



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO Y ANÁLISIS
EXPERIMENTAL DE UN
SISTEMA DE GENERACIÓN
ELECTRICA AISLADO
COMPUESTO POR
UN AEROGENERADOR,
BATERÍAS Y REGULADOR DE
CARGA.**

Alumno: Fernando Tomás Marín Mármol

Tutor: David Vera Candéas
Depto.: Ingeniería Eléctrica

Septiembre, 2019



Universidad de Jaén

Fernando Tomás Marín Mármol
Grado en Ingeniería Eléctrica

ESTUDIO Y ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELECTRICA AISLADO COMPUESTO POR UN AEROGENERADOR, BATERÍAS Y REGULADOR DE CARGA.

Fernando Tomás Marín Mármol.

Grado en Ingeniería Eléctrica.

David Vera Candeas.

Dpto. Ingeniería Eléctrica.



Índice:

1. Resumen.....	4
2. Introducción.....	6
2.1 ¿Qué es la energía eólica?.....	6
2.2 Energía eólica en el mundo -Contexto energético.....	8
2.2.1 Información de interés sobre la energía eólica en España (2017).....	12
2.3 Estado del arte - Energía minieólica.....	15
2.3.1 Evaluación de la implantación de energía minieólica en plantas de tratamiento de residuos municipales.....	16
2.3.2 Instalación de aerogeneradores de eje vertical en edificio de la universidad de Cantabria.....	18
2.3.3 Design and experimental verification of a high efficiency small wind energy portable turbine (SWEPT).....	20
2.3.4 Stand-alone operation of an alkaline water electrolyser fed by wind and photovoltaic systems.....	21
2.4 Generación eléctrica autónoma.....	22
2.4.1 Información sobre la generación eléctrica autónoma (mini-eólica).....	22
2.4.2 Aplicaciones reales.....	26
2.4.3 Casos de éxito.....	30
2.4.4 Fabricantes – Gama de potencias.....	34
2.4.5 Legislación de autoconsumo actual (RD 5 abril 2019).....	44
3. Objetivos.....	50
4. Materiales y métodos.....	51
4.1 Materiales utilizados.....	51
4.1.1 Esquema unifilar del equipo.....	52
4.1.2 Partes del sistema eólica.....	53
4.1.3 Elementos de medida.....	63
4.2 Localización.....	67
4.2.1 Evaluación de la instalación.....	67
4.2.2 Localización de la instalación.....	70
4.2.3 Datos meteorológicos de la zona de instalación.....	73
4.3 Contexto teórico.....	76



5. Resultados y discusiones.....	83
5.1 Caracterización del inversor.....	88
6. Conclusiones finales.....	90
7. Anexos.....	93
7.1 Manual Aerogenerador – Bornay 600W.....	93
7.2 Curva de potencia y energía Aerogenerador Bornay 600W y 1500W.....	101
7.3 Características Termo Anemómetro – Extech AN300.....	103
7.4 Especificaciones técnicas Analizador de redes – Chauvin Arnoux C.A 8334B.....	104
7.5 Baterías – BAE Secura PVS 420.....	105
7.6 Inversor DC/AC – Victron Energy Phoenix 12/800.....	107
7.7 Esquema unifilar banco de baterías.....	108
7.8 Plano de la zona del proyecto en la azotea del edificio de laboratorios.....	109
7.9 Plano de la torre P-750 donde está colocado el aereogenerador.....	110
7.10 Plano del acople a la torre.....	111
8. Bibliografía.....	112



1. Resumen:

Mi trabajo fin de grado consiste en la realización de un estudio y análisis experimental de un sistema de generación eléctrica aislado compuesto por un aerogenerador, baterías y regulador de carga.

La primera parte del trabajo comienza con una explicación de lo que es la energía eólica hablando sobre su procedencia, características, importancia y ventajas del mismo. Tras lo cual, se explica cómo está la energía eólica en el mundo y España y su contexto energético. Lo siguiente es un estado del arte con varios proyectos e investigaciones realizados al respecto. Se continúa explicando las informaciones al respecto de la generación eléctrica autónoma de la mini eólica, dando respuestas a preguntas frecuentes, aplicaciones reales, casos de éxito, costes y distinguiendo los diferentes gamas y fabricantes de aerogeneradores de mini eólica, por último se expone en que consiste la generación distribuida y su utilidad.

Seguidamente, en materiales y métodos se explicará la localización del aerogenerador y la instrumentación utilizada, como aerogenerador, baterías, regulador como utensilios de medida para el análisis.

Pasando a continuación a un contexto teórico de las fórmulas utilizadas en el estudio de evaluación del potencial eólico y los cálculos y mediciones realizados mediante el anemómetro y el analizador de redes. Lo siguiente es la explicación de cómo se ha realizado la medición con el termo anemómetro y el analizador de redes.

En los puntos finales, se discuten los resultados de los diferentes análisis e interpretaciones teóricas y prácticas de los resultados obtenidos en los diferentes potenciales eólicos y la generación eléctrica medida en la azotea del laboratorio.

A continuación, se sacan unas conclusiones finales y se realiza una propuesta de mejora del prototipo.

Por último, incluye todos los planos utilizados, esquemas y documentación adicional para una mejor comprensión del estudio acompañado por la bibliografía.



1.1. Abstract

My final degree project consists in conducting an experimental study and analysis of an isolated power generation system composed of a wind turbine, batteries and charge regulator.

The first part of the work begins with an explanation of what wind energy is talking about its origin, characteristics, importance and advantages of it. After which, it explains how wind energy is in the world and Spain and its energy context. The following is a state of the art with several projects and investigations carried out in this regard. The information regarding the autonomous mini-wind power generation is continued, giving answers to frequently asked questions, real applications, success stories, costs and distinguishing the different ranges and manufacturers of mini wind turbines, finally it is stated that consists of distributed generation and its utility.

Next, materials and methods will explain the location of the wind turbine and the instrumentation used, such as wind turbines, batteries, regulators as measurement tools for analysis.

Moving on to a theoretical context of the formulas used in the wind potential assessment study and the calculations and measurements made using the anemometer and the network analyzer. The following is the explanation of how the measurement was made with the thermo anemometer and the network analyzer.

In the final points, the results of the different theoretical and practical analyzes and interpretations of the results obtained in the different wind potentials and the electrical generation measured on the roof of the laboratory are discussed.

Next, some final conclusions are drawn and a proposal for improvement of the prototype is made.

Finally, it includes all the plans used, schemes and additional documentation for a better understanding of the study accompanied by the bibliography.

2. Introducción:

2.1. ¿Qué es la energía eólica?

Esta energía se produce por las corrientes de aire (energía cinética debido al viento) producidas por masas de aire debido a los gradientes de presión.

Indirectamente la energía solar hace que se manifieste el viento por el diferente grado de calentamiento de la tierra y por la rotación de la misma. Solo un porcentaje muy pequeño de los rayos del sol hace que se transforme esa energía en viento, aproximadamente un 1%, esto quiere decir que si la aportación del sol es de 174.000 Tera vatios solo 1.74 Tera vatios se aprovechara para el viento. Aun así, esta cantidad supone casi 100 veces la energía que obtenemos de todas las plantas de la Tierra.

También de forma determinante, actúa la velocidad media del viento, los vientos estacionales, variaciones diurnas y nocturnas, la variación con la altura del viento y las ráfagas breves. Dependiendo del aerogenerador esta energía se podrá utilizar a partir de una velocidad mínima de 12 km/h (3,3 m/s) y hasta una máxima de 65 km/h (18 m/s).

Hay que tener en cuenta que es una energía fundamental debido a que no contamina, es inagotable y hace que no se utilicen los recursos de combustibles fósiles, frenando el cambio climático. Al ser barata puede competir con otras de energía como las centrales de combustibles fósiles, e incluso con las centrales nucleares teniendo en cuenta el coste de reparar daños medioambientales.

Este proceso de generación de energía, un proceso ideal por ser limpio y no contaminar. De modo que elimina los procesos de extracción de los combustibles, así como su distribución, reduciendo el tráfico marítimo y terrestre de combustibles tales como el gas, petróleo, gasoil y carbón, y combustión de los mismos, todo ello en beneficio de la atmosfera.

También la utilización de esta energía tiene una nula incidencia en el suelo y su erosión, ya que no produce ningún contaminante en el mismo. Tampoco produce alteraciones de acuíferos, ni gases tóxicos, ni destruye la capa de ozono, ni tiene efecto invernadero y no produce residuos secundarios contaminantes.

Otras ventajas es la posibilidad de instalación en diferentes zonas donde por su erosión y otras no cultivables hacen que se pueda aprovechar el terreno, además de poder también en zonas que se utilicen para otros fines, como zonas de cultivo o ganado.

La utilización con la energía solar, hace que se pueda tener un autoconsumo permitiendo la desconexión de la red eléctrica y tener grandes autonomías combinándolo con baterías.

Los inconvenientes que pudieran surgir son menores comparado con las grandes ventajas que nos presenta. Por tanto, esta energía es un avance y una vía muy interesante en la generación de energía.

2.2. Energía eólica en el mundo – Contexto energético

El consumo de energía mundial se ha disparado en los últimos 25 años, tanto que se ha duplicado según la Agencia Internacional de la energía (IEA), la economía a nivel mundial crece en un promedio del 3% anual y la población pasará de los 7.600 a los 9.100 millones de personas hasta 2040. Fuente [1]

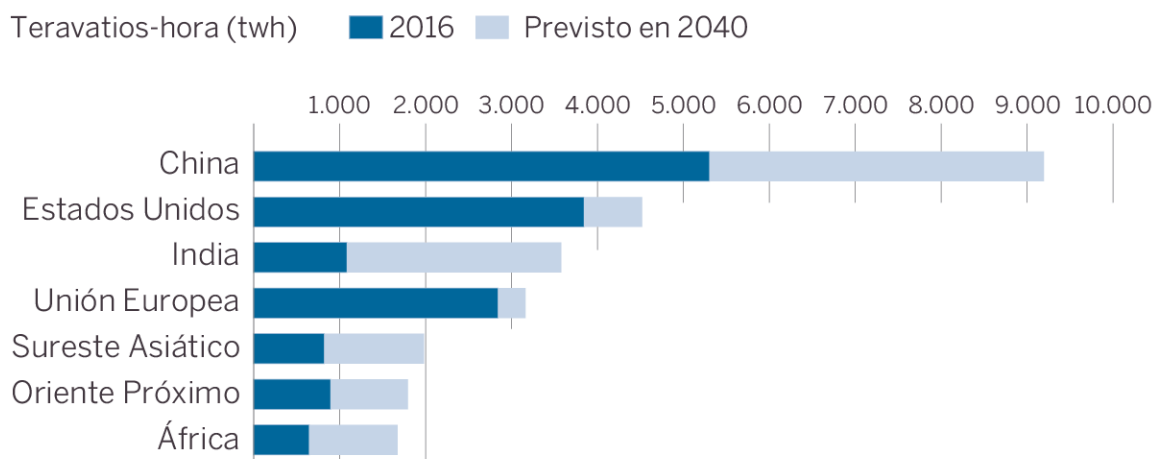


Figura 2.1. – Previsiones de demanda de electricidad por regiones. Fuente [1]

Esto en el futuro acarreará problemas por el uso de la energía y sus problemas medioambientales sino esta no proviene de fuentes renovables, especialmente por los gases de efecto invernadero, donde para su reducción las energías renovables tienen un papel fundamental.

La energía instalada eólica en todo el mundo creció un 9,6% en 2018, hasta situarse en 591.000 MW. China, Estados Unidos, Alemania, India y España son los primeros productores mundiales. Fuente [2]

Actualmente en el mix energético la energía eólica aporta un 4 % de la demanda global de electricidad. Esto se traduce en que la capacidad es de 371 GW, lo que supone un incremento del 48% respecto a 2013.

Por otro lado, la energía eólica contribuye al objetivo del “20/20/20”. Son los compromisos de la Unión Europea respecto a las cifras 1990 para lograr diversos objetivos que son:

- Llegar a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 % (30 % en caso de llegar a un acuerdo internacional).
- Mayor eficiencia energética, llegando a ahorrar el 20 % del consumo, además de cubrir las necesidades del transporte con biocombustibles en un 10%.
- Fomentar las energías renovables hasta el 20 %.

El objetivo es cumplir el protocolo de Kyoto y otros compromisos encaminador a la reducción de emisiones contaminantes, ya que el cambio climático es una de los mayores desafíos contra la que debemos luchar y de ese modo conseguir un futuro sostenible. Es por ello que las energías renovables son de vital importancia, siendo la energía eólica una de las principales bazas.

A nivel nacional, España llegó a ser una potencia mundial en las fuentes de energía renovables, produciendo en 2007 el 20 % de la electricidad eólica mundial, y siendo líder en investigación y desarrollo de esta tecnología.

Esto fue debido a que en la década del 2000 gracias a la legislación incentivaba las y estimulaba las investigaciones e inversiones en este sector (Real Decreto 661/2007) mediante subvenciones. Sin embargo, la reforma energética de Ley 24/2013 consiguió alejar a los inversores al quebrarse la seguridad jurídica con las medidas retroactivas impuestas, siendo el 2014 un año negro para esta energía.

Durante el año 2017, la potencia instalada ha aumentado en 66 MW y la potencia eólica a 31 de diciembre de 2017 se sitúa en 23092 MW, siguiendo la línea de crecimiento anual de los últimos años desde que llegó la reforma energética como podemos ver en la figura 2.2.

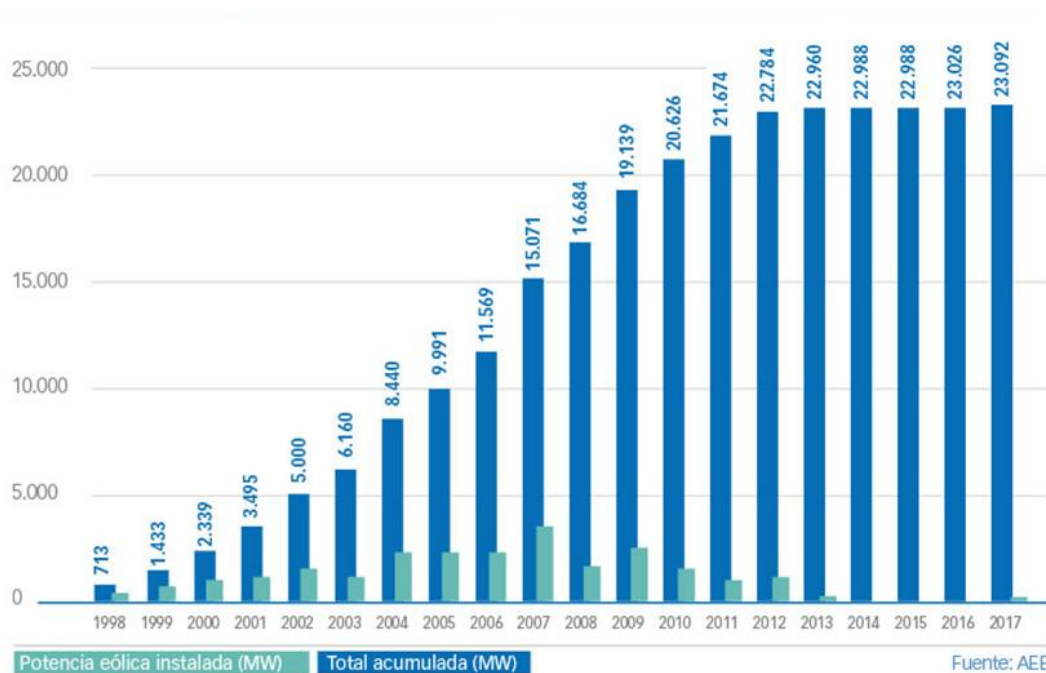


Figura 2.2. – Evolución anual y acumulada de la potencia instalada en España (en MW).

Fuente [2]

Aunque el aumento de potencia instalada en 2017 es insignificante, la energía eólica sigue siendo la segunda generadora del sistema eléctrico con una generación de 48,902 GWh con un porcentaje de la demanda eléctrica del 18,2 %, después de la nuclear.

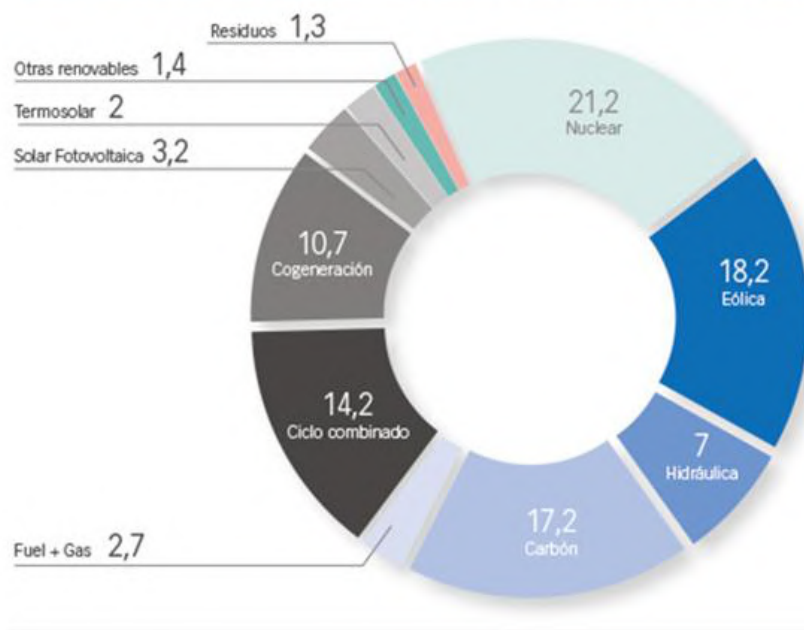


Figura 2.3. – Cuota de mercado por generación en 2017 (en %). Fuente [3]

Dato importante fue que el 29 de enero de 2015 se produjo la mayor producción en la historia de energía eólica hasta entonces con 17,55 MW. Esta potencia como ejemplo es equivalente a más del doble de la capacidad de seis centrales nucleares instaladas en España activas que había en su momento.

Recientemente ha habido cambios en España de normativa de Autoconsumo Fotovoltaico (Real Decreto 244/2019), que permite realizadas en hogares e industrias con conexión a la red eléctrica, aunque con subvenciones haría que aumentase en mayor grado como ya se vio en 2007, aun así, esto hace que podamos cumplir los objetivos europeos de 2020

En tendencias tecnológicas sobre la energía eólica, no son previsibles grandes cambios, aparte de crear nuevos materiales que sean menos pesados, resistentes, más baratos y con sistemas de calidad avanzados para el desarrollo de nuevos aerogeneradores.

Aunque en la actualidad la energía eólica en los últimos años no está despegando y está atravesando una etapa complicada en España, mientras que en el mundo si sigue expandiéndose cada año y convirtiéndose en una energía clave y siendo innegable que le alberga un prometedor futuro.

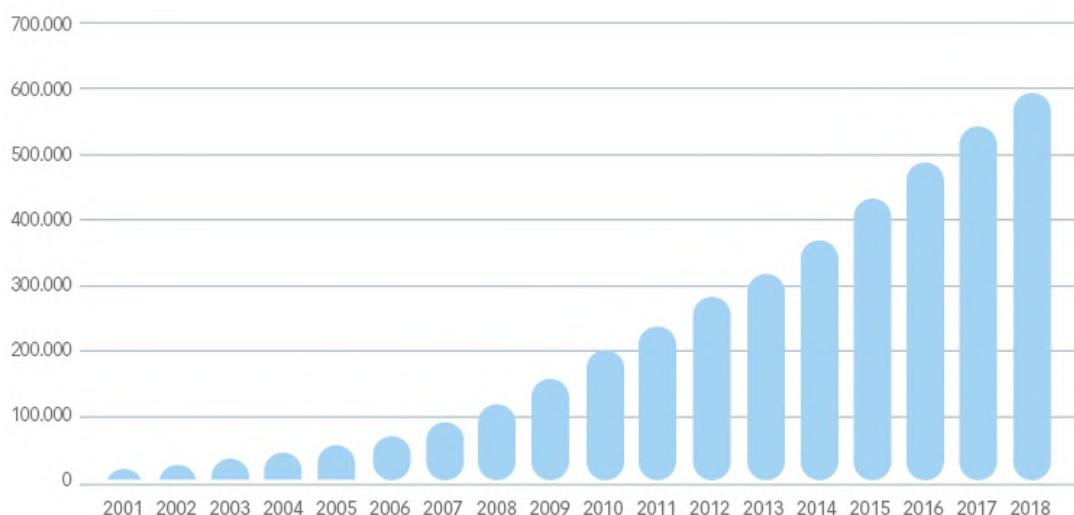


Figura 2.4. – Evolución de la potencia instalada en el mundo (en MW) año 2018. Fuente

[4]

	2018
China	211.392
Estados Unidos	96.665
Alemania	59.311
India	35.039
España	23.484
Reino Unido	20.970
Francia	15.309
Canadá	12.805
Brasil	14.702
Italia	9.958
Resto del mundo	90.788

Figura 2.5. – Ranking de países por potencia instalada acumulada (en MW). Fuente [4]

2.2.1. Información de interés sobre la energía eólica en España (2017)

Fabricantes	Potencia eólica instalada en 2017(MW)	Potencia acumulada a cierre de 2017 (MW)	Cuota de mercado sobre el acumulado (%)
Siemens Gamesa	0,00	12.780,39	55,34%
Vestas	20,00	4.147,29	17,96%
GE	0,00	3.152,23	13,65%
Nordex Acciona	0,00	1.913,81	8,29%
Enercon	75,55	606,70	2,63%
Suzlon	0,00	218,00	0,94%
DESA	0,00	100,80	0,44%
Lagerwey	0,00	37,50	0,16%
M-Torres	0,00	46,80	0,20%
Kenetech	0,00	36,90	0,16%
Sinovel	0,00	36,00	0,16%
Repower	0,00	25,00	0,11%
Eozen	0,00	4,50	0,02%
Norvento	0,00	0,40	0,00%
Electria Wind	0,00	0,15	0,00%
Windeco	0,00	0,05	0,00%
Otros	0,23	22,66	0,10%
Total	95,78	23.092	100,00%

Figura 2.6. – Potencia instalada por fabricante (en MW y porcentaje de cuota de mercado). Fuente [2]



Promotor	Potencia eólica instalada en 2017 (MW)	Potencia acumulada a cierre de 2017 (MW)	Cuota de mercado sobre el acumulado (%)
Iberdrola	0,00	5.576,93	24,15%
Acciona Energía	0,00	4.267,82	18,48%
EDP Renováveis	18,00	2.280,99	9,88%
Enel Green Power España	4,60	1.496,15	6,48%
Gas Natural Fenosa Renovables	0,00	1.215,51	5,26%
Eolía Renovables	0,00	529,74	2,29%
Saeta Yield	0,00	512,56	2,22%
Vapat	0,00	471,25	2,04%
RWE	0,00	442,71	1,92%
Olivento	0,00	420,79	1,82%
Enerfín	0,00	390,13	1,69%
Viesgo	0,00	380,61	1,65%
Bora Wind Energy Management	0,00	329,99	1,43%
Medwind	0,00	246,75	1,07%
Renovalia Reserve	0,00	243,96	1,06%
Molinos del Ebro	0,00	234,25	1,01%
Siemens Gamesa	0,00	219,45	0,95%
Ibereólica	0,00	194,30	0,84%
Eólica de Navarra	0,00	134,38	0,58%
Aldesa Energías Renovables	0,00	164,05	0,71%
Elecdey	0,00	140,10	0,61%
Fersa	0,00	128,10	0,55%
Otros	73,18	3.108,67	13,46%
Total	95,78	23.092	100,00%

Figura 2.7. – Potencia instalada por promotores (en MW y porcentaje de cuota de mercado). Fuente [2]

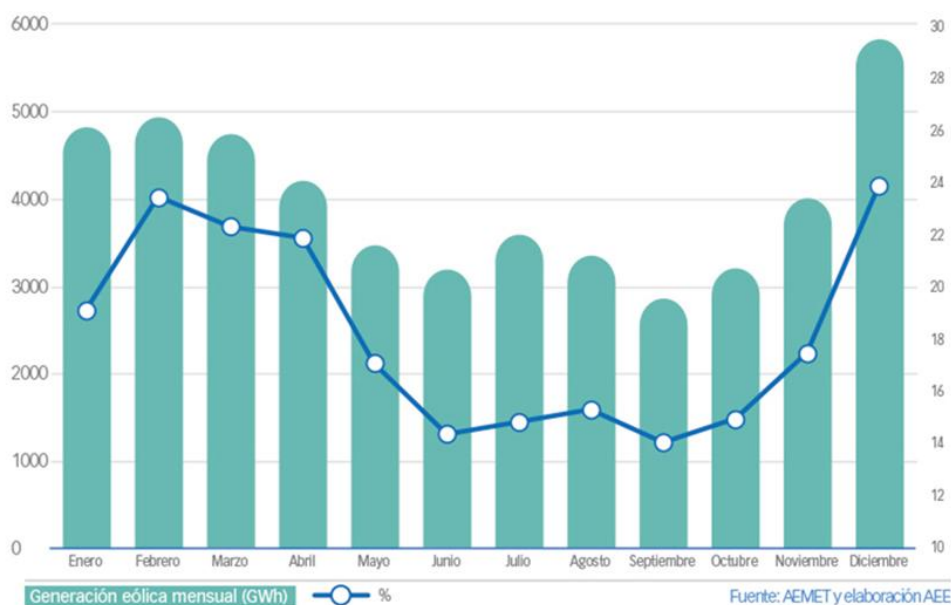


Figura 2.8. – Evolución de la generación eólica mensual en 2017 (en GWh). Fuente [2] y [5]



Potencia eólica instalada por comunidades autónomas en 2017
(en MW y porcentaje de cuota de mercado)

Comunidad Autónoma	Potencia instalada en 2017	Acumulado a 31/12/2017	Porcentaje sobre el total	Nº de parques
Castilla y León	2	5.595	24,23%	244
Castilla-La Mancha	0,225	3.807	16,48%	141
Galicia	16,45	3.354	14,52%	159
Andalucía		3.301	14,29%	152
Aragón	18	1.911	8,28%	89
Cataluña		1.269	5,49%	46
Comunidad Valenciana		1.189	5,15%	38
Navarra		1.004	4,35%	49
Asturias		518	2,25%	23
La Rioja		447	1,93%	14
Murcia		262	1,13%	14
Canarias	59,1	241	1,04%	64
País Vasco		153	0,66%	7
Cantabria		38	0,17%	4
Baleares		4	0,02%	46
Total	95,78	23.092,36		1.090

Figura 2.9. – Potencia eólica instalada por comunidades autónomas en 2017 (en MW y porcentaje de cuota de mercado). Fuente [2]

2.3. Estado del arte – Energía mini eólica

El estado del arte hace referencia a investigaciones de desarrollo alcanzado en un momento determinado en cualquier campo específico de cierta actualidad. Las investigaciones suponen textos académicos que exponen avances de un tema en concreto donde se detallan resultados y enfoques, estos suelen girar sobre cuatro cuestiones. ¿Quién?, ¿cuándo?, ¿dónde? y ¿qué?.

