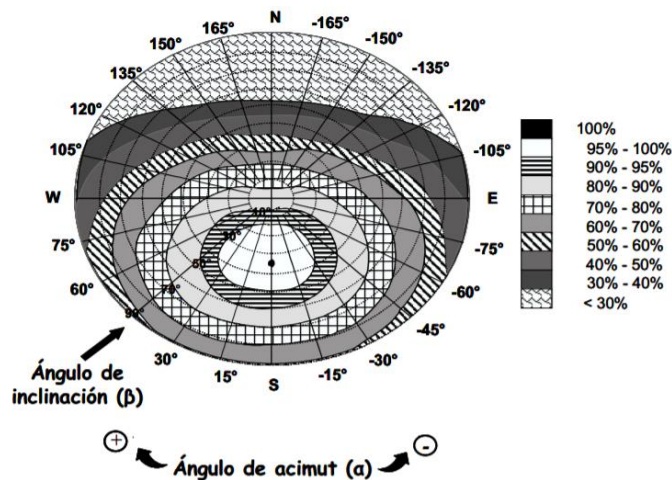


Figura 8. Ángulos de inclinación de módulos en función de pérdidas [12]
Fuente: CTE

Para una pérdida máxima del 10%, se obtiene un límite inferior de inclinación de 6° y un máximo de 60° , escogiéndose como ángulo de inclinación final para todo el año de $\beta=33^\circ$.

La separación entre filas de paneles, figura 9, debe ser tal que garantice la ausencia de sombreados entre las 10 y las 12 horas solares en el solsticio de invierno, en el que se tienen menos horas de luz y el sol al mediodía se encuentra en su mínima altura anual. Por lo que se determina el ángulo de la radiación solar con la horizontal como $\alpha=22^\circ$.

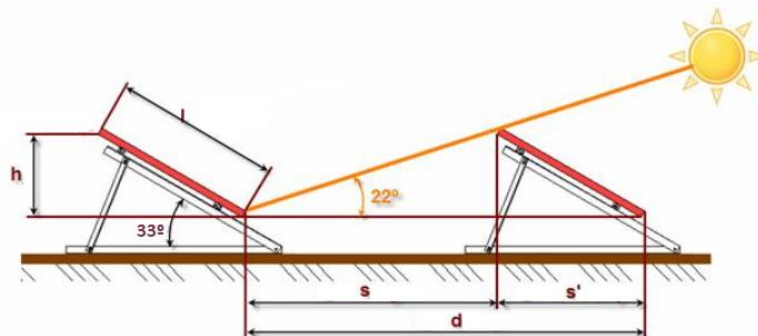


Figura 9. Distancia y medidas de módulos [13]

Con apoyo en la arista más pequeña, se calculan los parámetros que permiten obtener la superficie completa del módulo y la sombra que genera, con el fin de conocer, a partir de la superficie de la cubierta, el número máximo de paneles solares que se pueden instalar.

$$s' = l * \cos\beta \quad (1)$$

$$h = l * \sen\beta \quad (2)$$

$$s = \frac{h}{tg\alpha} \quad (3)$$

$$d = s + s' \quad (4)$$

$$d_u = d * \cos\varphi \quad (5)$$

La longitud de sombreado “d” se da sobre la proyección del rayo solar sobre la base horizontal de apoyo de los paneles, pero no será la distancia útil “d_u”, la cual se sitúa perpendicular a la línea de apoyo Este-Oeste, formando un ángulo con la proyección solar igual a su azimut, figura 10.

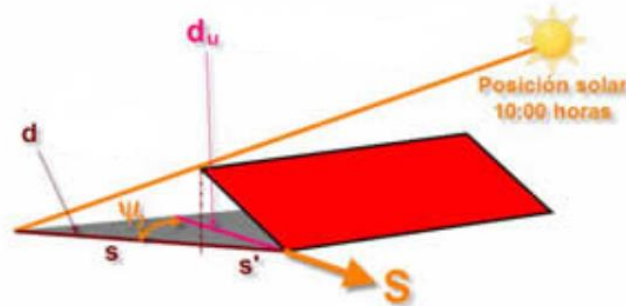


Figura 10. Distancia de sombreado [13]

$$\text{Superficie (sombra + módulo)} = \text{ancho} * d_u \quad (6)$$

Atendiendo a la superficie de la cubierta, es posible obtener el número máximo de módulos que se pueden instalar en ella y, por lo tanto, la potencia pico máxima.

3.4. Energía Minieólica

3.4.1. Introducción

La energía eólica es una fuente de energía renovable que utiliza la energía cinética del viento para producir electricidad. Se considera como una de las fuentes de energías más antiguas utilizadas por el hombre para diferentes actividades como el funcionamiento de la maquinaria de los molinos, el movimiento de los barcos mediante el uso de velas, etcétera. En la actualidad, la energía eólica es la más madura y eficiente de todas las energías renovables, con una potencia instalada mundial de 591 GW. Al igual que la energía solar, la energía eólica es autóctona, es decir, se encuentra disponible en la totalidad

del planeta, por lo que resulta interesante su implementación para reducir las importaciones energéticas a nivel mundial.

A pesar de ser una fuente de energía que inagotable, hay que tener en cuenta la imprevisibilidad del viento, alterando la producción y evitando la seguridad de las previsiones que se realicen. Es por esto que la instalación de este tipo de tecnología (aerogeneradores) debe situarse en una zona donde las ráfagas de viento se encuentren aseguradas dentro del intervalo de funcionamiento de las máquinas, ya que por debajo de la velocidad mínima disminuye considerablemente la potencia, y por encima supone un riesgo físico para la estructura.

Para el ámbito doméstico, la idea de implantar aerogeneradores de menor tamaño está cobrando cada vez mayor importancia. Los avances tecnológicos y las reducciones de precio de este tipo de instalaciones han propiciado su frecuente uso por parte de los pequeños consumidores, tanto para zonas aisladas, como para aquellas zonas conectadas a la red.

En España, a pesar de contar con regímenes de viento regulares, el aprovechamiento de la energía minieólica todavía no ha sido explotado en su totalidad. Aún así, es evidente el continuo crecimiento de esta tecnología, desde una potencia instalada nacional de 60 MW en el año 2015, hasta los 300 MW que se espera que se instale a finales del 2020, según el Plan de Energías Renovables. [6]

3.4.2. Tecnología minieólica

La generación de electricidad a pequeña escala se produce de la misma manera que los aerogeneradores de potencias más altas y propios de parques eólicos. Al ser el tamaño menor, la potencia a suministrar también se ve reducida, ya que el área que barren las palas no es equiparable en cuanto a tamaño. Las potencias que producen son inferiores a los 100kW y, de acuerdo con las normas internacionales, el área de barrido no debe superar los 200 m².

El funcionamiento de los aerogeneradores viene regido por la energía cinética del viento, cuyas ráfagas provocan una fuerza giratoria sobre las palas. La producción de energía eléctrica viene determinada por una serie de elementos que hacen del aerogenerador un excelente sistema de producción eléctrica para suplir el consumo existente en la vivienda, figura 11.

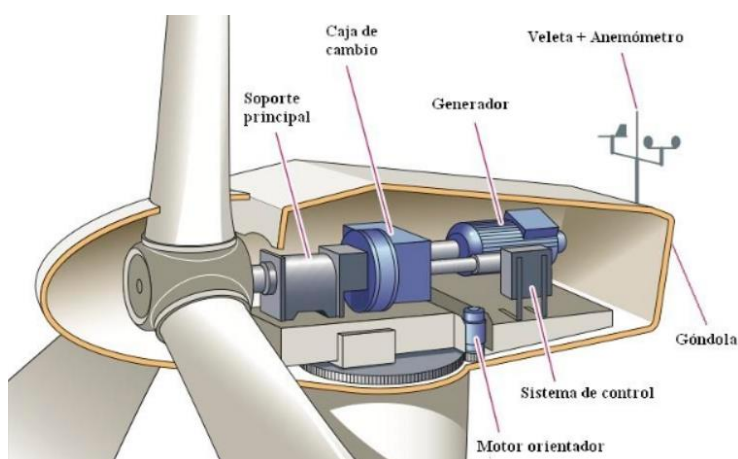


Figura 11. Componentes del aerogenerador [14]

Las ráfagas de viento producen un giro en las palas del aerogenerador, también denominados álabes, los cuáles convierten la energía cinética del viento en energía de rotación. Estos elementos se encuentran unidos al eje del aerogenerador a través del buje, formando en su conjunto el rotor, encargado de transformar la energía cinética del viento en energía mecánica. Los componentes que hacen posible la conversión de la energía mecánica en energía eléctrica se encuentran en el interior de un chasis situado

en la parte superior de la torre, denominado góndola. En su interior, se sitúa primeramente el eje de baja velocidad, el cual une el buje del rotor al generador. [15]

En aerogeneradores de baja potencia, el generador eléctrico más comúnmente usado es el síncrono de imanes permanentes, el cual funciona bajo la acción directa del giro del rotor, sin la presencia de una caja de cambio (o multiplicador). El uso de un generador de excitación de alta velocidad implica la función del multiplicador, la cual es aumentar el número de revoluciones al que se mueve el eje de baja velocidad, por lo que a su salida se conecta con el generador a través del eje de alta velocidad. [15]

Una vez aprovechado el aumento de las revoluciones (para casos de uso del multiplicador), el generador transforma la energía mecánica en energía eléctrica, con un rectificador a su salida cuya función sea mantener constante la tensión de entrada en el inversor.

Además de los elementos que participan en la transformación de la energía, el aerogenerador cuenta con otros elementos para la correcta coordinación y seguridad en su funcionamiento. La unidad de refrigeración, encargada de enfriar el generador eléctrico a partir de un ventilador eléctrico y una unidad refrigerante empleada para que no se sobrecaliente el aceite del multiplicador.

La monitorización y el control (en caso de que se traten de aerogeneradores de eje horizontal) se lleva a cabo a partir del sistema de control, realizando un análisis de las señales captadas por sensores que miden temperatura, presión, velocidad, vibraciones, etcétera. [15]

El sistema de frenado permite detener el funcionamiento del aerogenerador en caso de mantenimiento o para altas velocidades del viento que sobrepasen su rango de generación eficiente. Dependiendo del tipo de aerogenerador, estos frenos pueden ser eléctricos, aerodinámicos o mecánicos. [15]

Por último, para orientar en la dirección más favorable de viento se hace uso de la veleta o cola, junto con un anemómetro, calculando en todo momento la velocidad del viento para que el aerogenerador pueda trabajar dentro de su rango nominal. [15]

3.4.3. Configuración de los aerogeneradores

Los aerogeneradores presentan distintas configuraciones en función de su orientación. Se distinguen aeroturbinas de eje horizontal y de eje vertical.

Las aerogeneradores de eje horizontal se caracterizan por una disposición de las palas en un plano perpendicular a la dirección del viento. Este tipo de configuración es la comúnmente usada, con una tecnología más revisada y probada. Requieren de una torre o soporte que permita la estabilidad de la turbina y el distanciamiento con respecto al suelo (se aconseja una distancia mínima de 10 metros).

En función de la utilidad a la que se destine el aerogenerador, se pueden dividir en aeroturbinas rápidas o lentas. Las aeroturbinas rápidas, figura 13, se destinan a la producción de electricidad, debido a una mayor velocidad de sus palas (con un coeficiente λ , relación entre velocidad lineal en la punta de la pala y la velocidad del viento, mayor de 4). Estas aeroturbinas se clasifican a su vez según la localización del rotor, distinguiéndose la disposición a barvolento, con el rotor delante de la torre y con el viento incidiendo primeramente en él, y la disposición a sotavento, en cuyo caso el rotor se encuentra detrás de la torre sin que el viento incida directamente sobre el rotor. Las aeroturbinas lentas, figura 12, se destinan a aplicaciones propias de bombeo. Se caracterizan por tener más palas por aerogenerador, lo que les confiere elevados pares de arranque y una reducida velocidad de rotación, alcanzando coeficientes λ igual a la unidad. [16]



Figura 13. Aerogenerador rápido [16]



Figura 12. Aerogenerador lento [16]

Los aerogeneradores de eje vertical se caracterizan por la disposición de la palas en un plano paralelo a la dirección del viento. Este tipo de aerogeneradores presenta claras diferencias con respecto a los de eje horizontal, en cuanto a que no precisan de sistema de orientación y a una ubicación del generador y multiplicador en el suelo, sin la necesidad del uso de una torre. El escaso uso que presenta este tipo de configuración emana de diferentes puntos clave a tener en cuenta, como la baja velocidad del viento a nivel del suelo, que repercute en una disminución de generación eléctrica, con un rendimiento por debajo de su configuración antagónica y un coste más elevado. [16]

Esta configuración se divide en dos tipos de aerogeneradores de eje vertical: tipo Darrieus, figura 14, con una necesidad de monitorización para realizar el autoarranque y tipo Savonius, figura 15, con rendimientos bajos y escasa velocidad de giro, aunque sí permite el autoarranque.



Figura 15. Aerogenerador Savonius [16]



Figura 14. Aerogenerador Darrieus [16]

3.4.4. Potencia eólica

La potencia eólica resulta especialmente importante a la hora de determinar la potencia del aerogenerador. Sin embargo, al hablar de potencia, se deben diferenciar dos términos, la potencia eólica disponible y la potencia eólica aprovechable.

La energía que fluye por unidad de tiempo o la potencia eólica disponible, antes de pasar por el rotor del aerogenerador, viene dada de la siguiente forma:

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (7)$$

Siendo:

- ρ la densidad del aire, cuyo estándar en la industria eólica es de $1,225 \text{ kg/m}^3$
- A el área barrida por el aerogenerador [m^2]
- v la velocidad del viento [m/s]

La variación de cualquier parámetro de los expuestos anteriormente incide de manera proporcional sobre la potencia disponible, e incluso se representa un crecimiento exponencial con la velocidad del viento, por lo que resalta la viabilidad de la construcción de sistemas eólicos en emplazamientos donde el viento cobre importancia.

Sin embargo, no se aprovecha toda la energía cinética del viento en producción de energía mecánica. Según el físico Albert Benz: “Sólo puede convertirse menos de 16/27 (59%) de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador.” La reducción significativa de la potencia que se puede aprovechar depende de diversos factores, como las pérdidas mecánicas en la transmisión y la eficiencia eléctrica del generador.

Por lo tanto, se define un coeficiente de potencia que representa la fracción de potencia contenida en el viento que incide, el cual es realmente capturado por el aerogenerador, es decir, la relación entre la potencia eólica aprovechable y la disponible. En función de la relación de velocidad específica del aerogenerador (TSR), existen distintos coeficientes de potencia a tener en cuenta para el cálculo de la potencia eólica aprovechable, figura 16. [17]

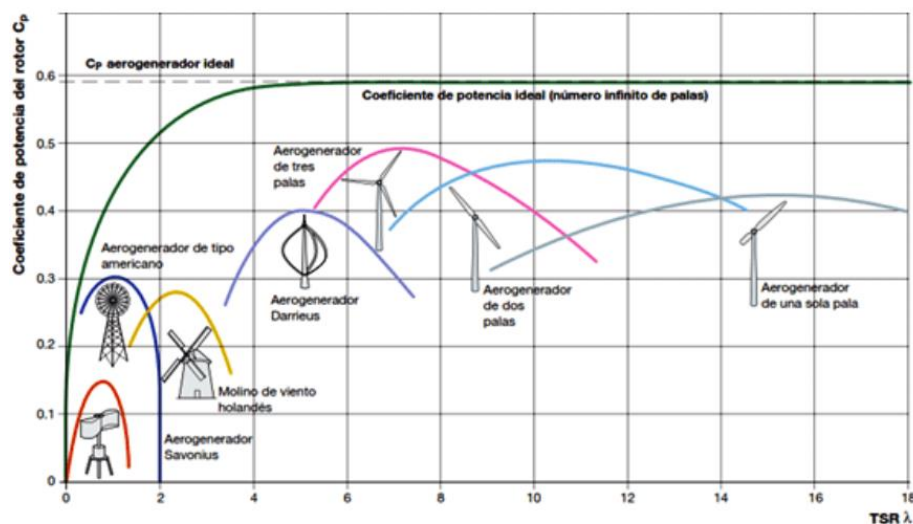


Figura 16. Curvas de coeficiente de potencia del rotor [18]

3.4.5. Curva de potencia

La curva de potencia de un aerogenerador, figura 17, permite conocer la potencia eléctrica disponible a diferentes velocidades del viento.

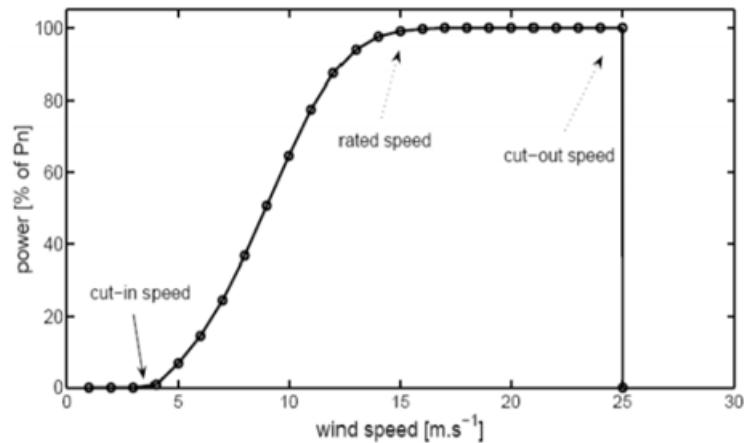


Figura 17. Curva de potencia aerogenerador [19]

Se diferencian cuatro tramos de funcionamiento del aerogenerador que determinan el carácter evolutivo de la potencia eléctrica obtenida. En primer lugar, se produce el arranque, con una velocidad del viento (velocidad de conexión) que permita vencer el rozamiento inicial y poner en marcha el generador eléctrico. A continuación se produce la carga parcial, a partir de la velocidad de arranque y siguiendo una ley no lineal de crecimiento hasta alcanzar un valor de velocidad del viento que permita obtener la potencia nominal del sistema, produciéndose una estanqueidad de la potencia para valores mayores de velocidad eólica. Por último, el freno del sistema, donde se alcanza una velocidad límite del viento (velocidad de corte) a partir de la cual el sistema de control anula la actividad del aerogenerador para protegerlo de posibles daños mecánicos debido a la gran carga aerodinámica que maneja.

4. MEMORIA DESCRIPTIVA

4.1. Emplazamiento

La vivienda a estudiar se localiza en la provincia de Cádiz (Andalucía), situada entre las calles Arcángel San Miguel y San Juan Bautista, figura 18.



Figura 18. Emplazamiento de la vivienda
Fuente: Google Maps

Se trata de un espacio habilitado para la construcción de edificaciones, en el que actualmente se encuentra desocupado. A su alrededor, se pueden observar construcciones de poca altura ya edificadas y construcciones en proceso de su terminación, provistas de varias plantas, así como espacios libres de edificaciones al norte y oeste de la vivienda a construir.

Las coordenadas de la edificación en cuestión son $36,513272^\circ$ y $6,282091^\circ$, de latitud y longitud respectivamente. La altura sobre el nivel del mar es de 11 metros.

La decisión de elegir esta localización se basa en las velocidades superiores de los vientos en las ciudades de costa, de modo que se podrá obtener una energía generada mayor por parte de la instalación minieólica a implementar.

4.2. Vivienda tipo

Se trata de una vivienda unifamiliar de dos plantas, de dimensiones de solar de 9 x 15 metros lineales y una superficie construida de 252 m^2 , figura 19. La cubierta se proyecta plana no transitable, con una superficie de 126 m^2 y petril de 30 cm (oculta casi en su totalidad al final de la construcción). La cubierta cuenta con un castillete para el acceso a ella de 2 m de altura, donde se colocará el aerogenerador de minieólica, separado a distinta altura de las placas solares, las cuales se instalarán a nivel cero de la cubierta. Los planos de la vivienda se adjuntan en el Anexo I del presente proyecto.

La construcción de la cubierta resulta viable en cuanto a las sombras se refiere, puesto que, al estar la entrada de la vivienda orientada hacia el Norte, las sombras que genera el castillete no afectan a las placas solares, las cuales se colocan al Norte y Sur de él, permitiendo una obtención óptima de la energía que pueden generar dichos paneles.

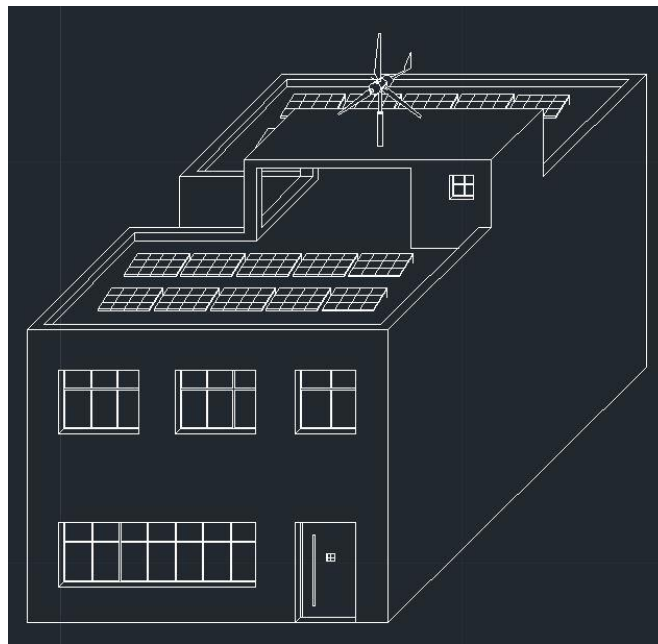


Figura 19. Croquis vivienda

4.3. Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos se corresponden con los obtenidos en la localidad de Cádiz, en la estación meteorológica situada en la provincia. Con el objetivo de establecer un rango de valores anuales para conocer las distintas características meteorológicas que condicionan la instalación, se presentan aquellos valores obtenidos entre el año 2013 y el año 2019, como fuente de información histográfica de la climatología existente en la localidad de Cádiz.

