



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH  
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

**Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática**

Estudio de aprovechamiento de los  
alternadores de vehículos fuera de uso, para  
aplicaciones energéticas.

Por Santiago Acevedo Ocampo



**Director:** Jose Matas Alcala

**Codirector:** Jorge el Mariachet Carreño

**FECHA:** Mayo 2023

Universidad Politècnica de Catalunya



## Contenido

1. Resumen .....	5
2. Resum .....	5
3. Abstract .....	6
4. Introducción .....	6
Planteamiento del problema.....	6
Alternativas consideradas .....	7
Objetivos.....	7
5. Estado del arte.....	8
En el mundo.....	8
En Europa.....	9
En España .....	10
6. Tecnología.....	11
Componentes de un aerogenerador.....	11
Tipos de aerogeneradores .....	12
Clasificación de los generadores.....	15
Elementos opcionales para mejorar la instalación.....	16
Antecedentes.....	18
Ubicación geográfica.....	18
Criterios generales de estudio.....	19
Recopilación de datos (alternadores).....	19
Recopilación de datos (vientos) .....	23
Análisis descriptivo .....	23
Estación meteorológica.....	23
Dirección de la velocidad del viento .....	25
Análisis de las velocidades .....	26
Modelo matemático con MATLAB.....	27
Función de distribución de Weibull.....	27
Ajuste de los datos a la función de Weibull .....	30
Valor medio y desviación estándar.....	33
7. Metodología empleada estudio teórico y estudio práctico .....	34
Tiempo de funcionamiento de un aerogenerador .....	37
Configuración de los dispositivos .....	47
Conexión eléctrico. ....	48
Conexión de accionamiento y control.....	48
Conexión mecánico y eléctrico del alternador de prueba .....	49
8.Descripción completa de los experimentos realizados. ....	49
9.Resultados.....	50
10.Conclusiones .....	53
11. Análisis de sostenibilidad .....	54
<b>12.Análisis económico .....</b>	<b>54</b>
13.Bibliografía.....	55



## 1. Resumen

El alternador es una máquina capaz de convertir energía mecánica en energía eléctrica, debido a estas propiedades en este documento se realiza un estudio sobre la energía que es capaz de producir un alternador gracias al movimiento del viento, para ello, se realiza la extrapolación de las características de un aerogenerador comercial con datos reales pero aplicados al alternador y a partir de los resultados obtenidos, se presenta un análisis de las aplicaciones más viables y favorables que podrían llevarse a cabo, como la electrificación de una finca aislada del núcleo urbano o el bombeo de agua de un pozo, entre otras, todo ello utilizando alternadores procedentes de centros de tratamiento autorizados.(desguace).

Dada la importancia del uso de energías limpias en la actualidad y el impacto ambiental que generan los residuos, este documento también incluye información sobre la trayectoria de la energía eólica en el mundo, en Europa y en España hasta la actualidad, la importancia que tiene en comparación a otras fuentes de energía y la previsión de futuro, además de datos como el número de alternadores que se pueden utilizar en un periodo de tiempo para contribuir a la sostenibilidad y al medio ambiente.

## 2. Resum

L'alternador és una màquina capaç de convertir energia mecànica en energia elèctrica, a causa d'aquestes propietats en aquest document es realitza un estudi sobre l'energia que és capaç de produir un alternador gràcies al moviment del vent, per a això, es realitza l'extrapolació de les característiques d'un aerogenerador comercial amb dades reals, però aplicades a l'alternador i a partir dels resultats obtinguts, es presenta una anàlisi de les aplicacions més viables i favorables que podrien dur-se a terme, com l'electrificació d'una finca aïllada del nucli urbà o el bombament d'aigua d'un pou, entre altres, tot això utilitzant alternadors procedents de centres de tractament autoritzats.(desballestament).

Donada la importància de l'ús d'energies netes en l'actualitat i l'impacte ambiental que generen els residus, aquest document també inclou informació sobre la trajectòria de l'energia eòlica en el món, a Europa i a Espanya fins a l'actualitat, la importància que té en comparació a altres fonts d'energia i la previsió de futur, a més de dades com el nombre d'alternadors que es poden fer servir en un període de temps per a contribuir a la sostenibilitat i al medi ambient.

### 3. Abstract

The alternator is a machine capable of converting mechanical energy into electrical energy, due to these properties in this document a study is made on the energy that is capable of producing an alternator thanks to the movement of the wind, for this, the extrapolation of the characteristics of a commercial wind turbine is made with real data but applied to the alternator and from the results obtained, an analysis of the most viable and favorable applications that could be carried out is presented, such as the electrification of a farm isolated from the urban nucleus or the pumping of water from a well, among others, all this using alternators from authorized treatment centers. (scrapping).

Given the importance of the use of clean energy nowadays and the environmental impact generated by waste, this document also includes information on the trajectory of wind energy in the world, in Europe and in Spain to date, its importance compared to other energy sources and the future forecast, as well as data such as the number of alternators that can be used in a period of time to contribute to sustainability and the environment.

### 4. Introducción

#### Planteamiento del problema

Cuando un vehículo empieza a fallar y dar averías constantes es muy probable que sea más conveniente darle de baja y comprarse otro que repararlas, es por eso que cada vez son más las personas que deciden optar por vender su vehículo a los desguaces antes de gastar más en sus costosas reparaciones.

La mayoría de los vehículos que llegan a los desguaces tienen piezas que están en muy buen estado de conservación y con un ciclo de vida aprovechable, entre ellas el alternador, es por esto que se plantea la idea de darles una segunda vida no solamente como piezas de sustitución para otro coche si no como una alternativa para generar energía.

Gracias a sus propiedades de transformar energía mecánica en eléctrica se piensa en realizar pruebas con un alternador de coche acoplado su eje al de un motor eléctrico con características similares y a partir de aquí realizar un ajuste por programa para simular un ciclo de movimiento similar al que harían unas turbinas eólicas.

Una vez realizadas las pruebas se hace una comparativa para saber si lo generado es suficiente para electrificar una vivienda con instalaciones básicas.

## Alternativas consideradas

La agricultura es una de las actividades principales de sustentación en muchas poblaciones del mundo que conlleva cierto grado de esfuerzo, trabajo y responsabilidad que no siempre es visible para la sociedad.

A día de hoy uno de los principales problemas con los que se encuentra una granja productora es la dificultad de realizar algunos trabajos por falta de electricidad en zonas de cultivos de gran tamaño, es por esto que la necesidad de grupos electrógenos se hace indispensable en estos lugares provocando un elevado consumo de gasoil y generando un gasto importante por sus altos precios de mercado impactando de forma directa en la economía del productor, además de la problemática que conlleva el suministro de combustibles en zonas aisladas y su inevitable contaminación ambiental.

Es por esto que crear un sistema de generación autónoma de energía y además renovable a partir de elementos reutilizables es la forma más fácil de solucionar el problema fomentando el desarrollo tecnológico en la agricultura.

## Objetivos

Como se ya he mencionado anteriormente el objetivo principal del proyecto es conseguir generar energía a través del viento, usando como elemento principal los alternadores aprovechados de los coches de desguace.

Una vez se compruebe que cantidad de energía y con qué condiciones se genera electricidad se pasa a realizar un estudio para saber si se puede emplear en las siguientes aplicaciones:

- La electrificación de viviendas o granjas productoras en núcleos urbanos alejados garantizando un suministro fiable.
- El Bombeo de agua mediante un sistema eólico para hacer llegar el agua de un río a regiones agrícolas aisladas para uso de riego o suministro de agua potable extraída de un pozo.

## 5. Estado del arte

Las energías renovables durante los últimos años han ido incrementando sobre todo en lo que respecta a la energía fotovoltaica y la energía eólica, pero está muy lejos de llegar a ser el suministro principal, esto es debido a que cada vez se consume más y por lo tanto es necesario recurrir a otros recursos de los que se disponen más fácilmente como son los hidrocarburos.

La agencia internacional de energías renovables (IRENA) nos proporciona datos estadísticos fiables de la capacidad y el uso de energía limpia alrededor del mundo.

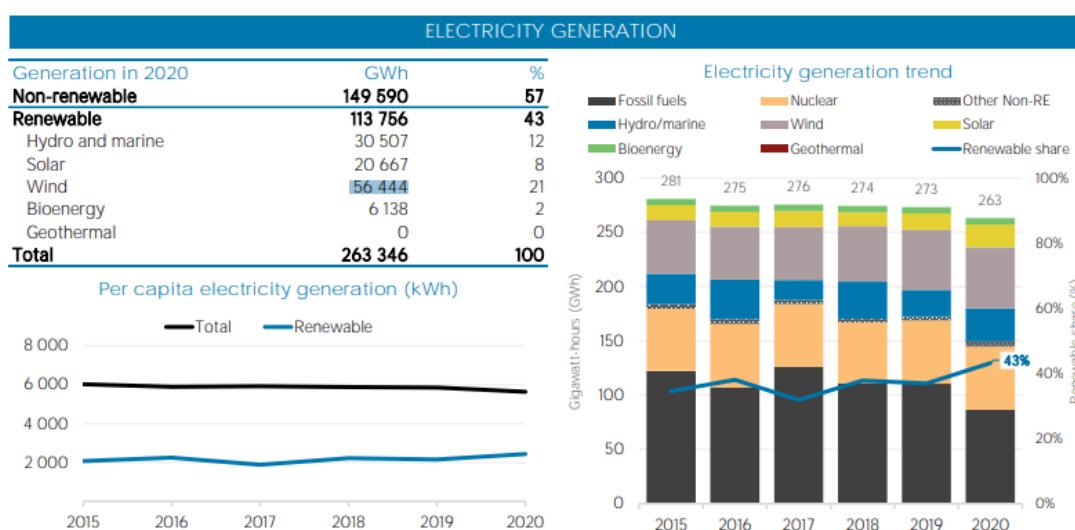


Imagen 1. Generación de energía en el mundo durante el año 2020. Fuente IRENA

Los datos sobre la capacidad de energía renovable que se observa en la imagen representan la capacidad máxima de generación de las centrales eléctricas y otras instalaciones que utilizan fuentes de energía renovables para producir electricidad. Los datos reflejan la capacidad instalada y conectada al final del año natural teniendo en cuenta la mayoría de países y las diferentes tecnologías. La capacidad se presenta en megawatts (MW), mientras que la generación se presenta en gigawatts-hora (GWh).

### En el mundo

La energía eólica instalada en el mundo creció en 2021 hasta situarse en 837 GW, según datos del Global Wind Energy Council (GWEC), ayudando al mundo a evitar más de 1.200 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> al año. 2021 ha sido, hasta el momento, el segundo mejor año de la historia para la industria eólica mundial con 93,6 GW de nueva capacidad instalada, por detrás del crecimiento récord de 2020, que fue un 1,8% superior. China, Estados Unidos, Alemania, India y España son los primeros productores mundiales.



China, Estados Unidos, Brasil, Vietnam y Reino Unido han sido los países que más potencia eólica han instalado en 2021. España, con 842,61 MW instalados, según los datos de AEE, está en 8º lugar en el ranking de países europeos por potencia instalada en 2021.

En el continente asiático, China, en primera posición en el ranking mundial, ha sumado 46,9 GW en 2021, y cuenta con una capacidad eólica de 329 GW, el 40% de la potencia eólica mundial. Vietnam ha destacado en 2021 por los 3,6 GW instalados, multiplicando por ocho su potencia eólica instalada anterior. Por otro lado, India instaló 1.508 MW y cuenta con 40 GW de potencia eólica.

Estados Unidos ha experimentado otro año consecutivo con un fuerte crecimiento en energía eólica con la instalación de 14 GW, lo que supone que ya ha pasado la marca de los 130 GW eólicos instalados en el país (132 GW). En Sudamérica, Brasil acumuló 3.963 MW, Chile 988 MW y Argentina 668 MW, mientras que México instaló 1.188 MW. Según los datos de IRENA, en toda América se habrían instalado 21,62 GW de nueva potencia eólica en 2021, cifra similar a la de 2020.

### En Europa

La energía eólica se ha convertido en los últimos años en una de las fuentes de energía renovable más prometedoras de Europa. La energía eólica es actualmente la segunda mayor fuente de energía renovable en Europa después de la energía hidroeléctrica y ha crecido rápidamente en los últimos años.

En 2020, la capacidad eólica instalada en Europa fue de 220 GW, lo que representa cerca del 16% de la generación total de la región. Según la Asociación Europea de Energía Eólica, la energía eólica generará el 15% de la electricidad de la UE para 2020. Alemania, España y el Reino Unido lideran la producción de energía eólica en Europa, pero Dinamarca, Portugal y otros tienen una capacidad de energía eólica significativa en relación con su tamaño y población. Además, muchos países europeos tienen objetivos ambiciosos para el futuro desarrollo de la energía eólica. Por ejemplo, la Unión Europea se ha fijado el objetivo de alcanzar al menos 60 GW de capacidad eólica marina instalada para 2030.

El éxito de la energía eólica en Europa depende de varios factores. Uno de los factores más importantes es la disponibilidad de recursos eólicos en la región, especialmente en las zonas costeras donde se pueden construir parques eólicos marinos. Además, las inversiones en tecnología de energía eólica han mejorado significativamente en los últimos años, haciendo que la producción de energía eólica sea más eficiente y reduciendo los costos de producción.

Sin embargo, todavía existen desafíos en la ampliación de la energía eólica en Europa. Uno de los principales desafíos es la oposición de algunos grupos de interés, especialmente aquellos que se oponen a la construcción de parques eólicos debido a la preocupación por el impacto en el medio ambiente y en los barcos. La energía eólica también es menos predecible que otras formas de energía porque aún es vulnerable a las fluctuaciones en la producción debido a los cambios en la velocidad del viento.

### En España

En España, en 2021 se instalaron 842,61 MW de potencia eólica y se desmantelaron 18,30 MW, con lo que la potencia total a 31 de diciembre es de 28.139,51 MW (según datos recogidos por AEE con criterios de puesta en servicio).

También en 2021 se produjeron 60.485 GW/h de energía eólica, un 10,2% más que en 2020. Además, la energía eólica es la tecnología número uno en España, representando el 23,3% de la producción total del país, funcionando una media de 2.140 horas al año.