Todo investigador debe realizar una exploración preliminar sobre el estado del arte del tema que desea investigar, esto incluye proyectos e investigaciones previas y trabajos relacionados, así como aportes tanto literarios, científicos y documentales que existen sobre el asunto en cuestión, todo ello le permitirá contar con los antecedentes de su tema y le orientará en su investigación.

El motivo es conocer lo más novedoso del tema a tratar y conocer a sus autores para permitir un contacto si fuese necesario.

En el presente estado del arte he seleccionado de muchos textos académicos ocho en concreto. A continuación, se realiza una redacción de cada de cada una de las investigaciones revisadas.

¿Quién?	¿Cuándo?	¿Dónde?	¿Qué?	Revista / Publicación
Rebeca Manchado Perero	Junio 2017	Madrid	Evaluación de la implantación de energía minieólica	Trabajo fin de grado
Pablo Turrado Garrido	Septiembre 2016	Santander	Instalación de aerogeneradores en la Universidad de Cantabria	Trabajo fin de grado
Ravi Anant Kishore Shashank Priya	Mayo 2013	Blacksburg, Virginia (EEUU)	Design and experimental verification of a high efficiency small wind energy portable turbine (SWEPT).	Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics
Alfredo Ursúa, Idoia San Martín Ernesto L Barrios Pablo Sanchis	Octubre 2013	Pamplona (Navarra)	Stand-alone operation of an alkaline water electrolyser fed by wind and photovoltaic systems	International Journal of Hydrogen Energy

Tabla 2.1. – Tabla resumen estado del arte. Fuente propia.

2.3.1. Evaluación de la implantación de energía minieólica en plantas de tratamiento de residuos municipales

El primer estudio revisado titúlalo es “Evaluación de la implantación de energía minieólica en plantas de tratamiento de residuos municipales”. Realizado por Rebeca Manchado Perero en Junio de 2017, y con la ayuda de su tutora Maria Encarnación Rodríguez Hurtado. Este es un trabajo fin de grado en la universidad politécnica de Madrid. Fuente [6].

El objetivo principal de este proyecto es la evaluación de una instalación de energía minieólica en plantas de tratamiento de residuos municipales y, concretamente, en el complejo de Valdemingómez (Madrid).

Lo primero que se concibe en este proyecto son diferentes contextos sobre aereogeneradores, la energía minieolica en la comunidad de Madrid y diferentes estudios sobre el viento.

Sigue con la localización donde se realiza el estudio, este se sitúa en el Parque Tecnológico de Valdemingómez y hace una gestión de los residuos que se generan en Madrid y Arganda. Dispone de tres centros de tratamiento de los residuos, La Paloma, Las Lomas, Las Dehesas, dos plantas de Biometanización donde se trata la fracción orgánica para producir biogás, una planta encargada de tratar este gas de biometanización con el fin de transformarlo en biometano, y dos plantas de valorización energética que producen energía eléctrica. Una de ellas trata los residuos rechazados en el proceso de clasificación y, la otra, valoriza el biogás del antiguo vertedero.

Realiza un estudio de la demanda de este complejo de gestión integral de los residuos, donde da que el resultado de consumo energético total del parque fue en 2015 de 90.129.780 kWh. Las plantas de Las Lomas y La Galiana produjeron, durante el año 2015, 177.577 MWh y 57.507 MWh de electricidad, respectivamente. En el caso de La Loma, el 72,71% se exportó a la red, y el 27,29% restante se consumió en el propio Centro. En cambio, en la planta de la Galiana, el 9,52% se destinó para el consumo del propio

centro y el 90,5% se exportó a la red. La planta de tratamiento de biogás de biometanización exportó a la red gasista un total de 65.879,6 MWh térmicos.

Hay dos centros, el de la Galiana y Las lomas, que producen la electricidad suficiente para abastecer su propio consumo; por lo que el consumo a abastecer con la implantación de los miniaerogeneradores es de 36.181.177,75 kWh. Al ser un valor bastante elevado, resulta complicado abastecer este consumo con energía minieólica.

Conocida la demanda y capacidad realiza un estudio determinando el número de miniaerogeneradores tipo Windeco Vento (5 kW) de potencia que se podrían instalar en la zona.

La producción energética de los miniaerogeneradores dependerá del número de miniaerogeneradores orientados en cada una de las direcciones elegidas. Se ha decidido orientar 29 de ellos orientados a la dirección WSW y los restantes 27, a la dirección NE. Como resultado de ello, la producción anual estará comprendida entre los 26.859,0– 28.735,9 kWh.

La inversión total entre coste aerogeneradores 358.400 €, obra civil 21.504 €, instalación eléctrica 17.920 € y costes varios 8.960 €, asciende a 406.784 €

Cuantificando los costes evitados de no tener que comprar energía y considerando una producción mínima junto con un precio unitario del kWh de 0,14767 €/kWh, da como resultado unos costes evitados (ingresos) totales anuales de 3.966,3 €.

Concluye que no sería rentable a medio ni largo plazo, al haber poco viento en la zona, 3 m/s, la velocidad con mayor frecuencia.

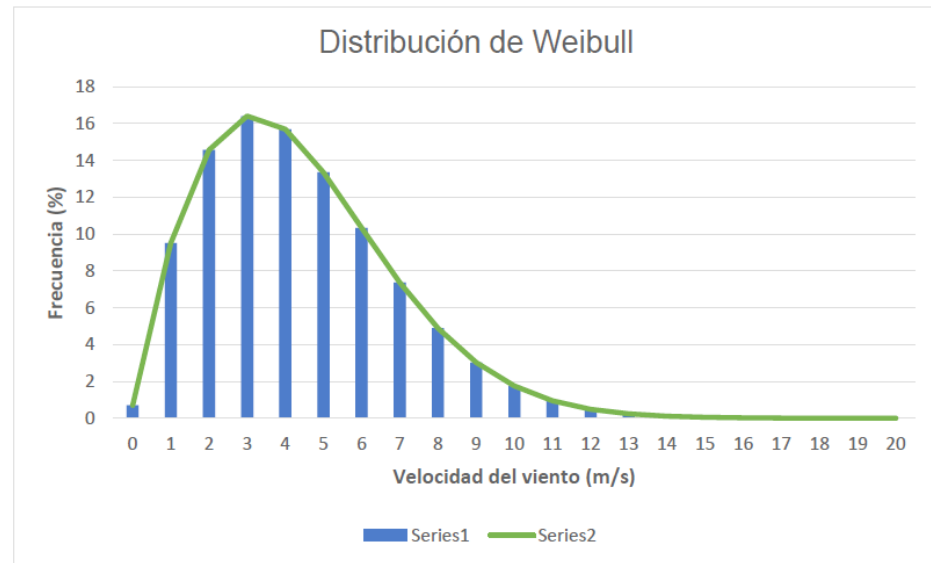


Figura 2.10. – Distribución de Weibull en las coordenadas del emplazamiento escogido. Fuente [6]

2.3.2. Instalación de aerogeneradores de eje vertical en edificio de la universidad de Cantabria

Trabajo desarrollado en la Universidad de Cantabria por Pablo Turrado Garrido en septiembre de 2016 en Santander. Fuente [7].

El objetivo del trabajo fin de grado de Pablo Turrado consiste en ver si la instalación en la cubierta de la Escuela Superior de ingenieros industriales y de telecomunicación de aerogeneradores de eje vertical tiene una viabilidad tanto técnica como económica para producción eléctrica

Continúa con un contexto de energético en la actualidad a nivel global y en España, seguidamente se centra en la selección del aerogenerador, en su caso en lo de eje vertical descartando los horizontales, exponiendo que los aerogeneradores de eje vertical, son de una tecnología más avanzada que los de eje horizontal. De estos actualmente existen más de 150 tipos en el mercado con diferentes opciones ajustándose a la mejor solución para el usuario a la hora de elegir para su instalación.

La ventaja de los aerogeneradores de eje vertical es que no necesitan tanta altura como los horizontales para funcionar, ya que estos necesitan menos vientos al ofrecer su rotor ofrece menos resistencia, sin embargo son menos eficiente y no aprovechan las rachas fuertes.

En su TFG, el autor elige un aerogenerador “Tornado 5000” de la empresa Technowind tipo Griromill, donde describe sus partes y elementos necesarios, como el regulador de carga eólico y el inversor (PVI-6000-TL-W).



Figura 2.11. – Turbina aerogenerador vista vertical. Fuente [7]



Figura 2.12. – Inversor. Fuente [7]

Realiza un estudio de los vientos y concluye que los vientos más fuertes son de noreste a suroeste. Con esta información concluye que debe disponer de cinco aerogeneradores en línea dirección noroeste a sureste, de ese modo no se estorben.

En el estudio de los vientos que realiza concluye que la velocidad media del viento en la zona es de 4,78 m/s, teniendo en cuenta que ese dato obtenido por AEMET es a 10 m y la azotea está a 35 m, utilizando la ecuación obtenemos que la velocidad media en la azotea será de 7,88 m/s.

$$v = v_0 * \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (2.1)$$

Con la velocidad media y la distribución de Weibull calcularemos la probabilidad de que la velocidad del viento oscile de 0 m/s a 25 m/s. Ya que a cada velocidad le corresponde una potencia, con la curva de rendimiento del aerogenerador obtenemos que la producción total de potencia de 1962 W, ahora calcula todas las horas que tiene un año, junto con el número de aerogeneradores a instalar y los diferentes factores de corrección, esto da un resultado de generación neta de 80 KWh.

El presupuesto de la instalación y mano de obra es de 185.000 €, haciendo un estudio utilizando el TIR y el VAR concluye que no es viable económicamente.

2.3.3. Design and experimental verification of a high efficiency small wind energy portable turbine (SWEPT).

Este artículo publicado en la revista científica llamada “Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics”, en su edición 18, el 14 de mayo de 2013. Elaborado por Ravi Anant Kishore y Shashank Priya en el Center for Energy Harvesting Materials and Systems (CEHMS), en Blacksburg (Virginia, EEUU). Fuente [8].

Este estudio prueba teórica y experimentalmente los resultados de un pequeño aerogenerador portátil, en inglés (SWEPT) Small Wind Energy Portable Turbine, de 40 cm de diámetro con vientos de una velocidad de 4 m/s. Los experimentos en el túnel de viento revelan que el SWEPT produce

una potencia nominal a esa velocidad de 1 W y es capaz de producir hasta 2,2 W con velocidades de viento de 5,5 m/s.

2.3.4. Stand-alone operation of an alkaline water electrolyser fed by wind and photovoltaic systems.

Artículo realizado en el departamento de ingeniería eléctrica y electrónica en la universidad de Navarra, por Alfredo Ursúa, Idoia San Martín, Ernesto L. Barriosy Pablo Sanchis. Publicado en la edición 38 de la revista científica “International Journal of Hydrogen Energy”. Fuente [9]

Este artículo informa sobre la representación experimental completa de una pila de hidrógeno de $1 \text{ Nm}^3\text{h}^{-1}$. Específicamente, se realizó un estudio del rendimiento eléctrico, la tasa de producción de hidrógeno, la pureza de los gases generados y energía eficiencia. Para un rango operación de corrientes (40-120 A), de temperaturas (35-65 °C) y presiones de (5-25 bar). Además, se realizó un estudio experimental sobre la operación de la pila de hidrogeno en sistemas eólicos aislados y sistemas fotovoltaicos basados en energías renovables. Los resultados obtenidos de las simulaciones del sistema eólico y fotovoltaico demuestran que la pila funciona correctamente, con respecto al balance del sistema y a las principales características electroquímicas de esta.

2.4 Generación eléctrica autónoma

2.4.1. Información sobre la generación eléctrica autónoma (mini-eólica)

La energía eólica para el hogar en la actualidad es una de las más usadas a nivel mundial, pero en España solo existen unos 10.000 mini aerogeneradores que producen unos 10 Megavatios.

En el mundo son líderes en esta energía mini-eólica en el hogar: Irlanda, Dinamarca, Israel, Italia, Japón, Canadá o Alemania. Mientras que, en España, debido a la legislación sobre las energías renovables (impuesto al sol) ha estado estancada, pero esto en breve cambiará.

➤ **Ventajas**

- Es una energía totalmente limpia y renovable.
- Permite el autoabastecimiento de casas, comunidades y podría funcionar como sistema auxiliar.
- Las pérdidas por transporte y distribución de energía son mínimas.
- Los aerogeneradores pequeños pueden arrancar a 1 m/s al no requerir fuertes vientos.
- No requiere una gran de terreno para su instalación.
- Los costes de mantenimiento son muy bajos.
- Instalación sencilla.
- Tiene un impacto ambiental pequeño.

➤ **Desventajas**

- No todas las zonas son idóneas para el correcto funcionamiento de esta energía. Por esto antes de invertir sería necesario realizan un estudio del potencial

eólico de la zona a instalar para comprobar si es apto o no.

- El sistema podría resultar un poco ruidoso y provocar vibraciones en la vivienda, pero no en todos los casos.
- La instalación dentro de la ciudad podría restar eficiencia al aerogenerador debido a los obstáculos que podría tener el viento, como edificios, arboles...

➤ **Potencial eólico de una vivienda**

Para tener una orientación sobre si nuestra vivienda es apta para montar un aerogenerador domestico podemos acudir diferentes fuentes para obtener datos sobre ella, como el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) u otras fuentes donde nos muestre una rosa de los vientos.

➤ **Tipos de aerogeneradores**

Existen diferentes tipos y cada uno está orientado a diferentes situaciones en función de las necesidades y de los vientos.

La principal diferencia de estos es el eje, que pueden ser en horizontal o vertical.

- *Aerogeneradores de eje horizontal:* son los más usados en una planta eólica convencional. Aprovechan mejor la intensidad de los vientos a altas alturas pero con vientos de baja velocidad son poco útiles.
- *Aerogeneradores de tres aspas de eje horizontal:* Se utilizan en los aerogeneradores de gran tamaño.
- *Aerogeneradores multiaspa de eje horizontal:* Permite aprovechar los vientos débiles.
- *Aerogeneradores de eje vertical:* Son perfectos para vientos de baja velocidad, estos tienen un rendimiento menor que los de aspa horizontal.

➤ **Mantenimiento**

El mantenimiento de los mini-aerogeneradores suele ser una revisión cada año de las diferentes partes del aparato, así como una revisión de tornillos y ajuste de estos en caso de ser necesario.

➤ **Durabilidad**

Varía dependiendo del uso, cuidado y condiciones externas de donde esté instalado, aun así se estima que su durabilidad se comprende de 20 a 25 años.

➤ **Coste de una instalación mini eólica**

El coste cada vez es más económico, actualmente el precio por Kilovatio oscila de los 700 a 2 800 euros. Esto quiere decir que un aerogenerador de 1,5 kW te rondar entre 4 500 y 6 000 euros. Dentro del precio se incluye la instalación y en algunos casos se incluye también un mantenimiento durante un cierto tiempo. Fuente [31].

Sin embargo, si la zona donde se instala tiene viento suficiente, se podría ahorrar en la vivienda un 80% del consumo eléctrico.

He visitado varias páginas on-line de venta de productos relacionados con la energía eólica para tener una orientación con los precios de los diferentes componentes necesarios para su instalación de uso doméstico. Estos varían dependiendo de cada componente y sus características

- **Mini-aerogeneradores**

Van desde los 569 € los 899 € (potencia nominal de unos 300-1000W) y los 17.600€ (potencia nominal de más de 6kW), estos precios varían en función del aerogenerador,

como la potencia, contaminación acústica que producen, materiales que lo hacen más resistente,... Fuente [32].

- **Regulador y baterías**

Hay que tener muchas cosas a la hora de tener en cuenta, pero la media estaría entre 200€ y 400€ cada uno.

- **Inversores**

Alrededor de los 1.000€-2.000€.

- **Contador**

Unos 100€.

Concluyo que existe una gran holgura a la hora de realizar un presupuesto para una instalación mini-eólica doméstica. Aproximadamente para las instalaciones más básicas y que requieran poca potencia irían de los 3.000 € a los 6.000€, sin embargo en las de mayor requerimiento de potencia estaríamos hablando de más de 20.000€.

En todas las aplicaciones de mini-eólica, los costes de mantenimiento son bajos y en gran parte de las ocasiones el propio usuario puede llevar a cabo las tareas comunes de mantenimiento, revisión y sustitución de algunas piezas desgastadas.

Los costes de instalación no suelen ser elevados al no tener que requerir una gran obra ni utilizar maquinaria pesada.

2.4.2. Aplicaciones reales

La instalación de un sistema de energía minieólica tiene diferentes aplicaciones en función de lo que se esté buscando para su uso. Esta instalación está basada en un aerogenerador de corriente continua y los diferentes elementos que necesitaríamos serían:

- *Miniaerogenerador*: elemento principal mediante este aparato transformaremos la energía del viento en energía eléctrica en forma de corriente continua o en trifásica dependiendo del tipo.
- *Inversor*: capaz de convertir de DC-AC en caso de tener un aerogenerador de corriente continua.
- *Sistema de Cableado*: comunica la corriente desde el inversor hasta la toma de corriente.
- *Mástil*: sujeta y da altura al miniaerogenerador.
- *Batería*: se recomienda la instalación para poder almacenar la energía no utilizada y poder utilizarla en caso de ser necesario.

➤ Esquema de instalación minieólica doméstica



Figura 2.13. – Instalación domestica eólica. Fuente [10]

- A. *Aerogenerador*: convertimos la energía del viento en energía eléctrica.
- B. *Acumuladores*: baterías donde acumularemos la energía, esta se utilizará cuando sea necesario como en el caso en que el aerogenerador no esté en funcionamiento.
- C. *Regulador*: previene la sobrecarga y descarga de las baterías controlando la generación del aerogenerador y del estado de las baterías.
- D. *Inversor*: transforma la energía almacenada de DC-AC para uso doméstico: corriente alterna a 230 V.

➤ Esquema de bombeo eólico

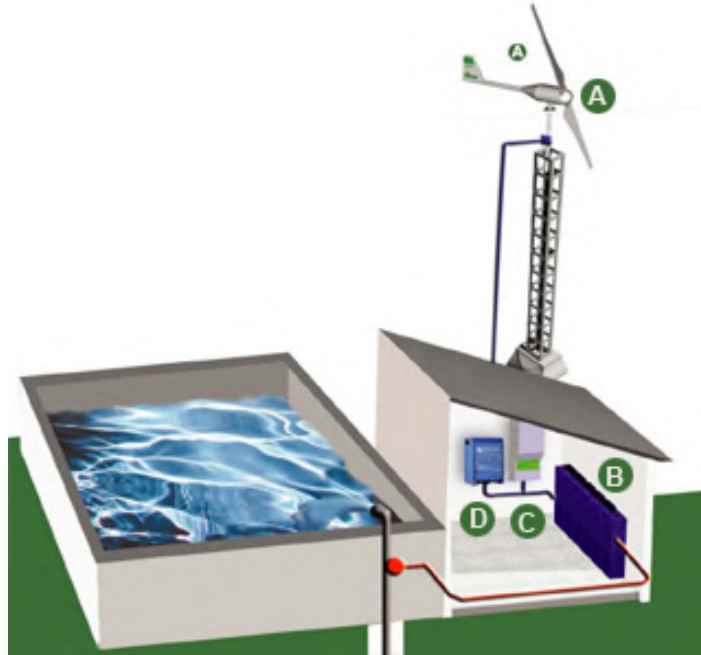


Figura 2.14. – Instalación doméstica eólica. Fuente [10]

- A. *Miniaerogenerador*: convertimos la energía del viento en energía eléctrica.
- B. *Acumuladores*: baterías donde acumularemos la energía, esta se utilizará cuando sea necesario como en el caso en que el aerogenerador no esté en funcionamiento.
- C. *Regulador*: previene la sobrecarga y descarga de las baterías controlando la generación del miniaerogenerador y del estado de las baterías.
- D. *Inversor*: transforma la energía almacenada de DC-AC para uso doméstico, corriente alterna a 230 V.

➤ Esquema de instalación minieólica para venta de electricidad



Figura 2.15. – Instalación domestica eólica. Fuente [10]

- A. *Aerogenerador*: convertimos la energía del viento en energía eléctrica.
- B. *Paneles solares*: transforman la energía del sol en energía eléctrica, que con la energía del miniaerogenerador podría garantizar una producción energética estable durante la mayor parte del año en función de los paneles solares instalados y la potencia del aerogenerador.
- C. *Inversor*: transforma la energía almacenada de DC-AC generada por el miniaerogenerador y/o paneles solares para su vertido a la red eléctrica.
- D. *Regulador*: previene la sobrecarga y descarga de las baterías controlando la generación del miniaerogenerador y paneles solares y del estado de las baterías.

2.4.3. Ejemplos de casos de éxito en edificios

Estos son algunos de ejemplos de casos de éxito de energía minieólica en diferentes edificios:

➤ **Sistema básico para una vivienda individual**

En este caso, este tipo de instalación permite que cada vivienda genera su propia energía y en caso de que demanda fuera superior a lo que produce la instalación se utilizaría la de la red eléctrica. La instalación es sencilla y rápida de amortizar, además se participa en el desarrollo energético del país y se reducen las emisiones de CO₂. Fuente [11].



Figura 2.16. – Instalación domestica eólica. Fuente [11]

➤ **Sistema para pequeñas comunidades**

Similar a la instalación minieólica anterior, en este caso se aprovecha que las viviendas se agrupan y todas tienen su instalación minieólica donde generan energía para todas. Algunas de estas viviendas pueden no consumir y poder producir energía mientras que otras al contrario pueden consumir sin tener que generar, de este modo la producción conjunta es más eficiente. Fuente [11].



Figura 2.17. – Instalación doméstica eólica. Fuente [11]

➤ **Sistema aislado para autoconsumo**

Prácticamente igual al primer caso comentado, pero ahora en caso de no disponer de suficiente generación no se recurre a la red eléctrica, solo se abastece de una única fuente de energía. Es normal verlo en sitios donde el coste de llevar la energía es elevado y son de gran dificultad acceder a ellos, también en los casos donde no existe problema de abastecimiento al tener una producción mayor a las necesidades energéticas. Fuente [11].



Figura 2.18. – Instalación domestica eólica. Fuente [11]

➤ **‘Colmena’ en fachadas**

Este sistema se llama Wind Cube y permite aprovechar la energía del viento en casi cualquier sitio. Se forma una red de paneles modulares y con forma colmena que cubre las fachadas de los edificios, las palas tienen un diámetro de 50cm que se pueden desplegar para mayor eficiencia y funciona incluso con vientos débiles. Fuente [11].



Figura 2.19. – Instalación domestica eólica. Fuente [11]

➤ **Turbinas eólicas en rascacielos**

Este caso no es realmente minieólica, al ser un complejo más grande que una vivienda y requerir mucha más demanda de energía, pero si un claro ejemplo de sostenibilidad urbana. Aquí lo que se busca es aprovechar la altura del edificio y así poder utilizar las corrientes a grandes alturas. El Bahrain World Trade Center es el primer rascacielos que lleva integrados aerogeneradores. Gracias a la altura de las dos torres y sus conexiones entre ambos, se sustentan unas turbinas de 30 metros de diámetro y con forma de vela en ambos bordes, aprovechan los grandes vientos del golfo pérsico. Fuente [11]

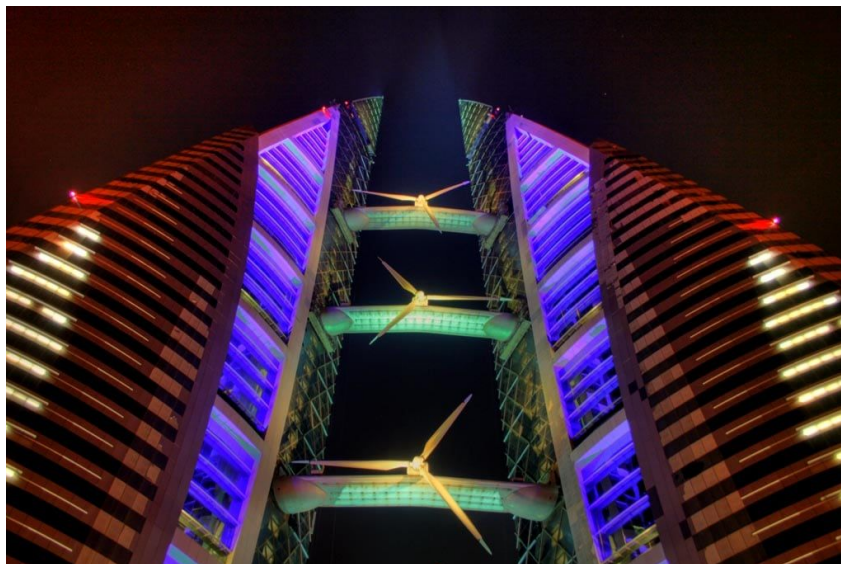


Figura 2.20. – Instalación domestica eólica. Fuente [11]

2.4.4. Fabricantes de miniaerogeneradores

España es un país puntero en tecnología en el sector mini eólico el mundo, aunque debido a los problemas en los últimos años al autoconsumo han sabido adaptarse y llevar a cabo la mayoría de los proyectos a otros países y entornos aislados

Las siguientes empresas desarrollan mini aerogeneradores tanto de eje vertical como horizontal:

- Argolabe Ingeniería
- Baiwind
- Bornay
- Ennera
- Kliux Energies
- Sonkyo Energy
- Norvento
- Sumelec
- Enair
- Marlec (Reino Unido)

➤ ARGOLABE INGENIERIA

Creado por Argolabe Ingeniería está diseñado y ensamblado totalmente en Vitoria (Álava).