4.3.1. Temperatura

La temperatura resulta un parámetro importante en cuanto a la eficacia y dimensionado de algunos elementos que componen la instalación (paneles fotovoltaicos, sistema de baterías, etcétera). Se mide en °C.

Tabla 1. Temperaturas mensuales Cádiz

Temperatura	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Máxima	18.94	19.57	22.38	25.37	28.7	32.27	33.02	33.47	31.48	28.35	23.61	20.61
Máx. media	16.12	16.23	18	20.3	23.41	25.61	27.38	28.44	26.82	23.86	19.75	17.4
Media	13.12	13.37	15.12	17.35	20.21	22.6	24.44	25.31	23.92	20.97	16.85	14.32
Mín. media	10.12	10.57	12.24	14.42	17.01	19.61	21.5	22.15	21.02	18.08	13.94	11.27
Mínima	5.91	5.97	8.6	10.87	13.01	16.72	19.32	19.64	18.41	13.55	9.02	7.04

Se distinguen varios tipos de temperaturas necesarias para el estudio energético, entre las cuales destacan la temperatura máxima absoluta de cada mes, junto con la media de las máximas de cada día. Igualmente, se representan los datos de temperaturas mínimas y la media mensual entre los seis años de estudio, tabla 1 y figura 20.

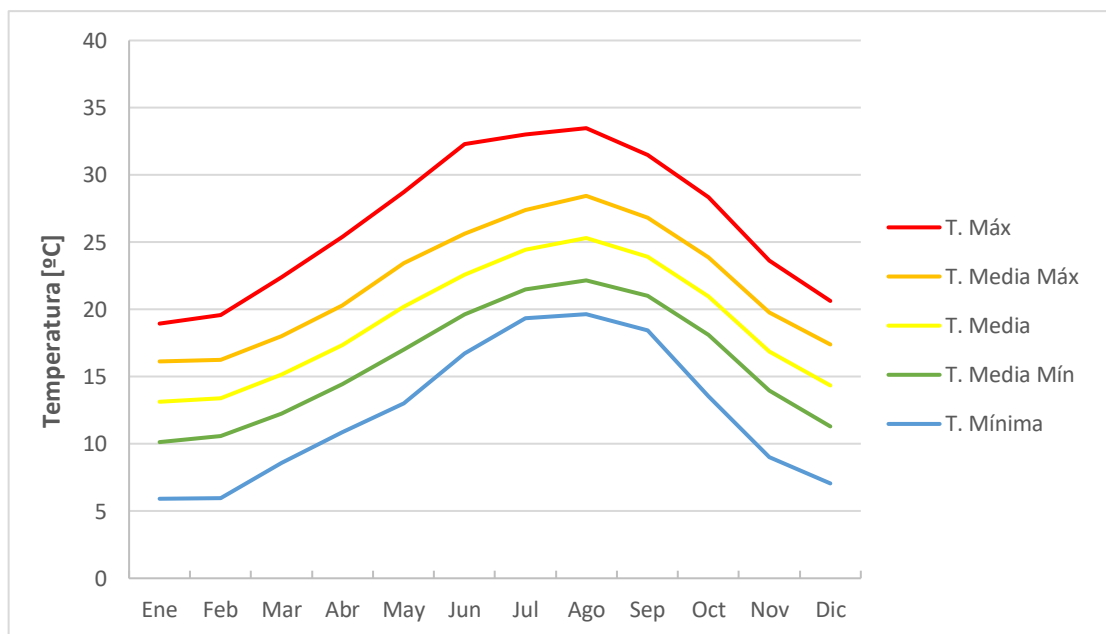


Figura 20. Evolución gráfica de las temperaturas

4.3.2. Radiación solar

La radiación solar global representa el parámetro fundamental para la cuantificación de la energía generada del sistema fotovoltaico. Se divide en dos tipos de radiaciones, directa y difusa. La radiación directa es aquella que proviene directamente del sol, mientras que la radiación difusa es aquella recibida de la atmósfera como consecuencia de la dispersión de parte de la radiación en la misma.

La magnitud que describe la radiación solar es la irradiancia, la cuál determina la potencia por unidad de superficie y es suma de la irradiancia directa, difusa y reflejada. La irradiancia influye de manera proporcional a la generación. Debido a que la instalación fotovoltaica se sitúa sobre un plano horizontal, la irradiancia reflejada por la superficie terrestre es nula. Se representa la irradiancia global media, directa y difusa a lo largo de los seis últimos años, tabla 2 y figura 21. Se mide en kWh/m^2 .

Tabla 2. Irradiancias mensuales Cádiz

Irradiancia	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Directa	96.6	116.9	142.3	170.8	219.4	246.9	263.7	227.9	173	115.6	96.7	73.9
Difusa	40.9	44.9	63.6	70.2	73.3	67.7	63.8	61.7	59.2	56.8	42.8	39.3
Global	68.75	80.9	102.9	120.5	146.3	157.3	163.7	144.8	116.1	86.2	69.75	56.6

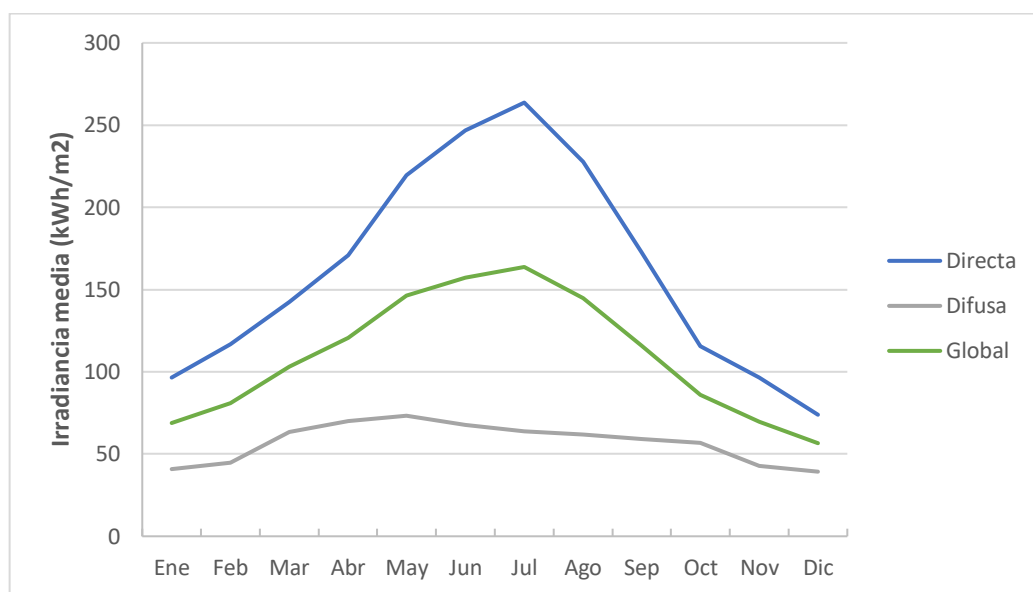


Figura 21. Evolución gráfica de las irradiancias

4.3.3. Viento

La velocidad del viento influye de manera determinante en la generación eléctrica a partir de los aerogeneradores. La elección del emplazamiento se realiza en base a esta condición, buscando la manera óptima de obtención de energía. Se representa tanto la velocidad media mensual de los últimos seis años como las rachas máximas de velocidad que pueden alcanzar las corrientes de aire, condicionante de posibles fallos estructurales ocasionados en los aerogeneradores, tabla 3 y figura 22.

Tabla 3. Velocidades y rachas máximas mensuales Cádiz

Viento	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Velocidad	13.67	15.35	16.62	17.56	17.34	17.1	14.87	15.97	13.81	14.13	13.57	14.22
Racha máx.	35.84	39.55	42.66	43.38	41.04	39.78	35.46	37.73	35.31	37.55	37.59	36.18

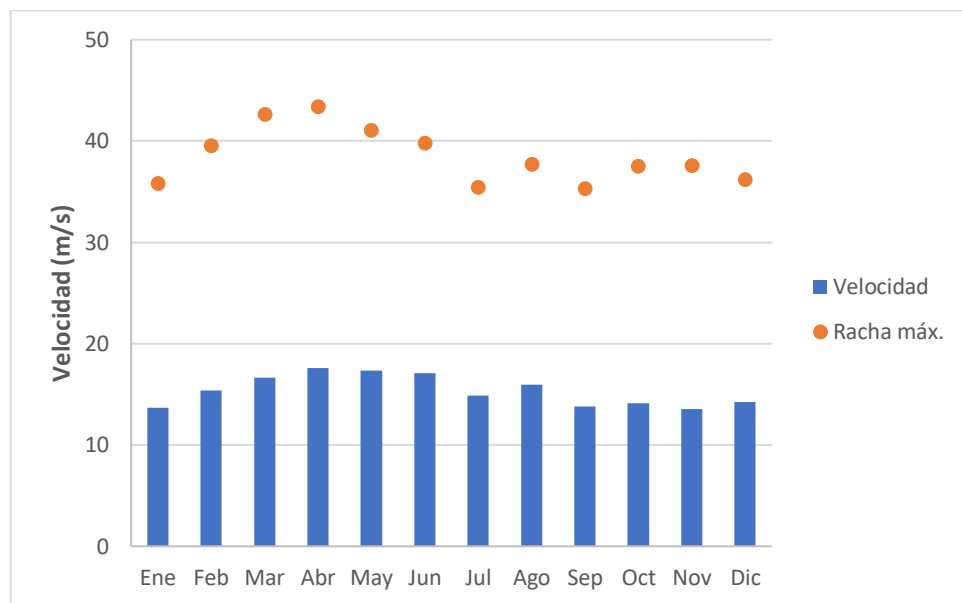


Figura 22. Evolución gráfica de las velocidades y rachas máximas de vientos

Tal y como se detalla en la figura anterior, las rachas de viento son de especial importancia, ya que pueden incrementar la velocidad de la corriente de aire, en un instante determinado, hasta 2.5 veces la velocidad media del viento de cada mes.

4.4. Instalaciones

La energía generada en la vivienda se va a conseguir a partir de dos tipos de instalaciones principales, las cuales compensarán el consumo energético de la vivienda, permitiendo un ahorro económico en la factura eléctrica. Estas instalaciones son:

- ✓ Aerogenerador minieólico
- ✓ Paneles fotovoltaicos

El objetivo consiste en el estudio de la combinación del uso de dichas formas de obtención de energía y observar si resulta rentable su instalación. A su vez, intervienen otros elementos que hacen posible que la energía generada por dichas instalaciones llegue a la vivienda, conformando un conjunto de elementos que garanticen la obtención, transporte y conversión a corriente característica del funcionamiento de los receptores.

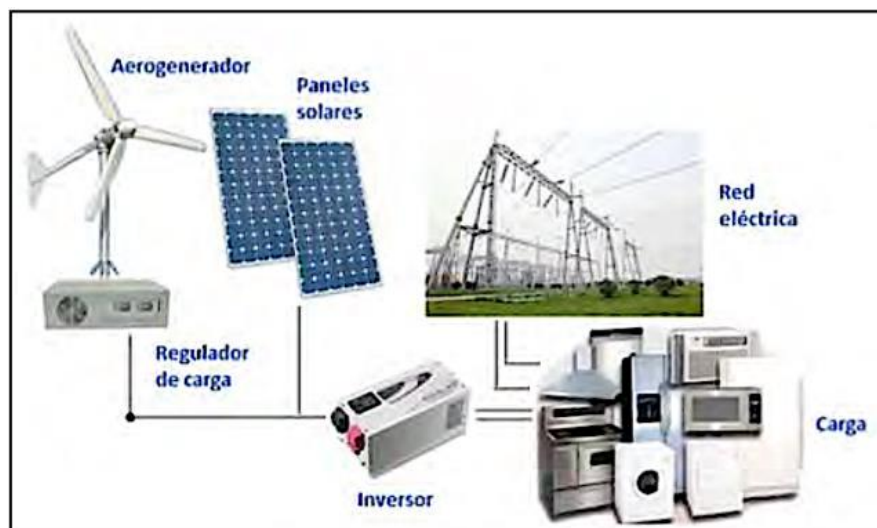


Figura 23. Esquema de funcionamiento de las instalaciones [22]

Se trata de una instalación conectada a la red eléctrica, es decir, el suministro de energía eléctrica a las cargas estaría asegurado por la conexión a la red, abasteciendo en paralelo a dichos receptores cuando el consumo supera los valores obtenidos de la generación fotovoltaica y eólica, figura 23.

La garantía del abastecimiento de energía eléctrica es mayor que la de sistemas aislados, los cuales dependen de grupos electrógenos (generadores eléctricos diésel) y acumuladores eléctricos (baterías) para su obtención, además de la sencillez de la instalación y la ocupación de menor espacio que conlleva el ahorro de dichos elementos. Los generadores permiten la producción de electricidad, alternativa a los captadores fotovoltaicos y eólicos, en el caso de cubrir picos puntuales de consumo o en períodos largos donde la captación energética no sea suficiente, mientras que las baterías almacenan la energía obtenida para poder utilizarla en momentos de escasa irradiancia o velocidad del viento.

Los costes de operación y mantenimiento también se ven reducidos en comparación al sistema aislado, así como un aumento en la protección del medioambiente debido a que se evita el funcionamiento de grupos electrógenos que emiten dióxido de carbono u óxidos de nitrógeno durante su funcionamiento y acumuladores, los cuales utilizan componentes tóxicos como las baterías electroquímicas.

En el caso de un sistema híbrido fotovoltaico-minieólico, la función del regulador de carga recae exclusivamente en el aerogenerador, de modo que controle y ofrezca seguridad al sistema, evitando situaciones de embalamiento del rotor. El uso de los reguladores de carga en los paneles fotovoltaicos resulta innecesario debido a la inexistencia de un banco de baterías que permita el almacenaje de energía procedente de los captadores solares. La incorporación de un banco de baterías haría necesaria la introducción de reguladores de carga tanto en el sistema eólico como en el fotovoltaico, ejerciendo una doble función de controlador de carga y protección de baterías. [22]

El sistema eólico, al generar electricidad de forma alterna en función de la frecuencia de giro del rotor, debe disponer a la salida del mismo un rectificador que permita la conversión de corriente alterna en continua, con su respectivo convertidor electrónico para adecuar la frecuencia de la tensión generada a la de la red.

Los inversores son dispositivos que transforman la corriente continua en corriente alterna, dispuesta a ser utilizada por los receptores de la vivienda o para ser inyectada en la red. La corriente alterna que proporcionen debe contar con la tensión y frecuencia requeridas para la instalación receptora o red, al igual que la potencia del mismo debe ser igual o superior a la potencia instalada fotovoltaica + eólica, por lo que su elección resulta imprescindible para el correcto funcionamiento del conjunto.

Por último, el cableado y los elementos de protección deben estar regidos por la legislación vigente, de modo que se garantice el funcionamiento del sistema y la protección tanto de los equipos como de las personas.

5. MEMORIA CONSTRUCTIVA

Para la instalación fotovoltaica-minieólica a realizar, se seleccionan varios modelos con el objetivo de realizar una futura comparación tanto energética como económica, seleccionando la combinación de equipos que resulte óptima. Los modelos de los equipos captadores que se evalúan proceden de fabricantes españoles con una reconocida experiencia en el sector energético. Las características completas de los aerogeneradores según el fabricante se representan en los catálogos proporcionados en el Anexo II.

5.1. Aerogeneradores minieólicos

Los aerogeneradores a implementar provienen de los fabricantes ENAIR y BORNAY, figuras 24 y 25. Teniendo en cuenta la utilidad doméstica, se van a escoger tres tipos de aerogeneradores minieólicos para el desarrollo del estudio energético.



Figura 25. Aerogenerador Enair [23]



Figura 24. Aerogenerador Bornay [24]

5.1.1. Enair 30 PRO

Las características principales de los aerogeneradores Enair 30PRO, tabla 4 y figuras 26 y 27, se representan a continuación:

Tabla 4. Características Enair 30PRO [23]

Potencia máxima	3000 W
Potencia nominal	1900 W
Tensión	24/48/220 V
Velocidad de arranque	2 m/s
Velocidad de corte	60 m/s
Diámetro	3,8 m
Nº de palas	3

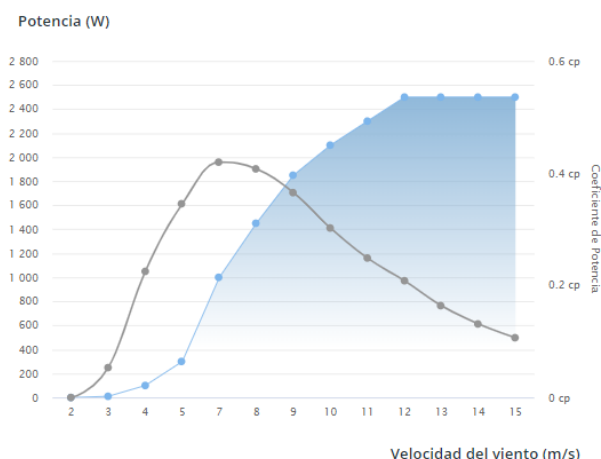


Figura 27. Curva de potencia Enair 30PRO [23]

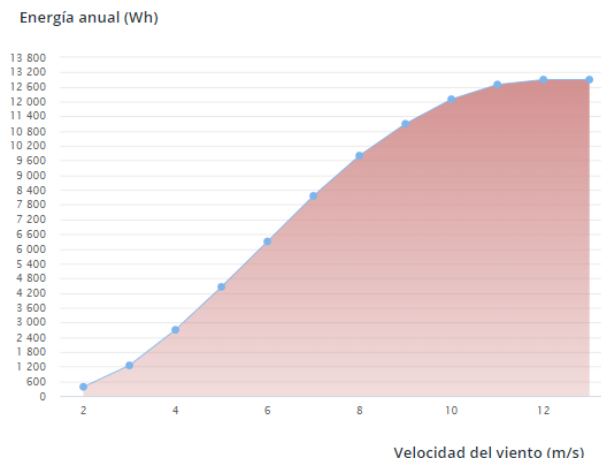


Figura 26. Energía anual Enair 30PRO [23]

Los aerogeneradores Enair 30PRO proporcionan una producción energética alrededor de 30kWh al día, con una velocidad nominal de 11 m/s. Están compuestos por un generador de imanes permanentes (de neodimio) con una velocidad nominal de 250 rpm y un rotor de eje horizontal a barvolento, con una disposición frontal del rotor sobre la torre. El aerogenerador dispone de un controlador eólico como convertidor de alterna a continua debido al uso del tipo de generador descrito, junto con sistema de orientación pasivo con timón que permite la óptima orientación en función de la dirección del viento. [23]

En cuanto a las características de las palas, dichos elementos se fabrican a partir de fibra de vidrio, con un núcleo de poliuretano de alta densidad y un refuerzo en la raíz que le proporciona un factor de seguridad 9. El aerogenerador cuenta con dos velocidades de actuación en función del ángulo de las palas, con los primeros 30° para absorber rachas de viento y los 15° siguientes en caso de vientos fuertes mantenidos. [23]

5.1.2. Enair 70 PRO

Las características principales de los aerogeneradores Enair 70PRO, tabla 5 y figuras 28 y 29, se representan a continuación:

Tabla 5. Características Enair 70PRO [25]

Potencia máxima	5500 W
Potencia nominal	4000 W
Tensión	24/48/220 V
Velocidad de arranque	2 m/s
Velocidad de corte	60 m/s
Diámetro	4,3 m
Nº de palas	3

Los aerogeneradores Enair 70PRO proporcionan una producción energética alrededor de 80kWh al día, con una velocidad nominal de 11 m/s. Sus características técnicas y de fabricación son exactamente iguales al aerogenerador Enair 30 PRO, diferenciándose en aspectos constructivos (mayor área de barrido y peso) y, por consiguiente, en un aumento de la potencia generada. [25]

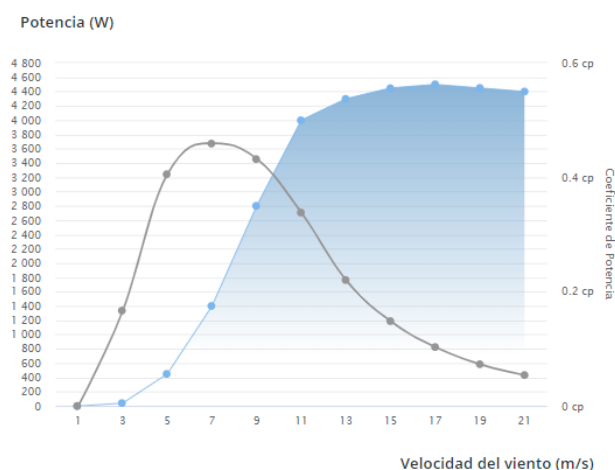


Figura 29. Curva de potencia Enair 70PRO [25]

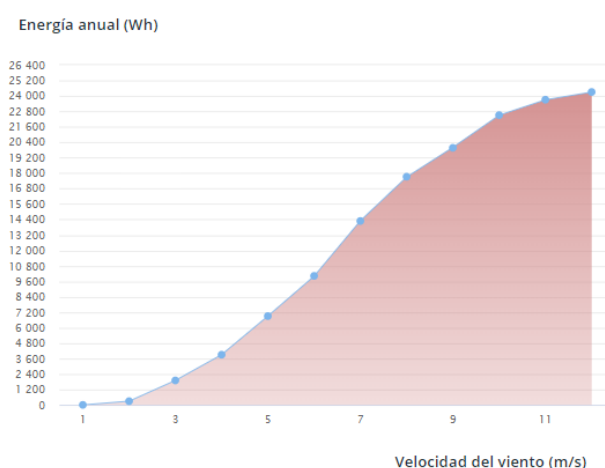


Figura 28. Energía anual Enair 70PRO [25]

Un aspecto a tener en cuenta para el funcionamiento óptimo de los aerogeneradores es la velocidad de corte, la cual no sobrepasa los 60 m/s. Es necesario que los aerogeneradores dispongan de sistemas de frenado óptimos que aseguren la reducción o la parada del aerogenerador ante rachas de vientos puntuales superiores a ese límite de velocidad (según la tabla 3, existen rachas de viento máxima de hasta 44 m/s, por lo que la instalación no supone problemas al no exceder la velocidad de supervivencia).