El mix energético es superior al de la nuclear (20,8%), que ocupa el primer puesto hasta el momento. Las comunidades autónomas con mayor potencia eólica instalada son Castilla y León (6.404 MW), Aragón (4.435 MW) y Castilla-La Mancha (3.954 MW). En el ranking de producción eólica por provincias, Zaragoza encabeza la lista con 8.160 GWh en 2021, superando por primera vez en su historia los 8 TWh de producción eólica.

España cuenta con 47 regiones productoras de energía eólica, de las cuales 20 producen más de 1 TWh (esta cantidad corresponde al consumo de 285.000 hogares).

Por otro lado, cuenta con 1.298 parques eólicos en 857 municipios, de los que están instalados 21.574 aerogeneradores. Asimismo, 16 de las 17 comunidades autónomas cuentan con más de 250 centros productivos.

A pesar de los avances en el uso de las energías renovables, la transición energética sigue siendo un reto. Uno de los mayores problemas es nuestra dependencia de los subsidios gubernamentales para el desarrollo de energías renovables. El almacenamiento de energía también sigue siendo un desafío tecnológico y económico que limita la capacidad de los recursos renovables para proporcionar energía estable y confiable.

En resumen, las fuentes de energía renovables han experimentado un crecimiento significativo a nivel mundial en los últimos años en Europa y España. Aunque todavía existen desafíos en la transición hacia fuentes de energía limpias y sostenibles, la tendencia hacia las energías renovables es clara y se espera que continúe.

## 6. Tecnología

### Componentes de un aerogenerador

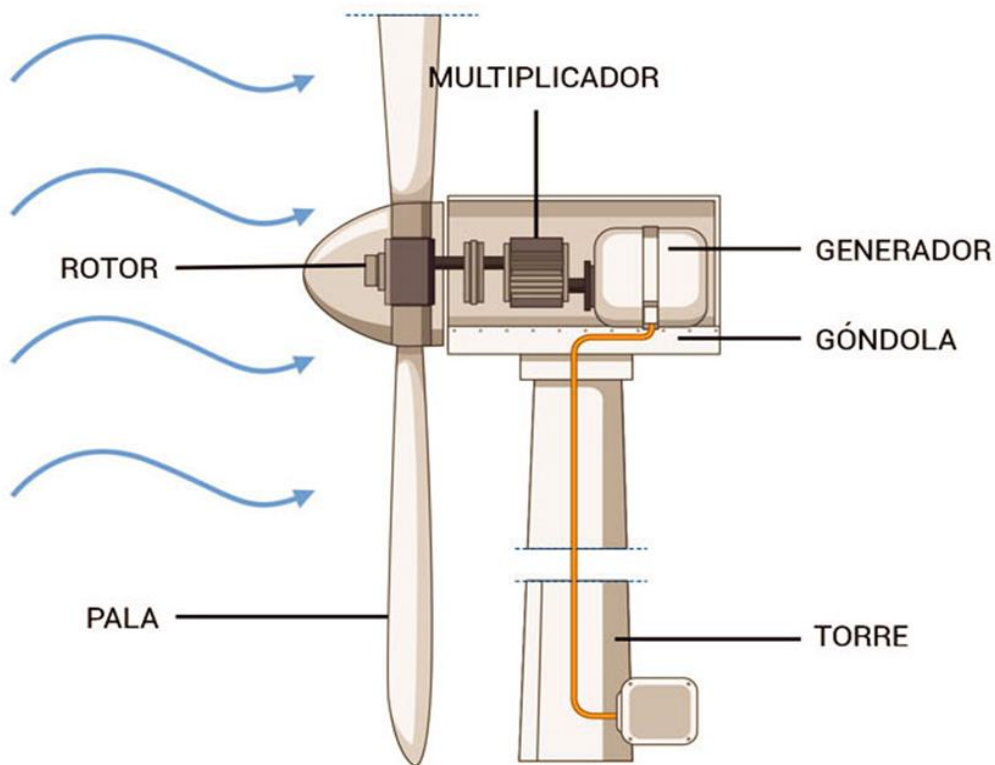


Imagen 2. Partes de un aerogenerador. Fuente Ronergy.com

El aerogenerador consta de varias partes importantes que hacen que funcione correctamente. A continuación, se muestra un resumen de los principales componentes.

**Torre:** Es la estructura que soporta el rotor y el piloto. La altura de la torre puede variar en función de la potencia del aerogenerador y de las condiciones del lugar donde se instale.

**Rotor:** Es la parte más visible de un aerogenerador y consta de tres palas que giran alrededor de un eje horizontal. Su función es captar la energía cinética del viento y convertirla en energía mecánica.

**Góndola:** Esta es una estructura ubicada en la parte superior de una torre que alberga los elementos principales de un aerogenerador, el propio generador, la caja de cambios (multiplicador), el sistema de frenado y el sistema del control.

**Generador:** Es el componente que convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Consta de un rotor y un estator y funciona según el principio de inducción electromagnética.

**Multiplicador:** una parte que desempeña un papel en la regulación de la velocidad del rotor a la velocidad requerida por el generador. Por lo general, consta de varios engranajes. **Sistema de frenado:** Es el mecanismo encargado de detener el rotor en caso de emergencia o durante el mantenimiento.

Se pueden configurar con frenos de disco o de pinza.

**Sistema de Control:** Un componente que controla el funcionamiento de la turbina eólica y controla la velocidad de rotación del rotor. También sirve para proteger las turbinas eólicas de sobrecargas y condiciones climáticas extremas.

Para resumir, se puede decir que el aerogenerador consta de varias partes importantes, como la torre, el rotor, la góndola, el generador, la caja de cambios, el sistema de frenos y el sistema de control. Cada uno de estos componentes cumple una función específica que explique anteriormente y su correcto funcionamiento es fundamental para la generación de energía eólica.

### Tipos de aerogeneradores

A continuación, se muestran los diferentes tipos de aerogeneradores más comunes, estos varían según la dirección del viento tomando como referencia el eje de rotación.

- **Aerogeneradores de eje horizontal (HAWT):**

Los aerogeneradores de eje horizontal son los más comunes en la industria eólica y consisten en una estructura con palas que giran alrededor de un eje horizontal. El viento impulsa las palas y hace girar un rotor conectado a un generador. La energía eléctrica producida se enruta a través de la red o se almacena en baterías para su uso posterior.

Los aerogeneradores de eje horizontal son más eficientes y generan más energía que los aerogeneradores de eje vertical. Además, todas las piezas móviles están en la parte superior de la estructura, lo que facilita el mantenimiento y la reparación. Sin embargo, las turbinas eólicas de eje horizontal tienen limitaciones en la dirección y velocidad del viento que pueden afectar la eficiencia como ya se comentó anteriormente.

En la siguiente figura podemos observar como la dirección del viento es paralelo al eje de rotación.

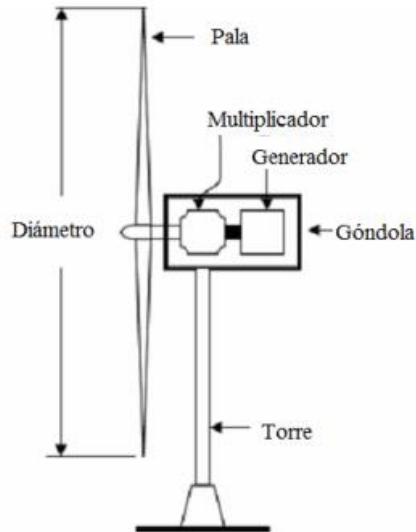


Imagen 3. Aerogenerador eje horizontal. Fuente: Acciona

Según la velocidad de giro, se pueden clasificar en:

- Aerogeneradores Lentos: Suelen tener un gran número de palas. Tienen un alto par de arranque, por lo que pueden arrancar incluso con velocidades de viento muy bajas. Debido a su baja velocidad, no se utilizan para generar electricidad, pero son más adecuados para bombear agua.
- Aerogeneradores de alta velocidad: Tienen un par de arranque bajo y necesitan una velocidad del viento de unos 4-5 m/s para arrancar. La mayoría de ellos tienen tres aspas y se utilizan para generar electricidad. Su rango de potencia es muy amplio, desde modelos de 1 kW para instalaciones individuales hasta modelos de alta potencia (actualmente hasta unos 10 MW).
- Aerogeneradores de velocidad media: Normalmente tienen de 3 a 6 palas y su potencia es intermedia entre los dos casos anteriores. Se utilizan cuando las condiciones de viento no son muy favorables y suelen ser de baja potencia y destinados a la generación de energía, normalmente para equipos aislados.
- Aerogeneradores de eje vertical (VAWT), a diferencia de los de eje horizontal la dirección del viento incidente es perpendicular al eje de giro y existen dos diseños que se describen a continuación:

- Tipo Savonius:

Estos aerogeneradores constan de dos o tres lóbulos semicirculares del mismo diámetro que giran alrededor de un eje vertical. Una de las ventajas más importantes es que pueden funcionar con velocidades de viento muy bajas, cuentan con mejores características aerodinámicas para el autoarranque y son más silenciosos que los de eje horizontal. Suele ser utilizado en generación de energía en redes aisladas o de bombeo

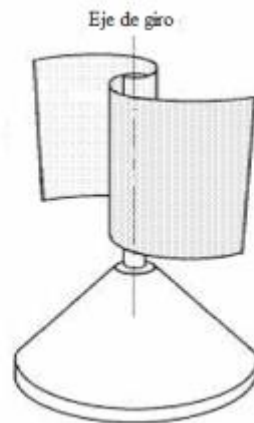


Imagen 4. Aerogenerador de eje vertical Savonius. Fuente: Acciona

- Tipo Darrieus:

Consta de tres alas ovaladas y tiene características muy similares a los de eje horizontal ya que cuenta con un par de arranque muy bajo, a nivel de rendimiento se puede decir que es bajo y aunque su aplicación es similar a la de los aerogeneradores rápidos de eje horizontal, no ha mostrado buenos resultados.

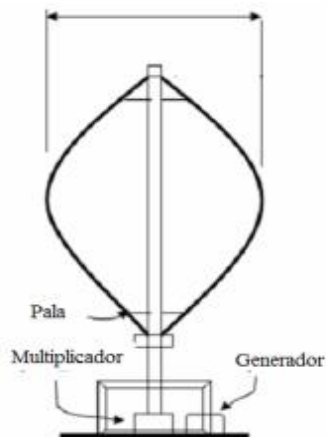


Imagen 5. Aerogenerador de eje vertical Darrieus. Fuente: Acciona

Debido a la simetría vertical, no se requieren sistemas de orientación para alinear el eje de la turbina con la dirección del viento, lo que simplifica el mantenimiento. Tienen menos RPM y menos potencia que los aerogeneradores de eje horizontal con la misma potencia.

### Clasificación de los generadores

Estas máquinas varían en potencia desde unos pocos kilovatios hasta cientos de kilovatios y se pueden usar en hogares remotos, granjas, sistemas de comunicaciones y otras aplicaciones, como se muestra en la *Tabla 1*.

Denominación	Potencia nominal [kW]	Utilización
Muy baja	1+10	Iluminación, sistemas de comunicación, refugios de montaña, viviendas aisladas (sistemas EO-FV), granjas, bombas de agua, etc.
Baja	10+100	Comunidades de vecinos, sistemas mixtos EO-Diesel, tratamientos, drenaje de aguas, etc.
Media	100+1000	Parques eólicos (terreno complejo).
Alta	1000+10000	Parques eólicos (terreno llano, mar adentro).
Muy alta	>10000	En fase de investigación y desarrollo, requieren nuevos diseños y materiales no convencionales.

*Tabla 1. Clasificación de los Aerogeneradores según su potencia. Fuente: IDEA*

Los aerogeneradores mencionados tienen los siguientes beneficios:

- Evitan pérdidas de transporte ya que la energía se genera en el mismo lugar que se necesita.
- La instalación no necesita un gran espacio. En el caso de que el consumidor no sea un consumidor aislado, esta tecnología permite que este se convierta en un productor de energía, vendiendo energía extra a otros consumidores a través de la red.
- Ahorro en el consumo de combustible.
- Menor contaminación del entorno.

Hay que tener en cuenta que cuando el suministro de energía eléctrica se realiza en zonas rurales aisladas, siempre es bueno disponer de un sistema de baterías de almacenamiento que permitan disponer de energía eléctrica cuando la producción es inferior al consumo, por ejemplo, se está de noche y con poco viento. En función de las necesidades del consumo.

## Elementos opcionales para mejorar la instalación

### -El acumulador eléctrico

El dispositivo que almacena la energía eléctrica producida por un aerogenerador se conoce como acumulador eléctrico. Es fundamental asegurarse de que la electricidad producida se pueda utilizar cuando la velocidad del viento sea insuficiente para hacer girar las palas del aerogenerador y producir electricidad al instante.

La capacidad de almacenamiento de los acumuladores eléctricos utilizados por las turbinas eólicas puede variar según el tamaño del aerogenerador. Dado que pueden suministrar energía adicional durante los períodos de máxima demanda o cuando la red eléctrica experimenta interrupciones, las baterías de almacenamiento eléctrico también son esenciales para mejorar la estabilidad de la red eléctrica.

### -Regulador:

Se le conoce como regulador o controlador de carga por lo siguiente:

-Protege contra una descarga excesiva de la batería. Por ejemplo, cuando la batería entra en un estado de carga bajo porque tiene alta demanda de energía este elemento procede a desconectar la corriente de los circuitos de consumo.

-Evita que la batería se sobrecargue. Esto ocurre cuando una batería completamente cargada continúa recibiendo inyección de corriente del sistema. El regulador detiene o reduce drásticamente la inyección de corriente.

-Proporciona detalles fundamentales sobre el funcionamiento del sistema, incluido el control de los valores de voltaje, la intensidad de la batería y el estado de carga. Fuentes de energía renovables utilizadas para alimentar una casa rural remota.

-Los diodos de bloqueo, también conocidos como dispositivos de derivación, a veces se utilizan en los reguladores en lugar de ellos para detener el flujo de energía eléctrica.