El modelo de turbina eólica T100 (100 kW) está enfocada para necesidades que van más allá de dar energía a una sola vivienda como la generación distribuida o autoconsumo eléctrico, conectados a la red. Nos da también la posibilidad de operar en redes aisladas (off-grid) combinándolas con otras fuentes de energía, ya sean renovables como convencionales.



Figura 2.21. – Aerogenerador Argolabe Ingeniería T100 (100kW). Fuente [12]

Permite la conexión en baja tensión sin necesidad de transformador intermedio.

La producción de este aerogenerador a lo largo de un año es excelente ya que debido a la eficiencia de su rotor, a la elevada eficiencia mecánica de su tren de potencia y la alta eficiencia de su sistema eléctrico generador-convertidor permiten un óptimo funcionamiento y aprovechamiento del viento.

➤ **BAIWIND**

Baiwind desarrolla aerogeneradores de eje vertical, gracias a un acuerdo de exclusividad con la empresa también española, Enerlim, que es la propietaria de la tecnología.

Esta empresa, Baiwind, diseña y desarrolla los aerogeneradores de diferentes potencias, estos van desde los 300 W a los 12 kW, donde su uso puede ser para uso doméstico, comercial y áreas aisladas.



Figura 2.22. – Aerogenerador Baiwind. Fuente [13]

Algunos ejemplos de estos usos son:

- Instalaciones rurales o aisladas.
- Bombeos de agua.
- Repetidores de telefonía, TV, etc.
- Campos de Golf.
- Venta de energía.

➤ **BORNAY**

Las gamas de aerogeneradores Bornay son de eje horizontal y van desde los 600 W a los 5000W.

Tiene un mantenimiento muy sencillo que consta de una inspección anual, la cual consiste en un control visual de las diferentes partes y ajuste de la tornillería.



Figura 2.23. – Instalación domestica eólica. Fuente [10]

Al tener unas palas ligeras y que están fabricadas en fibra de vidrio y carbono, mediante un proceso RTM (Resin Transfer Moulding), aseguran unas excelentes prestaciones de funcionamiento y duración.

➤ ENNERA

La empresa Ennera apuesta por la tecnología de aerogenerador de eje horizontal el Windera S de 3,2 kW en la que destaca su eficiencia, seguridad y fiabilidad. Este aerogenerador está preparado para clientes en países en desarrollo.



Figura 2.24. – Aerogenerador Windera S (Ennera) en Ibarra (España). Fuente [14]

Tiene una instalación sencilla y un mantenimiento muy bajo, es ideal para sitios donde la media de los vientos anuales sobrepasen los 5 m/s.

➤ **KLIUX ENERGIES**

La empresa Kliux Energies fabrica y comercializa a nivel mundial aerogeneradores de eje vertical de diseño y tecnología propia y patentada que van de los 2 kW a los 6 kW, donde además pueden ser integrados con módulos solar fotovoltaicos.



Figura 2.25. – Aerogenerador Kliux Energies. Fuente [15]

➤ **SONKYO ENERGY - WINDSPOT**

Sonkyo Energy empresa cántabra con centro de pruebas en Soria, dispone del modelo de aerogeneradores de energía mini eólica WINDSPOT, creados con los estándares de calidad. Los buenos resultados en sus aerogeneradores hacen que estén en la vanguardia mundial en este sector. Al tener la certificación del CIEMAT y SEPEN también forma parte de las certificaciones correspondientes en USA e Inglaterra. La gama de potencias del modelo Windspot va de los 1,5 kW a los 15 kW.



Figura 2.26. – Aerogenerador Sonkyo Energy. Fuente [16]

➤ NORVENTO

El aerogenerador nED100 (100 kW) puede contribuir a que tu empresa pequeña o mediana reduzca su factura energética. Nuestro producto está especialmente diseñado para que empresas pequeñas y medianas puedan aliviar el peso del consumo eléctrico en su cuenta de resultados.

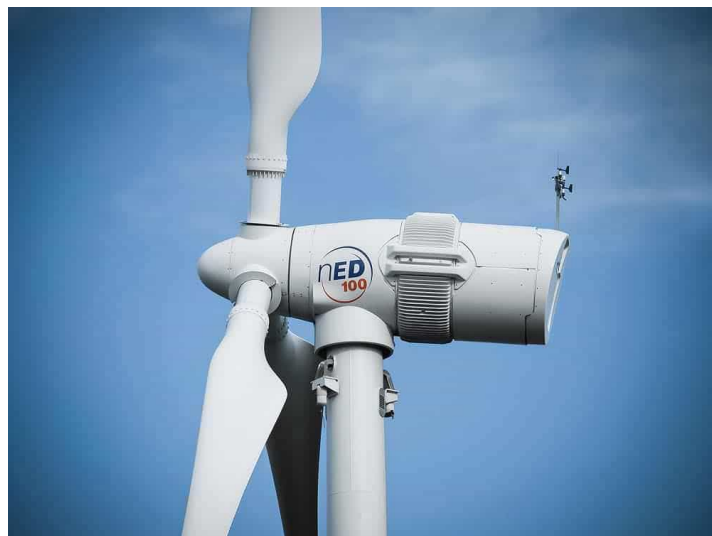


Figura 2.27. – Aerogenerador Norvento nED100. Fuente [17]

➤ **SUMELEC**

Sumelec dispone de un aerogenerador de 100 kW, el AIR-100. Está diseñado para suplir las necesidades de una instalación mini-eólica como el autoconsumo de vivienda o industria y de la generación distribuida.



Figura 2.28. – Aerogenerador Sumelec AIR-100. Fuente [18]

➤ **ENAIR**

La empresa alicantina ENAIR tiene experiencia en la minieólica desde 1970. Cuenta con aerogeneradores de pequeña potencia que van de los 3 kW a los 60kW.

Por los profesionales del sector de pequeña potencia de aerogeneradores consideran que el fabricado por la empresa Enair es el que existe actualmente en el mercado.



Figura 2.29. – Aerogenerador Enair E30PRO. Fuente [27]

➤ **MARLEC**

Como excepción a las empresas españolas he añadido una inglesa, Marlec, esta empresa se dedica a la creación de aerogeneradores para barcos y veleros. La energía creada se almacena en baterías y puede ser utilizada para la alimentación del arranque del motor, luces, equipos de navegación y electrodomésticos de bajo consumo. Estos aerogeneradores no se mucha potencia, encontramos desde 60 W a 300 W, ideales para los usos comentados anteriormente.



Figura 2.30. – Aerogenerador Marlec Rutland 914 instalado en un velero. Fuente [28]

EMPRESA	POTENCIAS	
Argolabe Ingeniería	100 kW	
Baiwind	370 W - 11 kW	(370 W, 550 W, 750 W, 1,1 kW, 2,2 kW, 1,5 kW, 3 kW, 5,5 kW, 7,5 kW, 11 kW)
Bornay	600 W - 6 kW	(600 W, 800 W, 1,5 kW, 3 kW, 6 kW)
Ennera	3,2 kW	
Kliux Energies	2 kW - 6 kW	(2 kW, 4 kW, 6 kW)
Sonkyo Energy	1,5 kW	(1,5 kW, 3,5 kW, 7,5 kW, 15 kW)
Norvento	100 kW	
Sumelec y Boreas	100 kW	
Enair	3 kW - 60 kW	(3 kW, 5 kW, 10 kW, 20 kW, 60 kW)
Marlec	60 W - 300 W	(60 W, 80 W, 140 W, 300 W)

Tabla 2.2. – Tabla resumen de potencias (Gama de potencias). Fuente propia.

2.4.5. Legislación de autoconsumo actual (RD 5 abril 2019)

Aunque mi trabajo fin de grado no está evaluando una instalación de autoconsumo, sino una instalación autónoma o aislada de la red, me parece interesante e importante tratar la nueva legislación de autoconsumo (generación distribuida) para futuros casos en los que el excedente eólico quiera verterse a red y la instalación pueda amortizarse vendiendo la energía a la red de distribución.

La nueva normativa de autoconsumo fotovoltaico aprobada recientemente por el consejo de ministros ha traído muchísimos cambios al mundo de la generación fotovoltaica al mundo de la generación de energía. Hemos pasado de un sistema regulatorio en el que básicamente se impedía la colocación de placas solares o se limitaban muchísimo a un sistema en el que no es que se incentive, es que simplemente se deja al ciudadano ya las empresas generar su propia energía se pone al ciudadano y a los productores de energía en el centro de la transición energética en el centro de poder generar nuestra propia energía. Fuente [30].

Son cinco grandes cambios los que trae esta normativa:

1. *Se elimina cualquier tipo de tasa o de impuesto a la generación fotovoltaica.*
2. *Se establece un balance neto o compensación de consumo:* esto quiere decir que los excedentes que generen nuestra planta fotovoltaica van a ser vertidos a la red eléctrica y la red eléctrica a través de las comercializadoras va a compensar este vertido al final del mes en nuestra factura eléctrica.
3. *Se establece y se permite el autoconsumo compartido:* de este modo una comunidad de vecinos un polígono industrial o cualquier asociación va a poder generar su energía fotovoltaica y compartirla de la manera que ellos establezcan.

4. *Se elimina cualquier límite a la potencia instalada:* anteriormente nada más podríamos instalar que la potencia que teníamos contratadas, ahora mismo se puede instalar cualquier potencia en los tejados finalmente.
5. *Se permite que terceras empresas sean las que exploten las instalaciones fotovoltaicas:* esto va a permitir que una empresa alquile el tejado de una nave industrial y comparta los beneficios de ese tejado con él con la empresa donde se establecen las placas solares.

➤ MODALIDADES DE AUTOCONSUMO

Una de las novedades de la normativa de autoconsumo es que nos va a aclarar cuáles son las modalidades de autoconsumo, por un lado tenemos:

- *Autoconsumo sin excedentes:* va a ser aquella en la que no producimos más energía de la que necesitamos y colocamos un aparato a la entrada de nuestro edificio de nuestra vivienda de nuestra oficina para limitar que en un determinado caso el excedente de energía fotovoltaica salga a la red.
- *Autoconsumo con excedentes:* vamos a tener una instalación fotovoltaica que en determinadas ocasiones no solamente va a satisfacer nuestras necesidades energéticas sino que va a mandar energía a la red eléctrica en esta modalidad tenemos dos casos:

1. *La compensación de excedentes:* vamos a obtener una compensación por la energía que mandamos a la red eléctrica.

Realmente podríamos llamarlo balance neto, en este real decreto lo llaman compensación de consumo. La realización de esta compensación de consumo se va a realizar a través de saldo, la energía que nos sobra vamos a verterla a la red y nuestro contador bidireccional va a registrar los kilovatios que vertemos. La compañía comercializadora va a asignar un valor a estos a estos vatios que vertemos y posteriormente nos los va a restar de la

factura eléctrica. El valor que nos va a asignar a esos vatios va a depender de varios factores entre ellos el precio de la energía de pool en esa en esa hora en la que compramos la energía y también va a depender de las ofertas que saquen las comercializadoras en determinado momento.

2. *La compensación no simplificada*: que es aquellos casos en los que al mandar energía a la red eléctrica lo vamos a hacer en formato de venta de energía, la energía que nos sobra la vendemos.

La compañía eléctrica directamente nos comprara la energía sobrante a un precio que también negociaremos con la comercializadora y que nos abonarán cuando corresponda.

➤ LA MODALIDAD DE AUTOCONSUMO QUE NOS CONVIENE

Esto va a depender de diferentes factores, pero fundamentalmente va a haber uno que lo va a marcar todo va a ser la potencia instalada:

- *Potencia instalada sea inferior a 15 kilovatios*: Para la mayoría de las viviendas y las pequeñas empresas lo más interesante va a ser acogerse a la modalidad de autoconsumo compensado, porque en primer lugar la tramitación va a ser muy sencilla por debajo de 15 kilovatios no tenemos que tramitar nada con la comercializadora simplemente vamos a rellenar nuestro boletín de instalación que lo va a hacer en este caso cambio energético y vamos a comunicarlo a la comunidad autónoma. Ella se pondrá en contacto con la comercializadora y al final de mes nuestra factura vendrá con la compensación de los consumos y del vertido que hemos que hemos tenido.

- *La instalación de más de 15 kilovatios:* nos va a interesar acogernos a algunas de las modalidades dependiendo un poco de la cantidad de excedentes que tengamos. Por ejemplo si tenemos una instalación de 30 kilovatios en nuestros consumos normalmente rondan los 40 kilovatios no nos va a interesar hacer una compensación de excedentes porque a partir de 15 kilovatios si necesitamos realizar unos trámites de acceso y conexión a la red eléctrica que pueden ser un poquito tediosos dependiendo del caso, entonces en estos casos nos va a convenir hacer una instalación de autoconsumo sin invertido, cuya legalización va a ser muy simple y muy rápida y vamos a poder disponer en nuestra instalación rápidamente.

En los casos en los que tengamos mucho sobrante de energía. Va a ser interesante hacer una compensación de excedentes y en los casos en los que, por ejemplo, tengamos consumos muy dispares a lo largo del año, como una almazara de aceite que tiene unos consumos muy elevados en invierno y muy pequeños en verano pues ahí nos va a interesar hacer un autoconsumo sin compensación, como la compensación no se produce en mes a mes nos va a interesar vender la energía sobrante y recibir el dinero correspondiente por la venta de nuestros kilovatios solares.

- *Instalación fotovoltaica es más de 100 kilovatios:* no podemos acogernos a la primera modalidad de autoconsumo con excedentes, por un lado vamos a auto consumir nuestra energía solar y por otro lado en la parte de excedentes la vamos a vender a la compañía eléctrica al precio que corresponda según el mercado.

Todo esto querría resumido de la siguiente manera:

- *Por debajo de 15 kilovatios:* viviendas, va a interesar siempre compensar consumo, auto consumir la energía proveniente del sol y

el sobrante que nuestra compañía eléctrica a final de mes nos lo descuenta de la factura eléctrica.

- *Industrias entre 15 y 100 kilovatios:* dependiendo de la cantidad de excedentes que vayan a tener va a interesar hacer un autoconsumo sin vertido o hacer un alto consumo con compensación de excedentes. Hay que dejar claro que en este caso va a haber que hacer siempre unos trámites de acceso y conexión a la red eléctrica. Estos trámites pueden ser más o menos complejos dependiendo de la situación de la industria.
- *Instalaciones de más de 100 kilovatios:* estas instalaciones se pueden plantear también se invertido a la red pero lo más lógico por la cantidad y volumen de los excedentes que se pueden generar va a ser hacer un vertido sin compensación de consumo simplificada, es decir un autoconsumo con venta de energía a red, que directamente la compañía eléctrica va a abonar.

El asunto más novedoso y más interesante que trae la normativa sobre autoconsumo es quizás la compensación de consumos o balance neto.

La nueva normativa de autoconsumo no habla específicamente de balance neto, pero si lo hace de compensación de consumos. Por ejemplo, un saldo de 6 céntimos vatio, este saldo va a ser acumulado y al final de nuestro mes de facturación nuestra compañía nos va a descontar ese saldo acumulado de la factura eléctrica y por supuesto las viviendas pueden acogerse al balance neto o compensación de consumo.

Es sin lugar a dudas uno de los casos más interesantes porque durante las horas de insolación solar puede ser que haya usuarios que no estén en la vivienda y que por lo tanto tenga un poco consumo eléctrico y de esta manera la producción solar se va a convertir en un excedente que va a ir a la red eléctrica para acumular el saldo de estos vatios vertidos y nos los va a reembolsar al final de mes en nuestra factura eléctrica.

Las industrias también pueden acogerse a la compensación de consumo, hay industrias que cierran a mediodía, por la tarde, en verano por

vacaciones del personal... en todas estas horas acumuladas de sol en excedente fotovoltaico van a ser compensadas a final de mes en la factura eléctrica. También estaría la posibilidad en las industrias de acogerse a la al autoconsumo sin compensación que en realidad es un autoconsumo en el que nos van a pagar por el excedente vertido.

La factura eléctrica se compone de dos términos el término de potencia que va a ser un término fijo y la energía activa, energía que compramos de la red eléctrica, en el que sí podríamos ahorrarnos el 100% de la factura, se va descontar de este término de energía comprada y por otro lado la energía que nosotros estamos vertiendo a la red en forma de energía excedentaria.

El precio del kilovatio es muy cercano al precio del kilovatio en el mercado mayorista fotovoltaico este precio viene a ser entre 4 y 6 céntimos el kilovatio esto de todas formas depende de lo acordado entre la compañía eléctrica y el usuario.

El real decreto de entrar en funcionamiento a partir del día 6 de abril del 2019 pero el mismo real decreto le da a las comunidades autónomas tres meses y a las compañías eléctricas cuatro meses para actualizar sus protocolos y poder descontar de la factura eléctrica los excedentes es decir en realidad nosotros podemos empezar a comunicar a las comunidades autónomas el día mismo que nuestras instalaciones están acogidas al real decreto de autoconsumo pero en realidad esta compensación de consumos probablemente no entre en vigor hasta dentro de tres o cuatro meses es decir aproximadamente en agosto del 2019.



1. Objetivos:

El objetivo no es la optimización de energía eléctrica renovable en una zona de Linares, ya que ni Linares ni el Campus son unos sitios óptimos para ello. De haber sido así, se hubiera elevado a más metros de altura donde el aire no interfiriera con ningún muro de ningún edificio; o directamente, se hubiera localizado en otro lugar donde se conociera un gran movimiento de aire durante la mayoría de días del año, como por ejemplo una zona costera. Desde el punto donde se instaló el aerogenerador bornay de 600W lo que se realiza es un estudio y análisis experimental desde la azotea del edificio de laboratorios L-152, para obtener de forma experimental la curva de producción eléctrica y rendimiento del aerogenerador Bornay 600W y compararla con la curva de producción eléctrica teórica que nos proporciona el fabricante. Para ello se ha utilizado los siguientes elementos de medida: analizador de redes, termo anemómetro y multímetro.

Se realiza diferentes medidas durante un periodo extenso siempre que haga viento y permita el arranque del aerogenerador, ya que en Linares la media del viento es muy baja y las rachas de viento son escasas, de modo que se ha estado pendiente de los días clave para poder realizarlas y de poder caracterizar el potencial eólico en el punto de instalación. Estos datos de generación han podido recogerse con un analizador de redes por intervalos de 5 segundos, también se ha contado con la ayuda de un termo anemómetro que me ha permitido medir la velocidad del viento y poder cotejar los datos del analizador.

También aprovechando los diferentes equipos del laboratorio se ha estudiado el rendimiento del inversor o convertidor DC-AC y obtenido la curva de rendimiento eléctrico de un inversor de aislada de 800 VA de potencia aparente conectado a una bancada de baterías de ácido plomo de 12 V de tensión nominal DC.

4. Materiales y métodos:

A continuación en este cuarto apartado por un lado se enumerarán los componentes fundamentales de cada sistema que componen el sistema de generación eléctrico aislado como los elementos comunes de esta, se mostraran imágenes reales de cada componente ya instalado ubicación dentro del laboratorio 152 del Campus de Linares y su tabla de características así como los detalles más relevantes de cada elemento.

Por otra parte se muestra la ubicación donde está situada el aereogenerador dentro del Campus Científico Tecnológico de Linares tanto los componentes del exterior como los componentes instalados en el interior del edificio.

Por último en el apartado de metodología y métodos se mostraran los procesos de obtención de todos los datos obtenidos para la realización. También estará el proceso de obtención de los datos del viento y las mediciones con el analizador de redes de los días de alto potencial eólico en el campus de Linares.

4.1. Materiales utilizados

Ahora se enumerarán los elementos que componen cada parte de la microgrid y los elementos comunes, se mostraran imágenes reales de los elementos ya instalados y sus características de funcionamiento.

4.1.1. Esquema unifilar de la instalación

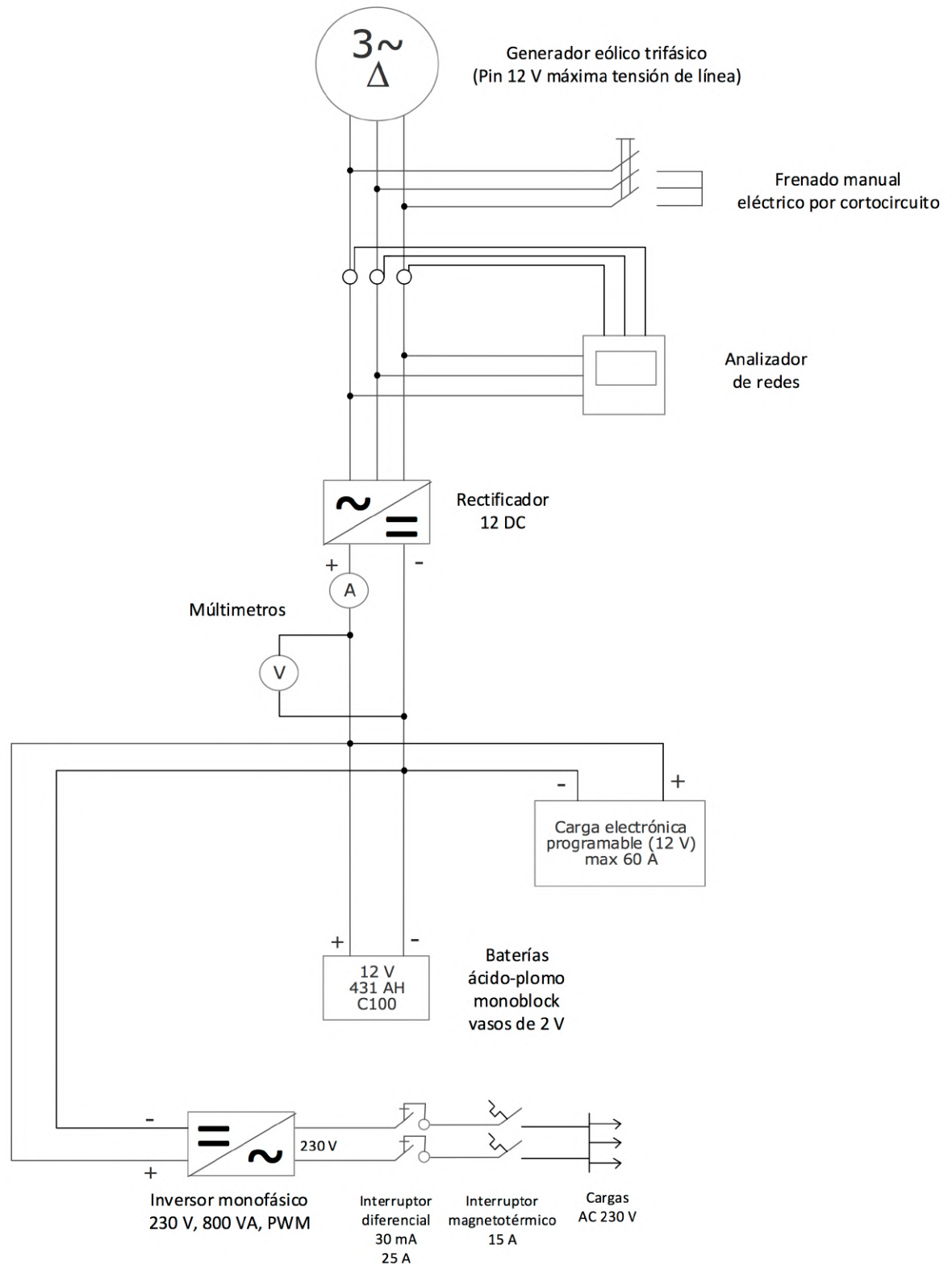


Figura 4.2 – Esquema unifilar de la instalación. Fuente propia.

4.1.2. Partes del sistema eólico autónomo

Los componentes que componen el sistema eólico de la microgrid aislada son los siguientes:

- *Aerogenerador:* El aerogenerador Bornay 600, fabricado en España, es un aerogenerador bipala de 2 m de diámetro y 600 vatios de potencia nominal, está realizado en fibra de vidrio y tiene un peso de 38 kg. Su giro es antihorario a 1000 rpm, la velocidad de arranque es de 3 m/s, la de su potencial nominal es de 11 m/s y la de frenado automático es de 13 m/s. Su alternador es trifásico de imanes permanentes de ferrita y su voltaje son 12 V. Está diseñado para carga de baterías o conexión a red. En el apartado de anexos se especifica más información.