5.1.3. Bornay 13+

Las características principales de los aerogeneradores Bornay 13+, tabla 6 y figuras 30 y 31, se representan a continuación:

Tabla 6. Características Bornay 13+ [24]

Potencia máxima	1000 W
Potencia nominal	1000 W
Tensión	24/48/220 V
Velocidad de arranque	3 m/s
Velocidad de corte	60 m/s
Diámetro	2,65 m
Nº de palas	2

Los aerogeneradores Bornay 13+ poseen una potencia menor que los modelos del fabricante Enair, con 1000W de potencia producidos a partir de dos palas. La velocidad nominal se alcanza a los 12 m/s, con una velocidad de frenado automático a partir de los 14 m/s. Están compuestos por un generador de imanes permanentes (de neodimio) y un rotor de eje horizontal a barvolento, con una disposición frontal del rotor sobre la torre. El aerogenerador dispone de un controlador eólico como convertidor de alterna a continua, junto con sistema de orientación pasivo con timón.

En cuanto a las características de las palas, dichos elementos se fabrican a partir de fibra de vidrio o carbono, y su funcionamiento óptimo se encuentra entre 2-30 m/s de viento. El diseño de estos aerogeneradores con dos palas permite un ahorro económico de una tercera, aunque necesitan de mayores velocidades de viento para producir la misma energía de salida. [24]

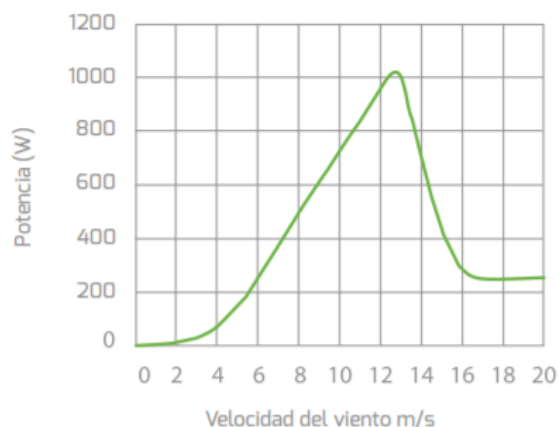


Figura 31. Curva de potencia Bornay 13+ [24]

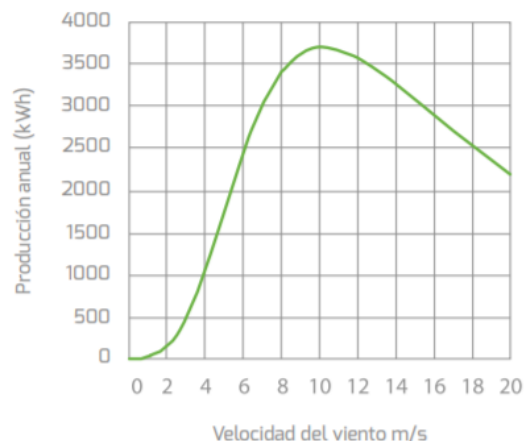


Figura 30. Energía anual Bornay 13+ [24]

5.2. Sistema fotovoltaico

Las placas fotovoltaicas que se van a utilizar proceden distintos fabricantes, entre los que destacan ATERSA, EURENER y ZYTECH. Se tratan de células tanto monocristalinas como policristalinas, entre un rango de potencia de 255W a 380W. Las características de los módulos fotovoltaicos se miden en condiciones estándar (STC: 1kW/m², 25°C ± 2°C, AM 1,5). Las características completas de los módulos fotovoltaicos según el fabricante se representan en los catálogos proporcionados en el Anexo III.

5.2.1. Módulo Atersa A-255P

Las características principales de los módulos fotovoltaicos A-255P, tabla 7 y figuras 32, 33 y 34, se representan a continuación:

Tabla 7. Características módulo A-255P [25]

Potencia nominal	255 W
Eficiencia	15,66 %
Corriente (máx. potencia)	8,29 A
Corriente cortocircuito	8,88 A
Tensión (máx. potencia)	30,76 V
Tensión circuito abierto	37,80 V
Dimensiones	1645x990x40 mm
Tipo de célula	Policristalina 156x156 mm
Rango temperatura	-40°C a 85°C

Se tratan de células policristalinas de 6 pulgadas, con un número total de 60 células en cada módulo (6x10). El cristal delantero es templado ultra claro de 3,2 mm, mientras que el marco que recubre el módulo está compuesto de aleación de aluminio anodizado. El encapsulante es de EVA (Etileno-Vinil-Acetato), lo que permite un sellado y un aislamiento en torno a las células solares al aplicar calor al conjunto. El peso de cada módulo es de 19,20 kg. A continuación, se representan las curvas intensidad-voltaje, observando la variación de dichos datos con respecto a la temperatura y a la irradiancia. [25]

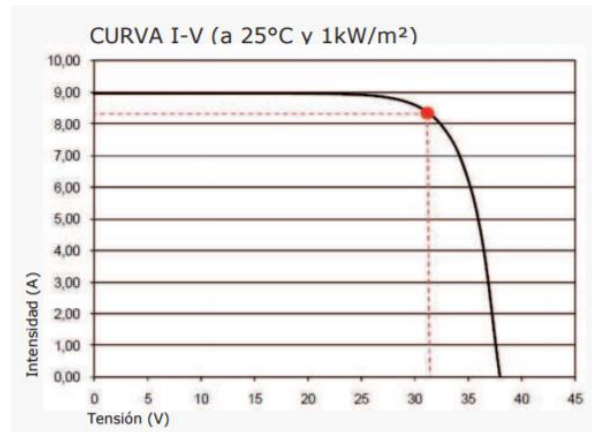


Figura 32. Curva I-V Atersa 255P [25]

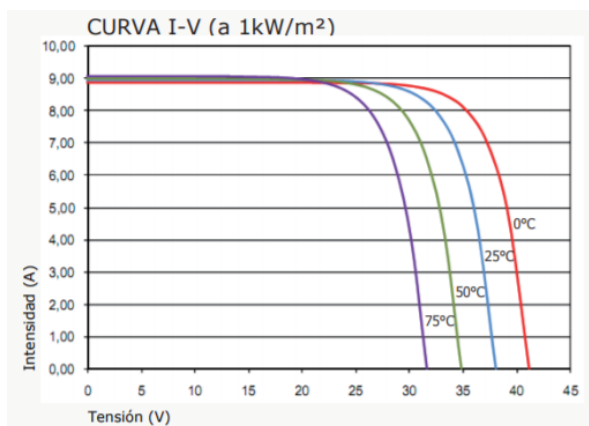


Figura 33. Curva I-V Atersa 255P (temperatura) [25]

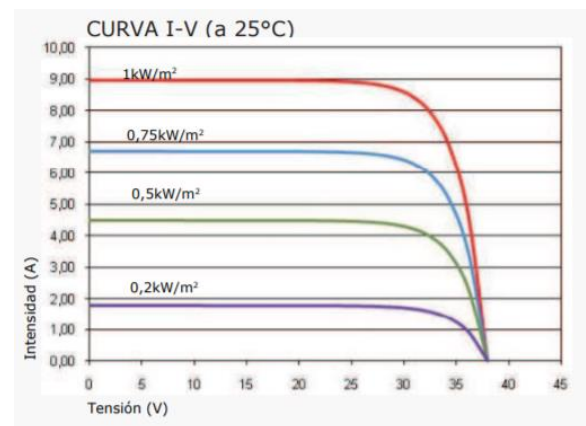


Figura 34. Curva I-V Atersa 255P (irradiancia) [25]

5.2.2. Módulo Zytech ZT320S

Las características principales de los módulos fotovoltaicos ZT320S, tabla 8 y figuras 35 y 36, se representan a continuación:

Tabla 8. Características módulo ZT320S [26]

Potencia nominal	320 W
Eficiencia	18,97 %
Corriente (máx. potencia)	8,51 A
Corriente cortocircuito	8,94 A
Tensión (máx. potencia)	37,60 V
Tensión circuito abierto	46,62 V
Dimensiones	1956x992x50 mm
Tipo de célula	Monocrystalina 156x156 mm
Rango temperatura	-40°C a 85°C

Los módulos fotovoltaicos ZT320S están formados por células monocrystalinas de silicona, con un total de 72 células en cada módulo. El cristal delantero es templado de 3,2 mm, con un marco de aluminio anodizado. El encapsulante es de EVA. El peso de cada módulo es de 23 kg. [26]

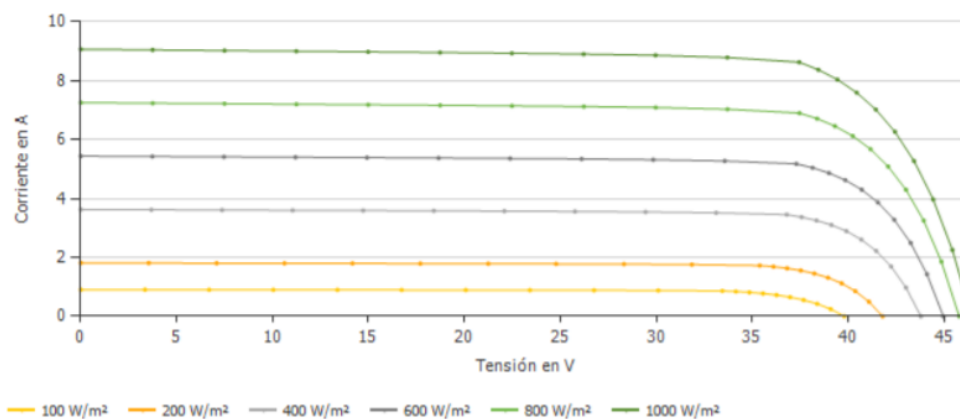


Figura 35. Curva I-V ZT320S (irradiancia) [26]

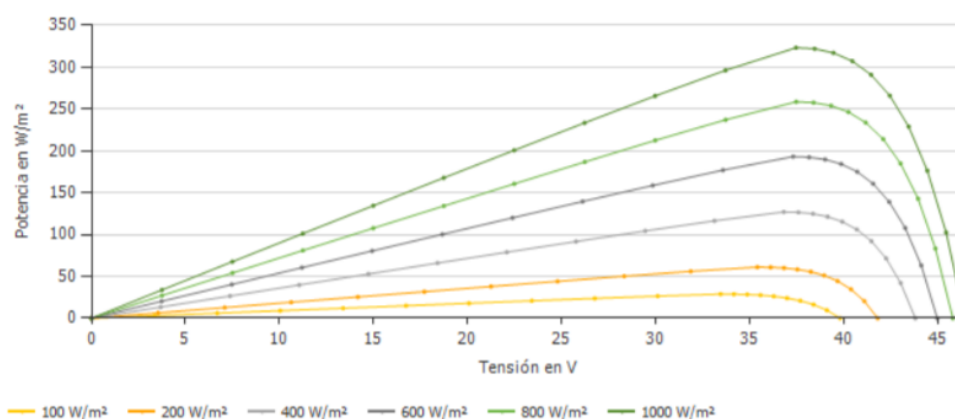


Figura 36. Curva P-V ZT320S (irradiancia) [26]

5.2.3. Módulo Eurener MEPV300

Las características principales de los módulos fotovoltaicos MEPV300, tabla 9 y figura 37, se representan a continuación:

Tabla 9. Características módulo MEPV300 [27]

Potencia nominal	300 W
Eficiencia	18,52 %
Corriente (máx. potencia)	9,37 A
Corriente cortocircuito	9,89 A
Tensión (máx. potencia)	32,02 V
Tensión circuito abierto	39,79 V
Dimensiones	1640x992x40 mm
Tipo de célula	Monocristalina 156 x 156 mm
Rango temperatura	-40°C a 85°C

Los módulos fotovoltaicos MEPV300 están formados por células monocristalinas de silicona, con un total de 60 células en cada módulo. El cristal delantero es templado de 3,2 mm, con un marco de aluminio anodizado. El encapsulante es de EVA. El peso de cada módulo es de 19 kg. [24]

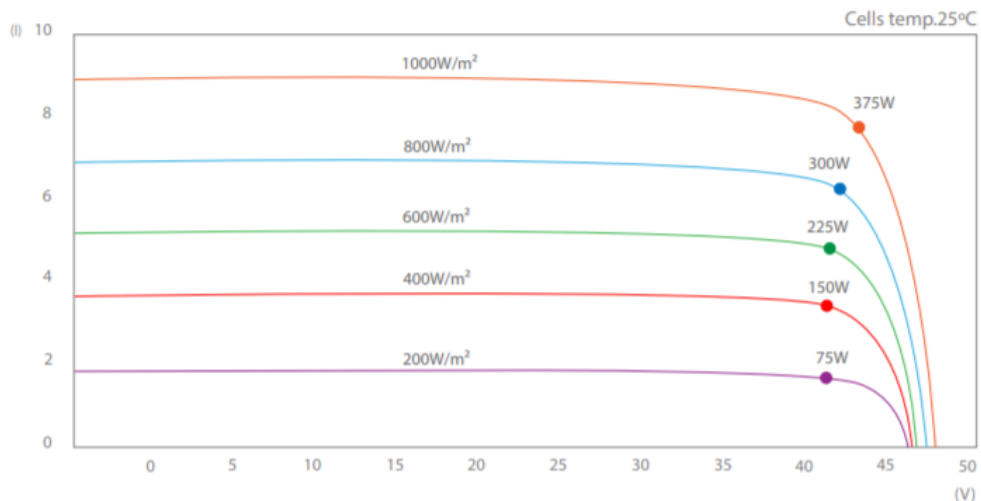


Figura 37. Curva I-V MEPV300 (irradiancia) [24]

6. ENERGÍA CONSUMIDA

La energía consumida es aquel gasto energético derivado del uso de aparatos conectados a red. Dicha energía depende de la potencia a la hora de conectar más o menos aparatos de forma simultánea, de modo que, dependiendo de la potencia contratada, el número de aparatos eléctricos conectados al mismo tiempo varía.

El uso de equipos de medida (contadores) permite la lectura horaria del perfil de consumo anual. Con los datos reflejados, la observación de picos de energía resulta fácilmente visibles, permitiendo un cambio o modificación de la tarifa contratada para conseguir un ahorro económico mayor.

La energía consumida que se representa pertenece al consumo derivado de una vivienda situada en Mijas (Málaga), figura 38.

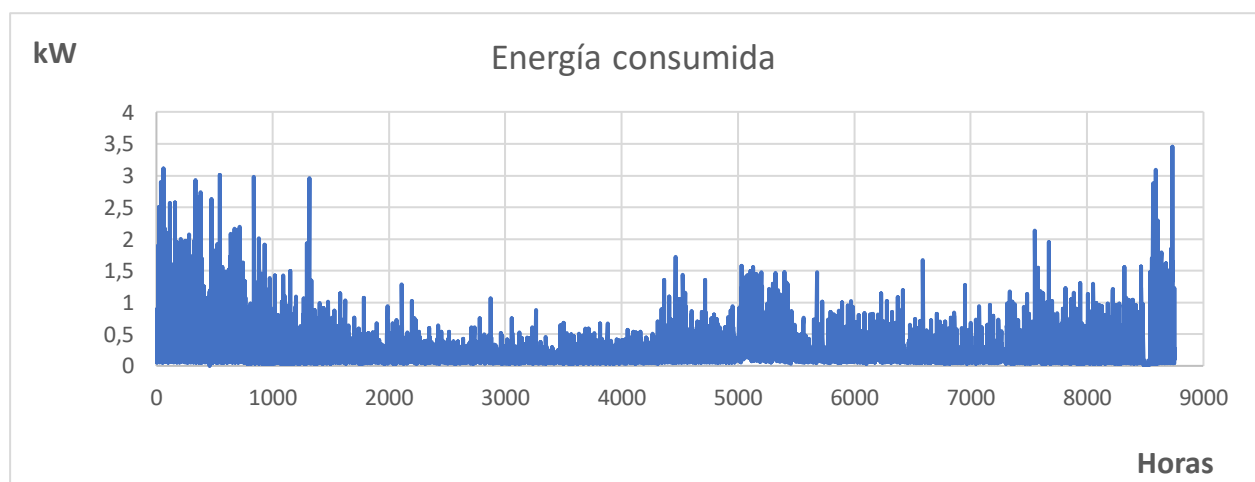


Figura 38. Consumo horario anual

La representación de la energía horaria permite conocer con exactitud el consumo que se está realizando, de modo que se procede a un análisis y un estudio comparativo con la energía generada más preciso.

Durante los primeros y últimos meses del año, se dispara el consumo de energía, sobre todo por el uso de calefacción debido a las bajas temperaturas existentes en la zona, sobrepasando los 3kW. Esto contrasta con el menor consumo de energía durante el resto del año, con una media por hora de 1kW, aproximadamente. La situación geográfica influye en dicha curva, puesto que, al situarse cerca de la costa, las temperaturas no son tan agresivas como en el interior del país, representándose una curva con altos picos durante los meses de invierno y, en menor medida, durante los meses de verano.

A su vez, la ilustración de la curva de consumo permite conocer los límites energéticos a los que se llega anualmente. En este caso, con una tarifa 2.0 con potencia contratada de 5,5 kW y sin discriminación horaria, se puede reducir dicha potencia en escalones de 0,1 kW, pudiendo elegir una potencia contratada menor, optimizando la tarifa y el gasto que conlleva.

El consumo anual alcanza los 2042,07 kW, dato que se establece como fijo y necesario para el dimensionamiento de las instalaciones fotovoltaicas y minieólicas (número de módulos fotovoltaicos, potencia nominal del aerogenerador, etcétera).

7. ENERGÍA GENERADA

La energía generada es aquella que se obtiene a partir de diversas instalaciones mediante la conversión de una fuente de energía en energía eléctrica. La energía primaria a transformar puede ser renovable (radiación solar, viento, mareas...) o no renovable (petróleo, gas natural, carbón...).

En el caso a estudiar, se van a utilizar dos sistemas de producción de energía: fotovoltaica y minieólica.

En función del sistema a utilizar para la conversión energética, los elementos que intervienen en el proceso son variados, aunque destacan los captadores y productores de la energía y los inversores para transformar la corriente continua en alterna para el suministro correcto de la electricidad generada en los receptores o en la propia red.

La energía generada permite plantear dos estrategias:

- ✓ Autoabastecimiento
- ✓ Inyección de la generación a la red

El autoabastecimiento a partir de la generación permite consumir menos energía ya que se está recibiendo, de forma complementaria, energía primaria procedente del sol y/o viento. La repercusión de dicha actividad incide en la reducción económica de la factura eléctrica, siendo una alternativa viable a largo plazo.

La inyección de la energía generada sobrante a la red permite la venta a la comercializadora de dicha fracción de energía a cambio de una compensación económica. Esta modalidad (compensación con excedentes) puede suprimirse, es decir, no verter energía a la red mediante un sistema de vertido cero (compensación sin excedentes), derivando dicha energía a baterías para almacenarlas para su posterior uso (esta opción no se ha analizado en el presente proyecto).

Por lo tanto, es imprescindible la selección y el dimensionamiento de las instalaciones a implantar, de modo que la energía generada sea la máxima posible a partir de una inversión económica asumible

por parte del cliente, con objeto de que el período de amortización de las instalaciones no supere los años de vida útil de los elementos.

Para conocer la rentabilidad de la inversión de los distintos modelos, el estudio se realizará en función de los kilowatios pico instalados, es decir, la variación de dicha cantidad repercute en el valor actual neto a un período de tiempo relacionado con la vida útil de los equipos. Por ello, es necesario obtener las curvas de generación por kWp instalado para todos los modelos, analizando la cantidad máxima de potencia instalable que desemboque en la mayor rentabilidad posible.

7.1. Energía generada minieólica

La energía horaria anual que generan los captadores minieólicos (Enair 30 PRO, Enair 70 PRO y Bornay 13+) se ha obtenido de manera experimental, realizando una aproximación a partir de un escalado de la energía generada total de cada modelo con la energía generada horaria de la provincia de Cádiz durante el año 2019, cuyos datos han sido proporcionados por Red Eléctrica Española.

El factor de escalado se obtiene a partir de la energía generada total del sistema minieólico durante el año 2019. A partir de la velocidad media del viento durante ese período (tabla 3), mediante las curvas de producción anual de cada modelo, se realiza una aproximación de la generación anual de cada uno de ellos. La relación entre la generación anual de la totalidad de las plantas eólicas instaladas en Cádiz y la generación anual del modelo a estudiar permite obtener un factor que escala las curvas obtenidas de REE a unas curvas correspondientes con los aerogeneradores a implantar. De este modo, es posible la visualización de la generación horaria del sistema eólico que se instalará, figura 39.

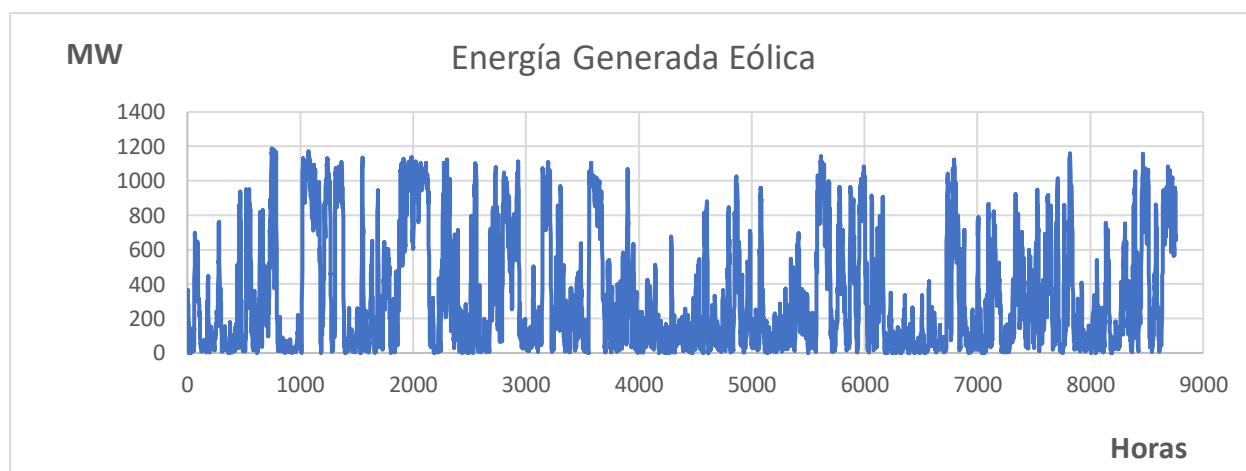


Figura 39. Generación minieólica Cádiz 2019

Si bien no resulta una curva exactamente precisa de los modelos planteados, puesto que los modelos utilizados en toda la ciudad son variados, representa una buena aproximación de la generación horaria anual de los mismos, a falta de dichas curvas proporcionadas por los fabricantes.