### -El inversor:

Un inversor o convertidor, convierte la energía de corriente continua en energía de corriente alterna. Los receptores domésticos que funcionan con corriente alterna requieren que su uso sea operativo. Cuando tiene control de descarga de batería, un inversor puede conectarse directamente a los terminales de la batería en lugar de la salida del regulador en la mayoría de los casos.



Estas son las características que definen al inversor:

-La tensión nominal es la tensión necesaria para los terminales de entrada del inversor.

-Potencia nominal: Es la máxima potencia continua que puede producir un inversor.

-Capacidad de sobrecarga: la cantidad de tiempo que puede suministrar potencia significativamente superior a la nominal.

La eficiencia se define como la relación entre la potencia de entrada y la de salida del inversor. Se utiliza un porcentaje para representarlo. En comparación con la potencia nominal del inversor, los dispositivos alimentados por él determinan su valor.

-Forma de onda: la forma de onda, el valor efectivo y la frecuencia de voltaje de una corriente alterna se utilizan para describir la energía que emite el inversor. Una forma de onda sinusoidal perfecta con un valor efectivo de 230 V y una frecuencia de 50 Hz debería ser la forma de onda de salida en el mejor de los casos.

## Antecedentes

### Ubicación geográfica



Imagen 6. Ubicación de Pallars de Jussà en Cataluña. Fuente: Wikipedia

La estación meteorológica de Tremp se encuentra en la comarca del Pallars-Jussà en la provincia de Lleida, España. La estación pertenece a la red de estaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología (AEBT) y tiene como objetivo medir y registrar las condiciones climáticas y meteorológicas de la región. La estación meteorológica de Tremp está situada a una altitud de 739 metros sobre el nivel del mar, lo que la convierte en un lugar privilegiado para medir las condiciones atmosféricas de la región. También está rodeado de montañas, lo que puede afectar las mediciones, especialmente la velocidad y dirección del viento. El clima de Tremp es mediterráneo continental, con veranos calurosos e inviernos fríos. Las precipitaciones suelen concentrarse en primavera y otoño y en menor medida en verano e invierno.

### Criterios generales de estudio

En la actualidad no existe ninguna vivienda en la zona, ni está prevista la construcción de ningún proyecto.

El proyecto es un estudio teórico, que aporta una solución de suministro de energía eléctrica en viviendas situadas en zonas lejanas a la red eléctrica de suministro.

El suministro se hace exclusivamente con la ayuda de los recursos renovables disponibles: los vientos locales que soplan durante las estaciones temporales del año y con una velocidad media durante el año de 1.5 m/s.

### Recopilación de datos (alternadores)

En un desguace suele entrar entre 1000 y 2000 coches al año, pero eso depende de varios factores como puede ser la temporada del año, es decir que hayan puesto nuevas políticas de restricciones de vehículos, la antigüedad de los coches, los temporales climatológicos que puedan haber provocado más accidentes etc.

Con estos números sale una media de entre 3 y 5 coches/alternadores por día, cabe destacar que de esta cifra se puede tener en cuenta que al menos un 20% de los alternadores de la cifra anual no son aprovechables por defectuoso u otros motivos.

En resumen, alrededor de unos 800 alternadores se podrían aprovechar al año.

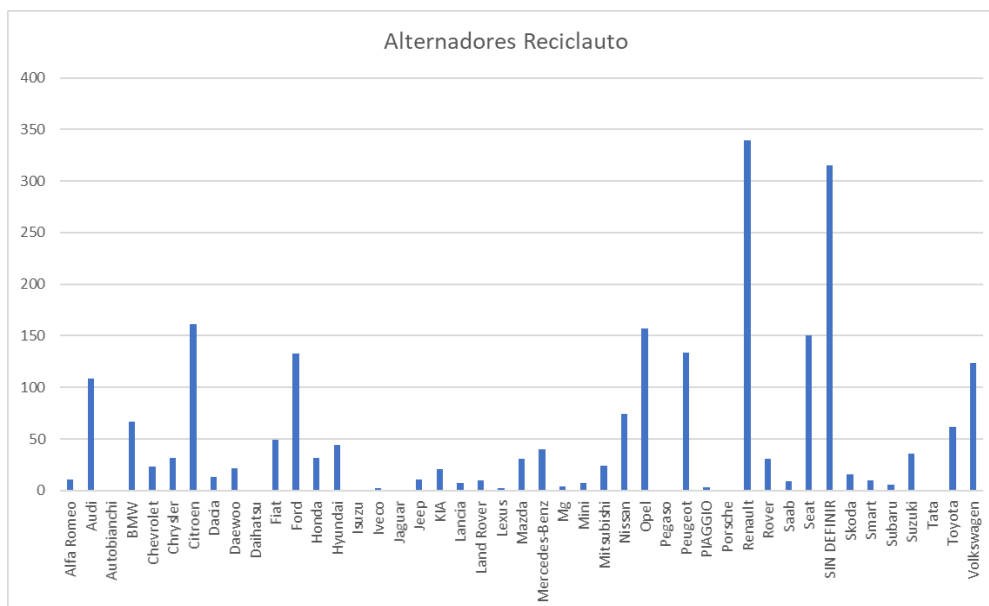


Tabla 2. Cuantificación de los alternadores según los vehículos en desguace. Fuente: Recilauto.

Con los datos que hemos podido obtener a través de la web de Reciclauto se ha podido comprobar que la mayoría de los alternadores de los vehículos que llegan para desguace están comprendidos en un rango de potencias que van desde los 40 Kw a 110 Kw de potencia, por otro lado, se observa que los coches de los que se disponen más piezas son de las siguientes marcas: Renault, Citroën, Ford y Opel.

Es importante volver a recordar que la idea principal del proyecto es crear o dar apoyo a una microrred eléctrica basada solo en energías renovables, lo que quiere decir que todos los alternadores que estén en condiciones aceptables pueden acoplarse para formar parte de la red.

En este caso hemos decidido elegir un alternador que sea de una marca reconocida y de la cual se pudiera encontrar información técnica en internet y así estudiar con más exactitud su comportamiento.

El generador BOSCH K1-14V-23/55 es un modelo de generador que fue desarrollado por Bosch, una empresa alemana conocida mundialmente por su experiencia y calidad en la producción de componentes y sistemas electrónicos para automóviles. Estos alternadores tienen un voltaje de salida nominal de 14 voltios a 55 amperios, lo que los hace adecuados para su uso en una variedad de vehículos, incluidos automóviles, camiones y equipos pesados. El alternador es compacto y liviano, lo que facilita su instalación y transporte y consta de:

Un rotor que es un componente que genera electricidad al girar sobre un estator.

-El estator es una estructura rígida que contiene bobinas de cobre en las que se produce la inducción electromagnética.

-Un regulador de voltaje incorporado que ajusta el voltaje de salida del generador para mantenerlo constante y en el rango correcto.

Este modelo de generador también cuenta con un sistema de refrigeración por aire que ayuda a mantener las temperaturas adecuadas durante el funcionamiento y alarga su vida útil.

Los generadores BOSCH K1-14V-23/55A son reconocidos por su confiabilidad y durabilidad ya que han utilizado materiales de alta calidad en su construcción para garantizar una vida útil prolongada y un rendimiento constante y eficiente, además del diseño modular que también facilita el mantenimiento y la reparación.

En otras palabras, el alternador BOSCH K1-14V-23/55A es un componente que gracias a su durabilidad y confiabilidad lo convierten en una opción popular entre los fabricantes de automóviles y propietarios de equipos y por lo tanto lo hace idóneo para ser estudiado en este proyecto.

Como el objetivo principal de este trabajo es ver las posibilidades que tienen estos alternadores y no su principio de funcionamiento nos centraremos directamente en su zona de trabajo para saber qué factores pueden influir en la generación de energía.

### Curva característica

La curva característica de un alternador es importante ya que permite evaluar el funcionamiento y la capacidad del alternador para producir electricidad. Muestra una relación lineal entre la velocidad de rotación del alternador y la corriente generada, lo que indica que a medida que aumenta la velocidad de rotación, la corriente generada también aumenta proporcionalmente. Esta relación lineal es crucial porque permite pronosticar cuánta energía eléctrica podrá producir el alternador en diversas circunstancias de funcionamiento. La curva característica de un alternador puede mostrar una caída en la corriente producida por numerosos factores como puede ser la resistencia interna del alternador, la fricción mecánica y la pérdida de potencia debido a la generación de calor. Es importante recordar que la curva característica de un alternador puede cambiar según el modelo y la configuración del alternador, así como las circunstancias de uso. Para maximizar el rendimiento y la eficiencia del alternador en cuestión, es fundamental comprender su curva característica específica.

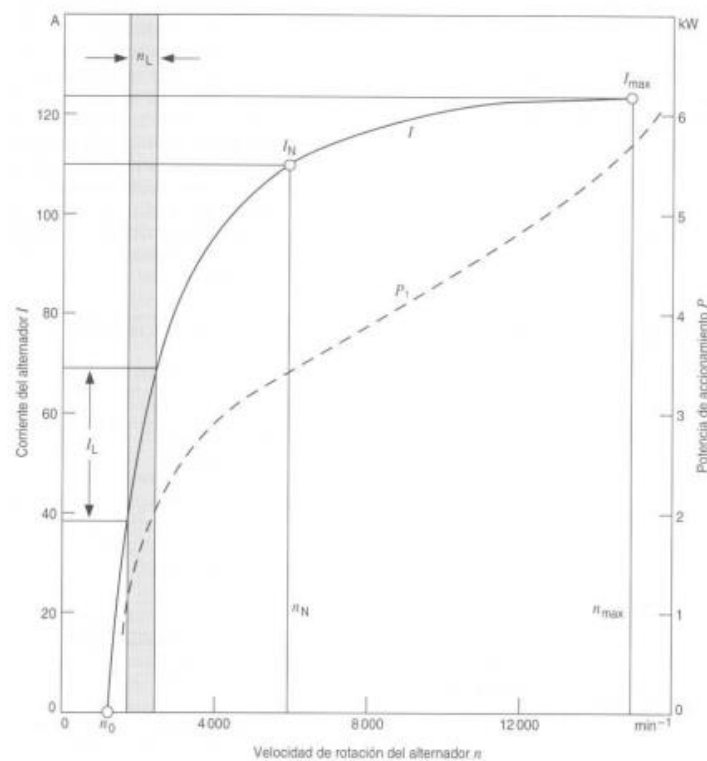


Imagen 7. Curva característica de un alternador. Fuente: Electricidad y electrónica Bosch edición 2000

La zona de trabajo del alternador ya mencionado suele ser determinada por la relación entre el diámetro de la polea del motor y el diámetro de la polea del generador/alternador.

A continuación, se muestra una tabla de características del alternador:

Alternador BOSCH K1-14V-23/55A		
Características	Unidad de medida	límites
Tensión nominal	V	12
Velocidad máxima continuada	Rpm	2000
Resistencia devanado rotórico	Ohmios	3,4 ± 10% a 20°C
Resistencia devanado estático entre fase y fase	Ohmios	0,138 ± 10% a 20°C
Velocidad máx. calentamiento en revoluciones	rpm	2000 ÷ 4000
Sobrecalentamiento diodos	°C	≤ 80
Sobrecalentamiento láminas estator	°C	≤ 65
Sobrecalentamiento devanado estator	°C	≤ 110
Sobrecalentamiento devanado rotor	°C	≤ 60

Tabla 3. Características alternador BOSCH K1-14V-23/55A.

Fuente: Grupo Fiat.

A partir de los datos obtenidos de este alternador y su curva característica se analiza la cantidad de viento generado y las condiciones necesarias para producirla.

Mas adelante se encuentra los datos analizados con más detalle.

#### Recopilación de datos (vientos)

Para la simulación del perfil eólico fue necesario elegir un núcleo urbano que estuviera alejado y del que fuera posible extraer datos fiables, para ello se ha utilizado la web de atlas climático de Cataluña que pertenece a la Generalitat y proporciona información relevante y suficiente para el estudio.

Los datos del viento serán extraídos de la estación meteorológica de Tremp ya que es una zona que cuenta con varias granjas alejadas del núcleo urbano y así comprobar la viabilidad de llevar a cabo este proyecto.

## Análisis descriptivo

### Estación meteorológica

Municipio	Tremp
Comarca	Pallars Jussà
Altitud	473 m
Data alta	22.10.2012
Estado	Operativa



Imagen 8. Estación meteorológica de Tremp. Fuente: Meteocat

Los datos han sido obtenidos a través del *servei meteorològic de catalunya meteocat* y se proporcionan en intervalos de tiempo de media hora de duración y recoge datos como: temperatura media temperatura máxima temperatura mínima, humedad relativa mediana precipitación acumulada y velocidad media del viento en una altura de 10 m. En la siguiente imagen se puede observar como ejemplo:

Període TU	TM °C	TX °C	TN °C	HRM %	PPT mm	VVM (10 m) km/h	DVM (10 m) graus	VVX (10 m) km/h	RS W/m <sup>2</sup>
00:00 - 00:30	8,3	8,4	8,2	78	0,0	1,4	312	3,6	0
00:30 - 01:00	8,4	8,6	8,2	78	0,0	3,2	335	7,6	0
01:00 - 01:30	8,6	8,7	8,5	75	0,0	2,5	17	7,2	0
01:30 - 02:00	8,6	8,7	8,5	75	0,0	2,5	25	7,2	0
02:00 - 02:30	8,2	8,6	7,8	79	0,0	2,2	104	5,4	0
02:30 - 03:00	7,8	7,9	7,8	81	0,0	1,8	161	4,0	0
03:00 - 03:30	7,9	8,0	7,8	79	0,0	0,4	265	1,8	0
03:30 - 04:00	8,0	8,0	7,9	81	0,0	1,1	304	2,5	0
04:00 - 04:30	7,9	7,9	7,7	83	0,0	1,4	359	2,9	0
04:30 - 05:00	7,7	7,8	7,6	86	0,0	0,0	236	1,1	0
05:00 - 05:30	7,7	7,8	7,5	85	0,0	0,4	313	1,8	0
05:30 - 06:00	7,5	7,5	7,5	87	0,0	0,7	301	2,2	1
06:00 - 06:30	7,4	7,6	7,3	88	0,0	1,4	159	2,9	20
06:30 - 07:00	7,7	8,0	7,5	86	0,0	0,4	305	2,2	47
07:00 - 07:30	8,5	8,9	8,1	81	0,0	0,7	1	3,2	107
07:30 - 08:00	9,5	10,3	8,9	77	0,0	0,7	280	2,9	208
08:00 - 08:30	11,3	11,8	10,3	66	0,0	1,4	29	3,6	388
08:30 - 09:00	12,2	12,6	11,6	62	0,0	1,8	160	5,8	382
09:00 - 09:30	12,8	13,1	12,5	59	0,0	4,3	154	13,0	445
09:30 - 10:00	13,1	13,6	12,8	52	0,0	3,6	15	10,8	337
10:00 - 10:30	14,0	15,2	13,5	45	0,0	4,3	4	12,2	365
10:30 - 11:00	16,0	17,3	15,2	39	0,0	5,4	355	11,9	782

Tabla 4. Datos de ejemplo que proporciona la estación meteorológica de Tremp.