En la tabla 4.1 se resumen las características técnicas del mismo, de acuerdo con los datos suministrados por el fabricante:



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Número de hélices	2
Diámetro	2 mts.
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	Anti-horaria
ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS	
Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Ferrita
Potencia nominal	600 W
Voltaje	12 V
RPM	@ 1000
Regulador	12v 60 Amp
VELOCIDAD DEL VIENTO	
Para arranque	3,5 m/s
Para potencia nominal	11 m/s
Para frenado automático	13 m/s
Máxima	60 m/s
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Peso aerogenerador	38 Kg
Peso regulador	7 Kg

Tabla 4.1 – Características aerogenerador Bornay 600. Fuente propia.



Figura 4.2 – Aerogenerador Bornay 600. Fuente propia.

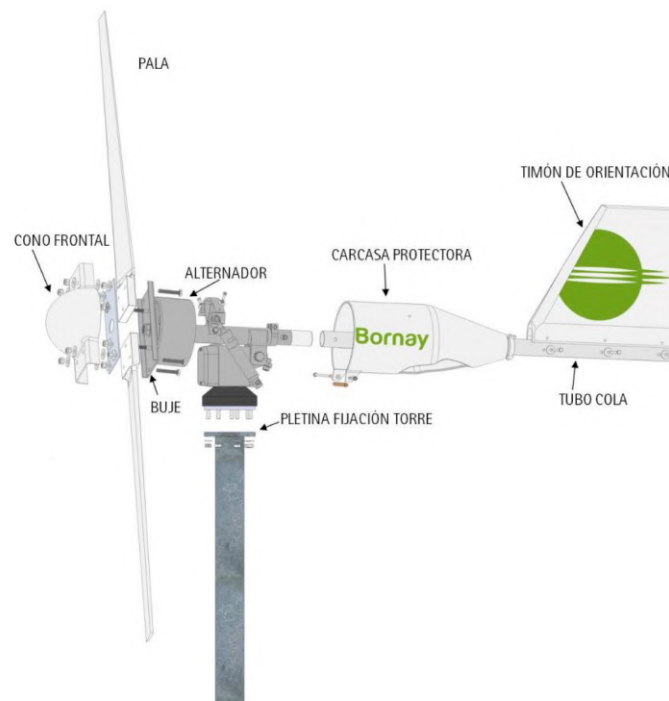


Figura 4.3 – Piezas del aerogenerador. Fuente [10]

- *Estructura del aerogenerador.* Torre P-750 Estructura de acero galvanizado en celosía de 3 m de altura soldada a una plancha de acero de 2 m². En el apartado de anexos encontraremos los planos de esta con sus medidas. Figura 4.13.



Figura 4.4 – Aerogenerador fijado en su estructura. Fuente propia.

- *Regulador de cargas del aerogenerador:* Controlador de carga o regulador digital AC-DC de 12 V y 60 A de la marca Bornay diseñado para funcionar con este aerogenerador. Está provisto de una entrada de trifásica que baja del aerogenerador y una salida +/- que va al acumulador. Figura 4.13.

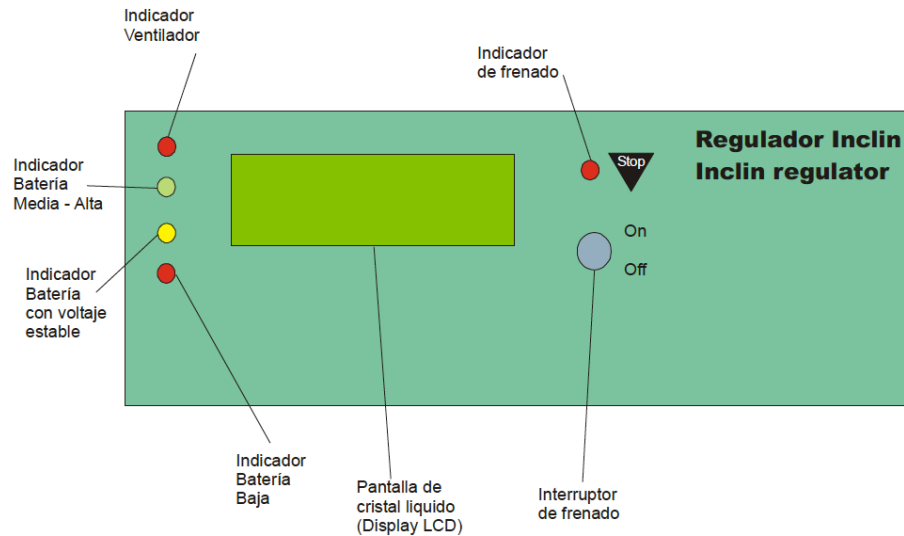


Figura 4.5 – Interpretación visual del panel frontal. Fuente [10].

La energía que proviene del aerogenerador se utiliza para cargar las baterías y esta para el consumo del usuario. Cuando las baterías estén descargadas y el viento acompañe, el regulador estará aportando energía a las baterías. Se puede pre programar cierto valor para que cuando se llegue a ese valor haga que el regulador frene el aerogenerador mediante impulsos eléctricos, introduciendo cargas controladas al aerogenerador.

El consumo del regulador/inversor es despreciable. Dispone de freno manual. Las resistencias internas de disipación que posee el regulador, y su parte superior pueden calentarse en día de mucho viento en el caso de estar cargadas. Figura 4.14.



Figura 4.6 – Regulador / Inversor fijado en pared. Fuente propia.

- *Baterías de almacenamiento:* La función principal es el almacenamiento de energía. En este caso tenemos formado un banco de 6 baterías plomo-ácido conectadas en serie, figura 4.17.



Figura 4.7 – Tipo de batería utilizada en el banco de baterías. Fuente propia.

Cada una de las baterías es de 2 V modelo “Bae Secura PSV Solar”. Esto hace que formen un banco de 12 V. Son baterías estacionarias con una capacidad de 431 Ah y C100. Hoja de características o “data sheet” en el anexo. Figura 4.17.



Figura 4.8 – Tipo de batería utilizada en el banco de baterías. Fuente [24]

- *Carga electrónica programable:* una Carga electrónica programable de AC sirve para caracterizar fuentes de AC, simulando múltiples perfiles de carga, disponiendo, habitualmente, de varios modos de trabajo, como corriente constante, tensión constante, resistencia constante o potencia constante.

Esto permite realizar ensayos con diferentes características en función de lo que estemos buscando, ya sea frecuencias, factores de cresta, formas de onda, medidas de tensiones, corrientes, potencias, factor de potencia, etc.

Se usa habitualmente en ensayos de transformadores, alternadores, aplicaciones de aviónica, pilas de combustible, Inversores de potencia, etc. La carga electrónica programable de la instalación será “Ametek” modelo Amrel Pel Series 60 - 600 V, 60 - 600 W.



Figura 4.9 – Carga electrónica programable. Fuente [29]

- *Inversor DC – AC Phoenix 12|800*: Un inversor es un dispositivo que se encarga de transformar un determinado voltaje a la entrada de corriente continua (DC) en otro voltaje a la salida de corriente alterna (AC). El de esta instalación será un inversor marca “Victron energy” modelo “Phoenix 12/800” para pasar a 230 V monofásica. Figura 12.



Figura 4.10 – Inversor “Victron energy” modelo “Phoenix 12/800”. Fuente propia.

- *Protecciones*: Diferencial más magnetotermico. El interruptor diferencial tiene una sensibilidad 30 mA y es de 25 A, y su función es la de proteger y evitar accidentes eléctricos e incendios provocados por derivaciones. El interruptor magneto térmico es de 15 A, y su función interrumpir la corriente eléctrica cuando este sobrepasa ciertos valores máximos.

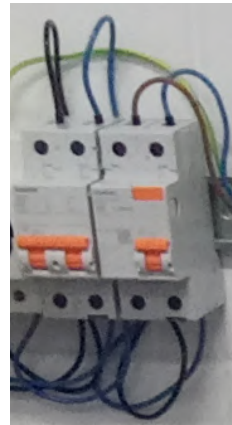


Figura 4.11 – Interruptor diferencial (derecha) e interruptor magnetotérmico (izquierda). Fuente propia.

- *Cargas en AC monofásicas:* diferentes cargas de aparatos eléctricos que se utilizan en el laboratorio.
- *Instalación eléctrica:* Para el aerogenerador se ha utilizado conductores $3 \times 16 \text{ mm}^2$ en una manguera libre de alógenos RZ1-K(AS) de 20 mm de diámetro. Bajo tubo corrugado reforzado de 32 mm de diámetro. Hay que subrayar que no se han realizado ningún tipo de cálculos eléctricos para determinar la sección de los conductores, ya que el fabricante nos facilita esto.

Las recomendaciones mínimas de la instalación así como el cableado entre batería y el regulador se especifica en la Tabla 4.3.

Modelo	Cable Batería	Batería Mínima
Bornay 600/12 V	16 mm ²	550 Ah C100

Tabla 4.2 – Secciones de conductores entre batería y regulador. La batería utilizada es de menor capacidad (431 Ah C100). Fuente [45].

La determinación del cable que se de utilizar para la bajada va en función de los metros de distancia que se separa del cuadro de control y características del aerogenerador, este cable conductor de cobre se determina en la Tabla 4.4.

Modelo	$I_{ac} \times \text{fase (A)}$	0-20 m	20- 40 m	40-60 m	60-80 m	80-100 m
Bornay 600/12V	17	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	50 mm ²

Tabla 4.3 – Secciones de bajada en función de la longitud de la longitud. Fuente [45].

4.1.3. Elementos de medida utilizados

- *Analizador de redes.* Instrumento que analiza las propiedades de las redes eléctricas, especialmente aquellas propiedades asociadas con la reflexión y la transmisión de señales eléctricas, conocidas como parámetros de dispersión. El analizador de redes utilizado es de la marca francesa “Chauvin Arnoux” y modelo “C.A. 334B”. Figura 4.16.



Figura 4.12 – Analizador de redes. Fuente propia.

- *Termoanemómetro Extech AN300 CFM/CMM con paleta grande:*
Mide la velocidad del aire, el flujo de aire y la temperatura. Dispone de una paleta de 10 cm que permite lecturas más precisas. Realiza cálculos de puntos múltiples y el promedio temporizado, también da un mínimo y máximo de las mediciones así como la retención de datos. Figura 4.15. Características principales en la tabla 4.2.



Figura 4.13 – Termo anemómetro Extech AN300. Fuente propia.

Velocidad del aire	Escala	Resolución	Precisión
m/s (metros por segundo)	0.2 m/s	0.01 M/s	± (1.5% lect. + 0.3 m/s)
fpm (pies por minuto;)	40 – 5900 fpm	1 fpm	± (1.5% lect. + 59 fpm)
Flujo del aire (Volumen)	Escala	Resolución	Escala de área
MCM (metros cúbicos/min)	0-99999 m ³ /min	0.1 hasta 9999.9 luego 1.0	0 a 99999 cm ²
PCM (pies cúbicos/min)	0-99999 ft ³ /min	0.1 hasta 9999.9 luego 1.0	0 a 99999 in ²
Temperatura del aire	Escala	Resolución	Precisión
°C/F	-20 a 60°C (-4 a 140°F)	0.1°C/F	±0.6°C (-20 a 50°C)
			±1.2°C (51 a 60°C)
			± 1.1°F (-5 a 122°F)
			± 2.2°F (123 a 140°F)

Tabla 4.4 – Características Termo anemómetro Extech AN300. Fuente propia.

- *Polímetros:* Un polímetro es un aparato capaz de medir la tensión, la resistencia y la intensidad de un sistema. En nuestro caso usaré un polímetro marca “Keysight” modelo “U1252B”. Figura 4.9.



Figura 4.14 – Polímetro o multímetro de laboratorio. Fuente propia.

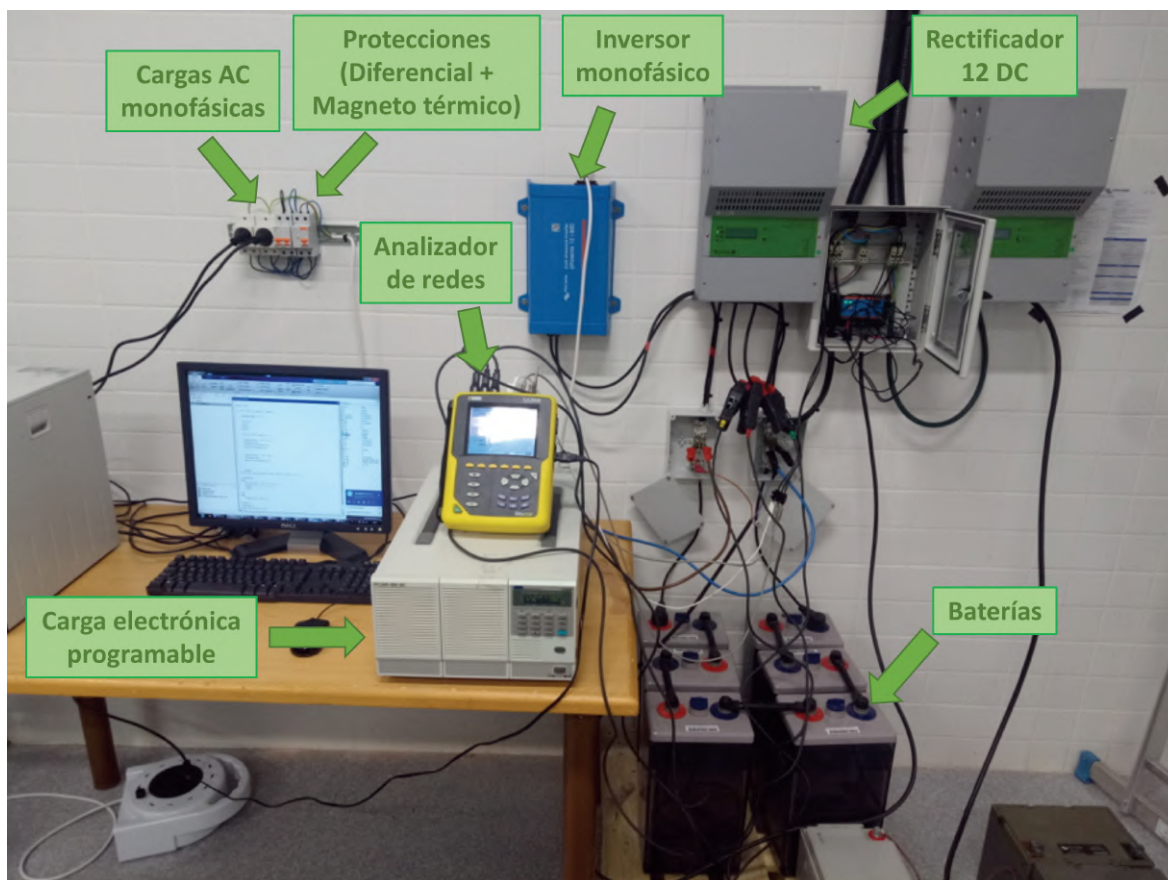


Figura 4.15 – Equipo de medición conectado. Fuente propia.

4.2 Localización

4.2.1. Evaluación de la instalación

Una estimación de la instalación es de vital importancia a la hora del aprovechamiento del potencial energético y el cálculo de la producción eólica.

Para el aprovechamiento del potencial eólico de la zona es necesario tener en cuenta diversos aspectos, que son:

- Localización de la instalación
- Estudio de campañas de media.
- Análisis de los datos.
- Cálculos energéticos de los datos.
- Condiciones adecuadas de la instalación del aerogenerador
- Análisis de incertidumbres.

Los agentes más importantes a la hora de hacer un estudio de la instalación son:

- **RUGOSIDAD DEL TERRENO:** Dependiendo del terreno este puede provocar una fuerza de rozamiento que haga frenar el viento, esta fuerza depende del tipo de terreno.
- **ESTABILIDAD ATMOSFÉRICA:** Dependiendo de las temperaturas y presiones en el sitio de instalación variará en función de estables, inestables o neutras.
- **VARIACIÓN CON LA ALTURA DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO:** La velocidad del viento aumenta con la altura.

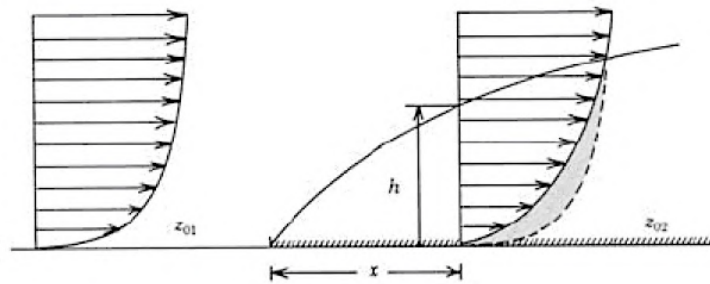


Figura 4.16 – Variación vertical con la velocidad y efecto de la rugosidad.

Fuente [22]

Los factores anteriores son los más globales, pero existen otros factores más localizados que afectan en la determinación de la instalación final, estos pueden ser de origen térmico: vientos de valles, de ladera y brisas, y otros de origen orográficos: canalizaciones de viento, obstáculos orográficos, valles, efectos barrera, etc.

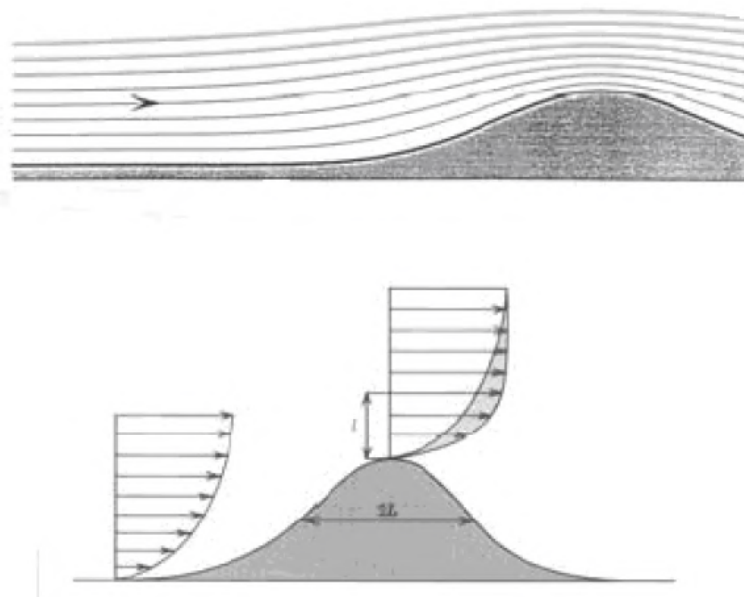


Figura 4.17 – Efectos orográficos. Fuente [22]

Con todo esto hay que seleccionar un sitio para la instalación óptimo, las pautas de selección que se tienen en cuenta son:

DE NATURALEZA TÉCNICA:

- Elevado potencial eólico.
- Dirección del viento adecuada al sitio de instalación.
- Velocidades de Vientos altas y turbulencias aceptables.

DE NATURALEZA NO TÉCNICA:

- Disponibilidad de evacuación a distancia prudente.
- Disponibilidad de terreno.
- Marco regulatorio adecuado.
- Restricciones medioambientales de la zona.

Una vez que tenemos un terreno con un potencial adecuado, se comprueba “in situ” para su verificación que demuestre la existencia de viento o no en el lugar de la instalación y delimitando otros sitios potenciales de la zona, también sería necesario la definición de las campañas de medida.

Las campañas de medida se realizan como comprobar tanto espacial como temporal la variabilidad del viento, para ello en necesarios datos de las medidas y a diferentes alturas. Esto requiere de instrumentos de medida, tales como:

- Anemómetros, para medir la velocidad del viento.
- Velela, para saber la dirección del viento.
- Sistema de adquisición de datos.
- Barómetro.
- Sensores de humedad y de lluvia.
- Anemómetros de velocidad vertical.

4.2.2. Localización de la instalación

En el caso de este estudio teórico experimental, las cosas difieren un poco, al no estar la ubicación en un parque eólico la producción del aerogenerador no será muy elevada además de tener una eficiencia un poco reducida, por lo que no tendría sentido hacer una inversión económica en el análisis de la situación.

La instalación del equipo se encuentra en la azotea del edificio de laboratorios del Campus científico-tecnológico de Linares (Jaén), situado en $38,09^\circ$ N y $3,65^\circ$ W. Linares es un municipio de la Comunidad de Andalucía situado en el noroeste de la región, a 423 metros de altitud y a 51 kilómetros de Jaén. En los anexos se puede observar el plazo donde va ubicado el aerogenerador en la azotea. En el cuadro amarillo de la Figura 4.2, que es una foto tomada desde satélite, localizamos la ubicación del proyecto.

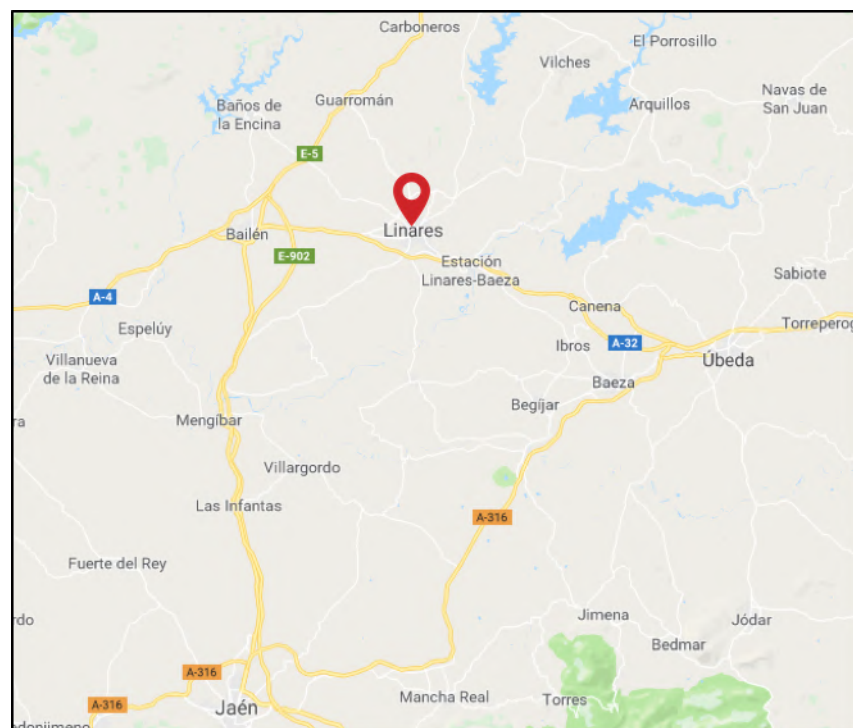


Figura 4.18 – Localización de Linares. Fuente [19]



Figura 4.19 – Campus Científico Tecnológico EPS Linares. Fuente [19]



Figura 4.20 – Edificio laboratorios en 3D de EPSL. Fuente [19]



Figura 4.21 – Aerogenerador en EPSL. Fuente propia.

4.2.3. Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos relevantes de la situación de la ciudad de los últimos 30 años están sacados de meteoblue. Fuente [20].

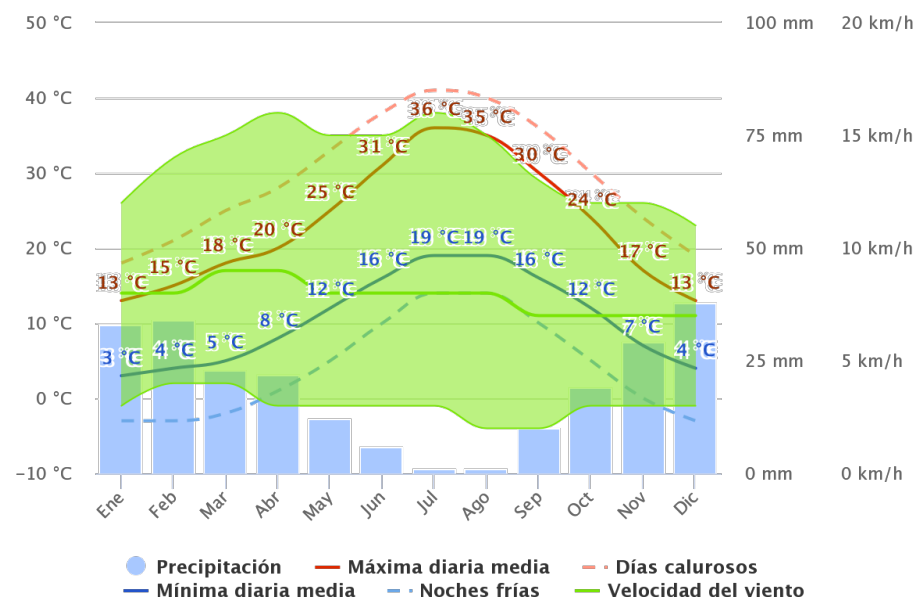


Figura 4.22 – Media meteorológicos últimos 30 años en Linares. Fuente [20]

Rosa de los vientos de la ciudad de Linares.