Según el modelo, los kWp instalados varían, tabla 10, por lo que, a las curvas obtenidas del escalado se dividen la potencia pico instalada de cada equipo, obteniendo un estudio de las curvas de generación por kWp instalado.

Tabla 10. Potencia pico instalada unitaria por modelo

Modelo	Kwp instalado
Enair 30PRO	3
Enair 70PRO	5,5
Bornay 13+	1

A continuación, se representan las curvas horarias de generación de cada modelo con el valor de energía generada por kWp instalado, figuras 40, 41 y 42.

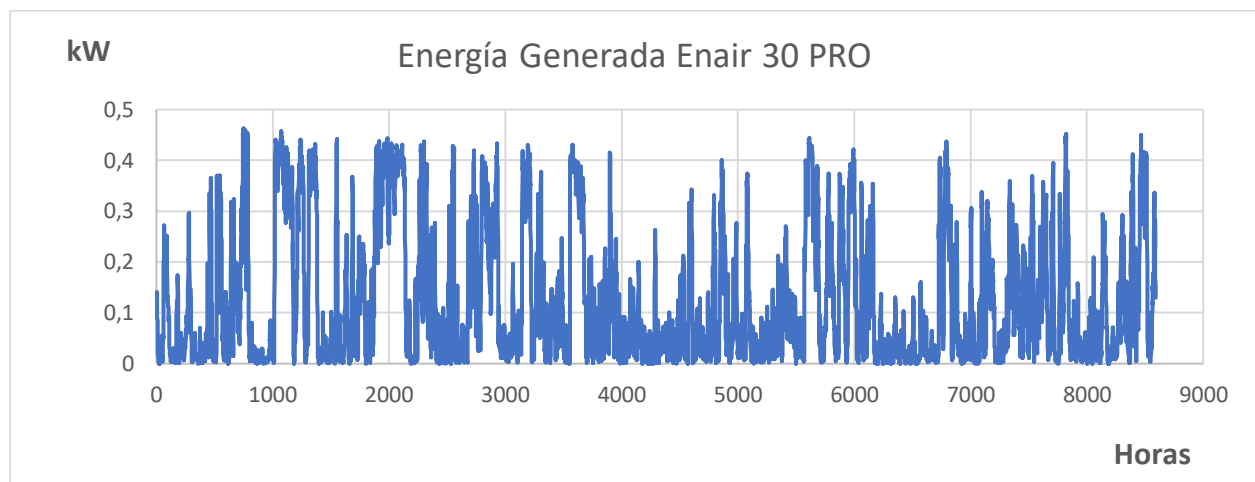


Figura 40. Generación minieólica Enair 30PRO

ENERGÍA GENERADA TOTAL ANUAL = 1.075 kW / kWp

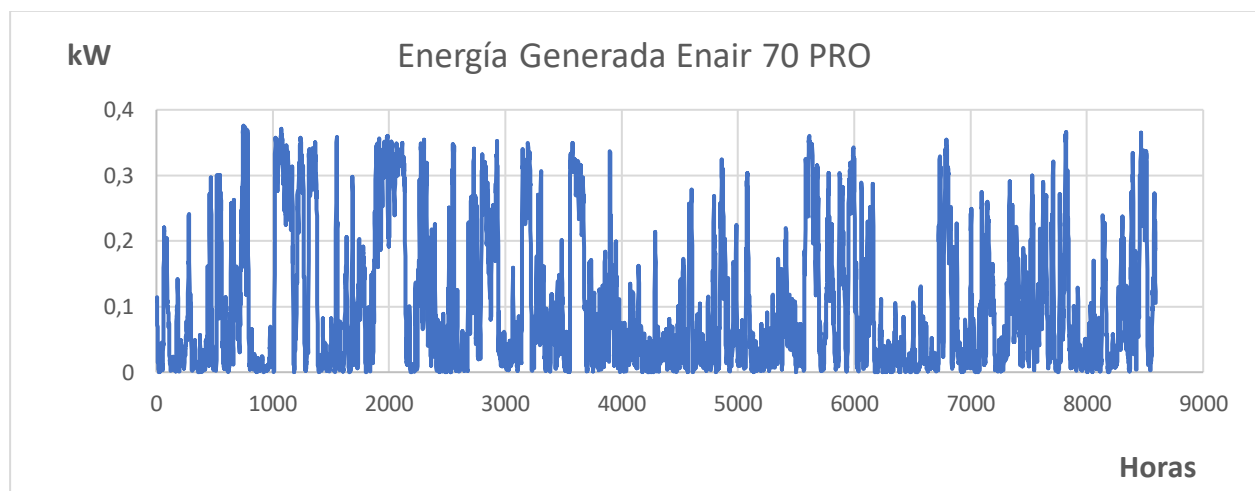


Figura 41. Generación minieólica Enair 70PRO

ENERGÍA GENERADA TOTAL ANUAL = 872,72 kW / kWp

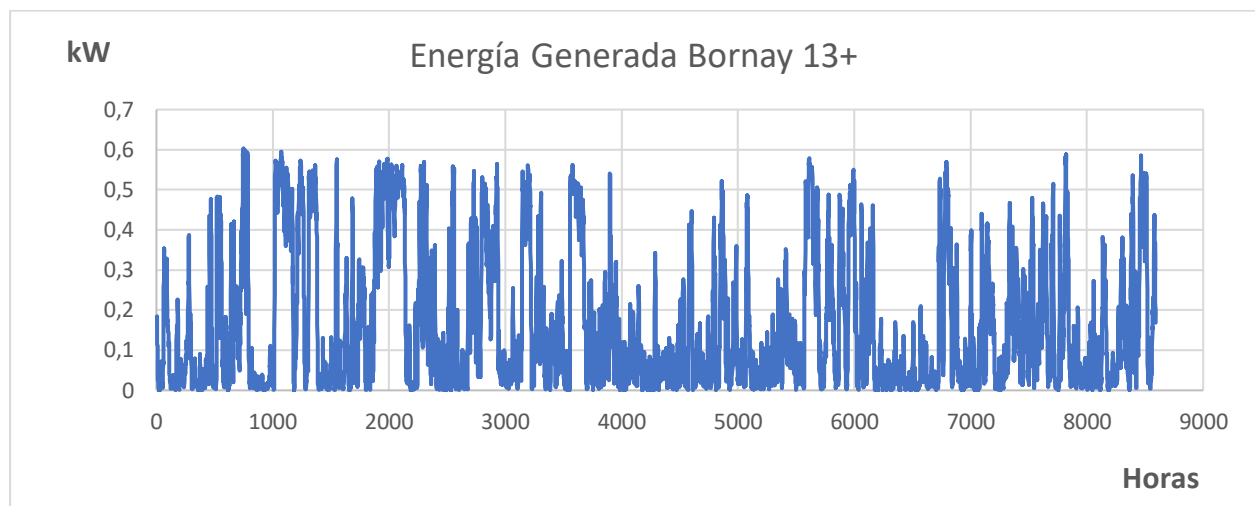


Figura 42. Generación minieólica Bornay 13+

ENERGÍA GENERADA TOTAL ANUAL = 1.400 kW / kWp

7.2. Energía generada fotovoltaica

Las curvas horarias de generación fotovoltaica se obtienen del mismo modo que la minieólica, a excepción de que el fabricante no aporta la producción anual, figura 43.

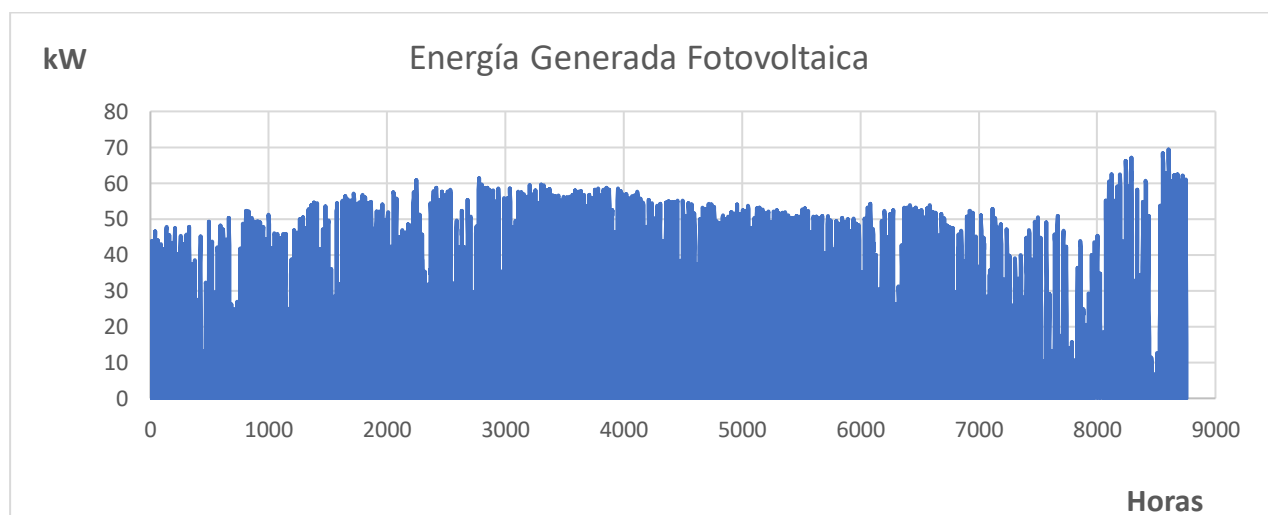


Figura 43. Generación fotovoltaica Cádiz 2019

La determinación de la energía generada anual se realiza a partir de ciertos parámetros como la irradiancia solar, la eficiencia de los módulos, la superficie y la potencia pico de cada uno de ellos.

La eficiencia del módulo representa la relación entre la potencia eléctrica generada y la potencia de la radiación que incide sobre él. Se expresa normalmente en %.

$$Eficiencia (\%) = \frac{Potencia\ generada}{Irradiación\ Global} \quad (8)$$

Debido a que la irradiación se expresa en kWh/m², se realizan los cálculos pertinentes para la superficie de los módulos, así como la transformación de la potencia generada por kWp.

A continuación se muestran los datos necesarios para la obtención de la energía generada anual por kWp instalado para cada uno de los modelos fotovoltaicos, tablas 11, 12 y 13 y figuras 44, 45, y 46.

Tabla 11. Datos energía por kWp Atersa A-255P

ATERSA A-255P	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Irradiancia	68.75	80.9	102.9	120.5	146.3	157.3	163.7	144.8	116.1	86.2	69.75	56.6
Eficiencia	0.1566											
E. generada por m2	10.76	12.66	16.11	18.87	22.91	24.63	25.63	22.67	18.18	13.49	10.92	8.86
Superficie (m2)	1.4601											
E. generada por módulo	15.72	18.49	23.52	27.55	33.45	35.96	37.43	33.11	26.54	19.71	15.94	12.94
kWp por módulo	0.255											
E. generada por kWp	61.64	72.54	92.27	108.1	131.1	141.1	146.8	129.8	104.1	77.29	62.54	50.75

ENERGÍA GENERADA TOTAL ANUAL = 1178.09 kW / kWp

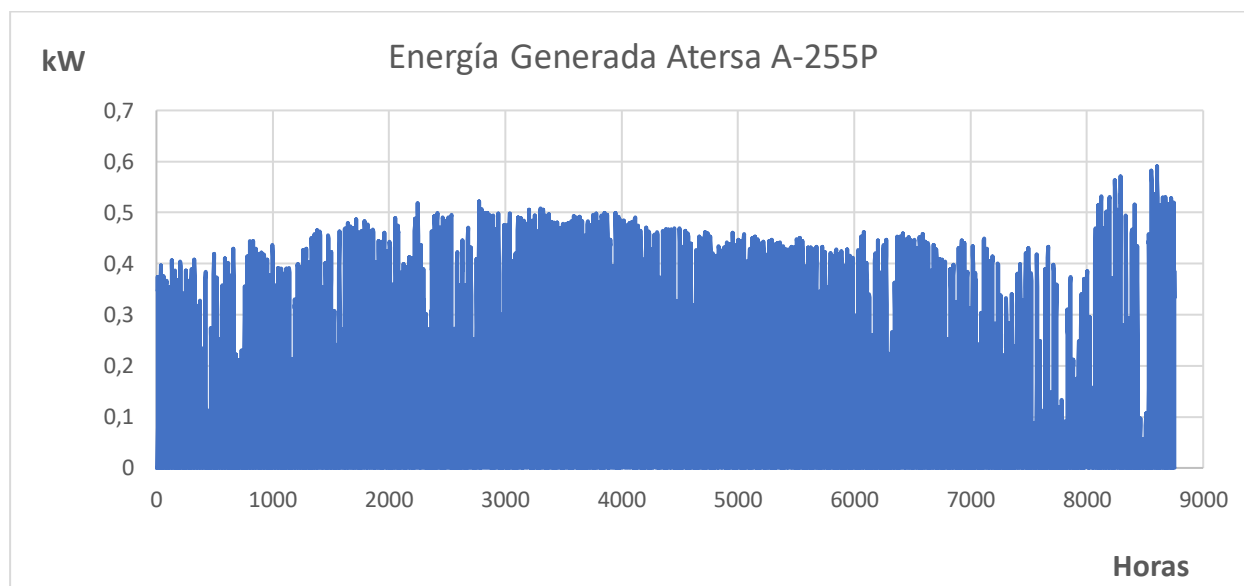


Figura 44. Generación fotovoltaica Atersa A-255P

Tabla 12. Datos energía por kWp Zytech ZT320S

ZYTECH ZT320S	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Irradiancia	68.75	80.9	102.9	120.5	146.3	157.3	163.7	144.8	116.1	86.2	69.75	56.6
Eficiencia	0.1897											
E. generada por m2	13.04	15.34	19.52	22.85	27.75	29.83	31.05	27.46	22.02	16.35	13.23	10.73
Superficie (m2)	1.7521											
E. generada por módulo	22.85	26.89	34.20	40.05	48.62	52.28	54.41	48.13	38.59	28.65	23.18	18.81
kWp por módulo	0.32											
E. generada por kWp	71.41	84.03	106.8	125.1	151.9	163.4	170	150.4	120.6	89.53	72.45	58.79

ENERGÍA GENERADA TOTAL ANUAL = 1364.67 kW / kWp

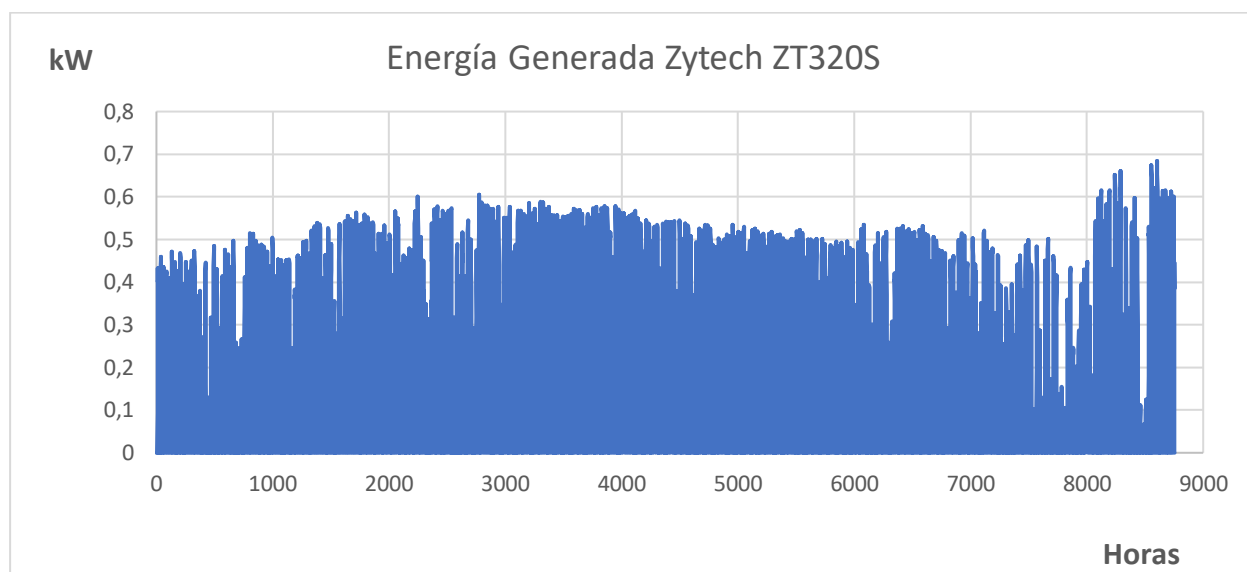


Figura 45. Generación fotovoltaica Zytech ZT320S

Tabla 13. Datos energía por kWp Eurener MEPV300

EURENER MEPV300	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Irradiancia	68.75	80.9	102.9	120.5	146.3	157.3	163.7	144.8	116.1	86.2	69.75	56.6
Eficiencia	0.1852											
E. generada por m2	12.73	14.98	19.05	22.31	27.09	29.13	30.31	26.81	21.50	15.96	12.91	10.48
Superficie (m2)	1.4601											
E. generada por módulo	18.59	21.87	27.82	32.58	39.56	42.53	44.26	39.15	31.39	23.31	18.86	15.30
kWp por módulo	0.3											
E. generada por kWp	61.97	72.92	92.75	108.6	131.8	141.8	147.5	130.5	104.6	77.70	62.87	51.01

ENERGÍA GENERADA TOTAL ANUAL = 1184.26 kW / kWp

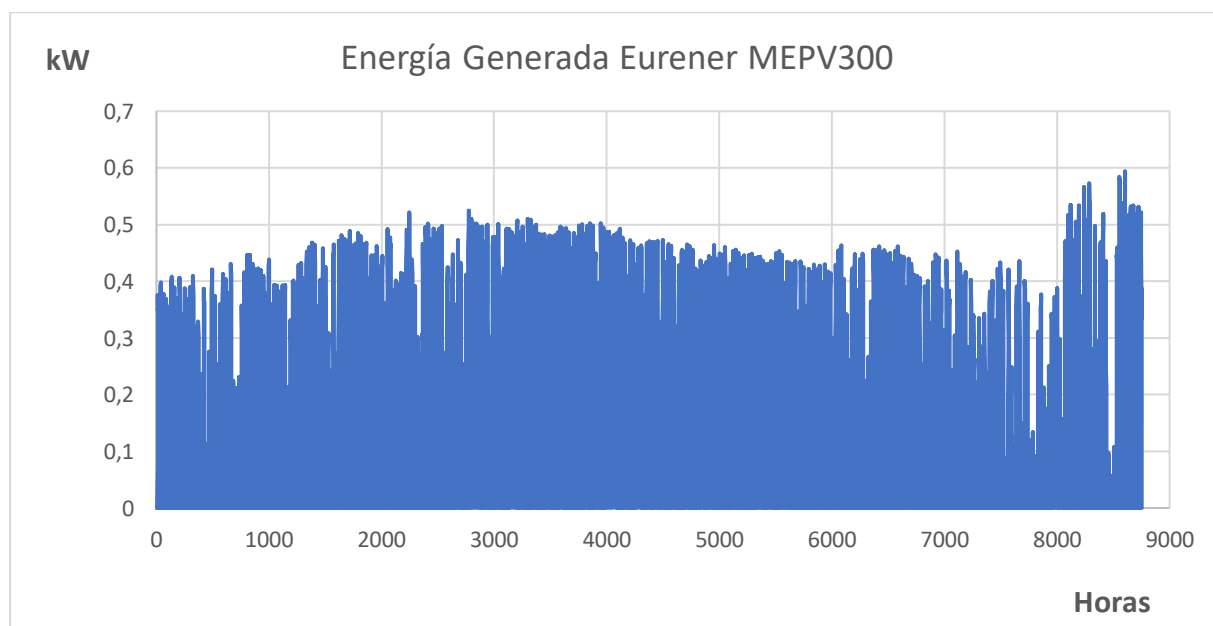


Figura 46. Generación fotovoltaica Eurener MEPV300

8. RENTABILIDAD DEL AUTOCONSUMO

8.1. Introducción al VAN

El objetivo de instalar los equipos para la producción de energía eléctrica se centra en la rentabilidad existente. El estudio de las características atmosféricas, la selección de los modelos y el dimensionamiento determinan una condición importante para obtener beneficio a partir de la inversión realizada.

Para conocer si la instalación es rentable, se procede al cálculo del VAN (Valor Actual Neto), parámetro de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto con el objetivo de conocer si la inversión resulta rentable o no.

Esta medida de rentabilidad se calcula a partir de otros parámetros imprescindibles para valorar económicamente la viabilidad del proyecto:

$$VAN = -I + \sum \frac{V_t}{(1+i)^n} \quad (9)$$

Siendo:

- I : Inversión inicial.
- V_t : Flujos de caja en cada período n .
- i : Tipo de interés.
- n : Número de períodos considerado (años).

Para valorar la rentabilidad de la inversión realizada, el resultado del VAN puede tener tres valores con significado económico distinto:

- ✓ $VAN > 0$: El proyecto de inversión permite conseguir ganancias y beneficios.
- ✓ $VAN = 0$: El proyecto de inversión no genera ni beneficios ni pérdidas, por lo tanto su ejecución resulta indiferente.
- ✓ $VAN < 0$: El proyecto de inversión provoca pérdidas durante el período considerado.