Fuente: Meteocat.

### Caracterización energética del viento

La masa de aire en movimiento, es energía cinética, que puede ser transformada en energía eléctrica. La cantidad de energía que contiene el viento, antes de pasar a través de un rotor, depende de tres parámetros: la velocidad del viento incidente, la densidad del aire y el área barrida por el rotor. Se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_v = A \frac{1}{2} \rho x^3$$

Donde:

- P es la potencia [W]
- $\rho$  es la densidad del aire [kg/m<sup>3</sup>]
- S es la superficie barrida por el rotor [m<sup>2</sup>]
- x es la velocidad del viento [m/s] Del análisis de esta ecuación se puede obtener las siguientes conclusiones:
- la energía del viento es proporcional al cubo de la velocidad.
- la potencia es directamente proporcional al área barrida por el rotor de la turbina que tiene la expresión:

Donde:

-R radio del rotor. Por lo tanto, la cantidad de energía depende de la radio del rotor. Antes de instalar un aerogenerador es conveniente conocer el potencial del viento en el lugar de emplazamiento. Un incremento del diámetro del rotor produce un importante incremento de la potencia.

-La potencia depende linealmente de la densidad del aire, cuanto más pesado sea el aire más energía recibirá el aerogenerador. La densidad del aire varía con la temperatura y la altura. El aire caliente es menos denso que el frío y por tanto cualquier turbina producirá menos energía durante el verano que durante el invierno con la misma velocidad del viento. También, a una igual temperatura, en un lugar situado a una cota próxima al nivel del mar, el aerogenerador tendrá una energía producida superior a otro que se encuentre a mayor altitud, por el hecho de que la densidad del aire disminuye con la altura. Por tanto, para hacer una aproximación del aporte de la cantidad de energía eléctrica a producir por una instalación eólica se necesitan dos cosas:

- La velocidad media del viento en aquella zona
- El tipo de aerogenerador utilizado



Por lo tanto, a continuación, analizaremos los parámetros de viento que influye más.

### Dirección de la velocidad del viento

En primer lugar, se examinaron los datos de velocidad y dirección del viento para todos los meses del año 2022 (*Consultar anexo 9*). Para hacer esto se procedió a cargar los datos registrados en la columna que corresponde a la dirección en grados que estará girada la veleta.

La función para poder llevarlo a cabo es *readtable* que básicamente realiza una lectura de los datos de la hoja que se le indique y le asigna un vector con la longitud de los datos leídos.

```
clear,clc
a= readtable('Vientoaño.xlsx','sheet','Abril','Range','L3:L1442');
velocidad = table2array(a);
```

Como en los datos que cargamos puede haber alguna celda vacía se escribe una función que pueda interpolar entre los datos y así de esta manera se podrá conservar el formato con el número total de muestras y el tiempo secuenciado con la que la estación realiza las lecturas.

```
%interpolar
if any(isnan(angulo)) %si hay algún NaN
    x=1:length(angulo);
    i=find(~isnan(angulo));
    angulo=interp1(x(i),angulo(i),x);
end
```

Los datos de ángulo se agrupan en intervalos de 10 grados utilizando la función *hist* de MATLAB antes de pasar a encontrar el tiempo que marca la veleta para un intervalo angular. Esta función acepta un segundo argumento, un vector *x*, que le indica a *hist* cómo agrupar la información contenida en el vector de ángulo. *Hist* divide los datos en amplios intervalos de 10 grados con centros en ángulos es decir 5, 15, 25...

```
%agrupar los datos en intervalos. Histograma
x=5:10:355;
horas=hist(angulo,x);
```

Como la función *hist* devuelve un vector que contiene el número de ángulos correspondientes a cada intervalo definido por el vector se puede dibujar el diagrama de barras y el diagrama polar.

El número de aristas del ángulo vector en cada intervalo a lo largo de la ordenada y en el eje de abscisas el número de muestras realizadas que corresponde a 1/2 hora ya que por defecto los datos de la estación meteorológica de Tresp se recogen así y a la vez corresponde con el numero de medias horas que la veleta apunta en la dirección de cierto ángulo en todo el año.

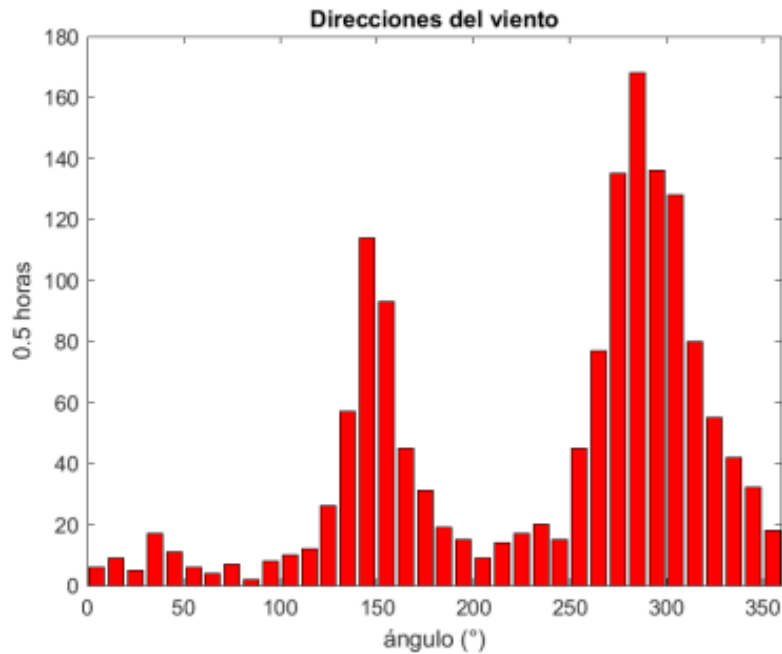


Imagen 9. Diagrama de barras para direcciones del viento del mes de enero generado con Matlab

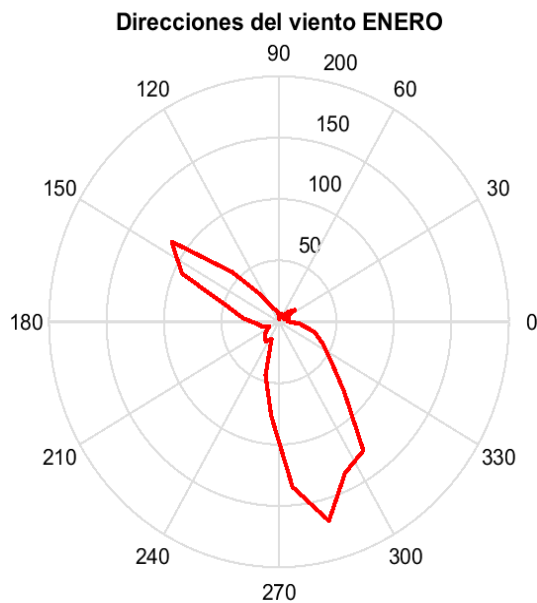


Imagen 10. Diagrama polar de las direcciones del viento para el mes de enero generado con Matlab

## Análisis de las velocidades

Para poder obtener información relevante hay que tener en cuenta que se debe realizar un análisis estadístico, para ello lo primero que se debe hacer es agrupar las medidas de la velocidad de la misma manera en que se agruparon las de la dirección.

Se agruparán las medidas en que la velocidad del viento ha tenido valores comprendidos entre 0 y 1 m/s entre 1 y 2 ... 32 y 33 y así sucesivamente, para llevarlo a cabo se hace uso de la función hist de matlab.

```
%histograma
x=0.5:1:max(velocidad);%
horas=histogram(velocidad,x);
bar(x,horas,'r');%diagrama de barras
title('Velocidades del viento')
xlabel('velocidad')
ylabel('Medias_horas')
```

con el script anterior obtenemos el siguiente histograma:

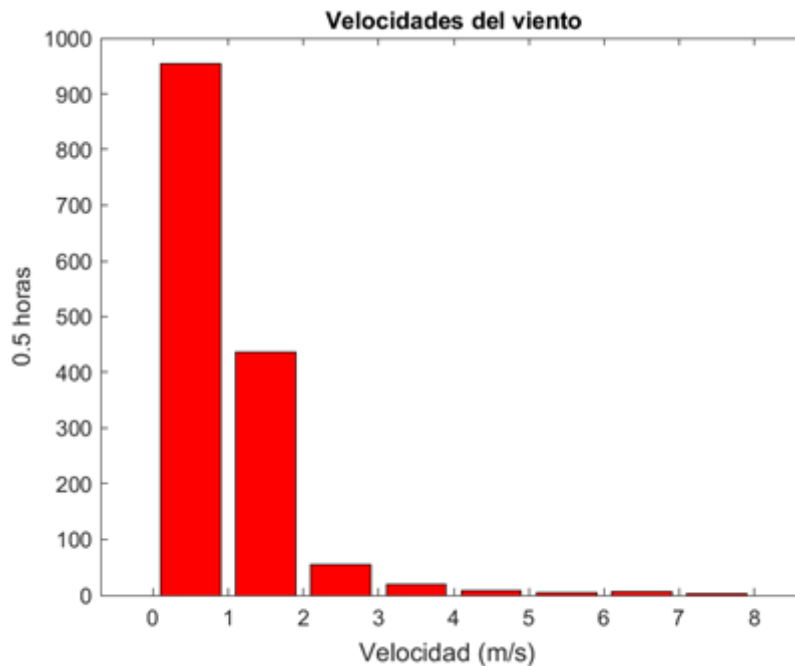


Imagen 11. Diagrama de barras de velocidad del viento para el mes de enero generado con Matlab

## Modelo matemático con MATLAB

### Función de distribución de Weibull

La potencia generada por los aerogeneradores en relación a la velocidad del viento viene por la denominada curva de potencia.

Dicha curva es una de las características más significativas de los aerogeneradores y cada tipo de aerogenerador tiene su propia curva de potencia.

Se hace preciso conocer el perfil de las velocidades del viento para aproximar la potencia entregada por el aerogenerador. La velocidad del viento está siempre cambiando y por eso es preciso utilizar métodos estadísticos para poder describir su evolución a lo largo de un periodo. Existen varias funciones que pueden describir la frecuencia de las velocidades en una curva. Las dos más importantes y más utilizadas son las funciones de Weibull y Rayleigh.

La distribución Weibull es una función de probabilidad, representada mediante una curva, que muestra en tanto por ciento la distribución de la velocidad de viento a lo largo de un periodo de tiempo en un lugar determinado.

La distribución estadística de las velocidades del viento varía de un lugar a otro del globo, dependiendo de las condiciones climáticas locales, del paisaje y de su superficie.

La distribución de Weibull utilizada puede variar tanto en la forma como en el valor medio. La distribución de Weibull es la función de densidad de probabilidad de la distribución de la velocidad del viento  $f(v)$  y tiene la forma

$$f(x) = \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} \exp \left[ -\left(\frac{x}{c}\right)^k \right] \quad (k > 0, x > 0, c > 1)$$

EQ.1

Donde:

- c es el parámetro de escala
- k es el parámetro forma de distribución Los dos parámetros indican las características promediadas del viento en el emplazamiento.

El factor de distribución de forma de energía eólica, k, se define como la relación entre la energía obtenida en un año y la energía que se obtendría en ese año si la velocidad del viento se mantuviera constante e igual a la velocidad media (que no es realmente disponible).

En dos lugares en los que la velocidad media del viento  $v$  sea la misma, se tendrá más energía disponible en aquel en que el factor de distribución k sea mayor como ejemplo en la siguiente imagen se muestra cómo se puede dibujar la

gráfica de esta función suponiendo un valor de  $c=1$  y variando los parámetros del valor  $k$  escribiendo el siguiente script en Matlab.

```
c=1;
K=[1.2 1.6 2.0 2.4 2.8];
f=@(k,x) (k/c)*((x/c).^(k-1)).*exp(-(x/c).^k);
x=linspace(0,2.5,100);
hold on
for i=1:length(K)
    plot(x,f(K(i),x),'displayName',num2str(K(i)))
end
ylim([0 1.2])
xlabel('x')
ylabel('f(x)')
title('Función de Weibull')
legend('-DynamicLegend','location','NorthEast')
hold off
```

Una vez ejecutado este script se obtiene la siguiente figura:

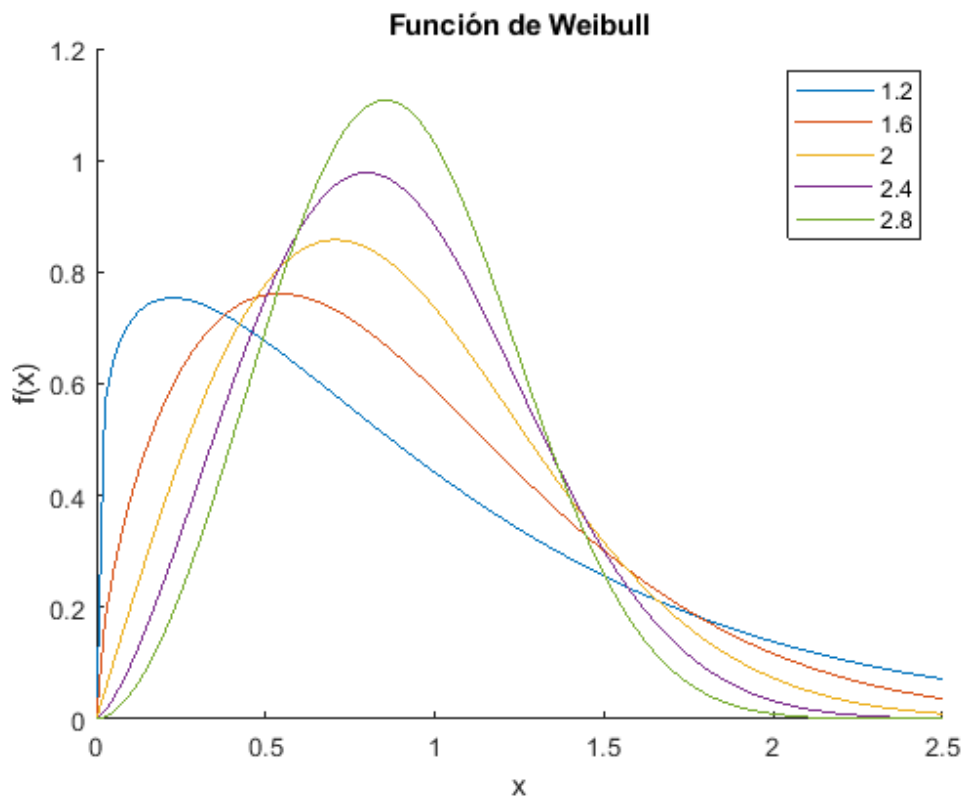


Imagen 12. Distribución de Weibull generado con Matlab

En la anterior imagen se puede observar que el área bajo la curva siempre vale exactamente 1, ya que la probabilidad de que el viento sople a cualquiera de las velocidades, incluyendo el cero, debe ser del 100 %.