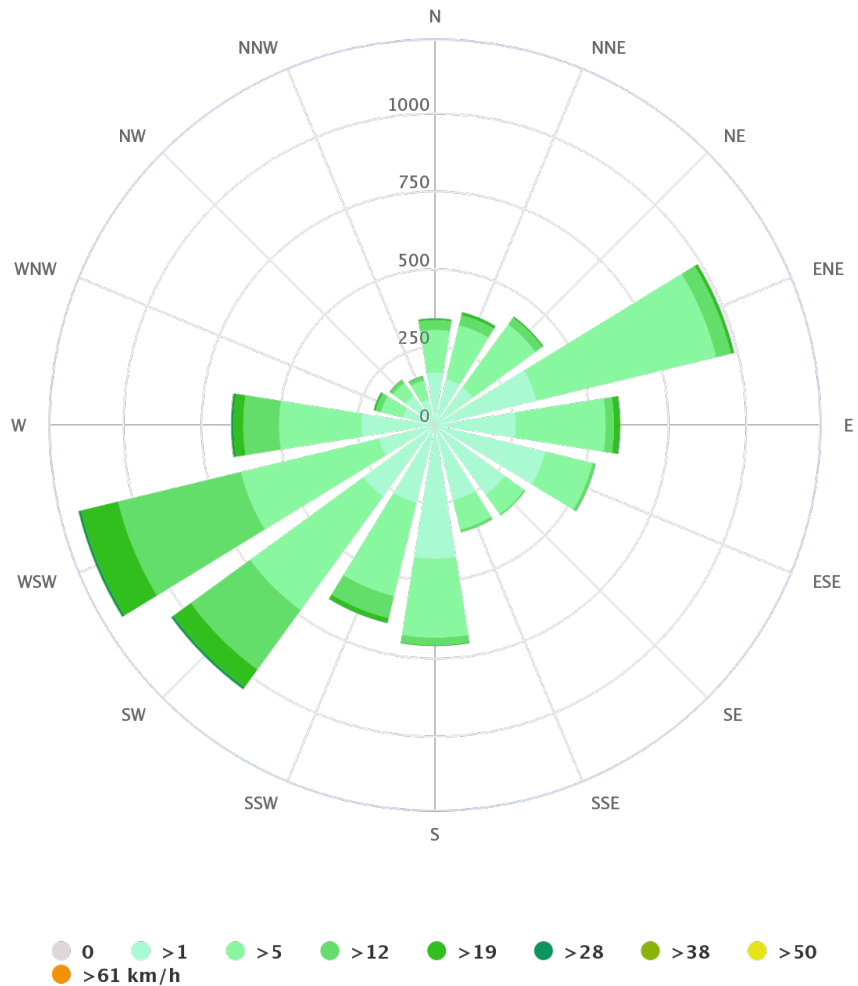


Figura 4.23 – Rosa de los vientos en Linares. Fuente [20]

Velocidad del viento durante el año 2018 en Linares, dato extraído de la estación meteorológica de la ciudad perteneciente a la Junta de Andalucía.

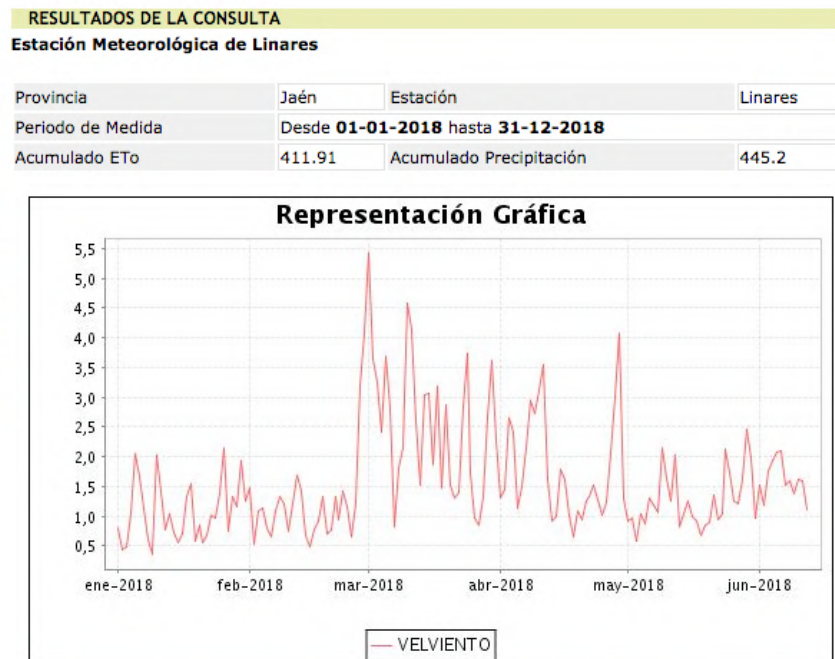


Figura 4.24 – Velocidad del viento durante 2018. Fuente [21]

Dirección del viento durante el año 2018.

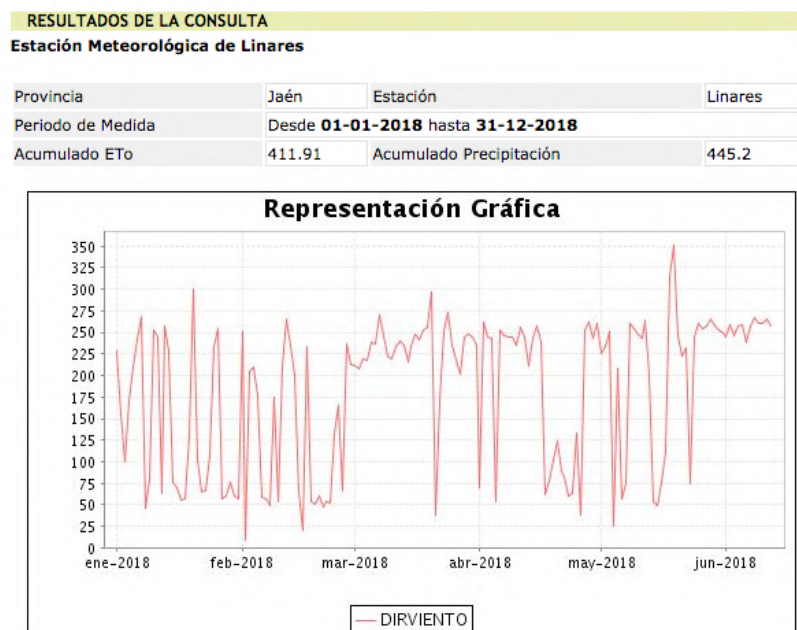


Figura 4.25 – Direcciones de los vientos durante 2018. Fuente [21]

4.3. Contexto teórico

Una estimación de la instalación es de vital importancia a la hora del aprovechamiento del potencial energético y el cálculo de la producción eólica.

El marco o contexto teórico en el cual se sustenta este trabajo experimental es el potencial eólico aprovechable. Aunque el potencial eólico que puede aprovechar una turbina es un estudio extenso y complejo, yo solo he requerido las partes básicas de éste.

Una masa de aire a una velocidad tiene una energía cinética, ecuación 4.1, fuente [23], donde como ya sabemos m es la masa del aire y v la velocidad a la que se mueve.

$$\text{Energía cinética} = E = \frac{1}{2} * m * v^2 \quad (4.1)$$

$m = \text{masa del aire}$

$v = \text{velocidad del viento}$

Para saber la energía cinética por unidad de volumen, ecuación 4.2, fuente [23], solo habrá que tener en cuenta que, densidad del aire, a efectos prácticos puede considerarse constante.

$$e = \frac{1}{2} * \rho * v^2 \quad (4.2)$$

$$\rho_{\text{aire}} = 1.225 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \text{ a } 15^{\circ}\text{C}$$

$$v = \text{velocidad del viento} \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$$

Conociendo el Teorema de Gauss, el flujo de aire a través de una superficie es la ecuación 4.3, fuente [23]. Donde es el flujo de aire, A es la superficie que atraviesa este flujo de aire y v es la velocidad a la que se mueve este.

$$\Phi = v * A \quad (4.3)$$

Con los datos obtenidos de la velocidad del viento y conociendo las características del aerogenerador podemos obtener la potencia del viento (P_w) y el rendimiento eléctrico. Para eso se ha usado la ecuación 4.4 para obtener la potencia del viento y la ecuación 4.5 para obtener el rendimiento eléctrico.

Después se han obtenido los datos del potencial eólico en Linares. Para ello se ha utilizado el analizador de redes durante meses. Al ser Linares una ciudad donde no cuenta con viento excesivo, se añade la situación del aerogenerador, donde al estar anclado en una especie de “valle” entre la zona del hospital y el propio edificio del campus, esto hace que se dificulte la entrada limpia de viento.

Así que se obtuvieron todas las mediciones posibles en los días idóneos, aunque mucho de estos días no fueron totalmente aprovechables ya que solo por momentos existían rachas de viento aprovechables. Estas mediciones se realizaban en tomas de 24 horas de duración en tomas de intervalos de 5 segundos, de forma que exportando los datos en una hoja de cálculo obtenemos la producción del día. Un ejemplo de los datos sacados del analizador es la figura 4.5.



Hora	Frecuencia	W Total	Wh Total	var Total	varh Total	VA Total	VAh Total
	Hz	W	Wh	var	varh	VA	VAh
10:45:00	---	51,81	2,68	21,68	1,24	56,17	2,96
10:45:05	---	42,53	2,74	18,44	1,26	46,38	3,03
10:45:10	---	5,63	2,74	4,3	1,27	7,09	3,04
10:45:15	---	0	2,74	0	1,27	0	3,04
10:45:20	8,06	38,09	2,8	16,7	1,29	41,72	3,1
10:45:25	8,05	53,15	2,87	21,73	1,32	57,44	3,18
10:45:30	---	40,68	2,93	17,45	1,35	44,27	3,24
10:45:35	---	47,47	2,99	19,6	1,37	51,37	3,31
10:45:40	---	7,46	3	4,8	1,38	8,92	3,32
10:45:45	---	10,39	3,02	6	1,39	12,03	3,34
10:45:50	---	49,03	3,08	20,18	1,42	53,03	3,41
10:45:55	---	62,03	3,17	24,34	1,45	66,63	3,5
10:46:00	24,16	66,16	3,26	26,01	1,49	71,09	3,6
10:46:05	---	35,3	3,31	15,53	1,51	38,57	3,66
10:46:10	---	18,01	3,34	10,33	1,52	20,79	3,69
10:46:15	---	13,25	3,36	8,63	1,53	15,89	3,71
10:46:20	---	18,45	3,38	10,51	1,55	21,27	3,74
10:46:25	---	34,46	3,43	16,7	1,57	38,37	3,79
10:46:30	---	19,97	3,46	11,49	1,59	23,09	3,82
10:46:35	---	21,29	3,49	11,49	1,6	24,23	3,86
10:46:40	8,19	58,37	3,57	23,57	1,64	62,95	3,94
10:46:45	---	25,94	3,6	13,55	1,65	29,3	3,98
10:46:50	26,27	106,69	3,75	41,68	1,71	114,55	4,14
10:46:55	24,16	57,8	3,83	23,18	1,74	62,28	4,23
10:47:00	---	23,64	3,86	12,29	1,76	26,8	4,27
10:47:05	---	5,88	3,87	4,71	1,77	7,61	4,28
10:47:10	---	46,06	3,94	19,03	1,79	49,84	4,35
10:47:15	---	29,62	3,98	14,51	1,82	33,07	4,39
10:47:20	16,21	51,51	4,05	21,29	1,84	55,75	4,47
10:47:25	24,58	53,12	4,12	21,81	1,88	57,44	4,55
10:47:30	32,75	65,84	4,21	25,88	1,91	70,75	4,65
10:47:35	---	27,16	4,25	13,32	1,93	30,28	4,69
10:47:40	---	31,52	4,3	14,47	1,95	34,69	4,74
10:47:45	---	32,07	4,34	14,72	1,97	35,3	4,79
10:47:50	---	13,02	4,36	8,87	1,98	15,77	4,81
10:47:55	---	7,81	4,37	5,68	1,99	9,68	4,82

Figura 4.5 – Tabla de ejemplo de datos extraída del analizador. Fuente propia.

$$\text{Potencia del viento} = P_w = \frac{1}{2} * \rho_{aire} * A * v^3 \quad (4.4)$$

$$\rho_{aire} = 1.225 \frac{Kg}{m^3} \text{ a } 15^\circ C$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \text{ con } D = 2 \text{ metros}$$

$$v = \text{velocidad del viento} \left(\frac{m}{s} \right)$$

La potencia eléctrica trifásica que sacamos del aerogenerador es gracias el analizador de redes, mediante unas pinzas amperimétricas obtenemos las informaciones de las intensidades de cada fase y mediante la conexión de cables a la ficha obtenemos las tensiones de cada fase, los resultados vienen de la siguiente ecuación 4.5.

$$\text{Potencia eléctrica trifásica} =$$

$$P_e = \sqrt{3} * U * I * \cos\varphi \quad (4.5)$$

$$U = \text{tensión (V)}$$

$$I = \text{intensidad (A)}$$

$$\cos\varphi = \text{factor de potencia}$$

Una vez obtenidos los datos de la potencia eólica generada y potencia eléctrica generada por el aerogenerador podemos obtener un rendimiento eléctrico, este se realiza mediante la ecuación 4.6

$$\text{Rendimiento eléctrico} = \eta_e = \frac{P_e}{P_w} (\%) \quad (4.6)$$

P_e = Potencia eléctrica en AC generada (W)

P_w = Potencia eólica (W)

Gracias a Betz, ingeniero experto en el campo de la mecánica de fluidos, sabemos que no todo el potencial eólico del aire se puede aprovechar en energía, como ya demostró en 1927. Este alemán demostró científicamente que cualquier turbina eólica, sin importar el diseño, no puede superar un rendimiento del 59,25% (16/27) en la transformación de energía eólica en mecánica. Este parámetro es conocido como el Límite de Betz.

La potencia generada que obtenemos en DC a la salida del rectificador viene de la ecuación 4.7, los valores de la tensión y la intensidad están sacados gracias a dos multímetros.

$$\text{Potencia en DC generada} = P_{DC} = V * I \quad (4.7)$$

V = tensión (V)

I = intensidad (A)

El rendimiento del rectificador AC-DC se saca gracias a la potencia AC a la entrada del rectificador sacada de la ecuación 4.5 y la potencia DC a la salida del rectificador sacada de la ecuación 4.7, en la siguiente ecuación 4.8 se muestra.

$$\textbf{Rendimiento rectificador} = \eta_{rect} = \frac{P_{DC}}{P_{AC}} (\%) \quad (4.8)$$

$$P_{AC} = \textbf{Potencia eléctrica en AC generada (W)}$$

$$P_{DC} = \textbf{Potencia en DC a la salida del rectificador (W)}$$

La potencia generada por el inversor de 230 V monofásico sale de la ecuación 4.9.

$$\textbf{Potencia generada inversor} =$$

$$P_{AC\ 230} = V * I * \cos\varphi \quad (4.9)$$

$$U = \textbf{tensión (V)}$$

$$I = \textbf{intensidad (A)}$$

$$\cos\varphi = \textbf{factor de potencia} = 1 \textbf{ (Si son cargas domesticas)}$$

El rendimiento del inversor viene dado por la ecuación 4.10, donde se requieren los datos de potencia generada por el inversor AC de la ecuación 4.10 y la potencia en DC generada por el rectificador de la ecuación 4.7

$$\text{Rendimiento inversor} = \eta_{inv} = \frac{P_{AC\ 230}}{P_{DC}} (\%) \quad (4.10)$$

$P_{AC\ 230}$ = Potencia eléctrica en AC generada por el inversor (W)

P_{DC} = Potencia en DC generada por el rectificador (W)

Para las medidas del viento se utilizó un Termo anemómetro, estas fueron realizadas junto al aerogenerador para la obtención más fiable de las medidas del viento. Estas no se realizaron las 24 horas, sino que en los diferentes días que se utilizaba el analizador durante un periodo de tiempo limitado se medía el viento.

Para la realización de las medidas se conectó el analizador a las diferentes tomas de tensión de cada una de las tres fases del aerogenerador a su salida trifásica y de igual forma se realizaron con las tomas de corriente. Para unas óptimas medidas las baterías debían tener un mínimo de descarga ya que con las baterías al 100 % cargadas el aerogenerador consta con un sistema de seguridad que limita la generación y así no dañas las baterías.

5. Resultados y discusión:

En este apartado veremos y analizaremos los datos obtenidos de la producción eólica renovable del Campus Científico Tecnológico de Linares.

Lo primero que vamos a ver serán los datos de generación del aerogenerador, en la tabla 5.1 podremos ver la relación de velocidad, potencia eléctrica del Aerogenerador Bornay de 600W de potencia nominal. La obtención de todos estos datos ha sido mediante los métodos descritos en el apartado 4.

Velocidad del viento v (m/s)	Potencia eléctrica generada P_e (W)	Potencia del viento P_w (W)	Rendimiento eléctrico del aerogenerador η_e (%)
2,7	4,16	37,9	10,98%
3	22	52,0	42,34%
3,6	32,68	89,8	36,40%
4	48,21	123,2	39,15%
5,4	125,04	303,0	41,27%
5	105	240,5	43,65%
6,7	256,17	578,7	44,26%
6	190	415,6	45,71%
7	260	660,0	39,39%
7,7	341,06	878,5	38,82%
8	350	985,2	35,53%
8,5	363,76	1181,7	30,78%
9	450	1402,8	32,08%
10,2	233,98	2042,0	11,46%

Tabla 5.1. –Relación velocidad – potencia – rendimiento. Fuente propia.

Con estos datos se construye la curva de potencia de la gráfica 5.1 en la que puede observar de manera visual la potencia que es capaz de generar el aerogenerador a todos sus rangos posibles de velocidades. Además mediante la ecuación 4.4 y la ecuación 4.5, del apartado 4 de métodos, se obtiene la potencia que es capaz de entregarnos el viento y el rendimiento del aerogenerador teniendo en cuenta el aprovechamiento que este hace de dichas velocidades del viento. El rendimiento se mostrará en la gráfica 5.2.

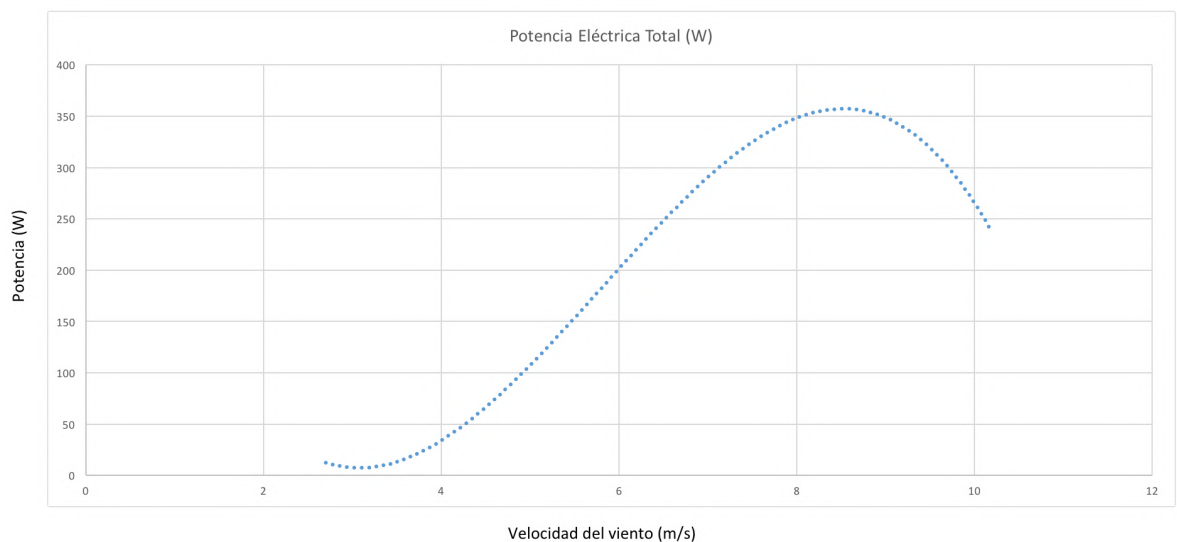


Figura 5.1 – Curva experimental de potencia eléctrica trifásica generada por el aerogenerador. Fuente propia.

Como podemos ver en esta curva la potencia generada va en aumento hasta llegar a los 10,2 m/s que se obtendría más de 350W de potencia generada, en ningún momento durante todas las mediciones realizadas se llegaron a los 600W debido a la falta de viento.

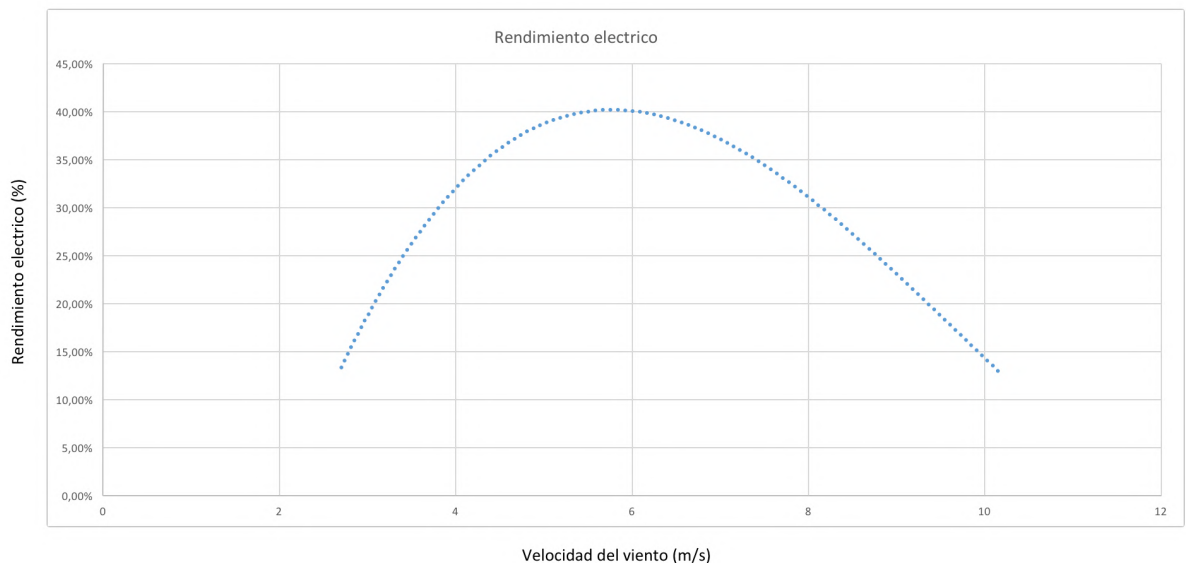


Figura 5.2 – Curva experimental de rendimiento eléctrico del aerogenerador hasta 40 %.
Fuente propia.

En esta última gráfica podemos ver como las velocidades en las que tenemos mayor rendimiento son desde los 3 m/s hasta los 6 m/s, después el rendimiento caerá. Además nunca supera el 40% lo cual nos dice que el viento tiene mucho más potencial que nuestro aerogenerador no es capaz de aprovechar.

Ahora vamos a ver los días de potencial elevado. Estos días serán los que ha habido una velocidad del viento superior a la media por causa las condiciones meteorológicas en diferentes días. Estos datos han sido recogidos mediante un analizador de redes como se explica en punto 4 obteniendo así los datos en intervalos de 5 segundos durante 24 horas. Los datos que obtenemos son de tensión, corriente, potencia y energía. Como ya se comentaba en apartados anteriores en un principio los días obtenidos de potencial elevado ibas a ser aproximadamente 30 pero las condiciones meteorológicas hacían que el viento fuera muy irregular aportando grandes potencias a unas determinadas horas y potencias nulas a otras haciendo de las medidas algo insignificante y por lo tanto he optado por desecharlas. En la gráfica 5.3 veremos las ocho medidas más significativas que he podido obtener del aerogenerador durante las mediciones a lo largo de diferentes meses a lo largo de 2018.

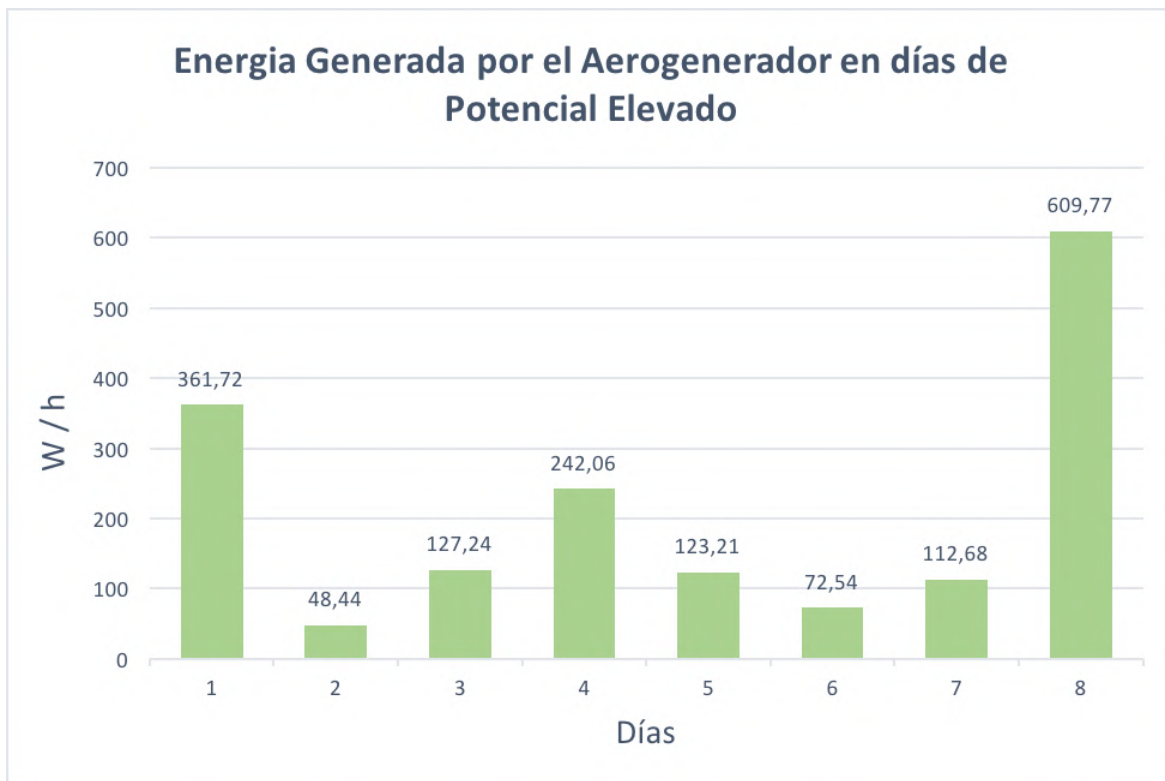


Figura 5.3 – Energía eléctrica trifásica generada en diferentes días y meses. Fuente propia.