8.2. Herramienta de optimización

El estudio que se realiza tiene como objetivo la identificación de la potencia instalada para el sistema fotovoltaico y eólico que resulte óptima para maximizar el VAN, así como el cálculo del mismo teniendo en cuenta inversiones mínimas y máximas, subvenciones y más variables que se explicarán en el siguiente capítulo.

La herramienta utilizada para la optimización de la potencia instalada es 'Excel'. Dicho programa cuenta con un apartado *Solve* en el que, a partir de restricciones impuestas y de las fórmulas correspondientes, permite optimizar un parámetro a elegir. Dichas restricciones se limitan en función de la superficie total de la cubierta. A partir de los planos de la vivienda y de las medidas planteadas en el punto 4.2 "*Vivienda tipo*" y en el punto 3.3.6 "*Distancia de seguridad entre módulos*", se obtienen los límites del dimensionamiento de las instalaciones, siendo el mínimo la potencia pico de cada módulo o aerogenerador, y el máximo, el permitido por la superficie de la cubierta.

Para obtener las potencias pico instaladas correspondientes, la generación se expresa inicialmente por kWp instalado para multiplicarlo, posteriormente, por el número de kWp a instalar que permitan cumplir con las restricciones impuestas anteriormente.

A continuación se detalla cada uno de los parámetros que intervienen en el cálculo del VAN para el proyecto que se trata.

- La **inversión** está formada por dos componentes. En primer lugar, se linealiza el coste del kWp de cada elemento a instalar y se multiplica por el número de kWp finales a obtener. Se tiene en cuenta la suma tanto del sistema fotovoltaico, como del aerogenerador. En segundo lugar, se realiza una aproximación de los elementos principales que conforman la instalación final (inversor, reguladores, cables, mano de obra, etcétera) como un 10% del coste del primer componente de la inversión.
- El **flujo de caja** resulta el parámetro más complejo. Para su obtención, hay que tener en cuenta tanto la generación de ambas instalaciones, como el consumo de la vivienda durante todo el año (ambos datos dados de forma horaria, con un total de 8760 valores cada uno). La diferencia entre la generación total y el consumo aporta información sobre aquellas horas en las que se produce un exceso y falta de energía generada.

Por lo tanto, pueden producirse dos casos en función de si se genera o no suficiente energía por hora:

- **Caso A (Generación > Consumo)**

La energía obtenida por los captadores solares y eólicos supera la energía consumida por la vivienda, por lo que existe un ahorro económico propio del consumo que no se está pagando y una ganancia debido a la energía excedente que se vierte a la red.

- **Caso B (Generación ≤ Consumo)**

La energía obtenida por los captadores solares y eólicos es menor o igual que la energía consumida por la vivienda, por lo que existe un ahorro económico propio del consumo que no se está pagando por la generación obtenida.

Tanto el precio de la energía, como el precio de la energía excedentaria que se vende se obtienen a partir de Red Eléctrica Española, aportando información sobre el precio horario durante el año a estudio.

- El **tipo de interés** en España se fija para un 0.7%, según el Banco Central Europeo.
- El **período** de evaluación es de 25 años, coincidente con la vida útil de los captadores solares y eólicos.

Por lo tanto, los puntos a seguir y la formulación matemática para el cálculo de la potencia instalada quedan resumidos a continuación:

- Cálculo de la inversión total en función de la potencia instalada (fórmulas vistas anteriormente).

$$\text{Inversión (coste kWp)} = \text{kWp(PV)} * \text{Coste kWp (PV)} + \text{kWp(Eólica)} * \text{Coste kWp (Eólica)} \quad (10)$$

La inversión de los equipos principales se aproxima como un 10% de la inversión por coste del kWp.

$$\text{Inversión (equipos principales)} = 0,1 * \text{Inversión (coste KwP)} \quad (11)$$

- Cálculo del flujo de caja en función de la potencia instalada

$$\begin{aligned} \text{Flujo de caja} = & \text{Ahorro (Caso A)} + \text{Ahorro (Caso B)} \\ & + \text{Excedentes (Caso A)} - \text{Costes de mantenimiento} \end{aligned} \quad (12)$$

Los costes de mantenimiento se aproximan a un 2% de la inversión realizada.

$$\text{Costes mantenimiento} = 0,02 * \text{Inversión total} \quad (13)$$

Las horas en las que se genera o se consume más se calculan a partir de la diferencia entre el consumo y la generación de ambos captadores (valores negativos implican horas con consumo mayor, y positivos implican horas con generación mayor).

A partir de las curvas obtenidas de generación fotovoltaica y eólica (por kWp instalado) de los distintos modelos estudiados, se multiplican los valores de las curvas por los kWp instalados (incógnita del problema), cuya suma permite obtener los valores totales de generación de ambas instalaciones.

Teniendo el precio de la energía horaria obtenida por REE, se procede a la obtención de aquellos datos que representan el ahorro del consumo cuando existe mayor generación y el ahorro de la generación cuando existe un consumo mayor. Los valores de generación que coincidan con las horas donde se genere más se englobarán en un sumatorio que representa el caso A mencionado anteriormente, mientras que los valores de consumo que coincidan con las horas donde se consuma más se englobarán en un sumatorio que representa el caso B.

$$\begin{aligned} \text{Ahorro caso A} = & \text{Precio de la energía} \\ & * \text{Datos de generación mayores que consumo} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{Ahorro caso B} = & \text{Precio de la energía} \\ & * \text{Datos de consumo mayores que generación} \end{aligned} \quad (15)$$

El precio total de la energía excedentaria a la red se calcula a partir de los valores positivos que surgen de la diferencia entre la generación total y el consumo. A partir del precio de la energía excedentaria horaria por kWh obtenida de REE, se multiplican ambos valores, obteniendo las ventas realizadas para los kWp de fotovoltaica y eólica que se desean calcular.

$$\begin{aligned} \text{Ventas de la energía excedentaria} \\ = & \text{Valores positivos (diferencia generación y consumo)} \\ & * \text{Precio de la energía excedentaria/kWh} \end{aligned} \quad (16)$$

Por lo tanto, se pueden diferenciar parámetros fijos que intervienen en la fórmula del VAN, como el tipo de interés fijo y el período de evaluación. Las variables que dependen de la potencia instalada fotovoltaica y eólica como la inversión y el flujo de caja. Por último, las restricciones impuestas por la superficie de la cubierta y lo mínimo instalable.

Con todos los parámetros definidos, se procede a la maximización y cálculo del VAN según distintas condiciones, analizando la potencia instalada de cada uno de los captadores a partir de una inversión determinada. Si bien no resulta un procedimiento exacto de la realidad, supone una gran aproximación del estudio que se quiere llevar a cabo: si los proyectos propuestos resultan rentables y cuál es el dimensionamiento que optimiza el VAN.

9. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La vivienda a estudiar, sin la presencia de las instalaciones fotovoltaicas y eólicas, factura al año un importe de 524,69 €, teniendo en cuenta todos los puntos a tratar de la factura eléctrica relativas al punto 3.1 “Factura eléctrica” del presente trabajo. Si se mantienen fijos los gastos del consumo anual durante 25 años, se obtiene un gasto final de 13.117,25 €.

A partir de la inclusión de las instalaciones fotovoltaicas, eólicas y equipos derivados para el correcto funcionamiento del sistema, se realiza un análisis económico acerca de la rentabilidad que supone su instalación para cada uno de los modelos planteados.

El algoritmo creado permite obtener cualquier parámetro económico que intervenga en la función del VAN. Debido a la amplia utilidad que tiene el mismo, se realizan varios tipos de análisis económico:

- En el primer análisis, se reflejan todas las combinaciones entre los distintos modelos de módulos y aerogeneradores, representando las inversiones máximas y mínimas que se puede realizar en función de la superficie de la cubierta y de la necesidad de implantar un solo aerogenerador, así como otros parámetros de relevancia para el estudio en cuestión. No se tiene en cuenta las subvenciones de autoconsumo.
- En el segundo análisis, se realiza el mismo procedimiento que en el anterior, teniendo en cuenta la subvención que proporciona la comunidad de Andalucía para autoconsumo en viviendas privadas.
- En el tercer análisis, únicamente se instalan módulos fotovoltaicos de los distintos fabricantes planteados, de modo que se compara la viabilidad económica entre la instalación de dichos equipos y entre la coexistencia de módulos y aerogeneradores.
- En el cuarto análisis, se instalan aerogeneradores de los fabricantes planteados.
- En el quinto análisis, se plantean algunos casos hipotéticos para determinadas inversiones, donde se busca la maximización del VAN. En este caso, la distribución entre módulos y aerogeneradores será distinta al caso anterior, de modo que pueda observarse la evolución del VAN en función del número de captadores solares y eólicos a instalar.

9.1. Análisis 1

En el cálculo del VAN para el análisis 1, no se tiene en cuenta las subvenciones propias de autoconsumo fotovoltaico y minieólico, cuya concesión se realiza para inversiones superiores a 500 €, en torno a un 40% de la inversión. El motivo de la misma, y según uno de los requisitos para ser beneficiario de las subvenciones de autoconsumo por la Agencia Andaluza de la Energía, estriba en la necesidad de que la vivienda tenga cédula de habitabilidad con anterioridad a la fecha de publicación de las bases (esto es, diciembre de 2016). Debido a que se trata de una obra nueva, no se recibirá subvenciones al respecto.

El planteamiento de analizar las situaciones de máxima y mínima inversión se centra en conocer los casos límite del proyecto económico. La evolución del VAN respecto a la potencia instalada se considera lineal, tal y como se desprende del algoritmo creado. Las hipótesis de linealización de los costes de los captadores solares y eólicos y el escalado de la energía generada en función de la potencia instalada explican este hecho.

Por otra parte, la elección de instalar un solo aerogenerador reside en el elevado coste de cada equipo, cuyo estudio económico se expone en los análisis 4 y 5, donde la instalación de más aerogeneradores

supone un receso en el beneficio esperado, tanto si el proyecto lo conforman solo aerogeneradores, como si existe una hibridación con el sistema fotovoltaico.

Para este análisis, al igual que para el análisis 2,3 y 4 se fijan las variables de la potencia instalada fotovoltaica y eólica entre el mínimo permitido (1 módulo fotovoltaico y/o 1 aerogenerador) y el máximo permitido por la superficie de la cubierta, siendo la variable a calcular el VAN.

9.1.1. Casos 1 y 2: Atersa y Enair 30 PRO / Atersa y Enair 70 PRO

	Mínima	Máxima		Mínima	Máxima
Inversión (€)	7.428,27	15.261,97	Inversión (€)	8.802,27	16.581,97
Coste kW PV (€/kWp)	792,43	792,43	Coste kW PV (€/kWp)	792,43	792,43
Coste kW Eólica (€/kWp)	2.200	2.200	Coste kW Eólica (€/kWp)	1.418,18	1.418,18
Pot. Instalada PV (kWp)	0,255	9,18	Pot. Instalada PV (kWp)	0,255	9,18
Nº de módulos	1	36	Nº de módulos	1	36
Pot. Instalada Eólica (kWp)	3	3	Pot. Instalada Eólica (kWp)	5,5	5,5
Nº de aerogeneradores	1	1	Nº de aerogeneradores	1	1
Ahorro consumo (más generación) (€)	40,01	69,34	Ahorro consumo (más generación) (€)	49,43	74,94
Ahorro consumo (menos generación) (€)	25,35	14,69	Ahorro consumo (menos generación) (€)	23,96	13,98
Ventas (€)	92,10	539,776	Ventas (€)	150,32	600,44
Coste mantenimiento (€)	149,64	305,24	Coste mantenimiento (€)	176,04	331,63
Flujo de Caja (€)*	7,83	318,59	Flujo de Caja (€)*	47,67	357,72
Flujo de Caja (€)	170,37	6.930,56	Flujo de Caja (€)	1.037,03	7.781,70
VAN (€)	-7.311,9	-8.331,41	VAN (€)	-7.765,24	-8.800,26

9.1.2. Casos 3 y 4: Atersa y Bornay 13+ / Zytech y Enair 30 PRO

	Mínima	Máxima		Mínima	Máxima
Inversión (€)	4.402,27	12.181,97	Inversión (€)	7.582,46	16.933,95
Coste kW PV (€/kWp)	792,43	792,43	Coste kW PV (€/kWp)	916,09	916,09
Coste kW Eólica (€/kWp)	2.533,33	2.533,33	Coste kW Eólica (€/kWp)	2.200	2.200
Pot. Instalada PV (kWp)	0,255	9,18	Pot. Instalada PV (kWp)	0,32	9,6
Nº de módulos	1	36	Nº de módulos	1	30
Pot. Instalada Eólica (kWp)	1,5	1,5	Pot. Instalada Eólica (kWp)	3	3
Nº de aerogeneradores	1	1	Nº de aerogeneradores	1	1
Ahorro consumo (más generación) (€)	30,95	64,49	Ahorro consumo (más generación) (€)	41,90	67,54
Ahorro consumo (menos generación) (€)	25,77	14,45	Ahorro consumo (menos generación) (€)	25,32	14,98
Ventas (€)	53,09	498	Ventas (€)	96,59	640,41
Coste mantenimiento (€)	88,04	243,64	Coste mantenimiento (€)	151,64	338,68
Flujo de Caja (€)*	21,77	333,32	Flujo de Caja (€)*	12,17	384,26
Flujo de Caja (€)	473,62	7.520,88	Flujo de Caja (€)	264,83	8.359,04
VAN (€)	-3.928,65	-4.931,08	VAN (€)	-7.317,63	-8.574,91

9.1.3. Casos 5 y 6: Zytech y Enair 70 PRO / Zytech y Bornay 13+

	Mínima	Máxima		Mínima	Máxima
Inversión (€)	8.902,46	18.253,95	Inversión (€)	4.502,46	13.853,95
Coste kW PV (€/kWp)	916,09	916,09	Coste kW PV (€/kWp)	916,09	916,09
Coste kW Eólica (€/kWp)	1.418,18	1.418,18	Coste kW Eólica (€/kWp)	2.533,33	2.533,33
Pot. Instalada PV (kWp)	0,32	9,6	Pot. Instalada PV (kWp)	0,32	9,6
Nº de módulos	1	30	Nº de módulos	1	30
Pot. Instalada Eólica (kWp)	5,5	5,5	Pot. Instalada Eólica (kWp)	1,5	1,5
Nº de aerogeneradores	1	1	Nº de aerogeneradores	1	1
Ahorro consumo (más generación) (€)	51,22	73,10	Ahorro consumo (más generación) (€)	33,33	61,86
Ahorro consumo (menos generación) (€)	23,73	14,56	Ahorro consumo (menos generación) (€)	25,54	15,19
Ventas (€)	155,04	700,83	Ventas (€)	57,34	598,97
Coste mantenimiento (€)	178,05	365,08	Coste mantenimiento (€)	90,04	277,07
Flujo de Caja (€)*	51,96	423,41	Flujo de Caja (€)*	26,17	398,94
Flujo de Caja (€)	1.130,29	9.210,71	Flujo de Caja (€)	569,46	8.678,48
VAN (€)	-7.772,17	-9.043,24	VAN (€)	-3.933	-5.175,46

9.1.4. Casos 7 y 8: Eurener y Enair 30 PRO / Eurener y Enair 70 PRO

	Mínima	Máxima		Mínima	Máxima
Inversión (€)	7.557	18.249	Inversión (€)	8.877	19.569
Coste kW PV (€/kWp)	900	900	Coste kW PV (€/kWp)	900	900
Coste kW Eólica (€/kWp)	2.200	2.200	Coste kW Eólica (€/kWp)	1.418,18	1.418,18
Pot. Instalada PV (kWp)	0,3	11,1	Pot. Instalada PV (kWp)	0,3	11,1
Nº de módulos	1	37	Nº de módulos	1	37
Pot. Instalada Eólica (kWp)	3	3	Pot. Instalada Eólica (kWp)	5,5	5,5
Nº de aerogeneradores	1	1	Nº de aerogeneradores	1	1
Ahorro consumo (más generación) (€)	40,66	64,55	Ahorro consumo (más generación) (€)	50,15	70,95
Ahorro consumo (menos generación) (€)	25,26	16,64	Ahorro consumo (menos generación) (€)	23,76	15,85
Ventas (€)	93,98	640,61	Ventas (€)	152,22	700,63
Coste mantenimiento (€)	151,14	364,98	Coste mantenimiento (€)	177,54	391,38
Flujo de Caja (€)*	8,77	356,83	Flujo de Caja (€)*	48,60	396,06
Flujo de Caja (€)	190,80	7.762,20	Flujo de Caja (€)	1.057,29	8.615,61
VAN (€)	7.366,2	-10.486,8	VAN (€)	-7.819,71	-10.953,4

9.1.5. Caso 9: Eurener y Bornay 13+

	Mínima	Máxima	
Inversión (€)	4.477	15.169	
Coste kW PV (€/kWp)	900	900	
Coste kW Eólica (€/kWp)	2.533,33	2.533,33	
Pot. Instalada PV (kWp)	0,3	11,1	
Nº de módulos	1	37	
Pot. Instalada Eólica (kWp)	1,5	1,5	
Nº de aerogeneradores	1	1	
Ahorro consumo (más generación) (€)	32,04	58,83	■ Anual
Ahorro consumo (menos generación) (€)	25,25	16,39	■ A los 25 años
Ventas (€)	54,96	599,58	
Coste mantenimiento (€)	89,54	303,38	
Flujo de Caja (€)*	27,71	371,44	
Flujo de Caja (€)	494,12	8.080,14	
VAN (€)	-3.982,87	-7.088,85	

*El flujo de caja representa el beneficio obtenido en el primer año. A partir del mismo, el valor se va devaluando debido al tipo de interés anual.

Los datos económicos de interés se muestran en la tabla 14 y gráficamente en la figura 47:

Tabla 14. Datos económicos Análisis 1

	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Casos	Inversión (€)		VAN (€)		Ahorro (%)	
1	-7.482,27	-15.261,97	-7.311,9	-8.331,41	2,28	45,41
2	-8.802,27	-16.581,97	-7.765,24	-8.800,27	11,78	46,93
3	-4.402,27	-12.181,97	-3.928,65	-4.931,08	10,76	59,52
4	-7.582,46	-16.933,95	-7.317,63	-8.574,91	3,49	49,36
5	-8.902,46	-18.253,95	-7.772,17	-9.043,24	12,70	50,46
6	-4.502,46	-13.853,95	-3.933,01	-5.175,46	12,65	62,64
7	-7.557	-18.249	-7.366,2	-10.486,8	2,52	42,53
8	-8.877	-19.569	-7.819,71	-10.953,4	11,91	44,03
9	-4.477	-15.169	-3.924,41	-5.108,83	12,34	66,32

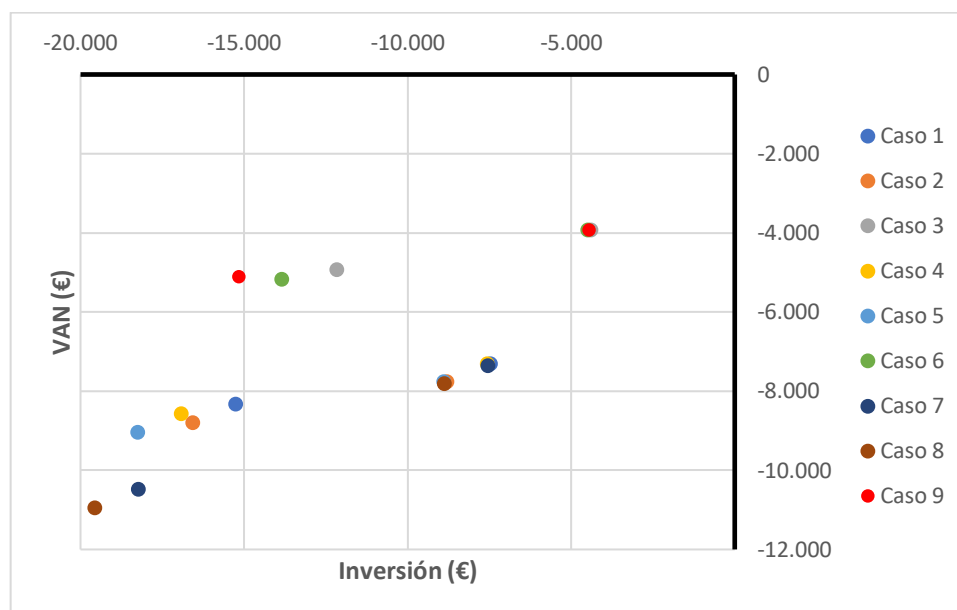


Figura 47. Gráfica datos económicos Análisis 1

De los casos expuestos, se observa que el mayor ahorro económico obtenido al final del período de estudio con respecto a la inversión realizada es para el caso 9, con una inversión máxima, aunque la rentabilidad es negativa para todos los casos, por lo que se hace evidente la pérdida económica.

9.2. Análisis 2

En la situación anterior, no se ha tenido en cuenta la subvención que se otorga para construcciones de autoconsumo. Dicha ayuda económica permite reducir la inversión hasta un 40%, por lo que los datos obtenidos se ven afectados de manera considerable. A continuación, se supone que la vivienda tiene una cédula de habitabilidad anterior al año 2016, de modo que pueda ser partícipe de la subvención planteada.