Se puede observar que la función de densidad de Weibull es relativamente más estrecha cuando el parámetro de forma crece. El pico también se mueve en la dirección superior de la velocidad del viento cuando aumenta el parámetro de forma. En la mayoría de los casos los valores de  $k$  están comprendidos entre 1.3 y 4.3 pero cuando no se dispone de muchos datos suele aceptarse la simplificación de hacer  $k=2$ , que se conoce como distribución de Rayleigh.

Como los datos del meteocat proporciona datos suficientes para definir con bastante fiabilidad la función de densidad de Weibull no se realizará el estudio a fondo de la función Rayleigh ya que Weibull se ajusta razonablemente bien a los datos observados, pero sí se tendrá en cuenta para realizar la comparación y comprobar que realmente es así.

#### Ajuste de los datos a la función de Weibull

Para conocer los parámetros necesarios de la función distribución weibull haremos un ajuste no lineal y lineal para ver qué curva se ajusta mejor a nuestros datos.

Comenzaremos con un ajuste no lineal con la función *nlinfit* de MATLAB, para lo cual llamaremos a(1) al parámetro  $k$  y a(2) al parámetro  $c$ , a continuación, se muestra la gráfica obtenida para el mes de enero del 2022

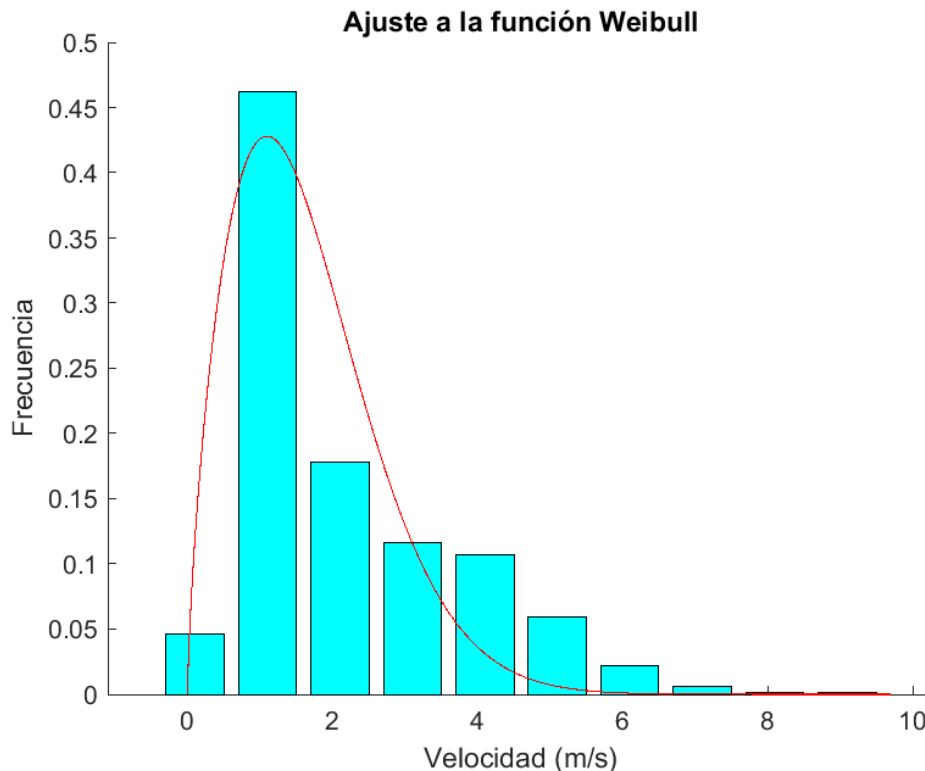


Imagen 13. Ajuste de la función de Weibull generado con Matlab

MATLAB nos devuelve la siguiente función:

$$af = 1.3226 \quad 1.0842$$

De donde se sabe que

El dato de  $k=af(1)=1,3226$  y  $c=af(2)=1.0842$

A continuación, se realiza un ajuste lineal

En la expresión de las frecuencias acumuladas  $F(x)$ , despejamos  $1-F(x)$  y tomamos dos veces logaritmos neperianos.

$$F(x) = 1 - \exp \left[ -\left(\frac{x}{c}\right)^k \right] \quad \text{EQ.2}$$

$$\ln[-\ln(1 - F(x))] = k \ln(x) - k \ln(c) \quad \text{EQ.3}$$

Esta ecuación es la de una línea recta de pendiente  $a$  y de ordenada en el origen  $b$ .

$z=au+b$  donde  $u$  y  $z$  son variables

$$z=\ln[-\ln(1-F(x))]$$

$$a=k$$

$$u=\ln x$$

$$b=-k \ln c$$

Hay que tener en cuenta que se produce un error cuando la frecuencia acumulada  $F(x_n)=1$ , ya que MATLAB tiene que calcular el logaritmo neperiano de 0 que da  $-\ln 0$ . Antes de realizar el ajuste tenemos que eliminar el último dato del vector de frecuencias acumuladas y su correspondiente valor en el vector de velocidades. Véase el código marcado en letra negra. La función MATLAB `polyfit` ajusta los pares de datos a un polinomio de grado uno, es decir, a una línea recta.

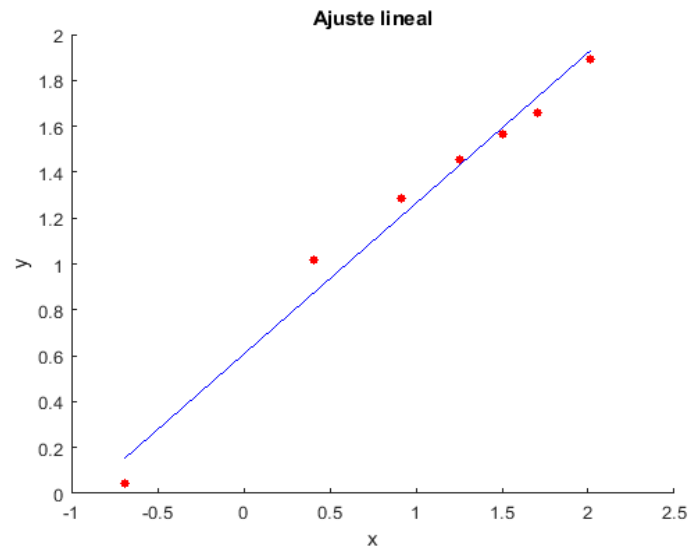


Imagen 14. Ajuste lineal de los vientos de Tremp enero 2022 generado con Matlab

Matlab nos devuelve  $p = 0.6573 \quad 0.6067$

La pendiente de la recta de ajuste  $p$  (1) es el parámetro  $k$ . El parámetro  $c$  se calcula a partir de  $k$  y la ordenada en el origen  $p$  (2).

$$\begin{aligned} k &= p \\ c &= \exp(-p(2) / k) \end{aligned} \quad (1)$$

$k = 0,6573$  y  $c = 0,3973$

Que difieren ligeramente de los calculados mediante el ajuste no lineal. Nos queda añadir al script la representación de las frecuencias y la función de Weibull con los parámetros calculados por el procedimiento de ajuste lineal para producir una figura similar a la del apartado anterior.

El código que añadimos al script para producir esta figura es el siguiente



```

%representación gráfica de frecuencias y función de Weibull
figure
k=p(1)
c=exp(-p(2)/k)
f=@(x) (k/c)*((x/c).^(k-1)).*exp(-(x/c).^k); %función de Weibull
hold on
%diagrama de barras
bar(x,frec,'c');
%representa la curva de ajuste
x=linspace(0,max(velocidad),2000);
plot(x,f(x),'r')
title('Ajuste a la función Weibull')
xlabel('Velocidad')
ylabel('Frecuencia')
hold off

```

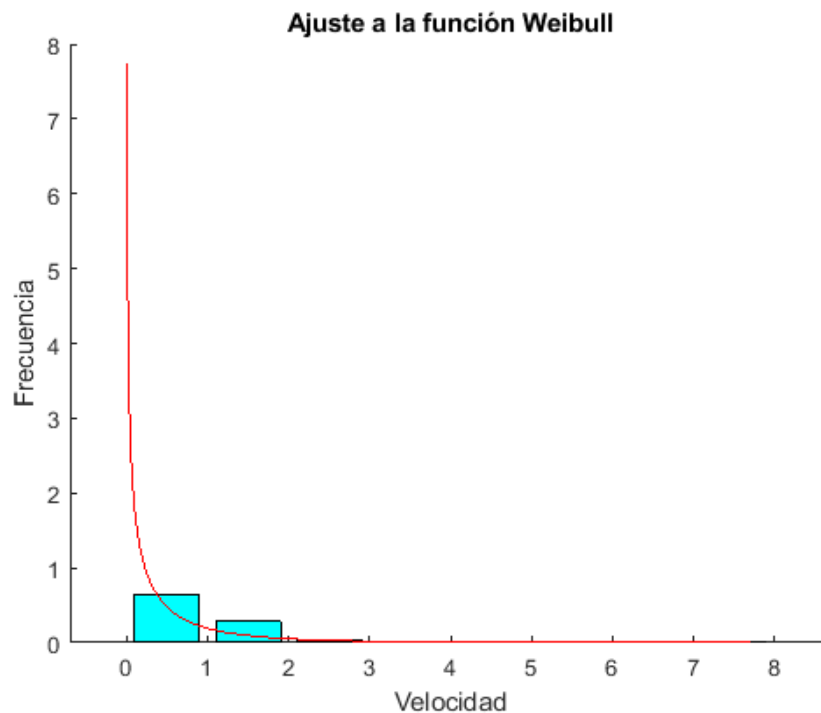


Imagen 15. Ajuste lineal de Weibull de los vientos de Tremp enero 2022 generado con Matlab

En esta sección vamos a comparar los resultados estadísticos obtenidos con las medidas de la velocidad del viento con los proporcionados por el modelo estadístico de Weibull que hemos ajustado a las frecuencias por dos procedimientos distintos: no lineal y lineal.

## Valor medio y desviación estándar

Calculamos el valor medio de las 1440 medidas de la velocidad del viento a lo largo del mes de junio con las funciones mean y std de Matlab.

Utilizando el modelo estadístico de Weibull

El valor medio de la velocidad del viento se obtiene:

$$\langle x \rangle = c \cdot \Gamma(1 + 1/k)$$

La desviación estándar  $\sigma$

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (x - \langle x \rangle)^2 \cdot f(x) \cdot dx = c^2 \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right] \quad \text{EQ.4}$$

En la sección anterior hemos obtenido los valores de los parámetros  $k$  y  $c$ :

- Ajuste no lineal, ( $k=1,3226$ ,  $c=1,0842$ )
- Ajuste lineal, ( $k=0,6573$ ,  $c=0,3973$ )

Creamos el script para comparar los resultados

```
%media y desviación estándar de las medidas de la velocidad del viento
media=mean(velocidad)
estandar=std(velocidad)
%Modelo estadístico de Weibull
%ajuste no lineal
k=1.3226,c=1.0842
media=c*gamma(1+1/k)
estandar=c*sqrt(gamma(1+2/k)-gamma(1+1/k)^2)
%ajuste lineal
k=0.6573,c=0.3973
media=c*gamma(1+1/k)
estandar=c*sqrt(gamma(1+2/k)-gamma(1+1/k)^2)
```

Obtenemos como resultado:

$$k = 1,3226; c = 1.0842$$

$$\text{media} = 0,9980$$

$$\text{desviación estándar} = 0,7617$$

$$k = 0.6573; c = 0.3973$$

$$\text{media} = 0,5362$$

$$\text{desviación estándar} = 0.8438$$

## 7. Metodología empleada estudio teórico y estudio práctico

La metodología utilizada en este trabajo consiste en la obtención de datos cuantificables de diferentes variables de algún generador y de una zona en concreto que se puedan aplicar a los objetivos planteados al inicio de este proyecto y una vez obtenida esta información teórica intentar llevarlo a cabo de una manera experimental para comprobar y sacar conclusiones.

### **Estudio teórico**

Como ya se ha realizado un estudio sobre las velocidades de viento y la energía que se podría extraer quedaba por analizar un modelo de aerogenerador que estuviese en la actualidad en el mercado y que cumpliera con el objetivo de este proyecto de dar apoyo a una microrred en zonas aisladas es por eso que buscando me he fijado en el siguiente aerogenerador:

#### **Aerogenerador Skystream 3.7**



*Imagen 16. Ajuste lineal de los vientos de Tremp enero 2022 generado con Matlab*

Son aerogeneradores que están diseñados para satisfacer las necesidades de los hogares, las pequeñas empresas y las comunidades que desean reducir su dependencia de las fuentes de energía no renovables.