Como vemos estas son las medidas más significativas. La primera es la del caso hablado anteriormente un día de buen potencial, pero a su vez malo porque en algunas determinadas horas del día el viento ha sido fuerte pero a lo largo de la mayoría de horas restantes del día el viento desapareció entregando un total de generación muy bajo. Por lo demás tenemos dos días de potencial muy elevado (como son la medida 2 y 4) en los que la meteorología entregó grandes rachas continuas de viento durante todo el día y los otros días restantes son días ventosos con velocidades intermedias y una producción constante.

En el siguiente gráfico vemos la progresión que tiene del viento relacionándola con la potencia eólica mediante la fórmula que se vio en el apartado anterior (4.4). Durante las mediciones se consiguió hasta la máxima medición de 10,2 metros/segundo lo que daría una potencia de 2042 W.

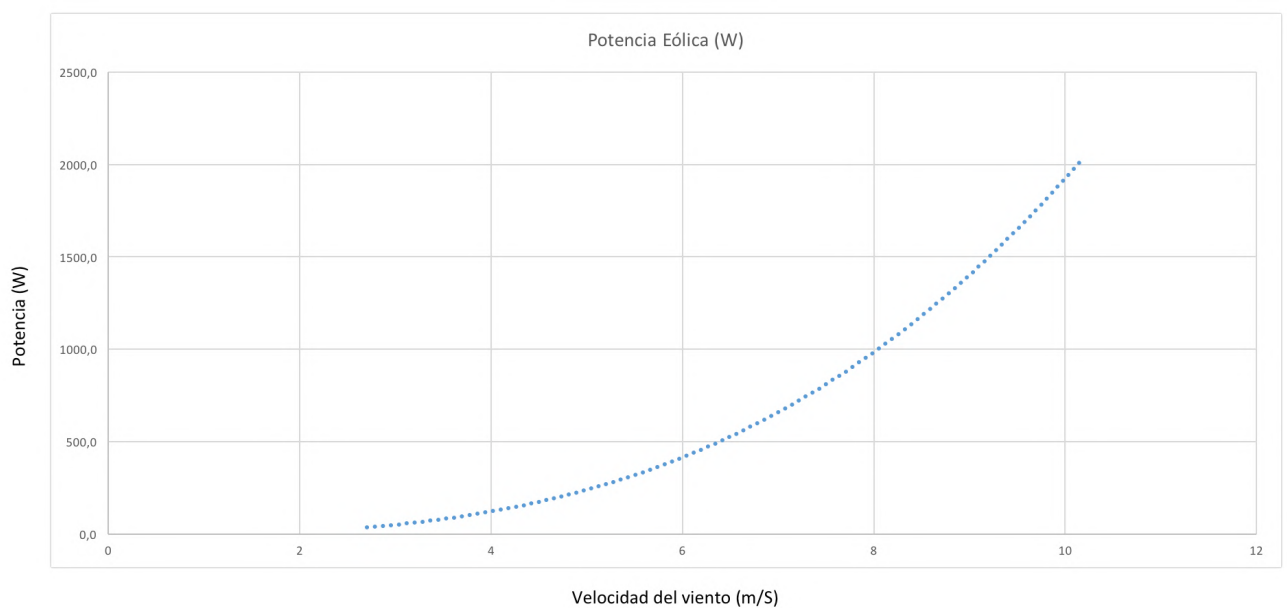


Figura 5.4 – Curva de la potencia eólica. Fuente propia.

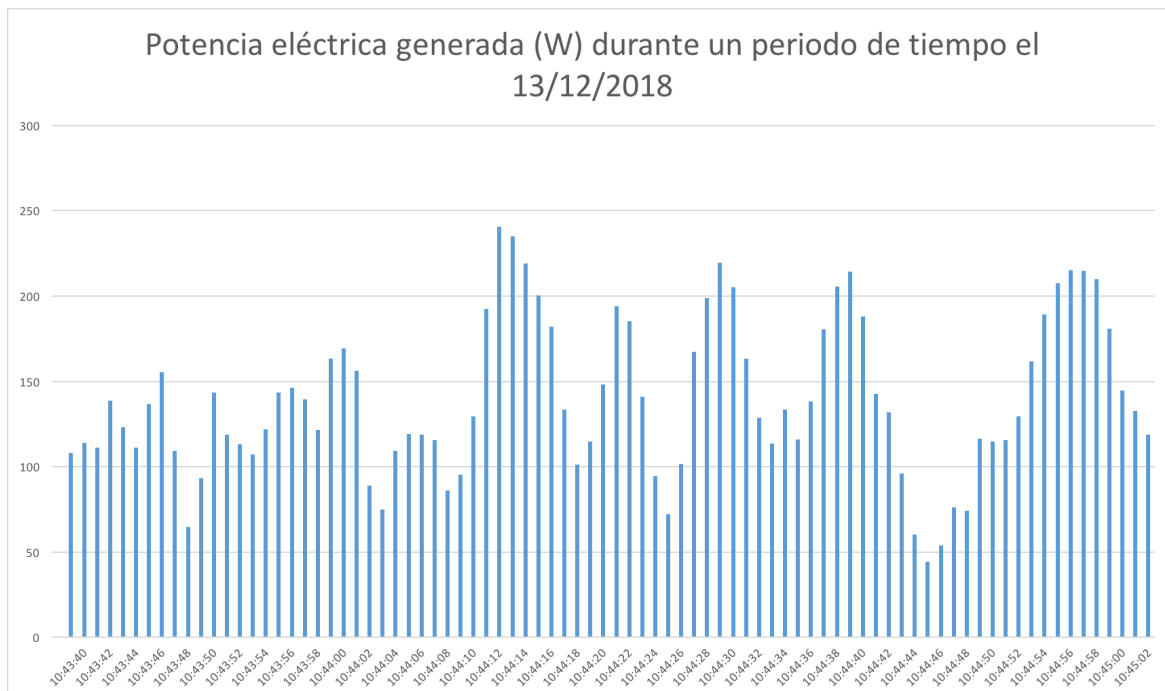


Figura 5.5 – Potencia eléctrica generada durante un periodo de tiempo. Fuente propia.

También como resultado se va a mostrar los siguientes gráficos, que muestran las medidas eléctricas obtenidas del aerogenerador en un corto periodo de tiempo un día cualquiera. Estas medidas se tomaron con el analizador de redes. Se realizaron el 31/01/2018 en un periodo de tiempo de unos seis minutos comprendidos entre las 14:56 y 14:59. Estas medidas se tomaron un día aleatorio para comprobar la compensación entre fases y su producción eléctrica.

En la Gráfica 5.5 se observa la potencia total del aerogenerador en ese periodo de tiempo.

5.1. Caracterización del inversor

Este es el esquema unificar de la realización de la caracterización del inversor.

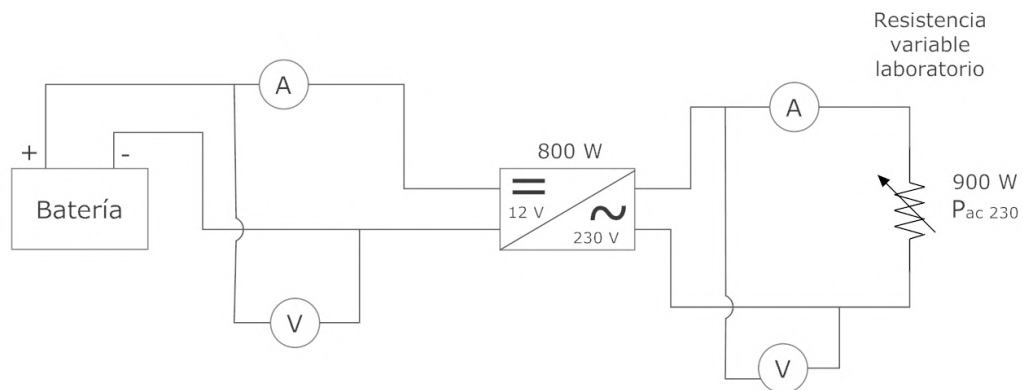


Figura 5.6 – Esquema unifilar de la medición del rendimiento del inversor. Fuente propia.

Para la caracterización del inversor se usaron cuatro multímetros, dos entre la salida de las baterías y la entrada del inversor, uno de ellos se utilizó para la medición de la intensidad y el otro para la medición de la tensión, y así poder obtener la potencia en DC y los otros dos se usaron a la salida del inversor y la entrada de una resistencia variable, para las mediciones de intensidad y tensión, y obtener las diferentes mediciones de potencia en AC. Se realizaron diferentes medidas en función de los cambios realizados en la carga variable. Con los datos obtenidos de entrada en tensión continua y salida en tensión alterna variando la carga variable se obtuvo el siguiente gráfico, figura 5.7.

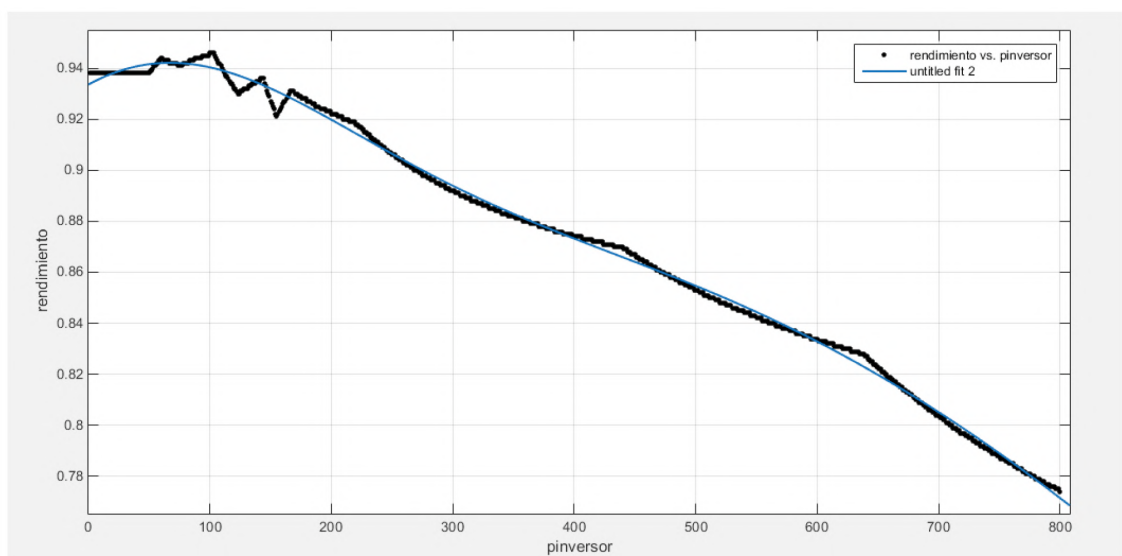


Figura 5.7 – Curva del rendimiento del inversor. Fuente propia.



6. Conclusiones:

Se ha conseguido el objetivo obtener de forma experimental la curva de producción eléctrica de un aerogenerador marca Bornay 600 W de potencia eléctrica nominal, colocado en la terraza del Campus Científico Tecnológico de Linares. Gracias al Analizador de redes como herramienta y midiendo su generación se podía conocer el viento que soplaba en ese momento en la ubicación de aerogenerador y viceversa conocer la potencia conociendo el viento. De esta manera se ha obtenido una curva que pero no refleja la que podemos obtener por el fabricante Bornay en el manual del aerogenerador, en las siguiente figura podemos ver la curva del aerogenerador obtenida midiendo con el analizador de redes la potencia que genera y en la figura vemos la gráfica obtenida de la propia página del fabricante.

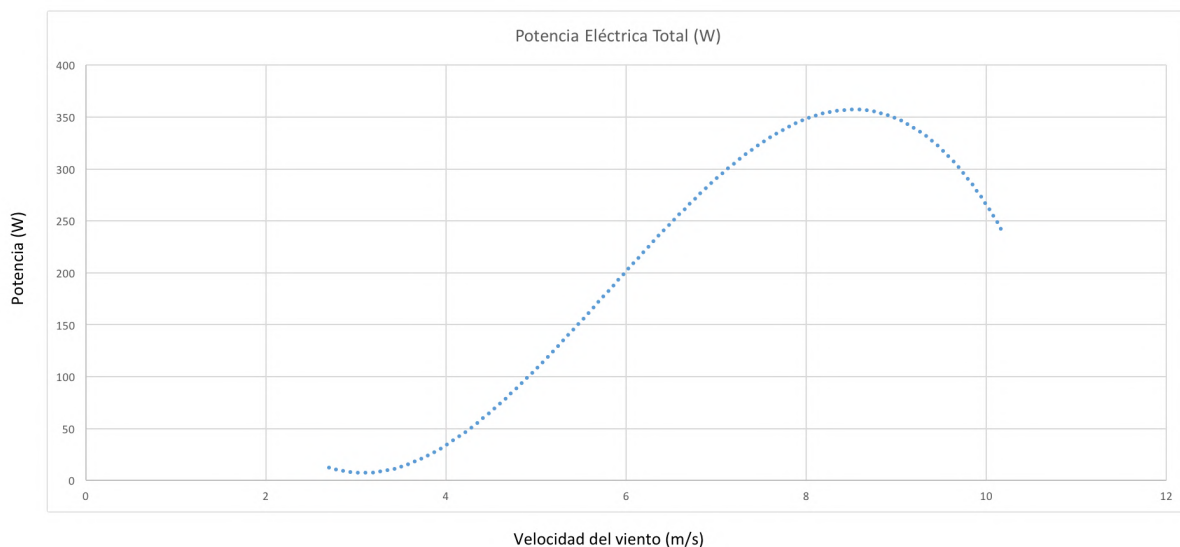


Figura 6.1 – Curva experimental de potencia eléctrica trifásica generada por el aerogenerador.

Fuente propia.

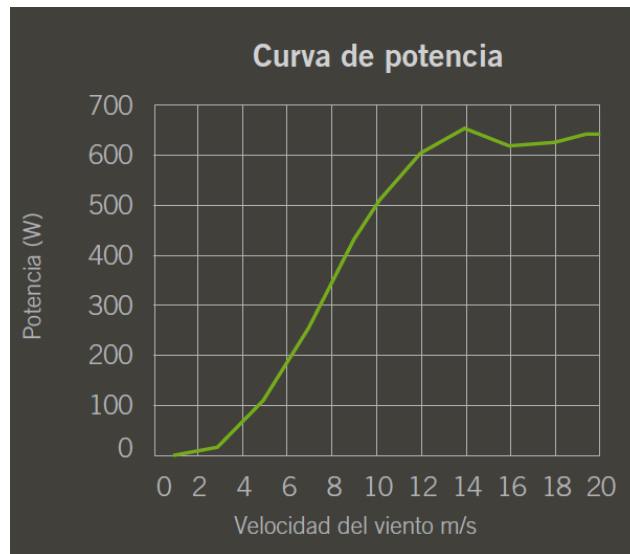


Figura 6.2 – Curva proporcionada por el aerogenerador del fabricante Bornay. Fuente [10].

Las conclusiones de este trabajo experimental son claras. Se verifica que esta instalación no tiene una gran eficiencia. Esto se ha expuesto en la discusión, ya que en las primeras mediciones se observa el bajo rendimiento del aerogenerador. Además se tuvo que esperar varias semanas para encontrarme un día con aire suficiente que moviera las palas de nuestro aerogenerador y que produjeran energía limpia. Con lo cual, la conclusión es que este sistema no tiene un gran rendimiento lo que conlleva a que no tiene un gran potencial de generación.

Otra parte que ha destacar es la futura mejora de la zona. Se podrían hacer futuras adquisiciones y futuros trabajos para seguir aumentando el sistema mixto de generación de energía. Se debería comprar un anemómetro e instalar en el aerogenerador de Bornay para así tener una información precisa del movimiento de masas de aire, incluso se podría monitorizar para saberlo a tiempo real.

Otra adquisición muy beneficiosa sería la de un ventilador de exterior. Con este no se dependería de los días ventosos para realizar prácticas con el aerogenerador si no que el día que se planificara se podrían realizar, independientemente de la meteorología.



Por otro lado, se ha visto el rendimiento del inversor que corresponde aproximadamente a lo previsto que debía estar comprendido entre un 82 y 89 %, en la siguiente figura 6.3 se aprecia.

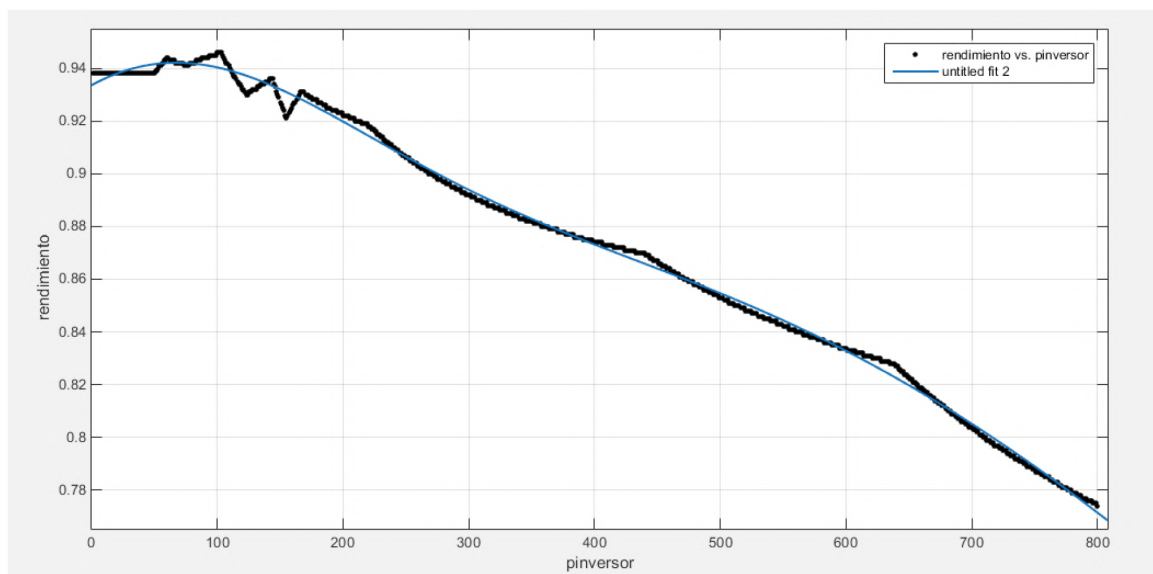


Figura 6.3 – Curva del rendimiento del inversor. Fuente propia.

A nivel personal, tengo que exponer que el desarrollo de este trabajo me ha servido para completar de una manera más práctica mis conocimientos adquiridos durante estos años en la carrera, ya que repito, se estudia todo desde un marco mucho más teórico.

7. Anexos:

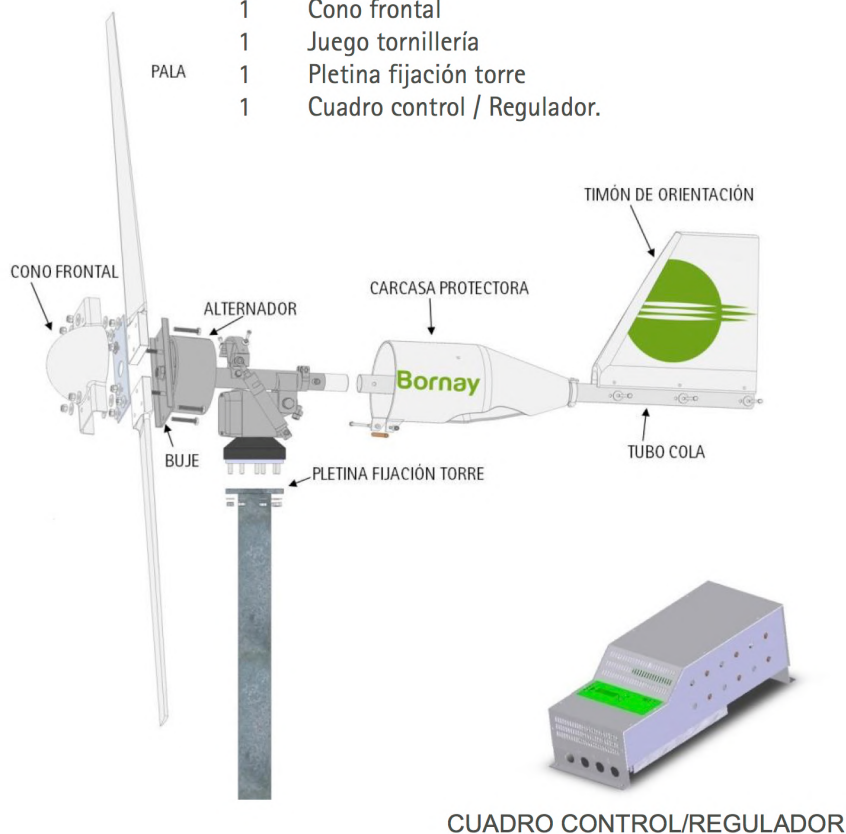
En este apartado se mostrarán los anexos que han tenido relación con este trabajo.

7.1. Manual Aerogenerador – Bornay 600 W

Componentes del aerogenerador

Junto a esta documentación, dentro del embalaje original, encontrará el siguiente material, el cual puede estar ensamblado en parte:

- | | |
|---|-----------------------------|
| 1 | Timón de orientación |
| 1 | Tubo Cola |
| 1 | Carcasa protectora |
| 1 | Alternador |
| 1 | Buje |
| 1 | Refuerzo buje |
| 2 | Palas |
| 1 | Cono frontal |
| 1 | Juego tornillería |
| 1 | Pletina fijación torre |
| 1 | Cuadro control / Regulador. |



ESP

Datos técnicos

ESP

Bornay 600

Especificaciones técnicas

Número de hélices	2
Diámetro	2 mts.
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	Anti-horaria

Especificaciones eléctricas

Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Ferrita
Potencia nominal	600 W
Voltaje	12, 24, 48 v.
RPM	@ 1000
Regulador	12v 60 Amp 24v 30 Amp 48v 15 Amp

Velocidad de viento

Para arranque	3,5 m/s
Para potencia nominal	11 m/s
Para frenado automático	13 m/s
Máxima	60 m/s

Especificaciones físicas

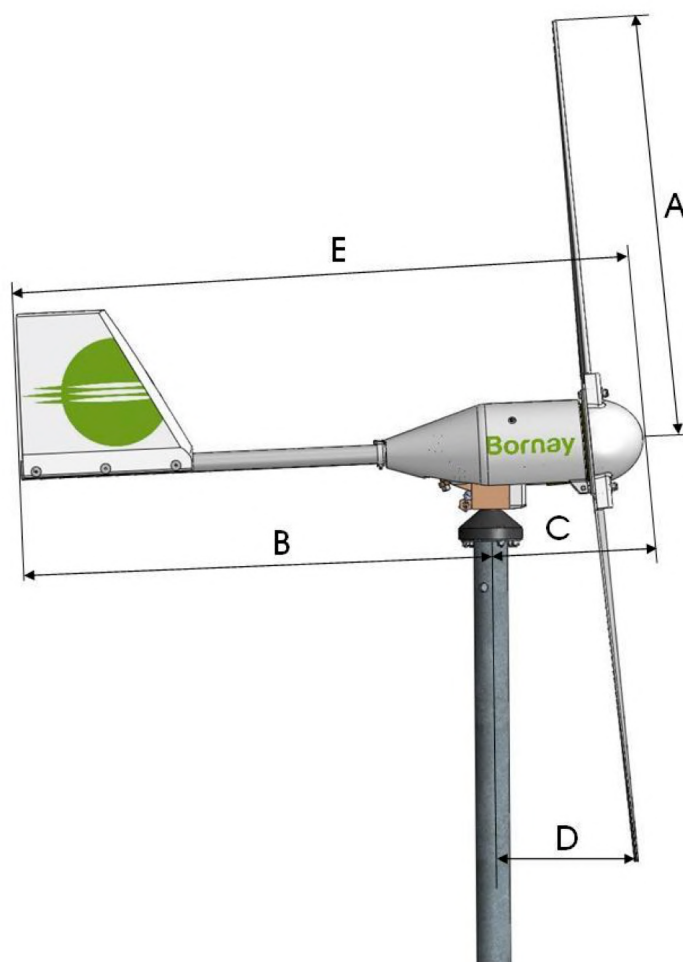
Peso aerogenerador	38 Kg
Peso regulador	7 Kgr
Embalaje	500 x 770 x 570 mm. – 55 Kg
Dimensiones – peso	1040 x 270 x 70 mm – 4,7 Kg
Total	0,22 m3 – 59,7 Kgr.
Garantía	3 años

Bornay 600 – Rev 6.0 – P 6



Modelo	A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)
Bornay 600	1000	1120	350	360	1470
Bornay 1500	1430	1670	370	470	2040
Bornay 3000	2000	2140	470	645	2610
Bornay 6000	2000	2640	495	645	3135

ESP



Bornay 600 – Rev 6.0 – P 7



El primer paso en el conexionado eléctrico, es colocar el banco de baterías adecuado, en su configuración correcta y conexionado conforme a las especificaciones del fabricante, obteniendo como resultado el voltaje y capacidad adecuados para la instalación que vamos a realizar.

Existen diferentes tipologías de baterías, en el caso de instalaciones domésticas híbridas eólico / solares, se recomienda el uso de baterías de plomo ácido abiertas, y en función de las capacidades de carga de la instalación, se precisan de unos requisitos mínimos de instalación para asegurar el correcto funcionamiento y la durabilidad de la instalación.