Tabla 15. Datos económicos Análisis 2

	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Casos	Inversión (€)		VAN (€)		Ahorro (%)	
1	-4.489,36	-9.157,18	-3.016,87	+22,78	32,80	100,25
2	-5.281,36	-9.949,18	-2.712,5	+380,43	48,64	103,82
3	-2.641,36	-7.309,18	-1.401,63	+1.578,18	46,94	121,59
4	-4.549,48	-10.160,37	-2.965,09	+812,64	34,83	108,00
5	-5.341,48	-10.952,37	-2.661,92	+1.435,01	50,17	113,10
6	-2.701,48	-8.312,37	-1.348,46	+2.777,06	50,08	133,41
7	-4.534,2	-10.949,4	-3.028,28	-11,38	33,21	99,90
8	-5.326,2	-11.741,4	-2.724,08	+279,74	48,86	102,38
9	-2.689,38	-9.219,30	-1.359,06	+3.429,37	49,47	137,20

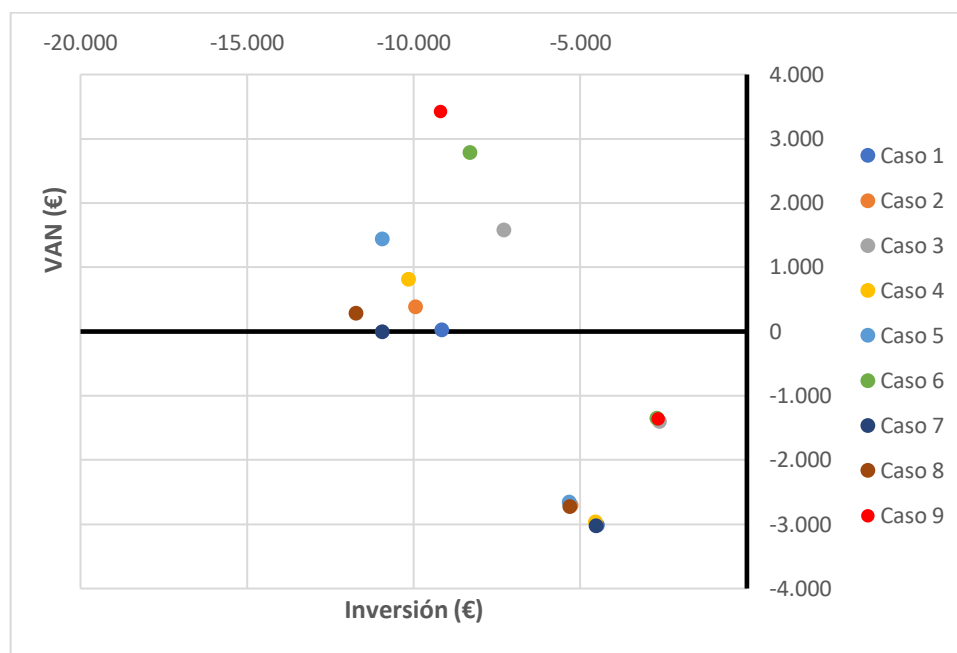


Figura 48. Gráfica datos económicos Análisis 2

En el análisis planteado aparece, en ciertos casos, un VAN positivo, según la tabla 15 y figura 48, de modo que la inversión correspondiente es rentable a lo largo de los 25 años. Como casos a destacar, se encuentran el 3, 6 y 9, con una clara diferencia respecto al análisis anterior, correspondientes a la combinación “Eurener-Enair 30PRO, Eurener-Enair 70PRO y Eurener-Bornay”, aunque el caso que mayor ahorro presenta es el 9, para un máximo número de módulos fotovoltaicos posible.

9.3. Análisis 3

La combinación de fotovoltaica y minieólica es una solución que resulta viable técnica y económicamente, aunque las condiciones de viabilidad dependen del rendimiento de los modelos seleccionados y de su coste. El análisis de estos dos tipos de equipos, en conjunto, puede llegar a perjudicar la rentabilidad futura que se espera obtener, por lo que resulta interesante analizar la situación para la instalación de ambos equipos por separado.

En este análisis, se propone la instalación, únicamente, de módulos fotovoltaicos, de modo que la superficie de la cubierta quede ocupada por éstos, manteniendo las distancias para evitar el sombreado. Para cada uno de los modelos seleccionados, según el punto 3.3.6 “*Distancia de seguridad entre módulos*”, se calcula la superficie que involucra cada módulo con su respectiva sombra, para obtener, finalmente, el máximo número de kWp a instalar en la cubierta, tabla 16.

Tabla 16. N° de módulos y potencia instalada máxima

Módulos	Superficie (módulo+sombra) (m ²)	N° módulos máximo	Potencia instalada máxima (kWp)
Atersa	2,9549	36	9,18
Zytech	3,5206	30	9,6
Eurener	2,8927	37	11,1

9.3.1. Sin subvención

Tabla 17. Datos económicos Análisis 3 (sin subvención)

	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Módulos	Inversión (€)		VAN (€)		Ahorro (%)	
Atersa	-222,27	-8.001,97	+27,67	-889,28	112,45	88,89
Zytech	-322,46	-9.673,95	+32,21	-1.138,32	109,99	88,23
Eurener	-297	-10.989	-22,95	-3.085,83	92,27	71,92

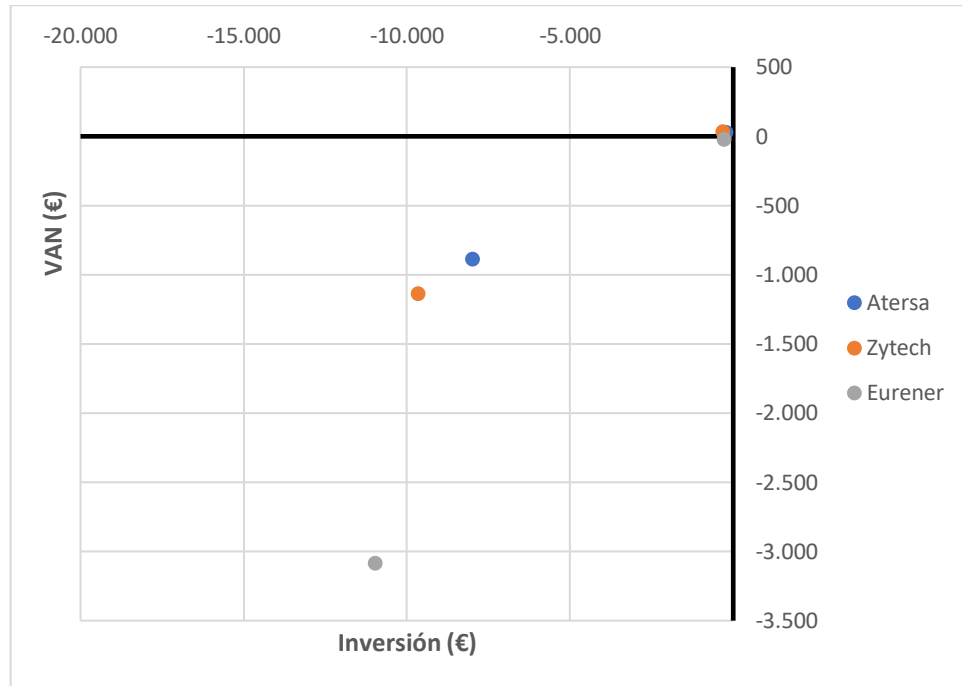


Figura 49. Gráfica datos económicos Análisis 3 (sin subvención)

La inversión que resulta de mayor interés, según la tabla 17 y la figura 49, es la mínima posible (1 módulo) debido a que el VAN en el período a estudiar es positivo o cercano, así como el ahorro obtenido, el cual es mayor en esta situación a la inversión máxima. El coste que supone la instalación de un mayor número de módulos afecta considerablemente a la situación del proyecto, el cual no ha recibido ningún tipo de subvención. Por lo tanto, los módulos que aportan una mayor rentabilidad son los del fabricante Atersa y Zytech, con un beneficio positivo, entre el que destaca Atersa con un mayor ahorro económico.

9.3.2. Con subvención

Tabla 18. Datos económicos Análisis 3 (con subvención)

	Máximo	Máximo	Máximo
Módulos	Inversión (€)	VAN (€)	Ahorro (%)
Atersa	-4.801,18	+3.704,06	177,15
Zytech	-5.804,37	+4.414,78	176,06
Eurener	-6.593,4	+3.249,14	149,28

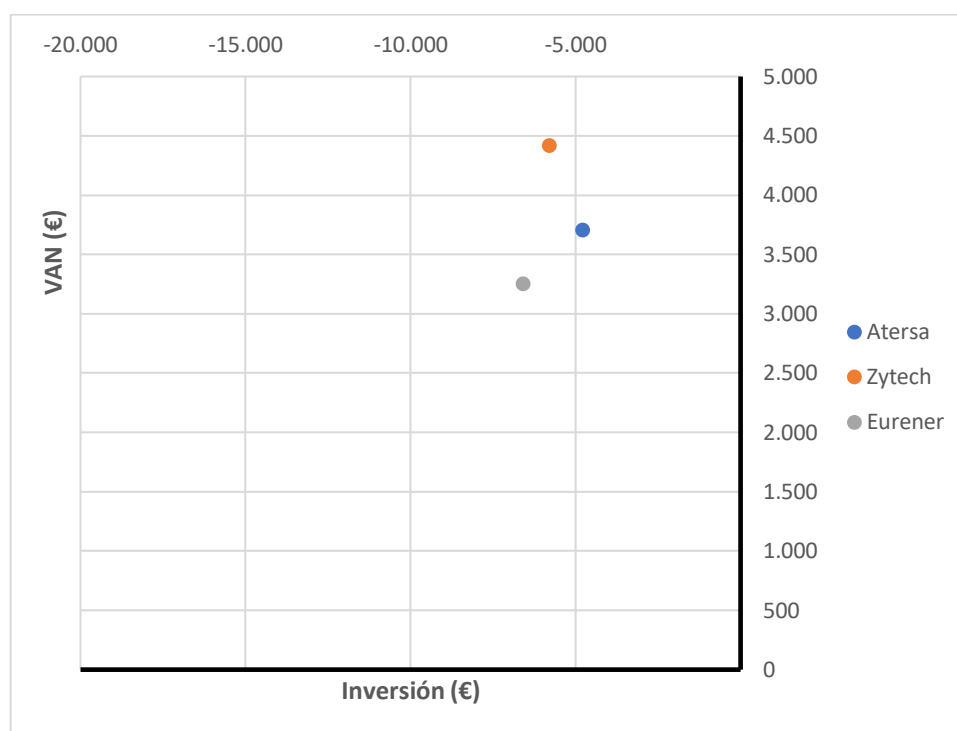


Figura 50. Gráfica datos económicos Análisis 3 (con subvención)

Para optar a la subvención, la inversión a realizar debe superar el importe de 500 €, por lo que se descarta para la situación de mínima inversión, la cual se encuentra por debajo del mismo. La mejoría del VAN en este caso es evidente, pues los beneficios obtenidos son de gran importancia en comparación con la inversión realizada, tabla 18 y figura 50. Aquel que presenta una mejor situación económica es el modelo Atersa, con una ganancia del 77,15% de la inversión a lo largo de la vida útil de los equipos.

9.4. Análisis 4

De la misma forma que se planteó en el análisis 3, en este caso, se estudia la generación eléctrica a partir de aerogeneradores. Para ello, se tiene en cuenta el diámetro de las aspas y la longitud de la veleta, de modo que se estipule una superficie a ocupar para cada aerogenerador (sumando una distancia de seguridad de 0,5m) y se calcule, finalmente, el número máximo en la cubierta y, por lo tanto, el máximo número de kWp a instalar, tabla 19.

Tabla 19. N° de aerogeneradores y potencia instalada máxima

Aerogeneradores	Superficie aerogenerador (m ²)	Nº aerogeneradores máximo	Potencia instalada máxima (kWp)
Enair 30PRO	14,5221	8	24
Enair 70PRO	18,0955	6	33
Bornay 13+	7,7931	16	24

9.4.1. Sin subvención

Tabla 20. Datos económicos Análisis 4 (sin subvención)

	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Aerogeneradores	Inversión (€)		VAN (€)		Ahorro (%)	
Enair 30PRO	-7.260	-58.080	-7.307,74	-60.007,7	-0,66	-3,32
Enair 70PRO	-8.580	-51.480	-7.756,6	-47.830,5	9,60	7,09
Bornay 13+	-4.180	-66.880	-3.929,34	-65.694,36	6,00	1,77

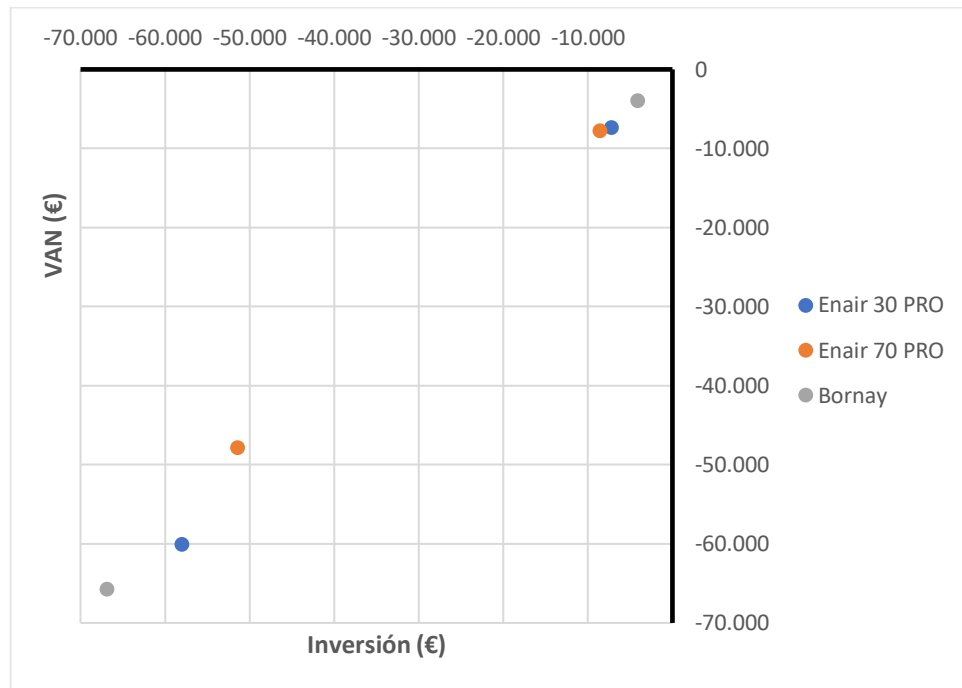


Figura 51. Gráfica datos económicos Análisis 4 (sin subvención)

La inversión de aerogeneradores sin obtener incentivo repercute negativamente en el resultado final, tabla 20 y figura 51. El VAN obtenido para los casos de inversiones máximas y mínimas en el modelo Enair 30PRO es mayor a éstas, por lo que el flujo de caja, y por lo tanto, los beneficios obtenidos, son negativos. Esto se debe a que el ahorro de energía en las horas de más/menos generación y la energía excedente no son suficiente para paliar el coste anual del mantenimiento de los equipos. Sin embargo, en los modelos restantes sí se produce un beneficio por la inversión realizada, destacando Enair 70PRO para una inversión mínima, aunque la rentabilidad al final del período es negativa.

9.4.2. Con subvención

Tabla 21. Datos económicos Análisis 4 (con subvención)

	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Aerogeneradores	Inversión (€)		VAN (€)		Ahorro (%)	
Enair 30PRO	-4.356	-34.848	-3.140,3	-26.668,2	27,91	23,47
Enair 70PRO	-5.148	-30.888	-2.831,45	-18.279,7	45,00	40,82
Bornay 13+	-2.508	-40.128	-1.529,91	-27.303,46	39,00	31,96

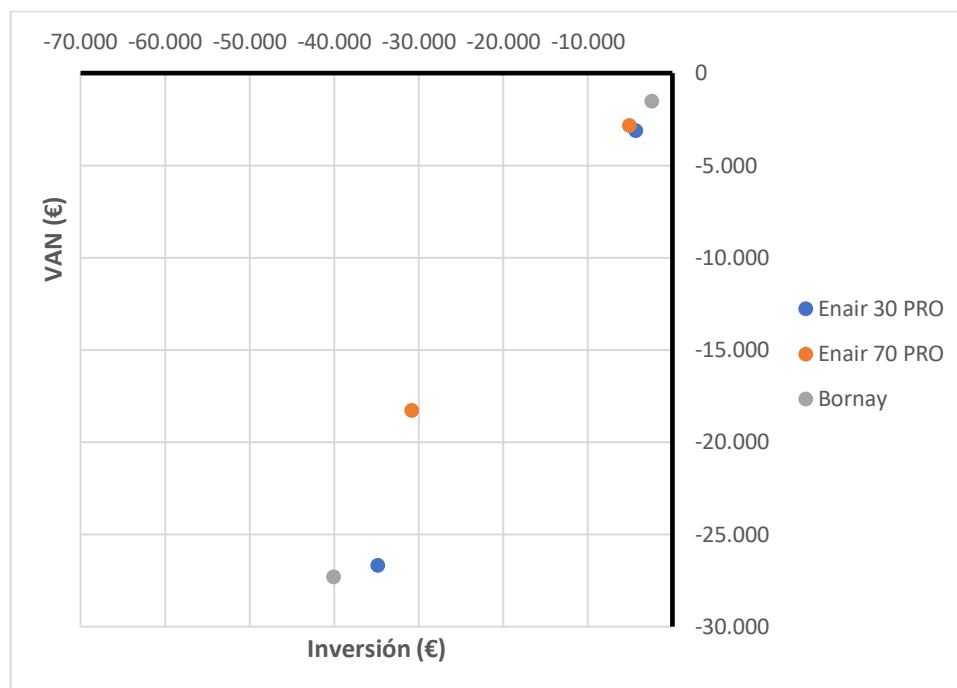


Figura 52. Gráfica datos económicos Análisis 4 (con subvención)

En la situación de incentivos, la idea de instalar aerogeneradores sigue ocasionando una pérdida económica, aunque en menor grado. El coste por kWp de cada aerogenerador es muy elevado, sumado a la pérdida de beneficios por el coste de mantenimiento, hacen que la idea de instalar únicamente este tipo de captador no resulte viable. El modelo que presenta un mayor ahorro con respecto a la inversión realizada es Enair 70PRO, con un 45%, para una inversión mínima.

9.5. Análisis 5

La distribución superficial de los módulos fotovoltaicos y de los aerogeneradores se considera distinta de los análisis anteriores. En este caso, se supone una ocupación de la superficie de la cubierta del 50% para ambos captadores. Así, estableciendo distintas inversiones, es posible observar la distribución óptima de los mismos con el objetivo de maximizar el VAN. En este análisis no se tiene en cuenta la subvención por autoconsumo.

Para cada una de las combinaciones, se establecen inversiones de 9.000, 10.000 y 12.000 € las cuales se encuentran comprendidas entre los valores de inversión máxima y mínima de todos los casos, de modo que permita comprobar la evolución de la distribución de los módulos y aerogeneradores.

9.5.1. Casos 1 y 2: Atersa y Enair 30 PRO / Atersa y Enair 70 PRO

Inversión (€)	9.000	10.000	12.000
Coste kW PV (€/kWp)	792,43	792,43	792,43
Coste kW Eólica (€/kWp)	2.200	2.200	2.200
Pot. Instalada PV (kWp)	1,9961	3,1434	4,59
Nº de módulos	7,82	12,32	18
Pot. Instalada Eólica (kWp)	3	3	3,3053
Nº de aerogeneradores	1	1	1,10
Ahorro consumo (más generación) (€)	57,23	62,30	67,04
Ahorro consumo (menos generación) (€)	20,86	18,27	16,35
Ventas (€)	172,50	230,07	316,16
Coste mantenimiento (€)	180	200	240
Flujo de Caja (€)*	70,60	110,65	159,56
Flujo de Caja (€)	1.535,94	2.407,04	3.471,06
VAN (€)	-7.464,05	-7.592,96	-8.528,93

Inversión (€)	9.000	10.000	12.000
Coste kW PV (€/kWp)	792,43	792,43	792,43
Coste kW Eólica (€/kWp)	1.418,18	1.418,18	1.418,18
Pot. Instalada PV (kWp)	0,4818	1,6290	3,9234
Nº de módulos	1,88	6,38	15,38
Pot. Instalada Eólica (kWp)	5,5	5,5	5,5
Nº de aerogeneradores	1	1	1
Ahorro consumo (más generación) (€)	52,98	62,16	70,71
Ahorro consumo (menos generación) (€)	23,40	20,71	16,15
Ventas (€)	159,71	214,21	330,05
Coste mantenimiento (€)	180	200	240
Flujo de Caja (€)*	56,09	97,09	176,92
Flujo de Caja (€)	1.220,36	2.112,24	3.848,63
VAN (€)	-7.779,64	-7.887,76	-8.151,36

9.5.2. Casos 3 y 4: Atersa y Bornay 13+ / Zytech y Enair 30 PRO

Inversión (€)	9.000	10.000	12.000
Coste kW PV (€/kWp)	792,43	792,43	792,43
Coste kW Eólica (€/kWp)	2.533,33	2.533,33	2.533,33
Pot. Instalada PV (kWp)	4,59	4,59	4,59
Nº de módulos	18	18	18
Pot. Instalada Eólica (kWp)	1,7939	2,1527	2,8704
Nº de aerogeneradores	1,19	1,43	1,91
Ahorro consumo (más generación) (€)	62,55	64,92	69,10
Ahorro consumo (menos generación) (€)	16,36	16,32	15,89
Ventas (€)	277,25	295,87	333,88
Coste mantenimiento (€)	180	200	240
Flujo de Caja (€)*	176,17	177,12	178,88
Flujo de Caja (€)	-3.832,38	-3.853,08	-3.891,26
VAN (€)	-5.167,61	-6.146,91	-8.108,73

Inversión (€)	9.000	10.000	12.000
Coste kW PV (€/kWp)	916,09	916,09	916,09
Coste kW Eólica (€/kWp)	2.200	2.200	2.200
Pot. Instalada PV (kWp)	1,7267	2,7190	4,7037
Nº de módulos	5,39	8,49	14,69
Pot. Instalada Eólica (kWp)	3	3	3
Nº de aerogeneradores	1	1	1
Ahorro consumo (más generación) (€)	55,59	59,62	63,95
Ahorro consumo (menos generación) (€)	21,12	19,38	16,85
Ventas (€)	173,67	231,4	348,80
Coste mantenimiento (€)	180	200	240
Flujo de Caja (€)*	70,38	110,40	189,61
Flujo de Caja (€)	1.531,19	2.401,60	4.124,70
VAN (€)	-7.468,8	-7.598,39	-7.875,3