Las características y los beneficios de la turbina eólica son las siguientes:

Cuenta con un eje vertical de 11 m de altura y 2,4 m de diámetro, diseñado para aprovechar las bajas velocidades del viento típicas de las zonas urbanas y suburbanas.

Este aerogenerador tiene una potencia nominal de 2,4 kW y puede producir 7.400 kWh de energía neta al año, suficiente para cubrir la mayor parte de las necesidades energéticas de un hogar medio.

Además, tiene un sistema de control avanzado que puede optimizar la producción de energía en diferentes condiciones de viento, aumentando la eficiencia y confiabilidad del sistema.

Una de las ventajas de este mini aerogenerador es que es fácil de instalar. La turbina viene pre ensamblada de fábrica y se puede instalar en un día con dos operadores.

Suelen ser muy silenciosas, lo que lo hace ideal para áreas urbanas y suburbanas donde el ruido es un problema. También es resistente a la corrosión debido a su diseño de fibra de vidrio y aluminio, lo que lo hace adecuado para áreas costeras y húmedas. Otra ventaja del Skystream 3.7 es el bajo mantenimiento. El aerogenerador tiene un sistema de autodiagnóstico que monitorea continuamente el rendimiento y alerta al propietario cuándo se necesita reparación o mantenimiento.

Otra ventaja con la que cuenta es que tiene un impacto positivo en el medio ambiente. Al generar energía renovable, las turbinas eólicas reducen la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero ya que la energía que produce el Skystream es completamente limpia y no produce contaminación ni residuos.

#### Características:

Modelo Skystream 3.7

Capacidad nominal 2400 Watts

Peso 77 kg

Diámetro del rotor 3,72 m

Área de barrido 10,87 m<sup>2</sup>

Tipo Rotor de corriente abajo con control de regulación de frenado

Dirección de rotación En el sentido del reloj mirando corriente arriba

Aspas 3 de material compuesto reforzado con fibra de vidrio

Velocidad nominal 50 - 330 rpm

Velocidad de parada 370 - 330 rpm

Velocidad de las puntas 9,7 - 63 m/s

Alternador Imán permanente sin ranuras ni escobillas

Control de guiñada Pasivo

Alimentación al cableado permanente 230 Voltios, 50 Hz, 1 Fase

Sistema de frenado Regulación electrónica de frenado con control redundante por conmutadores de relé

Velocidad del viento para activación 3,5 m/s

Velocidad nominal del viento 9 m/s

Control para el usuario Sistema de interfaz remota bidireccional

Velocidad del viento para supervivencia 63 m/s

Lo que se realiza a continuación es una extrapolación de los datos de construcción del aerogenerador mencionado anteriormente al alternador, es decir se hará un estudio de cuánta energía sería capaz de producir el aerogenerador si se sustituye por alternador de coche y teniendo las mismas características en cuanto a diseño se refiere. (Anexo 5)

### **Cálculos**

Una vez obtenidos los datos necesarios se pueden aplicar unos simples cálculos para ver cuánta energía podríamos generar con el panorama creado.

#### Tiempo de funcionamiento de un aerogenerador

Un aerogenerador funciona cuando la velocidad del viento es superior a un valor mínimo (cut-in) e inferior a un valor máximo (cut-out). Para nuestro caso en particular si se observa la imagen *número 7* que corresponde a la curva característica del generador estas velocidades son de 1000 rpm y 6000 rpm respectivamente.

Entonces ya sabemos que el generador necesita girar a 1000 rpm para empezar a producir energía. Es importante tener en cuenta que el Skystream comienza a generar una corriente eléctrica a partir 3,5 m/s a esta velocidad, las palas giran aproximadamente a 120 rpm.

Sabiendo que la relación entre la velocidad lineal y la velocidad angular es:

$$V = \omega \cdot r \quad \text{EQ.6}$$

Tenemos que:

$$V = \omega \cdot r = 120 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ seg}} \cdot \frac{2\pi \text{rad}}{\text{rev}} \cdot 1,86 \cdot x = 3,5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Donde  $x$  es el factor que nos relaciona la velocidad del viento con la velocidad angular real de las palas según su diseño específico.

Sí despejamos  $x$  tenemos que el valor es de 0,15 aproximadamente, este factor es importante ya que nos relaciona de una manera real y bastante aproximada las revoluciones que tendrá nuestro alternador si se le acoplaran las palas del aerogenerador skystream 3.7

Si tenemos en cuenta que el tamaño de las palas es de 1,86m dato obtenido de la hoja de características (*mirar anexo 5*) se podría calcular la velocidad del viento necesaria para generar energía con nuestro alternador.

Como hemos comentado anteriormente para que se empiece a generar energía con nuestro alternador es necesario hacerlo girar a 1000 rpm y para ello aplicamos los siguientes cálculos:

$$\omega = 1000 \frac{\text{Rev}}{\text{min}} \cdot \frac{\text{min}}{60 \text{ seg}} \cdot \frac{2\pi \text{ rad}}{\text{Rev}} = 104,720 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$V = \omega \cdot r = 104,72 \cdot 1,86 \cdot 0,15 = 29,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Observando estos números sabemos ya directamente que para generar energía necesitamos como mínimo vientos de 29,2 m/s.

A continuación, se muestra un diagrama con la velocidad media anual de varias comarcas de Cataluña

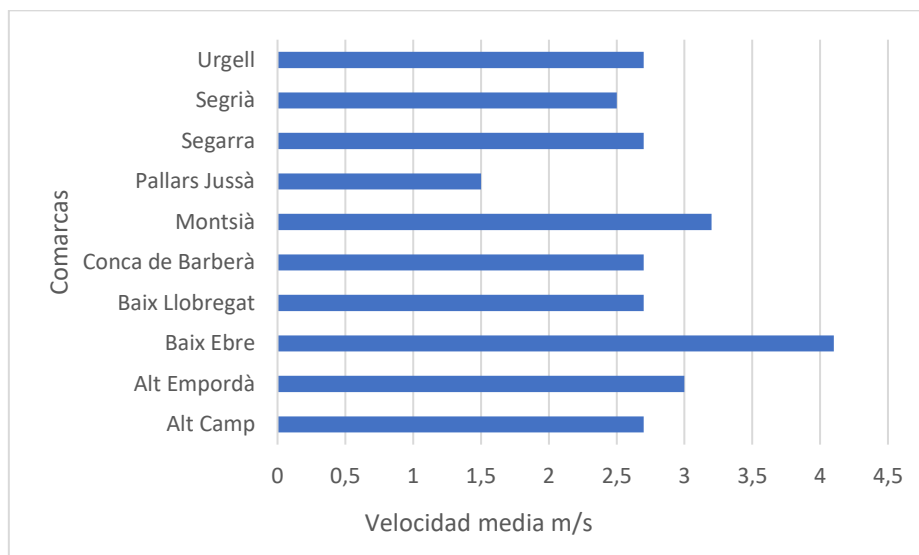


Tabla 5. Velocidad media en m/s de las 10 comarcas con valores más altos de Catalunya.

Fuente: IDECAST

De este diagrama podemos concluir que para llevar a cabo este proyecto será necesario el uso de un multiplicador.

Un multiplicador es un componente mecánico que se utiliza para aumentar la velocidad de rotación de las palas del rotor a una velocidad suficiente. El multiplicador se encuentra entre el rotor y el generador eléctrico y está compuesto por un conjunto de engranajes que multiplican la velocidad de rotación del rotor.

Para poder conseguir los puntos de trabajo del alternador y conseguir entrar en el rango de las velocidades medias de Cataluña se necesita un multiplicador por lo menos de unos 20.

Esto se ha deducido de la siguiente manera:

Si escogemos una comarca con una velocidad intermedia con un valor de 1,5 m/s sabemos que con esta velocidad podemos hacer girar el alternador a:

$$\frac{\left(1,5 \frac{m}{s} \cdot \frac{1}{0,15}\right)}{1,86 m} = 5,376 \frac{rad}{s} \cdot \frac{60s}{min} \cdot \frac{rev}{2\pi rad} = 51,3 \frac{rev}{min}$$

$$51,3 \frac{rev}{min} \cdot 20 = 1026 \frac{rev}{min}$$

de la misma manera calculamos la velocidad para los puntos de trabajo más comunes en los alternadores Bosch.

$$\frac{1800 \frac{rev}{min}}{20} = 90 \frac{rev}{min} \frac{2\pi rad}{60 seg} = 9,42 \frac{rad}{s} 1,86 \cdot 0,15 = 2,62 \frac{m}{s}$$

$$\frac{6000 \frac{rev}{min}}{20} = 300 \frac{rev}{min} \frac{2\pi rad}{60 seg} = 31,4 \frac{rad}{s} 1,86 \cdot 0,15 = 8,76 \frac{m}{s}$$

De estos cálculos se concluye que las velocidades de viento con un multiplicador de 20 tendrían que estar entre 1,5 m/s y 8,76 m/s

Con los datos obtenidos anteriormente se puede calcular el número de horas a lo largo de los meses que el aerogenerador podría estar generando energía eléctrica.

A continuación, se calcula el número de valores que son mayores a 1,5 m/s y menores que 8,76 m/s.

La siguiente expresión en el modelo estadístico de Weibull determina la probabilidad de que la velocidad del viento  $x$  esté entre  $x_0$  y  $x_1$ .

$$P(x_0 \leq x \leq x_1) = \int_{x_0}^{x_1} f(x) \cdot dx = \exp \left[ -\left(\frac{x_0}{c}\right)^k \right] - \exp \left[ -\left(\frac{x_1}{c}\right)^k \right] \quad [\text{EQ.6}]$$

Ejecutamos el código

```
%horas a partir de las medidas de la velocidad del viento
x0=1,5 ;x1=8,76;
horas=sum(velocidad>=x0 & velocidad<=x1)
%Modelo estadístico de Weibull
%ajuste no lineal
k=1.7099,c=1.8313
prob=exp(-(x0/c)^k)-exp(-(x1/c)^k);
horas=(length(velocidad)*prob)/2
%ajuste lineal
k=1.1026,c=1.6558
prob=exp(-(x0/c)^k)-exp(-(x1/c)^k);
horas=(length(velocidad)*prob)/2
```

Con este código se nos devuelven los siguientes valores:

$k = 1.7099$ ;  $c = 1.8313$

horas = 354

$k = 1.1026$ ;  $c = 1.6558$

horas = 293

Según estos datos se puede decir que el aerogenerador estará funcionando 354 horas aproximadamente durante el mes de junio del 202 teniendo en cuenta la distribución de Weibull y 108 horas con ajuste lineal.

Ya por último se realiza una comparación de los diferentes métodos estudiados aplicando el siguiente script con Matlab.

```
%media y desviación estándar de las medidas de la velocidad del viento
media=mean(velocidad)
estandar=std(velocidad)
%Modelo estadístico de Weibull
%ajuste no lineal
k=1.7099,c=1.8313
media=c*gamma(1+1/k)
estandar=c*sqrt(gamma(1+2/k)-gamma(1+1/k)^2)
%ajuste lineal
k=1.1026,c=1.6558
media=c*gamma(1+1/k)
estandar=c*sqrt(gamma(1+2/k)-gamma(1+1/k)^2)
```



El código mencionado anteriormente nos devuelve lo siguiente:

Velocidad media = 2.1403 m/s

Desviación estándar = 1.5106 m/s

$k = 1.7099$

$c = 1.8313$

Velocidad media = 1.6330 m/s

Desviación estándar = 0.9837 m/s

$k = 1.1026$

$c = 1.6558$

Velocidad media = 1.5965 m/s

Desviación estándar = 1.4498 m/s

Observando estos valores parece ser que realizando un ajuste no lineal se acercan más a los valores esperados que son los que se han obtenido directamente calculando la media y la desviación estándar, por lo que se decarta el ajuste lineal y se basan los cálculos en la distribución de Weibull.

La siguiente tabla muestra un resumen de los datos analizados con Matlab de la estación meteorológica de Tresp para los vientos que se han generado a lo largo del año 2022 y en el *anexo 7* se encontraran sus respectivos gráficos.

	Ajuste Weibull				Ajuste lineal				horas mes	horas de funcionamiento (h)		
	k	c	VM (m/s)	$\sigma$	k	c	v	$\sigma$			VM (m/s)	$\sigma$
Enero	1,9681	1,0505	0,9313	0,4939	0,7713	0,5658	0,6587	0,8641	1,0404	0,8007	744	99,1073
Febrero	1,9513	1,1363	1,0076	0,5385	0,8277	0,8417	0,6442	1,0229	1,2404	0,9646	672	120,4302
Marzo	1,7510	1,2719	1,1327	0,6677	0,7903	0,7806	0,8923	1,1397	1,3453	1,0941	744	195,8153
Abril	1,6981	1,5242	1,3601	0,8243	0,8447	1,2577	1,3737	1,6338	1,8896	1,5608	720	272,0709
Mayo	1,7193	1,6786	1,4866	0,8969	0,9552	1,3245	1,3272	1,3336	1,8570	1,3728	744	326,3267
Junio	1,7099	1,8313	1,6330	0,9837	1,1026	1,6558	1,5965	1,4498	2,1403	1,5106	720	353,6665
Julio	1,6813	1,7231	1,5386	0,9419	1,0091	1,5522	1,5463	1,5324	2,1417	1,5889	744	336,9684
Agosto	1,9191	1,4838	1,3163	0,7141	1,0696	1,4258	1,3890	1,2995	1,8202	1,3423	744	267,9990
Septiembre	1,8601	1,4804	1,3146	0,7336	1,0025	1,2935	1,2921	1,2889	1,7298	1,2110	720	258,3936
Octubre	1,9252	1,0624	0,9424	0,5098	0,8182	0,5314	0,5927	0,7292	1,0282	0,6737	744	106,6297
Noviembre	1,9257	1,0376	0,9204	0,4978	0,7965	0,5100	0,5797	0,7341	1,0125	0,7072	720	94,2374
Diciembre	1,7378	0,8696	1,6658	0,9886	0,6858	0,2250	0,2906	0,4351	0,6906	0,4164	744	56,4287

Tabla 6. Comparativa ajuste lineal y no lineal realizado con Excel.