Las recomendaciones mínimas de instalación así como del cableado entre la batería y el regulador son:

Modelo	Cable Batería	Batería Mínima
Bornay 600 / 12V	16 mm ²	550 Ah C ₁₀₀
Bornay 600 / 24V	16 mm ²	250 Ah C ₁₀₀
Bornay 600 / 48V	10 mm ²	150 Ah C ₁₀₀
Bornay 1500 / 24V	25 mm ²	660 Ah C ₁₀₀
Bornay 1500 / 48V	16 mm ²	350 Ah C ₁₀₀
Bornay 3000 / 24V	35 mm ²	1100 Ah C ₁₀₀
Bornay 3000 / 48V	25 mm ²	600 Ah C ₁₀₀
Bornay 6000 / 48V	50 mm ²	1200 Ah C ₁₀₀

⚠ ATENCIÓN:

Se recomienda el uso de baterías estacionarias de Plomo Ácido abiertas

⚠ PRECAUCIÓN:

El uso de una batería inadecuada puede provocar daños irreparables en su aerogenerador

Con la batería adecuada seleccionada y montada en la instalación, se procederá a instalar el regulador sobre la pared, este se fijará a través de los cuatro orificios situados en la carcasa metálica del mismo, dos superiores y dos inferiores. La fijación a la pared se hará mediante tirafondos y tacos plásticos.

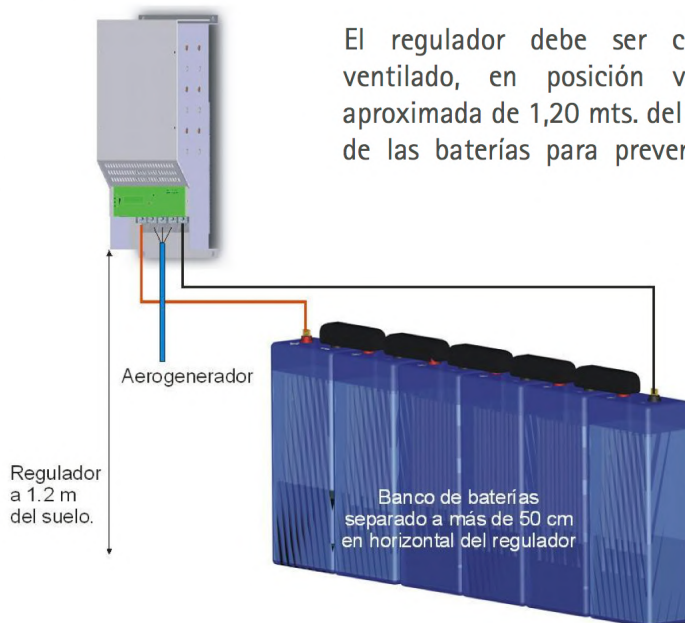
El regulador posee unas resistencias internas de disipación, y la parte superior del regulador puede calentarse en día de viento, una vez las baterías están cargadas.

No cubrir la parte superior del regulador, los orificios de la tapa superior deben de estar descubiertos para una correcta ventilación.

PRECAUCIÓN:

El regulador dispone de resistencias internas. No cubrir la parte superior. Instalar en un lugar ventilado.

ESP

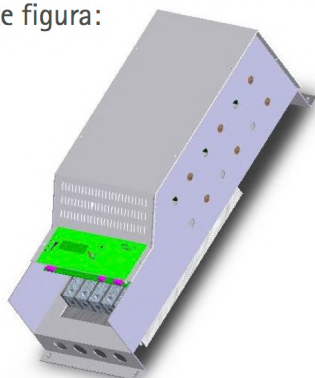


El regulador debe ser colocado en un lugar ventilado, en posición vertical a una altura aproximada de 1,20 mts. del suelo, y mínimo 50 cm. de las baterías para prevenir el contacto con los gases producidos por estas.

El cuadro de regulación, baterías y posible convertidor deberán estar colocados en un punto centralizado próximo al consumo, y lo más próximo posible

entre ellos.

Para la instalación del regulador, levantar la tapa inferior del regulador (sólo la pequeña que forma un ángulo de 90º) quitando los cuatro tornillos que la sujetan. De este modo, el regulador quedará tal y como se muestra en la siguiente figura:



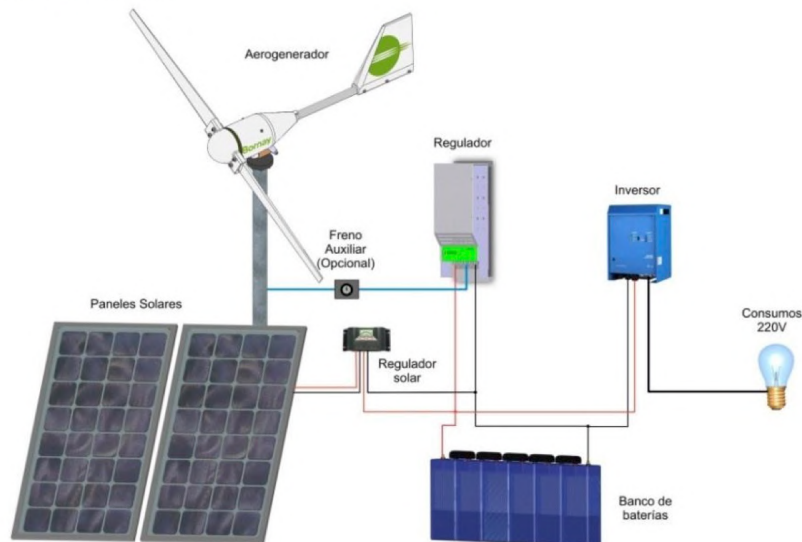
PRECAUCIÓN:

No invertir la polaridad. Un cambio de polaridad puede dañar el regulador.

J – Rev 6.0 – P 12

Diámetro (in)	0.088	0.108	0.141	0.178	0.222	0.263	0.314
---------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

En caso de una instalación mixta, la instalación debe de estar compuesta de los siguientes elementos:



ESP

Regulador

El funcionamiento del regulador es en primer lugar transformar la energía del aerogenerador generada en alterna, en corriente continua apta para la carga de su banco de baterías. En segundo lugar, el regulador controlará el estado de la batería evitando sobrecargas de la misma y controlando el funcionamiento del aerogenerador.

 ATENCIÓN:	 PRECAUCIÓN:
Con viento fuerte, frenar el aerogenerador accionando intermitentemente el interruptor de freno.	Con fuerte viento, no deje nunca el aerogenerador girando en posición de freno.

El regulador ha sido especialmente diseñado para funcionar con el aerogenerador. Para ello el regulador está provisto de las siguientes bornes de conexiones:

Bornay 600 – Rev 6.0 – P 15

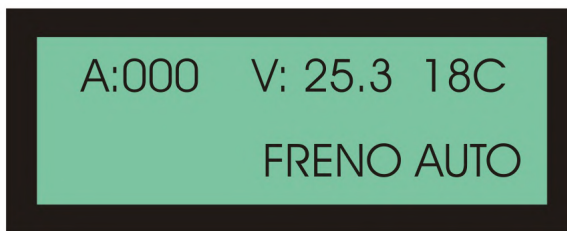
Frenado fijo del aerogenerador:

El aerogenerador puede quedarse frenado fijamente por varios motivos:

ESP

Forma automática: Esta es una función orientada al aumento de la seguridad del equipo y disminución del desgaste sufrido por los elementos mecánicos del sistema, consistente en la actuación de un contador interno mediante el cual el aerogenerador reduce su velocidad de giro de forma automática cuando en un periodo de 120 minutos ininterrumpidamente, se han efectuado al menos 1500 impulsos de frenado. Si esto se produce, el sistema deduce que la batería está completamente cargada y hasta que el voltaje no disminuya por debajo de 12.5v – 25v – 50v, no volverá a dejar nuevamente libre el aerogenerador.

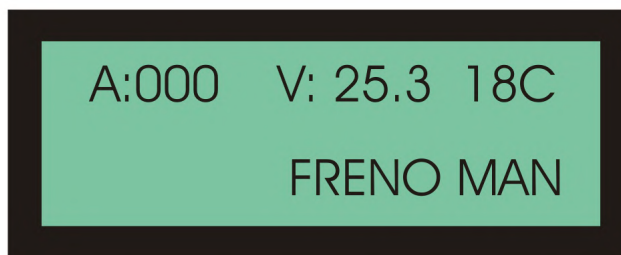
Cuando esta situación se da, y el frenado automático está activado, aparece el mensaje de estado al final de la segunda línea, tal y como muestra la siguiente imagen:



Si el viento es muy fuerte, puede ocurrir que el aerogenerador no se detenga completamente, aunque la energía generada sí se deriva a las resistencias de frenado.

NOTA: si estando el equipo en estado de FRENO AUTO queremos que este vuelva de nuevo a su posición de carga sin tener que esperar a que el voltaje de batería baje hasta el valor de desactivación, solamente hay que situar el conmutador (frenado manual) en posición ON y retornar a continuación a la posición OFF, de este modo se habrá borrado el estado de frenado automático y el equipo volverá a generar energía de inmediato si existe el viento apropiado, al mismo tiempo se inicializan los contadores de tiempo e impulsos.

Frenado manual: Cuando se sitúa el conmutador en la posición ON se realiza una secuencia de impulsos para frenado del aerogenerador hasta que este se para por completo o en algún caso, si hay mucho viento, queda girando a pocas revoluciones.



ESP

Cuando se activa el conmutador manual de freno, aparece la indicación al final de la segunda línea y además queda iluminado el LED de indicador de frenado.

Si se sitúa el conmutador nuevamente en la posición OFF, el aerogenerador queda libre de inmediato y habilitado nuevamente para generar energía apagándose el LED de freno.

Esta operación se debe realizar periódicamente para verificar el buen estado de los elementos de frenado: si con viento suave no se detiene el aerogenerador por completo se revisará el cuadro eléctrico.

Forma auxiliar opcional: Para garantizar una seguridad en la instalación, se puede incorporar un freno auxiliar al regulador, capaz de frenar el aerogenerador cuando se quiera dejar deshabilitado por cualquier motivo. Este sistema de freno consiste en unir las tres fases del aerogenerador.

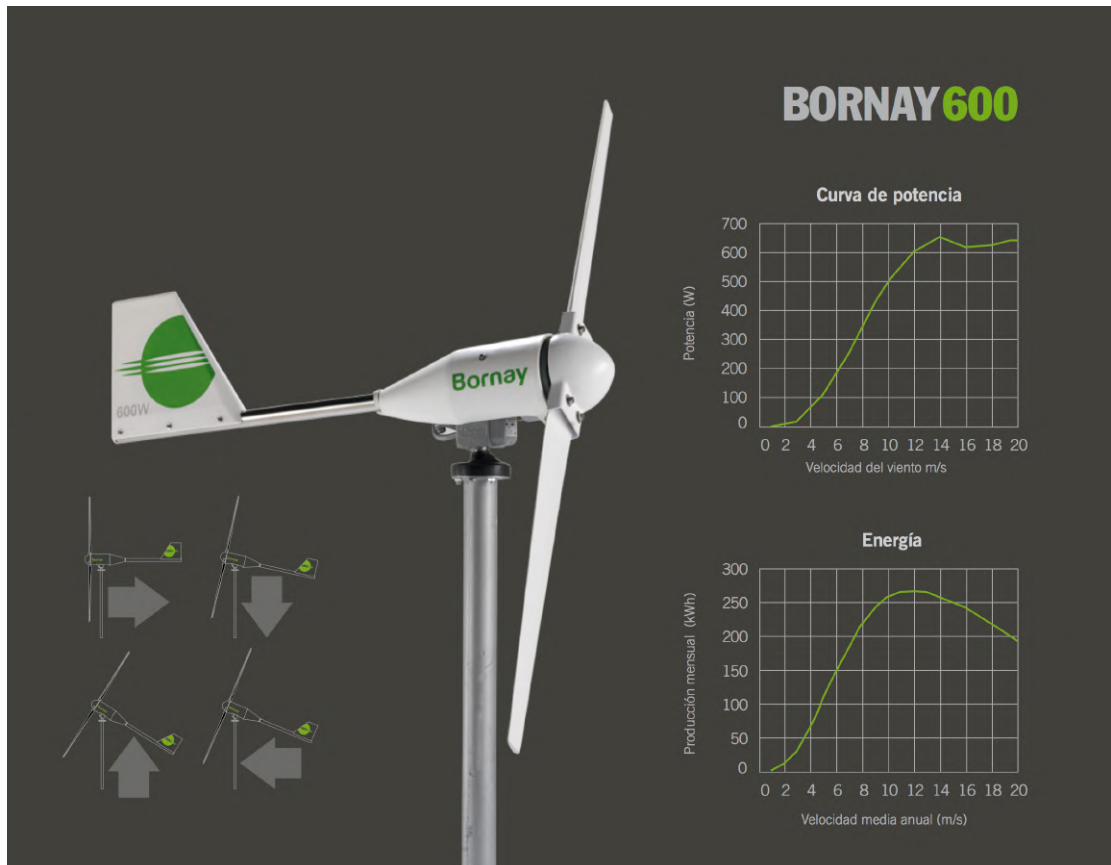
PRECAUCIÓN:

Con viento muy fuerte, no deje nunca el aerogenerador girando en posición de freno.

Señales de Aviso:

El regulador detecta el voltaje que tiene en su entrada para baterías y se configura solo, siempre y cuando ese voltaje esté permitido para la potencia que esté programada. Si no es permitido el voltaje de baterías para la potencia programada, aparecerá un mensaje indicando que el voltaje no es correcto.

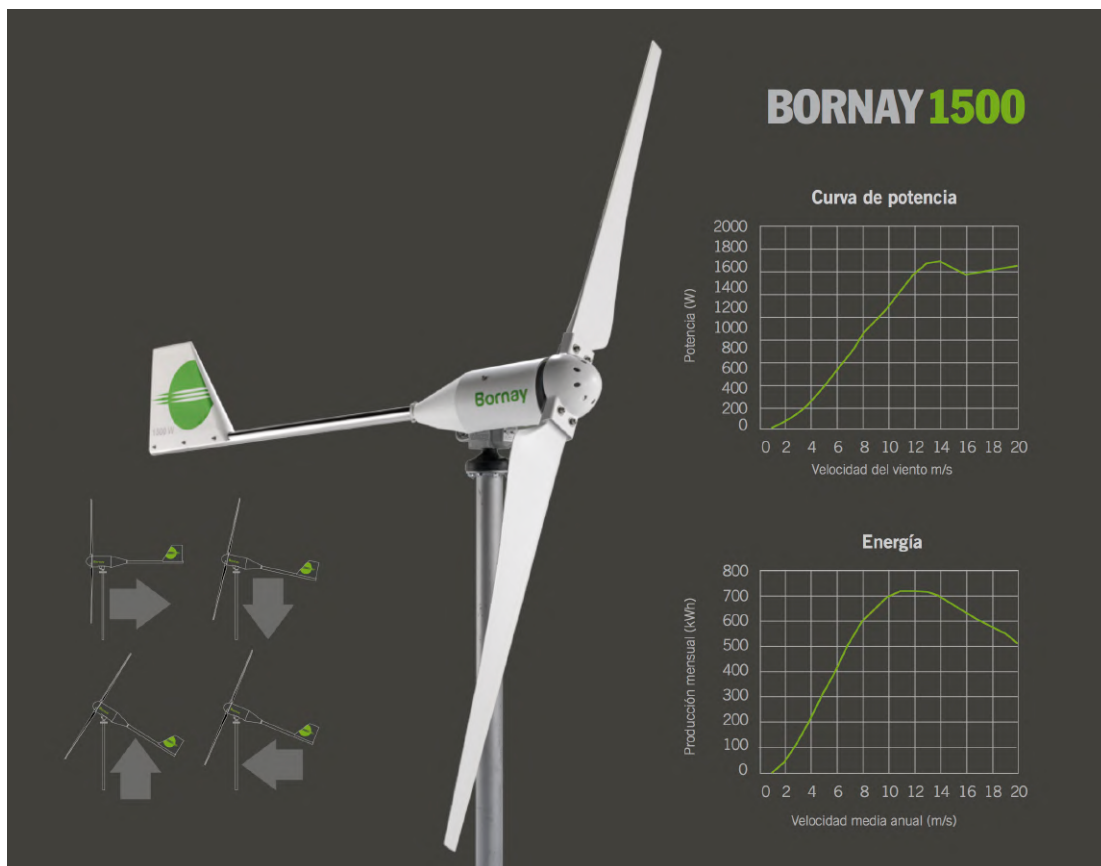
7.2. Curva de potencia y energía Aerogenerador - Bornay 600 W y 1500 W





Universidad de Jaén

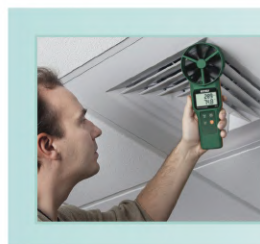
Fernando Tomás Marín Mármol
Grado en Ingeniería Eléctrica



7.3. Características Termo anemómetro – Extech AN300

EXTECH
INSTRUMENTS

AN300 Series Large Vane CFM/ CMM Thermo-Anemometers



Extech's 4" (10cm) Large Vane Thermo-Anemometer series allows for more precise readings on larger size ducts. Each meter simultaneously displays Airflow or Air Velocity and Temperature. Choose models that also measure Air Volume, Humidity & Carbon Dioxide (CO₂).

Applications:
- HVAC
- Manufacturing
- Engineering
- Appliance Testing
- Research and Design
- and more!



Common Features

- Measure Air Velocity and Air Flow
- Built-in thermistor for air temperature
- Multipoint and timed average calculations
- Min/Max, Data Hold, and Auto power off
- Optional Air Flow Cone Kit (AN300-C):
8.26" (210mm) round and 13.6" (346mm) square
- Complete with four AAA batteries and hard case

Model AN310 Additional Functions:

- Measures Relative Humidity, Wet Bulb and Dew Point

Model AN320 Additional Functions:

- Measures Relative Humidity, Wet Bulb and Dew Point
- Carbon Dioxide (CO₂) measurement

Specifications	AN300	AN310	AN320
m/s	0.2 to 30m/s	0.2 to 30m/s	0.2 to 30m/s
ft/min	40 to 5900ft/min	40 to 5900ft/min	40 to 5900ft/min
Accuracy	±1.5%	±1.5%	±1.5%
CFM/CMM	0 to 99999	0 to 99999	0 to 99999
Temperature	-4 to 140°F (-20 to 60°C)	-4 to 140°F (-20 to 60°C)	-4 to 140°F (-20 to 60°C)
Accuracy	± (0.6°C)	±1.1°F (0.6°C)	±1.1°F (0.6°C)
Humidity	—	0.1 to 99.9%RH	0.1 to 99.9%RH
Accuracy	—	±3%RH	±3%RH
Wet Bulb	—	-4 to 140°F (-20 to 60°C)	-4 to 140°F (-20 to 60°C)
Dew Point	—	23 to 140°F (-5 to 60°C)	23 to 140°F (-5 to 60°C)
CO ₂	—	—	0 to 9999ppm
Dimensions/ Weight	10.6x4.2x2" (269x106x51mm) / 7oz (200g)		

Ordering

AN300..... Large Vane CFM/CMM Thermo-Anemometer
AN310..... Large Vane CFM/CMM Anemometer/Psychrometer
AN320..... Large Vane CFM/CMM Anemometer/Psychrometer + CO₂
AN300-C..... Airflow Cone and Funnel Adapters



AN300-C - Cone/Funnel Adapters
The meter has a cone and square preset. With this optional kit it would allow HVAC technicians to be freed from the hassle of calculating dimensions and allow for quick and easy air flow measurements for these common duct sizes.



7.4. Especificaciones técnicas Analizador de redes – Chauvin Arnoux C.A 8334B

Características técnicas C.A 8332B - C.A 8334B - C.A 8335			
MEDIDAS	C.A 8332B	C.A 8334B	Qualistar+ C.A 8335
Número de canales	3U / 4I		4U / 4I
Tensión (RMS AC+DC)	Fase-fase de 6 V a 960 V		de 10 V a 1.000 V
	Fase-neutro de 6 V a 480 V		de 10 V a 1.000 V
Corriente (RMS AC+DC)	De 100 mA a 6.500 A		
Pinzas MN	MN93: de 2 a 240 A; MN93A: de 0,005 A a 5 A / de 0,1 A a 120 A		
Pinza C	3 A...1200 A		
Pinzas AmpFLEX o MA	30 A...6500 A		
Pinza PAC	10 A a 1.000 A _{AC} / 10 A a 1.400 A _{DC}		
Frecuencia	40 Hz a 69 Hz		
Potencias	W, VA, Var, PF, DPF cos φ, tan φ		
Energías	Wh, Varh, VAh		
Armónicos	sí		
THD	Sí, del orden 0 al 50°, fase		
Modo Experto	-	50	sí
Transitorios	-	50	300
Flicker	-	sí	sí
Modo Inrush	-	Sí sobre 4 periodos	Sí, > 1 minuto
Desequilibrio	-	Sí	Sí
Registro (de todos los parámetros al máximo muestreo)	21 minutos	42 minutos	1 mes
Registro Mín./Máx.	no	no	sí
Alarmas	4.000 de 10 tipos distintos	10.000 de 40 tipos distintos	10.000 de 40 tipos distintos
Reconocimiento de sensores de corriente	8	8	8+
Valo de Peak	-	sí	sí
Representación vectorial	-	automática	automática
Visualización	LCD color ¼ VGA 320 x 240 diagonal 148 mm		
Captura de Pantallas y Curvas	8	12	50
Seguridad eléctrica	IEC 61010 1000 V CAT III / 600 V CAT IV		
Idiomas	6	6	20+
Interfaz de comunicaciones	RS232 opto-aislada / USB		
Alimentación	Batería recargable 9,6V NiMH		
Dimensiones	240 x 180 x 55 mm		
Peso	2,1 kg	2,1 kg	1,9 kg

SE SUMINISTRA CON:

C.A 8332B se suministra con una bolsa N° 22, un cable RS232 opto-aislado, un cable de red, 4 cables tensión banana 4 mm de 3 m, 4 pinzas cocodrilo, una hoja de seguridad, el manual de usuario, un software PC de descarga de datos. Más el juego de sensores de corriente elegido.

C.A 8334B se suministra con una bolsa N° 22, un cable RS232 opto-aislado, un cable de red, 4 cables tensión banana 4 mm de 3 m, 4 pinzas cocodrilo, una hoja de seguridad, el manual de usuario, un software PC de descarga de datos. Más el juego de sensores de corriente elegido.

C.A 8335 se suministra con 1 bolsa N° 22, 1 cable USB, 1 cargador de alimentación, 1 cable de red, 5 cables tensión banana Ø 4 mm de 3 m, 5 pinzas cocodrilo, 1 juego de anillos de identificación de 12 colores para cables y entradas, 1 film de protección para pantalla, 1 hoja de seguridad, 1 manual de usuario en varios idiomas, 1 software PC de descarga de datos.

REFERENCIAS PARA LOS PEDIDOS	ACCESORIOS
C.A 8335 pinzas MN93 P01160571	Pinza MN P01120425B
C.A 8335 pinzas MN93A P01160572	Pinza MN93A P01120434B
C.A 8335 AmpFLEX™ 450mm P01160573	Pinza C P01120323B
C.A 8335 AmpFLEX™ 800mm P01160574	Pinza PAC P01120079B
C.A 8335 pinzas C193 P01160576	AmpFLEX 450mm P01120526B
C.A 8334B-F pinzas MN93A P01160552	AmpFLEX 800mm P01120531B
C.A 8334B-F AmpFLEX™ 450mm P01160553	Adaptador .. / 5 A P01101959
C.A 8332B-F pinzas MN93A P01160522	
C.A 8332B-F AmpFLEX™ 450mm P01160623	

Otros modelos, sírvase consultarnos.

Alimentador red C.A 8335 P01102057
Cable USB-A USB-B P01295291
Film pantalla qualistar P01102059
Juego anillos marcadores .. P01102080
Bolsa de cuello n° 21 P01298055
Bolsa estándar n° 22 P01298056
Cable opto. RS232 P01295190A

09/08 - JNS4 133 Ed.1 - Althara

7.5. Baterías – BAE Secura PVS 420

BAE *SECURA PVS solar*

Technical Specification for Vented Lead-Acid Batteries (VLA)

1. Application

BAE *SECURA PVS solar* batteries need only low maintenance and are used to store electric energy in medium and large solar photovoltaic installations.

Due to the robust tubular plate design BAE PVS batteries are excellent suited for highest requirements regarding cycling ability and long life-time.