9.5.3. Casos 5 y 6: Zytech y Enair 70 PRO / Zytech y Bornay 13+

Inversión (€)	9.000	10.000	12.000
Coste kW PV (€/kWp)	916,09	916,09	916,09
Coste kW Eólica (€/kWp)	1.418,18	1.418,18	1.418,18
Pot. Instalada PV (kWp)	0,4167	1,4091	3,3938
Nº de módulos	1,30	4,40	10,60
Pot. Instalada Eólica (kWp)	5,5	5,5	5,5
Nº de aerogeneradores	1	1	1
Ahorro consumo (más generación) (€)	52,72	61,35	69
Ahorro consumo (menos generación) (€)	23,46	20,67	16,48
Ventas (€)	159,88	214,93	331,17
Coste mantenimiento (€)	180	200	240
Flujo de Caja (€)*	56,07	96,96	176,67
Flujo de Caja (€)	1.219,77	2.109,29	3.843,16
VAN (€)	-7.780,22	-7.890,69	-8.156,83

Inversión (€)	9.000	10.000	12.000
Coste kW PV (€/kWp)	916,09	916,09	916,09
Coste kW Eólica (€/kWp)	2.533,33	2.533,33	2.533,33
Pot. Instalada PV (kWp)	4,7831	4,8	4,8
Nº de módulos	14,94	15	15
Pot. Instalada Eólica (kWp)	1,5	1,8527	2,5704
Nº de aerogeneradores	1	1,2351	1,71
Ahorro consumo (más generación) (€)	58,48	61,25	65,80
Ahorro consumo (menos generación) (€)	16,50	16,59	16,58
Ventas (€)	312,36	331,19	368,53
Coste mantenimiento (€)	180	200	240
Flujo de Caja (€)*	207,36	209,05	210,92
Flujo de Caja (€)	4.510,83	4.547,58	4.588,36
VAN (€)	-4.489,16	-5.452,41	-7.411,64

9.5.4. Casos 7 y 8: Eurener y Enair 30 PRO / Eurener y Enair 70 PRO

Inversión (€)	9.000	10.000	12.000
Coste kW PV (€/kWp)	900	900	900
Coste kW Eólica (€/kWp)	2.200	2.200	2.200
Pot. Instalada PV (kWp)	1,7575	2,7676	4,7878
Nº de módulos	5,85	9,22	15,95
Pot. Instalada Eólica (kWp)	3	3	3
Nº de aerogeneradores	1	1	1
Ahorro consumo (más generación) (€)	53,31	56,79	60,70
Ahorro consumo (menos generación) (€)	21,46	20,08	18,17
Ventas (€)	162,66	213,35	316,27
Coste mantenimiento (€)	180	200	240
Flujo de Caja (€)*	57,43	90,23	155,15
Flujo de Caja (€)	1.249,45	1.962,90	3.375,08
VAN (€)	-7.750,55	-8.037,1	-8.624,92

Inversión (€)	9.000	10.000	12.000
Coste kW PV (€/kWp)	900	900	900
Coste kW Eólica (€/kWp)	1.418,18	1.418,18	1.418,18
Pot. Instalada PV (kWp)	0,4242	1,4343	3,4545
Nº de módulos	1,41	4,78	11,51
Pot. Instalada Eólica (kWp)	5,5	5,5	5,5
Nº de aerogeneradores	1	1	1
Ahorro consumo (más generación) (€)	52,08	59,60	65,63
Ahorro consumo (menos generación) (€)	23,29	20,94	18,29
Ventas (€)	157,50	205,85	307,8
Coste mantenimiento (€)	180	200	240
Flujo de Caja (€)*	52,88	86,39	151,73
Flujo de Caja (€)	1.150,43	1.879,39	3.300,71
VAN (€)	-7.849,57	-8.120,6	-8.699,29

9.5.5. Caso 9: Eurener y Bornay 13+

Inversión (€)	9.000	10.000	12.000
Coste kW PV (€/kWp)	900	900	900
Coste kW Eólica (€/kWp)	2.533,33	2.533,33	2.533,33
Pot. Instalada PV (kWp)	4,8686	5,55	5,55
Nº de módulos	16,22	18,5	18,5
Pot. Instalada Eólica (kWp)	1,5	1,6168	2,3345
Nº de aerogeneradores	1	1,077	1,55
Ahorro consumo (más generación) (€)	58,55	60,04	64,98
Ahorro consumo (menos generación) (€)	16,50	16,42	16,46
Ventas (€)	317,43	363,74	400,70
Coste mantenimiento (€)	180	200	240
Flujo de Caja (€)*	212,49	240,21	242,15
Flujo de Caja (€)	4.622,46	5.225,42	5.267,73
VAN (€)	-4.377,53	-4.774,58	-6.732,27

■ Anual
■ A los 25 años
■ Distribución solar/eólica

10. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

A partir de los resultados obtenidos, se enuncian una serie de conclusiones que enmarcan los puntos más revelantes del estudio realizado:

- La coexistencia de los módulos fotovoltaicos y aerogeneradores planteados proporciona beneficios si se tiene en cuenta la subvención correspondiente por autoconsumo. La reducción de un 40% en la inversión inicial permite mejorar la situación de máxima inversión sobre la de mínima, ahorrando por ello más capital y superando la inversión realizada en todos los casos. Para inversiones mínimas con subvención y cualquier inversión sin subvención, el VAN obtenido es negativo, por lo que el proyecto no resulta rentable para ningún caso.
- La instalación única de módulos fotovoltaicos permite un ahorro mayor para inversiones mínimas, incluso se obtiene beneficios escasos de la inversión realizada. Por el contrario, el incentivo proporcionado amplía los límites económicos a obtener, con ganancias que alcanzan el 77,15% de la inversión máxima.
- La instalación única de aerogeneradores introduce pérdidas económicas en el proyecto, tanto con subvenciones como sin ellas. El coste por kWp de cada aerogenerador es el principal causante, acentuando la inversión a realizar con respecto a la generación que produce.
- Para determinadas inversiones, se comprueba que la maximización del VAN se produce con una instalación inicial de todos los módulos fotovoltaicos posibles. Los costes ocasionados por los aerogeneradores reducen considerablemente su valor, a pesar de que presentan mayores horas de trabajo diarias que los módulos.

Una alternativa al estudio de las instalaciones conectadas a red es la posible instalación de un banco de baterías, el cual permita acumular la energía y usarla en momentos de falta de la misma. Aunque la inversión inicial se elevaría considerablemente por el precio de las baterías, la idea de “independizarse” de la red puede llegar a ser económica a largo plazo, si bien habría que estudiar la influencia económica de las baterías y si se puede llegar a suplir los picos de consumo a partir de la generación. Otra alternativa que

puede considerarse viable es el sistema híbrido con conexión a red y con la incorporación de banco de baterías. El consumo, la generación, el emplazamiento y el presupuesto son los aspectos más importantes a la hora de valorar las distintas alternativas energéticas.

Finalmente, conviene destacar que el uso de instalaciones que permitan una reducción de la contaminación global para la generación de electricidad es esencial para un futuro sostenible y respetuoso con el medio ambiente. La introducción paulatina de las energías renovables y la reducción del uso de combustibles fósiles, junto con una mayor independencia energética, enmarcan un futuro no muy lejano en el que numerosos países ya están tomando conciencia y aplicando normativas para paliar los efectos negativos que produce un mundo sin la intervención de energías renovables.

11. GLOSARIO

EVA: Etileno-Vinil-Acetato.....	29
ITC-BT: Instrucción Técnica de Baja Tensión.....	2
IVA: Impuesto sobre el Valor Añadido	4
PVPC: Precio Voluntario al Pequeño Consumidor	5
REE: Red Eléctrica Española	33
STC: Standard Test Conditions (Condiciones estándar de medida).....	28
TSR: Tip Speed Ratio (Relación de velocidad específica)	18
UV: Ultravioleta	10
VAN: Valor Actual Neto	38

12. BIBLIOGRAFÍA

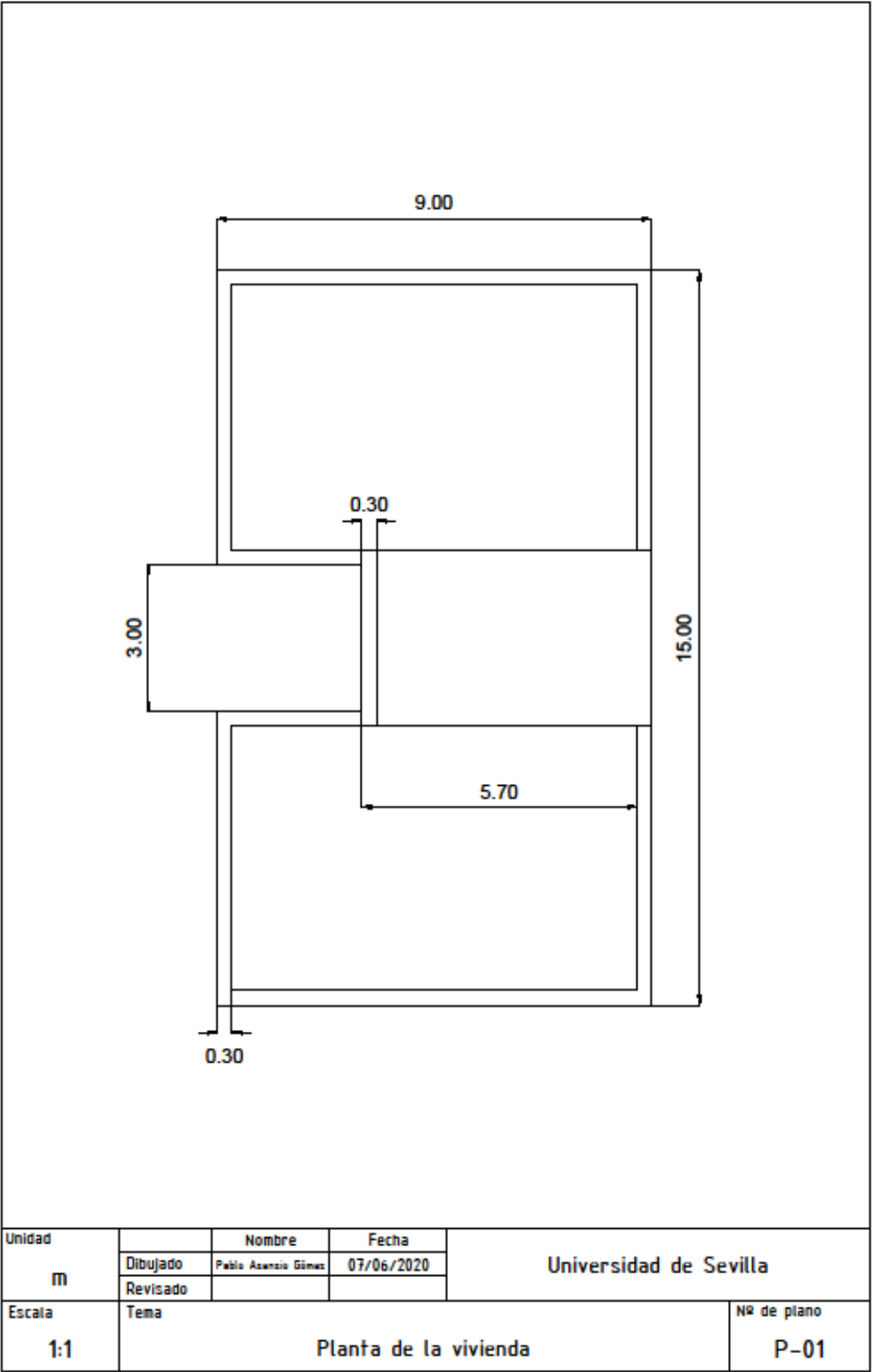
- [1] REAL DECRETO 244/2019. *Condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica*. Boletín Oficial del Estado.
- [2] Wikipedia, 2020. *Energía renovable* [en línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable> [Consulta: 2 Mar. 2020].
- [3] Acciona, 2020. *Energías renovables* [en línea]. Disponible en: <<https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>> [Consulta 6 Mar. 2020].
- [4] Red Eléctrica Española, 2019. *Previsión de cierre 2019* [en línea]. Disponible en: <https://www.ree.es/sites/default/files/11_PUBLICACIONES/Documentos/InformesSistemaElectrico/2019/Red-Elctrica-Infografia-Sector-Elctrico-Espa%C3%B1ol-2019.pdf> [Consulta 8 Mar. 2020].
- [5] SERRANO, Paula, 2018. *Energía Solar y sus beneficios. ¿Qué es el efecto fotovoltaico?* [en línea]. Certificados energéticos. Disponible en: <<https://www.certificadosenergeticos.com/energia-solar-beneficios-que-efecto-fotovoltaico>> [Consulta 12 Mar. 2020].
- [6] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2011. *Resumen del Plan de Energías Renovables 2011-2020* [en línea]. Disponible en: <<https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>> [Consulta: 15 Mar. 2020].
- [7] Heliosfera, 2019. *Módulos fotovoltaicos* [en línea]. Disponible en: <<https://www.heliosfera.com/wp-content/uploads/2019/02/Infografia-m%C3%B3dulos-3.png>> [Consulta 20 Mar. 2020].
- [8] Tritec, 2020. *Tipos de paneles fotovoltaicos* [en línea]. Disponible en: <<https://www.tritec-intervento.cl/productostritec/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>> [Consulta 20 Mar. 2020].
- [9] Ingemecánica, 2019. *Instalación solar fotovoltaica para el bombeo de agua para riego* [en línea]. Disponible en: <<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn193.html>> [Consulta 21 Mar. 2020].
- [10] Areatecnología, 2017. *Paneles solares* [en línea]. Disponible en: <<https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>> [Consulta 21 Mar. 2020].
- [11] VARGAS, Juan Pablo, 2015. *Desarrollo de un sistema de control para la captura y medición experimental de la eficiencia y curva característica I-V en tiempo real de un sistema fotovoltaico utilizando Labview y Arduino* [en línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312015000100006> [Consulta: 23 Mar. 2020].
- [12] COIT, 2020. Sección HE5: Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica [en línea]. Disponible en: <https://www.coit.es/system/files/link_group/he_5_contribucion_fotovoltaica_minima_de_energia_electrica_77f479a7.pdf> [Consulta: 27 Mar. 2020].
- [13] BIRTH LH, 2020. *Cálculo de la separación de las filas de paneles para evitar sombras* [en línea]. Instalaciones solares fotovoltaicas puestas a red. Disponible en: <https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/IEA/ISF/ISF05/es_IEA_ISF05_Contenidos/website_221_clculo_de_la_separacin_de_las_filas_de_paneles_para_evitar_sombras.html#> [Consulta 3 Abr. 2020].

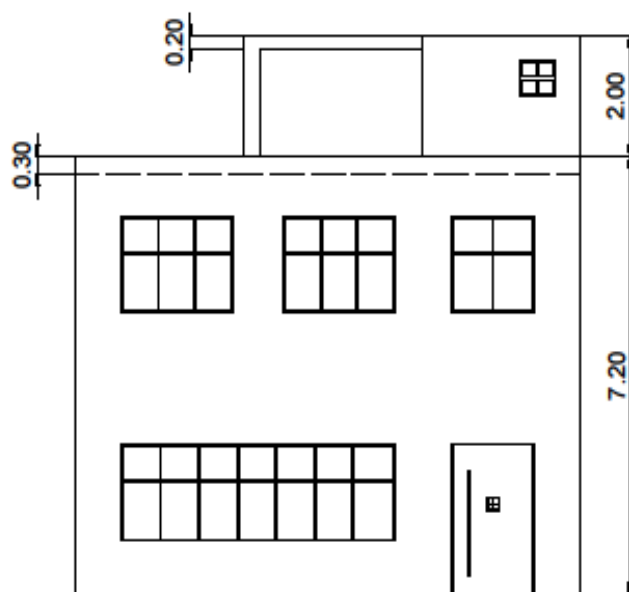
- [14] SANZ, David, 2012. *Componentes de un aerogenerador* [en línea]. Energías renovadas. Disponible en: < <https://energiasrenovadas.com/componentes-de-un-aerogenerador/>> [Consulta 10 Abr. 2020].
- [15] Energiza, 2018. Principales componentes de un aerogenerador [en línea]. Disponible en: <http://www.energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=1246:principales-componentes-de-un-aerogenerador> [Consulta 10 Abr. 2020].
- [16] Structuralia, 2018. *Aerogeneradores de eje vertical y horizontal: tipos, ventajas e inconvenientes* [en línea]. Disponible en: <<https://blog.structuralia.com/aerogeneradores-de-eje-vertical-y-horizontal-tipos-ventajas-e-inconvenientes>> [Consulta 15 Abr. 2020].
- [17] MUR, Joaquín. *Curso de energía eólica* [en línea]. Universidad de Zaragoza. Disponible en: <<https://www.windygrid.org/manualEolico.pdf>> [Consulta 18 Abr. 2020].
- [18] BUENO, Maximiliano, 2015. *Coeficiente de potencia en función de velocidad específica y ángulo de paso de las palas* [en línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Coeficiente-de-potencia-en-funcion-de-la-velocidad-especifica-y-el-angulo-de_fig3_321807468> [Consulta 21 Abr. 2020].
- [19] GARCÍA, Francisco de Borja, 2013. *Estrategias de programación diaria y operación horaria en el mercado de la electricidad de un parque eólico* [en línea] Disponible en: <<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11513/fichero/PDF+Dividido+por+apartados%252F6.+Pr+edicci%C3%B3n+de+potencia+e%C3%B3lica.pdf>> [Consulta 26 Abr.2020].
- [20] AEMET, 2019. *Base de datos climatológicos* [en línea]. Disponible en: <<https://datosclima.es/>> [Consulta: 2 May. 2020].
- [21] Agencia Andaluza de la Energía, 2020. *Radiación Solar* [en línea]. Disponible en: <<http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/Radiacion/radiacion1.php>> [Consulta 2 May. 2020].
- [22] SERVÁN, Jorge, 2014. *Análisis técnico-económico de un sistema híbrido de baja potencia eólico solar conectado a la red* [en línea]. Universidad de Piura. Disponible en: <<https://pdfs.semanticscholar.org/5ce8/172d9f381ce19507abc2ddd4b14309c06f7d.pdf>> [Consulta 5 May. 2020].
- [23] Enair, 2020. *Aerogenerador Enair 30 PRO* [en línea] Disponible en: <<https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e30pro>> [Consulta 9 May. 2020].
- [24] Bornay, 2020. *Catálogo Wind+* [en línea] Disponible en: <<https://www.bornay.com/es/productos/aerogeneradores/wind-plus>> [Consulta 10 May. 2020].
- [25] Enair, 2020. *Aerogenerador Enair 70 PRO* [en línea] Disponible en: <<https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e70pro>> [Consulta 12 May. 2020].
- [26] Atersa, 2020. *Catálogo Línea ULTRA* [en línea] Disponible en: <<http://www.atersa.com/es/productos-servicios/modulos-fotovoltaicos/linea-ultra/>> [Consulta 15 Abr. 2020].
- [27] Zytech Solar, 2020. *Catálogo Photovoltaic Modules* [en línea] Disponible en: <<http://zytech.es/catalogos/>> [Consulta 15 Abr. 2020].
- [28] Eurener-Energía Solar Fotovoltaica, 2020. *Catálogo MEPV* [en línea] Disponible en: <<https://eurenergroupp.com/es/producto/modulos-fotovoltaicos/mepv/>> [Consulta 16 Abr. 2020].

- [29] Red Eléctrica Española, 2020. *Generación medida Eólica* [en línea] Disponible en: <https://www.esios.ree.es/es/analisis/10037?vis=1&start_date=06-06-2020T00%3A00&end_date=06-06-2020T23%3A00&compare_start_date=05-06-2020T00%3A00&groupby=hour> [Consulta 9 May. 2020].
- [30] Red Eléctrica Española, 2020. *Generación medida Solar Fotovoltaica* [en línea] Disponible en: <https://www.esios.ree.es/es/analisis/1161?vis=1&start_date=06-06-2020T00%3A00&end_date=06-06-2020T23%3A00&compare_start_date=05-06-2020T00%3A00&groupby=hour> [Consulta 9 May. 2020].
- [31] Red Eléctrica Española, 2020. *Precio de la energía excedentaria del autoconsumo para el mecanismo de compensación simplificada* [en línea] Disponible en: <https://www.esios.ree.es/es/analisis/1739?vis=1&start_date=31-01-2019T00%3A00&end_date=30-04-2020T23%3A00&compare_start_date=30-01-2019T00%3A00&groupby=hour> [Consulta 16 May. 2020].
- [32] Red Eléctrica Española, 2020. *Precio medio horario final suma de componentes* [en línea] Disponible en: <https://www.esios.ree.es/es/analisis/10211?vis=2&start_date=06-06-2020T00%3A00&end_date=06-06-2020T23%3A50&compare_start_date=05-06-2020T00%3A00&groupby=hour&compare_indicators=805,806,807,808,809,810,811,812,813,814,815,816,1277,1286,1368> [Consulta 16 May. 2020].