## Estudio práctico



*Imagen 17. Componentes usados para las pruebas mencionadas. Fuente: Propia.*

Para realizar experimentalmente un generador de energía con un alternador de coche se ha seguido los siguientes pasos:

Para empezar, fue necesario, un variador de frecuencia, un alternador de coche, correas, poleas, y un voltímetro.

1. En primer lugar se deberá conectar el motor al variador de frecuencia:

El motor debe estar conectado al variador de frecuencia para controlar la velocidad del motor y, por ende, la generación de energía.

2. Conectar el alternador de coche:

El alternador de coche debe ser conectado al motor mediante correas bien tensadas y poleas, de manera que el movimiento del motor se transmita correctamente y haga girar el alternador.

3. Control del motor:

Se deberá encender el motor y ajustar la velocidad mediante el variador de frecuencia para lograr la velocidad óptima para la generación de energía.

4. Medir la energía generada: Con el voltímetro, se puede medir la energía generada por el alternador de coche. Es importante recordar que la energía generada será proporcional a la velocidad del motor.

*Nota:* Es importante tener en cuenta que este experimento que al generar electricidad se deben tomar todas las precauciones que fueren necesarias.

### 7.1 Descripción y cantidad del material:

- 1 motor eléctrico:



Imagen 18. Motor eléctrico



Imagen 19. Característica de motor eléctrico imagen 16.

01 ATEX 102 CEMP

Trifásico

230/400 V

1,07/0,62 A

50 HZ

rpm 1380

cos 0.55

IP55

0.12 W



- 1 variador de frecuencias:



Imagen 21. Commander SK monofásico/trifásico

Código de modelo	Potencia nominal del motor		Corriente máxima del fusible de entrada		Intensidad de entrada a plena carga típica		Corriente continua de entrada máxima		Intensidad de salida RMS 100 %	Intensidad de sobrecarga 150 % durante 60 seg	Valor mínimo de resistencia de frenado
	kW	CV	A		A		A				
			1 ph	3 ph	1 ph	3 ph	1 ph	3 ph	Servicio duro		Ω
SKBD200110	1,1	1,5	16	10	14,2	6,7		9,2	5,2	7,8	28
SKBD200150	1,5	2,0	20	16	17,4	8,7		12,6	7,0	10,5	28
SKCD200220	2,2	3,0	25	20	23,2	11,9		17,0	9,6	14,4	28
SKDD200300	3,0	3,0	25	16	23,6	12,5		16,6	12,6	18,9	20
SKD3200400	4,0	5,0		20		15,7		19,5	17,0	25,5	20

Tabla 7. Commander SK monofásico/trifásico 200 a 240V ca +-10% 48ª 62 Hz.

- 1 Correa poli V



Imagen 22. Correa trapecial poli V

Lo primero que se llevó a cabo fue buscar un alternador con características similares al del motor que disponía y realizar la programación del variador según las características típicas de la zona elegida en el atlas de viento de Cataluña en este caso La comarca de Tremp.

## Configuración de los dispositivos

### 7.2 Configuración del variador

Para configurar el variador se ha consultado el manual que proporciona el fabricante, a continuación, detallaré los parámetros más básicos del equipo. *NOTA: si se quiere profundizar consultar el anexo nº8.*

En primer lugar, se ha de fijar la velocidad mínima en Hz al que va trabajar en el motor, en nuestro caso se fijó en un valor nulo, ya que habrá momentos en los que el viento no sopla y el aerogenerador no se moverá. (Pr01).

A continuación, se procede a configurar la velocidad máxima también en Hz a la que se desea que trabaje el motor. En nuestro caso se configura el valor máximo que acepta el motor ya que se harán distintas pruebas de velocidad (Pr02).

En tercer y cuarto lugar se configura la rampa de aceleración y deceleración respectivamente, en este apartado se deja ajustado en el que viene por defecto para los equipos de normativa europea expresadas en segundos/100 Hz (consultar imagen adjunta número.) (Pr03 y Pr04)

Continuado con la configuración básica se procede a elegir el modo de accionamiento (Pr05), hay 9 formas diferentes de controlar el accionamiento consultar imagen. En nuestro caso se desea realizar manualmente a través del control incorporado en el variador y se elige el modo *pad* (control por teclado).

En el parámetro (Pr06) se introduce la intensidad nominal del motor que viene especificada en la placa y se ha de ajustar correctamente nunca por encima para evitar riesgos de sobrecarga.

Los parámetros siguientes a configurar corresponden también a los que vienen especificados en la placa de características del motor (Pr07) (Pr08) (Pr09):

- Velocidad nominal (Hz).
- Tensión (V).
- Potencia (KW).

## Conexión eléctrica.

### Configuración del motor

Si se desea conectar el motor a 230V o 380V, la configuración del motor cambiará. En nuestro caso lo conectaremos a 230V. La placa de identificación del motor indica que para ello se debe realizar una conexión delta.

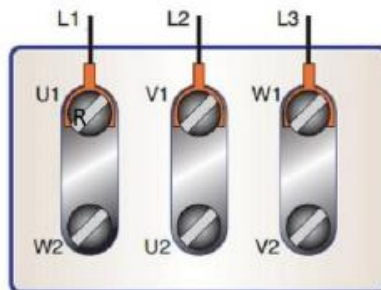


Imagen 23. Conexión del en un motor eléctrico

### Conexiones de los terminales de potencia.

Para llevar a cabo el conexionado entre el motor y variador primeramente se ha comprobado su compatibilidad y verificado que los valores proporcionados por el fabricante son soportados por el variador.

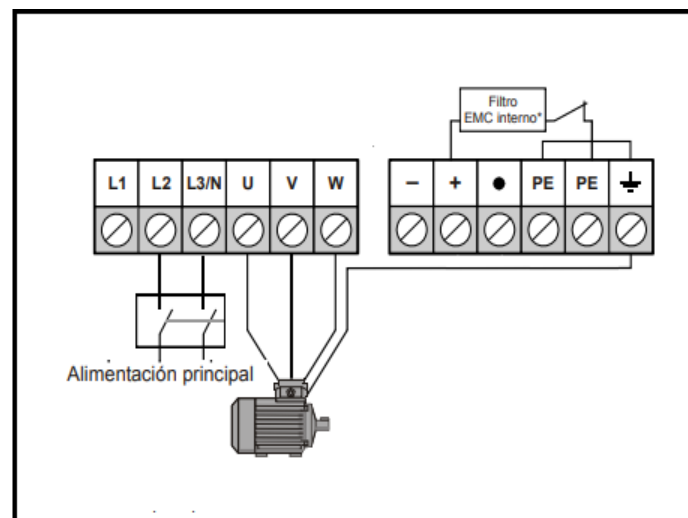


Imagen 24. Esquema eléctrico de conexionado entre motor y variador.



### Conexión de accionamiento y control

Como se ha comentado en uno de los puntos anteriores el modo de configuración deseado en nuestro caso para el accionamiento es por control del teclado del panel, para ello se ha de seguir el siguiente esquema:

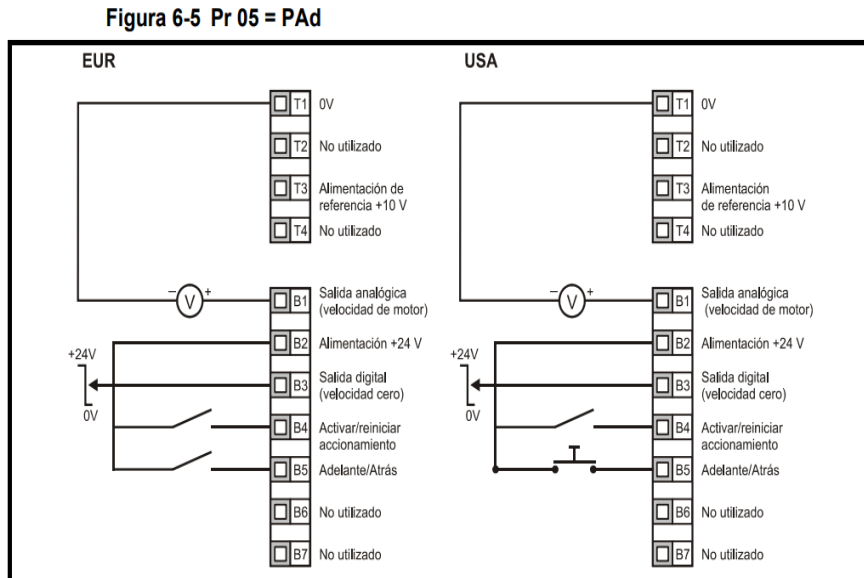


Imagen 25. Configuración eléctrica para el control motor por teclado.

En el esquema anterior se puede observar que el pin B2 es una salida de 24V de donde se puede tomar la alimentación para iniciar o parar el motor o también si fuera el caso se podría conseguir hacer un control de marcha atrás o adelante a través del pin B5.

La activación del pin B5 es necesario ya que la dirección de rotación del alternador es en sentido horario por lo tanto se habrá de configurar los parámetros pr (61) y pr (71) tal y como se indica en el manual.

*Nota: La conexión que se lleva a cabo para este proyecto es la imagen de izquierda EUR.*

### Conexión mecánica y eléctrica del alternador de prueba

Como se puede observar en la imagen el alternador será accionado mediante el movimiento proporcionado por la correa que la une al motor y así de esta manera poder obtener en sus terminales los valores de corriente generada.

### 8.Descripción completa de los experimentos realizados.

Una vez realizado y comprobado que las conexiones eléctricas funcionan correctamente se procede a configurar el variador con las diferentes velocidades estudiadas anteriormente y siguiendo la metodología que se presenta continuación:

Primero se realizará una prueba de diferentes velocidades en revoluciones por minuto para obtener su curva característica de trabajo y saber sus puntos de generación de corriente máximos y mínimos.

Por otro lado, se realizarán 12 pruebas de velocidad diferentes, una por cada mes del año 2022. La velocidad que se configurará en el variador será la obtenida del promedio calculado de cada mes haciendo la como si tuviera la caja de engranajes correspondientes para realizar un x20.

Una vez obtenidas las medidas correspondientes haremos una comparación con los datos obtenidos teóricamente y se realizará las conclusiones pertinentes ya que considero que al ser un experimento sencillo no se necesitan más pruebas.

## 9.Resultados

Siguiendo la metodología planteada lo primero que llevaré a cabo es el estudio de la curva característica del alternador, como los dispositivos de los que dispongo no me permite hacer todas las pruebas he buscado en internet el comportamiento que debería tener el alternador y comprobare los primeros valores hasta donde me permita las revoluciones del motor y lo ajustare con una línea de tendencia.

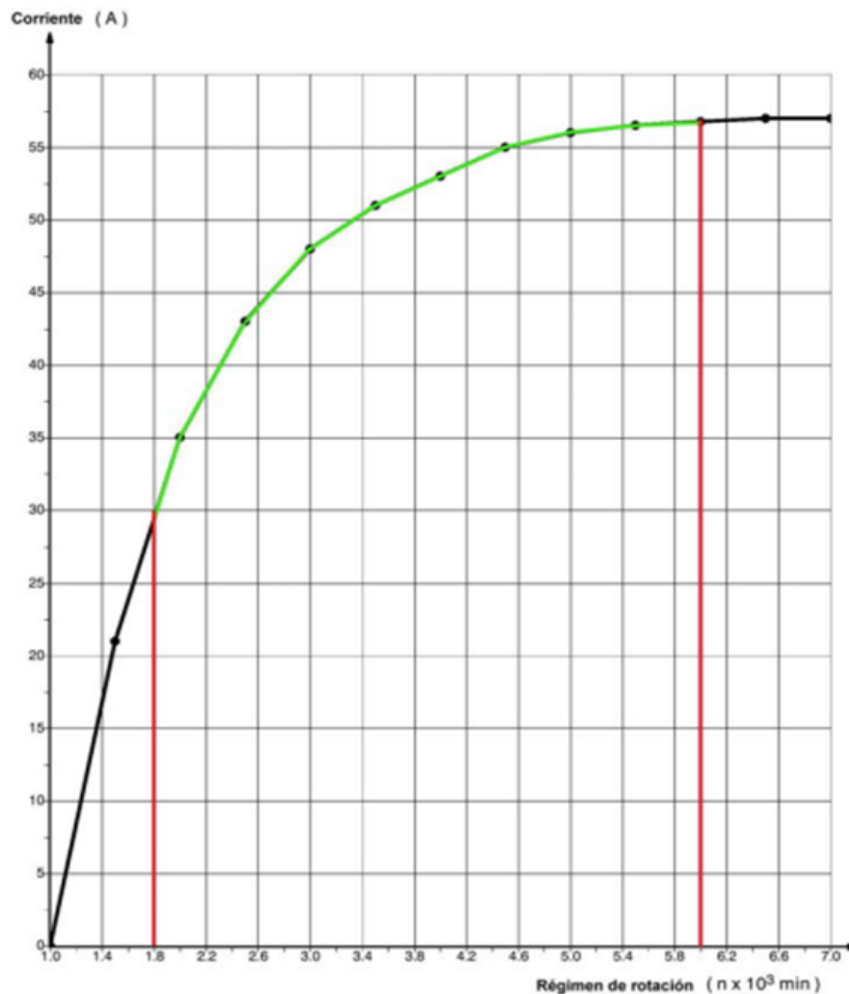


Imagen 26. Curva Característica del alternador BOSCH K1-14V-23/55A.

Fuente: Grupo Fiat.

A continuación, se muestra la curva característica obtenida con los valores medidos hasta 1380 rpm y luego haciendo un ajuste polinómico de tercer grado.