2. Technical data (Reference temperature 20 °C)

Type	C _{1h} Ah	C _{10h} Ah	C _{20h} Ah	C _{72h} Ah	C _{100h} Ah	C _{120h} Ah	C _{240h} Ah	R _i 1) mΩ	I _k 2) kA	Length (L) mm	Width (W) mm	Height (H) mm	Weight dry kg	Weight filled kg
U _a V/cell	1.67	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80	1.80							
2 PVS 140	63	111	127	141	143	144	148	1.52	1.37	105	208	420	9.1	14.5
3 PVS 210	95	167	191	211	215	217	222	1.06	1.96	105	208	420	11.2	16.4
4 PVS 280	127	223	254	282	287	289	295	0.84	2.46	105	208	420	12.8	18.0
5 PVS 350	159	279	318	352	359	361	369	0.70	2.98	126	208	420	15.3	21.7
6 PVS 420	191	334	382	424	431	434	444	0.60	3.47	147	208	420	18.1	25.7
5 PVS 550	223	389	432	486	496	500	513	0.57	3.61	126	208	535	20.0	28.8
6 PVS 660	267	467	518	583	595	601	616	0.49	4.18	147	208	535	23.5	34.0
7 PVS 770	310	544	604	681	694	700	720	0.44	4.69	168	208	535	26.8	39.1
6 PVS 900	352	665	748	856	877	888	916	0.47	4.41	147	208	710	33.0	47.4
7 PVS 1050	415	777	872	993	1,020	1,033	1,065	0.36	5.66	215	193	710	42.1	61.5
8 PVS 1200	473	886	996	1,137	1,160	1,178	1,216	0.32	6.36	215	193	710	46.6	65.4
9 PVS 1350	522	992	1,116	1,274	1,300	1,320	1,365	0.33	6.20	215	235	710	51.4	75.4
10 PVS 1500	585	1,100	1,240	1,418	1,450	1,464	1,516	0.28	7.25	215	235	710	56.0	79.4
11 PVS 1650	635	1,210	1,362	1,555	1,590	1,608	1,665	0.28	7.36	215	277	710	61.0	89.6
12 PVS 1800	698	1,320	1,486	1,699	1,740	1,752	1,816	0.24	8.41	215	277	710	65.4	93.4
11 PVS 2090	790	1,470	1,636	1,836	1,870	1,884	1,941	0.24	8.38	215	277	855	72.7	105.9
12 PVS 2280	869	1,600	1,784	2,001	2,040	2,052	2,116	0.22	9.48	215	277	855	77.4	110.4
13 PVS 2470	978	1,740	1,938	2,174	2,210	2,232	2,292	0.16	13.03	215	400	815	90.8	137.8
14 PVS 2660	1,051	1,880	2,080	2,332	2,380	2,400	2,448	0.15	13.82	215	400	815	95.3	142.4
15 PVS 2850	1,123	2,010	2,220	2,498	2,550	2,568	2,640	0.14	14.43	215	400	815	100.2	146.9
16 PVS 3040	1,195	2,140	2,380	2,664	2,710	2,736	2,808	0.13	15.20	215	400	815	105.4	151.6
17 PVS 3230	1,280	2,290	2,540	2,858	2,910	2,940	3,000	0.12	16.91	215	490	815	117.7	175.1
18 PVS 3420	1,352	2,420	2,680	3,024	3,080	3,108	3,192	0.11	17.55	215	490	815	121.9	179.1
19 PVS 3610	1,425	2,560	2,840	3,189	3,250	3,276	3,360	0.11	18.36	215	490	815	126.8	183.6
20 PVS 3800	1,496	2,690	2,980	3,355	3,420	3,444	3,528	0.11	18.92	215	490	815	132.0	188.3
22 PVS 4180	1,635	2,950	3,280	3,686	3,750	3,780	3,888	0.10	19.92	215	580	815	145.4	213.9
24 PVS 4560	1,777	3,220	3,560	4,010	4,090	4,128	4,224	0.09	21.26	215	580	815	155.2	223.0
26 PVS 4940	1,917	3,480	3,860	4,341	4,420	4,464	4,584	0.09	22.49	215	580	815	165.0	232.0

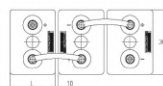
1, 2) Internal resistance R_i and short circuit current I_k according to IEC 60896-11

Height (H) is the maximum height between container bottom and top of the bolts in assembled condition.

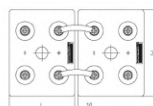
BAE *SECURA PVS solar* batteries are also available as dry pre-charged version. They are titled with additional "TG", e.g. 4 PVS 280 TG.

All values given in the table correspond to 100 % DOD without voltage drop of connectors. Please consider item 7.

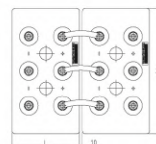
3. Terminal positions



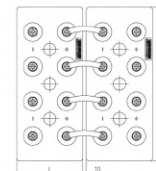
2 PVS 140 to 6 PVS 900



7 PVS 1050 to 12 PVS 2280



13 PVS 2470 to 16 PVS 3040



17 PVS 3230 to 26 PVS 4940

Terminals are designed as female poles with brass inlay M10 for flexible insulated copper cables with cross-section 25, 35, 50, 70, 95 or 120 mm² or insulated solid copper connectors with cross-section 90, 150 or 300 mm².



Technical Specification for BAE *SECURA PVS solar*

4. Design

Positive electrode	tubular-plate with a woven polyester gauntlet and solid grids in a corrosion-resistant PbSbSnSe-low antimony alloy
Negative electrode	grid-plate in a low antimony alloy with long-life expander material
Separation	microporous separator
Electrolyte	sulphuric acid with a density of 1.24 kg/l at 20 °C (68 °F)
Container	high impact, transparent SAN (Styrol-Acrylic-Nitrile), UL-94 rating: HB
Lid	high impact SAN in dark grey colour (colour may vary slightly from given image), UL-94 rating: HB
Plugs	labyrinth plugs for arresting aerosols, optional ceramic plugs or ceramic funnel plugs according to DIN 40740
Pole-bushing	100 % gas- and electrolyte-tight, sliding, plastic-coated "Panzerpol"
Kind of protection	IP 25 regarding EN 60529, touch protected according to VBG 4

5. Installation

BAE *SECURA PVS solar* batteries are designed for indoor applications.
For outdoor applications please contact BAE.

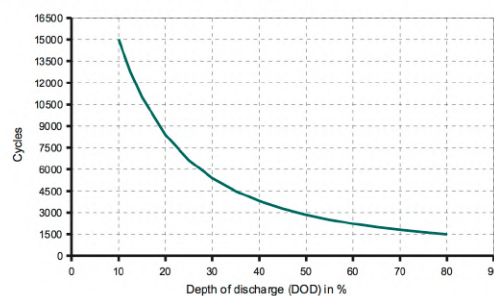
6. Maintenance

Every 6 months	check battery voltage, pilot cell voltages, temperatures
Every 12 months	check connections, record battery voltage, cell voltages and temperatures
Every 3 years	average water-refilling interval (depending on utilization and ambient temperature)

7. Operational data

Depth of discharge (DOD)	max. 80 % ($U_e = 1.91$ V/cell for discharge times >10 h; 1.74 V/cell for 1 h) deep discharges of more than 80 % DOD have to be avoided unlimited, the minimal charge current has to be 5 A/100 Ah C_{10}
Initial charge current (I or bulk phase)	
Charge voltage at cyclic operation	restricted from 2.30 V to 2.40 V per cell, operating instruction is to be observed
Float voltage/non cyclic voltage	2.23 V/cell
Adjustment of charge voltage	no adjustment necessary if battery temperature is between 10 °C and 30 °C (50 °F and 86 °F) in the monthly average, otherwise $\Delta U/\Delta T = -0.003$ V/cell per K within a period of 1 up to 4 weeks 3,150 (A+B) at 40 °C (104 °F) -20 °C to 55 °C (-4 °F to 131 °F), recommended temperature range 10 °C to 30 °C (50 °F to 86 °F) approx. 3 % per month at 20 °C (68 °F)
Recharge to 100 %	
IEC 61427 cycles	
Battery temperature	
Self-discharge	

8. Number of cycles as function of Depth of discharge



9. Transport

Batteries are not subject to ADR (road transport), if the conditions of Special Provision 598 (Chapter 3.3) are observed.
These cells/batteries are dangerous goods on sea transport. Declaration and packaging must comply with the requirements of IMDG-Codes.

10. Standards

Test standards	IEC 60896-11, IEC 61427
Safety standard, ventilation	EN 50272-2

BAE Batterien GmbH
Wilhelmshofstraße 69/70
12459 Berlin
Germany

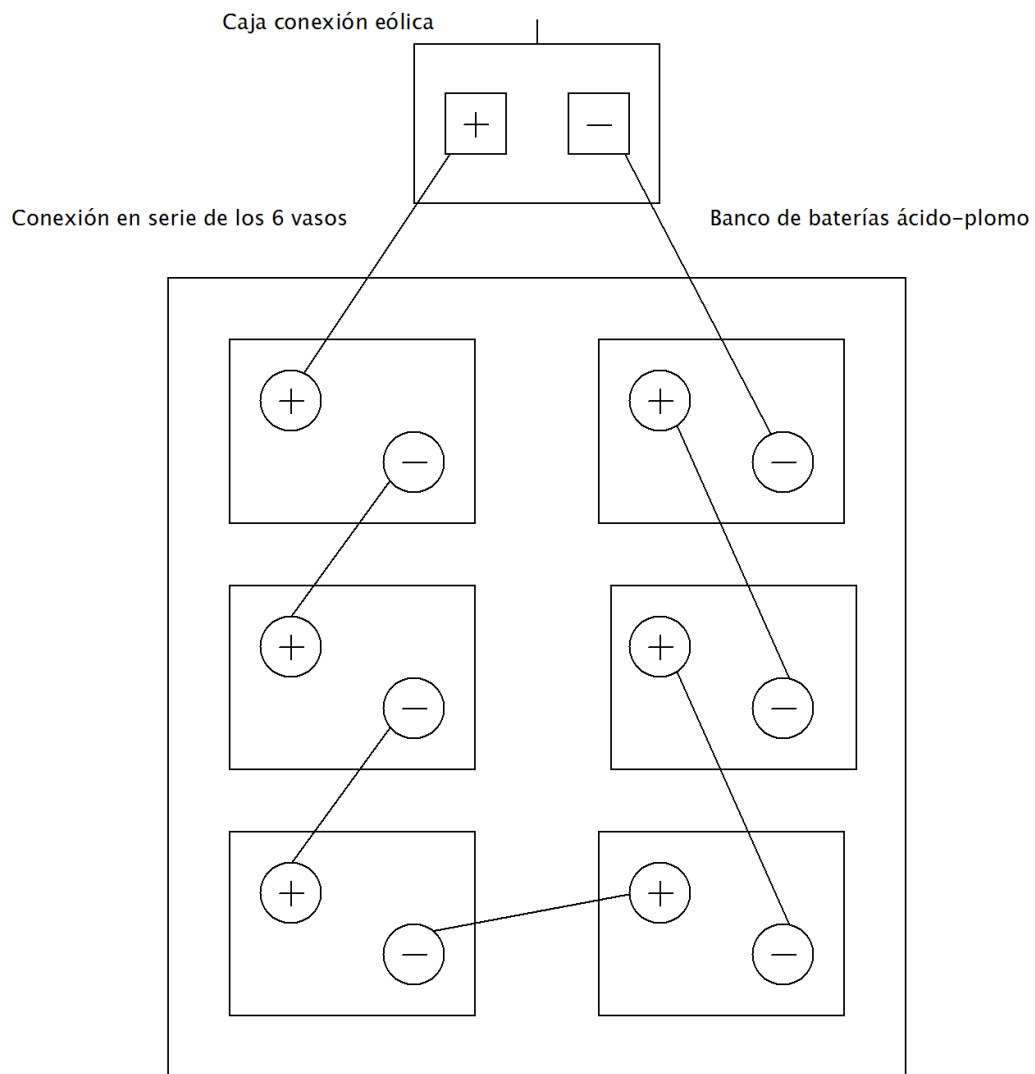
Tel.: +49 (0)30 53001-661
Fax: +49 (0)30 53001-667
E-Mail: info@bae-berlin.de
www.bae-berlin.de



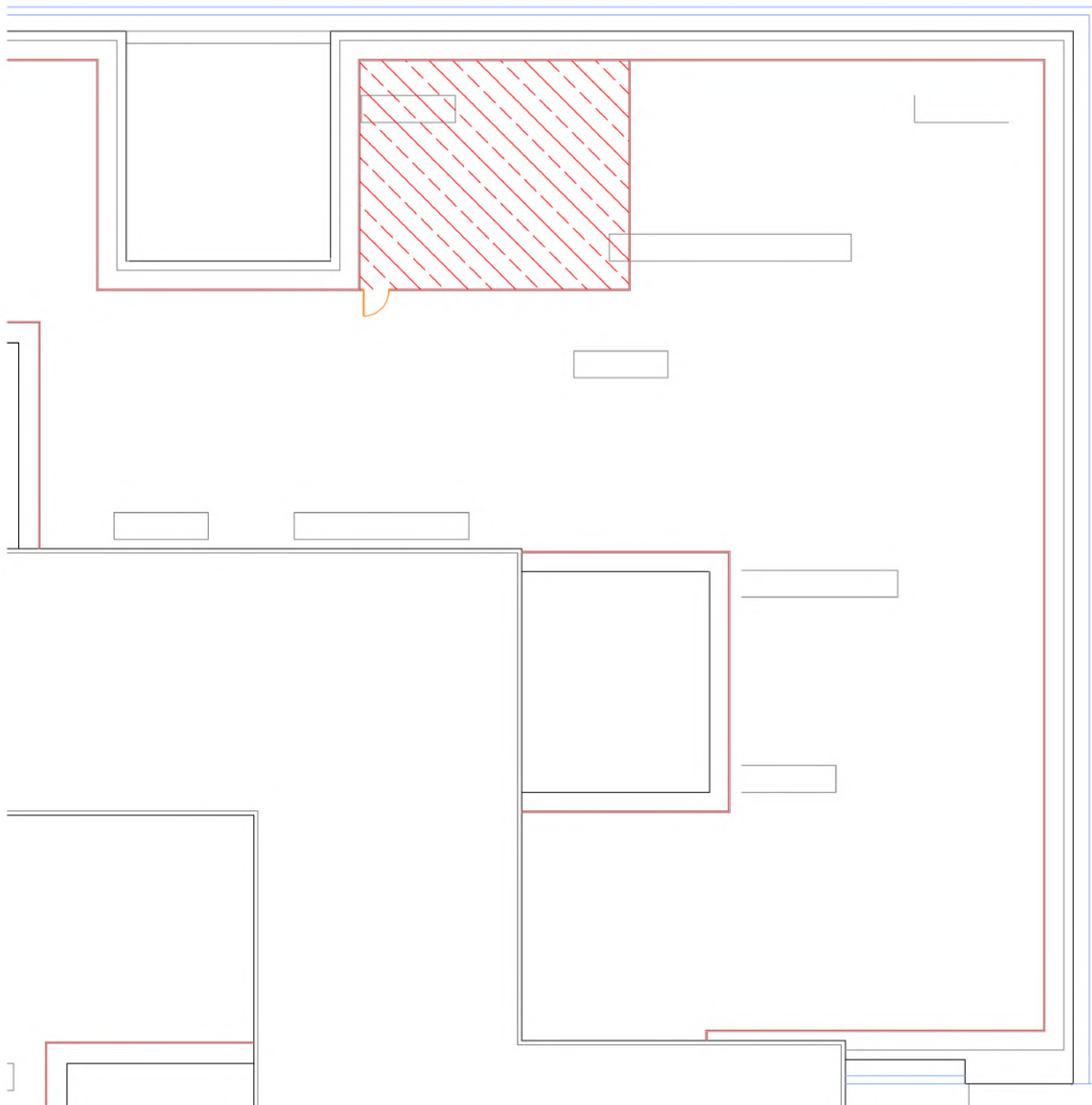
7.6. Inversor DC/AC – Victron Energy Phoenix 12/800

Inversor Phoenix	12 Volt 24 Volt 48 Volt	12/180 24/180	12/350 24/350 48/350	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia CA cont. de salida a 25 °C (VA) (3)		180	350	800	1200
Potencia cont. a 25 °C / 40 °C (W)		175 / 150	300 / 250	700 / 650	1000 / 900
Pico de potencia (W)		350	700	1600	2400
Tensión / frecuencia CA de salida (4)	110VAC o 230VAC +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada (V DC)	10,5 - 15,5 / 21,0 - 31,0 / 42,0 - 62,0			9,2 - 17,3 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 68,0	
Alarma de batería baja (V DC)	11,0 / 22 / 44			10,9 / 21,8 / 43,6	
Apagado por batería baja (V DC)	10,5 / 21 / 42			9,2 / 18,4 / 36,8	
Autorrecuperación de batería baja (V DC)	12,5 / 25 / 50			12,5 / 25 / 50	
Eficacia máx. 12 / 24 / 48 V (%)	87 / 88	89 / 89/ 90		91 / 93 / 94	92 / 94 / 94
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	2,6 / 3,8	3,1 / 5,0 / 6,0		6 / 6 / 6	8 / 9 / 8
Consumo en vacío en modo de ahorro	n. a.	n. a.		2	2
Protección (2)	a - e				
Temperatura de funcionamiento	--40 to +50°C (refrigerado por ventilador)				
Humedad (sin condensación)	max 95%				
CARCASA					
Material y color	aluminio (azul RAL 5012)				
Conexiones de la batería	1)	1)		1)	1)
Tomas de corriente CA estándar	230V: IEC-320 (IEC-320 enchufe incluido), CEE 7/4 (Schuko) 120V: Nema 5-15R				
Otros enchufes (bajo pedido)	BS 1363 (Reino Unido) AN/NZS 3112 (Australia/Nueva Zelanda)				
Tipo de protección	IP 20				
Peso en (kg / lbs)	2,7 / 5,4	3,5 / 7,7		6,5 / 14.3	8,5 / 18.7
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p en pulgadas)	72x132x200 2.8x5.2x7.9	72x155x237 2.8x6.1x9.3		104 x 194 x 305 4.1 x 7.6 x 12.0	104 x 194 x 305 4.1 x 7.6 x 12.0
ACCESORIOS					
Interruptor on/off remoto	Conector bifásico				
Conmutador de transferencia automático	Filax				
NORMATIVAS					
Seguridad	EN 60335-1				
Emisiones / Normativas	EN55014-1 / EN 55014-2/ EN 61000-6-2 / EN 61000-6-3				
1) Cables de batería de 1,5 metros (12/180 con encendedor de cigarrillos) 2) Protección a) Cortocircuito de salida b) Sobrecarga c) Tensión de la batería demasiado alta 3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 4) La frecuencia puede ajustarse por medio del conmutador DIP (sólo en modelos 750VA)					
d) Tensión de la batería demasiado baja e) Temperatura demasiado alta					

7.7. Esquema unifilar banco de baterías



7.8. Plano de la zona del proyecto en la azotea del edificio de laboratorios



DETALLE A

DETALLE B

DETALLE C

TRAMO 4

TRAMO 2

TRAMO 1

TRAMO 3

CARA A

CARA B

CARA A

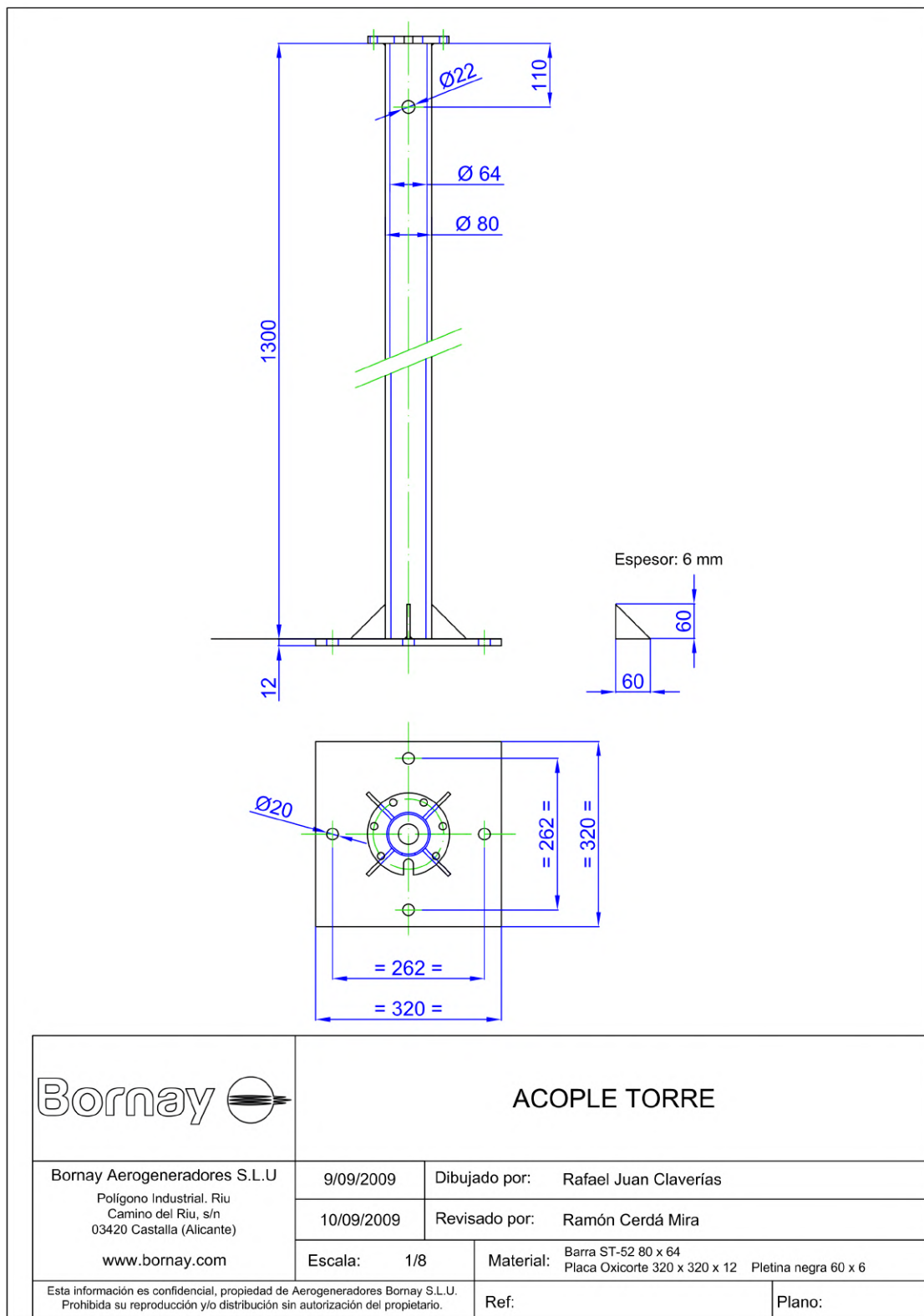
CARA B

Bornay		TORRE P-750 (3000-6000)	
Bornay Aerogeneradores S.L.U		Dibujado por: Rafael Juan Chaverías	
Polígono Industrial Riu Camino del Riu, s/n 03420 Castalla (Alicante)		Revisado por: Ramón Cardá Mira	
www.bornay.com		Material: Acero galvanizado	
Escala: S/N		Ref: 20.02.0015	
9/11/2009		Plano: 7.2	

Esta información es confidencial, propiedad de Aerogeneradores Bornay S.L.U.
Prohibida su reproducción y/o distribución sin autorización del propietario.



7.10. Plano del acople a la torre





8. Referencias bibliográficas:

Por último en este punto se enumerarán todas las bibliografías consultadas o utilizadas para la obtención de figuras y datos a lo largo de este estudio:

- [1] Agencia internacional de la energía. Disponible en www.iea.org
- [2] Asociación empresarial eólica. Disponible en www.aeeolica.org
- [3] Red eléctrica de España. Disponible en www.ree.es
- [4] Global Wind Energy Council. Disponible en www.gwec.net
- [5] Agencia estatal de meteorología. Disponible en www.aemet.es
- [6] Manchado R. (2017) Evaluación de implantación de energía minieólica en plantas de tratamiento de residuos municipales, Madrid. [Trabajo fin de grado]. Universidad politécnica de Madrid.
- [7] Turrado P. (2016). Instalación de un aerogenerador de eje vertical en el edificio de la Universidad de Cantabria. [Trabajo fin de grado]. Universidad de Cantabria.
- [8] R. ANANT KISHORE, S. PRIYA. Design and experimental verification of a high efficiency small wind energy portable turbine (SWEPT). Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 18. Blacksburg, Virginia (EEUU). 14 mayo 2013, pp. 12-19.
- [9] A. URSÚA, I. SAN MARTÍN, E. BARRIOS, P. SANCHIS. Stand-alone operation of an alkaline water electrolyser fed by wind and photovoltaic systems. International journal of hydrogen energy. 38. Pamplona. 11 octubre 2013, pp. 14952-14967.
- [10] Manual de usuario Aerogenerador Bornay 600. No de serie D711B895, Voltaje 12V. Bornay aerogeneradores SLU. Disponible en www.bornay.com
- [11] Inarquía. Disponible en www.inarquia.es
- [12] Argolabe Ingeniería. Disponible en www.argolabe.es
- [13] Baiwind aerogeneradores minieólica. Disponible en <https://www.energias-renovables.com/empresas/baiwind>
- [14] Ennera. Disponible en <https://www.ennera.com>
- [15] Kliux energías. Disponible en www.kliux.com
- [16] Sonkyo energy – Windspot. Disponible en



- [17] Norvento enerxía. Disponible en <https://www.norvento.com>
- [18] Sumelec. Disponible en <https://www.sumelec.es>
- [19] Imágenes Satélite para localización obtenidas de Goolge Maps. Disponible en www.google.com/maps
- [20] Meteblue. Disponible en www.meteobblue.com
- [21] Estaciones Agroclimáticas (Junta de Andalucía – Consejería de agricultura, ganadería, pesca y desarrollo sostenible).
- [22] Mecánica de Fluidos Yunes A. Çengel John M. Cimbala 1ra edición Cengel Prel. 2012.
- [23] MIGUEL VILLARUBIA LÓPEZ. Ingeniería de la energía eólica. Marcombo. 2012.
- [24] Catálogo. PVS cells. BAE. Berlín.
- [25] Extech AN300 - Termoanemómetro CFM/CMM con paleta grande.
- [26] Cuenca P. (2009). Diseño e Integración de Instalación de un Sistema de Producción de Energía Eólica Doméstica. [Trabajo fin de grado]. Universidad Juan Carlos III de Madrid.
- [27] Enair. Disponible en <https://www.enair.es>
- [28] Marlec. Disponible en <https://www.marlec.co.uk>
- [29] Ametek programmable power. Disponible en www.powerandtest.com/
- [30] Boletín oficial del estado. Disponible en www.boe.es
- [31] Kill my bill. Disponible en <https://www.killmybill.es/instalar-aerogenerador-vivienda/>
- [32] Google Shopping. Disponible en www.google.es