ANEXOS

ANEXO I. PLANOS DE LA EDIFICACIÓN





Unidad		Nombre	Fecha	Universidad de Sevilla
	Dibujado	Pablo Asencio Gómez	07/06/2020	
	Revisado			
Escala	Tema			Nº de plano
1:1	Alzado de la vivienda			P-02

ANEXO II. CATÁLOGOS FABRICANTES MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

New Ultra range with positive tolerance

Electrical characteristics (STC: 1kW/m², 25°C±2°C and AM 1,5)*			
	A-255P	A-260P	A-265P
Rated Power (0/+5 W)	255 W	260 W	265 W
Module efficiency	15,66%	15,97%	16,27%
Peak-Point Current of Maximum Power (Imp)	8,29 A	8,35 A	8,40 A
Peak-Point Voltage of Maximum Power (Vmp)	30,76 V	31,20 V	31,55 V
Short-circuit Current (Isc)	8,88 A	8,95 A	9,01 A
Open Current Voltage (Voc)	37,80 V	37,98 V	38,14 V

Thermal parameters	
Isc (α) Temperature Coefficient	0,04% /°C
Voc (β) Temperature Coefficient	-0,32% /°C
P (γ) Temperature Coefficient	-0,43% /°C

Physical characteristics	
Dimensions (mm ± 2 mm)	1645x990x40
Weight (0,5 kg)	19,2
Surface area (m²)	1,63
Cell type (± 1 mm)	Polycrystalline 156x156 mm (6 inches)
Cells in series	60 (6x10)
Front glass	Ultra-clear 3.2 mm tempered glass
Frame	anodized aluminium alloy or Polyester-coated
Connection box	TYCO IP67
Cables	Solar Cable 4 mm² 1.200 mm
Connectors	TYCO PV4

Operating range	
Temperature	-40°C to +85°C
Maximum System Voltage / Protection	1000 V / CLASS II
Maximum Wind Load / Snow Load	2400 Pa (130 km/h) / 5400 Pa (551 kg/m²)
Max. Reverse Current (IR)	15,1 A

*Electrical specifications measured in STC. NOCT: 47±2°C.
Tolerance measures STC: ±3% (Pmp); ±10% (Isc, Voc, Imp, Vmp).

Panel construction generic view

- Modules per box: 25 units
- Weight per pallet: 495 kg
- A 40-foot container can hold 25 boxes: 625 panels
- A 40-foot HC container can hold 26 boxes: 650 panels
- A 20-foot container can hold 10 boxes: 250 panels
- A TAUTLINER truck can hold 30 boxes: 750 panels

NB: The data contained in this documentation are subject to modification without prior notification.

www.atersa.com • atersa@elecnor.com

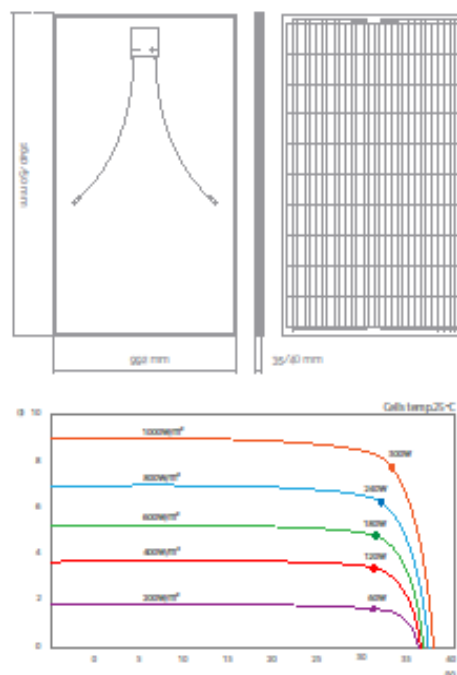
Madrid +34 915 178 452 • Valencia +34 961 038 430

Latest revision: 28/04/17
Ref.: E-MU-6P (3) 6x10-B (TY 3.2)
© Atersa SL, 2016



Technical features

Frame
Black anodized aluminium 0,015 mm
Robust and resistant to corrosion
Built-in plug
Connection box
Sealed, robust and wide for heat dissipation
IP68 according to IEC 60529
Diodes by-pass built-in (3/6)
for protection of the partial shading
Connector MC4 or compatible
Cables 1 meter ($\pm 0,1$ m) length and 4mm ² section
Fire Class I approval (UNI 9177)
Frontal
3,2 mm tempered glass
Textured, extra-clear with low iron content
Solar cells
60 cells monocrystalline silicon / 156x156 mm
Weight, dimensions and packaging
19 Kg 1640 x 992 x 40mm($\pm 1\%$) Packaging: 784 pcs-truck
19 Kg 1650 x 992 x 35mm($\pm 1\%$) Packaging: 896 pcs-truck



Electric data

Standard - All Black	MEPV 300
Nominal power, Pmpp	300 W
Tolerance, Pmpp	0 / +5W
Area of the module	1,62
Module efficiency	18,52%
Isc	9,89 A
Uoc	39,75 V
Imp	9,37 A
Ump	32,02 V
Maximum voltage	1000 V
Isc	0,05% / °C
Uoc	- 0,29% / °C
g Pmax	- 0,39% / °C
Temperature range	- 40°C to +85°C
NOCT	44°C $\pm$ 2°C

NOTE: Read the instruction manual of this product and follow the indications. Values are valid for: 1000W/m², AM 1,5 and cell's temperature of 25°C. Measurement tolerance $\pm 1\%$. All the information of this brochure may be amended without notice by Eurener.

ZT Series Monocrystalline

Solar Module

320S/325S



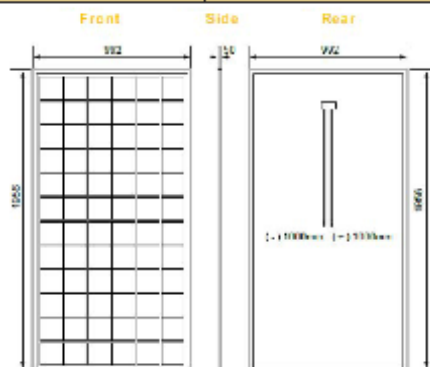
Cell Data	
Technology	Monocrystalline Silicon
Number Per Module	72
Dimension	166 x 166 mm
Orientation	6 x 12

Thermal Data	
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C ± 2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.34% / °C
Temperature Coefficient of Isc	+0.037% / °C
Temperature Coefficient of Power Pmax	-0.48% / °C

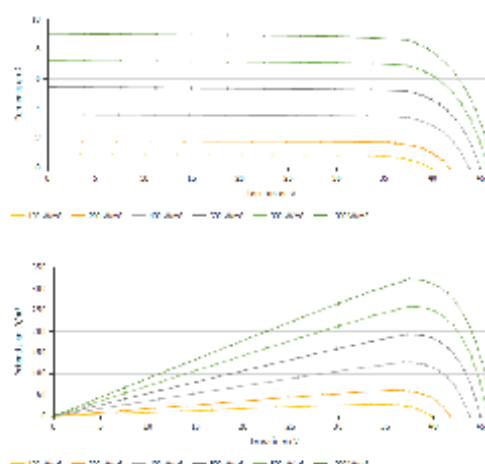
Electrical Data (STC)		ZT 320S	ZT 325S
Maximum power (W)	Pmax	320	325
Power Output Tolerance (%)		-3% to 3%	
Maximum Power Voltage (V)	Vmpp	37.60	37.64
Maximum Power Current (A)	Impp	8.51	8.63
Open Circuit Voltage (V)	Voc	46.62	46.67
Short Circuit Current (A)	Isc	8.94	9.07
Module Efficiency (%)		18.97%	19.27%

* At Standard Conditions (STC) Irradiance 1000 watt/m², spectrum AM 1.5 at a cell temperature of 25°C

System Integrated Parameters	
Maximum System Voltage SCII	1000 VDC (UL1000V)
Maximum Reverse Current	Do not apply external voltages larger than Voc to the module
Operating Temperature	-40~+85°C
Max Series Fuse Rating	16A



IU and PU Curve



Physical Characteristics	
Module Dimension (L×W×H)	1966x992x60 mm Code: PV30040 - ZT326S
Weight	23 kg
J-Box	IP66 or IP67 rated, 3/6 diodes
Connector	MC4 or MC4 Compatible
Glass	3.2mm (0.13 in.), High Transmission, AR Coated Tempered Glass
Cable	4 mm² PV cable, 1000mm/1200mm
Frame	Silver Anodized Aluminum Alloy

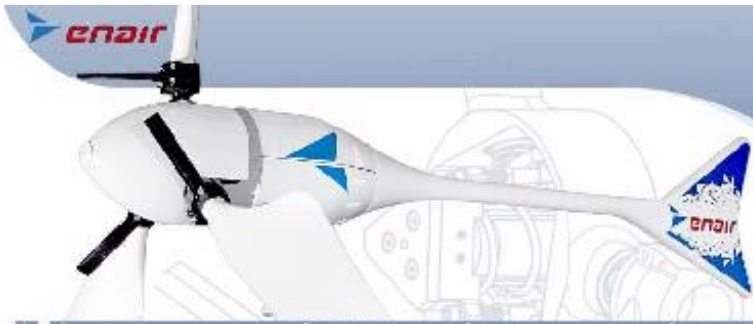
Packing Configuration	
Modules Per Pallet	26
Pallet Per 40' Container	22 (672 pcs)
Packing Box Dimension (L×W×H)	2000×1160×1040 mm
Packing Orientation	Side

Zytech Solar reserves the right to change specifications without notice

ZYTECH SOLAR S.L.

P. Industrial Centrovía- C/R. Janeiro, 12
50198 La Muela (Zaragoza) SPAIN
Tel: +34 976 141819 / Fax: +34 976+141818
info@zytech.es
www.zytechsolar.es

ANEXO III. CATÁLOGOS FABRICANTES AEROGENERADORES



E30PRO

FICHA TÉCNICA

Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de 11m/s el modelo Enair 30PRO es capaz de generar más de 30kWh/día

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

Numero de palas	3
Material de palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250rpm nominales imanes de neodimio
Potencia	3000W
Potencia Nominal	1900W (según IEC 61400-2)
Tensión	24/48/220V
Clase de viento	CLASSE I-IEC 61400-2/IVN1-A
Diámetro	3.80m
Sentido de Giro	Horario
Área de barrido	11.34m²
Peso	125kg
Aplicaciones	Carga de baterías 24 o 48V y conexión a red
Viento de arranque	2m/s
Velocidad nominal	11m/s
Vel. regulación paso variable	12m/s
Velocidad de supervivencia	60m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a 60m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable pasivo centrífugo con dos vel.
Transmisión	Directa
Freno	- Electromagnético por cortocircuito - Mecánico (opcional) - Aerodinámico mediante paso variable - Manual o automático por viento o por tensión de baterías
Controlador	Carga de baterías y conexión a red
Inversor eólico	Eficiencia 97%, algoritmo MPPT
Ruido	48dB Reducción al mínimo gracias al diseño de las palas y a las bajas revoluciones. 1% más que el ruido ambiente del viento
Protección anti-corrosión	Hermético, pintura epoxi de secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico
Torre	Celosía, presilla y tubular; abatibles o fijas, altura variable



3.4m



125kg



3.80m



Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03120 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 0018 info@enair.es

www.enair.es

E30PRO Wind Turbine

FICHA TÉCNICA

PASO VARIABLE PASIVO



Tecnología patentada para maximizar la producción de energía. Es un sistema mecánico que gracias a la fuerza centrífuga, modifica el ángulo de las palas y nunca se sobrepasan sus rpm de diseño.

Obteniendo:

- Menos ruido
- Más capacidad de absorber rachas de viento
- Más constancia en la generación
- Más energía con menos viento

CONTROL ELECTRÓNICO



Sistema de gestión de la energía inteligente

Conexión de baterías:

7 tipos de baterías programables (litio, plomo, gel, etc.)
Cargador con pulsos de derivación a resistencias en caso de sobrecarga. Solo deriva el exceso que no puede cargar para proteger las baterías

Conexión a red:

Los inversores MPPT programados con la curva de potencia eólica maximizan la producción en todo momento. Compatibles con redes trifásicas y monofásicas en sistemas europeos y americanos



MAYOR ENERGÍA



MAYOR EFICIENCIA



MAYOR ROBUSTEZ



MAYOR SEGURIDAD

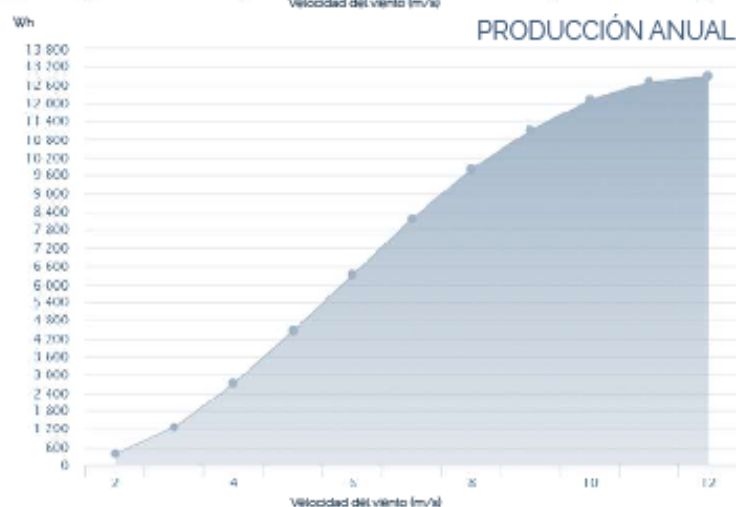
CLASS I WIND TURBINE

IEC 61400-2/NVI-A

CURVA DE POTENCIA



PRODUCCIÓN ANUAL



Minimo ruido

El ruido está en torno a un 3% por encima del ruido ambiente siendo prácticamente imperceptible para nuestro oído

Safety-Brake

Nuevo sistema de seguridad mecánica acoplado al eje que garantiza el frenado bajo las condiciones mas adversas, para vientos incluso mayores de 70m/s

Anticorrosivo

El uso de pintura epoxy lo convierte en un conjunto anticorrosivo y antisalino ideal para sales y costas

Anti-icing and Hermetic

Unétano acrílico de resina estructural con una composición química antihélice al hielo y de máxima resistencia para temperaturas de hasta -50°C. Sellado hermético

Storm-detection

Algoritmo inteligente de detección de tormentas y bloqueo de seguridad del aerogenerador totalmente automático combinado con el Safety-Brake

Remote-Control

Control combinado con el Venus de Victron que permite la marcha/paro del aerogenerador de forma remota

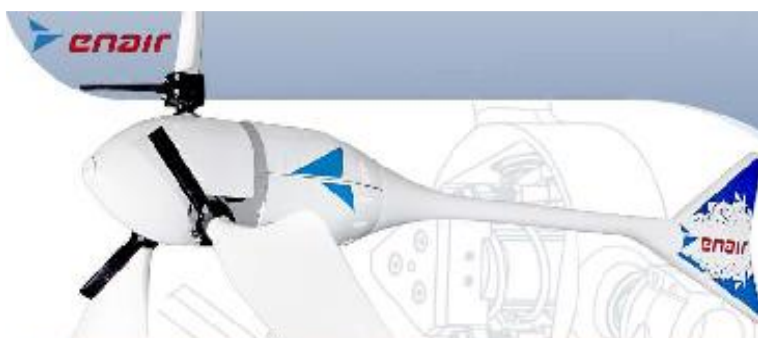
BBS (Battery Brake System)

Sistema inteligente que mide el nivel de carga de la batería y permite detener el aerogenerador cuando la batería llega a la tensión de consigna retomando la marcha cuando baja su carga



Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 00 18 info@enair.es

www.enair.es



E70PRO

FICHA TÉCNICA

Con una velocidad de viento medio situado en la nominal de 11m/s el modelo Enair 70PRO es capaz de generar más de 70kWh/año



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS, ELÉCTRICAS Y DE FUNCIONAMIENTO

Numero de palas	3
Material de palas	Fibra de vidrio con resinas y núcleo de poliuretano
Generador	250rpm nominales imanes de neodimio
Potencia	5500W
Potencia Nominal	4000W (según IEC 61400-2)
Tensión	24/48/220V
Clase de viento	CLASE I-IEC 61400-2/NVNI-A
Diámetro	4.30m
Sentido de Giro	Horario
Área de barrido	14.5m²
Peso	165kg
Aplicaciones	Carga de baterías 24 o 48V y conexión a red
Viento de arranque	2m/s
Velocidad nominal	11m/s
Vel. regulación paso variable	12m/s
Velocidad de supervivencia	60m/s
Rango de generación eficiente	De 2 a 60m/s
Tipo	Rotor de eje horizontal a barlovento
Orientación	Sistema pasivo con timón de orientación
Control de potencia	Sistema de paso variable pasivo centrífugo con dos vel.
Transmisión	Directa
Freno	- Electromagnético por cortocircuito - Mecánico (opcional) - Aerodinámico mediante paso variable - Manual o automático por viento o por tensión de baterías
Controlador	Carga de baterías y conexión a red
Inversor eólico	Eficiencia 97%, algoritmo MPPT
Ruido	48dB Reducción al mínimo gracias al diseño de las palas y a las bajas revoluciones, 1% más que el ruido ambiente del viento
Protección anti-corrosión	Hermético, pintura epoxi de secado al horno de alta temperatura, generando un recubrimiento plástico
Torre	Celosis, presilla y tubular, abatibles o fijas, altura variable



3.4m



165kg



4.3m



Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03120 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 0018 | info@enair.es

www.enair.es

E30PRO Wind Turbine

FICHA TÉCNICA

PASO VARIABLE PASIVO



Tecnología patentada para maximizar la producción de energía. Es un sistema mecánico que gracias a la fuerza centrífuga, modifica el ángulo de las palas y nunca se sobrepasan sus rpm de diseño.

Obteniendo:

- Menos ruido
- Más capacidad de absorber rachas de viento
- Más constancia en la generación
- Más energía con menos viento

CONTROL ELECTRÓNICO



Sistema de gestión de la energía inteligente

Conexión de baterías:

7 tipos de baterías programables (litio, plomo, gel, etc.)
Cargador con pulsos de derivación a resistencias en caso de sobrecarga. Solo deriva el exceso que no puede cargar para proteger las baterías

Conexión a red:

Los inversores MPPT programados con la curva de potencia eólica maximizan la producción en todo momento. Compatibles con redes trifásicas y monofásicas en sistemas europeos y americanos



MAYOR ENERGÍA



MAYOR EFICIENCIA



MAYOR ROBUSTEZ



MAYOR SEGURIDAD

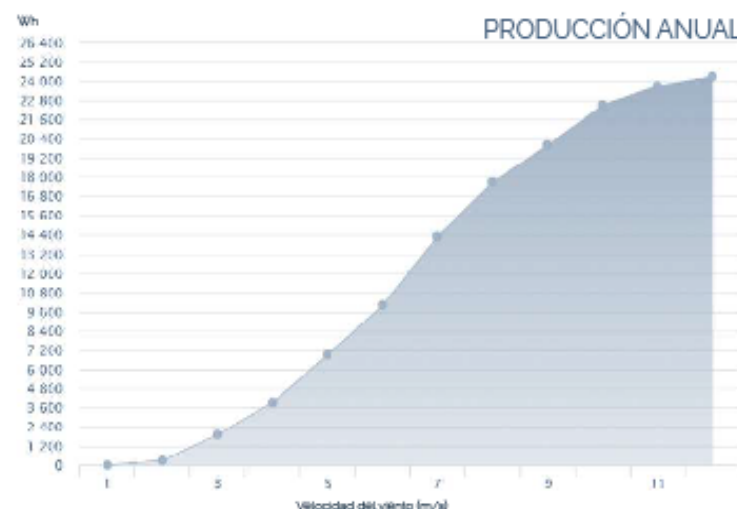
CLASS I WIND TURBINE

IEC 61400-2/NVI-A

CURVA DE POTENCIA



PRODUCCIÓN ANUAL



Mínimo ruido

El ruido está en torno a un 1% por encima del ruido ambiente siendo prácticamente imperceptible para nuestro oído.



Safety-Brake

Nuevo sistema de seguridad mecánica acoplado al eje que garantiza el frenado bajo las condiciones más adversas, para vientos incluso mayores de 70m/s.



Anticorrosivo

El uso de pintura epoxy lo convierte en un conjunto anticorrosivo y antisalino ideal para sales y costas.



Anti-Icing and Hermetic

Unétano acrílico de resina estructural con una composición química antihielo al hielo y de máxima resistencia para temperaturas de hasta -50°C. Sellado hermético.



Storm-detection

Algoritmo inteligente de detección de tormentas y bloqueo de seguridad del aerogenerador totalmente automático combinado con el Safety-Brake.



Remote-Control

Control combinado con el Vélus de Victron que permite la marcha/paro del aerogenerador de forma remota.



BBS (Battery Brake System)

Sistema inteligente que mide el nivel de carga de la batería y permite detener el aerogenerador cuando la batería llega a la línea de consigna retomando la marcha cuando baja su carga.



Avenida de Ibi, 44 - P.O. 182 C.P. 03420 | Castalla (Alicante), España
+34 96 556 00 18 info@enair.es

www.enair.es

Datos técnicos

Especificaciones técnicas	Wind 13+	Wind 25.2+	Wind 25.3+
Número de hélices	2	2	3
Diámetro	2,86 m	4,05 m	4,05 m
Material	Fibra de vidrio / Fibra de carbono		
Dirección de rotación	En sentido contrario a la agujas del reloj		

Especificaciones eléctricas

Alternador	Trifásico de Imanes permanentes		
Imanes	Neodimio		
Potencia nominal	1500 W	3000 W	5000 W
Voltaje nominal	220 v	220 v	220 v
RPM nominal	600	400	400

Velocidad de viento

Rango de funcionamiento	2 - 30m/s		
Arranque	3 m/s		
Potencia nominal	12 m/s		
Frenado automático	14 m/s		
Máxima	60 m/s		

Especificaciones físicas

Peso aerogenerador	41 kg	93 kg	107 kg
Bulto 1 (Aero.) - Peso	57 kg	135 kg	149 kg
Bulto 1 - Dimensiones (cm)	50x77x57	120x80x80	
Bulto 2 (Hélices) - Peso	6,8 kg	19 kg	22 kg
Bulto 2 - Dimensiones (cm)	153x27x7	220x40x15	260x40x15
Total - Volumen	0,23 m ³	0,90 m ³	0,91 m ³
Total - Peso	63,8 kg	154 kg	171 kg

Garantía	3 años		
----------	--------	--	--

Modelo	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
Wind 13+	1430	1585	420	4700	2085
Wind 25.2+	2025	2095	490	645	2665
Wind 25.3+	2025	2595	490	645	3165