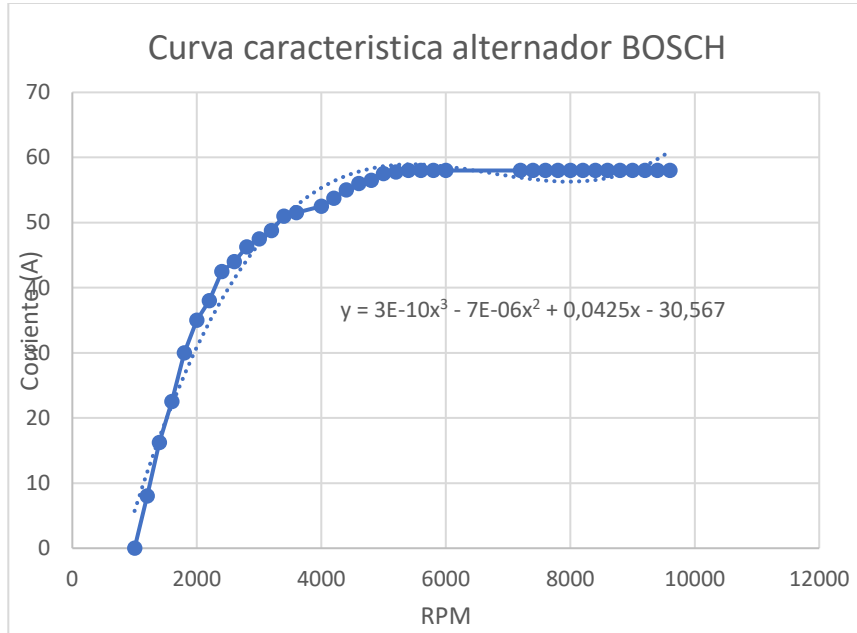


Imagen 27. Ajuste lineal de los vientos de Tremp enero 2022 generado con Matlab

Se puede observar que la curva se ajusta bastante bien a la curva esperada por lo que el siguiente paso es presentar la misma curva en función de la velocidad en metros por segundo y teniendo en cuenta el factor generado por las palas comentados en el apartado 7 de este documento.

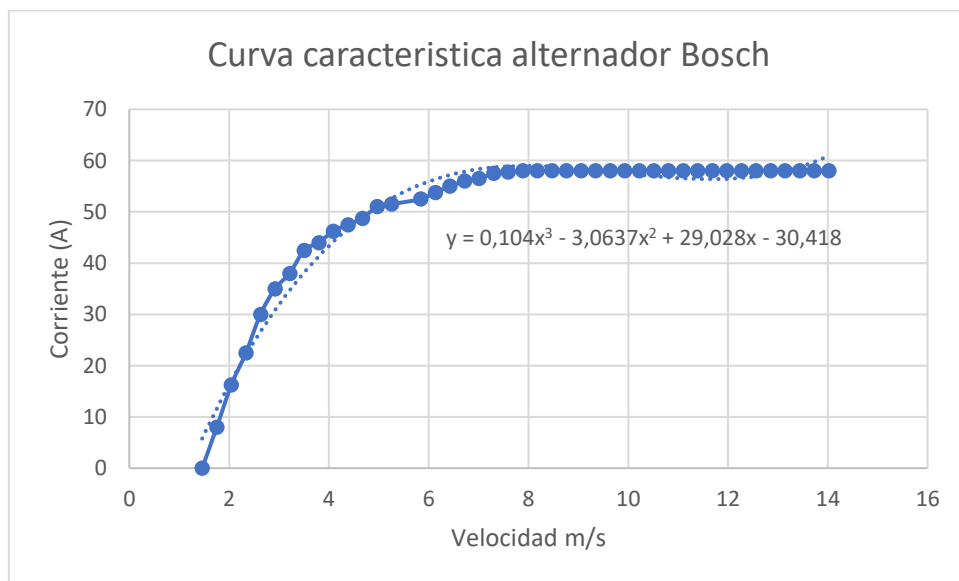


Imagen 28. Ajuste lineal de los vientos de Tremp enero 2022 generado con Matlab

Una vez realizada la curva anterior se puede comprobar la corriente generada con las velocidades promedio y por supuesto la potencia (w) de cada mes y se obtiene como resultado lo siguiente:

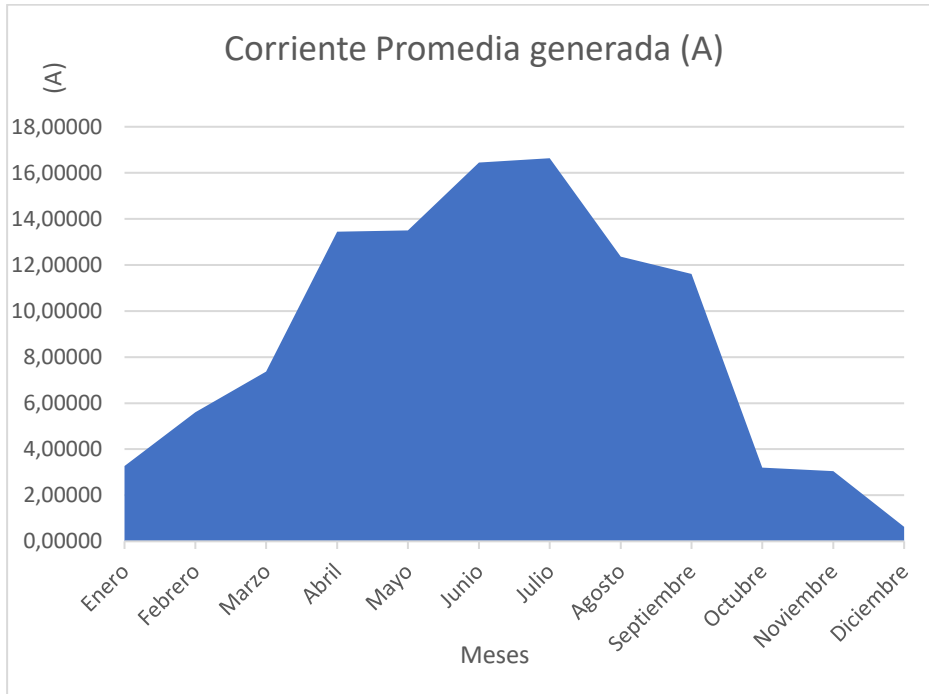


Imagen 29. Ajuste lineal de los vientos de Tremp enero 2022 generado con Matlab

	Corriente A	Potencia media W
<b>Enero</b>	3,266	45,724
<b>Febrero</b>	5,605	78,475
<b>Marzo</b>	7,373	103,218
<b>Abril</b>	13,448	188,266
<b>Mayo</b>	13,500	188,996
<b>Junio</b>	16,443	230,206
<b>Julio</b>	16,634	232,875
<b>Agosto</b>	12,365	173,108
<b>Septiembre</b>	11,610	162,538
<b>Octubre</b>	3,197	44,758
<b>Noviembre</b>	3,049	42,687
<b>Diciembre</b>	0,622	8,712

Tabla 8. Ajuste lineal de los vientos de Tremp enero 2022 generado con Matlab

## 10. Conclusiones

Una vez realizadas las pruebas mecánicas mencionadas anteriormente se puede decir que se ha obtenido los resultados esperados y son equiparables con el estudio teórico realizado. Se puede confirmar que sí es posible reutilizar un alternador de coche como generador y producir energía con el viento, pero las condiciones en la que se deben de generar no son favorables ni las más óptimas para llevarlo a cabo en el lugar estudiado, ya que los alternadores de coche no están diseñados específicamente para funcionar como aerogenerador y al utilizarlo con este fin su eficiencia se observa bastante limitado debida a las altas exigencias en cuanto a velocidades de viento se refiere por lo que para generar sin ayuda de ningún elemento no es posible con el perfil eólico estudiado y será necesario realizar alguna modificación que no son objetivo de este proyecto pero que se podría tener en cuenta en otro estudio como por ejemplo cambiar las escobillas para aumentar su durabilidad o cambiar la carcasa para que sea más liviano, mejorar su tamaño y su adaptabilidad.

Por otro lado, se comprueba que el uso de un multiplicador es necesario como se predijo ya en los primeros cálculos. Suponiendo de que si dispongo del multiplicador para el alternador puedo asegurar que con un solo alternador puede producir una media de 160 W diarios durante la primavera 212 w durante el verano 83 W durante el otoño y 60 W durante el invierno según los cálculos realizado y reflejados en la *tabla 8*.

Al analizar esta energía producida se concluye que se puede dar servicio a un motor para bombear agua de un pozo o de un río, esto se puede comprobar en la hoja de característica del Shurflo Power Twin H4111-035 de 12 V (*anexo 4*).

En la hoja de características se observa que la potencia nominal de la bomba es de 100 W y la potencia máxima es de 140 W. Esto significa que una fuente de alimentación de 125 W proporciona suficiente energía para hacer funcionar la bomba en su rango de trabajo normal.

En cuanto a la electrificación de una vivienda también dependerá del consumo mínimo que necesite la vivienda y esto depende de la cantidad de dispositivos y electrodomésticos utilizados por lo que a continuación se proporciona una estimación del consumo de energía típico de una vivienda:

Iluminación: Entre 50 y 300 W de potencia total si tuviera entre 10 y 20 bombillas.

Frigorífico: Un frigorífico de tamaño medio consume entre 100 y 200 W.

Televisión: Dependiendo de su tamaño y tecnología, pueden llegar a consumir entre 50 y 150 W.

Ordenador: Consumen entre 50W y 200W,

Lavadora y secadora: una lavadora usa de 300 a 500 vatios, mientras que una secadora usa de 1500 a 5000 vatios.

En nuestro caso en particular la potencia generada es bastante baja para soportar en la totalidad la demanda de energía de una vivienda con estas necesidades básicas, pero sí que se podría asumir parcialmente algunos consumos y reducir la factura de la luz.

En conclusión, este estudio demuestra que esta idea presenta algunas dificultades a la hora de generar energía por factores importantes como puede ser la misma fabricación del generador y la variabilidad del viento, por lo que habría que estudiar directamente la forma de modificarlo para que cumpla mucho mejor con este fin, de todas formas creo este proyecto sigue siendo una promesa para el futuro, ya que si se logra hacer podría ofrecer una fuente fiable y asequible de energía renovable llegando tal vez a desempeñar un papel importante en la lucha contra el calentamiento global y el cambio hacia un futuro más sostenible y dependiente de fuentes de energía renovables.

### 11. Análisis de sostenibilidad

El reciclaje de partes usadas de vehículos se considera una práctica sostenible y ética que reduce los desechos y el impacto ambiental de la producción de piezas nuevas. Adicionalmente, el reciclaje de algunas piezas usadas puede beneficiar a la economía local al generar empleos y oportunidades de negocio en el sector del reciclaje. Utilizar los alternadores usados puede tener un impacto positivo en el medio ambiente al reducir la cantidad de desechos que se generan y al reducir la huella de carbono y la dependencia de los combustibles fósiles, lo que a su vez reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire.

Desde una perspectiva financiera, realizar aerogeneradores con alternadores reduce los costos de electricidad y reduce también la dependencia de la red eléctrica tradicional. También genera oportunidades comerciales y la creación de puestos de trabajo en el sector de las energías renovables, mejorando la capacidad del área para sostener su economía.

### 12. Análisis económico

En este caso en particular no es necesario realizar un gran análisis económico ya que de primera entrada se ve que no es viable realizar la instalación de un aerogenerador realizado con un alternador, ya que es necesario el uso de un multiplicador como comenté anteriormente y estos dependiendo del modelo puede oscilar su coste entre 500 y 2000€ y ahora actualmente es posible encontrar modelos de mini generadores ya preparados que se pueden instalar alrededor de 3000€ y con generación de energía mucho más eficiente.

### 13. Bibliografía

- 1 Normativa de treball de fi d'estudis EEBE. (2023). Recuperado de: [https://eebe.upc.edu/ca/estudis/normatives-academiques/documents/eebe\\_normativa\\_tfe\\_curs\\_2021\\_22\\_aprov\\_je\\_20\\_21\\_07\\_14.pdf](https://eebe.upc.edu/ca/estudis/normatives-academiques/documents/eebe_normativa_tfe_curs_2021_22_aprov_je_20_21_07_14.pdf)
- 2 Asociación empresarial eólica AEE.(2023).La eólica en el mundo. Recuperado de: <https://aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo/>
- 3 Institut d'estadística de Catalunya. (2023). Indicadors meteorologia. Recuperado de: <https://www.idescat.cat/indicadors/?id=aec&n=16342>
- 4 Ronergy.(2023).Como funciona un aerogenerador. Recuperado de:<https://ronergy.com/funcionamiento-de-un-aerogenerador/>
- 5 BOSCH. (2015) Alternadores, Marchas y componentes. Alemania.
- 6 Dr. Ing K.G. Burguer. Electricidad y electrónica de los automóviles. Edición:2000.
- 7 Servei meteorològic de Catalunya. (2023).Dades de l'Estació automàtica Tremp. <https://www.meteo.cat/observacions/xema/dades?codi=XQ>
- 8 Ricardo A. Bastianon. (2008). Calculo y diseño de la hélice óptimas para turbinas eólicas
- 9 Techno sum. Aerogeneradores. (2023). Recuperado de: <https://www.technosun.com/es/aerogeneradores/>
- 10 Reciclauto. Piezas alternadores. (2023). Recuperado de: [https://reciclauto.cat/content/26-contacto?text=ALTERNADOR&sa\\_pag=1&sa\\_cat=&prods\\_cart=&id\\_category=3&sa\\_order=&sa\\_ajax=1](https://reciclauto.cat/content/26-contacto?text=ALTERNADOR&sa_pag=1&sa_cat=&prods_cart=&id_category=3&sa_order=&sa_ajax=1)
- 11 Agencia internacional de energías renovables IRENA. (2023). Estadísticas de capacidad renovable 2022. Recuperado de: <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022-ES>
- 12 Matlab para el grado de ingeniería renovables. (2023). Recuperado de: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/intro.html>



## INDICE ANEXOS

1. Recopilación de datos referentes a la dirección y a la velocidad del viento en la comarca de Tremp del año 2022.
2. Cálculos generales.
3. Gráfica de la corriente generada.
4. Manual de la bomba de impulsión.
5. Aerogenerador comercial de referencia.
6. Datos técnicos alternador Bosch.
7. Gráficos análisis de los vientos de la comarca de Tremp.
8. Manual usuario del variador *commander sk*
9. Código Matlab comentado.

